



ILMANLAATUSELVITYS

AUTOLIIKENTEN P^{کم} ST EN VAIKUTUS ILMANLAATUUN LAAJASALON KAUPPAKESKUKSEN ASEMAKAAVA-ALUEELLA



Ilmanlaatuselvitys

**Autoliikenteen päästöjen vaikutus ilmanlaatuun
Laajasalon kauppakeskuksen asemakaava-alueella**

**Hanna Hannuniemi
Katja Lovén**

**ILMATIETEEN LAITOS – ILMANLAATU JA ENERGIA
ASiantuntijapalvelut
Helsinki 16.9.2016**

SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO	3
2.1	Ilmanlaatuun vaikuttavat tekijät.....	3
2.2	Typpidioksidi.....	4
2.3	Hiukkaset.....	5
2.4	Ilmanlaadun raja- ja ohjearvot	6
3	MENETELMÄT.....	8
3.1	Leviämismallilaskelmien kuvaus.....	8
3.2	Viivalähdemalli (CAR-FMI)	8
3.3	Katukuilumalli (OSPM)	10
4	TUTKIMUSALUE JA LÄHTÖTIEDOT	12
4.1	Liikennemäärät ja päästölaskenta	13
4.2	Viivalähdemallinnuksen lähtötiedot.....	14
4.3	Katukuilumallinnuksen lähtötiedot	16
4.4	Meteorologiset tiedot	18
5	TULOKSET	19
5.1	Typpidioksidipitoisuudet (NO ₂)	19
5.2	Pienhiukkaspitoisuudet (PM _{2,5}).....	22
6	YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET	25
	VIITELUETTELO.....	28

1 JOHDANTO

Tässä tutkimuksessa arvioitiin leviämismallilaskelmin autoliikenteen päästöjen vaikutusta ilmanlaatuun Helsingin Laajasalon kauppakeskuksen asemakaava-alueella. Ilmanlaatuselvitys toteutettiin asemakaavamuutoksen tueksi ja tarkoituksena oli varmistaa, että ulkoilman laatu on riittävän hyvä korttelin alueella.

Tutkimuksessa tarkasteltiin ulkoilman typpidioksidin (NO₂) ja pienhiukkasten (PM_{2,5}) pitoisuuksia Euro 4 -päästötasoa edustavilla autoliikenteen ajoneuvotyyppi-kohtaisilla ja nopeusriippuvaisilla päästökertoimilla. Laskelmat tehtiin käyttäen tulevaa tilannetta edustavia ennustettuja autoliikenteen määriä. Liikenteen päästöjen aiheuttamat typpidioksidi- ja pienhiukkaspitoisuudet laskettiin Ilmatieteen laitoksella liikenteen päästöjen leviämisen mallintamiseen kehitetyllä leviämismallilla (CAR-FMI). Lisäksi tarkasteltiin tanskalaisella katukuilumallilla (OSPM) pitoisuuksien muodostumista Laajasalontien ja Reposalmentien katukuilumaisilla osuuksilla usealla eri korkeustasolla.

Ilmanlaatuselvityksen tilasi ja lähtötiedot toimitti Helsingin kaupunkisuunnitteluvirasto. Päästöjen leviämismallilaskelmat tehtiin Ilmatieteen laitoksen Asiantuntijapalvelut -yksikössä.

2 TAUSTATIETOA ILMAN EPÄPUHTAUKSISTA

2.1 Ilmanlaatuun vaikuttavat tekijät

Ilmanlaatua heikentävien ilmansaasteiden suurimpia päästölähteitä Suomessa ovat liikenne, energiantuotanto, teollisuus ja puun pienpoltto. Ilmansaasteita kulkeutuu Suomeen myös kaukokulkeutena maamme rajojen ulkopuolelta. Ilmansaasteiden päästöistä suurin osa vapautuu ilmakehän alimpaan kerrokseen, jota kutsutaan ilmakehän rajakerrokseksi. Rajakerroksessa päästöt sekoittuvat ympäröivään ilmaan ja ilmansaasteiden pitoisuudet laimenevat. Päästöt voivat levitä liikkuvien ilmamassojen mukana laajoille alueille. Tämän kulkeutumisen aikana ilmansaasteet voivat reagoida keskenään sekä muiden ilmassa olevien yhdisteiden kanssa muodostaen uusia yhdisteitä. Ilmansaasteet poistuvat ilmasta sateen huuhtomina (märkälasseuma), kuivalasseumana erilaisille pinnoille tai kemiallisen muutunnan kautta.

Ilmansaasteiden leviäminen tapahtuu pääosin ilmakehän alimmassa osassa, rajakerroksessa. Sen korkeus on Suomessa tyypillisesti alle kilometri, mutta varsinkin kesällä se voi nousta yli kahteen kilometriin. Matalimmat rajakerroksen korkeudet havaitaan yleensä talvella kovilla pakkasilla. Rajakerroksen korkeus määrää ilmatilavuuden, johon päästöt voivat välittömästi sekoittua. Rajakerroksen tuuliolosuhteet määräävät karkeasti ilmansaasteiden kulkeutumissuunnan, mutta rajakerroksen ilmavirtausten pyörteisyys ja kerroksen korkeus vaikuttavat merkittävästi ilmansaasteiden sekoittumiseen ja pitoisuuksien laimenemiseen kulkeutumisen aikana. Leviämisen kannalta keskeisiä meteorologisia tekijöitä ovat tuulen suunta ja nopeus, ilmakehän stabiilisuus ja sekoituskorkeus. Ilmakehän stabiilisuus

della tarkoitetaan ilmakehän herkkyyttä pystysuuntaiseen sekoittumiseen. Stabiiliisuuden määrää ilmakehän pystysuuntainen lämpötilarakenne sekä mekaaninen turbulenssi eli alustan kitkan synnyttämä ilman pyörteisyys.

Inversiolla tarkoitetaan tilannetta, jossa ilmakehän lämpötila nousee ylöspäin mentäessä. Erityisesti maanpintainversion aikana ilmanlaatu voi paikallisesti huonontua nopeasti. Maanpintainversiossa maanpinta ja sen lähellä oleva ilmakerros jäähtyy niin, että kylmempi ilma jää ylempänä olevan lämpimämmän ilman alle. Kylmä pintailma ei raskaampana pääse kohoamaan yläpuolellaan olevan lämpimän kerroksen läpi, ja ilmakehän pystysuuntainen liike estyy. Inversiokerroksessa tuuli on hyvin heikkoa ja ilmaa sekoittava pyörteisyys on vähäistä, minkä vuoksi ilmaansaasteet laimenevat huonosti. Inversiotilanteissa pitoisuudet kohoavat taajamissa etenkin liikenneruuhkien aikana, koska ilmansaasteet kerääntyvät matalaan ilmakerrokseen päästölähteiden lähelle.

2.2 Typpidioksidi

Typen yhdisteitä vapautuu päästölähteistä ilmaan typen oksideina eli typpimonoksidina (NO) ja typpidioksidina (NO₂). Näistä yhdisteistä terveysvaikutuksiltaan haitallisempaa on typpidioksidi, jonka pitoisuuksia ulkoilmassa säädellään ilmanlaadun ohje- ja raja-arvoilla. Typpidioksidin määrään ilmassa vaikuttavat myös kemialliset muutuntareaktiot, joissa typpimonoksidi hapettuu typpidioksidiksi. Ulkoilman typpidioksidipitoisuuksille altistuminen on suurinta kaupunkien keskustojen ja taajamien liikenneympäristöissä. Typpidioksidipitoisuudet kohoavat tyypillisesti ruuhka-aikoina. Korkeimmillaan typpidioksidipitoisuudet ovat erityisesti tyyninä ja kylminä talvipäivinä, jolloin myös energiantuotannon päästöt ovat suurimmillaan. Taajamien ja kaupunkien korkeimmat typpidioksidipitoisuudet aiheuttaa pääasiassa ajoneuvoliikenne, vaikka energiantuotannon ja teollisuuden aiheuttamat päästöt (pistemäiset päästölähteet) olisivat määrällisesti jopa suurempia autoliikenteeseen verrattuna. Ihmiset altistuvat helposti liikenteen päästöille, sillä autojen pakokaasupäästöt vapautuvat hengityskorkeudelle.

Typpidioksidille herkimpiä väestöryhmiä ovat lapset ja astmaatit, joiden hengitysoireita kohonneet pitoisuudet voivat lisätä suhteellisen nopeasti. Pakkaskaudella tapahtuva typpidioksidipitoisuuden kohoaminen on erityisen haitallista astmatikoille, koska jo puhtaan kylmän ilman hengittäminen rasituksessa aiheuttaa useimmille astmatikoille keuhkoputkien supistusta ja typpidioksidi pahentaa tästä aiheutuvia oireita kuten hengenahdistusta ja yskää.

Typpidioksidin vuosikeskiarvopitoisuudet ovat suurimmissa kaupungeissa keskimäärin 20–30 µg/m³. Vilkkaimmilla teillä ja katukuiluosuuksilla pitoisuudet voivat olla lähellä vuosiraja-arvoa 40 µg/m³. Pienissä ja keskisuurissa kaupungeissa typpidioksidin vuosikeskiarvot ovat yleensä noin 10–20 µg/m³ (*Komppula ym., 2014*). Typpidioksidin tuntipitoisuudet voivat kohota yli raja-arvotason (200 µg/m³) suurimpien kaupunkien vilkkaasti liikennöidyillä keskusta-alueilla muutamia kertoja vuodessa (*Ilmanlaatuportaali, 2016*). Ylitystunteja saa olla vuodessa 18 kpl, ennen kuin raja-arvo katsotaan ylittyneeksi. Puhtailla tausta-alueilla typpidioksidin vuosikeskiarvot ovat olleet Etelä-Suomessa noin 2–6 µg/m³ ja Pohjois-Suomessa noin 1 µg/m³.

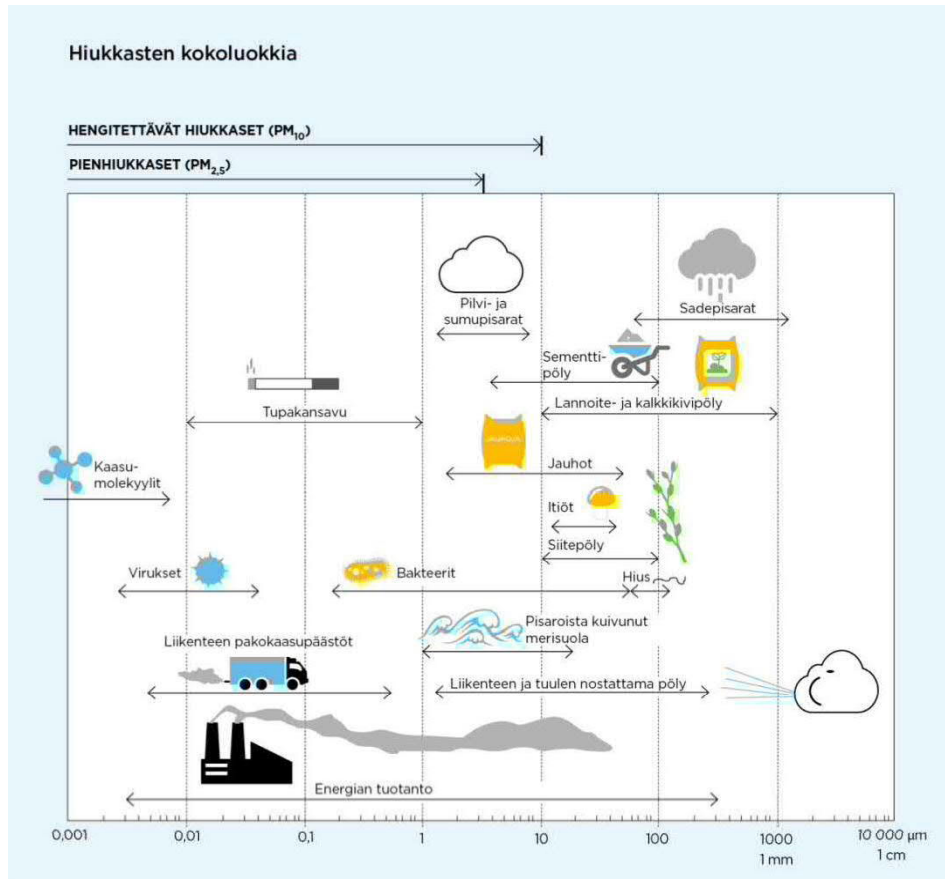
Helsingin vilkasliikenteisillä katuosuuksilla ja katukuilumaisissa ympäristössä typpidioksidin vuosiraja-arvo ylittyy paikoitellen ja ylitysalueen yhteispituus on arvioitu olevan 5,7 km vuonna 2015 Helsingin seudun ympäristöpalvelut HSY:n tekemän asiantuntija-arvion mukaan (HSY, 2016). Typpidioksidin vuosiraja-arvo ylittyi vuonna 2015 mm. Mäkelänkadun ja Töölöntullin ilmanlaadun mittauspisteissä.

