

Ilmanlaatu vilkasliikenteisessä katukuilussa ja sen lähiympäristössä

Nelli Kaski, Taneli Mäkelä ja Jarkko Niemi



Kaupunkiympäristön aineistoja 2020:29

Ilmanlaatu vilkasliikenteisessä katukuilussa ja sen lähiympäristössä

Nelli Kaski, Taneli Mäkelä ja Jarkko Niemi

Kannen kuva | Helsingin kaupungin aineistopankki / Ari Leppä
Julkaisija | Helsingin kaupunki / Kaupunkiympäristön toimiala
ISBN | 978-952-331-859-5
ISSN | 2489-4257

Sisällys

1. Johdanto	3
2. Kirjallisuuskatsaus ilmanlaatugradientteista	6
2.1 Helsingin Runeberginkatu typpidioksidi NO ₂ vuonna 2004	6
2.2 Helsingin Hämeentie typpidioksidi NO ₂ vuonna 2014	7
2.3 Helsingin Mäkelänkatu droonimittaukset vuonna 2016	8
2.4 Lahti hiilimonoksidi CO ja typenoksidit NO _x vuonna 1995	8
2.5 Tukholma typenoksidit NO _x ja typpidioksidi NO ₂ vuonna 2012	9
2.6 Kiina hiilimonoksidi CO ja typenoksidit NO _x vuonna 1988	9
2.7 Kreikka hiilimonoksidi CO vuonna 1985	9
2.8 Kirjallisuuskatsauksen yhteenveto	9
3. Tutkimuskohde	10
4. Mittausmenetelmät ja aineisto	11
4.1 Mittausmenetelmät ja niiden luotettavuus	11
4.1.1 Sensorit	11
4.1.2 Passiivikeräimet	12
4.2 Aineisto	14
5. Tulokset	15
5.1 Etäisyyden vaikutus typpidioksidipitoisuuksiin hengityskorkeudella	15
5.2 Korkeuden vaikutus ilmanlaatuun katukuilussa ja sisäpihalla	17
5.2.1 Typpidioksidi NO ₂	17
5.2.2 Typenoksidit NO _x ja hiilimonoksidi CO	21
5.2.3 Hengitettävät hiukkaset PM ₁₀	25
5.3 Ilmanlaatu eri vuorokaudenaikoina	28
5.4 Raja- ja ohjearvotarkastelut	30
6. Yhteenveto ja johtopäätökset	34
Lähdeluettelo	37
Liitteet	39
1. Lisätietoa kohteesta	39
2. Laadunvarmennus ja korjausytälöt	43
3. Sensorien vikaantumiset ja vaihdot	49
4. Mittaustulokset	50
Kuvailulehti	56

1. Johdanto

Kaupunkibulevardien ilmanlaatugradientit -hanke (KAILA) käynnistyi vuonna 2017, ja sen tavoitteena oli saada uutta ilmanlaatatutietoa, jota voidaan hyödyntää kaupunkibulevardien ja muiden vilkasliikenteisten katu ympäristöjen kaavakohteiden suunnittelussa ja ilmanlatuvaikutusten arvioinnissa. Tavoitteena oli käyttää uudenlaisia mittalaitteita ja saada tietoa siitä, miten ilmanlaatu muuttuu kerrostalojen reunustamassa vilkasliikenteisessä katu ympäristössä, etäännyttäessä kadusta sekä vaaka- että pystysuunnassa. KAILA on Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymän (HSY) ja Helsingin kaupungin ympäristöpalveluiden yhteishanke. Helsingin kaupunki on hankkeen rahoittaja, ja HSY toimii tutkimuksen toteuttajana.

KAILA-hankkeessa mitattiin ilmanlaatua eri korkeuksilla ja etäisyyksillä vilkasliikenteisessä katukuilussa ja sen lähiympäristössä. Kohteena oli Helsingissä Mäkelänkatu, joka on vilkasliikenteinen kaupunkibulevardimainen alue. Mittaukset aloitettiin elo-syyskuun vaihteessa vuonna 2017 ja ne kestivät vuoden. Koko vuoden pituisella mittausjaksolla saatiin tietoa ilmanlaadusta keskimäärin sekä eri vuodenaikoina. Tässä raportissa analysoidaan ja raportoidaan mittauksen tulokset ja verrataan niitä muihin samankaltaisiin aiemmin tehtyihin mittauksiin Suomessa ja muualla maailmalla.

Tämä tutkimus on hyödyllinen kaupunkisuunnittelun tueksi vilkasliikenteisten alueiden suunnitteluun sekä liikenteen ilmanlatuvaikutusten arviointiin. Helsingin uusi yleiskaava -kaupunkikaava hyväksyttiin syksyllä 2016 Helsingin kaupungin valtuustossa ja se tuli voimaan 5.12.2018. Helsingin uusi yleiskaava -kaupunkikaava esittää Helsingistä tiivistä kaupunkia, jonka kantakaupunki laajenisi kaupunkibulevardeiksi muutettujen moottoritiemäisten väylien varsille (Helsingin yleiskaava 2016). Korkein hallinto-oikeus kumosi Länsiväylän, Turunväylän, Hämeenlinnanväylän ja Lahdenväylän muuttamisen bulevardeiksi (Moilanen 2018). Vihdintien ja Tuusulanväylän bulevardeja kuitenkin suunnitellaan jo, joten tälle tutkimukselle on tarvetta. Myös Itäväylä kuuluu bulevardisoitaviin kohteisiin. Tästä tutkimuksesta on myös yleisemmin hyötyä muiden vilkasliikenteisten katukuilujen sisältävien alueiden suunnitteluun ja ilmanlatuvaikutusten arviointiin. Kun rakennetaan tiivistä kaupunkirakennetta vilkasliikenteisille alueille, on alueen ilmanlaatu otettava suunnittelussa huomioon.

Suomessa merkittävimmät kaupunkien ilmanlaatua heikentävät ilmansaasteet ovat pienhiukkaset (PM_{2,5}) ja hengitettävät hiukkaset (PM₁₀), typpidioksidi (NO₂), otsoni (O₃) ja polysykliset aromaattiset hiilivedyt (PAH). Vilkasliikenteisessä kaupunkiympäristössä ilmanlaatua heikentävät erityisesti pakokaasujen hiukkasmaiset (PM_{2,5} ja PAH) ja kaasumaiset (typenoksidit NO_x, haihtuvat orgaaniset yhdisteet VOC ja häkä CO) päästöt sekä katujen kulumisesta ja hiekoituksesta aiheutuvat hengitettävät hiukkaset. Typpidioksidia muodostuu ulkoilmassa typpimonoksidista, ja sitä on myös suoraan pakokaasuissa. Suomeen kaukokulkeutuu myös maan rajojen ulkopuolelta ilmansaasteita, erityisesti pienhiukkasia ja otsonia.

Terveyshaittojen kannalta merkittävimpiä ilmansaasteita ovat pienhiukkaset. Pienhiukkasten pitoisuuteen pääkaupunkiseudulla vaikuttavat eniten liikenteen pakokaasut ja katupöly, puun polton päästöt sekä ilmansaasteiden kaukokulkeutuminen. Suomessa ilmansaasteiden arvioidaan aiheuttavan yhteensä noin 1600 ennen aikaista kuolemantapausta vuodessa (Hänninen

ym., 2016). Ilmansaasteet aiheuttavat merkittävästi suuremmalle määrälle ihmisiä lievempiä terveyshaittoja esim. sairaalakäyntejä voimien äkillisen huononemisen vuoksi, lisääntynyttä lääkityksen tarvetta, sydän- ja hengityselinoireita sekä aiheuttavat ärsytysoireita, kuten nuhaa ja yskää sekä kurkun ja silmien kutinaa ja kirvelyä (Aarnio ym., 2016).

Kaupunkiympäristössä liikenteen päästöillä on suurin vaikutus alueen ilmanlaatuun. Pitoisuudet ovat korkeimmillaan ruuhka-aikoina. Avoimilla alueilla päästöt laimenevat tuulen vaikutuksesta paremmin, koska siellä ei ole laimenemisesteitä. Tiiviisti katujen varrelle kiinni rakennetut rakennukset heikentävät liikenteen päästöjen leviämistä ja laimenemista, joten tällaisilla alueilla on korkeammat ilmansaastepitoisuudet kuin avoimilla alueilla samoilla liikennemäärillä (KUVA 1).



KUVA 1. Ilmansaasteiden pitoisuudet voivat kohota erityisen korkeiksi kerrostalojen reunustamilla vilkasliikenteisillä katuosuuksilla (Lähde: Helsingin ilmansuojelusuunnitelman esite).

Ilmanlaadulle on annettu raja- ja ohjearvoja alueille, joilla ihmiset altistuvat ilman epäpuhtauksille. Kaupunkisuunnittelussa tulee huolehtia, ettei raja-arvoja ylitetä. Raja-arvon saavuttaminen ei kuitenkaan vielä takaa terveellistä ympäristöä. Terveystieteiden haittojen ehkäisemiseksi on säädetty myös kansallisia ohjearvoja, jotka tulee ottaa huomioon maankäytön ja liikenteen suunnittelussa. Lisäksi Maailman terveysjärjestön (WHO) ilmanlaadun ohjearvot on tarpeen huomioida myös kaupunkisuunnittelussa.

Tällä hetkellä ei ole olemassa riittävän hyviä mallinnustyökaluja, joilla saisi mallinnettua ilmanlaatua pitkältä aikaväliltä kaupunkibulevardimaisessa kohteessa eri korkeuksilta ja etäisyyksiltä kadusta. OSPM-mallilla (Operational Street Pollution Model) ilmanlaatua voidaan mallintaa jopa vuoden keskiarvona, mutta OSPM ei pysty huomioimaan kovin tarkasti eroja erilaisissa korttelirakenteissa. LES-mallilla (Large Eddy Simulation) saadaan selvitettyä hyvin ilmavirtausten ja siten saasteiden kulkeutuminen erilaisissa korttelirakenteissa, mutta sillä ei vielä saada mallinnettua tarkkoja pitoisuuksia eikä pitkiä aikoja kuten kuukausi- tai vuosikeskiarvoja. Lisätietoa OSPM ja LES malleista Berkowicz 2000, Kurppa ym. 2016.

HSY mittaa ilmanlaatua kattavasti ja monenlaisissa ympäristöissä pääkaupunkiseudulla. HSY:llä on 11 ilmanlaadun mittausasemaa, joista seitsemän on pysyviä ja neljä kalenterivuositain siirrettäviä. Lisäksi ilmanlaatua on mitattu pääkaupunkiseudulla passiivikeräimillä useissa sadoissa eri paikoissa. Uutena mittausmenetelmänä on otettu käyttöön myös ilmanlaatusensorit. Pääkaupunkiseudulta löytyy siis kattavasti ilmanlaadun mittausdataa. Korkeussuuntaisia mittauksia ei kuitenkaan ole tehty kovin paljoa. Korkeussuuntaisille mittaustuloksille oli tarvetta, ja KAILA-hankkeessa päätettiin tehdä korkeussuuntaisia mittauksia uudella sensorimittausmenetelmällä.

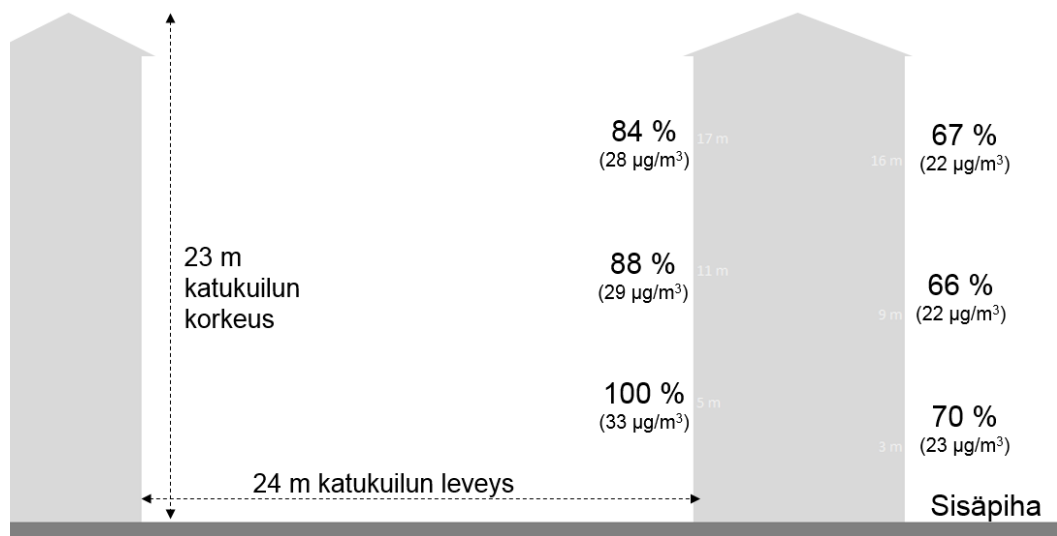
2. Kirjallisuuskatsaus ilmanlaatugradienteista

Tässä kirjallisuuskatsauksessa referoidaan muita aiemmin tehtyjä KAILA:n tyyppisiä tutkimuksia ilmanlaatugradienteista Suomesta ja muualta maailmalta. Tutkimuksia etsittäessä hakukriteereinä käytettiin katukuilumaista ympäristöä, korkeussuunnassa tehtyjä mittauksia sekä samoja ilmansaasteita kuin KAILA-hankkeessa mitattiin. Kirjallisuuskatsaukseen yritettiin löytää vähintään vuoden pituisia mittausjaksoja, mutta niitä ei löytynyt kovin montaa. Tyypillisesti näissä tutkimuksissa mittaukset kestivät muutamasta päivästä enintään kuukauteen. KAILA-mittausten tyyppisiä pitkäaikaisia ilmanlaatugradienttimittauksia ei ole kovin paljon saatavissa.

Sopivista vertailututkimuksista tässä esitellään parhaimmat, mitä näillä hakukriteereillä löytyi. Mittauksia on tehty varmasti paljon muitakin, esimerkiksi eri kaupunkien mittausraportit (kuten Tukholmasta, SLB 2013), mutta niiden löytäminen on haasteellisempaa. Siksi tämä kirjallisuuskatsaus koostuu lähinnä tieteellisistä tutkimuksista. Kirjallisuuskatsausta tehdessä eteen osui paljon kiinnostavia tutkimuksia muun muassa sääolosuhteiden vaikutuksesta pitoisuuksiin sekä mittausten ja mallinnusten vertailua, mutta niitä ei otettu mukaan tähän kirjallisuuskatsaukseen.

2.1 Helsingin Runeberginkatu typpidioksidi NO₂ vuonna 2004

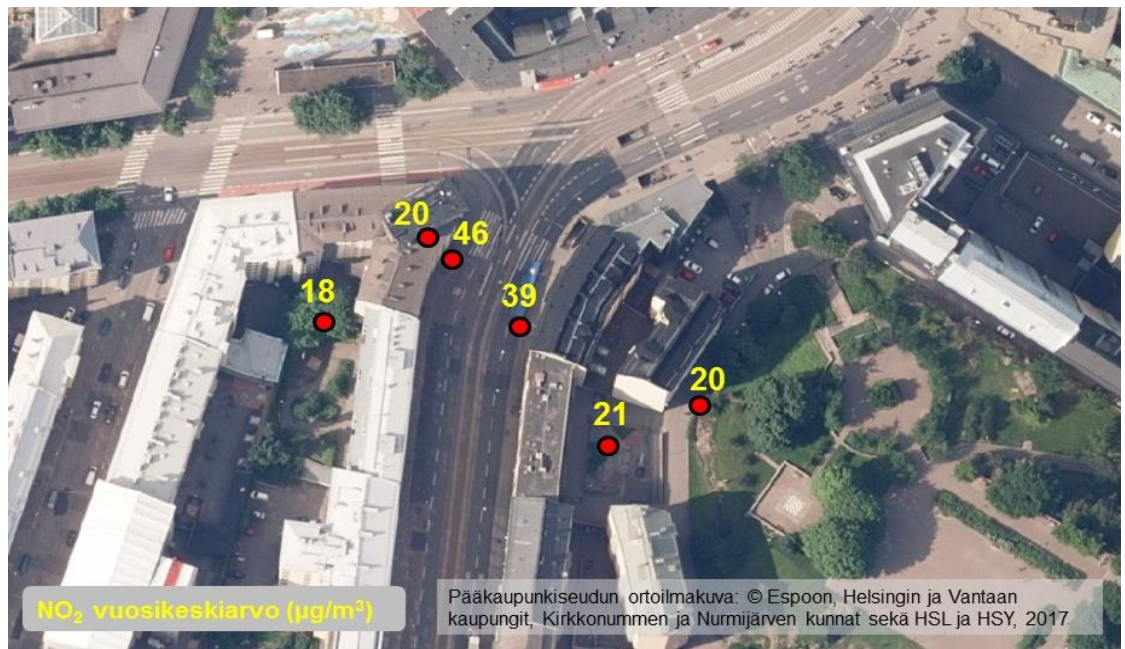
Runeberginkatu 47:ssä YTV mittasi passiivikeräinmenetelmällä typpidioksidipitoisuuksia (NO₂) koko kalenterivuoden 2004. Passiivikeräimiä oli sekä Runeberginkadun puolella katukuilun seinustalla että sisäpihan puolella kolmella korkeudella. Keräimet olivat noin 0,5-1,3 metrin etäisyydellä ulkoseinästä. Runebergin katukuilun geometria ja mittaustulokset näkyvät kuvassa 2. Runebergin katukuilu on hyvin kapea ja sen korkeuden ja leveyden suhde on 0,96. Runeberginkadulla on molempiin suuntiin kaksi kaistaa ja välissä on raitiovaunukiskot. Runeberginkadun liikennemäärä vuonna 2004 oli noin 23 100 ajoneuvoa vuorokaudessa. Sisäpihalla liikkui työkojeita lähes koko vuoden ajan. Oletuksena oli, että saasteet kulkeutuisivat Runeberginkadulta rakennuksen yli sisäpihan puolelle, jolloin pitoisuudet pienenisivät alaspäin mentäessä. Sisäpihan työkojeet kuitenkin nostivat sisäpihan pitoisuuksia hieman varsinkin alimmassa mittauspisteessä. (Malkki & Kousa 2005) Näissä mittauksissa pitoisuudet olivat kadun puolella rakennuksen yläosassa 17 metrin korkeudella 16 prosenttia pienemmät ja sisäpihalla 30 prosenttia pienemmät kuin kadun puolella katutasolla. Vuosikeskiarvot löytyvät myös HSY:n karttapalvelusta <https://kartta.hsy.fi>. Kaupunkitaustapitoisuus Kallion mittausasemalla oli 25 µg/m³ vuonna 2004 ja 15 µg/m³ vuonna 2017, joten NO₂-pitoisuudet ovat laskeneet merkittävästi pääkaupunkiseudulla pitkällä aikavälillä (Aarnio ym., 2016; Malkki ym., 2018).



KUVA 2. Typpidioksidin pitoisuusgradientit passiivikeräimillä mitattuna Runeberginkadulla vuonna 2004. Vuosikeskiarvoista on poistettu helmikuun tulokset, koska silloin ei saatu tuloksia kaikista mittauspisteistä.

2.2 Helsingin Hämeentie typpidioksidi NO₂ vuonna 2014

Vuonna 2014 HSY mittasi typpidioksidipitoisuuksia (NO₂) vilkasliikenteisen Hämeentien katukuilussa ja sen läheisyydessä. Hämeentien mittauspaiassa katukuilun korkeus on noin 25 m ja leveys 30 m, joten se on katukuilugeometrialtaan melko kapea kohde (korkeus / leveys = 0,83). Mittauspisteiden lähellä liikennemäärät olivat vuonna 2014 Hämeentiellä noin 14 600 ajon./vrk (raskasta liikennettä 23 %) ja Helsinginkadulla 4 500 ajon./vrk (12 % raskasta). Hämeentie 52 kohdalla katukuilussa keräimen etäisyys Helsinginkadun risteykseen oli 20 metriä ja Hämeentie 27 keräimen kohdalla etäisyys risteykseen oli 40 metriä. Molemmissa paikoissa keräimen etäisyys ajoradan laitaan oli 3 metriä. Muut keräimet olivat hengityskorkeudella, mutta osoitteessa Helsinginkatu 2 keräin oli katolla 8. kerroksen korkeudella (Malkki & Loukkola 2015) Typpidioksidipitoisuuksien vuosikeskiarvot näkyvät kuvasta 3 ja löytyvät myös HSY:n karttapalvelusta <https://kartta.hsy.fi>. Kadun länsipuolella pitoisuudet olivat katolla (25 m korkeudella) noin 57 prosenttia pienemmät ja alhaalla sisäpihalla noin 61 prosenttia pienemmät kuin kadunpuolella katus tasolla. Katon yläpuolella ilmansaasteiden laimeneminen on voimakasta, minkä vuoksi katolla ja sisäpihalla pitoisuudet ovat matalia (ks. myös seuraava luku 2.3). Kaupunkitaustapitoisuus Kallion mittausasemalla oli 20 µg/m³ vuonna 2014 (Malkki ym., 2015).



KUVA 3. Typpidioksidin pitoisuusgradientit passiivikeräimillä mitattuna Hämeentien katukuilussa vuonna 2014.

2.3 Helsingin Mäkelänkatu droonimittaukset vuonna 2016

Mäkelänkadulla, samassa paikassa kuin KAILA- mittaukset, kartoitettiin INKA-ILMA/EAKR-hankkeessa 14.-15. marraskuuta vuonna 2016 droonilla pienhiukkaspitoisuuksia (Kuuluvainen ym., 2018). Drooniin oli asennettu ilmanlaatua mittaava sensori ja sitä lennätettiin maan tasolta (2 metriä) aina 50 metriin saakka, reilusti yli kattokorkeuden (19 metriä). Droonia lennätettiin kahden päivän aikana ylös-alas yhteensä 48 kertaa. Tutkimuksessa mitattiin erityisesti keuhkoihin jäävän hiukkasaineksen pinta-alapitoisuutta (lung deposited surface area, LDSA) katukuilussa. Pitoisuudet pienenevät 50 metrin matkalla ylöspäin mentäessä noin 65 prosenttia tutkimuskampanjan sääoloissa. Katutasossa LDSA- pitoisuudet olivat $60 \mu\text{m}^2/\text{cm}^3$, kattotasolla 36 - 40 $\mu\text{m}^2/\text{cm}^3$ ja 50 metrin korkeudessa 16 - 26 $\mu\text{m}^2/\text{cm}^3$. Kattotasolla pitoisuudet olivat noin 37 prosenttia pienempiä kuin katutasolla. Näin lyhytaikaisissa tutkimuksissa sääolosuhteet ovat suuressa roolissa. Vastaavanlaisia pienhiukkasten katukuilumittauksia ei ole aiemmin tehty Suomessa. (Kuuluvainen ym., 2018).

