



Katupölyn lähteet, päästövähennyskeinot ja ilmanlaatuvaikutukset

Tuloksia KALPA-tutkimushankkeesta 2015–2018

Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä

PL 100

00066 HSY

puhelin 09 156 11

faksi 09 1561 2011

www.hsy.fi

Lisätietoja

Sami Kulovuori, sami.kulovuori@ymparisto.fi

Copyright

Kartat, graafit, ja muut kuvat: HSY

Tiivistelmä

Katupölyn lähteet, päästövähennyskeinot ja ilmanlaatuvaikutukset – tutkimushankkeen (KALPA) tavoitteena oli selvittää katupölypitoisuuksiin vaikuttavia tekijöitä ja eri lähteiden osuuksia erilaisissa katukohteissa sekä tunnistaa lupaavampia päästövähennysmahdollisuuksia ja edesauttaa niiden käyttöönottoa. Tutkimus on yhteistyöhanke, jota rahoittivat Helsingin ja Vantaan kaupungit sekä Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä HSY. Hankkeen toteuttajat olivat Nordic Envicon Oy (vuodesta 2018 Suomen Ympäristökeskus SYKE) ja Metropolia Ammattikorkeakoulu. Hanke on jatkoa aiemmille REDUST- ja KAPU-katupölyhankkeille.

KALPA-hankkeen ensimmäinen vaihe (KALPA 1) toteutettiin vuosina 2015–2016 ja toinen vaihe (KALPA 2) vuosina 2017–2018. Tämä raportti kokoaa yhteen näiden neljän vuoden mittaustulokset. Hanke jatkuu KALPA 3-vaiheella, joka toteutetaan vuosina 2019–2020. Hankkeessa käytettiin erilaisia metodeja katupölypäästöjen tarkasteluun. Metropolia Ammattikorkeakoulun Nuuskija-autolla mitattiin katupölypäästöjä (hengitettävät hiukkaset, PM₁₀ eli halkaisijaltaan alle 10 mikrometrin hiukkaset) kaupunkien katuverkoilla sekä testattiin eri laitteiden pesutehoa. Opel Vectra -mittausajoneuvolla suoritettiin hankkeen rengasmittaukset, ja ajoneuvo oli mukana myös pesulaitetesteissä. Hankkeen toisessa vaiheessa mukaan otettiin myös Wet Dust Sampler -mittalaite, jolla saatiin mitattua tienpinnassa oleva pölyvarasto. Toimenpiteiden vaikutusten arviointiin käytettiin mittausten lisäksi NORTRIP -katupölymallia. Katupölyn lähteiden selvittämiseen käytettiin yksittäishiukkasanalyysia ja reseptorimallinnusta.

Tutkituissa katukohteissa Nuuskija-mittauksissa havaittu vuosien välinen trendi on ollut laskeva, vaikka trendit ovatkin tasoittuneet ns. huippuvuosista. Osaltaan tätä selittää vuosien välinen vaihtelu (erilaiset sääolosuhteet talvisin ja keväisin) sekä liikennemäärien lasku, parantuneet ja oikea-aikaiset kunnossapitotoimet sekä tehokkaampi kunnossapitokalusto. Erikoiskohteita tarkasteltaessa trendi on myös laskeva. Huomattavaa on esimerkiksi, että Kalasatamassa huippupitoisuudet ovat laskeneet sitä mukaa, kun kohteen työmaat ovat valmistuneet.

Julkaisija: Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä HSY	
Tekijä: Sami Kulovuori (Suomen ympäristökeskus SYKE/Metropolia Ammattikorkeakoulu), Roosa Ritola (SYKE), Ana Stojiljkovic (SYKE), Kaarle Kupiainen (SYKE), Aleksi Malinen (Metropolia Ammattikorkeakoulu)	Pvm: 29.4.2019
Julkaisun nimi: Katupölyn lähteet, päästövähennyskeinot ja ilmanlaatuvaikutukset – Tuloksia KALPA-tutkimushankkeesta 2015–2018	
Avainsanat: katupöly, hengitettävät hiukkaset, pölyntorjunta, ilmansuojelu, ilmanlaatu	
Sarjan nimi ja numero: 1/2019	Issn-l:
Isbn (nid.):	Isbn (pdf): 978-952-7146-38-5
Issn (nid.):	Issn (pdf): 1798-6095
Kieli: Suomi	Sivuja: 104
Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä PL 100, 00066 HSY, puhelin 09 156 11, faksi 09 1561 2011, www.hsy.fi	

Sammandrag

Forskningsprojektet (KALPA) som undersöker gatudammets ursprung, metoder för utsläppsminskning och luftkvalitetseffekter har som mål att kunna utreda vilka faktorer som inverkar på halterna av gatudamm, och hur de olika källorna fördelar sig i olika gatumiljöer, samt att identifiera olika intressanta möjligheter att minska på utsläppen och att främja ibruktage av sådana åtgärder. Forskningen sker i ett samarbetsprojekt som finansierades av Samkommunen Helsingforsregionens miljötjänster HRM, Helsingfors stad, och Vanda stad. Projektet förverkligades av Nordic Envicon AB (från och med 2018 Finlands Miljöcentral SYKE) och yrkeshögskolan Metropolia. Projektet är en fortsättning på de tidigare gatudammsprojekten KAPU och REDUST.

KALPA-projektets första skede (KALPA 1) förverkligades under åren 2015–2016, och det andra skedet (KALPA 2) under åren 2017–2018. Denna rapport sammanställer mättningsresultaten från de fyra åren. Projektet kommer att fortsätta med ett tredje skede, KALPA 3, som ska förverkligas under åren 2019–2020. Projektet utnyttjade olika metoder för att undersöka gatudammsutsläpp, bland annat: yrkeshögskolan Metropolias Nuuskija-bil som mätte gatudammsutsläpp inom städernas gatunätverk (inandningsbara partiklar, PM₁₀, dvs. partiklar i storlek under 10 mikrometer), samt testade rengöringseffekten hos olika typer av gaturengöringsmaskiner. Projektet utförde däcksmätningar med ett mättningsfordon av märket Opel Vectra, och detta fordon deltog även i testningen av gaturengöringsmaskiner. I projektets andra skede tog man också med en mätutrustning som kallas Wet Dust Sampler, som tillåter mätning av hur stora dampmängder som ackumuleras i gatumiljön. För att bedöma de olika rengöringsåtgärdernas effekt utnyttjade projektet dels mätningar, dels en NORTRIP - gatudammsmodellering. Projektet utredde gatudammets ursprung med hjälp av analyser av enskilda partiklar och en receptormodellering.

Nuuskija-mätningarna påvisar en årsvis sjunkande trend på de undersökta gatuobjekten, trots att trenden har planat ut från de så kallade toppåren. Delvis förklaras detta av skillnader åren emellan (olika väderleksförhållanden under vintrar och vårar), mindre trafikthet, bättre underhåll som sker i rätt tid, samt bättre gatuunderhållsutrustning. Även vid granskning av vissa specialobjekt visade sig trenden för gatudammet vara sjunkande. Anmärkningsvärt är till exempel att de konstaterade topphalterna i Fiskehamnen har sjunkit i takt med att byggarbetsplatserna på området har färdigställts.

Utgivare: Samkommunen Helsingforsregionens miljötjänster HRM	
Författare: Sami Kulovuori (Finlands miljöcentral SYKE/Metropolia Yrkeshögskola), Roosa Ritola (SYKE), Ana Stojiljkovic (SYKE), Kaarle Kupiainen (SYKE), Aleksi Malinen (Metropolia Yrkeshögskola)	Datum: 29.4.2019
Publikationens namn: Gatudammets ursprung, metoder för utsläppsminskning och luftkvalitetseffekter – Resultat från KALPA-projektet 2015–2018	
Nyckelord: gatudamm, inandningsbara partiklar, dammbekämpning, luftvård, luftkvalitet	
Publikationsseriens titel och nummer: 1/2019	Issn-l:
Isbn (hft.):	Isbn (pdf): 978-952-7146-38-5
Issn (tryckt):	Issn (pdf): 1798-6095
Språk: Finska	Sidor: 104
Samkommunen Helsingforsregionens miljötjänster PB 100, 00066 HSY, telefon 09 156 11, fax 09 1561 2011, www.hsy.fi	

Abstract

The KALPA research project on street dust sources, emission reduction means and impacts on the air quality aims to detect factors influencing street dust concentrations and the influence rates of different sources in various target streets, to recognise the most promising emission reduction possibilities and to promote their implementation. This research is a cooperation project funded by HSY and the cities of Helsinki and Vantaa. The project is implemented by Nordic Envicon OY (from 2018 The Finnish Environment Institute SYKE) and the Metropolia University of Applied Sciences. The project is a continuation programme of the KAPU and REDUST projects on street dust.

The first stage of the KALPA project (KALPA 1) was carried out in 2015–2016 and the second stage (KALPA 2) during 2017–2018. This report compiles the results from measurements carried out during these four years. The third stage of the project continues as KALPA 3, which will be carried out during 2019–2020. In the project, various methods were used for examining street dust emissions; among others, the Sniffer vehicle of the Metropolia University of Applied Sciences which was used for measuring street dust emissions (thoracic particles and PM₁₀, i.e. particles with a diameter less than 10 micrometres) in the urban street networks and for testing the cleaning efficiency of different street cleaning techniques. Tyre emission measurements were carried out using an Opel Vectra measurement vehicle which was also used in street cleaning equipment tests. A Wet Dust Sampler technique was introduced in the second stage of the project for measuring dust deposition on road surface. Besides the aforementioned measurements, the NORTRIP street dust model was also used for evaluating the impacts of applied measures. A single-particle analysis and receptor modelling were applied to determine the sources of street dust.

The year-to-year trend, which the Sniffer measurements showed in the target street analysis, has been declining although the trends have been levelled off in comparison to the so-called peak years. This can be partly explained by the year-to-year variation (different weather conditions in the winter and spring), declining amounts of traffic, improved and real-time maintenance measures and more powerful maintenance equipment. When analysing the special targets, the street dust trend has also been descending. A notable trend for instance is that peak concentrations measured in Kalasatama have declined more and more as Kalasatama's construction sites were completed.

Published by: Helsinki Region Environmental Services Authority HSY	
Author: Sami Kulovuori (Finnish Environment Institute SYKE/Metropolia University of Applied Sciences), Roosa Ritola (SYKE), Ana Stojiljkovic (SYKE), Kaarle Kupiainen (SYKE), Aleksi Malinen (Metropolia University of Applied Sciences)	Date of publication: 29.4.2019
Title of publication: Street dust sources, emission reduction means and impacts on air quality – Results from the KALPA project 2015–2018	
Keywords: street dust, thoracic particles, dust reduction, air protection, air quality	
Publication series title and number: 1/2019	Issn-I:
Isbn (print):	Isbn (pdf): 978-952-7146-38-5
Issn (pb):	Issn (pdf): 1798-6095
Language: Finnish	Pages: 104
Helsinki Region Environmental Services Authority PO Box 100, 00066 HSY, Tel. +358 9 156 11, Fax +358 9 1561 2011, www.hsy.fi	

Sisällys

1.1	Työpaketit.....	10
1.2	Katupölyn muodostuminen	11
1.3	Katupölyn päästöt ilmaan.....	12
1.4	Katupölyn päästövähennyskeinot	13
1.5	Aineistojen ja menetelmien kytkennät KALPA-hankkeessa	14
1.6	Menetelmät	15
1.6.1	Nuuskija-auto	15
1.6.2	Wet Dust Sampler (WDS).....	16
1.6.3	Opel Vectra -mittausjärjestelmä	17
1.6.4	NORTRIP-malli	18
2.1	Katsaus hiukkaspitoisuuksiin pääkaupunkiseudulla ja katupölyn rooli	19
2.1.1	Talvi ja kevät 2014–2015.....	20
2.1.2	Talvi ja kevät 2015–2016.....	20
2.1.3	Talvi ja kevät 2016–2017.....	21
2.1.4	Talvi ja kevät 2017–2018.....	21
2.1.5	Yhteenveto.....	21
3.1	Katuverkon päästötasojen monitorointi ja trendit.....	22
3.2	Kaupunkireitit	23
3.2.1	Helsinki	23
3.2.2	Vantaa	24
3.2.3	E12, Hämeenlinnanväylä.....	25
3.3	Katupölyn päästöindeksi	26
3.4	Mittaustulokset	27
3.4.1	Nuuskijan reittikeskiarvot vuosina 2011–2018	27
3.5	Trendit	28
3.5.1	Nuuskijan reittikeskiarvo, 95. prosenttipiste (15.3.–15.5.).....	29
3.5.2	Yhteenveto.....	34

4.1	Mittaukset ja mallinnus katupölyn erikoiskohteissa	35
4.1.1	Kohde: Mäkelänkatu, Helsinki	36
4.1.2	Kohde: E12, Hämeenlinnanväylä	37
4.1.3	Kohde: Tikkurilantie, Vantaa.....	38
4.1.4	Kohde: Kalasatama, Helsinki.....	39
4.2	Mittaukset katupölyn erikoiskohteissa.....	41
4.2.1	Yleiskatsaus mittauksiin Mäkelänkadulla	41
4.2.2	Nuuskija-mittaukset, Mäkelänkatu 2015–2018.....	42
4.2.3	Nuuskijan mitaamat PM ₁₀ -pitoisuudet eri kaistoilla 2015 & 2017	43
4.2.4	WDS -mittaukset, Mäkelänkatu 2017–2018	44
4.2.5	Lähdeanalyysit, Mäkelänkatu 2015–2016	45
4.2.6	Lähde ja reseptorinäytteiden keräys.....	45
4.2.7	Näytteiden keruuajat ja toimenpiteet Mäkelänkadulla	47
4.2.8	Reseptorimallinnuksen avulla laskettuja lähdeosuuksia	48
4.2.9	Nuuskija-mittaukset, E12, Hämeenlinnanväylä 2015–2018.....	49
4.2.10	Nuuskija-mittaukset, Tikkurilantie 2015–2016.....	50
4.2.11	Nuuskija-mittaukset, Kalasatama 2015–2018	51
4.3	Mallinnus katupölyn erikoiskohteissa.....	52
4.3.1	Yleiskatsaus NORTRIP-mallin käytöstä KALPA-hankkeessa	52
4.3.2	NORTRIP-malli, Mäkelänkatu 2015–2016	52
4.3.3	NORTRIP-malli E12, Hämeenlinnanväylä 2015–2016.....	54
4.3.4	NORTRIP malli, Tikkurilantie 2015.....	56
4.4	Yhteenveto	58
5.1.1	Uuden sukupolven nastarenkaat	60
5.1.2	Renkaiden aiheuttamat päästöt.....	61
5.1.3	Nastallisten ajoneuvojen osuus liikenteessä	62
5.1.4	Mittauskohde ja rengasmittausten toteutus	63
5.1.5	Renkaiden ominaisuudet	64
5.1.6	Mitatut renkaat vuosina 2015–2018	65

5.2	Renkaiden valmistajavertailu 2016 ja 2017	66
5.3	Renkaiden yksilövertailu 2017	67
5.4	Renkaiden valmistajavertailu 2018	68
5.6	Korrelaatiot.....	69
5.7	Yhteenveto	71
6.1	Kadun puhdistuskaluston täsmätestit	72
6.2	Pesulaitteistot.....	73
6.3	Kadun puhdistuskaluston täsmätestit	74
6.3.1	Koisotie, Vantaa 2016.....	74
6.3.3	Ylästö, Vantaa 2018	77
6.3.5	Vantaa Koisotie 2018.....	79
6.4	Herkkyystarkastelu ja pölynsidonta.....	84
6.4.1	Mäkelänkatu 2015 ja 2016	84
6.4.2	Herkkyystarkastelu, Tikkurilantie, Vantaa 2015	87
6.5	Yhteenveto	88

Liite 1: Nuuskijan reittikeskiarvot vuosina 2011–2018

Liite 2: Hiekoitusmateriaalien raekokojakaumat

Liite 3: Työpaketeissa 1-6 tehdyt työt

1 Johdanto

Katupölyä koskeva tutkimus sisältyy sekä Helsingin kaupungin ilmansuojelun toimenpideohjelman 2008–2016 (Helsingin kaupungin ympäristökeskus 2008) että kaupungin uuden, vuosille 2017–2024 laaditun ilmansuojelusuunnitelman (Helsingin kaupungin ympäristökeskus 2016) toimenpiteisiin. Katupölyn arvioidaan säilyvän merkittävänä ilmanlaatuongelmana, sillä ajoneuvoteknologian kehitys ei vähennä liikenteen epäsuoria hiukkaspäästöjä. KALPA-hanke jatkaa katupölyn lähteisiin ja vähennysmahdollisuuksiin kohdistuvia tutkimuksia pääkaupunkiseudulla REDUST- ja KAPU-hankkeiden *) viitoittamalla tiellä.

Tutkimushankkeen tavoitteena on selvittää katupölypäästöihin ja -pitoisuuksiin vaikuttavia tekijöitä sekä eri lähteiden osuuksia erilaisissa katukohteissa. Tavoitteena on myös tunnistaa lupaavimpia päästövähennysmahdollisuuksia ja edesauttaa niiden käyttöönottoa. KALPA-hankkeen ensimmäinen vaihe (KALPA 1) toteutettiin vuosina

2015–2016 ja toinen vaihe (KALPA 2) vuosina 2017–2018. Tämä raportti kokoaa yhteen näiden neljän vuoden mittaustulokset.

Hanketta toteuttivat Nordic Envicon Oy (vuodesta 2018 lähtien Suomen Ympäristökeskus SYKE) ja Metropolia Ammattikorkeakoulu. Rahoittajina olivat Helsingin ja Vantaan kaupungit sekä Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä HSY.

Hankkeen projektiryhmä koostuu osallistuvien tahojen edustajista. Projektiryhmä on antanut suuntaviivoja hankkeen toteutukselle ja painotuksille sekä vahvistanut mittaus- ja työsuunnitelmat. Lisäksi hankkeessa on toiminut erillinen, kerran vuodessa kokoontunut suunnitteluryhmä, jonka vastuulla on ollut erillismittausten suunnitelmat, toteutus ja tavoitteet. Hanke jatkuu KALPA 3-vaiheella, joka toteutetaan vuosina 2019–2020. KALPA-3-hankeessa on mukana edellisten rahoittajien lisäksi Kuopion kaupunki.

***) KAPU Katupölyn päästöt ja torjunta:**
<https://www.hel.fi/static/ymk/julkaisut/julkaisu-13-09.pdf>

REDUST EU Life+:
<http://www.ymk-projektit.fi/redust/esitteet>

Kuva 1: Aikaisempia hankkeita

1.1 Työpaketit

Hankkeessa tehtiin töitä kuudessa työpaketissa: katuverkon päästötasojen monitorointi, uusien talvirenkaiden hiukkaspäästöt, katupölyn erikoiskohteet, katupölyn lähteet, katupölyn päästöjen ja ilmanlaatuvaikutusten mallinnus sekä katupölyn trendit pääkaupunkiseudulla.

Työpaketeissa tehdyt työt esitellään tarkemmin Liitteessä 3. Tässä raportissa esitellään joitain mittaustuloksia tarkemmin, mutta pääpaino on eri työpakettien tuloksien esittämisessä laajempina kokonaisuuksina, jolloin ne tukevat katupölyn kokonaiskuvan ymmärtämistä.

TP1. Katuverkon päästötasojen monitorointi

TP2. Uusien talvirenkaiden hiukkaspäästöt

TP3. Katupölyn erikoiskohteet

TP4. Katupölyn lähteet

TP5. Katupölyn päästöjen ja ilmanlaatuvaikutusten mallinnus

TP6. Katupölyn trendit pääkaupunkiseudulla

Yksittäisistä kampanjoista ja kokonaisuuksista on hankkeen aikana toimitettu seuraavat osaraportit projektiryhmälle tai sen jäsenille:

- Työpaketti 2: Uusien talvirenkaiden hiukkaspäästöt
- Työpaketti 3: Katupölyn erikoiskohteet: Hämeentie/Arabia
- Työpaketti 3: Katupölyn erikoiskohteet: Pääväylien pölyntorjunta, kirjallisuuskatsaus muista pohjoismaista

Kuva 2: Työpaketit

1.2 Katupölyn muodostuminen

Katupölyn muodostuminen on seurausta monenlaisista prosesseista. Pohjoisissa liikenneolosuhteissa joudutaan käyttämään liukkaudentorjuntaa kitkan lisäämiseksi ja täten liikenneturvallisuuden parantamiseksi talvikaudella. Liukkautta voidaan torjua levittämällä kadun pinnoille erilaisia materiaaleja (hiekkä, sepeli, suola) tai lisäämällä ajoneuvojen ja tien pinnan välistä kitkaa erilaisilla talvirengasratkaisuilla.

Talvihiekoituksen PM₁₀-pölynmuodostusta lisäävä vaikutus on esitetty mm. REDUST-tutkimuksessa. Hiekoituksen seurauksena myös päällysteperäisen pölyn määrä lisääntyy suhteessa hiekoittamattomaan tilanteeseen nk. hiekkapaperi-ilmiön kautta: renkaiden alla olevat kivirakeet murskaantuvat itse ja samalla kuluttavat päällysteen kiviaineista. Ilmiön seurauksena päällysteestä muodostuneen pölyn osuus riippuu sekä hiekoitusmateriaalin että päällysteen kiven ominaisuuksista.

Hiekoitusmateriaaleja käytetään ajoratojen lisäksi kevyen liikenteen väylillä, joista ne saattavat osittain kulkeutua ajoradoille. Hiekoitusmateriaalien

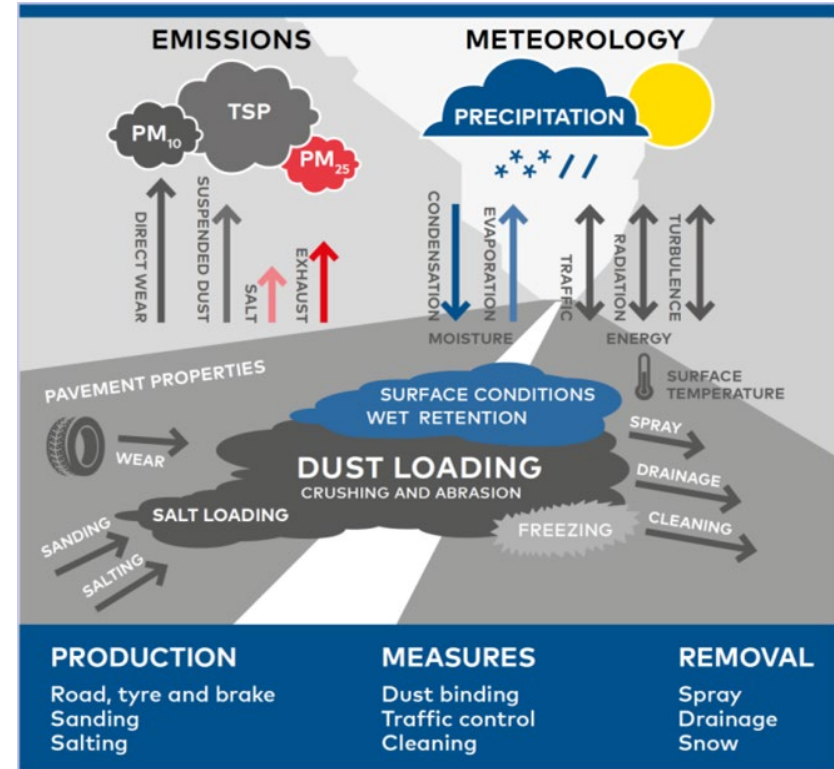
levityksen mukana katuympäristöön voi kulkeutua myös pölyävää hienoaainesta, ellei sitä ole valmistusvaiheessa tehokkaasti seulottu pois. Katupölystä tehdyt lähdearviot viittaavat siihen, että nastarenkaiden päällysteestä muodostamalla pölyllä on merkittävä vaikutus talvi- ja kevät aikaan havaittaviin pitoisuuksiin.

KALPA-hankkeessa tutkittiin talvirenkaiden aiheuttamia pölypäästöjä mittaamalla useiden eri valmistajien nastarengasmalleja Opel Vectra-tutkimusajoneuvolla ja vertailemalla renkaiden kesäpuhtaalla tien pinnalla aiheuttamia PM₁₀-päästöjä keskenään. Myös muilla pölyn lähteillä, kuten autojen kulumatuotteilla (esim. jarrupöly) pakokaasuhiukkasilla, kaukokulkeumalla ja rakennustyömaiden pölyllä on vaikutuksensa PM₁₀-pitoisuuksiin. KALPA-hankkeessa tutkittiin erilaisten lähteiden osuutta katupölypitoisuuksissa tekemällä yksittäishiukkasanalyysi Mäkelänsadulta kerätyille näytteille sekä NORTRIP-mallia hyödyntäen.

1.3 Katupölyn päästöt ilmaan

Katupölyn muodostuminen ja varsinainen pölypäästö voivat tapahtua hyvinkin eri aikaan riippuen tien pinnan ja katu ympäristön olosuhteista. Liukkaudentorjunnan myötä ja kosteusolojen muuttuessa pölyävä materiaali alkaa kertyä katu ympäristöön loppusyksystä tai alkutalvesta. Katupölyepisodi syntyy, kun pinnat taas kuivuvat. Pohjoismailla tyypillinen katupölykausi ajoittuu yleensä kevääseen, jolloin kaupungeissa mitataan korkeita PM₁₀ -pitoisuuksia. Katupölyepisodeja voi esiintyä myös syksyllä, jolloin liukkaudentorjuntatoimet on otettu käyttöön mutta kosteus (lumi, jää) ei auta sitomaan syntynyttä pölyä pinnoille. Katupölyepisodien ajoitus vaihtelee jonkin verran vuodesta toiseen.

Korkeiden päästötasojen ohella ilmanlaadun kannalta vaikeat sääolot, kuten alhaiset tuulennopeudet, stabiili ilmakehä ja matala ilmakehän sekoituskorkeus saattavat edesauttaa korkeiden pitoisuustasojen esiintymistä. Tällöin pöly ei pääse laimenemaan eikä kulkeutumaan pois kaupunki-ilmastasta. Katukuilumaiset ympäristöt voivat vähentää pölyn laimenemista hengitysilmaasta entisestään.



Kuva 3:Kupiainen ym. 2017. Road Dust and PM₁₀ in the Nordic Countries.

1.4 Katupölyn päästövähennyskeinot

Pölyä poistuu katu ympäristöstä luonnollisesti ja erilaisten kadun kunnossapidon toimien myötä. Ilmavirrat, liikenne ja niin kutsuttu märkäpoistuma (ajoneuvojen aiheuttama spray, hulevedet) sekä lumikuormien poiskuljettaminen katu ympäristöstä poistavat katu ympäristöstä myös pölyä.

Pölynsidonta

Pinnoilta vapautuvan pölyn määrää voidaan vähentää levittämällä laimeaa suolaliuosta ajoradoille. Pölynsidonta-aine vähentää pölypäästöjä sitomalla hiukkaset pinnoille ja suuremmiksi aggregaateiksi. Pölynsidonnan tehokkuus akuuttien pölyepisodien torjunnassa on todettu monissa tutkimushakkeissa (REDUST, KAPU) ja pölynsidontaa on käytetty runsaasti esimerkiksi Helsingin keskustan kaduilla. KALPA-hankkeessa pölynsidonnan vaikutusta katupölypitoisuuksiin tutkittiin mm. NORTRIP-mallin avulla. Pölynsidonta ei poista pölyä katu ympäristöstä, ja puhdistus tulee järjestää myöhemmin.

Pesu

Kadun puhdistukseen kehitetyt erilaiset pesulaitteistot keräävät kadunpinnalta erityisesti karkeaa materiaalia. Erilaiset tehostetut menetelmät poistavat pinnoilta myös hienojakoisempia rakeita. Pesulaitteistojen ja -menetelmien tehokkuutta on tutkittu mittavasti aikaisemmissa tutkimushankkeissa Suomessa ja ulkomailla (REDUST, KAPU, NORDUST). KALPA-hankkeessa tutkittiin Vantaalle hankitun modernin pesevän imusuulakeauton (PIMU) tehoa katu ympäristössä ja suljetulla testiradalla.

Hiekoitusperäisen pölyn muodostumista voi vähentää myös materiaalivalinnoilla, hiekoitusmateriaalien oikea-aikaisella levityksellä ja kohdentamisella sekä hiekoitusmääriä vähentämällä. Muita, esimerkiksi pohjoismaissa käytössä olevia pölyntorjuntakeinoja ovat mm. ajonopeuksien laskeminen, nastarenkaiden käytön rajoittaminen ja liikennemäärien vähentäminen esim. ruuhkamaksuin.

1.5 Aineistojen ja menetelmien kytkennät KALPA-hankkeessa



Kuva 4: Aineistojen ja menetelmien kytkeytyminen

1.6 Menetelmät

1.6.1 Nuuskija-auto

Metropolia Ammattikorkeakoulun Nuuskija-auto on uniikki ilmanlaadun mittausrakennus. Nuuskija-auton mittausperiaatteet on aiemmin dokumentoitu kattavasti (mm. Pirjola L, Kupiainen K, yms., 2009). Ajoneuvon mittalaitteisto koostuu kaasus- sekä hiukkasanalysaattoreista. Katupölymittauksissa laitteisto on jaettu niin, että osa laitteista mittaa ajoneuvon keulaan sijoitetusta putkistosta ja osa laitteista takareunaan takaa. Katupölynäyte kerätään noin 5 cm päähän vasemmasta takareunasta asetetulla putkella. Renkaan nostattama pöly ohjataan syklonin läpi eri mittalaitteille. Syklonin tarkoitus on estää suurempien kuin 10 µm kokoisten partikkelien pääsy mittalaitteistolle. Katupölymittauksissa taustapitoisuutta mitataan ajoneuvon keulasta puskurin yläpuolelta. Ajoneuvon mittalaitteisto on pysynyt kutakuinkin samana KALPA-hankkeen alusta lähtien. Myös mittauspaikka sekä aineiston käsittely ovat pysyneet muuttumattomana koko ajoneuvon elinkaaren ajan.

KALPA-hankkeessa Nuuskija-autolla on mitattu päästöjä kaupunkien katuverkoilla erikseen suunnitelluilla kaupunkireiteillä sekä mitattu pesulaitteistojen tehokkuutta ennen ja jälkeen pesun.

Nuuskijassa käytetyt hiukkasanalysaattorit:

(PM₁₀- ja PM_{2.5}-pitoisuus: µg/m³)

- Ruppercht & Patashnick TEOM 1400A
- Thermo Fischer Scientific TEOM 1405-D
- TSI DustTrack

Hiukkasten kokojakauma (7 nm – 10 µm)

- TSI OPS 3330
- Decati Elpi



Kuva 5: Nuuskija-auto

1.6.2 Wet Dust Sampler (WDS)

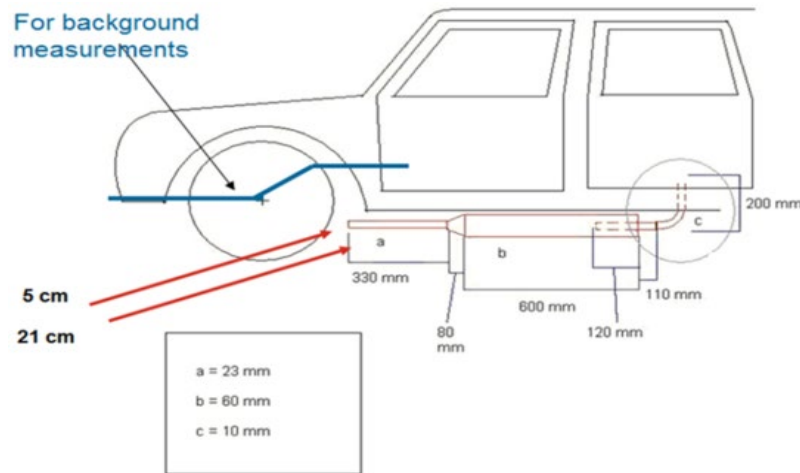
WDS-mittalaite huuhtelee näytteen kadunpinnasta korkeapainepesulla ja kerää syntyneen näytteen pulloon. WDS III on Ruotsin tie- ja liikennetutkimusinstituutin (VTI) kehittämä mittalaite kadunpinnan pölytason tutkimuksiin. Laitteella voidaan kerätä näytteitä läpäisemättömiltä pinnoilta. Näytepulloon kerätystä vedestä voidaan analysoida esim. sameutta, hiukkasten määrää ja kokojakaumaa. KALPA-hankkeessa WDS-laitteella on tutkittu pölyn jakautumista katu ympäristössä ja sen vuodenaikaisvaihtelua sekä pesulaitteistojen puhdistustehokkuuksia. Talvella lumi tai jää saattaa estää mittauksen tekemisen tien pinnasta. Kovalla pakkasella mittauksia ei myöskään tehdä, sillä vaarana on veden jäätyminen putkistoon.



Kuva 6: Wet Dust Sampler (WDS)

1.6.3 Opel Vectra -mittausjärjestelmä

Opel Vectra -henkilöautoon rakennettu näytteenottojärjestelmä soveltuu kadunpinnan pölytasojen tutkimukseen. KALPA-hankkeessa Opel Vectralla on mitattu talvirenkaiden pölypäästöjä kesäpuhtaalla tien pinnalla, jolloin ympäristössä on valmiiksi mahdollisimman vähän sinne aiemmin kertynyttä pölyä. Renkaan nostattamien hiukkasten pitoisuuksia mitataan vasemman eturenkaan takaa (kuvassa 7. punaisella) ja taustailman pitoisuuksia samanaikaisesti etupuskurista (kuvassa 7. sinisellä). Pitoisuustieto tallennetaan DustTrak -mittalaitteille (TSI DustTrak 8530). GPS-järjestelmä monitoroi ja tallentaa aika- ja paikkatietoja. Molemmat tiedot tallentuvat 1s resoluutiolla.



Kuva 7: Opel Vectran mittausjärjestelmä

Mittauksissa apuna käytettävään lokikirjaan merkitään mahdolliset häiriöt mittauksilanteessa, kuten ohitukset, työmaat, edessä ajavat dieselajoneuvot tms. Häiriöt rajataan lopullisen aineiston ulkopuolelle aikaleimauksien perusteella. Aineiston käsittelyvaiheessa aineistosta rajataan pois myös kiihdytykset ja jarrutukset ($\pm 0,7$ m/s) ja nopeudet, jotka alittavat tai ylittävät tavoitenopeuden 50 km/h (± 3 km/h).

Vectralla mitattiin KALPA-hankkeessa ensi kertaa myös $PM_{2,5}$ -päästöjä $PM_{10:n}$ rinnalla. Tätä tarkoitusta varten Vectraan rakennettiin putkitus yhteensä neljälle DustTrakille.

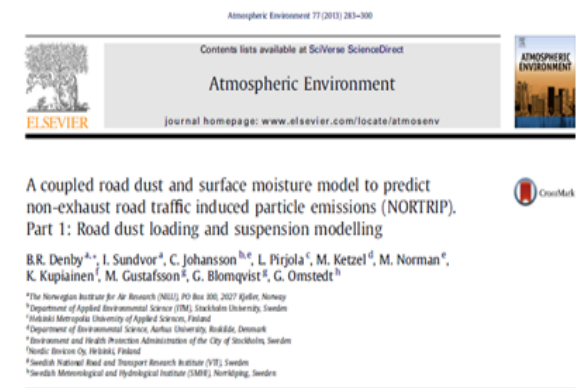


Kuva 8: Opel Vectra

1.6.4 NORTRIP-malli

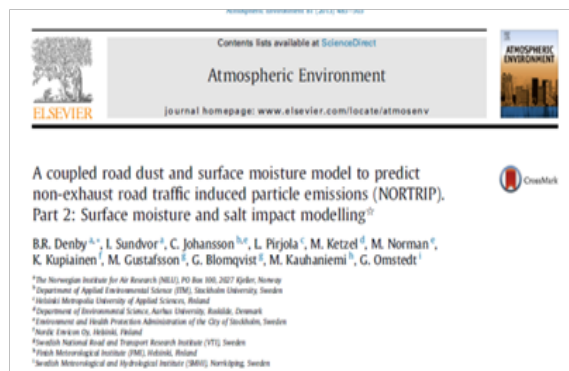
NORTRIP-malli tarjoaa kehikon katupölyn muodostumisen, päästön ja päästövähennyskeinojen ymmärtämiseksi ja määrällistämiseksi. Tämän raportin johdannossa on käyty läpi katupölyn muodostumista, päästöjä ilmaan, poistumaa sekä päästövähennyskeinoja. NORTRIP-mallilla on keskeinen rooli havaintojen kokoamisessa. Malli on kuvattu yksityiskohtaisesti mm. Denby ym. 2013 ja Denby & Sundvor (2012).