2.3 Hiukkaset

Ulkoilman hiukkaset ovat nykyisin merkittävimpiä ilmanlaatuun vaikuttavia tekijöitä Suomen kaupungeissa. Pienhiukkasia pidetään länsimaissa haitallisimpana ympäristötekijänä ihmisten terveydelle. Ulkoilman hiukkaset ovat taajamissa suurelta osin peräisin liikenteen ja tuulen nostattamasta katupölystä (ns. resuspensio) eli epäsuorista päästöistä. Hiukkaspitoisuuksia kohottavat myös nk. suorat hiukkaspäästöt, jotka ovat peräisin energiantuotannon ja teollisuuden prosesseista, autojen pakokaasuista ja puun pienpoltosta. Suorat hiukkaspäästöt ovat pääasiassa pieniä hiukkasia. Hiukkasiin on sitoutunut myös erilaisia haitallisia yhdisteitä kuten hiiliveytyjä ja raskasmetalleja.

Ulkoilman hiukkasten koko on yhteydessä niiden aiheuttamiin erilaisiin vaikutuksiin. Suurempien hiukkasten korkeat pitoisuudet vaikuttavat merkittävimmin viihtyvyyteen ja aiheuttavat likaantumista. Terveysvaikutuksiltaan haitallisempia ovat ns. hengitettävät hiukkaset ja pienhiukkaset, jotka kykenevät tunkeutumaan syväälle ihmisten hengitysteihin. Hengitettävillä hiukkasilla, joiden halkaisija on alle 10 mikrometriä (PM_{10}), on annettu ilmanlaadun ohje- ja raja-arvot. Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet kohoavat erityisesti keväällä, jolloin jauhautunut hiekoitus-hiekka ja asfalttipöly nousevat ilmaan kuivilta kaduilta liikenteen nostattamana. Pienhiukkaset, joiden halkaisija on alle 2,5 mikrometriä ($PM_{2,5}$), ovat pääasiassa peräisin suorista autoliikenteen ja teollisuuden päästöistä ja kaukokulkeumasta, jonka lähde voi olla esimerkiksi metsä- ja maastopalot. Hiukkasten kokoluokkia on havainnollistettu kuvassa 1.

Suurimmat hiukkaspitoisuudet esiintyvät vilkkaasti liikennöidyissä kaupunkikeskus- toissa. Suomessa hiukkaspitoisuudet kohoavat yleensä voimakkaasti keväällä maaliskuussa, kun maanpinnan kuivuessa tuuli ja liikenne nostattavat katupölyä ilmaan. Liikenteen vaikutukset korostuvat matalan päästökorkeuden vuoksi. Hengitettävillä hiukkasilla annettu vuorokausi-ohje-arvo ylittyy keväisin yleisesti Suomen kaupungeissa. Hengitettävien hiukkasten vuorokausipitoisuudelle annettu raja-arvo on sen sijaan ylittynyt viime vuosina vain Helsingin keskustassa. Vuosikeskiarvopitoisuudelle annettu raja-arvo alittuu Suomessa. Suurimpien kaupunkien keskusta-alueilla on mitattu useina vuosina yli $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$:n hengitettävien hiukkasten pitoisuuden vuosikeskiarvoja. Pienempienkin kaupunkien keskusta-alueilla hengitettävien hiukkasten pitoisuuden vuosikeskiarvot voivat ylittää $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Komppula ym., 2014). Puhtailla tausta-alueilla vuosikeskiarvopitoisuudet ovat olleet Etelä-Suomessa noin $9\text{--}12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja Pohjois-Suomessa noin $3\text{--}6 \mu\text{g}/\text{m}^3$.



Kuva 1. Hiukkasten kokoluokkia. Hiukkasten koko ilmaistaan halkaisijana mikrometreissä (µm). Mikro (µ) etuliite tarkoittaa miljoonasosaa. 1 µm on siten metrin miljoonasosa eli millimetrin tuhannesosa

Pienhiukkaspitoisuuden (PM_{2.5}) vuosikeskiarvolle määritetty raja-arvo 25 µg/m³ alittuu kaikkialla Suomessa. Korkeimmillaan vuosipitoisuus on ollut Helsingin vilkkaasti liikennöidyillä keskusta-alueilla noin 12–14 µg/m³. Maaseututausta-alueilla pitoisuustaso on Etelä-Suomessa noin 7–10 µg/m³, Keski-Suomessa noin 4–7 µg/m³ ja Pohjois-Suomessa noin 3 µg/m³. Pitoisuuserot erityyppisten mittausympäristöjen välillä ovat melko pieniä: kaupunkiympäristön päästölähteet kohottavat vuositasolla pitoisuuksia liikenneympäristöissä noin 3–4 µg/m³ ja kaupunkitausta-alueilla noin 1–2 µg/m³ taustapitoisuuksista. Pienhiukkasten taustapitoisuudesta valtaosa on kaukokulkeutunutta hiukkasainesta. Kaukokulkeuma muodostaa huomattavan osan myös kaupunki-ilman pienhiukkaspitoisuuksista (Alaviippola ja Pietarila, 2011).

2.4 Ilmanlaadun raja- ja ohjearvot

Leviämismallilaskelmilla tai ilmanlaadun mittauksilla saatuja ilman epäpuhtauksien pitoisuuksia voidaan arvioida vertaamalla niitä ilmanlaadun ohje- ja raja-arvoihin. EU-maissa voimassa olevat raja-arvot ovat sitovia ja ne eivät saa ylittyä alueilla, joissa asuu tai oleskelee ihmisiä. Raja-arvot eivät ole voimassa esimerkiksi teolli-

suusalueilla tai liikenneväylillä, lukuun ottamatta kevyen liikenteen väyliä. Kansalliset ilmanlaadun ohjearvot eivät ole yhtä sitovia kuin raja-arvot, mutta niitä käytetään esimerkiksi kaupunkisuunnittelun tukena ja ilman pilaantumisen vaaraa aiheuttavien toimintojen sijoittamisessa. Tavoitteena on ennalta ehkäistä ohjearvojen ylittyminen sekä taata hyvän ilmanlaadun säilyminen.

Raja-arvot määrittelevät ilmansaasteille sallitut korkeimmat pitoisuudet. Raja-arvoilla pyritään vähentämään tai ehkäisemään terveydelle ja ympäristölle haitallisia vaikutuksia. Raja-arvon ylittyessä kunnan on tiedotettava väestöä ja tehtävä ohjelmia ja suunnitelmia ilmanlaadun parantamiseksi ja raja-arvon ylitysten estämiseksi. Tällaisia toimia voivat olla esimerkiksi määräykset liikenteen tai päästöjen rajoittamisesta. Ilman epäpuhtauksien aiheuttamien terveyshaittojen ehkäisemiseksi ulkoilman typpidioksidin ja pienhiukkasten pitoisuudet eivät saisi ylittää taulukon 1 raja-arvoja alueilla, joilla ihmiset saattavat altistua ilmansaasteille.

Taulukko 1. Terveyshaittojen ehkäisemiseksi annetut ulkoilman typpidioksidin ja pienhiukkasten pitoisuuksia koskevat raja-arvot (Vna 38/2011).

Ilman epäpuhtaus	Keskiarvon laskenta-aika	Raja-arvo $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Sallittujen ylitysten määrä kalenterivuodessa (vertailujakso)
Typpidioksidi (NO_2)	1 tunti	200 ¹⁾	18
	kalenterivuosi	40 ¹⁾	–
Pienhiukkaset ($\text{PM}_{2,5}$)	kalenterivuosi	25 ²⁾	–

¹⁾ Tulokset ilmaistaan lämpötilassa 293 K ja paineessa 101,3 kPa.

²⁾ Tulokset ilmaistaan ulkoilman lämpötilassa ja paineessa.

Ilmanlaadun ohjearvot on otettava huomioon suunnittelussa ja niitä sovelletaan mm. alueiden käytön, kaavoituksen, rakentamisen ja liikenteen suunnittelussa ja ympäristölupaharkinnassa. Ohjearvojen soveltamisen avulla pyritään ehkäisemään ilmansaasteiden aiheuttamia terveysvaikutuksia. Suomessa voimassa olevat ulkoilman typpidioksidin pitoisuuksia koskevat ilmanlaadun ohjearvot on esitetty taulukossa 2. Lisäksi taulukossa esitetään WHO:n suosituksenomaiset ohjearvot pienhiukkasten vuorokausipitoisuudelle ja vuosipitoisuudelle (WHO, 2006).

Taulukko 2. Ulkoilman typpidioksidin ja pienhiukkasten pitoisuuksia koskevat ilmanlaadun ohjearvot (Vnp 480/1996, WHO, 2006).

Ilman epäpuhtaus	Ohjearvo $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ¹⁾	Tilastollinen määrittely
Typpidioksidi (NO_2)	150	Kuukauden tuntiarvojen 99. prosenttipiste
	70	Kuukauden toiseksi suurin vuorokausiarvo
Pienhiukkaset ($\text{PM}_{2,5}$)	25 (WHO)	Suurin vuorokausikeskiarvo
	10 (WHO)	Vuosikeskiarvo

¹⁾ Tulokset ilmaistaan lämpötilassa 293 K ja paineessa 101,3 kPa.

3 MENETELMÄT

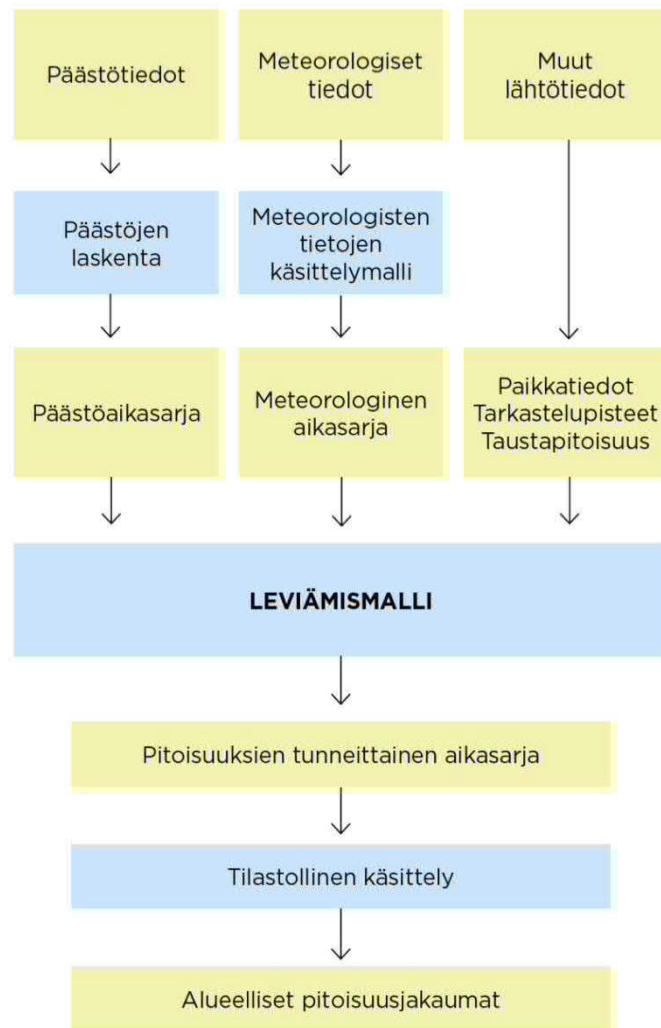
3.1 Leviämismallilaskelmien kuvaus

Ilmansaasteiden leviämismalleilla tutkitaan eri ilmansaasteiden kulkeutumista ilmakehässä ja ilmansaasteiden pitoisuuksien muodostumista tutkimusalueelle. Malleihin sisältyy usein myös laskentamenetelmiä, joiden avulla voidaan kulkeutumisen lisäksi tarkastella ilmansaasteiden muuntumista ja kemiallisia reaktioita ilmakehässä sekä poistumista ilmakehästä laskeumana. Tässä tutkimuksessa käytettiin Ilmatieteen laitoksella kehitettyä leviämismallia CAR-FMI (Contaminants in the Air from a Road) tieliikenteen päästöjen leviämisen kuvaamiseen sekä tanskalaisen NERI:n (National Environmental Research Institute) kehittämää OSPM-mallia (The Operational Street Pollution Model) liikenneperäisten epäpuhtauksien leviämisen kuvaamiseen katukuilussa.