2.4 Lahti hiilimonoksidi CO ja typenoksidit NO_x vuonna 1995

Syyskuussa 1995 mitattiin Lahden keskustassa (lähellä Vapaudenkadun ja Vesijärvenkadun risteystä) CO- ja NO_x -pitoisuuksia noin kaksi viikkoa. Vapaudenkadun liikennemäärä oli tuolloin noin 10 000 ja Vesijärvenkadun noin 15 000 – 19 000 ajoneuvoa vuorokaudessa. Mittauksia tehtiin katutasolla kolmessa metrissä ja katolla 22 - 25 metrissä. Katolla mittausten etäisyys molemmista katukuiluista oli noin 10 metriä. Pitoisuusero katutason ja kattotason välillä oli suuri. Katutasolla oli keskimäärin noin viisi kertaa suuremmat pitoisuudet kuin kattotasolla. Tässä tutkimuksessa huomattiin, että mittausajankohta ja sääolosuhteet vaikuttivat tulokseen huomattavasti. Näissä mittauksissa näkyi myös selvä vuorokausivaihtelu. Myös kattotason mittauksissa vuorokausivaihtelu oli samankaltainen kuin katutasolla. (Väkevä ym., 1999)

2.5 Tukholma typenoksidit NO_x ja typpidioksidi NO₂ vuonna 2012

Tukholmassa Sveavägen 88:ssa SLB mittasi typenoksideja (NO_x) ja typpidioksidia (NO₂) neljä viikkoa (viikot 13 - 16) vuonna 2012. Mittaukset tehtiin Ogawa-passiivikeräimillä. Näytteet analysoitiin viikoittain. Passiivikeräimiä oli kadunpuoleisella seinustalla kahden metrin välein 4 - 24 metrin korkeudella. Mittaukset tehtiin katukuilussa, jonka rakennukset olivat molemmin puolin 25 metriä korkeita. Rakennusten välissä oli 35 metriä, josta ajoväylän leveys oli 16 metriä. Typpidioksidin pitoisuudet pienenevät kadunpuoleisella seinustalla noin 40 prosenttia 4 metrin 35 µg/m³ pitoisuuksista ylöspäin mentäessä 24 metriin, jossa pitoisuus oli 22 µg/m³. Typenoksidipitoisuudet pienenevät myös noin 40 prosenttia 4 metrin 59 µg/m³ pitoisuuksista 24 metrin 37 µg/m³ pitoisuuksiin. (SLB, 2013)

2.6 Kiina hiilimonoksidi CO ja typenoksidit NO_x vuonna 1988

Kiinassa Guangzhoun kaupungissa mitattiin tammikuussa ja heinäkuussa v. 1988 katutasolla ja 25 metrissä CO ja NO_x pitoisuuksia kolmessa erityyppisessä katukuilussa. Ajoneuvojen liikennemäärät näissä katukuiluissa olivat 26 000, 48 000 ja 74 000 ajoneuvoa vuorokaudessa. Mittaukset tehtiin yhdeksälle eri vuorokauden tunnille viitenä perättäisenä päivänä. Näissä mittauksissa katutason pitoisuudet olivat keskimäärin noin kaksi kertaa suuremmat kuin 25 metrin korkeudessa rakennuksen kadunpuoleisella seinustalla. Leveimmässä katukuilussa pitoisuudet laimenivat parhaiten. (Qin & Kot, 1993)

2.7 Kreikka hiilimonoksidi CO vuonna 1985

Kreikassa toukokuussa 1985 tehdyissä CO-mittauksissa katutasolla pitoisuudet olivat keskimäärin noin 3-4 kertaa suuremmat kuin kattotasolla 29 metrissä. Mittauksia tehtiin jatkuvatoimisesti yhdeksällä eri korkeudella (noin 2 - 29 m) 20 päivää. (Zoumakis, 1995)

2.8 Kirjallisuuskatsauksen yhteenveto

Tähän kirjallisuuskatsaukseen on koottu parhaimmat löydetty KAILA-mittauksia vastaavat tulokset. Vaikka olosuhteet, mittausmenetelmät ja mittauksien pituudet vaihtelevat, tästä koosteesta voi vertailla erilaisten mittausten tuloksia. Kuitenkin tarkka vertailu eri mittausten välillä on haastavaa eri olosuhteiden ja mittausapojen takia. Mm. liikenne- ja päästömäärät, katukuilun geometria, sääolosuhteet (mittausajankohta sekä mittausjakson pituus) ja kaupunkitaustapitoisuudet vaikuttavat oleellisesti pitoisuusgradienttien voimakkuuteen. Myös liikenteen päästöt ovat vähentyneet ja vaihtelevat eri maissa.

Yleisiä ja suuntaa antavia johtopäätöksiä näistä kaikista mittauksista voi johtaa, kuten Qin & Kot (1993) johtopäätös kolmen eri katukuilun vertailussa, jossa leveimmässä katukuilussa pitoisuudet laimenivat parhaiten. Myös se, tehtiinkö kattotason mittaukset katon päällä vai katukuilussa rakennuksen seinustalla räystäskorkeudella, vaikuttaa merkittävästi tuloksiin. Katon päällä ilman saasteiden laimeneminen on tehokasta, minkä vuoksi pitoisuudet ovat pienempiä kuin kadunpuoleisen seinustan räystäskorkeudella. Erilaisten katukuilujen ja korttelirakenteiden vaikutusta ilmanlaatuun on tutkittu myös Helsingin kaupunkisuunnitteluviraston tilaamissa selvityksissä Salmi ym. (2014) ja Kurppa ym. (2016). KAILA-tutkimuksen mittausten perusteella johtopäätöksiä on esitetty lisää ja kattavammin raportin lopussa Yhteenveto ja johtopäätökset -luvussa.

3. Tutkimuskohde

Mäkelänkatu on vilkasliikenteinen kaupunkibulevardimainen kohde Helsingissä. HSY:llä on Mäkelänkadulla ilmanlaadun supermittausasema (osoite Mäkelänkatu 50, Helsinki), jossa mitataan ilmanlaatua monipuolisesti ja jatkuvasti. Supermittausasemalta ja sen ympäristöstä on paljon aiempaa mittautietoa hengityskorkeudelta (4 m). Tämän tutkimushankkeen mittaukset ovat Mäkelänkadun mittausaseman vieressä ja tutkimushankkeen tuloksia tarkastellaan mittausaseman ja kirjallisuuskatsauksen muihin tutkimustuloksiin verraten.

Mäkelänkadun mittausasemalla mitatut pitoisuudet edustavat tasoa, jolle ihmiset altistuvat Helsingin vilkasliikenteisissä katukuiluissa. Mittausasemalla mitataan laajasti eri ilmansaasteita ja niiden ominaisuuksia. Mittausaseman etäisyys viereisestä rakennuksesta on 3 metriä ja Mäkelänkadun ajokaistan reunasta on alle 0,5 metriä.

Mittausaseman kohdalla Mäkelänkadun katukuilun leveys on 42 metriä ja ympäröivien rakennusten korkeus 17 metriä. Nopeusrajoitus mittausaseman kohdalla on 50 km/h. Vuonna 2017 keskimääräiset liikennemäärät olivat Mäkelänkadulla, mittausaseman vieressä noin 28 100 ajoneuvoa arkivuorokaudessa (Helsingin kaupunki 2018). Raskaan liikenteen osuus on melko korkea (12 %), koska Mäkelänkadulla on vilkasliikenteiset bussikaistat. Ajokaistoja on yhteensä 3 kpl molempiin suuntiin ja lisäksi katutilan keskellä kulkevat raitiotiekaistat.

Mäkelänkadulla HSY on mitannut ilmanlaatua vuodesta 2015 lähtien. Mäkelänkadun ilmanlaatuun vaikuttavat pääasiassa liikenteen pakokaasut ja katupöly. Typpidioksidin ja hengitettävien hiukkasten pitoisuudet ovat korkeita, ja niiden vuorokausiohjearvot ylittyvät. Myös typpidioksidin raja-arvo ylittyi vielä vuonna 2015.

Kuvassa 4 on havainnollistettu Mäkelänkadun katukuilun katugeometria mittauspaikan kohdalta sekä tutkimusmittauksissa käytettävien ilmanlaatusensorien sijainnit rakennusten seinustoilla eri korkeuksilla. Kuvassa 5 on esitetty tutkimusalue laajemmin sekä passiivikeräinmittausten sijainnit. Lisätietoa ja kuvia kohteesta on Liitteessä 1.

4. Mittausmenetelmät ja aineisto

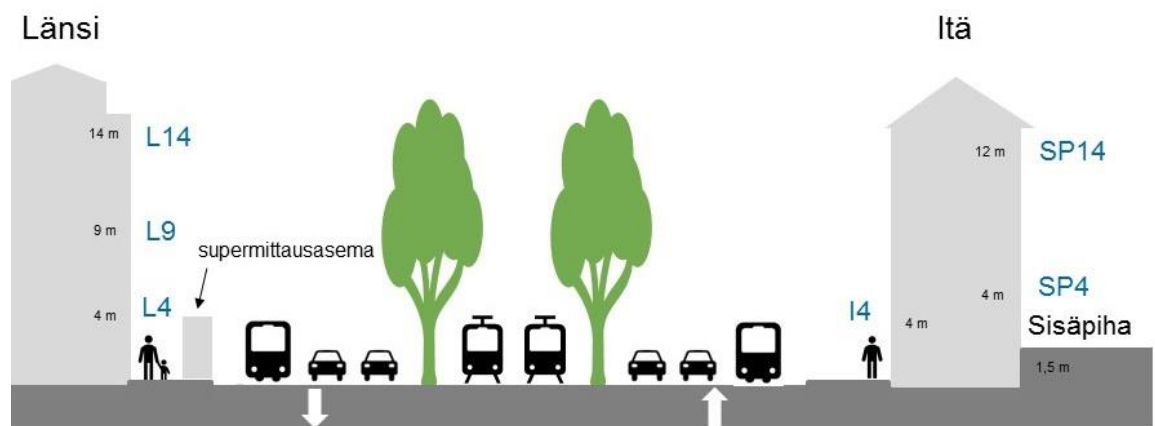
4.1 Mittausmenetelmät ja niiden luotettavuus

Tutkimushankkeen aineistonkeruussa käytettiin kahta erilaista mittausmenetelmää. Typpidioksidin passiivikeräimillä mitattiin pitoisuusgradientteja eri etäisyyksillä kadusta lähellä maanpintatasoa (3-4 m korkeus). Korkeusgradienttimittaukset tehtiin AQT420 (Air Quality Transmitter, Vaisala) -sensoreilla, joilla saadaan mitattua samanaikaisesti kuuden eri saastekomponentin pitoisuuksia (hengitettävät hiukkaset PM₁₀, pienhiukkaset PM_{2,5}, typpidioksidi NO₂, typpimonoksidi NO, häkä CO ja otsoni O₃). Typpimonoksidin mittauslaitteet ei kuuluneet KAILA-hankkeen aikana Vaisalan kaupalliseen sarjatuotantoon, joten ne tilattiin erikseen tähän hankkeeseen. Pienhiukkasten ja otsonin osalta data ei ollut näin vaativiin ja tarkkoihin korkeusgradienttimittauksiin tarpeeksi luotettavaa, joten niiden tuloksia ei raportoida. Tässä tutkimuksessa käytettiin AQT420-sensoreiden vuoden 2017 sensorisukupolvea.

4.1.1 Sensorit

Sensorit mittaavat ilmanlaatua reaaliaikaisesti. Alkuperäisaineisto kerättiin talteen viiden minuutin resoluutiolla, josta laskettiin tunti-, vuorokausi- ja kuukausikeskiarvoja. Tässä tutkimuksessa AQT420-sensoreita oli mittaamassa vuoden ajan kuudessa paikassa rakennusten seinustoilla eri korkeuksilla ja etäisyyksillä kadusta (KUVA 4). AQT420-sensorimenetelmästä löytyy tarkempi kuvaus Vaisalan verkkosivuilta.

Sensorien mittaustarkkuus ei ole niin hyvä kuin mittausasemien analysaattoreilla ja typpidioksidin passiivikeräimillä. Sensoreilla saadaan suuntaa antavaa dataa, eli niillä voidaan hyvin verrata, onko jossakin enemmän ilmansaasteita kuin toisaalla. KAILA-hankkeen mittauksissa mitausdata on validoitu siten, että tarkasteltavat sensorit ovat keskenään vertailtavissa.



KUVA 4. Mäkelänkadun katugeometria ja AQT420-ilmanlaatusensorien sijainnit. Katukui-
lun leveys on 42 metriä.

HSY käytti AQT420-sensoreita ilmanlaatumittauksiin ensimmäistä kertaa KAILA-hankkeessa, joten hankkeen kuluessa saatiin myös arvokasta tietoa sensorimittausten tulosten luotettavuudesta. Ennen varsinaisen gradienttimittauskampanjan aloittamista kaikki sensorit olivat vertailumittauksessa Mäkelänkadun supermittausasemalla viisi viikkoa kesällä 2017. Sensorituloksia verrattiin referenssitasoisten analysaattoreiden mittaustuloksiin ja havaittiin, että eri sensoriyksilöiden välillä on eroja mittaustuloksissa. Tämän vuoksi kaikille sensoriyksilöille ja eri saastekomponenteille tehtiin omat korjausyhtälöt (Liite 2). Sensoreille tehtiin myös mittauskampanjan päätyttyä ja/tai sensorien vikaantumisten yhteydessä mittausasemalla jälkivertailut, joiden perusteella saatiin lisätietoa sensorien luotettavuudesta ja stabiiliudesta.

Sensoreiden NO₂-tulosten laatua arvioitiin vuoden mittauskampanjan aikana myös niin, että kolmessa sensoripaikassa oli rinnalla passiivikeräin. Sensorien ja passiivikeräinten kuukausikeskiarvoja verrattiin keskenään, ja tulokset osoittavat, että sensorit yliarvoivat joinakin kuukausina huomattavasti NO₂-pitoisuuksia (Liite 2).

Sensoritulosten luotettavuuden ja stabiilisuuden arviointia hankaloitti se, että vuoden mittauskampanjan aikana sensoreita vikaantui usein. Tästä syystä sensoreita jouduttiin korvaamaan uusilla, myöhemmin syksyn ja talven kuluessa vertailumitatuilla sensoreilla. Eri vuodenaikoina tehtyjen sensorien vertailumittausten yhteydessä havaittiin, että valitettavasti myös vertailumittausjaksojen olosuhteet (esim. ilmansaastepitoisuudet ja erityisesti hiukkasten kokojakauma ja katu-pölymäärä) heijastuvat hieman sensorien mittaustuloksiin ja niistä johdettuihin korjausyhtälöihin. Tästä syystä vikaantumisten yhteydessä vaihdettujen sensorien tulokset eivät olleet enää täysin yhteneviä alkuperäisten, kesällä vertailumitattujen sensorien kanssa, ja osa tutkimuskampanjan aineistosta jouduttiin hylkäämään riittämättömän laadun vuoksi (ks. luku 4.2).

KAILA-hankkeessa tulosten laatuvaatimus on erityisen korkea, koska esimerkiksi rakennuksen seinustan pystygradien-teissa pitoisuuserot ovat pieniä, kuten myös esimerkiksi Runeberginkadun tutkimuksesta kävi ilmi kirjallisuuskatsauksessa (KUVA 2). AQT420-sensorien tuotekehitys on jatkuvaa Vaisalassa, joten uudet markkinoilla olevat AQT420-sensorisukupolvet ovat todennäköisesti entistä tarkempia ja stabiilimpia.

4.1.2 Passiivikeräimet

Ilmansaasteiden laimenemista vaakasuunnassa etäännyttäessä kadusta tarkasteltiin typpidioksidin passiivikeräinmittauksilla. Passiivikeräimet ovat edullinen ja luotettava mittausmenetelmä, mutta tulokset eivät ole reaaliaikaisia, vaan ne analysoidaan laboratorioissa kuukausittain. Siksi passiivikeräimillä mitataan yleensä ilmanlaatua vain sillä korkeudella, mistä keräimet pystytään helposti vaihtamaan. Tässä tutkimuksessa passiivikeräinpaikkoja oli yhteensä 10 kappaletta ja ne sijaitsivat noin 3-4 metrin korkeudella eri etäisyyksillä Mäkelänkadusta (KUVA 5). Passiivikeräimillä mitattiin typpidioksidipitoisuuden kuukausikeskiarvoja, joista laskettiin myös vuosikeskiarvot. Passiivikeräinmenetelmää kuvaa tarkemmin Loukkola ym. 2004.



KUVA 5. Passiivikeräinten sijainnit ja etäisyydet uloimman ajoradan laidasta. Mäkelänkadun mittausasema sijaitsee mustan neliön kohdalla.

- (1) Nokiankuja, kärkikolmio
- (2) Sininauhasäätiö
- (3) Mäkelänkatu 43, tien puoli
- (4) Rautalammintie liikennemerkki
- (5) Rautalammintie katuvalo
- (6) Mäkelänkatu 43, sisäpiha
- (7) Rautalammintie 4, sisäpiha
- (8) Rautalammintie mutka katuvalo
- (9) Rautalammintie 4 c, katuvalo
- (10) Vallilanpuisto

Typpidioksin passiivikeräinmenetelmän luotettavuudesta on paljon tietoa, sillä HSY on tehnyt vuosittain vertailumittauksia jo vuodesta 2004 alkaen. Yleensä vuosikeskiarvot poikkeavat korkeintaan ± 5 prosenttia verrattuna referenssimenetelmään (HSY:n oma asiantuntija-arvio; Aarnio ym. 2013). Passiivikeräinmenetelmä yliarvioi yleensä pitoisuuksia hieman talvikuukausina ja ali-arvioi niitä hieman kesäkuukausina. Myös KAILA-hankkeen yhteydessä tehtiin vertailumittauksia passiivikeräimille Mäkelänkadun supermittausasemalla koko vuoden ajan. Referenssimenetelmällä mitattu vuosikeskiarvo oli $31,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja kahdella erillisellä passiivikeräinsarjalla $32,5$ ja $32,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, eli passiivikeräintulosten laatu oli erittäin hyvä. Myös kuukausikeskiarvot olivat kohdallaisen luotettavia (ks. Liite 2a).

4.2 Aineisto

Sensorimittauksia tehtiin rakennusten seinustoilla vuoden ajan elokuun 2017 lopulta elokuun 2018 loppuun. Mittauksilla saatiin laaja aineisto raakadataa. Useita sensoreita vikaantui mittaus-ten aikana ja niitä jouduttiin vaihtamaan, minkä vuoksi mittauksiin tuli katkoja (Liite 3). Valitetta-vasti myös suuri määrä mittausdataa jouduttiin hylkäämään, koska eri vaiheessa vuotta vaihdet-tujen sensorien tulokset eivät aina olleet riittävän yhteneviä ja vertailukelpoisia. Lopulliseen tu-lostien analysointiin rajattiin vain aineistot, joissa sensoritulokset ovat luotettavasti vertailukelpoi-sia keskenään tarkan gradienttitutkimuksen näkökulmasta.

Tässä raportissa käsitellään kuuden sensorin NO_2 -, PM_{10} -, CO - ja NO_x -pitoisuuksien tunti- ja -vuorokausidataa sekä NO_2 -passiivikeräinten kuukausikeskiarvoja. Aineistosta tehtiin erilaisia saastepitoisuuksien gradienttitarkasteluita pysty- ja vaakasuunnassa. Sensoreilla saadaan vain suuntaa antavia tuloksia, joten niiden mittaamia pitoisuuksia ei voi verrata luotettavasti suoraan raja- ja ohjearvoihin. Tästä syystä myös Mäkelänkadun mittausaseman luotettavia mittaustulok-sia hyödynnettiin (Kaski ym. 2016 ja 2017; Malkki ym. 2018), kun tehtiin arvioita ilmanlaadun raja- tai ohjearvoylityksistä eri etäisyyksillä kadusta.

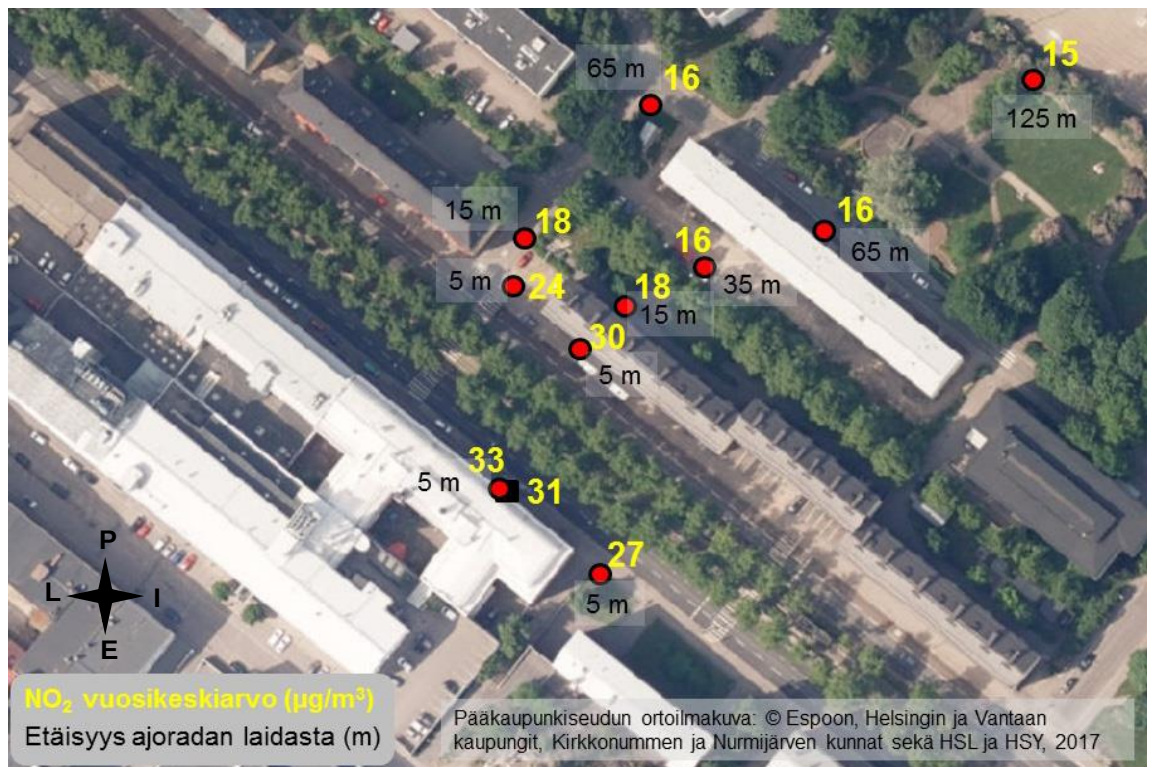
Liikennemäärän vaihtelu eri vuorokauden aikoina ja viikonpäivinä vaikuttaa voimakkaasti Mäke-länkadun ilmanlaatuun. Noin kilometrin päässä Mäkelänkadun mittausasemasta on Helsingin kaupungin ylläpitämä liikennemäärän laskentapiste (Liite 1). Ilmanlaadun ja liikennemäärän yh-teyttä eri vuorokaudenaikoina tarkastellaan myös lyhyesti tässä tutkimuksessa (luku 5.3). Liiken-nemäärätiedot saatiin Helsingin kaupungin kaupunkiympäristön liikenne- ja katusuunnittelusta Petri Blomqvistilta.

