Suomen ympäristökeskuksen raportteja 28 | 2021

Katupölyn lähteet, päästövähennyskeinot ja ilmanlaatuvaikutukset

KALPA3-tutkimushankkeen loppuraportti

Roosa Ritola, Sami Kulovuori,
Ana Stojiljkovic, Niko Karvosenoja

Suomen ympäristökeskus

Suomen ympäristökeskuksen raportteja 28 / 2021

Katupölyn lähteet, päästövähennyskeinot ja ilmanlaatuvaikutukset

KALPA3-tutkimushankkeen loppuraportti

Roosa Ritola, Sami Kulovuori,
Ana Stojiljkovic, Niko Karvosenoja

Suomen ympäristökeskuksen raportteja 28 | 2021
Suomen ympäristökeskus
Ilmasto ja ilmansuojelu/Kulutuksen ja tuotannon keskus

Kirjoittajat: Roosa Ritola [1)], Sami Kulovuori [2)1)], Ana Stojiljkovic [1)] Niko Karvosenoja [1)]
[1)] Suomen ympäristökeskus
[2)] Metropolia Ammattikorkeakoulu

Vastaava erikoistoimittaja: Ari Nissinen

Rahoittaja/toimeksiantaja: Helsingin, Kuopion ja Vantaan kaupungit,
Helsingin seudun ympäristöpalvelut HSY, Savon Kuljetus Oy ja Pohjois-Savon ELY-keskus.
Julkaisija ja kustantaja: Suomen ympäristökeskus (SYKE)
Latokartanonkaari 11, 00790 Helsinki, puh. 0295 251 000, syke.fi

Taitto: Roosa Ritola
Kannen kuva: Sami Kulovuori

Julkaisu on saatavana veloituksetta internetistä: www.syke.fi/julkaisut | helda.helsinki.fi/syke sekä painettuna SYKEn verkkokaupasta: syke.omapumu.com.

ISBN 978-952-11-5407-2 (PDF)
ISBN 978-952-11-5406-5 (nid.)
ISSN 1796-1726 (verkkoj.)
ISSN 1796-1718 (pain.)

Julkaisuvuosi: 2021

Tiivistelmä

Katupölyn lähteet, päästövähennyskeinot ja ilmanlaatuvaikutukset

Katupölyn syntyyn vaikuttavat monet tekijät, ja sen on tutkimusten mukaan osoitettu olevan pääosin mineraaliperäistä karkean kokoluokan pölyä. Ongelmaksi katupöly muodostuu silloin, kun hiukkaset päätyvät hengitysilmaan ja aiheuttavat sitä kautta viihtyvyys- ja terveyshaittoja, erityisesti kaupunkien asukkaille. Tutkimushankkeen ”Katupölyn lähteet, päästövähennyskeinot ja ilmanlaatuvaikutukset” (KALPA) tavoitteena oli selvittää katupölypitoisuuksiin vaikuttavia tekijöitä ja eri lähteiden osuuksia erilaisissa katukohteissa sekä tunnistaa lupaavampia päästövähennysmahdollisuuksia ja edesauttaa niiden käyttöönottoa. Tämä raportti käsittelee KALPA-hankkeen kolmannessa vaiheessa (KALPA3), vuosina 2019-2020, tehtyjä tutkimuksia. KALPA-hankkeen neljän ensimmäisen vuoden tulokset on aiemmin (2019) raportoitu HSY:n julkaisusarjassa. KALPA-hanke on jatkoa aiemmille REDUST- ja KAPU-katupölyhankkeille. Hankkeen toteuttajat olivat Suomen ympäristökeskus (SYKE) ja Metropolia Ammattikorkeakoulu. Hankkeessa käytettiin erilaisia metodeja katupölypäästöjen tarkasteluun. Metropolia Ammattikorkeakoulun Nuuskija-autolla mitattiin katupölypäästöjä (PM_{10} ja $PM_{2,5}$, eli halkaisijaltaan alle 10 tai alle 2,5 mikrometrin hiukkaset) kaupunkien katuverkoilla, työmaakohteissa ja korkean nopeuden pääväyläkohteissa sekä testattiin erilaisten pesulaitteiden ja -menetelmien tehoa pölynpoistossa. Mittauksia täydennettiin toisella mittausajoneuvolla (TRAKER-menetelmään perustuva Vectra) ja Wet Dust Samplerilla (WDS) suoritetuilla mittauksilla. WDS-mittalaitteella saadaan tietoa tienpinnassa olevasta pölyvarastosta, ja sitä hyödynnettiin mm. pesulaitetestien yhteydessä. KALPA-hankkeessa aikaisemmin tehtyjen nastarengasmittausten tuloksia verrattiin yliajotestillä saatuihin renkaiden kulumatuloksiin. Lisäksi hankkeessa käytettiin NORTRIP-katupölymallia hiekoituksen ilmanlaatuvaikutuksen tarkasteluun ja katupölyn lähteiden arvioimiseen sekä havainnollistettiin nastarengasosuuden laskemisen vaikutusta ilmanlaatuun hengitettävien hiukkasten osalta. NORTRIP-mallilla laskettuja päästökertoimia käytettiin lisäksi kansallisessa FRES-mallissa, jonka avulla arvioitiin katupölyn merkittävyyttä koko Suomen tasolla. FRES-mallilla toteutetun arvion mukaan katupölypäästöt muodostivat 34 % PM_{10}-kokonaispäästöistä ja 5,5 % $PM_{2,5}$- kokonaispäästöistä Suomessa vuonna 2015.

Asiasanat: katupöly, ilmanlaatu, ilmansuojelu, PM_{10}, $PM_{2,5}$, hiukkaspäästöt, talvirenkaat, hiekoitus, mallinnus

Sammandrag

Gatudamm – utsläpp, källor och förebyggande åtgärder

Det finns många faktorer som påverkar uppkomsten av gatudamm, och forskning har visat att gatudammet främst består av grovt damm av mineraliskt ursprung. Gatudammet utgör ett problem om partiklarna når inandningsluften och därigenom förorsakar olägenheter för trivseln eller hälsorisker, speciellt för invånarna i städerna. Målsättningen för forskningsprojektet KALPA (”Katupölyn lähteet, päästövähennyskeinot ja ilmanlaatuvaikutukset”) var att utreda vilka faktorer som påverkar halterna av gatudamm och olika källors andelar i olika gatumiljöer samt att identifiera mest lovande möjligheter att minska på utsläppen och att främja ibruktagandet av sådana åtgärder. Den här rapporten behandlar de undersökningar som gjorts 2019–2020 under tredje skedet av projektet (KALPA3). Resultaten för de fyra första åren av KALPA-projektet har tidigare (2019) rapporterats i Helsingforsregionens miljötjänsters (HSY) publikationsserie. KALPA är en fortsättning på de tidigare gatudammprojekten REDUST och KAPU. Finlands miljöcentral (SYKE) och yrkeshögskolan Metropolia genomförde projektet. Olika metoder användes för att undersöka utsläppen av gatudamm. Metropolias mätningsfordon Nuuskija mätte utsläpp av gatudamm (PM_{10} och $PM_{2,5}$) från städernas gatunät, byggnadsplatser och vid huvudlederna som har trafik med hög hastighet. Dessutom testades effekten av olika anordningar och metoder för gatutvätt och avlägsnande av damm. Mätningar kompletterats med ett annat mätningsfordon (Vectra av typen TRAKER) och med Wet Dust Sampler (WDS). Mätinstrument WDS ger information om dammförråd på vägytorna. Dubbdäcksmätningarna som tidigare gjorts inom KALPA-projektet jämfördes med slitagemätningar av däck. Dessutom användes NORTRIP-modellen för att undersöka hur sandningen påverkar luftkvaliteten och för att bedöma gatudammets källor. Utsläppskoefficienter som beräknats med NORTRIP-modellen användes dessutom i den nationella FRES-modellen, för att bedöma gatudammets betydelse på nationell nivå. Enligt en bedömning med FRES-modellen stod utsläppen av gatudamm för 34 % av de totala PM_{10}-utsläppen och 5,5 % av de totala $PM_{2,5}$-utsläppen i Finland i 2015.

Nyckelord: gatudamm, luftkvalitet, luftvård, PM_{10}, $PM_{2,5}$, partikelutsläpp, vinterdäck, sandning, modellering

Abstract

Street dust - sources, mitigation strategies and effect on air quality

The generation of street dust is influenced by many different factors and has been shown by studies to be mainly coarse-sized dust of mineral origin. Street dust becomes a problem when particles become airborne and thereby have the potential to cause health problems, especially for urban residents. The aim of the KALPA research project was to 1) investigate factors influencing urban street dust concentrations, 2) determine contribution of different sources in different street environments, and to 3) identify most promising emission reduction possibilities and facilitate their introduction. This report presents results from studies carried out in the third phase of the KALPA project (KALPA3), in 2019-2020. The results of the first four years of the KALPA project (KALPA 1-2) have previously (2019) been reported in HSY's (Helsinki Region Environmental Services HSY) publication series. The KALPA project is a continuation of previous national street dust research projects KAPU and REDUST. The project was implemented by the Finnish Environment Institute (SYKE) and Metropolia University of Applied Sciences. During the project different methods were used to study street dust emissions. The Metropolia University of Applied Sciences' mobile laboratory Sniffer measured street dust emissions (PM_{10} and $PM_{2.5}$) in urban street networks, construction sites and high-speed roads, and tested the effectiveness of various street cleaning methods and equipment. The measurements were supplemented with another measuring vehicle (Vectra, based on the TRAKER method) and the Wet Dust Sampler (WDS). The WDS device provides information about the dust load on the road surface, and it was utilized in e.g. street cleaning efficiency studies. The results of the “onroad” studded tire measurements previously performed in the KALPA project were compared with the tire wear results obtained with the overrun test. Additionally, the NORTRIP model was utilized to estimate contribution of different street dust sources, and to evaluate impact of studded tire reductions on ambient PM_{10} concentrations. Furthermore, the emission factors calculated with the NORTRIP model were used in the national FRES model, which was used to assess the significance of street dust emissions at national level. According to an assessment carried out using FRES model, street dust emissions accounted for 34 % of total PM_{10} emissions and 5.5 % of total $PM_{2.5}$ emissions in Finland in 2015.

Keywords: street dust, air quality, air protection, PM_{10}, $PM_{2.5}$, particle emissions, winter tyres, sanding, modeling

Esipuhe

Katupölypäästöjä, niihin vaikuttavia tekijöitä ja eri katupölylähteiden ilmanlaatuvaikutuksia on viime vuosina tutkittu Suomessa KAPU- ja REDUST-hankkeissa sekä NASTA-tutkimusohjelman ilmanlaatuosiossa. Näitä seurannut kansallinen KALPA-hanke alkoi pääkaupunkiseudulla vuonna 2015. Hanke jakautuu kolmeen vaiheeseen, joista nyt raportoitavaan kolmanteen vaiheeseen (KALPA3 2019–2020) liittyi myös Kuopio yhtenä tutkimuskumppanina, -kohteena ja rahoittajana. KALPA-hankkeen neljän ensimmäisen vuoden (KALPA1 2015–2016 ja KALPA2 2017–2018) tulokset on julkaistu HSY:n julkaisusarjassa 2019 (Kulovuori ym. 2019). Pääsyy KALPA3-vaiheen raportointiin erillään hankkeen neljän ensimmäisen vuoden raportista on hankkeen keskeisenä mittausmenetelmänä käytetyn Nuuskija-auton päivitys keväällä 2019. KALPA3-hankkeen myötä käyttöön otettu Nuuskija-auto on päivitetty kopio aikaisemmasta Nuuskijasta (Pirjola ym. 2009), jota on käytetty edellä mainituissa kansallisissa hankkeissa vuosina 2006–2015. Vanhan ja uuden Nuuskijan välistä korjauskerrointa ajoneuvojen mittaamille suspensiopäästöille ei vielä ole määritetty. Tästä syystä tämän raportin tulokset eivät myöskään ole suoraan vertailukelpoisia KALPA1–2-vaiheessa mitattuihin (tai aikaisemmissa katupölyprojekteissa vanhalla Nuuskijalla mitattuihin) pitoisuuksiin.

Suomessa katupölyn mittaus- ja mallinnustyö on vahvasti profiloitunut edellä mainittujen kansallisten tutkimushankkeiden ympärille. Keväästä 2018 lähtien katupölytutkimustoiminta on keskittynyt Suomen ympäristökeskukseen, kun tutkimusten toteuttavana osapuolena toimineet tutkijat siirtyivät ja osa mittausinfrasta myytiin Nordic Envicon Oy:sta SYKE:en. Tärkeänä kumppanina hankkeiden toteutuksessa, ja esimerkiksi Nuuskija-ajoneuvosta vastaavana tahona, toimii edelleen Metropolia ammattikorkeakoulu.

Kansallisten katupölytutkimushankkeiden lisäksi KALPA-hanke hyödyntää pohjoismaista tutkimusyhteistyötä. Erityisesti hanke hyötyy NORTRIP-hankkeen (2010–2016) (Johansson ym. 2012) saavutuksista. NORTRIP-hankkeessa testattiin ensi kertaa yhteistyönä ilmanlaadun mallintajien ja päästöasiantuntijoiden norjalaisessa NILU-instituutissa (Norwegian Institute for Air Research) kehittämää NORTRIP-katupölymallia, joka pyrkii määrällistämään katupölyn muodostumiseen ja päästöihin vaikuttavat tekijät katuympäristössä. NORTRIP-mallin kehityksessä erityismielenkiinto on kohdistunut pohjoismaisiin katupölyn päästölähteisiin, kuten nastarenkaiden irrottamaan päällysteperäiseen pölyyn ja talvihiekoitukseen.

Yhteispohjoismainen tutkimustyö on jatkunut NORDUST-hankekokonaisuuksina (NORDUST 2015–2019 (Gjerstad ym. 2019) ja NORDUST-2 2020–2022). Parhaillaan käynnissä olevassa NORDUST2 -hankkeessa pääpaino on edelleen NORTRIP-mallin kehittämisessä, ja lähtökohtana ovat tieviranomaisten tarpeet ja aiempien katupölyä koskevien hankkeiden tulokset. Hankkeen työpaketit käsittelevät tähän liittyen katupölyprosesseja, erityisesti kulumaa, suspensiota ja märkäpoistumaa (”wet removal”) sekä monitorointimenetelmiä ja kunnossapitotekniikoita. NORDUST2-hankkeessa hyödynnetään myös mallin avulla luotuja skenaarioita katupölysysteemin ymmärtämiseksi ja katupölyn torjuntakeinojen optimoimiseksi.

KALPA3-hankkeen toteuttivat Suomen ympäristökeskus SYKE ja Metropolia Ammattikorkeakoulu. Rahoitukseen ja projektin ohjaukseen osallistuivat Helsingin, Vantaan ja Kuopion kaupungit, Helsingin seudun ympäristöpalvelut HSY, Savon Kuljetus Oy, Mestar Kuopio Oy ja Pohjois-Savon ELY-keskus. Hankkeen ohjausryhmään osallistuivat Tarja Myller, Suvi Haaparanta ja Kirsikka Nevalainen Helsingin kaupungilta; Outi Väkevä ja Jarkko Niemi HSY:stä; Jyrki Vättö, Erkki Tammisto, Tomi Ollikainen ja Ari Pietilä Vantaan kaupungilta, Erkki Pärjälä ja Jere Toppinen Kuopion kaupungilta, Mauno Vauhkonen Mestar Kuopio Oy:sta, Hanna Turunen Pohjois-Savon ELY:sta ja Heikki Knuutinen Savon Kuljetus Oy:sta.

Helsingissä maaliskuussa 2021
Kirjoittajat

Sisällys

1 Johdanto 11
1.1 Katupölyn muodostuminen ja katupölykausi 11
1.2 Pölyämisen torjuminen ja pölynpoisto katuympäristöstä 12
1.3 Hankkeen tavoitteet ja toteutus 12

2 Menetelmät ja aineistot 14
2.1 Monipuolisia menetelmiä ja aineistoja 14
2.2 Mittauksia ja mallinnusta erilaisissa kohteissa 14
2.2.1 Helsingin mittauskohteet 15
2.2.2 Vantaan mittauskohteet 19
2.2.3 Kuopion mittauskohteet 22
2.3 Katupölyn päästömittaukset mittausajoneuvoilla 24
2.3.1 Nuuskija 24
2.3.2 Vectra (TRAKER-menetelmän sovellus) 25
2.4 Kadun pinnalla olevan pölyainesmäärän mittaukset WDS-laitteella 25
2.5 Katupölyn mallinnus NORTRIP-katupölymallilla 26
2.5.1 Kansallisen tason FRES-malli 27
2.6 Tulosten tulkinnan tukena käytetyt muut aineistot 27
2.6.1 Ilmanlaatu ja meteorologia vuosina 2019 ja 2020 HSY:n ja Kuopion ilmanlaatukatsauksiin perustuen 27
2.6.2 Kunnossapidon kirjaukset 28
2.6.3 Nastarengasosuuksien laskentatiedot 28

3 Tulokset ja tulosten tarkastelu 30
3.1 Johdanto 30
3.2 Katupölyn mittaus kaupunkireiteillä 30
3.2.1 Helsinki 31
3.2.2 Vantaa 34
3.2.3 Kuopio 37
3.3 Johtopäätökset kaupunkireiteillä mitatuista katupölypäästöistä 42
3.4 Mittaukset katupölyn erikoiskohteissa 43
3.4.1 Työmaa-alueet Kalasatama ja Jätkäsaari 44
3.4.2 Ilmanlaadun ”supersite” Mäkelänkatu, Helsinki 46
3.4.3 Muut WDS-kohteet: Talvikkitie, Vantaa 50
3.4.4 Muut WDS-kohteet: Maaherrankatu, Kuopio 52
3.4.5 Muut WDS-kohteet: Tasavallankatu, Kuopio 54
3.5 Johtopäätökset katupölyn erikoiskohteista 56
3.6 Puhdistuslaitetestit 57
3.6.1 Imulakaisukoneen kahden eri pesumenetelmän vertailu, Tikkurilantie Vantaa 57
3.6.2 Vedettömän lakaisulaitteen tehokkuus pölynpoistossa, Kuopio 63
3.6.3 Pääväylän piennaralueen pesun vaikutus pääväylän pölyämiseen, Vt5 Kuopio 66
3.6.4 Modernien imulakaisulaitteistojen ja pesumenetelmien vertailu, Koisotie Vantaa 70
3.7 Johtopäätökset pesulaitteistojen ja pesumenetelmien testeistä 76
3.8 Talvirenkaiden pölyvaikutus – mittausmenetelmät vertailussa 77

3.8.1 Renkaan ja tienpinnan vuorovaikutuksessa syntyviin kulumatuotteisiin vaikuttavat tekijät ... 77
3.8.2 Onroad- ja yliajotesteillä (overrun) saatujen tulosten vertailu ... 78
3.9 Johtopäätökset – Talvirenkaiden pölyvaikutus ... 79
3.10 Katupölyn mallinnus ... 79
3.10.1 Mallinnuskohteet ... 79
3.10.2 Mallinnettujen ja mitattujen pitoisuuksien vertailu ... 80
3.10.3 Mallinnetut katupölyn lähdeosuudet Mäkelänkadulla 2015–2019 ... 82
3.10.4 Liikenteessä olevien ajoneuvojen nastarengasosuuden pienenemisen vaikutus PM-pitoisuuksiin ... 83
3.10.5 Arvio katupölypäästöjen merkittävyydestä koko Suomen tasolla ... 85
3.11 Johtopäätökset katupölyn mallinnustyöstä ... 88

4 Hankkeen keskeiset johtopäätökset ... 89

Sanasto ... 91

Lähteet ... 92

Liitteet ... 93

Liite A: Hankkeen työpaketit ... 94

Liite B: Kaupunkireittimittauksiin liittyvät lisäaineistot ... 97

Liite C: Erikoiskohteisiin liittyvät lisäaineistot ... 104

Liite D: Puhdistuslaitetesteihin liittyvät lisäaineistot ... 108

Liite E: Yhteenveto NORTRIP mallin lähtötiedoista Helsingissä ja Kuopiossa ... 110

Liite F: Katupölyn mallinnus- Mäkelänkatu, Helsinki (in English) ... 112

Liite G: Katupölyn mallinnus – Maaherrankatu ja Tasavallankatu, Kuopio (in English) ... 119

Liite H: Arvio katupölypäästöjen merkittävyydestä koko Suomen tasolla käyttäen FRES mallia (in English) ... 123

1 Johdanto

1.1 Katupölyn muodostuminen ja katupölykausi

Katupöly muodostaa erityisesti keväisin merkittävän osan hengitettävien hiukkasten (PM_{10} eli halkaisijaltaan alle 10 µm:n hiukkaset) pitoisuuksista kaupunki-ilmassa. Katupöly aiheuttaa terveys- ja viihtyvyyshaittoja, ja vaikka katupölyn torjumiseksi on tehty runsaasti töitä, se on edelleen yksi ilmansuojelun oleellisimmista haasteista Suomessa ja pohjoismaissa, erityisesti kaupungeissa.

Katupöly on pääosin mineraaliperäistä karkean kokoluokan (eli halkaisijaltaan yli 2,5 µm:n hiukkasia) pölyä ja sen muodostuminen on seurausta monenlaisista katuympäristössä tapahtuvista prosesseista. Pohjoisissa liikenneolosuhteissa joudutaan talvikaudella käyttämään liukkaudentorjuntaa kitkan lisäämiseksi ja täten liikenneturvallisuuden parantamiseksi. Kitkaa voidaan lisätä levittämällä liukkaalle tien pinnalle erilaisia materiaaleja, kuten hiekkaa, sepeliä, suolaa tai edellä mainittujen yhdistelmiä. Ajoneuvojen ja tien pinnan välistä kitkaa voidaan lisätä myös erilaisilla talvirengasratkaisuilla. Jossain määrin karkean kokoluokan hiukkasia syntyy myös ajoneuvon osien, kuten renkaiden, jarrujen ja kytkimen kulumaprosesseissa.

Aikaisemmissa tutkimuksissa tehdyt lähdearviot viittaavat siihen, että nastarenkaiden päällysteestä muodostamalla pölyllä on merkittävä vaikutus talvi- ja kevätaikaan havaittaviin PM_{10}-pitoisuuksiin. Hiekoitusmateriaalien levityksen mukana katuympäristöön voi kulkeutua myös pölyävää hienoainesta, ellei sitä ole tehokkaasti seulottu pois. Ajoratojen lisäksi kiinteistöjen vastuulla oleville alueille (kuten jalkakäytävät) levitetyt materiaalit saattavat kulkeutua katuympäristössä tehokkaasti. Hiekoituksen seurauksena myös päällysteperäisen pölyn määrä lisääntyy suhteessa hiekoittamattomaan tilanteeseen niin kutsutun 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.

Pöly voi päätyä hengitysilmaan eri aikaisesti itse pölyn muodostumisen kanssa riippuen tien pinnan ja katuympäristön olosuhteista. Liukkaudentorjunnan tarve syntyy tavallisesti loppusyksyllä. Ajokelien huonontuessa ja kosteusolojen ollessa optimaaliset pölyävä materiaali voi alkaa kertyä katuympäristöön jo syksyllä. Osa pölystä kulkeutuu auratun lumen, hulevesien ja ajoneuvojen sivuun heittämän veden mukana kauemmas välittömästä katuympäristöstä. Pääosa katuympäristöön varastoituneesta materiaalista saattaa kuitenkin vapautua ilmaan vasta keväällä sääolosuhteiden muuttuessa kuivemmiksi. Hulevesiin liittyen kasvavaksi huolen ja tutkimuksen aiheeksi on noussut myös rengaskuluman myötä kasvava mikromuovikuormitus vesistöihin (Setälä & Suikkanen 2020).

Pohjoismaille tyypillisen katupölykauden ajoitus vaihtelee vuodesta toiseen riippuen talven ja kevään sääolosuhteista, mutta ajoittuu yleensä maalis–huhtikuulle, jolloin kaupungeissa mitataan korkeita PM_{10}-pitoisuuksia. Korkeita pitoisuuksia voi kuitenkin esiintyä myös syksyllä, jolloin liukkaudentorjuntatoimet on otettu käyttöön mutta kosteus (lumi, jää) ei sido pölyä pinnoille. Toisaalta esimerkiksi 2019–2020 lauhan ja lumettoman talven seurauksena korkeita katupölypitoisuuksia esiintyi runsaasti jo tammi–helmikuussa.

Ilmanlaadun kannalta vaikeat sääolot, kuten kuivuus, alhaiset tuulennopeudet, stabiili ilmakehä ja matala ilmakehän sekoituskorkeus edesauttavat korkeiden pitoisuustasojen esiintymistä. Tällöin pöly ei pääse laimenemaan eikä kulkeutumaan pois kaupunki-ilmasta. Myös muunlaiset esteet, kuten katukuilumaiset ympäristöt, voivat vähentää pölyn laimenemista hengitysilmasta.

1.2 Pölyämisen torjuminen ja pölynpoisto katuympäristöstä

Pölyä poistuu katuympäristöstä luonnollisesti ilmavirtojen, liikenteen ja niin kutsutun märkäpoistuman (ajoneuvojen aiheuttamat roiskeet, hulevedet) kuljettaessa pölyä eteenpäin. Pölyn määrää katuympäristöstä vähennetään myös erilaisilla kunnossapidon toimilla.

Auraaminen ja lumikuormien poiskuljettaminen poistavat katuympäristöstä lumeen sitoutunutta pölyä. Keväisin kadunpuhdistuksen yhteydessä painehuuhtelu vedellä on todettu tehokkaaksi tavaksi huuhtoa pölyä kadun pinnalta. Erilaiset pesulaitteistot keräävät kadunpinnalta erityisesti karkeaa materiaalia, mutta tehostetuilla (painepesu, imu) menetelmillä on mahdollista poistaa pinnoilta myös hienojakoisempia rakeita.

Hiekoitusperäisen pölyn muodostumista voidaan vähentää materiaalivalinnoilla, hiekoitusmateriaalien oikea-aikaisella levityksellä ja kohdentamisella sekä hiekoitusmääriä vähentämällä.

Pinnoilta vapautuvan pölyn määrää hengitysilmassa voidaan vähentää levittämällä laimeaa suolaliuosta ajoradoille (tavallisimmin $CaCl_2$). Pölynsidonta-aine vähentää pölypäästöjä sitomalla hiukkaset pinnoille ja suuremmiksi aggregaateiksi. Pölynsidonnan tehokkuus akuuttien pölyepisodien torjunnassa on todettu monissa tutkimushankkeissa (REDUST, KAPU), ja pölynsidontaa on käytetty runsaasti esimerkiksi Helsingin keskustan kaduilla. Pölynsidonta ei poista pölyä katuympäristöstä, joten on tärkeää, että puhdistus järjestetään myöhemmin.

Muita, Pohjoismaissa käytössä olevia pölyntorjuntakeinoja ovat mm. ajonopeuksien laskeminen, nastarenkaiden käytön rajoittaminen ja liikennemäärien vähentäminen esim. ruuhkamaksuin.

1.3 Hankkeen tavoitteet ja toteutus

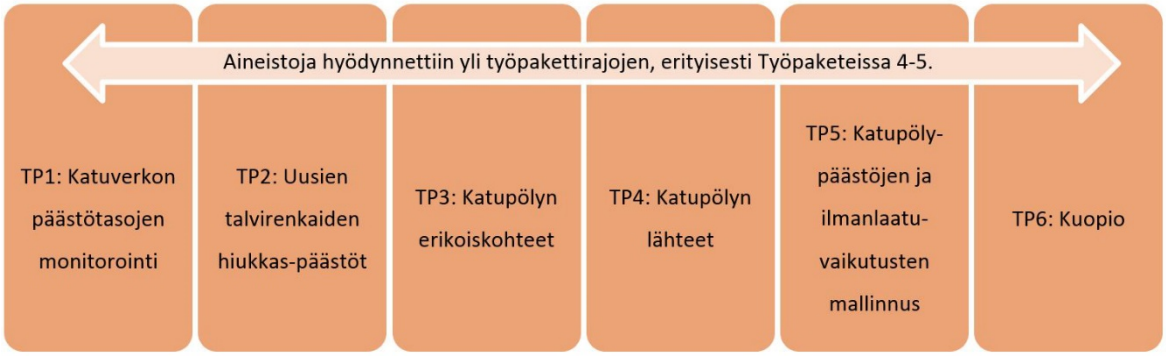
KALPA3-hankkeen tavoitteena oli 1) selvittää päästöihin ja pitoisuuksiin vaikuttavia tekijöitä sekä eri lähteiden osuuksia erilaisissa katukohteissa, 2) tunnistaa tehokkaimpia päästövähennysmahdollisuuksia, dokumentoida parhaita käytäntöjä ja edesauttaa niiden käyttöönottoa ja 3) jatkaa katupölyn lähteisiin ja vähennysmahdollisuuksiin kohdistuvia tutkimuksia pääkaupunkiseudulla kansallisten KAPU- (Kupiainen ym. 2009), NASTA- (Toiskallio ym. 2013), REDUST- (Männikkö ym. 2014) ja KALPA-hankkeen (Kulovuori ym. 2019) ensimmäisten neljän vuoden (2015-2018) kokemusten viitoittamalla tiellä.

Tavoitteiden toteuttamiseksi tehtiin mittauksia ja mallinnusta eri menetelmin Helsingissä, Vantaalla ja Kuopiossa kohdentuen erilaisiin katuympäristöihin ja erilaisiin vuodenaikoihin. Mittaus- ja mallinnusmenetelmät on esitelty seuraavassa luvussa 2. Menetelmät ja aineistot. Lisäksi hyödynnettiin laajasti jo olemassa olevia aineistoja.

Työ toteutettiin kuudessa työpaketissa (Taulukko 1). Työpaketit 1–3 (Katuverkon päästötasojen monitorointi, Uusien talvirenkaiden hiukkaspäästöt ja Katupölyn erikoiskohteet) olivat mittauspainotteisia, kun taas työpaketeissa 4–5 (Katupölyn lähteet ja Katupölypäästöjen ilmanlaatuvaikutusten mallinnus) keskityttiin mallilaskelmiin ja aineistoanalyyseihin. Kuopion seudulla tehdyt mittaus- ja mallinnustyöt sekä niiden raportointi muodostivat Työpaketin 6. Työpakettien sisällöt ja tavoitteet on esitetty yksityiskohtaisemmin Liitteessä A Hankkeen työpaketit.

Työpaketit toimivat vuoropuhelussa toistensa kanssa ja niiden tuloksia hyödynnettiin kootusti erityisesti mallinnustyöpaketissa 5. Myös tässä raportissa on irtauduttu työpakettikohtaisesta käsittelystä ja pyritty esittämään tulokset laajempina aihekokonaisuuksina yhdistellen eri työpaketeista saatuja tuloksia.

Taulukko 1. Hankkeen mittaus- ja mallinnustyö toteutettiin kuudessa työpaketissa.



2 Menetelmät ja aineistot

2.1 Monipuolisia menetelmiä ja aineistoja

Hankkeessa käytettiin viimeisimpiä ja parhaita saatavilla olevia menetelmiä katupölyn mittauksessa ja mallinnuksessa. Hankkeen päätutkijoilla on usean vuoden kokemus mittaus- ja mallinnusmenetelmien käytöstä, ja lisäksi menetelmiä kehitetään aktiivisesti yhteispohjoismaisena tutkimusyhteistyönä (WDS (Lundberg ym. 2019), NORTRIP (Denby ym. 2013 (a); Denby ym. 2013 (b)) , NORDUST (Gjerstad ym. 2019).

Lisäksi ohjausryhmän kautta oli mahdollista hyödyntää monenlaisia tausta-aineistoja (kuten nastarengasosuuksien laskentatiedot ja tiedot kunnossapidon toimenpiteistä) tulosten tulkinnan tueksi ja mallinnustyön lähtötietoina. Ohjausryhmän ulkopuolelta tausta-aineistoja hankkeen käyttöön on saatu Liikenne- ja viestintävirasto Traficom:lta (nastarenkaiden yliajotestien tuloksia).

2.2 Mittauksia ja mallinnusta erilaisissa kohteissa

Hankkeessa toteutettavien mittaus- ja mallinnustöiden toteuttamispaikat on valittu vuosittain yhdessä hankkeen ohjausryhmän kanssa. Mittaus- ja mallinnuskohteiden osalta valintaa ohjaa kohteen kiinnostavuuden ja soveltuvuuden lisäksi mahdollisuus jatkaa pitkiä aikasarjoja; esimerkiksi Helsingin ja Vantaan kaupunkireitin kaduilta on olemassa PM_{10}-mittausaineistoa jo vuodesta 2006 alkaen. KALPA3-mittauksissa ja mallinnustyössä käytetyt kohteet on listattu Taulukko 2. Menetelmät on esitelty tarkemmin seuraavassa kappaleessa.

Taulukko 2. KALPA-hankkeen mittauskohteet. Mittausmenetelmät esitellään tarkemmin seuraavassa kappaleessa Menetelmät ja aineistot.

Kaupunki	Mittauskohde	Mittaus/mallinnus	Miksi erityisesti mukana	Menetelmät
Helsinki	Kaupunkireitti, joka kattaa Helsingin kantakaupungin. Jaettu kolmeen lyhyempään reittiin kunnossapitoalueen mukaisesti	Usean kadun pölypäästöjen (PM_{10} ja $PM_{2,5}$) monitorointi	Paljon potentiaalisia katupölylle altistujia. Mukana myös mm. katukuilukohteita, ilmanlaadun mittausaseman ympäristö ja pistokoekatu	Nuuskija, (Vectra)
	Kalasataman ja Jätkäsaaren työmaakohteet	Työmaa-alueilla tai niiden läheisyydessä sijaitsevien katujen pölypäästöjen (PM_{10} ja $PM_{2,5}$) monitorointi	Tietoa työmaiden aiheuttamasta mahdollisesta lähteestä/lisäkuormasta katupölyn näkökulmasta	Nuuskija
	Mäkelänkatu, ilmanlaadun ”supersite”	Kolme rinnakkaista kaistaa pohjoisen ja etelän suuntaan (PM_{10} ja $PM_{2,5}$). WDS-profiili etelän suuntaan meneviltä kaistoilta. NORTRIP-mallinnus	Ilmanlaadun mittauksen ”supersite”, katukuilu, ilmanlaadun mittausasema	NORTRIP-malli, Nuuskija, WDS

Kaupunki	Mittauskohde	Mittaus/mallinnus	Miksi erityisesti mukana	Menetelmät
Kuopio	Kaupunkireitti, joka kattaa keskustan ja suuren osan Kuopion asuinalueista	Usean kadun pölypäästöjen (PM_{10} ja $PM_{2,5}$) monitorointi.	Paljon potentiaalisia katupölylle altistujia. Mukana myös mm. ilmanlaadun mittausaseman ympäristö.	Nuuskija, (Vectra), WDS
	Maaherrankatu ja Tasavallankatu	Kaikki kaistat ilmanlaadun mittausasemien kohdalla: pölypäästöjen (PM_{10} ja $PM_{2,5}$) monitorointi Nuuskijalla. WDS-profiili. NORTRIP-mallinnus	Ilmanlaadun mittausasemat	NORTRIP-malli, Nuuskija, WDS
	Valtatie 5 (VT5)	Korkean nopeuden pääväyläkohde, pölypäästöjen (PM_{10} ja $PM_{2,5}$) monitorointi Nuuskijalla. Pesutesti.	Moottoritie kulkee keskustan läpi ja on potentiaalinen lisäpölyn lähde myös kaupunki-ilman laadulle.	Nuuskija, Vectra, WDS
	Alahovintie ja Siikaniemenkatu, pesulaitetestauspaikka	Snowek Trombia pesulaitteen pölynpoiston tehokkuus	Soveltuva kohde pesulaitetestille	Nuuskija, WDS
Vantaa	Kaupunkireitti, joka ulottuu Tikkurilaan, Hakunilaan ja Myyrmäkeen	Usean kadun pölypäästöjen (PM_{10} ja $PM_{2,5}$) monitorointi siellä.	Paljon potentiaalisia katupölylle altistujia. Mukana myös mm. ilmanlaadun mittausaseman ympäristö ja pistokoekatuja.	Nuuskija, (Vectra)
	Lumen vastaanottopaikka Koisotiellä	Usean eri puhdistuslaitteen testaus	Laaja kenttämäinen alue, missä mahdollista toteuttaa räätälöityjä testiasetelmia	Nuuskija, Vectra, WDS
	Talvikkitie	Pölykuorman mittaus WDS-laitteella	Ilmanlaadun mittausasema 2019	Nuuskija, WDS
	Hämeenlinnanväylä	Pölypäästöjen (PM_{10} ja $PM_{2,5}$) monitorointi pääväyläkohteessa	Tietoa pääväylän, korkean ajonopeuden kohteen pölypäästöstä	Nuuskija

2.2.1 Helsingin mittauskohteet

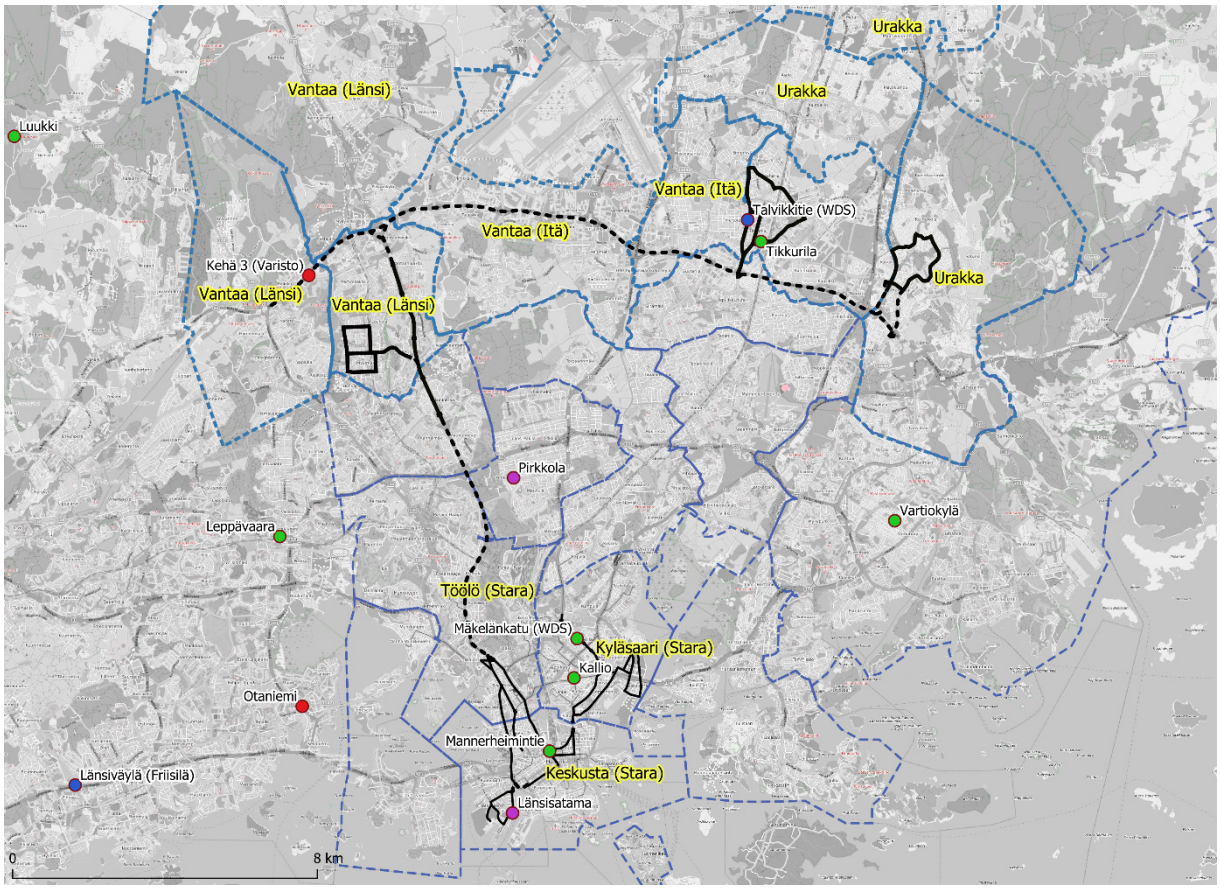
Helsingin keskustaan laadittu mittausreitti Nuuskijalle on suunniteltu ensimmäisen kerran keväällä 2006, ja reitin runko on pysynyt siitä asti samana. Reitille valituille kaduille on asetettu erilaisia kriteereitä: kadulla liikkuu potentiaalisesti paljon altistujia, kadun varrella sijaitsee ilmanlaadun mittausasema, tai katu on kunnossapidollisesti kiinnostava ja tietysti myös reitin ajamisen suhteen käytännöllisesti helposti saavutettavissa.

Erityisesti Helsingin keskustassa reitin mittaamisessa on otettava huomioon, että Nuuskija ei juutu ruuhkiin, vaan pääsee ajamaan sujuvasti liikennevirrassa. Mittausnopeudelle on aineiston käsittely-

vaiheessa asetettu alarajaksi vähintään 10 km/h nopeus. Mikäli Nuuskijan nopeus on alle alarajan, pisteitä ei oteta aineiston käsittelyssä huomioon.

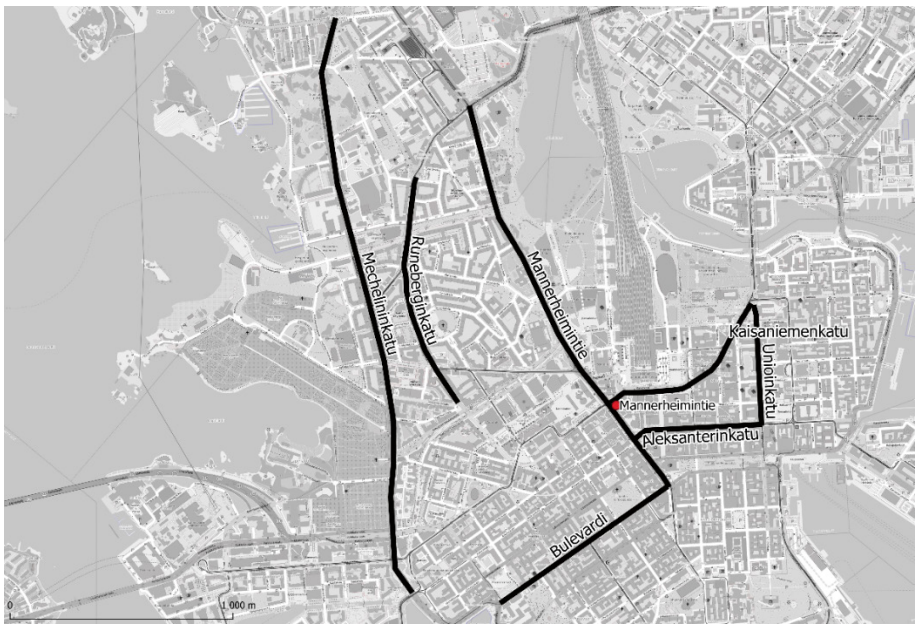
Reitti on vuosien saatossa laajennut kattamaan suurempaa osaa kantakaupungista. Käytännön mittaustyön, tulosten esittämisen ja vertailun helpottamiseksi reitti on sittemmin jaettu kolmeen osaan (Töölö/Keskusta/Kyläsaari) STARA:n kunnossapitopiirien mukaisesti (Kuva 1).

Kunnossapitopiireiltä kerätään katukohtaisia toimenpidetietoja aineiston tulkinnan tueksi. Nykyinen reitti laadittiin vuonna 2018, ja se on pysynyt samana siitä saakka lukuun ottamatta Jätkäsaaren aluetta (Kuva 6) joka lisättiin reittiin keväällä 2019, alueella mahdollisesti vaikuttavien työmaiden pölyhaittojen monitoroimiseksi. Helsingin reitti on kokonaisuudessaan esillä Kuvan 1 kartassa, ja eri alueet sekä niihin kuuluvat kadut tarkemmin Kuvissa 2–6.



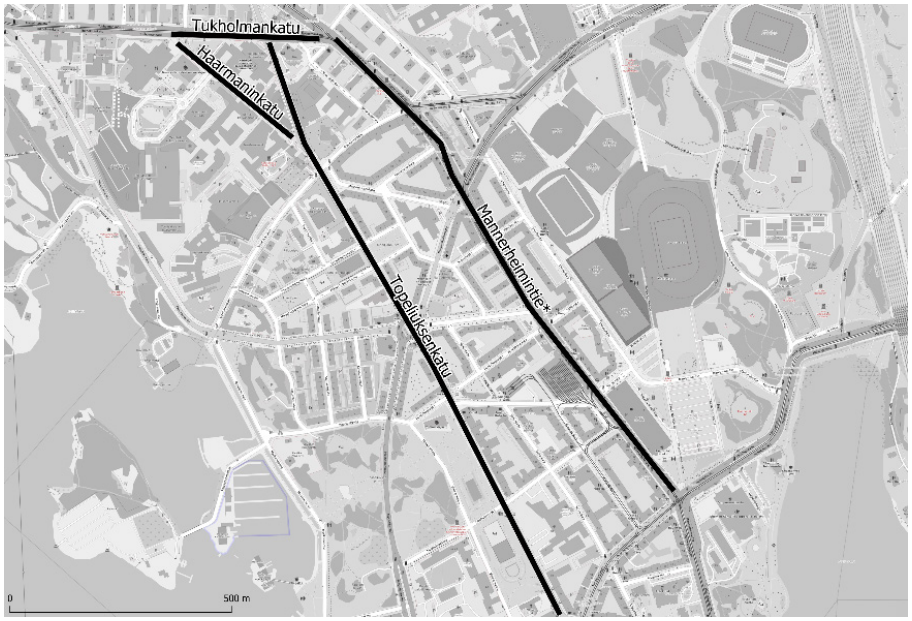
Kuva 1. Helsingin ja Vantaan Nuuskija-reitit (mustalla), Helsingin sekä Vantaan kadunhoidon alueet (rajattu sinisellä katkoviivalla) ja toimijat (korostettu keltaisella). HSY:n kiinteiden ilmanlaadunmittausasemien sijainti on merkattu vihreällä ja siirrettävät asemat on merkattu sinisellä (vuosi 2019), punaisella (vuosi 2020) ja violetilla (vuodet 2019-2020).

Helsingin keskustassa mitattavia katuja ovat Aleksanterinkatu, Bulevardi, Kaivokatu, Kaisaniemenkatu, Mannerheimintie (välillä Erottaja – Ooppera), Mechelininkatu, Runeberginkatu ja Unioninkatu (Kuva 2). Ilmanlaadun mittausasema (Helsingin seudun ympäristöpalvelut HSY 2020a) sijaitsee reitin varrella osoitteessa Mannerheimintie 5. Asemalla mitataan muun muassa hengitettävien hiukkasten (PM_{10}) ja pienhiukkasten pitoisuuksia ($PM_{2,5}$), ja Mannerheimintietä on aikaisemmin käytetty kohteena lukuisissa katupölyyn liittyvissä tutkimuksissa ja mallinnuskohteena.



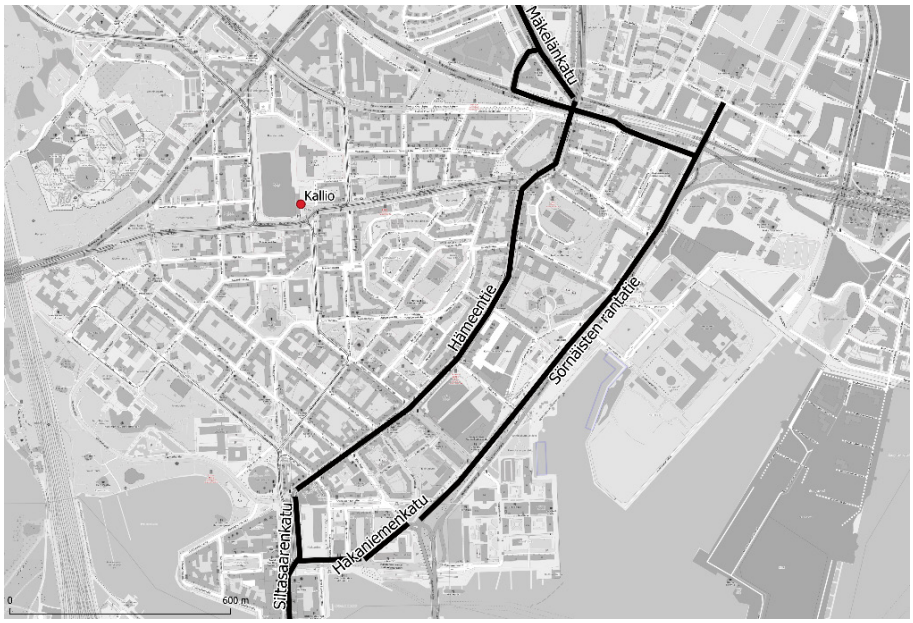
Kuva 2. Nuuskijalla mitattavat Helsingin keskustan kunnossapitopiirin kadut ja HSY:n mittausasema (punaisella) osoitteessa Mannerheimintie 5.

Helsingissä Töölön kunnossapitopiirin alueella mittausreittiin kuuluvat kadut: Haartmaninkatu, Mannerheimintie* (välillä Töölöntulli–Ooppera), Topeliuksenkatu ja Tukholmankatu (Kuva 3). Mannerheimintiellä mitataan myös osana niin sanottua Keskustan piiriä. Tulosten käsittelyn ja esittelyn osalta Töölön piirin osuus Mannerheimintiestä on erotettu lisäämällä nimen perään tähti.



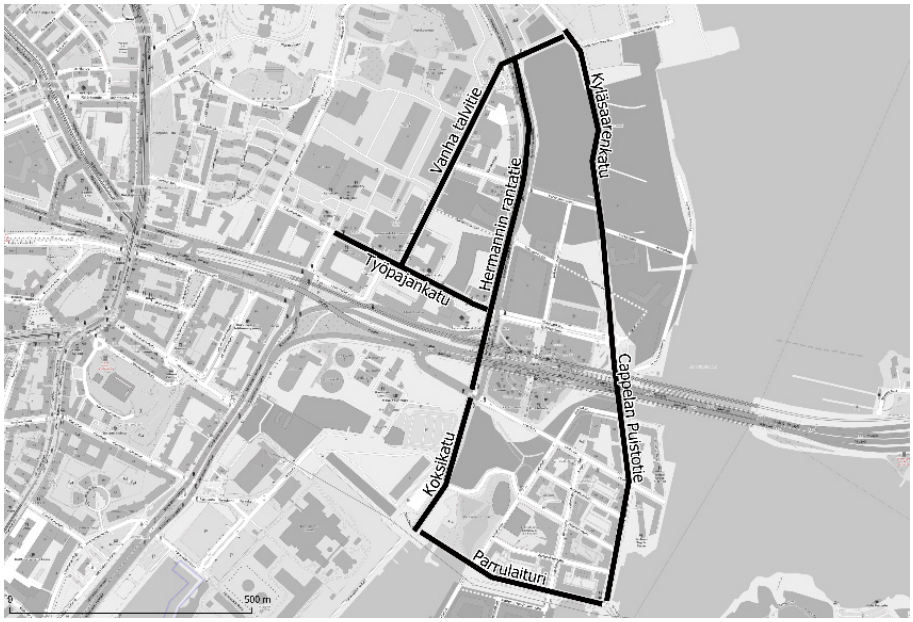
Kuva 3. Nuuskijalla mitattavat Helsingin Töölön kunnossapitopiirin kadut.

Kyläsaaren kunnossapitopiirin alueella mitattavia katuja ovat Hakaniemenkatu, Hakaniemenranta, Siltasaarenkatu, Hämeentie ja Sörnäisten rantatie (Kuva 4) sekä Kalasataman alueen kadut (Kuva 5).



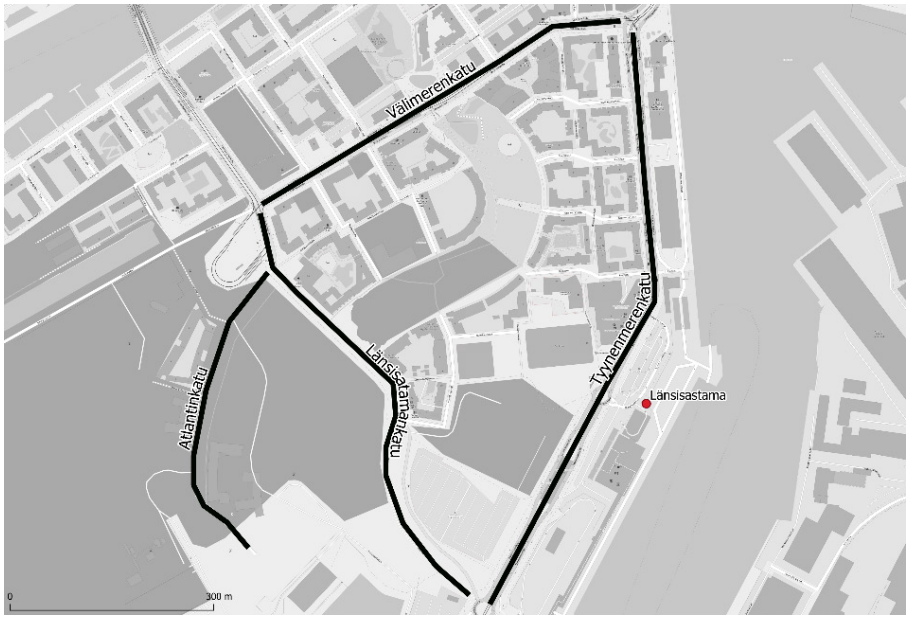
Kuva 4. Nuuskijalla mitattavat Helsingin Kyläsaaren kunnossapitopiirin kadut ja HSY:n Kallion mittausasema punaisella (kaupunkitausta).

Kalasataman alueella Nuuskijalla monitoroitavat kadut ovat Hermannin rantatie, Koksikatu, Kyläsaarenkatu, Parrulaituri, Työpajankatu ja Vanha Talvitie (Kuva 5). Edellä mainitut kadut kuuluvat erikoiskohteeksi luokiteltuun työmaa-alueeseen, jonka tulokset on esitetty kappaleessa: Työmaa-alueet Kalasatama ja Jätkäsaari.



Kuva 5. Nuuskijan monitoroimat kadut Helsingin Kalasatamassa, joka lukeutuu lähellä olevien työmaiden puolesta ns. katupölyn erikoiskohteeksi.

Jätkäsaaressa monitoroitavia katuja ovat Länsisatamankatu, Atlantinkatu, Tyynenmerenkatu ja Välimerenkatu (Kuva 6). Myös Jätkäsaaressa mitattavien, erikoiskohteiksi luettavien katujen tulokset on esitetty kappaleessa: 3.3.1 Työmaa-alueet Kalasatama ja Jätkäsaari.



Kuva 6. Nuuskijan monitoroimat kadut Helsingin Jätkäsaaressa, joka lukeutuu alueella vaikuttavien työmaiden puolesta ns. katupölyn erikoiskohteeksi. HSY:n siirrettävä mittausasema (punaisella) oli vuosina 2019-2020 Länsisataman vaikutusalueella Jätkäsaaressa.

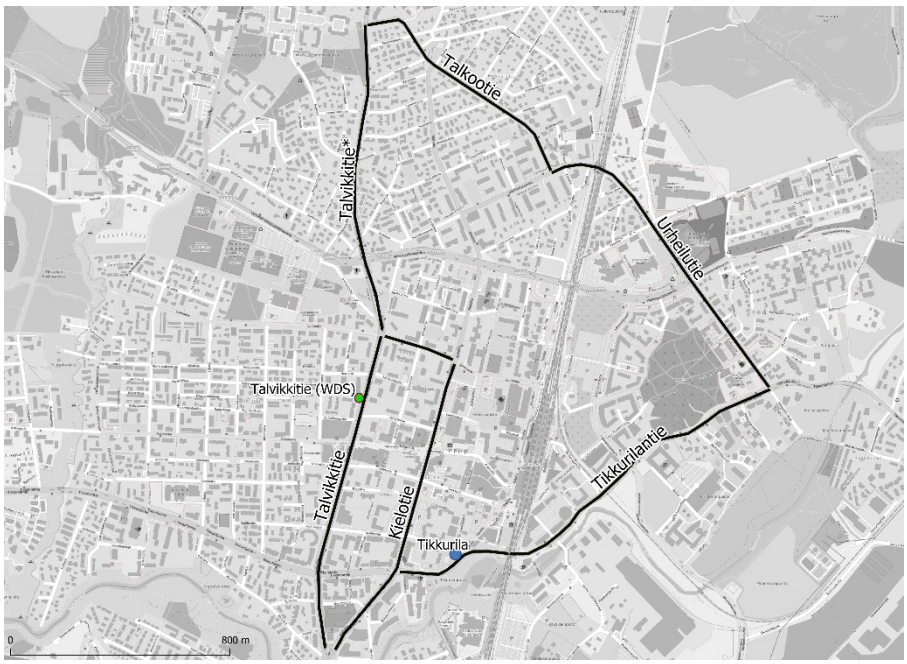
2.2.2 Vantaan mittauskohteet

Vantaan Tikkurilan reitin perusosa on pysynyt pääosin muuttumattomana vuodesta 2016 saakka, ja suurella osalla kaduista on mitattu Nuuskijalla jo keväästä 2006 saakka. Tikkurilassa mitattavia katuja ovat Kielotie, Lummetie, Talkootie, Talvikkitie, Tikkurilantie ja Urheilutie (Kuva 7). Tikkurilantie ja Talvikkitie on jaettu kahteen osaan. Jako on aikoinaan perustunut katuosuuksilla käytettyihin erilaisiin pesumenetelmiin. Nykyään kadut pestään samalla tavalla koko pituudelta, mutta jaottelu on säilytetty.

Tikkurilassa on vuosien varrella ollut mittavia työmaita, joiden vuoksi joitakin katuja tai katuosuuksia on jäänyt väliaikaisesti tai kokonaan pois mittausreitiltä ja joitain katuja on tullut mittausreittiin lisää. Tikkurilan alueen katujen kunnossapidosta vastaa Vantaan kaupungin itäinen piiri.