3.2 Viivalähdemalli (CAR-FMI)

Autoliikenteen päästöjen aiheuttamien ilmanlaatuvaikutusten kuvaamiseen kehitetty viivalähdemalli CAR-FMI (*Karppinen, 2001; Härkönen ym., 2001*) perustuu leviämisen osalta analyttiseen ratkaisuun ja päästöjen kemiallisen muutunnan osalta ns. 'discrete parcel' -menetelmään. Viivalähdemallin leviämislaskenta perustuu avoimen väylän oletukseen. Viivalähdemallilla voidaan laskea esimerkiksi typpimonoksidin, typpidioksidin ja typen oksidien (kokonais-NO_x), rikkidioksidin, hiilimonoksidin ja hiukkasten pitoisuuksia haluttuihin pisteisiin eri etäisyyksille liikenneväylästä. Viivalähdemalli on kehitetty alun perin autoliikenteen päästövaikutusten arviointiin, mutta siihen on muokattu menetelmät, jotka soveltuvat myös juna-, laiva- ja lentoliikenteen päästöjen leviämislaskelmiin. Viivalähdemallin laskentatuloksista voidaan arvioida yksittäisen liikenneväylän vaikutus lähialueen pitoisuuksiin tai laajan tutkimusalueen liikenneverkon päästöjen kokonaisvaikutus epäpuhtauskomponentteittain. Viivalähdemallin eri sovellutuksilla saadut mallinnustulokset voidaan yhdistää Ilmatieteen laitoksen kaupunkimallilla (UDM-FMI, Urban dispersion modelling system) tehtyihin mallinnustuloksiin. Kaaviokuva leviämismallin toiminnasta on esitetty kuvassa 2.

Ilmatieteen laitoksen leviämismalleja on kehitetty pitkäjänteisesti yli kolmenkymmenen vuoden ajan tavoitteena tuottaa luotettavaa tietoa ilmanlaadusta erityisesti Suomen olosuhteissa mm. kaupunki- ja liikennesuunnittelun ja ilmansuojelutoimien suunnittelun tueksi sekä pitoisuuksien ja väestön altistumisen arvioimiseksi. Mallien toimintaa on kehitetty lukuisissa tutkimusprojekteissa ja verifiointitutkimusten mukaan mallinnusten tulokset on todettu hyvin yhteensopiviksi Suomen taajamien ja teollisuusympäristöjen ilmanlaadun mittaustulosten kanssa.



Kuva 2. Kaaviokuva Ilmatieteen laitoksella kehitetyn leviämismallin, viivalähdemallin (CAR-FMI) ja kaupunkimallin (UDM-FMI) toiminnasta.

Leviämismallien lähtötiedoiksi tarvitaan tietoja päästöistä ja niiden lähteistä, mitaamalla ja mallittamalla saatuja tietoja ilmakehän tilasta sekä tietoja ilmansaasteiden taustapitoisuudesta tutkimusalueella. Lisäksi lähtötiedoiksi tarvitaan erilaisia paikkatietoja, kuten tietoja maanpinnan muodoista ja maanpinnan laadusta. Liikenteen päästölaskennassa otetaan huomioon liikennemäärät ja niiden tunneittainen vaihtelu, erityyppisten ajoneuvojen osuudet liikennemäärästä, liikennevirtojen nopeudet ja ajoneuvokohtaiset nopeusriippuvaiset päästökertoimet. Leviämislaskelmia varten muodostetaan päästöaikasarja, joissa on jokaiselle tarkastelujakson tunnille (1–3 vuotta, 8 760–26 304 tuntia) laskettu päästmäärä erikseen eri ilmansaasteille.

Leviämismallin tarvitseman meteorologisen aikasarjan muodostuksessa käytetään Ilmatieteen laitoksella kehitettyä meteorologisten tietojen käsittelymallia, joka perustuu ilmakehän rajakerroksen parametrisointimenetelmään (*Rantakrans, 1990; Karppinen, 2001*). Menetelmän avulla voidaan meteorologisten rutiinihavaintojen ja fysiikan perusyhtälöiden avulla arvioida rajakerroksen tilaan vaikuttavat muuttujat,

joita tarvitaan ilmansaasteiden leviämismallilaskelmissa. Tarvittavat mittaustiedot saadaan Ilmatieteen laitoksen havaintotietokantaan tallennetuista sää-, auringonpaiste- ja radioluotaushavainnoista. Menetelmässä otetaan huomioon tutkimusalueen paikalliset tekijät, kuten leviämisalustan rosoisuus ja vuodenaikaiset albedoarvot (maanpinnan kyky heijastaa auringon säteilyä) eri maanpinnan laaduille. Laskelmissa käytetään yleensä 1–3 vuoden pituista tutkimusalueen sääolosuhteita edustavaa meteorologista aineistoa. Laskelmissa käytettäväksi sääasemiksi valitaan tutkimusaluetta lähimpänä sijaitsevat sääasemat, joilla mitataan kaikkia mallin tarvitsemia suureita. Tuulen suunta- ja nopeustiedot muodostetaan kahden tai useamman sääaseman havaintojen etäisyyspainotettuna tilastollisena yhdistelmänä. Lopputuloksena saadaan leviämismalleissa tarvittavien meteorologisten tietojen tunneittaiset aikasarjat.

Leviämismallit laskevat ilmansaasteiden pitoisuuksia tarkastelujakson jokaiselle tunnille laskentapisteikköön, joka muodostetaan kullekin tutkimusalueelle sopivaksi. Mallin tuottamasta tunneittaisesta pitoisuusajasarjasta lasketaan edelleen ilmanlaadun raja- ja ohjearvoihin verrannollisia tilastollisia suureita, jotka on esitetty taulukoissa 1 ja 2. Näin mallilaskelmasta saatuja pitoisuusarvoja voidaan suoraan verrata ilmanlaadun raja- ja ohjearvoihin.

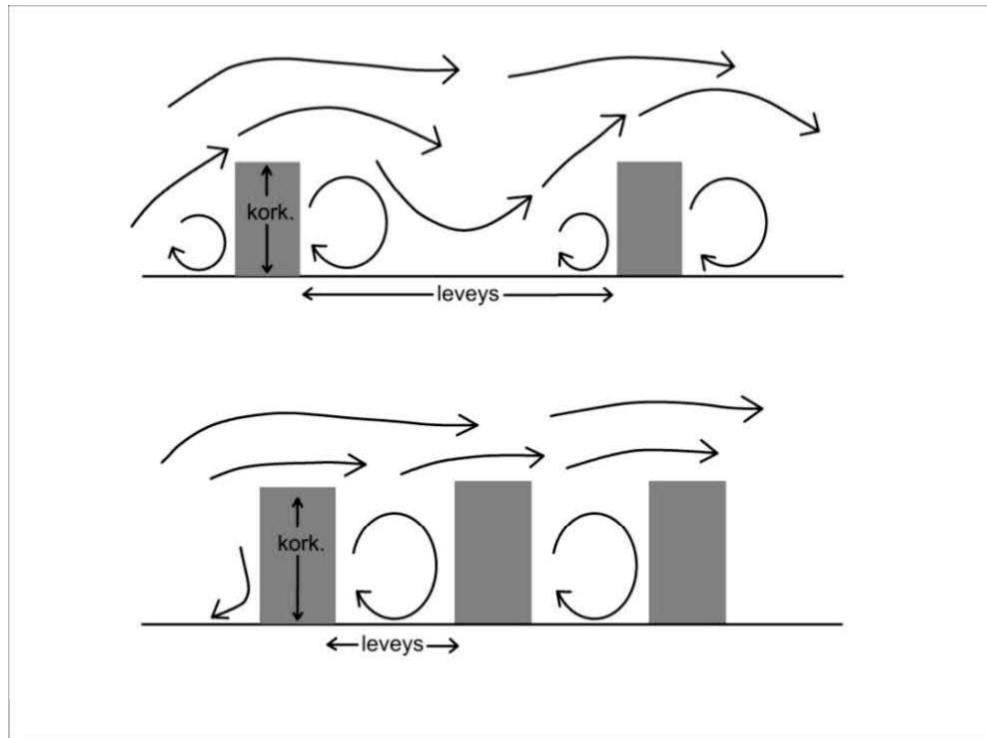
3.3 Katukuilumalli (OSPM)

Katukuilumalli OSPM on kehitetty tieliikenteen päästöjen leviämisen arviointiin katukuilu ympäristössä. Katukuilumaisessa ympäristössä rakennukset estävät liikenteen päästöjen leviämistä ja heikon laimenemisen vuoksi ilman epäpuhtauksien pitoisuudet voivat kohota korkeiksi. Katukuilumallilla voidaan arvioida liikennemäärän ja ajonopeuden vaikutusta ilmanlaatuun yksittäisen kadun molemmilla puolilla ja eri korkeuksilla kadusta. Mallilla voidaan tarkastella katukuilun rakenteen, kuten rakennusten korkeuden, kadun leveyden ja rakennusmassan yhtenäisyyden ilmanlaatuvaikutuksia. Katukuilumallilla ei voi arvioida rakennusten sisäpihoille muodostuvia pitoisuuksia. Parhaiten malli soveltuu katukuiluille, jotka ovat korkeudeltaan ja leveydeltään lähes yhtä suuria.

Malli perustuu puoliksi Gaussin pluumiteoriaan ja puoliksi kokeelliseen laatikkomalli-tekniikkaan. Gaussin pluumimallia käytetään liikenteen päästövaikutusten laskeamiseen ja laatikkomallia ilman epäpuhtauksien takaisin kulkeutuvan osaan laskeamiseen (*Hertel and Berkowicz, 1989*). Katukuilumallilla voidaan laskea mm. typpi-dioksidin, hiilimonoksidin, bentseenin, hengitettävien hiukkasten, pienhiukkasten ja otsonin pitoisuudet. Malli sisältää typen oksidien, otsonin ja hapen muutunnan perusreaktiot. Myös typpidioksidin osuus typenoksidipäästöistä on mahdollista määrittää mallin lähtötiedoissa.

Tuulen nopeus ja suunta ovat päätekijät, jotka vaikuttavat katukuilun pitoisuuksiin muodostaen pyörteen, joka kierrättää liikenteen päästöjä ja kadun ulkopuolelta tulevia päästöjä katukuilussa. Tuulipyörre on yksi katukuilu ympäristön perusominaisuuksista (kuva 3). Katukuilussa esiintyvien pyörteiden lukumäärä riippuu rakennusten ja muiden katukuilussa olevien esteiden, kuten puiden, korkeudesta ja muodosta. Kapeaan katukuiluun syntyy selvä pysyvä tuulipyörre, mutta leveässä katukuilussa sekoittumista tapahtuu katukuilun ja yläpuolisen ilman välillä enem-

män. Katukuilumallissa oletetaan olevan maksimissaan vain yksi tuulipyörre rakennusten korkeudesta ja kadun leveydestä riippumatta. Pyörteen ansiosta tuulen suunta on katutasolla vastakkainen verrattuna kattotason tuulen suuntaan. Tuulipyörre muodostuu, jos tuulen suunta on kohtisuorassa katuun nähden. Jos tuulen suunta on samansuuntainen katuun nähden, pyörre häviää ja pitoisuudet molemmilla puolilla katua tulevat samansuuruisiksi. Tuulipyörre häviää myös matalilla tuulen nopeuksilla, jolloin taas liikenteen vaikutus pitoisuuksiin kasvaa (Berkowicz, 1999).



