

Työpaperi 24/2022

Kävelijän altistuminen katupölylle Helsingissä

Hankkeen loppuraportti

Taina Siponen, Anni-Mari Pulkkinen, Pekka Taimisto ja Tarja Yli-Tuomi

Katupöly on erityisesti keväisin esiintyvä ongelma, kun talven aikana lumen ja jään alle kertynyt pöly pääsee teiden ja pientareiden kuivuttua vapautumaan hengitysilmaan. Vallitsevat sääolosuhteet, kuten tuulisuus ja sateisuus, mutta lisäksi muun muassa liikenteen määrä, ajonopeudet ja tien pinnalla olevan pölyn määrä vaikuttavat ilmaan nousevien hiukkasten pitoisuuksiin. Katupölystä aiheutuu ympäristö-, viihtyvyys ja terveyshaittoja. Yleisimmin esiintyvien ärsytysoireiden ja lievien hengityselinoireiden lisäksi katupöly aiheuttaa myös vakavampia terveyshaittoja, kuten sairauskohtauksia.

Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin kävelijän altistumista hengitettävälle hiukkasille, karkeille hengitettävälle hiukkasille, pienhiukkasille ja mustalle hielle Helsingin keskustassa ja sen lähialueilla kevyen liikenteen väyliä pitkin liikuttaessa maaliskuussa 2021. Lisäksi kävelijän altistuspitoisuuksia verrattiin kaupunkialueella sijaitsevien ilmanlaadun mittausasemien pitoisuustasoihin.

Kävelijä altistui pääsääntöisesti suuremmille keskimääräisille pienhiukkasten pitoisuuksille verrattuna vastaavina aikoina ilmanlaadun mittausasemalla mitattuihin pitoisuustasoihin. Kävelijän altistuminen oli kuitenkin pienempää etäämmällä autotiestä sijainneilla kävelyosuuksilla. Hengitettävien hiukkasten ja karkeiden hengitettävien hiukkasten pitoisuudet olivat kaikilla osareiteillä välillä suurempia ja välillä pienempiä kuin pitoisuudet mittausasemilla. Liikenteen pakokaasupäästöistä peräisin olevien mustan hiilen pitoisuustasojen ero kävelijän ja mittausaseman välillä oli samansuuntainen kuin pienhiukkasilla.

Tutkimuksen tulokset kuvaavat tyypillistä kaupunkialueella kävelen liikkuvan altistumista katupölykaudella kuivina päivinä, jolloin katupölyä esiintyy kaupunki-ilmassa.

Esipuhe

Katupöly nousee keskusteluun vuodesta toiseen erityisesti keväisin, kun pölyä on ilmassa runsaasti. Sen lisäksi, että katupöly aiheuttaa ympäristön likaantumista ja heikentää viihtyvyyttä, siitä aiheutuu myös paljon terveyshaittoja. Ilmanlaadusta saadaan tietoa kymmeniltä Suomen kuntiin sijoitetuilta ilmanlaadun mittausasemilta. Kiinnostavaa on saada tietoa siitä, kuinka hyvin kaupunkialueella kävelevän altistuminen vastaa ilmanlaadun asemien mittaustuloksia ja miten pitoisuustasot vaihtelevat, kun liikutaan pisteestä toiseen.

”Kävelijän altistuminen katupölylle Helsingissä (KATHE)” tutkimushankkeessa Terveyden ja hyvinvoinnin laitoksen ympäristöterveysyksikkö mittasi kävelijän altistumista hengitettävillä hiukkasille, pienhiukkasille ja mustalle hiilelle Helsingin keskustassa ja keskusta-alueen läheisillä kevyenliikenteen väylillä keväällä 2021. Lisäksi kävelymittausten tuloksia verrattiin kaupunkiympäristössä sijaitsevien viranomaismittauksissa käytettävien ilmanlaadun mittausasemien tuloksiin.

Tutkimusta ovat rahoittaneet Helsingin seudun ympäristöpalvelut kuntayhtymä (HSY) sekä Terveyden ja hyvinvoinnin laitos. Kiitämme HSY:n ilmansuojeluyksikön päällikköä Hanna Mannista sekä ilmanlaadun asiantuntijoita Anu Kousaa ja Jarkko Niemeä raportin kommentoinnista sekä hyvästä yhteistyöstä hankkeen aikana. Lisäksi tutkija Heli Lehtömäki-Zrim Terveyden ja hyvinvoinnin laitoksesta ansaitsee lämpimät erityiskiitoksemme osallistumisesta kenttämittausten suorittamiseen.

Tiivistelmä

Taina Siponen, Anni-Mari Pulkkinen, Pekka Taimisto, Tarja Yli-Tuomi. Kävelijän altistuminen katupölylle Helsingissä. Hankkeen loppuraportti. Terveyden ja hyvinvoinnin laitos (THL). Työpaperi 24/2022. 34 sivua. Helsinki 2022. ISBN 978-952-343-873-6 (verkkojulkaisu)

Katupöly on merkittävä hiukkasten lähde kaupunkiympäristöissä. Huolimatta katujen puhdistamisen tehostamisesta katupölyä esiintyy edelleen runsain määrin ilmassa erityisesti keväisin. Katupöly on suurimmaksi osaksi karkeita hiukkasia, joiden halkaisija on yli 2,5 mikrometriä. Vallitsevien sääolosuhteiden lisäksi muun muassa liikenteen määrä, ajonopeudet ja tien pinnalla olevan pölyn määrä vaikuttavat ilmaan nousevien hiukkasten pitoisuuksiin.

Katupölystä aiheutuu ympäristö-, viihtyvyys- ja terveyshaittoja. Vaikutukset terveydelle vaihtelevat ärsytysoireista ja lievistä hengityselinoireista aina kohonneiden pitoisuustasojen aiheuttamiin sairauskohtauksiin ja lisääntyneeseen kuolleisuuteen.

Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin kävelijän altistumista pienhiukkasille (PM_{2.5}; halkaisija alle 2,5 mikrometriä), karkeille hengitettävillä hiukkasille (PM_c; halkaisija 2,5–10 mikrometriä) ja hengitettävillä hiukkasille (PM₁₀; halkaisija alle 10 mikrometriä) Helsingin keskustassa ja sen lähialueilla kevyen liikenteen väyliä pitkin liikuttaessa. Lisäksi mitattiin altistumista polttoperäisiä hiukkasia kuvaavalle mustalle hiellelle. Mittauksia tehtiin kahdella ympyräreitillä, jotka jaettiin lyhyempiin jossain määrin ympäristöltään toisistaan poikkeaviin osareitteihin. Altistumispitoisuuksia verrattiin reitin varrella sijaitsevien HSY:n ilmanlaadun mittausasemien tuloksiin.

Osareittikohtaiset altistumis- ja pitoisuudet vaihtelivat pienhiukkasilla 6–30 µg/m³, karkeilla hengitettävillä hiukkasilla 11–80 µg/m³ ja hengitettävillä hiukkasilla 17–108 µg/m³. Kadun lähellä kulkevilla osareiteilla kävelijä altistui pääsääntöisesti suuremmille keskimääräisille PM_{2.5}-pitoisuuksille verrattuna vastaavina aikoina ilmanlaadun mittausasemalla mitattuihin pitoisuustasoihin. Etäämmällä autotiestä sijainneilla kävelyosuuksilla pitoisuustasot olivat pienempiä kuin ilmanlaadun mittausasemalla vastaavina aikoina. PM₁₀- ja PM_c-hiukkasten pitoisuustasot olivat välillä suurempia ja välillä pienempiä kuin vertailumittausasemilla. Liikenteen pakokaasupäästöistä peräisin olevan mustan hiilen pitoisuuden ero kävelijän ja mittausaseman välillä oli samansuuntainen kuin PM_{2.5}-pitoisuudella. Tässä tutkimuksessa mitatuissa pitoisuuksissa ei havaittu suurta eroa siinä oliko kävelytien vieressä kulkevan autotien pinta kuiva tai puolikuiva.

Tutkimuksen tulokset kuvaavat yleisellä tasolla kävelijän altistumista katupölykaudella kuivina päivinä, jolloin katupölyä tyypillisesti esiintyy kaupunki-ilmassa.

Avainsanat: katupöly, hengitettävät hiukkaset, pienhiukkaset, altistuminen

Sammandrag

Taina Siponen, Anni-Mari Pulkkinen, Pekka Taimisto, Tarja Yli-Tuomi. Kävelijän altistuminen katupölylle Helsingissä. Hankkeen loppuraportti [Fotgängarnas exponering för gatudamm i Helsingfors. Projektets slutrapport]. Institutet för hälsa och välfärd (THL). Diskussionsunderlag 24/2022. 34 sidor. Helsingfors 2022. ISBN 978-952-343-873-6 (nätpublikation)

Gatudammet är en betydande källa för partiklar i stadsmiljö. Trots att rengöringen av gatorna effektiviserats förekommer gatudamm fortfarande i stor utsträckning i luften särskilt på våren. Gatudamm består till största delen av grova partiklar med en diameter på över 2,5 mikrometer. Utöver de rådande väderförhållandena inverkar bland annat trafikmängden, körhastigheterna och dammhalten på vägytan på halterna av partiklar som stiger upp i luften.

Gatudamm orsakar olägenheter för miljön, trivseln och hälsan. Effekterna på hälsan varierar från irritationssymtom och lindriga symtom i andningsorganen till sjukdomsanfall och ökad dödlighet på grund av förhöjda halter.

I denna undersökning undersöktes fotgängarnas exponering för små partiklar (PM_{2.5}; diameter under 2,5 mikrometer), grova inandningsbara partiklar (PM₁₀; diameter 2,5–10 mikrometer) och inandningsbara partiklar (PM₁₀; diameter under 10 mikrometer) när man rör sig längs gång- och cykelleder i Helsingfors centrum och dess närområden. Dessutom mättes exponeringen för svart kol från avgasutsläppen. Mätningarna gjordes på två cirkelleder som indelades i kortare delrutter med en viss skillnad i omgivningen. Exponeringshalterna jämfördes med resultaten från HRM:s mätstationer för luftkvaliteten längs rutten.

Exponeringshalterna per delrutt varierade mellan 6–30 µg/m³ för små partiklar, 11–80 µg/m³ för grova inandningsbara partiklar och 17–108 µg/m³ för inandningsbara partiklar. På de delrutter som går nära gatan exponerades fotgängarna främst för högre genomsnittliga PM_{2.5}-halter jämfört med de halter som uppmättes vid mätstationen för luftkvalitet under motsvarande tider. På gångsträckorna som låg längre bort från bilvägen var halterna lägre än vid mätstationen för luftkvaliteten under motsvarande tider. Halterna av PM₁₀- och PM₁₀-partiklar var ibland högre och emellanåt lägre än vid referensmätstationerna. Skillnaden mellan fotgängaren och mätstationen för svart kol från avgasutsläppen från trafiken var densamma som i PM_{2.5}-halten. I de uppmätta halterna i denna undersökning observerades ingen stor skillnad i om ytan på bilvägen bredvid gångvägen var torr eller halvtorr.

Resultaten av undersökningen beskriver på ett allmänt plan fotgängarnas exponering under torra dagar under gatudammperioden, då gatudamm vanligtvis förekommer i stadsluften.

Nyckelord: gatudamm, inandningsbara partiklar, små partiklar, exponering

Abstract

Taina Siponen, Anni-Mari Pulkkinen, Pekka Taimisto, Tarja Yli-Tuomi. Kävelijän altistuminen katupölylle Helsingissä. Hankkeen loppuraportti. [Exposure of pedestrians to street dust in Helsinki. Final project report.]. Finnish institute for health and welfare (THL). Discussion Paper 24/2022. 34 pages. Helsinki, Finland 2022. ISBN 978-952-343-873-6 (online publication)

Street dust is a significant source of coarse particles in urban environments. Despite efforts made to improve the efficiency of street cleaning, there is still a lot of street dust in the air, especially during spring. Street dust mostly consists of coarse particles with a diameter of more than 2.5 micrometres. In addition to the prevailing weather conditions, traffic intensity, driving speeds and the dust load on the road surface affect the concentrations of particles suspended to air.

Street dust causes environmental and health hazards and reduces pleasantness. Effects on health range from irritation symptoms and mild respiratory symptoms to seizures and increased mortality.

This study examined pedestrians' exposure to fine particles (PM_{2.5}; diameter less than 2.5 micrometres), coarse inhalable particles (PM_c; diameter between 2.5 micrometres and 10 micrometres) and inhalable particles (PM₁₀; diameter less than 10 micrometres) in Helsinki city centre and its neighbouring areas when moving along pedestrian walkways. The study also measured exposure to black carbon, which derive from the combustion of fuel. The measurements were carried out on two circular routes, which were divided into shorter sub-routes with slightly different environments. The exposure concentrations were compared with data from HSY's air quality monitoring stations located along the route.

The exposure concentrations per sub-route varied between 6–30 µg/m³ for fine particles, 11–80 µg/m³ for coarse inhalable particles, and 17–108 µg/m³ for inhalable particles. On the sub-routes passing near a road, the pedestrian was exposed to higher average PM_{2.5} concentrations compared to the concentration levels simultaneously measured at the air quality monitoring station. On pedestrian walkways located further away from the road, the concentration levels were lower than near a road. The concentration levels of PM₁₀ and PM_c particles were at times greater and at times lower compared to the control data from the measurement stations. The difference in black carbon concentrations from traffic exhaust emissions between the pedestrian and the measuring station was similar to the PM_{2.5} concentration. There was no major difference in the concentrations measured in this study regarding whether the road surface next to the pedestrian walkway was dry or semi-dry.

The results of the study describe the overall exposure of pedestrians during the street dust season on dry days, when street dust typically occurs in urban air.

Keywords: street dust, inhalable particles, fine particles, exposure

Sisällys

Esipuhe.....	2
Tiivistelmä.....	3
Sammandrag.....	4
Abstract.....	5
Sisällys.....	6
1 Johdanto.....	7
2 Aineisto ja menetelmät.....	8
2.1 Tutkimusasetelma.....	8
2.2 Henkilökohtaisen altistumisen mittauksissa käytetyt laitteet.....	9
2.3 Kävelyreittien läheisyydessä sijaitsevat kiinteät mittausasemat ja sääasema.....	10
2.4 Mittaustulosten käsittely.....	11
3 Tulokset ja pohdinta.....	12
3.1 Kävelijän keskimääräinen altistuminen.....	12
3.1.1 Ympyräreittikohtaisen pitoisuuden päivittäinen vaihtelu.....	12
3.1.2 Vuorokaudenajan vaikutus pitoisuuteen.....	14
3.1.3 Osareittikohtaiset tasot.....	17
3.2 Mitä mittausaseman tulos kertoo kävelijän altistumisesta?.....	20
3.3 Pitoisuuskeskiarvot kartalla.....	24
3.4 Tien pinnan kosteuden ja ulkolämpötilan vaikutus pitoisuustasoihin.....	27
4 Yhteenveto.....	29
Lähteet.....	30
Liite 1. Kaikista mittauspäivistä lasketut tunnusluvut.....	31

1 Johdanto

Kaupunkiympäristöissä tehdyt tutkimukset ovat usein keskittyneet pienhiukkasiin ($PM_{2.5}$; hiukkasten halkaisija alle 2,5 mikrometriä), jotka ovat kaupunkialueilla peräisin muun muassa ajoneuvojen pakokaasupäästöistä. Päästövähennyksiä koskevien määräysten myötä liikenteen pienhiukkaspäästöt tulevat todennäköisesti väheneen merkittävästi, mutta nämä määräykset eivät kuitenkaan tule vaikuttamaan pääosin katupölystä peräisin olevien ja maaperän mineraaleja runsaasti sisältävien karkeiden hengitettävien hiukkasten (PMc; hiukkasten halkaisija 2,5–10 mikrometriä) määrään. Tämän myötä katupöly on nostettu yhdeksi keskeiseksi asiaksi myös vuonna 2019 julkaistussa kansallisessa ilmansuojeluohjelmassa (Ympäristöministeriö 2019).