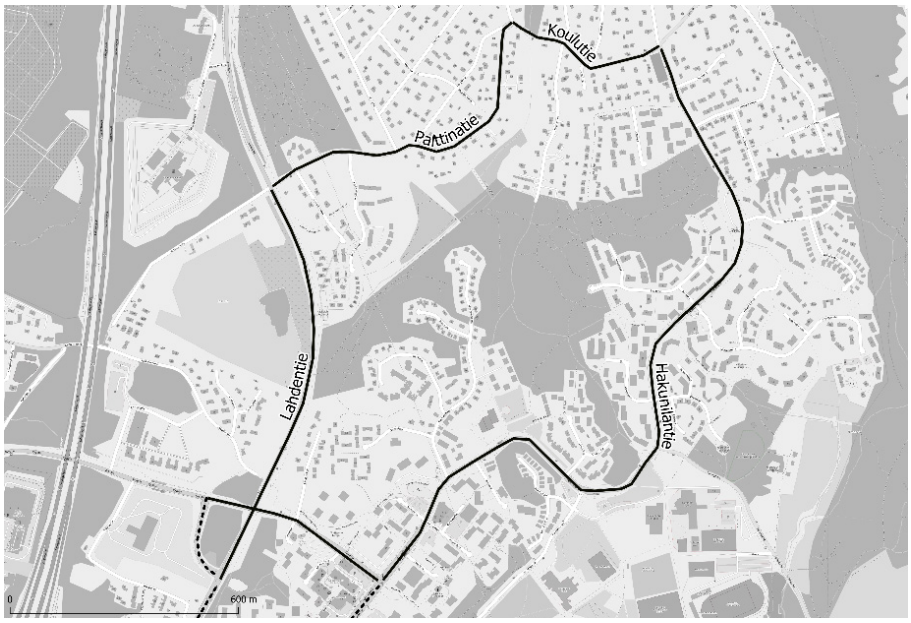
Ilmanlaadun (Helsingin seudun ympäristöpalvelut HSY 2020a) mittausasema sijaitsee Tikkurilassa Neilikkatiellä, lähellä Tikkurilantien, Neilikkatien ja Ratatien liikennevaloristeystä.

Nuuskijan reitti ulotettiin Hakunilan kaupunginosaan keväällä 2016, kun haluttiin vertailukohde Tikkurilan kaduille. Hakunilassa katujen kunnossapidosta vastaa urakoitsija. Nuuskijan mittauskierrokset eivät myöskään ole ollut kunnossapidon tiedossa etukäteen, jolloin kadut ovat toimineet niin sanottuina pistokoekatuina kunnossapidon toimenpiteille. Keväällä 2020 Vantaan mittaukset ulotettiin myös Myyrmäen kaupunginosaan, jonka katujen kunnossapidosta vastaa Vantaan kaupungin läntinen piiri.



Kuva 7. Nuuskijalla mitattavat Vantaan Tikkurilan kadut ja HSY:n ilmanlaadun mittausasemat (pysyvä Tikkurilan mittausasemassa sinisellä ja siirrettävä asema Talvikkitien varrella vuonna 2019 vihreällä). Talvikkitiellä tehtiin myös WDS-näytteenottoa vuonna 2019.

Hakunilassa mitattavia katuja ovat Hakunilantie, Koulutie, Lahdentie ja Palttinatie (Kuva 8). Hakunilan kaupunginosa on ollut osana mittausreittiä vuodesta 2016 lähtien. Alueen katu- ja viherhoitotyöt on kilpailutettu ja aluetta hoitaa Viherpalvelu Hyvönen Oy, Kaupunki valvoo ja ohjaa hoitotöitä. Alueella ei ole vakituista ilmanlaadun mittausasemaa eikä alueelta kerätä toimenpidekirjauksia.

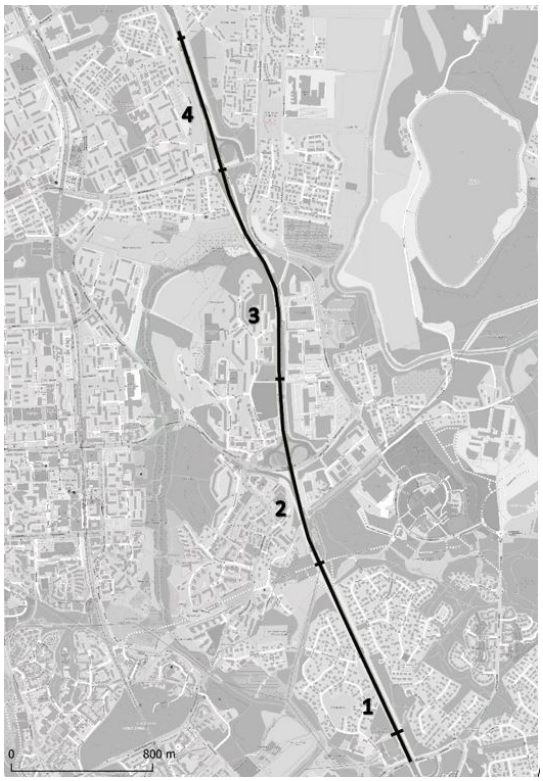


Kuva 8. Nuuskijalla mitattavat kadut Vantaan Hakunilassa.

Myyrmäen mittausreitillä mitattaviin katuihin kuuluu Jönsaksentie, Myyrmäentie, Raappavuorentie, Rajatorpantie, Uomatie ja Vaskivuorentie (Kuva 9). Myyrmäkeä voidaan luonnehtia Länsi-Vantaan keskustaksi ja alueen kunnossapidosta vastaan Vantaan kaupunki (Läntinen piiri).

Kuva 9. Nuuskijalla mitattavat kadut Vantaan Myyrmäessä.

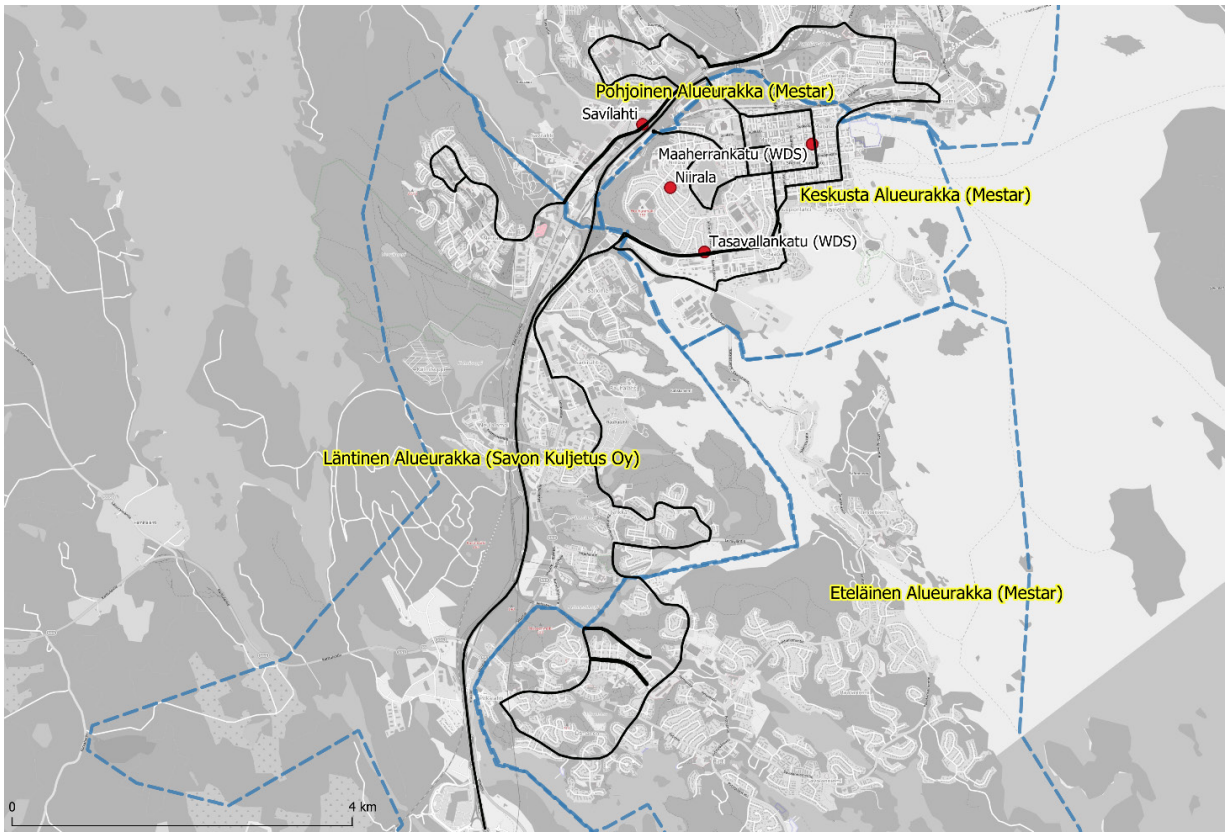
Nuuskijalla on lisäksi mitattu KALPA-hankkeessa säännöllisesti pääväyläkohteessa (Hämeenlinnanväylä), missä liikennevirran ajonopeus ja liikennemäärät eroavat huomattavasti keskustan kaduista. Myös Nuuskijan nopeus mittaustilanteessa eroaa kaupunkireitin kaduista, sillä Nuuskijalla ajetaan normaalin liikennevirran mukana (nopeusrajoitus alueella on 80 km/h). Hämeenlinnanväylällä on mitattu keväästä 2015 alkaen. Mitattava alue sijoittuu Kehä I:n ja Kehä III:n liittymien välille (Kuva 10) ja alue on aineiston käsittelyvaiheessa jaettu kolmeen lyhyempään jaksoon tulosten käsittelyn helpottamiseksi.



Kuva 10. Nuuskijalla mitattava osuus Hämeenlinnanväylää, sekä aineiston analyysivaiheessa käytetyt kolme lyhyempää jaksoa.

2.2.3 Kuopion mittauskohteet

Kuopion kaupunkimittausreitti (Kuva 11) suunniteltiin syksyllä 2018 yhteistyössä Kuopion ohjausryhmän ja mittaajien kesken, jolloin saatiin paras kokonaiskuva alueen erityispiirteistä ja toisaalta Nuuskijalla saavutettavissa olevista kohteista. Reitti kattaa suurimman osan Kuopion kaupungin asutusalueista. Monitoroitavat kadut ajettiin kumpaankin suuntaan.

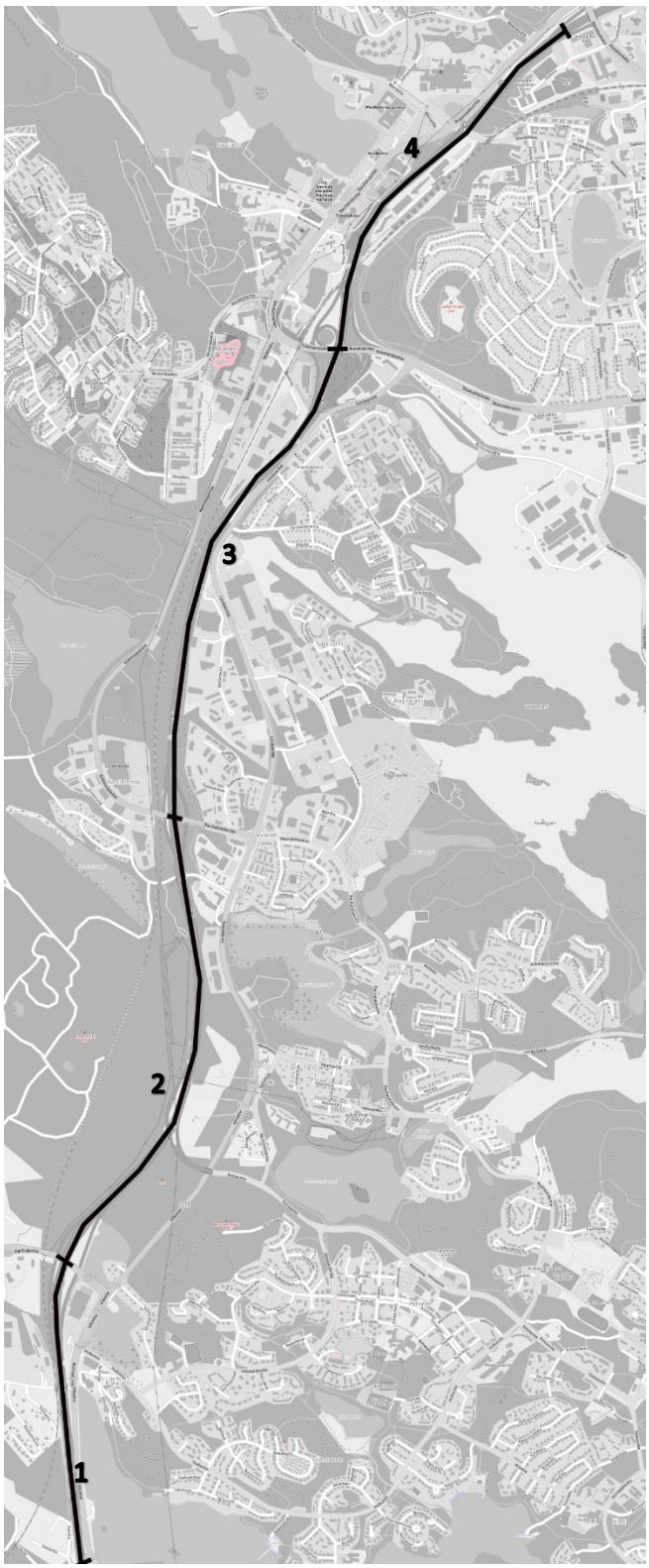


Kuva 11. Nuuskijan mittausreitti Kuopiossa (mustalla), kadunhoidon alueurakoiden rajat (sinisellä katkoviivalla) ja toimijat eri urakka-alueilla (keltaisella) sekä ilmanlaadun mittausasemat ja WDS-paikat (punaisella).

Mittausreitin kadut on tulosten käsittelyn yhteydessä jaoteltu kaupunginosittain sekä alueittain kunnossapidon alueurakoiden mukaan. Kaupunkireitti kulkee ilmanlaadun mittausasemien ohi Tasavallankadulla ja Maaherrankadulla. Nämä kaksi kohdetta valikoituivat myös WDS-näytteiden keruupaikoiksi. Tietyiltä keskustan alueurakan kaduilta kerättiin toimenpidekirjauksia mallinnuksen ja Nuuskijan tulosten tulkitsemisen tueksi.

Kuopiossa yhtenä mittausten erityiskohteena oli Vt5-moottoritie (Kuva 12). Nopeusrajoitus moottoritiellä on 120 km/h (talvirajoitus 100 km/h) ja Nuuskijan mittausnopeus kohteessa on ollut keskimäärin 80 km/h. Mitattava osuus moottoritietä sijaitsee Matkuksen liittymän ja Kuopio P -liittymän välillä. Näiden liittymien välinen etäisyys on n. 13 km. Tulosten käsittelyn yhteydessä moottoritiellä mitatut tulokset jaetiin neljälle lyhyemmälle osuudelle (esitetty Kuvassa 12) tulosten tulkinnan helpottamiseksi.

Kuopiossa suoritettiin 2019 ensimmäisen kampanjan aikana myös pesulaitetesti Snowekin valmistamalle Trombia-kerääjälaitteelle. Testin tulokset esitellään puhdistuslaitetestien tuloksia esittelevässä kappaleessa.



Kuva 12. Osa Vt5-moottoritietä, joka sisältyy Nuuskijan mittausreittiin Kuopiossa. Mitattava osuus moottoritietä on noin 13 kilometriä pitkä, ja se on tulosten käsittelyn yhteydessä jaettu neljään lyhyempään osaan.

2.3 Katupölyn päästömittaukset mittausajoneuvoilla

Mittaustyöpaketeissa 1–3 mitattiin katupölyä pääasiallisesti käyttäen katupölyn mittaukseen suunniteltuja mittausautoja (Nuuskija ja Vectra). Mittausauton päästösignaali on mahdollista muuntaa päästökertoimeksi (mg/vkm, jossa vkm viittaa ajettuun kilometriin), jota on edelleen mahdollista verrata Työpaketissa 5. käytetyn NORTRIP-mallin päästökertoimeen.

KALPA3-hankkeen myötä keväällä 2019 käyttöönotetun uuden Nuuskijan mittaamille PM-suspensiopäästölle ei ole vielä määritetty päästökertoimen laskemiseen tarvittavaa yhtälöä, joten tässä raportissa mittausajoneuvojen tulokset esitetään Nuuskijan (tai Vectran) mittaamina PM-massapitoisuuksina. Tietyissä kohteissa käytettiin Nuuskija- ja Vectra-ajoneuvojen lisäksi WDS-laitetta kohteen pölykuorman määrittämiseksi.

2.3.1 Nuuskija

Nuuskija-auton päivitetty versio otettiin käyttöön keväällä 2019 KALPA3-hankkeen käynnistyessä. Ajoneuvo on kopio aikaisemmasta Nuuskijasta, joka on kuvattu julkaisussa (Pirjola ym. 2009), pienin päivityksin.

Mittalaitteina ajoneuvossa on TEOM 1405D, TEOM 1400a ja DustTrak8030, joilla mitataan PM_{10}- ja $PM_{2,5}$-partikkelien massapitoisuutta ajoneuvon renkaan nostattamasta suspensiopäästöstä. Mittalinjaan on lisäksi kytketty TSI OPS3330, jolla saadaan hiukkasten kokojakauma 0.3–10 µm. Ajoneuvosta löytyy myös kaasuanalysaattoreita (NO_X, CO, CO_2, O_3) sekä Dekati Elpi ja toinen DustTrak 8830 -mittalaite, jotka on kytketty ajoneuvon etupuolella sijaitseviin mittalinjoihin. Ajoneuvon katolla on tuulianturi sekä ilmanlämpötila- ja kosteusmittarit, jotka löytyvät myös ajoneuvon alta. Lisäksi autossa on gps-järjestelmä, joka tallentaa auton paikkakoordinaatteja ja ajonopeuden, joita käytetään hyväksi tulosten käsittelyssä.

Kuva 13. Metropolia Ammattikorkeakoulun keväällä 2019 käyttöönotettu uusi Nuuskija-auto. Katupölyn näytteenottokonikaali sijaitsee vasemman takarenkaan takana. Autossa on useita analyysi- ja mittalaitteita. (Kuvat: Sami Kulovuori)

Uuden ja vanhan Nuuskijan välistä vertailua ei ole vielä suoritettu, joten eroja tai korjauskerrointa ajoneuvojen mittaamille suspensiopäästöille ei ole määritetty. Tästä syystä tämän raportin tulokset eivät myöskään ole suoraan vertailukelpoisia KALPA1–2-vaiheen tai aiempien katupölyprojektien yhteydessä raportoituihin, vanhalla Nuuskijalla ennen vuotta 2019 mitattuihin pitoisuuksiin.

2.3.2 Vectra (TRAKER-menetelmän sovellus)

Keväällä 2020 kaupunkireittien monitoroinnissa käytettiin Nuuskijan lisäksi Vectraan rakennettua katupölynmittausjärjestelmää (Kuva 14) (Torvinen 2010). Vectralla mitataan ajoneuvon renkaan tien pinnasta nostattamaa PM-kokoluokan päästöä vasemman eturenkaan takaa ja taustapitoisuutta etupuskurista (nk. ”TRAKER-menetelmän” sovellus) (Etyemezian ym. 2003). Vectraan asennetut DustTrak8530 -mittalaitteet (2 kpl) on asetettu tallentamaan PM_{10}-pitoisuuksia (mg/m^3) yhden sekunnin resoluutiolla. Autossa on lisäksi gps-järjestelmä, joka tallentaa auton paikkakoordinaatit ja ajonopeuden.

Vectra on ollut vuosien mittaan mukana useissa katupölymittauskampanjoissa ja -hankkeissa. Vectra soveltuu hyvin erityisesti rengasmittauksiin, ja sitä on myös KALPA-hankkeessa käytetty erityisesti Työpaketissa 2, jonka puitteissa on mitattu uusien talvirenkaiden hiukkaspäästöjä. Vectran mittaamalle massapitoisuudelle (DustTrak) ei toistaiseksi ole määritetty päästökertoimen laskemiseksi tarvittavaa yhtälöä.

Kuva 14. Vectraan rakennettu ”Traker” -katupölymittausjärjestelmä. (Kuva: Sami Kulovuori)

2.4 Kadun pinnalla olevan pölyainesmäärän mittaukset WDS-laitteella

Hankkeessa tehtiin kokonaispölyn määrämittauksia (massa per ala) soveltuvissa kohteissa Wet Dust Sampler (WDS) -mittalaitteella. WDS on Ruotsin VTI:llä (Statens väg- och transportforskningsinstitut) katupölynäytteenottoa varten kehitetty mittalaite (Lundberg ym. 2019; Gustafsson ym. 2019).

WDS-laite ”pesee” tien pintaa kovalla paineella, jonka jälkeen vesinäyte kerätään näytepulloon ja näytteestä suoritetaan halutut analyysit. Tämän hankkeen yhteydessä näytteistä on analysoitu sameus Hanna Instrumentsin sameusmittarilla (HI 88713 Turbidity Benchtop Meter, ISO), jonka toiminta perustuu nesteeseen lähetetyn valon siroamiseen näytteessä leijuvista hiukkasista. Laite ilmoittaa sameuden FNU-yksiköinä (Formazine Nephelometric Units).

FNU-arvo on mahdollista muuntaa edelleen ”pölykuormaksi” (dust load = DL) ruotsalaisten empiirisiin tutkimuksiin perustuvalla laskentakaavalla. Näin saatu arvo (yksikkö DL180) kuvastaa näytteessä olevaa pölymäärää 180 µm:n hiukkasiin saakka. DL180 edustaa kadun pinnalla olevan kokonaispölykuorman pölyävää fraktiota, eli sitä osuutta pölystä, joka potentiaalisesti nousee ilmaan ja vaikuttaa ilmanlaatuun lähietäisyydellä. Tässä raportissa WDS-tulokset on esitetty ainoastaan FNU-yksiköinä (Formazine Nephelometric Units), sillä Suomen oloissa toteutettua laskentakaavaa DL180-arvolle ei toistaiseksi ole määritetty. Tekstissä WDS-tuloksiin viitattaessa käytetään kuitenkin suomenkielistä pölykuorma-termiä kuvaamaan WDS-laitteen tuomaa lisänformaatiota, toisin sanoen tietoa kokonaispölyn määrästä mitattavalla pinnalla.

Kuva 15. WDS-näytteenotto Tukholmassa yhdessä VTI:n tutkijoiden ja WDS-mittalaitteen kehittäjien kanssa. (kuva: Sami Kulovuori)

2.5 **Katupölyn mallinnus NORTRIP-katupölymallilla**

NORTRIP-mallissa (NOn-exhaust Road TRaffic Induced Particle emissions) (Denby ym. 2013 (a); Denby ym. 2013 (b)) yhdistyy kaksi “alamallia”: 1) katupöly- ja 2) kadun pinnan kosteus -mallit. Katupölymalli määrittää massabalanssi-menetelmän kautta katupölypäästön, joka on seurausta a) suorista, ajoneuvoon liittyvistä (päällyste, jarrut ja rengas) päästöistä, sekä b) kadun pinnalle kertyneiden kulumatuotteiden suspensiopäästöstä. Renkaista, jarruista ja päällysteestä syntyvät kulumatuotteet muodostavat kuivalla säällä suoria päästöjä, mutta märällä kelillä kertyvät katuympäristöön ja nousevat ilmaan vasta pintojen kuivuttua (suspensio). Kadun pinnan kosteus -malli määrittää kosteusolot ja sitä kautta kadun pinnan kyvyn pidättää pöly- ja suolahiukkasia. Kadun pinnan kosteus on seurausta sateista, kondensaatiosta ja kadun pinnan kastelusta, kun taas kosteutta poistuu kadun pinnalta pintavesien valumisen, haihtumisen ja ajoneuvojen nostattamien roiskeiden kautta.

NORTRIP-mallin edellyttämiin lähtötietoihin lukeutuvat tarkat tiedot katuympäristöstä, liikennetiedot (liikennemäärä, ajoneuvotyyppien osuudet, ajonopeus ja rengastyyppi), meteorologinen data

(sademäärä, tuulen nopeus, lämpötila, säteily, pilvipeite ja ilman kosteus) ja kadun kunnossapidon kirjaukset (suolaus, hiekoitus, pölynsidonta, puhdistus ja auraus).

2.5.1 Kansallisen tason FRES-malli

FRES-malli on SYKE:n alueellinen päästömalli (FRES, Finnish Regional Emission Scenario, (Karvosenoja 2008)), ja tämän hankkeen puitteissa sillä arvioitiin katupölypäästöjen merkittävyyttä tie- ja katuverkossa koko Suomen tasolla. Arviointi tapahtui yleistämällä NORTRIP-mallin tuloksia Suomen eri alueille, eri meteorologioille ja erilaisille tie- ja katutyypeille, ja tuomalla päästökerroinarviot FRES-malliin (Kupiainen ym. 2020). FRES-malli esittää päästöt kartalla 250 metrin hilaresoluutiolla.

2.6 Tulosten tulkinnan tukena käytetyt muut aineistot

Tässä tutkimushankkeessa on käytetty mitattujen ja mallinnettujen tulosten tulkinnan tukena useita aineistoja, joita tutkijat ovat saaneet käyttöönsä pääsääntöisesti hankkeen ohjausryhmän kautta. Tässä kappaleessa esitellään ja tehdään yhteenveto hankkeen käytössä olleista aineistoista.

2.6.1 Ilmanlaatu ja meteorologia vuosina 2019 ja 2020 HSY:n ja Kuopion ilmanlaatukatsauksiin perustuen

Talvi 2018–2019 oli pääkaupunkiseudulla leuto ja runsassateinen. Tämä heijastui muun muassa hengitettävien hiukkasten maltillisempina pitoisuuksina verrattuna edeltävään vuoteen. Kadut kuivuivat jo helmikuussa, mikä aiheutti korkeita katupölypitoisuuksia jo helmikuussa, vaikka varsinainen katupölykausi alkoikin vasta maaliskuun lopulla. Hengitettävien hiukkasten raja-arvotaso ylittyi Mannerheimintiellä 15, Mäkelänkadulla 14, Tikkurilassa 13, Talvikkitiellä 9 kertaa kalenterivuoden aikana. (Korhonen ym. 2020)

Kuopiossa mitattiin vuosina 2018–2019 selvästi enemmän raja-arvotason (50 µg/m^3) ylityksiä kuin muutamana edeltävänä vuonna. Katupölykausi keväällä oli pitkä, ja lisäksi katupölyä oli ilmassa syksyn pakkasjaksoilla. Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet olivat korkeimmillaan huhti- ja marraskuussa ja ylityksiä mitattiin runsaasti etenkin Tasavallankadulla. Raja-arvotason ylityksiä mitattiin vuonna 2019 myös talvella pakkaspäivinä, kun tieliikenteen ja lämmityksen päästöt kohottivat pitoisuuksia. (Pärjälä & Pulkkinen 2019).

Talvi 2019–2020 oli pääkaupunkiseudulla ja Kuopiossa tavanomaista lauhempi ja sateisempi. Koko maan talven keskilämpötila oli historiallisen korkea.

Talvi oli ilmanlaadun suhteen tavanomaista heikompi, sillä lauhan sään vuoksi katupölykausi aikaistui ja tavallisesti vasta keväällä pinnoilta vapautuva pöly nousi ilmaan jo talvikuukausina (tammi–helmikuussa mitatut korkeat pitoisuudet pääkaupunkiseudulla ja Kuopiossa). Ilmanlaadun heikentymiseen oli monin paikoin syynä nastarenkaiden asfaltista irrottama katupöly, joka nousi ilmaan erityisesti poutaisina päivinä pintojen kuivuttua. Helsingissä Mannerheimintien mittausaseman läheisyydessä vaikutti lisäksi työmaa tammikuun 2020 lopulla.

Katupölykauden aikaistuttua kevät 2020 oli ilmanlaadun näkökulmasta tavanomaista parempi. Myös katujen puhdistukset pystyttiin aloittamaan Helsingissä, Kuopiossa ja Vantaalla tavallista aikaisemmin. Hengitettävien hiukkasten raja-arvotaso (50 µg/m^3 vuorokauden keskiarvona) ylittyi Mäkelänkadulla maalikuussa kaksi kertaa. Huhti–toukokuussa ylityksiä ei tullut.

Myös liikennemäärät vähentyivät pääkaupunkiseudulla ja Kuopiossa maaliskuussa 2020 alkaneen, koronapandemian takia julistetun poikkeustilan vuoksi. Tämä heijastui ilmanlaadun mittausasemilla etenkin pienentyneisiin typpioksidipitoisuuksiin. Typpioksidipitoisuuteen vaikuttaa liikennemäärän vähentymisen ohella myös muun muassa autokannan uusitutuminen. (Helsingin seudun ympäristöpalvelut HSY 2020b)

2.6.2 Kunnossapidon kirjaukset

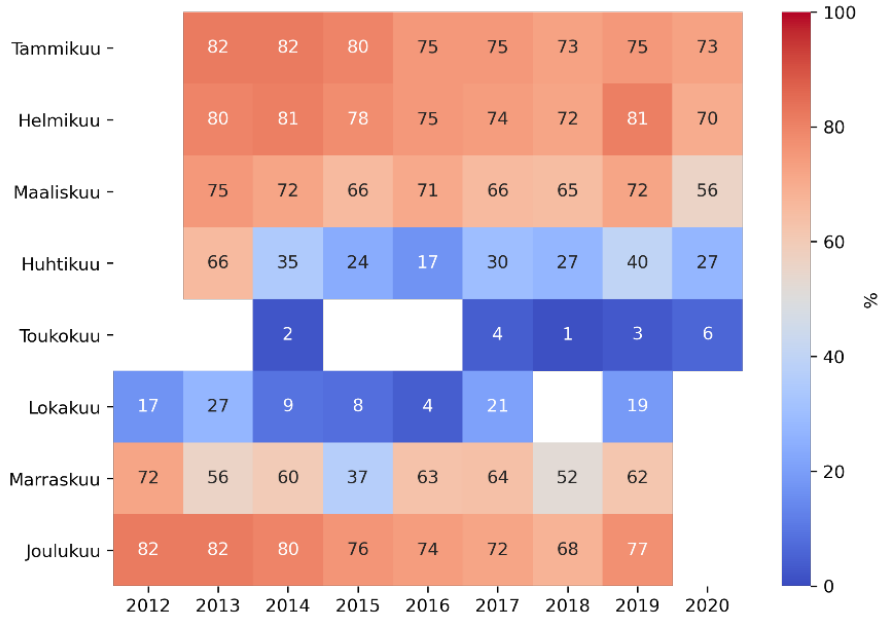
Helsingin, Kuopion ja Vantaan kunnossapidosta vastaavat tahot ovat toimittaneet vuosittain tietoja hankkeen käyttöön. Tiedot talvikunnossapidon (liukkaudentorjunta), pölynsidonnan ja kevätpuhdistuksen toimenpiteistä helpottavat Nuuskijalla mitattujen kaupunkireittien tulosten tulkintaa ja ovat oleellista tietoa NORTRIP-mallin lähtötiedoiksi. Tietoja on koottu taulukoihin Liiteeseen B.

2.6.3 Nastarengasosuuksien laskentatiedot

Uusi tieliikennelaki, joka astui voimaan kesäkuun 2020 alusta, antaa autoilijalle lisäjoustoa harkita nastarenkaiden käytöstä keliolosuhteiden mukaan. Uuden tieliikennelain mukaan talvirenkaita (nastalliset tai nastattomat) on käytettävä marraskuun alusta maaliskuun loppuun. Nastarenkaita saa käyttää marraskuun alusta maaliskuun loppuun ja muulloinkin, jos sää tai keli sitä edellyttää.

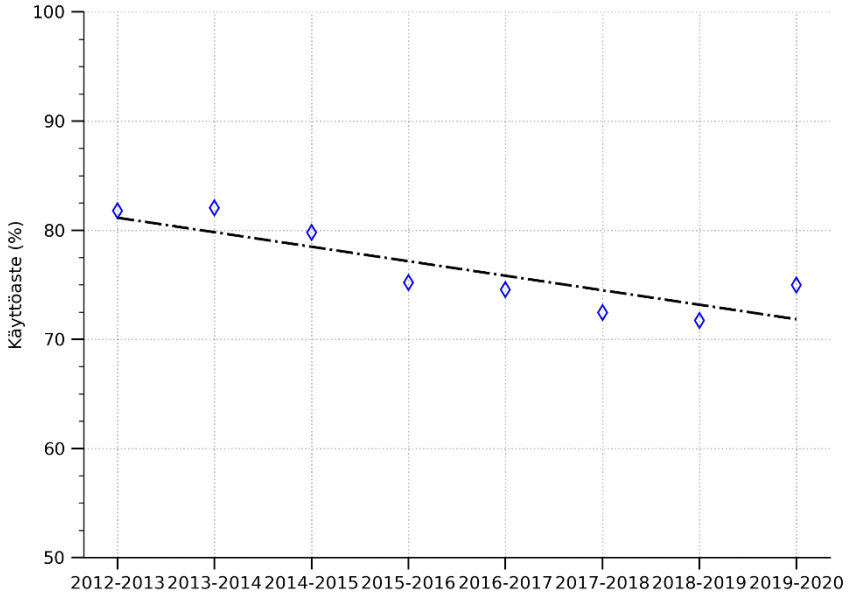
KALPA3-hankkeen aikana käytössä ollut vanha tieliikennelaki edellytti talvirenkaiden (nastalliset tai nastattomat) käyttöä joulukuusta helmikuuhun. Vanhan tieliikennelain mukaan nastarenkaiden käyttö sallittiin marraskuusta maaliskuun loppuun (tai pääsiäisen jälkeiseen maanantaihin, mikäli se osuu myöhemmäksi). Nastarenkaiden käyttö sallittiin tämänkin ajan ulkopuolella, mikäli keliolosuhteet vaativat.

Koillis-Helsingissä kerättyyn havaintoaineistoon perustuen nastarenkaiden käyttöönotto tapahtuu lokakuun puolesta välistä joulukuun alkuun ja siirtyminen takaisin kesärenkaisiin huhtikuun aikana. Siirtymävaiheet elävät jonkin verran vuosien välillä, ja niihin luonnollisesti vaikuttavat vallitsevat sääolosuhteet (Kuva 16). Nastarengaslaskentoja on suoritettu kuulohavaintomenetelmällä Helsingin Tapaninvainiontiellä 2012–2020 välisenä aikana (Unhola 2020).



Kuva 16. Nastarenkaiden keskimääräinen käyttöaste talvirengaskausina (lokakuu-toukokuu) vuosina 2012 - 2020. Luottamusväli ± 2 %. Kuvaajan tiedot perustuvat (Unhola 2020) raporttiin.

Nastarenkaiden keskimääräinen käyttöaste henkilö- ja pakettiautoilla, kyseisellä paikalla (joulu–tammikuussa) on laskenut talven 2012 n. 82 %:sta vuoden 2020 n. 75 %:iin (Kuva 17). Aineiston luottamusväli on ± 2%. Pienin talviaikainen (joulu–tammikuu) käyttöaste on havaittu talvikausina 2017–2018 ja 2018–2019 jolloin keskimääräinen käyttöaste oli 73,5 %. Keväällä 2020 nopeaa siirtymää nastallisista renkaista nastattomiin on todennäköisesti vauhdittanut lumeton talvi ja aikainen kevät (Kuva 16). Keskimääräistä käyttöastetta nostaa kuitenkin joulukuussa 2019 havaittu korkea käyttöaste.



Kuva 17. Nastarenkaiden keskimääräisen käyttöasteen trendi joulu–tammikuussa Helsingin Tapaninvainiontiellä talvina 2011/12–2019/20. Luottamusväli ± 2 %. Kuvaajan tiedot perustuvat (Unhola 2020) raporttiin.

3 Tulokset ja tulosten tarkastelu

3.1 Johdanto

Tässä kappaleessa esitellään katupölyn mittaus- ja mallinnustuloksia KALPA3-hankkeen vuosilta 2019 ja 2020 Helsingistä, Kuopiosta ja Vantaalta. Katupölyn mittaukset Nuuskija-ajoneuvolla kaupunkireiteillä sekä kahdessa pääväyläkohteessa (Hämeenlinnanväylä, ja Vt5 Kuopio) muodostavat ensimmäisen kokonaisuuden.

Katupölyn erikoiskohteiksi määriteltyjen työmaa-alueiden (Jätkäsaari ja Kalasatama, Helsinki) Nuuskija-mittaustulokset esitellään omassa alakappaleessaan. Ilmanlaadun ”supersiten” Mäkelänkadun sekä muiden kohteiden, joissa on suoritettu ajoneuvomittausten lisäksi WDS-mittauksia (Talvikkitie Vantaalla sekä Maaherrankatu ja Tasavallankatu Kuopiossa) tulokset esitellään erikoiskohteiden yhteydessä. Oman alakappaleensa muodostavat lisäksi kadunpuhdistusmenetelmien ja -laitetestien tulokset neljästä mittauskampanjasta.

Nuuskija-ajoneuvo päivitettiin keväällä 2019 (Lisää kappaleessa 2.2 Katupölyn päästömittaukset mittausajoneuvoilla), eivätkä uudella Nuuskijalla mitatut tulokset ole suoraan vertailtavissa ns. vanhan (käytössä ennen 2019) Nuuskijan tulosten kanssa. Tästä syystä tässä raportissa ei esitetä Nuuskija-ajoneuvolla mitattuja tuloksia pidempinä aikasarjoina, esimerkiksi KALPA1–2 vaiheen tulosten kanssa rinnakkain. Pidemmän aikavälin (2006–2018) katupölytrendejä vanhalle Nuuskijalle on esitelty KALPA1–2-hankkeen raportissa (Kulovuori ym. 2019).

KALPA-hankkeessa aikaisempina vuosina suoritetut talvirengasmittaukset on myös laajasti raportoitu hankkeen aikaisemmassa raportissa (Kulovuori ym. 2019, ss. 60–71). KALPA3-vaiheessa ei tehty rengastestausta. Sen sijaan tässä raportissa on tarkasteltu kaikkien KALPA-hankkeen aikana tehtyjen talvirenkaiden ”onroad-pölymittausten” (Vectra DustTrak PM_{10}) tuloksia rinnakkain nastarenkaiden tyyppihyväksyntämenetelmänäkin käytetyn yliajokokeen kuluma-arvioihin.

3.2 Katupölyn mittaus kaupunkireiteillä

Tavallisesti mittauskierrokset Nuuskija-autolla aloitetaan alkukeväästä, kun suurin osa lumesta ja jäästä on poistunut katuympäristöstä eivätkä sulamisvedet estä pölyn nousemista ilmaan. Silloin tällöin sulamisvesistä tai muista ulkoisista tekijöistä on saattanut olla haittaa mittauksille. Nämä mahdolliset, paikallisesti tai ajallisesti rajatut häiriöt merkataan mittausten aikana Nuuskijan lokikirjaan ja otetaan huomioon tulosten tarkastelussa. Mittauskierroksia Helsingin ja Vantaan kaupunkireiteillä pyritään tekemään katupölykaudella noin kerran viikossa ja Kuopiossa kampanjaluontoisesti kevätpölykaudella ja sen jälkeen.

Keväällä 2019 Nuuskijan mittauskierrokset alkoivat viikolla 13 (maaliskuun loppu) ja jatkuivat viikolle 21 (toukokuun loppu). Pääkaupunkiseudulla tammi- ja helmikuu olivat vielä lumisia ja varsinainen katupölykausi ajoittui maaliskuun lopulta huhtikuun loppuun. Ilmanlaadun mittausasemilla korkeimmat hengitettävien hiukkasten arvot mitattiin huhtikuun ensimmäisellä viikolla. Korkeita arvoja mitattiin myös myöhemmin huhtikuussa, joka oli selvästi pölyisin kuukausi pääkaupunkiseudulla.

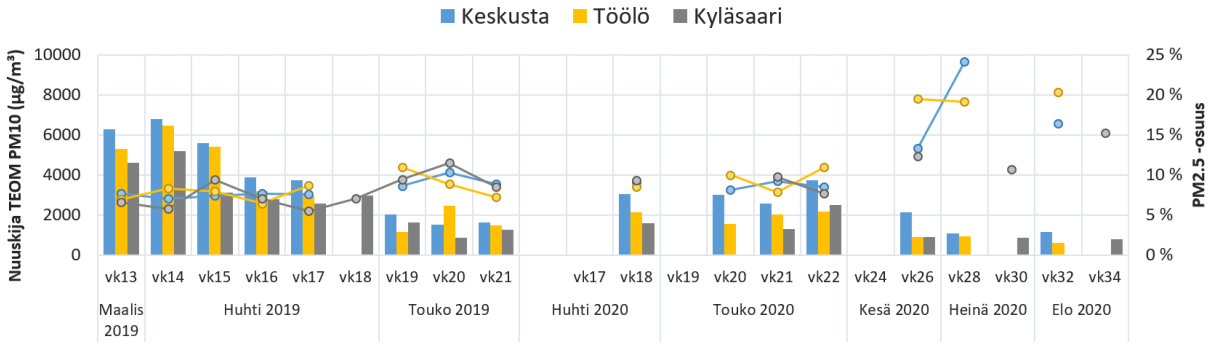
Talvi 2019–2020 oli käytännössä lumeton, lauha ja sateinen. Tämä myös aikaisti katupölykautta, ja esimerkiksi Helsingin keskustassa korkeita hengitettävien hiukkasten pitoisuuksia mitattiin jo tammikuussa. Maaliskuussa 2020 alkanut koronapandemia rajoitti liikennemääriä, mikä näkyi myös liikenteen aiheuttamien päästöjen laskuna ilmanlaadun mittaustuloksissa. Poikkeuksellisena keväänä 2020 mittaukset aloitettiin Vectralla viikolla 15 (huhtikuun alku) ja Nuuskijalla viikolla 17. Molemmilla ajoneuvoilla monitoroitiin kaupunkireittejä viikolle 22 asti (toukokuun viimeinen viikko), jonka jälkeen Nuuskijalla ajettiin reittejä vielä kesällä. Taulukko mittauspäivistä on Liitteessä B.

Tässä kappaleessa on esitetty tulokset Helsingille, Kuopiolle ja Vantaalle uudella, vuonna 2019 käyttöönotetulla Nuuskija-autolla mitattuna. Vectralla mitatut tulokset on esitetty Liitteessä A.

Mittausajoneuvoilla mitatut tulokset esitetään viikkokohtaisina keskiarvoina, jotta vuosien sekä kaupunkien tai kaupunkireitin osien välinen vertailu olisi helpompaa.

3.2.1 Helsinki

Kuvassa 18 on esitetty Nuuskijalla mitatut PM_{10}-pitoisuudet ja $PM_{2,5}$-osuus PM_{10}:stä vuosina 2019 ja 2020 Helsingin reitin kolmessa eri osassa (Keskusta, Töölö ja Kyläsaari). Katukohtaiset pitoisuudet on esitetty Kuvassa 19 ja vastaavat $PM_{2,5}$-osuudet Kuvassa 20.



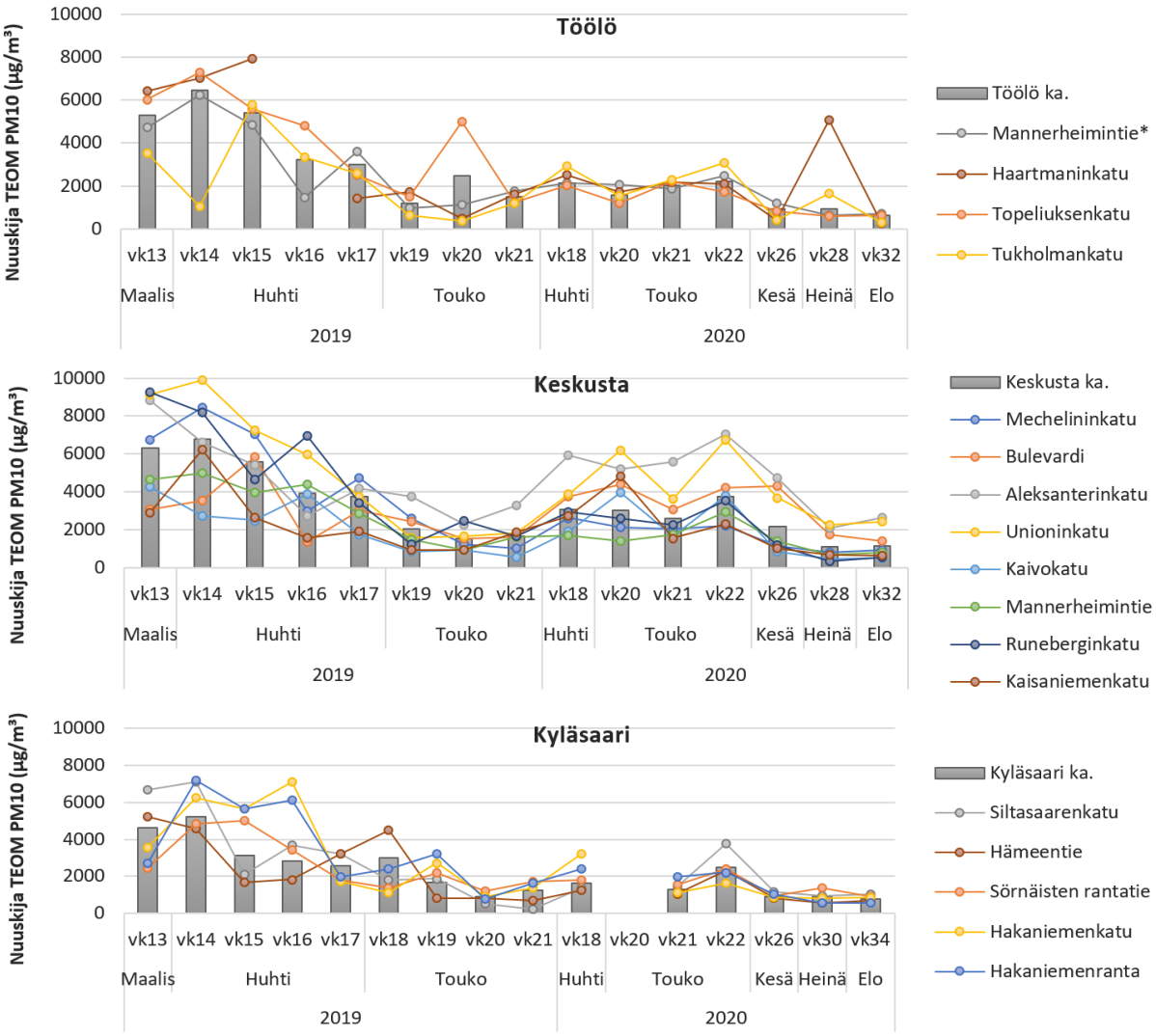
Kuva 18. PM_{10}-reittikeskiarvot (pylväät) ja $PM_{2,5}$-osuudet (viivat) mitattuna Nuuskijalla kolmella Helsingin reittiosuudella 2019 ja 2020.

Keväällä 2019 huippupitoisuudet mitattiin Nuuskijalla viikoilla 13–15. Vuorokausiraja-arvotaso ylittyi Mannerheimintien mittausasemalla 15 päivänä: 4.4., 5.4., 16.4., 18.4., 19.4., 24.4., 25.4., 26.4., 27.4., 17.5., 18.5., 21.5., 6.6., ja 7.6. Mäkelänkadun ylitykset (14 kpl) osuivat myös pääasiassa huhtikuulle: 22.2., 1.3., 4.4., 5.4., 16.4., 17.4., 18.4., 23.4., 24.4., 30.10., 15.11., 25.11., 17.12. ja 23.12. Pölynsidontaa tehtiin keskustan pääkaduilla runsaasti maaliskuun lopun ja toukokuun alun välillä. Keväiset hiekannostot ja pesut ajoittuivat huhtikuun loppupuolelle. Useampi ylityspäivä osui kuitenkin vielä myös loppuvuoteen, nastarengaskauden alusta joulukuulle. Nuuskijan mittaamat päästöt alkoivat laskea huhtikuun loppupuoliskolla, ja trendi oli samanlainen sekä PM_{10}- että $PM_{2,5}$-pitoisuuksille. Yleinen päästötaso oli korkeimmillaan Keskustan reitin kaduilla ja alimmillaan Kyläsaaren reitin kaduilla. Keväällä 2019 $PM_{2,5}$:n osuus PM_{10}:stä oli 6 ja 10 prosentin välillä, ja osuus kasvaa katupölykauden loputtua (viikot 19-21) PM_{10}-pitoisuuden laskiessa.

Keväällä 2020 päästötaso Vectralla mitattuna laski merkittävästi viikon 18 jälkeen (Liite B, Kuva B 1) ja pysyi matalana kaikilla muilla alueilla paitsi Keskustassa, missä pitoisuudet lähtivät uudestaan nousuun katupölykauden loppupuoliskolla: Vectran tuloksiin perustuen korkeimmat päästöt havaittiin viikoilla 21 ja 22. Keskiarvoa nosti erityisesti reitin nupukivikaduilla (Bulevardi, Unioninkatu, Aleksanterinkatu, Mannerheimintie) mitatut korkeat pitoisuudet. Vuorokausiraja-arvotaso ylittyi Mannerheimintien mittausasemalla kolmena päivänä (31.1., 28.9. ja 2.10.) ja Mäkelänkadulla kahdeksana päivänä (5.1., 20.1., 21.1., 19.2., 24.2., 17.3., 31.3., 10.11.) Mannerheimintien mittausaseman läheisyydessä vaikutti tammikuun 2020 lopussa myös työmaa.

Koko Nuuskijalla mitatun historian ajan Aleksanterinkatu on näyttäytynyt katupölyn näkökulmasta poikkeuksellisena kohteena. Katupölypäästöt ovat suuret Nuuskijan mittausrenkaan takana, mutta toisaalta pieni liikennemäärä vähentänee katupölyn kokonaispäästöjä. Syiksi kadun pölyisyyteen on arvioitu kadun muusta reitistä poikkeavaa pintamateriaalia (kivilaatta), lämmitystä sekä raitioteillä käytettävää jarruhiekkaa. Rajoitetun ajoneuvoliikenteen vuoksi kadun ns. itsepuhdistuminen on vähäistä. Problematiikasta on kirjoitettu aikaisempien katupölyraporttien yhteydessä. Nupukivipäällysteisillä kaduilla mitattuja korkeita pitoisuuksia saattavat ainakin osittain selittää kivien väliin varastoituva pöly ja pinnan epätasaisuudesta johtuva tärinä, jonka vaikutuksesta ajoneuvoihin asennettuihin mittalaitteisiin tiedetään vähän.

Nuuskijan mittaustuloksissa on havaittavissa nouseva trendi loppukevättä kohti Keskustan alueella, missä nimenomaan nupukivikaduilla (lukuun ottamatta Mannerheimintietä) mitatut pitoisuudet nostavat keskiarvoa. PM_{10}-pitoisuudet ovat olleet yleisesti korkeampia keväällä 2020 kuin keväällä 2019, tosin vertailukohtana voi pitää mittausten ajoituksen vuoksi lähinnä toukokuuta. Keväällä 2019 katupölykausi ajoittui ennen toukokuuta. Matalimmat pitoisuudet on mitattu kesäkuukausina (kesä–elokuu) kuten tavallista.

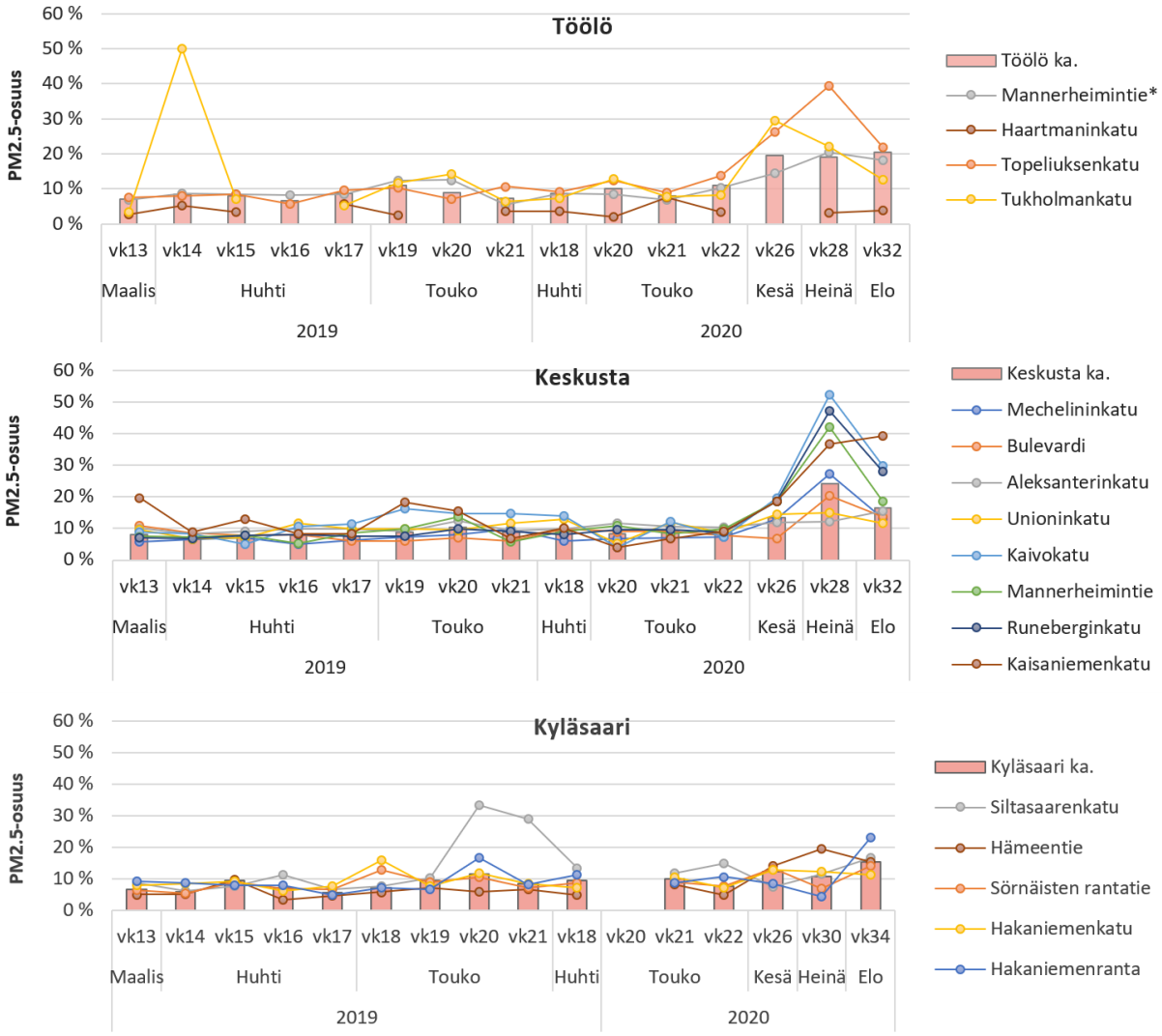


Kuva 19. Nuuskijalla mitatut katukohtaiset PM_{10}-pitoisuudet (viivat) ja näiden keskiarvo (pylväs) Helsingin reitin kolmella eri osuudella vuosina 2019 ja 2020.

Viikolla 28/2020 Haartmaninkadulla mitattu korkea PM_{10}-pitoisuus (Kuva 19) saattaa olla seurausta mittauskonikaalin (Nuuskijan renkaan takana oleva näytteenkeräyssuppilo) osumisesta maahan tai muusta hetkellisestä häiriöstä. Yksittäisten mittauspisteiden tarkastelu kahdelta mittauskierrokselta osoittaa, että hetkellisesti korkea piikki osuu vain ensimmäiselle mittauskierrokselle ja toisella mittauskierroksella mittauspisteet ovat lähellä reittikeskiarvoa.

Viikolla 20/2019 Topeliuksenkadulla ajettiin poikkeuksellisesti kahdesta ajoradasta vasemmanpuoleista, ja tulos perustuu vain yhden mittauskierroksen mittauspisteisiin. Nuuskijan lokikirjaan ei ole merkitty ulkoisia poikkeustekijöitä, jotka muuten selittäisivät tulosta. Näin ollen muita katuja huomattavasti korkeammalle pitoisuudelle ja samalla koko reittikeskiarvoa nostattava tulokselle ei löydy mittausteknistä selitystä.

$PM_{2,5}$:n osuus PM_{10}:stä oli katupölykaudella (maalis–toukokuu) keskimäärin 9 %, kun se kesäkuukausina on ollut keskimäärin 17 % (11–24 % riippuen mittauspaikasta ja ajankohdasta). Viikolla 14/2019 Tukholmankadulla mitattu alhainen PM_{10}-pitoisuus heijastuu kyseisen kadun poikkeuksellisen korkeana $PM_{2,5}$-osuutena (Kuva 20). Yleisesti PM_{10}-pitoisuuksien laskiessa kohti kesää $PM_{2,5}$:n suhteellinen osuus nousee. $PM_{2,5}$-osuuden nousu on erityisen selkeää Keskustan ja Töölön reitin kaduilla kesällä 2020.



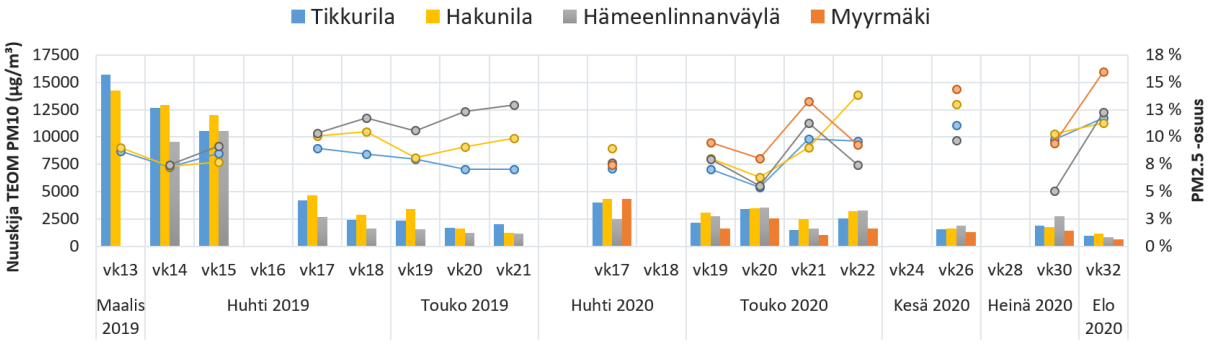
Kuva 20. Nuuskijalla mitatut katukohtaiset $PM_{2,5}$:n osuudet PM_{10}:stä (viivat) ja näiden keskiarvo (pylväs) Helsingin reitin kolmella eri osuudella vuosina 2019 ja 2020.

3.2.2 Vantaa

Sääolosuhteiden ja poikkeuskevään 2020 rajoitusten vuoksi katupölyyn ja mittauksiin vaikuttaneet ulkoiset tekijät ovat Vantaalla samankaltaisia kuin Helsingissä. Vuonna 2020 HSY:n Tikkurilan mittausasemalla ei ollut poikkeuksellisesti yhtään PM_{10} raja-arvotason ylityspäivää. Vuonna 2019 PM_{10} vuorokausiraja-arvotason ylityksiä tuli Tikkurilan mittausasemalla 13 kpl (22.1., 22.2., 22.3., 27.3., 2.4., 3.4., 4.4., 5.4., 16.4., 18.4., 23.4., 24.4., 24.11., ja 25.11.), ja Talvikkitien siirrettävällä asemalla 9 kpl (22.1., 21.2., 22.2., 22.3., 4.4., 5.4., 16.4., 18.4., 24.4. ja 25.11.).