KALPA-hankkeessa NORTRIP-mallia on käytetty kolmen erilaisen kohteen: Mäkelänkatu (Helsinki), Tikkurilantie (Vantaa) ja pääväyläkohde Hämeenlinnanväylä mallintamiseen sekä erilaisiin herkkyystarkasteluihin ja lähdearvioihin. Mallin suorituskykyä on testattu pääkaupunkiseudulla myös aikaisemmin, ja tulokset on dokumentoitu HSY:n julkaisemassa raportissa 2016 (Stojiljkovic ym., 2016).



B Denby ym, 2013: The NORTRIP model (Non-exhaust Road Traffic Induced Particle emissions)

Stojiljkovic ym, 2016: Modelling street dust in the Helsinki metropolitan area



Kuva 9: NORTRIP-julkaisuja

2 Katupölykatsaus

2.1 Katsaus hiukkaspitoisuuksiin pääkaupunkiseudulla ja katupölyn rooli

HSY julkaisee vuosittain raportin sekä neljännesvuosikatsauksia pääkaupunkiseudun ilmanlaadusta. Tähän kappaleeseen on koottu tietoa KALPA-hankkeen aikaisista (2014–2018) katsauksista pääasiassa hengitettävien hiukkasten osalta.

Yleisen ilmanlaatuilanteen kuvaus perustuu HSY:n kehittämään ilmanlaatuindeksiin, joka jakaa ilmanlaadun viiteen luokkaan hyvästä erittäin huonoon (Taulukko 1).

- Hengitettävien hiukkasten lisäksi indeksissä on mukana rikkidioksidin, typpidioksidin, hiilimonoksidin, pienhiukkasten ja otsonin pitoisuudet.
- Jokaiselle epäpuhtaudelle lasketaan pitoisuuksien perusteella indeksi, joista korkein määrää mittausaseman ilmanlaatuindeksin arvon.

Ilmanlaatu	Välittömät terveysvaikutukset	Muut vaikutukset
Hyvä	ei todettuja	lieviä luontovaikutuksia pitkällä aikavälillä
Tyydyttävä	hyvin epätodennäköisiä	-"
Välttävä	epätodennäköisiä	selviä kasvillisuus- ja materiaali-vaikutuksia pitkällä aikavälillä
Huono	mahdollisia herkillä yksilöillä	-"
Erittäin huono	mahdollisia herkillä väestöryhmillä	-"

Taulukko 1: HSY:n Ilmanlaatuindeksi

2.1.1 Talvi ja kevät 2014–2015

Pääkaupunkiseudun ilmanlaatu oli talvella suurimman osan ajasta hyvä tai tyydyttävä. Heikointa ilmanlaatu oli vilkasliikenteisissä katukuiluissa ja isojen väylien varsilla. Talvi oli leuto ja pakkasjaksoille tyypillisiä ilmanlaadun kannalta ongelmallisia säätiloja esiintyi harvoin. Maa oli lumen peitossa vain lyhyen aikaa tammikuun puolesta välistä helmikuun loppupuolelle. Aikaisen kevään vuoksi katupölyä oli ilmassa harvinaisen aikaisin. Maaliskuussa koettiin raju kevätöpölykausi: päivät olivat kuivia ja aurinkoisia, mutta yöpakkaset estivät katujen puhdistamisen vedellä.

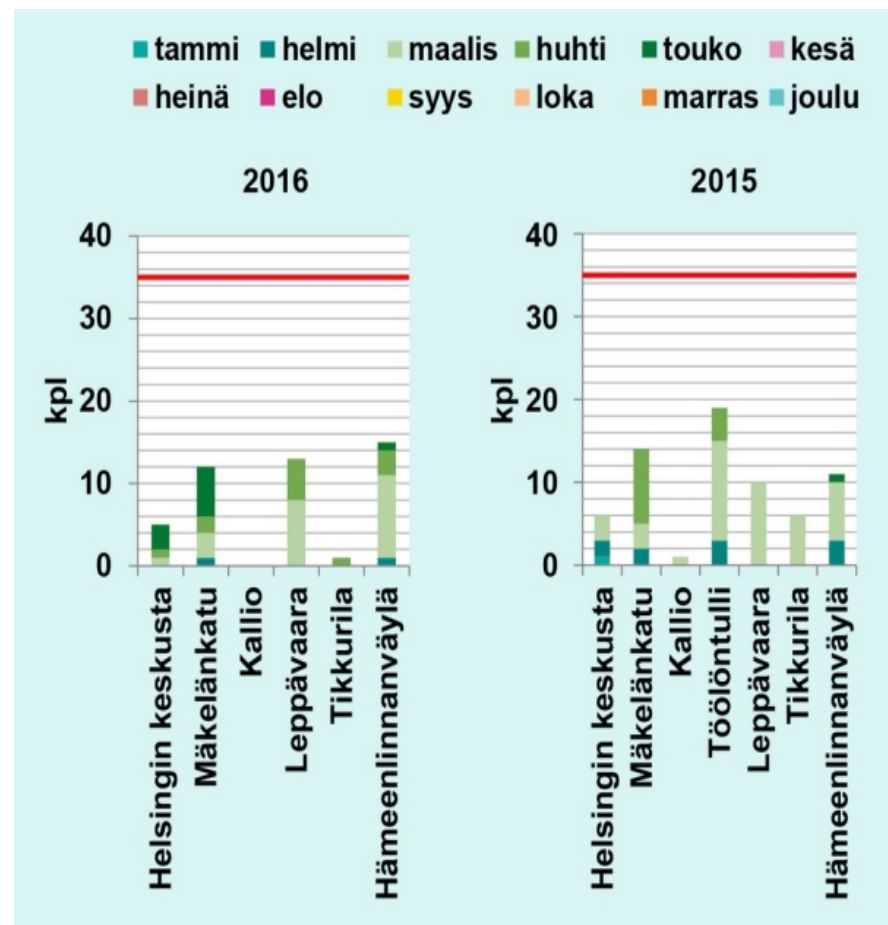
Pääkaupunkiseudulla mitatut PM₁₀-tuntipitoisuudet olivat maaliskuun 17. ja 18. päivinä pahimmillaan yli 1000 µg/m³ ja vuorokausipitoisuudet yli 250 µg/m³, jollaisia ei ole mitattu kymmeneen vuoteen. Sään muuttuminen sateiseksi maaliskuun lopulla katkaisi pahimman pölyämisen, ja huhtikuussa koettiin enää yksittäisiä pölyisiä päiviä.

Hengitettävien hiukkasten raja-arvotaso (50 µg/m³ vrk-keskiarvo) ylittyi kaikilla katupölyä mittaavilla asemilla, myös Kallion kaupunkitausta- asemalla yhtenä päivänä. Eniten ylityspäiviä kertyi Helsingin vilkasliikenteisissä katukuiluissa kuten Töölöntullissa (16 kpl). Raja-arvotaso saa ylittyä kalenterivuoden aikana enintään 35 kertaa yhdellä mittausasemalla. Jos ylityksiä on yli 35 kappaletta, raja-arvo katsotaan ylittyneeksi.

2.1.2 Talvi ja kevät 2015–2016

Pääkaupunkiseudun ilmanlaatu oli joulukuusta helmikuuhun suurimman osan ajasta hyvä tai tyydyttävä. Heikointa ilmanlaatu oli vilkasliikenteisissä katukuiluissa ja isojen väylien varsilla, missä ilmanlaatua heikensi erityisesti katupöly. Kevään aikana ei ollut merkittäviä inversiotilanteita tai kaukokulkeumaepisodeja. Maaliskuu oli keskimääräistä lämpimämpi ja vähäsateinen. Katupölykausi kesti noin maaliskuun 11. päivästä huhtikuun

puoliväliin. Hengitettävien hiukkasten raja-arvotaso ylittyi monilla mittausasemilla useina päivinä. Eniten ylityspäiviä oli Hämeenlinnanväylällä, Leppävaarassa ja Mäkelänkadulla. Katupölykaudellakin pitoisuudet kuitenkin pysyivät suhteellisen maltillisina.



Kuva 10: PM₁₀ –raja-arvotason ylitysten lukumäärä kuukausittain 2015 & 2016

2.1.3 Talvi ja kevät 2016–2017

Pääkaupunkiseudun ilmanlaatu oli joulukuusta kevään katupölykaudelle saakka suurimman osan ajasta hyvä tai tyydyttävä. Helmikuussa ilmanlaatu oli talven heikointa. Heikkotuulisina pakkasjaksoina ilmanlaatu oli jopa erittäin huono katupölyn ja liikenteen pakokaasujen vuoksi.

Kevään katupölykaudella sää oli vaihteleva ja sateinen. Katupöly huononsi ilmanlaatua huhtikuussa. Pölykausi oli kuitenkin helpompi etenkin Leppävaaran ja Mannerheimintien mittausasemilla, joilla oli selkeästi vähemmän ylityspäiviä kuin edellisenä vuonna.

2.1.4 Talvi ja kevät 2017–2018

Pääkaupunkiseudun ilmanlaatu oli joulukuusta helmikuuhun pääpiirteittäin hyvä tai tyydyttävä, eli edellisten vuosien kaltainen. Helmikuun loppupuolella pitkän pakkasjakson aikana ilmanlaatu heikkeni katupölyn vuoksi paikoin jopa erittäin huonoksi. Tällöin säätilassa vallitsi ns. inversiotilanne, jolloin kylmä ja raskas ilma maanpinnassa ja heikot tuulet estivät ilmansaasteiden normaalia laimenemista. Myös muiden ilmansaasteiden pitoisuudet olivat koholla.

2.1.5 Yhteenveto

HSY:n jatkuvatoimisten ilmanlaadunmittausten avulla on mahdollista havainnoida eroja talvi- ja kevätkausien välillä. Vuosien väliset erot tulevat usein näkyviin myös Nuuskija-auton mittauksissa. Nuuskijalla mitattavat huippupitoisuudet ajoittuvat eri vuosina usein hieman eri viikoille. Jatkuvatoimisten ilmanlaadunmittausten aineistoja käytetään hyväksi myös NORTRIP-mallin lähtötiedoissa.

3 Mittausreitit ja trendit

3.1 Katuverkon päästötasojen monitorointi ja trendit

Metropolia ammattikorkeakoulun Nuuskija-auto on mitannut katupölypäästöjä Helsingin ja Vantaan katuverkoilla, erikseen tarkoitukseen suunnitelluilla kaupunkireiteillä vuodesta 2006.

Nuuskija-mittaukset kaupunkireiteillä aloitettiin KAPU-hankkeessa keväällä 2006. Mittauksia jatkettiin keväällä 2011 REDUST-hankkeen myötä, ja kevästä 2015 alkaen mittauskierroksia on ajettu KALPA-hankkeen alla.

Nuuskija-auton mittausten avulla on selvitetty mm. katupölyn vuodenaikaisvaihtelua pääkaupunkiseudulla, huippupäästöjen ajoittumista

sekä vuosien välistä vaihtelua. Nuuskija-auton reittiin on vuosien varrella liitetty myös nk. katupölyn erikoiskohteita kuten työmaa-alueille sijoittuvia katuja. Tavallisesti Nuuskijalla aloitetaan mittaukset alkukevästä (helmi-maaliskuu), kun suurin osa lumesta ja jäästä on poistunut katuympäristöstä eivätkä sulamisvedet estä pölyn nousemista ilmaan. Mittauskierroksia tehdään noin kerran viikossa, kuivina päivinä aina siihen saakka, kunnes on saavutettu ns. kesäpuhdas tienpinta.

3.2 Kaupunkireitit

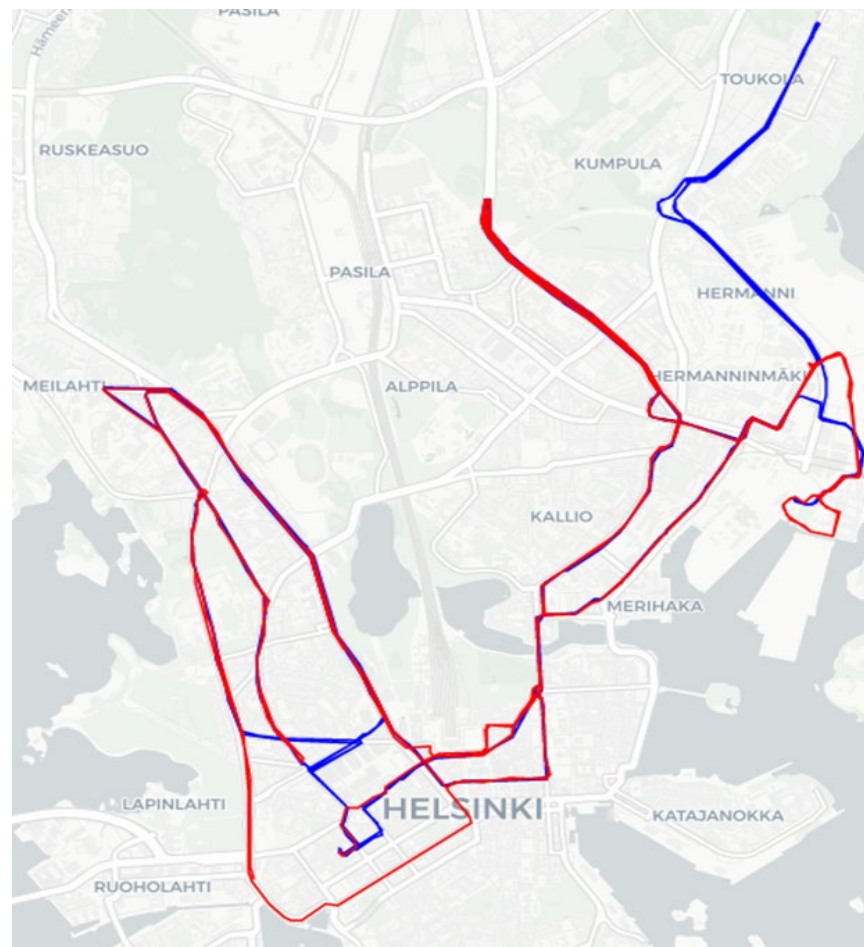
3.2.1 Helsinki

Helsingin mittausreitit runko on pysynyt samana keväästä 2006 saakka. Reitti on aineiston käsittelyvaiheessa jaettu kolmeen osaan (itä/keskusta/länsi) (Kuva 11) Staran kunnossapitoalueiden mukaan. Staralta kerätään katukohtaiset talvi- ja kevät-kunnossapidon tiedot aineiston tulkinnan tueksi.

Itäisessä kantakaupungissa reitti on laajentunut Mäkelänsadulle (HSY:n mittausasema ja ilmanlaadun "supersite") ja Kalasatamaan (rakennustyömaakohde). Vuonna 2015–2016 mitattiin myös Hämeentiellä Arabiassa (Stara: kokonaisvastuuhoidon alue), kuvassa 7 sinisellä. Kalasatamassa reitti on pysynyt suhteellisen samana, joskin pieniä muutoksia on tapahtunut johtuen rakennustyömaista sekä niiden aiheuttamista liikennejärjestelyistä.

Läntisessä kantakaupungissa reitti on kokenut suurimmat muutokset kun reittiä laajennettiin keväällä 2016 Mechelininkadulle, jolla sijaitsi HSY:n siirrettävä ilmanlaadun mittausasema vuosina 2017 ja 2018. Mechelininkadun mittauksesta ei informoitu kadun kunnossapitäjiä, jolloin katu toimi alkuun myös ns. "pistokoekatuna". Läntistä reittiä muokattiin keväällä 2017 hieman selkeämmäksi pudottamalla lyhyitä katuosuuksia pois ja lisäämällä reittiin Bulevardi.

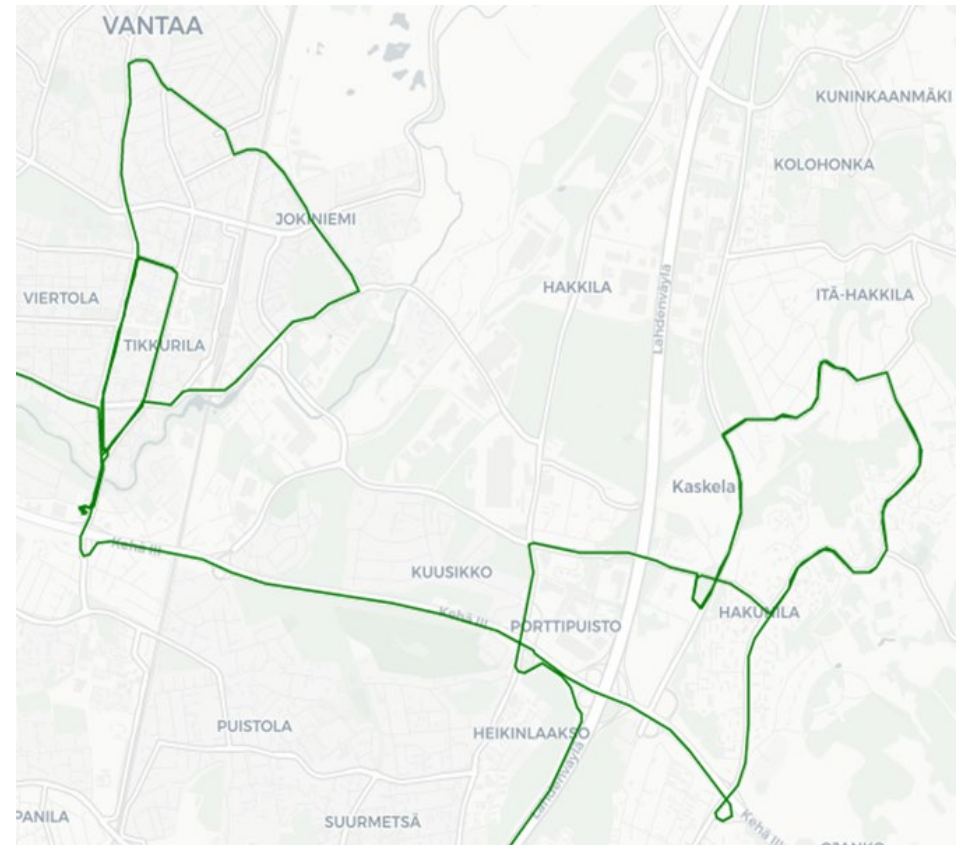
Joitain keskustan lyhyitä katuja on jätetty vuosien varrella pois aineiston käsittelyvaiheessa.



Kuva 11: Helsingin reitti 2015–2018

Tikkurila ja Hakunila

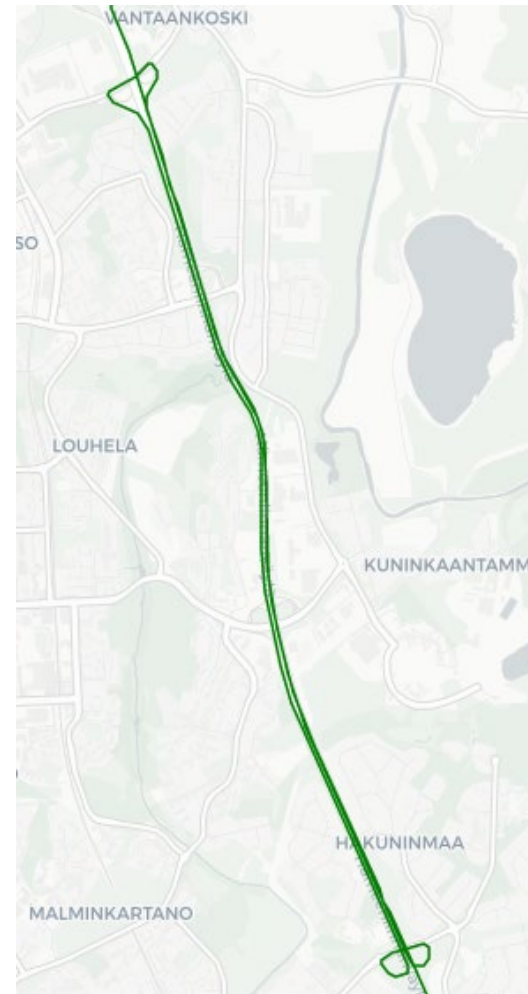
Vantaan Tikkurilan reitin perusosa on pysynyt muuttumattomana vuodesta 2016, lukuun ottamatta vuosien varrella Tikkurilan mittavien työmaiden vuoksi pois jääneitä katuja tai katuosuuksia (kuva 12). Hakunilan kaupunginosan lenkki otettiin mukaan osaksi Vantaan reittiä keväällä 2016 vertailukohteena (”pistokoekadut”: mittauksesta ei ilmoitettu alueen kunnossapitäjille).



Kuva 12: Vantaan reitti

3.2.3 E12, Hämeenlinnanväylä

Nuuskijalla on lisäksi mitattu säännöllisesti pääväyläkohdetta (Hämeenlinnanväylä) kevästä 2015 lähtien (kuva 13). Hämeenlinnanväylää ajetaan edestakaisin Kehä 1:n ja Kehä 3:n, liittymien välillä. Mittauskohteessa ajetaan maantienopeudella (mittausnopeus ollut noin 78 km/h) ja kohteessa on sijainnut HSY:n ilmanlaadun mittausasema 2015–2016.



Kuva 13: Hämeenlinnanväylä

3.3 Katupölyn päästöindeksi

KALPA-hanketta edeltävissä KAPU- ja REDUST-hankkeissa kehitettiin mitta-autojen tulosten esitystapaa siten, että tulokset olisivat ymmärrettävämmässä muodossa ja eri mitta-autoilla saadut tulokset olisivat vertailukelpoisia (taulukko 2). Tavoitteena oli myös saattaa data visuaaliseen muotoon, jolloin saatuja tuloksia on helpompi esitellä ja vertailla.

- Luokkien lukumäärä ja luokkarajat on luotu KAPU-hankkeen ja aikaisempien kokemusten perusteella.
- Indeksien arvolla 100 katu on varsin puhdas. Taso on saavutettavissa kevätpuhdistuksella.

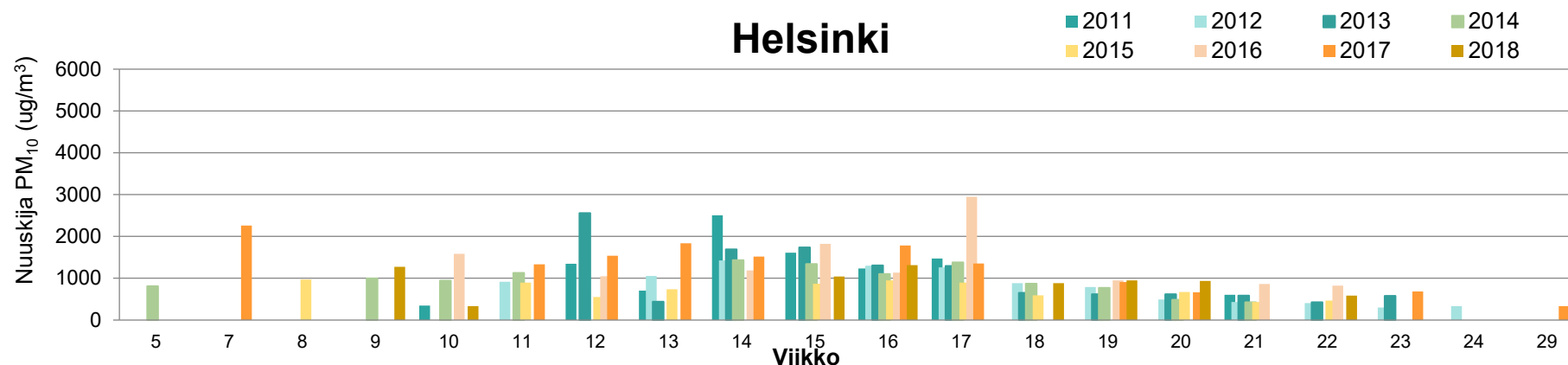
Indeksi	Indeksin väri	Nuuskija-pit. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Määritelmä
0-15		0-300	Erittäin märkä tai puhdas tienpinta
15-50		300-1000	Kesäaikainen puhdas tien pinta
50-100		1000-2000	Tienpinta kevätpuhdistusten jälkeen
100-275		2000-5500	Toimenpiteitä vaaditaan
275-400		5500-8000	Toimenpiteitä vaaditaan
400-600		8000-1200	Toimenpiteitä vaaditaan
>600		>12000	Toimenpiteitä vaaditaan

Taulukko 2: Nuuskija-indeksi, indeksitaulukko, indeksin väri, vastaava Nuuskija-pitoisuus ja määritelmä

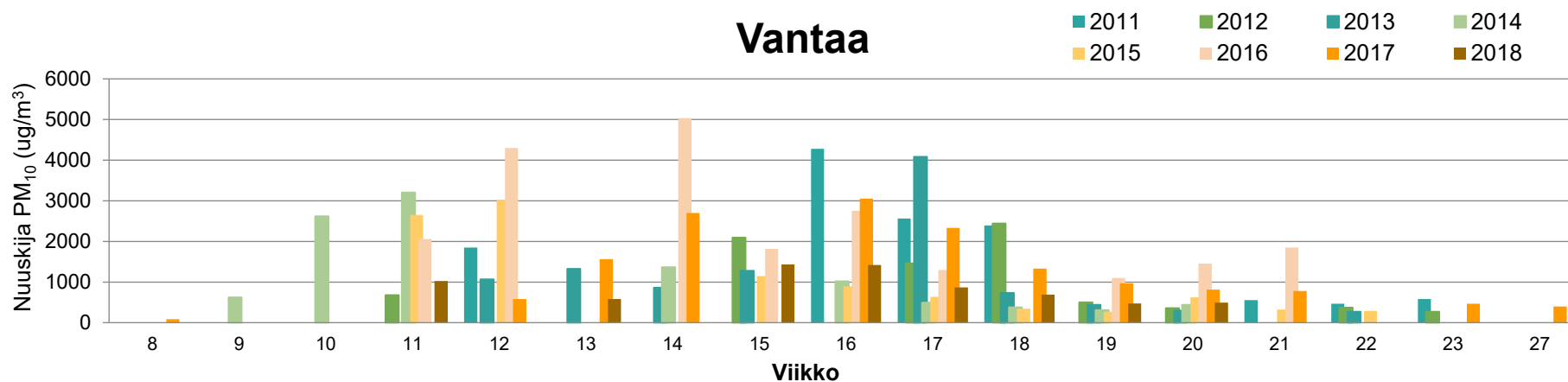
3.4 Mittaustulokset

3.4.1 Nuuskijan reittikeskiarvot vuosina 2011–2018

Kuvissa 14 ja 15 on esitetty Helsingin ja Vantaan reittikeskiarvot vuosilta 2011–2018. Liitteessä 1 on esitetty myös Helsingin aluekohtaiset reittikeskiarvot samalta tarkastelu jaksolta.



Kuva 14: Nuuskijan reittikeskiarvot, Helsinki



Kuva 15: Nuuskijan reittikeskiarvot, Vantaa

3.5 Trendit

Sivuilla 29–34 on esitetty trendit Nuuskija-auton mittaamien katujen reittikeskiarvoille. Nuuskijan mittaamista reittikeskiarvoista on mukana 15.3.–15.5. välillä ajetut mittauskierrokset, ja näiden mittauskierrosten tuloksista on laskettu 95. prosenttipiste. 95. prosenttipisteen voidaan katsoa kuvastavan kevään huippupitoisuuspäivää, jolloin säästä tai muista ulkoisista seikoista johtuvat tekijät eivät vaikuta vertailuun.

Helsingissä Nuuskija-auton reitti on käsitelty kolmessa osassa (keskusta, länsi, itä) kunnossapitoalueiden mukaisten aluerajojen mukaan. Vantaalla Nuuskija-auton reitti on käsitelty omana kokonaisuutenaan.

Lisäksi trendit esitetään ilmanlaadun mittausasemilla mitatuille PM₁₀-vuorokausipitoisuuksille Mannerheimintien ja Tikkurilantien osalta. Trendien analysoimiseksi on käytetty kevään vuorokausikeskiarvoja ajanjaksolla 15.3.–15.5. Kyseisen ajanjakson vuorokausipitoisuuksista on laskettu 95. prosenttipiste. Ilmanlaatuaineiston osalta PM₁₀-arvosta lasketun 95. prosenttipisteen katsotaan johtuvan katupölystä (Anttila ym. 2010.) Mittausasemien tuloksien rinnalla esitetään Mannerheimintien ja Tikkurilantien katukohtaisen Nuuskija-pitoisuuden trendi.

Trendien arvioimiseen on käytetty Ilmatieteenlaitoksella kehitettyä, aikasarjojen trendianalyysiin soveltuvaa MAKESENS-sovellusta.

<https://en.ilmatieteenlaitos.fi/makesens>

Trendeille annetut merkitsevyystasot ovat

+ $\alpha=0,1$
* $\alpha=0.05$
** $\alpha=0,01$
*** $\alpha=0,001$

Kuva 16: Makesens

3.5.1 Nuuskijan reittikeskiarvo, 95. prosenttipiste (15.3.–15.5.)

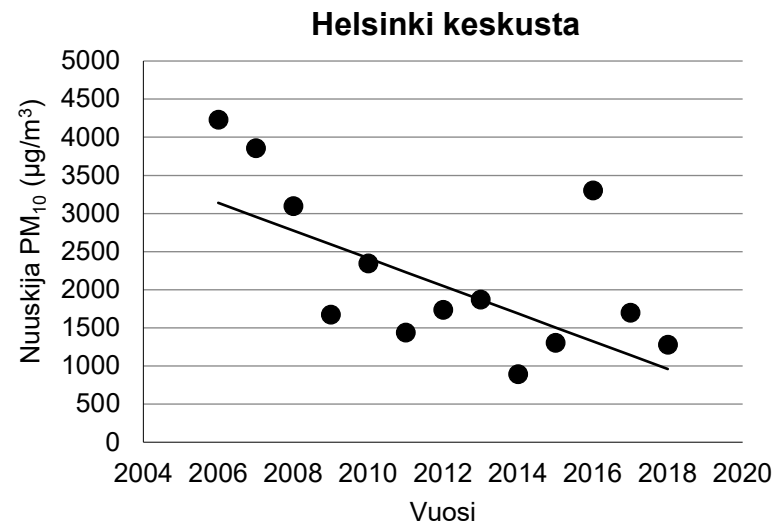
Helsinki, keskusta

Helsingin keskustan reitin katuihin on alun perin lukeutunut Aleksanterinkatu, Fredrikinkatu, Kaisaniemenkatu, Kaivokatu, Kalevankatu, Kansakoulunkatu, Mannerheimintie (Erottajalta Kiasmalle), Simonkatu ja Unioninkatu. Vuonna 2013 osa keskustan lyhyistä kaduista (Kalevankatu, Kansakoulunkatu) jätettiin aineiston käsittelyssä tulosten ulkopuolelle. Nuuskijan mittaustavan (TEOM keskiarvostus) vuoksi lyhyille kaduille tuli harvoin enempää kuin yksi tai kaksi mittauspistettä. 2017 jälkeen mittausreitistä on lisäksi jäänyt Simonkatu. (Kuva 17) Aleksanterinkadulla pitoisuudet ovat olleet muita katuja selvästi korkeampia.

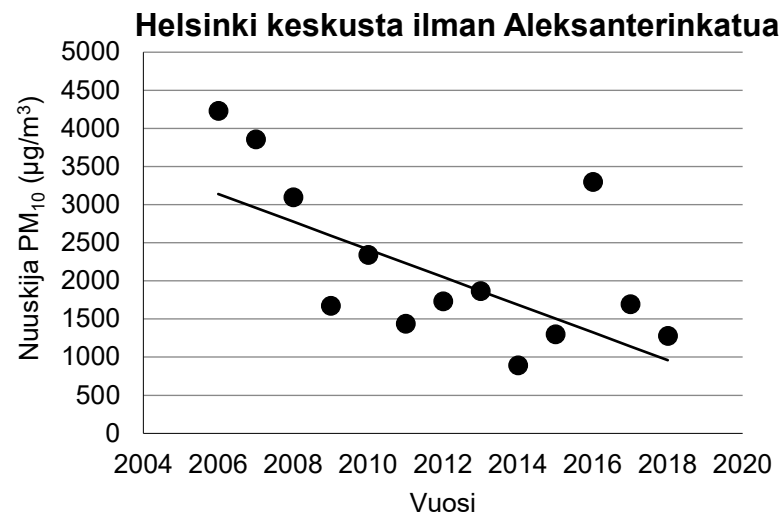
Selittävänä tekijöinä on mm. kadulla käytetty pintamateriaali (kivilaatta), lämmitys sekä raitiotiet (jarruhiekka) ja rajoitettu ajoneuvoliikenne, jonka johdosta ns. itsepuhdistuminen on vähäistä. Tämän vuoksi trendit on käsitelty sekä Aleksanterinkadun kanssa että ilman. Tällä on jonkin verran vaikutusta laskevan trendin merkitsevyytasoon. (Kuva 18)

Laskevan trendin merkitsevyytasoo

- * $\alpha=0,05$ (kaikki kadut)
- + $\alpha=0,1$ (ilman Aleksanterinkatua)



Kuva 17: 95 % -piste Helsingin keskusta, Nuuskija-pitoisuus

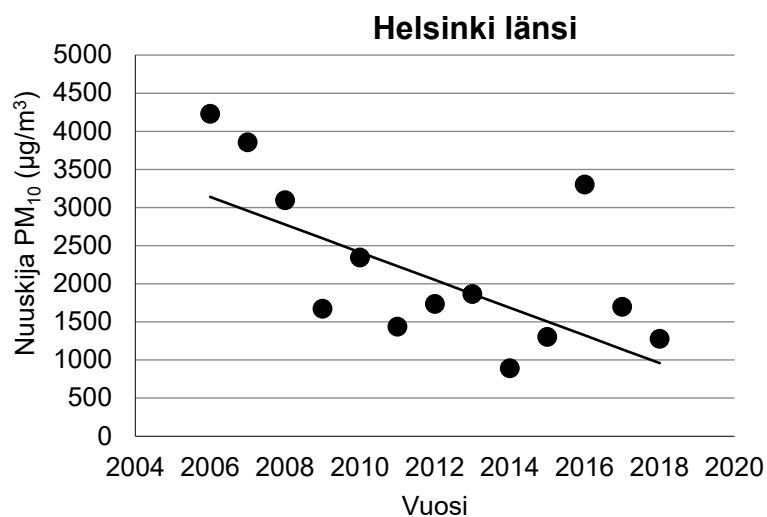


Kuva 18: 95 % -piste Helsingin keskusta ilman Aleksanterinkatua, Nuuskija-pitoisuus

Helsinki, länsipuoli

Helsingin läntisen reitin katuihin on alusta saakka lukeutunut: Haartmaninkatu, Mannerheimintie (välillä Ooppera–Töölöntulli), Runeberginkatu, Topeliuksenkatu ja Tukholmankatu (Kuva 19). Mechelininkatu on ajettu osana reittiä kevästä 2016, mutta se ei ole mukana reittikeskiarvon laskennassa eikä täten vaikuta trendianalyysissä.

Laskevan trendin merkitsevyystaso ** $\alpha=0,01$

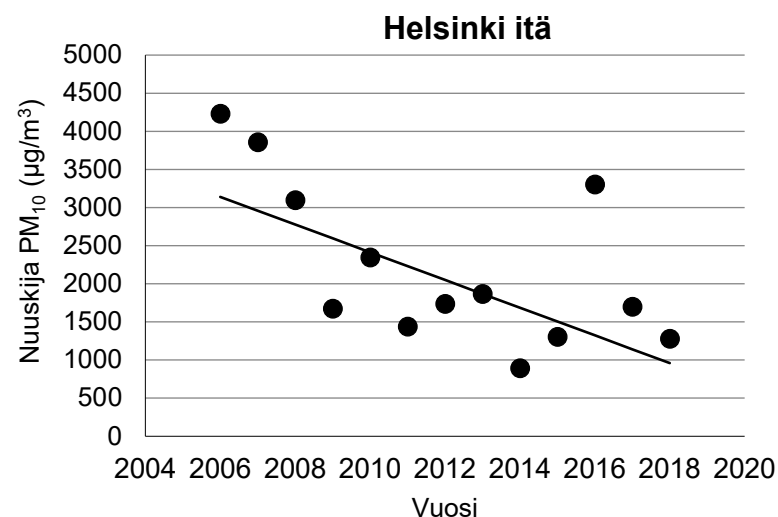


Kuva 19: 95 %-piste Helsinki, Länsi, Nuuskija-pitoisuus

Helsinki, itäpuoli

Helsingin itäisen reitin katuihin on alusta saakka lukeutunut: Hakaniemenkatu, Hakaniemenranta, Hämeentie, Pääskylänkatu (2014 asti), Siltasaarenkatu ja Sörnäisten rantatie (Kuva 20). Myöhemmin mukaan tulleet Mäkelänkatu ja Kalasataman työmaa-alueen kadut eivät ole mukana reittikeskiarvon laskennassa eivätkä täten vaikuta trendianalyysissä.