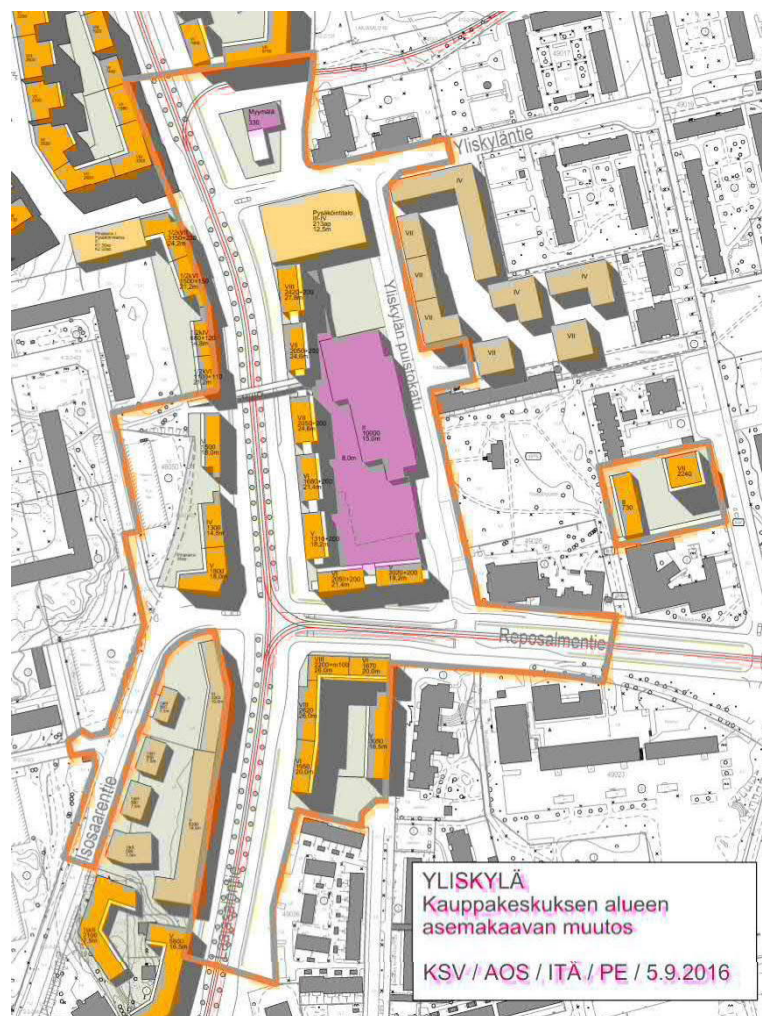
Kuva 3. Leveässä katukuilussa (ylempi kuva) sekoittumista tapahtuu katukuilun ja yläpuolisen ilman välillä enemmän kuin kapeassa katukuilussa (alempi kuva). Kapeassa katukuilussa syntyy selvä tuulipyörre, ja pyörteen ja yläpuolisen tuulen välillä tapahtuva sekoittuminen jää niukaksi.

Syöttötiedoiksi malli tarvitsee tiedot kadusta, liikenteestä, päästöistä, meteorologiasta ja taustapitoisuuksista. Katutiedot sisältävät rakennusten korkeuden, kadun leveyden ja pituuden sekä kadun suunnan suhteessa pohjoiseen. Lisäksi tulee määrittää laskentapisteen sijainti ja laskentakorkeus. Liikenteen päästöjen laskeminen perustuu katuosuuden liikennemäärään ja päästökertoimiin. Taustapitoisuudeksi katukuilumalli tarvitsee joko mitatut tai mallinnetut kaupunkitaustapitoisuudet (Berkowicz ym., 2002). Tarvittava tunneittainen meteorologinen perusaineisto käsittää tuulen nopeuden ja suunnan, lämpötilan ja globaalin säteilyn, jotka saadaan lähimmiltä säähavaintoasemilta. Katukuilumallin meteorologiset parametrit voivat perustua myös katukuilun kattotasolla tehtyihin säähavaintoihin.

Malli laskee ilman epäpuhtauksien pitoisuuksia kahteen laskentapisteeseen, jotka sijaitsevat rakennusten julkisivun vieressä, vastakkaisilla puolilla katua. Ohje- ja raja-arvoihin verrannolliset pitoisuudet lasketaan kullekin laskentapisteelle ja laskentakorkeudelle erikseen, joten esitetyt tilastolliset arvot voivat olla eri ajankohdilta vastaten siten erilaisia meteorologisia tilanteita.

4 TUTKIMUSALUE JA LÄHTÖTIEDOT

Tutkimuksessa tarkasteltiin autoliikenteen pakokaasupäästöjen ilmanlaatuvaikutuksia Helsingin Laajasalon kauppakeskuksen korttelin lähialueella. Kauppakeskuksen korttelin alueelle suunnitellaan asuinrakennuksia, toimistotiloja ja uutta kauppakeskusta (kuva 4). Mallilaskelmissa tarkasteltiin korttelin lähialueelle hengityskorkeudelle sekä katukuilumallilla Laajasalontien ja Reposalmentien katukuilumaisille osuuksille muodostuvia ulkoilman typpidioksidipitoisuuksia (NO₂) ja pienhiukkaspitoisuuksia (PM_{2,5}).



Kuva 4. Kaavaluonnos tarkasteltavasta alueesta (KSV, 5.9.2016). Kauppakeskus näkyy kuvan keskellä vaaleanpunaisella. Uudet suunnitellut rakennukset näkyvät oranssilla ja vaalean oranssilla värillä.

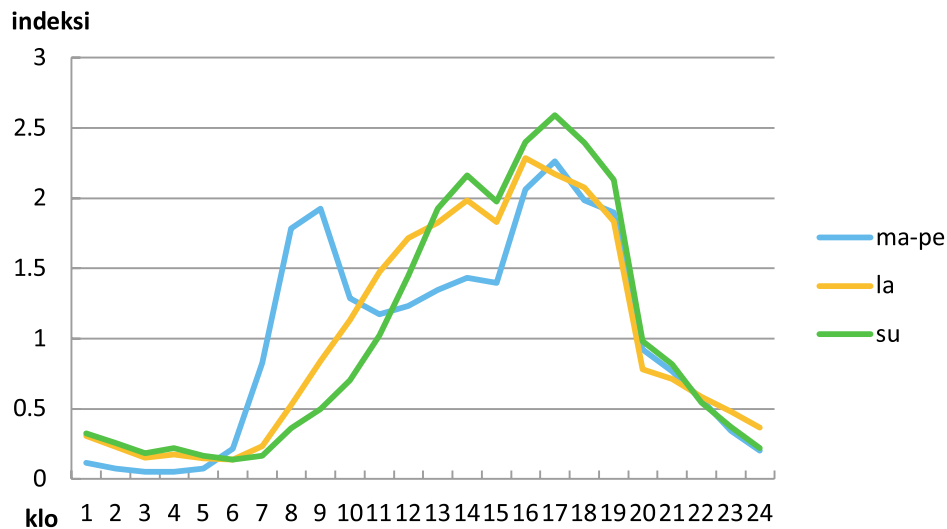
4.1 Liikennemäärät ja päästölaskenta

Mallilaskelmissa tarkasteltiin noin vuodelle 2040 ennustettuja tulevaisuuden liikennemääriä, jotka ovat suurempia kuin nykytilanteen liikennemäärät alueella. Ennustetut liikennemäärät perustuvat EMME -ohjelmiston liikenne-ennusteeseen vuodelle 2040 sekä sitä täydentäviin laskelmiin. Ennusteet on laadittu henkilöautoliikennettä painottavan toimintaympäristökuvauksen pohjalta. Täydentävissä laskelmissa on käytetty HSL:n (Helsingin seudun liikenne) tuoreinta liikennetutkimusta helsinkiläisten liikennetottumuksista vuonna 2012. Näiden tottumusten ei laskelmissa oletettu muuttuneen vuoteen 2040 mennessä. Ennusteissa ja laskelmissa on otettu huomioon kaikki Laajasaloon eri yhteyksissä osoitettu lisärakentaminen ja sen mukainen väestö ja toiminnot. Autoliikenteen pakokaasupäästöjen leviämislaskelmat tehtiin käyttäen Euro 4 -päästötason nopeudesta riippuvia ajoneuvotyyppikohtaisia päästökertoimia. Euro 4 -päästötason voidaan katsoa edustavan nykyistä tai hieman uudempaa autokantaa ja ajoneuvosuoritteiden päästötasoa (VTT, LIPASTO).

Henkilöautojen ajoneuvojakamana mallinnuksessa käytettiin nykytilannetta edustavia ajoneuvojen suoriteosuuksia VTT:n julkaiseman LIISA 2012 -raportin mukaisesti. Valtaosa henkilöautoista oli katalysaattorilla varustettuja bensiinikäyttöisiä ajoneuvoja, joiden osuus oli 62 % ajosuoritteesta. Katalysaattorittomia bensiinikäyttöisiä ajoneuvoja arvioitiin olevan enää 1 % ajosuoritteesta. Tulevaisuudessa tiukkenevista päästönormeista ja ajoneuvojen ikääntymisestä johtuen niiden bensiinikäyttöisten henkilöautojen, joissa ei ole lainkaan katalysaattoria, määrä ja ajosuorite tulevat edelleen pienenemään. Dieselkäyttöisten henkilöautojen osuus oli 37 %. Raskaiden ajoneuvojen osuus arvioitiin olevan 7 % kaikilla teillä, Helsingin Kaupunkisuunnitteluvirastosta saatujen tietojen mukaisesti. Pakettiautojen osuudeksi arvioitiin 12 %. Alueen bussiliikenne oli mukana raskaiden ajoneuvojen määrässä. Kauppakeskusta ympäröivillä teillä liikennevirran keskimääräisen todellisen ajonopeuden oletettiin olevan 30 km/h (ei nopeusrajoitus), muilla lähialueen teillä nopeudeksi arvioitiin 40 km/h tai 50 km/h. Tässä käytetty arvio ajonopeudesta edustaa worst case –skenaariota, sillä päästöt ovat isommat pienemmillä ajoneuvoilla.

Tulevaisuuden autoliikenteen päästöjen ennustamiseen sisältyy useita epävarmuustekijöitä ja tässä työssä onkin huomioitu ilmanlaadun kannalta epäedullisin mahdollinen ennustetilanne käyttämällä vuoden 2040 liikennemääräennustetta ja nykytilannetta edustavaa päästötasoa (Euro 4). Todennäköistä on, että päästöt ja niiden aiheuttamat vaikutukset pienenevät tulevaisuudessa, kun ajoneuvojen moottoritekniikka kehittyy ja päästörajoitukset tiukkenevat.

Koko tutkimusalueen liikenteen päästöt laskettiin ja mallinnettiin tiekohtaisina viivalähteinä. Liikenneväylää kuvattiin peräkkäisinä lyhyinä viivoina, joista jokaisesta vapautuu ympäristöönsä erikseen laskettavan suuruisen päästö. Tieverkon liikenteen päästöt laskettiin Ilmatieteen laitoksella keskimääräisten ennustettujen arkivuorokausiliikennemäärien (KAVL), ajonopeuksien, raskaan liikenteen osuuksien ja liikenteen tuntikohtaisen vaihtelun perusteella. Liikennemäärien tunti- ja päiväkohtainen vaihtelu perustui Kaivolahdenkadun ja Linnanrakentajantien risteyksessä huhtikuussa 2016 tehtyihin sekä konelaskentapisteessä 527 syksyllä 2015 tehtyihin liikennelaskentoihin (kuva 5).



Kuva 5. Liikenteen tunneittaista vaihtelua kuvaavat aikavaihteluindeksit tarkastelualueella.

4.2 Viivalähdemallinnuksen lähtötiedot

CAR-FMI -mallilla tehdyissä leviämislaskelmissa huomioitiin tieliikenteen päästöt tulevan tilanteen liikennemäärillä laskettuna noin 3 km × 3 km suuruiselta alueelta kauppakeskuksen korttelin ympäriltä. Tämän tarkastelualueen ulkopuolelta pääkaupunkiseudun liikenteen päästöt huomioitiin karkeammalla tasolla käyttäen YTV:n (nykyään Helsingin Seudun Ympäristöpalvelut HSY) vuodelle 2005 laskemia päästöjä, jotka skaalattiin vastaamaan Euro 4 -päästötasoa.

Tieliikenteen päästöjen lisäksi mallilaskelmissa on huomioitu alueellinen typpidioksidin, otsonin ja pienhiukkasten taustapitoisuus. CAR-FMI -mallilla tehdyissä laskelmissa alueellinen taustapitoisuus saatiin HSY:n Helsingin Vartiokylässä sijaitsevan ilmanlaadun mittausaseman mittaustuloksista. Vartiokylän mittausaseman pitoisuustaso soveltuu parhaiten kyseiseen mallinnukseen, missä tarkastellaan pientä aluetta katukuilumaisessa ympäristössä. Typpidioksidin taustapitoisuuden vuosikeskiarvo tarkastelujaksolla 2012–2014 Vartiokylässä oli noin 14 µg/m³ ja pienhiukkasten noin 7,7 µg/m³. Vuosi 2014 oli Vartiokylän mittausasemalla pienhiukkaspitoisuuksien osalta poikkeuksellinen vuosi, sillä vuosikeskiarvo 9,6 µg/m³ oli selvästi korkeampi kuin aiempina vuosina (alle 7 µg/m³). Typenoksidipäästöjen muutunnan kuvaamiseen käytettiin Vartiokylän ilmanlaadun mittausaseman otsonihavaintoja. Otsonin taustapitoisuuksina käytettiin pitoisuuksien kuukausittain laskettuja tunneittaisia keskiarvoja, joilla pyrittiin kuvaamaan taustapitoisuuksien vuorokauden sisäistä vaihtelua (Ilmanlaatuportaali, 2016). Leviämismallilaskelmissa oletettiin autoliikenteen typenoksidipäästöistä (NO_x) olevan keskimäärin 20 % typpidioksidia (NO₂) ennen muutunutta (Anttila ym., 2011).