5. Tulokset

Tässä luvussa raportoidaan KAILA-hankkeen kymmenen passiivikeräimen tyypidioksidipitoisuuksien ja kuuden sensorin kaasumaisten yhdisteiden (NO_2 , CO ja NO_x) sekä hengitettävien hiukkasten (PM_{10}) tulokset. Aineistosta tehtiin erilaisia saastepitoisuuksien gradienttitarkasteluita pysty- ja vaakasuunnassa.

5.1 Etäisyyden vaikutus tyypidioksidipitoisuuksiin hengityskorkeudella

Passiivikeräimillä selvitettiin, kuinka paljon ilmanlaatu paranee etäännyttäessä liikenteestä eli päästölähteestä vaakasuuntaisesti lähellä maanpintaa 3-4 metrin korkeudella. Passiivikeräimiä sijoitettiin Mäkeläkadulle sensorien viereen sekä rakennusten välsiin aukkopaikkoihin. Lisäksi passiivikeräimiä sijoitettiin eri etäisyyksille Mäkeläkadusta aina 125 metriin saakka. Passiivikeräimillä mitatut NO_2 pitoisuudet koko mittauskampanjan ajalta on esitetty kuvassa 6 ja kuukausikeskiarvot liitteessä 4.



KUVA 6. Tyypidioksidipitoisuuksien (NO_2) loittonevat sarjat passiivikeräimillä. Kuvassa keltaisella koko mittausjakson pitoisuuksien keskiarvo ja mustalla etäisyydet ajoradan laidasta. Osalta keräimistä puuttuu jonkin kuukauden data. Puuttuvat ajanjaksot ja kunkin keräimen kuukausikeskiarvot näkee liitteestä 4. Kuvassa näytetään myös ilmanlaatuasemalla mitattu pitoisuus ($31 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Tyypidioksidipitoisuudet laskevat melko nopeasti etäännyttäessä kadusta. Kerrostalojen takana sisäpihan oleskelualueella on melko puhdasta, noin 40-46 % pienemmät pitoisuudet kuin kadun

puolella (KUVAT 6 ja 7). 125 metrin etäisyydellä Vallilan puistossa pitoisuudet ovat jo noin kaupunkitaustan tasolla. Kallion kaupunkitausta-ajoradalla vuonna 2017 NO₂ -vuosikeskiarvo oli 15 µg/m³.

Kuvassa 6 näyttää siltä, että sekä talon takana että aukkopaidassa 15 metrin etäisyydellä ajoradan laidasta on sama pitoisuus. Kuvassa pitoisuudet on kokonaislukuina. Kun tarkastellaan asiaa tarkemmin, aukkopaidassa 11 kk keskiarvopitoisuus (toukokuulta 2018 ei saatu mittauksia) oli 18,3 µg/m³, kun taas talon takana samalla ajanjaksolla pitoisuus oli 17,5 µg/m³. Vielä selkeämmin eron huomaa kuukausikeskiarvoissa (liite 4). Täten voidaan todeta, että etäisyyden lisäksi rakennusmassa suojaa ilmansaasteiden leviämistä talon taakse. Toisaalta rakennus nostaa pitoisuuksia katukuilussa ja kun tässä mittauspisteet olivat aika lähellä rakennuksen päätyä, rakennuksen suojaava vaikutus ei ole näissä mittauksissa niin voimakas, kuin mitä se todennäköisesti olisi, jos mittaukset olisi tehty kauempana aukkopaidasta.



KUVA 7. Typpidioksidipitoisuuden gradientit hengityskorkeudella etäännyttäessä kadusta. Keräimeltä nro 5, puuttui toukokuun 2018 kuukausikeskiarvo, joten tässä on vertailtu vain 11 kuukauden kuukausikeskiarvoja.

Korkeimmat pitoisuudet Mäkelänkadun katukuilussa havaitaan vallitsevan tuulen ja aamuruuhkan puolella (KUVA 8). Vallitseva tuulensuunta on lounaasta ja katukuilupyörre (ks. Liite 1) aiheuttaa sen, että saasteet kerääntyvät enemmän Mäkelänkadun länsipuolelle. Länsipuolen ajoradoissa suunta on kaupunkiin päin ja itäpuolella kaupungista poispäin. Aamulla aamuruuhkan aikaan on myös heikommat tuuliolosuhteet, jolloin saasteet eivät laimene niin hyvin kuin muina aikoina. Lisäksi länsipuolella ajoradoilla on loivaa ylämäkeä ja itäpuolella alamäkeä.

Aukkopaidoissa saasteet pääsevät laimenemaan hyvin, joten pitoisuudet ovat niissä matalammat (KUVAT 6 ja 8). Rakennukset taas heikentävät saasteiden laimenemista, joten niiden vieressä pitoisuudet ovat suuremmat.



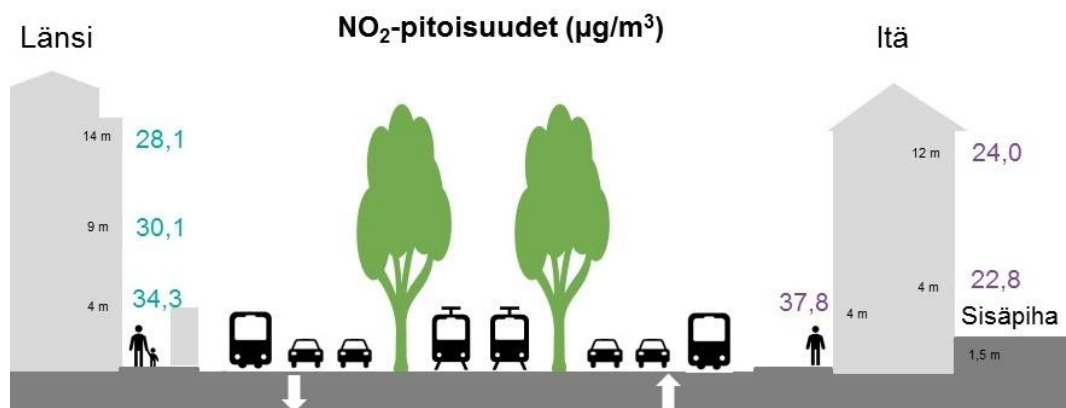
KUVA 8. Typpidioksidipitoisuuden gradientit hengityskorkeudella rakennusten kohdalla ja aukkopaikoissa viiden metrin etäisyydellä kadun laidasta. Osalta keräimistä puuttuu jonkin kuukauden data, joten tässä on vertailtu vain yhdeksän kuukauden dataa. Puuttuvat ajanjaksot ja kunkin keräimen kuukausikeskiarvot näkee liitteestä 4.

5.2 Korkeuden vaikutus ilmanlaatuun katukuilussa ja sisäpihalla

5.2.1 Typpidioksidi NO₂

Sensorien vikaantumisten sekä niistä aiheutuvien mittauskatkojen vuoksi sensoreilla ei saatu laadukasta mittausdataa koko vuodelta. Sensorien mittauskatkoista ja vaihtoajankohdista on tarkemmin liitteessä 3. Jotta tuloksista saatiin raportoitua mahdollisimman pitkät mittausjaksot, raportoidaan tässä 1) länsipuolen katukuiluseinustan korkeussuuntaiset mittaukset ja 2) itäpuolen katukuiluseinusta vs. sisäpiha mittaukset omina mittausjaksoinaan.

Kummankin mittausjakson typpidioksidipitoisuuksien keskiarvot sensorikohtaisesti on esitetty kuvassa 9. Länsi- ja itäpuolen tulokset eivät ole keskenään suoraan verrattavissa, koska niissä on eri mittausjaksot. Eli kuvasta 9 ei voi verrata, kummalla puolella Mäkelänkatua on suuremmat pitoisuudet. Hengityskorkeudella vuoden pituiset passiivikeräinmittaukset ovat luotettavampia ja keskenään verrattavissa. Passiivikeräinmittauksista nähdään, että Mäkelänkadun länsipuolella on suuremmat pitoisuudet kuin itäpuolella (luku 5.1). Erikseen korkeussuunnassa sekä katutila vs. sisäpiha -mittauksissa sensorit ovat keskenään verrattavissa.



KUVA 9. Sensorien typpidioksidipitoisuudet. Länsipuolen korkeussuuntamittauksissa (pitoisuudet turkoosilla) mittausjakso on noin 5 kuukautta (syyskuu - lokakuu 2017 sekä kesäkuu - elokuu 2018). Itäpuolen katutila vs. sisäpiha -mittauksissa (pitoisuudet liilalla) mittausjakso on noin 8 kuukautta (syyskuu 2017 - huhtikuu 2018). Länsi- ja itäpuolen tulokset eivät ole keskenään verrattavissa, koska niissä on eri mittausjaksot.

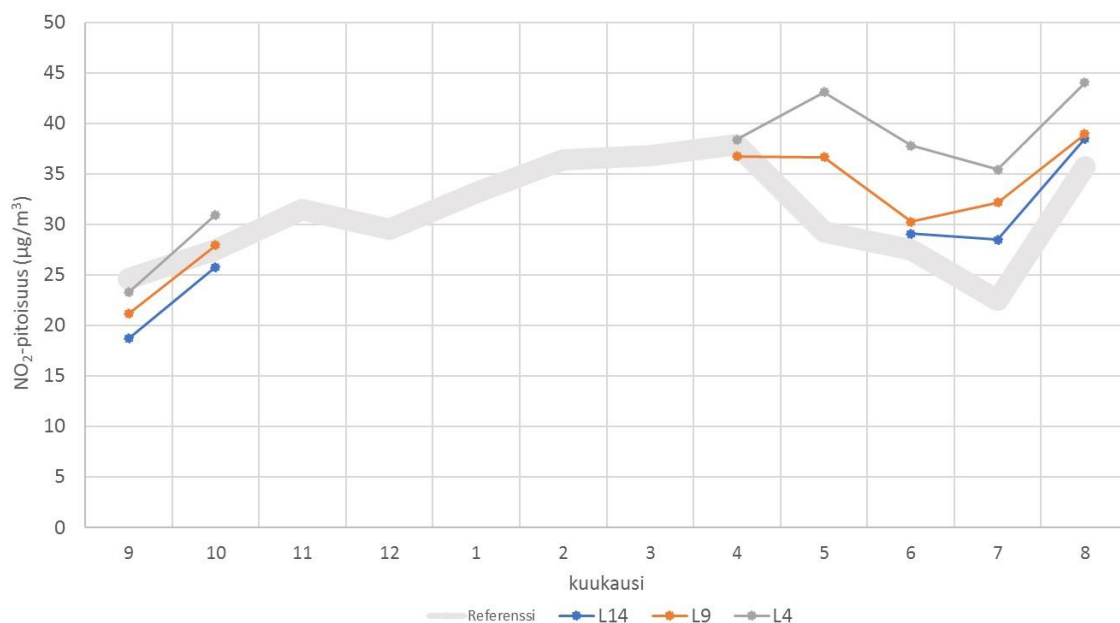
Kuvasta 10 nähdään, että korkeussuunnassa pitoisuudet laimenevat kadunpuoleisella seinustalla neljästä metristä neljääntoista metriin 18 prosenttia. Ensimmäisen viiden metrin matkalla pitoisuudet laimenevat jo 12 prosenttia ja seuraavan viiden metrin matkalla enää vain kuusi prosenttia. Sisäpihalla pitoisuudet ovat noin 40 prosenttia pienemmät kuin katutilassa. Sama tulos saatiin vuoden pituisilla passiivikeräinmittauksilla (luku 5.1). Samansuuntaisia tuloksia saatiin myös vuoden pituisilla passiivikeräinmittauksilla Runeberginkadulla ja Hämeentiellä (luku 2).



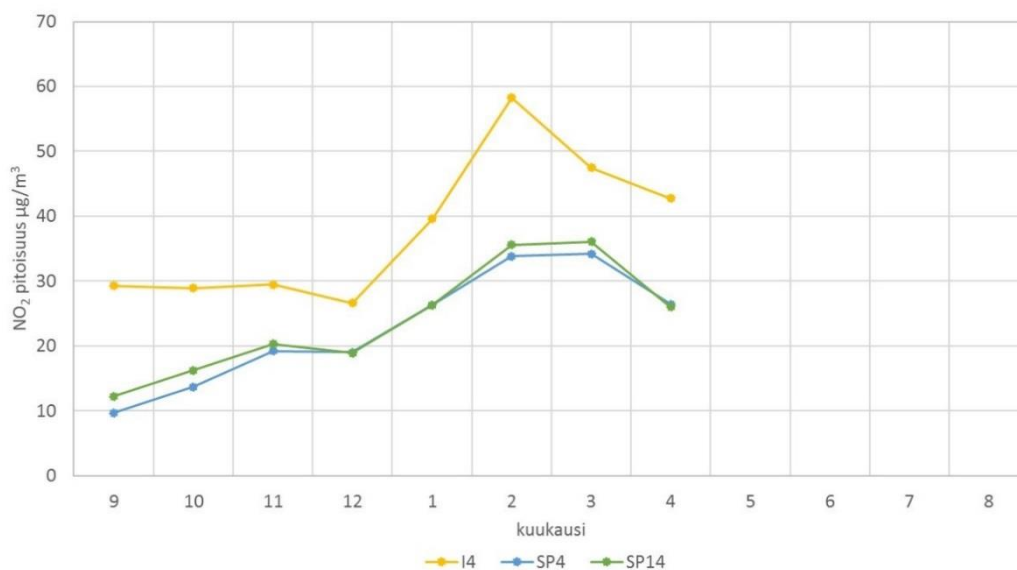
KUVA 10. Typpidioksidipitoisuuksien laimeneminen sekä korkeussuunnassa (turkoosi) että sisäpihalla verrattuna katutilaan (liila). Keskenään verrattavien sensorien mittausjaksot ovat samat. Länsipuolen korkeussuuntamittauksissa (pitoisuudet turkoosilla) mittausjakso on noin 5 kuukautta (syyskuu - lokakuu 2017 sekä kesäkuu - elokuu 2018). Itäpuolen katutila vs. sisäpiha -mittauksissa (pitoisuudet liilalla) mittausjakso on noin 8 kuukautta (syyskuu 2017 - huhtikuu 2018).

Tarkemmin eri sensorien mittaustulokset kuukausitasolla tarkasteltuna näkyvät kuvassa 11 ja 12. Korkeimmat pitoisuudet on mitattu neljässä metrissä itäpuolella (I4) helmikuussa 58 µg/m³, maaliskuussa 47 µg/m³ ja huhtikuussa 43 µg/m³ sekä länsipuolella (L4) toukokuussa 43 µg/m³ ja

elokuussa $44 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Sisäpihalla pitoisuudet ovat selvästi katutilan puoleisia mittauksia matalammat. Kaikkien sensorien kuukausikeskiarvot on raportoitu taulukkomuodossa liitteessä 4.



KUVA 11. Typpidioksidipitoisuuksien (NO_2) kuukausikeskiarvot sensoreilla mitattuna kadun länsipuolen (L) korkeusmittauksissa (4, 9 ja 14 m). Marraskuun 2017 ja maaliskuun 2018 välisenä aikana tulokset eivät olleet kunnolla vertailukelpoisia sensorien vikaantumisen ja vaihdosten takia (ks. Liite 3). Vaalealla harmaalla taustalla Mäkeläntien mittausaseman jatkuvatoimisen mittalaitteen referenssimittaus.



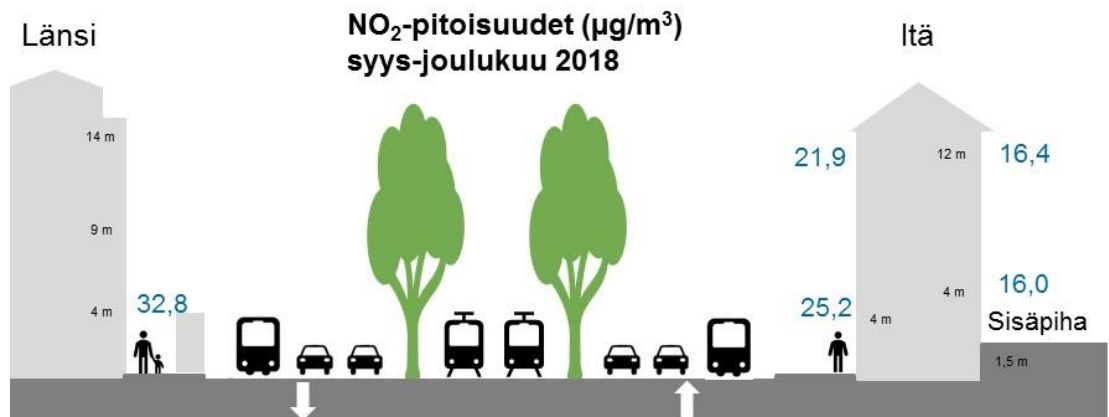
KUVA 12. Typpidioksidipitoisuuksien (NO_2) kuukausikeskiarvot sensoreilla mitattuna kadun itäpuolella (I) ja saman talon sisäpihalla (SP) hengityskorkeudella (4 m) sekä rakennuksen yläosassa (14 m).

KAILA-tutkimusmittausten jälkeen HSY asensi passiivikeräimet myös Mäkelänkadun itäpuolen rakennuksen ullakkoikkunoiden korkeudelle sekä kadun että sisäpihan puolelle. Näin Mäkelänkadulta saadaan vielä vuoden pituiselta mittausjaksolta korkeussuuntaisia tuloksia. Tulokset raportoidaan kokonaisuudessaan HSY:n ilmanlaadun vuosiraportissa vuonna 2020. Tässä raportissa kerrotaan tähänastiset tulokset (syys-joulukuu 2018). Kuvassa 13 näkyvät aiemmat tässä raportissa raportoidut passiivikeräimet 2, 3 ja 6 sekä uudet passiivikeräimet 11 ja 12.



KUVA 13. Passiivikeräinten sijainnit Mäkelänkadulla. Suluissa oleva numero on keräimen numero. Keräimet 2, 3 ja 6 olivat mukana jo KAILA-mittauksissa, ja keräimillä 11 ja 12 aloitettiin mittaamaan syyskuussa 2018.

Kuvissa 14 ja 15 kaikilla passiivikeräimillä on samat mittausjaksot (syys-joulukuu 2018), joten niiden tuloksia voidaan verrata keskenään. Tuloksista näkee, että pitoisuudet ovat länsipuolella korkeammat kuin itäpuolella. Itäpuolella pitoisuudet laimenevat kadun puolella ylöspäin mentäessä 13 prosenttia. Länsipuolella laimenemisgradientti oli suurempi (18 %, KUVA 10). Tämä johtuu todennäköisesti länsipuolen hengityskorkeuden korkeammista pitoisuuksista. Mittauksissa on myös eri ajankohdat, mikä vaikuttaa tuloksiin. Sisäpihan pitoisuudet laimenevat samansuuntaisesti kuin sensoreilla mitatut (KUVAT 10 ja 15).



KUVA 14. Passiivikeräinten typpidioksidipitoisuudet syys-joulukuulta 2018.



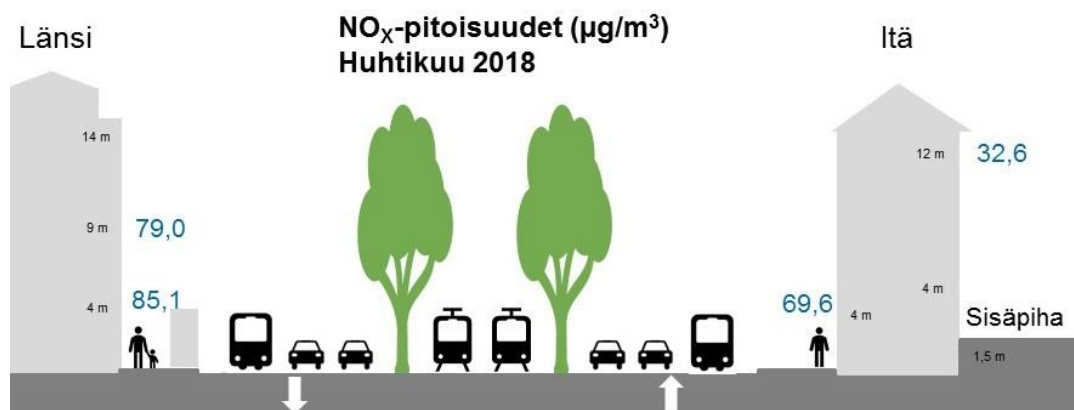
Kuva 15. Passiivikeräimillä mitatut typpidioksidipitoisuudet suhteessa Mäkelänkadun itäpuolen hengityskorkeuden pitoisuuteen. Mittausjakso on 4 kuukautta (syys-joulukuu 2018).

5.2.2 Typenoksidit NO_x ja hiilimonoksidi CO

Tässä raportissa keskitytään typpidioksiidiin ja hengitettäviin hiukkasiin, koska näiden sensoriaineistojen laatu oli paras ja ne ovat tärkeimpiä kaupunkisuunnittelussa huomioitavia ilmansaasteita. Näiden lisäksi sensoreilla mitattiin typpimonoksidia (NO) ja hiilimonoksidia eli häkää (CO). Typpimonoksidin ja -dioksidin pitoisuuksista laskettiin typenoksidien (NO_x) pitoisuus. CO ja NO_x -pitoisuudet raportoidaan tässä lyhyesti.