Laskevan trendin merkitsevyystaso * $\alpha=0.05$



Kuva 20: 95 %-piste Helsinki, Itä, Nuuskija-pitoisuus

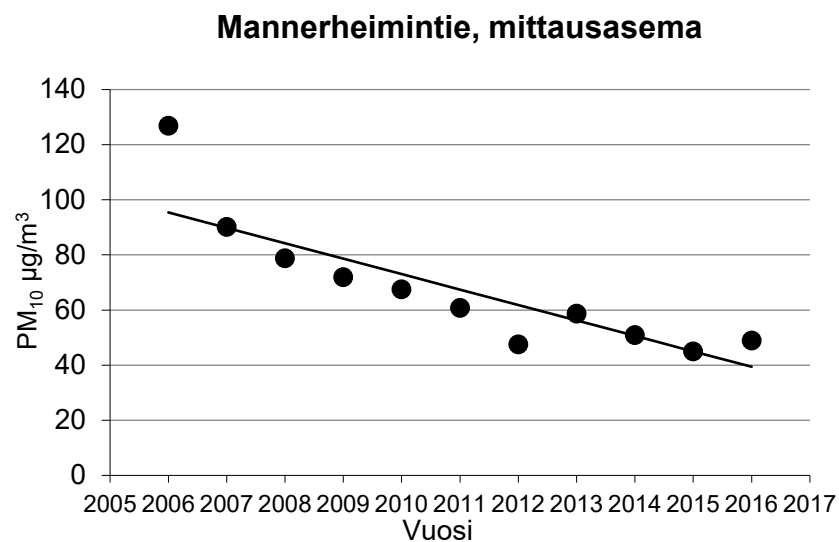
Mannerheimintie, HSY:n ilmanlaatuaineisto

Ilmanlaadun mittausasemien PM₁₀-trendien analysoimiseksi on käytetty kevään vuorokausikeskiarvoja välillä 15.3.–15.5. Kyseisen ajanjakson pitoisuuksista on laskettu 95. prosenttipiste, jonka katsotaan kuvaavan kevään huippupitoisuuspäivää, ja jonka voidaan katsoa johtuvan katupölystä (Anttila ym. 2010.)

Mannerheimintien mittausasema, Helsinki (kuva 21)

Laskevan trendin merkitsevyystaso

- *** $\alpha=0,001$

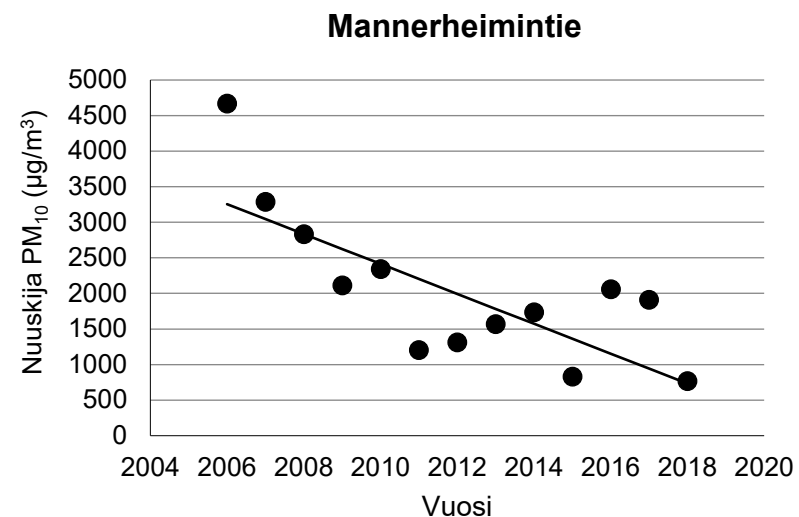


Kuva 21: 95 %-piste, Helsinki, Mannerheimintie (mittausasema)

Mannerheimintie, Nuuskijan katukohtainen keskiarvo (kuva 22)

Laskevan trendin merkitsevyystaso

- ** $\alpha=0,01$



Kuva 22: 95 %-piste, Helsinki, Mannerheimintie, Nuuskija- pitoisuus

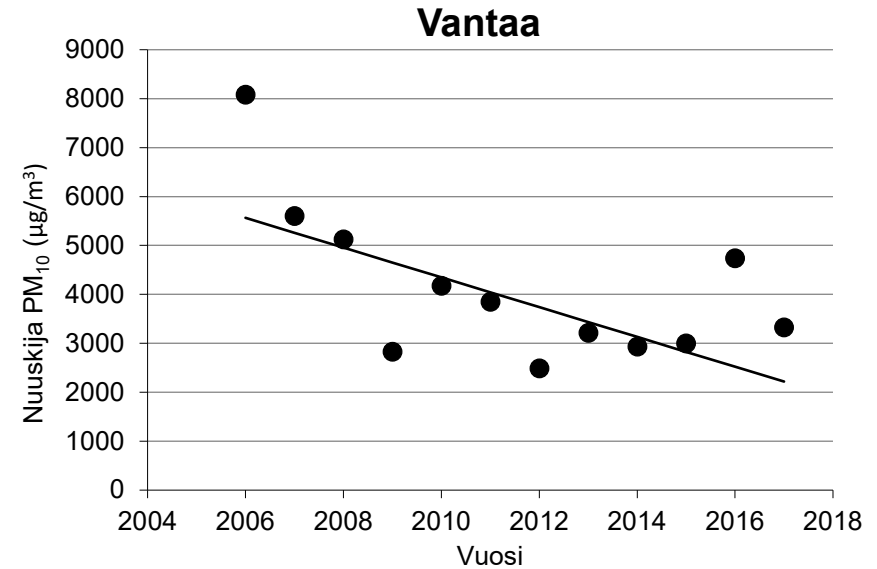
Vantaa, Tikkurila

Vantaan reittiin kuuluvat kadut: Kielotie, Lummetie (ei ajettu 2012), Talkootie, Talvikkitie, Tikkurilantie, Ratatie (2011 asti) ja Urheilutie. (Kuva 23)

Vuodesta 2008 lähtien Talvikkitie ja Tikkurilantie on jaettu kahteen peräkkäiseen jaksoon, joista toinen merkitty *:llä. Tähdellä merkityt osiot, sekä Talkootie koko pituudeltaan pestiin PIMU-laitteella 2014 asti, jonka jälkeen kaikki Vantaan reitin kadut ovat olleet PIMU-pesun piirissä, mutta aineiston käsittelyssä Tikkurilantien ja Talvikkitien jako on säilytetty.

Laskevan trendin merkitsevyystaso:

- $\alpha=0.05$



Kuva 23: 95 %-piste, Vantaa, Tikkurila. Nuuskija-auton pitoisuus

Tikkurila, HSY:n ilmanlaatuaineisto

Ilmanlaadun mittausasemien PM₁₀-pitoisuuksien trendien analysoimiseksi on käytetty kevään vuorokausikeskiarvoja välillä 15.3.–15.5. Kyseisen ajanjakson pitoisuuksista on laskettu 95. prosenttipiste, jonka katsotaan kuvaavan kevään huippupitoisuuspäivää, ja jonka voidaan katsoa johtuvan katupölystä (Anttila ym. 2010.)



Kuva 24: Tikkurilantie*, aineistossa mukana oleva osuus

Tikkurilan mittausasema, Vantaa (kuva 25)

Laskevan trendin merkitsevyystaso:

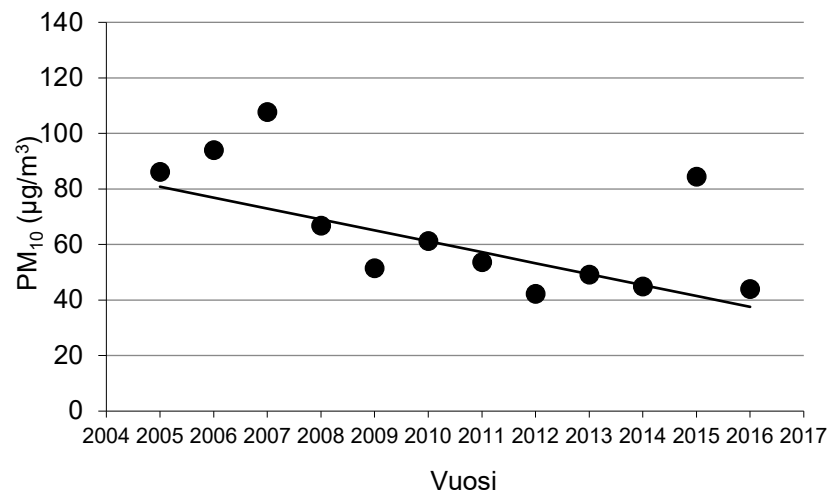
- $\alpha=0,05$

Tikkurilantie*, Nuuskijan katukohtainen keskiarvo (kuva 26)

*) Osuus Tikkurilantiestä välillä Vernissakatu – Kielotie (Kuva 24, HSY:n ilmanlaadunmittausaseman sijainti merkattu sinisellä neliöllä)

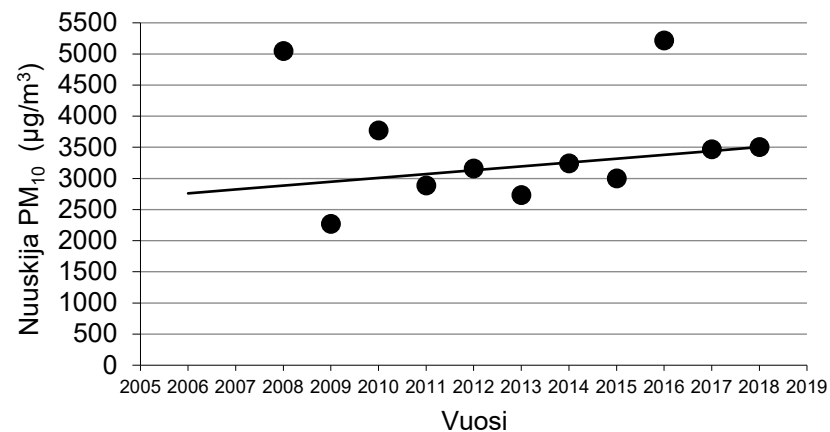
Tuloksien tarkastelussa ei havaittavissa laskevaa trendiä. Nuuskijan mittaamia korkeita pitoisuuksia Tikkurilan alueella saattavat osaltaan selittää alueella pitkään jatkuneet rakennustyömaat.

Tikkurila, mittausasema



Kuva 25: 95 %-piste, Vantaa, Tikkurila (mittausasema)

Tikkurilantie*, Vantaa



Kuva 26: 95 %-piste, Vantaa, Tikkurilantie, Nuuskija- pitoisuus

3.5.2

Yhteenveto

Mikä on katupölyn vuodenaikaisvaihtelu tutkituissa kohteissa? Milloin huippupäästöt ja pitoisuudet esiintyvät? Onko tilanne muuttunut vuosien välillä ja mikä on vuosien välinen vaihtelu?

Kevään 2015 päästötaso katuverkolla (Nuuskijalla mitattuna) oli Helsingissä korkeimmillaan alkukevästä. Vantaalla huippupäästöt mitattiin maaliskuun puolen välin tienoilla, vaikkakin pesut ja pölynsidonnat ovat olleet samaan aikaan päällekkäin käynnissä. Yleisesti ottaen pitoisuudet olivat Helsingissä matalat läpi kevään ja Vantaallakin pitoisuudet olivat laskussa jo huhtikuun alkupuoliskolle päästäessä.

Kevään 2016 huippupäästöpäivä ajoittui Helsingissä huhtikuun loppupuoliskolle, jolloin korkeita päästöjä mitattiin erityisesti keskustan ja itäisen lenkin kaduilla. Kyseisenä ajankohtana tehtiin vähemmän pölynsidontaa ja kevätpesut olivat käynnissä (ei kuitenkaan kaikilla alueilla). Vantaalla huippupäästöt saavutettiin aikaisemmin, maaliskuun huhtikuun vaihteen molemmin puolin. Pölynsidontaa tehtiin Vantaalla vain maaliskuussa kahtena päivänä, ja pesut aloitettiin 31.3. jatkuen osalla kaduista huhtikuun lopulle, jolloin Nuuskijan tasot olivat laskeneet ”kesäpuhtaalle”. Pääkaupunkiseudulla mitatut PM₁₀-tuntipitoisuudet olivat maaliskuun 17. ja 18. erittäin korkeita. Hengitettävien hiukkasten raja-arvotaso (50 µg/m³ vrk-keskiarvo) ylittyi kaikilla asemilla.

Keväällä 2017 huippupäästöt Nuuskijalla mitattiin Helsingissä jo aikaisin helmikuussa 8.2., jolloin oli myös PM₁₀-raja-arvotason ylitys Mäkelänkadun,

Mannerheimintien ja Mechelininkadun mittausasemilla. Kevään yleinen taso vastasi Nuuskija-indeksiin 50–100 arvoa (”Tienpinta kevät puhdistusten jälkeen”). Vantaalla mitattiin alkukevästä lähinnä märkiä katuja. Kevään huippupitoisuudet mitattiin 11.4., huolimatta siitä, että toinen kevään pölynsidonnoista tehtiin päivää aiemmin 10.4. Lisäksi hiekanpoistot ja pesut olivat käynnissä monilla kaduilla ja samanaikaisesti Talvikkitiellä oli käynnissä työmaa (11.4.).

Reittiin lisätyllä Hakunilan ”pistokoereitillä” mitattiin korkeita pitoisuuksia molempina mittausvuosina (2016–2017). Erityisesti Palttintie ja Kyytitie erottuvat korkeiden pitoisuuksien vuoksi. Selittäviksi tekijöiksi on esitetty mm. korkeaa raskaan liikenteen osuutta, mäkistä profiilia ja vähäistä liikennettä (hidas ”itsepuhdistuminen” ajovirran myötä).

Kohteiden trenditarkastelussa huomataan, että kevään huippupitoisuudet ovat laskevia tarkasteluajanjaksolla, toisaalta trendit näyttävät tasaantumisen merkkejä. Trendien laskuun selittävinä tekijöinä on mm. tehostuneet katupölyntorjuntatoimet sekä toimenpiteiden oikea-aikaisuus. On kuitenkin syytä ottaa huomioon, että vaikka trendit ovat laskevia, trendeihin vaikuttavat tarkasteluajankohdian vallitsevat olosuhteet, ajonopeudet, liikennemäärät, pölyntorjuntatoimenpiteet ja käytetyt metodit, jotka poikkeavat toisistaan vuosittain.

4 Katupölyn erikoiskohteet

4.1 Mittaukset ja mallinnus katupölyn erikoiskohteissa

Työpaketin tavoitteena oli selvittää mittauksin ja mallinnuksen avulla katupölyn lähteitä ja päästövähennysmahdollisuuksia katupölyn erikoiskohteissa.

KALPA-hankkeessa mitattiin Nuuskija-autolla myös niin kutsuttuja erikoiskohteita, jotka poikkeavat kaupunkireiteille osuvista säännöllisesti monitoroiduista kaduista. 2015–2018 mitattuja erikoiskohteita olivat mm. pääväyläkohde (Hämeenlinnanväylä, E12), rakennustyömaakohde (Kalasatama) ja ilmanlaadun tutkimuksen ”supersite” (Mäkelänkatu) ja Tikkurilantie.

Mallinnus tehtiin Mäkelänkadulle, Hämeenlinnanväylälle sekä Tikkurilantielle. Mallin tuloksia vertailtiin mitattuihin PM₁₀-pitoisuuksiin, ja niitä käytettiin herkkyystarkastelussa talvikunnossapidon (hiekoitus & suolaus) sekä pölyntorjuntatoimenpiteiden tehokkuuksien arvioinnissa.

Mittaus- ja mallinnus tulokset on esitetty erikseen raportissa.

1. Mäkelänkatu ”supersite”

Nuuskija
WDS
Mallinnus
HSY ilmanlaatu
Lähdeanalyysit

3. Tikkurilantie, Vantaa

Nuuskija
Mallinnus
HSY ilmanlaatu

2. Pääväyläkohde: Hämeenlinnanväylä

Nuuskija
HSY ilmanlaatu
Mallinnus

4. Rakennustyömaakohde:

Kalasatama
Nuuskija

Kuva 27: Katupölyn erikoiskohteet

4.1.1 Kohde: Mäkelänkatu, Helsinki

Mäkelänkadun mittauskohde on vilkasliikenteinen katukuilu, Helsingin itäisessä kantakaupungissa. Liikennemäärä HSY:n mittausaseman luona (Mäkelänkatu 50) on n. 28 000 ajoneuvoa / arki-vrk, josta noin 10 % raskasta liikennettä. Nopeusrajoitus kohteessa on 50 km/h.

Kohdetta kutsutaan myös ilmanlaadun ”supermittauskohteeksi” (kuva 28). Kohteessa tehdään mm. jatkuvaa ilmanlaadun, sään ja liikenteen monitorointia sekä erilaisia lyhytaikaisempia mittauskampanjoita. Mittausaseman kohdalla kulkee kolme kaistaa etelään ja kolme pohjoiseen. Oikeanpuoleinen kaista molempiin suuntiin on bussikaista. Ajo- ratojen välissä sijaitsevat raitiotiekiskot ja viherkaistat.

Mäkelänkadulta on kirjattu ylös päälystetiedot sekä hiekoitusmateriaalin tiedot. Näitä lähtötietoja on käytetty hyväksi erityisesti 2015–2016 toteutetuissa lähdeanalyysseissä. Kunnossapidon toimenpidekirjaukset kerätään vuosittain STARA:lta. Aineiston käsittelyvaiheessa tieosuus on jaettu kolmeen osaan (Mäkelänkatu 1/2/3, kuva 29). Nuuskijan mittautulokset on esitetty näiltä osuuksilta.



Kuva 28: Mäkelänkadun mittausasema (lähde: HSY)

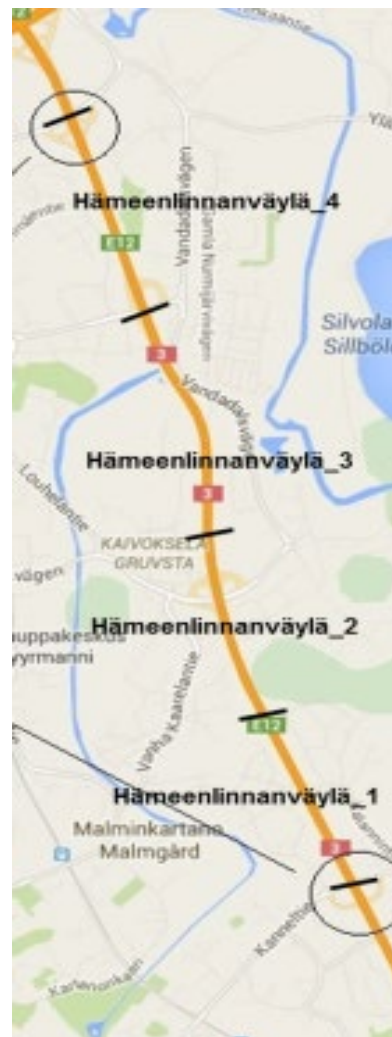


Kuva 29: Mäkelänkadun tieosuudet

4.1.2 Kohde: E12, Hämeenlinnanväylä

Nuuskijalla on KALPA-hankkeessa mitattu säännöllisesti myös pääväyläkohdetta (Kuva 30). Hämeenlinnanväylää Kehä 1:n ja Kehä 3:n liittymien välillä on ajettu kaupunkireittien yhteydessä katupölykaudella noin maaliskuun alusta toukokuun loppuun. Liikennemäärä on n. 48 000 ajoneuvoa / arki-vrk (n. 6% raskasta). Mittauskohteessa ajetaan maantienopeudella 80 km/h (mittausnopeus ollut noin 78 km/h).

Aineiston käsittelyvaiheessa tieosuus on jaettu neljään osaan (Hämeenlinnanväylä 1/2/3/4, kuva 30). Nuuskijalla mitatut tulokset on esitetty näiltä neljällä osuudelta. Noin puolessa välissä mittausosuutta (Hämeenlinnanväylä osuudet 2 ja 3 välissä) sijaitsi HSY:n ilmanlaadun mittausasema vuosina 2015–2016.



Kuva 30: Hämeenlinnanväylän mittausosuudet

4.1.3 Kohde: Tikkurilantie, Vantaa

Tikkurilantien mittauskohde on avoin tieympäristö. Liikennemäärä HSY:n mittausaseman luona on n. 9538 ajoneuvoa / arki- vrk (n. 7 % raskasta). Nopeusrajoitus kohteessa on 40 km/h. Mittausasema sijaitsee risteyksessä, jonka kadut ovat kaksikaistaisia. Kunnossapidon toimenpidekirjaukset on saatu Vantaan kaupungin kunnossapidolta, ja niitä on käytetty hyväksi kohteen mallinnuksessa.

Aineiston käsittelyssä tie on jaettu kahteen osaan, ja Nuuskijan mittaustulokset on esitetty vain toiselta osuudelta (kuva 31).



Kuva 31: Tikkurilantien mittausosuus



Kuva 32: Tikkurilantie, Vantaa

4.1.4 Kohde: Kalasatama, Helsinki

Nuuskijan reitti ulotettiin keväällä 2015 Kalasatamaan työmaa-alueelle (kuva 33), jossa oli meneillään laaja aluerakentaminen. Työmaan läheisyydessä ei ollut varsinaista ilmanlaadun mittausasemaa. HSY monitoroi ilmanlaatua Osiris-sensorilla maalís-toukokuussa 2018. Sensori sijaitsi Kalasataman koulun edustalla Polariksenkatu 1:ssä.

Kohteesta ei ole saatavana erillisiä tietoja liikennemäärästä, ja meteorologia saadaan muilta mittausasemilta. Toimenpidekirjaukset on saatu STARA:lta. Nuuskija mittausten tuloksissa on huomioitu vain seuraavat kadut: Arielinkatu (2015–2018) – Kyläsaarenkatu (2015–2018) – Hermannin rantatie (2015–2016) – Työpajankatu (2018).



Kuva 33: Kalasataman reitti

Nuuskija-mittaus

Nuuskija-mittaukset toteutettiin jokaisessa 4:ssä erikoiskohteessa kaupunkikierrosten yhteydessä. Kohteet ajettiin 2 kertaa, jokaisena mittauspäivänä.

WDS -mittaus

WDS -mittaukset tehtiin HSY:n mittausaseman kohdalla. WDS:llä mitattiin etelään päin menevällä bussikaistalla.

Ensimmäiset WDS -mittaukset toteutettiin huhtikuussa 2017, ja tämän jälkeen kadun poikittaisprofiilin mittaus on pyritty toteuttamaan kerran kuukaudessa. WDS -näytteitä otettiin myös jalkakäytävältä neljästä kohtaa.

Lähdeanalyysit

Lähdeanalyysit tehtiin ilmasta ja Nuuskijan renkaan takaa kerätyistä näytteistä Mäkelänskadulla vuonna 2016.

4.2 Mittaukset katupölyn erikoiskohteissa

4.2.1 Yleiskatsaus mittauksiin Mäkeläkadulla



Kuva 34: Yleiskatsaus mittauksiin Mäkeläkadulla

Nuuskijalla mitatut pitoisuudet kolmella eri kaistalla:

- Molempiin ajosuuntiin kadunpinnan pölytason mittaukset Nuuskijalla kaikilla kolmella kaistalla.

Raitiotiemittaukset kahtena päivänä 2015:

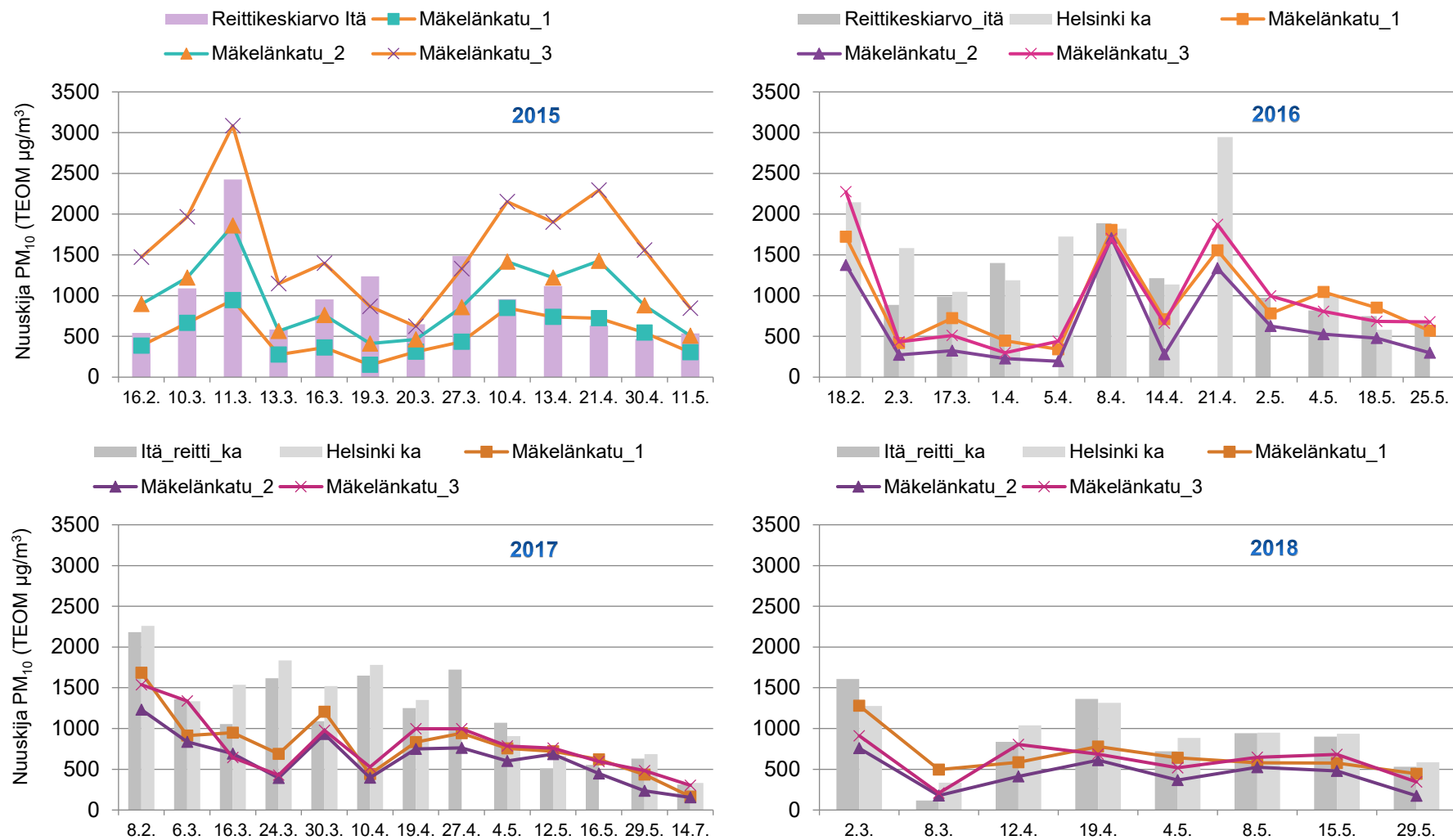
- 10-20 x korkeammat pitoisuudet kuin ajoradoilla

WDS mittaukset:

- Bussikaistalla
- Ilmanlaadun mittausasema
- Mallinnus

4.2.2 Nuuskija-mittaukset, Mäkelänkatu 2015–2018

Alla (kuva 35) on esitetty Nuuskija-auton mittaamat PM_{10} -pitoisuuden keskiarvot mittauskerroittain vuosilta 2015–2018. Kuvaajiin on myös esitetty koko Helsingin reitin ja itäisen reitin keskiarvot. Osuudet on esitetty kuvassa 28.

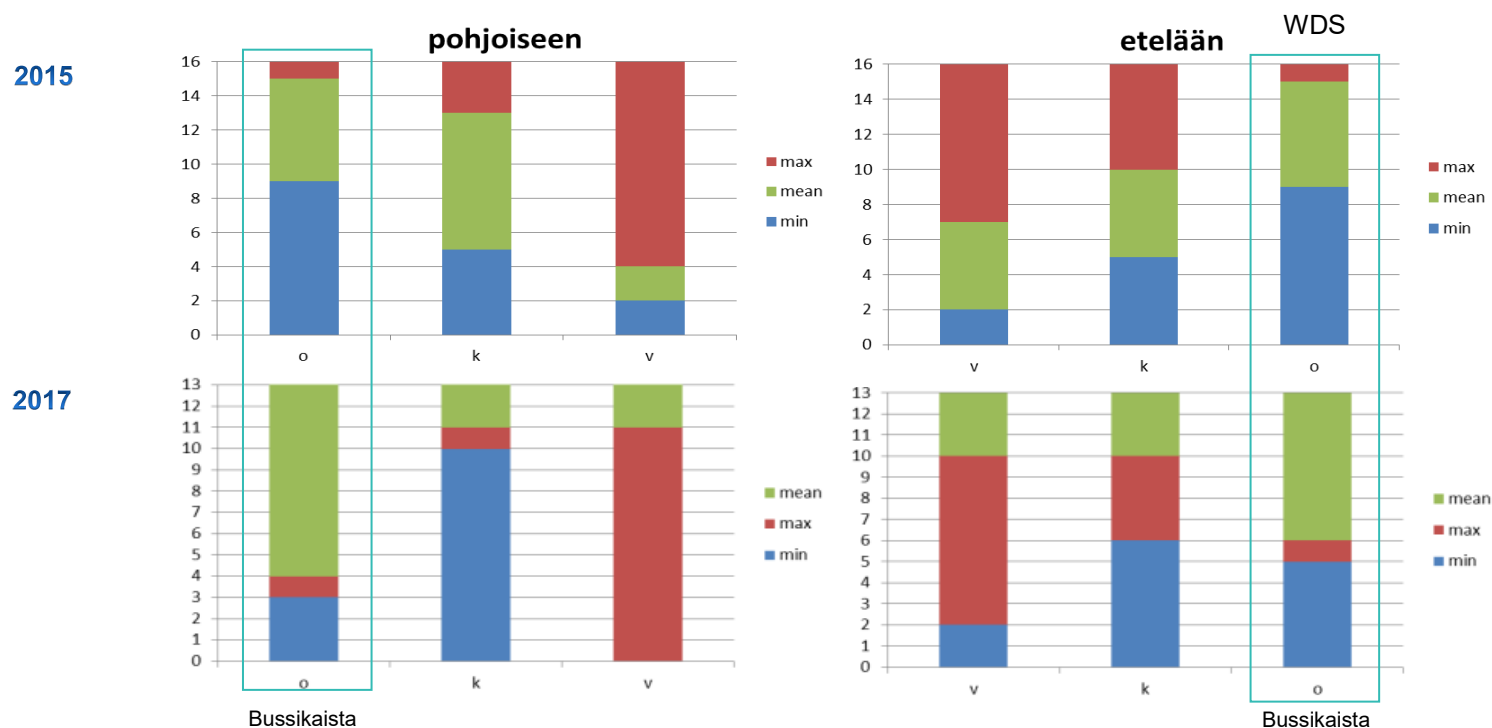


Kuva 35: Nuuskija-mittaukset, Mäkelänkatu 2015–2018

4.2.3 Nuuskijan mitaamat PM₁₀ -pitoisuudet eri kaistoilla 2015 & 2017

Nuuskija-auton mittaukset osoittavat, että kolmesta rinnakkaisesta kaistasta vasemman puoleisen kaistan pitoisuudet olivat kolmen kaistan vertailussa korkeimmat (Kuva 36). Esimerkiksi 2015 kaikista 16 mittauspäivästä korkeimmat pitoisuudet mitattiin (kuvassa 36, punaisella =max), pohjoiseen suuntaavalla vasemmalla kaistalla 12 päivänä ja etelään suuntaavalla vasemmalla kaistalla 9 päivänä. Keväällä 2017 13 mittauspäivästä korkeimmat pitoisuudet mitattiin pohjoiseen suuntaavalla vasemmalla kaistalla 13 päivänä ja etelään suuntaavalla vasemmalla kaistalla 8 päivänä.

Bussikaistoilla suoritetaan enemmän pölynsidontaa kuin muilla kaistoilla, mikä saattaa osaltaan selittää bussikaistojen puhtautta. Toisaalta pölykuorman lisääntymiseen vasemmalla kaistoilla saattavat vaikuttaa raitiotiet (jarruhiekka) sekä myös liikennekäyttäytyminen (kaistanvaihdot). Mittaustapa (mittausrengas aina kaistan vasemmassa laidassa) osiltaan myös vaikuttaa tuloksiin.



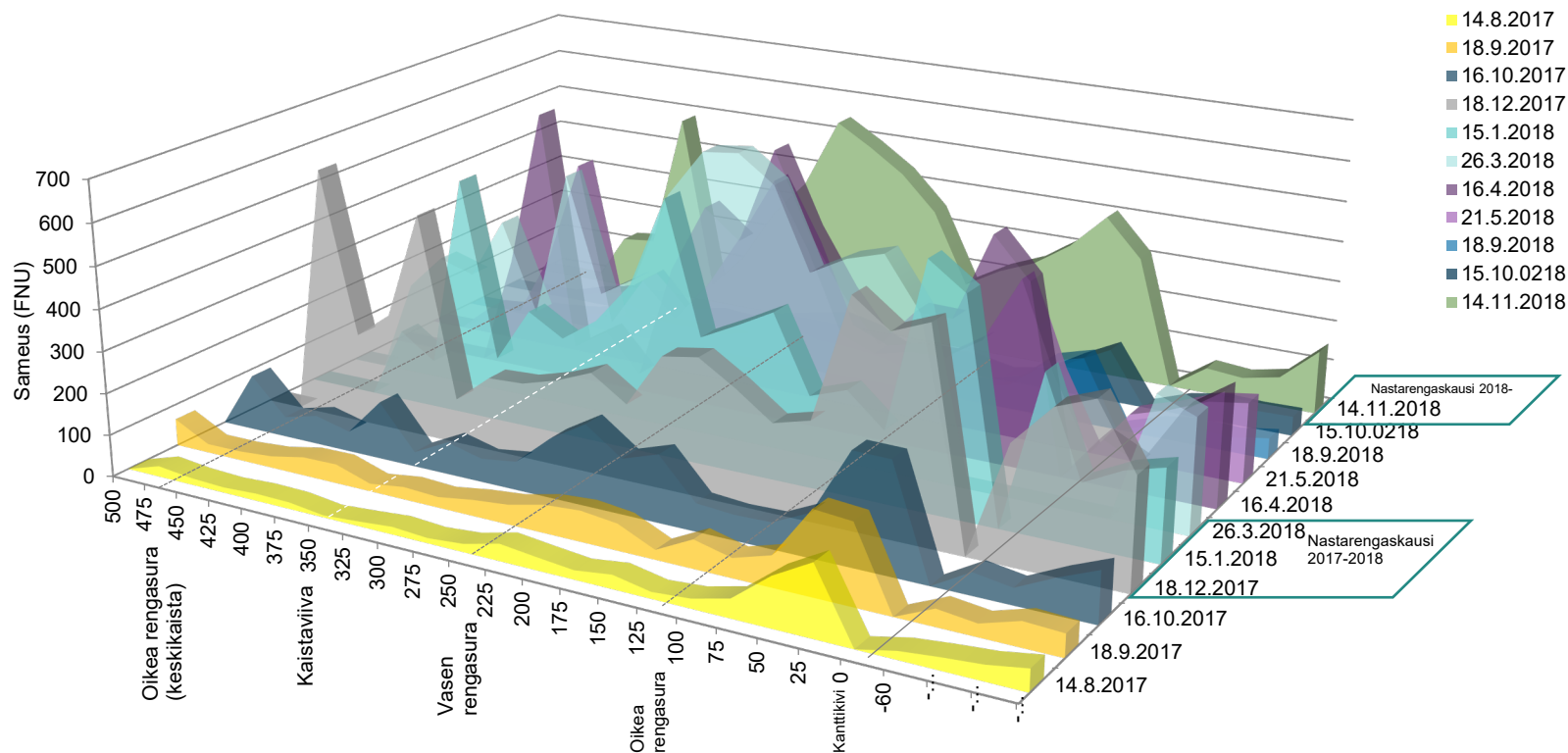
Kuva 36: Mäkelänkadulla mitatut pitoisuudet, eri kaistoilla 2015 ja 2017

4.2.4 WDS -mittaukset, Mäkelänkatu 2017–2018

Pölyn jakautuminen kadun poikittaisprofiilissa sekä pölykuorman kertyminen nastarengaskauden alussa.