Kuvassa 21 on esitetty PM_{10}-päästötaso ja $PM_{2,5}$-osuus PM_{10}:stä Nuuskijalla mitattuna Vantaan eri alueilla ja Hämeenlinnanväylällä (pääväyläkohde) vuosina 2019 ja 2020. Ensimmäiset mittaukset Myyrmäessä tehtiin keväällä 2020, joten vuodelle 2019 ei Myyrmäestä ole tuloksia. Katukohtaiset PM_{10}-arvot on esitetty Kuvassa 22 ja katukohtaiset $PM_{2,5}$-osuudet Kuvassa 23.

Molempina vuosina Nuuskijan mittaamassa PM_{10}-päästötasossa on tapahtunut jyrkkä lasku viikon 16 jälkeen (kevät 2020: Vectralla mitatut tulokset kuva B 2, liite B). Tikkurilan ja Hakunilan alueen päästötasot ovat yleisesti korkeammat kuin päästötasot Hämeenlinnanväylällä tai Myyrmäessä. Hämeenlinnanväylällä mitatut PM_{10}-pitoisuudet ovat pääsääntöisesti hieman kaupunkireitin reittikeskiarvoja pienempiä. Tämä heijastuu myös korkeampiin $PM_{2,5}$-osuuksiin, erityisesti keväällä 2019. Viikkotasolla verrattuna päästötasot keväällä 2020 ovat olleet hieman korkeampia kuin keväällä 2019. Loppukevättä 2019 kohti pitoisuudet laskevat aavistuksen hitaammin Hakunilan alueella.



Kuva 21. PM_{10}-reittikeskiarvot (pylväät) ja $PM_{2,5}$-osuudet (viivat) mitattuna Nuuskijalla Vantaalla 2019 ja 2020.

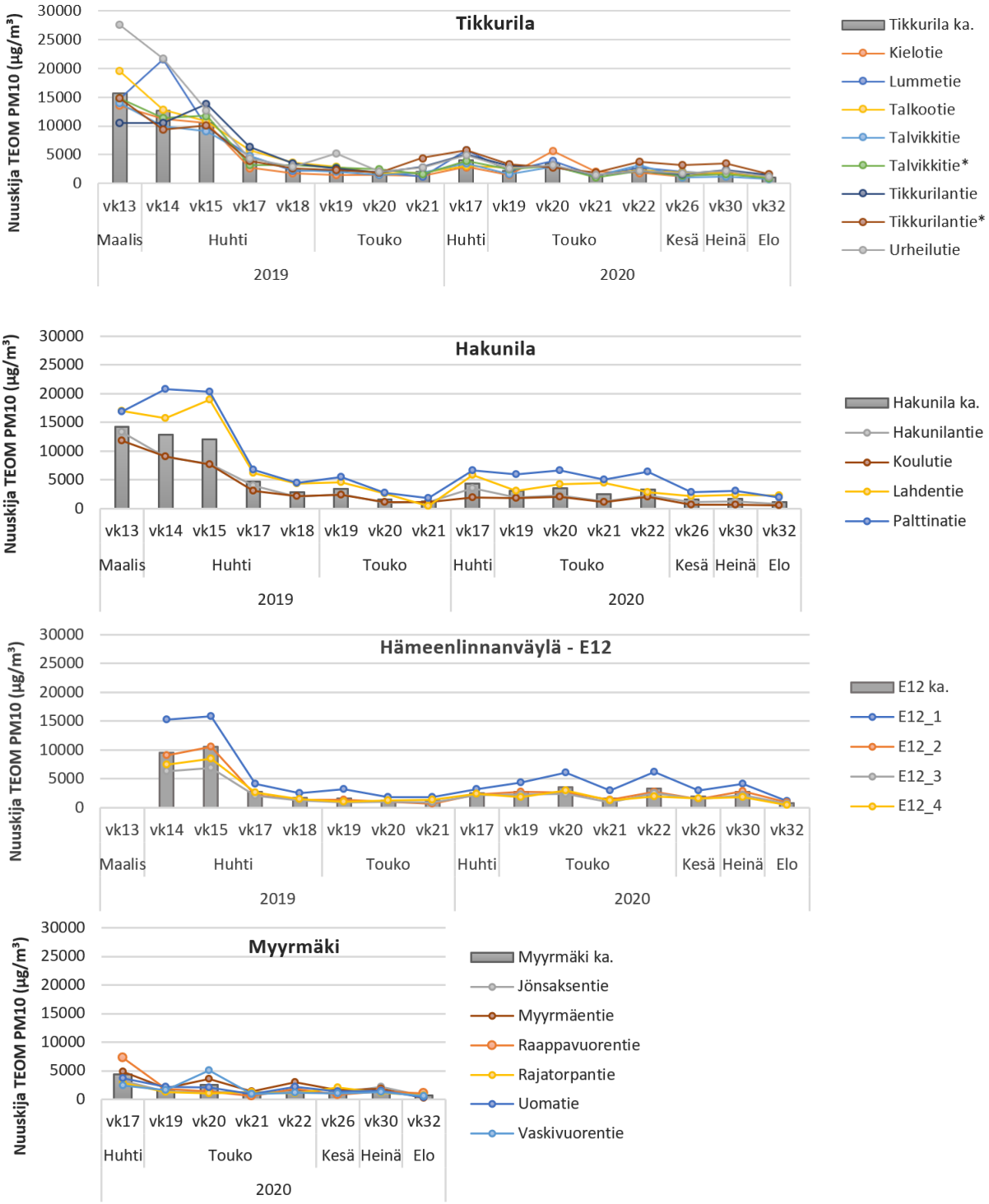
Vantaan alueista Tikkurilan kadut ovat pysyneet Nuuskijan mittausreitillä pisimpään (vuodesta 2006). Joskin alueella vaikuttaneet työmaat ovat jossain määrin muuttaneet reittiä. Vuoden 2019 ja 2020 tuloksissa mikään Tikkurilan kaduista ei poikkea suuresti Tikkurilan alueen keskiarvosta, lukuun ottamatta Urheilutiellä 2019 alkukeväästä (viikot 13 ja 14) mitattuja korkeita pitoisuuksia.

Hakunilassa korkeimmat PM_{10}-pitoisuudet molempina vuosina on mitattu Palttinatiellä ja Lahdentiellä. Palttinatien korkeat pitoisuudet ovat mahdollisesti ainakin osittain seurausta kadun paikoittain huonosta kunnosta verrattuna muihin alueen katuihin. Lahdentien kunnossapidosta vastaa Uudenmaan ELY-keskus, ja kyseisen tien toimenpiteet eivät ole tiedossa. Lahdentien nopeusrajoitus on 60 km/h, joka saattaa myös osaltaan vaikuttaa mitattuihin pitoisuuksiin verrattuna alueen muihin katuihin, joissa keskinopeus jää alle 40 km/h.

Vuonna 2020 uutena alueena Vantaalla otettiin mittausreittiin mukaan Myyrmäki. Myyrmäestä ei tämän hankkeen puitteissa kerätä toimenpidetietoja, eikä mittauksista ole ilmoitettu kunnossapitäjille, joten mittaukset suoritetaan niin sanottuna pistokokeena. Myyrmäki muistuttaa liikenneympäristönsä puolesta Tikkurilaa, sillä erotuksella, että ajaminen Nuuskijalla on sujuvampaa (vähemmän liikennettä ja liikennevaloja).

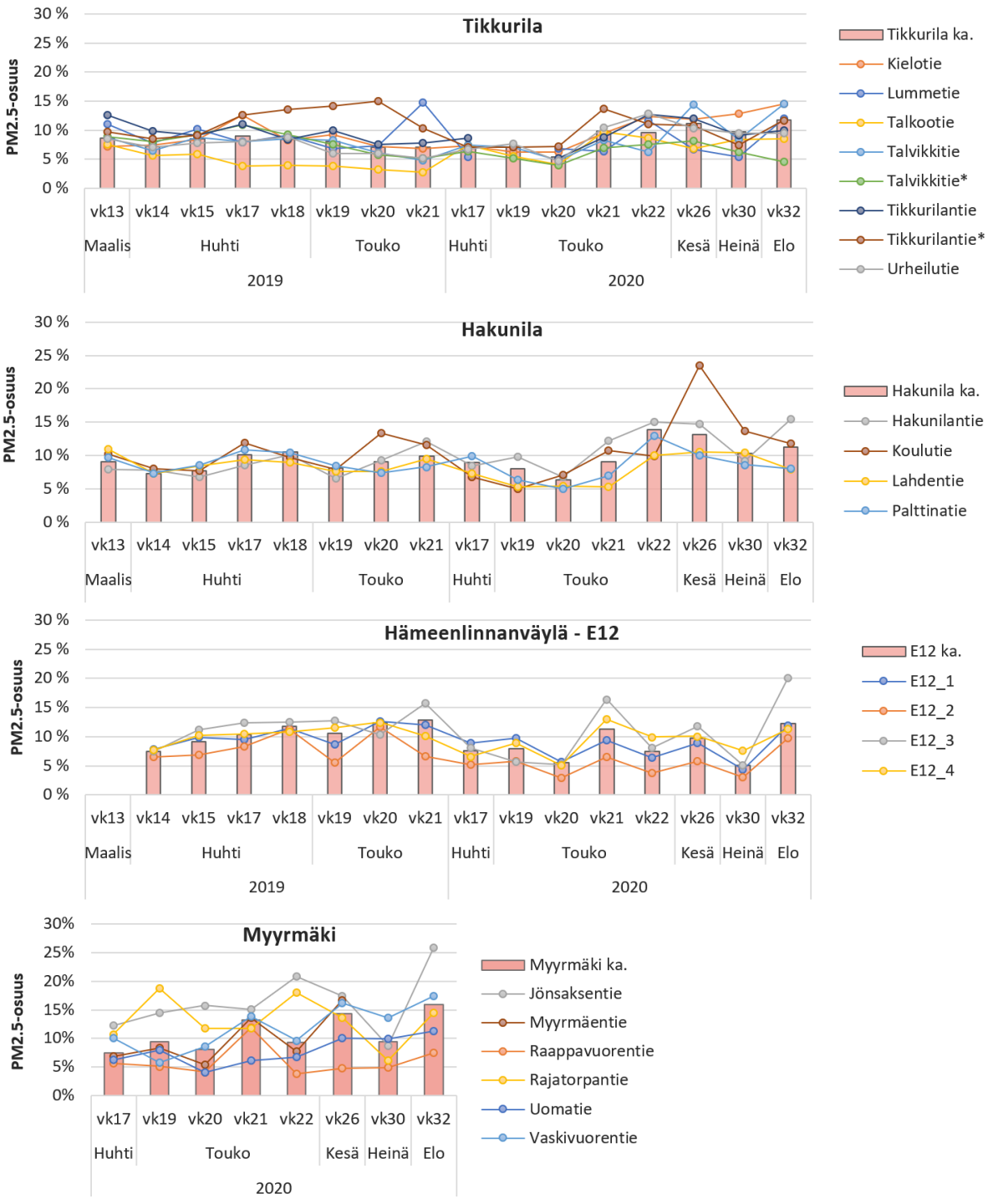
Keväällä 2019 katuverkon puhdistustyöt tapahtuivat pääaisassa huhtikuun aikana ja pölynsidontaa suoritettiin kolme kertaa: 27–28.3., 15–17.4. sekä 24–26.4. välisinä aikoina, riippuen kadusta.

Näköhavainnon mukaan toimenpiteiden ajoituksessa keväällä 2020 oli eroa esimerkiksi Tikkurilaan; hiekannostot suoritettiin aikaisemmin kuin Itä-Vantaalla ja pesukalusto oli huomattavasti aikaisemmin liikkeellä. Myös kunnossapitokalusto eroaa Itä-Vantaalla käytetystä. Osa kaduista on päällystetty uudestaan 2019 lopulla (esim. Raappavuorentie ja Rajatorpantie).



Kuva 22. Nuuskijalla mitatut katukohtaiset PM_{10}-pitoisuudet (viivat) ja näiden keskiarvo (pylväs) Vantaan reitin neljällä eri osuudella vuosina 2019 ja 2002.

$PM_{2,5}$:n osuus PM_{10}:sta on kevätkaudella ollut keskimäärin 9 % ja osuus on noussut kevätpöly- ja mittausjakson loppua kohti kaikilla muilla alueilla paitsi Tikkurilassa 2019. Myyrmäentien vaikutuspiirissä on 2020 keväällä ollut purkutyömaa, joka on saattanut vaikuttaa kadulla mitattaviin pitoisuuksiin.



Kuva 23. Nuuskijalla mitatut katukohtaiset $PM_{2,5}$:n osuudet (viivat) ja näiden keskiarvo (pylväs) Vantaan reitin neljällä eri osuudella vuosina 2019 ja 2020.

3.2.3 Kuopio

Nuuskijan mittausreitti ajettiin kampanjaluontoisesti kolme kertaa vuoden 2019 aikana (alkukevät, kevätpölykausi, ”kesäpuhdas” taso) ja neljä kertaa vuoden 2020 aikana (Taulukko 3). Lisäksi syksyllä 2019 toteutettiin yksi mittaus pelkällä WDS-mittalaitteella. Yksi mittauskampanja kesti kaksi päivää, jolloin pyrittiin ajamaan reitti molempina päivinä, mutta vähintään toisena. Kaupunkireittiin kuuluu myös osuus kaupungin läpi kulkevasta moottoritiestä (Vt5), joka korkean nopeuden pääväylänä vertautuu erikoiskohteena ajettavaan Hämeenlinnanväylään, mutta jonka tulokset on esitetty tässä kappaleessa kaupunkireittimittausten yhteydessä.

Kuopion ilmanlaadun mittausasemat sijaitsevat Maaherrankadulla ja Tasavallankadulla. Näitä kohteita käytettiin myös NORTRIP-mallinnuksessa ja WDS-mittauksissa. WDS-mittaukset suoritettiin mittauskampanjoiden yhteydessä ja niiden tulokset on esitetty yhdessä muiden WDS-kohteiden kanssa (erikoiskohteet).

Kuopion tulokset on tässä kappaleessa esitetty kaupunginosittain sekä alueittain kunnossapidon alueurakoiden mukaan.

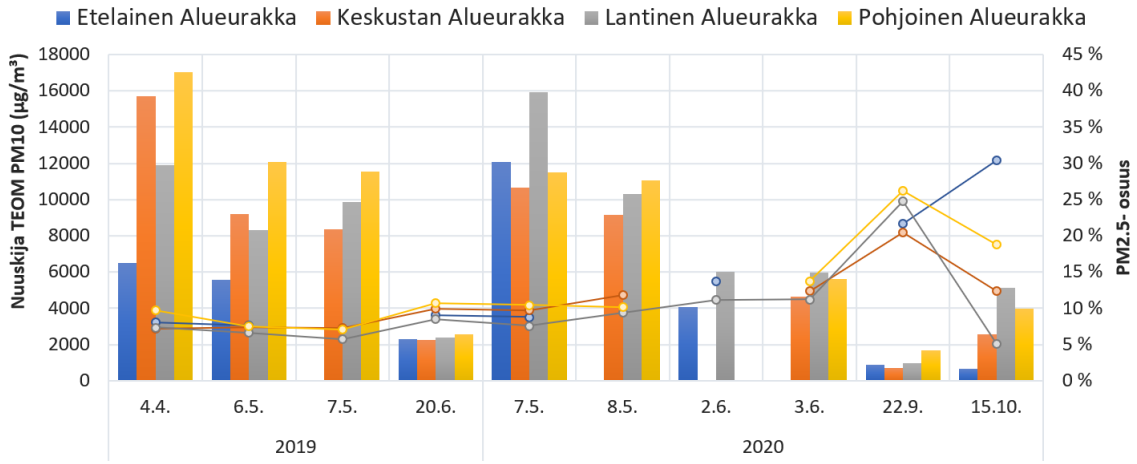
Taulukko 3. Kuopion mittauskampanjat 2019 ja 2020.

Kampanja	Päivämäärä	Menetelmä
1	3.-4.4.2019	Nuuskija, WDS
2	6.-7.5.2019	Nuuskija, WDS
3	20.6.2019	Nuuskija, WDS
4	30.10.2019	WDS
5	24.-25.4.2020 7.-8.5.2020	Vectra, WDS Nuuskija, WDS
6	2.-3.6.2020	Nuuskija, WDS
7	22.9.2020	Nuuskija
8	15.10.2020	Nuuskija

Raja-arvotason ylityksiä mitattiin vuonna 2019 Tasavallankadun mittausasemalla 21 kpl: 22.2., 1.3., 27.3., 3.4., 4.4., 7.4., 16.4., 17.4., 18.4., 23.4., 24.4., 25.4., 26.4., 23.10., 23.11., 24.11. ja 25.11. ja Maaherrankadulla 7 kpl: 22.3., 18.4., 24.4., 25.4., 5.11., 24.11. ja 25.11. Ylitykset mitattiin pääosin kevään katupölyepisodin aikaan huhtikuussa. Nuuskijan mittauskampanjat keväällä 2019 ovat ajoittuneet todennäköisesti katupölykauden alkuun ja sen loppumisen jälkeen. Lisäksi ylityksiä mitattiin katupölyn vuoksi helmi-, maalis-, loka- ja marraskuussa.

Kevään 2019 ensimmäisen mittauskampanjan aikaan huhtikuun alussa mittausreitin varrella oli paikoittain vielä runsaasti sulavia lumikasoja. Osalla monitoroitavista kaduista lumien sulamisvedet vaikuttivat mittaustuloksiin, sillä katupöly sitoutuu tehokkaasti märkään kadun pintaan. Tämä näkyy joillain kaduilla huhtikuun pitoisuuksissa, jotka ovat saattaneet epätyypillisesti olla matalampia kuin pitoisuudet myöhemmin keväällä.

Vuonna 2020 raja-arvotason ylitykset Maaherrankadulla tapahtuivat 22.1., 20.2., 17.3., 23.3., 24.3., 25.3., 31.3. ja 10.12. ja Tasavallankadulla 20.2., 17.3., 27.3., 15.4., 10.12. ja 11.12. Joulukuun ylityspäiviä lukuun ottamatta vuoden 2020 ylityspäivät ajoittuivat tammi-maaliskuulle, eli katupölykausi oli selvästi aikaisemmin kuin 2019. Keväällä 2020 mittaukset Nuuskijalla aloitettiin koronarajoitusten ja Nuuskijan huoltotöiden vuoksi vasta toukokuussa. Lumettomasta talvesta ja aikaisesta keväästä johtuen mittaustulokset korkeimpien katupölypitoisuuksien (ns. katupölykaudella) ajalta puuttuvat.

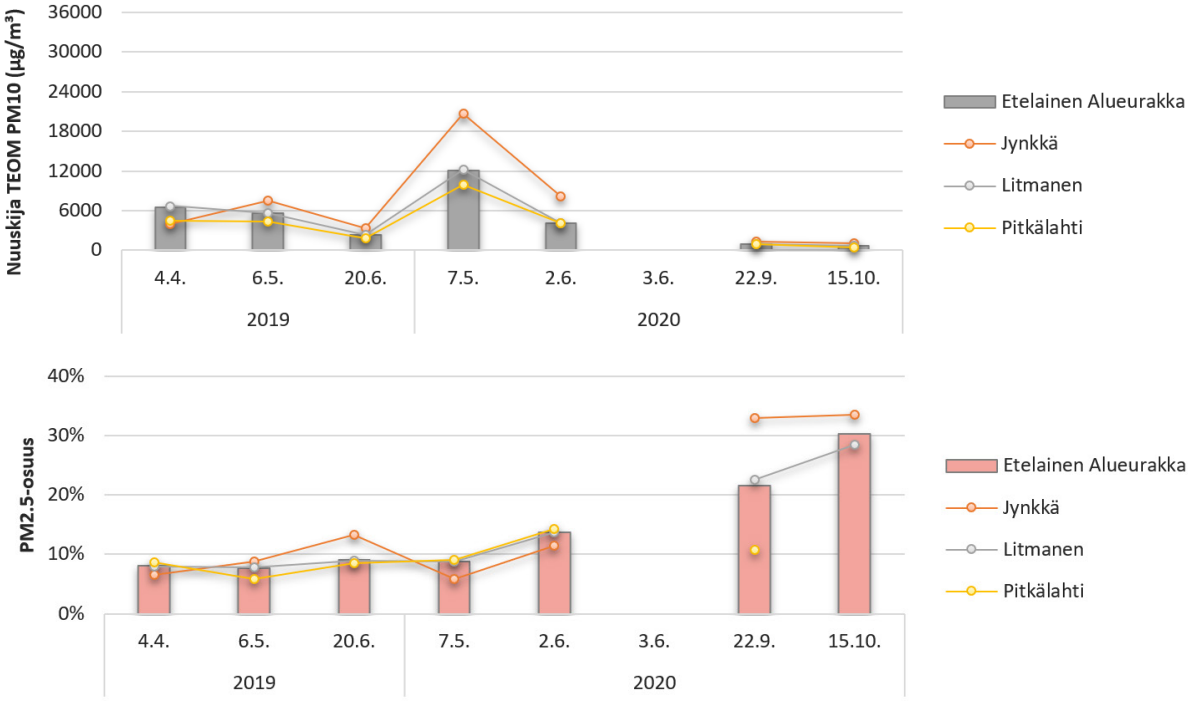


Kuva 24. PM_{10}-reittikeskiarvot (pylväät) ja $PM_{2,5}$-osuudet (viivat) mitattuna Nuuskijalla Kuopiossa 2019 ja 2020.

Kuopio Etelä

Vuoden 2019 ensimmäisen kampanjan (4.4.) mittauksissa eteläisen alueurakan kadut olivat pääsääntöisesti kosteita tai märkiä johtuen lumien sulamisvesistä. Tämä laski merkittävästi mitattuja pitoisuuksia kaikilla alueurakan alueilla. Tämä heijastuu myös tuloksiin, jotka ovat vuoden 2019 ensimmäisen ja toisen kampanjan aikana hyvin lähellä toisiaan.

Kevään 2020 pitoisuudet toukokuussa olivat korkeammat kuin samaan aikaan vuonna 2019. Tämä saattaa olla pääasiassa seurausta siitä, että vuoden 2019–2020 talvi oli vähäluminen ja kevät huomattavasti kuivempi kuin kaudella 2018-2019, jolloin talvi oli ns. ”normaali” ja keväällä oli runsaammin sateita. Kuvasta 25 huomataan myös, että molempina vuosina kesäkuussa pitoisuudet ovat olleet erittäin matalat, eivätkä pitoisuudet ole lähteneet nousuun vielä lokakuussa 2020 (nastarengaskauden alkaessa).



Kuva 25. Nuuskijalla mitatut aluekohtaiset PM_{10}-keskiarvot (ylempi kuva) ja $PM_{2,5}$-osuudet (alempi kuva) Kuopion eteläisellä alueurakka-alueella.

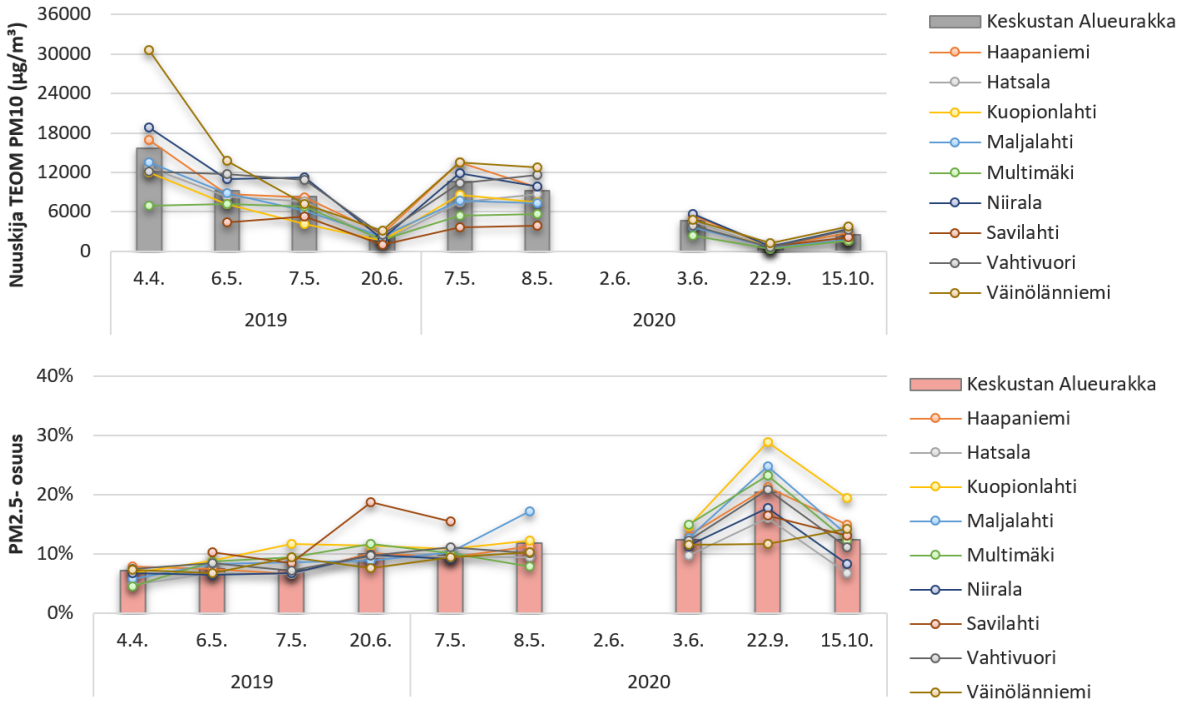
Kuopio Keskusta

Vuoden 2019 kevään pitoisuuksien lähtötaso oli kutakuinkin samalla tasolla kuin Vantaalla samalla ajanjaksolla (Kuva 26). Katujen puhdistustöitä ei oltu huhtikuussa 2019 päästy aloittamaan vielä keskustan alueurakan kaduilla lumitilanteen ja yöpakkasten vuoksi. Joillain mitatuista kaduista oli myös sulamisvesiä, jotka laskivat mitattuja pitoisuuksia. Korkeimmat pitoisuudet mitattiin keväällä Haapaniemessä, jossa pitoisuudet olivat huomattavasti korkeammat kuin muilla alueurakan alueilla.

Toisessa kampanjassa pitoisuudet olivat puolittuneet lähtökohtaisesti kaikilla urakka-alueen kaduilla. Laskua edesauttoivat kaupungin tekemät kunnossapitotoimenpiteet ja huhtikuun loppupuolella ollut pidempi sadejakso, joka vauhditti katujen puhdistumista.

Kevään 2020 pitoisuudet olivat toukokuussa kutakuinkin samalla tasolla kuin 2019 samana ajan jaksona. Kevään 2020 lähtötaso (korkeimmat pitoisuudet) ei ollut tiedossa, sillä kaupungin suorittamat puhdistustoimenpiteet oli ehditty suorittaa ennen ensimmäisiä Nuuskija-mittauksia. Pitoisuudet saavuttivat kesäpuhtaan tason kesäkuun puolivälissä kumpanakin vuonna.

Pitoisuudet lähtivät nousuun lokakuussa 2020, johtuen sääolosuhteista ja liukkaudentorjunnan tarpeesta (mukaan lukien talvirenkaiden käyttöönotto ja liukkaudentorjuntamateriaalien käyttö).



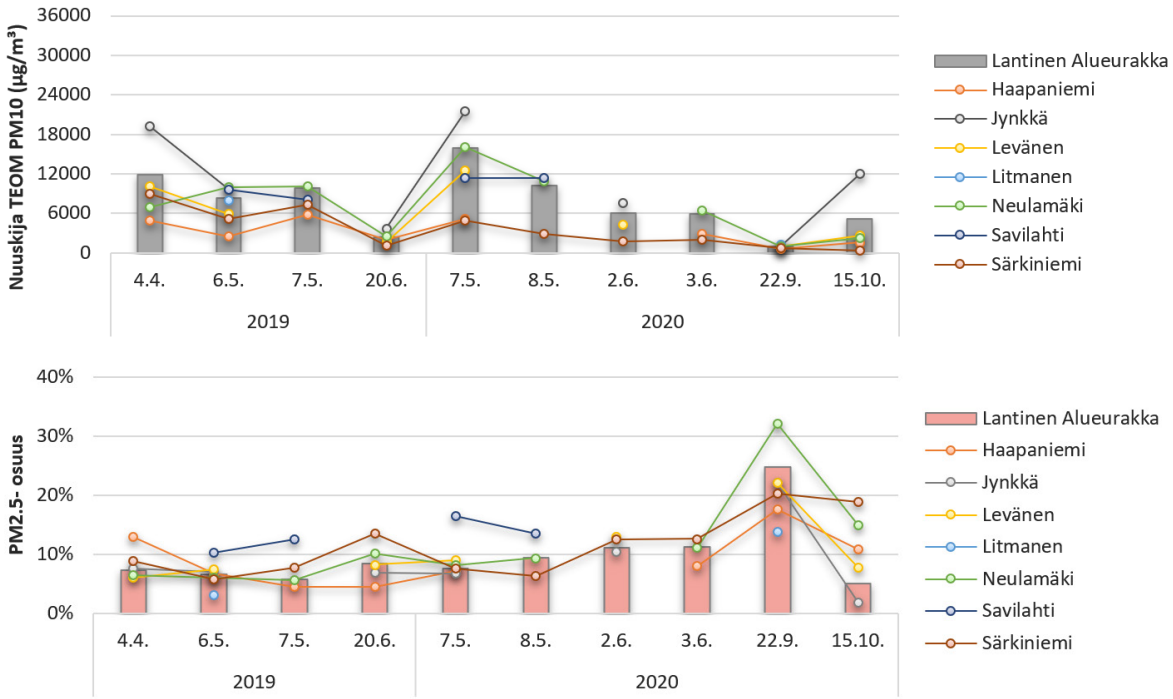
Kuva 26. Nuuskijan mittaamat aluekohtaiset PM_{10}-keskiarvot (ylempi kuva) ja $PM_{2,5}$-osuudet (alempi kuva) Kuopion keskustan alueurakka-alueella.

Kuopio Länsi

Läntisellä alueurakalla kevään 2019 pitoisuudet olivat huhtikuussa hieman matalammat kuin keskustan alueuran alueilla. Kevään huippupitoisuudet mitattiin huhtikuussa Jynkän kaupunginosassa, missä mitattu pitoisuus oli noin kaksinkertainen verrattuna muihin läntisen alueurakan alueisiin.

Pitoisuudet laskivat toukokuun mittauksiin mennessä suurimmalla osalla alueista, joskin joillain alueilla pitoisuudet olivat samalla tasolla kuin huhtikuussa. Huhtikuun mittaustuloksissa on otettava huomioon sulamisvedet, jotka laskivat pitoisuuksia merkittävästi.

Toukokuussa 2020 pitoisuudet olivat kaikilla alueilla huomattavasti korkeammat kuin samalla ajanjaksolla keväällä 2019. Poikkeuksen tekee ainoastaan Haapaniemi, missä pitoisuudet olivat samalla tasolla vuoden 2019 mittausten kanssa. Keväällä 2020 pitoisuudet laskivat tasaisesti syksyä kohti, kunnes lokakuussa pitoisuudet lähtivät uudestaan nousuun johtuen talvirenkaiden käyttöönotosta.

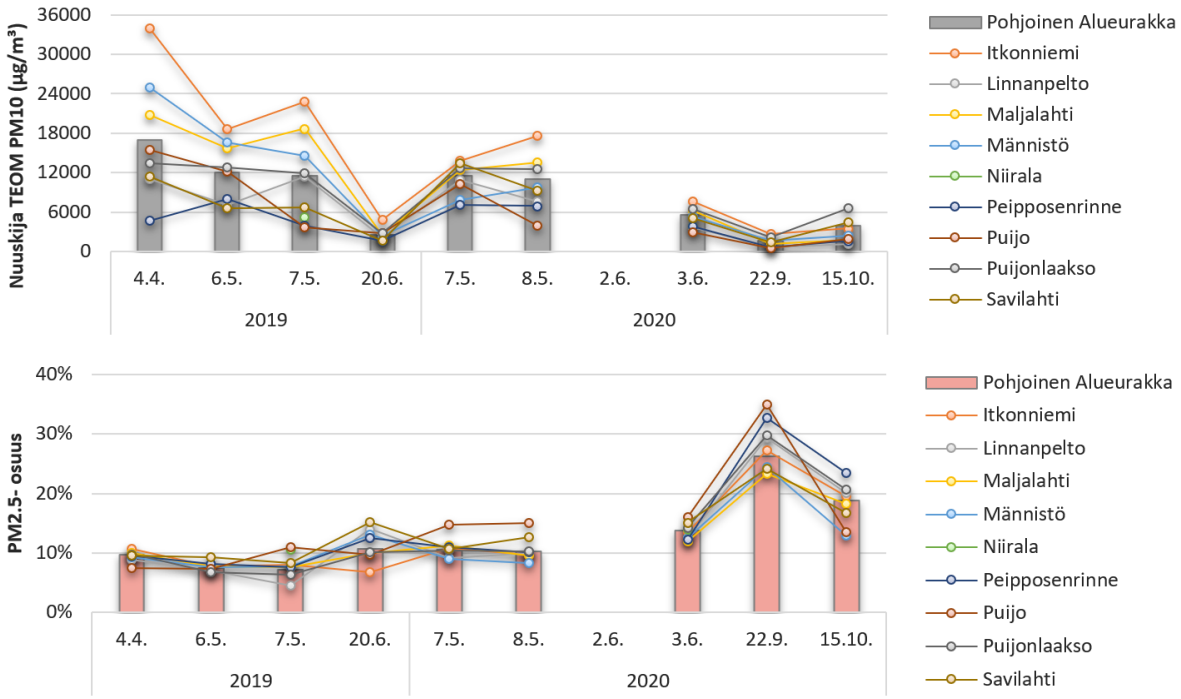


Kuva 27. Nuuskijan mittaamat aluekohtaiset PM_{10}-keskiarvot (ylempi kuva) ja $PM_{2,5}$-osuudet (alempi kuva) Kuopion läntisellä alueurakka-alueella.

Kuopio Pohjoinen

Kevään 2019 korkeimmat pitoisuudet mitattiin pohjoisen alueurakan kaduilla. Suurin osa kaduista oli jo kuivia eivätkä sulamisvedet vaikuttaneet merkittävästi alueilla mitattuihin pitoisuuksiin, pois lukien Peipposenrinne. Toukokuussa 2019 pitoisuudet olivat laskeneet huomattavasti kaikilla mitatuilla alueilla, pois lukien Peipposenrinne, missä pitoisuudet nousivat verrattuna huhtikuuhun sulamisvetten takia.

Toukokuun 2020 pitoisuudet olivat keskimäärin samalla tasolla kuin toukokuussa 2019, vaikkakin toukokuussa 2019 alueiden välinen vaihtelu oli huomattavasti suurempaa. Lokakuussa 2020 kaikilla alueurakan alueilla on nähtävissä pitoisuuksien nousu, joka on todennäköisesti seurausta talvirenkaiden käyttöönotosta ja pölyn kerääntymisestä katuympäristöön säätekijöiden vaikutuksesta.



Kuva 28. Nuuskijan mittaamat aluekohtaiset PM_{10}-keskiarvot (ylempi kuva) ja $PM_{2,5}$-osuudet (alempi kuva) Kuopion pohjoisella alueurakka-alueella.

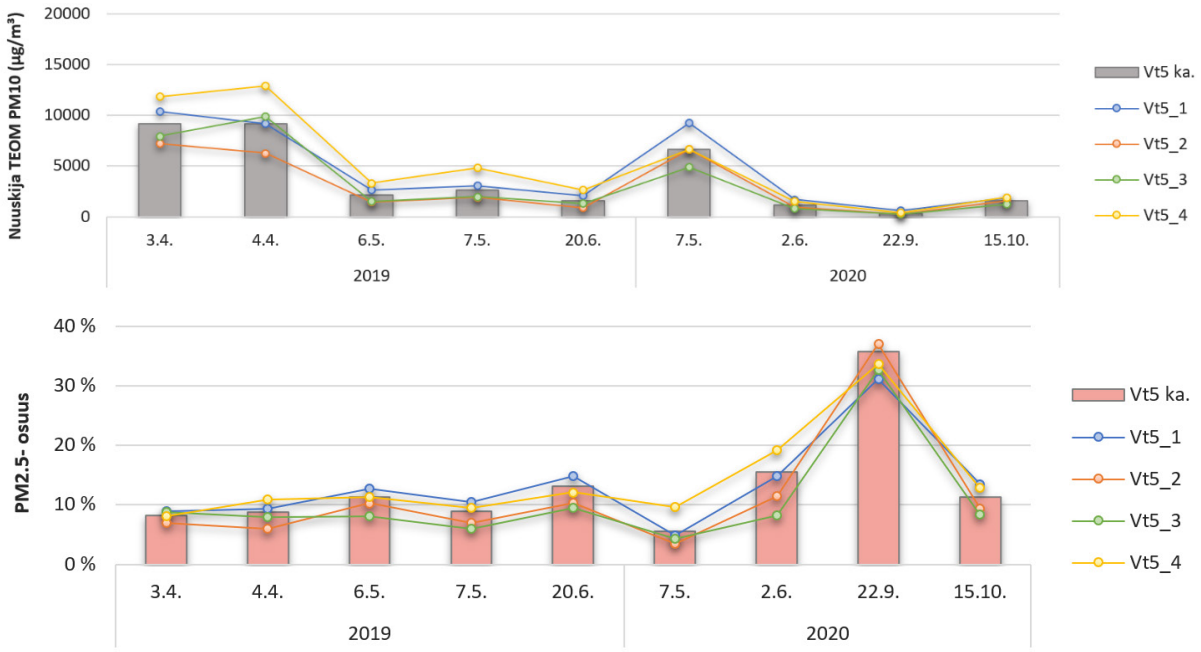
Kuopio Vt5

Kuopiossa moottoritiellä Vt5 mitatut päästöt olivat keväällä 2019 ja 2020 mittauksissa samaa suuruusluokkaa kuin Kehä III:n sisällä mitatulla Hämeenlinnanväylällä (E12) (Kuva 22). Kevään 2019 tuloksista havaitaan, että PM_{10} -päästö laski merkittävästi huhtikuulta toukokuuhun siirryttäessä (Kuva 29). Pitoisuuksien lasku on todennäköisesti ollut seurausta luonnollisesta puhdistumisesta, jota ovat edesauttaneet huhtikuun lopun sateet ja korkean liikennemäärän aiheuttamat ilmavirrat. Toukokuun 2019 alkupuolella oltiin jo lähellä kesäpuhdasta tasoa. Moottoritiellä mitattu PM_{10}-päästö oli toukokuussa huomattavasti matalampi kuin Kuopion kaupunkireitin kaduilla mitatut päästöt.

Keväällä 2020 ensimmäiset mittaukset suoritettiin vasta toukokuussa, jolloin päästötaso oli hieman matalampi kuin keväällä 2019 samaan aikaan. Lokakuussa 2020 moottoritiellä on nähtävissä PM_{10}-päästötason nousu, joka on todennäköisesti seurausta kasvavasta talvirenkaiden osuudesta liikenteessä.

Vuoden 2020 $PM_{2,5}$-osuuksia tarkastellessa huomataan, että $PM_{2,5}$-osuus nousee, kun karkeiden hiukkasten määrä laskee (toukokuu–syyskuu). Sama trendi on nähtävissä myös kaupunkireittien kaduilla.

$PM_{2,5}$-osuus laskee talvirenkaiden käyttöönoton jälkeen samaan aikaan kun mitatut PM_{10}-pitoisuudet nousevat.



Kuva 29. Nuuskijan mittaamat PM_{10}-keskiarvot (ylempi kuva) ja $PM_{2,5}$-osuudet (alempi kuva) Kuopion keskustan läpi kulkevalla moottoritiellä (Vt5)

Pohjois-Savon ELY-keskus suoritti kohteessa (Vt5) pölynsidontaa 4.4. ja 6.5.2019. Toimenpiteet osuivat samaan ajankohtaan mittausten kanssa. Näköhavainnon mukaan pölynsidontaliuosta levitettiin vain moottoritien pientareelle osuuksilla 2 ja 3. Merkittävää vaikutusta näille toimenpiteille ei Nuuskija-mittausten perusteella havaittu. Tämä saattaa olla seurausta mittaustekniikasta, sillä Nuuskija mittaa suspensiopäästöä ajoradalla kuljettajan puoleisesta rengasurasta. On kuitenkin mahdollista, että pölynsidonta hidastaa pientareelle kertyneen pölyvaraston vapautumista hengitysilmaan. Toimenpiteen tehosta olisi voitu saada parempi käsitys, jos pölypitoisuuksia olisi mitattu pientareelta, tieympäristön hengitysilmasta.

3.3 Johtopäätökset kaupunkireiteillä mitatuista katupölypäästöistä

Katupölytasojen monitorointia kaupunkireiteillä Helsingissä ja Vantaalla on tehty Nuuskija-mittausajoneuvolla vuodesta 2006 alkaen. Kuopiossa monitorointikierrokset aloitettiin keväällä 2019. Keväällä 2019 käyttöönotettiin myös uusi, päivitetty versio Nuuskija-autosta. Korjauskerrointa vanhan ja uuden Nuuskija-auton välille ei vielä toistaiseksi ole määritelty. Tästä syystä vuosien välisen vertailun osalta kaupungit ovat yhtäläisessä asemassa: KALPA3-hankkeen tulokset kaupunkireiteiltä eivät ole suoraan verrannollisia ennen kevättä 2019 vanhalla Nuuskijalla mitattuihin pitoisuuksiin. Tästä syystä kaupunkireiteiltä saatuja tuloksia ei ole käytetty pidemmän aikavälin trenditarkasteluun, vaan ne toimivat tässä yhteydessä ennen kaikkea tiedon lähteenä kadun kunnossapidon tilaajille ja tuottajille. Ne antavat myös arvokasta lisätietoa katupölyn alueellisesta ja ajallisesta esiintyvyydestä kaupunkialueilla.

Sen lisäksi että korkeita katupölypäästöjä mitataan tavallisesti maalis-huhtikuussa, erityisesti Kuopiossa syksylle jatkuneet mittaukset osoittavat Nuuskijan mittaamien katupölypäästöjen lähtevän uudelleen nousuun lokakuun tienoilla, liukkaudentorjuntatoimien aktivoituessa. Katupölyn päästöhuippujen ajoitus vaihtelee vuosittain ja on riippuvainen sääolosuhteista ja erityisesti kadun pinnan kosteudesta (mukaan lukien lumi ja jää). Talvi 2019–2020 oli poikkeuksellisen lauha ja lumeton, eikä lumi tai sulamisvedet riittäneet pidättämään pölyä pinnoilla kevääseen saakka, vaan katupölyä vapautui hengitysilmaan jo

tammi-helmikuussa. Keväällä 2020 Suomeenkin rantautuneen pandemian, sekä Nuuskijan teknisten vikojen vuoksi, mittauksiin päästiin vasta loppukeväästä, joten katupölykauden huippu keväällä 2020 meni Nuuskijalta ohi. Tavanomaisemman kevään 2019 mittaukset osuivat katupölykauden (huhtikuu) molemmin puolin.

Helsingin reitin erityispiirteenä on kautta Nuuskijan mittaushistorian olleet nupukivikaduilta mitatut korkeat suspensiopäästöt. Korkeita pitoisuuksia on läpi keväiden mitattu myös Aleksanterinkadulla. Nupukivikaduilta mitattujen korkeiden pitoisuuksien syynä voi olla kivien väliin potentiaalisesti varastoituva pöly ja ajoneuvon kyky irrottaa ja nostaa pölyä mittauskonikaaliin. On myös mahdollista, että nupukivikatujen aiheuttama tärinä mittausajoneuvoissa häiritsee laitteiden normaalia analysointia ja tallennusta. Mikäli nupukivikatujen ominaisuuksia katupölyn näkökulmasta halutaan tutkia lisää, on tarkoitusta varten syytä laatia huolellinen koeasetelma.

Uuden Nuuskija-auton uuden TEOM-laitteen myötä kaupunkireiteiltä on PM_{10}-pitoisuuksien lisäksi alettu mitata ja raportoida $PM_{2,5}$-pitoisuuksia. $PM_{2,5}$ ilmoitetaan osuutena PM_{10}:stä. Osuus on ollut kevätkaudella tyypillisesti noin 8–10 % ja kesällä keskimäärin 17 % (11–24 %). Kahden ensimmäisen vuoden mittaustulosten perusteella vaikuttaa siltä, että $PM_{2,5}$:n osuus nousee katupölykauden loppua kohden, kun pinnat puhdistuvat karkean kokoluokan pölystä.

3.4 Mittaukset katupölyn erikoiskohteissa

KALPA-hankkeessa on kohdistettu mittauksia kaupunkireittien lisäksi erilaisiin hengitettävän pölyn altistumisen ja torjunnan kannalta kiinnostaviin kohteisiin. Kohteet ovat valikoituneet mukaan ohjausryhmän ja mittaajien pitkän aikavälin kokemuksen ja harkinnan perusteella. Käytännön mittaustyön ja tulosten tulkinnan helpottamiseksi kohteet on lisäksi usein valittu Nuuskijan kaupunkireittien tai ilmanlaadun mittausasemien läheisyydestä.

Niin kutsuttuja erikoiskohteita KALPA-hankkeessa ovat olleet työmaa-alueet, ilmanlaadun tutkimuksen ”supersite” Mäkelänkadulla Helsingissä, WDS-kohteet Vantaalla ja Kuopiossa ja pääväylät (Hämeenlinnanväylä ja moottoritie Vt5 Kuopiossa). Rinnakkaiset mittaukset Nuuskijalla ja WDS-mittalaitteella aloitettiin ensimmäisenä Mäkelänkadulla Helsingissä vuonna 2017. Tämän jälkeen WDS-mittauksia on Mäkelänkadun lisäksi kohdennettu Nuuskijan kaupunkireitin varrella sijaitseville katuosuuksille, joilta on ollut saatavilla toimenpidekirjauksia, joiden lähellä on sijainnut ilmanlaadun mittausasema ja missä mittaaminen on ollut teknisesti sujuvaa. WDS-näytteenotto tien pinnasta kertoo kadun kokonaispölykuormasta, joka sisältää pölyn suspendoituvan (ilmaan nousevan) osuuden lisäksi päällysteeseen (pintaan ja päällysteen mikrorakenteisiin) sitoutuneen osuuden. Se, miten suuri osuus kokonaispölykuormasta ylipäätään nousee suspensiona ilmaan, ja on täten Nuuskijan havaittavissa, riippuu päällysteen rakenteen lisäksi kohteen liikenteestä, meteorologiasta, suolauksesta ja pölynsidonnasta (pinnan kosteusoloista).

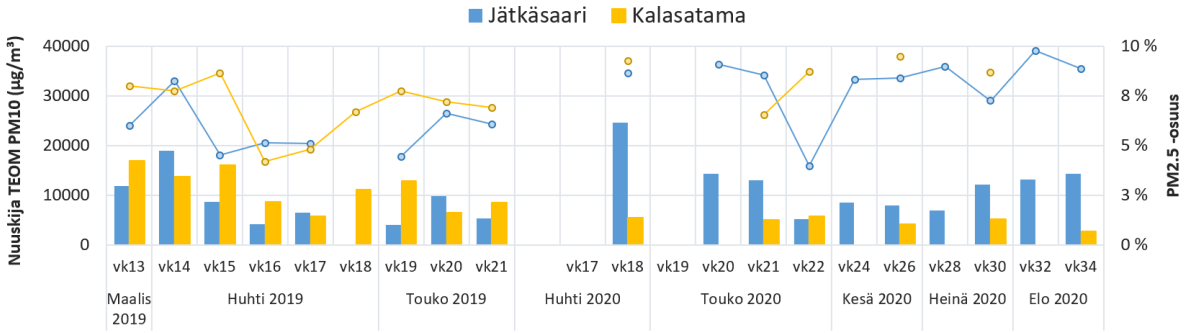
Pääväylien tulokset on tässä raportissa esitetty kaupunkireittimittausten tulosten yhteydessä. Tässä kappaleessa esitetään rakennustyömaakohteissa mitattujen tulosten lisäksi tulokset ilmanlaadun mittausasemien läheisyydessä tehdyistä WDS-mittauksista Helsingissä, Kuopiossa ja Vantaalla.

3.4.1 Työmaa-alueet Kalasatama ja Jätkäsaari

Nuuskijalla on Helsingin kaupunkikierroksien yhteydessä mitattu katuja, jotka sijaitsevat rakennustyömaiden vaikutuspiirissä; kadut ovat joko välittömästi työmaiden vaikutuspiirissä tai kaduilla kulkee runsaasti työmaaliikennettä, joka potentiaalisesti levittää pölyä. Mittausten tavoitteena on ollut arvioida työmaiden vaikutusta PM_{10}-pölypitoisuuksiin näillä kaduilla verrattuna muihin lähialueen katuihin sekä seurata, miten työmaa-alueiden vaikutuksen alaisten katujen pölypitoisuudet kehittyvät mittausjakson aikana.

Työmaa-alueiden pölypäästöt saattavat aiheuttaa terveyshaittojen lisäksi viihtyvyyshaittoja, jotka toisinaan etenevät pölyvalituksina kaupungin ympäristövalvontaan; esimerkiksi Helsingin kaupungin ympäristöpalveluissa on rekisteröity joitakin pölyvalituksia 2019 ja 2020 koskien Kalasataman työmaa-alueiden pölyä. Nuuskijalla on mitattu Kalasatamassa vuodesta 2015 lähtien, joskin mitatut kadut ovat osittain vaihtuneet työmaa-alueen muuttuneiden ajojärjestelyjen vuoksi. Jätkäsaaren kadut lisättiin mittausreittiin keväällä 2019.

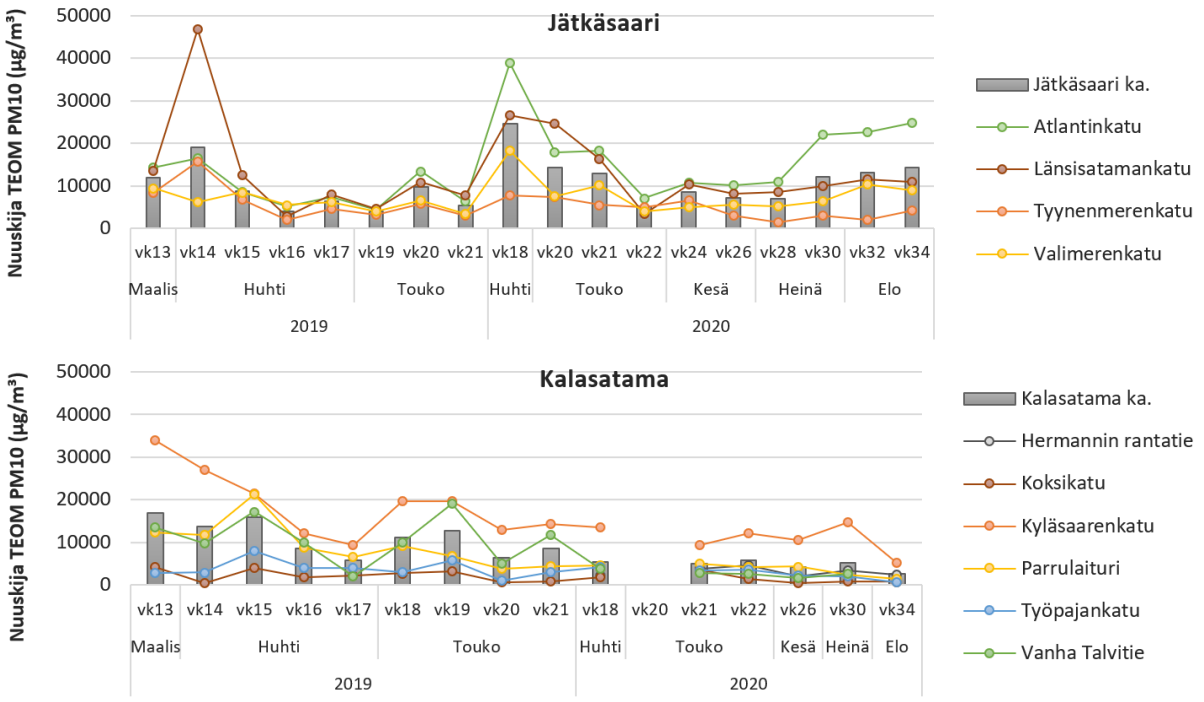
Kuvassa 30 on esitetty Nuuskijalla mitatut PM_{10}-keskiarvot ja $PM_{2,5}$-osuudet työmaa-alueilla Jätkäsaaressa ja Kalasatamassa vuosina 2019 ja 2020. Alueilla ajettavat kadut on esitetty tarkemmin kartoissa Kuvassa 5 (Kalasatama) ja Kuvassa 6 (Jätkäsaari) ja katukohtaiset arvot on esitetty Kuvassa 31 (PM_{10}) ja Kuvassa 32 ($PM_{2,5}$ -osuus PM_{10}:stä).



Kuva 30. Aluekohtaiset Nuuskijalla mitatut PM_{10}-keskiarvot (pylväät) ja $PM_{2,5}$-osuudet (viivat) työmaa-alueilla Jätkäsaaressa ja Kalasatamassa (Helsinki) 2019 ja 2020.

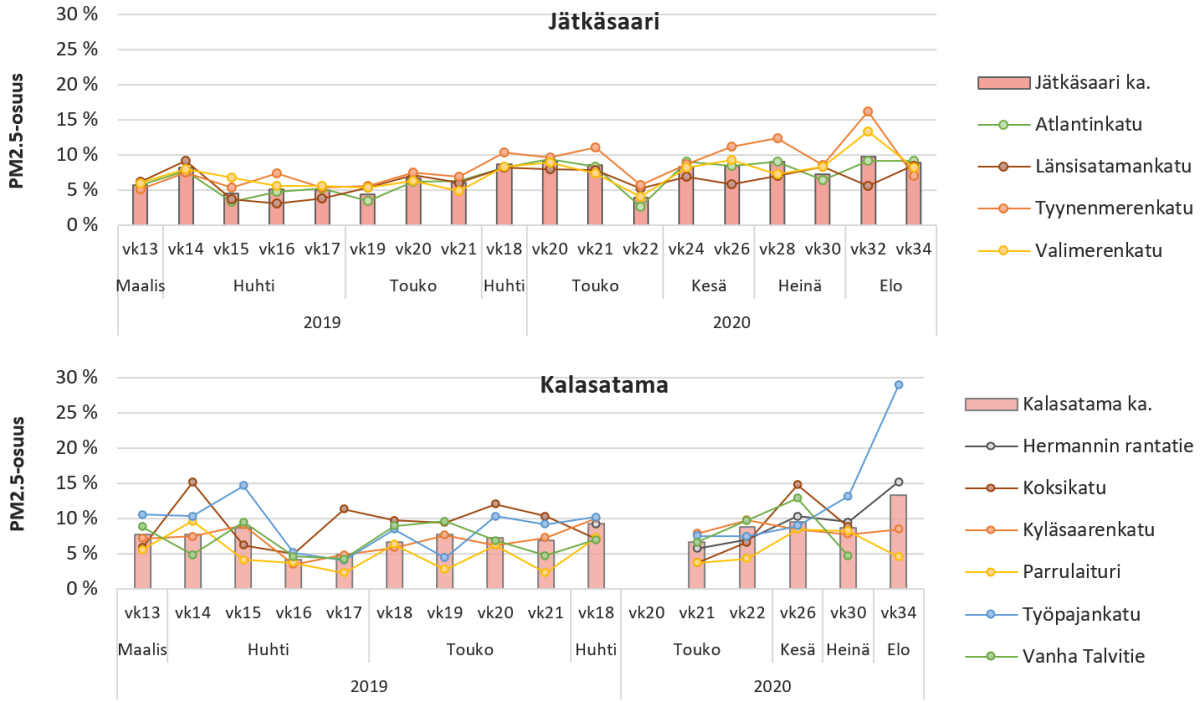
Jätkäsaaressa mitatut keskimääräiset PM_{10}-pitoisuudet olivat 2–5 kertaa korkeampia verrattuna Keskusta-reitin muihin katuihin (Kuva 19). Pitoisuudet vuonna 2020 olivat yleisesti hieman korkeampia kuin 2019. Vuonna 2020 mittauksia jatkettiin kesällä noin kahden viikon välien, ja tulokset osoittavat, etteivät pitoisuudet ole laskeneet kesälläkään. Päinvastoin, pitoisuudet ovat jopa nousussa elokuun loppua kohti (erityisesti Atlantinkadulla). Jätkäsaaressa tehtiin kesällä 2020 usein katujen pesuja, mutta uutta pölyä kulkeutuu kaduille jatkuvasti rakennustyöalueilta ja niiltä saapuvien ajoneuvojen mukana. HSY:n Länsisataman siirrettävällä mittausasemalla ei ollut yhtään PM_{10} vrk-raja-arvotason ylityspäiviä vuonna 2019. Vuonna 2020 ylityspäiviä oli kolme. Mittausasema sijaisi kaukana rakennustyöalueista (Kuva 6), minkä vuoksi korkeita hengitettävien hiukkasten pitoisuuksia oli vain vähän.

Kalasatamassa PM_{10}-pitoisuudet olivat keskimäärin nelinkertaisia Kyläsaaren alueen muihin katuihin verrattuna (Kuva 19). Korkeimmat PM_{10}-pitoisuudet Kalasataman alueella on mitattu Kyläsaarenkadulla, Parrulaiturilla ja Vanhalla Talvitiellä (2019). Myös 2020 keskiarvosta eniten poikkeavat tasot mitattiin Kyläsaarenkadulla.



Kuva 31. Katukohtaiset PM_{10}-pitoisuudet (viivat) ja näiden keskiarvo (pylväs) kahdella rakennustyömaa-alueella Helsingissä (Jätkäsaari ja Kalasatama) 2019 ja 2020.

$PM_{2,5}$-osuus PM_{10}:stä oli Jätkäsaaren ja Kalasataman kaduilla matalampi kuin kaupunkireitin verrokkikaduilla. Kalasatamassa $PM_{2,5}$:n osuus PM_{10}:stä on ollut yhdestä neljään prosenttiyksikköä pienempi kuin Kyläsaaren muilla kaduilla, missä osuus on vaihdellut suuresti eri katujen välillä (alle viidestä jopa 15:een prosenttiin, Kuva 20). Erot ovat olleet selvemmät 2019 kuin 2020. $PM_{2,5}$:n pienempi prosentuaalinen osuus viittaa siihen, että työmaa-alueilla kadun pinnasta mitattavaa suspensiopäästöä kasvattavat ennen kaikkea karkeamman kokoluokan hiukkaset.



Kuva 32. Katukohtaiset $PM_{2,5}$ -osuudet (%) (viivat) ja näiden keskiarvo (pylväs) kahdella rakennustyömaa-alueella Helsingissä (Jätkäsaari ja Kalasatama) 2019 ja 2020.