Typenoksidit NO_x

Typenoksidimittauksista saatiin eniten laadukasta dataa huhtikuulta 2018. Kuvassa 16 on esitetty typenoksidipitoisuudet huhtikuulta 2018. Länsipuolen 14 metrin ja sisäpihan 4 metrin mittauksista ei tuolloin saatu dataa. Pitoisuudet laimenivat Mäkelänkadun länsipuolella hengityskorkeuden neljästä metrissä yhdeksään metriin seitsemän prosenttia (KUVA 17). Itäpuolen sisäpihan neljässätoista metrissä pitoisuudet olivat 47 prosenttia itäpuolen kadunpuoleisista hengityskorkeuden pitoisuuksista. Kuvassa 19 on esitetty kuukausikeskiarvot kaikille sensoreille niiltä kuukausilta, joilta saatiin laadukasta dataa.



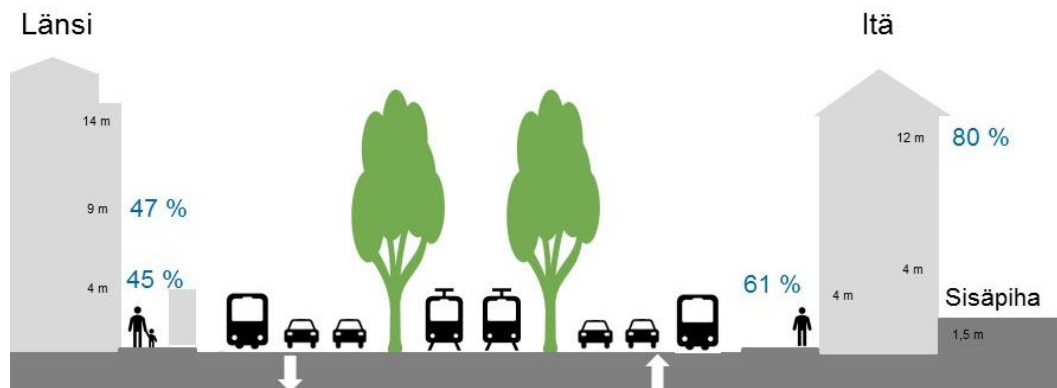
KUVA 16. Typenoksidipitoisuudet huhtikuussa 2018. Sensoreista L14 ja SP4 ei saatu dataa.



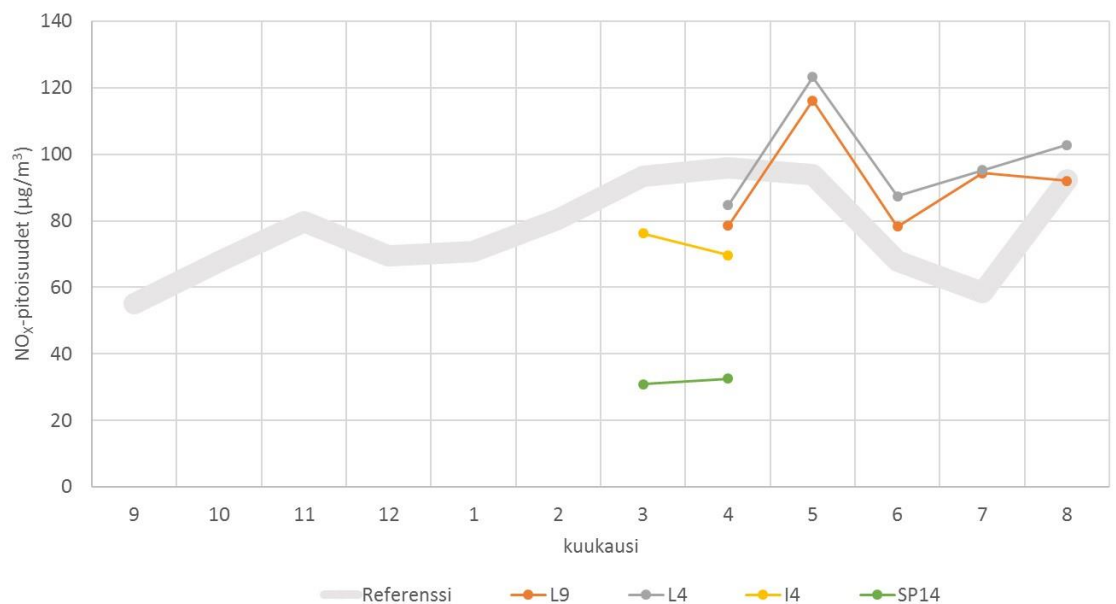
KUVA 17. Typenoksidipitoisuuksien laimeneminen länsipuolella korkeussuunnassa ja itäpuolella sisäpihalla verrattuna katutilaan. Mittausjakso on 1 kk (Huhtikuu 2018). Sensoreista L14 ja SP4 ei saatu dataa.

Vertailun vuoksi tarkasteltiin kuinka monta prosenttia NO_x-pitoisuuksista on NO₂:ta. Kuvasta 18 nähdään, että NO₂:n osuus typenoksidadeista on suurempi korkeammalla. Tämä johtuu siitä, että typenoksidien ilmakemialliset reaktiot otsonin kanssa vaikuttavat siten, että ylempänä muodostuu typpimonoksidista typpidioksidia.

NO₂:n prosenttiosuus NO_x-pitoisuuksista Huhtikuu 2018



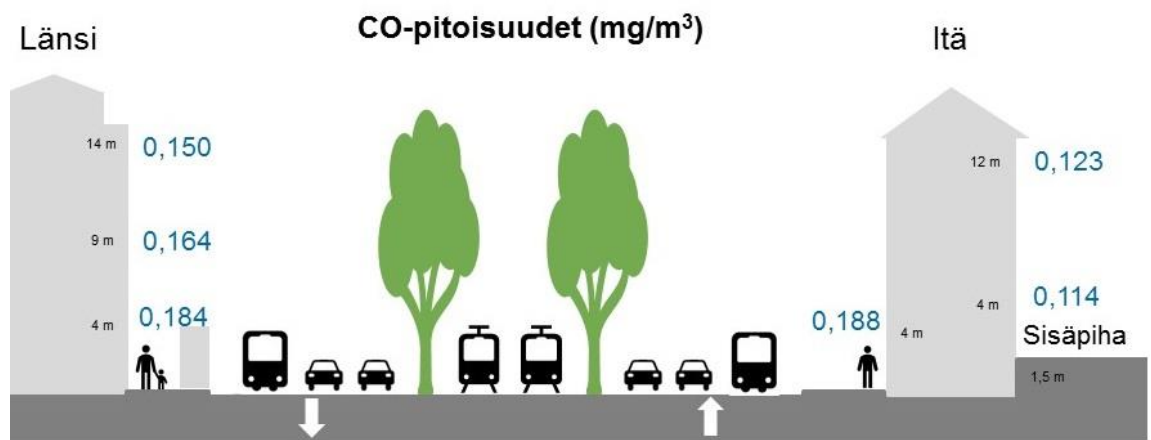
KUVA 18. Typpidioksidin osuus typenoksideista Mäkelänkadun sensorimittauksissa. Aineisto on huhtikuulta 2018.



KUVA 19. Typenoksidipitoisuuksien (NO_x) kuukausikeskiarvot sensoreilla mitattuna kadun länsipuolella (L) 4 ja 9 metrin korkeudella, itäpuolella (I) hengityskorkeudella (4 m) ja saman talon sisäpihalla (SP) hengityskorkeudella (4 m) sekä rakennuksen yläosassa (14 m). Länsipuolen 14 metrin korkeudelta ja sisäpihan 4 metrin korkeudelta ei saatu dataa. Vaalealla harmaalla taustalla Mäkelänkadun mittausaseman jatkuvatoimisen mittalaitteen referenssimittaus.

Hiilimonoksidi CO

Kuvissa 20 ja 21 on esitetty häkäpitoisuudet ja niiden laimenemisgradientit syyskuulta 2017. Pitoisuudet laimenevat samansuuntaisesti kuin typpidioksidipitoisuudet.

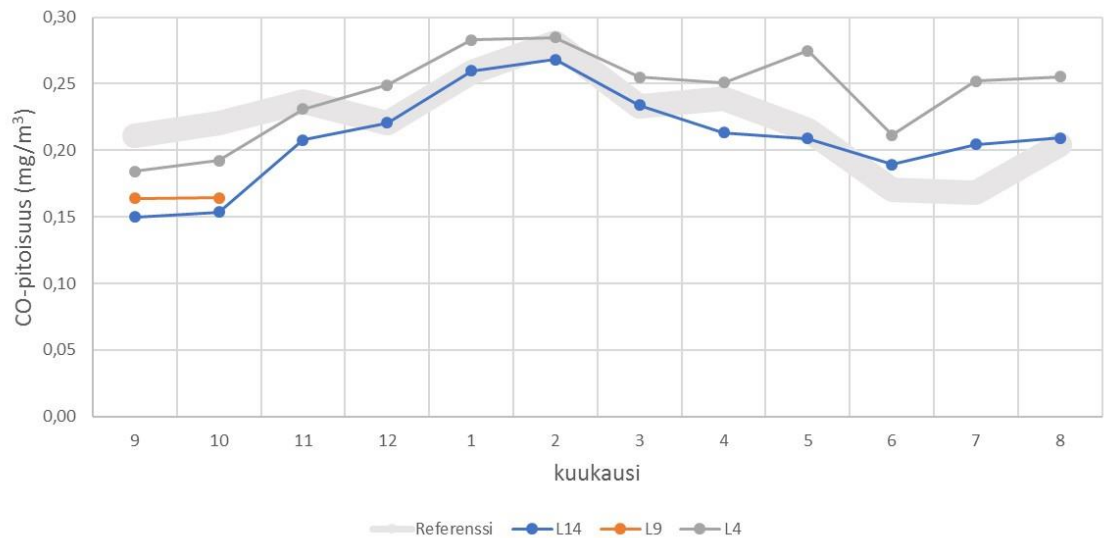


KUVA 20. Häkäpitoisuudet syyskuussa 2017.

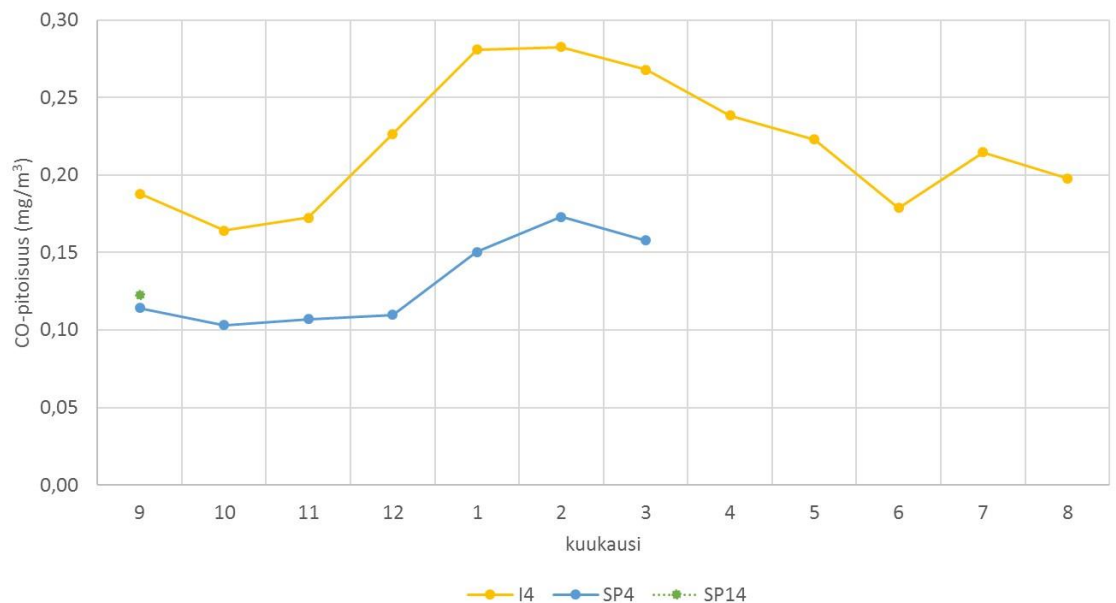


KUVA 21. Häkäpitoisuuksien laimeneminen länsipuolella korkeussuunnassa ja itäpuolella sisäpihalla verrattuna katutilaan. Mittausjakso on 1 kk (Syyskuu 2017).

Länsipuolen sensorit L4 (4 metrissä) ja L14 (14 metrissä) vikaantuivat mittausjakson alkupuolella ja ne vaihdettiin marraskuun alussa. Täten ne olivat hyvin vertailtavissa keskenään, mutta eivät keskimmäisen sensorin L9 kanssa. Kuvista 22 ja 23 näkee häkäpitoisuuksien kuukausikeskiarvot sekä sen, miltä sensoreilta saatiin vertailukelpoista dataa.



KUVA 22. Häkäpitoisuuksien (CO) kuukausikeskiarvot sensoreilla mitattuna kadun länsipuolella (L) 4 ja 9 14 metrin korkeudella. Vaalealla harmaalla taustalla Mäkelänkadun mitausaseman jatkuvatoimimisen mittalaitteen referenssimittaus.



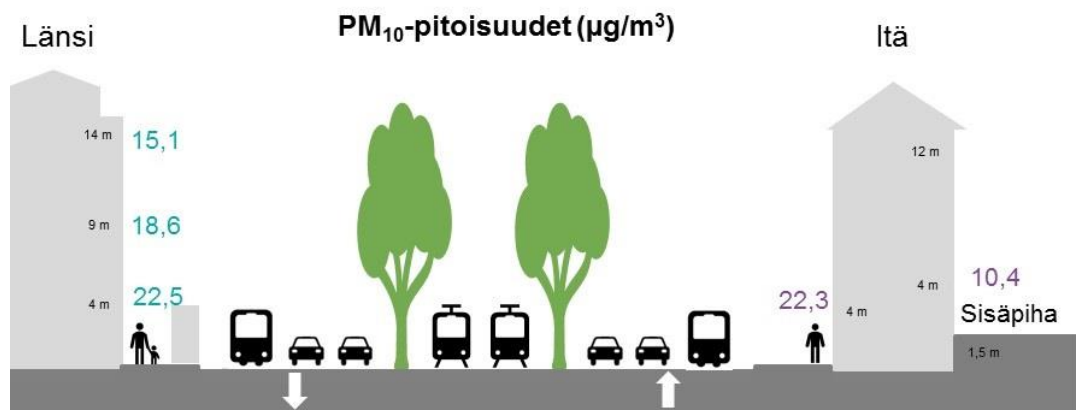
KUVA 23. Häkäpitoisuuksien (CO) kuukausikeskiarvot sensoreilla mitattuna kadun itäpuolella (I) hengityskorkeudella (4 m) ja sisäpihalla (SP) hengityskorkeudella (4 m) sekä 14 metrissä.

5.2.3 Hengitettävät hiukkaset PM₁₀

Kuten typpidioksidipitoisuuksien tarkastelussa, myös hengitettävien hiukkasten pitoisuuksia tarkastellessa, tarkasteltiin erikseen länsipuolen korkeussuuntaisia mittauksia sekä itäpuolen ja sisäpihan mittauksia. Länsipuolen ja itäpuolen mittauksissa on kummassakin omat tarkastelujaksot. Molempien puolien mittaustulokset ovat vain keskenään verrattavissa.

Hengitettävien hiukkasten osalta saatiin enemmän validoitua laadukasta dataa, kuin typpidioksidin osalta. Kuvista 26 ja 27 näkee, miltä kuukaussilta eri sensoreilla saatiin tuloksia. Sensorien vikaantumisten sekä niistä aiheutuvien mittauskatkojen vuoksi sensoreilla ei saatu laadukasta mittausdataa koko vuodelta. Sensorien mittauskatkoista ja vaihtoajankohdista on tarkemmin liitteessä 3. Kaikki tulokset on taulukoitu liitteessä 4.

Länsipuolen korkeusmittauksissa hengitettävien hiukkasten pitoisuudet laimenivat kymmenen metrin matkalla neljästä metristä neljääntoista metriin 33 % (KUVAT 24 ja 25). Sisäpihan puolella taas hengitettävien hiukkasten pitoisuudet olivat 53 % matalammat kuin kadun puolella.



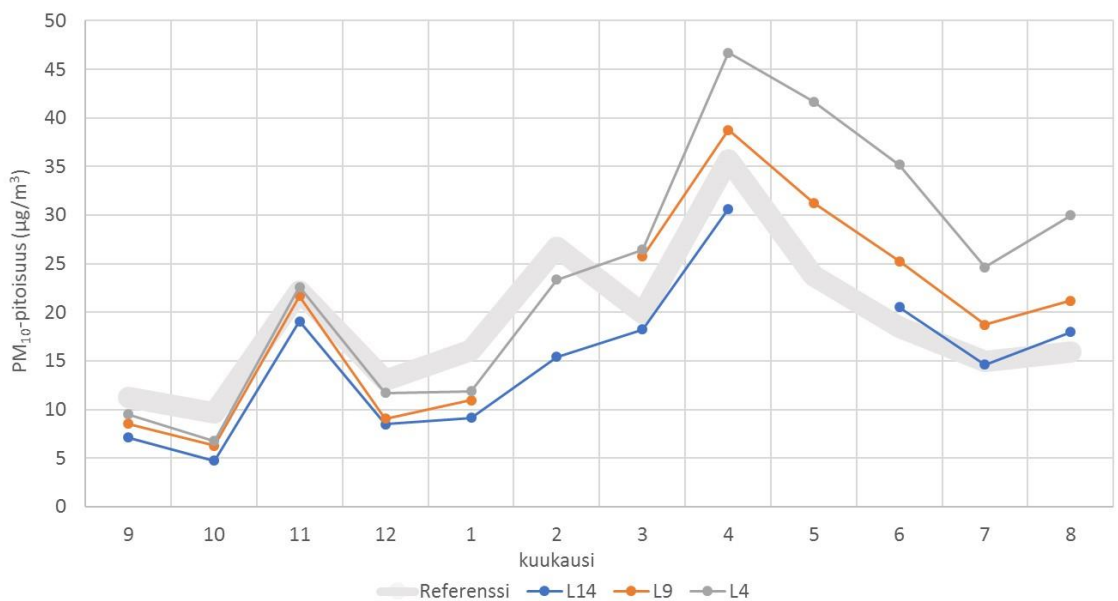
KUVA 24. Sensorien hengitettävien hiukkasten pitoisuudet. Länsipuolen korkeussuunta-mittauksissa (pitoisuudet turkoosilla) mittausjakso on 10 kuukautta eli koko mittausjaksosta 9/2017-8/2018 ei ole mukana kuukausia 2/2018 ja 5/2018. Itäpuolen katutila vs. sisäpiha -mittauksissa (pitoisuudet liilalla) mittausjakso on 9/2017-7/2018 eli 11 kuukautta. Länsi- ja itäpuolen tulokset eivät ole keskenään verrattavissa, koska niissä on eri mittausjaksot. SP14 -sensorilla saatiin paljon vähemmän lopullista dataa kuin muilla itäpuolen sensoreilla, joten jotta saatiin näytettyä mahdollisimman pitkän ajanjakson tulokset, jätettiin sisäpihan räystääskorkeuden (SP14) tulos pois.



KUVA 25. Hengitettävien hiukkasten pitoisuuksien laimeneminen sekä korkeussuunnassa (turkoosi) että sisäpihalla verrattuna katutilaan (liila). Keskenään verrattavien sensorien mittausjaksot ovat samat. Länsipuolen korkeussuuntamittauksissa (pitoisuudet turkoosilla) mittausjakso on 10 kuukautta eli koko mittausjaksosta 9/2017-8/2018 ei ole mukana kuukausia 2/2018 ja 5/2018. Itäpuolen katutila vs. sisäpiha -mittauksissa (pitoisuudet liilalla) mittausjakso on 9/2017-7/2018 eli 11 kuukautta.

Liitteessä 4 on sekä typpidioksidipitoisuuksille että hengitettävillä hiukkasilla kaikista sensoreista samalta yhden kuukauden pituiselta ajanjaksolta pitoisuudet ja pitoisuuksien laimenemisprosentit. Näin pystytään vertaamaan kaikkia mittauspaikkoja keskenään. Ajanjaksoksi valittiin syyskuu 2017, koska siltä ajanjaksolta on kaikista mittausdataa ja se vertautuu myös Mäkelänkadun mittausaseman referenssimittauksiin luotettavasti. Tällöin kuitenkin katupölyn pitoisuudet olivat hyvin matalia.

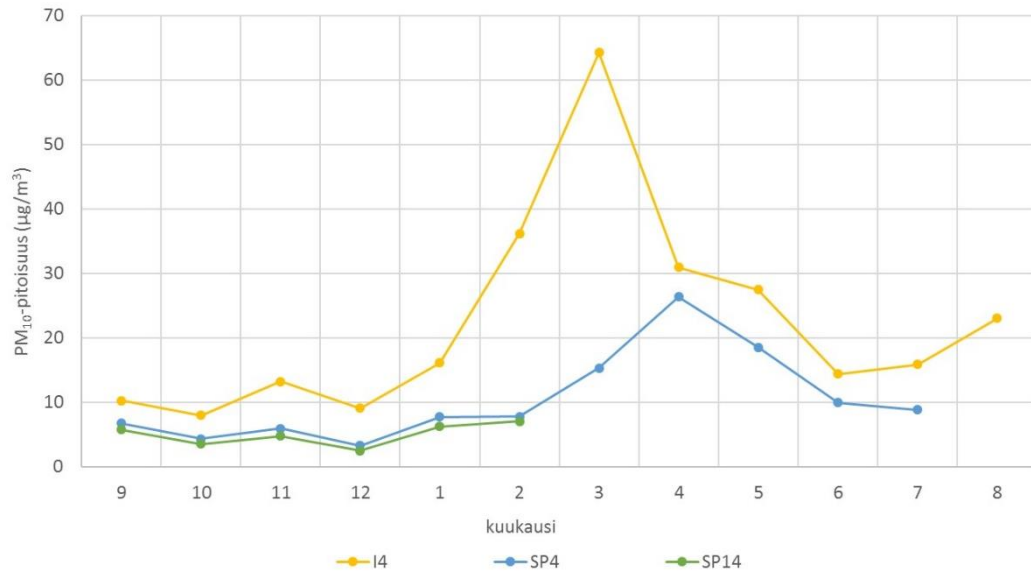
Kuvissa 26 ja 27 on kadun länsipuolen korkeusmittauksien sekä kadun itäpuolen ja sisäpihan hengitettävien hiukkasten kuukausikeskiarvot. Vaalealla harmaalla on taustalla myös referenssimittaus, eli Mäkelänkadun mittausaseman jatkuvatoimisen mittalaitteen mitaama pitoisuus. Referenssilaitteen pitoisuuksia katsoessa näkyy selvästi, että länsipuolen sensorien pitoisuudet ovat aluksi (syys- ja talvikuukausina) samaa luokkaa kuin referenssimittaus, mutta maaliskuusta 2018 alkaen sensoritulokset todennäköisesti ylivertaisivat pitoisuuksia. Tämä on tärkeä huomioida sensorien absoluuttisia pitoisuustasoja tarkastellessa, mutta sensoritulosten suhteelliset erot (gradientit) ovat todennäköisesti kuitenkin hyvin vertailukelpoisia eri sensorien välillä. Sensorikohtaisiin PM₁₀-tuloksiin ja korjausyhtälöihin heijastuvat sensorien vertailujaksoille osuneet katu-
pölypitoisuudet (luku 4, liite 2b).