WDS -mittaukset tehtiin Mäkelänkadulla etelään päin menevältä bussikaistalta. Kaista on Nuuskija-auton mittaamien pitoisuuksien mukaan kolmesta kaistasta puhtain. Bussikaistalla myös tehdään runsaasti pölynsidontaa. Näytteet otettiin 25 cm välein ja näin saatiin tietoa pölyn jakautumisesta kadun poikittaisprofiilissa (kanttikivi, rengasurat, rengasurien väli). Myös jalkakäytävältä mitattiin 4 näytettä.

Mittaukset osoittivat vaihtelua kanttikiven vierestä mitatun pölykuorman määrässä (usein korkein FNU-tulos, FNU = Formazin Nephelometric Units = sameus) verrattuna esimerkiksi rengasurista mitattuihin lukuihin. Myös pölykuorman kertyminen katu ympäristöön nastarengaskauden alkaessa on osoitettavissa WDS-tuloksista. Pitoisuudet ovat alhaisimmillaan loppukesästä ja alkusyksystä, kunnes lokakuussa tai viimeistään marraskuussa mittaukset osoittavat jälleen pitoisuuden kasvua. (kuva 37)



Kuva 37: WDS-profiili Mäkelänkadulla 2017-2018

4.2.5 Lähdeanalyysit, Mäkelänkatu 2015–2016

Mäkelänkadulla selvitettiin mittauksin ja lähdeanalyysin katupölyn lähteitä ja niiden osuuksia ilmasta ja Nuuskijan renkaan takaa kerätystä näytteistä. Tutkimusmenetelmänä käytettiin yksittäishiukkasanalyysiä (kts. esim. Kupiainen 2007). Menetelmässä kerätään tietoa yksittäisten hiukkasten ja hiukkasagglomeraattien koostumuksesta lähdearvioiden pohjaksi. Suodattimilta analysoitiin yksittäisten hiukkasten ja hiukkasagglomeraattien koostumusta elektronimikroskoopilla, johon oli liitetty alkuaineanalyysointilaite (SEM/EDX, JEOL JSM5900LV, Oxford Instruments INCA - ZAF-4 korjaus).

Hiukkaset ryhmiteltiin koostumukseltaan homogeenisiin luokkiin klusterianalyysin avulla (hierarchical cluster analysis). Klusterianalyysin

4.2.6 Lähde ja reseptorinäytteiden keräys

Lähdenäytteet

Päälysteestä otettiin yhteensä kymmenen näytettä. Bussikaistan päälyste erosi kahden muun ajokaistan päälysteestä, ja näin ollen näyte analysoitiin erikseen. (kuva 38). Hiekoitusmateriaalinäyte saatiin kunnossapitoalueen vastaavalta varikolta, ja samasta materiaalista analysoitiin kaksi näytettä.

päällekkäiset luokat poistettiin lähdeanalyysistä varten. Hiukkaslähteiden vaikutusosuuksia arvioitiin laskennallisesti reseptorimallinnuksen avulla käyttäen hyväksi US EPA:n CMB8.2-ohjelmistoa (US EPA 2001). Menetelmässä lasketaan eri hiukkaslähteiden suhteellista vaikutusta esimerkiksi ilmanlaadun mittausaseman hiukkasmassaan (reseptori). Laskennan lähtötiedoksi tarvitaan lähteiden hiukkaskoostumukset.

Päälähteinä Mäkelänkadulla kaudella 2015–2016 arvioitiin olevan liukkaudentorjunnasta aiheutuva katupöly (mineraalipöly, suolahiuksaset), kaukokulkeutunut hiukkasmassa ja liikenteen pakokaasuhiukkasaset. Analyysissä käytetyt koostumusprofiilit on esitetty sivulla 50.

Reseptorinäytteet

Näytteet kerättiin DustTrakien back-up filtereille (kuva 38), joiden on aiempien tutkimusten perusteella havaittu soveltuvan tarkoitukseen. Resuspensionäytteitä kerättiin Nuuskijalla yhteensä yhdeksän: 1 kpl ennen nastarengaskauden alkua (10/2015) ja 8 kpl joulukuun 2016 ja toukokuun 2016 välisenä aikana. Ilmanäytteet kerättiin DustTrak-monitorilla HSY:n ilmanlaatuasemalta Mäkelänkatu 50 kohdalta. Ilmanäytteitä kerättiin seitsemän, ja niiden keräys pyrittiin ajoittamaan yhteen resuspensionäytteiden keräämisen kanssa.

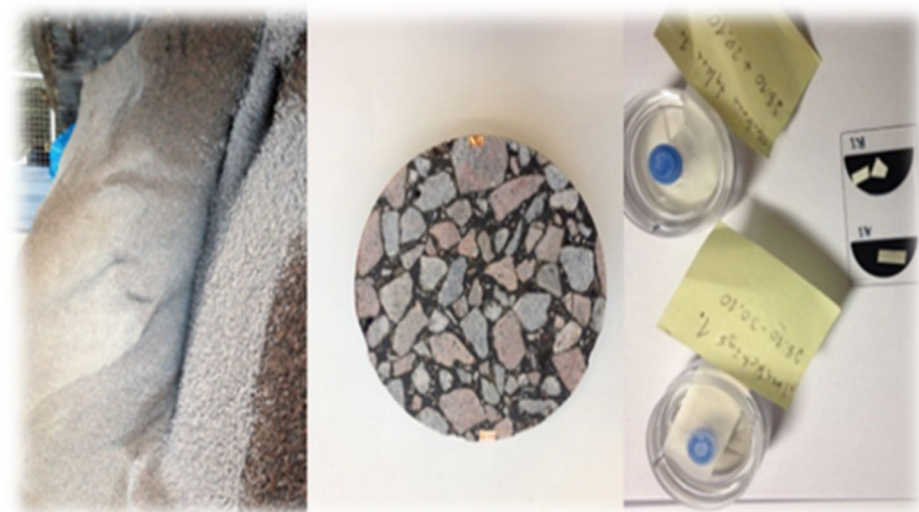
Näyte	Aika ja paikka	Näyte	Aika ja paikka
R1	28.10.2015 Mäkelänkatu	A1	28.10.2015 Mäkelänkatu
R2	7.12.2015 Mäkelänkatu	A2	7.12. Mäkelänkatu
R4	18.12. Mäkelänkatu	A3	3.-4.3. Mäkelänkatu
R6	4.3. Mäkelänkatu	A5	7.-8.4. Mäkelänkatu
R7	17.-18.3. Mäkelänkatu	A6	18.-20.4. Mäkelänkatu
R9	5.4. Mäkelänkatu	A8	11.5. Mäkelänkatu
R10	19.4. Mäkelänkatu	A10	23.5. Mäkelänkatu
R12	11.5. Mäkelänkatu		
R14	23.5. Mäkelänkatu		

Taulukko 3: Reseptorinäytteiden keräysajat. (R) Nuuskijalla kerätty, (A) HSY:n ilmanlaadun mittausasemalla kerätty.

Ylityspäivät 2016 (HSY Mäkelänkatu)

29.2., 10.3., 11.3., 20.3., 12.4., 2.5., 3.5., 4.5., 9.5., 10.5., 13.5., 25.5., 2.6.

Taulukko 4: PM10-raja-arvotason ylitykset, Mäkelänkadulla 2016

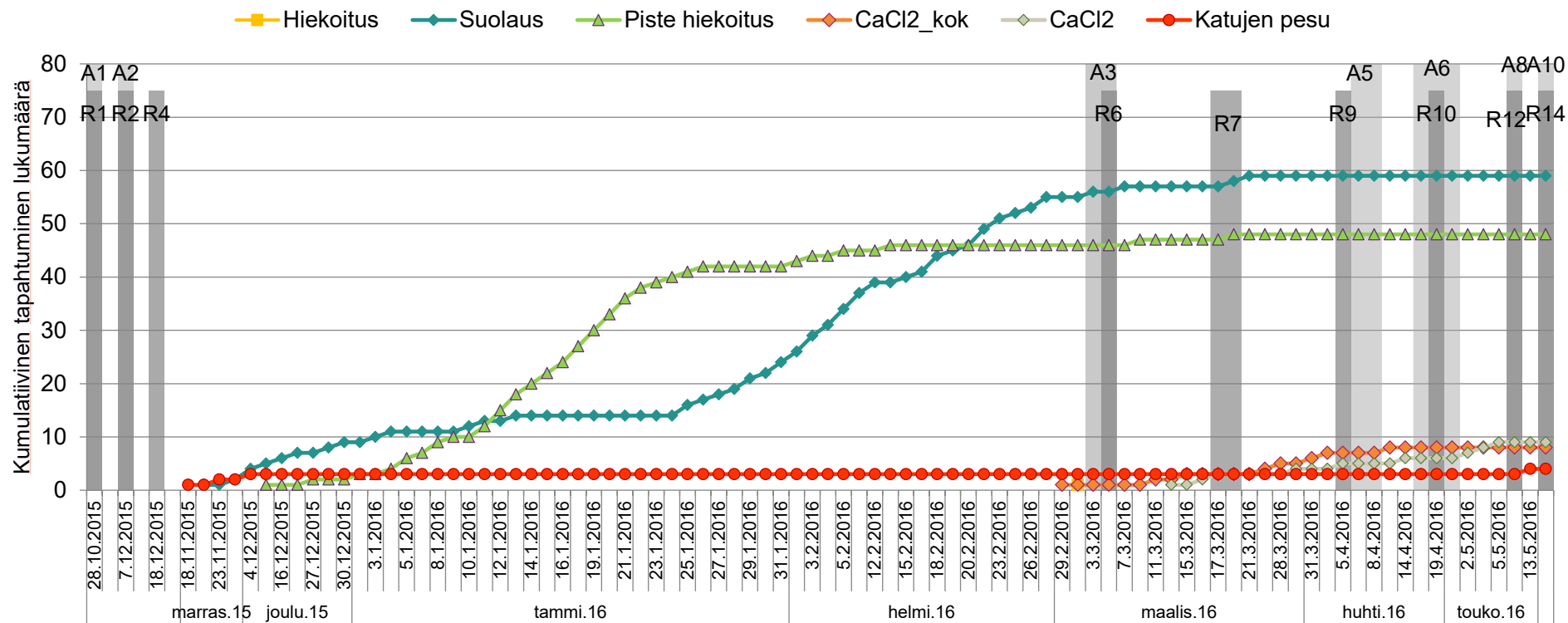


Kuva 38: Lähde- ja reseptorinäytteitä



Kuva 39: reitti resuspensionäytteiden keruusta Mäkelänkadulla
Vihreällä merkitty piste näyttää HSY:n "supersite:n" sijainnin.
Keltaiset laatikot indikoivat kohteessa tehtävää pistehiekoitusta. Hiekoitus tehdään pääasiassa linja-autopysäkeille sekä isoille risteyksialueille.
Punaisella merkitty viiva indikoi Nuuskijalla ajettua reittiä, josta reseptorinäytteet kerättiin.

4.2.7 Näytteiden keruuajat ja toimenpiteet Mäkeläkadulla



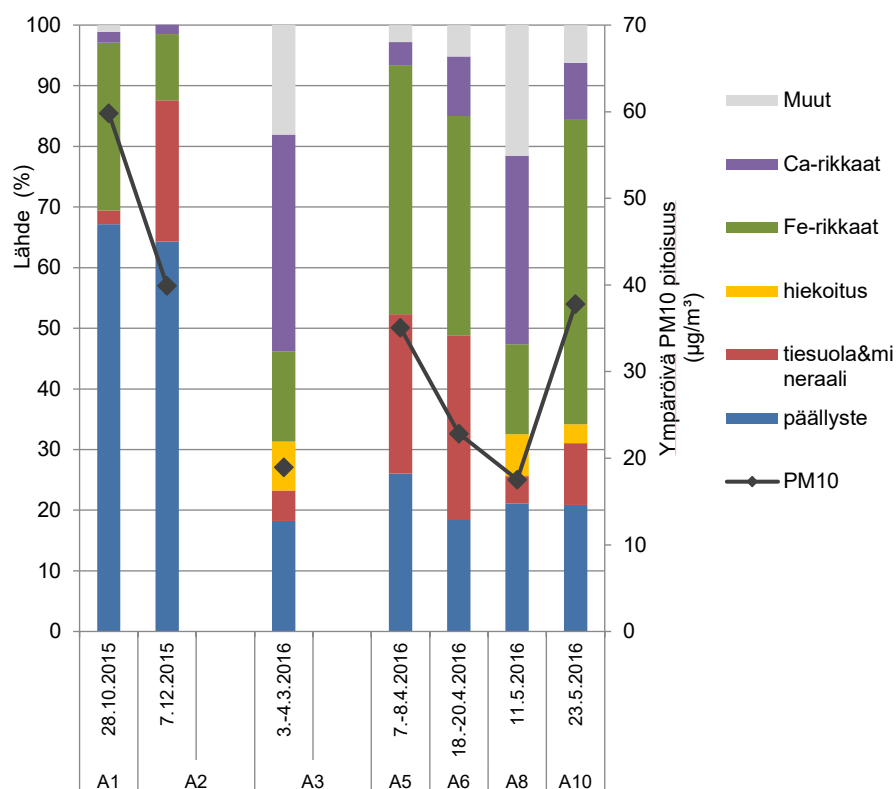
Kuva 40: Kadun kunnossapitotoimenpiteet ja näytteiden keruuajat Mäkeläkadulla 2015–2016

2016 hiekoitukset:

- 1x koko kaista ja 48x "pistehiekoitus"
- CaCl2_kok = pölynsidonta (kalsiumkloridi), koko katu
- CaCl2 = pölynsidonta (kalsiumkloridi), täsmä
- Pistehiekoitus = risteykset & bussipysäkit
- Hiekoitus = koko kaista

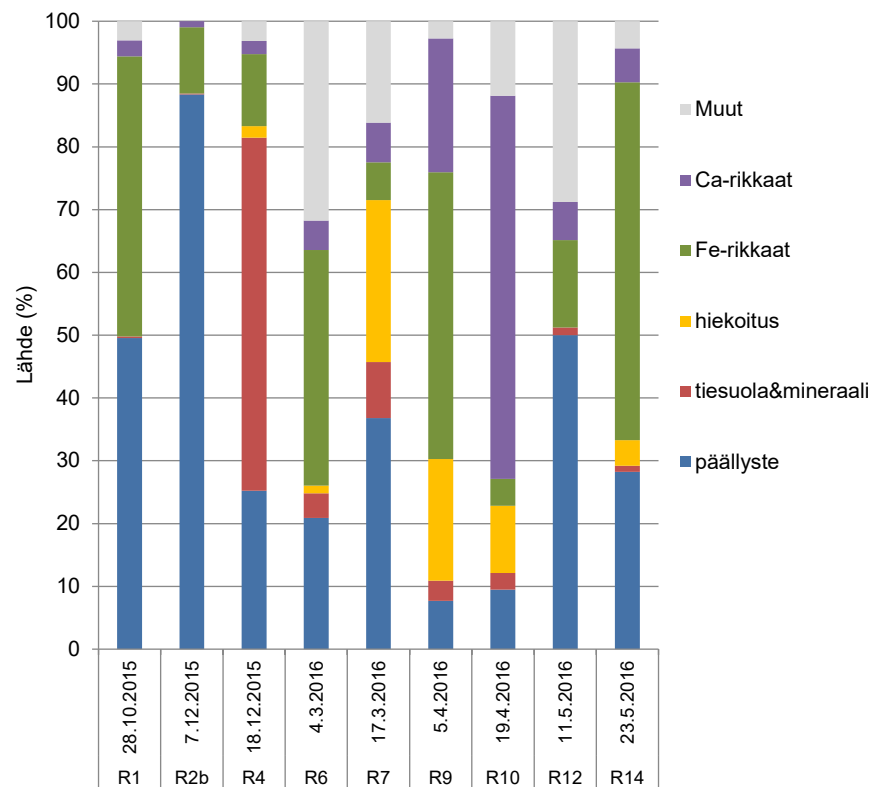
4.2.8 Reseptorimallinnuksen avulla laskettuja lähdeosuuksia

Reseptorimallinnus osoitti tienpinnan olevan suurin mineraalipartikkelien lähde päivinä, jolloin ympäröivä PM₁₀ -pitoisuus oli suurimmillaan. Hiekoituksesta johtuva osuus ympäröivään PM₁₀ -pitoisuuteen oli n.3-8 % (kuva 41). Suspensio näytteissä hiekoituksen osuus oli huomattavasti suurempi, mikä voidaan selittää näytteidenottotapojen eroilla. (kuva 42). Näytteidenotto tehtiin tieosuudella, jolla on risteyksiä sekä bussipysäkkejä, missä hiekoitusta tehdään säännöllisesti talviaikaan.



Kuva 41: Reseptorinäytteet (mittausasema). Lähteiden % -osuus, sekä mitattu ympäröivän PM₁₀-pitoisuuden keskiarvo.

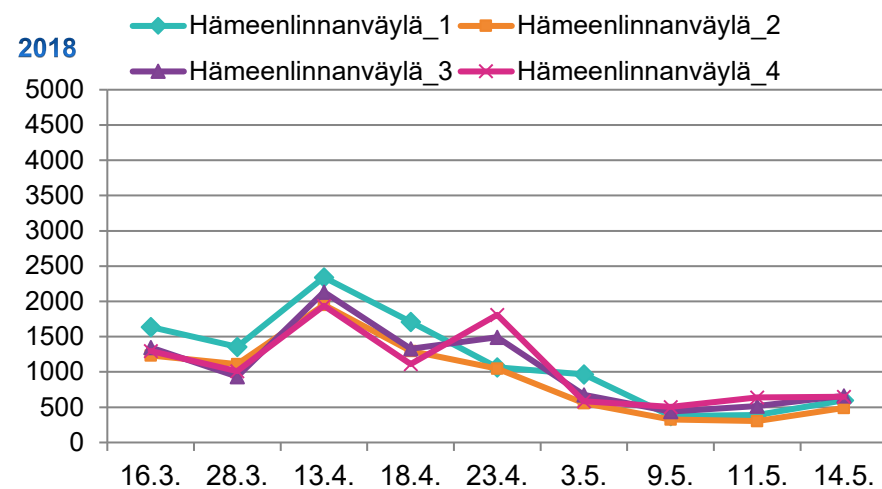
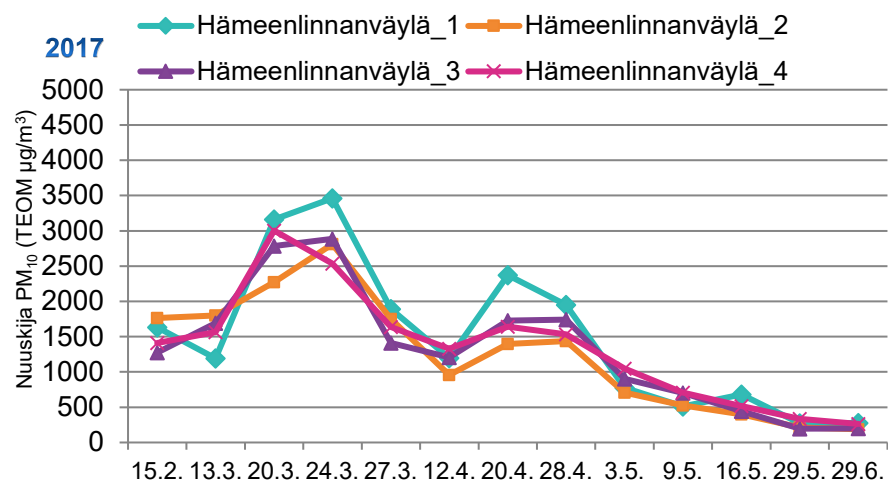
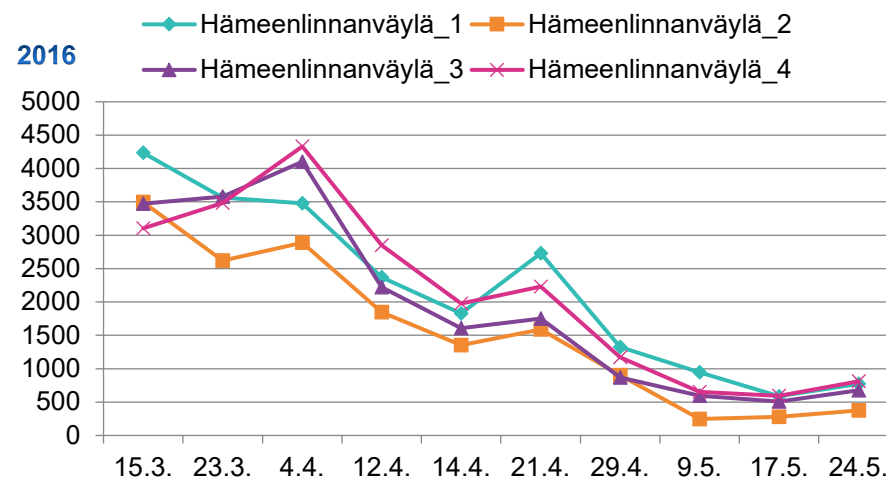
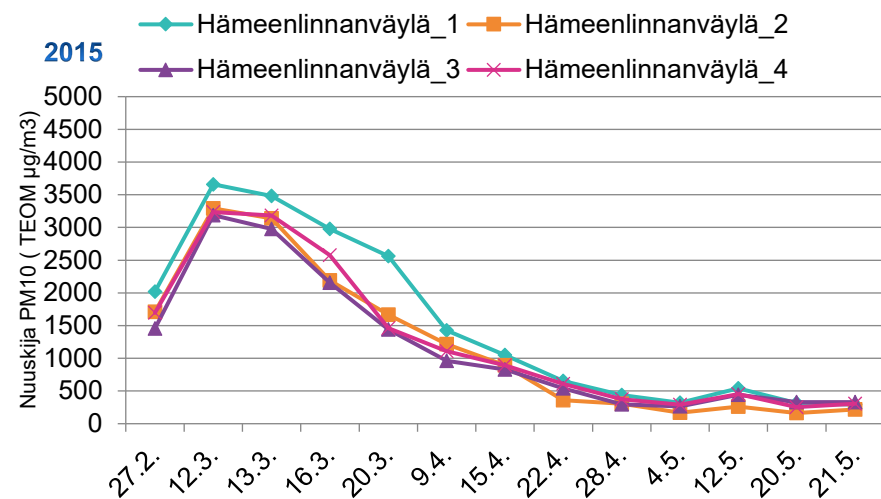
Tiesuola sekä tiesuolalla kyllästetyt partikkelit olivat läsnä ympäröivän PM₁₀ -pitoisuuksien mittauksissa koko tutkimuksen ajan (kuva 41 ja 42). Joissain tapauksissa nämä olivat pitoisuuteen merkittävästi vaikuttavia lähteitä. Kalsium- ja rautarikkaita hiukkasia oli nähtävissä tiettyinä päivinä huhti-toukokuussa. Näiden partikkeleiden lähdettä ei pystytty selvittämään. Tänä aikana katupöly päästöjä pyrittiin vähentämään runsailla kadun kunnossapitotoimilla.



Kuva 42: Reseptorinäytteet (Nuuskija-auto). Lähteiden % -osuus.

4.2.9 Nuuskija-mittaukset, E12, Hämeenlinnanväylä 2015–2018

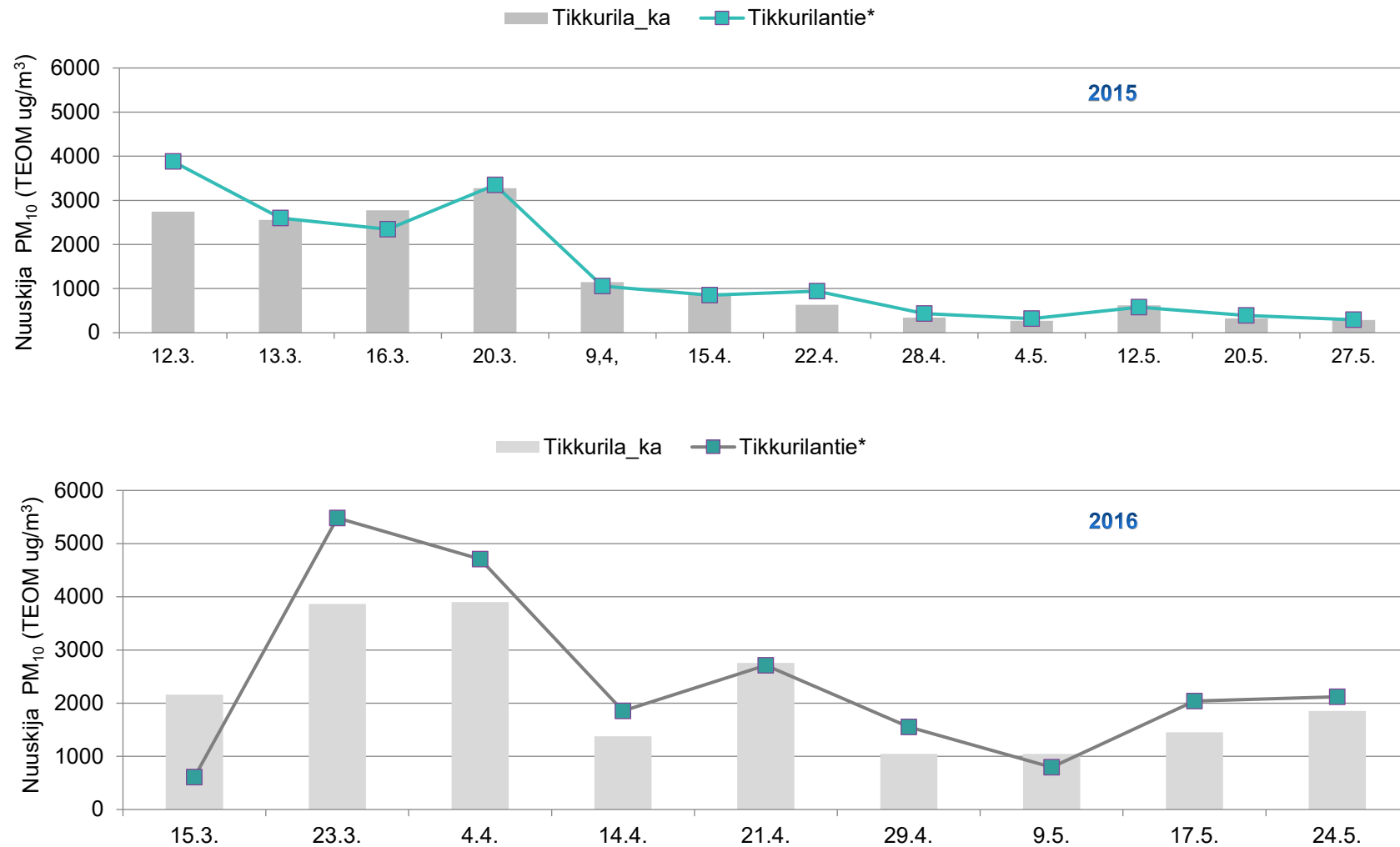
Alla (kuva 43) on esitetty Nuuskijan mitaamat PM₁₀ -pitoisuuden keskiarvot mittauskerroittain vuosilta 2015–2018. Osuudet on esitelty kuvassa 30.



Kuva 43: Nuuskija-mittaukset, Hämeenlinnanväylä 2015–2018

4.2.10 Nuuskija-mittaukset, Tikkurilantie 2015–2016

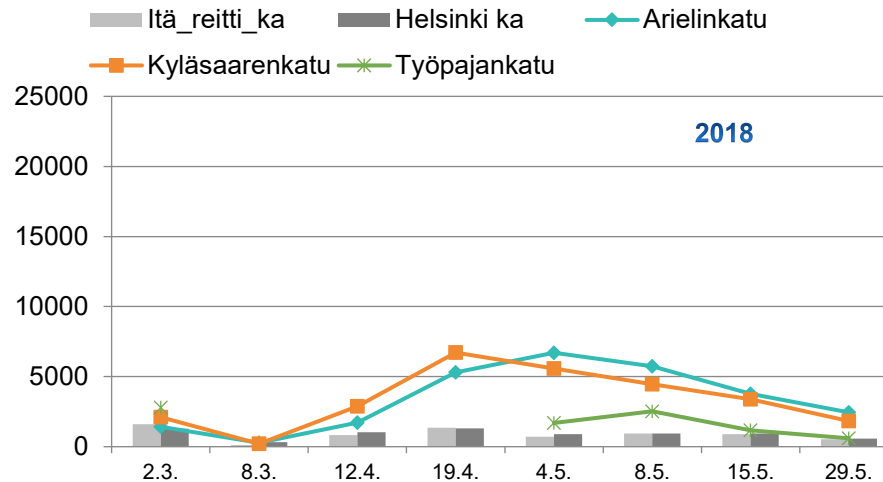
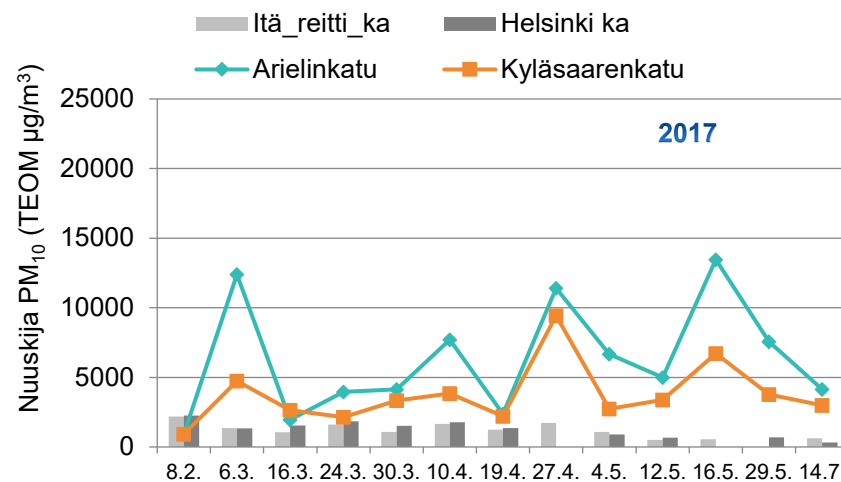
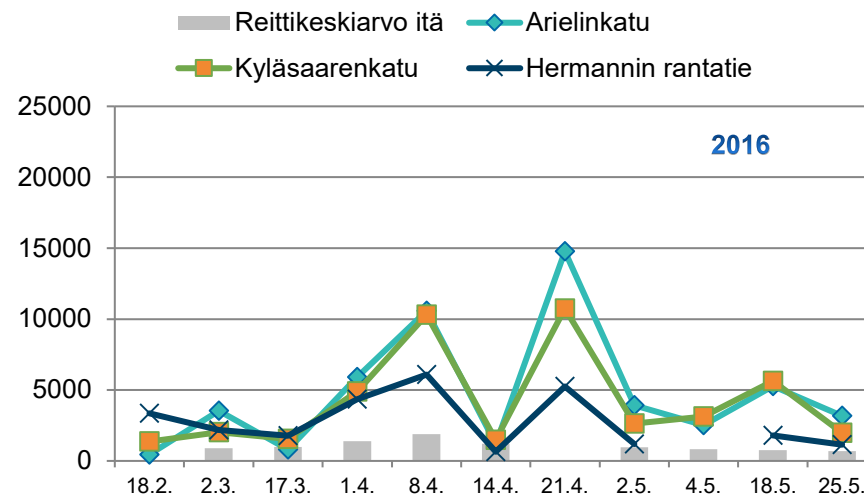
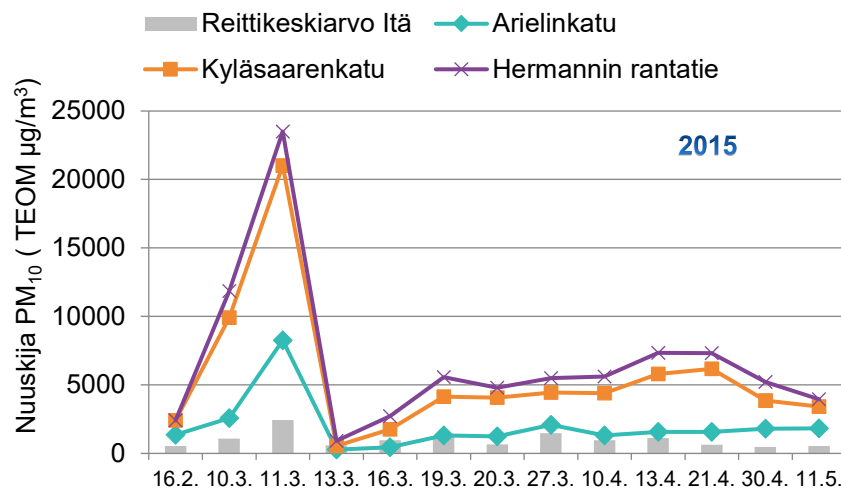
Alla (kuva 44) on esitetty Nuuskijan mittaamat PM₁₀ -pitoisuuden keskiarvot mittauskerroittain vuosilta 2015–2016. Kuvissa on myös esitetty koko Tikkurilan reitin keskiarvo. Mitattu osuus on esitetty kuvassa 31.



Kuva 44: Nuuskija-mittaukset, Tikkurilantie 2015–2016

4.2.11 Nuuskija-mittaukset, Kalasatama 2015–2018

Alla (kuva 45) on esitetty Nuuskijan mittaamat PM₁₀ -pitoisuuden keskiarvot mittauskerroittain vuosilta 2015–2018. Kuvissa on myös esitetty koko Helsingin reitin ja itäisen reitin keskiarvot.



Kuva 45: Nuuskija-mittaukset, Kalasatama 2015–2018

4.3 Mallinnus katupölyn erikoiskohteissa

4.3.1 Yleiskatsaus NORTRIP-mallin käytöstä KALPA-hankkeessa

Mallinnus tehtiin seuraaviin kohteisiin:

- Mäkelänkatu 2015–2016
- Tikkurilantie 2015
- Hämeenlinnanväylä 2015–2016

4.3.2 NORTRIP-malli, Mäkelänkatu 2015–2016

Taulukossa 5 on esitetty Mäkelänkadulla tehdyt kunnossapitotoimenpiteet vuosina 2015–2016. Näitä tietoja on hyödynnetty mallinnuksessa, jonka kuvaajat on esitetty seuraavalla sivulla. Malli ennustaa PM₁₀ -pitoisuuden keskiarvon, kohtalaisen hyvin kyseisessä katu ympäristössä. Malli jättää huomiotta jotkin huippupitoisuudet tien pinnan kosteuden takia (syksy ja talvi) tai mallinnetun pölynsidontan takia (kevät). Kesän huippupäästöt jäävät mallilta huomiotta todennäköisesti muiden lähteiden läsnäolon vuoksi.

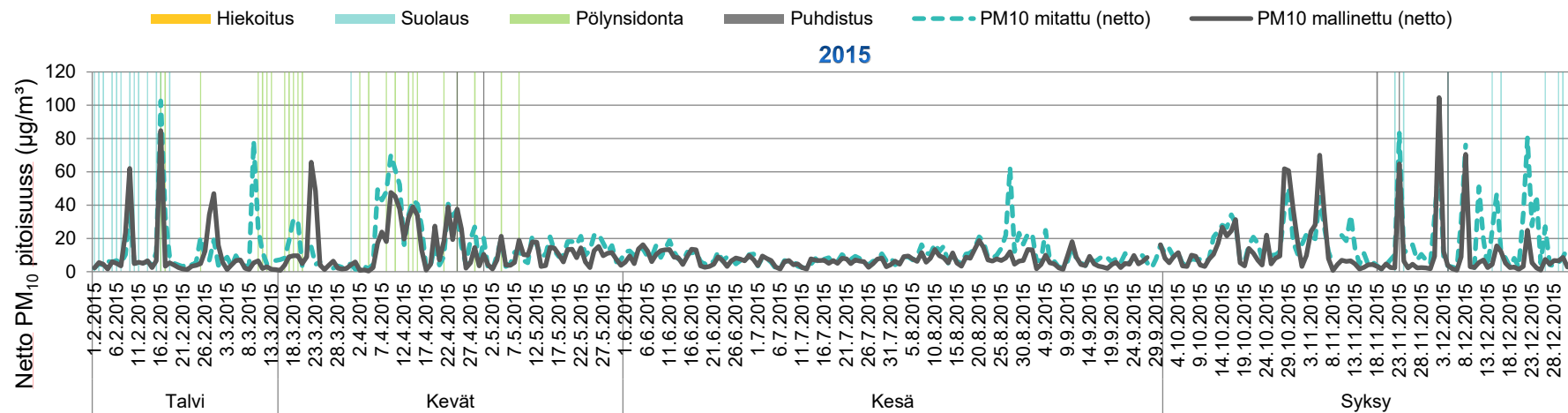
Mallinnus tuloksia on verrattu mitattuihin PM₁₀-pitoisuuksiin. Tulokset on esitetty (kuva 46 ja 47) aikasarjana, jossa näkyy sekä mallinnettu sekä mitattu paikallisen PM₁₀ -pitoisuuden osuus ympäristön PM₁₀ -pitoisuudesta (PM₁₀ *(netto) kuvaajissa).