Katupöly on pääasiassa renkaiden alla jauhautunutta päällystemateriaalia ja hiekoitushiekkaa. Se huonontaa ilmanlaatua erityisesti keväisin, kun talven aikana tien pinnoille ja pientareille kertynyt hienoaines nousee lumen ja jään sulaessa ja pintojen kuivuttua hengitysilmaan. Katupöly likaa ympäristöä, heikentää viihtyisyyttä ja aiheuttaa terveyshaittoja. Ongelma on usein suurin vilkkaasti liikennöidyillä alueilla. Sen lisäksi, että katupöly voi aiheuttaa ihan perusterveillekin erilaisia ärsytysoireita ja lieviä hengityselinoireita, niistä aiheutuu myös vakavampia haittoja erityisesti kroonisia hengityselin- ja sydänsairauksia sairastaville. Esimerkiksi usean tutkimuksen huomioineissa meta-analyyseissä on saatu viitteitä karkeiden hiukkasten kohonneiden pitoisuuksien yhteydestä sairaalakäynteihin ja kuolleisuuteen (Adar ym. 2014).

Lämpötilat nousevat Suomessa ilmastonmuutoksen edetessä ja vaikutus tulee todennäköisesti olemaan suurin talvilämpötiloihin. Ilmastonmuutoksen aiheuttaman lämpötilan nousun myötä lumipeitteinen aika lyhenee. Teiden pinnoille kertynyt katupöly nousee lumettoman maan kuivuessa tehokkaasti ilmaan tuulen ja liikennevirtojen nostattamana. Lämpötilan vaihtelut nollan molemmin puolin lisäävät lumen sulamista ja jäätymistä, mikä edelleen kasvattaa liukkaudentorjunnan tarvetta, jolloin joissain tilanteissa katupölyä aiheuttavan hiekoitushiekan määrää voi kasvaa. Lisäksi erityisesti kasvukeskuksissa mahdollisesti lisääntyvä ajoneuvojen määrä tulee todennäköisesti lisäämään myös syntyvän katupölyn määrää. Katupölyn syntymistä yritetään vähentää muun muassa rajoittamalla nastarenkaiden käyttöä ja käyttämällä hiekan sijaan seulottua ja pestyä karkeaa sepeliä. Syntyneen katupölyn haittojen ehkäisyssä tärkeää on katujen tehokas puhdistaminen.

Terveyden ja hyvinvoinnin laitos (THL) on tutkinut vuoden 2019 aikana kävelijän altistumista hiukkasmaisille ilmansaasteille Kuopion kaupunkialueella (Siponen ym. 2021). Hankkeen tulosten perusteella Kuopion kaupungin keskustassa ja sen läheisyydessä sijaitsevat ilmanlaadun mittausasemat aliarvioivat kävelijän altistumista hiukkaspitoisuuksille mittausasemien läheisyydessä kulkevilla reiteillä. Eri kaupunkien topografia ja myös kadunhoitomenetelmät poikkeavat toisistaan. Liukkaudentorjuntaan käytettävän hiekoitushiekan määrä ja laatu voivat vaihdella eri kaupungeissa hyvinkin merkittävästi. Lisäksi esimerkiksi pääkaupunkiseudulla pölynsidontaa käytetään paikoin runsaastikin korkeiden katupölypitoisuuksien torjunnassa, kun taas monissa muissa kaupungeissa pölynsidontaa tehdään vähemmän. Tämän vuoksi on tarpeen saada vertailutietoa katupölylle altistumisesta eri kaupungeissa.

THL tutki vuosina 2016–2017 pyöräilijän altistumista hiukkasmaisille ilmansaasteille Helsingissä Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymän (HSY) ja THL:n rahoittamassa ”Ilmansaasteille altistuminen pyöräiltäessä pääkaupunkiseudulla (SATULA)” -tutkimushankkeessa. Tässä tutkimuksessa havaittiin, että pyöräilijä voi vähentää altistumistaan hiukkasmaisille ilmansaasteille valitsemalla kulkureitin kauempaa vilkkaasti liikennöidyistä kaduista (Siponen ym. 2018). SATULA-tutkimuksessa pääpaino oli pääasiassa pakokaasupäästöistä peräisin olevissa $PM_{2.5}$ - ja ultrapienissä hiukkasissa, eikä siinä tarkasteltu erityisesti katupölykauden aikana korkeina pitoisuuksina esiintyviä karkeampien hiukkasten pitoisuuksia.

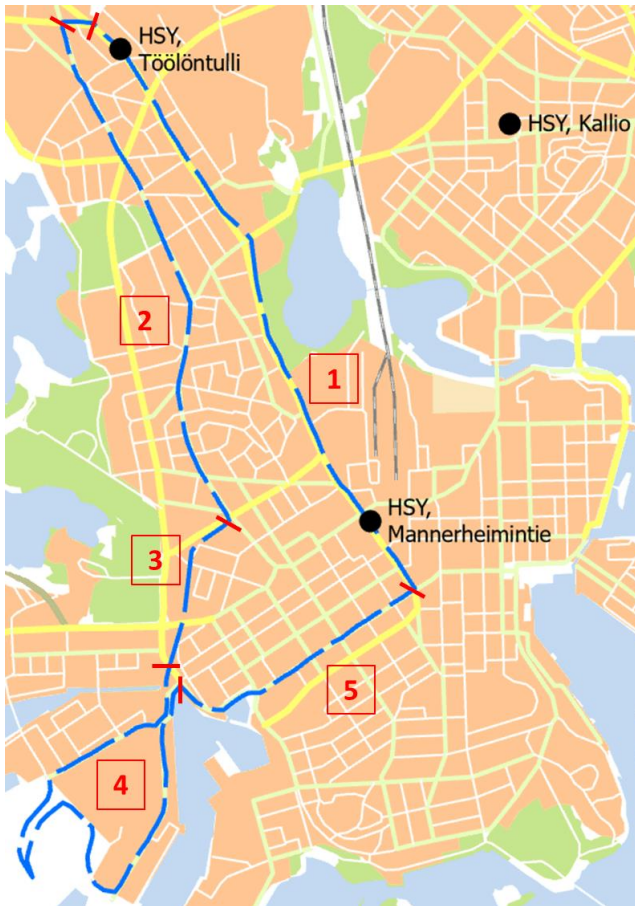
Tässä työpaperissa raportoidaan tuloksia hankkeesta ”Kävelijän altistuminen katupölylle Helsingissä (KATHE)”. HSY:n ja THL:n rahoittamassa hankkeessa selvitettiin millaisille $PM_{2.5}$ -, PMc- ja hengitettävien hiukkasten (PM_{10} ; halkaisija alle 10 mikrometriä), pitoisuuksille kävelijä altistuu Helsingin keskustassa ja sen lähialueilla liikkuaan kevyen liikenteen väyliä pitkin. Lisäksi mitattiin altistumista polttoperäisiä hiukkasia kuvaavalle mustahiilipitoisuudelle (BC) eli nokihiukkasille.

2 Aineisto ja menetelmät

2.1 Tutkimusasetelma

Tutkimushanke toteutettiin mittaamalla hiukkaspitoisuuksia kevään 2021 katupölykaudella. Mittauksia tehtiin kaikkiaan viidellä viikolla aikavälillä 23.3.–29.4.2021. Mittauksia tehtiin tiistaisin, keskiviikkoisin ja torstaisin. Mittausten ajoittamisessa pyrittiin välttämään pidempiä sadejaksoja.

Mittauskampanjan aikana tutkijat kävelivät Helsingin keskusta-alueen läheisyydessä samanaikaisesti kahta ympyräreittiä, joiden pituudet olivat 12,9 km (Reitti A) ja 10,4 km (Reitti B). Kumpikin ympyräreitti koostui useammasta (4–5) osareitistä, joiden pituus vaihteli 0,98–3,58 km välillä. Ympyräreitit ja lyhyemmät osareitit on esitetty kuvissa 1 ja 2. Reittejä käveltiin sekä aamu- että iltapäivisin keskinopeudella 5,6 km/h (4,2–6,7 km/h). Reitit valittiin yhteistyössä HSY:n kanssa. Reittien haluttiin kuvaavan monipuolisesti kaupunkialueella altistumista ja siksi mukaan haluttiin niin vilkkaasti liikennöityjä katuja kuin hiljaisempiakin reittejä, rakennustyömaa-alueiden läheisyydessä olevia katuja sekä alueita, joilla kävelytie ei kulje aivan ajoradan vieressä.



Kuva 1. Reitti A ja sen osareitit (1–5) sekä HSY:n ilmanlaadun mittausasemien sijainnit. Sisältää Maanmittauslaitoksen Maastokartan 02/2022 aineistoa.



Kuva 2. Reitti B ja sen osareitit (6–9) sekä HSY:n ilmanlaadun mittausasemien sijainnit. Sisältää Maanmittauslaitoksen Maastokartan 02/2022 aineistoa.

2.2 Henkilökohtaisen altistumisen mittauksissa käytetyt laitteet

PM_{2,5}- ja PM₁₀-pitoisuustasojen mittaamisessa käytettiin TSI DustTrak DRX-hiukkasmonitoreja (TSI Inc., Shoreview, Minnesota, Yhdysvallat). Karkeiden hengitettävien hiukkasten PM_c-pitoisuus laskettiin PM₁₀- ja PM_{2,5}-pitoisuuden erotuksena. Mustan hiilen pitoisuus määritettiin microAeth AE51-mikroetalometreillä (Aethlabs, San Francisco, Kalifornia, Yhdysvallat). Kävelynopeutta ja sijaintia reitillä mitattiin Garmin GPS-map 64sx-paikantimella (Garmin Ltd., Schaffhausen, Sveitsi).

Mittauksissa käytettyjen jatkuvatoimisten laitteiden tallennusresoluutio oli DustTrak DRX:lle 30 sekuntia, AE51-mikroetalometrille 1 minuutti sekä Garmin GPSmap 64sx:lle 10 sekuntia. Mittalaitteet sijoitettiin F-Stop Ajna kameraselkäreppuun. Mittalaitteiden näyteletkut johdettiin repusta ulos läpiviennin kautta siten, että näytteenottokorkeus oli noin 1,5 m maanpinnan tason yläpuolella. Etalometrin näytteenotto sijoitettiin repun viilekkeeseen tutkijan vasemmalle hartialle ja DustTrakin näytteenotto toteutettiin laitteen omalla metallisella inletillä (TSI 801565 Omni-directional sampling inlet, TSI Inc., Shoreview, Minnesota, Yhdysvallat) suoraan repun yläpuolelta tutkijan pään takaa (kuva 3).



Kuva 3. Mittauksissa käytetty laiteroppu tutkijan selässä. DustTrak DRX -hiukkasmonitorin sininen näytteenottopää on repun yläpuolella tutkijan pään takana (vasen kuva) ja MicroAeth AE51-mikroetalometrin näytteenottoletkun pää on tutkijan olkapäällä (oikea kuva).

2.3 Kävelyreittien läheisyydessä sijaitsevat kiinteät mittausasemat ja sääasema

Helsingin seudun ympäristöpalveluilla (HSY) on mittausreittien läheisyydessä useita ilmanlaadun mittausasemia (HSY 2022). Tässä hankkeessa kävelijän altistumista verrattiin ns. liikenneympäristöissä sijaitsevien Mannerheimintie ja Mäkelänkadun mittausasemien pitoisuustasoihin, vaikka reitin ja kyseisen mittausaseman korrelaatio ei olisi ollutkaan suurin. Mannerheimintien mittausasema sijoittui kävelyreitit A varrelle ja Mäkelänkadun mittausasema kävelyreitit B varrelle. Mannerheimintien mittausasema sijaitsee Helsingin keskustassa vilkkaasti liikennöidyssä ympäristössä. Nopeusrajoitus mittausaseman kohdalla on 30 km/h. Mannerheimintien mittausaseman pitoisuudet edustavat tavanomaisia keskusta-alueen altistumistasoja Helsingin vilkasliikenteisten katujen varsilla. Mäkelänkadun mittausasema sijaitsee keskusta-alueen ulkopuolella vilkkaasti liikennöidyn kadun varressa ja sen ympärillä on korkeita rakennuksia. Nopeusrajoitus aseman kohdalla on 40 km/h. Mäkelänkadun mittausaseman pitoisuudet edustavatkin altistumista vilkkaasti liikennöidyssä katukuilumaisessa ympäristössä.

Lisäksi vertailua tehtiin Kallion ja Luukin mittausasemien pitoisuustasoihin. Kallion mittausasema sijaitsee Helsingin keskustan läheisyydessä Kallion kaupunginosassa ja on ns. kaupunkitausta-asema, jonka epäpuhtauksien pitoisuudet edustavat Helsingin keskustan asuinalueiden altistumistasoja. Luukin mittausasema on pääkaupunkiseudun alueellinen tausta-asema, joka sijaitsee Espoossa Luukintien varrella avoimella paikalla. Mittausaseman välittömässä läheisyydessä ei ole vilkkaasti liikennöityjä teitä eikä suuria pistelähteitä. Tutkimuksessa tarkasteluille ilmansaasteille käytetyt asemien mittalaitteet on esitetty taulukossa 1.

Sää tietoina käytettiin 10 min aikaresoluutiolla Kaisaniemen sääaseman dataa, joka ladattiin Ilmatieteen laitoksen verkkosivuilta (<https://www.ilmatieteenlaitos.fi/havaintojen-lataus>; 2.6.2021). Datasta poimittiin kellonaikojen mukaan reittikohtaiset arvot, mistä laskettiin keskiarvot kuvaamaan säätilaa reitin kävelyn aikana.

Taulukko 1. HSY:n mittausasemien laitteet pienhiukkasille (PM_{2.5}, halkaisija < 2,5 µm), hengitettäville hiukkasille (PM₁₀, halkaisija < 10 µm) ja mustalle hiilelle (BC).