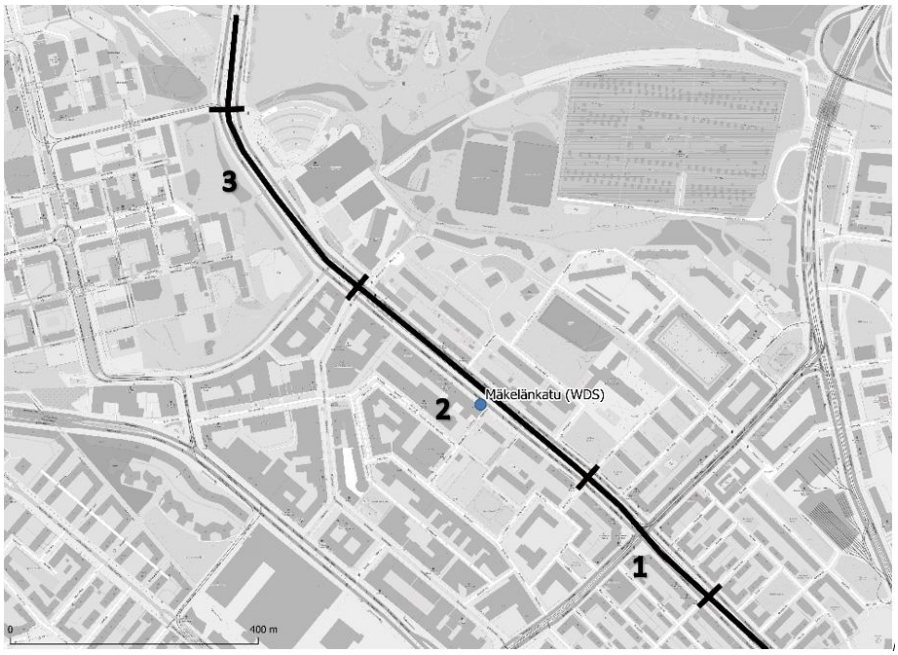
3.4.2 Ilmanlaadun ”supersite” Mäkelänkatu, Helsinki

Mäkelänkadun mittauskohde on vilkasliikenteinen katu Helsingin itäisessä kantakaupungissa. Kunnossapidon ja maantieteellisen sijaintinsa suhteen Mäkelänkatu lukeutuu Helsinki-reitin itäiseen Kyläsaaren osaan. Kohteessa tehdään mm. jatkuvaa ilmanlaadun, sään ja liikenteen monitorointia sekä erilaisia lyhytaikaisempia tutkimuskampanjoita, minkä vuoksi kohteelle on myös annettu nimitys ”supersite”. Kohteessa kulkee kolme rinnakkaista kaistaa pohjoiseen ja kolme etelään, ja lisäksi raitiotiekiskot kaistojen välissä. Oikeanpuoleisin kaista molempiin suuntiin on bussikaista.

Nuuskijalla mitattava osuus Mäkelänkatua on aineistonkäsittelyvaiheessa jaettu kolmeen osaan. Osuus 1 sijoittuu välille Suvannontie–Hattulantie; osuus 2 väille Hattulantie–Elimäenkatu ja osuus 3 välille Elimäenkatu–Radanrakentajantie. HSY:n ilmanlaadun supermittausasema sijaitsee katukuilumaisella osuudella 2, osoitteessa Mäkelänkatu 50. Osuudet ja mittausaseman sijainti on merkattu karttaan Kuvaan 33.

Nopeusrajoitus mittauskohteessa muuttui 50 km/h:sta 40 km/h:iin osuuksilla 1–2 vuoden 2019 aikana. Osuudella 3 nopeusrajoitus on edelleen 50 km/h. Liikennemäärä HSY:n mittausaseman luona (Mäkelänkatu 50) on n. 28 000 ajoneuvoa/arki-vrk, josta raskaan liikenteen osuus on noin 10 %.

Mittaukset Nuuskijalla aloitettiin Mäkelänkadulla vuonna 2015 ja pölykuorman mittaus WDS:llä vuonna 2017. Nuuskijalla mitataan katupölypitoisuudet kaikilla kolmella kaistalla liikennevirran mukana. Nuuskijalla on mitattu Mäkelänkadulla kaupunkireittimittausten yhteydessä noin kerran viikossa keväällä 2019 ja keväällä 2020. Keväällä 2020 mitattiin myös Vectralla.



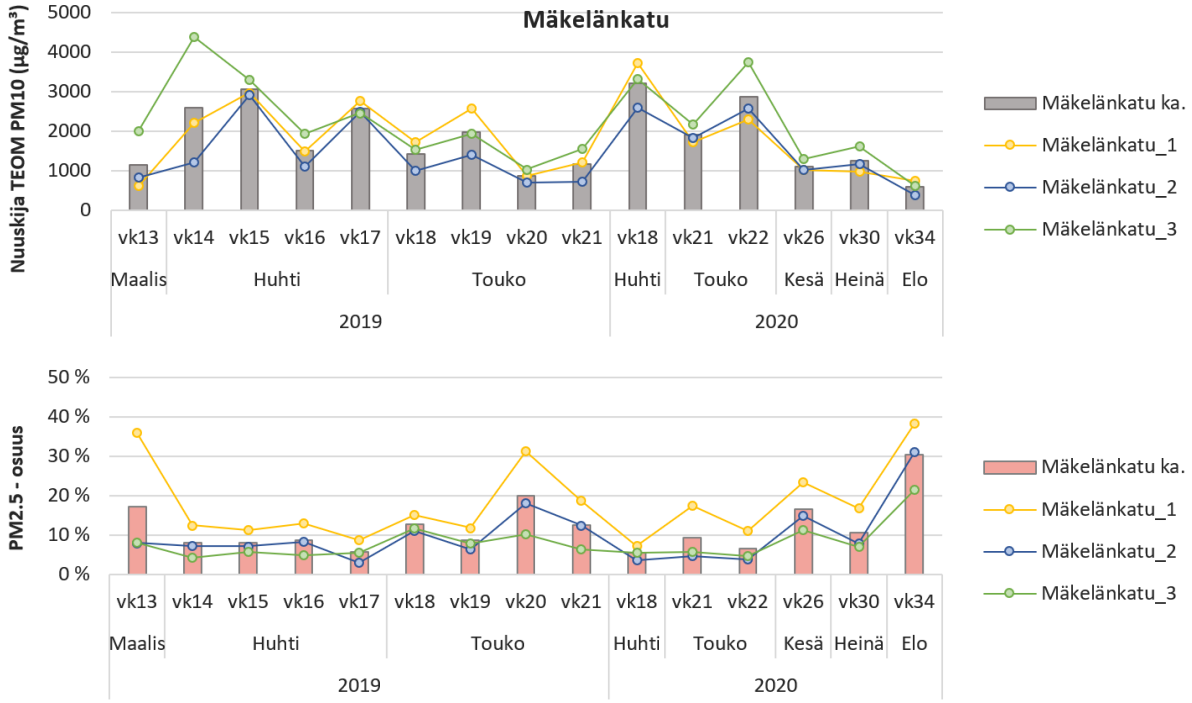
Kuva 33. Mäkelänkadun osuudet, joita on käytetty aineiston käsittelyssä, sekä HSY:n ilmanlaadun mittausaseman ja WDS-profiilin näytteenottokohta osoitteessa Mäkelänkatu 50.

Nuuskijan mittaustulokset Mäkelänkadun osuuksille 1–3 on esitetty Kuvassa 34. Tulokset on esitetty myös kaistakohtaisesti (Kuva 35) ja suuntakohtaisesti pohjoiseen ja etelään. Kaista- ja suuntakohtaiset tulokset on laskettu vain osuudelle 2, jolla sijaitsee myös mittausasema.

Keväällä 2019 huippupitoisuudet Mäkelänkadulla mitattiin hieman myöhemmin kuin Kyläsaaren alueen muilla kaduilla (Kuva 18) ja pitoisuudet olivat yleisesti matalammalla tasolla. Vaihtelut keväällä 2019 mitatuissa pitoisuuksissa noudattelevat samaa dynamiikkaa Kyläsaaren muiden katujen kanssa muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta (esim. vko 20). Mitatut katupölypitoisuudet ovat olleet 2020 hieman korkeampia kuin samoilla viikoilla mitatut pitoisuudet vuonna 2019.

Vuonna 2020 viikot 13-17 mitattiin ainoastaan Vectralla (Liite C, Kuva C 1). Tältä ajanjaksolta on mahdollista havaita ajanjaksolle tyypillinen pitoisuuksien lasku. Vuonna 2020 kevätaikaiset Nuuskija-mittaukset ajoittuvat huhtikuun lopulta (viikko 18) toukokuun lopulle (viikko 22) eikä pitoisuuksissa ole havaittavissa laskevaa trendiä tähän aikaan keväästä. Sen sijaan kesällä, viikon 22 ja viikon 34 (elokuun loppupuoli) välillä, pitoisuudet ovat edelleen laskeneet (Kuva 34).

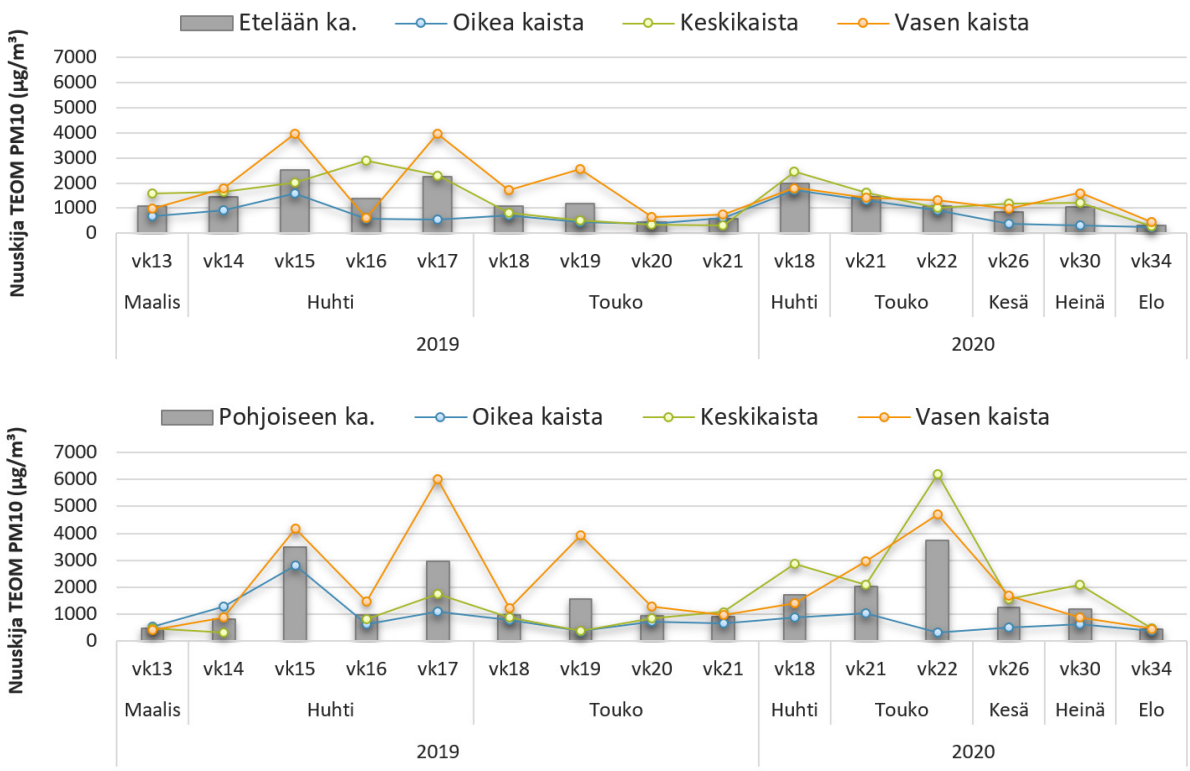
Keskimääräinen $PM_{2,5}$-osuus Mäkelänkadun osuuksille 2 ja 3 on 8 % (maalis-toukokuu) ja 16 % (kesä-elokuu). Vastaavat luvut Mäkelänkadun osuudella 1 on 16 % ja 26 %. Osuuden 1 korkeammat $PM_{2,5}$-osuudet saattavat selittyä sillä, että kyseisellä osuudella Nuuskija joutuu usein seisomaan liikennevaloissa. Seisahtuneen mittausajoneuvon mittaamat pisteet eivät ole mukana aineistossa, mutta saattavat TEOM-laitteen tallennustavasta johtuvan viiveen vuoksi vaikuttaa keskiarvoon. Liikennevaloissa seistessään TEOM havaitsee suspensiopäästön sijaan herkemmin ympärillä olevien ajoneuvojen pakokaasujen pienhiukkaset.



Kuva 34. Nuuskijalla mitatut PM_{10}-pitoisuudet (ylempi kuva) ja $PM_{2,5}$-osuudet (alempi kuva) Mäkelänkadun osuuksilla 1, 2 ja 3 vuosina 2019 ja 2020. Tulokset on esitetty keskiarvoina koko kadulle (pylväät) ja katuosuuksille (viivat).

2019 korkeimmat kaistakohtaiset pitoisuudet mitattiin molempiin ajosuuntiin vasemman puolimmaisella kaistalla, joka sijaitsee lähinnä raitiotiekiskoja ja niiden välistä viheraluetta. Toisiksi korkeimmat pitoisuudet mitattiin keskikaistalla (Kuva 35). Vuonna 2020 keskikaistalla pohjoisen suuntaan on mitattu joitain poikkeavan korkeita tuloksia, joihin ei löydy selitystä Nuuskijan lokikirjasta.

Alimmat pitoisuudet mitattiin oikealla kaistalla molempiin suuntiin, erityisesti vuonna 2020. Tähän saattaa löytyä selitys kadun kunnossapidon toimista, ja erityisesti pölynsidonnasta. Pölynsidonta-aine (suolaliuos) levitetään pääsääntöisesti vain oikean puolimmaiselle bussikaistalle. Pitoisuudet vuonna 2020 olivat yleisesti korkeampia kuin 2019.

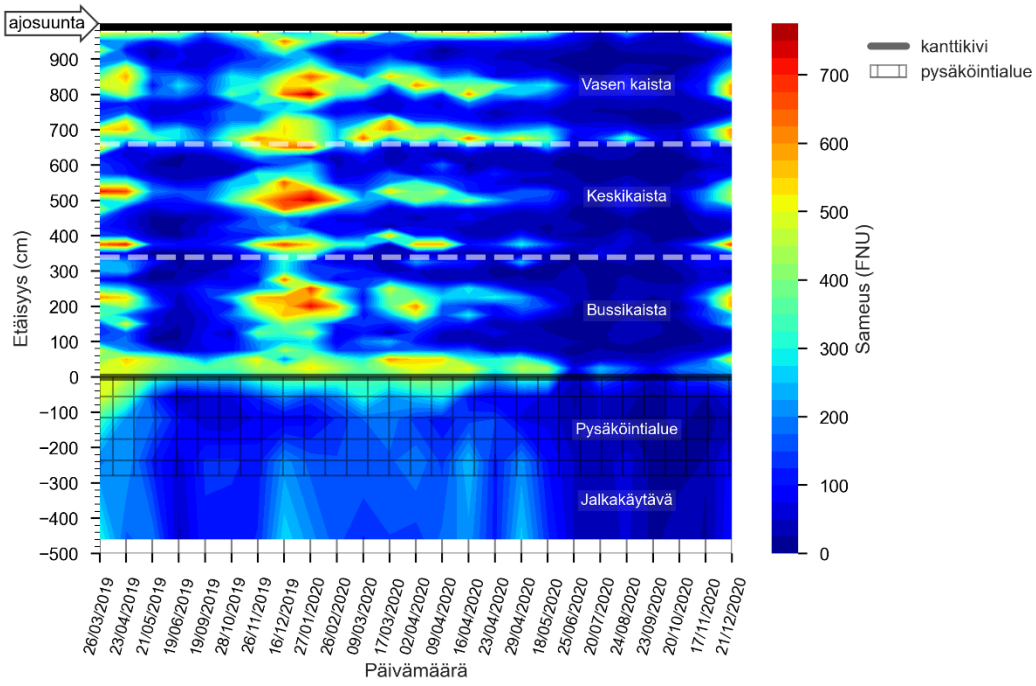


Kuva 35. PM_{10}-pitoisuudet Nuuskijalla mitattuna Mäkelänkadun kolmella eri kaistalla, etelän suuntaan (ylempi kuva) ja pohjoisen suuntaan (alempi kuva) 2019–2020.

WDS-mittaukset suoritetaan etelän suuntaan menevillä kaistoilla ilmanlaadun mittausaseman kohdalla (Kuva 36). WDS-näytteitä kerätään noin kerran kuukaudessa koko kadun poikittaisprofiililta 25 cm:n välein kanttikivestä kanttikiveen. Lisäksi näyteprofiiliin kuuluvat näytteet tienvarsiparkkipaikalta ja jalkakäytävältä.

Kuva 36. Mäkelänkadun WDS-näytteenottokohta osoitteessa Mäkelänkatu 50, ilmanlaadun mittausaseman kohdalla.

Kuvassa 37 on esitetty WDS-tulokset sameuslukuna (FNU) kolmella eri kaistalla, pysäköintialueella ja jalkakäytävällä. Vaaka-akselilla on mittauspäivämäärä; kuvissa on tulokset maaliskuulta 2019 marraskuuhun 2020. Mittauksia on suoritettu pääasiassa kerran kuukaudessa (2019), mutta huomioitavaa on, että keväällä 2020 mittauksia tehtiin useammin, ja toisaalta joiltakin kuukausilta mittaustulos puuttuu. Sininen väri indikoi puhdasta tienpintaa, kun taas vihreän ja keltaisen kautta punaiseen ulottuva väriskaala ilmaisee sameusarvon ja täten pinnan pölyisyyden kasvun.



Kuva 37. WDS tulokset Mäkelänkadulta 2019-2020. Mittaustulokset esittävät poikittaisprofiilin kolmelta kaistalta, pysäköintialueelta sekä jalkakäytävältä 2019-2020.

WDS-tulokset, eli kadun pinnalta mitattu "pölykuorma", havainnollistaa pölyn ajallisen ja paikallisen variaation. Pölyisimmät alueet löytyvät useimmiten läheltä kaistaviivoja, ajourien välistä ja kanttikiven vierestä. Tähän on pääasiassa syynä ajoneuvojen renkaiden ja ilmavirtojen puhdistava vaikutus: pöly nousee ilmaan tehokkaimmin ajourien kohdalla, mutta laskeutuu ja potentiaalisesti varastoituu uudelleen koskemattomille pinnoille.

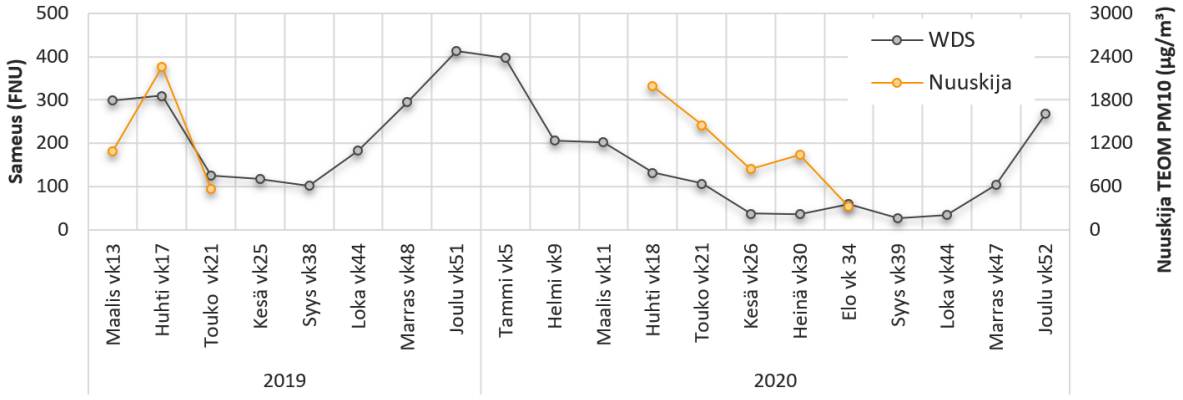
Suurimmat FNU-arvot on mitattu tyypilliseen katupölyaikaan maaliskuussa 2019 ja lisäksi marras-joulukuussa 2019. Loppu vuotta kohti mitatut korkeat tulokset ovat usein seurausta nastarenkaiden käyttöönotosta ja märästä, jäisestä tai lumisesta tien pinnasta, joka estää syntyneiden hiukkasten nousun hengitysilmaan.

WDS:llä mitatun kokonaispölykuorman ja Nuuskijan mittaaman suspendoituvan pölyn välistä yhteyttä vertailtiin niiden viikkojen osalta, jolloin mittaukset ovat osuneet lähekkäin. Tulokset on esitetty Kuvassa 38 etelän suuntaisten kaistojen keskiarvoina. Vastaavat kaistakohtaiset arvot niille viikoille, jolloin mittaukset ovat osuneet samaan ajankohtaan, on esitetty Liitteessä C (kuva C 3).

Vaikka molemmat metodit osoittavat pitoisuuksien olevan korkeimmillaan mittauskauden alkupuolella, ja laskevan kohti kesää, Nuuskija-tulokset osoittavat suurempaa viikkojen välistä variaatioita. WDS-näytteenotto tien pinnasta mittaa kokonaispölykuorman, joka sisältää pölyn suspendoituvan (ilmaan nousevan) ja päällysteeseen sitoutuneen osuuden. Se, miten suuri osuus kokonaispölykuormasta kuuluu suspendoituvaan osuuteen, riippuu liikenteestä, meteorologiasta, suolauksesta, pölynsidonnasta ja päällysteen rakenteesta. Edellä mainitut seikat selittävät viikkotason vaihteluita erityisesti Nuuskijan tuloksissa.

Esimerkiksi vuonna 2019 WDS:llä mitattu pölyn määrä on hyvin samankaltainen viikoilla 13–17, kun taas Nuuskijalla mitattu suspensiopäästö on huomattavasti matalampi viikolla 13. Tämä on hyvin

todennäköisesti seurausta intensiivisestä pölynsidonnasta Mäkelänkadulla viikolla 13/2019. Pölynsidonnan vaikutus näkyy erityisen selvästi bussikaistalla (Liite C, Kuva C 3).



Kuva 38. WDS-mittausten tulokset (kolmen kaistan keskiarvo) ja Nuuskija-tulokset Mäkelänkadulla 2019–2020 niillä viikoilla, kun on tehty molemmat mittaukset.

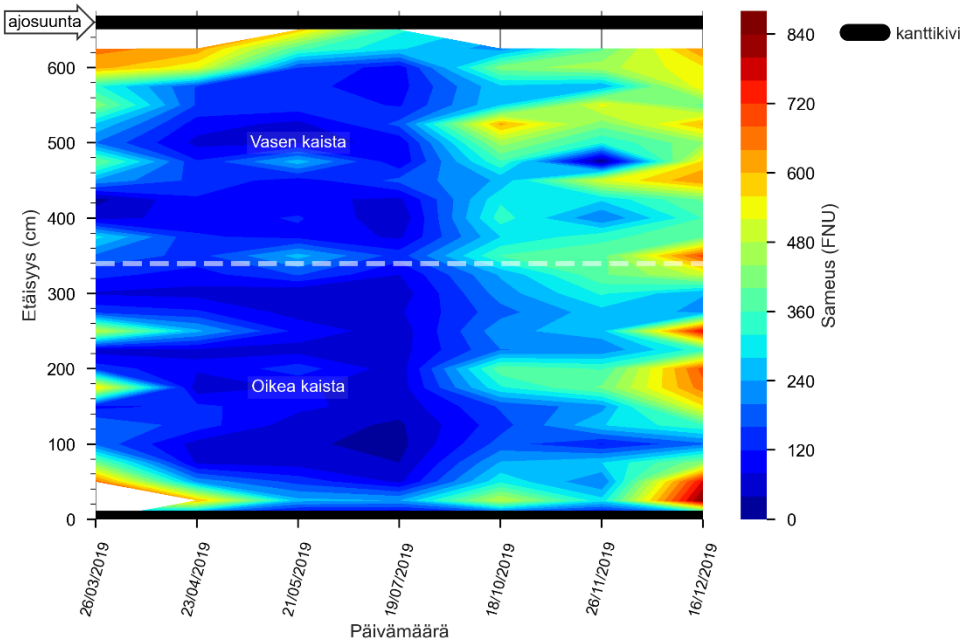
3.4.3 Muut WDS-kohteet: Talvikkitie, Vantaa

Talvikkitie on yksi Tikkurilan pääkaduista, jossa liikennemäärä on 11 400 ajoneuvoa/vrk ja raskaan liikenteen osuus tästä 5 %. Kohteessa tehtiin WDS-mittauksia vuonna 2019, jolloin kohteessa oli myös HSY:n siirrettävä ilmanlaadun mittausasema. Talvikkitie kuuluu myös Nuuskijan mittaaman kaupunkireittiin. WDS-näytteenottokohdassa Nuuskija mittaa molemmat etelän suuntaiset kaistat (oikea ja vasen kaista).

WDS näytteenotto suoritettiin kolmesti kevätkaudella (maalis–toukokuu) kerran kesällä (heinäkuu) ja kolmesti loppuvuoden 2019 aikana (loka–joulukuu). Näytteitä otettiin molemmilta etelänsuuntaisilta kaistoilta 25 cm:n välein.

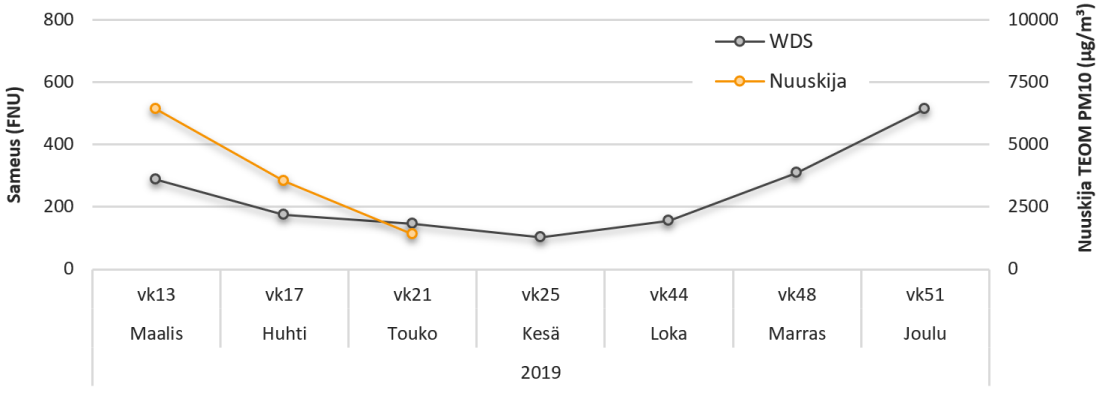
Kuva 39. WDS-mittausalue Talvikkitiellä, Vantaalla vuonna 2019.

Kuvasta 40 huomataan, että myös Talvikkitiellä pölykuorma on ollut korkeimmillaan alkukeväästä (maaliskuun mittaus) ja loppuvuodesta; korkein pölykuorma on mitattu joulukuussa 2019. Pölykuorma ei jakaudu yhtä selvästi ajourien ja ajourien väliin jäävien osuuksien välillä, joskin kadun reunoilta kanttikivien läheisyydestä löytyy suurin pölykuorma. Pölykuorman ollessa korkeimmillaan myös ajourien alhaisempi pölykuorma erottuu selvemmin.



Kuva 40. WDS-tulokset Talvikkitieltä (Vantaa) kahdelta kaistalta vuonna 2019. Mittaustulokset muodostuvat kahden ajokaistan poikittaisprofiilista ja tulokset on ilmoitettu FNU-arvoina (sameus).

Kuvassa 41 on rinnakkain Talvikkitiellä 2019 mitattu pölykuorma (WDS) ja suspensio (Nuuskija) niiltä viikoilta, kun molemmat menetelmät ovat olleet käytössä. Vastaavat kaistakohtaiset arvot on esitetty Liitteessä C (kuva C 4). Sekä pölykuorma että Nuuskijan mittaama PM-pitoisuus laskevat keväällä viikosta 13 viikkoon 21. WDS-tuloksista huomataan, että pölykuorma lähtee nousemaan uudestaan kesän jälkeen ja kohoaa tasaisesti lokakuusta joulukuulle.



Kuva 41. WDS- ja Nuuskija- mittausten tulokset Vantaan Talvikkitiellä 2019. WDS-mittaustulokset ovat molempien kaistojen keskiarvo.

3.4.4 Muut WDS-kohteet: Maaherrankatu, Kuopio

Maaherrankadun mittauskohde sijaitsee Kuopion keskustassa ruutukaava-alueella. Liikennemäärä kadulla on n. 7 000 ajoneuvoa/vrk, josta raskasta liikennettä on n. 2–3 %. Risteävän Tulliportinkadun liikennemäärä on n. 5 000 ajoneuvoa/vrk. Ilmanlaadun mittausasema sijaitsee edellä mainittujen katujen risteyksessä (Kuva 42).

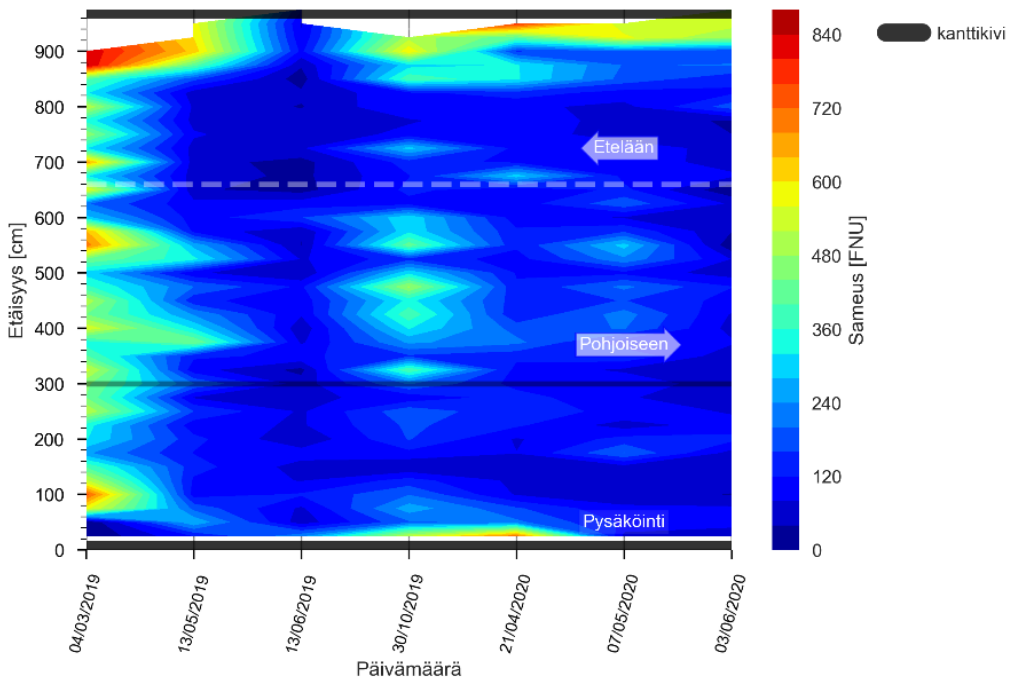
WDS-mittaus suoritettiin ilmanlaadun mittausaseman läheisyydessä, Kuvaan 42 merkityllä alueella. Mittaukset Kuopiossa toteutettiin mittauskampanjoina, joita oli vuonna 2019 neljä ja vuonna 2020 kolme (Taulukko 3). WDS-näytteitä kerättiin 25 cm:n välein etelän ja pohjoisen suuntaan kulkevilta kaistoilta sekä pysäköintialueelta, jolle myös kääntyvä liikenne ryhmittyy.

Kuva 42. Maaherrankadun (Kuopio) WDS-mittauspaikka ja ilmanlaadun mittausaseman sijainti. Maaherrankatu on kaksisuuntainen ja molempien ajokaistojen lisäksi näytteet otetaan alueelta, jolle pohjoisen suuntaan ajava kääntyvä liikenne ryhmittyy ja jolla on kadunvarsipaikoitusta.

Tuloksista (Kuva 43) huomataan, että maaliskuussa 2019 pölyä oli kertynyt kohtalaisen tasaisesti koko ajoradan leveydelle. Suurimmat pölykuormat löytyivät ajoradan reunoilta (kanttikivien läheisyys), rengasurien vierestä ja jossain määrin myös keskiviivan tuntumasta.

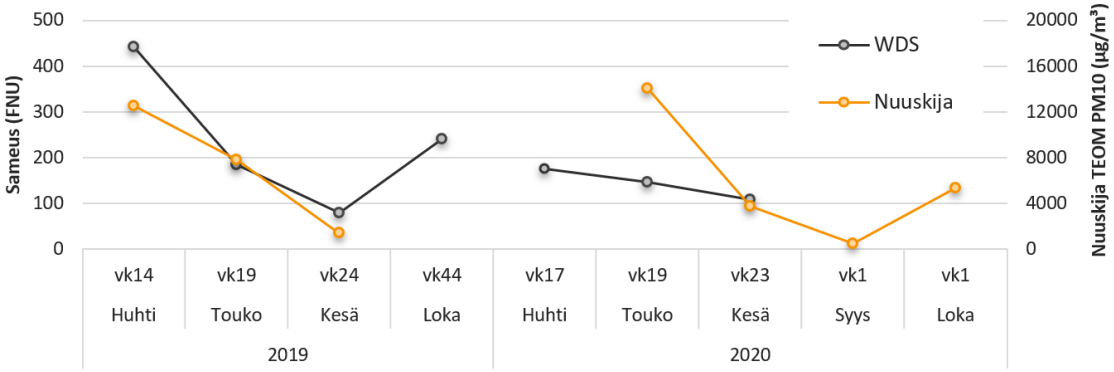
Pölykuorma oli laskenut merkittävästi suurimmalla osalla ajorataa toukokuun mittauksiin mennessä. Näiden kahden mittauskerran välissä on toimenpidekirjausten perusteella suoritettu kadunpuhdistusta. Lisäksi sateet olivat edesauttaneet puhdistumista. Pölykuorma oli korkeimmillaan ajoradan reunoilla sekä keskiviivan tuntumassa. Kadunvarren pysäköintipaikka (0–300cm) oli mittausten perusteella puhdistunut merkittävästi. Kesäkuussa pölykuorma on matala koko ajoradan leveydeltä. Molempina vuosina pölykuorma on laskeneet ennen kesäkuun mittausta merkittävästi.

Lokakuussa 2019 havaitaan pölykuorman lähteneen nousuun, todennäköisesti liukkaudentorjuntatoimenpiteiden (nastarenkaat ja liukkaudentorjuntamateriaalit) ja sääolojen vaikutuksesta. Pölykuorman kasvu keskittyy pääosin ajoradan keskiosiin sekä kanttikivien läheisyyteen.



Kuva 43. WDS-tulokset Maaherrankadulla Kuopiossa maaliskuusta 2019 kesäkuuhun 2020 FNU-arvoina. Kuvassa alimpana kadunvarsipysäköinnin mahdollistava alue tai kaista, jolle kääntyvä liikenne ryhmittyy ennen risteystä. Pysäköintialue käsittää mittauspisteet välillä 0–300 cm, kaista pohjoisen suuntaan pisteet 325 cm–675 cm, ja kaista etelän suuntaan 700 cm–975 cm.

Lokakuussa 2019 havaittu pölykuorman nousu on havaittavissa myös Kuvassa 44 , jossa esitetään rinnakkain Nuuskijalla ja WDS:llä mitatut tulokset Maaherrankadulla 2019 ja 2020. Keväällä 2019 Nuuskijan ja WDS:n mittaamat pitoisuudet laskevat kesää kohti. Myös keväällä 2020 pitoisuudet laskevat, mutta poiketen WDS:llä mitatusta pölykuormasta, Nuuskijan mittaama suspensiopäästö toukokuussa 2020 on huomattavan korkea. Tähän saattaa ainakin osittain löytyä selitys alueella vaikuttaneesta työmaasta, joka myös muutti Nuuskijan reittiä noin 100 metrin matkalta Maaherrankadulla. Katuosuus, jolta WDS-näytteet kerätään, on ollut suljettuna (noin 150 m WDS-näytteenottokohdasta etelän suuntaan) myös muulta liikenteeltä. Nuuskija sen sijaan on kerännyt dataa pidemmältä katuosuudelta ja näin ollen Nuuskijan tulokseen vaikuttavat WDS-näytteenottokohtaa enemmän muualla Maaherrankadulla vaikuttaneet pölyn lähteet, työmaa mukaan lukien.

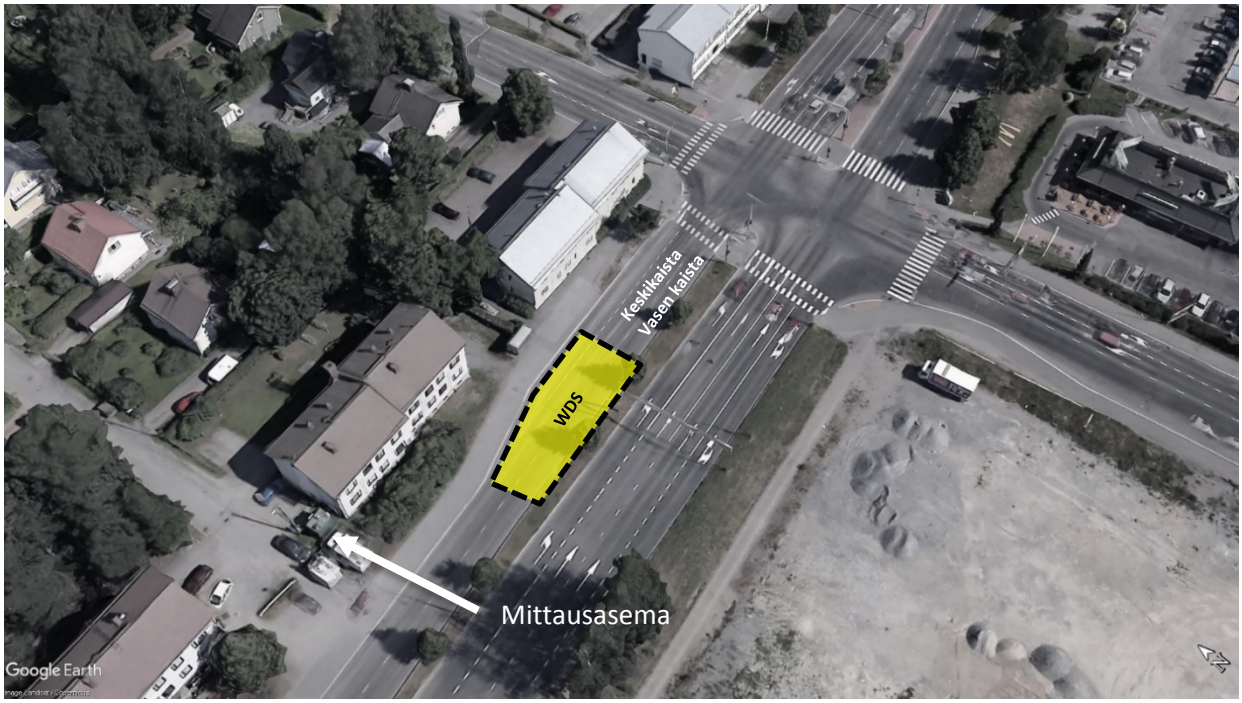


Kuva 44. WDS- ja Nuuskija-tulokset kampanjakohtaisina keskiarvoina Maaherrankadulla Kuopiossa 2019–2020.

3.4.5 Muut WDS-kohteet: Tasavallankatu, Kuopio

Tasavallankatu on yksi Kuopion vilkkaimmin liikennöidyistä keskustaan johtavista kaduista, ja toinen Kuopion WDS-mittauskohteista. Liikennemäärä kadulla on n. 25 000 ajoneuvoa/vrk ja nopeusrajoitus 50 km/h. Kadunvarrella sijaitsee myös ilmanlaadun mittausasema.

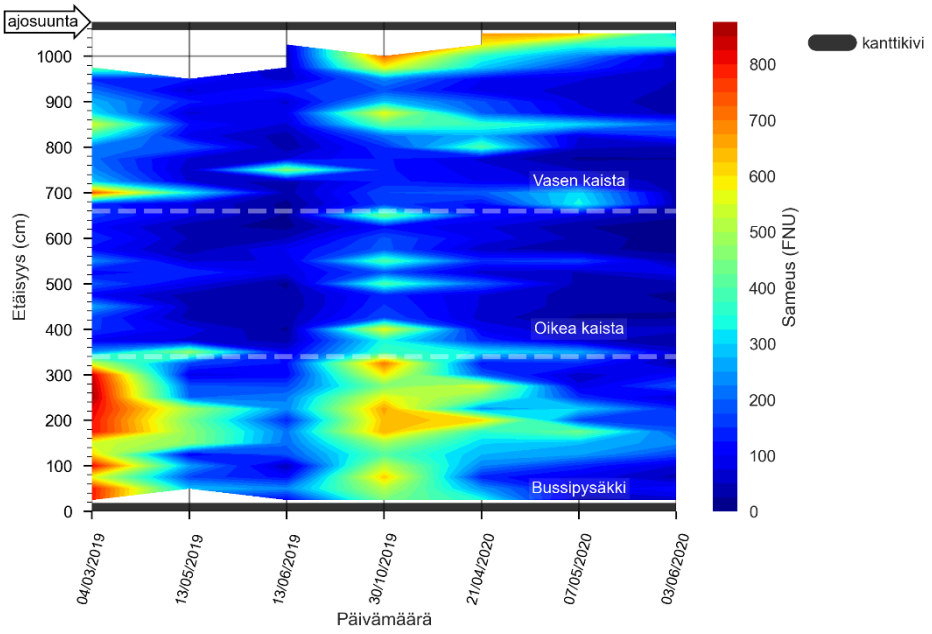
WDS-näytteet kerättiin keskustasta pois päin johtavilta kaistoilta (Kuva 45). Mittauspaikka sijaitsee loivaan ylämäkeen, ja kaistat on paikoin voimakkaasti urautuneet. Urat saattavat heikentää kadun luontaista puhdistumista, ja pöly voi kasautua pinnan epätasaisuuksien mukaan.



Kuva 45. Tasavallankadun (Kuopio) WDS -mittauskohde ja ilmanlaadun mittausaseman sijainti.

Vuoden 2019 tuloksista (Kuva 46) huomataan, että huhtikuussa pöly oli pääasiallisesti kertynyt linja-autopysäkille (0–325 cm kanttikivestä), kaistaviivojen päälle, rengasurien väliin sekä vasemmanpuoleisen kaistan reunakiveyksen läheisyyteen. Reunakivetyksen läheisyydessä (975–1 100cm) pölykuorma on tasaisen korkea ympäri vuoden. Tämä voi osaltaan olla seurausta päällysteen epätasaisuudesta: kyseinen alue sijoittuu hieman alemmalle tasolle kuin muu ajorata, koska ajorataa ei ole päällystetty koko leveydeltä vaan uuden ja vanhan pinnan päällä on pokkaus.

Toukokuussa 2019 pölykuorma oli laskenut tasaisesti ajoradan eri osissa ja suurin pölykuorma löytyi linja-autopysäkin rengasurien välistä sekä vasemmanpuoleisen kaistan reunakiveyksen vierestä. Kesäkuussa pölykuorma on erittäin matalalla tasolla koko ajoradan leveydeltä. Lokakuun tuloksissa huomataan pölykuorman lähteneen jälleen nousuun, mikä on todennäköisesti seurausta liukkaudentorjuntakeinojen (nastarenkaiden käyttöönotto, liukkaudentorjuntamateriaalit) käyttöönotosta. Kunnossapidon kirjauksia ei ole ollut saatavilla, joten tarkemmat tiedot liukkaudentorjuntamateriaalien käytöstä puuttuu.



Kuva 46. WDS-tulokset Tasavallankadulla Kuopiossa maaliskuusta 2019 kesäkuuhun 2020 FNU-arvoina. Kuvassa alimpana bussipysäkki, joka sisältää mittauspisteet välillä 0–325 cm, keskikaista 350 cm–675 cm, ja vasen kaista 700 cm–975 cm.

Kuten Maaherrankadun tuloksissa, myös Tasavallankadulla pölykuorman kasvu lokakuussa on erityisen hyvin nähtävissä WDS-mittausten (2019) perusteella. Vuonna 2020 lokakuussa ei ole mitattu WDS:llä, mutta Nuuskijan mittaaman pitoisuuden kasvu syyskuulta lokakuulle viittaisi siihen, että lokakuussa on taas mitattu liukkaudentorjunnan seurauksena kasvaneita katupölypitoisuuksia (Kuva 47).

WDS ja Nuuskija-tulosten vertailu Tasavallankadun osalta keväällä 2020 osoittaa Maaherrankadun tavoin epäjohdonmukaisuutta pitoisuuksien kehittymisessä. WDS:llä mitatun pölykuorma ollessa jo melko alhainen Nuuskija mittasi edelleen toukokuussa korkeita pitoisuuksia (Kuva 47). Nuuskijan lokikirjan merkintöjen mukaan päällysteet ovat olleet Kuopiossa keväällä 2020 huonossa kunnossa. Lisäksi on muistettava, että siinä missä WDS kerää näytteet hyvin pieneltä alalta, Nuuskijan mittaustuloksiin tallentuu mittauspisteitä pitkältä matkalta katua, ja näin ollen tuloksiin vaikuttavat kadun varren pölyn lähteet laajemmin. Tasavallankadulta mitattuihin korkeisiin suspensiopitoisuuksiin on todennäköisesti ainakin osittain syynä läheinen risteysalue ja siellä tehdyt liukkaudentorjuntatoimet.

Kuva 47. WDS- ja Nuuskija-tulokset kampanjakohtaisina keskiarvoina Tasavallankadulla Kuopiossa 2019–2020 tehdyissä mittauskampanjoissa.

3.5 Johtopäätökset katupölyn erikoiskohteista

Nuuskijan mittaamat suspensiopäästö (PM_{10}) ovat työmaa-alueilla noin 2–5-kertaisia lähialueen katuihin verrattuna. $PM_{2,5}$:n osuus PM_{10}:stä on sen sijaan matalampi työmaa-alueiden kaduilla kuin kaupunkireitin verrokkikaduilla. Tämä viittaa siihen, että työmaa-alueilla kadun pinnasta mitattavaa suspensiopäästöä kasvattavat ennen kaikkea karkeamman kokoluokan hiukkaset.

Työmaa-alueilla PM_{10}-pitoisuudet eivät laske yhtä selvästi kesää kohti, kuten kaupunkireittien verrokkikaduilla. Perinteisesti mielletyt katupölylähteet jossain määrin poistuvat, mutta työmailta peräisin oleva PM_{10}-kokoluokan pöly näkyy Nuuskijan mittaustuloksissa.

Mäkelänkadulla mitattiin keväällä 2019 hieman Kyläsaaren reittikeskiarvoa matalampia pistoisuuksia. Keväällä 2020 pitoisuudet olivat linjassa lähikatujen kanssa. Mäkelänkadulla on tehty intensiivistä pölynsidontaa, mikä saattaa osittain selittää muuten katukuilumaisen ja runsasliikenteisen kohteen alempia pitoisuuksia. Korkeimmat pitoisuudet Nuuskijalla mitattuna on kautta Mäkelänkadun mittaushistorian mitattu vasemmanpuoleisimmalla kaistalla molempiin ajosuuntiin.
Tähän saattaa löytyä selitys viereisiltä ratikkakiskoilta kulkeutuvasta pölystä (jarruhiekan käyttö) ja toisaalta ajoneuvojen määristä eri kaistoilla. Mikäli vasemmalla kaistalla on vähiten liikennettä, myös itsepuhdistumista tapahtuu vähiten. Tarkkaa ajoneuvomäärän jakautumista eri kaistojen välillä ei ole käytössä. Myös Nuuskijaan liittyvät mittaustekniset seikat saattavat korostaa pitoisuuseroja eri kaistoilla, riippuen siitä, onko Nuuskijan mahdollista ajaa sujuvasti liikennevirran mukana vai onko kaistalla ruuhkaa tai jopa pysähdyksiä. Erot Mäkelänkadun eri osuuksilla (osuudet 1, 2 ja 3) mitatuissa $PM_{2,5}$-osuuksissa ovat todennäköisesti ainakin osittain seurausta nimenomaan Nuuskijan ajotavasta ja siitä seikasta, että osuudella 1 Nuuskija seisoo usein liikennevaloissa.

WDS-mittaukset on KALPA3-hankkeen mittauskohteissa toteutettu ottamalla näytteet kadun poikittaisprofiilin mukaisesti ja toistuvasti samasta kohteesta (esim. kerran kuukaudessa). Näin toteutettu "pölykuorman" mittaus havainnollistaa hyvin pölyn ajallisen ja paikallisen variaation katuympäristössä. Pölykuorma alkaa kertyä syksyllä ja saavuttaa huippunsa joulu–tammikuussa. Loppuvuotta kohti mitatut korkeat tulokset ovat usein seurausta nastarenkaiden käyttöönotosta ja märästä, jäisestä tai lumisesta tien pinnasta, joka estää syntyneiden hiukkasten nousun hengitysilmaan. Matalimmat pitoisuudet mitataan usein loppukevään ja kesän aikana. Tällöin katuympäristössä on tyypillisesti vähiten uusia pölynlähteitä ja kosteutta sitomassa pölyä tien pintaan, jolloin aiemmin katuympäristöön varastoitunut pölykin poistuu.

Pölyisimmät alueet löytyvät läheltä kaistaviivoja, ajourien välistä ja kanttikiven vierestä. Tähän on pääasiassa syynä ajoneuvojen renkaiden ja ilmavirtojen puhdistava vaikutus: pöly nousee ilmaan tehokkaimmin ajourien kohdalla, mutta laskeutuu ja potentiaalisesti varastoituu uudelleen koskemattomille pinnoille.

Rinnakkaiset WDS- ja Nuuskija-mittaukset suoritettiin kaikissa neljässä WDS-kohteessa. Vaikka molemmat metodit osoittavat pitoisuuksien olevan korkeimmillaan mittauskauden alkupuolella, ja laskevan kohti kesää, Nuuskija-tulokset osoittavat suurempaa viikkojen välistä variaatioita, sillä Nuuskijan mittaus on herkempi ympäristötekijöille (kuten kadun pinnan kosteus, Nuuskija ajonopeus, Nuuskijan mittausrenkaan sijainti ajourassa tai sen sivussa). WDS-näytteenotto tien pinnasta mittaa kokonaispölykuorman, joka sisältää pölyn suspendoituvan (ilmaan nousevan) ja päällysteeseen sitoutuneen osuuden. Se, miten suuri osuus kokonaispölykuormasta kuuluu suspendoituvaan osuuteen, riippuu liikenteestä, meteorologiasta, suolauksesta, pölynsidonnasta ja päällysteen rakenteesta. Esimerkiksi, vuonna 2019 intensiivisen pölynsidonnan vaikutus näkyy erityisen selvästi bussikaistalla, missä WDS:llä mitattu pölyn määrä on hyvin samankaltainen viikoilla 13–17, kun taas Nuuskijalla mitattu suspensiopäästö on huomattavasti matalampi viikolla 13.

3.6 Puhdistuslaitetestit

Pesulaitteistojen ja -menetelmien tehokkuutta on tutkittu mittavasti aikaisemmissa katupölytutkimushankkeissa Suomessa (mm. REDUST, KAPU, NORDUST) ja ulkomailla. Kadun puhdistuksella saadaan yleensä tehokkaasti poistettua katuympäristöstä erityisesti karkeampi materiaali, kuten talven aikana kaduille levitetyt liukkaudentorjuntamateriaalit. Katupölyhankkeissa puhdistuslaitetestien tarkoitus on selvittää, kuinka tehokkaasti puhdistuksella on mahdollista poistaa kadulta nimenomaan hienompi, hengitettävän kokoluokan pölyävä materiaali, ja täten parantaa hengitysilman laatua ja ympäristön viihtyisyyttä.

KALPA3-hankkeessa tehtiin neljä erilaista pesulaitetestiä (Taulukko 4) joissa testattiin 1) takapesupalkillisen pesevän imulakaisuauton (ns. PIMU) pölynpoistotehokkuutta katuympäristössä, 2) vedettömän lakaisukoneen pesutehokkuutta katuympäristössä, 3) pääväylän piennarten pesun vaikutusta pölyämiseen moottoritiellä, ja 4) kolmen erilaisen takapesupalkillisen pesevän imulakaisuauton, erilaisten pesumenetelmien pölynpoistotehokkuutta suljetulla testiradalla.

Pesulaitetesteissä on käytetty mittausmenetelminä mittausajoneuvoja (Nuuskija ja/tai Vectra) ja WDS-laitetta. Mittausajoneuvojen osalta on käytetty pääasiassa DustTrak-laitteista saatavaa dataa, sillä korkean resoluution (1 Hz) mittaus ja tallennus mahdollistaa aineiston keruun myös lyhyemmiltä katuosuuksilta tai radoilta. Ainoastaan Tikkurilantien pesutestin osalta esitetään myös TEOM-laitteella mitatut tulokset. Jokaisen testin yhteydessä on erikseen mainittu käytetyt mittausmenetelmät.

Taulukko 4. Yhteenveto KALPA3-hankkeessa tehdyistä pesulaite- ja -menetelmätesteistä.

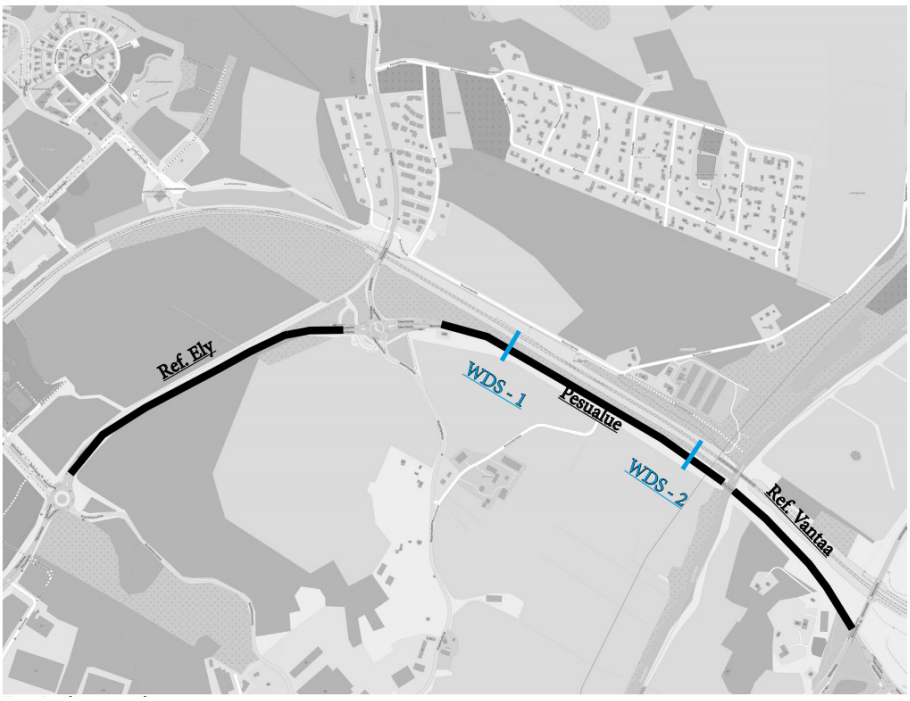
Vuosi	Paikka	Testattu puhdistusmenetelmä	Mittausmenetelmät
2019	Tikkurilantie, Vantaa	Takapesupalkillisen PIMU-laitteen (BEAM S 12000) kahden eri pesumenetelmän vertailu.	Nuuskija WDS
	Alahovintie ja Siikaniemenkatu, Kuopio	Vedetön lakaisukone, Snowek Trombia	Nuuskija Vectra WDS
	Vt5, Kuopio	Korkeapainepesu pääväylän pientareilla ja liittymärampeissa	Vectra (piennar ja ajokaistat) WDS (piennar)
2020	Koisotie, Vantaa	Kolme modernia takapesupalkillista imulakaisuautoa (2 eri laitetoimittajaa). Yksi laitteista nk. perinteinen imulakaisulaite (ei korkeapainehuuhtelua) ja kaksi laitteista nk. PIMUja, joissa yhdistyy korkeapainehuuhtelu vedellä ja imulakaisu. Laitteilla pestiin kahdella eri tavalla imulakaisten tai pelkällä takapesupalkilla.	Nuuskija Vectra WDS

3.6.1 Imulakaisukoneen kahden eri pesumenetelmän vertailu, Tikkurilantie Vantaa

Pesulaitetesti suoritettiin Tikkurilantiellä, Vantaalla 15. –16.4.2019. Lisäksi kaksi seurantamittausta kohteessa toteutettiin 24.4.2019. Testin tarkoitus oli selvittää BEAM 12000S -imulakaisukoneen tehokkuutta pölynpoistossa laitteen kahdella eri pesutavalla: PIMU-pesulla (painepesu ja imu) ja niin sanotulla takapesupalkilla. Katu jaettiin kolmeen alueeseen (Kuva 48), josta kaksi toimivat referenssialueina, joilla ei tehty mitään toimenpiteitä. Toinen referenssialue (Ref. Vantaa) on Vantaan kaupungin kunnossapitämällä alueella, ja toinen (Ref. Ely) ELY-keskuksen. Referenssialueiden väliin jäävällä testialueella itään päin kulkeva kaista pestiin PIMU-pesuna ja länteen päin kulkeva kaista käyttäen ainoastaan laitteen takapesupalkkia.

Katu mitattiin ennen ja jälkeen pesutapahtuman. Lisäksi seurantamittauksia Nuuskijalla tehtiin seuraavana päivänä 16.4. ja vielä 24.4. Mittausnopeutena käytettiin 50 km/h ja yhdellä mittauskierroksella ajettiin viisi edestakaista kierrosta. Nuuskijan tulokset on esitetty TEOM PM_{10}- ja $PM_{2,5}$-pitoisuuksina sekä DustTrak PM_{10}-pitoisuuksina.