KUVA 26. Hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) kuukausikeskiarvot sensoreilla mitattuna kadun länsipuolen (L) korkeusmittauksissa (4, 9 ja 14 m). Vaalealla harmaalla taustalla Mäkelänkadun mittausaseman jatkuvatoimisen mittalaitteen referenssimittaus.

Korkeimmat hengitettävien hiukkasten pitoisuudet länsipuolella mitattiin referenssilaitteella ja sensoreilla huhtikuussa. Itäpuolen sisäpihan I4 sensori mittasi korkeita pitoisuuksia helmi- ja maaliskuussa. Pitoisuudet olivat Mäkelänkadun mittausaseman referenssimittauksista huomattavasti korkeampia (KUVAT 26 ja 27). Tuolloin oli katupölykausi ja pitoisuudet olivat samaan aikaan muuallakin korkeita (esim. Leppävaarassa). Tulos on siis luotettava ja kertoo että Mäkelänkadun itäpuolella oli tuolloin enemmän katupölyä kuin länsipuolella.

Taustapitoisuus korostuu pienemmillä pitoisuuksilla ja silloin eri paikoilla ei ole niin suuria eroja. Suuremmilla katupölypitoisuuksissa päästölähteen osuus on suurempi ja siten eri paikkojen erotkin ovat suuremmat.



KUVA 27. Hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) kuukausikeskiarvot sensoreilla mitattuna kadun itäpuolella (I) ja saman talon sisäpihalla (SP) hengityskorkeudella (4 m) sekä rakennuksen yläosassa (14 m).

5.3 Ilmanlaatu eri vuorokaudenaikoina

Ilmansaasteiden pitoisuudet vaihtelevat eri vuorokaudenaikaan. Tämä johtuu sekä ilmansaasteiden lähteiden (päästöjen) vuorokausirytmistä että myös sääolosuhteista. Mäkelänkadulla ilmaan vaikuttavat eniten liikenteen päästöt. Kuvissa 28 ja 29 on esitetty kaikkien sensorien sekä typpidioksidipitoisuuksien että hengitettävien hiukkasten vuorokausivaihtelu Mäkelänkadulla arkena ja viikonloppuna. Pitoisuuksissa näkyy liikenteen rytmi (vrt. KUVA 30).

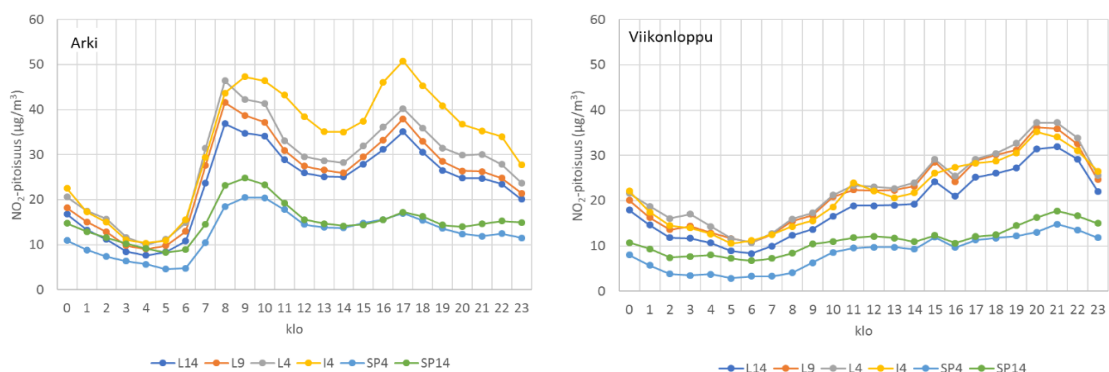
Parhaiten liikenteen rytmi näkyy typpidioksidipitoisuuksissa (KUVA 28), sillä se on peräisin liikenteen pakokaasuista. Typpidioksidin pitoisuudet ovat korkeimmillaan aamu- ja iltapäiväruuhkien aikaan arkena. Viikonloppuisin liikennettä on tasaisemmin ja se keskittyy päivä- ja ilta-aikaan. Mäkelänkadulla länsipuolella ajetaan kaupunkiin päin (aamuruuhka) ja itäpuolella ajetaan kaupungista poispäin (iltapäiväruuhka). Iltapäiväruuhka korostuukin eniten itäpuolen I4 sensorin pitoisuuksissa (KUVA 28a).

Hengitettävien hiukkasten osalta liikenteen rytmi ei näy yhtä selvästi, mutta on kuitenkin havaittavissa (KUVA 29). Hengitettävien hiukkasten osalta liikenteen ruuhkahuiput eivät erityisemmin korostu, vaan pitoisuudet ovat suurimmat päiväsaikaan. Hengitettävien hiukkasten pitoisuuksiin vaikuttaa erityisesti katupöly, ja katupintojen kosteus hillitsee pölyämistä useimmin yöllä ja aamulla.

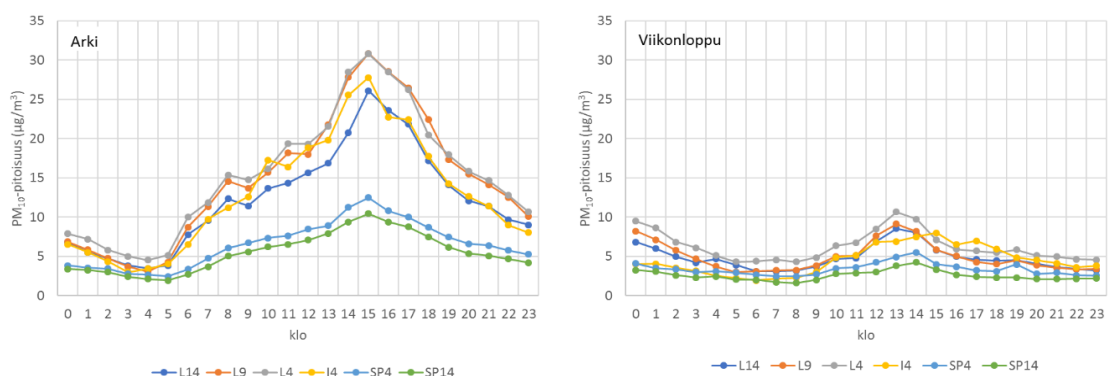
Liikennemäärä ei kuitenkaan yksin vaikuta pitoisuuksiin. Sääolosuhteilla on myös merkitystä. Vaikka arkena iltapäiväruuhkan aikaan liikennettä on eniten, typpidioksidipitoisuudet ovat

yleensä aamuruuhkan aikaan suuremmat. Tämä johtuu siitä, että aamulla sekoittumisolosuhteet ovat heikommat, joten ilmansaasteet eivät laimene niin hyvin.

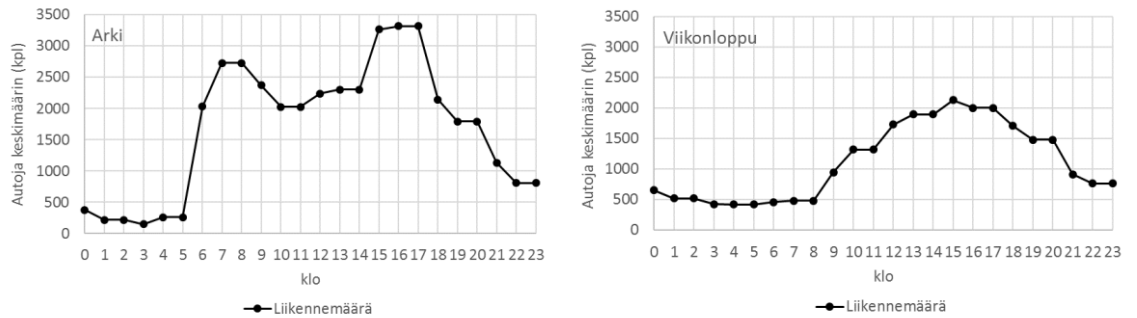
Liikenteen vaikutus näkyy ilmanlaadussa Mäkelänkadulla myös sensorimittauksilla korkeammalla rakennusten kattokorkeudella sekä rakennusten takana sisäpihalla. Sisäpihalla pitoisuudet ovat paljon katutilaa matalammat, mutta liikenteen rytmi näkyy sielläkin.



KUVA 28 a ja b. Typpidioksidipitoisuuksien vuorokausivaihtelu kaikilla sensoreilla sekä a) arkena että b) viikonloppuna. Pitoisuudet ovat ajanjaksolta syys-lokakuu 2017.



KUVA 29 a ja b. Hengitettävien hiukkasten vuorokausivaihtelu kaikilla sensoreilla sekä a) arkena että b) viikonloppuna. Pitoisuudet ovat ajanjaksolta syys-marraskuu 2017.



KUVA 30. Liikennemäärän vuorokausivaihtelu Mäkelänkadulla sekä a) arkena että b) viikonloppuna. Kuvan liikennelaskennat ovat syyskuulta 2017 hieman pohjoisemmasta kohdasta Mäkelänkatua kuin ilmanlaatumittaukset (datalähde Helsingin kaupungin liikennelaskennat). Lisätietoja liikennemääristä Liitteessä 1.

5.4 Raja- ja ohjearvotarkastelut

Ilmanlaadulle on annettu raja- ja ohjearvoja alueille, joilla ihmiset altistuvat ilman epäpuhtauksille. EU on antanut ilmanlaadun raja-arvot ja ne on pantu täytäntöön ilmanlaatua koskevalla kansallisella valtioneuvoston asetuksella (79/2017). Asetus määrittelee ilman epäpuhtauksille rajat, joiden alapuolelle pitää päästä määräajassa, ja joita ei saa sen jälkeen ylittää. Kaupunkisuunnittelussa tulee huolehtia, ettei näitä raja-arvoja ylitetä. (Airola & Myllynen 2015, 15; VNa 79/2017)

Raja-arvon saavuttaminen ei kuitenkaan vielä takaa terveellistä ympäristöä. Siksi terveydellisten haittojen ehkäisemiseksi on säädetty kansallisia ohjearvoja, jotka on tarkoitettu otettavaksi huomioon myös maankäytön ja liikenteen suunnittelussa. Ohjearvot on annettu valtioneuvoston päätöksellä (480/1996) ja ne ilmaisevat ilmanlaadun tavoitteet sekä lyhyellä että pitkällä aikavälillä. WHO:n ohjearvoja (WHO 2006) voidaan käyttää myös osana terveysvaikutusten arviointia. (Airola & Myllynen 2015, 15; VNa 480/1996; WHO 2006)

Taulukko 1. Hengitettävälle hiukkasille ja typpidioksidille asetetut raja- ja ohjearvot

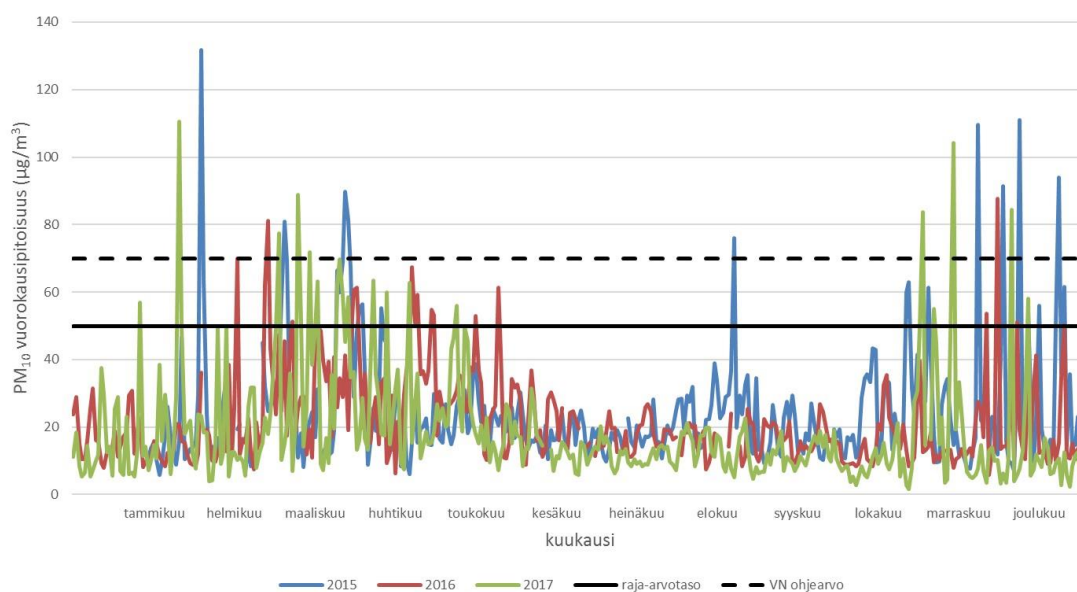
PM ₁₀	µg/m ³		Asettaja
Vuosiraja-arvo	40	vuosikeskiarvo	VNa 79/2017
Vuosiohjearvo	20	vuosikeskiarvo	WHO 2006
Vuorokausiraja-arvo	50	saa ylittyä 35 kertaa vuodessa	VNa 79/2017
Vuorokausiohjearvo	50	ei sallittuja ylityksiä	WHO 2006
Vuorokausiohjearvo	70	saa ylittyä kerran kuukaudessa	VNa 480/1996

NO ₂	µg/m ³		Asettaja
Vuosiraja-arvo	40	vuosikeskiarvo	VNa 79/2017
Tuntiraja-arvo	200	saa ylittyä 18 tuntia vuodessa	VNa 79/2017
Vuorokausiohjearvo	70	saa ylittyä kerran kuukaudessa	VNa 480/1996
Tuntiohjearvo	150	saa ylittää 1 % kuukauden tunneista	VNa 480/1996

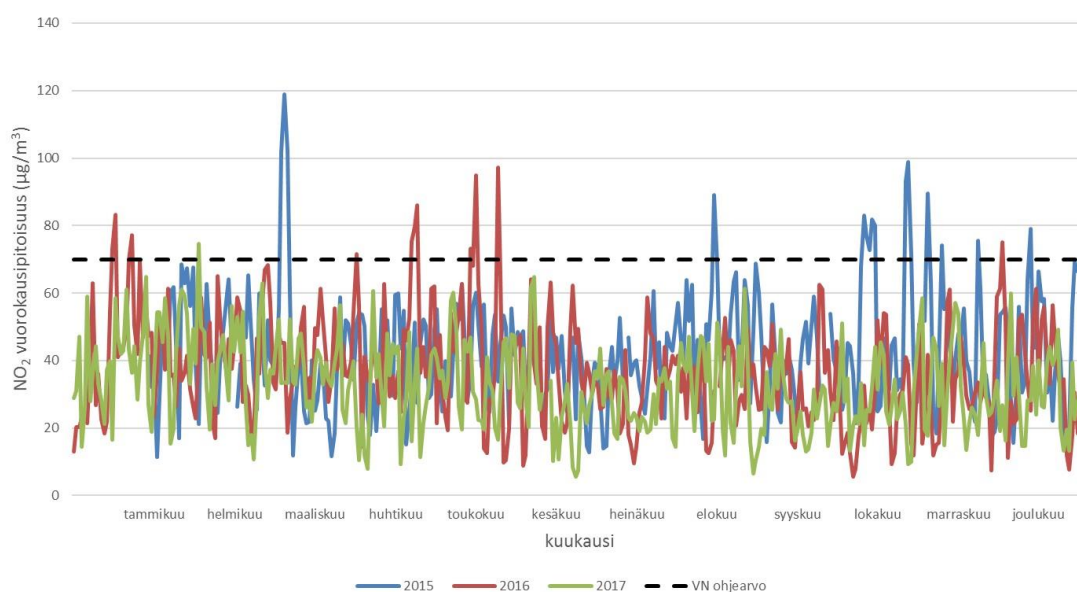
Mäkelänkadulla on aloitettu mittaamaan ilmanlaatua vuonna 2015. Typpidioksidin vuosikeskiarvo on laskenut huomattavasti lyhyessä ajassa. Vuonna 2015 typpidioksidin vuosikeskiarvo oli 43 µg/m³, vuonna 2016 vuosikeskiarvo oli 37 µg/m³ ja vuonna 2017 vain 33 µg/m³. Myös hengitettävien hiukkasten pitoisuudet ovat laskeneet. Vuonna 2015 hengitettävien hiukkasten vuosikeskiarvo oli 25 µg/m³, vuonna 2016 vuosikeskiarvo oli 21 µg/m³ ja vuonna 2017 vain 18 µg/m³. Molemmilla ilmansaasteilla pitoisuudet ovat nykyään alle vuosiraja-arvon (40 µg/m³) ja hengitettävillä hiukkasilla myös alle WHO:n vuosiohjearvon (20 µg/m³). (Malkki & al. 2018)

Vaikka sensoreilla ei saatu laadukasta mittausdataa koko vuodelta, voidaan mittausaseman tuloksista päätellä, että typpidioksidin sekä hengitettävien hiukkasten vuosiraja-arvo ei ylity myöskään korkeammalla rakennusten seinällä, eikä sisäpihan puolella.

Hengitettävien hiukkasten vuorokausiraja-arvotaso (50 µg/m³) ylittyi Mäkelänkadun mittausasemalla (4 m korkeus) 25 kertaa vuonna 2015, 16 kertaa vuonna 2016 ja 20 kertaa vuonna 2017 (Kaski ym.. 2016 ja 2017; Malkki ym. 2018). Vuorokausiraja-arvo ei siten ole Mäkelänkadulla ylittynyt (vuodessa sallittuja ylityksiä 35 kpl), mutta WHO:n vuorokausiohjearvo ylittyy joka vuosi. Kansallinen vuorokausiohjearvo 70 µg/m³ (saa ylittyä kerran kuukaudessa) ylittyi kahtena kuukautena vuosina 2015 ja 2017, mutta vuonna 2016 se ei ylittynyt. Typpidioksidin vuorokausiohjearvo 70 µg/m³ (saa ylittyä kerran kuukaudessa) ylittyi kolmena kuukautena vuonna 2015 ja kahtena kuukautena vuonna 2016, mutta ei vuonna 2017. (KUVAT 31 ja 32)



KUVA 31. Hengitettävien hiukkasten vuorokausipitoisuudet Mäkelänkadun mittausasemalla vuosina 2015 – 2017 suhteessa hengitettäville hiukkasille asetettuun raja-arvotsoon sekä kansalliseen ohjearvotasoon. Datalähde: HSY



KUVA 32. Typpidioksidin vuorokausipitoisuudet Mäkelänkadun mittausasemalla vuosina 2015 – 2017 suhteessa sille asetettuun kansalliseen ohjearvotasoon. Datalähde: HSY

Sensorien mittausjakson aikana syyskuusta 2017 elokuuhun 2018 Mäkelänkadun mittausasemalla (4 m korkeus) hengitettävien hiukkasten vuorokausiraja-arvotaso ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ylittyi 23 kertaa. Kansallinen vuorokausiohjearvo $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (saa ylittyä kerran kuukaudessa) ylittyi hengitettävien hiukkasten osalta mittausasemalla marraskuussa 2017 ja tammi- sekä huhtikuussa 2018. Typpidioksidin osalta sensorien mittausjaksolla vuorokausiohjearvo $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ylittyi Mäkelänkadun mittausasemalla toukokuussa 2018.

Sensorien suhteen raja- ja ohjearvotarkastelua voidaan tehdä vain suuntaa antavasti, koska mitausjaksot olivat katkonaisia ja ennen kaikkea siksi, että sensorit yliarvioivat pitoisuuksia referenssimittauksiin verrattuna (liite 2). Pitoisuuksien yliarvioinnin takia sensorien tuloksia ei kannata verrata suoraan tuntiraja-arvoihin ja -ohjearvoihin.

Kun tarkastellaan sensorien PM₁₀ -pitoisuuksia yhdessä referenssimittausten kanssa, voidaan arvioida, että hengitettävien hiukkasten raja-arvotaso sekä kansallinen ohjearvo ylittyy yleensä katutasolla neljässä metrissä ja myös korkeammalla (9 ja 14 metrin korkeudella) kadunpuoleisella seinustalla voi esiintyä raja- ja ohjearvotason ylityksiä (Taulukko 2). Sisäpihalla vuorokausipitoisuudet ovat pääsääntöisesti huomattavasti matalampia kuin kadun puolella, joten valtioneuvoston ohjearvo ylitykset ovat siellä luultavasti epätodennäköisiä, mutta raja-arvotaso voinee ylittyä satunnaisesti myös sisäpihalla voimakkaimman katupölykauden aikaan.

Typpidioksidille annettu kansallinen ohjearvo voi ylittyä kadunpuoleisella seinustalla katutason lisäksi myös yhdeksässä ja neljässätoista metrissä (Taulukko 3). Mittausten mukaan typpidioksidipitoisuudet ovat pääsääntöisesti katutasolla lähellä liikennettä suurimmat, mutta ilmakeemialliset reaktiot otsonin kanssa vaikuttavat siten, että myös ylempänä muodostuu typpimonoksidista typpidioksidia. Sisäpihalla pitoisuudet ovat selvästi matalampia kuin kadun puolella, joten siellä ohjearvon ylittyminen on epätodennäköistä.

Taulukko 2. PM₁₀ raja- ja ohjearvojen ylitysriskin arviot Mäkelänkadun katukuilussa sekä ilmanlaadun mittausaseman että sensorimittausten perusteella. Arviot koskevat vain Mäkelänkadun katukuiluympäristöä. Huomioitava myös että sensorimittauksissa on paljon epävarmuuksia.

Mittauspaikka	Vuosi- ja vuorokausi- raja-arvo	Kansallinen vrk- ohjearvo	WHO:n vuosi- ohjearvo	WHO:n vrk-ohjearvo
Mittausasema vuosina 2015-2017	Ei	Ylittyy	Ylittyy	Ylittyy
Kuiluseinusta 4 m	Ei	Ylittyy	Ylittyy	Ylittyy
Kuiluseinusta 9 m	Ei	Ylitysriski	Ei	Ylittyy
Kuiluseinusta 14 m	Ei	Ylitysriski	Ei	Ylittyy
Sisäpiha 4 m	Ei	Epätodennäköistä	Ei	Ylitysriski
Sisäpiha 14 m	Ei	Epätodennäköistä	Ei	Ylitysriski

Taulukko 3. NO₂ raja- ja ohjearvojen ylitysriskin arviot Mäkelänkadun katukuilussa sekä ilmanlaadun mittausaseman että sensorimittausten perusteella. Arviot koskevat vain Mäkelänkadun katukuiluympäristöä. Huomioitava myös että sensorimittauksissa on paljon epävarmuuksia.