Päästöt laskettiin ajoneuvotyyppikohtaisten päästökertoimien avulla, jotka perustuvat VTT:n päästölaskelmiin (Laurikko, 1998) ja CAR-FMI -mallia varten kehitettyihin ajoneuvojen nopeudesta riippuviin päästökerroinfunktioihin. Kuvissa 6–7 on esitetty

tulevan tilanteen arkivuorokausiliikennemäärät tutkimusalueella ja liikenneväyläkohtaisesti lasketut pakokaasuperäiset typenoksidi- ja pienhiukkaspäästöt (kg/a/m).



Ilmatieteen laitos 2016

Kuva 6. Euro 4 -päästötason typenoksidipäästöt (kg/a/m) sekä tulevaa tilannetta edustavat arkivuorokausiliikennemäärät (KAVL, ajoneuvoa vuorokaudessa) Laajasalon kauppakeskuksen alueella (kaavaluonnos: Helsingin kaupunki; KSV).

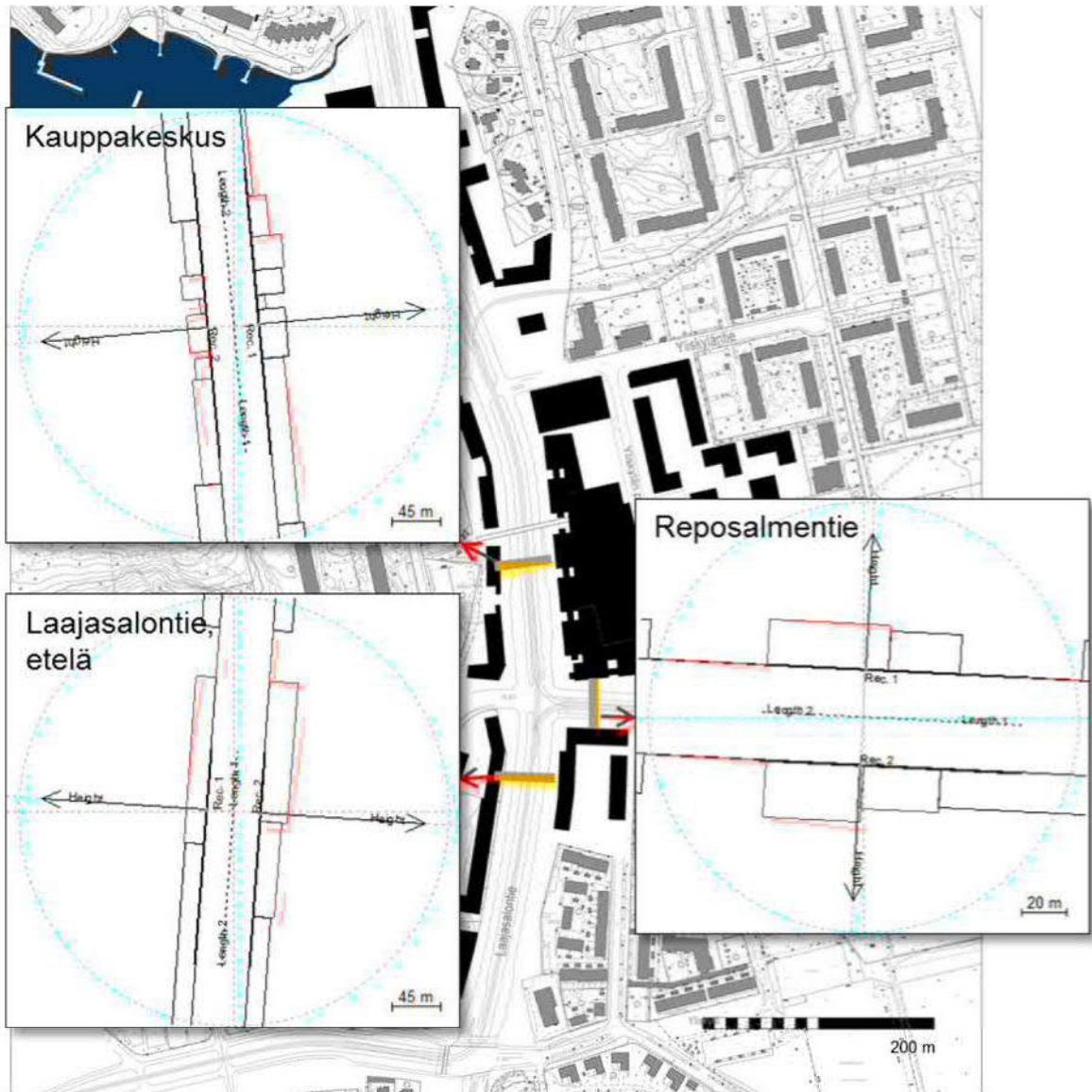
Kauppakeskuksen korttelin ilmanlaatuun vaikuttaa merkittävimmin korttelin länsipuolella kulkeva Laajasalontie. Laajasalontien tulevaksi liikennemääräksi kauppakeskuksen kohdalla oli leviämismallilaskelmassa arvioitu 30 900 ajoneuvoa vuorokaudessa ja liikennevirran ajonopeudeksi 30 km/h. Korttelin eteläpuolelta kulkevan Reposalmentien liikennemääräksi kauppakeskuksen kohdalla arvioitiin 9 500 ajoneuvoa vuorokaudessa ja liikennevirran ajonopeudeksi 30 km/h.



Kuva 7. Euro 4 –päästötason pienhiukkaspäästöt (kg/a/m) sekä tulevaa tilannetta edustavat arkivuorokausiliikennemäärät (KAVL, ajoneuvoa vuorokaudessa) Laajasalon kauppakeskuksen alueella (kaavaluonnos: *Helsingin kaupunki*; KSV).

4.3 Katukuilumallinnuksen lähtötiedot

Katukuilumallilla tarkasteltavat kohteet Laajasalontielle ja Reposalmentielle on esitetty kuvassa 8 ja tarkemmat tiedot kustakin tarkastelukohteesta taulukossa 3. Tarkasteltavien katuosuuksien päästöt ovat samat kuin avoimen väylän mallinnuksessa (CAR-FMI) käytetty päästö kyseiseltä katuosuudelta. Katukuilu luokitellaan leveäksi, kun kadunvarren rakennusten korkeuden ja kadun leveyden suhde on pienempi kuin 0,7. Kaikki tarkasteltavat kohteet ovat leveitä katukuiluja. Kauppakeskuksen korttelin lähistöllä suunniteltujen rakennusten korkeudet vaihtelevat paljon (15–28 m), mikä lisää katukuilun tuulettuvuutta.



Kuva 8. Katukuilumallilla tarkasteltavien kohteiden sijainti Laajasalontieellä ja Reposalmentieellä. Tarkasteluobjektien katukuilujen rakenne näkyy lähikuvissa (kaavaluonnos: Helsingin kaupunki; KSV).

Taulukko 3. Katukuilumallinnuksen tarkasteluobjektien tiedot. Korkeus-levyysuhteella tarkoitetaan kadunvarren rakennusten korkeuden ja kadun leveyden suhdetta. Jos suhdeluku on alle 0,7 katukuilu luokitellaan leveäksi katukuiluksi.

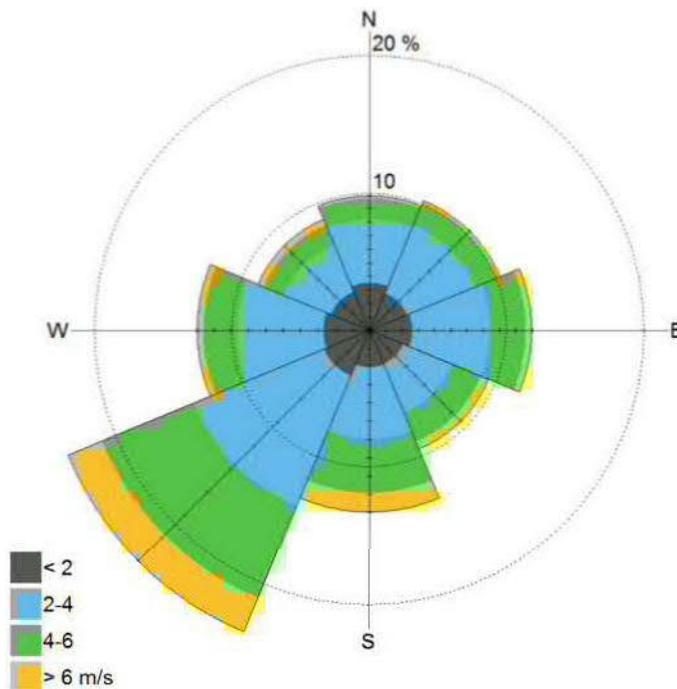
Tarkastelukohte	Kadun leveys (m)	Rakennusten keskimääräinen korkeus (m)	Korkeus-levyysuhte
Laajasalontie, Kauppakeskus	47	24	0,51
Reposalmentie	44	23	0,52
Laajasalontie, etelä	50	23	0,46

Katukuilumallinnuksessa huomioidaan tarkasteltavan katuosuuden autoliikenteen päästöt ja kaupunkitaustapitoisuus. Koska katukuilumalli huomioi vain yhden katuosuuden päästöt tarkasti, on käytetyllä taustapitoisuudella suuri merkitys mallinnustuloksiin. Tässä työssä katukuilumalliin syötettävä tunneittainen typpidioksidin, otsonin ja pienhiukkasten taustapitoisuus saatiin HSY:n Helsingin Kalliossa sijaitsevan ilmanlaadun mittausaseman mittaustuloksista. Kallion mittausaseman pitoisuustasot kuvaavat kaupunkitaustapitoisuutta. Typpidioksidin taustapitoisuuden vuosikeskiarvo tarkastelujaksolla 2012–2014 Kalliossa oli noin 20 µg/m³ ja pienhiukkasten noin 7,5 µg/m³. Kallion mittausasemalla tarkastelujakson korkein vuosikeskiarvo (8,0 µg/m³) mitattiin vuonna 2014.

Katukuilumallilla arvioitiin pitoisuuksien muodostuminen eri korkeustasoille: hengityskorkeudelle (2 m) ja 4, 10 ja 18 metrin korkeudelle sekä rakennusten kattotasoil- le.

4.4 Meteorologiset tiedot

Tutkimusalueen ilmastollisia olosuhteita edustava meteorologinen aikasarja muodostettiin Helsingin Kumpulan, Harmajan ja Helsinki-Vantaan lentoaseman sääasemien havaintotiedoista vuosilta 2012–2014. Sekoituskorkeuden määrittämiseen käytettiin Jokioisten observatorion radioluotaushavaintoja. Kuvassa 9 on esitetty tuulen suunta- ja nopeusjakauma tutkimusalueella tuuliruusun muodossa. Tutkimusalueella ovat vallitsevia lounaistuulet.



Kuva 9. Tuulen suunta- ja nopeusjakauma tutkimusalueella vuosina 2012–2014. Lasketut tuulitiedot kuvaavat olosuhteita 10 metrin korkeudella maanpinnasta.