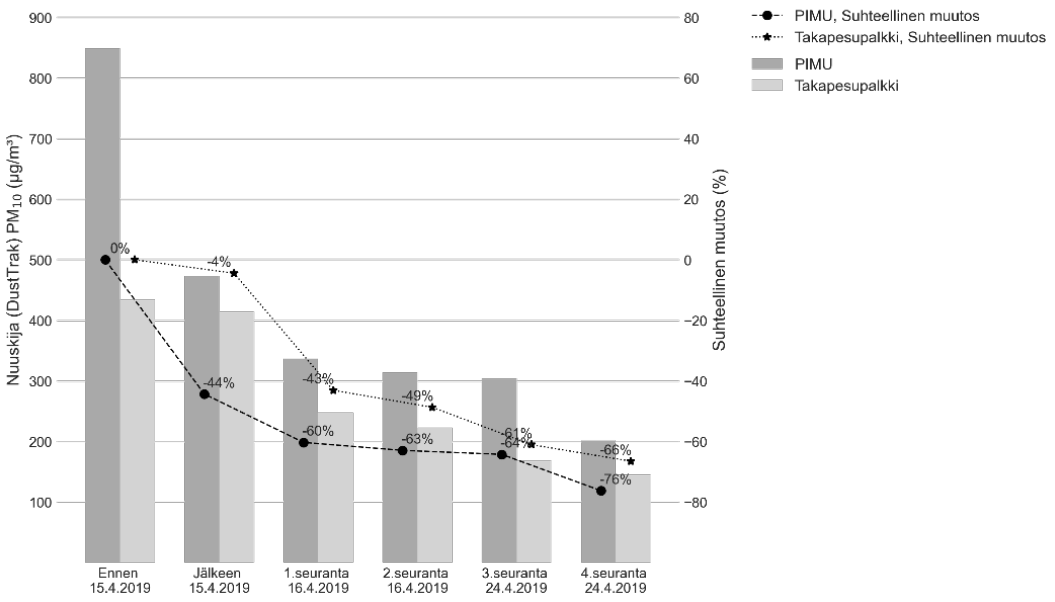
WDS-näytteenotto tehtiin ennen ja jälkeen pesun. WDS-näytteitä kerättiin pestyltä alueelta, kahdesta kohdasta (Kuva 48: WDS-1 ja WDS-2), koko ajoradan leveydeltä 25 cm:n välein.



Kuva 48. Tikkurilantien osuus, missä suoritettiin imulakaisukoneen kahden eri pesumenetelmän testaus. Ref. viittaa referenssialueeseen, jossa ei tehty pesuja mutta suoritettiin samat ajoneuvomittaukset kuin pestyllä alueella. Kuvaan on merkattu myös WDS-näytteenottopaikat pestyllä alueella.

PM_{10}-pitoisuudet (Nuuskija, TEOM) Tikkurilantien pesutestiin valitulla katuosuudella olivat huomattavasti matalampia verrattuna Tikkurilan muilla kaduilla samalla ajanjaksolla mitattuihin keskiarvoihin (Kuva 21). Aikaisemmissa katupölytutkimuksissa on havaittu, että mitä likaisempi katu on lähtötilanteessa, sitä selkeämpiä ja suhteessa parempia tuloksia pesulla yleensä saavutetaan. Tästä syystä myös puhdistuslaitetesteihin on pyritty valitsemaan mahdollisimman pölyinen kohde. Tätä lähtöasetelmaa ei tässä testissä täydellisesti tavoitettu.

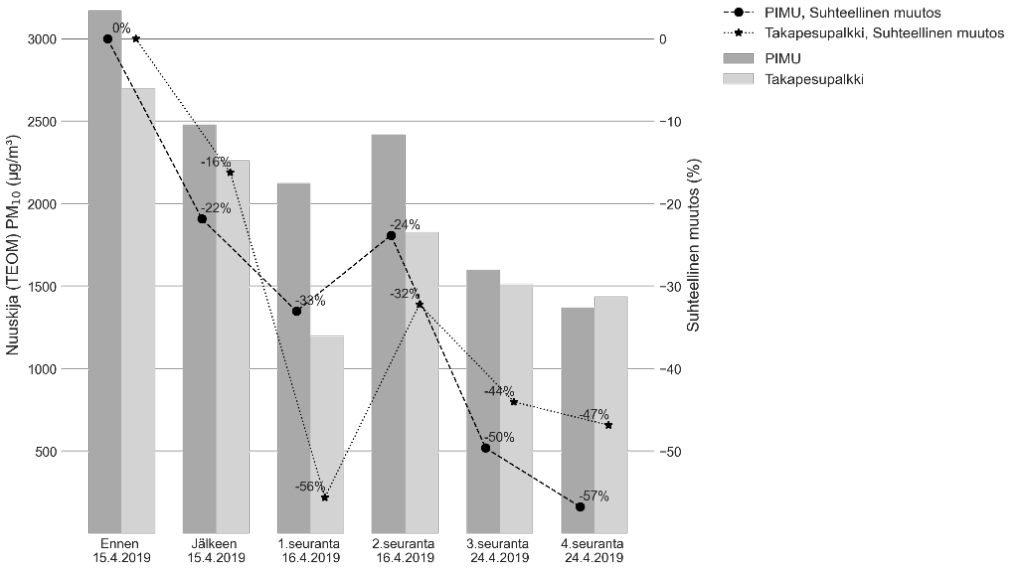
Nuuskijan DustTrakilla mittaaman PM_{10}-pitoisuuden perusteella (Kuva 49) lähtötasossa on eroa myös kaistojen välillä. PIMUlla pesty kaista on ollut ennen pesua jopa kaksi kertaa niin likainen kuin takapesupalkilla pesty kaista. Välittömästi pesun jälkeen mitattu ensimmäinen tulos (DustTrak PM_{10}) osoittaa PIMU-pesun tehokkuudeksi -44 % ja takapesupalkin vain -4 % (Kuva 49). Toisaalta TEOMin mittaamien PM_{10}-pitoisuuksien (Kuva 50) perusteella lähtötasot, kuten myös pesutehokkuudet, -22 % (PIMU) ja -16 % (Takapesupalkki), ovat lähempänä toisiaan.



Kuva 49. Nuuskijan mittaama DustTrak PM_{10}-pitoisuus Tikkurilantien pesualueella ja suhteellinen muutos alkutilanteeseen.

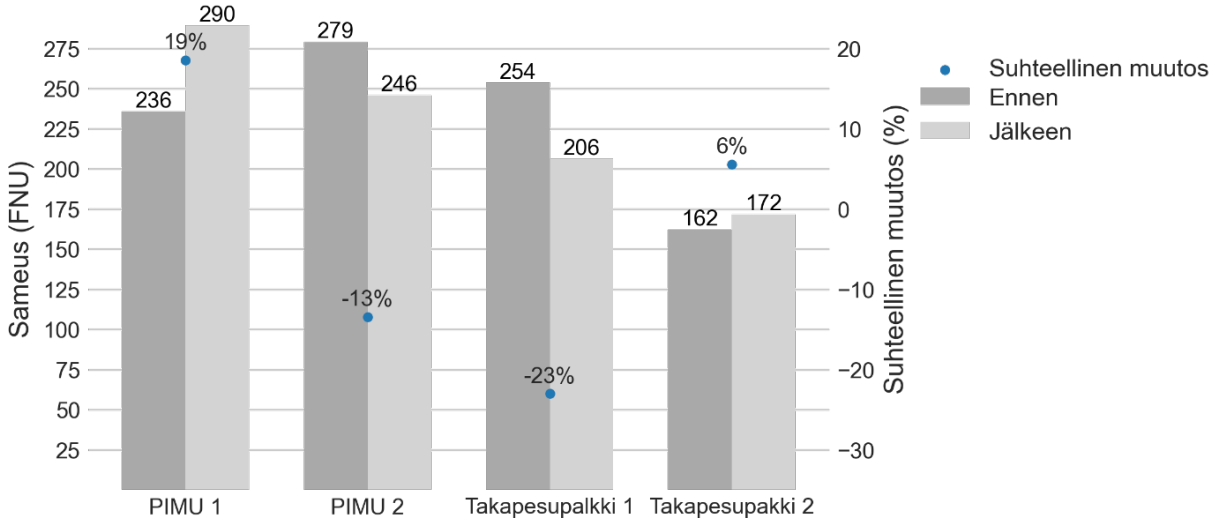
Siinä missä DustTrakilla mitatut PM_{10}-pitoisuudet jatkavat molemmilla kaistoilla laskua vielä pesua seuraavanakin päivänä, TEOMilla mitatut PM_{10}-pitoisuudet ovat aamupäivän mittauksessa laskeneet, mutta iltapäivän mittauksessa kohonneet (Kuva 50).

Viimeinen, 4. seuranta (24.4.2019) on tehty yhdeksän vuorokautta pesutapahtuman jälkeen, ja pitoisuudet ovat molempien mittalaitteiden tulosten perusteella pysyneet pesua seuranneella tasolla kummallakin kaistalla.



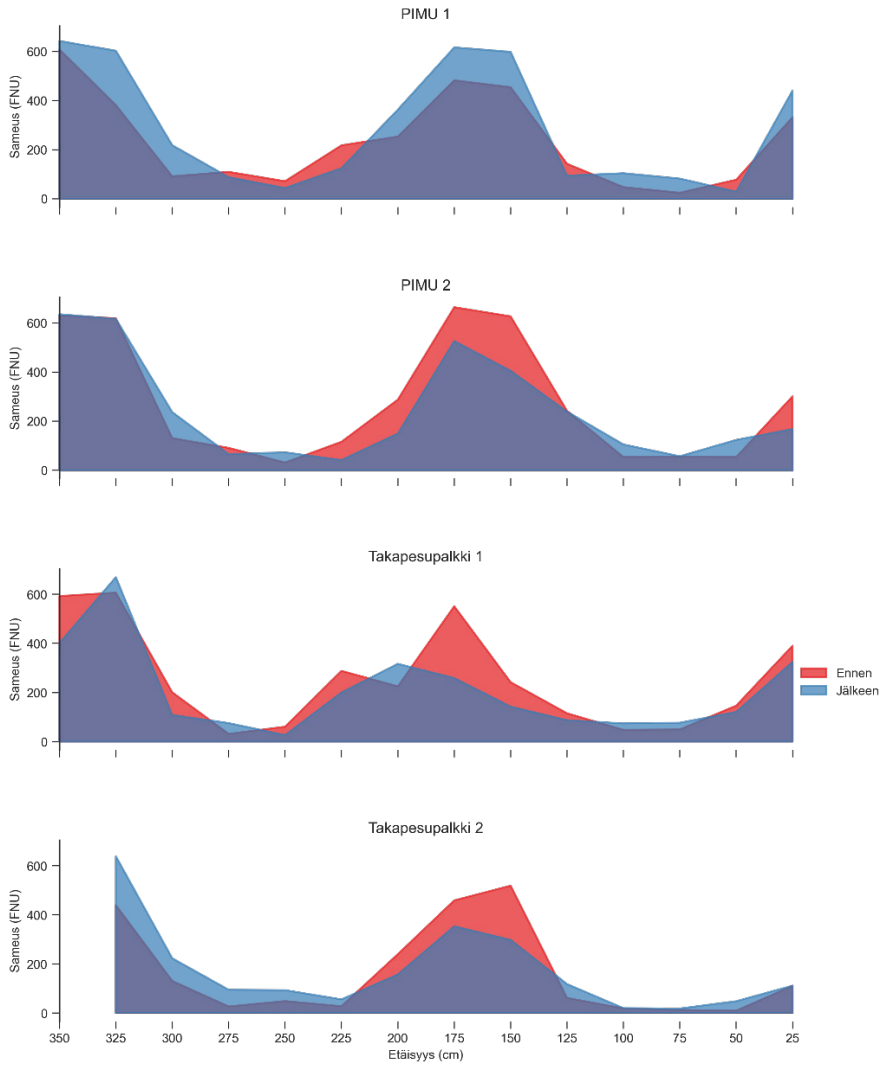
Kuva 50. Nuuskijan mittaama TEOM PM_{10}-pitoisuus pesualueella ja suhteellinen muutos alkutilanteeseen.

Kuvassa 51 on esitetty pölykuorman (FNU-arvojen keskiarvo) vaihtelu kahdessa WDS-mittauspisteessä pestyllä alueella. Pölykuorman muutos ilmeni mittauspaikkojen välillä epätasaisesti: PIMU-pestyllä ajoradalla pitoisuus nousi 19 % ja laski 13 % ja takapesupalkilla pestyllä kaistalla laski 23 % ja nousi 6 %. Pölykuorman laskua on suhteellisesti tapahtunut siellä, missä pölyä mitattiin lähtötilanteessa eniten (PIMU 2 ja Takapesupalkki 1). Lähtötilanteessa puhtaimpien mittauspaikkojen kohdalla pölykuorma on noussut (PIMU 1 ja Takapesupalkki 2). Tulos on kaikkien kaistalta otettujen näytteiden (poikittaisprofiili) keskiarvo. Pistekohtainen pölykuorman muutos havaitaan paremmin Kuvasta 52.



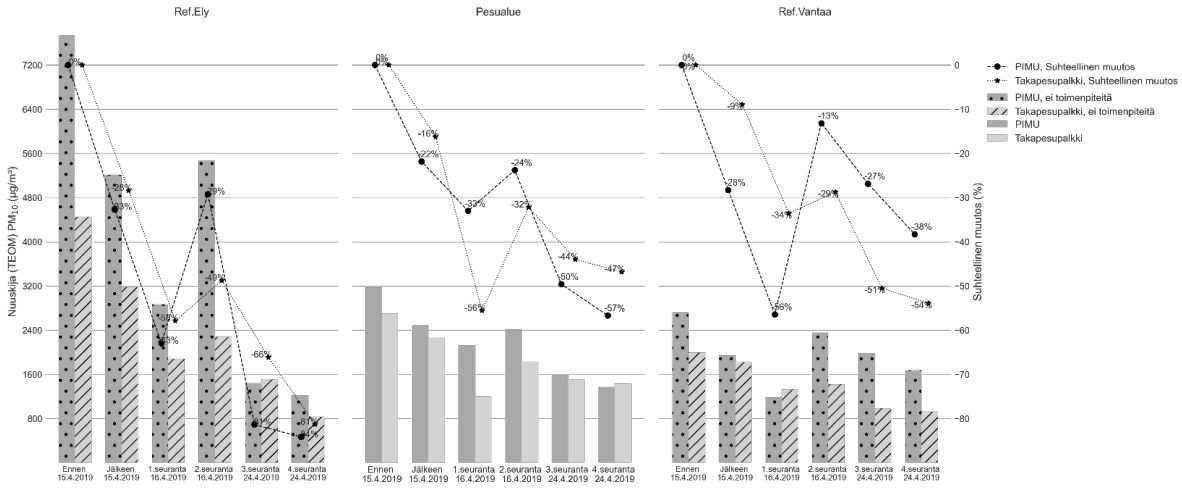
Kuva 51. Pestyjen kaistojen pölykuorman (FNU-keskiarvo) muutos kahdessa eri WDS-mittauspaikassa Tikkurilantien pesutestissä.

WDS-näytteitä kerättiin pestyiltä kaistoilta 25 cm:n välein kanttikivestä keskiviivaan. Kadun poikittaisprofiilin mukaan jakautuneen pölykuorman tarkastelu (Kuva 52) osoittaa, että pölykuorma laski molemmilla kaistoilla erityisesti ajoradan keskiosassa, rengasurien välissä, missä pölyä on ollut eniten. Pölykuormassa ei tapahtunut havaittavaa muutosta ajoradan reunoilla eikä rengasurissa. Sen sijaan yhtä rengasuraa lukuun ottamatta kaikista rengasurista on mitattu lähtötasoa korkeampia FNU-arvoja pesun jälkeen. Rengasuriin onkin saattanut kulkeutua pölyä muualta ajoradalta tai ei-pestyltä katuosuudelta.



Kuva 52. WDS-profiilit ennen (punainen) ja jälkeen (sininen) pesun. Kaksi ylimmäistä kuvaa ovat kaistalta, joka on pesty PIMUlla ja kaksi alimmaista kuvaa kaistalta, joka on pesty laitteen takapesupalkilla.

Pitoisuudet laskivat testin aikana myös molemmilla referenssialueilla, vaikka niillä ei tehty toimenpiteitä (Kuva 53). Tähän aikaan keväästä on tavanomaista, että katupölypitoisuuksissa tapahtuu laskua myös luonnostaan mm. sääolosuhteiden (sateet, tuulet) ja liikenteen aiheuttamien ilmavirtojen vuoksi, sekä siitä syystä, ettei uutta pölyä muodostu liukkaudentorjunnan tarpeen vähentyessä. Referenssialueiden puhdistuminen asettaa pestyllä alueilla mitattujen pitoisuuksien laskun alttiiksi kysymykselle, mikä osuus puhdistumisesta on tapahtunut pesujen vaikutuksesta ja mikä osuus seurausta luonnollisesta puhdistumisesta.



Kuva 53. Nuuskijan mittaamat PM_{10}-pitoisuudet (TEOM) kahdella eri referenssialueella (vasen ja oikea reuna) sekä pestyllä alueella (keskellä) Tikkurilantien pesutestissä. Absoluuttiset arvot palkkeina ja suhteelliset muutokset PM_{10}-pitoisuudessa viivoina.

3.6.2 Vedettömän lakaisulaitteen tehokkuus pölynpoistossa, Kuopio

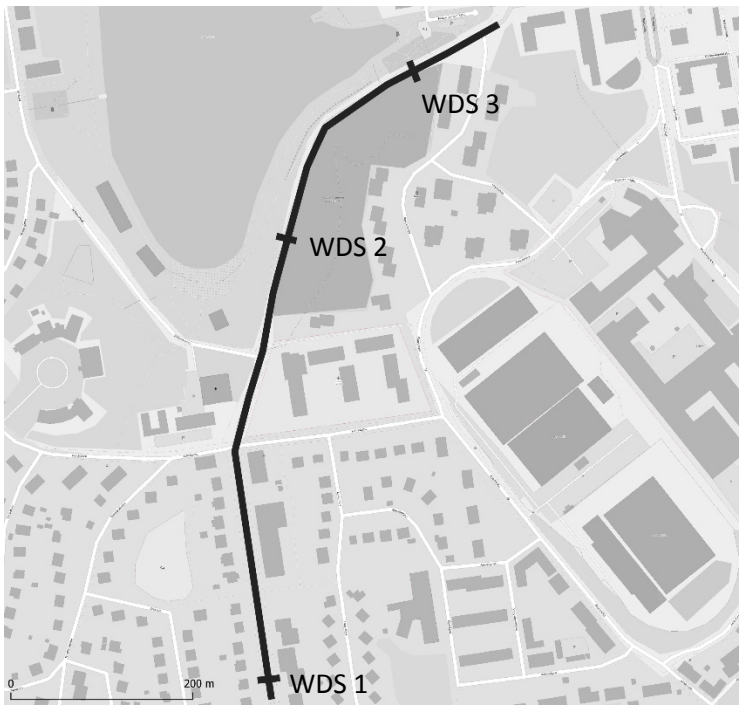
Testin tarkoituksena oli selvittää, kuinka tehokkaasti täysin vedetön, keräävä lakaisulaite (Snowek Trombia (Snowek Oy 2020), Kuva 54) pystyy vähentämään tienpinnasta suspendoituvaa PM_{10}-kokoluokan pölyä sekä kokonaispölykuormaa. Laite poikkeaa vastaavista keräävistä harjalaitteista siten, että rakenne on suljettu. Kerätty pöly suodatetaan syklonien avulla roskasäiliön pohjalle, ja puhdistettu ilma puhalletaan takaisin tienpintaan. Suodatuksen ja suljetun rakenteen on tarkoitus estää puhdistuksen aikana nousevan pölyn leviämistä ympäristöön. Mittaukset suoritettiin maaliskuussa 2019 Kuopiossa Alahovintiellä ja Siikaniemenkadulla (Kuva 55).

Kuva 54. Vedetön, keräävä lakaisulaite Snowek Trombia pesutestissä Kuopiossa. (Kuva: Sami Kulovuori)

PM_{10}-pitoisuudet tien pinnasta mitattiin Vectralla ja Nuuskijalla ennen ja jälkeen pesutapahtuman. Mittausnopeus oli 30 km/h ja mittauskierroksia ajettiin viisi, jotta saatiin kerättyä riittävästi datapisteitä pestyn kadun matkalta. Molempien mittausajoneuvojen osalta tulokset on esitetty DustTrak PM_{10}-pitoisuuksina.

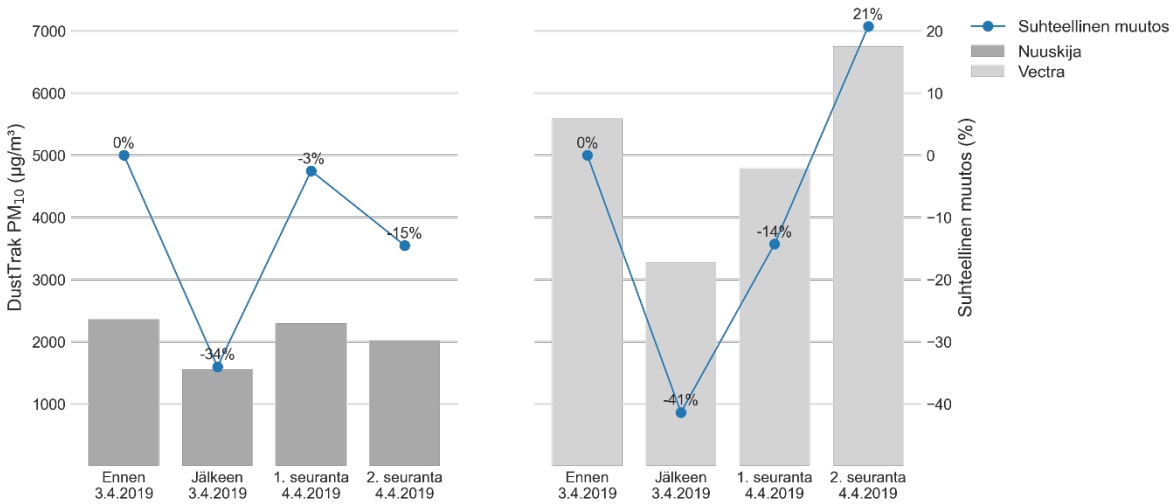
Ensimmäinen seurantamittaus suoritettiin heti pesutapahtuman jälkeen, sillä toisin kuin vettä käyttävien lakaisukoneiden kanssa, vedettömän lakaisukoneen pesujäljen kuivumista ei tarvitse odottaa. Seurantaa suoritettiin lisäksi pesutapahtumaa seuraavana päivänä: ensimmäinen seurantamittaus tehtiin kummallakin ajoneuvolla noin klo 10 aamupäivällä, ja toinen seurantamittaus iltapäivällä Vectralla noin klo 14 ja Nuuskijalla noin klo 19.

WDS-mittaukset suoritettiin kolmessa eri kohdassa, jotka on merkattu karttaan Kuvaan 55. Kaikissa kolmessa kohdassa otettiin näyteprofiili ennen ja jälkeen puhdistustoimenpiteen.



Kuva 55. Snowek Trombia -pesulaitteen testialue Kuopiossa (Alahovintie ja Siikaniemenkatu) sekä WDS-mittauspaikat (poikkiviivat).

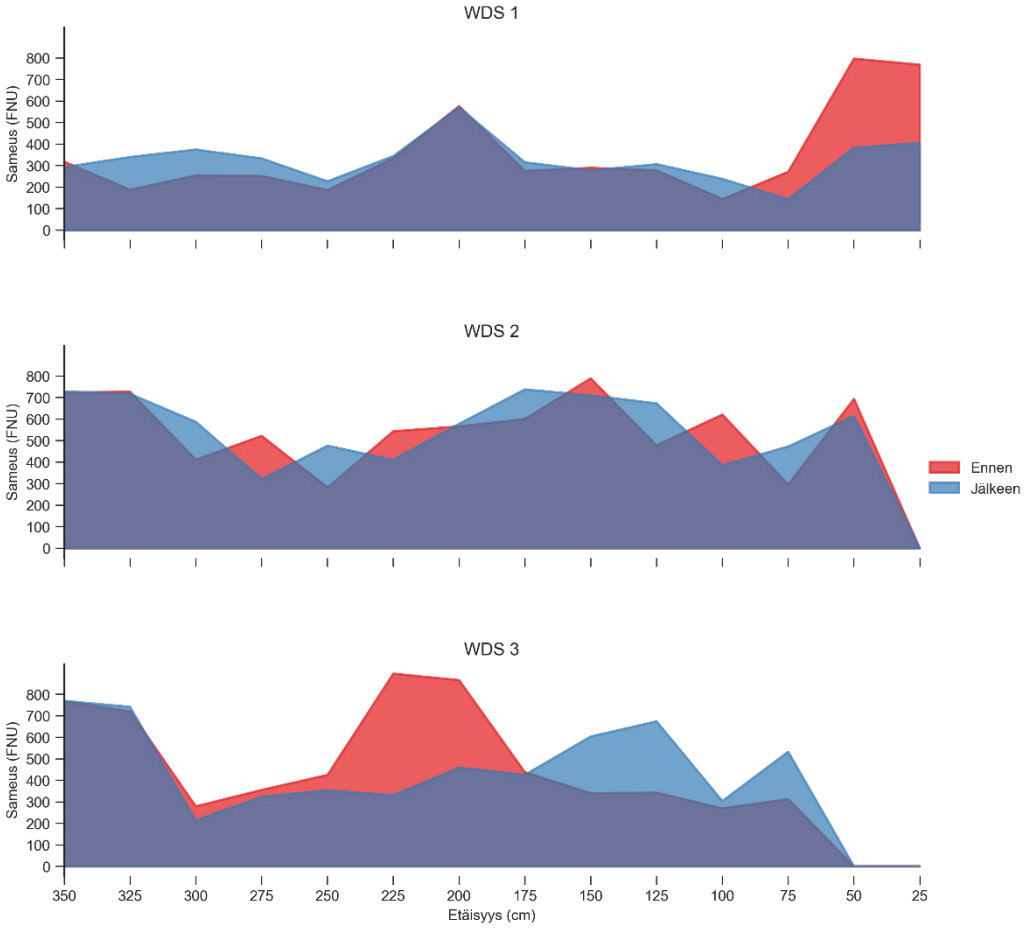
Kuvassa 56 on esitetty Nuuskijan ja Vectran mittaamat PM_{10}-pitoisuudet ennen ja jälkeen pesutapahtuman sekä pitoisuuksien suhteellinen muutos alkutilanteeseen nähden. Kummallakin ajoneuvolla on havaittavissa pitoisuuksien lasku (Nuuskijalla 34 % ja Vectralla 41 %) heti puhdistuksen jälkeen. Myös tienpinnan silmämääräinen tarkastelu osoitti, että laite poisti tien pinnalta karkean hiekoitusmateriaalin tehokkaasti. Tuloksista kuitenkin huomataan myös se, että pitoisuudet nousevat takaisin lähelle lähtötasoa seuraavana päivänä. Nuuskijan viimeisessä seuranatamittauksessa pitoisuus on noussut yli lähtötason.



Kuva 56. Nuuskijan (vasen) ja Vectran (oikea) mittaamien PM_{10}-päästöjen absoluuttiset (palkit, vasen pystyakseli) ja suhteelliset (viiva, oikea pystyakseli) muutokset ennen ja jälkeen pesun Snowek Trombi-alla. 1. ja 2. seuranta on tehty pesua seuraavana päivänä.

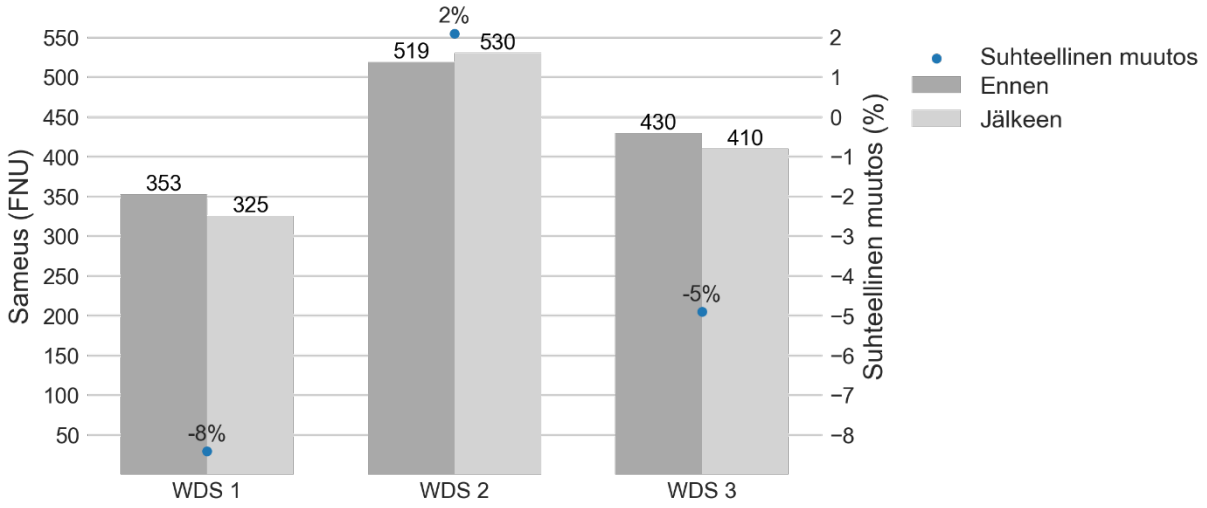
WDS-näytteitä kerättiin 25 cm:n välein kanttikivestä kadun keskiviivaan. WDS-tuloksia tarkasteltaessa (Kuva 57) huomataan, että pesulaite onnistuu poistamaan pölykuormaa vain satunnaisesti joistain kohdista ajoradalta. FNU-arvo (sameus) on laskenut kaistan reunassa lähellä piennarta (ylin kuvaaja, mittauspaikka WDS1) sekä paikoittain kaistan keskiosassa (rengasurien välissä) (alin kuvaaja, mittauspaikka WDS3).

Toisaalta WDS-tulokset viittaavat siihen, että pölyä on saattanut siirtyä likaisemmilta alueilta puhtaammille, sillä joissain kohtaa ajorataa WDS:llä mitattu pölykuorma on kasvanut. WDS-laitteen käyttämä korkeapainehuuhtelu voi myös jossain määrin vapauttaa tienpinnan huokosiin, puhdistuslaitteen ulottumattomiin, varastoitunutta hienoa pölyainesta ja laskea tämän mukaan tuloksiin. Erityisesti vedettömän pesulaitteen kohdalla nousee esiin kysymys siitä, miten hyvin pesulaite pystyy poistamaan pölyä myös päällysteen huokosista.



Kuva 57. WDS-mittalaitteella mitattu FNU-arvo ennen ja jälkeen pesutapahtuman Kuopiossa Snowek Trombia -testissä. Vaaka-akselilla on etäisyys kanttikivestä.

Suurin keskimääräinen pölykuorma (WDS-profiilin kaikkien näytteiden keskiarvo) mitattiin mittauspaikassa WDS2, jossa FNU-arvon suhteellinen muutos kasvoi 2 % puhdistuksen jälkeen. FNU-arvo laski mittauspaikassa WDS1 8 % ja mittauspaikassa WDS3 5 %. Keskimäärin mittausten perusteella pölykuorma laski n. 4 % (Kuva 58).



Kuva 58. Keskimääräinen sameuden (FNU) muutos WDS:llä mitattuna kolmessa kohtaa testialuetta (Snowek Trombia -testi), ennen ja jälkeen lakaisun.

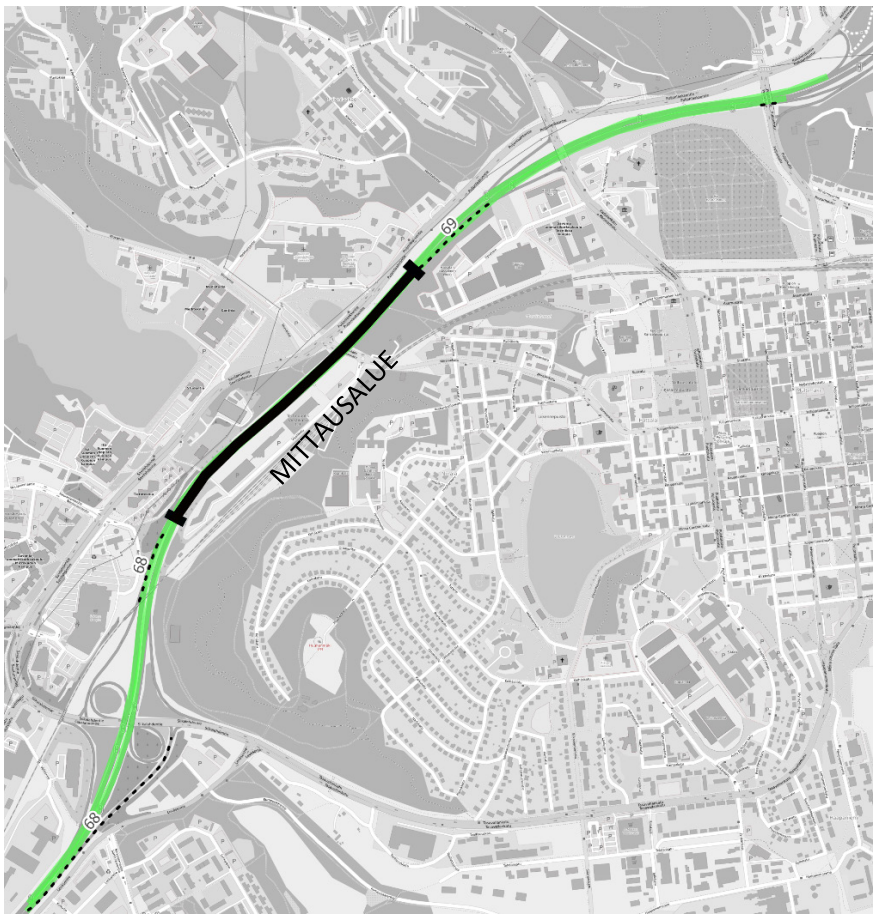
3.6.3 Pääväylän piennaralueen pesun vaikutus pääväylän pölyämiseen, Vt5 Kuopio

Testin tarkoituksena oli selvittää (1) miten pääväylän piennaralueiden pesu vaikuttaa pääväylän pölyämiseen sekä (2) selvittää, saadaanko pääväylän pientareilla olevaa pölykuormaa vähennettyä tehokkaasti painehuuhtelumenetelmällä. Mittaukset suoritettiin Kuopiossa Valtatie 5:llä välillä Särkiniemi–Kellolahti (Liittymät 68 ja 70) huhtikuussa 2020. Mittaukset suoritettiin mittausajoneuvolla (Vectra) ja WDS-laitteella ennen ja jälkeen pesutapahtuman.

Alueiden pesu suoritettiin korkeapainepesuna pesukammallisella tankkiautolla yöaikaan, jolloin puhdistustoiminnasta on vähiten haittaa muulle liikenteelle. Pesuun sisältyi leveiden ulkopientareiden pesu sekä ohituskaistan kapean pientareen pesu. Myös liittymien rampit pestiin edellä kuvatulla tavalla. Ajokaistoja ei pesty.

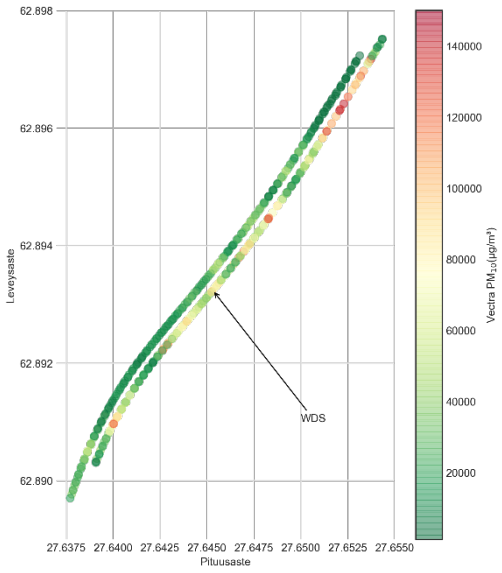
Vectralla mitattiin oikealla ja vasemmalla kaistalla sekä piennaralueella kolme edestakaista kierrosta. Mittaukset suoritettiin ajonopeudella 80 km/h, paitsi piennaralueella, jossa mittausnopeus oli 60 km/h. Lähtöpitoisuus mitattiin samana päivänä ennen puhdistusta ja puhdistuksen vaikutus seuraavana päivänä puhdistuksen jälkeen. Mitattu ja puhdistettu alue on esitetty Kuvan 59 kartassa.

WDS-näytteet kerättiin vain pohjoiseen päin menevän ajoradan piennaralueelta. Näytteitä kerättiin yhteensä kahdeksan (neljä ennen ja neljä jälkeen pesun) 50 cm:n välein sulkuviivasta laskettuna ajoradan reunaa kohti.

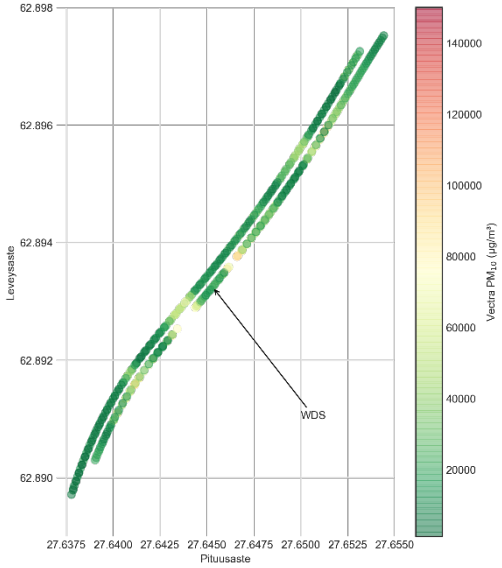


Kuva 59. Pääväylän piennaralueen pesu. Mittausalue, jolta data kerätty on merkattu mustalla. Puhdistetut alueet mittausalueen molemmin puolin on alueet, joilla pesu suoritettiin. Liittymät on havainnollistettu katkoviivalla.

Piennaralueilta mitatut PM_{10}-pitoisuudet olivat moninkertaiset verrattuna ajokaistoilla mitattuihin pitoisuuksiin (Liite D, Taulukko D 1). Vasen kaista (ohituskaista) oli noin kaksi kertaa likaisempi kuin oikea kaista. Ilmiö voi osittain selittyä oikean kaistan korkeammalla käyttöasteella; kaista puhdistuu ja pysyy puhtaampana kuin vasen kaista (ohituskaista) ajoneuvojen ilmavirran ja renkaiden nostaessa pölyä ilmaan. Valtatie 5:n vasemmanpuoleisen ”likaisemman kaistan” pitoisuudet olivat keskimäärin samoja kuin Kuopion kaupunkireitin kaduilla samaan aikaan huhtikuussa mitatut (Kuva 29). Moottoritien oikealla kaistalla mitatut pitoisuudet olivat vain noin puolet tästä. Kuvissa 60–61 on esitetty pisteinä Vectralla mitatut PM_{10} -pitoisuudet piennaralueella ennen (Kuva 60) ja jälkeen (Kuva 61) pesutapahtuman. Ennen pesua havaitaan paikoittain erittäin korkeita PM_{10}-pitoisuuksia, kun taas pesun jälkeen pitoisuudet ovat laskeneet ja yksittäisiä korkeita PM_{10}-pitoisuuksia on selvästi vähemmän.

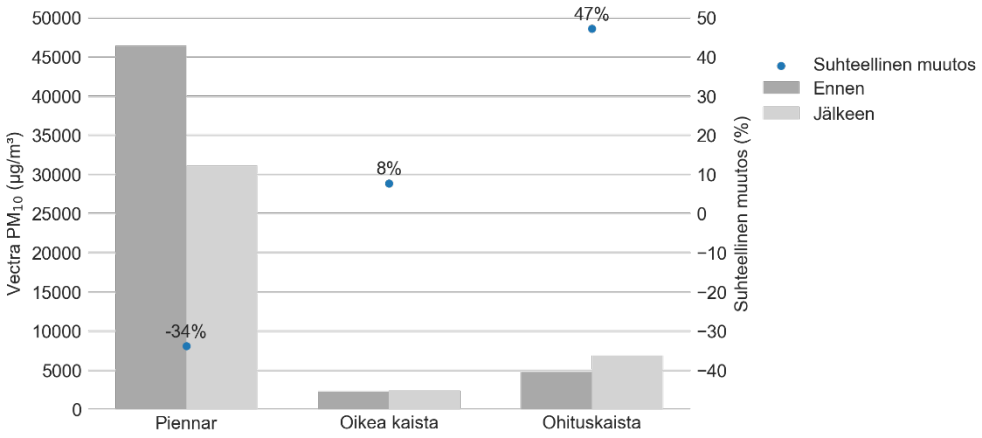


Kuva 60. PM_{10}-pitoisuus pientareella (Vt5, Kuopio) ennen pesua Vectralla (DustTrak) mitattuna. Kuvassa vasemmanpuoleiset pisteet ovat piennar etelän suuntaan ja oikeanpuoleiset pisteet piennar pohjoisen suuntaan. Kuvaan on merkitty myös WDS-näytteenottopaikka.



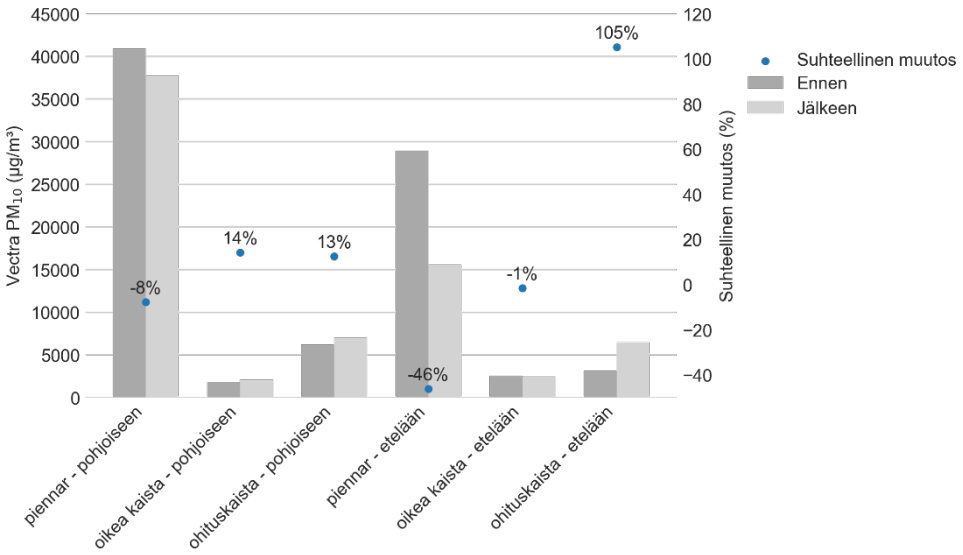
Kuva 61. PM_{10}-pitoisuus pientareella (Vt5, Kuopio) pesun jälkeen Vectralla (DustTrak) mitattuna. Kuvassa vasemmanpuoleiset pisteet ovat piennar etelän suuntaan ja oikeanpuoleiset pisteet piennar pohjoisen suuntaan. Kuvaan on merkitty myös WDS-näytteenottopaikka.

Kuvassa 62 on esitetty kaistakohtaiset keskiarvot sekä pitoisuuksien muutos prosentteina eri kaistoilla ja pientareella. Kuvasta huomataan, että piennaralueella Vectralla mitattu PM_{10}-pitoisuus laski pesun ansioista 34 %. Ajokaistoilla pitoisuudet sen sijaan nousivat 8 % (oikealla kaistalla) ja 47 % (vasemmalla kaistalla). Pitoisuuksien nousu saattaa osoittaa sen, ettei pesulla ole saatu poistettua pölyä tieympäristöstä vaan se on kulkeutunut muualle lähiympäristöön. Painepesu saattaa myös irrottaa jo aiemmin sitoutunutta pölyä tien pinnasta ja rakenteista, jolloin se nousee helpommin renkaiden ja ilmavirran vaikutuksesta ilmaan.



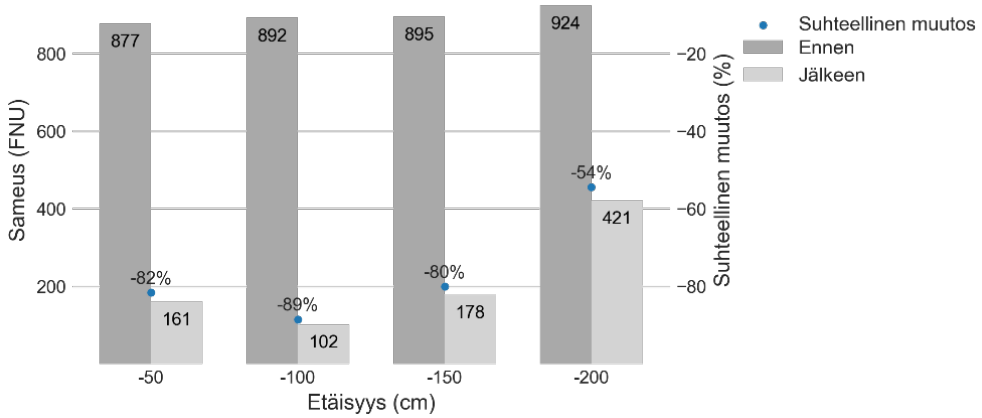
Kuva 62. PM_{10}-pitoisuuksien (Vectra, DustTrak) keskiarvo kaistoittain ja pitoisuuden suhteellinen muutos.

Kuvassa 63 on esitetty suhteelliset muutokset PM_{10}-pitoisuudessa (Vectra, DustTrak) eri kaistoilla ja pientareilla suuntakohtaisesti. Kuvasta huomataan, että pientareella pitoisuudet laskivat etelän suuntaan ajettaessa 46 % ja pohjoisen suuntaan ajettaessa 8 %. Pientareet pestiin ja mitattiin samoin molempiin suuntiin. Ainoa ulkoinen selittävä tekijä suuntien väliselle erolle pesutuloksessa voisi löytyä tien profiilista: pohjoiseen ajettaessa ajetaan loivaan ylämäkeen. Korkeapainehuuhtelu on tehty loivaan ylämäkeen, samoin kuin mittaukset. Muilla kaistoilla suhteelliset muutokset alkupitoisuuksiin olivat pieniä. Etelänsuuntaisella ohituskaistalla mitattu pitoisuus oli kaksinkertainen lähtötilanteeseen verrattuna, mikä voi olla seurausta edellisessä kappaleessa mainitusta pölyn uudelleen jakautumisesta tieympäristössä.



Kuva 63. PM_{10}-pitoisuuksien keskiarvot (Vectra, DustTrak) kaista- sekä ajosuuntakohtaisesti sekä pitoisuuksien suhteellinen muutos ennen ja jälkeen pesutapahtuman.

Kuvassa 64 on esitetty pölykuorman muutos, eli WDS-näytteistä mitatut FNU-arvot pientareella ennen ja jälkeen pesun. Kuvasta huomataan, että piennar oli lähtötilanteessa kauttaaltaan tasaisen likainen ja puhdistuksen jälkeen näytteiden sameusarvot pienenivät merkittävästi. Näköhavainnon perusteella pientareella oli ennen pesua tasainen kerros hienoa pölyä, joka pesutapahtuman jälkeen poistui kohtalaisen tehokkaasti. Mittaustulokset tukevat havaintoa.



Kuva 64. Sameuden (FNU) muutos WDS:llä mitattuna pohjoisen suuntaan menevällä pientareella (Vt5 pesutesti) ennen ja jälkeen pesun. Etäisyys (vaaka-akseli) on mitattu sulkuviivasta (0 cm) ajoradan reunaa kohti.

Vectra- ja WDS-mittausten tulokset osoittavat, että kyseisellä puhdistustoimenpiteellä voidaan vähentää ajoradan piennaralueiden kokonaispölykuormaa sekä vähentää pientareelta mitattavaa PM_{10}-pitoisuutta. Toisaalta kahden piennaralueen toisistaan eroavat tulokset voivat viitata myös siihen, että alueen kokonaispölymäärässä ei ole tapahtunut muutosta vaan pöly on jossain määrin uudelleen jakautunut tieympäristössä. Puhdistuksella ei mittaustulosten perusteella ollut vaikutusta ajokaistoilta mitattuihin jo valmiiksi mataliin PM_{10}-pitoisuuksiin.

Näköhavaintojen perusteella piennar puhdistui huomattavasti, mutta pientareelle jäi vielä paikoittain runsaastikin hienoa pölyä, mitä ei yhdellä pesulla saatu poistettua. Liittymistä sekä alueilta, joissa ajoneuvot ”oikaisevat” omalle kaistalleen, saattaa hetkellisesti nousta ilmaan suuria määriä pinnoille kerääntynyttä pölyä ajoneuvojen ja ilmavirran vaikutuksesta. Ajoneuvojen mukana pölyä saattaa myös kulkeutua ja levitä uudelleen likaisemmilta alueilta jo puhdistetuille alueille.

3.6.4 Modernien imulakaisulaitteistojen ja pesumenetelmien vertailu, Koisotie Vantaa

Testin tarkoitus oli selvittää kolmen erilaisen takapesupalkilla varustetun pesevän imulakaisukoneen puhdistustehokkuutta katupölyn näkökulmasta. Kaikilla laitteistoilla on mahdollista käyttää puhdistuksessa joko kastelua ja siihen yhdistettyä imulakaisua (harjaus ja syntyvän lietteen imu), takapesupalkkia tai edellä mainittujen yhdistelmää. Kuvassa 65 vasemmalla näkyy imulakaisulaitteen painevesisuuttimet ja harja, oikealla takapesupalkki. Kaksi testatuista laitteista käytti kasteluun korkeapainehuuhtelua ja yksi normaalia kastelua, ensin mainituista käytetään lyhennettä PIMU (pesevä imulakaisuauto).

Mittaukset suoritettiin suljetulla alueella Vantaan Koisotien lumenvastaanottopaikalla 25.5.2020. Alueelle rajattiin 6 kpl 100 m pitkiä ja 4 m leveitä ratoja (Kuva 66). Rata-alue valmisteltiin harjaamalla talven aikana kertynyt materiaali (roskat ja hiekkakeot) pois, jonka jälkeen rata-alueelle levitettiin tasainen kerros seulomatonta hiekoitusmateriaalia (n. 100 g/m^2) hiekanlevittimellä.

Jokaisella laitteella pestiin kaksi rataa, joista toinen imulakaisten (kastelu, harjaus, imu) ja toinen käyttäen ainoastaan laitteen takapesupalkkia (painehuuhtelu ja imu) (Taulukko 5). Radan 1 pesi laite, joka ei käyttänyt painehuuhtelua vaan kastelua (perinteinen imulakaisu), kun taas radoilla 3 ja 5 imulakaisussa käytettiin painehuuhtelua (PIMU). Jokainen laite pesi radan kertaalleen. Kuvassa 66 esitetyistä radoista parittomat (1, 3 ja 5) on pesty imulakaisuna ja parilliset radat (2, 4, 6) on pesty takapesupalkilla.

Taulukko 5. Koisotien pesutestissä käytetyt pesumenetelmät.

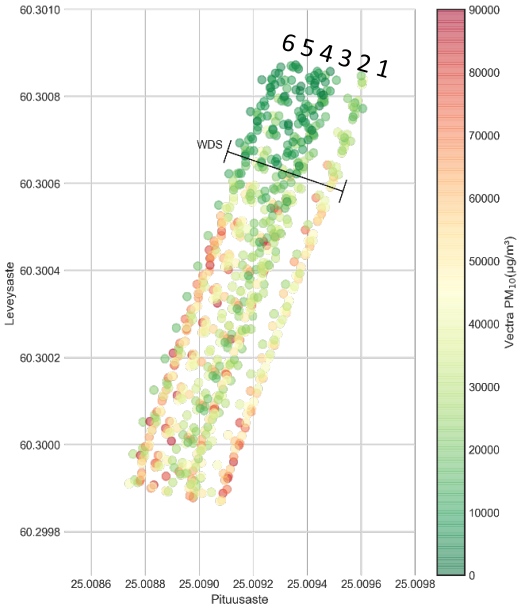
Radan numero	Laite ja pesumenetelmä	Pesumenetelmän kuvaus
1	Laite 1: imulakaisu	kastelu, harjaus, imu (perinteinen imulakaisu)
2	Laite 1: takapesupalkki	painehuuhtelu takapesupalkilla ja imu
3	Laite 2: PIMU	painehuuhtelu, harjaus, imu (PIMU-lakaisu)
4	Laite 2: takapesupalkki	painehuuhtelu takapesupalkilla ja imu
5	Laite 3: PIMU	painehuuhtelu, harjaus, imu (PIMU-lakaisu)
6	Laite 3: takapesupalkki	painehuuhtelu takapesupalkilla ja imu

Kuva 65. Koisotien pesulaitetestissä radat pestiin imulakaisumenetelmällä (vas.) tai pesuauton takapesupalkkia (oik.) käyttäen. (Kuvat: Sami Kulovuori)

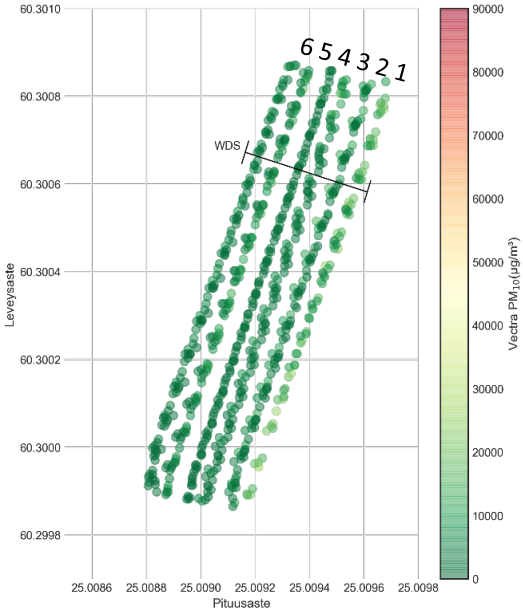
PM_{10}-pitoisuuden mittaamisen käytettiin Nuuskijaa ja Vectraa, ja pölykuorman mittaamiseen WDS-laitetta. Mittausajoneuvot mittasivat jokaisen radan 10 kertaa ennen ja jälkeen pesutapahtuman. Mittausajoneuvojen tavoitenopeus oli 30 km/h. WDS-näyteprofiili kerättiin jokaiselta radalta (näytteet 25 cm:n välein) ennen ja jälkeen pesutapahtumien. Pesun jälkeen suoritetut mittaukset ajoneuvoilla ja WDS-laitteella tehtiin n. 80 minuuttia pesutapahtuman jälkeen, jolloin radat olivat silmämääräisesti tarkasteltuna kuivuneet.

Kuva 66. Keiloin merkityt radat eri pesulaitteille ja -menetelmille Koisotien kentällä.

Seuraavissa kuvissa on esitetty Vectralla mitatut datapisteet ennen (Kuva 67) ja jälkeen (Kuva 68) pesutapahtuman. Kuvat havainnollistavat värein PM_{10}-pitoisuuden vaihtelun rata-alueella. Ennen pesua PM_{10}-pitoisuudet olivat rata-alueella paikoittain korkeita ja rata-alue on yleisesti likainen (pisteet keltaisesta punaiseen). Pesun jälkeen rata-alueella mitatut pitoisuudet ovat pesutavasta riippumatta yleisesti laskeneet. Mittauspisteiden lukumäärät sekä ratakohtaiset keskiarvot (ja muita tunnuslukuja) on esitetty Liitteessä D (taulukko D 3).

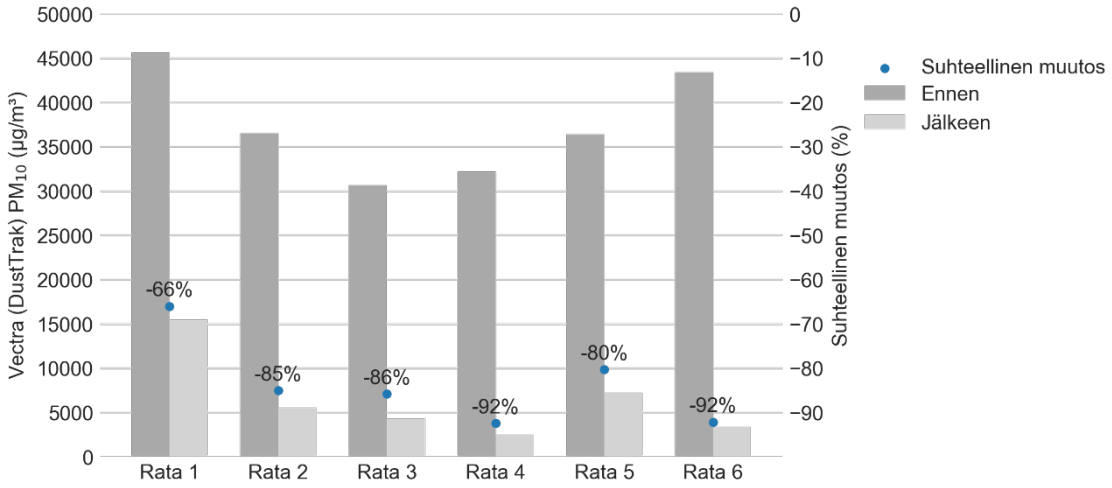


Kuva 67. PM_{10}-pitoisuus rata-alueella ennen pesua Vectralla (DustTrak) mitattuna. Kuvassa myös WDS -näytteenottopaikka.



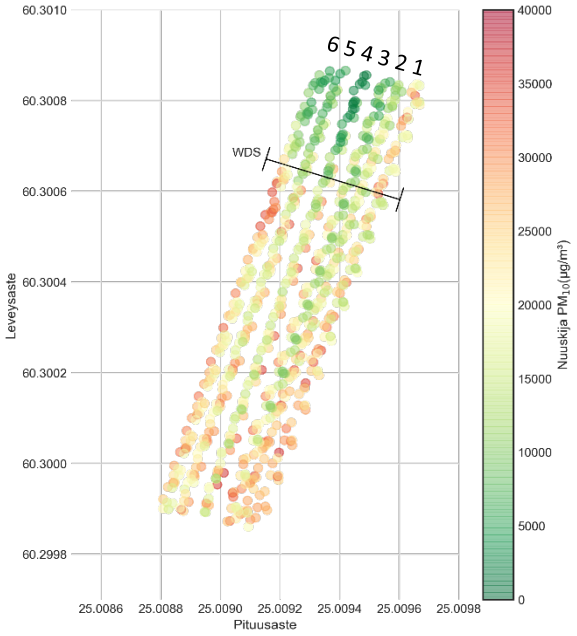
Kuva 68. PM_{10}-pitoisuus rata-alueella pesun jälkeen Vectralla (DustTrak) mitattuna. Kuvassa myös WDS-näytteenottopaikka.

Kuvassa 69 on esitetty ratakohtaiset Vectralla mitattujen PM_{10}-pitoisuuksien keskiarvot sekä muutos prosentteina ennen ja jälkeen pesun. PM_{10}-pitoisuus laski merkittävästi jokaisella radalla, eniten takapesupalkilla pestyillä radoilla. Takapesupalkilla pestyillä radoilla pitoisuudet laskivat keskimäärin 90 % (radat 2, 4 ja 6), PIMU-pesulla 83 % (radat 3 ja 5) sekä tavallisella imulakaisulla 66 % (rata 1).