	PM _{2.5}	PM ₁₀	BC
Kallio	Thermo Scientific TEOM 1405	Thermo Scientific TEOM 1405	Thermo Scientific MAAP 5012
Luukki	Palas Fidas 200	Palas Fidas 200	Thermo Scientific MAAP 5012
Mannerheimintie	Palas Fidas 200	Palas Fidas 200	Thermo Scientific MAAP 5012
Mäkelänkatu	Thermo Scientific TEOM 1405	Thermo Scientific TEOM 1405	Thermo Scientific MAAP 5012

2.4 Mittaustulosten käsittely

Jatkuvatoimisten henkilökohtaisten mittausten data leikattiin kellonaikojen mukaan vastaamaan kenttäpöytäkirjaan kirjattuja osareittikohtaisia reitin alku- ja loppuaikoja. Muodostuneesta osareittidatasta laskettiin ilmansaastepitoisuuksien tunnusluvut kullekin osareitille ja lisäksi ympyräreiteille A ja B. DustTrakien tulokset korjattiin vastaamaan gravimetristä menetelmää käyttäen aiemmissa vertailumittauksissa muodostettuja regressioyhtälöitä.

Osareittidataa vastaavat tunnusluvut laskettiin myös mittausreittejä parhaiten vastaavien mittausasemien tuloksista. Henkilökohtaisten altistuspitoisuuksien ja mittausaseman pitoisuustasojen välistä yhteyttä tarkasteltiin numeerisesti ja visuaalisesti.

Alueellisen vaihtelun tutkimista varten mittausreitille asetettiin ArcGIS Pro -karttaohjelmassa havaintopiste 50 metrin välein. GPS:n avulla mittalaitteiden tulokset yhdistettiin aina lähimpään havaintopisteeseen, ja tuloksista laskettiin jokaiselle pisteelle kaikkien kierrosten, aamupäivän kierrosten sekä iltapäivän kierrosten keskiarvot.

3 Tulokset ja pohdinta

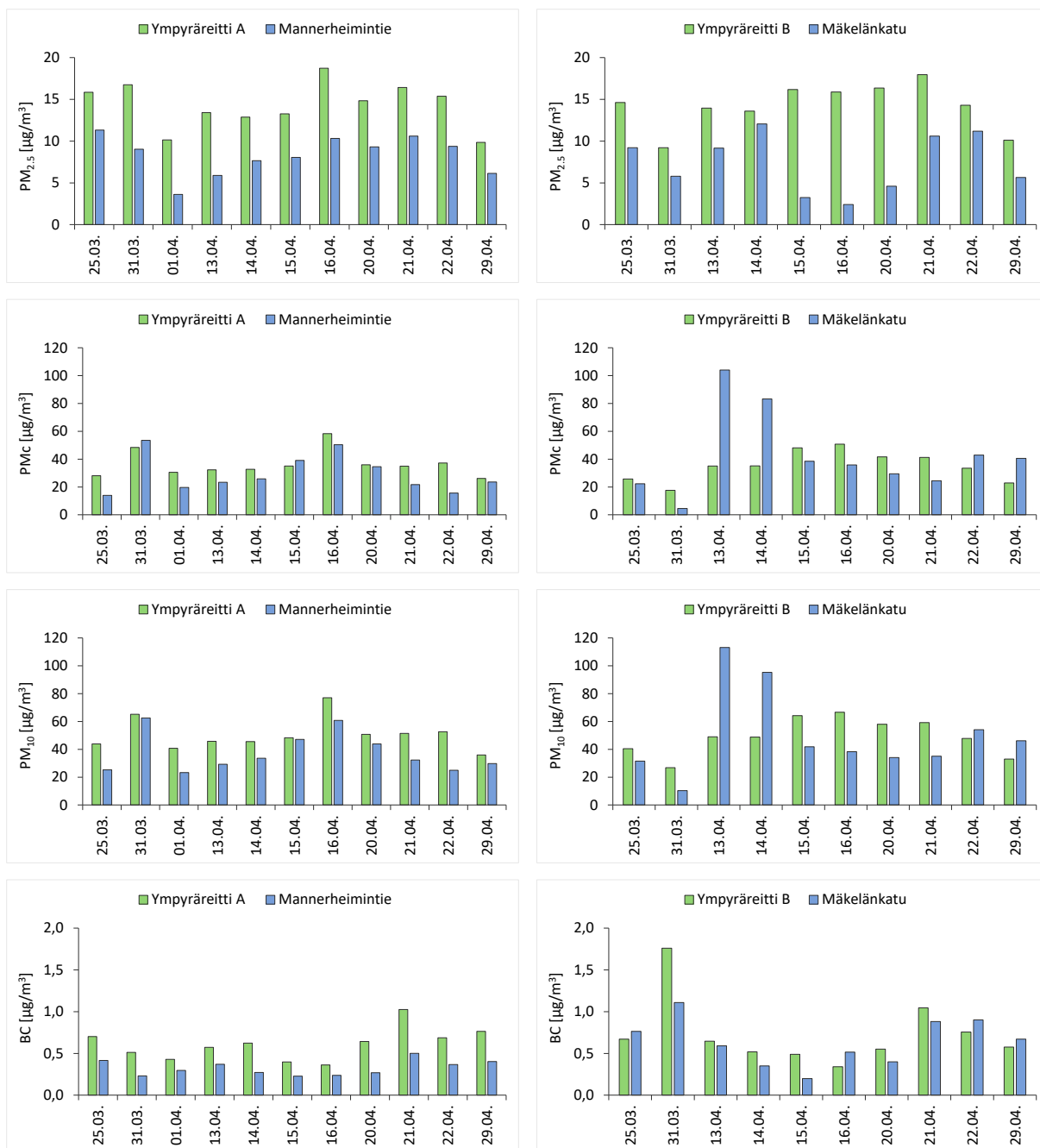
3.1 Kävelijän keskimääräinen altistuminen

3.1.1 Ympyräreittikohtaisen pitoisuuden päivittäinen vaihtelu

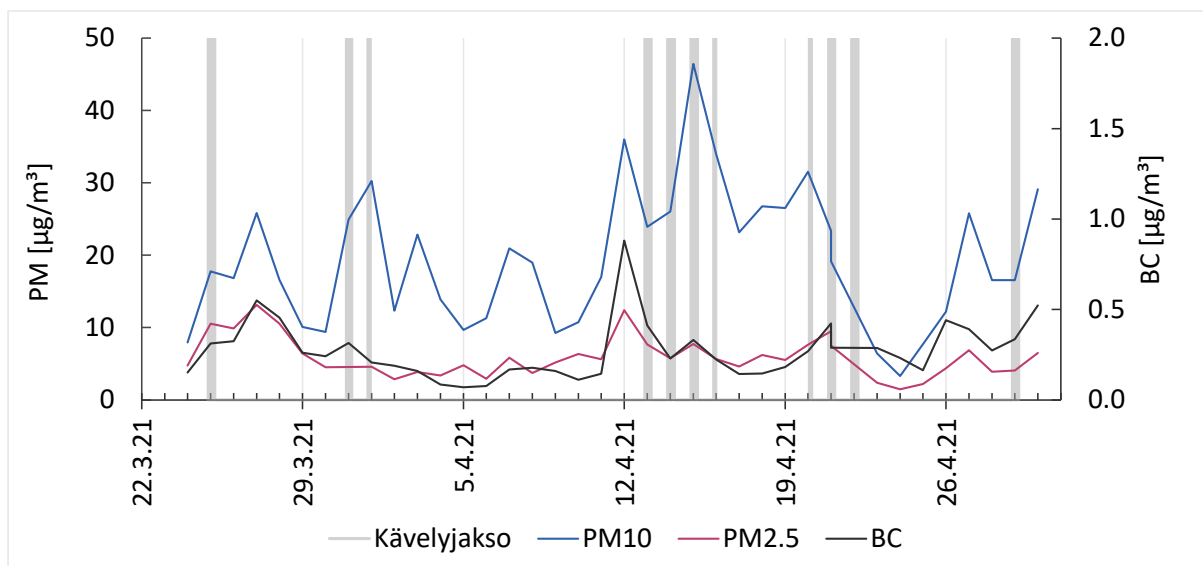
Kuvassa 4 esitetään ympyräreittien A ja B sekä Mannerheimintien (Reitti A:n vertailuasema) ja Mäkeläkadun (Reitti B:n vertailuasema) mittausasemien päiväkohtaiset keskimääräiset PM_{10} -, $PM_{2.5}$ - ja BC-pitoisuudet sekä PMc-pitoisuustasot. Keskiarvot on laskettu kävelymittausten ajalta sekä repuissa kannetuista pienmittalaitteista että mittausasemien datasta.

Ympyräreitillä A päiväkohtaiset $PM_{2.5}$ - ja PM_{10} -pitoisuustasot olivat kävelijällä suuremmat kuin Mannerheimintien mittausasemalla. Pitoisuustasot kuitenkin vaihtelivat samansuuntaisesti päivien välillä. Kävelijän ja aseman pitoisuuksien keskimääräinen suhde oli PM_{10} -hiukkasilla pienempi kuin $PM_{2.5}$ -hiukkasilla. Myös PMc-tasot olivat kävelijällä pääasiassa suuremmat kuin mittausasemalla, mutta kahtena päivänä kävelijällä mitattiin hieman pienemmät päiväkohtaiset pitoisuustasot kuin mittausasemalla. PMc-pitoisuuden ajallinen vaihtelu oli samankaltainen kuin PM_{10} :llä. PMc-pitoisuus on laskettu PM_{10} - ja $PM_{2.5}$ -pitoisuuksien erotuksena, joten pitoisuuseron suhde PM_{10} - ja $PM_{2.5}$ -pitoisuuksien välillä voi vaihdella eri aikoina. Ympyräreitillä A päiväkohtaiset mustan hiilen pitoisuustasot olivat kävelijällä suuremmat kuin Mannerheimintien mittausasemalla, mutta kävelijän ja mittausaseman pitoisuustasot vaihtelivat samansuuntaisesti. Mannerheimintien mittausaseman etäisyys ajokaistan reunasta on noin 3 m ja näytteenottokorkeus 4 m maanpinnasta. Ympyräreitti A kulki pääosin autoteiden vieressä olevia kävelyteitä pitkin eli kävelymittaus kuvaa ilmanlaatua lähempänä päästölähdettä sekä sivusuunnassa että näytteenottokorkeuden puolesta.

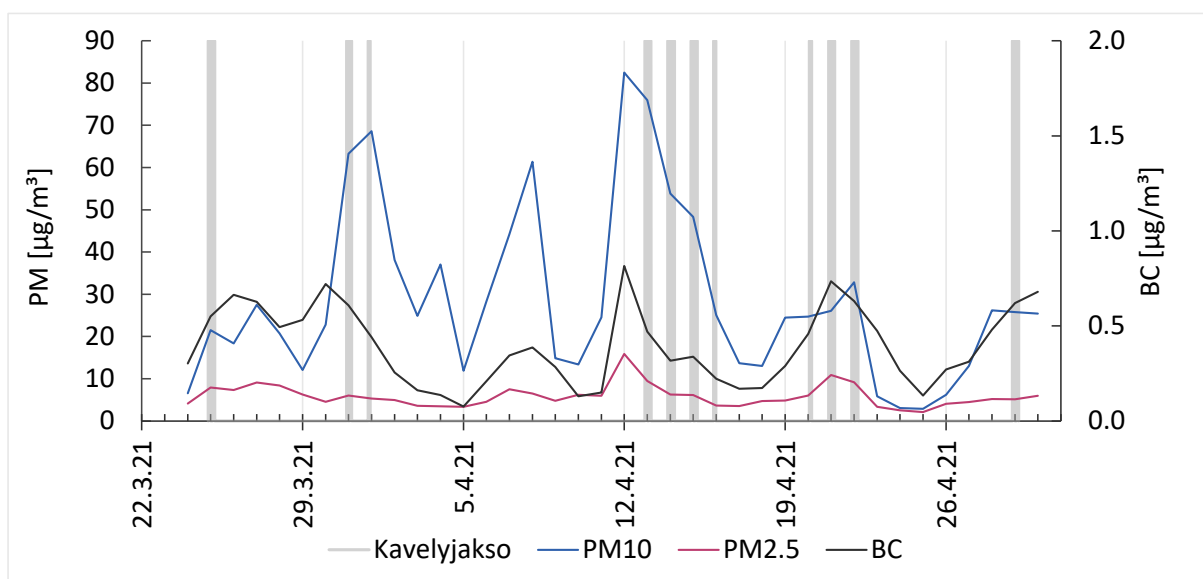
Ympyräreitillä B päiväkohtaiset ilmaanastepitoisuudet olivat pääsääntöisesti suuremmat kävelijällä kuin Mäkeläkadun mittausasemalla. Mäkeläkadun mittausaseman etäisyys ajokaistan reunasta on alle 0,5 metriä, joten sivusuuntainen etäisyys päästölähteestä kuvaa hyvin kävelytiellä kulkijoita, mutta näytteenottokorkeus on kävelijän hengitysvyöhykettä korkeammalla (4 m). Kävelijän $PM_{2.5}$ -pitoisuustaso oli yleensä noin puolitoistakertainen verrattuna mittausaseman tasoon. Poikkeuksena olivat päivät 15.4., 16.4. ja 21.4., jolloin kävelijällä mitattiin keskimäärin viisinkertainen pitoisuus verrattuna mittausaseman pitoisuuteen. Neljänä päivänä kävelijällä mitattiin matalammat PMc- ja PM_{10} -pitoisuudet kuin mittausasemalla. Kuvasta 4 erottuu erityisesti päivät 13.4. ja 14.4., jolloin kävelijällä mitattiin noin kaksi kertaa pienemmät pitoisuudet kuin mittausasemalla. Katupölykaudella karkeiden hiukkasten pitoisuudet voivat vaihdella hyvinkin voimakkaasti riippuen mm. sääolosuhteista, autotien pinnan kosteudesta ja liikenteen määrästä. Mittausasemien aikasarjakuvaajien (kuvat 5 ja 6) perustella PM_{10} -vuorokausikeskiarvoina lasketut pitoisuustasot olivat useampana päivänä korkeita noiden päivien läheisyydessä. Mustan hiilen pitoisuudet olivat mittausasemalla ja kävelijällä hyvin samansuuntaiset. Keskiviikkona 31.3. kävelymittauksissa on kuitenkin huomattavasti suurempi pitoisuus kuin mittausasemalla. Tuona päivänä esiintyi osareitillä 6 erittäin korkea pitoisuuspiikki, joka nostaa osareitin keskiarvoa jopa 48 %.



Kuva 4. Ympyräreittien ja vertailumittausasemien pienhiukkasten (PM_{2.5}, halkaisija < 2,5 µm), karkeiden hengitettävien hiukkasten (PM_c, halkaisija 2,5–10 µm), hengitettävien hiukkasten (PM₁₀, halkaisija < 10 µm) ja mustan hiilen (BC) pitoisuustasojen vaihtelu mittauspäivinä.



Kuva 5. PM_{2,5}-hiukkasten (halkaisija < 2,5 µm), PM₁₀-hiukkasten (halkaisija < 10 µm) ja mustan hiilen (BC) pitoisuuden vaihtelu Mannerheimintien mittausasemalla vuorokausikeskiarvoina keväällä 2021. Kävelymittausten ajankohdat on merkitty harmailla palkeilla.