Mittauspaikka	Vuosiraja-arvo	Kansallinen vrk-ohjearvo
Mittausasema vuosina 2015-2017	v. 2015 Ylittyy v. 2016-2017 Ei	Ylittyy
Kuiluseinusta 4 m	Ei	Ylittyy
Kuiluseinusta 9 m	Ei	Ylitysriski
Kuiluseinusta 14 m	Ei	Ylitysriski
Sisäpiha 4 m	Ei	Epätodennäköistä
Sisäpiha 14 m	Ei	Epätodennäköistä

6. Yhteenvedo ja johtopäätökset

KAILA-tutkimushankkeen tavoitteena oli tuottaa uutta ilmanlaatatietoa, jota voidaan hyödyntää kaupunkibulevardien ja muiden vilkasliikenteisten katu ympäristöjen kaavoituskohteiden tarkentamisessa. Tarkoitus on tarjota suunnittelijoille taustatietoa siitä, miten suunnitella ilmanlaadun kannalta mahdollisimman terveellistä asuinympäristöä.

Tässä hankkeessa tutkittiin, kuinka voimakkaasti ilmanlaatu paranee etäännyttäessä kerrostalojen reunustamasta kadusta, eli päästölähteestä, pystysuunnassa talojen seinustalla ja minkälainen ilmanlaatu on rakennuksen takana sisäpihalla. Lisäksi tutkimuksessa käsiteltiin, miten ilmanlaatu paranee etäännyttäessä kadusta vaakasuuntaisesti hengityskorkeudella (3-4 metriä) aina 125 metrin etäisyydelle saakka. Tätä tarkasteltiin passiivikeräimien tyypidioksidimittauksilla. Pystysuuntaiset mittaukset tehtiin Vaisalan AQT420 -sensoreilla (vuoden 2017 sensorisukupolvi), joilla mitattiin NO₂-, NO-, CO- ja PM₁₀ -pitoisuuksia.

Mittauskampanja toteutettiin syyskuun 2017 ja elokuun 2018 välisenä aikana Mäkelänkadulla kerrostalojen reunustamalla katuosuudella, HSY:n ilmanlaadun supermittausaseman lähellä (osoite Mäkelänkatu 50, Helsinki). Katukuilun leveys on 42 metriä ja rakennusten korkeus noin 17 metriä, joten mittauspaikka edustaa leveää katukuilua. Mäkelänkadun liikennemäärä oli vuonna 2017 noin 28 100 ajoneuvoa arkivuorokaudessa, josta raskaan liikenteen osuus noin 12 prosenttia.

Katukuilussa ilmansaasteet laimenivat ylöspäin mentäessä ja olivat kadunpuoleisella seinustalla räystäätasolla (14 m korkeudella) tyypidioksidin osalta keskimäärin 82 prosenttia ja hengitettävien hiukkasten osalta 67 prosenttia katutason hengityskorkeuden pitoisuuksista. Kerrostalojen takana sisäpihan oleskelualueella hengityskorkeudella tyypidioksidipitoisuudet olivat 60 prosenttia ja hengitettävien hiukkasten pitoisuudet 47 prosenttia kadun puolen pitoisuuksista. Tässä raportissa keskityttiin tyypidioksidiin ja hengitettäviin hiukkasiin, koska näiden sensoriaineistojen laatu oli paras ja ne ovat tärkeimpiä kaupunki-ilman saasteita ja tulee huomioida kaupunkisuunnittelussa. Näiden lisäksi sensoreilla mitattiin typpimonoksidia (NO) ja hiilimonoksidia eli häkää (CO), joiden tulokset tukivat edellä mainittuja tuloksia.

Tutkimustuloksista voidaan todeta, että etäisyyden lisäksi rakennusmassa suojaa ilmansaasteiden leviämiseltä. Toisaalta rakennus nostaa pitoisuuksia katukuilussa ja kun mittauspisteet olivat aika lähellä rakennuksen päätyä, rakennuksen suojaava vaikutus sisäpihalla ei ole näissä mitaustuloksissa niin voimakas, kuin mitä se todennäköisesti olisi, jos mittaukset olisi tehty kauempana aukkopaikasta. Katua reunustavien kerrostalojen välissä olevissa aukkopaikoissa pitoisuudet olivat selkeästi pienemmät kuin kuilumaisessa paikassa. Etäännyttäessä kadusta, pitoisuudet laimenivat melko nopeasti. 125 metrin etäisyydellä pitoisuudet olivat jo noin kaupunkitaustan tasolla.

Raportissa tarkasteltiin kirjallisuuskatsauksen muodossa muita samantyyppisiä tutkimuksia Suomesta ja muualta maailmalta. Eri mittaukset eivät kuitenkaan ole suoraan verrattavissa keskenään erilaisten olosuhteiden takia (mm. liikenne- ja päästömäärät, katukuilun geometria, sääolosuhteet, taustapitoisuus sekä mittausjakson pituus vaihtelivat eri mittauksissa). Useimmat muut tutkimukset kestivät selvästi vähemmän aikaa kuin KAILA-mittaukset, jolloin sääolosuhteiden merkitys kasvaa verrattuna pitkän ajan keskiarvoon. Kirjallisuuskatsaukseen kootuista tuloksista saa suuntaa sille, miten erityyppisissä kohteissa ja tilanteissa ilmanlaatu laimenee. Yleisiä johtopäätöksiä kirjallisuuskatsauksen mittauksista voi johtaa muun muassa sen, että leveimmissä katukuilussa pitoisuudet laimenivat parhaiten. Myös se, tehtiinkö kattotason mittaukset katon päällä vai katukuilussa rakennuksen seinustalla räystääskorkeudella, vaikuttaa merkittävästi pitoisuuksiin. Tuloksista näki, että kattotason yläpuolella ilmansaasteiden laimeminen on todella tehokasta ja pitoisuudet ovat paljon pienempiä kuin kadunpuoleisen seinustan räystääskorkeudella.

Parhaiten tämän tutkimuksen tulokset ovat verrattavissa Helsingin Runeberginkadun vuoden pituisiin typpidioksidimittauksiin vuonna 2004. Tämän tutkimushankkeen mittauksissa ja Runeberginkadulla typpidioksidipitoisuudet vähenivät noin 16 - 18 prosenttia katutasolta kattotasolle mentäessä. Sisäpihalla typpidioksidipitoisuudet olivat Runeberginkadulla noin 30 prosenttia pienemmät ja Mäkelänkadulla noin 40 prosenttia pienemmät. Gradienttien prosenttilukuihin vaikuttaa muun muassa se, että Runeberginkadun mittauksien aikaan vuonna 2004 typpidioksidin kaupunkitaustapitoisuus Kallion mittausasemalla oli $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja tämän tutkimushankkeen mittauksen aikaan vuonna 2017 vain $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Myös katugeometrian eroavaisuudet ja Runeberginkadun sisäpihalla olleet työkoneet vaikuttivat pitoisuuksiin.

Hämeentien mittaukset kestivät myös vuoden (v. 2014), mutta siellä kattotason mittaus tehtiin katon päällä, eikä rakennusten reunalta kadunpuoleiselta räystääskorkeudelta niin kuin Mäkelänkadulla ja Runeberginkadulla. Tällöin tulokset eivät ole niin hyvin keskenään verrattavissa, koska katolla pitoisuudet ovat pienemmät kuin rakennuksen reunalla kadunpuoleisella räystääskorkeudella. Hämeentiellä pitoisuudet olivat katolla 25 m korkeudella noin 57 prosenttia pienemmät ja alhaalla sisäpihalla noin 61 prosenttia pienemmät kuin kadunpuolella hengityskorkeudella. Hämeentien mittauspaikka oli myös lähellä risteystä, minkä vuoksi kadun vieressä hengityskorkeudella mitatut pitoisuudet olivat hyvin korkeita.

Mäkelänkatu on mittasuhteiltaan kaupunkibulevardimainen kohde ja näistä mittaustuloksista on hyötyä vilkasliikenteisten alueiden ja kaupunkibulevardimaisten kohteiden suunnittelussa. Mittaustulosten perusteella tiedetään, kuinka paljon ilmanlaatu on parempi korkeammalla rakennusten seinustoilla ja sisäpihalla rakennusten takana. Myös se, onko katukuilussa rakennusten välissä aukkoja vai onko se yhtenäistä rakennusmassaa, vaikuttaa ilmanlaatuun katukuilussa ja rakennusten takana. Mittaustulokset ovat tärkeitä katutilan, parvekkeiden, ilmanottoaikkujen ja piha- ja leikkipaikkojen suunnittelussa. Mittaustulokset edustavat Mäkelänkadun tyyppistä katukuiluympäristöä, mutta niistä ja kirjallisuuskatsauksen tuloksista voidaan soveltaa yleisiä johtopäätöksiä myös muihin rakennusten reunustamiin vilkasliikenteisiin alueisiin.

Tutkimustulosten ja kirjallisuuskatsauksen mukaan ilmanlaatuun katukuilussa ja sen lähiympäristössä vaikuttaa liikenteen määrä, katukuilun leveys ja korkeus, korttelirakenne sekä etäisyys päästölähteestä. Mitä leveämpi katu, sen parempi ilmanlaatu. Yhtenäinen rakennusmassa suojaa sisäpihoja, mutta nostaa pitoisuuksia katukuilussa. Tutkimustulokset tukevat yleisiä ilmaansaasteille altistumisen vähentämiseen tähtääviä keinoja kaupunkisuunnittelussa. Koska katukuilussa on selkeästi suuremmat pitoisuudet kuin sisäpihalla, hyviä käytäntöjä vilkasliikenteisillä kaualueilla on muun muassa sijoittaa rakennusten parvekkeet ja tuuletusikkunat sisäpihan puolelle (eli ei saisi olla vain kadun puolelle aukeavia huoneistoja). Katukuilussa typpidioksidipitoisuudet eivät laimenneet kovin suuresti ylöspäin mentäessä. Kattotason päällä sen sijaan ilmanlaatu on selkeästi puhtaampaa kuin talon seinustalla räystääskorkeudella. Täten ilmanotto kannattaisi järjestää mahdollisuuksien mukaan kattotason päältä puhtaammalta puolelta tehokkaalla suodatuksella. Alhaalla katutilassa ilmanlaatu on huonoin, koska rakennukset heikentävät ilmansaasteiden laimenemista. Ilmanlaatu paranee etäännyttäessä katutilasta vaaka tai pystysuunnassa. Täten alimpaan kerrokseen sopisi asuntojen sijaan esimerkiksi liikehuoneistoja ja pyöräilylle ja jalankulkijoille olisi hyvä suunnitella mahdollisuuksien mukaan vaihtoehtoinen kulkureitti korttelin verran kauempaa vilkasliikenteisestä katukuilusta. Piha- ja leikkipaikat olisi hyvä sijoittaa kauempana vilkasliikenteisestä kadusta. Katutilan korkeammat pitoisuudet saattavat levitä rakennusten aukkopaikoista jonkin verran myös rakennusten taakse. Täten rakennusten takana piha- ja leikkipaikat voisi olla hyvä sijoittaa rakennusten suojassa kauempana vilkasliikenteisten katujen aukkopaikoista.

Tämä tutkimushanke oli laatuvaatimuksiltaan hyvin haastava nykyiselle, vuoden 2017 sensorisukupolvelle. Sensoreita myös vikaantui harmillisen paljon, ja niitä jouduttiin vaihtamaan. Siksi mittauksiin tuli mittauskatkoja, eikä yhtenäistä vuoden pituista mittausjaksoa saatu mitattua. Eri aikoina tehdyt vertailumittaukset aiheuttivat myös haasteita tulosten vertailtavuuden kannalta. Sensorit yliarvioivat typpidioksidin pitoisuuksia huomattavasti luotettaviin passiivikeräintuloksiin verrattuna. Vertailussa sensoreilla mitattiin jopa neljänneksen suurempia pitoisuuksia kuin passiivikeräimillä. Sensorituloksista voidaan arvioida pitoisuuksien laimenemista, mutta raja- ja ohjearvoylitysten tarkasteluja ei voida tehdä luotettavasti pelkästään sensoritulosten perusteella. HSY:n Mäkelänkadun mittausaseman tulosten perusteella tiedetään kuitenkin, että typpidioksidin ja hengitettävien hiukkasten raja-arvot eivät ylitä Mäkelänkadun katukuilussa.

Kun tarkastellaan sensorien PM₁₀ -pitoisuuksia yhdessä ilmanlaadun mittausaseman referenssimittausten kanssa, voidaan arvioida, että hengitettävien hiukkasten raja-arvotaso sekä kansallinen ohjearvo ylittyy yleensä katutasolla neljässä metrissä ja myös korkeammalla (9 ja 14 metrin korkeudella) kadunpuoleisella seinustalla voi esiintyä raja-arvotason ja ohjearvon ylityksiä. Sisäpihalla vuorokausipitoisuudet ovat pääsääntöisesti huomattavasti matalampia kuin kadun puolella, joten kansallisen ohjearvon ylitykset ovat siellä luultavasti epätodennäköisiä, mutta raja-arvotaso voinee ylittyä satunnaisesti myös sisäpihalla voimakkaimman katupölykauden aikaan. Ylitysarviointi koskee vain Mäkelänkadun tyyppistä ympäristöä. On myös syytä huomioda, että Mäkelänkadulla katupölyä torjutaan tehokkaasti keväisin imulakaisuilla ja pölynsidontakasteluilla. Tulevaisuudessa autokannan uudistuminen vähentää pakokaasuperäisiä päästöjä, mutta katupölyn muodostumiselle ei ole näkyvissä vähenemistä.

Typpidioksidille annettu kansallinen ohjearvo voi ylittyä kadunpuoleisella seinustalla katutason lisäksi myös yhdeksässä ja neljässätoista metrissä. Mittausten mukaan typpidioksidipitoisuudet ovat pääsääntöisesti katutasolla lähellä liikennettä suurimmat, mutta ilmakemialliset reaktiot otsonin kanssa vaikuttavat siten, että myös ylempänä muodostuu typpimonoksidista typpidioksidia. Sisäpihalla pitoisuudet ovat selvästi matalampia kuin kadun puolella, joten siellä ohjearvon ylittyminen on epätodennäköistä. Ylitysarviointi koskee vain Mäkelänkadun tyyppistä ympäristöä ja lähivuosien tilannetta. Liikenteen typenoksidipäästöt vähenevät autokannan uudistuessa, joten typpidioksidin pitoisuudet jatkavat laskuaan pitkällä aikavälillä.

Tämän tutkimushankkeen jälkeen HSY asetti passiivikeräimet myös Mäkelänkadun itäpuolen rakennuksen ullakkoikkunoiden korkeudelle sekä kadun että sisäpihan puolelle. Näin Mäkeläncadulta saadaan vielä itäpuoleltakin vuoden pituiselta mittausjaksolta korkeussuuntaisia tuloksia. Tulokset raportoidaan HSY:n ilmanlaadun vuosiraportissa vuonna 2020. Syys-joulukuun 2018 passiivikeräintulokset tukivat muutoin sensorituloksia, mutta itäpuolella kadun korkeussuuntainen laimenemisgradientti oli hieman pienempi (13 %) kuin länsipuolella (18 %). Tässä on huomioitava, että itäpuolella pitoisuudet olivat paljon matalammat kuin länsipuolella.

Tämän KAILA-hankkeen kaltaisille tutkimuksille on jatkossakin tarvetta. Olisi hyvä tutkia ilmanlaatua vielä mm. korkeammissa katukuiluissa sekä umpikortteliympäristöissä mittaamalla ilmanlaatua katukuilussa, umpikorttelissa ja poikkikatujen varrella. Lisäksi olisi tarve tutkia kuinka paljon rakennukset suojaavat ilmansaasteiden leviämiseltä, eli kuinka suuri merkitys rakennusmassalla on verrattuna etäisyyden kasvuun. Eli mitattaisiin ilmanlaatua vaakasuunnassa hengityskorkeudella katukuilumaisessa ympäristössä sekä avoimella kohdalla että rakennusten reunustamassa kohdassa, jossa liikennemäärät olisivat samat.

Lähdeluettelo

- Aarnio, P., Kousa, A., Malkki, M. 2016. Ilmanlaatu ja siihen vaikuttavat tekijät pääkaupunkiseudulla vuosina 2006 – 2015. Ilmansuojelusuunnitelman taustaraportti. HSY:n julkaisuja 9/2016.
- Aarnio, P., Matilainen, L., Loukkola, K. 2013. Ilmanlaatu pääkaupunkiseudulla vuonna 2012. HSY:n julkaisuja 5/2013.
- Airola, H. & Myllynen, M. 2015. [Ilmanlaatu maankäytön suunnittelussa](#). Uudenmaan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. Opas 2/2015.
- Berkowicz, R., 2000. OSPM - A parameterised street pollution model. Environ. Monit. and Assessment, 65(1-2): p. 323-331.
- Blomqvist, P. 2018. Mäkelänkadun liikennelaskenta. Kaupunkiympäristö, Liikenne- ja katusuunnittelu, Helsingin kaupunki. Saatu 9.10.2018
- [Helsingin ilmansuojelusuunnitelman esite](#). Helsingin kaupunki. 2016. Hyvän ilman Helsinki -Näin parannamme yhdessä ilmanlaatua. [Viitattu 3.11.2017].
- Helsingin kaupunki 2018. Liikennemääräkartat Helsingin alueelta vuodelta 2017.
- HSY. 2018. Mäkelänkadun ilmanlaadun mittausdata vuosilta 2015-2018. Helsingin seudun ympäristöpalvelut, Seutu- ja ympäristötieto, ilmansuojeluyksikkö. Saatu 16.10.2018
- Hänninen, O., Korhonen, A., Lehtomäki, H., Asikainen, A., Rumrich, I. Ilmansaasteiden terveysvaikutukset. Ympäristöministeriön raportteja 16/2016.
- Kaski, N., Aarnio, P., Loukkola, K., Portin, H. 2016. Ilmanlaatu pääkaupunkiseudulla vuonna 2015. HSY:n julkaisuja 6/2016.
- Kaski, N., Loukkola, K., Portin, H. 2017. Ilmanlaatu pääkaupunkiseudulla vuonna 2016. HSY:n julkaisuja 3/2017.
- Kuuluvainen, H., Poikkimäki, M., Järvinen, A., Kuula, J., Irjala, M., Dal Maso, M., Keskinen, J., Timonen, H., Niemi, J. V., Rönkkö, T. 2018. Vertical profiles of lung deposited surface area concentrations of particulate matter measured with a drone in a street canyon. Environmental Pollution 241, 96-105.
- Kurppa, M., Hellsten, A., Auvinen, M., Kousa, A., Kauhaniemi, M., Kaski, N. 2016. [LES-virtausmallitarkastelu kaupunkibulevardilla](#). Helsingin kaupungin kaupunkisuunnitteluviraston julkaisu. Tekijät: Helsingin yliopisto, Ilmatieteen laitos, Helsingin seudun ympäristöpalvelut. Saatavissa:
- Loukkola, K., Koskentalo, T., & Humaloja, T. Passiivikeräinmenetelmän uudistaminen syksyllä 2003, Muistio 2/2004, YTV Ympäristötoimisto
- Malkki, M. & Kousa, A. 2005. Ilmanlaadun typpidioksidimääritykset 2004. Eri etäisyyksillä, eri korkeuksilla. Muistio 1/2005. Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta (YTV). 26 p.
- Malkki, M. & Loukkola, K. 2015. Ilmanlaatu pääkaupunkiseudulla vuonna 2014. HSY:n julkaisuja 6/2015. Ilmanlaatudata 2014 -liiteosa, s. 27 – 28 ja 58, passiivikeräimet nro 9-14.
- Malkki, M., Loukkola, K. & Portin, H. 2018. Ilmanlaatu pääkaupunkiseudulla vuonna 2017. HSY:n julkaisuja 2/2018.
- Moilanen, K. 8.11.2018. [Täystyrmäys Helsingin kaupungille: Korkein hallinto-oikeus hylkäsi kaupunkibulevardit ja Keskuspuistoon rakentamisen – Malmin lentokentälle ei armoa](#). HS. [viitattu 9.11.2018].