5 TULOKSET

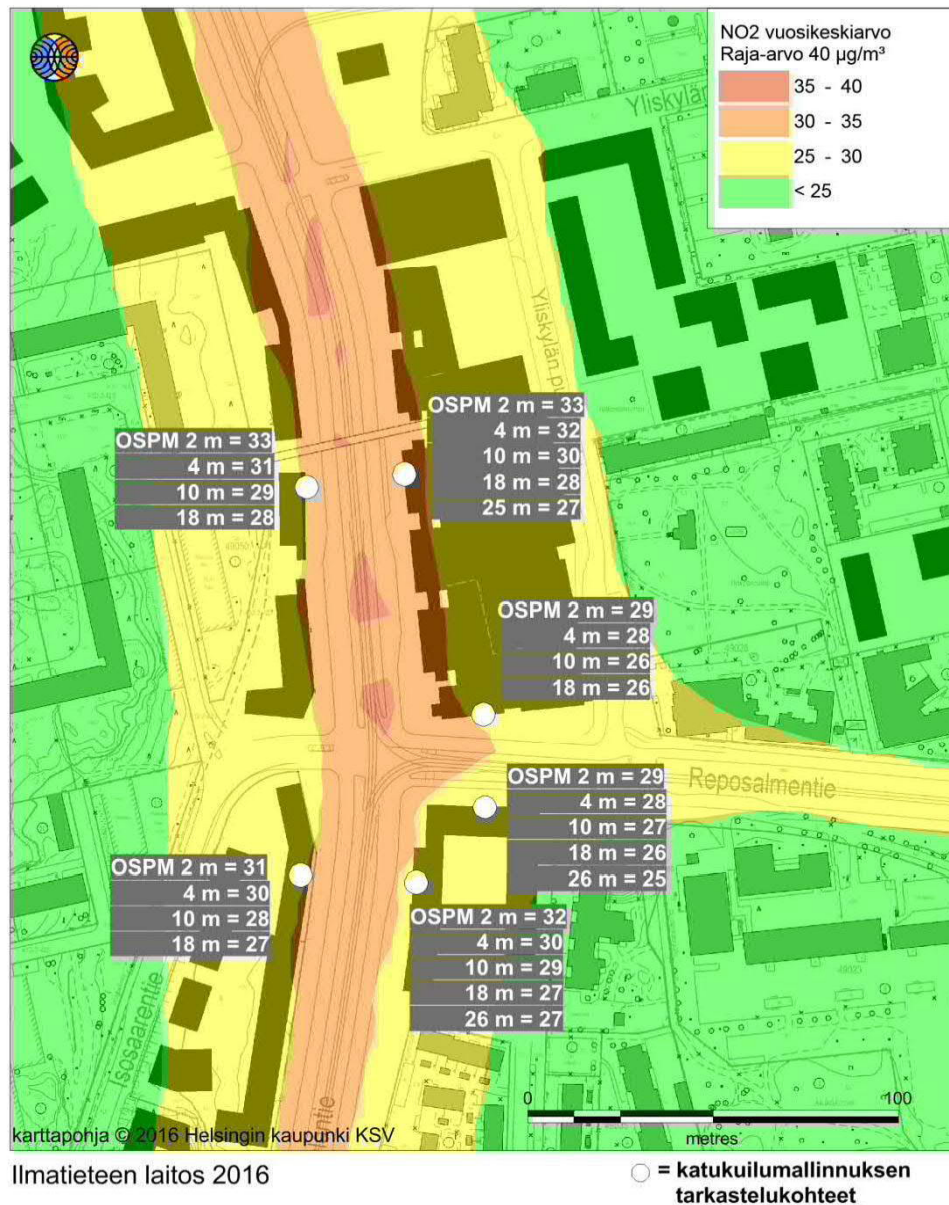
Mallilaskelmien tuloksina saadut typpidioksidi- ja pienhiukkaspitoisuudet on esitetty havainnollisina karttakuvina, joissa ilman epäpuhtauksien pitoisuuksia verrataan ilmanlaatulainsäädännössä annettuihin ohje- ja raja-arvoihin sekä WHO:n ohjearvoon. Tuloskuviissa värillisinä aluejakaumina esitetyt pitoisuudet kuvaavat avoimen väylän mallilla (CAR-FMI) saatuja pitoisuustasoja hengityskorkeudella. Tuloskuviissa harmaalla pohjalla näkyvät lukuarvot kuvaavat katukuilumallilla (OSPM) saatuja pitoisuusarvoja yksittäisissä tarkastelupisteissä eri korkeustasoilla.

Karttakuvissa on esitetty värillisinä aluejakaumina alueet, joilla tietyn pitoisuuden ylittyminen on pitkän havaintojakson aikana todennäköistä. Kartoissa esitetyt pitoisuuksien aluejakaumat eivät edusta koko tutkimusalueella yhtäaikaista vallitsevaa pitoisuustilannetta, vaan ne kuvaavat kuhunkin laskentapisteeseen mallilaskelmissa saatua korkeinta pitoisuutta. Korkeimmat pitoisuudet voivat esiintyä eri laskentapisteissä eri ajanhetkinä.

Vuosikeskiarvopitoisuus kuvaa alueen keskimääräistä ja vallitsevaa ilman epäpuhtauspitoisuustasoa parhaiten. Karttakuvissa esitetyt vuosikeskiarvopitoisuudet kuvaavat kolmen vuoden tarkastelujakson (vuodet 2012–2014) korkeinta vuosikeskiarvoa kussakin laskentapisteessä. Hetkelliset pitoisuudet voivat nousta vuosikeskiarvopitoisuuksia huomattavasti korkeammiksi. Mallinnettuihin lyhytaikaispitoisuuksiin sisältyy enemmän epävarmuutta kuin vuosikeskiarvopitoisuuksiin ja lyhytaikaispitoisuuksien aluejakaumaan vaikuttavat voimakkaammin yksittäiset meteorologiset tilanteet. Karttakuvissa esitetyt vuorokausiohjearvoon verrannolliset pitoisuudet kuvaavat kolmen vuoden tarkastelujakson (vuodet 2012–2014) korkeinta vuorokausiohjearvoon verrannollista pitoisuutta kussakin laskentapisteessä.

5.1 Typpidioksidipitoisuudet (NO₂)

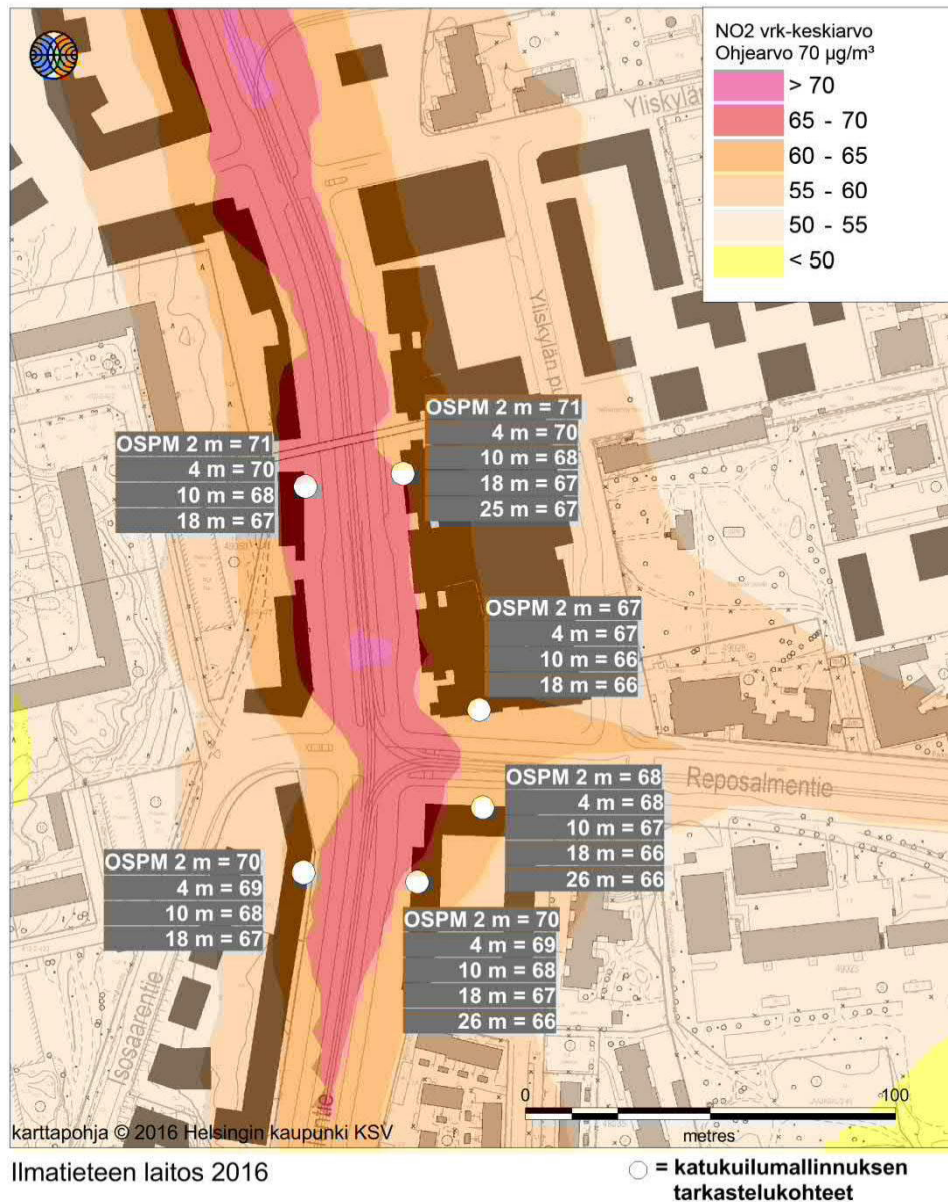
Avoimen väylän mallilla ja katukuilumallilla tehtyjen leviämismallilaskelmien tuloksina saadut ulkoilman typpidioksidipitoisuudet tutkimusalueella on esitetty kuvissa 10 ja 11. Hengityskorkeudelle lasketut pitoisuudet ovat korkeimmillaan Laajasalontielle ja pitoisuudet pienentyvät nopeasti etäisyyden kasvaessa tiestä. Avoimen väylän mallin tulosten mukaan typpidioksidin vuosikeskiarvopitoisuuden raja-arvo (40 µg/m³) alittuu tulevassa tilanteessa koko tarkastelualueella hengityskorkeudella (kuva 10). Katukuilumallilla tarkastelluissa kohteissa pitoisuudet alittavat myös vuosiraja-arvon kaikilla korkeustasoilla. Katukuilumallilla hengityskorkeudelle (2 m) saatavat pitoisuudet ovat hieman korkeammat kuin avoimen väylän mallilla saatavat pitoisuudet.



Kuva 10. Typpidioksidin (NO₂) vuosiraja-arvoon verrannolliset pitoisuudet (µg/m³) Laajasalon kauppakeskuksen korttelin lähiympäristössä hengityskorkeudella (värillinen aluejakauma) ja katukuilumallinnuksen tarkastelupisteissä eri korkeuksilla tienpin-nasta (lukuarvot harmaalla pohjalla).

Hetkelliset typpidioksidipitoisuudet voivat nousta vuosikeskiarvopitoisuuksia huomattavasti korkeammiksi. Typpidioksidipitoisuuden vuorokausiohjearvo (kuva 11) voi tyypillisesti nykytilanteen liikennemäärillä ja päästötasolla ylittyä Helsingin liikenneympäristöissä vilkkaimpien teiden ja risteysalueiden lähiympäristössä sekä Helsingin keskustan alueella. Avoimen väylän mallilla tehtyjen laskelmien mukaan typpidioksidin vuorokausiohjearvoon verrannolliset pitoisuudet ovat korkeimmillaan hyvin lähellä ohjearvotaso (70 µg/m³) Laajasalontien välittömässä läheisyydessä. Muualla pitoisuudet alittavat ohjearvon. Katukuilumallinnuksen mukaan Kauppakeskuksen tarkastelupisteessä hengityskorkeudella pitoisuudet ylittävät niukasti

ohjearvon ja Laajasalontien eteläisessä tarkastelupisteessä hengityskorkeudella pitoisuudet ovat ohjearvotasolla. Kauppakeskuksen tarkastelupisteessä ohjearvo alittuu 10 metrin korkeudella tienpinnantasosta ja Laajasalontien eteläisessä tarkastelupisteessä 4 metrin korkeudella tienpinnantasosta. Lyhytaikaispitoisuuksiin ja niiden jakaumaan vaikuttavat yksittäiset epäedulliset meteorologiset tilanteet, joiden aikana ilmanlaatu voi heikentyä autoliikenteen matalalta vapautuvien päästöjen vaikutuksesta. Huomionarvoista on, että suurimman osan ajasta epäpuhtauspitoisuudet ovat pienempiä kuin mallilaskelmissa saadut korkeimmat pitoisuudet.



Kuva 11. Typpidioksidin (NO₂) **vuorokausiohjearvoon** verrannolliset pitoisuudet (µg/m³) Laajasalon kauppakeskuksen korttelin lähiympäristössä hengityskorkeudella (värillinen aluejakauma) ja katukuilumallinnuksen tarkastelupisteissä eri korkeuksilla tienpinnasta (lukuarvot harmaalla pohjalla).