Kuva 6. PM_{2,5}-hiukkasten (halkaisija < 2,5 µm), PM₁₀-hiukkasten (halkaisija < 10 µm) ja mustan hiilen (BC) pitoisuuden vaihtelu Mäkelänkadun mittausasemalla vuorokausikeskiarvoina keväällä 2021. Kävelymittausten ajankohdat on merkitty harmailla palkeilla.

3.1.2 Vuorokaudenajan vaikutus pitoisuuteen

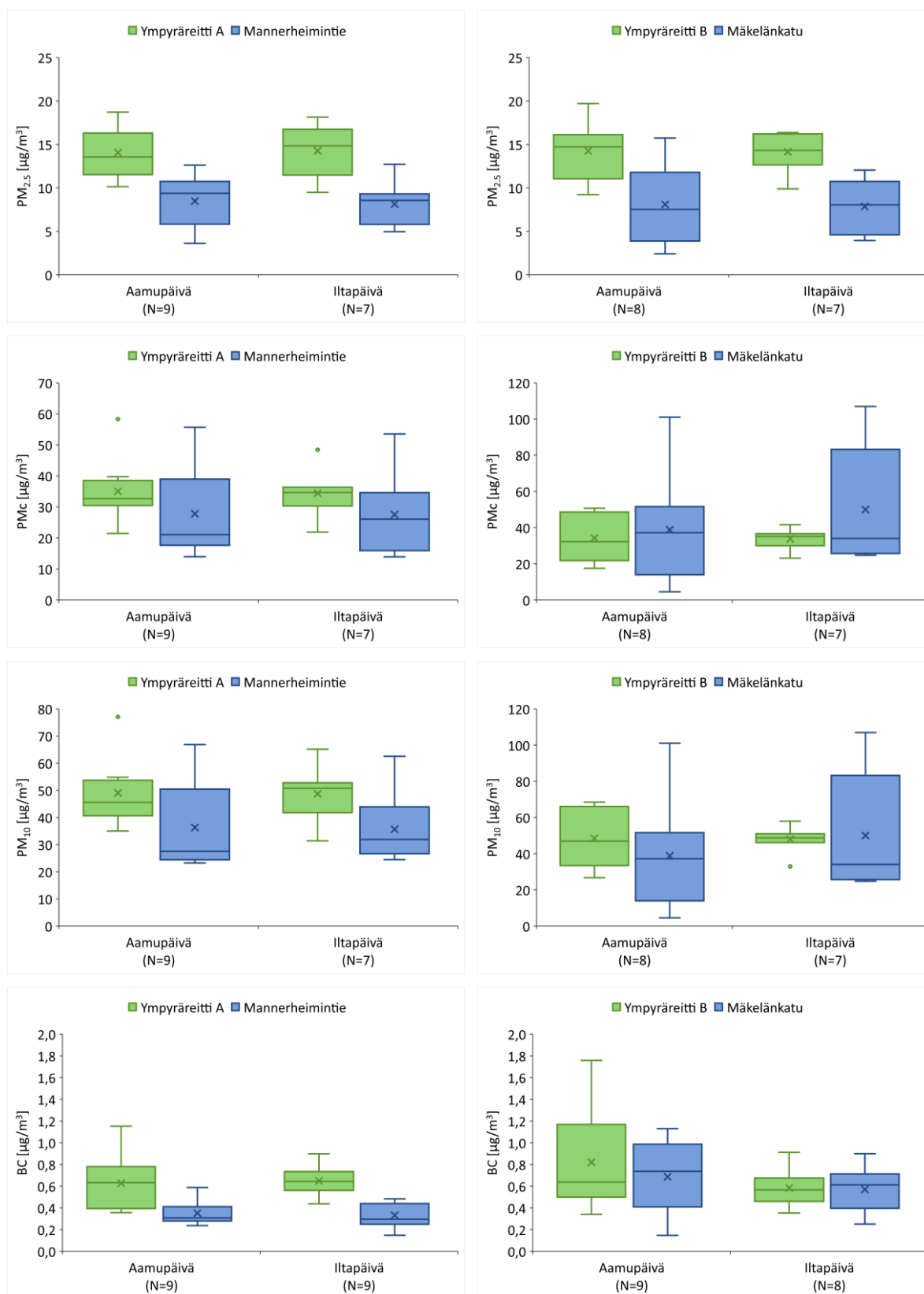
Kaikista mittauspäivistä lasketut tunnusluvut on esitetty liitteen 1 taulukoissa 1–4. Kaikkien osareittien pitoisuuksista laskettu keskimääräinen PM_{2,5}-pitoisuustaso oli sekä ympyräreitillä A että B aamu- ja iltapäivällä 14 µg/m³. Keskimääräinen PM₁₀-pitoisuustaso oli reitillä A aamu- ja iltapäivällä 49 µg/m³ ympyräreitillä B aamu- ja iltapäivällä 48 µg/m³. Mustan hiilen keskimääräinen pitoisuustaso oli ympyräreitillä A aamu- ja iltapäivällä sekä ympyräreitillä B iltapäivällä 0,6 µg/m³. Mustan hiilen pitoisuus oli ympyräreitillä B iltapäivällä 0,8 µg/m³.

Kuvassa 7 esitetään ympyräreittien A ja B kävelymittausten sekä vertailumittausasemien aamu- ja iltapäiväkohtaiset pitoisuusjakaumat mitatuille ilmansaasteille. Kuvassa näkyvät keskiarvon lisäksi mediaani, persenttiilit 25 ja 75 %, suurin ja pienin arvo sekä outlierit (poikkeavat havainnot). Pitoisuushavainto on määritelty poikkeavaksi (piste), jos se ylittää 1,5 kertaa 75. ja 25. persenttiin välisen erotuksen.

Ympyräreitillä A kävelijän keskimääräiset $PM_{2.5}$ -, PM_{10} - ja mustan hiilen -pitoisuustasot olivat aamupäivällä samaa suuruusluokkaa kuin iltapäivällä. Sama nähtiin Mannerheimintien mittausaseman tuloksissa. Kävelijä altistui keskimäärin suuremmille pitoisuuksille sekä aamu- että iltapäivällä kuin mitä mittausaseman pitoisuudet olivat samana aikana. Tämä johtunee siitä, että kävelijä on lähempänä päästölähteitä kuin mittausaseman mittausanturit. Sama ilmiö havaitaan kuvassa 4 (palkkikuvaaja).

Ympyräreitillä B kävelijän keskimääräiset $PM_{2.5}$ -, PM_{10} - ja PM_{10} -pitoisuustasot olivat aamupäivällä samaa suuruusluokkaa kuin iltapäivällä. Pienhiukkasilla sama tulos havaittiin myös mittausasemalta, kun taas PM_{10} - ja PM_{10} -pitoisuustasot olivat mittausasemalla aamupäivällä hieman matalammat kuin iltapäivällä. Keskimääräinen mustan hiilen pitoisuustaso oli kävelijällä aamupäivällä hieman korkeampi kuin iltapäivällä. Mittausasemalla vastaava ero oli pienempi. Kävelijä altistui mittausaseman pitoisuuteen verrattuna suuremmalle $PM_{2.5}$ -, PM_{10} - ja BC-pitoisuudelle aamupäivällä. $PM_{2.5}$ -altistumisepitoisuus oli kävelijällä suurempi kuin vertailumittausasemalla myös iltapäivällä, kun taas kävelijän PM_{10} -pitoisuus oli iltapäivisin keskimäärin pienempi kuin mittausasemalla vastaavana tarkasteluajana. Keskimääräiset PM_{10} - ja BC-pitoisuustasot olivat iltapäivällä kävelymittauksissa ja mittausasemalla käytännössä samat, joskin PM_{10} -pitoisuudessa näkyi suurta vaihtelua eri mittauspäivien välillä. Tämä johti suureen vaihteluun myös PM_{10} -pitoisuudessa.

Yleisesti pääkaupunkiseudulla pitoisuudet ovat liikenneympäristössä arkipäivisin korkeimmillaan aamuruuhkan aikaan, laskevat keskipäivällä ja kasvavat jälleen suuremmiksi iltapäiväruuhkan aikaan (HSY 2019). Iltapäiväruuhka kuitenkin ajoittuu pidemmälle aikavälille, jolloin pitoisuudet eivät yleisesti nouse yhtä suureksi iltapäivisin. Tässä tutkimuksessa aamupäivän mittaukset ajoittuvat pääasiassa klo 9–12 väliselle ajalle (ainoastaan yksi mittauspäivä alkoi tätä aikaisemmin ja kaksi päättyi myöhemmin) ja iltapäivän mittaukset klo 13-16:30 väliselle ajalle. Aamupäivän mittausten aloitus ajoittui siten pahimman ruuhkauipun jälkeiseen aikaan, jolloin liikennemäärät alkavat vähentyä lähestyttäessä päiväajan matalia liikennemääriä. Tämä todennäköisesti vaikutti siihen, että aamupäivän ja iltapäivän pitoisuuksien välillä ei ollut suuria eroja.



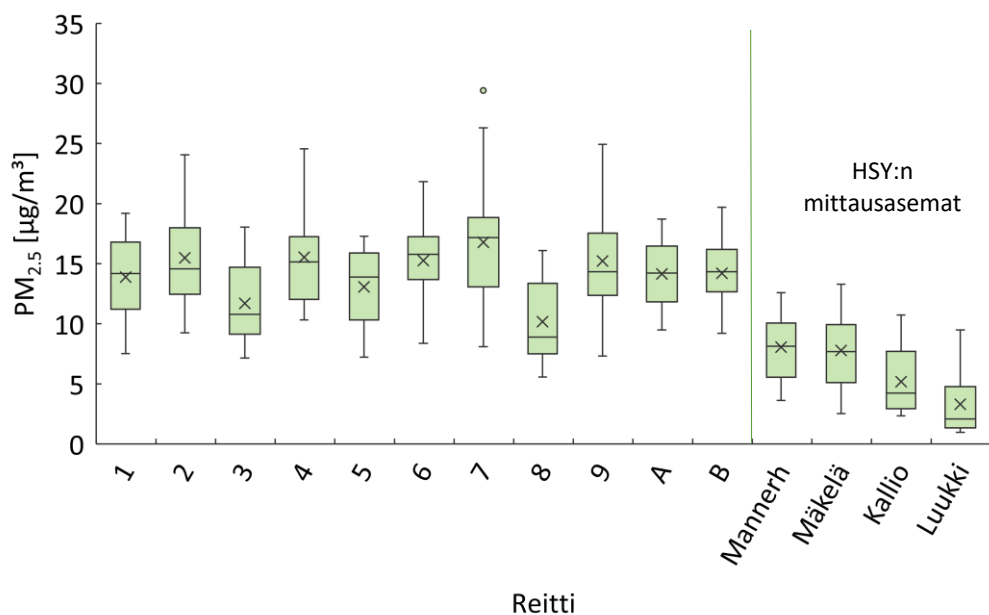
Kuva 7. Ympyräreittien ja vertailumittausasemien kierroskohtaisten PM_{2.5}- (halkaisija < 2,5 µm), PMc- (halkaisija 2,5–10 µm) ja PM₁₀-hiukkasten (halkaisija < 10 µm) sekä mustan hiilen (BC) pitoisuuksien keskiarvojen jakauma vuorokaudenajan mukaan. Keskiarvo on merkitty rastilla, mediaani viivalla, laatikon ala- ja yläreuna kertovat persenttiilit 25 ja 75, viikset pienimmän ja suurimman arvon, ja pisteet kuvaavat outlieriä.

3.1.3 Osareittikohtaiset tasot

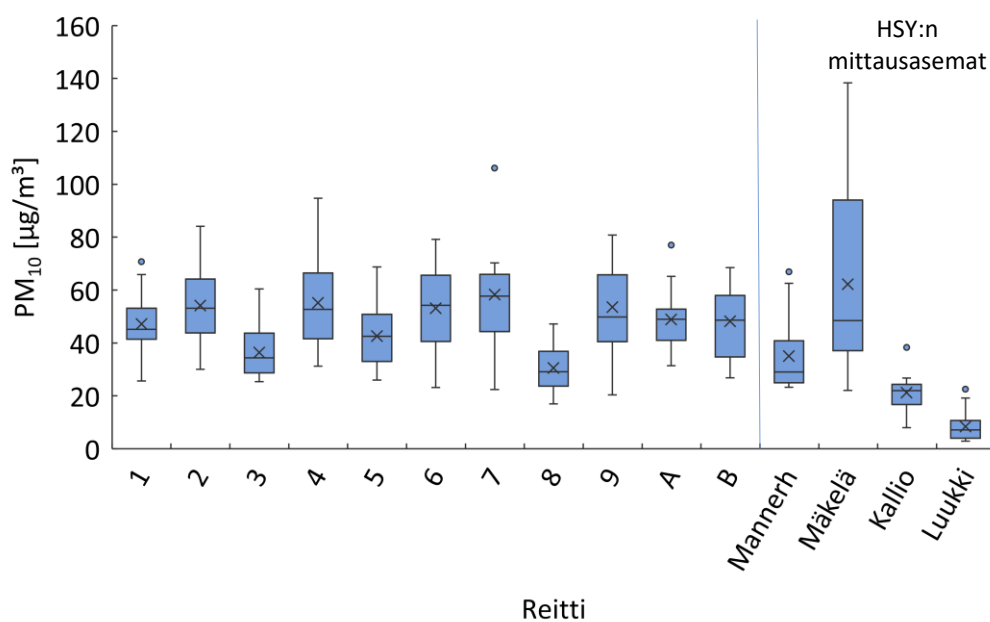
Kuvissa 8–11 on osareittien 1–9 ja ympyräreittien A ja B kierroskohtaisten keskimääräisten $PM_{2.5}$ -, PM_{10} -, PMc- ja mustan hiilen pitoisuuksien jakauma sekä pitoisuusjakaumat kävelymittauksia vastaavina aikoina HSY:n mittausasemilla. Laatikko-janakuvioista erottuu selkeästi osareitit 3 (Baana) ja 8 (Keskuspuisto), joiden keskimääräiset pitoisuudet ovat matalammat kuin muilla osareiteillä. Baana on Helsingin kantakaupungissa oleva kävely- ja pyöräilyväylä, joka sijoittuu useita metrejä alemmaksi kuin sen läheiset autotiet. Keskuspuisto on Helsingin keskusta-alueen välittömässä läheisyydessä oleva useiden kilometrien mittainen metsäinen viheralue. Johtuen Baanan ja keskuspuiston sijoittumisesta etäämmälle autoteistä, etenkin liikennepepäisten karkeiden hiukkasten pitoisuus on pienempi verrattuna osareitteihin, jotka kulkevat aivan autotien reunassa. Jätkäsaaren alueelle sijoittuneella osareitillä 4 ja Topeliuksen- ja Runeberginkatuja pitkin kulkevien osareitin 2 keskimääräiset PM_{10} -pitoisuudet olivat muita ympyräreitin A osareittejä korkeammat ja myös mittausten pitoisuusvaihtelu oli näillä osareiteillä muita suurempi. Vastaava tulos näkyi myös $PM_{2.5}$ - ja PMc-pitoisuuksissa. Keskuspuistoa lukuun ottamatta muut ympyräreitin B osareitit eivät juurikaan erottuneet toisistaan. Osareitit 6 ja 9 olivat keskenään samankaltaisia, mutta osareitti 9 oli kuitenkin ympäristöltään avoimempi. Pitoisuustasot näillä kahdella osareitillä olivat lähellä toisiaan. Osareitillä 7 keskimääräiset $PM_{2.5}$ -, PM_{10} - ja PMc-pitoisuudet olivat hieman muita osareittejä korkeampia, mutta mustan hiilen pitoisuus vastasi hyvin osareittien 6 ja 9 tasoa. Osareitti 7 erosi ympäristöltään näistä kahdesta reitistä (6 ja 9) muun muassa siten, että ympäristössä ei ollut juurikaan rakennuksia, reitin ali kulki kahdesta kohti leveä moniraitainen ratalinja, kävelytie kulki siellä osittain etäämmällä autotiestä ja siellä oli suurempi ajonopeus.