- Pakkanen, T., Kerminen, V.-M., Loukkola, K., Hillamo, R., Aarnio, P., Koskentalo, T. & Maenhaut, W. 2003. Size distributions of mass and chemical components in street-level and rooftop PM 1 particles in Helsinki. *Atmospheric Environment* 37: 1673-1690.
- Qin, Y., Kot, S.C., 1993. Dispersion of vehicular emission in street canyons, Guangzhou city, South China (P.R.C.). *Atmospheric Environment* 27B, 283-291.
- Salmi, J., Laukkanen, E., Hellsten, A., Lovén, K. 2014. Kaupunkibulevardien ilmanlaatuselvitys. Helsingin kaupunkisuunnitteluviraston yleissuunnitteluosaston selvityksiä 2014:29
- SLB analys. 2013. Vertikal variation av luftföroreningarshalter i ett dubbelsidigt gaturum. Uppmättä halter av kvävedioxidier vid Sveavägen, Stockholm. SLB 11:2013.
- Valtioneuvoston asetus ilmanlaadusta. Suomen säädöskokoelma 79/2017.
- Valtioneuvoston päätös ilmanlaadun ohjearvoista. Suomen säädöskokoelma 480/1996.
- Väkevä, M., Hämeri, K., Kulmala, M., Lahdes, R., Ruuskanen, J. & Latinen, T. 1999. Street level versus rooftop concentrations of submicron aerosol particles and gaseous pollutants in an urban street canyon. *Atmospheric Environment* 33: 1385–1397.
- WHO 2006. Air Quality Guidelines: Global update 2005. ISBN 92-890-2192-6.
- Zoumakis, N.M., 1995. A note on average vertical profiles of vehicular pollutant concentrations in urban street canyons. *Atmospheric Environment* 29, 3719-3725

Liitteet

1. Lisätietoa kohteesta

Kuvia kohteesta



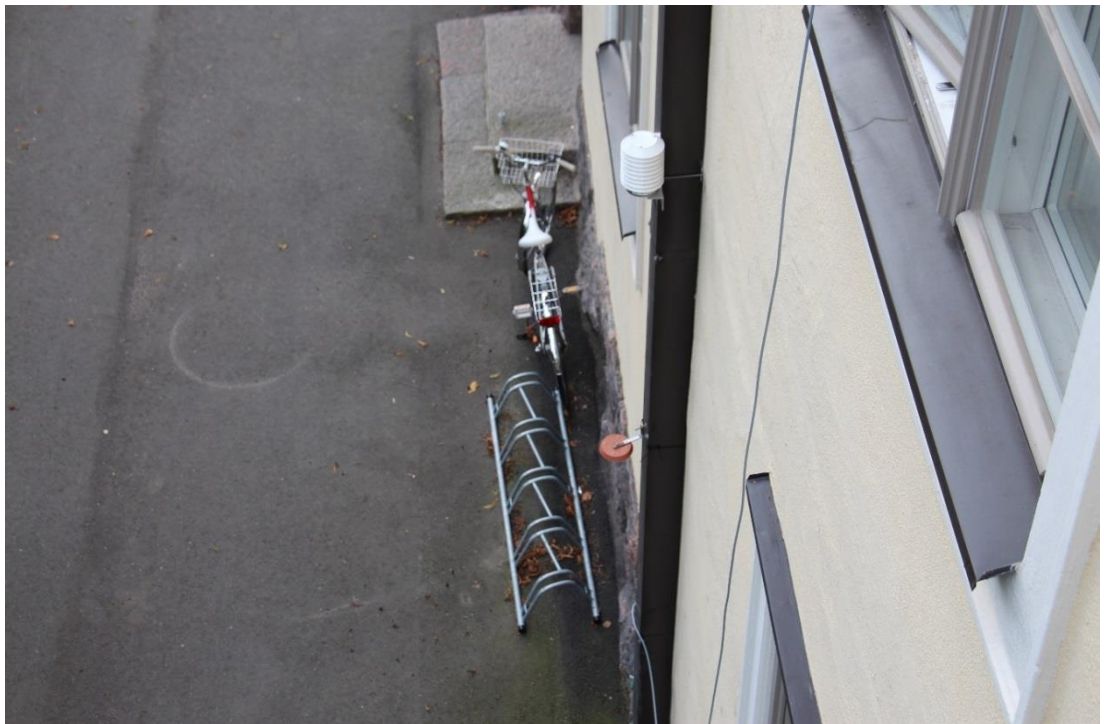
Kuva Mäkelänkadulta Mäkelänkatua pohjoiseen päin. Kuva: Jarkko Niemi/HSY



Sensorit mittausasemalla vertailumittauksissa ennen KAILA-hankkeen mittauksia. Kuva: Nelli Kaski/HSY



Sensorit laitettiin paikoilleen nosturin avulla. SP14 -sensorin asennus sisäpihalla. Kuva: Nelli Kaski/HSY



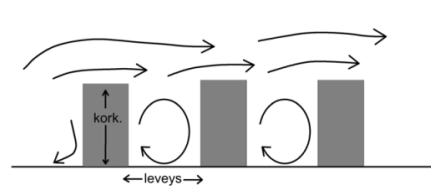
Sensori SP4 ja passiivikeräin 6 (sensorin alapuolella) sisäpihalla. Kuva: Nelli Kaski/HSY



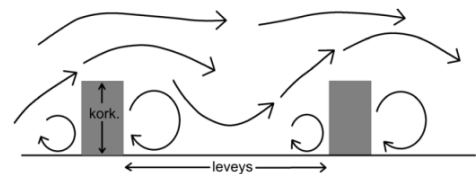
Sensori I4 ja passiivikeräin 3 Mäkelänkadun katukuilussa itäpuolella. Kuva: Nelli Kaski/HSY

Katukuilupyörre

Katukuilun katsotaan olevan kapea, kun kadunvarren rakennusten korkeuden ja kadun leveyden suhde on suurempi kuin 0,7. Tällöin vähäisemmälläkin liikennemäärällä ja siten vähäisellä päästö­määrällä ilman epäpuhtauksien pitoisuudet voivat kohota katukuilussa korkeiksi. Leveässä ka- tukuilussa (korkeus/leveys -suhde $< 0,7$) ilman epäpuhtauksien pitoisuudet laimenevat parem- min, koska sekoittuminen katukuilun ja yläpuolisen ilman välillä on huomattavasti tehokkaampaa. Mäkelänkatu on leveä katukuilu. Vallitseva tuulensuunta on lounaasta.



Kapeassa katukuilussa syntyy selvä tuulipyörre, ja pyörteen ja yläpuolisen tuulen välillä tapahtuva sekoittuminen jää niukaksi (ns. skimming flow -virtaustilanne).



Leveässä katukuilussa sekoittumista tapahtuu katukuilun ja yläpuolisen ilman välillä enemmän kuin kapeassa katukuilussa.

Lähde: Kaupunkibulevardien ilmanlaatuselvitys, Helsingin kaupunkisuunnitteluviraston yleissuunnitteluosaston selvityksiä 2014:29, s. 8-9

Liikennelaskennat

Liikennelaskennat on tehty Mäkelänkadun uimahallille menevän kävelysillan lähellä (kts. kartta-kuva alla). Kyseisessä paikassa on hieman suurempi liikennemäärä kuin Ilmanlaadun mittaus- aseman kohdalla. Tässä raportissa käytettiin liikennelaskennan tietoja ajalta 4.9.2017 -

1.10.2017. Tämän ajanjakson arvellaan edustavan hyvin koko vuotta. Liikennemäärissä on mukana molempiin suuntiin ajavat autot. Liikennemäärätiedot saatiin Helsingin kaupungin kaupunkiympäristön liikenne- ja katusuunnittelusta Petri Blomqvistilta.



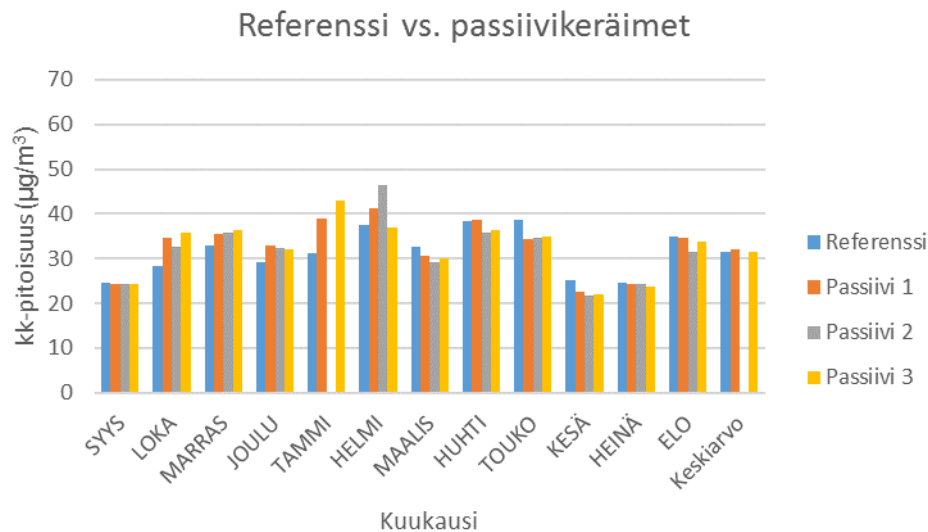
Liikennelaskentapisteen sekä Mäkelänkadun ilmanlaadun mittausaseman sijainnit.

Pääkaupunkiseudun opaskartta: © Espoon, Helsingin, Kauniaisten ja Vantaan kaupungit 2017

2. Laadunvarmennus ja korjausyhtälöt

A) Laadunvarmennus

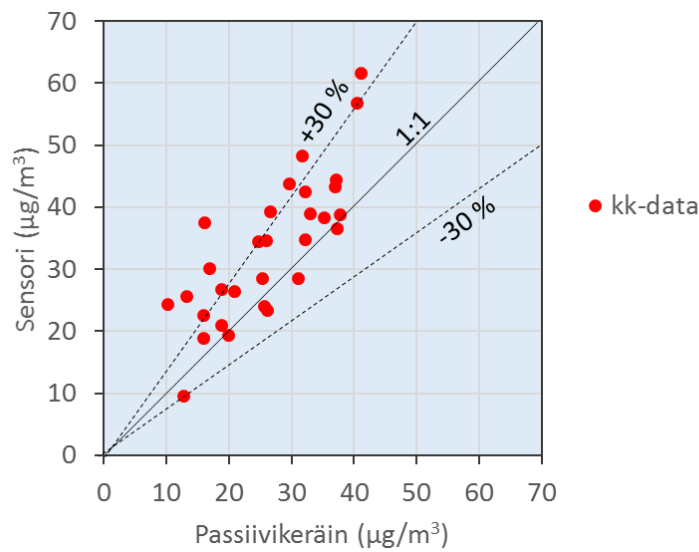
Passiivikeräimien vuosikeskiarvotulokset ovat luotettavia ja mittausasemien jatkuvien mittalaitteiden luokkaa. Kuukausikeskiarvoissa on hieman yli- tai aliarviota riippuen vuodenajasta. Alla olevassa kuvassa Referenssi tarkoittaa Mäkelänkadun mittausasemalla olevaa jatkuvatoimista mittalaitetta ja passiivit 1-3 ovat Mäkelänkadun mittausasemalla olevia passiivikeräimiä. Alla olevasta kuvasta näkee, että syksyllä ja talvella passiivikeräimet usein hieman yliarvioivat, kun taas keväällä ja kesällä ne aliarvioivat. Vuosikeskiarvot kuitenkin osuvat yleensä hyvin kohdilleen.



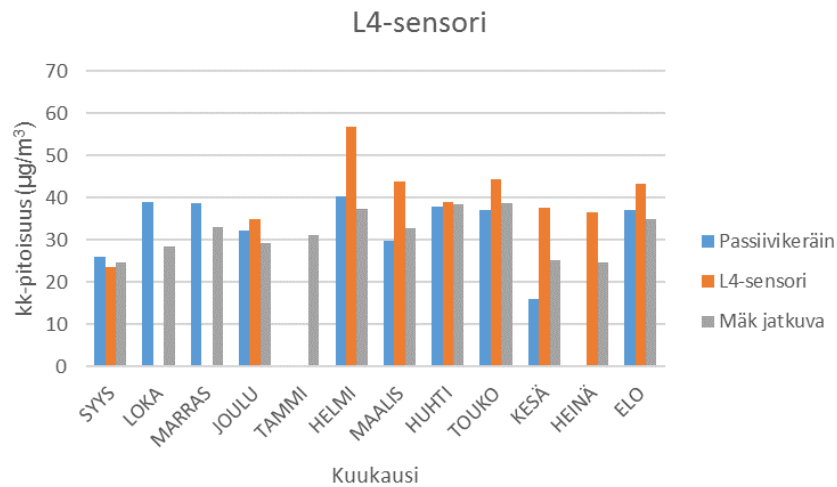
Sensorit eivät ole yhtä tarkkoja mittalaitteita kuin passiivikeräimet tai jatkuvatoimiset mittalaitteet ilmanlaadun mittausasemilla. AQT420 sensorien (vuoden 2017 sensorisukupolvi) mittaustulosten laadun arvioimiseksi niiden tyypidioksidimittaustuloksia on verrattu passiivikeräinten tyypidioksidimittaustuloksiin.

Alimmissa kolmessa sensoripisteissä (L4, I4 ja SP4) oli koko vuoden mittausten ajan rinnalla NO₂-passiivikeräimet. L4 -sensori oli myös melko lähellä Mäkelänkadun mittausaseman jatkuvatoimisia mittalaitteita. L4 -sensoriin verrattu passiivikeräin on passiivikeräin numero 2, I4 -sensoriin verrattu passiivikeräin on passiivikeräin numero 3 ja SP4 -sensoriin verrattu passiivikeräin on passiivikeräin numero 6 (kts. passiivikeräimien sijainnit: Luku 2.1.2, KUVA 4).

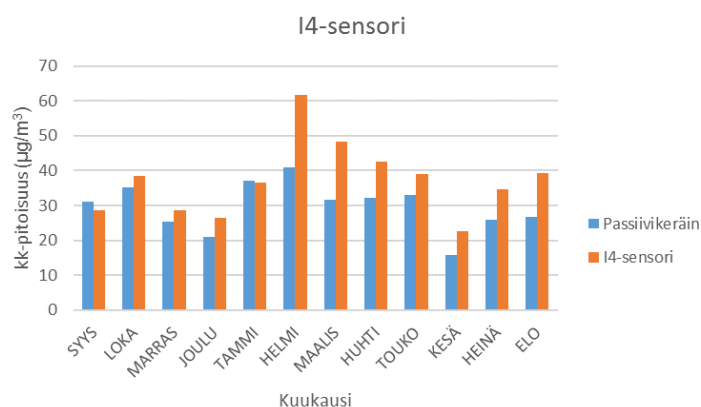
Passiivikeräinten ja sensoritulosten välillä on melko suuria eroja. Alla olevassa kuvassa on sekä sensorien että passiivikeräinten kuukausikeskiarvot niiltä kuukausilta kuin sensoridataa on yli 90 prosenttia (mukana myös SP4 tammikuu, jossa 89,5 prosenttia dataa). Sensorien kuukausikeskiarvoissa on täsmälleen samat mittausjaksot kuin siihen verrattavassa passiivikeräimessä. Alla olevasta kuvasta näkee, että sensoritulokset ovat selkeästi passiivikeräintuloksia suurempia.



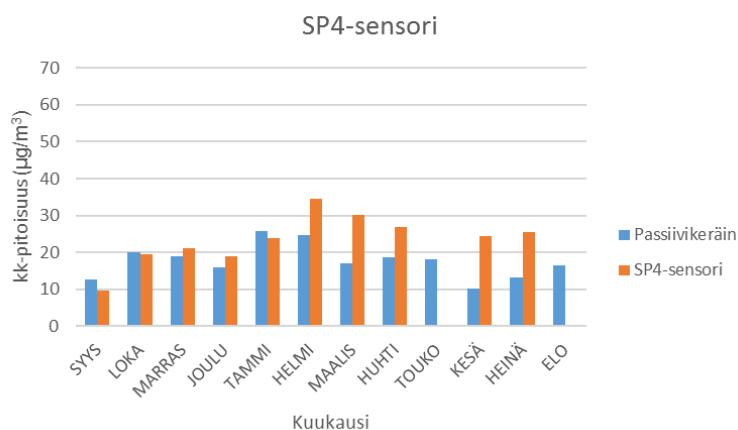
L4-sensoria verrattiin viereiseen passiivikeräimeen nro 2 sekä Mäkelänkadun mittausasemaan. L4-sensori vaihdettiin 8.11., 12.1. ja 20.3. Passiivikeräimen nro 2 tuloksia ei saatu tammi- eikä heinäkuussa. Loka-, marras- ja tammikuussa ei L4-sensorilta saatu riittävästi typpidioksididataa passiivikeräinvertailuun. L4 -sensori yliarvioi selvästi helmi-maaliskuussa sekä kesä-heinäkuussa. Kesäkuussa L4 -sensori yliarvioi reilusti passiivikeräimeen verrattuna, mutta toisaalta passiivikeräin taas aliarvioi mittausasemaan verrattuna.



I4 -sensori mittasi viisi ensimmäistä kuukautta suurin piirtein samoja pitoisuuksia kuin passiivikeräin, mutta alkoi yliarvioimaan helmikuusta 2018 eteenpäin. I4 -sensori vaihdettiin 27.11. ja 17.5.



SP4 -sensorikin mittasi viisi ensimmäistä kuukautta suurin piirtein samoja pitoisuuksia kuin passiivikeräin, mutta alkoi yliarvioimaan helmikuusta 2018 eteenpäin. SP4 -sensorilta ei saatu riittävästi dataa passiivikeräinvertailuun toukokuulta eikä elokuulta. SP4 -sensori vaihdettiin 17.5. Koska uusia sensoreita ei ollut saatavilla, tilalle laitettiin jo käytössä ollut sensori.



Koko yhtenäisen datajakson typpidioksidipitoisuuden keskiarvo L4-sensorilla oli 40 µg/m³ ja saman paikan passiivikeräimellä 32 µg/m³. Vieressä olevan mittausaseman jatkuvatoimisen mittalaitteen keskiarvo samoilta mittausjaksoilta oli 33 µg/m³. L4-sensori siis yliarvioi passiivikeräimeen verrattuna 25 prosenttia ja mittausasemaan verrattuna 21 prosenttia. I4-sensorilla koko yhtenäisen datajakson typpidioksidipitoisuuden keskiarvo oli 37 µg/m³ ja saman paikan passiivikeräimellä 30 µg/m³. Täten I4-sensori yliarvioi passiivikeräimeen verrattuna 23 prosenttia. SP4-sensorilla koko yhtenäisen datajakson typpidioksidipitoisuuden keskiarvo oli 23 µg/m³ ja saman paikan passiivikeräimellä 18 µg/m³. Täten SP4-sensori yliarvioi passiivikeräimeen verrattuna 28 prosenttia. Keskenään sensorit ovat kuitenkin hyvin verrattavissa.

B) Sensorien korjausyhtälöt

Alku- ja loppuvertailujen ajankohdat löytyvät tämän liiteluvun lopusta taulukosta.

	Alkuvertailu			Loppuvertailu		
	NO2			NO2		
Sensori	Kulmakerroin	Vakio	R2	Kulmakerroin	Vakio	R2
L14_1	0,81	-2,82	0,83	0,74	-4,94	0,89
L14_2	1,01	-5,45	0,85	0,76	-31,13	0,24
L14_3	1,00	-6,65	0,85	0,86	-4,82	0,87
L9_1	0,82	-4,59	0,79	-	-	-
L9_2	0,79	-3,76	0,87	0,80	-4,70	0,84
L4_1	0,87	-2,22	0,85	-	-	-
L4_2	0,92	-4,04	0,71	0,74	-0,81	0,90
L4_3	1,06	-3,33	0,92	0,76	-3,56	0,79
L4_4	0,99	-5,14	0,83	0,89	-5,90	0,80
I4_1	0,89	-1,52	0,88	0,67	-4,16	0,92
I4_2	1,00	-3,25	0,93	0,72	-1,30	0,90
I4_3	1,02	-8,38	0,83	0,82	-1,91	0,90
SP4_1	0,84	-2,32	0,88	1,02	-68,74	0,79
SP14_1	0,89	-2,36	0,89	0,70	-7,09	0,81
SP14_2	1,00	-7,90	0,83	0,84	-6,65	0,78

- laite vikaantunut, loppuvertailua ei ole pystytty tekemään

Typidioksidin kulmakerroin on pienempi suurimmalla osalla sensoreista loppuvertailun korjauskertoimissa, eli sensorien pitoisuudet näyttävät enemmän lopussa kuin alussa. R2 ei ole kovin suuresti muuttunut, eli hajonta referenssiin verrattuna on pysynyt suurin piirtein samana. Mitä lähempänä R2 arvo on lukua 1, sitä parempia tulokset ovat suhteessa referenssimittauksiin.

	Alkuvertailu			Loppuvertailu		
	NO			NO		
Sensori	Kulmakerroin	Vakio	R2	Kulmakerroin	Vakio	R2
L14_1	1,46	-26,40	0,59	-	-	-
L14_2	1,75	-21,39	0,9	0,9	-18,3	0,59
L14_3						
L9_1	1,47	-28,44	0,55	1,5	-16,8	0,88
L9_2	1,70	-18,38	0,95	1,7	-29,3	0,84
L4_1	1,41	-25,43	0,61	1,8	-15,2	0,64
L4_2	1,75	-15,43	0,94	-	-	-
L4_3	1,37	-14,75	0,91	-	-	-
L4_4	1,65	-17,59	0,96	1,6	-28,6	0,84
I4_1	1,45	-26,14	0,72	2,4	-26,4	0,59
I4_2	1,37	-13,73	0,93	-	-	-
I4_3						
SP4_1	1,46	-28,70	0,54	1,2	-28,3	0,40
SP14_1	1,45	-27,67	0,53	2,5	-32,8	0,86
SP14_2	1,92	-22,42	0,90	1,7	-28,0	0,82

- laite vikaantunut, loppuvertailua ei ole pystytty tekemään

Kesän alkuvertailussa olleiden ensimmäisten kuuden sensorin NO tuloksia ei ole tässä raportissa raportoitu. Myöhempien sensoreiden kulmakertoimet eivät ole juurikaan muuttuneet alku ja loppuvertailuissa. Korjauskertoimen vakio nousi vertailujen välillä, eli mittauksen nollassa muuttui hieman ylöspäin (dataa vain kolmesta sensorista). R2 arvossa oli lievää laskua.

	Alkuvertailu			Loppuvertailu		
	CO			CO		
Sensori	Kulmakerroin	Vakio	R2	Kulmakerroin	Vakio	R2
L14_1	1,36	0,02	0,71	1,69	0,06	0,69
L14_2	1,10	0,03	0,84	1,04	0,04	0,74
L14_3	0,98	0,06	0,76	1,15	0,04	0,84
L9_1	1,00	0,03	0,81	-	-	-
L9_2	1,62	0,03	0,87	1,27	0,12	0,83
L4_1	0,96	0,02	0,85	1,23	0,03	0,70
L4_2	1,24	0,00	0,84	1,49	-0,07	0,65
L4_3	1,24	0,11	0,89	1,29	0,09	0,72
L4_4	1,29	0,14	0,95	1,23	0,14	0,80
I4_1	1,08	0,02	0,81	1,08	0,06	0,83
I4_2	1,22	0,08	0,89	1,26	0,04	0,78
I4_3	1,04	0,06	0,78	1,21	0,05	0,84
SP4_1	1,29	-0,02	0,61	-	-	0,00
SP14_1	1,86	-0,18	0,58	2,75	-0,23	0,42
SP14_2	1,45	0,09	0,85	1,35	0,15	0,75

- laite vikaantunut, loppuvertailua ei ole pystytty tekemään

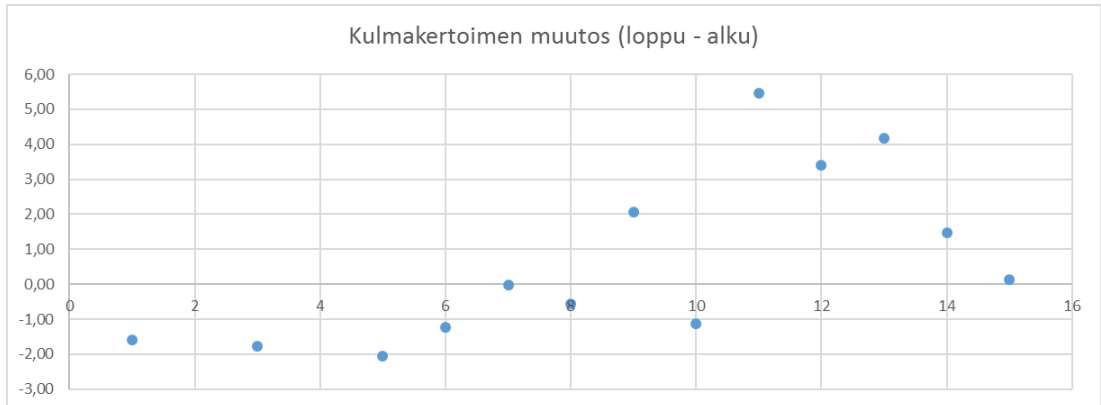
Hiilimonoksidin kulmakertoimessa ei tapahtunut suurta muutosta kumpaankaan suuntaan alku- ja loppuvertailujen välillä. Vakio pysyi myös suurin piirtein samana. R2 arvossa oli laskeva trendi, eli hajontaa suhteessa referenssiin oli lopussa enemmän kuin alussa.