Herkkyystarkastelu talvi kunnossapidon (suolaus ja hiekoitus) sekä pölyntorjuntakeinojen (pölynsidonta ja puhdistus) osalta tehtiin Mäkelänkadulle sekä Tikkurilantielle. Tuloksia käsitellään luvussa 6 (Katupölyn vähennyskeinot).

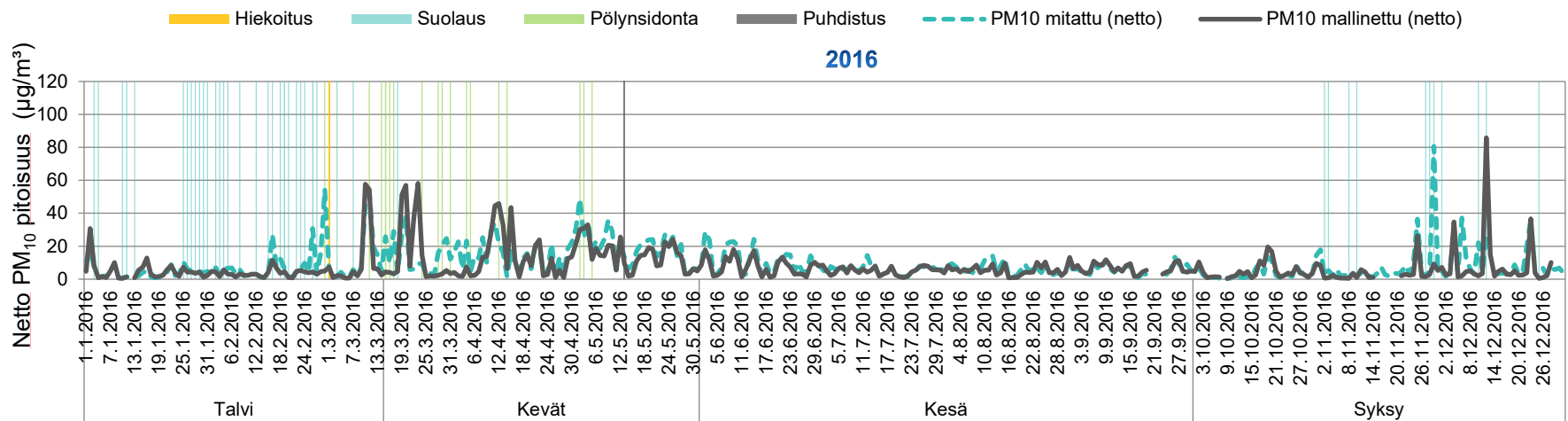
	Toimenpiteet 2015			Toimenpiteet 2016		
	Talvi	Kevät	Syksy	Talvi	Kevät	Syksy
Hiekoitus	3	0	0	1	0	0
Suolaus	13	1	8	30	1	11
Pölynsidonta	7	17	0	3	14	0
Puhdistus	0	2	3	0	1	0

Taulukko 5: Kunnossapitotoimenpiteet Mäkelänkadulla 2015 ja 2016

NORTRIP-malli, Mäkelänkatu 2015–2016



Kuva 46: NORTRIP-malli, Mäkelänkatu 2015



Kuva 47: NORTRIP-malli, Mäkelänkatu 2016

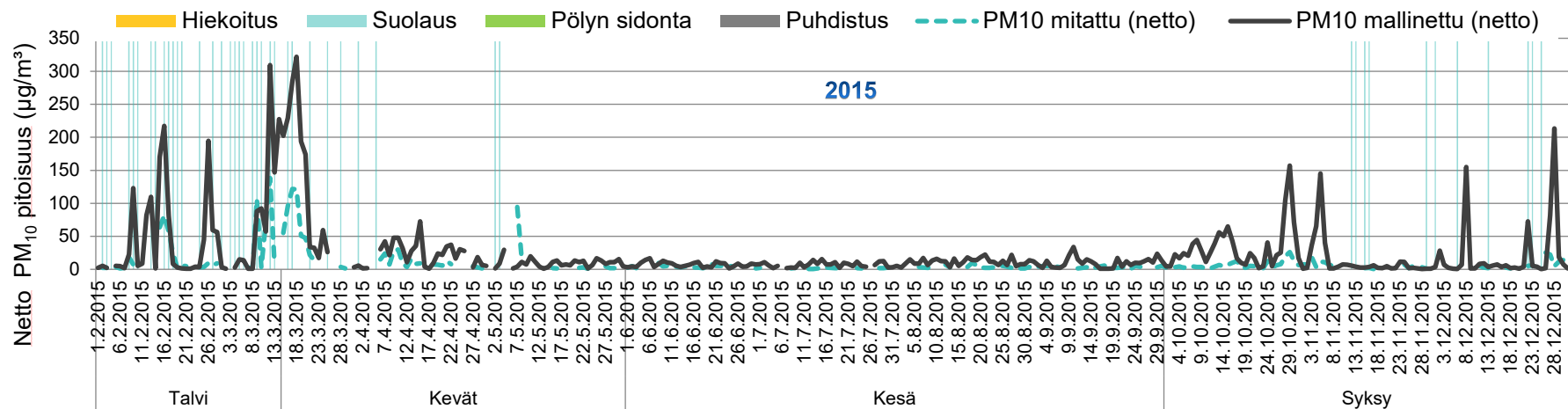
4.3.3 NORTRIP-malli E12, Hämeenlinnanväylä 2015–2016

Taulukossa 6 on esitetty Hämeenlinnanväylällä tehdyt kunnossapitotoimenpiteet vuosina 2015–2016. Näitä tietoja hyödynnettiin mallinnuksessa, jonka kuvaajat ovat esitetty kuvissa 48 ja 49. Kumpanakin vuonna malli ennusti päivittäiset PM₁₀ -pitoisuuden vaihtelut kohtalaisen hyvin, mutta yliarvioi pitoisuuden keskiarvoja talvi- ja kevätkausina. Syy mallin käyttäytymiseen tällä tavoin on mallin parametreissa, jotka koskevat puhdistuksen ja tien kuluman prosesseja korkean nopeuden ympäristöissä. Niiden vaikutuksesta ei ole suoritettu tarpeeksi kattavaa tutkimusta, jotta parametrisointi olisi tarpeeksi luotettavaa.

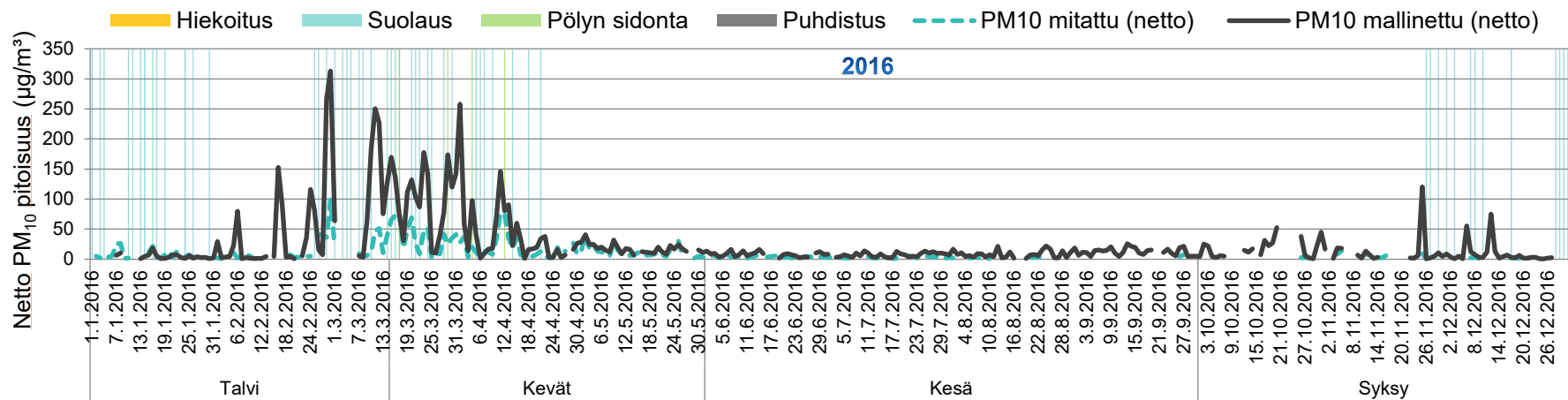
Toimenpiteet 2015			
	Talvi	Kevät	Syksy
Suolaus	50	2	27
Pölynsidonta	-	-	-
Toimenpiteet 2016			
	Talvi	Kevät	Syksy
Suolaus	39	2	33
Pölynsidonta	-	4	-

Taulukko 6: Kunnossapitotoimenpiteet Hämeenlinnanväylällä 2015 ja 2016

NORTRIP-malli E12, Hämeenlinnanväylä 2015–2016



Kuva 48: NORTRIP-malli, Hämeenlinnanväylä 2015



Kuva 49: NORTRIP-malli, Hämeenlinnanväylä 2016

4.3.4 NORTRIP malli, Tikkurilantie 2015

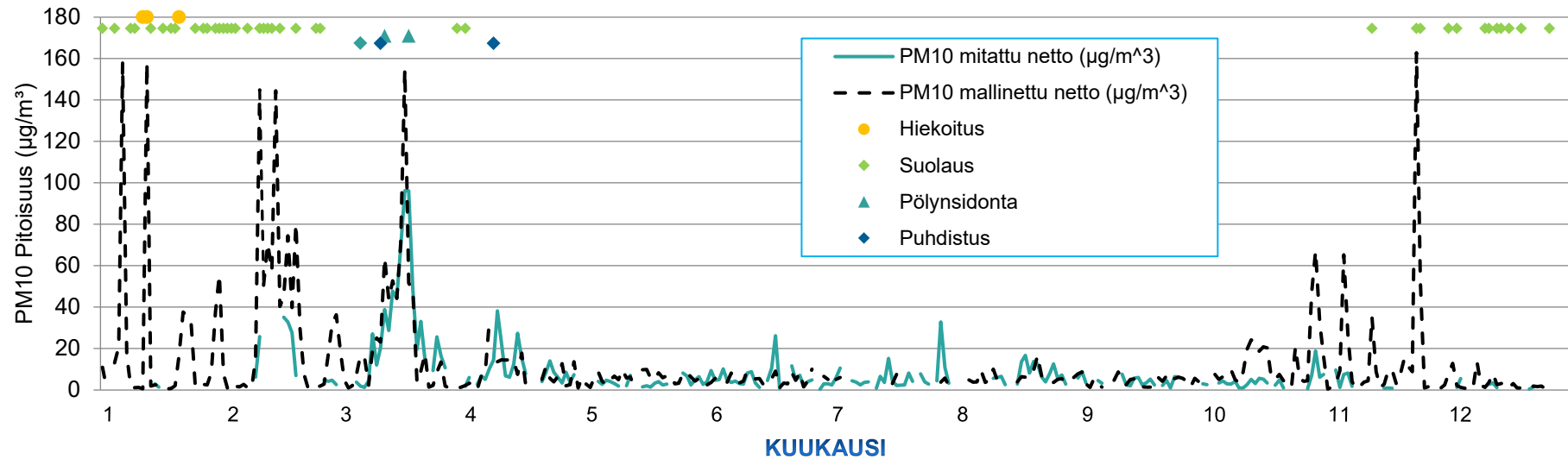
Taulukossa 7 on esitetty Tikkurilantiella tehdyt kunnossapitotoimenpiteet vuonna 2015. Näitä tietoja on hyödynnetty mallinnuksessa, jonka kuvaajat on esitetty seuraavalla sivulla (Kuva 50 ja 51). Malli ennustaa PM₁₀ -pitoisuuden huippuarvot kohtalaisen hyvin mutta yliarvio toisaalta keskiarvopitoisuuksia varsinkin syksyisin. Mallinnettu pölypitoisuus on korkeimmillaan kevätkuukausina, minkä jälkeen se alkaa laskea. Pölypitoisuus alkaa kasvaa jälleen, kun talvirenkaiden käyttö alkaa loppusyksystä.

Puuttuvat mittauspisteet (sininen viiva) kuvaajissa johtuvat siitä, että mitattu ympäristön PM₁₀-taustapitoisuus oli suurempi kuin mallinnuskohteen mitattu pitoisuus mittausasemalla.

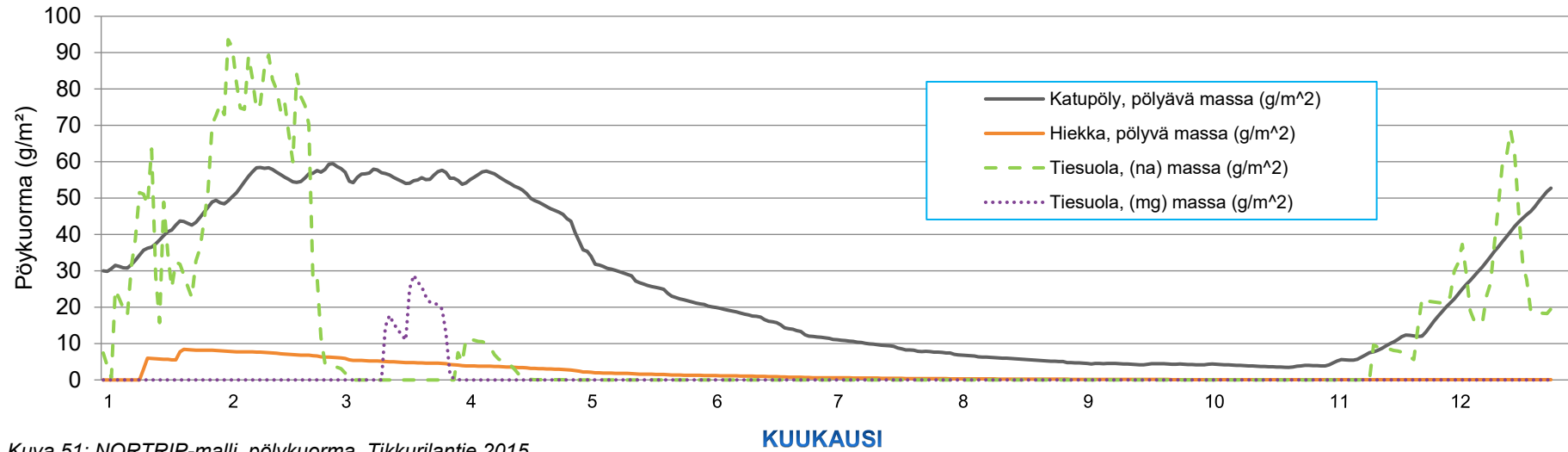
Kuukausi	Suolaus (NaCl)	Hiekoitus	Pölyn sidonta	Puhdistus
Tammikuu	16	3		
Helmikuu	13			
Maaliskuu	1		2	2
Huhtikuu	1			1
Marraskuu	3			
Joulukuu	11			

Taulukko 7: Kunnossapitotoimenpiteet, Tikkurilantie 2015

NORTRIP-malli, Tikkurilantie 2015



Kuva 50: NORTRIP-malli, PM_{10} -pitoisuus, Tikkurilantie 2015. PM_{10}^* (netto) = paikalliset katupölylähteet. (na) = Natrium pohjainen suola, (mg) = Kalsium pohjainen suola, Pölyävällä massalla tarkoitetaan kuvaajissa tienpinnassa olevaa materiaa.



Kuva 51: NORTRIP-malli, pölykuorma, Tikkurilantie 2015

4.4 Yhteenveto

Mäkelänkatu, Helsinki

Mäkelänkadulla Nuuskija-autolla mitattiin korkeimmat pitoisuudet helmikuun alun ja huhtikuun alun välillä. Pitoisuudet ovat olleet alenevia koko hankkeen ajan. Huippupitoisuudet ovat vaihdelleet vuosina 2015–2016 (KALPA1-vaihe) n. 1000–3000 µg/m³ välillä ja vuosina 2017–2018 (KALPA2-vaihe) n. 750–1800 µg/m³ välillä. Vuonna 2015 pitoisuudet olivat korkeimmillaan maaliskuun puolivälissä sekä huhtikuun alkupuolella. Vuonna 2016 korkeita pitoisuuksia mitattiin helmikuun lopulla sekä huhtikuun alku- ja loppupuolella. Vuonna 2017 korkeat pitoisuudet asettuvat helmi-maaliskuulle. Vuonna 2018 korkeimmat pitoisuudet mitattiin helmi-maaliskuun taitteessa sekä huhtikuun alkupuolella. KALPA 1 ja KALPA 2 -vaiheen pitoisuuksien eroja voidaan selittää erilaisilla keväillä sekä tehostuneimmilla ja oikea-aikaisilla pölyntorjuntatoimilla.

Pölykuormamittaukset (WDS) indikoivat, että pölykuorma alkaa muodostua tienpinnoille, kun talvirenkaiden käyttö alkaa. Suurimmat mitatut pitoisuudet pölykuormassa mitattiin alkukeväästä, minkä jälkeen pitoisuudet laskevat. NORTRIP-malli ennustaa samankaltaisen dynamiikan pölykuormalle.

Hiekoituksen-osuus Mäkelänkadun lähdeanalyysiaineiston ilmannäytteistä on pieni. Mineraalipartikkeleiden osalta päälähteenä on päällyste. Mäkelänkadulla hiekoituskäytännöt saattavat selittää hiekoituksen merkittävämpää roolia resuspensionäytteissä. Suolan rooli näytteissä on

hyvin merkittävässä osassa. Kalsium (Ca) ja rauta (Fe) – rikkaat lähteet ovat myös merkittävässä roolissa sekä ilma- että resuspensionäytteissä.

Malli ennustaa PM₁₀-pitoisuuden keskiarvon, katu ympäristössä kohtalaisen hyvin. Malli jättää huomiotta jotkin huippupitoisuudet tien pinnan kosteuden takia (syksyllä ja talvella) tai mallinnetun pölynsidonnan takia (kevällä). Kesän huippupäästöt jäävät mallilta huomiotta todennäköisesti muiden lähteiden läsnäolon vuoksi.

Tikkurilantie, Vantaa

Tikkurilantiella huippupitoisuudet ajoittuvat tarkastelu jaksolla maaliskuun puolivälin ja huhtikuun alun välille. Huippupitoisuudet olivat kumpanakin keväänä 3000–4000 µg/m³ välillä. Vuosien välillä Tikkurilantiella ei ole suurta vaihtelua.

Tikkurilantien pitoisuudet kulkevat kohtalaisen hyvin yhdessä Tikkurilan reitin keskiarvon kanssa. Talvikkitien ja Kielotien varrella olevien työmaiden vaikutus näkyy Tikkurilantien tuloksissa vuonna 2016 (työmaat alkutekijöissään). Oletettavasti työmailta peräisin oleva pöly kulkeutuu myös Tikkurilantielle.

Työmaiden vaikutus näkyy myös pölykauden pidentymisenä vuonna 2016. Tikkurilantiella malli ennustaa PM₁₀-pitoisuuden huippuarvot kohtalaisen hyvin, mutta yliarvioi keskiarvo pitoisuuksia varsinkin syksyisin.

Pääväyläkohde, E12 - Hämeenlinnanväylä

Hämeenlinnanväylällä Nuuskija-autolla mitatut huippupitoisuudet olivat kolmena ensimmäisenä tutkimusohjelman keväänä (2015–2018) noin 3000–4500 µg/m³ ja keväällä 2018 vain noin 2500 µg/m³. Pitoisuudet ovat toisin sanoen olleet lähellä kaupunkien keskustoissa, huomattavasti matalammilla ajonopeuksilla mitattuja tasoja.

Pitoisuudet olivat korkeimmillaan tavanomaiseen katupölyaikaan (maaliskuun loppu – huhtikuun alku). Tämän jälkeen, viimeistään toukokuun alussa pitoisuudet ovat laskeneet tasolle, joka vastaa Nuuskija-indeksin mukaan kesäpuhdasta tienpintaa. Korkeiden nopeuksien ja nastarenkaiden käyttöä ei ole erikseen tutkittu, joten tämän kombinaation vaikutusta pölyn muodostumiseen ei tiedetä varmuudella.

Kohdetta ei erikseen hiekoiteta talviaikana vaan liukkaudentorjunta tapahtuu vain suolan avulla. Pölyn puhdistumista kohteessa vauhdittavat korkeat ajonopeudet ja suuret liikennemäärät. Tien puhdistukseen ei käytetä yhtä suuria resursseja kuin kaupunkien keskustoissa.

Malli ennustaa Hämeenlinnanväylällä päivittäiset PM₁₀-pitoisuuden vaihtelut kohtalaisen hyvin mutta yliarvioi pitoisuuden keskiarvoja talvi- ja kevätkausina.

Rakennustyömaakohde, Kalasatama, Helsinki

Kalasataman alueen kaduilla (Arielinkatu ja Kyläsaarenkatu, 2015–2016 myös Hermannin rantatie ja 2018 Työpajankatu) on mitattu neljänä peräkkäisenä tutkimusohjelman keväänä lähikatuja sekä Nuuskija-auton reittikeskiarvoa huomattavastikin korkeampia pitoisuuksia. Mitatut pitoisuudet ovat moninkertaisia reitin muihin katuihin verrattuna, mikä viittaa siihen, että kevään aikana työmaa-alueella olevien katujen pinnoille on kertynyt runsaasti helposti suspentoituvaa (ja näin ollen Nuuskija-autolla mitattavissa olevaa) PM₁₀-kokoluokan pölyä.

Rakennustyömaiden pölyvaikutusta lähikaduilla tutkittiin mittavasti jo mm. KAPU-hankkeessa (2006–2010) ja jo silloin päädyttiin toteamaan, että työmaiden pölyävillä toiminnoilla on vaikutusta lähikatujen pitoisuuksiin.

Pölyämiseen voidaan vaikuttaa kastelulla. Tämä nähdään erityisesti mittauspäivinä (kts. kuva 45 esim. 13.3.2015, 14.4.2016), joille on osunut pölynsidontaa tai kadunpinnat ovat muuten kastuneet koko reitin mitalta. Sen sijaan ajanjaksoina, joihin ei osu pölynsidontaa, pitoisuudet ehtivät nousta huomattavan korkeiksi ennen seuraavaa kastumista tai kastelua.

5 Uusien talvirenkaiden hiukkaspäästöt

5.1.1 Uuden sukupolven nastarenkaat

Työpaketin tavoitteena oli selvittää mittauksiin perustuen talvirenkaiden päästöihin vaikuttavia tekijöitä. Painopisteenä tutkimuksessa olivat 1.7.2013 jälkeen valmistetut, uuden asetuksen mukaiset nastarenkaat*).

Lähtökohtana 2013 annetussa asetuksessa on, että uudessa nastarenkaassa saa olla enintään 50 nastaa yhtä renkaan vierintäkehän metriä kohden. Asetus sallii poikkeaman nastamäärästä, mikäli rengas ei kuluta tienpäälystettä enempää kuin asetuksen mukainen nastarengas, eli se täyttää asetuksessa esitetyn tyyppihyväksynnän kriteerit.

Eri valmistajien erilaiset lähtökohdat

Eri rengasvalmistajat ovat heinäkuun 2013 jälkeen valmistaneet nastarenkaita erilaisilla lähestymistavoilla, ja nastojen määrä tällä hetkellä markkinoilla olevissa renkaissa vaihtelee 96:sta jopa 250:een. Asetuksessa on määräyksiä koskien myös muita rengasominaisuuksia, kuten nastaylitystä eli nastaukonemaa ja nastan pistovoimaa. Näitä ominaisuuksia ei ole tarkemmin selvitetty KALPA-hankkeessa mitattujen renkaiden osalta.

***) Uuden sukupolven renkailla viitataan Liikenne- ja viestintäministeriön asetukseen ajoneuvon nastarenkaista, joka rajoittaa 1.7.2013 tai sen jälkeen valmistettujen ominaisuuksia. Asetuksella määrätään sallitusta nastamäärästä per rengas sekä nastaylityksestä ja pistovoimasta. Lisätietoa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2003/20030408>**

Kuva 52: Asetus ajoneuvon nastarenkaista

5.1.2 Renkaiden aiheuttamat päästöt

Renkaan takaa mitattu päästö muodostuu (1) renkaan oman materiaalin kulumasta, (2) renkaan aiheuttamasta päällysteen kulumasta, (3) renkaan ja päällysteen väliaineen kulumatuotteista sekä (4) päällysteen pinnalle aikaisemmin muodostuneen pölyävän aineksen nostattamista hiukkasista. Tilanteen (4) päästöä kutsutaan nimellä resuspensio. Tämän lisäksi hiukkaspäästöjä aiheuttaa mm. jarrujen, kytkimen ja moottorin kulumatuotteet (Kuva 53). Kulumatuotteiden määrä on monen tekijän summa, johon vaikuttavat mm. renkaan ja ajoneuvon ominaisuudet, tien ja päällysteen ominaisuudet, ajotapa ja ajonopeus (Unhola, 2004).

Koerataolosuhteissa sekä katuympäristössä tehtyjen mittausten perusteella voidaan sanoa, että nastarenkaan ja nastattoman renkaan päästöero on hyvin herkkä tienpinnan pölyisyyden muutoksille. Korkeimmilla kadun pinnan resuspensiopäästötasoilla renkaan takaa mitatuissa päästöissä ei yleisesti ottaen havaita systemaattisia eroja nasta- ja kitkarenkaiden välillä. Sen sijaan pintojen puhdistuttua ns. kesäaikaiselle tasolle, nastojen aiheuttama tienpinnan suora kulumavaikutus ja päästö tulevat merkittävämmäksi tekijäksi suhteessa resuspensioon. Täten myös KALPA-hankkeen nastarengastestit on ajoitettu loppukesään ja syksyille.



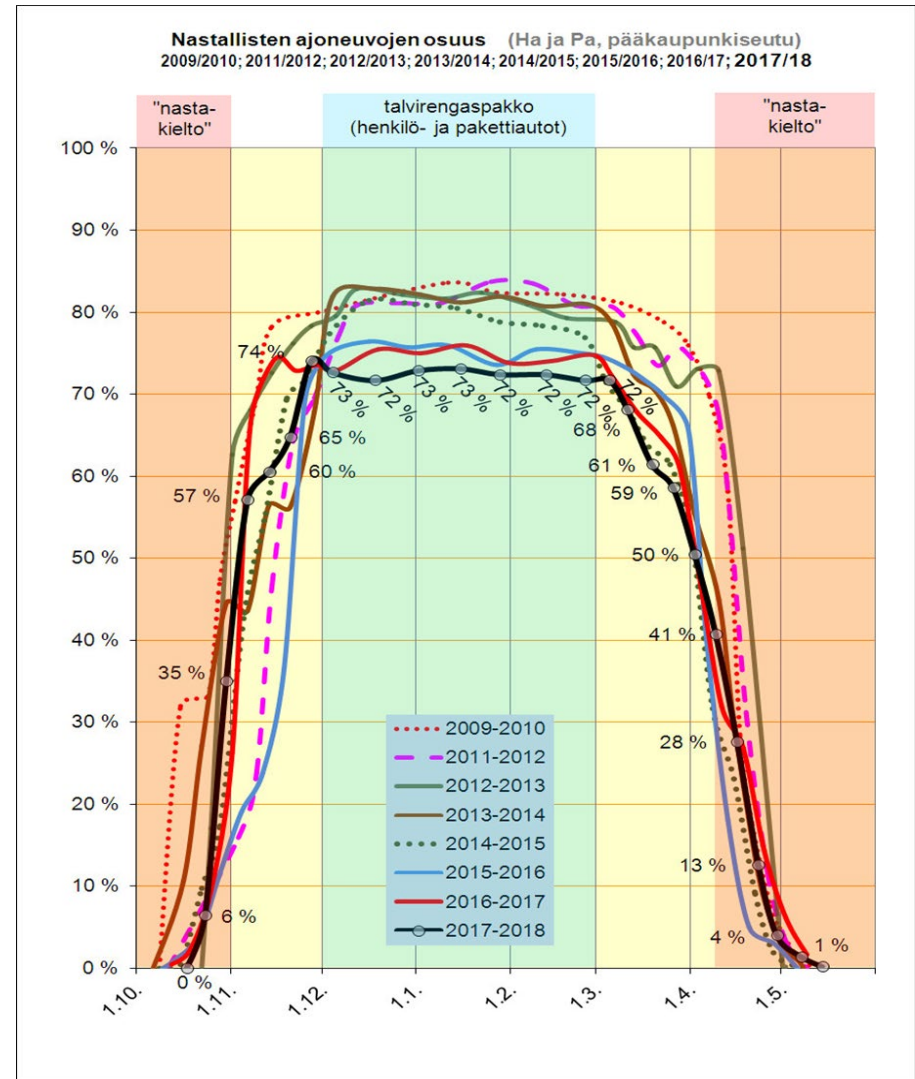
Kuva 53: Aiemmin muodostuneiden hiukkasten resuspensio

5.1.3 Nastallisten ajoneuvojen osuus liikenteessä

Nastallisten ajoneuvojen osuutta liikennevirrasta on arvioitu kuulovartiomenetelmällä Pohjois-Helsingissä vuodesta 2009 lähtien.

Suomessa talvirenkaita on käytettävä henkilö- ja pakettiautoissa. Lain mukaan nastarenkaita saa käyttää aina sään ja kelin niin vaatiessa, mutta talvirenkaiseen on siirryttävä viimeistään 1.12. ja niitä on käytettävä helmikuun loppuun saakka (kuvassa 54 vihreä alue). Lainsäädännössä nastarenkaiden käyttöaika on määritelty myös pääsiäisen mukaan, ja nastarenkaita saa käyttää vähintään pääsiäismaanantaita seuraavaan maanantaihin. (Lähde: Trafli)

Nastallisten ajoneuvojen osuus liikennevirrasta Pohjois-Helsingissä on KALPA-vuosina laskenut noin 80 %:sta (2014–2015) noin 73 %:iin (2017–2018) (Kuva 54). Nettikyselyn mukaan nastojen käyttöaste Suomessa vaihtelee maakunnittain Uudenmaan noin 75 %:sta Lapin noin 95 %:iin. Nastarenkaiden käyttöaika vaihtelee vuosittain sääolosuhteiden mukaan. (Unhola, 2018)



Kuva 54: Nastallisten ajoneuvojen osuus liikennevirrasta talvikausina 2008/09 – 2017/18 (Unhola, 2018)

5.1.4 Mittauskohde ja rengasmittausten toteutus

Mittaukset suoritettiin Vanhalla Porvoontielle, Vantaalla. Keskimääräinen vuorokausiliikennemäärä kohteessa on 11 000 ajoneuvoa / arki-vrk ja nopeusrajoitus 60 km/h. Samankaltaisia mittauksia on suoritettu samassa kohteessa REDUST-projektissa vuosina 2011–2014 (ymk-projektit.fi/redust/) ja Nasta-tutkimusohjelmassa 2011–2013 (nasta.fi). Mittausjärjestelmä (Opel Vectra) on esitelty tämän raportin Johdanto-luvussa. Kullakin mitattavalla renkaalla ajettiin noin 2 km pitkä testitie kolme kertaa edestakaisin. Testitie on jaettu kolmeen osuuteen (Vanha Porvoontie 1/2/3), joista KALPA-rengastesteissä käytettiin osuuksia 2 ja 3 (kuva 55).

Aineiston käsittelyssä tulokset on laskettu näille kahdelle osuudelle sekä pohjoiseen ja etelään meneville kaistoille erikseen. Näin jokaiselle renkaalle saadaan 4 arvoa (mediaani tai keskiarvo), joita vertaillaan keskenään.

Ennen testirenkaita ensimmäisenä ja päivän päätteeksi viimeisenä renkaana ajetaan ns. referenssirengas. Referenssirengaan tuloksen muuttuessa päivän aikana suoritetaan mitattaville renkailla referenssikorjaus. Referenssirengas ajetaan myös testirenkaiden välillä, mikäli olosuhteissa tapahtuu muutoksia. Referenssirengaan mittauksissa toimi kitkarengas.



Kuva 55: Rengasmittaukset. Vanha-Porvoontie, Vantaa

5.1.5 Renkaiden ominaisuudet

Mitatut renkaat

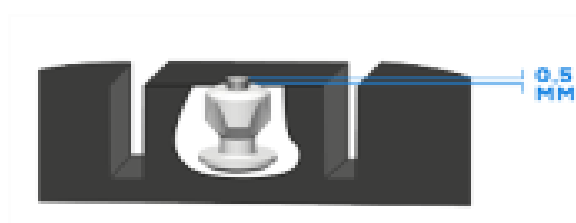
Mitattavat renkaat valittiin tunnettujen valmistajien valikoimista saatavuuden mukaan. Kaikki renkaat hankittiin uutena.

Sisäänajo

Kaikilla renkailla ajettiin noin 250 km sisäänajo ennen testejä. Rauhallinen sisäänajo varmistaa, että nasta asettuu renkaaseen tarkoituksenmukaisesti.

Nastaulkonema

Testattavista renkaista mitattiin nastaulkonemat. Nastan metallikärjen ylitys renkaan pinnasta (kuva 56) mitattiin 20 nastasta: 10 perättäistä nastaa renkaan sisäkehältä ja 10 ulkokehältä. Tuloksissa ilmoitettu ulkonema on näin ollen 20 nastan keskiarvo. Tässä raportissa nastaulkonemalla tarkoitetaan nastan kärjen ylitystä renkaan pinnasta (Kuva 56), ja se mitattiin Metropolia ammattikorkeakoulussa tarkoitusta varten kehitetyllä mittalaitteella (Kuva 57). Asetuksen mukaan nastojen kärkien ulkonemien keskiarvo saa uudessa nastarenkaassa tai kiinnitettäessä uusi nasta käytettyyn renkaaseen olla enintään 1,2 mm (henkilöauton renkaat).



Kuva 56: Nastaulkonemalla tarkoitetaan tässä an pinnasta. (kuva: www.scason.fi/)



Kuva 57: Nastaulkoneman mittausta testien yhteydessä. (kuva: Roosa Ritola)



Kuva 58: Mitattavia renkaita. (kuva: Roosa Ritola)

5.1.6 Mitatut renkaat vuosina 2015–2018

Taulukossa 8 on esitetty KALPA-hankkeiden aikana mitatut renkaat. Kaikkina mittauspäivinä ajettiin ensimmäisenä ja viimeisenä referenssirengaana toiminut kitkarengas.