Mustan hiilen pitoisuuskuvausta (Kuva 10) erottuu erityisesti osareitti 8 (Keskuspuisto), jolla on selvästi matalin keskimääräinen pitoisuustaso. Tämä johtuu siitä, että liikenneympäristössä mustan hiilen lähde on polttomoottoriajoneuvot ja Keskuspuiston osareitti kulki kauempana autoteistä kuin muut osareitit. Myös osareiteillä 3 ja 5 on keskimäärin pienemmät mustan hiilen pitoisuustasot kuin muilla reiteillä. Baanan osareitti 3 sijaitsee etäämmällä autotiestä ja Bulevardilla kulkeneella osareitillä 5 on pienemmät liikennemäärät verrattuna esimerkiksi Mannerheimintiehen, Topeliuksenkatuun ja Runeberginkatuun. Jätkäsaarella sijainneen osareitin 4 mustan hiilen keskimääräinen pitoisuustaso oli mielenkiintoisesti hyvin lähellä esimerkiksi vilkkaasti liikennöidyn Mannerheimintien pitoisuustasoa. Jätkäsaari on yleisesti ottaen liikennemäärien suhteen verrattain rauhallista aluetta, mutta paikoin korkeiden rakennusten reunustamat katuosuudet muodostavat katukuilumaisia alueita, mikä hidastaa ilmansaasteiden laimentumista. Alueelle sijoittuvaan satamaan liikennöi paljon rekka-autoja ja käynnissä olevista rakennustyömaista johtuen alueella liikkuu muutenkin raskasta ajoneuvoliikennettä ja työkoneita, joiden päästöt voivat olla suuria. Myös työmaa-alueilta ajoneuvojen renkaissa kaduille kulkeutuva ja kaduilla edelleen renkaiden alla jauhautuva hiekka voi lisätä pölyisyyttä. Lisäksi Jätkäsaaren osareitin varressa oli mittausten aikaan koronarokotusasema, joka todennäköisesti lisäsi liikennemääriä väliaikaisesti alueella. Ympyräreitin B osareitit, lukuun ottamatta Keskuspuistossa kulkenutta osareittiä 8, ovat kaikki vilkkaasti liikennöityjä katuja ja mustan hiilen keskimääräisissä pitoisuuksissa ei niiden välillä nähty suuria eroja.

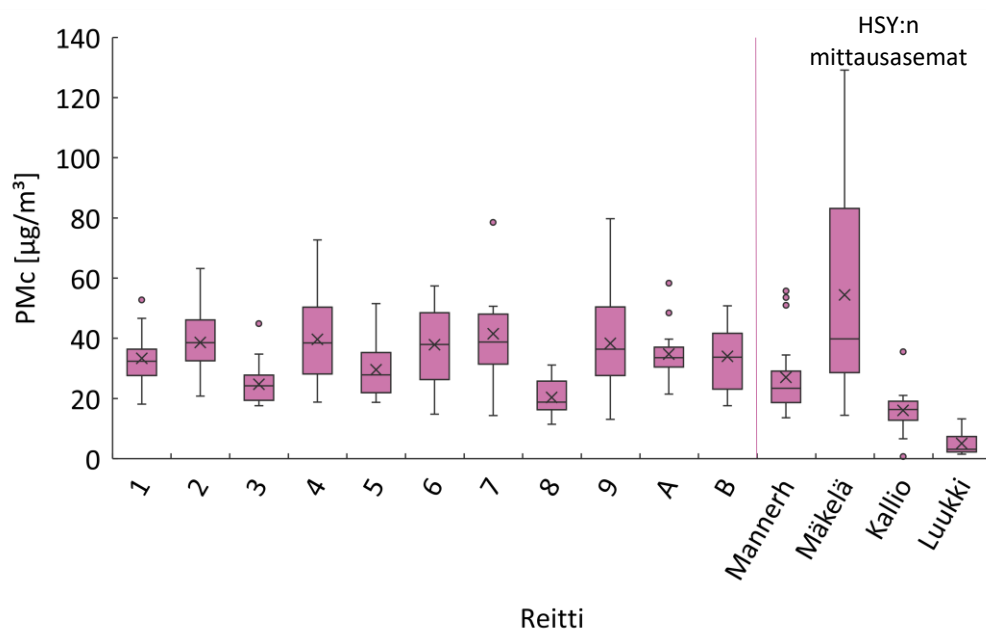
Liikenneympäristöihin sijoittuneilla Mannerheimintien ja Mäkelänkadun ilmanlaadun mittausasemilla pitoisuudet olivat korkeampia kuin Kallion kaupunkitausta-asetalla sekä Luukin alueellisella tausta-asetalla (Kuvat 8–11). Liikenneympäristöjen mittausasemista Mäkelänkadun pitoisuudet korostuivat $PM_{2.5}$ -pitoisuutta lukuun ottamatta selvästi muita korkeampina ja vaihteluväli siellä oli muita mittausasemia suurempi.



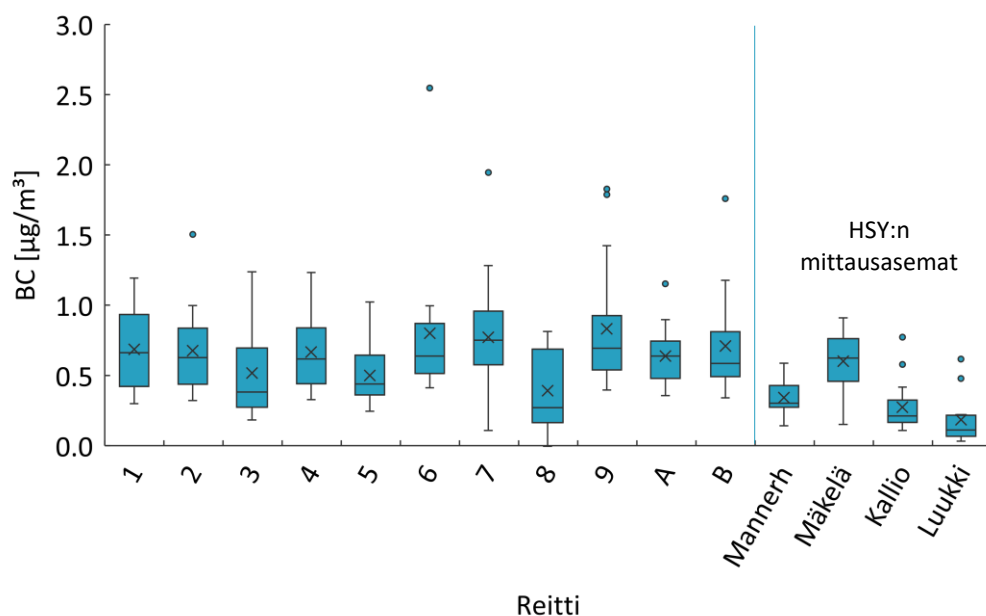
Kuva 8. Pienhiukkaspitoisuuden jakaumat osareiteilla 1–9, osareiteista 1–5 muodostuneella ympyräreitillä A, osareiteista 6–9 muodostuneella ympyräreitillä B sekä reittimittausten aikana HSY:n Mannerheimintien, Mäkelänkadun, Kallion ja Luukin ilmanlaadun mittausasemilla. Keskiarvo on merkitty rastilla, 25. ja 75. persentiili laatikon ala- ja yläreunassa, pienin ja suurin arvo viiksillä, ja poikkeavat havainnot (outlierit) pisteillä.



Kuva 9. Hengitettävien hiukkasten pitoisuusjakaumat osareiteilla 1–9, osareiteista 1–5 muodostuneella ympyräreitillä A, osareiteista 6–9 muodostuneella ympyräreitillä B sekä reittimittausten aikana HSY:n Mannerheimintien, Mäkelänkadun, Kallion ja Luukin ilmanlaadun mittausasemilla. Keskiarvo on merkitty rastilla, 25. ja 75. persentiili laatikon ala- ja yläreunassa, pienin ja suurin arvo viiksillä, ja poikkeavat havainnot (outlierit) pisteillä.



Kuva 10. Karkeiden hiukkasten pitoisuusjakaumat osareiteillä 1–9, osareiteistä 1–5 muodostuneella ympyräreitillä A, osareiteistä 6–9 muodostuneella ympyräreitillä B sekä reittimittausten aikana HSY:n Mannerheimintien, Mäkelänkadun, Kallion ja Luukin ilmanlaadun mittausasemilla. Kallion ja Luukin ilmanlaadun mittausasemilla. Keskiarvo on merkitty rastilla, 25. ja 75. persentti laatikon ala- ja yläreunassa, pienin ja suurin arvo viiksillä, ja poikkeavat havainnot (outlierit) pisteillä.



Kuva 11. Mustan hiilen pitoisuusjakaumat osareiteillä 1–9, osareiteistä 1–5 muodostuneella ympyräreitillä A, osareiteistä 6–9 muodostuneella ympyräreitillä B sekä reittimittausten aikana HSY:n Mannerheimintien, Mäkelänkadun, Kallion ja Luukin ilmanlaadun mittausasemilla. Keskiarvo on merkitty rastilla, 25. ja 75. persentti laatikon ala- ja yläreunassa, pienin ja suurin arvo viiksillä, ja poikkeavat havainnot (outlierit) pisteillä.

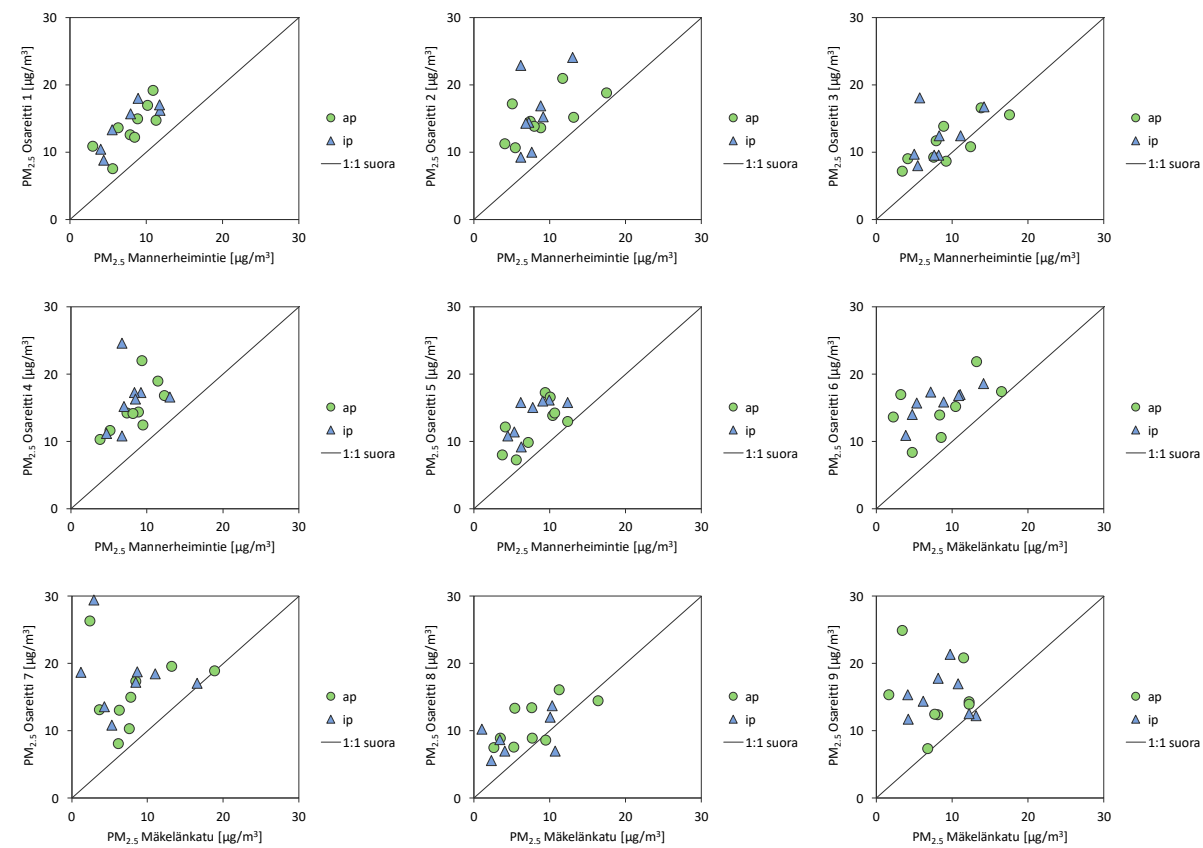
3.2 Mitä mittausaseman tulos kertoo kävelijän altistumisesta?

Kuvista 12–15 nähdään, miten mittausasema kuvaa kävelijän altistumista mitatuille ilmansaasteille. Kuvajasssa näkyy osareittien päiväkohtaiset aamu- ja iltapäivien mittaustulokset niin, että vaaka-akselilla on vertailumittausaseman tulos ja pystyakselilla vastaavan aikajakson kävelijämittausten tulos.

Erityisesti ympyräreitille B sijoittuneilla osareiteillä (reitit 6–9) nähdään kävelijän ja mittausaseman PM_{10} -pitoisuustasoissa hajontaa, jolloin pitoisuustaso oli välillä kävelijällä suurempi kuin mittausasemalla ja välillä toisinpäin. Osareitillä 7 sijaitsevat Koskelantie ja Hakamäentie ovat aivan Helsingin kantakaupungin rajalla. Ajonopeus (Helsingin kaupunki 2019) on Hakamäentiellä (60 km/h) korkeampi kuin muilla osareiteillä. Koskelantiellä (osareitti 7), Nordenskiöldinkadulla (9), Savonkadulla (9) sekä osassa Mäkelänkatua (6) nopeusrajoitus on 50 km/h. Verrattain suuret ajoneuvojen liikennemäärät yhdistettynä korkeampiin ajonopeuksiin vaikuttavat katupölypitoisuuksiin ja lisäävät vaihtelua päivien välillä. Keskuspuistossa (osareitti 8) oli pääsääntöisesti keskimäärin matalampi PM_{10} -pitoisuus kuin Mäkelänkadun mittausasemalla. PM_c -pitoisuustarkastelussa vaihtelu on hyvin samantyyppistä kuin PM_{10} :lla (Kuva 14). $PM_{2.5}$ -pitoisuuksissa ero kävelijän ja mittausaseman välisissä pitoisuuksissa on systemaattisempi ollen kävelijällä pääasiassa suurempi kuin vastaavana aikana mittausasemalla (Kuva 12).