	Alkuvertailu			Loppuvertailu		
	PM10			PM10		
Sensori	Kulmakerroin	Vakio	R2	Kulmakerroin	Vakio	R2
L14_1	6,20	-2,59	0,53	4,61	2,94	0,92
L14_2	1,67	1,91	0,69	1,64	-2,06	0,36
L14_3	0,85	1,04	0,86	0,97	-2,53	0,67
L9_1	4,40	-2,72	0,50	-	-	-
L9_2	4,34	7,01	0,66	9,80	-5,37	0,42
L4_1	3,49	-2,22	0,53	2,27	4,68	0,84
L4_2	1,99	1,26	0,59	1,43	6,46	0,73
L4_3	3,43	1,49	0,96	2,31	1,85	0,74
L4_4	3,51	6,80	0,74	6,91	-9,68	0,04
I4_1	5,60	-3,57	0,51	3,55	3,62	0,94
I4_2	5,90	1,40	0,95	7,95	-2,98	0,67
I4_3	1,36	0,72	0,86	2,84	-5,66	0,40
SP4_1	4,24	-2,62	0,51	2,48	0,12	0,86
SP14_1	3,91	-2,37	0,51	-	-	-
SP14_2	4,99	4,45	0,75	9,16	-5,49	0,14

- laite vikaantunut, loppuvertailua ei ole pystytty tekemään

Alla olevasta kuvasta näkee, että ensimmäisissä vertailumittauksissa olleiden sensorien hengittävien hiukkasten kulmakertoimet olivat loppuvertailuissa pienemmät kuin alkuvertailuissa ja

myöhemmin tehdyillä vertailumittauksilla kulmakertoimet olivat loppuvertailuissa suuremmat kuin alkuvertailuissa. Tämä vaikutti tuloksiin siten, että kesän matalilla pitoisuuksilla tehtyjen alkuvertailujen vuoksi sensorit todennäköisesti yliarvioivat hengitetävien hiukkasten pitoisuuksia kovilla pitoisuuksilla katupölykaudella.



Sensorien järjestys (numerot x-akselilla) on se missä järjestyksessä vertailuja tehty, eli ei sama kuin korjauskertoimet -taulukkojen sensorien järjestys.

Mitä lähempänä R2 arvo on lukua 1, sitä parempia tulokset ovat suhteessa referenssimittauksiin. Hengitetävien hiukkasten R2 arvo on huonompi kesän ensimmäisissä alkuvertailuissa, jolloin pitoisuudet olivat matalia.

Sensorien vertailujaksot eri aikoina ja vertailujakson PM₁₀ pitoisuustaso

Sensori	Vertailujakson aloitus	Vertailujakson lopetus	Lopetusvertailun aloitus	Lopetusjakson lopetus	Alku	Loppu	Vertailujakson PM ₁₀ *
L14_1	20.7.2017	28.8.2018	1.12.2017	4.1.2018	1.9.2017	8.11.2017	matalat pitoisuudet
L14_2	9.10.2017	30.10.2017	5.6.2018	30.6.2018	8.11.2017	4.6.2018	
L14_3	20.4.2018	14.5.2018	9.9.2018	18.10.2018	4.6.2018	31.8.2018	
L9_1	20.7.2017	28.8.2018	21.3.2018	18.4.2018	1.9.2017	25.1.2018	matalat pitoisuudet
L9_2	15.2.2018	20.3.2018	9.9.2018	18.10.2018	20.3.2018	31.8.2018	
L4_1	20.7.2017	28.8.2018	12.12.2017	5.2.2018	1.9.2017	8.11.2017	matalat pitoisuudet
L4_2	9.10.2017	30.10.2017	14.1.2018	5.2.2018	8.11.2017	12.1.2018	
L4_3	11.11.2017	27.11.2017	21.3.2018	18.4.2018	12.1.2018	20.3.2018	
L4_4	22.2.2018	20.3.2018	9.9.2018	18.10.2018	20.3.2018	31.8.2018	
I4_1	20.7.2017	28.8.2018	27.11.2017	11.12.2017	1.9.2017	27.11.2017	matalat pitoisuudet
I4_2	11.11.2017	27.11.2017	18.5.2018	6.6.2018	27.11.2017	17.5.2018	
I4_3	20.4.2018	14.5.2018	9.9.2018	18.10.2018	17.5.2018	31.8.2018	
SP4_1	20.7.2017	28.8.2018	5.5.2018	5.6.2018	1.9.2017	4.5.2018	matalat pitoisuudet
SP14_1	20.7.2017	28.8.2018	21.3.2018	15.4.2018	1.9.2017	20.3.2018	
SP14_2	22.2.2018	20.3.2018	9.9.2018	18.10.2018	20.3.2018	31.8.2018	

*jos vertailujakson pitoisuudet matalia, tulee korjausyhtälöön suuri kulmakertoimen arvo; ts. tällainen sensori yliarvio PM₁₀-pitoisuuksia jos katupölyä paljon ilmassa

Vertailujaksojen ajankohdat ja vertailujakson olosuhteet vaikuttavat korjausyhtälöihin ja siten tuloksiin.

3. Sensorien vikaantumiset ja vaihdot

Sensori	vikaantui	vika	vaihto
L14	13.9.2017	NO rikki	uusi sensori 8.11.2017
		NO2 tulos outo	uusi sensori 4.6.2018
		NO-tulos kelvoton 4.6.-31.8.	
L9	25.1.2018	kaikki paitsi NO	uusi sensori 20.3.2018
L4	18.10.2017	NO2 rikki	uusi sensori 8.11.2017
	7.1.2018	NO rikki	uusi NO 12.1.2018
	1.-8.2.2018	hiukkasmittaus jäässä	
	13.3.2018	NO rikki	uusi sensori 20.3.2018
I4	19.10.2017	NO rikki	uusi sensori 27.11.17
	12.5.2018	NO rikki	uusi sensori 17.5.2018
		NO-tulos kelvoton 31.8.asti	
SP4	Vertailuun 4.5.2018	Vertailussa CO ja NO2 hajonnut	uusi sensori 17.5.2018 (NO valmiiksi rikki)
	Sensori pimeäksi 27.7.2018		
SP14	25.1.2018	NO virh.	
	9.3.2018	PM10 virheellinen	uusi sensori 20.3.18

L9 Ei jälkivertailua saatavilla (pois lukien NO), toiminnassa 1.9.2017 - 25.1.2018

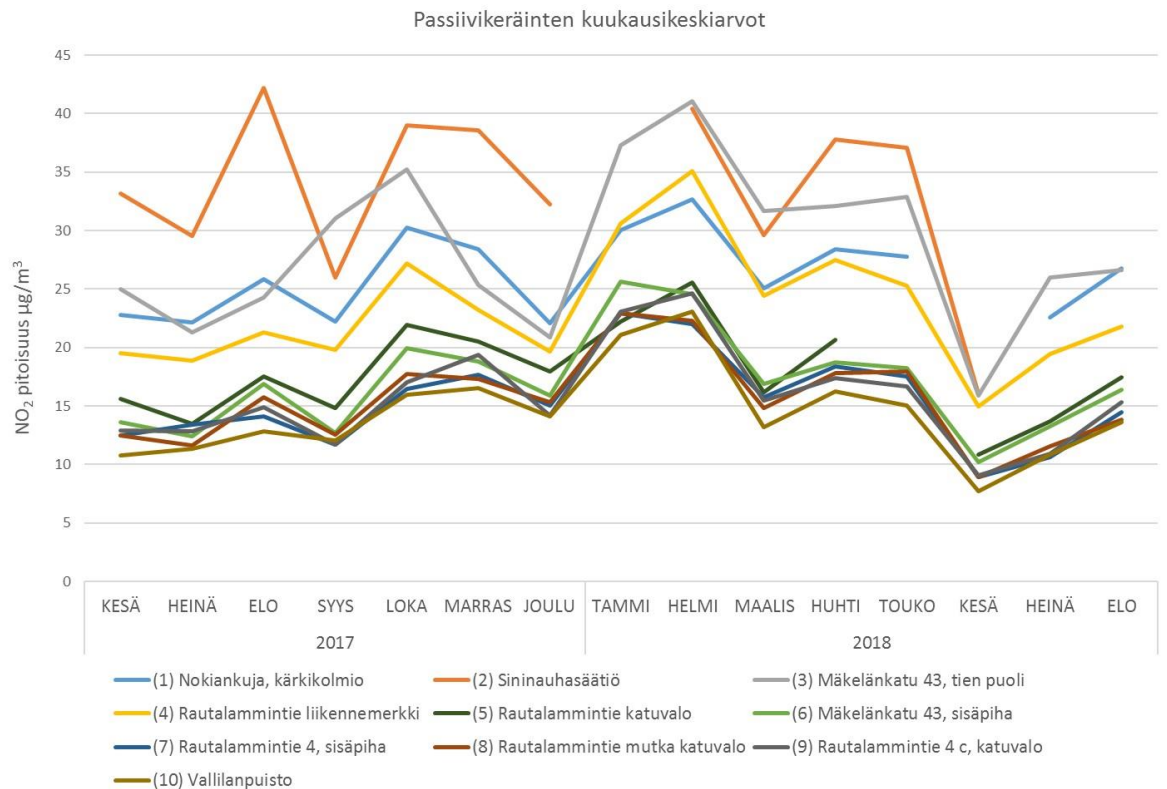
SP14 PM10 jälkivertailua ei saatavilla, PM10 toiminnassa 1.9.2017 - 9.3.2018

4.6. jälkeen ei enää tehty vaihtoja siinäkään tapauksessa, että olisi ollut tarvetta.

4. Mittaustulokset

Passiivikeräinten typpidioksidin (NO₂) kuukausikeskiarvot

Passiivikeräin	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2017										
KESÄ	22,8	33,1	25,0	19,5	15,6	13,6	12,5	12,5	12,9	10,8
HEINÄ	22,2	29,6	21,3	18,9	13,5	12,4	13,4	11,6	12,8	11,3
ELO	25,9	42,2	24,3	21,3	17,5	16,9	14,1	15,7	14,9	12,9
SYYS	22,2	26,0	31,0	19,8	14,8	12,7	11,7	12,5	11,7	12,0
LOKA	30,2	39,0	35,2	27,2	21,9	19,9	16,4	17,7	17,0	16,0
MARRAS	28,4	38,5	25,4	23,2	20,5	18,8	17,6	17,3	19,4	16,5
JOULU	22,0	32,2	20,9	19,7	18,0	15,9	15,0	15,3	14,2	14,1
2018										
TAMMI	30,0		37,3	30,6	22,2	25,7	22,9	22,9	23,1	21,1
HELMİ	32,6	40,4	41,1	35,1	25,5	24,6	22,0	22,3	24,6	23,1
MAALIS	25,0	29,6	31,6	24,5	16,2	16,9	15,8	14,8	15,4	13,2
HUHTI	28,4	37,8	32,1	27,5	20,6	18,7	18,4	17,8	17,4	16,2
TOUKO	27,7	37,1	32,9	25,3		18,2	17,5	17,9	16,7	15,0
KESÄ		16,0	15,9	15,0	10,9	10,2	8,9	8,9	9,0	7,7
HEINÄ	22,6		26,0	19,5	13,7	13,3	10,7	11,6	10,9	10,8
ELO	26,7	37,0	26,6	21,8	17,4	16,4	14,5	13,8	15,3	13,6
ka 9/2017-8/2018	27	33	30	24	18	18	16	16	16	15



Sensorien kuukausikeskiarvot (µg/m³) ja mittausten ajallinen edustavuus (%)

Huom. länsi- ja itäpuolen tulokset on yhtenäistetty keskenään, eli niissä voi olla eri määrä dataa kuukaudessa.

Typpidioksidi, NO₂

Kuukausikeskiarvot (µg/m³)

kuukausi	L14	L9	L4	I4	SP4	SP14
2017						
syyskuu	19	21	23	29	10	12
lokakuu	26	28	31	29	14	16
marraskuu				29	19	20
joulukuu				27	19	19
2018						
tammikuu				40	26	26
helmikuu				58	34	36
maaliskuu				47	34	36
huhtikuu		37	38	43	26	26
toukokuu		37	43			
kesäkuu	29	30	38			
heinäkuu	29	32	35			
elokuu	38	39	44			

Ajallinen edustavuus (%)

kuukausi	L14	L9	L4	I4	SP4	SP14
2017						
syyskuu	100	100	100	100	100	100
lokakuu	56	56	56	56	56	56
marraskuu				70	70	70
joulukuu				100	100	100
2018						
tammikuu				55	55	55
helmikuu				100	100	100
maaliskuu				32	32	32
huhtikuu		99	99	99	99	99
toukokuu		100	100			
kesäkuu	83	83	83			
heinäkuu	98	98	98			
elokuu	97	97	97			

Typenoksidit, NO_x

Kuukausikeskiarvot (µg/m³)

kuukausi	L14	L9	L4	I4	SP4	SP14
2017						
syyskuu						
lokakuu						
marraskuu						
joulukuu						
2018						
tammikuu						
helmikuu						
maaliskuu				76		31
huhtikuu		79	85	70		33
toukokuu		116	123			
kesäkuu		78	88			
heinäkuu		94	95			
elokuu		92	103			

Ajallinen edustavuus (%)

kuukausi	L14	L9	L4	I4	SP4	SP14
2017						
syyskuu						
lokakuu						
marraskuu						
joulukuu						
2018						
tammikuu						
helmikuu						
maaliskuu				32		32
huhtikuu	98	98	98	99		99
toukokuu		100	100			
kesäkuu		100	100			
heinäkuu		98	98			
elokuu		92	92			

Hiilimonoksidi, CO

Kuukausikeskiarvot (mg/m³)

kuukausi	L14	L9	L4	I4	SP4	SP14
2017						
syyskuu	0,150	0,164	0,184	0,188	0,114	0,123
lokakuu	0,154	0,164	0,192	0,164	0,103	
marraskuu	0,208		0,231	0,172	0,107	
joulukuu	0,221		0,249	0,227	0,110	
2018						
tammikuu	0,260		0,283	0,281	0,150	
helmikuu	0,268		0,285	0,283	0,173	
maaliskuu	0,234		0,255	0,268	0,158	
huhtikuu	0,213		0,251	0,238		
toukokuu	0,209		0,275	0,223		
kesäkuu	0,189		0,212	0,179		
heinäkuu	0,205		0,252	0,215		
elokuu	0,209		0,255	0,198		

Ajallinen edustavuus (%)

kuukausi	L14	L9	L4	I4	SP4	SP14
2017						
syyskuu	100	100	100	100	100	100
lokakuu	100	100	100	100	100	
marraskuu	95		95	100	100	
joulukuu	100		100	100	100	
2018						
tammikuu	65		65	90	90	
helmikuu	100		100	100	100	
maaliskuu	32		32	63	63	
huhtikuu	99		99	100		
toukokuu	100		100	53		
kesäkuu	95		95	95		
heinäkuu	98		98	96		
elokuu	97		97	100		

Hengitettävät hiukkaset, PM₁₀

Kuukausikeskiarvot (µg/m³)

kuukausi	L14	L9	L4	I4	SP4	SP14
2017						
syyskuu	7,1	8,5	9,5	10,2	6,7	5,8
lokakuu	4,7	6,3	6,8	8,0	4,3	3,5
marraskuu	19,1	21,7	22,6	13,2	5,9	4,7
joulukuu	8,5	9,0	11,7	9,1	3,2	2,4
2018						
tammikuu	9,1	11,0	11,9	16,1	7,7	6,2
helmikuu	15,4		23,3	36,2	7,8	7,1
maaliskuu	18,2	25,7	26,4	64,3	15,3	
huhtikuu	30,7	38,8	46,7	30,9	26,4	
toukokuu		31,2	41,7	27,5	18,5	
kesäkuu	20,5	25,3	35,2	14,4	9,9	
heinäkuu	14,6	18,7	24,7	15,9	8,8	
elokuu	18,0	21,2	30,0	23,0		

Ajallinen edustavuus (%)

kuukausi	L14	L9	L4	I4	SP4	SP14
2017						
syyskuu	98	98	98	98	98	98
lokakuu	97	97	97	97	97	
marraskuu	94		94	100	100	
joulukuu	99		99	99	99	
2018						
tammikuu	53		53	87	87	
helmikuu	71		71	97	97	
maaliskuu	32		32	57	57	
huhtikuu	90		90	88		
toukokuu	51		51	51		
kesäkuu	68		68	93		
heinäkuu	84		84	95		
elokuu	96		96	99		



Tässä kuvassa kaikilla sensoreilla on samanpituisen mittausjakso, joten ne ovat keskenään vertailtavissa. Mittausajankohdaksi valittiin syyskuu, koska silloin on kaikilta sensoreilta dataa olemassa. Silloin ei kuitenkaan ollut paljon katupölyä, joten se vaikuttaa hengitettävien hiukkasten tuloksiin. Typpidioksidipitoisuudet kulkeutuvat katukuilusta rakennusten yli sisäpihalle, jolloin sisäpihalla kattotasolla on suuremmat pitoisuudet kuin katutasolla. Hengitettävien hiukkasten osalta sisäpihalla katutasolla on suuremmat pitoisuudet kuin ylempänä kattotasolla.

Kuvailulehti

Tekijä	Nelli Kaski, Taneli Mäkelä ja Jarkko Niemi
Nimike	Ilmanlaatu vilkasliikenteisessä katukuilussa ja sen lähiympäristössä
Sarjan nimike	Helsingin kaupungin kaupunkiympäristön aineistoja
Sarjanumero	2020:29
Julkaisuaika	11:2020
Sivuja	56
Liitteitä	4
ISBN	978-952-331-859-5
ISSN	2489-4257 (verkkojulkaisu)
Kieli, koko teos	Suomi
Kieli, yhteenveto	Suomi

Tiivistelmä:

Tämä raportti on Helsingin seudun ympäristöpalveluiden (HSY) ja Helsingin kaupungin ympäristöpalveluiden yhteisen Kaupunkibulevardien ilmanlaatugradientit -hankkeen (KAILA) loppuraportti. KAILA-hanke käynnistyi vuonna 2017, ja sen tavoitteena oli tuottaa uutta ilmanlaatatietoa, jota voidaan hyödyntää kaupunkibulevardien ja muiden vilkasliikenteisten katu ympäristöjen kaavoituskohteiden tarkentamisessa. KAILA-hankkeessa mitattiin ilmanlaatua eri korkeuksilla ja etäisyyksillä vilkasliikenteisessä katukuilussa ja sen lähiympäristössä. Kohteena oli Helsingissä Mäkelänkatu, joka on vilkasliikenteinen kaupunkibulevardimainen alue. Katukuilun leveys on 42 metriä ja rakennusten korkeus noin 17 metriä, joten mittauspaikka edustaa leveää katukuilua. Mittaukset aloitettiin elo-syyskuun vaihteessa vuonna 2017 ja ne kestivät vuoden. Korkeussuuntaiset mittaukset tehtiin Vaisalan AQT420 -sensoreilla, joilla mitattiin typpidioksidin (NO_2), typpimonoksidin (NO), hiilimonoksidin eli hään (CO) ja hengitettävien hiukkasten (PM_{10}) pitoisuuksia. Ilmansaasteiden laimenemista vaakasuunnassa etäännyttäessä kadusta tarkasteltiin typpidioksidin passiivikeraimittauksilla.

Katukuilussa ilmansaasteet laimenivat ylöspäin mentäessä ja olivat kadunpuoleisella seinustalla räystääsolla (14 m korkeudella) typpidioksidin osalta 82 prosenttia ja hengitettävien hiukkasten osalta 67 prosenttia hengityskorkeudella olevista pitoisuuksista. Kerrostalojen takana sisäpihan oleskelualueella typpidioksidipitoisuudet olivat 60 prosenttia ja hengitettävien hiukkasten pitoisuudet 47 prosenttia katukuilun pitoisuuksista. Tässä raportissa keskityttiin typpidioksidiin ja hengitettäviin hiukkasiin, koska näiden sensoriaineistojen laatu oli paras ja ne ovat tärkeimpiä kaupunki-ilman saasteita ja tulee huomioida kaupunkisuunnittelussa. Näiden lisäksi sensoreilla mitattiin typpimonoksidia ja hiilimonoksidia eli häkää, joiden tulokset tukivat edellä mainittuja tuloksia.

Tutkimustulokset osoittivat, että katua reunustava pitkä kerrostalo vähentää ilmansaasteiden leviämistä sisäpihalle tai kauemmas rakennusten taakse, mutta se aiheuttaa suuremmat pitoisuudet katukuiluun, kerrostalon kadunpuoleisille seinustoille. Katua reunustavien kerrostalojen välissä olevissa aukkopaikoissa pitoisuudet olivat selkeästi pienemmät kuin kuilumaisessa paikassa. Etäännyttäessä kadusta pitoisuudet laimenivat melko nopeasti. 125 metrin etäisyydellä pitoisuudet olivat jo noin kaupunkitaustan tasolla. Tutkimustietoa voidaan hyödyntää kaupunkibulevardien ja muiden vilkasliikenteisten katukuiluja sisältävien alueiden kaavoituskohteiden tarkentamisessa ja ilmanlaatuvaikutusten arvioinnissa. Mittaustuloksista on hyötyä mm. katutilan, parvekkeiden, ilmanottoaikkujen ja piha- ja leikkipaikkojen suunnittelussa. Tulokset edustavat Mäkelänkadun tyyppistä katukuiluympäristöä. Tämä raportti sisältää myös kirjallisuuskatsauksen, johon koottiin muiden samantyyppisten tutkimusten tuloksia.

Avainsanat: ilmanlaatu, kaupunkiympäristö, katukuilu, liikenteen päästöt, ilmanlaatugradientti