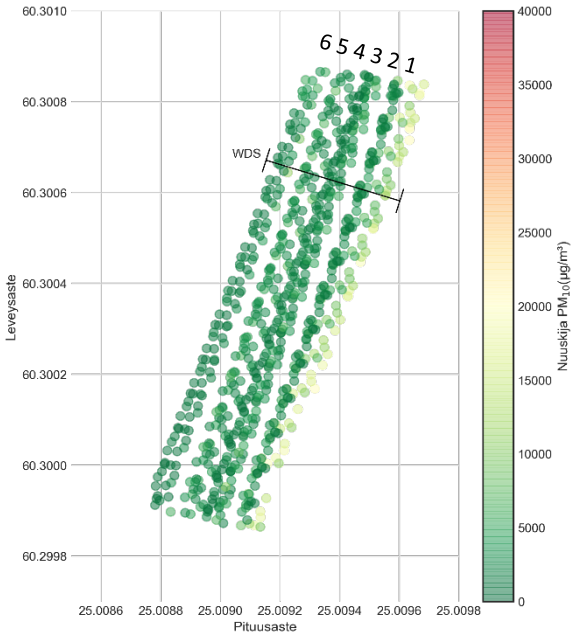


Kuva 69. PM_{10}-pitoisuuksien keskiarvo Vectralla (DustTrak) mitattuna eri radoilla ja pitoisuuden suhteellinen muutos prosentteina (%) ennen ja jälkeen pesutapahtuman.

Seuraavissa kuvissa on esitetty pistekohtaisesti Nuuskijalla mitattu PM_{10}-pitoisuus (DustTrak) rata-alueella ennen (Kuva 70) ja jälkeen (Kuva 71) pesutapahtuman. Ennen pesua rata-alue on kokonaisuudessaan kohtalaisen likainen. Kuvista nähdään, että pesutavasta riippumatta myös Nuuskijalla mitattu PM_{10}-pitoisuus on pesun myötä laskenut huomattavasti. Pitoisuudet radalla 1 eivät ole laskeneet yhtä paljon kuin muilla radoilla. Mittauspisteiden lukumäärät sekä ratakohtaiset keskiarvot (ja muita tunnuslukuja) on esitetty Liitteessä D (Taulukko D 3).



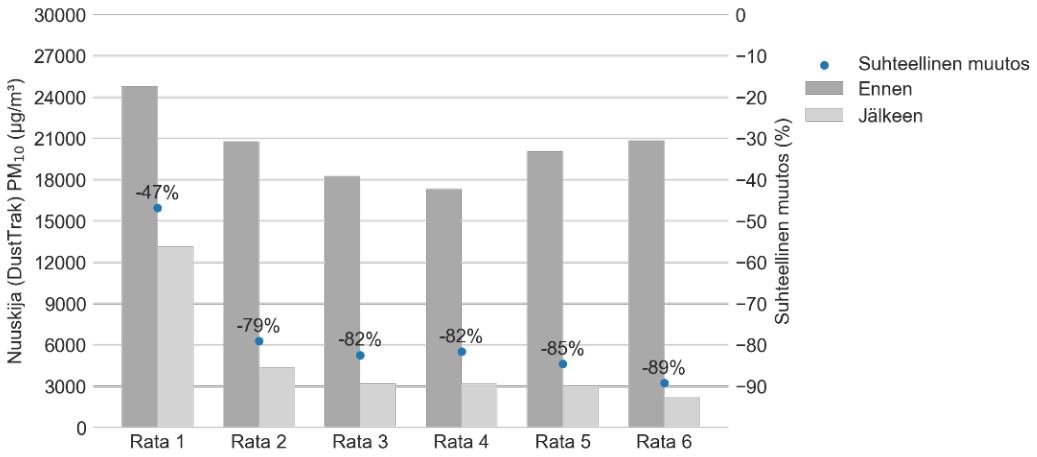
Kuva 70. PM_{10} -pitoisuus rata-alueella ennen pesua Nuuskijalla (DustTrak) mitattuna. Kuvassa myös WDS -näytteenottopaikka.



Kuva 71. PM_{10}-pitoisuus rata-alueella pesun jälkeen Nuuskijalla (DustTrak) mitattuna. Kuvassa myös WDS-näytteenottopaikka.

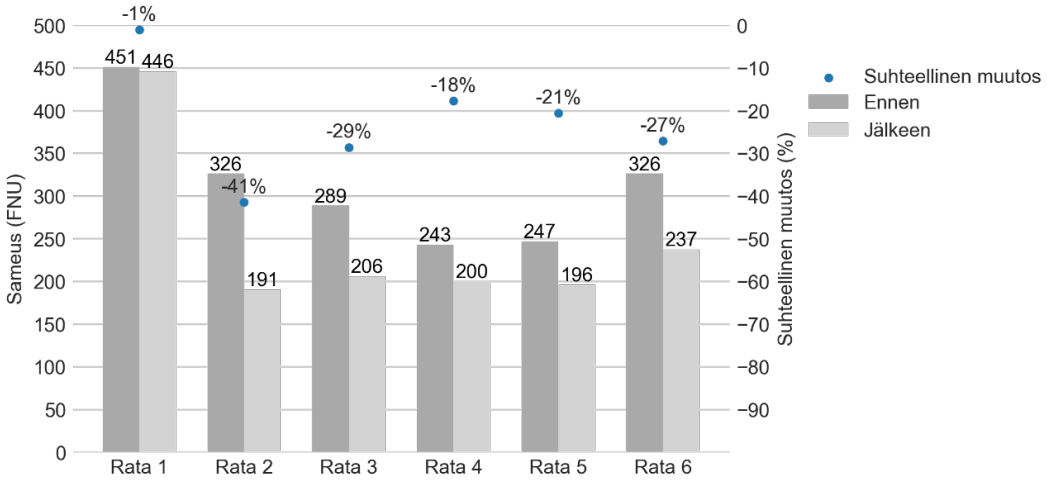
Kuvassa 72 on esitetty ratakohtaiset keskiarvot sekä pitoisuuksien muutos prosentteina ennen ja jälkeen pesun Nuuskijalla (DustTrak) mitattuna. Myös Nuuskijalla mitattuna PM_{10}-pitoisuus laski merkittävästi jokaisella radalla. Takapesupalkki ja PIMU-pesu osoittautuvat imulakaisua tehokkaammiksi tavoiksi pölyn poistossa.

Takapesupalkilla pestyillä radoilla pitoisuudet laskivat keskimäärin 83 % (radat 2, 4 ja 6), PIMU-pesulla 84 % (radat 3 ja 5) sekä tavallisella imulakaisulla 47 % (rata 1). Nuuskija-mittauksissa takapesupalkin ja PIMU-pesun välinen ero ei nouse yhtä selvästi esiin kuin Vectralla mitatuissa tuloksissa.



Kuva 72. PM_{10}-pitoisuuksien keskiarvo eri radoilla Nuuskijalla (DustTrak) mitattuna ja pitoisuuden suhteellinen muutos ennen ja jälkeen pesutapahtuman.

WDS-näytteenotto suoritettiin keräämällä näytteitä 25 cm:n välein jokaiselta radalta ennen ja jälkeen pesutapahtuman. Kuvasta 73 huomataan, että radoilla 2, 4 ja 6, joiden puhdistuksessa käytettiin takapesupalkkia, pölykuorma on laskenut keskimäärin enemmän (41 %, 18 % ja 27 %) kuin radoilla 1, 3 ja 5, joissa käytössä oli tavallinen imulakaisu (1 %) tai PIMU-pesu (29 % ja 21 %). Radalla 1 pölykuorma ei ole merkittävästi muuttunut pesutapahtuman myötä, vaikka karkea materiaali (hiekoitusmateriaali) silmämääräisesti hävisikin radalta.



Kuva 73. WDS-näytteistä mitatun sameuden (FNU) keskiarvot kullakin radalla, ja sameusarvon suhteellinen muutos prosentteina (%) ennen ja jälkeen pesun.

Vectralla, Nuuskijalla ja WDS-mittalaitteella saadut tulokset osoittavat, että pesutavasta riippumatta kadun pesulla on vaikutusta kadun pinnalta mitattavaan pölykuormaan (WDS) sekä ajoneuvojen tien pinnasta nostattamaan PM_{10}-päästöön.

3.7 Johtopäätökset pesulaitteistojen ja pesumenetelmien testeistä

Kadut puhdistuvat keväisin luonnostaan sateiden ja ilmavirtojen vaikutuksesta, kun pölyä ei synny lisää tai kulkeudu kohteeseen lisää muualta. Pesulla nopeutetaan puhdistumista. Vaikka tavoitteena olisi pääsääntöisesti valita joka tilanteessa tehokkain tapa poistaa kaduilta pölyä, pesutavan ja -laitteen valintaan vaikuttaa lisäksi ainakin kohteen saavutettavuus eri pesulaitteilla (kanttikivetykset yms.), mahdollisuus käyttää vettä (ei yöpakkasten aikaan), ajankäyttö ja kustannukset.

Useissa katupölyprojekteissa on päädytty pesulaitetestien myötä samaan johtopäätökseen siitä, että pesutehokkuus on sitä parempi, mitä likaisempaa pintaa pestään. Kyseinen johtopäätös kannustaa ryhtymään puhdistustoimenpiteisiin mahdollisimman aikaisin keväällä.

Tikkurilantiellä 2019 tehdyssä pesutestissä, jossa testattiin Beam-laitteen kahta eri pesutapaa: PIMU-pesua (painepesu ja imu) ja pesua niin sanotulla takapesupalkilla, lähtöpitoisuudet olivat suhteellisen matalia ja lisäksi erosivat huomattavasti toisistaan eri kaistoilla ja eri pesumenetelmille. Pesutapojen välillä ei havaittu testissä merkittävää eroa. Tämän lisäksi pitoisuudet muuttuivat myös puhdistamattomilla referenssialueilla, mikä hankaloitti tulosten tulkintaa entisestään.

Kuopiossa 2019 testattu Snowek Trombia (Snowek Oy 2020) eroaa aikaisemmissa suomalaisissa katupölyhankkeissa testatuista pesumenetelmistä siten, että laite ei käytä lainkaan vettä. Vedetön puhdistusmenetelmä poisti tehokkaasti tienpinnalta näkyvän karkean materiaalin ja vähensi pölykuormaa alueilta, joissa pölykuorma oli ennen pesua korkea. PM_{10}-suspensiopäästöjen lasku oli kuitenkin vain hetkellistä ja pitoisuudet nousivat takaisin ennen pesua mitatulle tasolle. WDS-tulosten (pölykuorma) perusteella näyttää siltä, että laite on jossain määrin siirtänyt pölyä likaisemmilta alueilta puhtaammille. Vedetön pesu mahdollistaa harjauksen ja puhdistuksen myös silloin, kun esimerkiksi yöpakkasten vuoksi vesipesuja ei voida vielä aloittaa. Muun muassa tämän vuoksi vaihtoehtoisen puhdistustavan kehittäminen perinteisemmälle vettä käyttävälle pesulle on varteenotettava kehityssuunta, kunhan puhdistustehokkuudessa kiinnitetään huomiota myös PM-kokoluokan pölyn poistoon.

Aikaisemmissa katupölytutkimushankkeissa on todettu, että runsas vesipesu/painehuuhtelu on tehokas tapa poistaa hengitettävän kokoluokan pölyä (PM_{10}) pinnoilta, etenkin yhdistettynä esim. harjaukseen tai imulakaisuun. Vt5:lla Kuopiossa keväällä 2020 toteutetussa pääväylän piennaralueen pesutestissä huomattiin, että pelkällä korkeapainehuuhtelulla pystytään laskemaan piennaralueen pölykuormaa ja vähentämään alueelta mitattavia suspensiopäästöjä. Toisaalta kahden piennaralueen toisistaan eroavat tulokset voivat viitata siihen, että alueen kokonaispölymäärässä ei ole tapahtunut merkittävää muutosta vaan pöly on jossain määrin uudelleenjakautunut tieympäristössä. Pölyä on myös saattanut kulkeutua ajoneuvojen mukana likaisemmilta alueilta, kuten liittymistä, jo puhdistetuille alueille. Piennaralueiden huuhtelulla ei mittaustulosten perusteella ollut vaikutusta ajokaistoilta mitattuihin, jo valmiiksi mataliin PM_{10}-pitoisuuksiin.

Vantaan Koisotien kentällä 2020 tehtiin KALPA-hankkeen laajin pesulaitetesti: mukana oli kolme laitetta ja kolme eri pesumenetelmää. Silmämääräisesti arvioiden kaikki testatut pesumenetelmät keräsivät tehokkaasti karkean materiaalin pinnoilta. Imulakaisu yhdistettynä korkeapainehuuhteluun osoittautui testeissä tehokkaammaksi tavaksi vähentää pölykuormaa verrattuna perinteisellä imulakaisulla suoritettuun puhdistukseen (pelkkä kastelu), jolla ei mitattu havaittavia eroja ennen ja jälkeen pesutapahtuman.

Pesu takapesupalkilla osoittautui PIMU-pesun kanssa kutakuinkin yhtä tehokkaaksi keinoksi vähentää tienpinnan pölykuormaa sekä PM_{10}-resuspensiopäästöjä heti pesutapahtuman jälkeen. Puhdistustapojen pitkäaikaisia vaikutuksia ei seurattu testeissä. Takapesupalkki myös nopeutti pesua. Takapesupalkilla ei kuitenkaan päästä pesemään esimerkiksi kanttikiven reunaan varastoitunutta pöly samalla tavalla kuin pesuautosta ulkonevalla harjalla.

Kahden eri mittausmenetelmän rinnakkaisen käytön edut nousevat esiin erityisesti pesulaitetestien kohdalla. WDS-menetelmällä saadaan tietoa pölyn jakautumisesta katuympäristössä ja edellä kuvattujen testien yhteydessä WDS-tulosten avulla oli mahdollista arvioida, minkä verran pölyä oli poistettu, ja missä määrin pölyä oli mahdollisesti vain siirtynyt paikasta toiseen. WDS-menetelmä ei myöskään ole altis pinnan- tai ilmankosteuden vaikutukselle vaan sillä voidaan mitata pölytason muutos vaikka välittömästi pesun jälkeen. Tätä ennen ympäristötekijöiden vaikutukseen on pyritty pääsemään käsiksi käyttämällä nk. referenssialueita. Nuuskijan (ja Vectran) mittaustapa mahdollistaa pesutuloksen seurannan pidemmältä katuosuudelta.

3.8 Talvirenkaiden pölyvaikutus – mittausmenetelmät vertailussa

KALPA-hankkeessa on mitattu nastarenkaiden PM_{10}-päästöä niin sanotuissa ”onroad”-mittauksissa erotuksena laboratorio-olosuhteissa tehtyihin päästömittauksiin. Onroad-mittaukset on tehty todellisessa liikenneympäristössä ja niin, että mitattava rengas on asennettuna mittausajoneuvoon. KALPA-hankkeessa mittausajoneuvona on toiminut henkilöauto Vectra, jonka renkaan takaa mitattu päästö tallennetaan DustTrak-monitoreilla (tarkemmin menetelmäkappaleessa 2.2 Katupölyn päästömittaukset mittausajoneuvoilla).

KALPA-hankkeen 1–2-vaiheissa tehdyt mittaukset on raportoitu laajasti hankkeen aikaisemmassa raportissa (Kulovuori ym. 2019, ss.60-71). KALPA3-vaiheessa onroad PM_{10}-mittausten tuloksia tarkasteltiin rinnakkain nastarenkaiden kulutusta mittaavan yliajotestiaineiston kanssa. Yliajotestien tulokset saatiin Liikenne- ja viestintävirasto Traficomilta ja yhteyshenkilönä toimi erityisasiantuntija Keijo Kuikka.

Yliajotestillä mitataan nastarenkaan tienkuluttavuutta. Testausmenetelmää on alettu kehittää VTT:llä jo 1985 ja nykyään nastarenkaiden tyyppihyväksynnän yliajotestissä ollaan siirtymässä olemassa olevan standardin SFS 7503:2018 mukaisesti vastaavaan testimenetelmään. Kokeessa ajetaan maantienopeudella 200 kertaa koerenkain varustetulla autolla kivestä valmistettujen kulutuskoekappaleiden yli, jotka punnitaan ennen ja jälkeen kokeen. Testiä käytetään nastallisten talvirenkaiden tyyppihyväksyntämenetelmänä (Unhola 2015).

3.8.1 Renkaan ja tienpinnan vuorovaikutuksessa syntyviin kulumatuotteisiin vaikuttavat tekijät

Nastarenkaan kulutukseen ja pölypäästöön vaikuttavat monet renkaasta itsestään, päällysteestä, ajoneuvosta ja ajotavasta riippuvat tekijät. Tekijöitä on listattu Taulukkoon 6. Lista ei ole täydellinen, mutta kuvaa niitä monia tekijöitä, jotka vaikuttavat joko siihen, miten päästö syntyy renkaan ja tienpinnan vuorovaikutuksessa tai miten päästö nousee ilmaan.

Taulukko 6. Esimerkkejä renkaan kulumaan ja pölypäästöön vaikuttavista tekijöistä.

Rengas	Päällyste	Ajoneuvo	Ajotapa
Nastojen määrä Nastojen ulkonema Nastojen pistovoima Rengaskumin seos Lamellointi	Päällysteen kulutuskestävyys Päällysteen mikro- ja makrorakenne	Ajoneuvon paino Aurauskulmat	Kiihdytykset ja jarrutukset Kaarteet

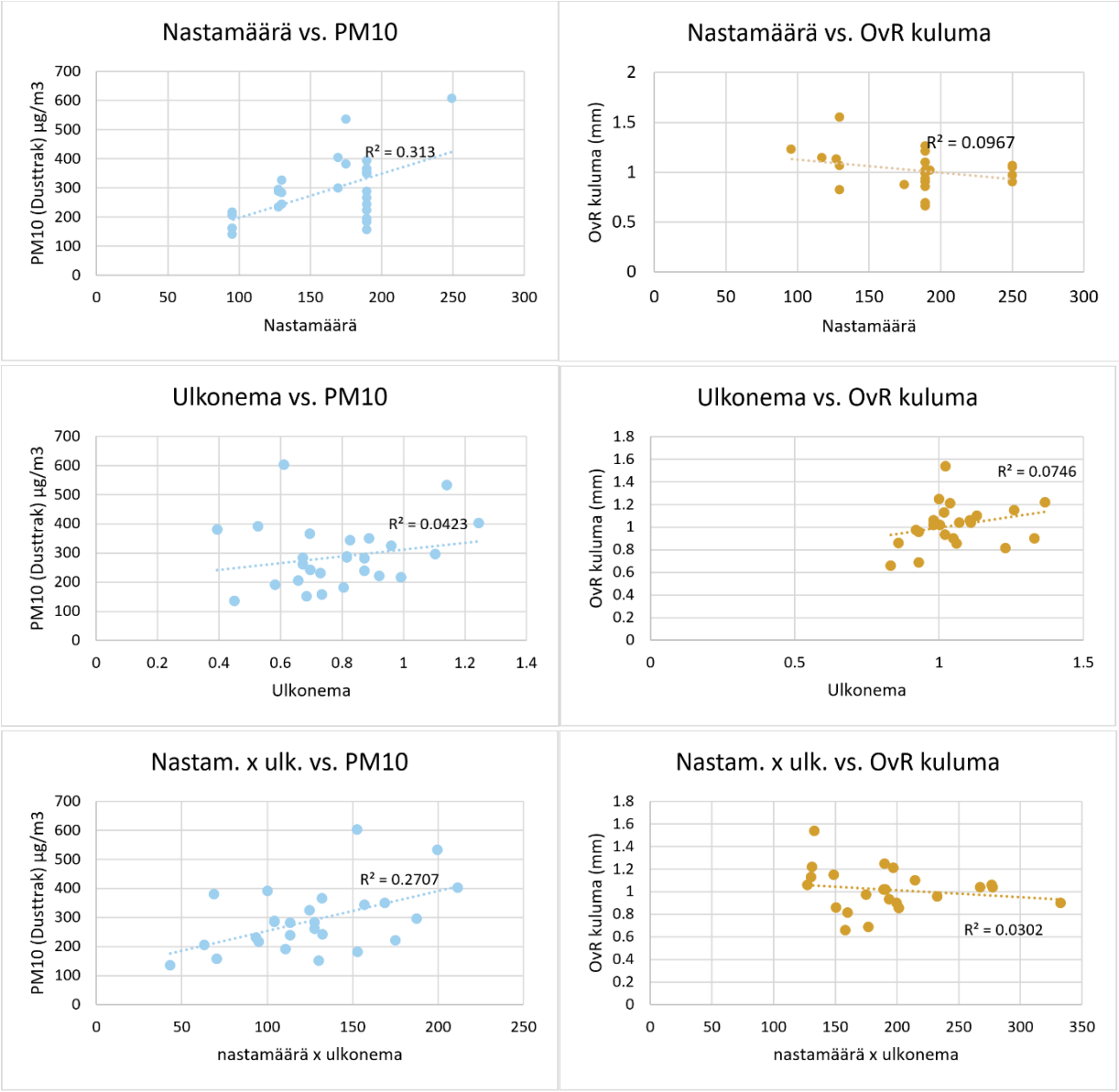
Vectra-mittausten yhteydessä renkaista on ollut tiedossa nastojen lukumäärä ja lisäksi renkaista on mitattu nastojen ulkonema. Ulkoneman mittaus on tehty ennen ajoa. Testattavilla renkailla on yhdessä testissä ajettu noin 10 kilometriä, joten vaikka renkaan käytön tiedetään vaikuttavan ulkoneman kasvuun, ulkoneman muutos on kyseisissä onroad-mittauksissa todennäköisesti marginaalinen.

3.8.2 Onroad- ja yliajotesteillä (overrun) saatujen tulosten vertailu

Onroad-mittauskampanjoita on tehty KALPA-hankkeessa vuosien 2015–2018 välillä viisi, ja Kuvan 74 tuloksissa on mukana tulokset kaikista viidestä mittauskampanjasta. Sama rengasyksilö on saatettu ajaa useammassa mittauskampanjassa. Lisäksi samoista rengasmerkeistä on ollut mukana useamman sukupolven malleja.

Kuvassa 75 on esitetty yliajokokeen tuloksia useammasta mittauskampanjasta. Onroad-testien ja yliajotestien renkaat eivät ole samoja yksilöitä, mutta mukana on samojen valmistajien samoja rengasmalleja. Mallien ja rengastyyppien yksilöinnin sijaan tulokset on esitetty suhteessa nastamäärään, mitattuun nastaulkonemaan sekä edellä mainittujen yhdistelmään.

Onroad-testien osalta sekä nastamäärän että nastaulkoneman kasvu vaikuttavat jossain määrin kasvattavan myös renkaan takaa mitattavaa PM_{10}-päästöä. Sen sijaan nastamäärä tai nastaulkonema eivät vaikuta nousevan selittäviksi tekijöiksi yliajotestillä mitattuun kulumaan (OvR=overrun kuluma).



Kuva 74. Vasemmalla Onroad-mittausten tulokset tarkasteltuna nastamäärän, nastaulkoneman tai näiden yhdistelmän funktiona. Oikealla yliajokokeessa (OvR=overrun) mitattujen kulumatulosten tarkasteltu nastamäärän, nastaulkoneman tai näiden yhdistelmän funktiona.

3.9 Johtopäätökset – Talvirenkaiden pölyvaikutus

Nastarenkaan aiheuttama suurempi tien kuluma verrattuna nastattomaan talvi- tai kesärenkaaseen on todettu useissa tutkimuksissa. KALPA-hankkeen aikaisemmassa raportissa on todettu, että yksin nastojen määrä ei kuitenkaan riitä selittämään erilaisten nastarenkaiden välisiä pitoisuuseroja (renkaan takaa mitattu PM_{10}-pitoisuus) ja että päästöön vaikuttaa nastamäärän ohella muut tekijät, kuten esimerkiksi nastaulkonema, nastojen sijoittelu renkaan pinnalla, renkaan pintakuviointi ja renkaan materiaali (kumiseos).

Tämä johtopäätös saa vahvistusta, kun verrataan samojen renkaiden tuloksia yliajokokeessa, jossa mitataan renkaan aiheuttamaa kulumaa. Renkaat, joissa nastamäärä on poikkeuksellisen suuri (jopa 250 nastaa) näyttäytyvät kuluman kannalta kaikista pienipäästöisimmiltä (laskeva trendi Kuvassa 74, oikealla). Yliajotestien tulosraporteissa ilmiötä on selitetty mm. sillä, että yksittäisen nastan pistovoima pienenee, kun nastoja enemmän tai tiheämmin (Kossi & Raatikainen 2019). Yhtenä renkaan kulutusta kasvattavana tekijänä mainitaankin nimenomaan nastan pistovoima.

Tässä raportissa on luotu ensimmäisen kerran silmäys rinnakkain Vectralla renkaan takaa ajon aikana mitattuihin päästöihin ja yliajotestillä saatuihin kuluma tuloksiin. On tärkeää ymmärtää testaustapojen erot, ja erityisesti se, että Vectralla tehtävissä mittauksissa ei mitata ainoastaan renkaan itsensä aiheuttamaa tien kulumista PM_{10}-kokoluokan hiukkasten osalta, vaan samaan aikaan myös renkaan kykyä nostaa tien pinnasta jo siinä valmiiksi olevia hiukkasia. Toisaalta yliajotestissä selvitetään ainoastaan nastarenkaiden aiheuttamaa kivipinnan kulumaa, eikä testillä saada esiin erilaisten nastarengastyyppien vaikutusta PM_{10}-kokoluokan hiukkasmuodostukseen kokonaisuudessaan. Tällä hetkellä yliajotestillä tyyppihyväksytään uusien talvirenkaiden pääsy markkinoille ja tieliikenteeseen. Pelkän kuluman mittaaminen ei välttämättä tuota tietoa renkaiden aiheuttamasta ilmanlaatuvaikutuksesta. Tulevaisuudessa onkin mielekästä jatkaa eri tavoin tuotetun mittausaineiston vertailua, jotta kokonaiskuva ja ymmärrys nastarenkaista osana katupöly-problematiikkaa täydentyy.

3.10 Katupölyn mallinnus

Tässä kappaleessa on esitetty yhteenveto NORTRIP-mallin soveltamisesta eri mallinnuskohteissa Helsingissä ja Kuopiossa KALPA3-hankkeen aikana. Yhteenvetoon sisältyy lisäksi FRES-mallilla tehty arvio katupölypäästöjen merkittävyydestä koko Suomen tasolla. FRES-mallin lähtötiedoissa hyödynnettiin NORTRIP-mallilla laskettuja päästökertoimia. KALPA3-hankkeen puitteissa tehty mallinnustyö on kokonaisuudessaan esitetty englannin kielellä Liitteissä F–H.

3.10.1 Mallinnuskohteet

NORTRIP-mallia sovellettiin ajanjaksoille, joilta oli saatavilla mallin tarvitsemat lähtötiedot. Mäkelänkadun (Helsinki) mallinnustulokset ovat vuosille 2015–2019 ja Maaherrankadun ja Tasavallankadun (Kuopio) ajanjaksolle 10/2018–08/2019. Liitteessä E on esitetty yhteenveto mallinnuskohteiden lähtötiedoista (liikenne-, meteorologia- ja kunnossapitotiedot).

Mallin suorituskykyä arvioitiin vertaamalla mallilaskelmien tuloksia kadun varrella mitattuihin ilmanlaadun mittaustuloksiin kolmessa edellä mainitussa kohteessa. Lisäksi Mäkelänkadun mallinnuskohdetta hyödynnettiin 1) arvioidessa nastarengasosuudessa tapahtuvien muutosten merkitystä ilmasta mitattuihin PM_{10}-pitoisuuksiin ja 2) määrällistämään erilaisia katupölylähteiden osuuksia.

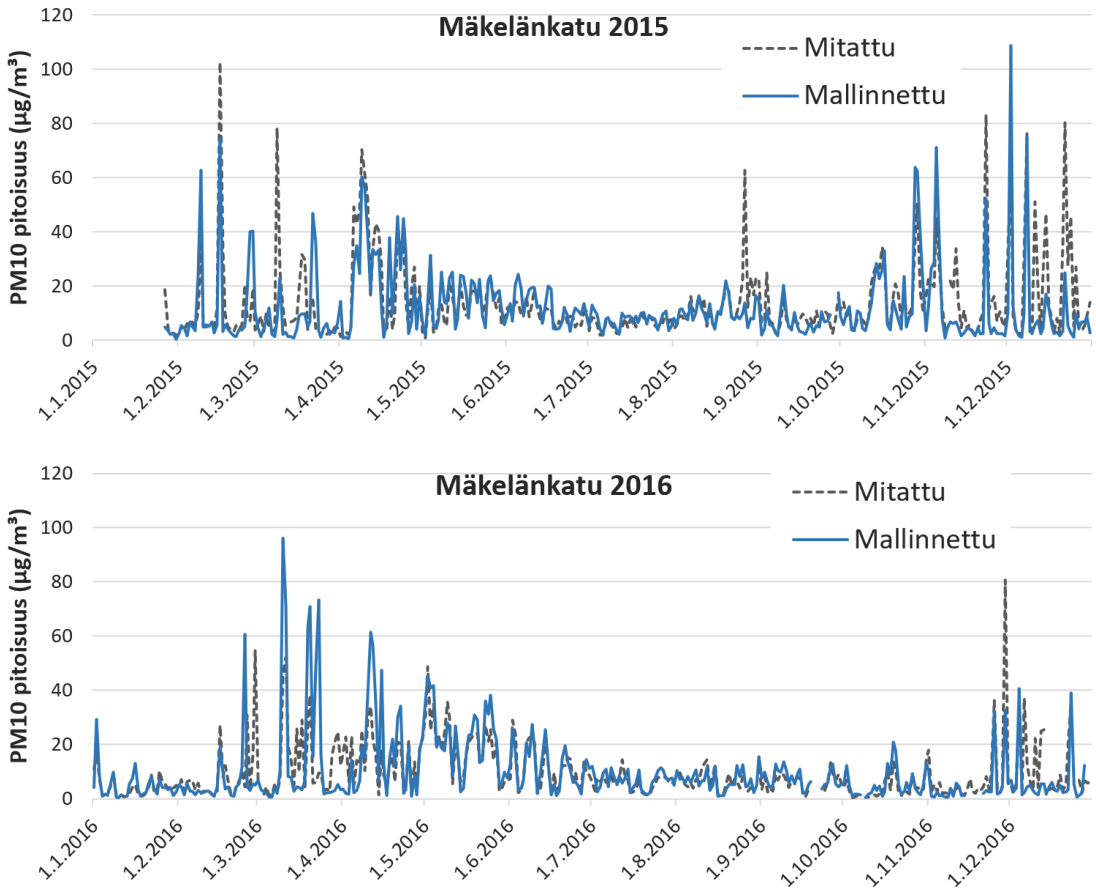
Mallin lähtötietoihin liittyi useita haasteita. Esimerkiksi Mäkelänkadulla pölynsidonta-aineena käytetyn $CaCl_2$:n käyttömääriä ei ole saatavilla, jolloin malliin syötetty pölynsidonta-aineen määrä (massa) voi erota todellisuudessa käytetyistä määristä. Tämä vaikuttaa mallinnettuun kadun pinnan kosteuteen ja sitä kautta mallinnettuihin PM_{10}-pitoisuuksiin.

Kuopiossa liukkaudentorjunta hoidetaan pääasiassa hiekoituksella (esimerkkinä kadun mukaan 48–53 hiekoitustapahtumaa talvikaudella 2018/2019, verrattuna Helsingin Mäkelänkatuun, jolla ei ollut hiekoitustapahtumia). Mallinnuksen hiekoitushaaste liittyy erityisesti hiekan levitystapaan. Hiekkaa

levitetään pääsääntöisesti vain tietyille liukkaudentorjunnan kannalta kriittisille alueille, kuten risteyksiin, mäkiin ja bussipysäkeille. Aiemmissa kenttäkokeissa on demonstroitu hiekan kulkeutuminen hiekoitetuilta alueilta myös hiekoittamattomille alueille. Toisin sanoen hiekkaa kulkeutuu mallinnettuihin kohteisiin myös alueen ulkopuolelta. Hiekan kulkeutumista kadun pitkittäis- tai poikittaissuunnassa ei kuitenkaan tunneta tarkasti, eikä malli toistaiseksi tunnista kulkeutumista. Tämän vuoksi hiekoitusta on käsitelty mallinnuksen lähtötiedoissa kahdella eri tavalla. Lisäksi Kuopion kaupunkitaustapitoisuuksien lähteenä käytetyn mittausaseman valinta aiheuttaa tuloksiin epävarmuutta.

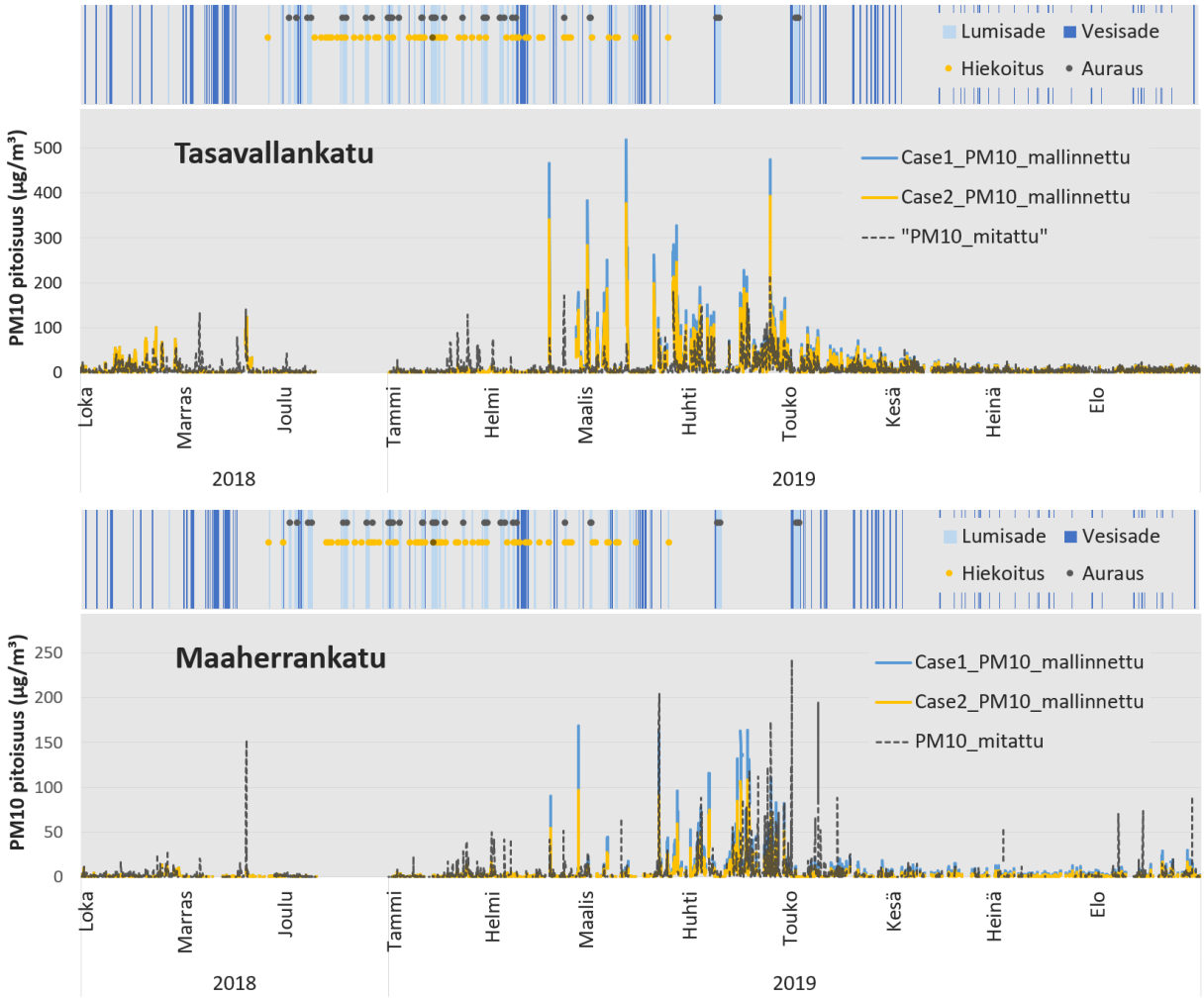
3.10.2 Mallinnettujen ja mitattujen pitoisuuksien vertailu

Mitattujen ja mallinnettujen pitoisuuksien vertailussa on käytetty niin kutsuttua PM_{10}:n paikallista osuutta (englanniksi street increment). Havaittu PM_{10}:n paikallinen osuus on se osuus PM_{10}-pitoisuudesta, jonka katsotaan olevan peräisin liikenteestä katutasolla ja se on saatu vähentämällä kaupunkitaustan osuus katukohteessa mitatusta pitoisuudesta. Mallinnettu PM_{10}:n paikallinen osuus on saatu laskemalla yhteen mallinnettu ei-pakokaasuperäinen ja PM-päästökertoimiin perustuva pakokaasuperäinen päästö. Kuvassa 75 on esitetty mallinnettu ja havaittu päiväkohtainen keskiarvo PM_{10}:n paikalliselle osuudelle Mäkelänkadulla 2015 ja 2016. Kaikkien mallinnettujen vuosien tulokset on esitetty Liitteessä F (kuva F 1). Tuntikohtainen havaintosarja mallinnetulle ja havaitulle PM_{10}:n paikalliselle osuudelle Tasavallankadun ja Maaherrankadun mallinnuskohteissa on esitetty Kuvassa 76.



Kuva 75. Aikasarja mallinnetulle ja havaitulle PM_{10}:n paikalliselle osuudelle (päiväkohtainen keskiarvo) Mäkelänkadulla 2015 ja 2016.

Malli onnistuu kaikissa kohteissa toisintamaan hyvin PM_{10}:n ajallisen vaihtelun ja kausittaiset korkeat pitoisuudet, erityisesti maalis–huhtikuussa, jolloin suotuisat sääolosuhteet mahdollistavat katuympäristöön kertyneen pölyn suspendoitumisen ilmaan. Malli onnistuu toisintamaan hyvin myös Mäkelänkadun PM_{10}:n paikallisen osuuden keskiarvon. Malli tuottaa vuositasolla keskimääräisen paikallisen osuuden ±13% sisällä mitatuista havainnoista. (Liite F, Kuva F 2a). Ero havaituissa ja mallinnetuissa pitoisuuksissa ovat selvempiä kevätkaudella (Liite F, Kuva F 2b). Suurimmat erot ovat keväältä 2016 ja keväältä 2019, jolloin malli yliarvioi pitoisuudet 19 %:ssä ja 29 %:ssa tapauksista. Malli toisintaa kohtalaisen hyvin myös vaihtelun päiväkohtaisissa keskiarvoissa kaikkina tarkasteltuina vuosina (R^2 välillä 0,31–0,49). Vastaava korrelaatiokertoimen vaihteluväli kevätkuukausille on välillä 0,42 ja 0,58.



Kuva 76. Tuntikohtainen aikasarja mallinnetuille ja havaituille PM_{10}:n paikallisille osuuksille Tasavallankadulla (ylempi graafi) ja Maaherrankadulla (alempi graafi) Kuopiossa. Mallinnettujen tulosten osalta hiekoitus on käsitelty kahdella eri tavalla: "Case 1":ssä nk. pistehiekoitus (hiekan levitys ongelmakohtiin) on huomioitu vähentämällä hiekoitusmassan määrää ja "Case 2":ssa ottamalla huomioon vain "kokohiekoitus" (koko kaistan pituudelta tehty hiekoitus). Kuvaajan yläosan palkissa on havainnollistettu sade-, hiekoitus- ja auraustapahtumien ajoitus. Hiekoituksen osalta tummempi väri merkkaa koko kaistan hiekoitusta (muulloin hiekoitus = pistehiekoitus).

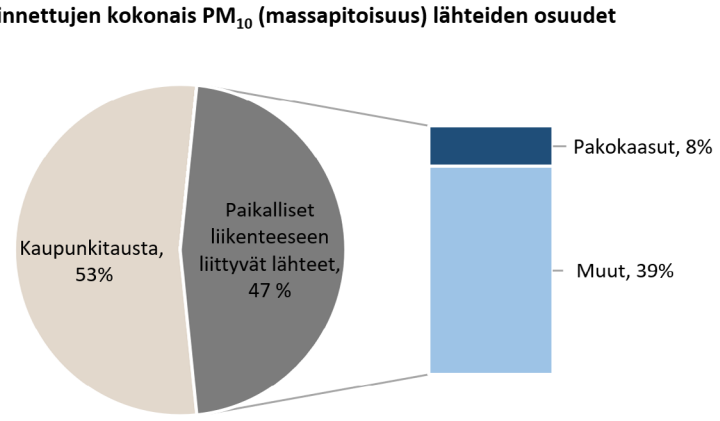
Kausi- ja vuositasolle mallinnettujen ja mitattujen PM_{10}-pitoisuuksien arvot sekä korrelaatiokertoimet (R^2) Kuopion mallinnuskohteille on esitetty Liitteessä G (kuva G 3). Tutkimusjaksolla maaliskuun lopun ja toukokuun alun välissä oli pitkiä sateettomia ajanjaksoja, jolloin havaittiin korkeita PM_{10}-pitoisuuksia (Kuva 77). Malli havaitsi katupölykauden ajoituksen hyvin, mutta mallinnettujen ja mitattujen pitoisuuksien välillä on huomattavia eroja, jotka todennäköisesti johtuvat hiekoituksesta.

Kuten odottaa saattaa, mallin ennuste tapauksessa ”Case 1” antaa systemaattisesti korkeampia tuloksia kuin tapauksessa ”Case 2”. ”Case 1”:n kohdalla lisätyn hiekoitusmateriaalin kokonaismäärä, joka toimii myös suoraan PM_{10}:n lähteenä, on korkeampi kuin ”Case 2”:n tapauksessa. Hiekoitusmateriaalin suhteellinen osuus mallinnetusta paikallisesta osuudesta on suurempi Maaherrankadulla kuin Tasavallankadulla (Liite G, Kuva G 4). Tämä selittyy Tasavallankadun korkeammalla ajoneuvomäärällä ja ajonopeudella, jotka nostattavat päällysteen kuluman suhteellista osuutta tuloksissa.

Mallin yhtäpitävyys mitattujen pitoisuuksien kanssa vaihtelee kaudesta ja tapauksesta riippuen (Liite G, Kuva G 3). Malli yliarvioi PM_{10}-pitoisuuden keskiarvon koko tutkitulla jaksolla verrattuna havaittuihin arvoihin molemmissa tapauksissa (Case 1 ja 2) Tasavallankadulla. Toisaalta Maaherrakadulla mallinnetut keskiarvot ovat alempia kuin havaitut, erityisesti ”Case 2” tapauksessa. Tämän perusteella pistehiekoitusta ei tulisi kokonaan jättää huomiotta mallinnetulla katuosuudella. Molemmissa mallinnuskohteissa päiväkohtainen vaihtelu vuositasolla on melko hyvä (R^2 välillä 0,44–0,49).

3.10.3 Mallinnetut katupölyn lähdeosuudet Mäkelänkadulla 2015–2019

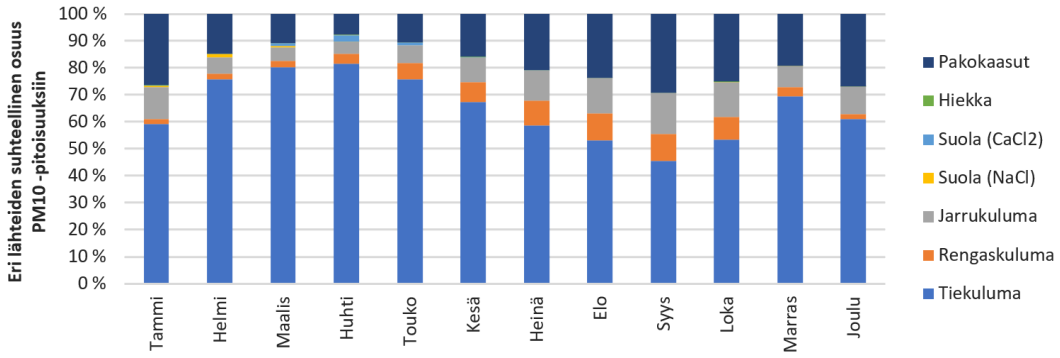
NORTRIP-mallia käytettiin määrällistämään eri lähteiden osuuksia PM_{10}-pitoisuuksissa Mäkelänkadulla. Viiden vuoden jaksolle (2015–2019) keskiarvoistettuna kaupunkitaustan osuus muodosti 53 % mallinnetusta PM_{10} -kokonaispitoisuudesta (Kuva 77). Paikalliset liikenteeseen liittyvät lähteet (kuten PM_{10}:n paikallinen osuus) muodostivat 47 % kokonaispitoisuudesta, mistä liikenteen ei-pakokaasuperäisten lähteiden osuus oli 39 % ja pakokaasuperäisten 8 %.



Kuva 77. Eri lähteiden suhteelliset osuudet mallinnetussa PM_{10}- kokonaispitoisuudessa (massapitoisuus) Mäkelänkadulla, keskiarvoistettuna viiden vuoden ajanjaksolle (2015–2019).

Kuvassa 78 on esitetty suhteelliset, paikallisista liikennelähteistä peräisin olevat ei-pakokaasu- (tie, jarrut, rengas, hiekka, suola) ja pakokaasuperäisten hiukkasten osuudet kuukausitasolla. Tien kuluma on yksittäinen suurin PM_{10}:n lähde, jonka osuus vaihtelee 45 %:sta 82 %:iin riippuen kuukaudesta. Tien kuluman merkitys vaihtelee kausiluontoisesti osuuden ollessa matalin kesäkuukausina ja korkein keväällä. Tulokseen vaikuttaa nastallisten renkaiden aiheuttama päällysteen kuluma. Hiukkasia syntyy läpi talvikauden, ja ne vapautuvat ilmaan joko suoraan tai myöhemmin olosuhteiden ollessa otolliset (kuiva, jäätön ja lumeton tienpinta). Muiden ei-pakokaasuperäisten lähteiden osuudet ovat pienempiä. Keskimääräiset osuudet ovat renkaille 2–10 %, jarruille 5–15 % ja liukkaudentorjuntamateriaaleille 0–2,4 %.

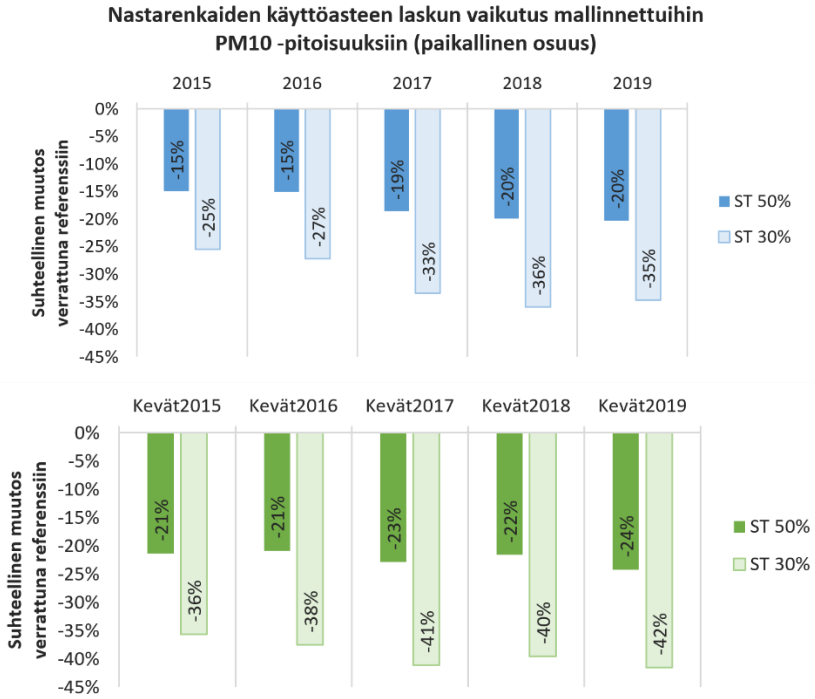
Keskimääräinen osuus pakokaasuperäisille hiukkasille on alimmillaan huhtikuussa (8 %) ja korkeimmillaan syyskuussa (29 %).



Kuva 78. Mallinnetut eri lähteiden suhteelliset osuudet PM_{10}:n paikalliselle osuudelle (kuukauden keskiarvo) Mäkelänkadulla Helsingissä keskiarvoistettuna ajanjaksolle 2015–2019.

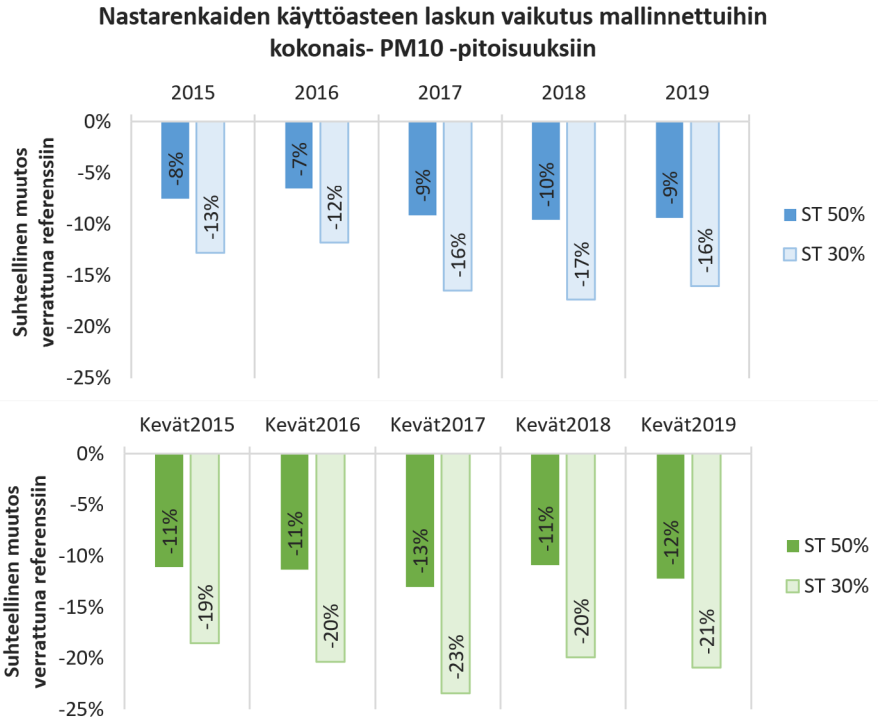
3.10.4 Liikenteessä olevien ajoneuvojen nastarengasosuuden pienenemisen vaikutus PM-pitoisuuksiin

Nastarenkaiden käyttömäärien pienemisen vaikutusta katupölypäästöihin simuloitiin mallilla vähentämällä liikenteessä olevien nastarenkaiden maksimiosuus 50 %:iin (ST 50 %) ja 30 %:iin (ST 30 %). Mallinnus tehtiin Mäkelänkadulle Helsinkiin. Todelliset havaintoihin perustuvat nastarengasosuudet tutkituilla ajanjaksoilla olivat 80 % (2015/2016), 76 % (2016/2017), 74 % (2017/2018) ja 78 % (2018/2019 ja 2019/2020). Vaikutus PM_{10}:n paikallisen osuuden suhteelliseen muutokseen on esitetty Kuvassa 79. Vastaavasti saavutetut suhteelliset muutokset PM_{10}-kokonaispitoisuuksissa on esitetty Kuvassa 80. Tulokset on esitetty koko vuodelle ja kevätkaudelle.



Kuva 79. Mallinnetut suhteelliset muutokset PM_{10}:n paikallisessa osuudessa kahdessa tapauksessa, joista ensimmäisessä nastarenkaiden maksimiosuus liikenteessä oli vähennetty 50 %:iin (ST 50 %) ja toisessa 30 %:iin. Tulokset on esitetty koko vuodelle (ylhäällä) ja kevätkaudelle (alhaalla).

Liikenteessä olevien ajoneuvojen nastarengasosuuden määrä vaikuttaa keskimääräiseen PM-pitoisuuteen sekä vuosi- että kausitasolla. Nastarengasosuuden vähentäminen 50 %:iin (ST 50 %) johtaa vuosittaisen keskimääräisen PM_{10}:n paikallisen osuuden laskuun 15 % ja 20 % välillä (Kuva 79) ja PM_{10}-kokonaispitoisuuden laskuun 7 % ja 10 % välillä (Kuva 80). Nastarengasosuuden pudottamisella on vieläkin suurempi vaikutus kevätkauden pitoisuuksiin: keskimäärin -22 % PM_{10}:n paikalliselle osuudelle (Kuva 79) ja -12 % PM_{10}-kokonaispitoisuudelle (Kuva 80). Vähentäessä nastarengasosuutta edelleen 30 %:iin (ST 30 %), vaikutukset pitoisuuksissa korostuvat edelleen.



Kuva 80. Mallinnetut suhteelliset muutokset PM_{10}:n kokonaispitoisuudessa kahdessa eri tapauksessa, joista ensimmäisessä nastarenkaiden maksimiosuus liikenteessä oli vähennetty 50 %:iin (ST 50%) ja toisessa 30 %:iin (ST 30 %). Tulokset on esitetty koko vuodelle (ylempi graafi) ja kevätkaudelle (alempi graafi).

Oletusarvoisesti nastarengasosuuden muutoksella on vähäisempi merkitys vuositason pitoisuuksiin, joihin vaikuttaa erityisesti kaupunkitaustapitoisuus. Nastarengasosuuden laskun vaikutus pitoisuuksiin vaihtelee vuosien ja kausien välillä. Nyt mallinnetuissa tuloksissa vaikutus on pienempi vuosina 2015–2016 kuin vuosina 2017–2019. Tähän vaikuttavat erot ja vaihtelut vuosien välisessä meteorologiassa ja päästöjen leviämisessä (toisin sanoen muutokset NO_X-päästöissä ja päästökertoimissa, joita käytetään leviämisen mallintamisessa). Pakokaasupäästöjen suhteellisesti pienempi osuus 2017–2019 verrattuna ajanjaksoon 2015–2016 aiheutti suuremman vaikutuksen ei-pakokaasuperäisissä hiukkasissa ajanjaksolla 2017–2019.

3.10.5 Arvio katupölypäästöjen merkittävyydestä koko Suomen tasolla

Katupölypäästöjen merkittävyyden arviointi koko Suomen tasolla toteutettiin FRES-mallin avulla, käyttämällä NORTRIP-mallin laskemia päästökertoimia ei-pakokaasuperäisille PM_{10}- ja $PM_{2,5}$-päästöille. NORTRIP-mallia hyödynnettiin päästökertoimien arvioinnissa erikseen eri ilmastovyöhykkeille, katu- ja tieluokille ja niillä käytetyille kunnossapidon toimille (kuvattu tarkemmin Liitteessä H).

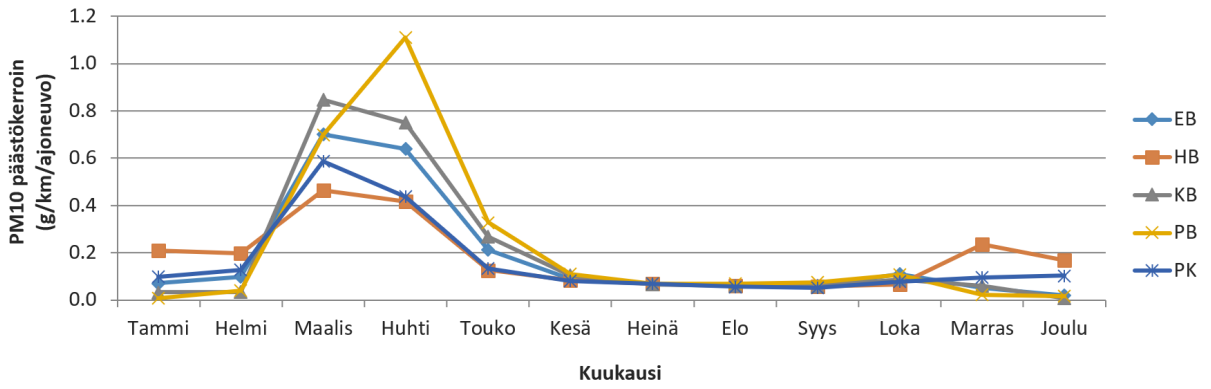
Vuositason keskimääräiset PM_{10}- ja $PM_{2,5}$-päästökerroinarviot eri ilmastovyöhykkeille on esitetty Taulukossa 7. Taulukon arvot ovat keskiarvoja laskettuna kaikille ajoneuvotyypeille: henkilöautoille laskettuna päästökertoimet olivat noin 60 % taulukossa esitetyistä arvoista. Eri katu- ja tieluokkien välillä havaittiin suuria eroja, mikä on seurausta korkeammista kuluma- ja päästömääristä kohteissa, joissa ajonopeudet ovat korkeampia.

Taulukko 7. Ennustetut neljälle vuodelle keskiarvoistetut päästökertoimet ei-pakokaasuperäisille PM_{10}- ja $PM_{2,5}$ -päästöille (mg/km/ajoneuvo) eri ilmastovyöhykkeillä, nykyisillä kadun kunnossapidon toimilla, vuosina 2008–2011. Suluissa minimi ja maksimiarvot.

Ilmastovyöhyke	PM_{10}	$PM_{2,5}$
Pohjoisboreaalinen (PB)	226 (189-253)	18 (16-20)
Keskiboreaalinen (KB)	199 (164-234)	17 (15-19)
Eteläboreaalinen (EB)	182 (151-217)	16 (14-18)
Hemiboreaalinen (HB)	179 (158-205)	15 (14-17)
Pääkaupunkiseutu (PK)	149 (130-169)	14 (12-16)

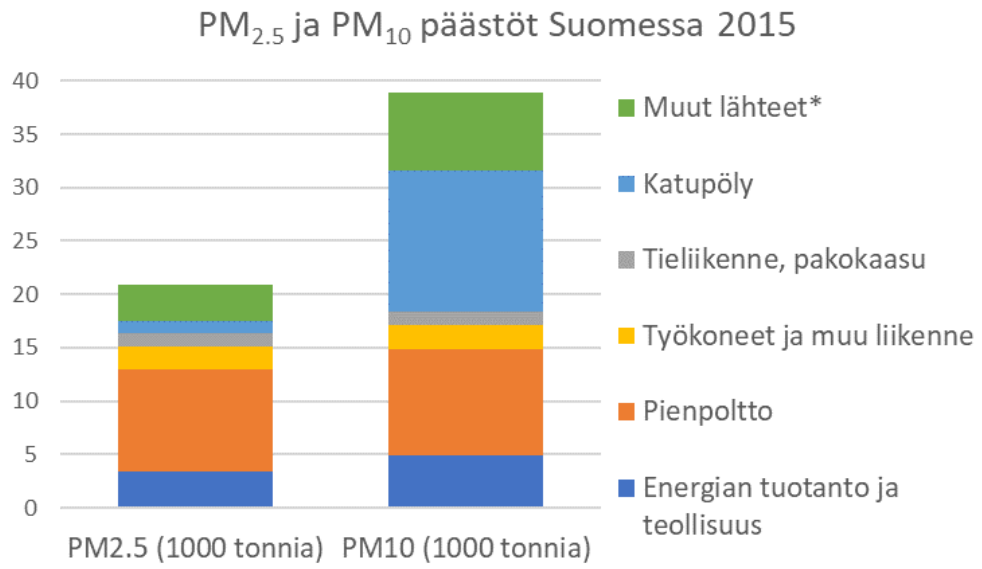
Suhteellisen suuria eroja nähdään myös eri ilmastovyöhykkeiden ja vuositason päästökertoimien välillä. Eroja on syytä selvittää vielä tarkemmin, mutta todennäköisiä syitä ovat ainakin vaihtelut sääolosuhteissa, mikä heijastuu edelleen pinnan kosteuteen ja kunnossapidon toimiin ja tarpeeseen.