Rengasmittaukset KALPA-hankeessa

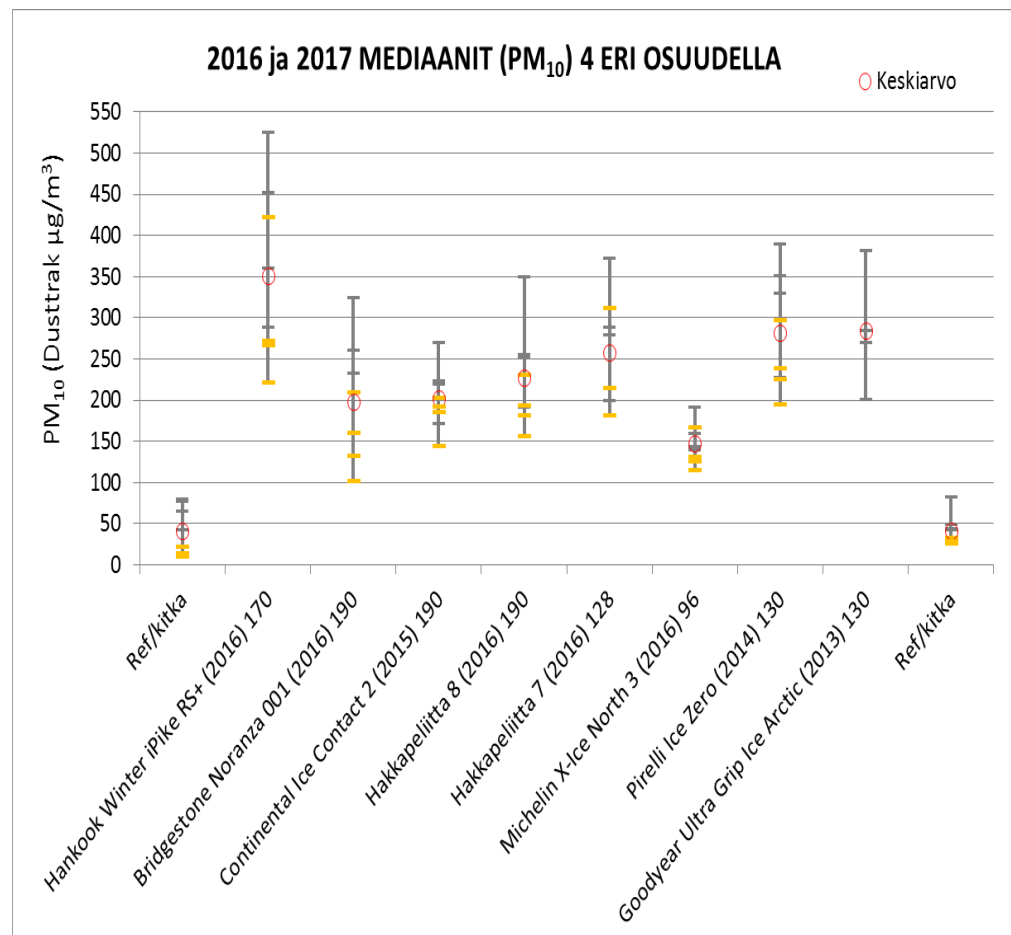
Mitä mitattiin?	Vanha ja uusi sukupolvi	Uusi sukupolvi - valmistajavertailu	Uusi sukupolvi - valmistajavertailu	Saman rengasmallin yksilöiden välinen vertailu	Uusi sukupolvi - vanhempi vs. uudempi versio samasta rengasmallista
Päivämäärä	28.7.2015	13.9.2016	29.7.2017	30.8.2017	17.10.2018
Mitatut renkaat (suluissa valmistusvuosi, mikäli tiedossa)	Hakkapeliitta 7 (2009)	Hankook Winter iPike RS+ (2016)	Hankook Winter iPike RS+ (2016)	Michelin X Ice North 3 (2013)	Hakkapeliitta 8 (2016)
	Hakkapeliitta 8, ilman nastoja	Bridgestone Noranza (2016)	Bridgestone Noranza (2016)	Michelin X Ice North 3 (2016)	Hakkapeliitta 9 (2018)
	Hakkapeliitta 8	Continental Conti Ice 2 (2015)	Continental Conti Ice (2015)	Hakkapeliitta 8 (2016)	Hankook Winter iPike RS+ (2016)
	Michelin X Ice North 2	Hakkapeliitta 7 (2016)	Hakkapeliitta 7 (2016)	Hakkapeliitta 8 (2015)	Hankook Winter iPike RS2 (2018)
	Michelin X Ice North 3 (2013)	Hakkapeliitta 8 (2016)	Hakkapeliitta 8 (2016)	Hakkapeliitta 8 (2013)	Michelin X Ice North 3 (2016)
	Goodyear Ultra Grip Ice Artic (2013)	Michelin X Ice North 3 (2016)	Michelin X Ice North 3 (2016)	Hakkapeliitta 7 (2016)	Michelin X Ice North 4 (2018)
		Pirelli Ice Zero (2014)	Pirelli Ice Zero (2014) Goodyear Ultra Grip Ice Artic (2013)	Hakkapeliitta 7 (2009)	

Taulukko 8': KALPA-hankkeissa vuosina 2015-2018 mitatut renkaat.

5.2 Renkaiden valmistajavertailu 2016 ja 2017

Vuosien 2016 ja 2017 rengastesteissä ajettiin eri valmistajien uuden sukupolven renkaita rinnakkain kesäpuhtaalla tienpinnalla. Kuvassa 59 on esitetty mediaanipäästö (PM_{10}) Vanhan Porvoontien 4 eri osuudella (kts: 5.1.4 Mittauskohde ja mittauksen toteutus) sekä näiden keskiarvo (punainen ympyrä).

Kuvaajassa on mukana sekä 2016 mitatut mediaanit (keltaiset poikkiviivat) että 2017 mitatut mediaanit (harmaat poikkiviivat). Goodyearin rengas oli mukana vain 2017 testisarjassa. Nimen perässä X-akselilla on ilmoitettu renkaan valmistusvuosi (suluissa) sekä nastamäärä.

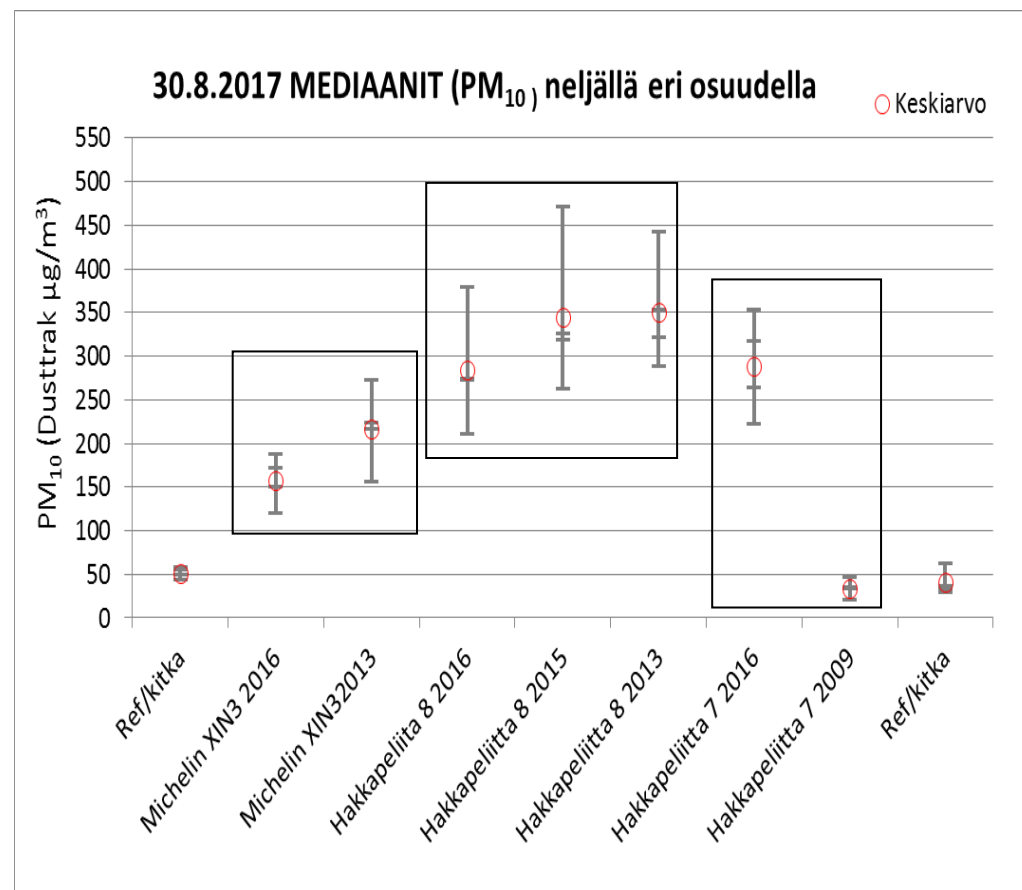


Kuva 59: Renkaiden valmistajavertailu 2016 ja 2017

5.3 Renkaiden yksilövertailu 2017

Vuoden 2017 testeissä ajettiin eri vuosina valmistettuja saman rengasmallin yksilöitä. Kuvassa 60 X-akselilla renkaan perässä ilmoitettu vuosiluku on kyseisen rengasyksilön valmistusvuosi. Kaikilla renkailla, lukuun ottamatta Hakkapeliitta 7 vuoden 2009 mallia, on ajettu vain testiajoa. Hakkapeliitta 7 vuodelta 2009 on erittäin kulunut yksilö (nastaulkonema 0,21). Lisäksi saman renkaan vuoden 2016 yksilöön on tehty tuotekehityksellisiä muutoksia, jotta se täyttää 2013 vaatimukset (valmistajan tiedonanto). Renkaaseen tehtyjen muutosten yksityiskohdat eivät ole tiedossa.

Muiden renkaiden (Hakkapeliitta 8 ja Michelin X ice North 3) mahdollinen tuotekehitys vuosien välillä ei ole tiedossa. Kyseisten renkaiden testatut yksilöt on valmistettu 1.7.2013 jälkeen ja täten ne ovat uuden asetuksen vaatimukset täyttäviä, eri vuosina valmistettuja ja hankittuja renkaita.

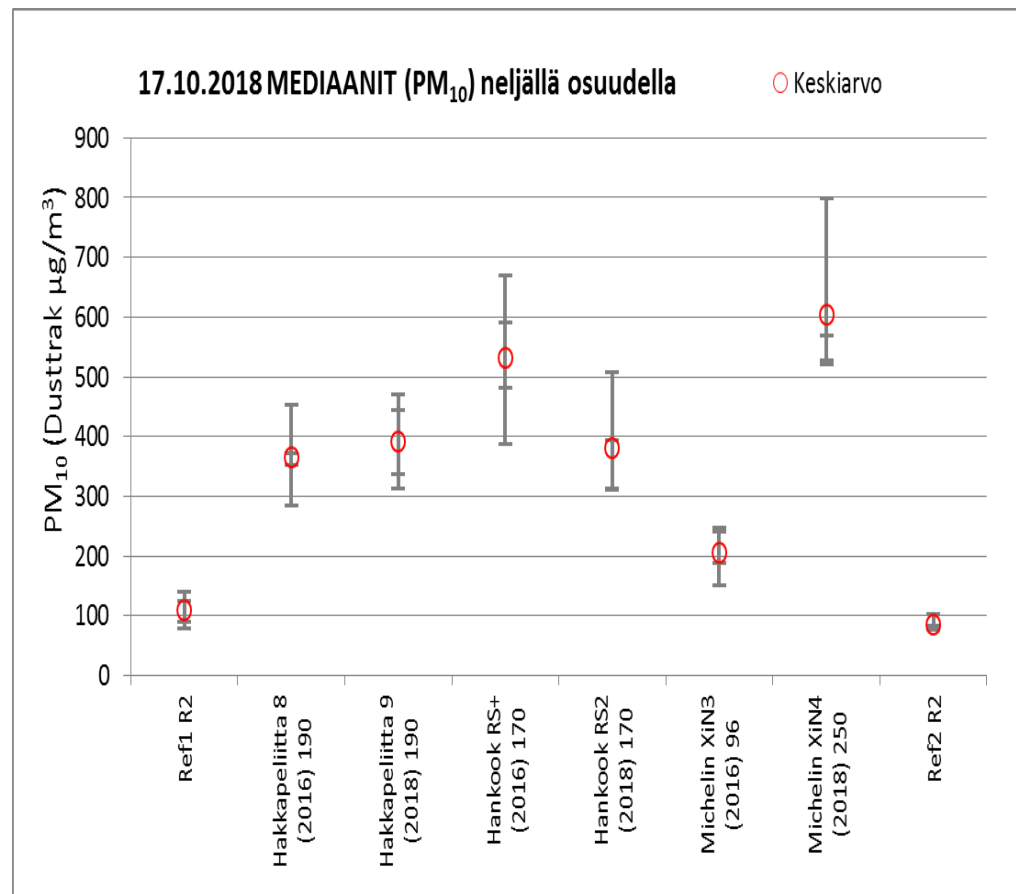


Kuva 60: Renkaiden yksilövertailu 2017

5.4 Renkaiden valmistajavertailu 2018

Osalta rengasvalmistajista oli syksyllä 2018 saatavilla jo useampi 2013 asetuksen mukainen rengasmalli. Syksyn 2018 mittauksissa verrattiin kolmen eri rengasvalmistajan uuden sukupolven malleja keskenään. Renkaista oli mittaushetkellä tiedossa nastamäärä ja ulkonema.

Kuvassa 61 nimen perässä X-akselilla on ilmoitettu renkaan valmistusvuosi (suluissa) sekä nastamäärä. Muut mallien välillä tehdyt tuotekehitykselliset muutokset eivät olleet tiedossa.



Kuva 61: Renkaiden valmistajavertailu 2018

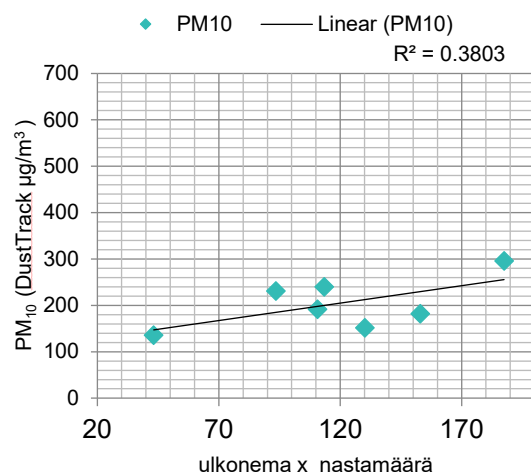
5.6 Korrelaatiot

PM₁₀-pitoisuus vs. ulkonema x nastamäärä on esitetty alla olevassa kuvassa 62. Renkaista oli tiedossa nastamäärät ja nastaulkonemat (20 nastan keskiarvo). Y-akseli: PM₁₀-pitoisuus. X-akseli: Nastaulkonema kerrottuna nastamäärällä.

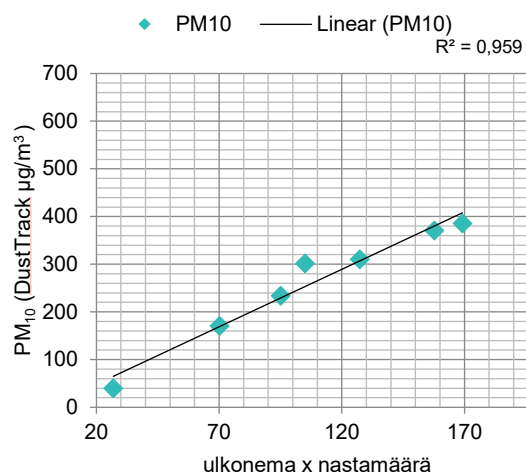
PM₁₀ -pitoisuus vs. nastamäärä, PM₁₀ -pitoisuus vs. nastaulkonema, PM₁₀ -pitoisuus vs. nastamäärä x nastaulkonema on esitetty kuvassa 63.

Nastaulkoneman vaikutus yksilöjen välisessä vertailussa on esitetty kuvassa 64.

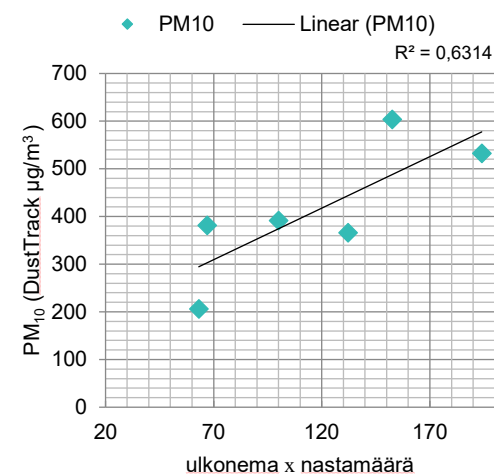
2016-2017 Valmistajavertailu



2017 Yksilövertailu

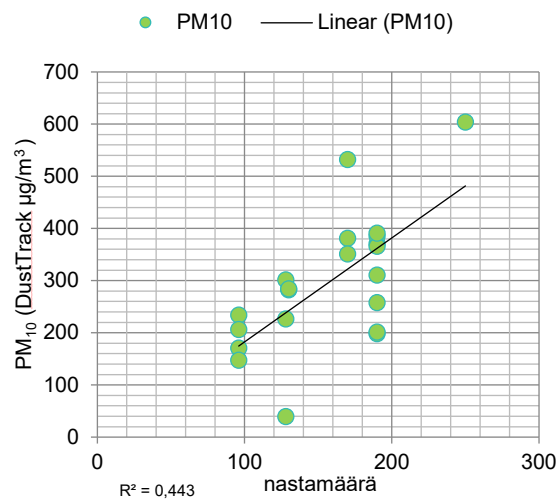


2018 Valmistajavertailu

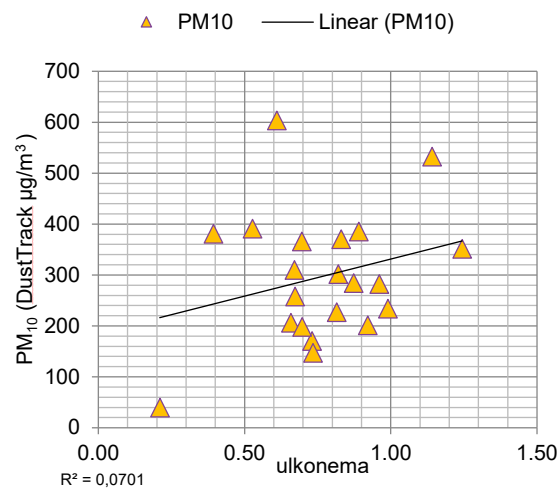


Kuva 62: Valmistajavertailu 2016–2017, Yksilövertailu 2017, Valmistajavertailu 2018

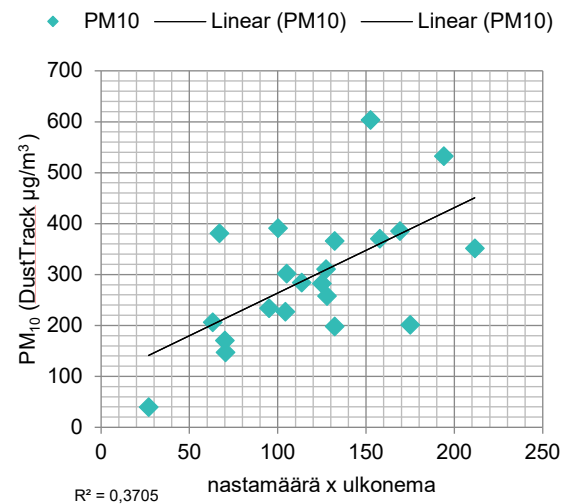
Nastamäärä



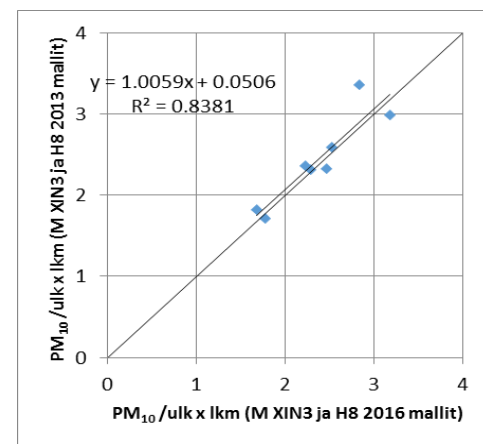
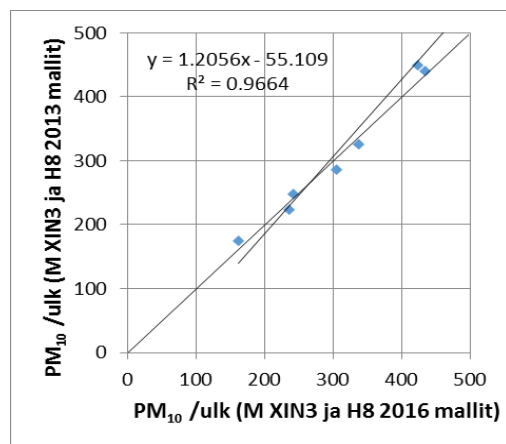
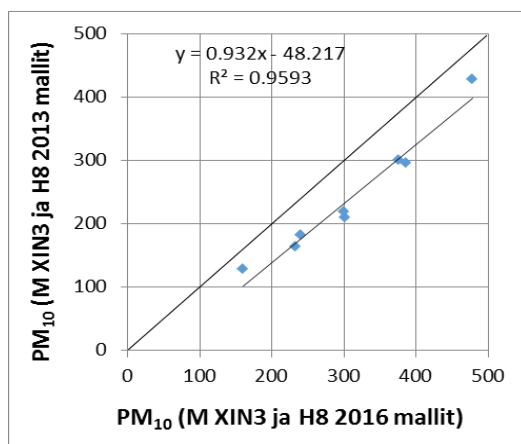
Ulkonema



Ulkonema x nastamäärä



Kuva 63: PM₁₀ vs. nastamäärä, PM₁₀ vs. ulkonema, PM₁₀ vs. ulkonema x nastamäärä



Kuva 64: Nastaulkoneman vaikutus yksilöidenvälisessä vertailussa

5.7 Yhteenveto

Osassa uusista (2013 jälkeen valmistetuista ja asetuksen mukaisista) nastarenkaista nastamäärät ovat kasvaneet nk. vanhan sukupolven nastarenkaiisiin verrattuna. Kehityskulun myötä on kasvanut huoli renkaiden päästöjen kasvusta nastamäärien lisääntyessä. Mittaustulosten mukaan uhkakuva ei kuitenkaan yksiselitteisesti ole toteutunut. Toisaalta voidaan todeta, ettei rengaskehitys ole merkittävästi laskenut katuolosuhteissa mitattuja renkaiden omia PM₁₀ -päästöjä. Mittausten perusteella vaikuttaakin siltä, että yksin nastojen määrä ei riitä selittämään renkaiden välisiä pitoisuuseroja (renkaan takaa mitattu PM₁₀ -pitoisuus).

Päästöön vaikuttanee nastamäärän ohella muut tekijät, kuten esimerkiksi: nastaulkonema, nastojen sijoittelu renkaan pinnalla, renkaan pintakuviointi ja renkaan materiaali (kumiseos). Saman renkaan eri yksilöiden välillä löytyy eroja mitatuissa pitoisuuksissa. Rajallisen aineiston perusteella yksilövertailusta ei voida vetää yleistettäviä johtopäätöksiä esimerkiksi renkaan ikääntymisen vaikutuksesta PM₁₀-päästöön. Renkaiden ikääntymisen vaikutusta tutkittiin laajemmin NASTA-tutkimusohjelmassa.

6 Katupölyn vähennyskeinot

6.1 Kadun puhdistuskaluston täsmätestit

KALPA-hankkeessa toteutettiin vuosina kolme erillistä mittauskampanjaa kadun puhdistuskalustolle. Testeissä mitattiin tutkimusajoneuvoilla kadunpinnan pölyisyyttä ennen ja jälkeen kadun puhdistuksen. Ensimmäinen pesulaitetesti tehtiin syyskuussa 2016 yhteistyössä pohjoismaisen NORDUST-hankkeen kanssa. Testaus suoritettiin Vantaan teknisen varikon Koisotien lumenvastaaottopaikalla. Toinen testisarja suoritettiin katu ympäristössä Vantaan Ylästössä keväällä 2018, ja kolmas testi tehtiin syksyllä 2018. Testeissä on mitattu kadunpinnan pölytasoa ennen ja jälkeen puhdistuksen.

Katuverkko, Ylästö/Vantaa

Katuverkolla tehtyyn testisarjaan kuului lisäksi hiekanpoisto, pölynsidontaa ja pesun eri vaiheet. Testaus suoritettiin Vantaan Ylästön alueella.

Koisotien lumenvastaaottopaikka, Vantaa

Vantaan kuntatekniikan varikon yhteydessä sijaitseva lumenvastaaottopaikka on muulta liikenteeltä suljettu kenttämainen alue. Noin ajoradan levyisiksi suunnitellut testiradat erotettiin toisistaan keiloilla.

Mittausmenetelmät

Koisotien kampanjassa pesutestien seurantaa suoritettiin kahdella eri mittautolla (Nuuskija ja Opel Vectra), joista erityisesti Vectran nopearesoluutioisempi (1 Hz) mittautapa mahdollisti seurannan testialueella. Vantaan Ylästön testisarjan seuranta tehtiin Nuuskijalla.

6.2 Pesulaitteistot

Kadunpesumenetelmät

KALPA-hankkeessa tutkittiin erityisesti pesevän imulakaisukoneen pesutehoa. Lyhenne ”PIMU” tulee sanoista ”pesevä imulakaisu”: PIMU-laite yhdistää korkeapainepesun ja sitä seuraavan imun, joka imee pesun seurauksena kadun pinnalle muodostuvan lietteen takaisin laitteen jätevesisäiliöön. Näin ollen päällysteen raoista painepesulla irrotettu irtoaines ja pöly sekä pesun seurauksena muodostuva liete pyritään imemään välittömästi pois kadun pinnalta. Laitteissa on lisäksi erilainen yhdistelmä (pyöriviä) harjoja. Vuoden 2016 testeissä oli lisäksi mukana perinteinen lakaisukone (kastelu + 3 pyörivää harjaa edessä).

CityCat 5006 (kuva 65)

- Perinteinen lakaisukone, (kastelu + 3 pyörivää harjaa edessä), pesun leveys n.2 000 mm.

Borck ”PIMU” (kuva 65)

- Pesevä imulakaisukone. Lakaisu- ja Pesuleveys on 3 850 mm.

BEAM S 12000 ”PIMU” (kuva 65)

- Pesevä imulakaisukone. Laitteessa on korkeapainepesu sivuharjoilla ja pääharjalla sekä lisäksi auton takana korkeapainepesupalkki. Pesupaine on 130 Bar. Imu tapahtuu takaimusuulakkeella.
- Laitteen lakaisu- ja pesuleveys on 3 502 mm. Pesualueen leveys 3 200 mm. Todellinen jälki (märkä jälki) n.4000



CityCat 5006



Borck



BEAM S 1200

Kuva 65: Testatut pesulaitteet

6.3 Kadun puhdistuskaluston täsmätestit

6.3.1 Koisotie, Vantaa 2016

Koeasetelma

Taso "ennen pesua" mitattiin pesua edeltävänä päivänä. Tätä ennen kenttä oli lakaistu karkeasta irtomateriaalista ja pestävät "kaistat" erotettu toisistaan tolilla. Pesupäivänä pesu suoritettiin klo 12, ja seurannat aloitettiin samana päivänä, kun pesujälki oli visuaalisesti kuivunut. Seurantamittaukset tehtiin klo 13.30 ja klo 16. Viimeinen seuranta tehtiin pesua seuraavana päivänä klo 10.

Vectra ja Nuuskija mittasivat radat aina samaan tapaan: 5 x pesujäljen päältä, 5 x pesujäljen ulkopuolelta. Pesuradat olivat pituudeltaan noin 150 metriä.

Vantaa Koisotie syksy 2016

Laitteet:

- PIMU: korkeapainepesu ja imu
- Citycat 5006: kastelu ja pyörivät etuharjat

Toimenpiteet:

- 26.9. iltapäivällä lähtötason mittaus Nuuskija + Vectra
- 27.9. 12h pesu
- 27.9. 14h seuranta I Nuuskija + Vectra
- 27.9. 16h seuranta II Nuuskija + Vectra
- 28.9. 10h seuranta III Nuuskija + Vectra

Kuva 66: Koisotie syksy 2016

Menetelmät ja "pesujälki" (kuva 67)

Brock "PIMU"

Pesualueen leveys 3 200 mm. Todellinen jälki (märkä jälki) n.4 000 mm

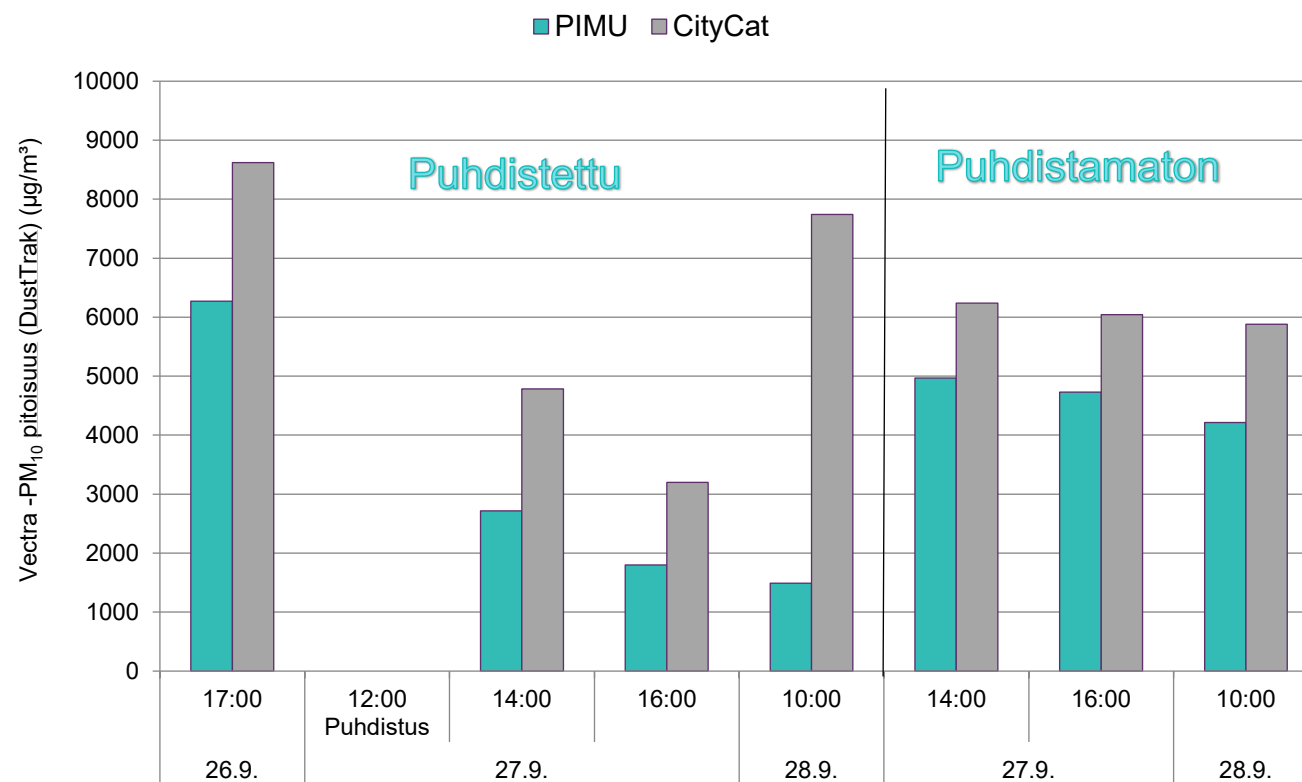
Citycat 5006

Pesun leveys n.2 000 mm, jälki n.2 000 mm, pesujälki huomattavasti kuivempi.



Kuva 67: Pesujälki CityCat & Brock

Kuva 68 esittää mitattuja PM₁₀ -päästöjä, puhdistetulla ja puhdistamattomalla osuudella CityCat 5006 -lakaisukoneella sekä Brock:n pesevällä imulakaisukoneella. Testissä mitatut PM₁₀ -pitoisuudet ovat normaalia korkeampia verrattuna tieverkolla yleensä mitattaviin PM₁₀ -pitoisuuksiin.



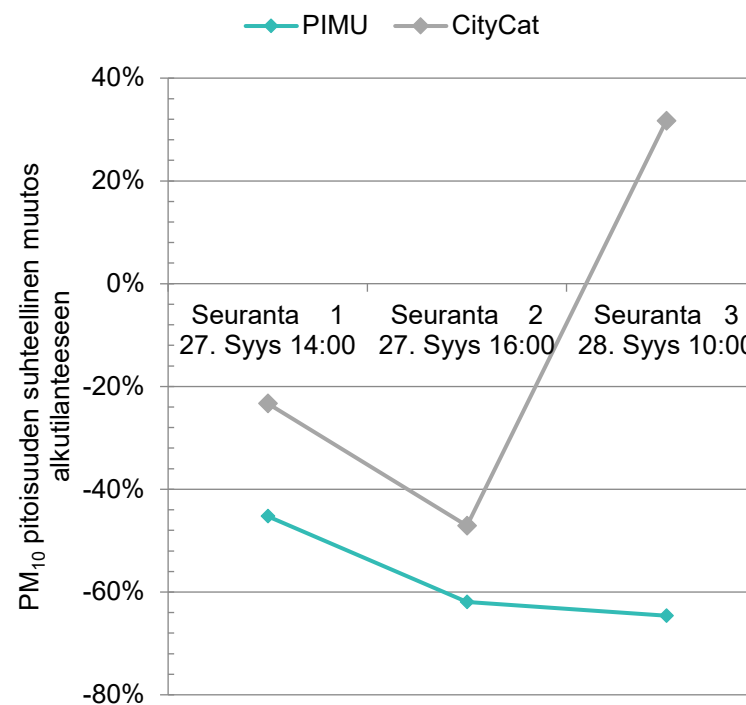
Kuva 68: PM₁₀ -pitoisuus ennen ja jälkeen testin.

Yhteenveto

Puhdistuksen suhteellinen tehokkuus PM_{10} -päästöihin laskettiin jälkikäteen käyttämällä referenssikorjausta. Puhdistamaton osuus mittaradalla toimi referenssinä. Referenssiosuuden PM_{10} -pitoisuuden muutokset olivat testin ajan pieniä (kuva 69).

Molemmat laitteet alensivat PM_{10} -pitoisuuksia samana päivänä, kun puhdistus toimenpiteet suoritettiin. PM_{10} -pitoisuus laski 35 % CityCat 5006:lla ja 54 % Brock:n "PIMU:lla". CityCat 5006:lla tehtyjen toimenpiteiden vaikutus PM_{10} -päästöön kesti vain muutamia tunteja. Brock:n "PIMU:lla" toimenpiteiden vaikutus PM_{10} -pitoisuuksiin oli nähtävissä vielä seuraavana päivänä.

CityCat:n pitoisuuksien nopeampaan nousuun eräs syy saattaa olla, että laite irrottaa tienpintaan "sementoituneen" pölyn harjoillaan ja estää hetkellisesti sen leviämisen ympäristöön laitteen käyttämän veden avulla. Kun pinta kuivuu, tämä irrotettu "sementoitunut" pöly vapautuu ympäristöön. Testi osoittaa, että PIMU-pesevä imulakaisukone irrottaa pölyn tehokkaammin ja toimenpiteellä on pidempi vaikutus.



Kuva 69: PM_{10} -pitoisuuden suhteellinen muutos pesun jälkeen

6.3.3

Ylästö, Vantaa 2018

Testin tarkoitus oli selvittää, onko eri pesutavoilla eroja. Ennen varsinaista PIMU-pesua (8.5.) kohteessa suoritettiin hiekanpoisto mekaanisella kalustolla ajoradoilta ja jalkakäytäviltä (17.4.) Lisäksi kaikilla kaduilla tehtiin pölynsidontaa kalsiumkloridilla ja GranLuxilla (18.4.). Välikaistojen ja liikenteenjakajien pesu sekä pestyn aineksen poiskeräys suoritettiin 20.4. Ennen pesua lähtötaso mitattiin 3.5. PIMU-pesu suoritettiin 8.5. Isomännyn tiellä ilman takapesupalkkia, kun taas Ollaksentien takapesupalkki käytössä. Ylästöntie toimi referenssinä (kuva 71). Seuranta suoritettiin kolmena päivänä varsinaisen pesun jälkeen.