Autoliikenteen päästöjen vaikutus ulkoilman typpidioksidipitoisuuksiin on suurin hengityskorkeudella. Typpidioksidipitoisuudet pienenevät etäisyyden kasvaessa päästölähteestä. Päästöjen sekoittumisen ja laimenemisen vuoksi pitoisuudet pienenevät sekä korkeammalle noustessa että kuljettaessa etäämmälle tiestä. Katukuilumaisessa ympäristössä laimeneminen ei kuitenkaan tapahdu yhtä tehokkaasti kuin ympäristössä, missä ei ole korkeita rakennuksia. Katukuilumallin tuloksena saadut rakennusten kattotasolle (18–26 m) lasketut pitoisuudet ovat vuosikeskiarvona noin 80–87 % hengityskorkeuden pitoisuustasoista ja vuorokausiohjearvoon verrannollisina pitoisuuksina noin 94–97 % hengityskorkeuden pitoisuustasoista.

5.2 Pienhiukkaspitoisuudet (PM_{2,5})

Avoimen väylän mallilla ja katukuilumallilla tehtyjen leviämismallilaskelmien tuloksina saadut ulkoilman pienhiukkaspitoisuudet tutkimusalueella on esitetty kuvissa 12 ja 13. Pienhiukkaspitoisuuden vuosiraja-arvo (25 µg/m³) alittuu selvästi koko tarkastelualueella (kuva 12). Kauppakeskusta ympäröivien teiden välittömässä läheisyydessä pitoisuudet ovat WHO:n vuosiohjearvon (10 g/m³) tasolla. Pienhiukkaspitoisuuksien melko pieni vaihtelu johtuu siitä, että suurin vaikutus pienhiukkaspitoisuustasoihin on alueellisella taustapitoisuudella. Autoliikenteen päästöt aiheuttavat muutaman mikrogramman lisän pienhiukkasten kokonaispitoisuuksien vuosikeskiarvoon vilkkaiden teiden varsilla.

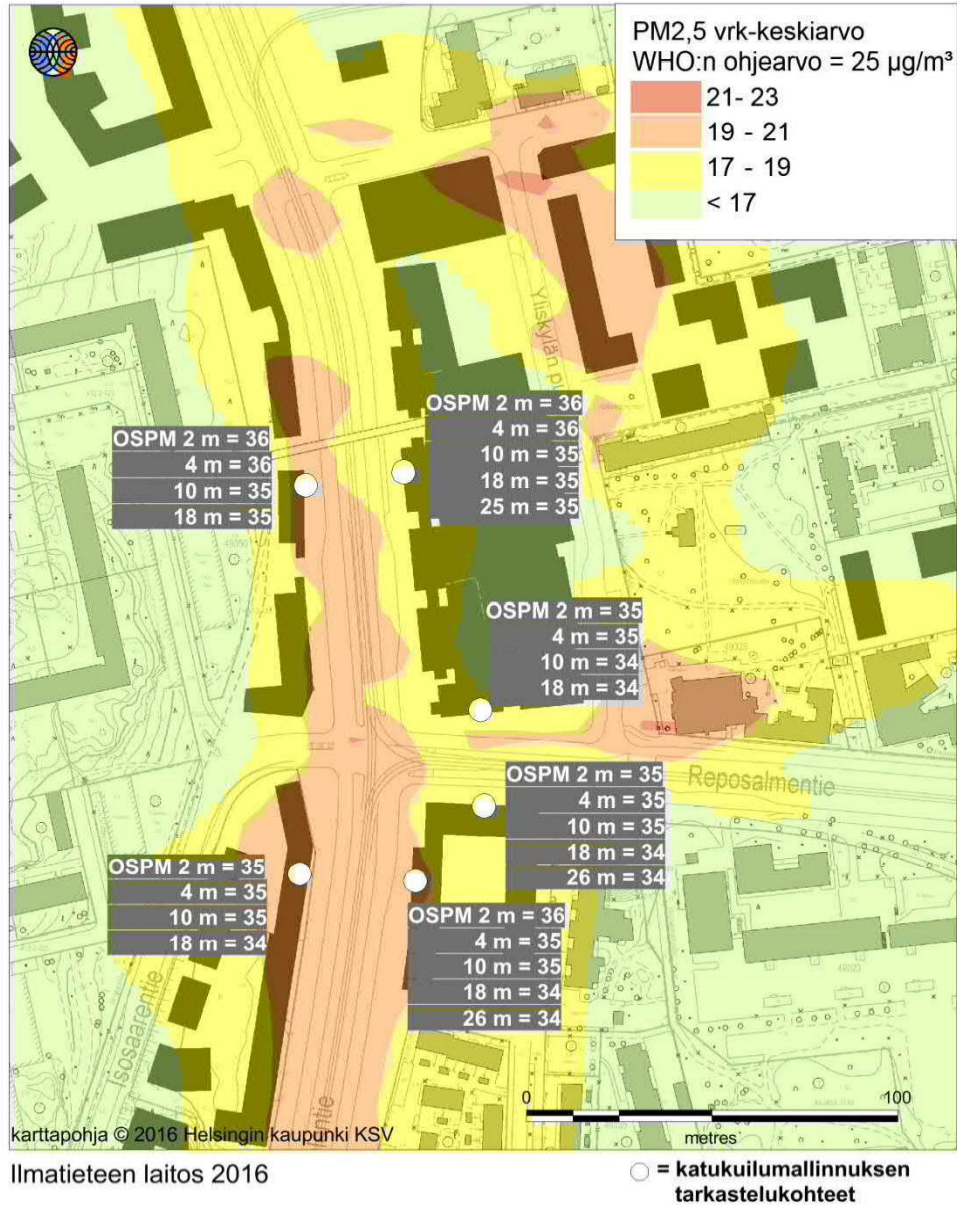


Kuva 12. Pienhiukkasten (PM_{2,5}) vuosiraja-arvoon verrannolliset pitoisuudet (µg/m³) Laajasalon kauppakeskuksen korttelin lähiympäristössä hengityskorkeudella (värillinen aluejakauma) ja katukuilumallinnuksen tarkastelupisteissä eri korkeuksilla tienpinnasta (lukuarvot harmaalla pohjalla).

WHO:n ohjearvo pienhiukkaspitoisuuksien vuorokausikeskiarvolle (25 µg/m³) alittuu avoimen väylän mallin tulosten mukaan tutkimusalueella hengityskorkeudella (kuva 13). Katukuilumallin tulosten mukaan WHO:n ohjearvo ylittyy kaikissa tarkastelu-kohteissa hengityskorkeudella sekä rakennusten kattotasolla. WHO:n määrittelemä ohjearvo on suosituksenomainen eikä ole osa Suomen ilmansuojelulainsäädäntöä. Pitoisuuksia verrataan WHO:n ohjearvoon, koska pienhiukkasten lyhytaikaispitoisuuksille ei ole Suomessa voimassaolevaa ohje- tai raja-arvoa.

Selvä ero avoimen väylän mallin korkeimmissa vuorokausipitoisuuksissa verrattuna katukuilumallin tuloksiin 2 m korkeudella johtuu suurelta osin taustapitoisuusaineis-
ton erilaisuudesta. Katukuilumallissa taustapitoisuusajaksarja on todellinen mitattu

tuntiaikasarja, kun taas avoimen väylän mallin taustapitoisuus syötetään kuukausittaisena tuntikeskiarvomatriisina. Keskiarvoistaminen leikkaa episoditilanteiden korkeimmat tuntipitoisuudet pois.



Kuva 13. Pienhiukkasten (PM_{2,5}) WHO:n vuorokausiohjearvoon verrannolliset pitoisuudet (µg/m³) Laajasalon kauppakeskuksen korttelin lähiympäristössä hengityskorkeudella (värillinen aluejakauma) ja katukuilumallinnuksen tarkastelupisteissä eri korkeuksilla tienpinnasta (lukuarvot harmaalla pohjalla).

Kaukokulkeumalla on merkittävä vaikutus pienhiukkasten pitoisuuksiin Suomessa ja korkeimmat pienhiukkaspitoisuudet havaitaan yleensä kaukokulkeuma-episodien aikana. Näissä tilanteissa pienhiukkaspitoisuuden WHO:n vuorokausiohjearvo ylittyy helposti koko Suomessa tausta-alueillakin. Suurimmat pitoisuudet havaitaan, kun ilmavirtaukset ovat etelän tai idän suuntaisia (mm. Venäjän ja Itä-Euroopan metsäpalojen aiheuttamat kohonneet pienhiukkaspitoisuudet).

6 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä selvityksessä arvioitiin leviämismallilaskelmin autoliikenteen päästöjen vaikutusta ilmanlaatuun Helsingin Laajasalon kauppakeskuksen asemakaava-alueella. Ilmanlaatuselvitys toteutettiin asemakaavamutoksen tueksi. Tutkimuksessa tarkasteltiin ulkoilman typpidioksidin (NO₂) ja pienhiukkasten (PM_{2,5}) pitoisuuksia kauppakeskuksen korttelin lähialueella. Leviämismallilaskelmat tehtiin Ilmatieteen laitoksella liikenteen päästöjen leviämisen mallintamiseen kehitetyllä avoimen väylän leviämismallilla (CAR-FMI). Lisäksi tarkasteltiin tanskalaisella katukuilumallilla (OSPM) pitoisuuksien muodostumista Laajasalontien ja Reposalmentien katukuilumaisilla osuuksilla usealla eri korkeustasolla. Katukuilumalli on kehitetty tieliikenteen päästöjen leviämisen arviointiin yksittäisissä tarkastelupisteissä katukuilu-ympäristössä. Katukuilumaisessa ympäristössä rakennukset estävät liikenteen päästöjen leviämistä ja heikon laimenemisen vuoksi ilman epäpuhtauksien pitoisuudet voivat kohota korkeiksi.

Tieliikenteen päästöt laskettiin ajoneuvotyyppi-kohtaisilla ja nopeusriippuvaisilla Euro 4 -päästötason päästökertoimilla. Laskelmat tehtiin käyttäen Helsingin Kaupunkisuunnitteluvirastolta saatuja tulevan tilanteen ennusteliikennemääriä (ennustevuosi 2040). Tulevan tilanteen ennusteliikennemäärät ovat tarkastelualueella suurempia kuin nykytilanteen liikennemäärät. Alueen ilmanlaatuun merkittävimmin vaikuttavan Laajasalontien tulevaksi liikennemääräksi kauppakeskuksen kohdalla oli leviämismallilaskelmassa arvioitu 30 900 ajoneuvoa vuorokaudessa, raskaan liikenteen osuudeksi 7 % ja liikennevirran keskimääräiseksi ajonopeudeksi 30 km/h. Reposalmentien liikennemääräksi kauppakeskuksen kohdalla arvioitiin 9 500 ajoneuvoa vuorokaudessa, liikennevirran ajonopeus ja raskaan liikenteen osuus olivat samat kuin Laajasalontien kohdalla. Mallilaskelmissa on käytetty laskettujen autoliikenteen päästöjen lisäksi alueellista taustapitoisuutta, joka on saatu ilmanlaadun mittausasemien havainnoista. Mallinnuksessa käytetyt taustapitoisuudet on otettu Vartiokylän ja Kallion ilmanlaadun mittausasemien vuosien 2012–2014 havainnoista.

Tulevaisuuden autoliikenteen päästöjen ennustamiseen sisältyy useita epävarmuustekijöitä ja tässä työssä onkin huomioitu ilmanlaadun kannalta epäedullisin mahdollinen ennustetilanne käyttämällä vuoden 2040 liikennemääräennustetta ja nykytilannetta edustavaa päästötasoa (Euro 4) sekä nykyhetken taustapitoisuustasoa. Todennäköistä on, että päästöt ja niiden aiheuttamat vaikutukset pienenevät tulevaisuudessa, kun ajoneuvojen moottoritekniikka kehittyy ja päästörajoitukset tiukkenevat.

Epäpuhtauksien pitoisuuksia ulkoilmassa säädellään ilmanlaadun ohje- ja raja-arvoilla. Ilmanlaadun ohje- ja raja-arvot tulisi ottaa huomioon esimerkiksi liikennesuunnittelussa, kaavoituksessa, rakennusten sijoittelussa ja teknisissä ratkaisuissa, jolloin pyritään etukäteen välttämään ihmisten pitkäaikainen altistuminen terveydelle haitallisen korkeille ilmansaasteiden pitoisuuksille. Terveysvaikutusperusteiset ilmanlaadun raja-arvot ovat ohje- ja raja-arvoja sitovampia, eivätkä ne saa ylittyä alueella, joilla asuu tai oleskelee ihmisiä. Esimerkiksi autoliikenteelle varatuilla väylillä raja-arvot eivät kuitenkaan ole voimassa.