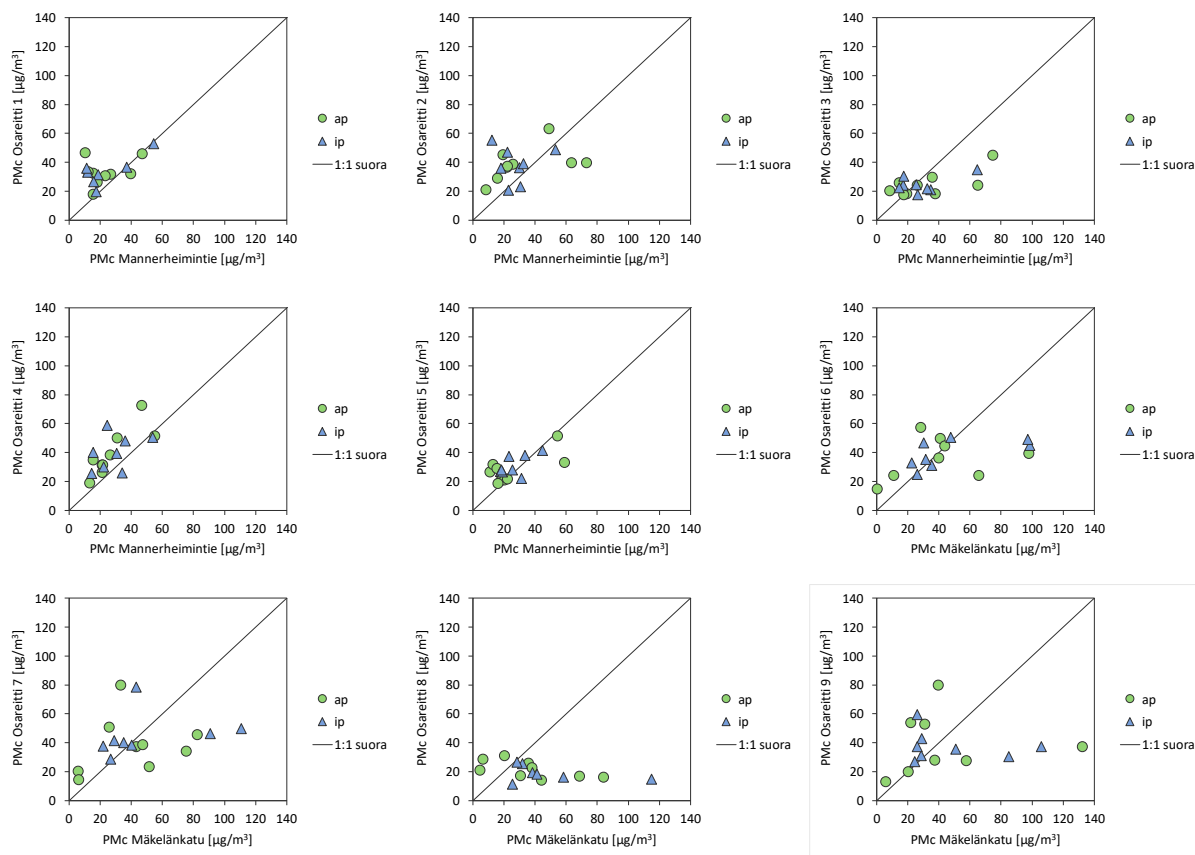
Mustan hiilen pitoisuustasot olivat pääsääntöisesti kävelijällä matalampia Keskuspuistossa (osareitti 8) kuin Mäkelänkadun mittausasemalla (Kuva 15). Muilla ympyräreitin B osareiteillä mustan hiilen pitoisuustasot vaihtelivat siten, että pitoisuus oli välillä korkeampi kävelijällä ja välillä Mäkelänkadun mittausasemalla. Sen sijaan ympyräreitille A sijoittuneilla osareiteillä kävelijän altistuminen oli aina tai lähes aina suurempi kuin Mannerheimintien mittausasemalla ja vain muutamissa yksittäisissä mittauksissa aseman pitoisuus ylitti kävelijän todellisen altistumistason. Tässä tarkastelussa ei aamu- ja iltapäivien välillä havaittu eroja ja vaihtelu oli samantyyppistä molempina vuorokauden aikoina.

Keskuspuistossa kulkenut osareitti 8 erosi ympäristöltään perinteisestä rakennetusta kaupunkiympäristöstä ja tämä näkyi erityisesti PM_c - ja PM_{10} -pitoisuuksissa ja jossakin määrin mustan hiilen pitoisuuksissa. Verrattaessa osareitin 8 pitoisuustasoja Mannerheimintien mittausaseman lisäksi HSY:n Kallion kantakaupungin tausta-aseman pitoisuuksiin havaittiin, että $PM_{2.5}$ - ja PM_{10} -pitoisuustasot olivat reitillä 8 keskimäärin suurempia kuin Kallion asemalla. Vastaavaa tulosta ei näkynyt keskimääräisessä mustan hiilen pitoisuudessa (data ei näkyvissä).

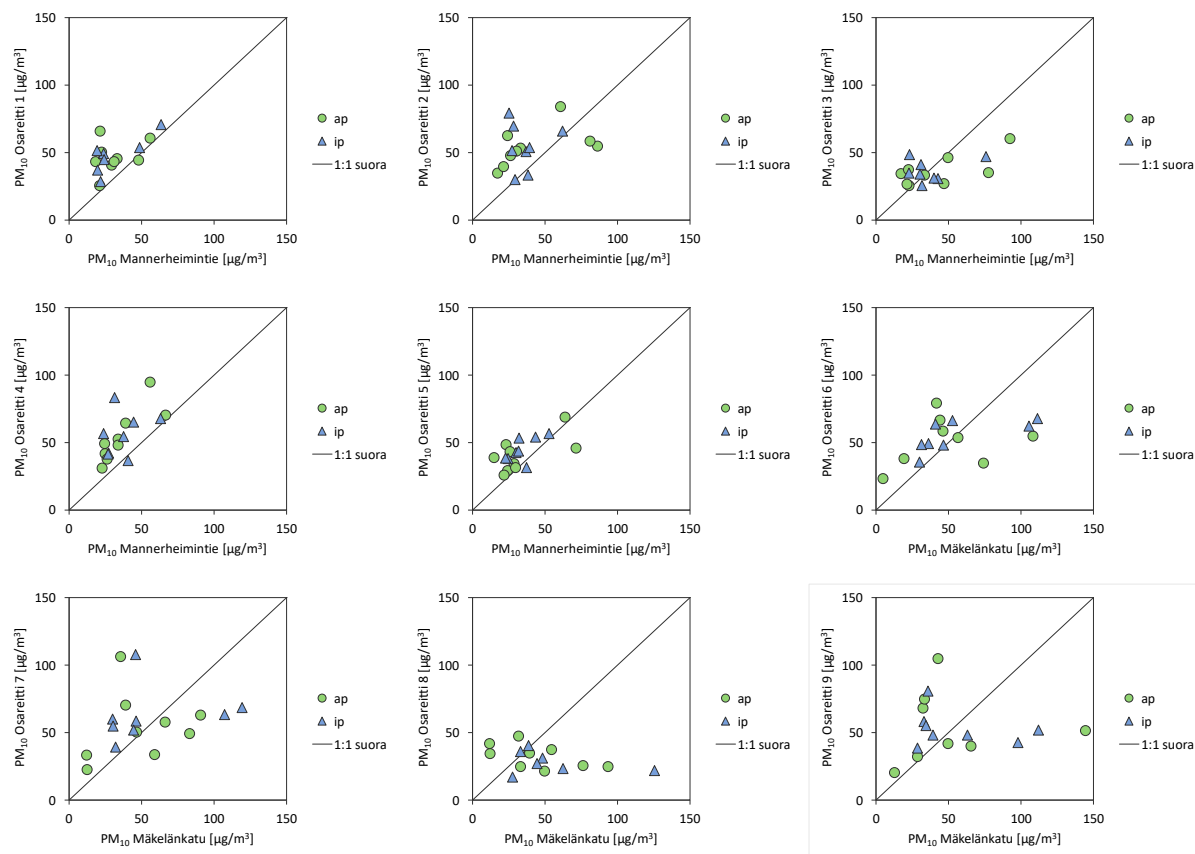


Kuva 12. Hajontakuviot eri osareittien (1–9) ja vertailumittausasemien pienhiukkasten (PM_{2.5}; hiukkasten halkaisija < 2,5 µm) pitoisuustasojen välillä aamu- ja iltopäivisin.

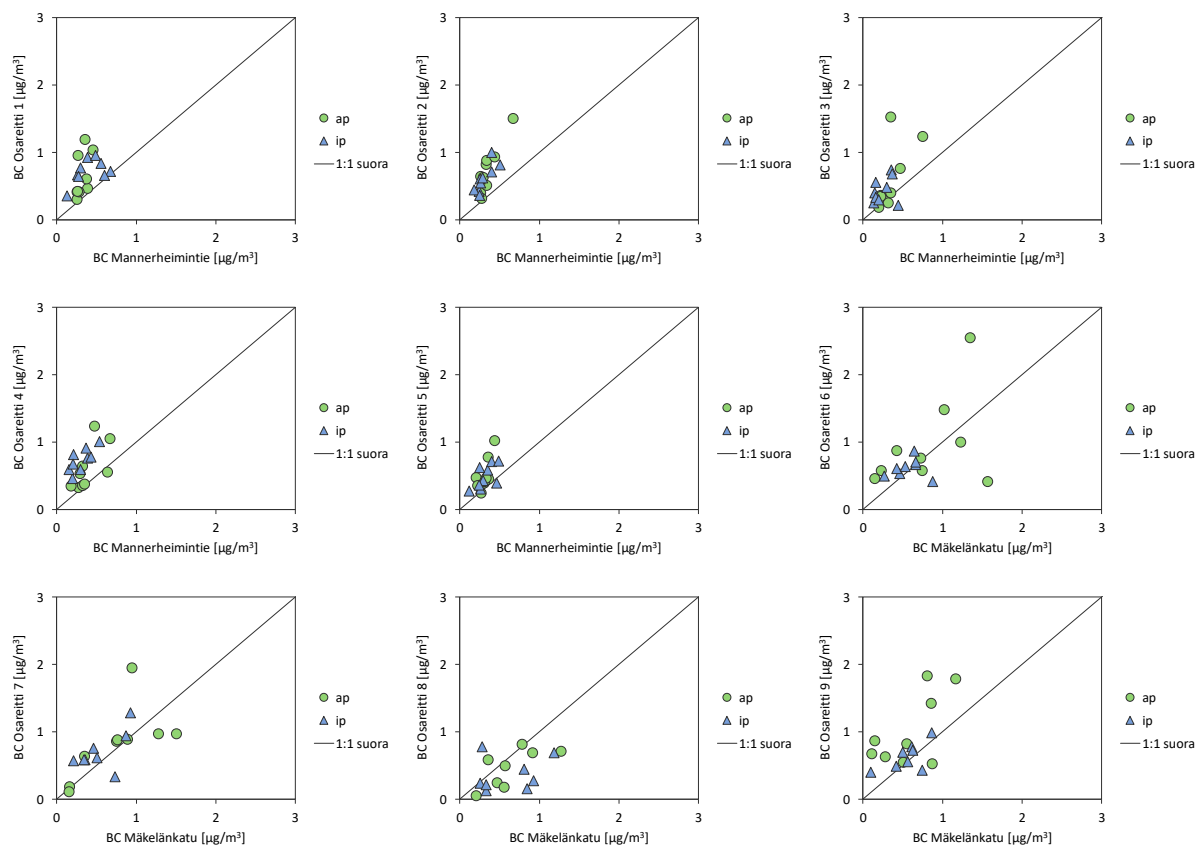
Tulokset ja pohdinta



Kuva 13. Hajontakuviot eri osareittien (1–9) ja vertailumittausasemien karkeiden hengitettävien hiukkasten (PMc; hiukkasten halkaisija 2,5–10 μm) pitoisuustasojen välillä aamu- ja iltapäivisin.



Kuva 14. Hajontakuviot eri osareittien (1–9) ja vertailumittausasemien hengitettävien hiukkasten (PM_{10} ; hiukkasten halkaisija $< 10 \mu m$) pitoisuustasojen välillä aamu- ja iltapäivisin.

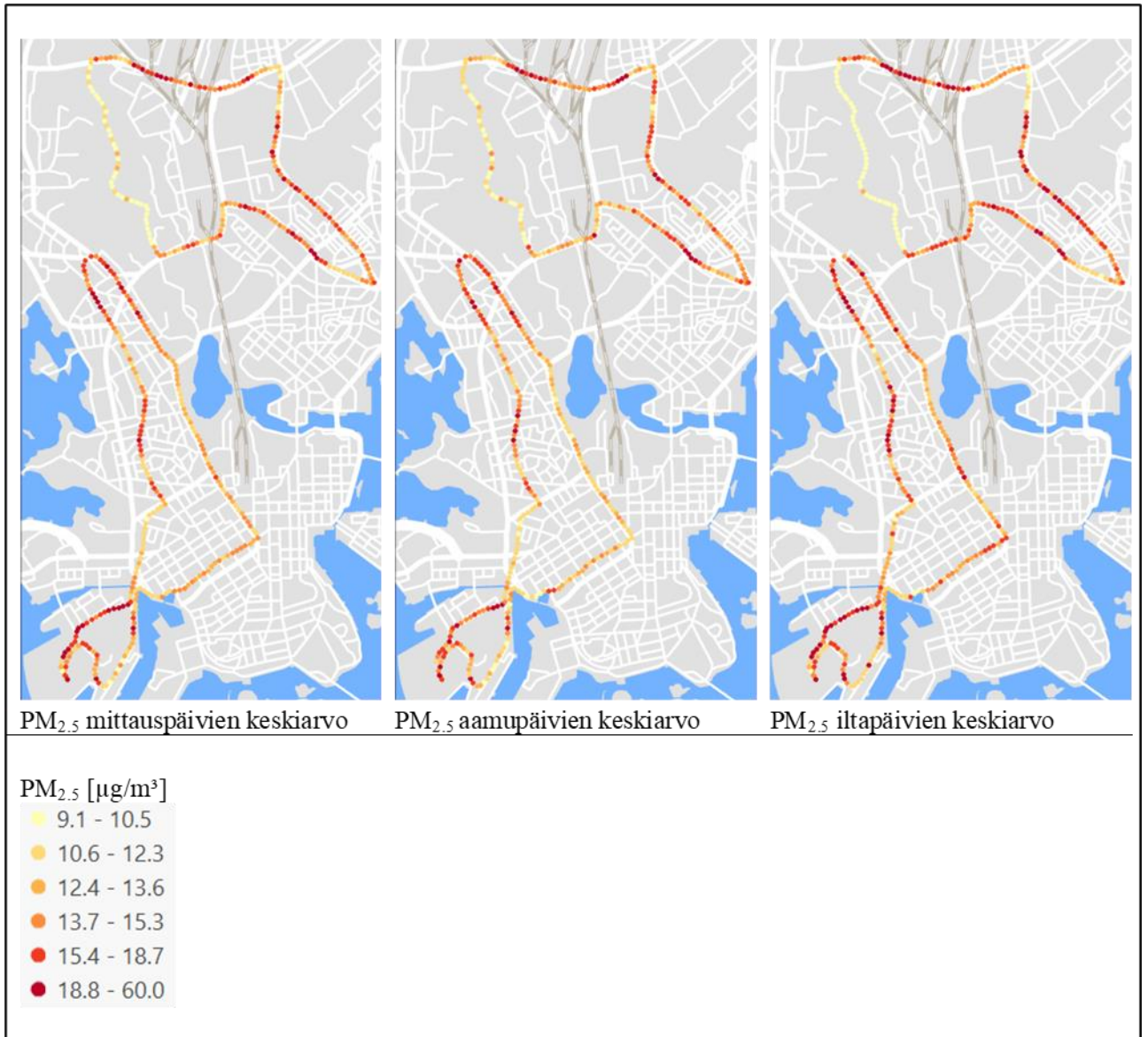


Kuva 15. Hajontakuviot eri osareittien (1–9) ja vertailumittausasemien mustan hiilen (BC) pitoisuustasojen välillä aamu- ja iltapäivisin.