Ylästön testisarja kevät 2018

Laitteet

PIMU Beam 12000

Toimenpiteet:

17.4. lähtötason mittaus Nuuskijalla

17.4. karkean hiekan poisto

18.4. mittaus Nuuskijalla

18.4. pölynsidontaa

20.4. pesu (välikaistat + jakajat)

3.5. seuranta Nuuskijalla: taso ennen PIMU-pesua

8.5. pesu BEAM pesuimurilla:

Isomännyn tie ilman takapesupalkkia,

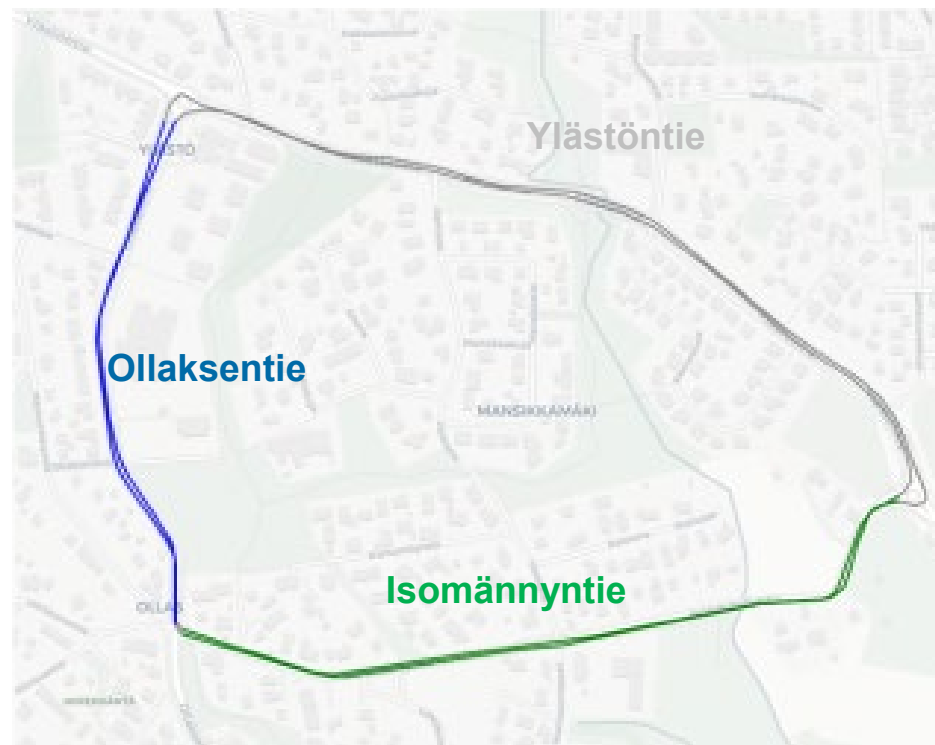
Ollaksentie takapesupalkki käytössä

9.5. seuranta Nuuskijalla

11.5. seuranta Nuuskijalla

14.5. seuranta Nuuskijalla

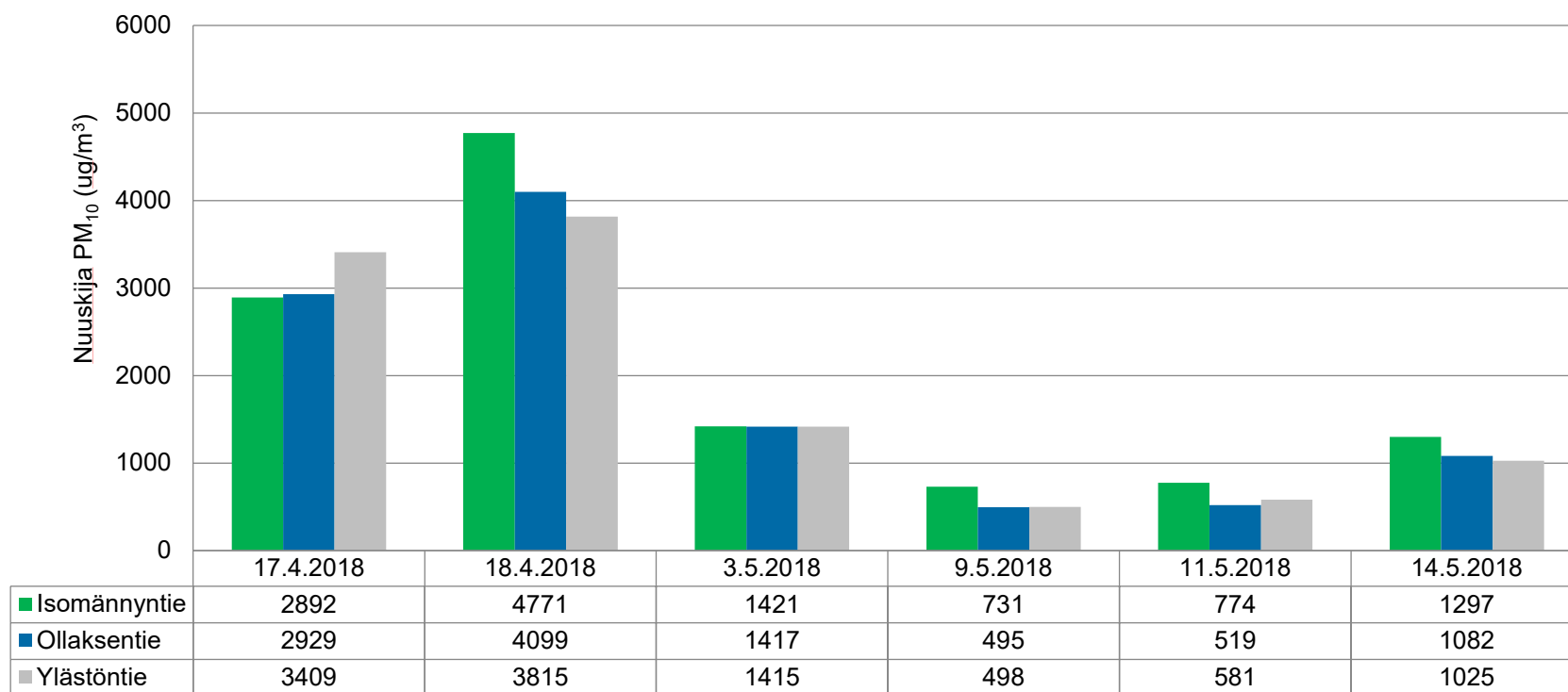
Kuva 70: Ylästön testisarja 2018



Kuva 71: Ylästö, kevään 2018 testisarja ja testialueen kartta.

Yhteenveto

Ylästön testien perusteella voidaan todeta, että mittavilla puhdistus ja pölynsidontatoimilla on ollut yleisesti vaikutusta alueen pölytasoihin. Lähtötasot huhtikuussa olivat 4000–5000 ug/m³ (Nuuskija TEOM) välillä. Karkean materiaalin poistolla ja pölynsidonnalla PM₁₀-pitoisuudet laskivat jo melkein ns. kesäpuhtaalle tasolle. PIMU-pesun jälkeen Nuuskijan mitaamat pölytasot laskivat edelleen, mutta tulokset vastasivat jo REDUST-hankkeessa tehtyjä päätelmiä; joiden mukaan pesuteho alenee lähtötasojen laskiessa. Pitoisuudet alenivat myös referenssikadulla (kuva 72: harmaalla), eikä kahdella eri pesumenetelmällä (kuva 73: Isomännäntie vihreällä, Olaksentie sinisellä) pestyllä, ja pesemättömällä kadulla (harmaalla) ole havaittavissa selkeää eroa.



Kuva 72: Pesu 8.5, BEAM-pesuimurilla: Isomännäntie ilman takapesupalkkia, Olaksentie takapesupalkki käytössä. Ylästöntie: referenssi

6.3.5

Vantaa Koisotie 2018

Testien tarkoitus oli selvittää Vantaan kaupungin PIMU-pesevän imulakaisukoneen eri ominaisuuksien eroja PM_{10} -pitoisuuksien vähentämiseksi. Koealue muodostui neljästä (4) radasta: alarata (pelkkä takapesupalkki), oikeanpuoleinen rata (pesu & imu), vasemmanpuoleinen rata (pesu & imu & takapesupalkki) ja referenssirata (ei toimenpiteitä). Koealueelle tehtiin karkean materiaalin poisto testejä edeltävänä päivänä (pois lukien referenssirata). Taso "ennen" mitattiin samana päivänä, jolloin varsinainen pesu tehtiin. Päästötasoja monitoroitiin heti samana päivänä, kun pesty alue oli silmämääräisesti arvioiden kuivunut. Lisäksi tasoja seurattiin seuraavana päivänä sekä kaksi päivää pesun jälkeen. Mittausajoneuvona käytettiin Nuuskijaa, joka mittasi 5 x / mittaus pesujäljen päältä sekä 5 x / mittaus referenssiradalta, jolle ei tehty mitään toimenpiteitä. Lisäksi yhdelle radalle tehtiin WDS-profiili ennen ja jälkeen pesun.



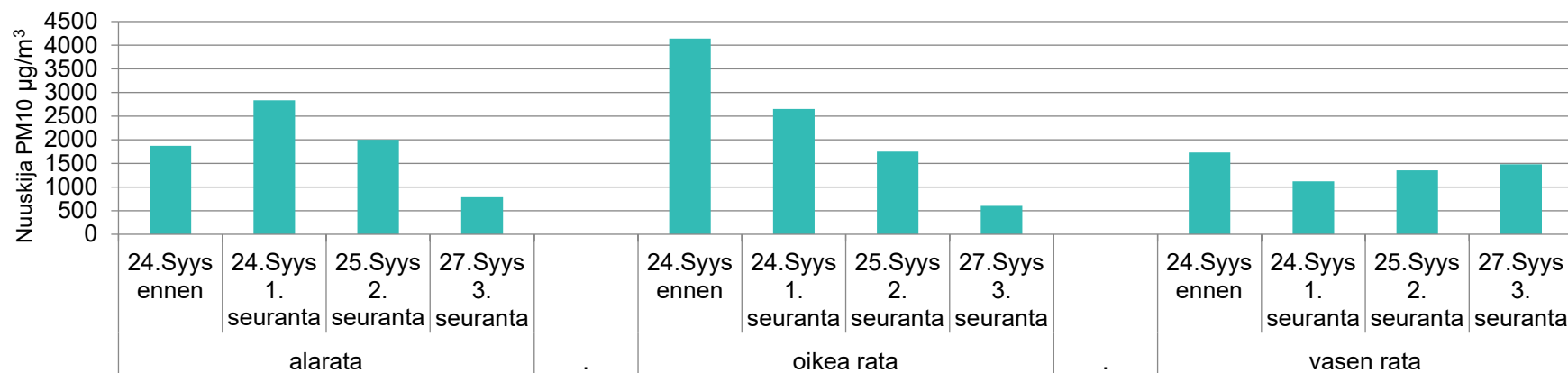
Kuva 73: BEAM 1200 S



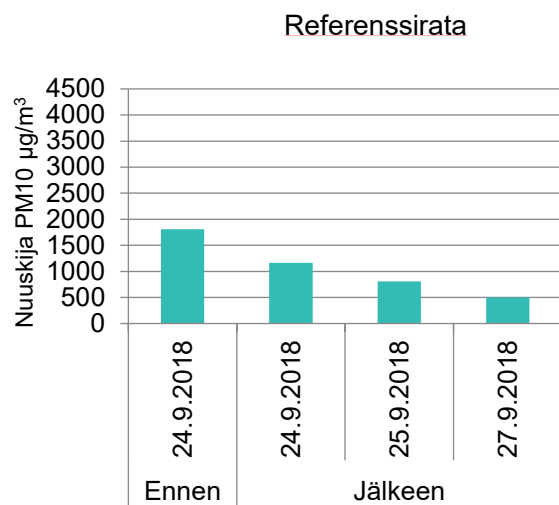
Kuva 74: Beam 1200 S, Koisotie 2018

Vantaa Koisotie 2018 – Nuuskija

Kuvissa 75 ja 76 on esitetty Nuuskijan mittaama PM_{10} -pitoisuus ennen ja jälkeen puhdistuksen. Alaradalla käytettiin ainoastaan pesupalkkia. Oikealla radalla käytettiin ainoastaan pesua ja imua ja vasemmalla radalla pesua ja imua sekä takapesupalkkia. Referenssiradalla ei tehty mitään toimenpiteitä.

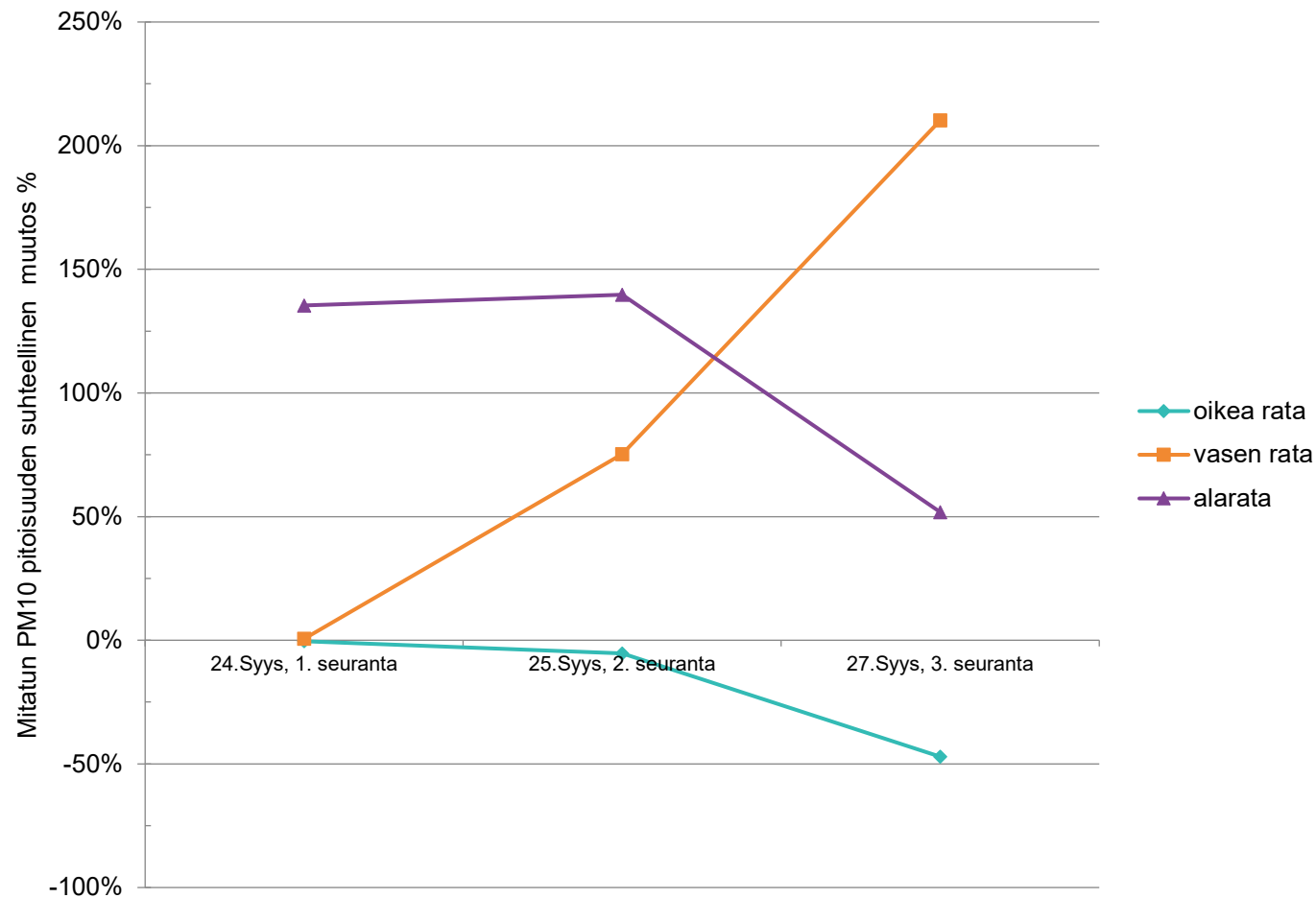


Kuva 75: Nuuskijan mittaama PM_{10} -pitoisuus eri radoilla.



Kuva 76: Nuuskijan mittaama PM_{10} -pitoisuus referenssiradalla.

Kuvassa 77 on esitetty Nuuskija-auton mittaaman PM₁₀ -pitoisuuden suhteellinen muutos ennen ja jälkeen puhdistuksen. Tuloksiin on tehty referenssikorjaus, joka mitattiin erikseen omalla radallaan.



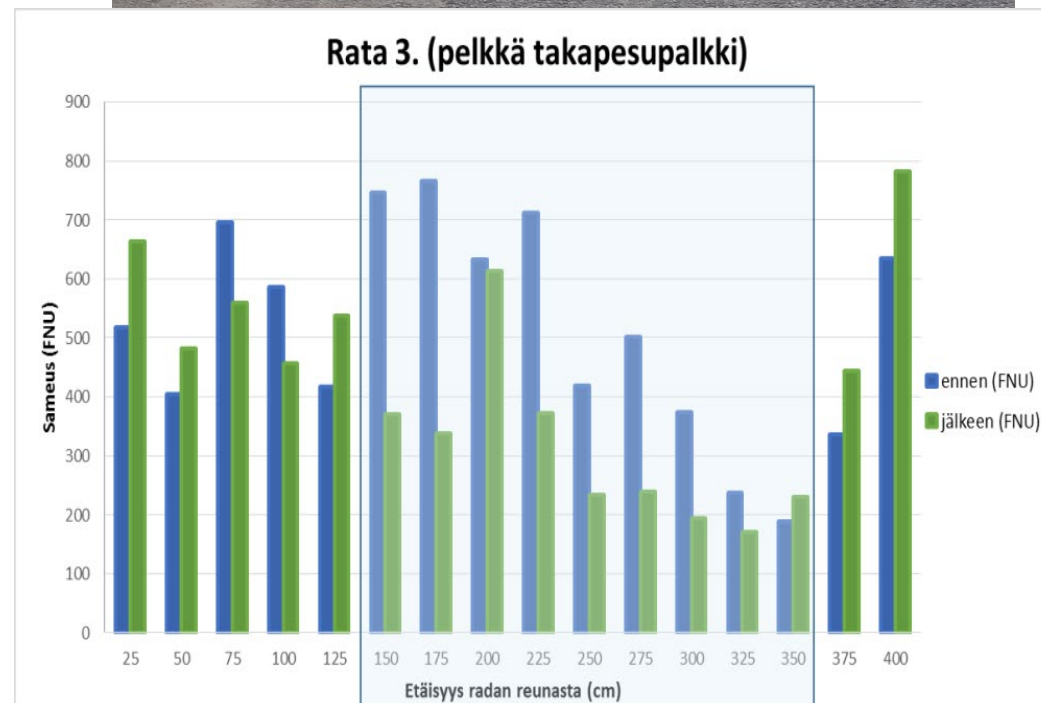
Kuva 77: PM₁₀ -pitoisuuden suhteellinen muutos lähtötilanteesta.

Vantaa Koisotie 2018 – WDS

Alaradalle tehtiin WDS-profiili juuri ennen ja jälkeen pesun. Radan pesussa käytettiin pelkkää takapesupalkkia. WDS-mittauksen tulokset on esitetty alla.

	etäisyys (cm)	ennen (FNU)	jälkeen (FNU)	muutos (%)
pesualue	25	518	664	1.28
	50	404	481	1.19
	75	696	559	0.80
	100	587	456	0.78
	125	418	538	1.29
	150	746	370	0.50
	175	766	338	0.44
	200	633	613	0.97
	225	712	373	0.52
	250	419	234	0.56
	275	502	240	0.48
	300	374	195	0.52
	325	237	170	0.72
	350	189	230	1.21
	375	336	445	1.32
	400	635	782	1.23

Taulukko 9: WDS (FNU) tulos ennen ja jälkeen pesun.



Kuva 78: WDS -profiili, Koisotie 2018

Yhteenveto

Testin tarkoituksena oli selvittää BEAM 1200 S -laitteen eri ominaisuuksien eroja ja niiden vaikutusta PM_{10} -päästöihin. Testin tulokset eivät vastanneet alkuolettamuksia. WDS-mittaus osoittaa takapesupalkin vähentävän pölykuormaa pesualueelta.

Nuuskija-mittauksien tulokset ovat kuitenkin hyvin ristiriitaiset eikä niitä voida pitää kovinkaan luotettavina seuraavista syistä:

- Testiradat liian olivat liian lyhyet, jotta tarpeeksi mittapisteitä olisi saatu osumaan alueelle.
- Sääolot olivat erittäin haastavat (erittäin tuulista).
- Kenttä, jossa testit suoritettiin, oli erittäin likainen (irtopölyä erittäin paljon). Tämä yhdistettynä tuulisiin olosuhteisiin johti siihen, että pölyä siirtyi tavanomaista enemmän myös puhdistetuille pinnoille.

- Seurannan aikana oli runsasta sadetta, joka aiheutti itsepuhdistumista sekä pölyn siirtymistä paikasta toiseen. Tämä näkyy referenssiradan tuloksissa. Ratojen sijoittelu oli myös epäsuotuisa pesu & imu & pesupalkki -testin kannalta. Kyseinen rata sijaitsee alueen toisella reunalla seinän vieressä, mikä osaltaan myös vaikutti pölyn siirtymiseen kentällä.
- Tuloksien perusteella ei voida sanoa mikä laitteen ominaisuuksista olisi tehokkain tapa PM_{10} -pitoisuuden vähentämiseksi.

6.4 Herkkyystarkastelu ja pölynsidonta

6.4.1 Mäkelänkatu 2015 ja 2016

Pölynsidonnän vaikutusta PM₁₀ -pitoisuuteen on demonstroitu mallin laskelmia apuna käyttäen. (Kuva 79 ja 80)

Herkkyystarkastelussa tuloksia verrattiin lähtötilanteeseen (mitattu PM₁₀ -pitoisuus, paikallisen pitoisuuden osuus ympäristön PM₁₀ -pitoisuudesta), joka perustuu todellisiin pölynsidontatapahtumiin sekä tapahtumiin ilman pölynsidontaa.

Tulokset esitetään

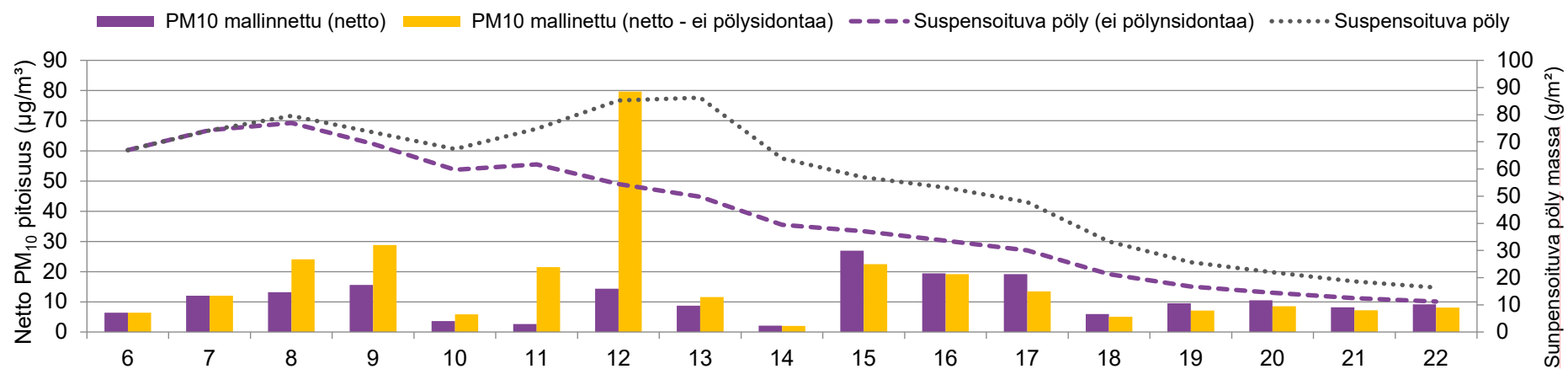
- 1) PM₁₀ viikkokeskiarvoina
- 2) suspentoituvan pölyn määränä (kokoluokka < 200 µm)

NORTRIP-malli

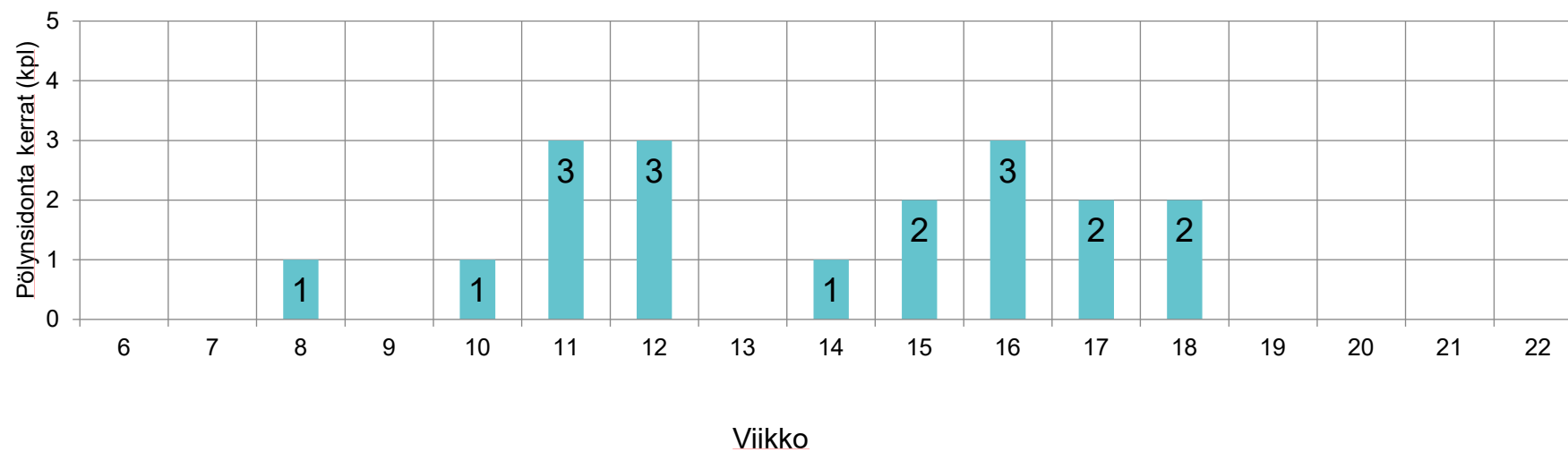
NORTRIP-malli ennustaa pölynsidonnalla olevan merkittävä vaikutus ilman PM₁₀ -pitoisuudelle (kuvissa viikkokeskiarvot). Kuvissa oranssit palkit kuvaavat pitoisuuksia ilman pölynsidontaa ja tummat palkit pitoisuuksia pölynsidonnän kanssa: pölynsidonta helmi- ja maaliskuussa 2015 esti korkeimpien PM₁₀ -pitoisuuksien päästöjä ilmaan.

Pölynsidonnalla saavutettu pitoisuuden lasku heijastuu osaltaan pölykuorman kasvuun kadun pinnalla: Pinnoille sidottu pöly ei pääse nousemaan ilmaan, vaan varastoituu katu ympäristöön vapautuakseen ilmaan myöhemmin. Pölyn varastoitumista ja sitä kautta katupölykauden pitkittymistä voidaan kuitenkin torjua mm. tehokkailla puhdistustoimilla, jolloin katupöly poistetaan pinnoilta. Tulokset on esitetty kuvissa 79 ja 80. Kuvissa 79 ja 80 PM₁₀ mallinnettu (netto) tarkoittaa paikallisia katupölylähteitä (katupöly, liikenne yms.). Tuloksissa on otettu huomioon myös ympäröivä PM₁₀-pitoisuus.

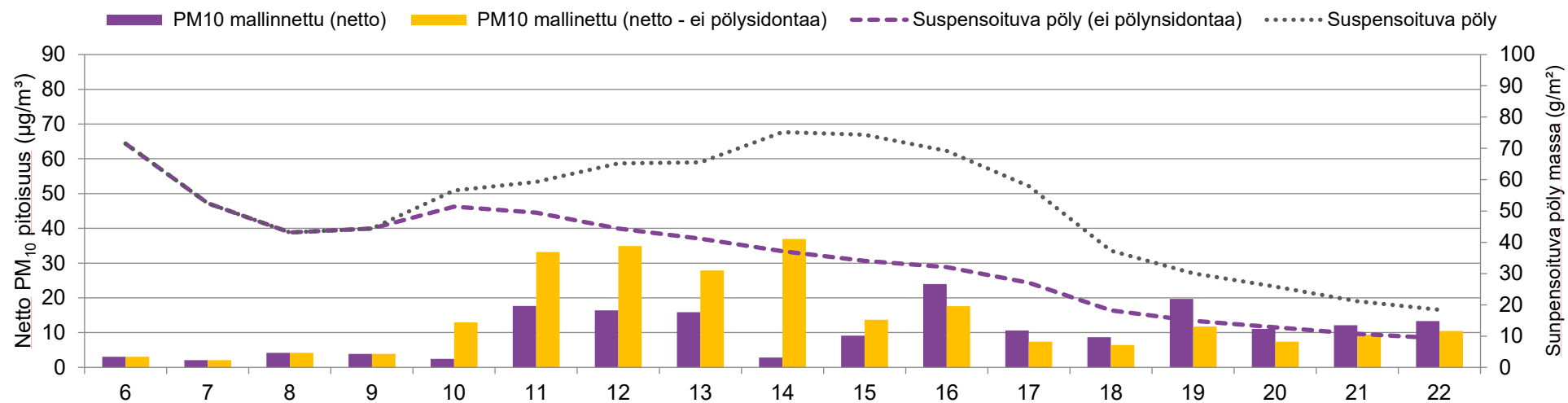
Herkkyystarkastelu Mäkelänkatu 2015



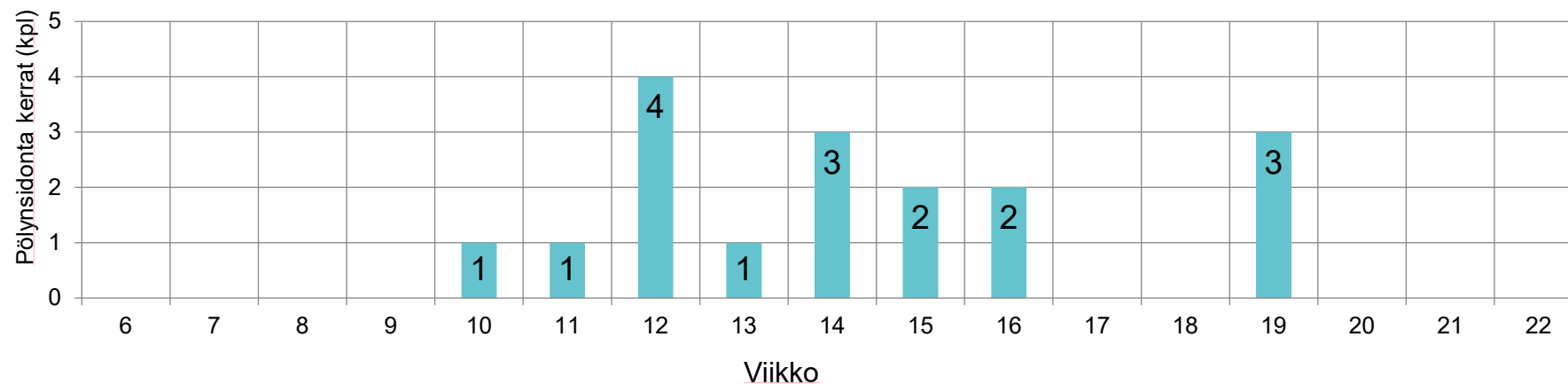
Kuva 79: NORTRIP-malli, Herkkyystarkastelu Mäkelänkatu 2015



Herkkyystarkastelu Mäkelänkatu 2016



Kuva 80: NORTRIP-malli, Herkkyystarkastelu Mäkelänkatu 2016



6.4.2 Herkkyystarkastelu, Tikkurilantie, Vantaa 2015

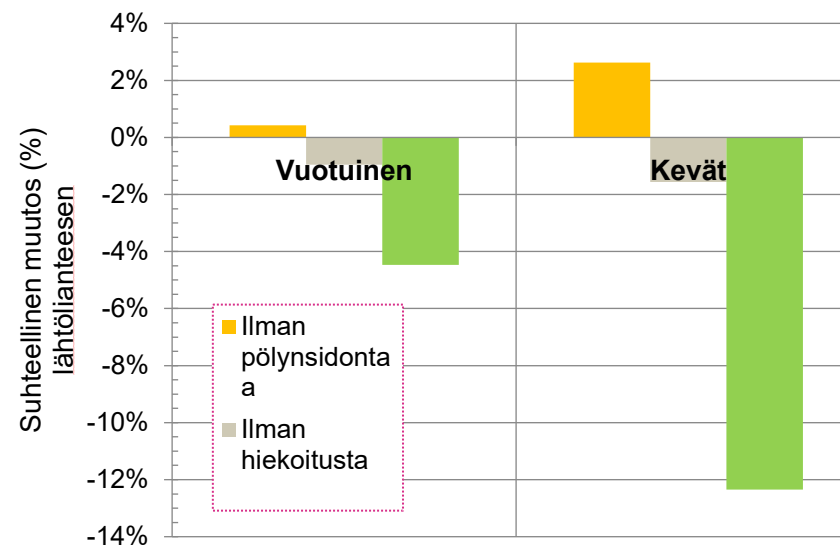
Mallinnetuille PM₁₀ -pitoisuuksille (ilman taustaa) suoritettiin herkkyystarkastelut seuraavasti:

- Ilman pölynsidontaa
- Ilman hiekoitusta
- 20% puhdistustehokkuus irtoavalle (suspentoituvalle) pölylle

Kuukausi	Suolaus (NaCl)	Hiekoitus	Pölynsidonta	Puhdistus
Tammikuu	16	3		
Helmikuu	13			
Maaliskuu	1			
Huhtikuu	1		2	2
Marraskuu	3			1
Joulukuu	11			

Taulukko 10: Kunnossapidon toimenpiteet (lähtötilanne)

Herkkyystarkastelu (kuva 81) osoittaa että, hiekoituksen ja pölynsidontan toimenpiteet on tärkeämpää suorittaa kevätkaudella kuin ympäri vuoden. Tarkastellessa pelkästään kevättä voidaan 20 % puhdistustehokkuudella vähentää PM₁₀ -pitoisuuksia n. 12 % kevätkaudella.



Kuva 81: Pölypitoisuuksien suhteellinen muutos lähtötilanteeseen verrattuna

6.5 Yhteenveto

Kadun puhdistuskalusto

KALPA-hankkeessa suoritettut pesukaluston testit vahvistavat aiemmissa tutkimuksissa (mm. REDUST) tehtyjä päätelmiä, joiden mukaan kadunpesulla voidaan alentaa kadunpinnasta mitattuja PM₁₀-pitoisuuksia. Pesutehoa lisäämällä pitoisuuksia saadaan alennettua huomattavasti. Toimenpiteillä saadaan suurimmat vaikutukset, kun ne tehdään mahdollisimman aikaisin keväällä ja erityisesti kaupunkialueilla, joilla altistujia on paljon.

Pölynsidonta

KALPA-hankkeessa ei tarkennetusti tutkittu pölynsidonnan vaikutusta päästöihin, mutta sen vaikutusta on pyritty todentamaan NORTrip-mallilla. Pölynsidonta vähentää tehokkaasti keväisin katupölyn huippupitoisuuksia ja parantaa ilmanlaatua sekä vähentää pölyhaitoille altistumista. Vaikutuksen kesto on riippuvainen vallitsevista olosuhteista, joten pitkäaikaisesta ratkaisusta ei ole kyse. Pölynsidonta antaa kunnossapitäjille kuitenkin paljon toivottua aikaa suorittaa tarvittavat toimenpiteet kevätkaudella katujen puhtaaksi saamiseksi.

7 Yhteenveto

Katupölyn lähteet, päästövähennyskeinot ja ilmanlaatuvaikutukset – tutkimushankkeen (KALPA) tavoitteena oli selvittää katupölypitoisuuksiin vaikuttavia tekijöitä ja eri lähteiden osuuksia erilaisissa katukohteissa sekä tunnistaa lupaavimpia päästövähennyskeinoja ja edesauttaa niiden käyttöön ottoa. Tutkimus oli yhteistyöhanke, jota rahoittivat Helsingin ja Vantaa kaupungit sekä Helsingin seudun ympäristöpalvelut-kuntayhtymä HSY. Hankkeen toteuttajat olivat Nordic Envicon Oy (vuodesta 2018, Suomen ympäristökeskus SYKE) ja Metropolia Ammattikorkeakoulu. Hanke oli jatkoa aiemmille REDUST- ja KAPU-katupölyhankkeille. Hankeen ensimmäinen vaihe (KALPA 1) toteutettiin vuosina 2015–2016 ja toinen vaihe (KALPA 2) vuosina 2017–2018. Tämä raportti kokoaa yhteen näiden neljän vuoden mittaustulokset. Hanke jatkuu KALPA 3-vaiheella, joka toteutetaan vuosina 2019–2020.

Hankkeessa käytettiin erilaisia metodeja päästöpitoisuuksien tarkasteluun. Metropolia Ammattikorkeakoulun Nuuskija-autolla mitattiin katupölypäästöjä (hengitettävät hiukkaset, PM₁₀ eli halkaisijaltaan alle 10 mikrometrin hiukkaset) kaupunkien katuverkoilla sekä testattiin eri pesulaitteiden pesutehoa. Opel Vectra -mittausajoneuvolla suoritettiin hankkeen rengasmittaukset, ja ajoneuvo oli mukana myös pesulaitetesteissä. Hankkeen toisessa vaiheessa mukaan otettiin myös Wet Dust Sampler -mittalaite, jolla saatiin mitattua tienpinnassa oleva pölyvarasto. Toimenpiteiden vaikutusten arviointiin käytettiin mittausten lisäksi NORTRIP-katupölymallia. Katupölyn lähteiden selvittämiseen käytettiin yksittäishiukkasanalyysia ja reseptorimallinnusta.