Kalenterivuoden aikana ei-pakokaasuperäisissä hiukkasissa on nähtävissä kausiluontoinen piikki maalis–huhtikuussa, mikä on seurausta pölyn kertymisestä katuympäristöön ja vapautumisesta ilmaan sopivien sääolosuhteiden koittaessa. Eri ilmastovyöhykkeille lasketut kuukausikohtaiset PM_{10}-päästökertoimet on esitetty Kuvassa 81. Kuukausitason keskimääräinen $PM_{2,5}$-päästön osuus PM_{10}:stä koko maan tasolla vaihtelee 7 %:stä 16 %:een.



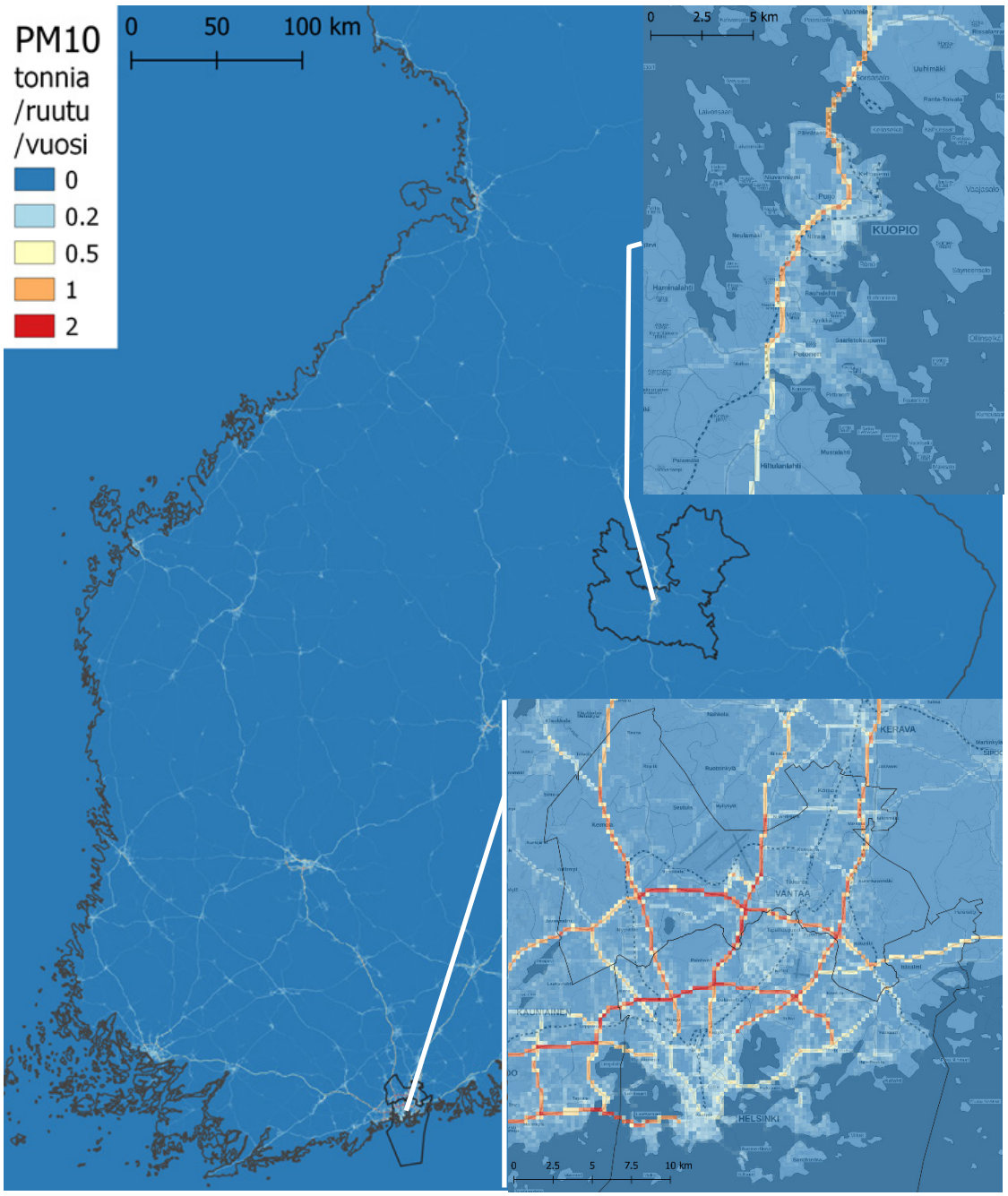
Kuva 81. Katupölyn päästökertoimien (g/km/ajoneuvo) kuukausivaihtelu eri ilmastovyöhykkeillä.

Katupölypäästöiksi koko Suomen ajoneuvoliikenteestä arvioitiin 13 200 tonnia PM_{10}-hengitettäviä hiukkasia ja 1150 tonnia $PM_{2,5}$-pienhiukkasia. Tämä vastaa 34 prosenttia (PM_{10}) ja 5,5 prosenttia ($PM_{2,5}$) Suomen kokonaispäästöistä vuonna 2015 (Kuva 82).



*Kuva 82. Pienhiukkasten ($PM_{2,5}$) ja hengitettävien hiukkasten (PM_{10}) ihmisperäiset kokonaispäästöt pääsektoreittain Suomessa vuonna 2015. Katupölypäästöt on esitetty vaalean sinisellä. *Muut lähteet sisältävät mm. maataloudesta, turpeen tuotannosta, rakennustoiminnasta ym. syntyvät pölypäästöt.*

Kuvassa 83 on esitetty hengitettävien hiukkasten (PM_{10}) päästöt Suomessa 2015 FRES-mallilla laskettuna (yksikkö tonnia/ruutu/vuosi), ja kuvattuna 250 m x 250 m ruudukossa, joka on tällä hetkellä tarkin mahdollinen mallissa käytössä oleva paikkaresoluutio. FRES-malli laskee yhtenäisessä kehikossa useita eri ilmansaasteiden ja kasvihuonekaasujen päästökomponentteja eri alue- ja aikatasoilla. FRES-mallin tietoja voidaan käyttää myös erilaisissa ilmakehässä kulkeutumista kuvaavissa leviämismalleissa. Yksityiskohtainen mallikuvaus on dokumentoitu julkaisuissa, Karvosenoja 2008 ja A. Korhonen ym. 2019.



Kuva 83. Katupölyn hengitettävien hiukkasten (PM_{10}) päästöt Suomessa 2015 FRES-mallilla laskettuna. Pienemmissä kuvissa on esitetty Helsingin ja Vantaan (alhaalla oikealla) sekä Kuopion (ylhäällä oikealla) päästöt. Laskennan päästökertoimet perustuvat NORTRIP-mallista johdettuihin alue-, katu- ja tietyyppikohtaisiin arvioihin (Kupiainen ym. 2020). Päästöt on kuvattu 250 m x 250 m ruudukossa, yksikkönä tonnia/ruutu/vuosi.

3.11 Johtopäätökset katupölyn mallinnustyöstä

NORTRIP-mallia käytettiin kolmessa eri kohteessa Helsingissä ja Kuopiossa. Mallin suoriutumiskykyä arvioitiin vertaamalla mallinnettuja tuloksia kohteissa mitattuihin PM_{10}-pitoisuuksiin. Epävarmuuksista huolimatta malli tuottaa keskimääräiset PM_{10}-pitoisuudet kohtalaisen hyvin. Mäkelänkadun tulokset menevät vaihteluväliin, joka on dokumentoitu useasta muusta mallinnuskohteesta (Denby ym. 2013 (a); Denby ym. 2013 (b)) , mikä osoittaa mallin soveltuvan hyvin Helsingin Mäkelänkadun kohteeseen.

Kuopiossa liukkaudentorjuntaa tehdään pääasiassa hiekoittamalla. Kuopion mallinnuskohteissa päädyttiin tekemään herkkyystarkastelu hiekoituksen soveltamisessa mallin lähtötietona kahdella eri tavalla. Mallinnettujen ja mitattujen tulosten osalta sekä keskimääräiset pitoisuudet että tulosten korrelaatio (R^2) vaihtelevat huomattavasti kausien ja malliin syötetyn hiekoitustavan mukaan. Tulokset osoittavat, että hiekoituksen merkitys ilmasta mitattuihin PM_{10}-pitoisuuksiin voi olla merkittävä.

NORTRIP-mallia käytettiin arvioimaan liikenteessä olevien ajoneuvojen nastarengasosuuden pienemisen vaikutusta ilmasta mitattuihin PM_{10}-pitoisuuksiin Helsingin Mäkelänkadulla. Nastarengasosuuden pienenemisen vaikutusta pitoisuuksiin simuloitiin vähentämällä maksiminastarengasosuus 50 %:iin ja 30 %:iin. Tulokset osoittavat, että 10 %:n vähenemä nastarengasosuudessa johtaa vuositasolla noin 7 %:n pienenemiseen PM_{10}:n paikallisessa osuudessa ja noin 3 %:n pienenemiseen PM_{10} -kokonaispitoisuudessa. Nastarengasosuuden pienenemisellä on suurempi vaikutus kevätkauden keskiarvoon kuin koko vuoden keskiarvoon. Esimerkiksi vähentämällä nastarengasosuus 30 %:iin koko vuoden keskiarvo laskee 31 % ja kevätkauden vastaavasti 39 % (PM_{10}:n paikallinen osuus). PM_{10}-kokonaispäästölle vastaavat luvut ovat -15 % ja -21 %.

Nastarengasosuuden vähenemisen vaikutus mallinnettuihin PM_{10}-pitoisuuksiin riippuu monesta eri tekijästä, kuten meteorologisista olosuhteista, kadun kunnossapidon toimista, päästöjen leviämisestä, pakokaasupäästöjen osuudesta ja kaupunkitaustapitoisuudesta.

Katupölypäästöjen merkittävyyden arviointi koko Suomen tasolla toteutettiin FRES-mallin avulla, käyttämällä NORTRIP-mallin laskemia päästökertoimia ei-pakokaasuperäisille PM_{10}- ja $PM_{2,5}$-päästöille. Arvion mukaan katupölypäästöt muodostavat 34 % PM_{10}-kokonaispäästöistä ja 5,5 % $PM_{2,5}$- kokonaispäästöistä Suomessa vuonna 2015.

4 Hankkeen keskeiset johtopäätökset

- Hankkeen tavoitteena oli tutkia katupölyn lähteitä ja pitoisuuksia erilaisissa katuympäristöissä sekä arvioida päästövähennyskeinoja käyttäen erilaisia mittausmenetelmiä (ajoneuvomittaukset ja WDS) ja mallinnustyökaluja (NORTRIP ja FRES).
- Katupöly aiheuttaa ilmanlaadun heikkenemistä erityisesti keväisin, mikä ilmenee korkeina PM_{10}-pitoisuuksina hengitysilmassa. Katupölyllä viitataan hiukkasiin, jotka ovat peräisin 1) päällysteen ja renkaiden kulumatuotteista, 2) liukkaudentorjuntamateriaaleista (hiekoitus ja suolaus), ja 3) muista ympäristössä olevista potentiaalisista pölylähteistä, kuten työmaa-alueilta.
- KALPA3-hanke (2019–2020) on jatkumoa pitkään jatkuneelle kotimaiselle katupölytutkimukselle. KALPA3-hanke on osa kuusivuotista KALPA-kokonaisuutta (2015–2020), jonka neljän ensimmäisen vuoden tulokset (KALPA1–2) on aikaisemmin raportoitu HSY:n julkaisusarjassa. Pääsyy KALPA3-vaiheen erilliseen raportointiin liittyy pääasiallisena mittausajoneuvona käytetyn Nuuskija-auton päivittymisestä keväälle 2019. Vanhan ja uuden Nuuskijan mittaamien tulosten vertailu vaatii ajoneuvojen välille luotettavan korjauskertoimen, jota ei ole määritetty vielä KALPA3-vaiheessa.
- Uuden Nuuskija-auton aikasarjojen ollessa toistaiseksi lyhyitä, kaupunkireiteiltä mitatut pitoisuudet tuovat tässä vaiheessa tietoa lähinnä kadun kunnossapidon tilaajille ja tuottajille alueiden ja katujen välisistä eroista sekä katupölytilanteen kehityksestä vuodenaikojen välillä.
- KALPA3-vaiheessa mukaan hankkeeseen liittyi Kuopio uutena tutkimuskumppanina, rahoittajana ja tutkimuskohteena. Kuopiossa ilmasto, kadun kunnossapidon toimet, liikennemäärät ja esimerkiksi erot nastarenkaiden käyttöasteessa eroavat pääkaupunkiseudun vastaavista. Kuopion kohdalla yksi tärkeä tutkimuskysymys liittyy kaupungin läpi kulkevaan moottoritiehen (Vt5) ja sen rooliin katupölyn lähteenä.
- Uusi Nuuskija-ajoneuvo mahdollistaa myös $PM_{2,5}$-pitoisuuden mittaamisen ja tallentamisen. KALPA3-hankkeessa onkin alettu raportoida PM_{10}-pitoisuuksien rinnalla $PM_{2,5}$-osuuksia katukohteissa.
- Katupöly on pääosin karkean kokoluokan pölyä (hiukkasten halkaisija yli 2,5 μm^3), ja mittaustuloksissa $PM_{2,5}$:n osuus PM_{10}:stä nouseekin katupölykauden jälkeen ja on korkeimmillaan kesällä ja syksyllä.
- Katupölyn päästöhuippujen ajoitus vaihtelee vuosittain ja on riippuvainen sääolosuhteista ja erityisesti kadun pinnan kosteudesta (mukaan lukien lumi ja jää). Korkeimmat katupölypitoisuudet mitataan tavanomaisesti maalis–huhtikuussa, ja pitoisuudet laskevat kohti kesää. Lauhan ja lumettoman talven 2019–2020 jälkeen keväällä 2020 ensimmäiset viitteet kohonneista katupölypitoisuuksista saatiin kuitenkin jo tammikuussa.
- Keväiset katupölypiikit ovat seurausta katuympäristöön varastoituneen pölyn (pölykuorma) vapautumisesta ilmaan, kun olosuhteet käyvät otollisiksi. WDS-mittaus (pölykuorma) havainnollistaa hyvin pölyn ajallisen ja paikallisen variaation katuympäristössä: pölyn kertyminen käynnistyy nastarengaskauden alkaessa (ja pintojen ollessa märkiä, lumisia tai jäisiä) loppusyksyllä. Pölyisimmät alueet löytyvät läheltä kaistaviivoja, ajourien välistä ja kanttikiven vierestä.
- Työmaa-alueiden pölypäästöt saattavat aiheuttaa terveys- ja viihtyvyyshaittoja. Nuuskijan mittaukset osoittavat, että pölypitoisuudet lähellä työmaa-alueita eivät laske kevään katupölykauden jälkeen samalla tavalla kuin muulla katuverkolla, vaan pysyttelevät korkeina pidempään. Nuuskijan mittaamat suspensiopäästöt (PM_{10}) ovat olleet työmaa-alueilla noin 2–5 kertaisia lähialueen katuihin

verrattuna. $PM_{2,5}$-osuus on matalampi kuin lähialueen kaduilla, ja pysyy tasaisena vuodenajasta toiseen, mikä viittaisi siihen, että työmaa-alueen pöly on pääasiassa karkean kokoluokan hiukkasia.

- Katupölyn päästöjä hengitysilmaan voidaan vähentää levittämällä kaduille laimeaa suolaliuosta (pölynsidonta) ja pesemällä katuja. Pölynsidonta antaa lisäaikaa esimerkiksi siivoukselle ja hiekannostolle, mutta ei poista pölyongelmaa.
- Kadun pesussa ja menetelmien kehityksessä on oleellista kiinnittää huomiota karkean materiaalin poistamisen lisäksi hengitettävän kokoluokan pölyn (PM_{10}) poistoon. Tämän lisäksi käytettävä pesumenetelmä valikoituu mm. kohteen ja pesuajankohdan sekä käytettävissä olevien resurssien (raha, aika, työvoima) mukaan. KALPA3-hankkeessa testatut pesevät imulakaisulaitteet (PIMU-menetelmä) ja takapesupalkilliset pesulaitteet osoittautuivat mittausten perusteella tehokkaiksi pölynpoistossa.
- Kadun pesun yhteydessä on toivottavaa, että laite poistaa pölyn, eikä vain siirrä sitä paikasta toiseen katuympäristössä. WDS-mittalaitteella on mahdollista tarkkailla pölykuormaa ajoradan eri osissa.
- Vaihtoehtoisesti katupölyn määrään voidaan vaikuttaa puuttumalla hiukkasten syntymekanismeihin. NORTRIP-mallilla tehty laskelma Helsingin vilkasliikenteiselle Mäkelänkadulle osoitti, että 10 %:n vähenemä nastarengasosuudessa johtaa vuositasolla noin 7 %:n pienenemiseen PM_{10}:n paikallisessa osuudessa (street increment) ja noin 3 %:n pienenemiseen PM_{10}-kokonaispitoisuudessa. Esimerkiksi vähentämällä nastarengasosuus 30 %:iin koko vuoden keskiarvo laskee 31 % ja kevätkauden vastaavasti 39 % (PM_{10}:n paikallinen osuus). PM_{10}-kokonaispäästölle vastaavat luvut ovat -15 % ja -21 %. Nastarengasosuuden pienenemisellä on suurempi vaikutus kevätkauden keskiarvoon kuin koko vuoden keskiarvoon.
- FRES-mallilla tehdyn arvion (vuodelle 2015) mukaan katupölypäästöt muodostivat 34 % Suomen PM_{10}- ja 5,5 % Suomen $PM_{2,5}$-kokonaispäästöistä.

Sanasto

DustTrak	Valonsirontaan perustuva hiukkasmittalaite.
FNU	Formazine Nephelometric Units, sameuden yksikkö, jota käytetään ilmoittamaan WDS-mittalaitteen tulokset tämän raportin yhteydessä.
FRES-malli	Finnish Regional Emission Scenario, päästöjen alueellinen skenaariomallinnustyökalu.
HSY	Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä.
KALPA	Katupölyn lähteet, päästönvähennyskeinot ja ilmanlaatuvaikutukset tutkimushanke (vaihe 1: 2015-2016, vaihe 2: 2016-2018 ja vaihe 3: 2018-2020)
KAPU	Katupölyn päästöt ja torjunta -hanke (vaihe 1: 2007-2009 ja vaihe 2: 2010)
karkea hiukkanen	Hiukkanen, jonka halkaisija on suurempi kuin 2,5 µm.
katupöly	Pääosin $PM_{2,5}$-PM_{10} kokoluokan ei-pakokaasuperäisiä hiukkasia, joita syntyy erityisesti liikenteen vaikutuksesta. Aiheuttaa terveys- ja viihtyvyyshaittoja erityisesti kaupungeissa.
NASTA	Nasta-tutkimusohjelma 2011-2013.
Nuuskija	Metropolia Ammattikorkeakoulun kehittämä mittausajoneuvo.
NORDUST	Pohjoismainen katupölytutkimusprojekti (vaihe 1: 2015-2018 ja vaihe 2: 2020-2022)
NORTRIP-malli	NOn-exhaust Road TRaffic Induced Particle emissions, liikenteen ei -pakokaasuperäisten hiukkasten mallinnustyökalu.
pienhiukkanen	Hiukkanen, jonka halkaisija on pienempi kuin 2,5 µm
PIMU	Pesevä imulakaisuauto, käyttää korkeapainehuuhtelua, harjausta ja imua.
PM	Particulate matter, hiukkasmateria.
$PM_{2,5}$	Hiukkasmateria, jonka halkaisija on alle 2,5µm. Ilmanlaadun mittausten yhteydessä käytetään myös termiä pienhiukkaset.
PM_{10}	Hiukkasmateria, jonka halkaisija on alle 10µm. Ilmanlaadun mittausten yhteydessä käytetään myös termiä hengitettävät hiukkaset.
pölykuorma	Tämän raportin yhteydessä kadun tai tien pintaan kertynyt katupöly, josta osa on sitoutunut pintaan ja loppuosan on mahdollista suspendoitua ilmaan esimerkiksi ajoneuvon renkaan nostattamana.
REDUST	REDUST-katupölyhanke (EU Life+) 2011-2014.
STARA	Helsingin kaupungin rakentamispalveluliikelaitos.
suspensio	Tämän raportin yhteydessä se osuus katupölystä, joka nousee ilmaan (erotuksen kadun pintaan sitoutuva osuus pölystä) ja on mitta-ajoneuvon mitattavissa.
takapesupalkki	Korkeapaineella toimiva pesevä/imevä palkki, joka on pesevän imulakaisuauton lisäosa.
TEOM	Värähtelevä mikrovaaka, (tapered element oscillating microbalance) joka mittaa ilman PM_{10} ja $PM_{2,5}$ massapitoisuutta.
Traficom	Liikenteen ja viestinnän lupa-, rekisteri- ja valvontaviranomainen.
Vectra	Tässä raportissa katupölyn mittauksessa käytetty henkilöautopohjainen mittausjärjestelmä, joka on rakennettu Opel Vectran koriin.
WDS	Wet dust sampler, kokonaispölykuorman määrittämisessä kadun pinnalta käytetty mittalaite.

Lähteet

Denby, B.R., Sundvor, I., Johansson, C., Pirjola, L., Ketzel, M., Norman, M., Kupiainen, K., Gustafsson, M., Blomqvist, G., Kauhaniemi, M. & Omstedt, G. 2013. A coupled road dust and surface moisture model to predict non-exhaust road traffic induced particle emissions (NORTRIP). Part 2: Surface moisture and salt impact modelling. Atmospheric Environment. 81, 485–503. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2013.09.003.

Denby, B.R., Sundvor, I., Johansson, C., Pirjola, L., Ketzel, M., Norman, M., Kupiainen, K., Gustafsson, M., Blomqvist, G. & Omstedt, G. 2013. A coupled road dust and surface moisture model to predict non-exhaust road traffic induced particle emissions (NORTRIP). Part 1: Road dust loading and suspension modelling. Atmospheric Environment. 77, 283–300. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2013.04.069.

Etyemezian, V., Kuhns, H., Gillies, J., Green, M., Pitchford, M. & Watson, J. 2003. Vehicle-based road dust emission measurement: I—methods and calibration. Atmospheric Environment. 37(32), 4559–4571. DOI: 10.1016/S1352-2310(03)00528-4.

Gjerstad, Karl-Idar, Gustafsson, Mats, Blomqvist, Göran, Denby, Bruce, Elmgren, Max, Grythe, Henrik, Janhäll, Sara, Järlskog, Ida, Johansson, Christer, Kulovuori, Sami, Kupiainen, Kaarle, Lundberg, Joacim, Malinen, Aleksi, Norman, Michael, Ritola, Roosa, Silvergren, Sanna, Stojiljkovic, Ana, Sundvor, Ingrid, Þorsteinsson, Þröstur, Stefani, Martina & Vogt, Matthias 2019. NORDUST: Nordic Road Dust Project. København: NordFoU. http://www.nordfou.org/Documents/NorDUST/NorDust%20Final%20report.pdf [luettu 16.4.2021]

Gustafsson, Mats, Blomqvist, Göran, Järlskog, Ida, Lundberg, Joacim, Janhäll, Sara, Elmgren, Max, Johansson, Christer, Norman, Michael & Silvergren, Sanna 2019. Road dust load dynamics and influencing factors for six winter seasons in Stockholm, Sweden. Atmospheric Environment: X. 2, 100014. DOI: 10.1016/j.aeaoa.2019.100014.

Helsingin seudun ympäristöpalvelut HSY 2020a. Ilmanlaadun mittausasemat vuonna 2020. https://julkaisu.hsy.fi/ilmanlaadun-mittausasemat-vuonna-2020.html [luettu 20.3.2021].

Helsingin seudun ympäristöpalvelut HSY 2020b. Ilmanlaadun vuodenaikaiskatsaukset 2020. https://julkaisu.hsy.fi/ilmanlaadun-vuodenaikaiskatsaukset-2020.html [luettu 20.3.2021].

Johansson, Christer, Gustafsson, Mats, Blomqvist, Göran, Bennet, Cecilia, Denby, Bruce Rolstad, Sundvor, Ingrid, Kauhaniemi, Mari, Härkönen, Jari, Kukkonen, Jaakko, Karppinen, Ari, Kangas, Leena, Omstedt, Gunnar, Ketzel, Matthias, Massling, Andreas, Pirjola, Liisa, Norman, Michael, Kupiainen, Kaarle & Karvosenoja, Niko 2012. NORTRIP - Non-exhaust road traffic induced particle emissions: development of a model for assessing the effect on air quality and exposure. ITM-report; 212 vsk.; Stockholm: Stockholms universitet. Institutionen för tillämpad miljövetenskap. http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:vti:diva-5289. DiVA. (212).

Karvosenoja, Niko 2008. Emission scenario model for regional air pollution. Helsinki: Finnish Environment Institute. http://hdl.handle.net/10138/39332.

Korhonen, Antti, Lehtomäki, Heli, Rumrich, Isabell, Karvosenoja, Niko, Paunu, Ville-Veikko, Kupiainen, Kaarle, Sofiev, Mikhail, Palamarchuk, Yuliia, Kukkonen, Jaakko, Kangas, Leena, Karppinen, Ari & Hänninen, Otto 2019. Influence of spatial resolution on population PM2.5 exposure and health impacts. Air Quality, Atmosphere & Health. 12(6), 705–718. DOI: 10.1007/s11869-019-00690-z.

Korhonen, Saija, Loukkola, Kati & Portin, Harri 2020. Ilmanlaatu pääkaupunkiseudulla vuonna 2019 - Vuosiraportti. Helsinki: Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä. https://julkaisu.hsy.fi/ilmanlaatu-paakaupunkiseudulla-vuonna-2019-1.pdf [luettu 16.4.2021]

Kossi, Henri & Raatikainen, Jouni 2019. Study on the effects that the decree on tyre studs has had on currently available stutted tyres. Pirkkala: Black Donuts Engineering Oy. https://www.traficom.fi/sites/default/files/media/regulation/Study%20on%20the%20effects%20that%20the%20decree%20on%20tyre%20studs%20has%20had%20on%20currently%20available%20studded%20tyres.pdf [luettu 16.4.2021]

Kulovuori, Sami, Ritola, Roosa, Stojiljkovic, Ana, Malinen, Aleksi & Kupiainen, Kaarle 2019. Katupölyn lähteet, päästövähennyskeinot ja ilmanlaatuvaikutukset –Tuloksia KALPA-tutkimushankkeesta 2015–2018. Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä HSY. https://www.hsy.fi/globalassets/ilmanlaatu-ja-ilmasto/tiedostot/1-2019-katupolyn-lahteet-paastovahennyskeinot-ja-ilmanlaatuvaikutukset-kalpa-2015-2018.pdf [luettu 16.4.2021]

Kupiainen, Kaarle, Pirjola, Liisa, Viinanen, Jari, Stojiljkovic, Ana & Malinen, Aleksi 2009. Katupölyn päästöt ja torjunta, KAPU-hankkeen loppuraportti. Helsinki: Helsingin kaupungin ympäristökeskus. https://www.hel.fi/static/ymk/julkaisut/julkaisu-13-09.pdf [luettu 16.4.2021]

Kupiainen, Kaarle, Stojiljkovic, Ana, Paunu, Ville-Veikko, Karvosenoja, Niko, Kukkonen, Jaakko, Kangas, Leena, Kauhaniemi, Mari, Denby, Bruce Rolstad & Hänninen, Otto 2020. Characteristics and Mitigation of Vehicular Non-exhaust

Particle Emissions in Nordic Conditions. Air Pollution Modeling and its Application XXVI. , 211–216. DOI: 10.1007/978-3-030-22055-6_33.

Lundberg, Joacim, Blomqvist, Göran, Gustafsson, Mats, Janhäll, Sara & Järlskog, Ida 2019. Wet Dust Sampler — a Sampling Method for Road Dust Quantification and Analyses. Water, Air, & Soil Pollution. 230(8), 180. DOI: 10.1007/s11270-019-4226-6.

Männikkö, J-P, Niemi, Jarkko, Ritola, Roosa, Kupiainen, Kaarle, Pirjola, Liisa, Väkevä, Outi & Virtanen, T 2014. REDUST Parhaat talvikunnossapidon käytännöt hengitettävän katupölyn vähentämiseen. Helsinki: Helsingin kaupungin ympäristökeskus. www.ymk-projektit.fi/redust/ [luettu 16.4.2021]

Pirjola, L., Kupiainen, K.J., Perhoniemi, P., Tervahattu, H. & Vesala, H. 2009. Non-exhaust emission measurement system of the mobile laboratory SNIFFER. Urban Air Quality. 43(31), 4703–4713. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2008.08.024.

Pärjälä, Erkki & Pulkkinen, Juha 2019. Kuopion seudun ilmanlaatu vuonna 2019. Kuopion kaupunki. https://www.kuopio.fi/documents/7369547/7616060/Kuopion+seudun+ilmanlaatu+2019/c28ddf52-2043-47ef-9035-49ebefab50c0 [luettu 16.4.2021]

Setälä, Outi & Suikkanen, Sanna 2020. Suomen merialueen roskaantumisen lähteet. Helsinki: Suomen ympäristökeskus. http://hdl.handle.net/10138/313542

Snowek Oy 2020. Trombia. Trombia. https://trombia.com/fi/product/ [luettu 20.3.2021].

Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy 2021. LIPASTO - Liikenteen päästöt. LIPASTO - Liikenteen päästöt. http://lipasto.vtt.fi/index.htm [luettu 20.3.2021].

Toiskallio, Kalle, Kuukka-Ruotsalainen, Virpi & Alppivuori, Kari 2013. Kitkarenkaiden käytöllä parempaa ilmanlaatua liikenneturvallisuudesta tinkimättä. NASTA-tutkimusohjelman 2011–2013 loppuraportti. Helsinki: Helsingin kaupugin rakennusvirasto. https://www.hel.fi/static/hkr/julkaisut/2013/nasta_loppuraportti_2013.pdf [luettu 16.4.2021]

Torvinen, Heikki 2010. Henkilöautoon sijoitettu katupölyn mittauslaitteisto. Insinöörityö, Helsinki: Metropolia Ammattikorkeakoulu.

Unhola, Timo 2015. Yliajokoe, Selvitys kokeen kehitysvaiheista ja tyyppihyväksyntärajojen määräytymisperusteista. Helsinki: Trafi. https://arkisto.trafi.fi/filebank/a/1443097597/9d695408776c1798108dffbee9cbeb99/18582-Trafin_julkaisuja_08-2015_-_Yliajoselvitys.pdf [luettu 16.4.2021]

Unhola, Timo 2020. Nastoin varustettujen autojen osuus liikennevirrasta Koilis-Helsingissä 2019-2020. Tampere.

Väylävirasto 2021. Digiroad - Finnish National Road and Street Database. Digiroad - Finnish National Road and Street Database -Väylä. https://vayla.fi/en/transport-network/data/digiroad [luettu 20.3.2021].

Liite A: Hankkeen työpaketit

Taulukko A 1: KALPA3-hankkeen työpaketit ja niiden tavoitteet.

TP1. Katuverkon päästötasojen monitorointi	**TP2. Uusien talvirenkaiden hiukkaspäästöt**	**TP3. Katupölyn erikoiskohteet**
• Jatkaa katupölyn päästömittauksia kaupunkireiteillä • Yhteismitallistaa uuden Nuuskija-auton tulokset olemassa olevaan katupölyindeksiin. • Mitata katupölypäästöjä valituissa kohteissa pääväylillä. • Pohtia aineiston hyödynnettävyyttä mallinnuksessa. • Esittää tuloksia katuverkolta sekä PM_{10}- että $PM_{2,5}$-päästöille. • Jatkaa Wet Dust Sampler (WDS) mittauksia valituissa kohteissa. • Jatkaa katupölyn trendien seuraamista jatkuvien aikasarjojen ja olemassa olevien aineistojen avulla (HUOM Nuuskijan muutokset).	• Selvittää mittauksiin perustuen nastattomien ja nastallisten talvirenkaiden päästöihin vaikuttavia tekijöitä. • Vertailla ”onroad”-nastarengasmittausten tuloksia muilla menetelmillä saatuihin tuloksiin (”overrun”, VTI:n karuselli), mikäli tuloksia on saatavilla. • Ottaa mittauksiin mahdollisuuksien mukaan myös SUV-renkaita.	• Selvittää katupölypäästöihin vaikuttavia tekijöitä erilaisissa kohteissa. Mahdollisia mittausaiheita: • Puhdistuskalusto /Vantaan urakoitsijoiden uuden kaluston vertailumittaus. • Rakennustyömaat - siirrettävä PM_{10} mittalaite (HSY) työmaakohteissa. • Raitiotiet: erilaiset päällysteet sekä jarruhiekkakäytännöt • Selvittää tiedonsiirtomahdollisuuksia laadunvarmistusnäkökulmasta.
TP.4 Katupölyn lähteet	**TP5. Katupölyn päästöjen ja ilmanlaatuvaikutusten mallinnus**	**TP6. Kuopio**
• Arvioidaan katupölylähteiden osuutta hiukkaspäästöissä ja -pitoisuuksissa NORTRIP-mallin avulla. • Selvitetään mahdollisuus ottaa näytesarja mineraalipölyn määrän selvittämiseksi (HSY).	• Mallinnuksen avulla arvioidaan katupölyn lähteitä ja vähennyskeinoja oleellisissa kohteissa • Mannerheimintie, Tikkurila, väyläympäristö. • NORTRIP: Tehdään alustavia mallilaskelmia usean kadun sovellusta käyttäen (ehdollinen). • FRES-malli: arvioidaan katupölypäästöjen merkittävyyttä koko Suomen tasolla. • Katupölyn päästökerrointen ja päästöinventaarion tarkentaminen (ml. $PM_{2,5}$ Tasot: katu/katuverkko/ kaupunki/Uusimaa.	• Selvittää katupölytasoja Kuopiossa. • Suorittaa 3-4 mittauskampanjaa (2019) sisältäen Nuuskija-ajot erikseen suunnitellulla kaupunkireitillä (mukaanlukien moottoritieosuus) sekä WDS-mittaukset valitu(i)ssa kohtee(/i)ssa. • Mallinnus (NORTRIP) valitu(i)ssa kohtee(/i)ssa. • Erillinen terveysvaikutustutkimus (PM_{10}) yhdessä THL kanssa. • Selvittää lähteitä NORTRIP-mallilla.

Työpaketeissa tehtyjen töiden tarkempi kuvaus sekä tavoitteet

Kaikki mittaukset ja työt eivät suunnitelman koko laajuudessa toteutuneet hankkeen aikana mm. koronarajoitusten takia.

TP 1. Katuverkon päästötasojen monitorointi

Työpaketin (1) osana toteutetut mittaukset toteutettiin pääasiassa Nuuskija-autolla (Kappale 3 Menetelmät) kaupunkimittausreiteillä. Mittaukset ja tulosten käsittely toteutettiin noudattaen aikaisemmissa katupölyhankkeissa (KALPA, REDUST, KALPA1-2) muodostuneita hyviä käytäntöjä. Tulokset esitetään päästösignaaleina (Nuuskija TEOM PM_{10} ug/m^3). Työpaketissa oli tarkoitus selvittää, miten mittausten ja aineiston käsittely kannattaisi organisoida, jotta siitä olisi hyötyä kunnossapidon toimien suunnittelussa (ei toteutunut). PM_{10}-hiukkaspäästöjen lisäksi Nuuskijalla seurattiin katupölyn pienhiukkasten ($PM_{2,5}$) päästöjä kaupunkireitillä.

Wet Dust Sampler (WDS) mittauksia kadun pinnan pölytasoista (<180 µm, DL180) tehtiin ennalta määrätyissä kohteissa ja tuloksia verrattiin Nuuskija-autolla mitattuihin tuloksiin.

TP 2. Uusien talvirenkaiden hiukkaspäästöt

KALPA-hankkeen 1- ja 2-vaiheessa on mitattu talvirenkaiden pölypäästöjä ajoneuvoalustaisilla katupölyn mittausjärjestelmällä (Vectra, Kappale 3 Menetelmät). Nämä tulokset on raportoitu hankkeen 1-2 vaiheen raporteissa. KALPA3-hankkeessa tarkasteltiin talvirengasmittausten tuloksia rinnakkain yliajomenetelmällä saatuihin kuluma-arvioihin.

TP 3. Katupölyn erikoiskohteet

Työpaketissa (3) kohdistettiin mittauksia katupölyn kannalta olennaisiin kohteisiin, jotka eivät ole osa niin kutsuttua kaupunkimittausverkkoa. Tällaisia erikoiskohteita ja -aiheita ovat olleet mm. työmaa-alueet ja niiden vaikutuspiirissä olevat kadut sekä pääväylät ja moottoritien alueella olevan pölyn määrä ja sen vapautuminen tieympäristöön.

Lisäksi työpaketissa on toteutettu räätälöityjä mittauskampanjoita, kuten kadun puhdistuskaluston testausta eri ympäristöissä. Puhdistuskaluston tutkimusten yhteydessä tavoitteena oli dokumentoida myös puhdistuskaluston kriteeristö alihankintaa varten, sekä dokumentoida nykyiset laitteet yhdessä tutkimustulosten kanssa mahdollisimman tarkasti.

WDS -mittauksia toteutettiin valituissa kohteissa ja aihepiireissä ajoneuvomittausten ohella.

TP 4. Katupölyn lähteet

Työpaketin (4) tavoitteena oli erotella toisistaan nastarenkaiden päällysteestä irrottaman ja talvihiekoitusperäisen PM_{10}-pölyn osuuksia erityisesti mineraalihiukkasissa ja arvioimalla ko. lähteiden ilmanlaatuvaikutusta. Lähdearvio toteutettiin NORTRIP-mallin avulla

Koostumusanalyysiin perustuvia tutkimuksia on tehty ja raportoitu aikeisemmin KALPA2-hankkeessa (Mäkelänkatu, Helsinki) sekä NASTA-tutkimusohjelmassa (Suurmetsäntie, Helsinki).

TP 5. Katupölyn päästöjen ja ilmanlaatuvaikutusten mallinnus

Työpaketissa (5) määritettiin laskennallisesti NORTRIP-mallilla eri katupölylähteiden määriä tutkimuskohteissa tukeutuen historiallisiin aineistoihin. Näin saatuja osuuksia verrattiin tutkimuskohteista saatavilla oleviin ilmanlaatuaineistoihin sekä KAPU- ja REDUST-hankkeiden sekä NASTA-tutkimusohjelman puitteissa koottuihin aineistoihin. Mallinnuksia tehtiin Helsingissä Mäkelänkadulla (Mäkelänkatu 50, HSY:n mittausasema) sekä Kuopiossa (Maaherrankatu ja Tasavallankatu, mittausasemat).

Katupölyn osuutta päästöissä ja -pitoisuuksissa arvioitiin mallin avulla sekä PM_{10}:lle että $PM_{2,5}$:lle. Työpaketin tuloksia käytetään mm. pääkaupunkiseudun katupölyn päästöinventaarion tarkentamiseen (ml. $PM_{2,5}$). Katupölypäästöjen merkittävyyttä koko Suomen tasolla arvioitiin SYKEn kansallisella skenaario päästömallilla (FRES, Finnish Regional Emission Scenario). NORTRIP-mallin tuloksia yleistettiin Suomen eri alueille, eri meteorologioille ja erilaisille tie- ja katutyypeille ja päästökerroinarviot vietiin FRES-malliin. FRES-mallin Suomen alueellisia päästötietoja voidaan lopulta hyödyntää myös Suomen virallisesti raportoitavissa kansainvälisissä päästöinventaarioissa. Näin luodaan yhtenevä tietopohja eri tason päästöinventaarioille.

TP 6. Kuopio

Työpaketti (6) koostui Kuopiossa tehdyistä mittauksista ja analyyseistä. Nuuskijan mittausreitti ajettiin kampanjaluontoisesti kolme kertaa vuoden 2019 ja neljä kertaa 2020 aikana (alkukevät, kevätpölykausi, ”kesäpuhdas” taso). Yksi mittauskampanja kesti kaksi päivää, jolloin pyrittiin ajamaan reitti molempina päivinä, mutta vähintään toisena. Kaupunkireittiin otettiin mukaan myös osuus kaupungin läpi kulkevasta moottoritiestä.

NORTRIP-mallia käytettiin kahdessa kohteessa (Maaherrankatu ja Tasavallankatu). Molemmissa kohteissa sijaitsee ilmanlaadun mittausasemat. WDS -mittaukset suoritettiin neljä kertaa vuoden 2019, ja kolme kertaa vuoden 2020 aikana Maaherrankadulla ja Tasavallankadulla. Mittaukset toteutettiin pääasiallisesti samaan aikaan kuin Nuuskija-mittaukset.

Liite B: Kaupunkireittimittauksiin liittyvät lisäaineistot

Taulukko B 1: KALPA3-hankkeen kaikki mittauspäivät taulukkona.

Päivämäärä	Viikko	Töölö	Keskusta	Kylä-saari	Kala-sa-tama	Jätkä-saari	Tikku-rila	Haku-nila	Hämeenlin-nan-väylä	Myyr-mäki
27.3.2019	13						+	+		
28.3.2019	13	+	+	+	+	+				
29.3.2019	13	+	+	+	+	+				
1.4.2019	14						+	+	+	
2.4.2019	14	+	+	+	+	+				
11.4.2019	15	+	+	+	+	+				
12.4.2019	15						+	+	+	
17.4.2019	16	+	+	+	+	+				
23.4.2019	17	+	+	+	+	+				
24.4.2019	17						+	+	+	
25.4.2019	17	+	+			+				
30.4.2019	18						+	+	+	
8.5.2019	19						+	+	+	
9.5.2019	19	+	+	+	+	+				
13.5.2019	20						+	+	+	
15.5.2019	20	+	+	+	+					
16.5.2019	20	+	+			+				
21.5.2019	21			+	+					
22.5.2019	21	+	+			+				
23.5.2019	21						+	+	+	
24.4.2020	17						+	+	+	+
30.4.2020	18	+	+	+	+	+				
6.5.2020	19						+	+	+	+
14.5.2020	20	+	+			+				
15.5.2020	20						+	+	+	+
18.5.2020	21			+	+		+	+	+	+
19.5.2020	21	+	+	+	+	+				
25.5.2020	22						+	+	+	+
27.5.2020	22	+	+	+	+	+				
11.6.2020	24					+				
22.6.2020	26	+	+			+	+	+	+	+
23.6.2020	26			+	+					
25.6.2020	26					+				
10.7.2020	28	+	+			+				
20.7.2020	30						+	+	+	+
21.7.2020	30			+	+	+				
6.8.2020	32						+	+	+	+
7.8.2020	32	+	+			+				
20.8.2020	34			+	+	+				

Taulukko B 2: Kunnossapitotoimenpiteiden kirjaukset Helsingin eri alueilla kausilla 2018-2019 ja 2019-2020. Osa kirjauksista puuttuu.

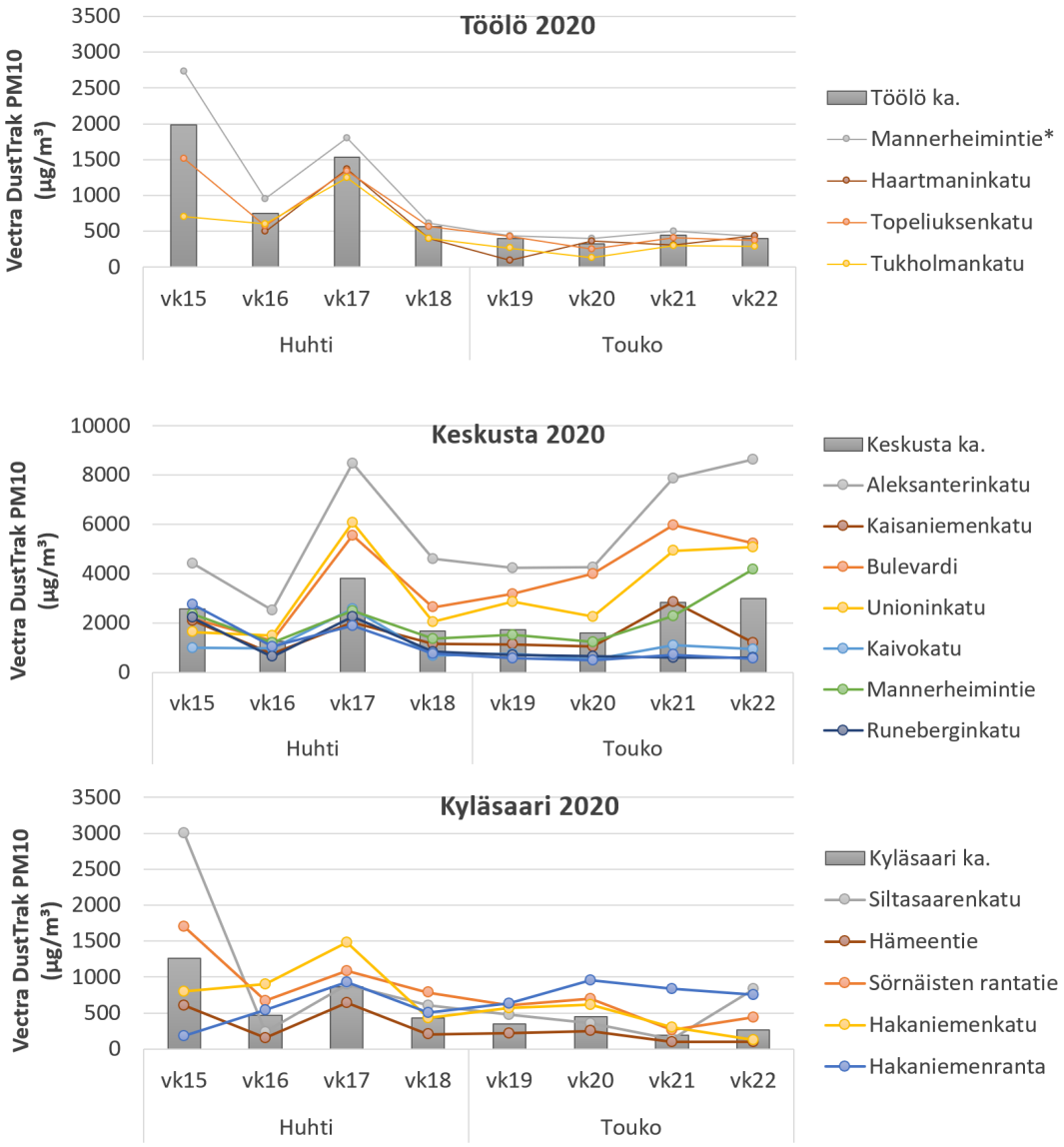
Kausi	Kunnossapitoalue	Katu	Suolaus	Pistehiekoitus	Hiekoitus	Pölynsidonta - koko kaista	Pölynsidonta - täsmälevitys	Hiekannosto	Puhdistus
2018/2019	Kyläsaari	Hakaniemenkatu	23	8		7	4	1	1
		Hakaniemenranta	23	8		8	4	1	1
		Hämeentie (Arabia)	23	8		10	3	1	1
		Hämeentie (Hakaniemen halli - Kurvi)	22	8		8	2		
		Sörnäisten rantatie	22	8		10	5		
		Mäkelänkatu (Sturenkatu-Mäkelänrinteen uimahalli)	23	8		18	6	1	2
		Arielinkatu	14	8		13	4		
		Kyläsaarenkatu	23	8		2	1		
	Keskusta	Bulevardi	19			6	12	1	
		Kaisaniemenkatu	19			7	14	3	5
		Kaivokatu	19			7	14	4	5
		Mannerheimintie	19			9	12	7	3
		Mechelininkatu	19			7	13	7	1
		Runeberginkatu	19			8	15	2	3
		Unioninkatu	19			6	13		4
	Töölö	Haartmaninkatu	34	9	6			2	1
		Mannerheimintie (Ooppera - Töölön tulli)	34	9	6			7	9
		Runeberginkatu	34	9	6			2	1
		Topeliuksenkatu	34	9	6			4	3
		Tukholmankatu	34	9	6			2	1
2019/2020	Kyläsaari	Hakaniemenkatu	20			3	6	1	1
		Hakaniemenranta	20			3	6	1	1
		Hämeentie	20			5	7	1	2
		Sörnäisten rantatie	20			3	7	1	1
		Mäkelänkatu (Sturenkatu- Mäkelänrinteen uimahalli)	20			7	8	1	2
		Arielinkatu	10					1	1
		Kyläsaarenkatu	20			5	5		1
	Töölö	Haartmaninkatu	42				3	2	2
		Mannerheimintie	42				3	7	7
		Runeberginkatu	42				3	2	2
		Topeliuksenkatu	42				3	3	3
		Tukholmankatu	42				3	2	2

Taulukko B 3: Kunnossapitotoimenpiteiden kirjaukset Vantaan Tikkurilassa kausilla 2018-2019 ja 2019-2020. Osa kirjauksista puuttuu.

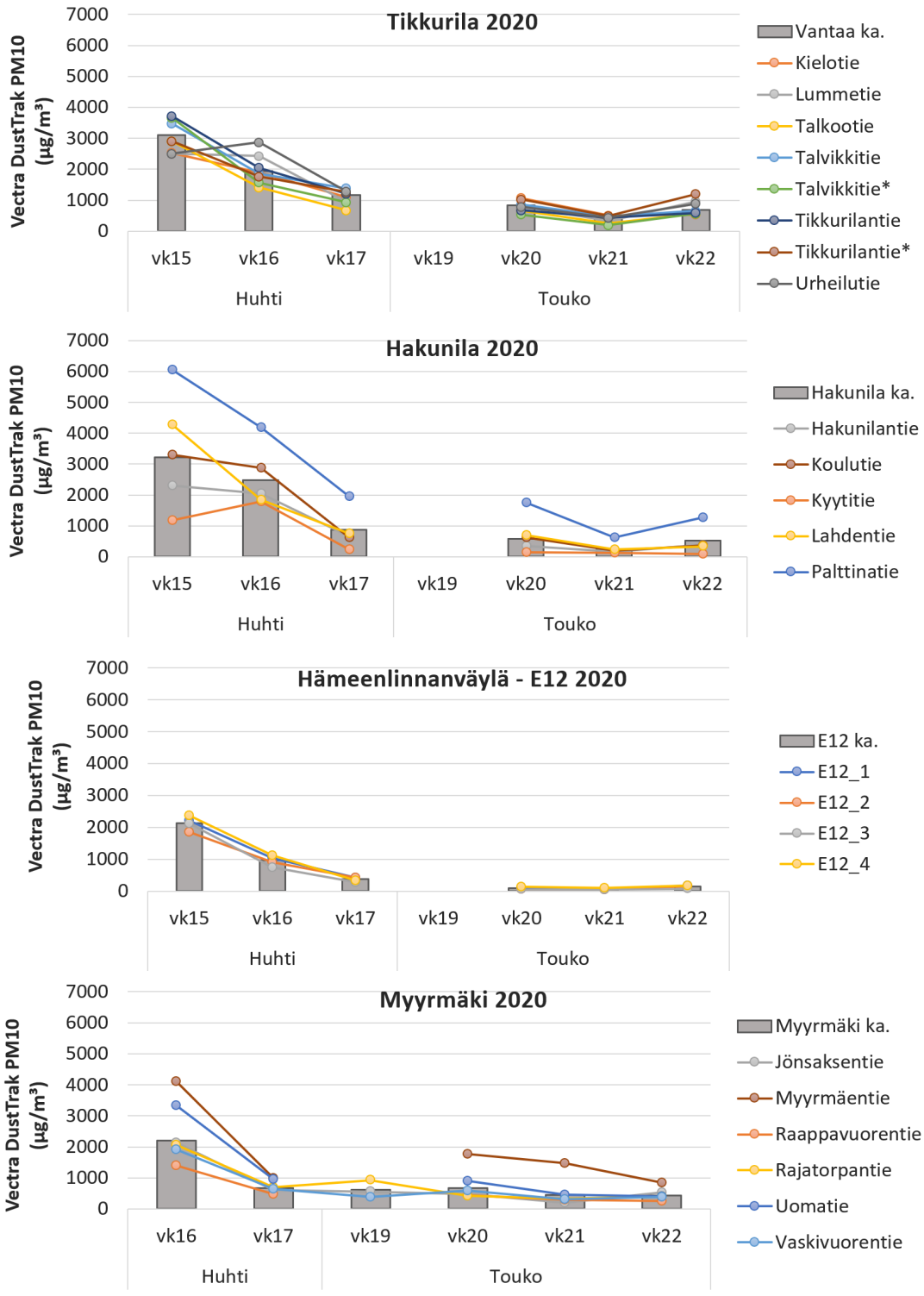
Kausi	Katu	Suolaus	Hiekoitus	Pistehiekoitus	Pölynsidonta - koko kaista	Pölynsidonta - täsmä levitys	Hiekannosto	Puhdistus
2018/2019	Kielotie	51	1	10	3	0	0	1
	Lummetie	51	1	10	2	0	0	1
	Ratatie	51	1	10	2	0	0	0
	Talkootie	51	1	10	4	0	0	2
	Talvikkitie	51	1	10	3	0	0	3
	Tikkurilantie	51	1	10	3	0	0	1
	Urheilutie	51	1	10	3	0	0	1
2019/2020	Kielotie	53						
	Lummetie	53						
	Ratatie	53						
	Talkootie	53						
	Talvikkitie	53						
	Tikkurilantie	53						
	Urheilutie	53						

Taulukko B 4: Kunnossapitotoimenpiteiden kirjaukset Kuopiossa kausilla 2018-2019 ja 2019-2020.

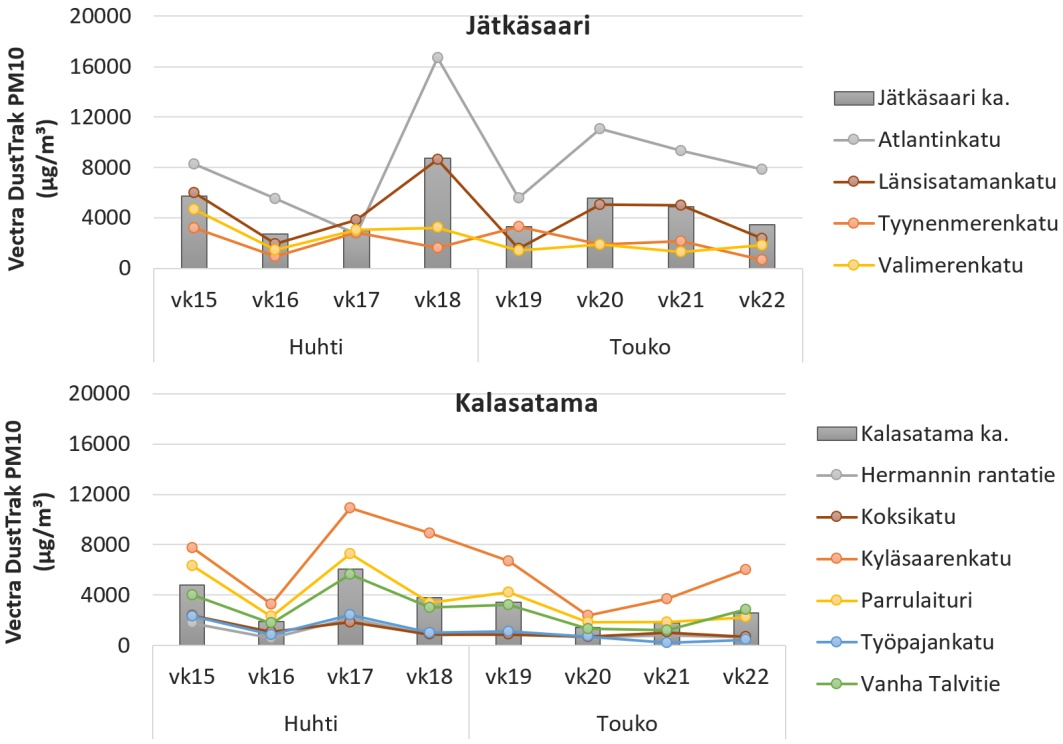
Kausi	Katu	Suolaus	Hiekoitus	Piste-hiekoitus	Pölyn-sidonta - koko kaista	Pölyn-sidonta - täsmä levitys	Hiekan-nosto	Puhdistus
2018/2019	Maaherrankatu	0	1	52	1	2	1	11
	Mallitalonrinne	10	1	56	1	0	0	1
	Niiralankatu	1	1	50	3	1	1	2
	Pohjankatu	9	1	55	1	0	0	1
	Tasavallankatu	7	1	47	4	2	1	5
2019/2020	Maaherrankatu	2	0	10	5	7	2	11
	Mallitalonrinne	12	0	7	1	3	1	3
	Niiralankatu	6	0	15	3	7	1	3
	Pohjankatu	11	0	8	0	5	1	2
	Tasavallankatu	8	0	12	7	5	2	8



Kuva B 1. PM_{10} -pitoisuudet Vectralla mitattuna Helsingin mittausreitin alueilla keväällä 2020.

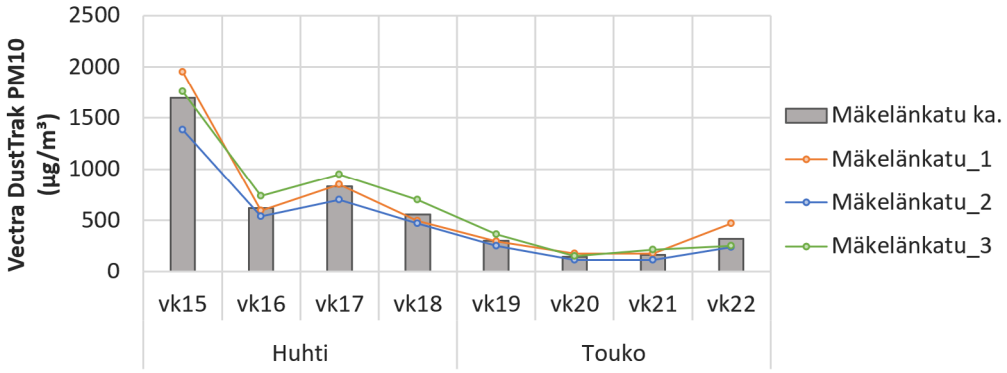


Kuva B 2. PM_{10} -pitoisuudet Vectralla mitattuna Vantaan mittausreitin alueilla keväällä 2020.