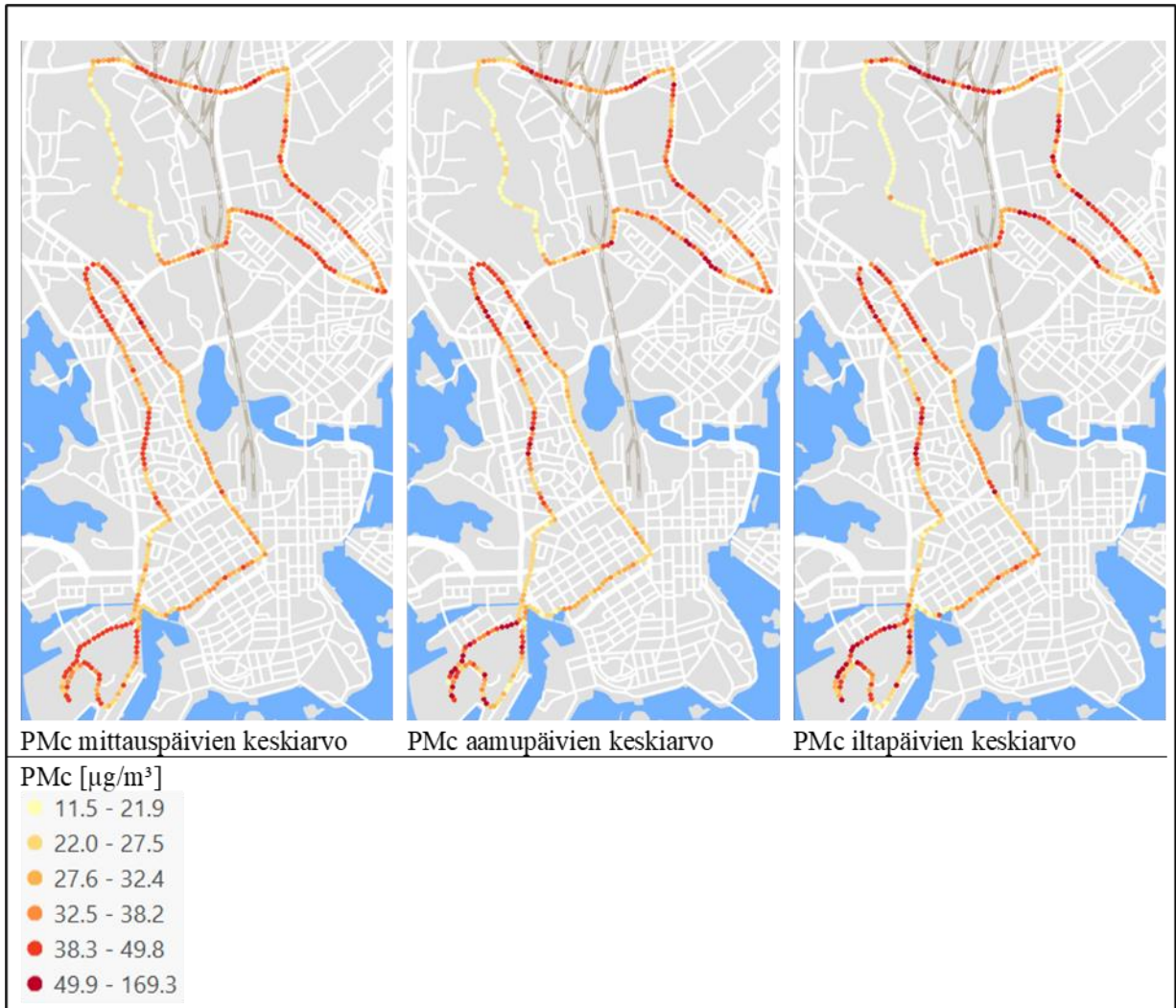
3.3 Pitoisuuskeskiarvot kartalla

Kuvissa 16–18 nähdään $PM_{2.5}$ -, PM_c - ja mustan hiilen pitoisuuden vaihtelu ympyräreiteillä A ja B. PM_{10} -pitoisuuden vaihtelu oli hyvin samankaltainen kuin PM_c -pitoisuuden vaihtelu, joten siitä ei esitetä erillisiä kuvia. Karttakuvissa nähdään tarkastelluilla ympyräreiteillä sekä matalia että hyvin korkeita pitoisuuksia. Ympyräreitillä B (ylempi reitti) erottui matalia pitoisuuksia kuvaavalla vaaleankeltaisella värillä Keskuspistossa kulkenut reitti, jonka välittömässä läheisyydessä ei ole autoteitä. Tämä osuus erottui erityisesti $PM_{2.5}$ - ja PM_c -pitoisuuksien kartoissa ja jossakin määrin, mutta ei niin selvästi, mustan hiilen pitoisuuskartoissa. Pitoisuudet tuolla alueella olivat pääasiassa muita alueita matalampia tarkasteluajasta riippumatta lukuun ottamatta mustan hiilen pitoisuutta aamupäivisin. $PM_{2.5}$ - ja PM_c -pitoisuudet vaihtelivat samantyyppisesti eri osissa ympyräreitillä B. Pisteissä, missä $PM_{2.5}$ -pitoisuus oli korkea, oli usein myös PM_c -hiukkasten pitoisuus korkea ja päinvastoin. Aamu- ja iltapäivien pitoisuuksien välillä oli pääasiassa maltillisia eroja.

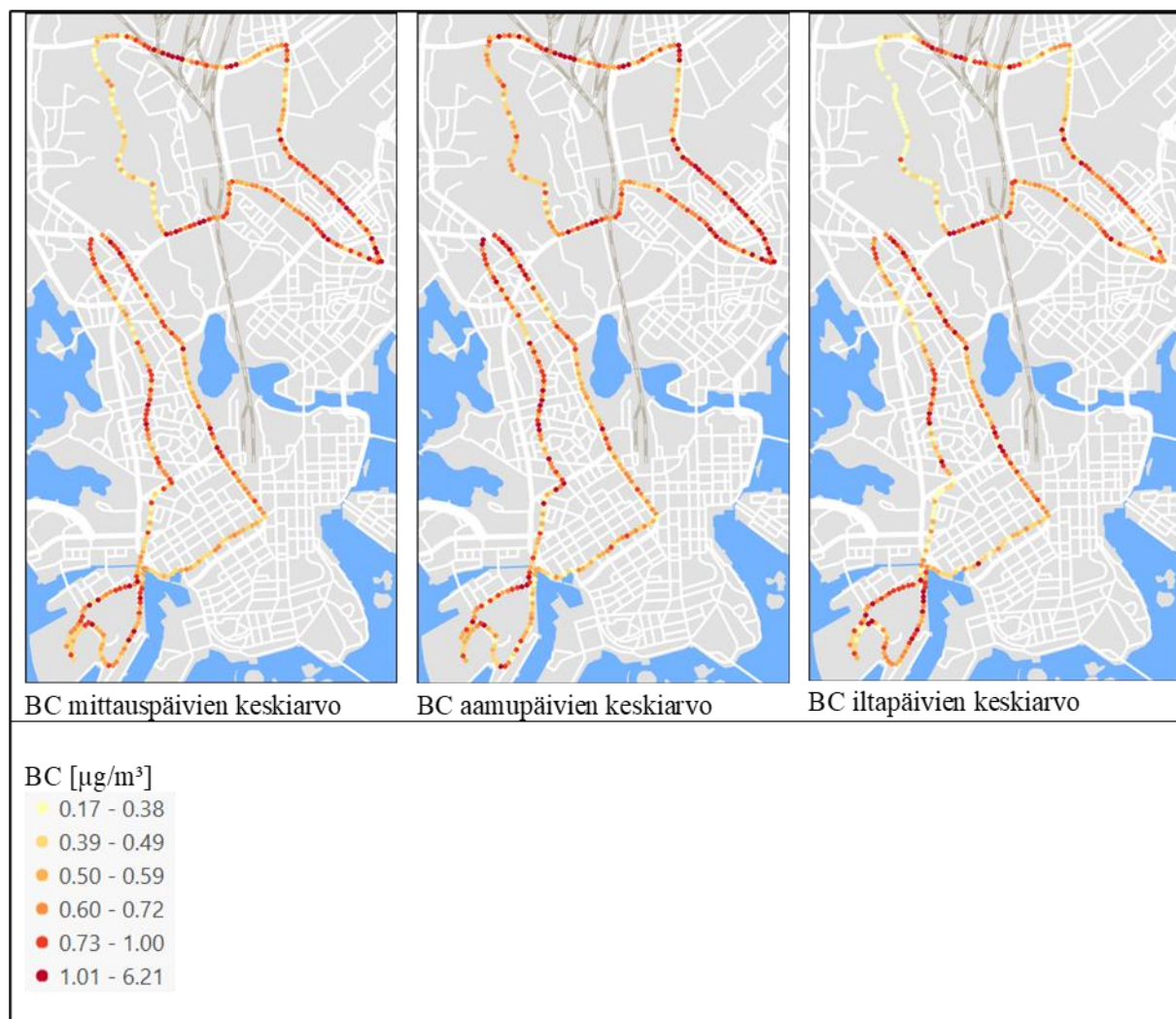
Ympyräreitillä A (alempi reitti) erottui selvemmin muutamia alueita, missä pitoisuus oli muuta reittiä korkeampi. Nämä alueet olivat reitin pohjoisosassa Mannerheimintiellä ja Teollisuuskadulla, ympyräreitin vasemmassa reunassa Teollisuuskadun ja Runeberginkadun risteyksen eteläpuolella sekä Jätkäsaarassa (reit-
tin eteläosa).



Kuva 16. Pienhiukkasten (PM_{2.5}; hiukkaset, halkaisija < 2,5 µm) kaikkien mittausten keskiarvon, aamupäivän keskiarvon ja iltapäivän keskiarvon pitoisuuden vaihtelu mittausreitillä.



Kuva 17. Karkeiden hengitettävien hiukkasten (PMc; hiukkaset, halkaisija 2,5–10 μm) kaikkien mittausten keskiarvon, aamupäivän keskiarvon ja iltapäivän keskiarvon pitoisuuden vaihtelu mittausreitillä.



Kuva 18. Mustan hiilen (BC) kaikkien mittausten keskiarvon, aamupäivän keskiarvon ja iltapäivän keskiarvon pitoisuuden vaihtelu mittausreitillä.

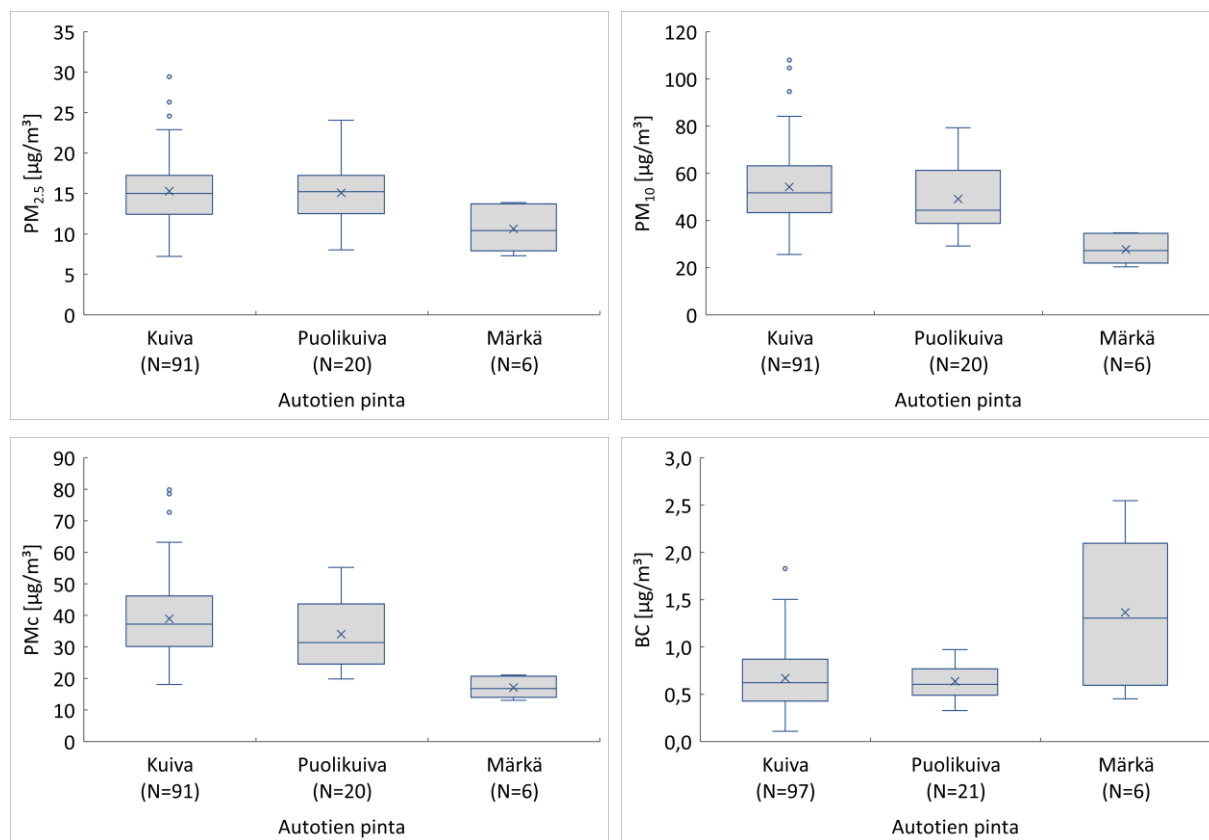
3.4 Tien pinnan kosteuden ja ulkolämpötilan vaikutus pitoisuustasoihin

Kävellyn reitin vierellä sijainneen autotien pinnan kosteutta arvioitiin silmämääräisesti mittausten aikana. Tarkastelun ulkopuolelle jätettiin osareitin 8 ja suurin osa osareitin 3 tuloksista, koska kyseiset reitit eivät kulkeneet autotien vieressä. Autotien pinta oli mittausten aikaan pääsääntöisesti kuiva tai puolikuiva. Autotien pinta oli märkä vain kahtena mittauspäivänä aamupäivällä, yhteensä kuudella osareitillä. Tarkastelussa oli mukana yhteensä 117 mittausta eri osareiteiltä ja päiviltä. Tienpinnan kosteuden tarkastelussa eri kosteustyyppien epätasaiseen jakautumiseen vaikutti se, että mittauksissa pyrittiin välttämään pidempiä sadejaksoja.