Tutkituissa katukohteissa Nuuskija-mittauksissa havaittu vuosien välinen trendi on ollut laskeva, vaikka trendit ovatkin tasoittuneet ns. huippuvuosista. Osaltaan tätä selittää vuosien välinen vaihtelu (erilaiset sääolosuhteet talvisin ja keväisin) sekä liikennemäärien lasku, parantuneet ja oikea-aikaiset kunnossapitotoimet sekä tehokkaampi kunnossapitokalusto. Erikoiskohteita tarkasteltaessa trendi on myös laskeva. Huomattavaa on esimerkiksi, että Kalasatamassa huippupitoisuudet ovat laskeneet sitä mukaa, kun kohteen työmaat ovat valmistuneet.

WDS-mittaukset osoittavat, että pölyvarasto alkaa kertyä tienpinnoille, kun talvirengaskausi alkaa, ja saavuttaa huippunsa alkukeväästä. Mäkelänkadulla mitatut alhaiset PM₁₀-suspensiopitoisuudet sekä muiden kuin katupölystä johtuvien päästöjen korkea suhteellinen osuus indikoivat, että kadulla tehdyt toimenpiteet katupölyn vähentämiseksi olivat tehokkaita.

Hankkeessa suoritettut rengasmittaukset osoittavat nastarenkaiden lisäävän PM₁₀ -pitoisuuksia. On kuitenkin otettava huomioon, että pelkästään nastojen määrä ja niiden ulkonema eivät yksinään ole vaikuttavia tekijöitä pölypitoisuuden nousuun. Muita syitä ovat mm. renkaan pintakuviointi, materiaali, nastojen sijoittelu renkaaseen, ajoneuvon paino ja tienpinnan laatu.

Hankkeen aikana suoritettiin myös kohdennettuja puhdistuskaluston testejä, jossa vertailtiin erilaisten puhdistustoimenpiteiden tehokkuutta. Hankkeen ensimmäisessä vaiheessa tehty testi osoitti, että perinteisen lakaisukoneen puhdistusteho ja puhdistuksen vaikutus PM₁₀ -päästöön on vain hetkellinen, toisinkuin pesevällä imulakaisukoneella, jonka puhdistusvaikutus oli huomattavasti parempi.

Hankkeen toisessa vaiheessa suoritettiin testi pesevälle imulakaisukoneelle tieverkolla ja suljetulla alueella, jolla vertailtiin laitteen erilaisten pesumoodien vaikutusta PM₁₀ -pitoisuuksiin. Testit tieverkolla osoittivat, että laitteen lisäominaisuudet paransivat hieman pesutulosta ja saivat pitoisuuden pysymään matalana

hieman pidempään. Suljetulla alueella tehdyt testit eivät näyttäneet pesutavoilla olevan eroa. Suoria johtopäätöksiä ei suljetun alueen testistä voida tehdä, koska mittausolosuhteet olivat mittausajoneuvoille haastavat, eikä WDS-mittauksia suoritettu kuin 2 kpl yhdellä testiradalla. Toisaalta WDS-mittaus osoittaa, että ajouran pölypitoisuutta saatiin laskettua huomattavasti ainoastaan käyttämällä pesevän imulakaisukoneen takapesupalkkia. Suoritettujen mittausten perusteella ei kuitenkaan voida arvioida toimenpiteiden vaikutuksen kestoa.

Pölynsidonta vahvistettiin tehokkaaksi toimeksi vähentää katupölypäästöjä. Pöly jää toimenpiteen jälkeen edelleen kadunpinnalle ja vapautuu toimenpiteen vaikutuksen loputtua taas ilmaan, ellei se poistu joko sateen tai kadunpuhdistamisen ansiosta.

8 Sammanfattning

Forskningsprojektet (KALPA) som undersöker gatudammets ursprung, metoder för utsläppsminskning och luftkvalitetseffekter har som mål att kunna utreda vilka faktorer som inverkar på halterna av gatudamm, och hur de olika källorna fördelar sig i olika gatumiljöer, samt att identifiera olika intressanta möjligheter att minska på utsläppen och att främja ibruktagandet av sådana åtgärder. Forskningen sker i ett samarbetsprojekt som finansieras av HRM, Helsingfors stad, och Vanda stad. Projektet förverkligas av Nordic Envicon AB (från och med 2018 Finlands Miljöcentral SYKE) och yrkeshögskolan Metropolia. Projektet är en fortsättning på de tidigare gatudammsprojekten KAPU och REDUST. KALPA-projektets första skede (KALPA 1) förverkligades under åren 2015–2016, och det andra skedet (KALPA 2) under åren 2017–2018. Denna rapport sammanställer mättningsresultaten från de fyra åren. Projektet kommer att fortsätta med ett tredje skede, KALPA 3, som ska förverkligas under åren 2019–2020.

Projektet utnyttjade olika metoder för att undersöka gatudammsutsläpp, bland annat: yrkeshögskolan Metropolias Nuuskija-bil som mätte gatudammsutsläpp inom städernas gatunätverk (inandningsbara partiklar, PM₁₀, dvs. partiklar i storlek under 10 mikrometer), samt testade rengöringseffekten hos olika typer av gaturengöringsmaskiner. Projektet utförde däcksmätningar med ett mättningsfordon av märket Opel Vectra, och detta fordon deltog även i testningen av gaturengöringsmaskiner. I projektets andra skede tog man också med en mätutrustning som kallas Wet Dust Sampler, som tillåter mätning av hur stora dammängder som ackumuleras i gatumiljön. För att bedöma de olika rengöringsåtgärdernas effekt utnyttjade projektet dels mätningar, dels en NORTRIP - gatudammsmodellering. Projektet utredde gatudammets ursprung med hjälp av analyser av enskilda partiklar och en receptormodellering.

Nuuskija-mätningarna påvisar en årsvis sjunkande trend på de undersökta gatuobjekten, trots att trenden har planat ut från de så kallade toppåren. Delvis förklaras detta av skillnader åren emellan (olika väderleksförhållanden under vintrar och vårar), mindre trafikthet, bättre underhåll som sker i rätt tid, samt bättre gatuunderhållsutrustning. Även vid granskning av vissa specialobjekt visade sig trenden för gatudammet vara sjunkande. Anmärkningsvärt är till exempel att de konstaterade topphalterna i Fiskehamnen har sjunkit i takt med att byggplatserna på området har färdigställts.

WDS-mätningarna visar att gatorna börjar ackumulera damm när vinterdäckssäsongen inleds, och mängden damm som ackumuleras i gatumiljön når sin kulmen i början av våren. De låga PM₁₀-suspensionshalter som uppmättes på Backasgatan och den höga relativa andelen av andra utsläpp än de som orsakas av gatudamm indikerar att de åtgärder som utförts för att minska mängden gatudamm har varit effektiva.

Projektets däcksmätningar påvisar att användning av dubbdäck höjer halterna av PM₁₀. Det är dock skäl att notera att det inte enbart är antalet dubbar och dubbarnas utsprång som orsakar högre dammhalter. Andra faktorer är till exempel däckens mönster, material, dubbarnas placering, fordonets vikt och vägytans kvalitet.

Under projektet jämfördes även de olika rengöringsåtgärdernas effektivitet genom riktad testning av rengöringsutrustning. Testerna under projektets första skede visade att rengöringseffekten och rengöringens inverkan på PM₁₀-utsläppen hos traditionella gatusopmaskiner endast är kortvarig, till åtskillnad från de gatusopmaskiner som utrustats med våtrengöring och sug, som har en betydligt högre rengöringseffekt.

I projektets andra skede körde man tester med en våtrengörande gatusopmaskin inom landsvägsnätet och på avgränsade områden. Under testerna jämförde man maskinens olika tvätt inställningar och hur de inverkade på PM_{10} -halterna. Testerna på vägnätet visade att maskinens tilläggssegenskaper i någon mån förbättrade tvättresultatet, och halterna hölls på lägre nivå något längre. De tester som gjordes på avgränsat område kunde inte påvisa några skillnader mellan olika tvätt inställningar. Tyvärr går det inte att dra några klara slutsatser på basen av dessa tester, eftersom mättingsförhållandena var utmanande för mättingsfordonen, och av WDS-mätningarna bara två mätningar kunde utföras, och bara på ett avsnitt. Å andra sidan påvisar WDS-mätningarna att de ackumulerade dammängderna i körfåran kunde minskas märkbart endast med en gatusopmaskin med sug och bakmonterad tvätt balk. Åtgärdernas varaktighet kan dessvärre inte uppskattas på basen av utförda mätningar.

Dammbindning bekräftades vara en effektiv åtgärd för att minska utsläpp av gatudamm. Dammet stannar dock kvar på gatan efter åtgärden och frigörs igen efter att åtgärdens effekt avtagit, såvida dammet inte sköljs bort av regn eller med hjälp av gaturengöring.

9 Summary

The KALPA research project on street dust sources, emission reduction means and impacts on the air quality aims to detect factors influencing street dust concentrations and the influence rates of different sources in various target streets, to recognise the most promising emission reduction possibilities and to promote their implementation. This research is a cooperation project funded by HSY and the cities of Helsinki and Vantaa. The project is implemented by Nordic Envicon OY (from 2018 The Finnish Environment Institute SYKE) and the Metropolia University of Applied Sciences. The project is a continuation programme of the KAPU and REDUST projects on street dust. The first stage of the KALPA project (KALPA 1) was carried out in 2015–2016 and the second stage (KALPA 2) during 2017–2018. This report compiles the results from measurements carried out during these four years. The third stage of the project continues as KALPA 3, which will be carried out during 2019–2020.

In the project, various methods were used for examining street dust emissions; among others, the Sniffer vehicle of the Metropolia University of Applied Sciences which was used for measuring street dust emissions (thoracic particles and PM₁₀, i.e. particles with a diameter less than 10 micrometres) in the urban street networks and for testing the cleaning efficiency of different street cleaning techniques. Tyre emission measurements were carried out using an Opel Vectra measurement vehicle and the vehicle was also used for testing the street cleaning equipment. A Wet Dust Sampler measurement technique was introduced in the second stage of the project for measuring dust deposition on road surface. Besides the aforementioned measurements, the NORTRIP street dust model was also used for evaluating the impacts of applied measures. A single-particle analysis and receptor modelling were applied to determine the sources of street dust.

The year-to-year trend, which the Sniffer measurements showed in the target street analysis, has been declining although the trends have levelled off in comparison to the so called peak years. This can be partly explained by the year-to-year variation (different weather conditions in the winter and spring), declining amounts of traffic, improved and real-time maintenance measures and more efficient maintenance equipment. When analysing the special targets, the street dust trend has also been descending. A notable trend for instance is that peak concentrations measured in Kalasatama have declined more and more as Kalasatama's construction sites were completed.

WDS measurements show that dust starts to deposit on road surfaces once the winter tyre season begins and reaches its peak in the early spring. The lowest measured PM₁₀ suspension concentrations in the Mäkeläncatu street and the relatively high share of emissions from other sources than from street dust indicate that the measures implemented to reduce street dust have been efficient.

The tyre measurements, which were carried out in this project, show that studded tyres increase PM₁₀ concentrations. However, it has to be taken into account that not only the number of studs and their protrusion alone are the influencing factors increasing the dust concentration. Other reasons are, among others, the tyre tread, material, placement of studs on the tyre, vehicle's weight and the road surface.

Targeted cleaning equipment tests for comparing the efficiency of different cleaning measures were also carried out during the project. A test, which was implemented in the first stage of the project, showed that the cleaning efficiency of a traditional sweeper unit and the effect of this cleaning method on PM₁₀ emissions were only temporary, unlike for the washing vacuum sweeper unit that has much higher cleaning effect.

In the second stage of the project, the test was carried out for the washing vacuum sweeper unit on a road network and closed area where the impact of the different washing modes of this equipment on PM₁₀ concentrations were compared. The tests on the road network showed that the additional properties of the equipment improved the wash result slightly and managed to keep the concentration level lower for a little longer. Tests which were carried out in the closed area did not show any differences between the washing methods. Any direct conclusions cannot be drawn because the conditions for carrying out the measurement were challenging and only two of the WDS measurements were carried out on one section. On the other hand, the WDS measurement shows that the dust concentration in wheel-tracks can be significantly reduced only by using the rear-mounted washer unit of the vacuum sweeper vehicle. However, the duration of the effect of these measures cannot be evaluated just based on the measurements that have been carried out.

Dust binding was confirmed as an efficient measure to reduce street dust emission. However, the dust still remains on road surfaces after the measure and is released into the atmosphere after the effect of the measure in question is over, unless it disappears due to rain or street cleaning.

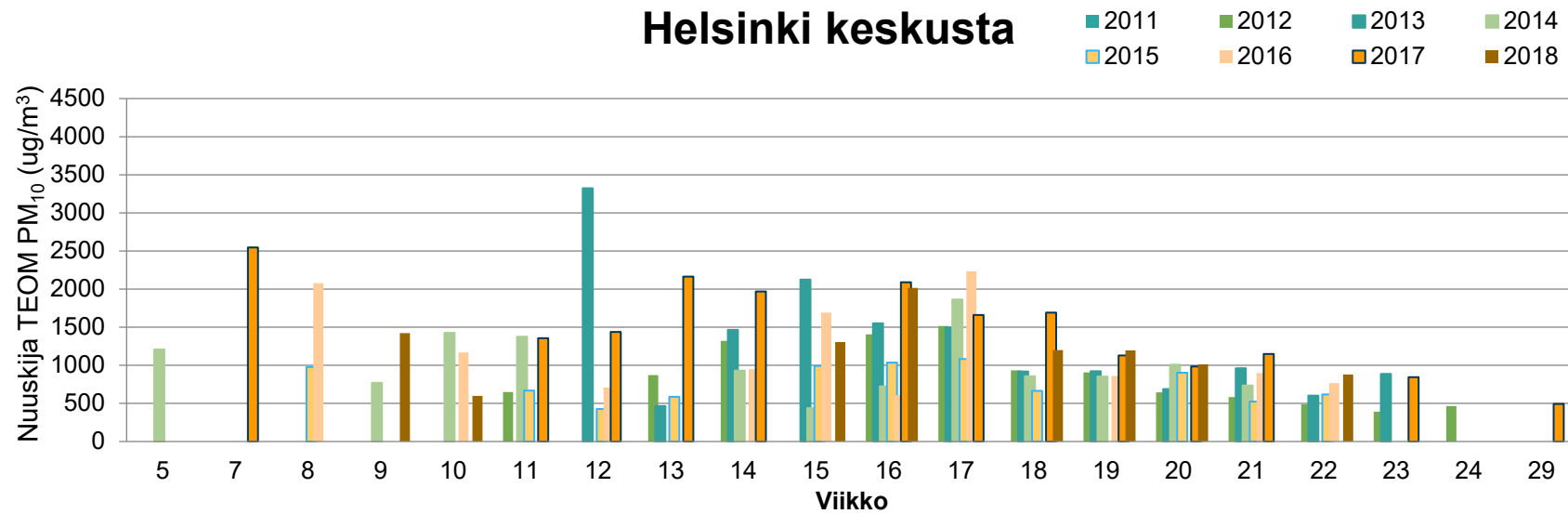
Lähdeluettelo

- Anttila, P., Tuovinen, J-P. 2010. Trends of primary and secondary pollutant concentrations in Finland in 1994–2007. *Atmospheric Environment* 44 (2010) 30–41.
- Denby B.R ym, 2013: The NORTRIP model (NOn-exhaust Road Traffic Induced Particle emissions), *Atmospheric Environment*, Volume 77, October 2013, P. 283-300
- Helsingin kaupungin ympäristökeskus 2008. Helsingin kaupungin ilmansuojelun toimenpideohjelma 2008–2016, Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen julkaisuja 10/2008
- Helsingin kaupungin ympäristökeskus 2016, Helsingin kaupungin ilmansuojelusuunnitelma 2017–2024. Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen julkaisuja 11/2016.
- Hänninen O, Korhonen A, Lehtomäki H, Asikainen A, Rumrich.I, 2016. Ilmansaasteiden terveysvaikutukset. Ympäristöministeriön raportteja 16/2016.
- Kaski N, Päivi Aarnio, Loukkola K, Portin H 2016. Ilmanlaatu pääkaupunkiseudulla vuonna 2015. HSY:n julkaisuja 6/2016.
- Kaski N, Loukkola K, Portin H. 2017. Ilmanlaatu pääkaupunkiseudulla vuonna 2016. HSY:n julkaisuja 3/2017.
- Kupiainen K, Pirjola L, Viinanen J, Stojiljkovic A, Malinen A, 2009. Katupölyn päästöt ja torjunta KAPU-hankkeen loppuraportti. Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen julkaisuja 13/2009
- Kupiainen K, Ritola R. 2013. Nastarengas ja hengitettävä pöly. Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen julkaisuja 6/2013
- Malkki M, Loukkola K, Portin H. 2018. Ilmanlaatu pääkaupunkiseudulla vuonna 2017. HSY:n julkaisuja 2/2018.
- Männikkö J-P, Niemi J, Ritola R, Kupiainen K, Pirjola L, Väkevä O, Virtanen T, 2011-2014, REDUST (EU LIFE+) raportit, <https://www.ymk-projektit.fi/redust/>
- Pirjola L, Kupiainen K, Perhoniemi P, Tervahattu H, Vesala H, 2009, Non-exhaust emission measurement system of the mobile laboratory SNIFFER. *Atmospheric Environment*, Volume 43, Issue 31, p. 4703-4713
- Stojiljkovic, A., Kupiainen, K., Niemi, J.V., Kousa, A., Pirjola, L., Ritola, R., Malinen, A. 2016. Modelling street dust in the Helsinki metropolitan area. HSY:n julkaisuja 10/2016.

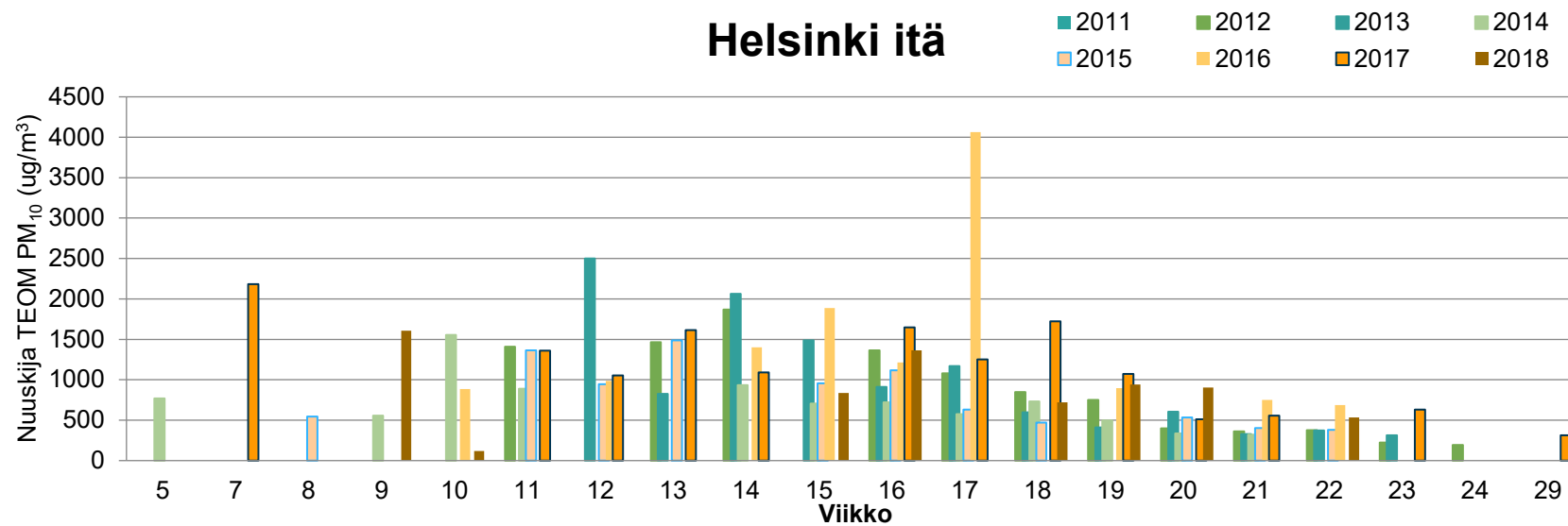
Toiskallio K, Kuukka-Ruotsalainen V, Alppivuori K, 2013, NASTA-tutkimusohjelman 2011-2013 loppuraportti, Helsingin kaupungin rakennusviraston julkaisut 2013:4.

10 Liitteet

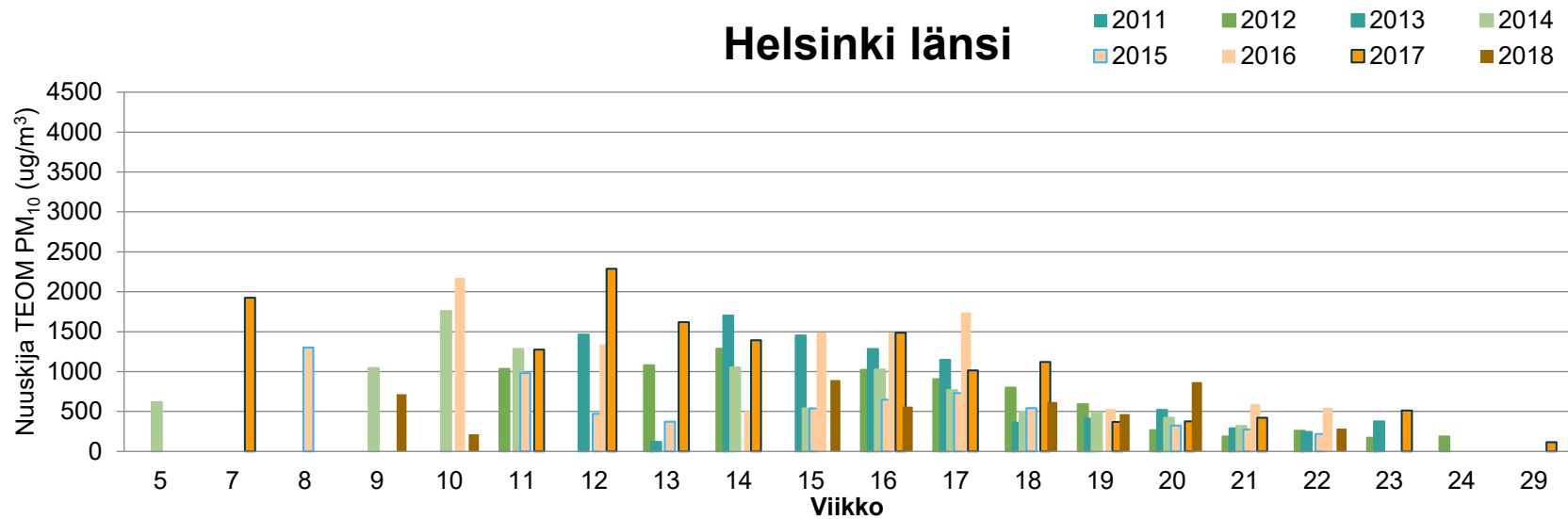
Liite 1: Nuuskijan reittikeskiarvot vuosina 2011-2018



Helsinki itä



Helsinki länsi



Liite 2: Hiekoitusmateriaalien raekokojakaumat

Materiaalit

Testattiin kolme materiaalia, jotka käytössä ajoratojen hiekoituksessa pk-seudulla. Näytteet pyydettiin satunnaisesti kolmelta eri paikkakunnalta. Kaikista materiaaleista ei ollut saatavilla täydellisiä lähtötietoja.

- Näyte 1) kalliomurske (KaM) 3-5,6 mm, ei tietoa seulontatavasta, toimittaja Lemminkäinen/YIT (louhos Malmgård)
- Näyte 2) märkäseulottu kalliomurske (KaM) 1-5,6 mm, toimittaja Seepsula (louhos Senkkerinmäki)
- Näyte 3) kuivaseulottu kalliomurske (KaM) 3-5,6 mm, ei toimittajan/louhoksen tietoja. Poikkeuksellisesti käytössä kaudella 2017-2018, normaalisti käytössä märkäseulottu 3-5,6 mm.

Analyysit

- Karkea seulonta (raekoot 0,063 mm-8 mm) tehtiin Staran Katu- ja maalaboratoriossa.
- Hienoainesanalyysi (raekoot alle 0,063 mm) tehtiin laserdiffraktiomenetelmällä Helsingin yliopiston sedimenttilaboratoriossa (Malvern Hydro 2000 G laser-diffraktometri).
- Verrattuna pipetti- tai areometrimenetelmään laser-diffraktometri antaa systemaattisesti liian suuria raekokolukemia etenkin pienten raekokojen osalta. Tuloksia on korjattu kokeellisesti määritellyllä korjausfunktiolla. (Lähde: Markus Valkama, Helsingin yliopiston sedimenttilaboratorio)

PM₁₀-jakeen määrä hiekoitusmateriaaleissa

Näyte 1:

- PM₁₀ -pitoisuus 590mg /100g hiekoitus materiaalia
- kalliomurske (KaM) 3-5,6 mm, ei tietoa seulontatavasta
- Näyte sisälsi prosentuaalisesti eniten PM₁₀ kokoluokan hiukkasia. Materiaalin seulontatapa ei ole selvillä, mutta oletettavasti materiaalia ei ole valmistusvaiheessa pesuseulottu.
- Myös tässä kunnassa seuraavan kauden osalta oltiin tiukentamassa kilpailutuksen laatukriteereitä.

Näyte 2:

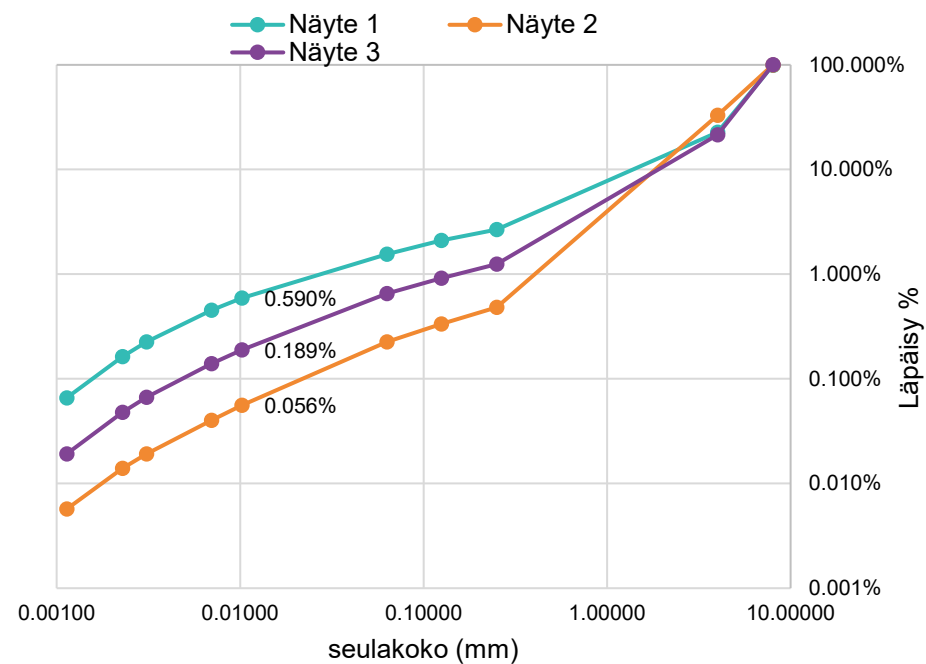
- PM₁₀ -pitoisuus 56 mg /100 g hiekoitus materiaalia
- märkäseulottu kalliomurske (KaM) 1-5,6 mm
- Testiin valikoiduista materiaaleista pienin PM₁₀ osuus oli 1-5,6 mm kokoluokan märkäseulotussa materiaalissa.
- Kyseinen materiaali täyttää kaupunkien laatuvaatimukset sepelin hankinnassa.

Näyte 3:

- PM₁₀ -pitoisuus 189 mg /100 g hiekoitus materiaalia
- kuivaseulottu kalliomurske (KaM) 3-5,6 mm
- kuivaseulottu 3-5,6 mm kalliomurske sisälsi noin kolminkertaisen määrän PM₁₀ kokoluokan hiukkasia Näytteeseen 2) verrattuna
- Kyseistä materiaalia käytettiin talvella 2017–2018 ajoratojen liukkaudentorjuntaan, mutta seuraavalle kaudelle oltiin siirtymässä takaisin märkäseulottuun materiaaliin.

Tulokset

seula (mm)	Näyte 1	Näyte 2	Näyte 3
8,00000	98,714%	99,925%	100,000%
4,00000	22,688%	33,061%	21,420%
0,25000	2,671%	0,484%	1,248%
0,12500	2,109%	0,334%	0,918%
0,06300	1,548%	0,225%	0,654%
0,01021	0,590%	0,056%	0,189%
0,00699	0,452%	0,040%	0,140%
0,00309	0,225%	0,019%	0,067%
0,00228	0,163%	0,014%	0,048%
0,00114	0,066%	0,006%	0,019%



Analysissä käytetty seulakoko 0,01021 mm lähinnä PM₁₀-ä

Tulos:

PM₁₀ jakeen määrä koko näytteestä

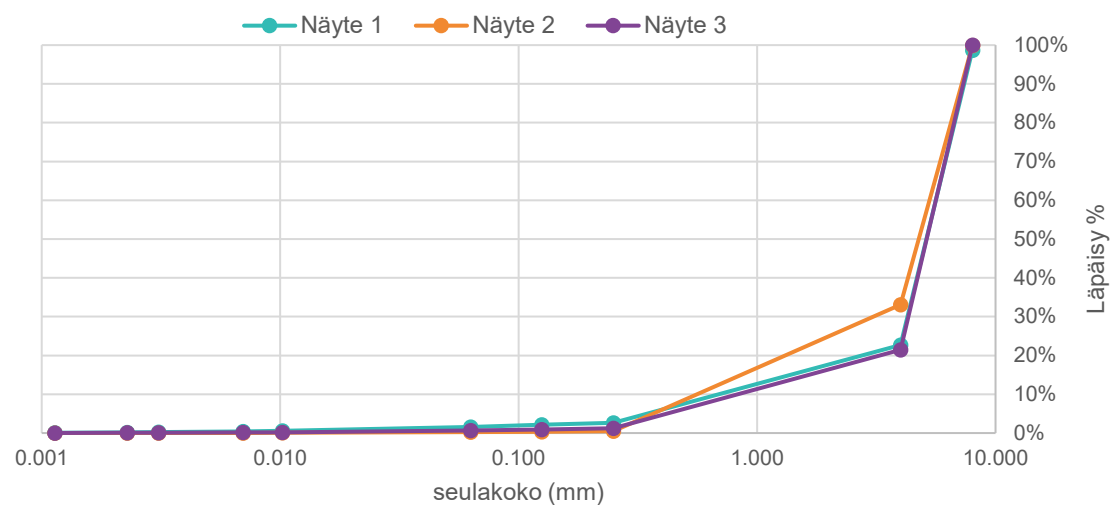
Näyte 1) 0.590%

Näyte 2) 0.056%

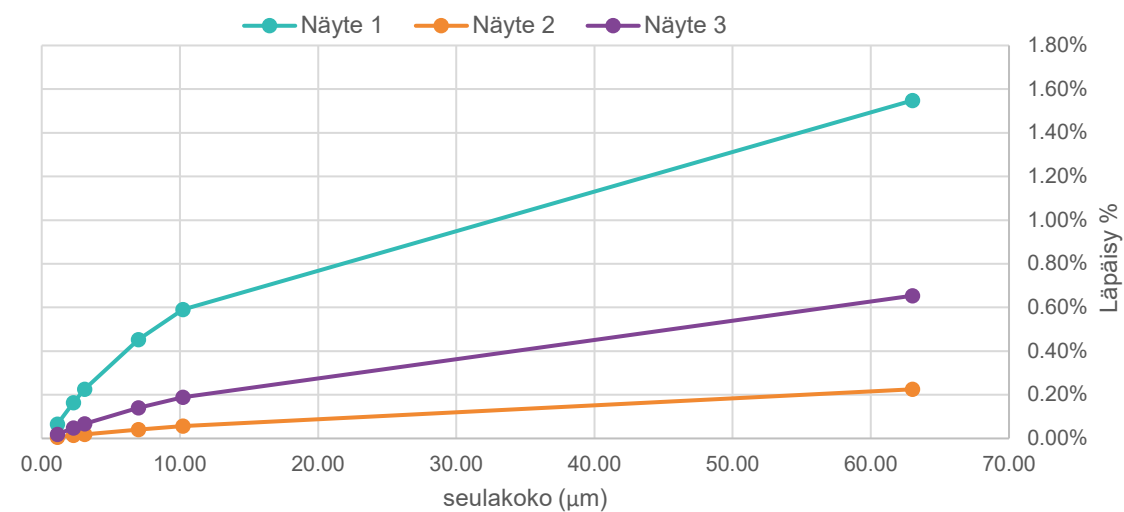
Näyte 3) 0.189%

Tulokset lineaarisella asteikolla

seula (mm)	Näyte 1	Näyte 2	Näyte 3
8,00000	98,714%	99,925%	100,000%
4,00000	22,688%	33,061%	21,420%
0,25000	2,671%	0,484%	1,248%
0,12500	2,109%	0,334%	0,918%
0,06300	1,548%	0,225%	0,654%
0,01021	0,590%	0,056%	0,189%
0,00699	0,452%	0,040%	0,140%
0,00309	0,225%	0,019%	0,067%
0,00228	0,163%	0,014%	0,048%
0,00114	0,066%	0,006%	0,019%



seula (µm)	Näyte 1	Näyte 2	Näyte 3
63,00	1,548%	0,225%	0,654%
10,21	0,590%	0,056%	0,189%
6,99	0,452%	0,040%	0,140%
3,09	0,225%	0,019%	0,067%
2,28	0,163%	0,014%	0,048%
1,14	0,066%	0,006%	0,019%



Liite 3: Työpaketeissa 1-6 tehdyt työt

Työpaketti	KALPA 1 (2015-2016)	KALPA 2 (2017-2018)
TP1.: Katuverkon päästötasojen monitorointi	Päästömittaukset kaupunkireiteillä Nuuskija-autolla, (Helsinki, Vantaa), mittaukset pääväylällä, toimenpidetietojen keräys,	Päästömittaukset kaupunkireiteillä Nuuskija-autolla, (Helsinki, Vantaa), WDS-mittaukset
TP2. Uusien talvirenkaiden hiukkaspäästöt	Rengasmittaukset Opel Vectralla	Rengasmittaukset Opel Vectralla
TP3. Katupölyn erikoiskohteet	Mittaukset raitiotiekohteessa, pääväylällä, sekä rakennustyömaakohteessa. Kadunpuhdistustestit (koealueella)	Mittaukset pääväylällä, rakennustyömaakohteessa, erillisraportti pääväyliä katupölyntorjuntatoimien optimoinnista, kadunpuhdistustestit (katuympäristössä ja koealueella)
TP4. Katupölyn lähteet	Mittaukset, näytteiden keruu (lähdenäytteet: päällyste ja hiekoitusmateriaali. Keräysnäytteet DustTrak) ja näyteanalyysit (SEM-EDX)	Näyteanalyysit (SEM-EDX)
TP5. Katupölyn päästöjen ja ilmanlaatuvaikutusten mallinnus	Katupölyn lähteiden ja vähennyskeinojen arvionti NORTRIP-mallilla eri kohteissa	Katupölyn lähteiden ja vähennyskeinojen arvionti NORTRIP-mallilla eri kohteissa, katupölyn päästökertoimien ja – inventaarion tarkentaminen
TP6. Katupölyn trendit pääkaupunkiseudulla	Aikasarjojen jatko, huippupäästötasojen vertailu	Aikasarjojen jatko, huippupäästötasojen vertailu



HSY:n julkaisuja | HRM:s publikationer 1/2019

ISSN-L

ISSN (nid.)

ISSN 1798-6095 (pdf)

ISBN (nid.)

ISBN 978-952-7146-38-5 (pdf)

Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä

PL 100, 00066 HSY

Puh. 09 156 11, Fax 09 1561 2011, www.hsy.fi

Samkommunen Helsingforsregionens miljötjänster

PB 100, 00066 HRM

Tfn. 09 156 11, Fax 09 1561 2011, www.hsy.fi

Helsinki Region Environmental Services Authority

P.O. Box 100, FI-00066 HSY

Tel. +358 9 15611, Fax +358 9 1561 2011, www.hsy.fi