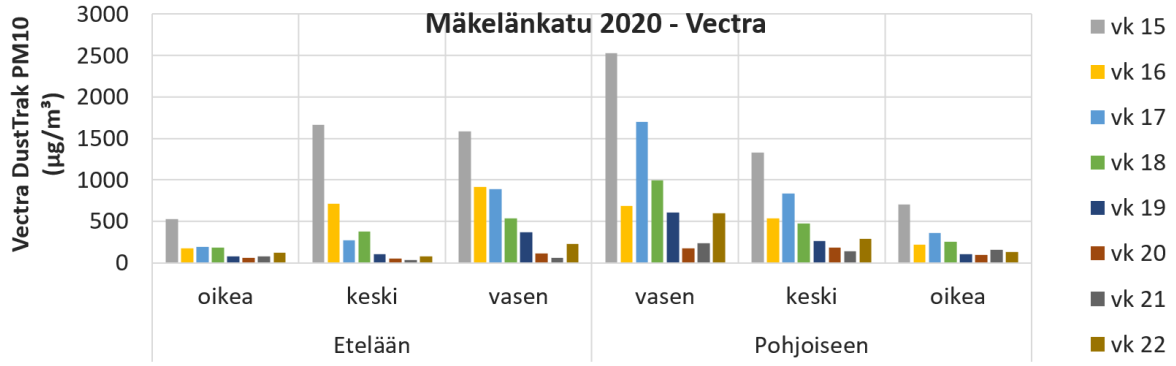


Kuva B 3. PM_{10}-pitoisuudet Vectralla mitattuna kahdella työmaa-alueella (Helsingissä) keväällä 2020.

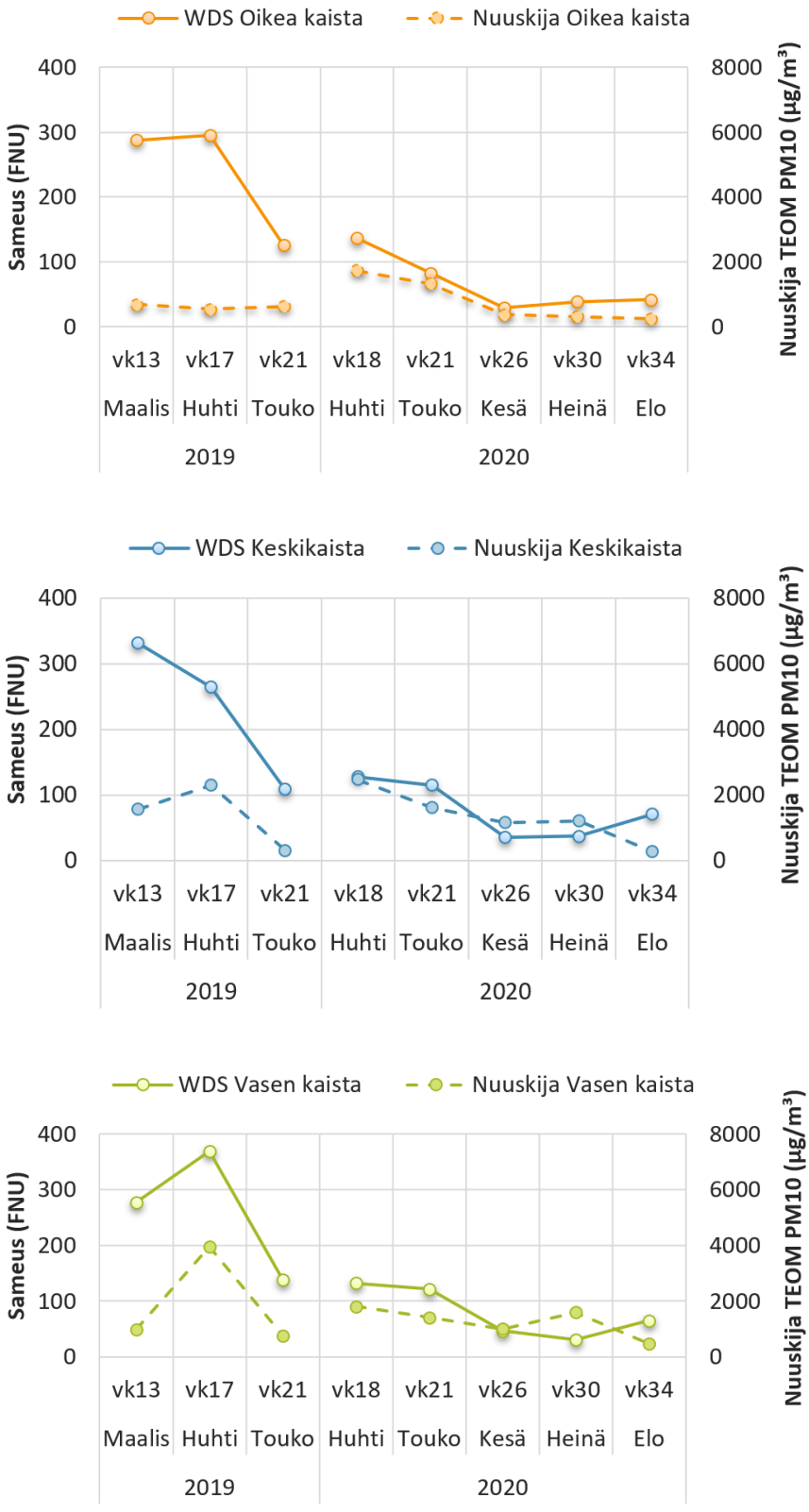
Liite C: Erikoiskohteisiin liittyvät lisäaineistot



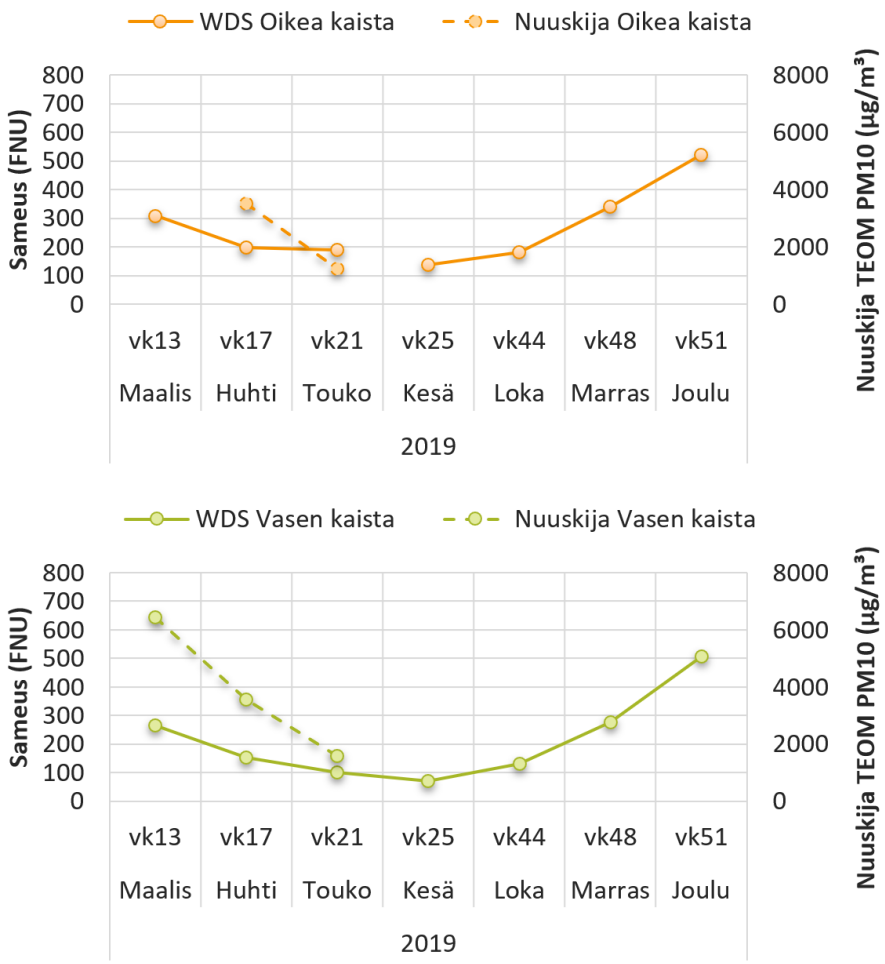
Kuva C 1. PM_{10} -pitoisuudet Vectralla mitattuna Mäkelänkadulla keväällä 2020. Tulokset on esitetty keskiarvoina koko kadulle (pylväät) ja katuosuuksille (viivat).



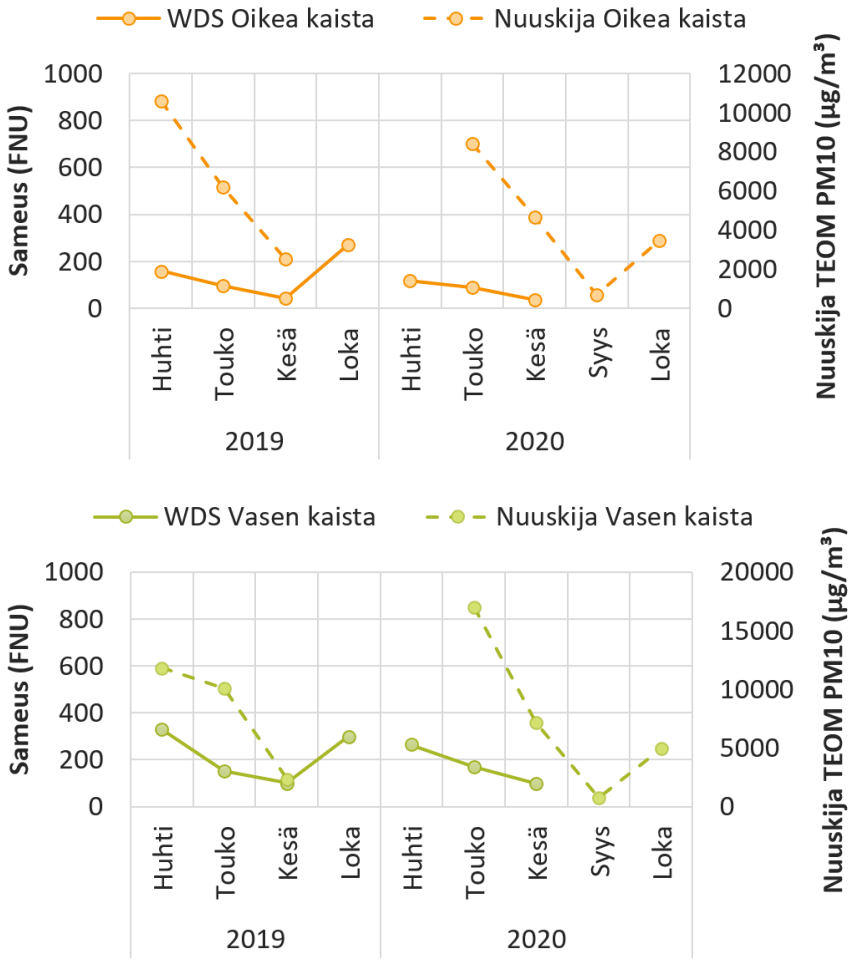
Kuva C 2. Viikkokohtaiset PM_{10}-pitoisuudet Vectralla mitattuna Mäkelänkadulla kolmella eri kaistalla, molempiin ajosuuntiin, keväällä 2020.



Kuva C 3. WDS- ja Nuuskija- tulokset Mäkelänkadulla 2019-2020 niille viikolle, kun kohteessa on mitattu molemmilla menetelmillä. Tulokset on esitetty kaistakohtaisina arvoina kolmelle etelän suuntaan kulkevalle kaistalle.



Kuva C 4. WDS- ja Nuuskija-mittaustulokset Talvikkitiellä 2019 niillä viikoilla, kun kohteessa on mitattu molemmilla menetelmillä. Tulokset on esitetty kaistakohtaisina arvoina kahdelle etelän suuntaan kulkevalle kaistalle.



Kuva C 5. WDS- ja Nuuskija-mittaustulokset Tasavallankadulla 2019-2020 mittauskampanjoissa. Tulokset on esitetty kaistakohtaisina arvoina kahdelle länteen suuntaan kulkevalle kaistalle.

Liite D: Puhdistuslaitetesteihin liittyvät lisäaineistot

Valtatie 5 (Kuopio) pesutestissä mitatut PM_{10}-pitoisuudet Vectralla (DustTrak) mitattuna

Taulukko D 1: Mitatut PM_{10} -pitoisuudet (Vectra DustTrak PM_{10} ($\mu g/m^3$)). Tuloksissa on huomioitu mittauspisteet molempiin ajosuuntiin. (ka=keskiarvo, std= keskihajonta).

Kaista	Pisteiden määrä	Ennen/ jälkeen pesun	PM_{10} ka.	PM_{10} mediaani	PM_{10} min.	PM_{10} max.	PM_{10} std.
Piennar	370	Ennen	37230	28500	1920	141000	31200
Piennar	375	Jälkeen	24620	17300	1270	94500	30000
Oikea kaista	290	Ennen	2100	1940	1080	4650	660
Oikea kaista	293	Jälkeen	2260	2180	1070	3310	620
Vasen kaista	295	Ennen	4590	4430	1420	7790	1670
Vasen kaista	295	Jälkeen	6750	6710	4390	8730	890

Koisotien pesutestissä mitatut PM_{10}-pitoisuudet Vectralla ja Nuuskijalla mitattuna

Taulukko D 2: Vectralla mitatut tulokset Koisotien pesutestissä toukokuussa 2020. (ka=keskiarvo, std= keskihajonta).

Vectra Rata	Ennen/jälkeen	Pisteiden määrä	PM_{10} ka ($\mu g/m^3$)	PM_{10} mediaani ($\mu g/m^3$)	PM_{10} max ($\mu g/m^3$)	PM_{10} min ($\mu g/m^3$)	PM_{10} std ($\mu g/m^3$)
1	Ennen	114	45670	44400	84900	15400	16356
1	Jälkeen	84	155312	15500	26400	4460	6514
2	Ennen	117	36527	30700	85000	10100	17316
2	Jälkeen	128	5488	4140	16300	1240	3822
3	Ennen	119	30700	24900	87700	5990	20173
3	Jälkeen	121	4359	2930	17900	1130	3283
4	Ennen	120	32258	31650	86700	2850	20544
4	Jälkeen	130	2447	1905	11300	851	1572
5	Ennen	120	36515	37650	85200	4720	20222
5	Jälkeen	131	7229	5940	18600	1840	4130
6	Ennen	119	43643	45500	86600	5780	24579
6	Jälkeen	128	3425	3005	11110	862	2040

Taulukko D 3: Nuuskijalla mitatut tulokset Koisotien pesutestissä toukokuussa 2020. (ka=keskiarvo, std= keskihajonta)

Nuuskija Rata	Ennen/jälkeen	Pisteiden määrä	PM_{10} ka ($\mu g/m^3$)	PM_{10} mediaani ($\mu g/m^3$)	PM_{10} max ($\mu g/m^3$)	PM_{10} min ($\mu g/m^3$)	PM_{10} std ($\mu g/m^3$)
1	Ennen	90	24829	25350	36600	14800	5706
1	Jälkeen	80	13180	13550	20200	4040	4436
2	Ennen	108	20775	20450	34500	10100	6217
2	Jälkeen	134	4355	3485	14200	1120	2771
3	Ennen	120	18228	17400	34500	5230	6801
3	Jälkeen	126	3215	2655	9650	1200	1770
4	Ennen	117	17322	17700	36600	1350	8717
4	Jälkeen	131	3187	2760	10500	1020	1769
5	Ennen	116	20061	20050	35600	2730	7250
5	Jälkeen	131	3088	2770	7950	999	1681
6	Ennen	118	20831	21300	35700	4110	8239
6	Jälkeen	167	2240	2240	11400	715	1599

Liite E: Yhteenveto NORTRIP mallin lähtötiedoista Helsingissä ja Kuopiossa

Taulukko E 1: Yhteenveto kadun kunnossapidon toimista Mäkelänkadulla kuudella kaudella (loka-toukokuu). Kausi 2019/2020 sisältää tiedot lokakuusta 2019 joulukuuhun 2019 (kevään tiedot puuttuvat). Aurauskertojen määrä on laskettu käyttäen NORTRIP-mallia. Tiedot eroavat jossain määrin Taulukossa B2 esitetyistä, mallinnuksessa käytetyistä tiedoista, koska Taulukkoa B2 on täydennetty mallinnuksen jälkeen saaduilla puuttuvilla tiedoilla.

Kausi	Hiekoitus	Suolaus (liukkauden-torjunta) (NaCl)	Pölynsidonta ($CaCl_2$)	Kadun puhdis-tus	Auraus
2014/2015	7	56	31	2	9
2015/2016	1	59	17	4*	8
2016/2017	4	52	17	1	10
2017/2018	0	27	16	3	13
2018/2019	0	26	21	2	21
2019/2020	0	2	0	0	0

*Kausi 2015/2016 oli ainoa kausi, jolloin puhdistuskertoja raportoitiin myös loppuvuoteen (kolme pesukertaa marras-joulukuussa 2015), minkä vuoksi pesukertojen määrä poikkeaa muista vuosista.

Taulukko E 2: Yhteenveto liikennetiedoista Mäkelänkadulla vuosina 2015-2019. KVL=vuoden keskimääräinen vuoro-kausiliikenne, HDV=raskaan liikenteen osuus, EP_päästö=pakokaasuhiukkaspäästö (EP=exhaustion particles).

Vuosi	KVL (ajon./pvä)	HDV (%)	Nopeus (km/h)	Max. nastarengas-osuus (%)	NOX_päästö (g/km/h)	EP_päästö (g/km/h)
2015	28106	10	45	80	981	31
2016	28026	10	45	76	880	26
2017	28054	10	46	74	862	21
2018	28050	10	46	78	826	19
2019	28050	10	46	78	826	19

Taulukko E 3: Yhteenveto meteorologisista tiedoista Mäkelänkadulle vuosille 2015-2019.

Parametri	Tarkastelujakso	2015	2016	2017	2018	2019
Sademäärä (mm)	Vuosikeskiarvo	644	661	793	464	743
	Kevään keskiarvo	141	93	86	75	112
Lämpötila (˚C)	Vuosikeskiarvo	8	7	7	8	8
	Kevään keskiarvo	6	7	5	6	6

Taulukko E 4: Yhteenveto kadun kunnossapidon toimista Kuopiossa (Tasavallankatu ja Maaherrankatu) välillä lokakuu 2018 – elokuu 2019. Aurauskertojen määrä on laskettu käyttäen NORTRIP-mallia.

Kausi	Hiekoitus	Suolaus (liukkaudentorjunta) (NaCl)	Pölynsidonta ($CaCl_2$)	Kadun puhdistus	Auraus
Tasavallankatu	48	6	5	5*	28
Maaherrankatu	53	0	3	11**	28

*4 raportoidut puhdistuskerrat välillä loka-marras 2018

**10 raportoidut puhdistuskerrat välillä loka-marras 2018

Taulukko E 5: Yhteenveto liikennetiedoista Kuopiossa (Tasavallankatu ja Maaherrankatu) välillä lokakuu 2018 – elokuu 2019. KVL=vuoden keskimääräinen vuorokausiliikenne, HDV=raskaan liikenteen osuus, EP_päästö=pakokaasuhiukkas-päästö (EP=exhaustion particles).

Vuosi	KVL (ajon./pvä)	HDV (%)	Nopeus (km/h)	Max. nastarengas-osuus (%)	NO_X_päästö (g/km/h)	EP_päästö (g/km/h)
Tasavallankatu	18963	20	55	85	570	12
Maaherrankatu	4369	9	30	85	123	3

Taulukko E 6: Yhteenveto meteorologisista tiedoista Kuopion mallinnuskohteissa (Tasavallankatu ja Maaherrankatu) välillä lokakuu 2018 – elokuu 2019.

Parametri	Tarkastelujakso	10/2018 – 08/2019
Sademäärä (mm)	Vuosikeskiarvo	411
	Kevään keskiarvo	128
Lämpötila (˚C)	Vuosikeskiarvo	4
	Kevään keskiarvo	4

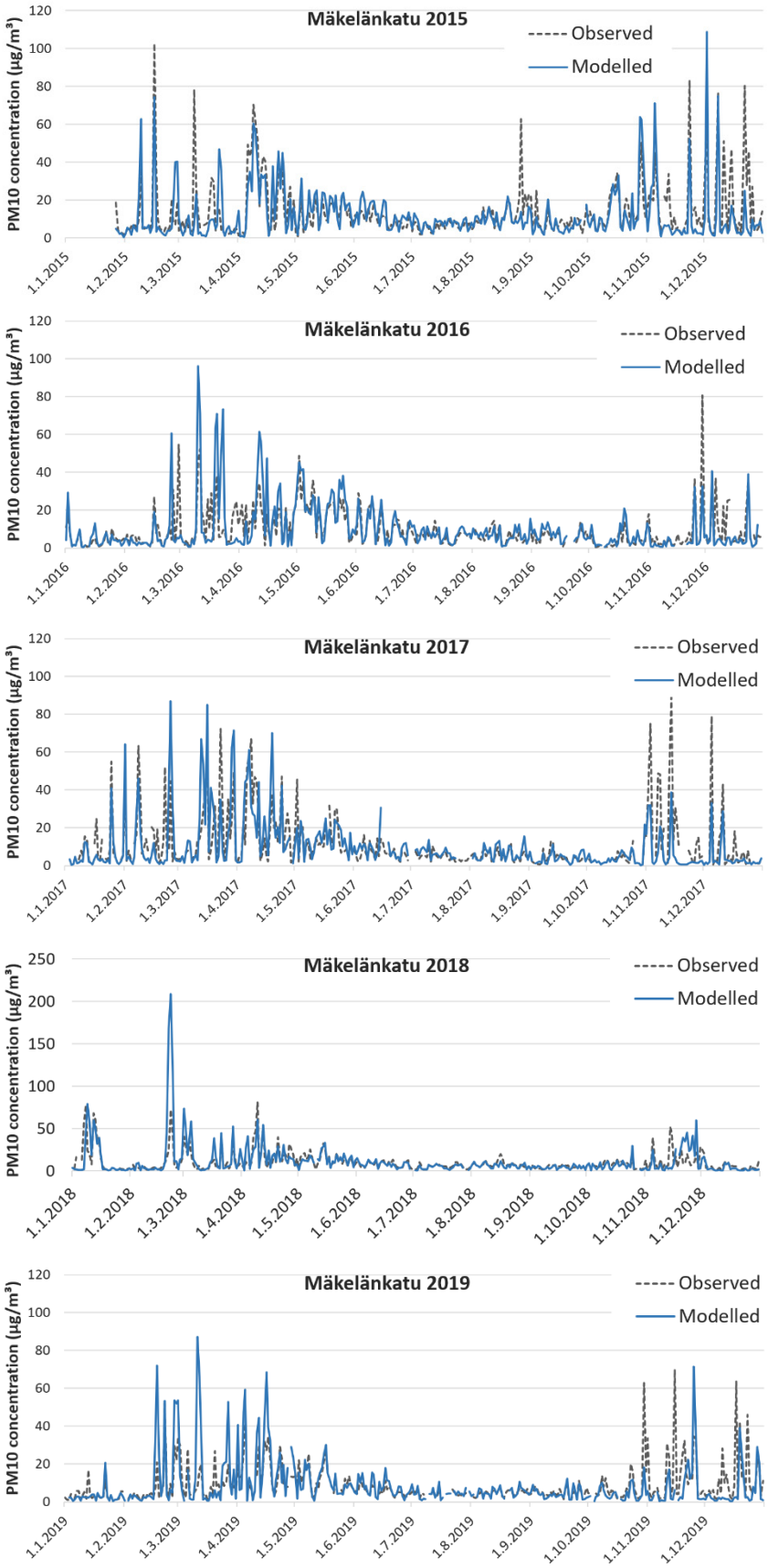
Liite F: Katupölyn mallinnus - Mäkelänkatu, Helsinki (in English)

The NORTRIP model has been applied using available input data for years 2015-2019 for Mäkelänkatu, Helsinki. Firstly, the model performance has been evaluated by comparing results produced using the available input data with the kerbside air quality measurement. Secondly, model was used to evaluate contributions of different sources to ambient PM_{10} concentrations and to simulate impact of studded tyre reductions on ambient PM_{10} by numerically reducing observed maximum studded tyre shares to 50 % and 30 %. Summary of the model input data used for Mäkelänkatu is given in Liite E.

Comparison of modelled and observed concentrations

The NORTRIP model performance for the study site has been evaluated in comparison with the available kerbside air quality measurement data. Comparison of model predictions with observations has been done for the street increment of PM_{10} and for the total PM_{10} concentrations. The street increment of PM_{10} is the fraction of PM_{10} concentration originating from traffic emissions at the street level. Modelled street increments include ambient PM_{10} concentrations originating from modelled non-exhaust emissions and from exhaust emissions calculated based on PM emissions factors. Observed street increments are obtained by subtracting the measured urban background concentrations from the measured concentrations at the street level. The total PM_{10} concentrations include background contribution. The results are presented as annual and spring mean values. Spring is defined as period from March-May (inclusive).

Kuva F 1 shows time series of daily mean modelled and observed street increments of PM_{10} for years 2015 and 2016. Annual and spring mean observed, and modelled street increment concentrations are presented in Kuva F 2. Taulukko F 1 is showing statistical summary for observed and modelled street increments of PM_{10}. Annual and spring mean concentrations, 90'th percentile concentrations and coefficients of determination R^2 are calculated using daily mean observed and modelled concentrations. The results for observed concentrations may be different from the official statistical records because only days with both modelled and observed values available were used.



Kuva F 1. Time series of daily mean observed and modelled street increments of PM_{10} for Mäkelänkatu for years 2015 to 2019.

The mean street increments of PM_{10} are well represented by the model. The model provides annual mean increment concentrations within ±13 % of observations (Kuva F 2). The larger differences between observed and modelled concentrations are seen for the spring period (Kuva F 2). The most pronounced discrepancy has been found for spring 2016 and spring 2019 when the model over-predicted observations by 19 % and 29 %, respectively. The ability of the model to reproduce peak concentrations varies depending on the year and the season. The 90'th percentiles lie outside of ±20 % range only for spring 2016 and spring 2019. The model reproduces the daily mean variation reasonably well for all years with an R^2 from 0.31 to 0.49. The corresponding range for spring months is from 0.42 to 0.58.

Kuva F 2. Annual (top panel) and spring mean (bottom panel) street increments of PM10 for Mäkelänkatu for the period 2015-2019.

A wide range of uncertainties associated with the modeling of the road dust have been studied by (Denby ym. 2013 (b)). Surface retention which is highly dependent on surface moisture has been identified as a major factor that affects timing and level of daily mean concentrations, and especially the level of predicted peak concentrations. The use of the observed surface moisture generally improves modelling results. In this study modelled moisture has been used which can partly explain some of the discrepancy in the results for the spring period. Application of traction and dust binding salts influences surface moisture. The amounts of applied $CaCl_2$ used for dust binding in Mäkelänkatu during the study period are not available; therefore, mass of dust binder used for modelling may not exactly resemble that used in practice.

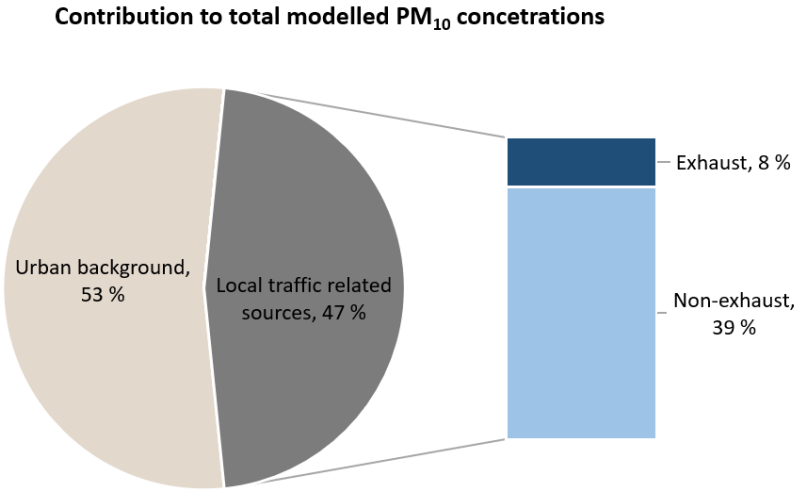
Despite the uncertainties the model reproduces mean PM_{10} concentrations with reasonably well explained variability. The results for Mäkelänkatu are within the range found in the model application for a number of other sites (Denby ym. 2013 (a); Denby ym. 2013 (b)) indicating the robustness of the model.

Taulukko F 1: Statistical summary for street increments of PM_{10} for Mäkelänkatu calculated as annual and spring mean values. 90'th percentile and coefficient of determination R^2 are calculated for the daily mean concentrations.

Period	Observed mean (µg/m³)	Modelled mean (µg/m³)	Observed 90'th percentile	Modelled 90'th percentile	Correlation (R^2)
2015	13.8	12.1	29.8	25.2	0.49
2016	9.7	10.1	23.1	25.6	0.44
2017	11.9	10.8	30.6	26.1	0.44
2018	10.5	11.5	21.6	26.4	0.42
2019	9.0	9.1	21.7	21.0	0.31
Spring 2015	16.3	15.4	40.6	34.0	0.47
Spring 2016	16.1	19.3	29.1	45.5	0.49
Spring 2017	18.2	19.2	45.0	44.1	0.42
Spring 2018	14.9	16.6	32.3	38.6	0.58
Spring 2019	13.0	16.8	27.1	43.2	0.42

Modeled source contributions

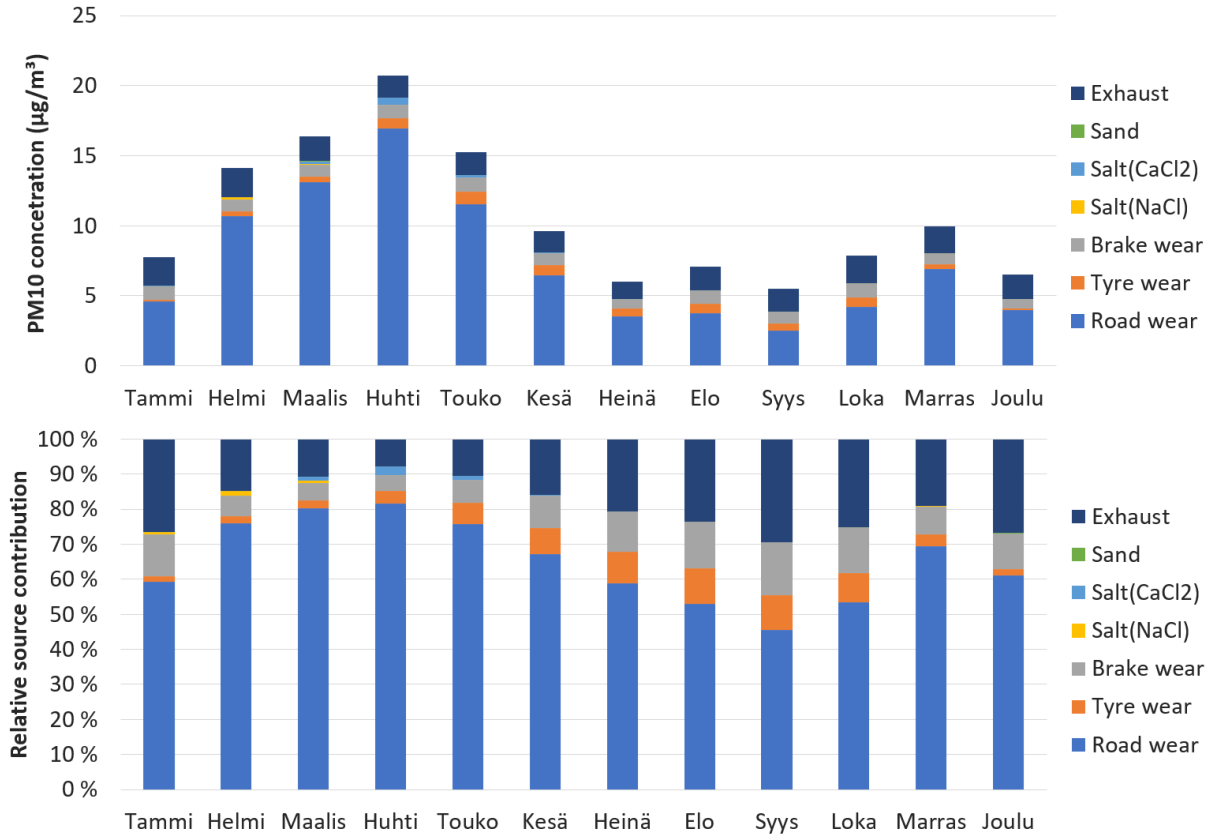
The NORTRIP model has been used to quantify various source contributions to ambient PM_{10} concentrations for Mäkelänkatu. Averaged over the five-year period (2015-2019) urban background contributes with 53 % of the total modelled PM_{10} concentrations (Kuva F 3). Local traffic related sources (i.e. street increment of PM_{10}) make up 47 %, out of which traffic non-exhaust sources and exhaust account for 39 % and 8 %, respectively.



Kuva F 3. Relative contribution of different sources to total modelled PM10 concertation averaged over the five-year period (2015-2019) for Mäkelänkatu.

Kuva F 4 shows absolute and relative contributions from local traffic related non-exhaust (road, brakes and tyre wear, sand and salt) and exhaust sources to monthly mean modelled street increments of PM_{10}. The road wear has been found to be the single most dominant source of ambient PM_{10} with relative monthly contribution ranging from 45 % to 82 % (Kuva F 4b). The road wear contribution has pronounced seasonality with maximum values in spring and minimum in summer. This is the result of enhanced

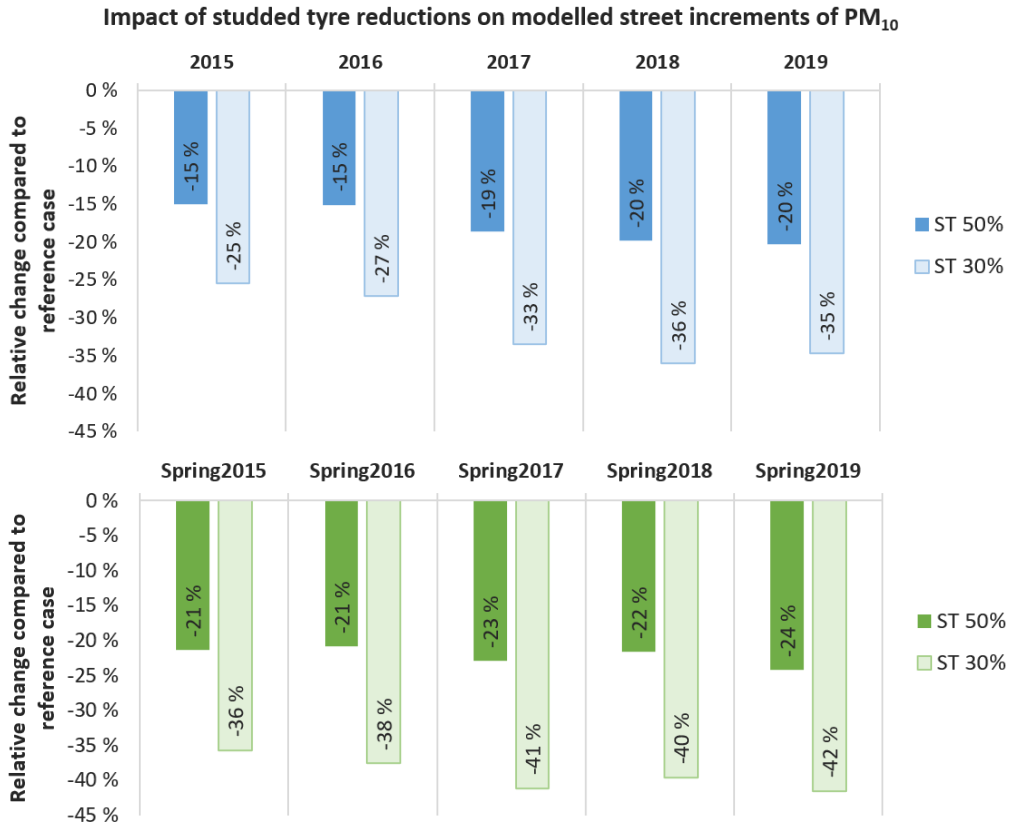
production of road wear particles by studded tyres that are either directly emitted to ambient air or accumulated on the street during cold and wet weather conditions in winter and subsequently suspended in spring when road surfaces dry up. Other non-exhaust sources contribute to a lesser degree. Average contribution from tyre wear, brake wear and traction control materials are from 2-10 %, 5-15 % and 0-2.4 %, respectively. Average modelled contribution of exhaust particle is lowest in April (8%) and highest in September (29 %).



Kuva F 4. Modelled absolute (top panel) and relative (bottom panel) contribution of different sources to monthly mean increments of PM_{10} for Mäkelänkatu averaged over the period 2015-2019.

Analyses of the impact of studded tyre reductions

Impact of studded tyre reductions has been simulated in the model by numerically reducing observed maximum studded tyre share to 50 % (ST 50%) and 30 % (ST 30%) in favor of non-studded winter tyres. The impact of reduced share of studded tyres has been computed for the street increments of PM_{10} and for the total PM_{10} concentrations as relative difference compared to the reference case. The total PM_{10} concentrations include background contribution. In the so-called reference case, maximum share of studded tyres is based on the observed values. Observed studded tyre shares for five winter tyre seasons during the study period were 80 % (2015/2016), 76 % (2016/2017), 74 % (2017/2018) and 78 % (2018/2019 and 2019/2020). The computed relative changes in modelled street increments of PM_{10} for five different years and spring periods are presented in Kuva F 5. Corresponding results for the total PM_{10} concentrations are given in Kuva F 6.



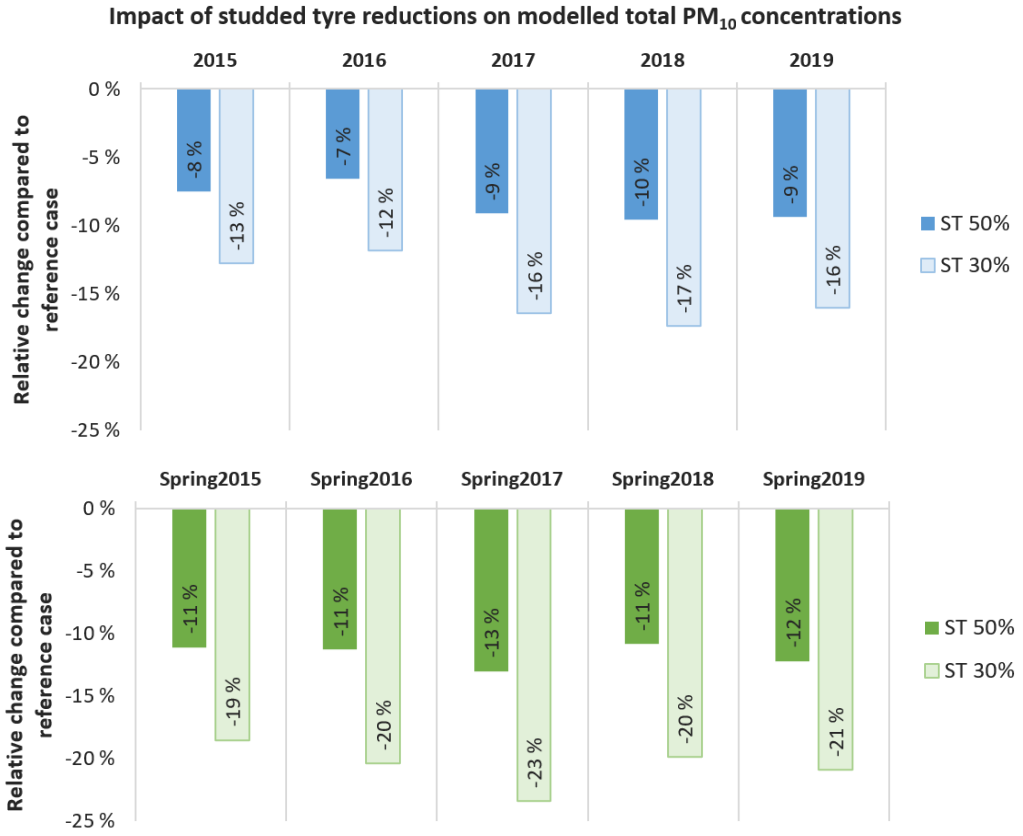
Kuva F 5. Modelled relative changes in the street increment of PM_{10} for Mäkelänkatu for two studied cases with maximum studded tyre share reduced to 50 % (ST 50 %) and 30 % (ST 30%). The results are presented on annual level (a) and for the spring period (b).

Both annual and spring mean PM_{10} concentrations are affected by the changes in studded tyre share. Reduction of maximum reference studded tyre shares to 50 % (ST 50%) leads to decrease in annual mean concertation from 15 % to 20 % for the street increments of PM_{10} (Kuva F 5) and from -7 % to -10 % for the total PM_{10} concentrations (Kuva F 6). The impact of studded tyre reduction is more pronounced for the spring period. Average modelled change in spring mean street increments of PM_{10} is 22 % (Kuva F 5) and 12 % for total PM_{10} concentrations (Kuva F 6).

For the case with 30 % of studded tyre in traffic (ST 30%), decreases in annual and spring mean street increments of PM_{10} are 31 % and 39 %, respectively. Corresponding reductions for the total PM_{10} concentrations are 15 % and 21 %.

As expected, the annual and spring means for the total PM_{10} concentrations are less influenced by the changes in studded tyre share due to significant contribution of urban background. Background contribution on annul level was from 57 % to 65 % during the study period.

Modelled impact of the studded tyre reduction varies between years and seasons. The reduction percentages are smaller in 2015-2016 compared with 2017-2019. The combined effect of meteorological and dispersion conditions (i.e. NO_X concentrations and emission factors that are used as a tracer for dispersion) and lower relative contribution of exhaust particle emissions in 2017-2019 compared to 2015-2016 led to more pronounced impact of the same studded tyre reduction in 2017-2019.



Kuva F 6. Modelled relative changes in the total PM10 concentrations for Mäkelänkatu for two studied cases with maximum studded tyre share reduced to 50 % (ST 50%) and 30 % (ST 30%). The results are presented on annual level (top panel) and for the spring period (bottom panel).

Liite G: Katupölyn mallinnus – Maaherrankatu ja Tasavallankatu, Kuopio (in English)

The NORTRIP model has been applied for Maaherrankatu and Tasavallankatu in Kuopio for period between 1 October 2018 and 31 August 2019. Modelling results have been compared with the kerbside air quality measurement. The NORTRIP model input summary data is included in Liite E.

NORTRIP model application – treatment of sanding

Sanding is the main traction control method used in Kuopio. The NORTRIP model allows application of sand on the road surface; however, there are significant uncertainty in its rate of application, in its size distribution and in the mechanisms for its removal. Additionally, crushing and road abrasion due to sand are not included in the model. Thus, sanding is one the greatest challenges in the NORTRIP model application for Kuopio sites.

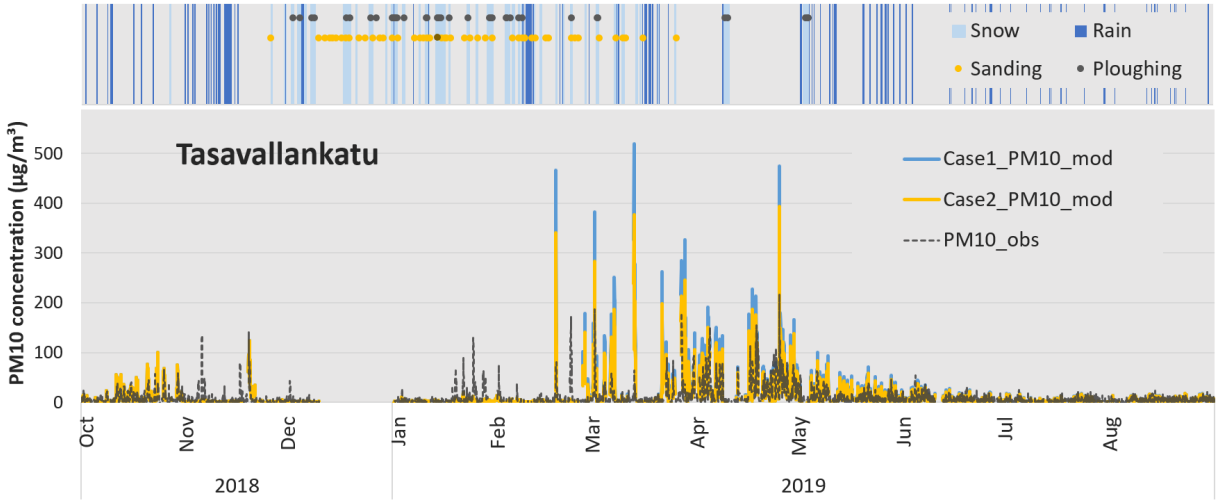
According to the road maintenance logbook, sand was applied to the specific street segments (cross-roads, bus stops, etc ("pistehiekoitus") on all recorded sanding occasions except one. During the modelled period there has been 48 and 53 sanding events in Tasavallankatu and Maaherrankatu, respectively. Reported mass of applied sand was 1369 g/m^2. In the NORTRIP model formulation suspendable fraction of sanding material that is applied to the street surface (i.e. <200 µm) directly contributes to the road dust mass. Based on the available size distribution charts for the sanding material used on driving lanes, between 2-4 % of applied sand is in the size fraction less than 200µm. For Kuopio sites it is assumed that 2 % of applied sand mass is in the size fraction below 200 µm, 16 % of which is in the PM_{10} size range.

Some field studies (e.g. field tests during KALPA and NorDust projects) (Kulovuori ym. 2019; Gjerstad ym. 2019) demonstrated migration of sand from treated to non-treated segments of the road in the direction of traffic together with an increase in PM_{10} emissions. Modelled segments of Tasavallankatu and Maaherrankatu are in close vicinity of cross-roads and bus stop. Therefore, impact of so-called "pistehiekoitus" to wider street area should be taken into account. In order to examine sensitivity of the model to sanding input, model has been applied for two cases. Firstly, mass of applied sand for "pistehiekoitus" events was arbitrarily reduced to one fifth ("Case1"). Secondly, only "kokohiekoitus" was included in the model input ("Case2").

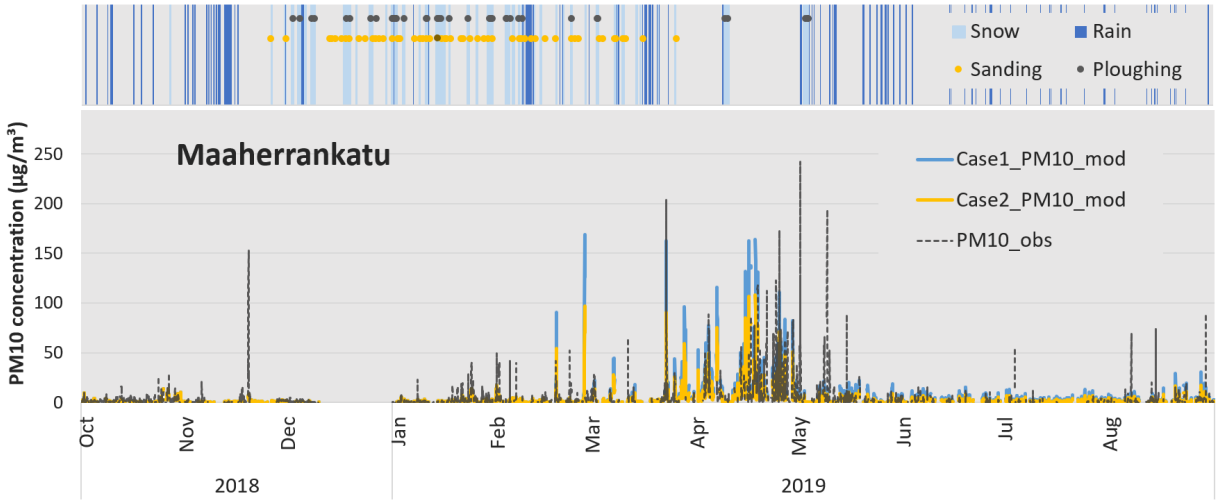
The NORTRIP model results

Modelling results for the two cases with different input regarding sanding were compared with the observed street increments of PM_{10}. Henceforth, measured street increments of PM_{10} will be referred to as "PM10_obs net", and modelled street increment will be referred to as "PM10 mod".

Kuva G 1and Kuva G 2 show hourly time series of modelled and measured street increments of PM_{10} for Tasavallankatu and Maaherrankatu, respectively. Additionally, timing of precipitation events and sanding and ploughing operations is presented in the top panel in the figures.



Kuva G 1. Hourly time series of modelled and observed street increments of PM_{10} for Tasavallankatu. Modelled results are presented for two cases. "Case1"- "pistehiekoitus" included with reduced sand mass and "Case2" – only "kokohiekoitus" included. Top panel shows timing of precipitation events and sanding (recorded) and ploughing (modelled) operations. Dark shaded marker for sanding indicates day with "kokohiekoitus".

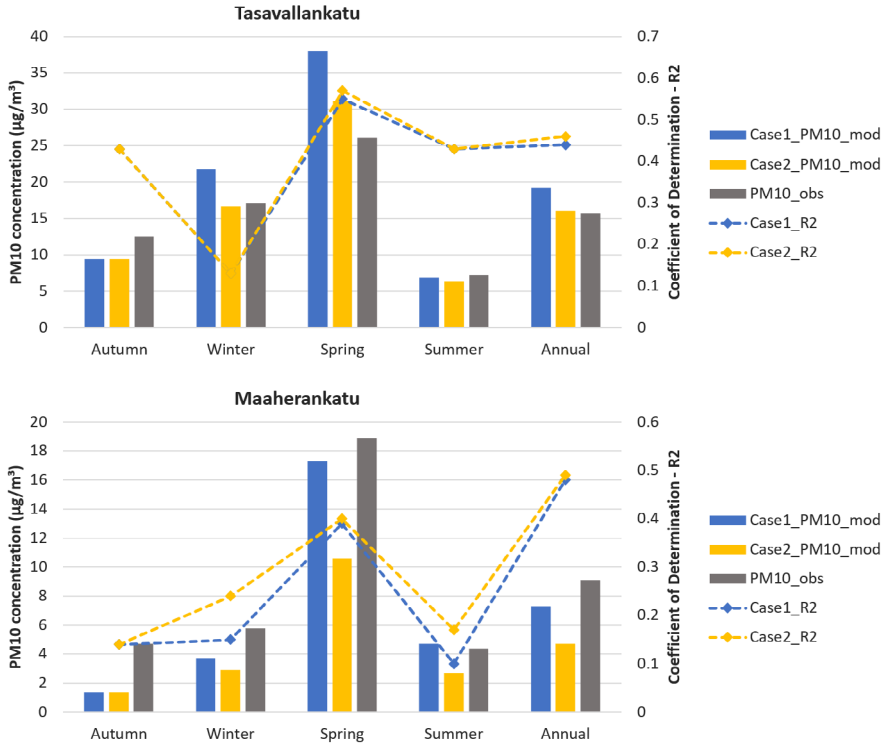


Kuva G 2. Hourly time series of modelled and observed street increments of PM_{10} for Maaherrankatu. Modelled results are presented for two cases. "Case1"- "pistehiekoitus" included with reduced sand mass and "Case2" – only "kokohiekoitus" included. Top panel shows timing of precipitation events and sanding (recorded) and ploughing (modelled) operations. Dark shaded marker for sanding indicates day with "kokohiekoitus".

For both sites there is a significant number of hours without either modelled or measured PM_{10} concertation values. Share of hours with comparable modelled and measured concentrations during modelled period is 54 % and 38 % for Tasavallankatu and Maaherrankatu, respectively. This can mainly be attributed to high background NO_X or PM_{10} concentrations. In the model computations, only hours with positive street increment of NO_X and PM_{10} are considered. Additionally, street increment for NO_X must be greater than 5 µg/m^3 and traffic NO_X emissions greater than 50 g/km/h.

Several peaks in PM_{10} concentrations occurred already in January and February at both sites. Longer periods with high PM_{10} concentrations were observed between end of March and the beginning of May due to lack of precipitation. Model captured timing of the road dust season; however, with noticeable discrepancy between modelled and measured concentration levels. Seasonal and annual mean modelled

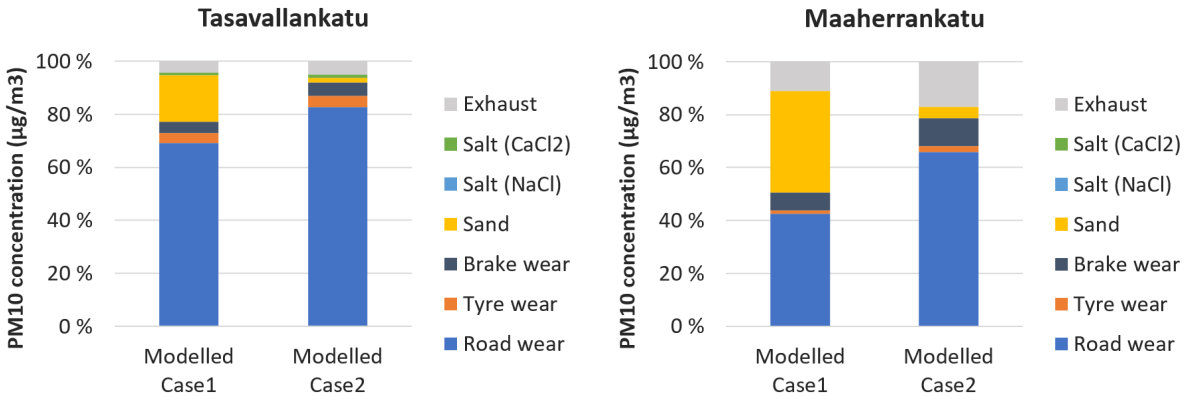
and measured PM_{10} concentration values and coefficient of determination (R^2) are presented in Kuva G 3. Model agreement with measured concentrations vary depending on the season and case considered. As expected, due to higher total applied mass of sand, model predictions for "Case 1" are systematically higher than for "Case 2". Averaged over the study period, modelled PM_{10} concentrations for both considered cases overpredict observed values at Tasavallankatu. On the other hand, predicted mean concentrations for Maaherrankatu are lower than observed especially for "Case2". This indicates that impact of "pistehiekoitus" should not be neglected for the modelled street sections. Relative modelled contribution of sand was higher in Maaherrankatu (Kuva G 4). Contribution from road wear was more significant at Tasavallankatu due to higher traffic volume and higher average traffic speed.



Kuva G 3. Mean seasonal and annual modelled and measured street increments of PM_{10} and coefficient of determination (R^2) for Tasavallankatu and Maaherrankatu. Coefficient of determination is calculated using daily mean PM_{10} concentrations. Seasons are defined as following: winter (1 January to 14 March), spring (15 March to 31 May), summer (1 June to 30 September) and autumn (1 October to 31 December).

Coefficient of determination R^2 in Kuva G 3 is based on daily average values and, therefore, indicates ability of the model to reproduce observed variation of daily mean PM_{10} concentrations. For both sites daily variation of concentrations is best reproduced during spring months when suspension emission dominates due to the dry surface conditions. Modelled PM_{10} concentrations during autumn and winter months are highly influenced by modelled road surface wetness that prevents emissions.

R^2 coefficient is not affected significantly by the sanding input as this parameter is a measure of correlation between modelled and measured concentrations not a measure of bias in mean values.



Kuva G 4. Mean modelled contribution from different sources to street increments of PM_{10} for Tasavallankatu and Maaherrankatu for period between 1 October 2018 and 31 August 2019.

Liite H: Arvio katupölypäästöjen merkittävyydestä koko Suomen tasolla käyttäen FRES mallia (in English)

Evaluation of road dust contribution to PM emissions on national level using the FRES model has been done utilizing the non-exhaust PM_{10} and $PM_{2.5}$ emission factors calculated by the NORTRIP model. The NORTRIP model was used to estimate and study the PM_{10} and $PM_{2.5}$ emission factors separately for different climatic zones in Finland, road and street categories, and associated road maintenance operations.

To achieve this task, a range of input data and parameters were established. Model input data was developed for road and street configurations and traffic data (traffic volume, vehicle types and driving speed) based on national Digiroad (Väylävirasto 2021) and LIPASTO (Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy 2021) databases. The share of studded winter tyres was set to be from 76 to 94 percent depending on the region. Meteorological data concerning wind speed, temperature, radiation, cloud cover, and humidity was collected from representative weather stations from the five climatic zones in Finland. Road maintenance activity data, including information about addition of salt and sand to the road surface, were developed with an automatic traction control (sand and/or salt) module of the model according to predefined rules that were set using current real-life practices in the road and street network. Emission factors were calculated for the period January 2008 to December 2011 for each street/road category and climatic zone combination with current road maintenance practices.

Annual average non-exhaust PM_{10} and $PM_{2.5}$ emission factors estimated for the climatic zones in Finland are presented in Taulukko H 1. The values in Taulukko H 1 are for the whole fleet; for only the light duty traffic the emission factors were approximately 60 percent of the presented values. Significant differences between the road and street categories were observed with higher emissions on highly trafficked and high-speed streets and roads due to higher abrasion.

Relatively high variability was also observed between the climatic zone and year specific emission factors. Reasons for these still need further research of the data, but variability in weather conditions, reflected in surface moisture and maintenance, are possible explaining factors. Within a year the non-exhaust emission factors have seasonal peaks particularly in March and April, due to enhanced formation of layers of street dust and favorable weather conditions to allow their suspension to the air.

Taulukko H 1: Predicted four-year weighted averages of the non-exhaust PM_{10} and $PM_{2.5}$ emission factors (mg/km/vehicle) in the climatic zones with current road maintenance practices in Finland from 2008 to 2011. The minimum and maximum annual values are presented in brackets.

Climatic zone	PM_{10}	$PM_{2.5}$
Northern Boreal	226 (189-253)	18 (16-20)
Middle Boreal	199 (164-234)	17 (15-19)
Southern Boreal	182 (151-217)	16 (14-18)
Hemi Boreal	179 (158-205)	15 (14-17)
Helsinki Metropolitan Area	149 (130-169)	14 (12-16)

Katupölyn lähteet, päästövähennyskeinot ja ilmanlaatuvaikutukset
KALPA3-tutkimushankkeen loppuraportti

ISBN 978-952-11-5407-2 (PDF)
ISBN 978-952-11-5406-5 (nid.)
ISSN 1796-1726 (verkkoj.)
ISSN 1796-1718 (pain.)

Suomen ympäristökeskus