Autotien pinnan kosteuden vaikutus kävelijän altistumiseen on esitetty kuvassa 19. Mitatuissa pitoisuuksissa ei havaittu merkittävää eroa kuivan ja puolikuivan pinnan välillä. Pitoisuuksien vaihteluväli oli kuitenkin jonkin verran suurempi autotien pinnan ollessa kuiva. Autotien pinnan ollessa märkä olivat $\text{PM}_{2.5}$ -, PM_{10} - ja PM_{c} -pitoisuudet selvästi pienempiä kuin pinnan ollessa kuiva tai puolikuiva. Sen sijaan mustan hiilen pitoisuudet olivat suurempia autotien pinnan ollessa märkä. Erityisesti mustan hiilen tuloksia tarkasteltaessa on syytä huomioida mittausten vähäinen määrä. Aiemmassa Kuopiossa tehdyssä tutkimuksessa (Siponen ym. 2021) $\text{PM}_{2.5}$ - ja PM_{10} -pitoisuudet olivat keskimäärin korkeampia autotien pinnan ollessa kuiva kuin autotien pinnan ollessa puolikuiva. Myös Kuopion tutkimuksessa pitoisuudet olivat pienempiä autotien pinnan ollessa märkä. Mustan hiilen pitoisuus oli keskimäärin hieman matalampi tien pinnan ollessa märkä katupölykaukudella tehdyissä mittauksissa, mutta kuivaa ja puolikuivaa tien pintaa korkeampi silloin kuin tienpinta oli

märkä katupölykauden ulkopuolella tehdyissä mittauksissa. Mustan hiili on liikenneympäristöissä peräisin pääasiassa ajoneuvojen moottoripäästöistä, jolloin tien pinnan kosteudella ei pitäisikään olla niin suurta merkitystä pitoisuuden vaihteluun kuin tien pinnasta liikenteen ilmavirtauksen mukana irtoavalla aineksella.

Mitattujen ilmansaasteiden pitoisuustasojen ja lämpötilan välillä ei havaittu mitään selvää trendiä ja pitoisuustasojen vaihtelu oli hyvin samantyyppinen lämpötilasta riippumatta. Lämpötila oli kaikissa mittauksissa nollan yläpuolella ja vaihteli 1,6–11,1 °C välillä. Lämpötilan vaihtelu kaikkien mittauspäivien välillä oli varsin maltillista (alle 10 astetta), jolloin sen merkitys pitoisuustasoihin oli vähäinen.



Kuva 19. Autotien pinnan kosteuden vaikutus kävelijän altistumiseen pienhiukkasille (PM_{2.5}; hiukkaset, halkaisija < 2,5 μm), karkeille hengitettäville hiukkasille (PM_c; hiukkaset, halkaisija 2,5-10 μm) hengitettäville hiukkasille (PM₁₀; hiukkaset, halkaisija < 10 μm) ja mustalle hiillelle (BC). N kertoo osareittien lukumäärän.

4 Yhteenveto

Kävelijä altistui suuremmille keskimääräisille PM_{2,5}-pitoisuuksille verrattuna samaan aikaan liikenneympäristössä sijainneilla ilmanlaadun asemilla mitattuihin pitoisuuksiin. Tulos oli samansuuntainen liikenteen pakokaasupäästöistä peräisin olevalle mustalle hiilelle, joskin ero oli pienempi erityisesti Reitillä B, missä vertailussa käytetty Mäkeläntien mittausasema sijoittui aivan vilkkaasti liikennöidyn kadun reunaan. Autotiestä etäämmällä sijainneilla osareiteillä (Baana ja Keskuspuisto) altistumisepitoisuudet olivat selkeästi pienempiä kuin muilla osareiteillä. Kokoluokaltaan suurempien PM₁₀-hiukkasten ja PM_c-hiukkasten pitoisuustasoissa ei havaittu systemaattista eroa kävelijän ja mittausaseman tulosten välillä. PM₁₀-hiukkasilla altistumisepitoisuuden ja mittausaseman tuloksen suhde oli keskimäärin 1,4, mutta se vaihteli 0,2–4,6. Tarkastelluilla ympyräreiteillä esiintyi suuria pitoisuusvaihteluita. Keskuspuiston kautta kulkeneella osareitillä erityisesti PM_{2,5}- ja PM_c-pitoisuudet olivat selvästi pienemmät kuin muilla osareiteillä. Tuloksissa erottui selvemmin myös muutamia alueita, missä pitoisuus oli muuta osareittiä suurempi. Nämä alueet olivat reitin pohjoisosassa Mannerheimintiellä ja Teollisuuskadulla, ympyräreitin vasemmassa reunassa Teollisuuskadun ja Runeberginkadun risteyksen eteläpuolella sekä reitin eteläosassa Jätkäsaarella.

Altistumisessa mitatuille pitoisuuksille ei havaittu suuria eroja tien pinnan ollessa kuiva tai puolikuiva. Sen sijaan tien pinnan ollessa märkä pitoisuustasot olivat selvästi alhaisemmat kuin tien pinnan ollessa kuiva kaikilla muilla mitatuilla ilmansaasteilla, mutta ei mustalla hiilellä. Tuloksia tarkasteltaessa on hyvä kuitenkin huomioida, että mitattuja osareittipätkiä tien pinnan ollessa märkä oli vähän (N=6) ja niitä oli vain kahdena aamupäivänä tien pinnan ollessa märkä johtuen muun muassa siitä, ettei mittauksia tehty sateisina päivinä.

Tämän nyt Helsingissä tehdyn tutkimuksen tulokset olivat samansuuntaiset aiemmin Kuopiossa tehdyn katupölytutkimuksen kanssa (Siponen ym. 2021) ja kuvastavat tyypillistä altistumista katupölykaudella kuivina päivinä, jolloin katupölyä esiintyy kaupunki-ilmassa.

Lähteet

- Adar SD, Filigrana PA, Clements N & Peel JL. Ambient Coarse Particulate Matter and Human Health: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Current Environmental Health Reports*, 2014,1:258–274.
- Helsingin kaupunki. Helsingin nopeusrajoitusjärjestelmä - Nopeusrajoitusjärjestelmän toteutussuunnitelma 2019. Saatavissa: <https://www.hel.fi/static/liitteet-2019/Kymp/liikenne-ja-kartat/kadut/nopeusrajoitusjarjestelman-toteutussuunnitelma-2019.pdf> (luettu 25.1.2022).
- HSY. Ilmanlaadun mittausasemat vuonna 2021. Saatavissa: <https://julkaisu.hsy.fi/ilmanlaadun-mittausasemat-vuonna-2021.html> (luettu 24.2.2022).
- HSY. Ilmanlaatu pääkaupunkiseudulla vuonna 2018. HSY:n julkaisuja 4/2019. Saatavissa: https://www.hsy.fi/globalassets/ilmanlaatu-ja-ilmasto/tiedostot/4-2019_ilmanlaatu_paa-kaupunkiseudulla_vuonna_2018.pdf
- Siponen T, Taimisto P, Yli-Tuomi T, Salonen RO. Kuopion katupölytutkimus 2019 - Hankkeen loppuraportti. THL – Työpäperi 11/2021. Saatavissa: <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-343-641-1>
- Siponen T, Yli-Tuomi T, Lanki T. Pyöräilijän mahdollisuudet vähentää ilmansaasteille altistumistaan. *Ympäristö ja Terveys -lehti* 5/2018. Saatavissa: <https://www.julkari.fi/handle/10024/136839>
- Ympäristöministeriö. Kansallinen ilmansuojeluohjelma 2030. Ympäristöministeriön julkaisuja 7/2019. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-361-008-8>

Liite 1. Kaikista mittauspäivistä lasketut tunnusluvut

Taulukko L1.1. PM_{2,5}-tulokset (µg/m³) ympyräreiteillä A ja B sekä osareiteillä 1–9 mitattuna aamupäivällä (AP) ja iltapäivällä (IP). Ympyräreitti A sisältää osareitit 1–5 ja ympyräreitti B osareitit 6–9.

		A	B	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Keskiarvo	AP	14	14	14	15	11	15	12	15	16	11	15
Minimi	AP	10	9	8	11	7	10	7	8	8	7	7
Pros-25	AP	13	12	12	14	9	12	10	13	13	9	12
Pros-50	AP	14	15	14	15	11	14	13	15	15	9	14
Pros-75	AP	15	16	15	17	14	17	14	17	19	13	17
Maksimi	AP	19	20	19	21	17	22	17	22	26	16	25
N	AP	9	8	9	9	9	9	9	8	9	9	8
Keskiarvo	IP	14	14	14	16	12	16	14	16	18	9	15
Minimi	IP	9	10	9	9	8	11	9	11	11	6	12
Pros-25	IP	13	13	12	13	10	14	11	15	16	7	12
Pros-50	IP	15	14	16	15	11	16	15	16	18	9	15
Pros-75	IP	16	16	17	18	14	17	16	17	19	11	17
Maksimi	IP	18	16	18	24	18	25	16	19	29	14	21
N	IP	7	7	7	8	8	8	8	8	8	7	8

Taulukko L1.2. PMc-tulokset ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ympyräreiteillä A ja B sekä osareiteillä 1–9 mitattuna aamupäivällä (AP) ja iltapäivällä (IP). Ympyräreitti A sisältää osareitit 1–5 ja ympyräreitti B osareitit 6–9.

		A	B	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Keskiarvo	AP	35	34	33	39	25	39	28	36	38	22	39
Minimi	AP	21	18	18	21	18	19	19	15	14	14	13
Pros-25	AP	31	22	31	37	18	31	21	24	24	17	26
Pros-50	AP	33	32	32	39	24	35	27	38	37	21	33
Pros-75	AP	37	48	33	40	26	50	32	46	46	26	53
Maksimi	AP	58	51	47	63	45	73	51	57	80	31	80
N	AP	9	8	9	9	9	9	9	8	9	9	8
Keskiarvo	IP	34	34	34	38	25	40	31	39	45	19	38
Minimi	IP	22	23	20	21	18	26	22	25	29	11	27
Pros-25	IP	32	32	29	33	21	29	27	32	38	16	31
Pros-50	IP	35	35	33	38	23	40	28	40	41	18	36
Pros-75	IP	36	36	36	47	26	49	38	47	47	22	39
Maksimi	IP	48	42	53	55	35	59	41	51	79	26	59
N	IP	7	7	7	8	8	8	8	8	8	7	8

Taulukko L1.3. PM₁₀-tulokset (µg/m³) ympyräreiteillä A ja B sekä osareiteillä 1–9 mitattuna aamupäivällä (AP) ja iltapäivällä (IP). Ympyräreitti A sisältää osareitit 1–5 ja ympyräreitti B osareitit 6–9.

		A	B	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Keskiarvo	AP	49	48	47	54	36	54	41	51	54	32	54
Minimi	AP	35	27	26	35	25	31	26	23	22	22	20
Pros-25	AP	41	34	43	48	27	42	32	37	34	25	38
Pros-50	AP	46	47	44	53	34	49	39	54	50	35	47
Pros-75	AP	53	65	50	58	37	64	46	60	63	37	70
Maksimi	AP	77	68	66	84	60	95	69	79	106	47	105
N	AP	9	8	9	9	9	9	9	8	9	9	8
Keskiarvo	IP	49	48	48	54	37	56	45	55	63	28	53
Minimi	IP	31	33	28	30	26	37	31	36	39	17	38
Pros-25	IP	44	47	41	46	31	42	38	48	54	23	47
Pros-50	IP	51	49	49	52	34	56	43	56	59	27	50
Pros-75	IP	52	50	53	67	43	66	54	64	65	33	56
Maksimi	IP	65	58	71	79	48	83	56	68	108	40	81
N	IP	7	7	7	8	8	8	8	8	8	7	8

Taulukko L1.4. BC-tulokset ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ympyräreiteillä A ja B sekä osareiteillä 1–9 mitattuna aamu-päivällä (AP) ja iltapäivällä (IP). Ympyräreitti A sisältää osareitit 1–5 ja ympyräreitti B osareitit 6–9.

		A	B	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Keskiarvo	AP	0,6	0,8	0,6	0,7	0,6	0,6	0,5	1,0	0,8	0,4	1,0
Minimi	AP	0,4	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3	0,2	0,4	0,1	0,0	0,5
Pros-25	AP	0,4	0,6	0,4	0,5	0,3	0,4	0,4	0,6	0,6	0,2	0,6
Pros-50	AP	0,6	0,6	0,5	0,6	0,4	0,5	0,5	0,8	0,9	0,5	0,8
Pros-75	AP	0,8	1,2	1,0	0,9	0,8	0,6	0,5	1,0	1,0	0,7	1,4
Maksimi	AP	1,2	1,8	1,2	1,5	1,5	1,2	1,0	2,5	1,9	0,8	1,8
N	AP	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
Keskiarvo	IP	0,6	0,6	0,7	0,6	0,4	0,7	0,5	0,6	0,7	0,4	0,6
Minimi	IP	0,4	0,4	0,4	0,4	0,2	0,5	0,3	0,4	0,3	0,1	0,4
Pros-25	IP	0,6	0,5	0,7	0,4	0,3	0,6	0,4	0,5	0,6	0,2	0,5
Pros-50	IP	0,6	0,6	0,7	0,6	0,4	0,8	0,4	0,6	0,6	0,3	0,6
Pros-75	IP	0,7	0,6	0,8	0,7	0,6	0,8	0,6	0,7	0,8	0,5	0,7
Maksimi	IP	0,9	0,9	1,0	1,0	0,7	1,0	0,7	0,9	1,3	0,8	1,0
N	IP	9	8	9	9	9	9	9	8	8	8	8