Korkeimmat typpidioksidin ja pienhiukkasten pitoisuudet havaitaan tyypillisesti vilkkaasti liikennöidyillä väylillä ja niiden lähiympäristössä sekä risteysalueilla.

Päästöjen sekoittumisen ja laimenemisen vuoksi pitoisuudet pienenevät, kun etäisyys liikenneväylistä kasvaa sekä maanpinnan tasossa että ylöspäin mentäessä. Vuosikeskiarvopitoisuudet kuvaavat keskimääräistä ilman epäpuhtauspitoisuustasoa parhaiten. Hetkelliset pitoisuudet voivat nousta vuosikeskiarvopitoisuuksia huomattavasti korkeammiksi. Typpidioksidipitoisuuden vuorokausiohjearvo on suunnittelua ohjaava kriteeri. Mallinnettuihin lyhytaikaispitoisuuksiin sisältyy kuitenkin enemmän epävarmuutta kuin vuosipitoisuuksiin ja lyhytaikaispitoisuuksien jakaumaan vaikuttavat yksittäiset meteorologiset tilanteet. Huomionarvoista on, että suurimman osan ajasta epäpuhtauspitoisuudet ovat pienempiä kuin mallilaskelmista saadut korkeimmat pitoisuudet.

Avoimen väylän mallilla tehtyjen mallilaskelmien tulosten mukaan typpidioksidipitoisuuden vuosiraja-arvo $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ alittuu tulevassa tilanteessa koko tarkastelualueella hengityskorkeudella. Katukuilumallilla tarkastelluissa kohteissa pitoisuudet alittavat myös vuosiraja-arvon kaikilla korkeustasoilla. Pitoisuudet ovat korkeimmillaan Laajasalontien läheisyydessä. Typpidioksidin vuorokausiohjearvoon verrannolliset pitoisuudet ovat korkeimmillaan hyvin lähellä ohjearvotasoa ($70 \mu\text{g}/\text{m}^3$) Laajasalontien välittömässä läheisyydessä. Muualla tutkimusalueella pitoisuudet alittavat ohjearvon. Katukuilumallinnuksen tulosten mukaan Kauppakeskuksen tarkastelupisteessä hengityskorkeudella pitoisuudet ylittävät niukasti vuorokausiohjearvon, 10 metrin korkeudella tienpinnantasosta ohjearvo alittuu. Laajasalontien eteläisessä tarkastelupisteessä hengityskorkeudella pitoisuudet ovat ohjearvotason ja 4 metrin korkeudella tienpinnantasosta ohjearvo alittuu. Katukuilumallinnuksen tuloksena saadut rakennusten kattotason pitoisuudet ovat vuosikeskiarvona noin 80–87 % hengityskorkeuden pitoisuustasoista ja vuorokausiohjearvoon verrannollisina pitoisuuksina noin 94–97 % hengityskorkeuden pitoisuustasoista. Katukuilumaisessa ympäristössä laimeneminen ei tapahdu yhtä tehokkaasti kuin ympäristössä, missä ei ole korkeita rakennuksia.

Pienhiukkasten vuosikeskiarvopitoisuudet alittavat selvästi vuosiraja-arvon $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ tarkastelualueella molempien mallinnusten mukaan. Kauppakeskusta ympäröivien teiden välittömässä läheisyydessä pitoisuudet ovat WHO:n vuosiohjearvon ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$) tasolla. Suurin vaikutus ulkoilman pienhiukkaspitoisuustasoon on alueellisella taustapitoisuudella. WHO:n ohjearvo pienhiukkaspitoisuuksien vuorokausikeskiarvolle alittuu avoimen väylän mallin tulosten mukaan tutkimusalueella hengityskorkeudella. Katukuilumallin tulosten mukaan WHO:n ohjearvo ylittyi kaikissa tarkastelukohteissa hengityskorkeudella sekä myös rakennusten kattotasoilla. Kaukokulkeumaepisodien aikana pienhiukkaspitoisuuden WHO:n vuorokausiohjearvo ylittyi helposti koko Suomessa. WHO:n määrittelemä ohjearvo on suosituksenomainen eikä ole osa Suomen ilmansuojelulainsäädäntöä.

Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin mallintamalla vain pienhiukkaspitoisuuksia ($\text{PM}_{2,5}$). On mahdollista, että pienhiukkasia kooltaan suuremmat, hengitettävien hiukkasten pitoisuudet (PM_{10}) voivat epäedullisissa meteorologisissa olosuhteissa ylittää niiden vuorokausipitoisuudelle asetetun ohjearvon tai raja-arvotason tarkastellulla tutkimusalueella. Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet kohoavat etenkin katupölykaudella vilkkaasti liikennöityjen väylien läheisyydessä. Katupölyä esiintyy tyypillisesti keväällä maaliskuusta huhtikuussa sekä loppusyksystä talvirengaskauden alettua. Myös pienhiukkaspitoisuudet voivat hetkellisesti nousta korkeiksi näiden katupölyepisodien aikana. Katupölyn ja korkeiden hiukkaspitoisuuksien muodostu-

miseen voidaan merkittävästi vaikuttaa katujen talvikunnossapidolla sekä oikea-aikaisella katujen siivouksella ja pölynsidonnalla.

Tässä työssä tarkastellut katukuilumaiset katuosuudet luokitellaan leveiksi katukuiluiksi ja suunniteltujen rakennusten korkeudet vaihtelevat paljon. Nämä ominaisuudet lisäävät ilmanvaihtoa ja parantavat päästöjen sekoittumisolosuhteita. Leveässä katukuilussa ilman epäpuhtauksien pitoisuudet laimenevat paremmin kuin kapeassa katukuilussa, koska sekoittuminen katukuilun ja yläpuolisen ilman välillä on tehokasta eikä pysyvää tuulipyörrettä pääse helposti syntymään katukuiluun.

Nyt tehdyissä mallilaskelmissa on huomioitu ilmanlaadun kannalta epäedullisin mahdollinen ennustetilanne. Todennäköistä on, että päästöt ja niiden aiheuttamat vaikutukset pienenevät tulevaisuudessa ja pitoisuudet ovat nyt mallinnettuja pitoisuuksia pienempiä. Typpidioksidipitoisuuden vuorokausiohjearvo on suunnittelua ohjaava kriteeri. Katukuilumallinnuksen tulosten mukaan nykyhetken päästötasolla ja tulevan tilanteen liikennemäärillä laskettuna typpidioksidin vuorokausiohjearvo voi niukasti ylittyä hengityskorkeudella kauppakeskuksen tarkastelukohteessa, muualla vuorokausiohjearvo alittuu. Oletuksella, että liikennemäärät eivät kasva ennustetusta, tulevaisuudessa pitoisuudet todennäköisesti alittavat ohjearvon kohteissa, missä nyt tehtyjen mallilaskelmien mukaan ohjearvo ylittyi.

Ilmanvaihtosäleiköt olisi hyvä sijoittaa niin, että ilman epäpuhtauksille altistuminen rakennuksen sisätiloissa olisi mahdollisimman vähäistä. Uusissa rakennuksissa tämä voidaan toteuttaa esimerkiksi koneellisella ilmanvaihdolla, jonka tuloilma otetaan tehokkaasti suodatettuna riittävän korkealta ja kaukaa lähimpään vilkasliikenteiseen katuun nähden. Parvekkeiden sijoittelussa olisi suositeltavaa huomioida, etteivät ilmanlaadun raja- tai ohjearvot ylittyisi parvekkeiden kohdalla.

VIITELUETTELO

ALAVIIPPOLA, B. JA PIETARILA, H., 2011. Ilmanlaadun arviointi Suomessa, pienhiukkaspitoisuudet (PM_{2,5}). Ilmatieteen laitos, Ilmanlaadun asiantuntijapalvelut, Helsinki.

ANTTILA, P., TUOVINEN, J-P. JA NIEMI, J., 2011. Primary NO₂ emissions and their role in the development of NO₂ concentration in a traffic environment. *Atmospheric Environment* 45 (2011) 986-992.

BERKOWICZ, R., 1999. OSPM – A Parameterised Street Pollution Model, *Environmental Monitoring and Assessment* Vol. 65.

BERKOWICZ, R., OLESEN H. R., JENSEN, S. S., 2002. User's Guide to OSPM – Operational Street Pollution Model, Draft - May 2002, NERI Technical Report.

HERTEL, O. AND BERKOWICZ, R., 1989. Modelling Pollution from Traffic in a Street Canyon. Evaluation of Data and Model Development, National Environmental Research Institute (NERI), DMU LUFT-A129, Roskilde, Denmark, ISBN 87-7440-141-6, 77 p.

HÄRKÖNEN, J., NIKMO, J., KARPPINEN, A., AND KUKKONEN, J., 2001. A refined modelling system for estimating the emissions, dispersion, chemical transformation and dry deposition of traffic-originated pollution from a road. In: Cuvelier, C. et al., *Seventh International Conference on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes*, Joint Research Centre, European Commission, Ispra, Italy, pp. 311-313.

HSY, 2016. Ilmanlaatu ja siihen vaikuttavat tekijät pääkaupunkiseudulla vuosina 2006–2015. Ilmansuojelusuunnitelman taustaraportti, luonnos 24.2.2016. http://www.hel.fi/static/public/hela/Ymparistolautakunta/Suomi/Paatos/2016/Ymk_2016-03-15_Ylk_5_Pk/9A36EBE8-6CBA-4C71-896C-1EB5E3751726/Liite.pdf

ILMANLAATUPORTAALI, 2016. Ilmatieteen laitoksen ylläpitämä palvelu, josta on saatavilla mittaustiedot ja historiatietoja pitoisuuksista lähes kaikilta Suomen ilmanlaadun seuranta-asemilta: www.ilmanlaatu.fi

KARPPINEN, A., 2001. Meteorological pre-processing and atmospheric dispersion modelling of urban air quality and applications in the Helsinki metropolitan area. Academic dissertation. Finnish Meteorological Institute, Contributions No. 33, Helsinki.

KOMPPULA, B., ANTTILA, P., VESTENIUS, M., SALMI, T. JA LOVÉN, K., 2014. Ilmanlaadun seurantaraportin arviointi. Ilmatieteen laitos, Asiantuntijapalvelut, Ilmanlaatu ja energia.

LAURIKKO, J. K., 1998. On exhaust from petrol-fuelled passenger cars at low ambient temperatures. *VTT julkaisu* 348.

RANTAKRANS, E., 1990. Uusi menetelmä meteorologisten tietojen soveltamiseksi ilman epäpuhtauksien leviämismalleissa. *Ilmansuojelu-uutiset* 1/90, s. 18–20.

VTT, 2012. Teknologian tutkimuskeskus VTT. LIPASTO liikenteen päästöt <http://lipasto.vtt.fi/>

Vna 38/2011. Valtioneuvoston asetus ilmanlaadusta. Annettu 20.1.2011.

Vnp 480/1996. Valtioneuvoston päätös ilmanlaadun ohjearvoista ja rikkilaskeuman tavoitearvoista. Annettu 19.6.1996.

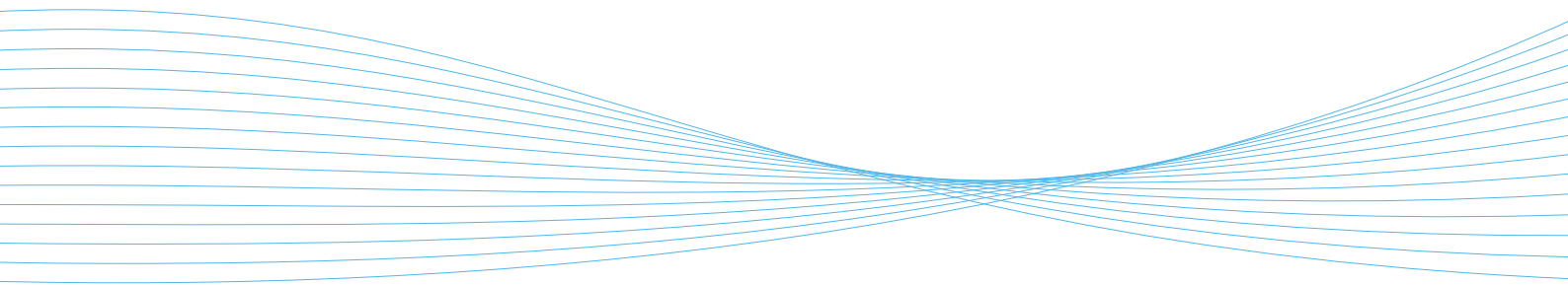
WHO, 2006. WHO Air quality guidelines. Particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulphur dioxide. Global update 2005. Copenhagen, WHO Regional Office for Europe.



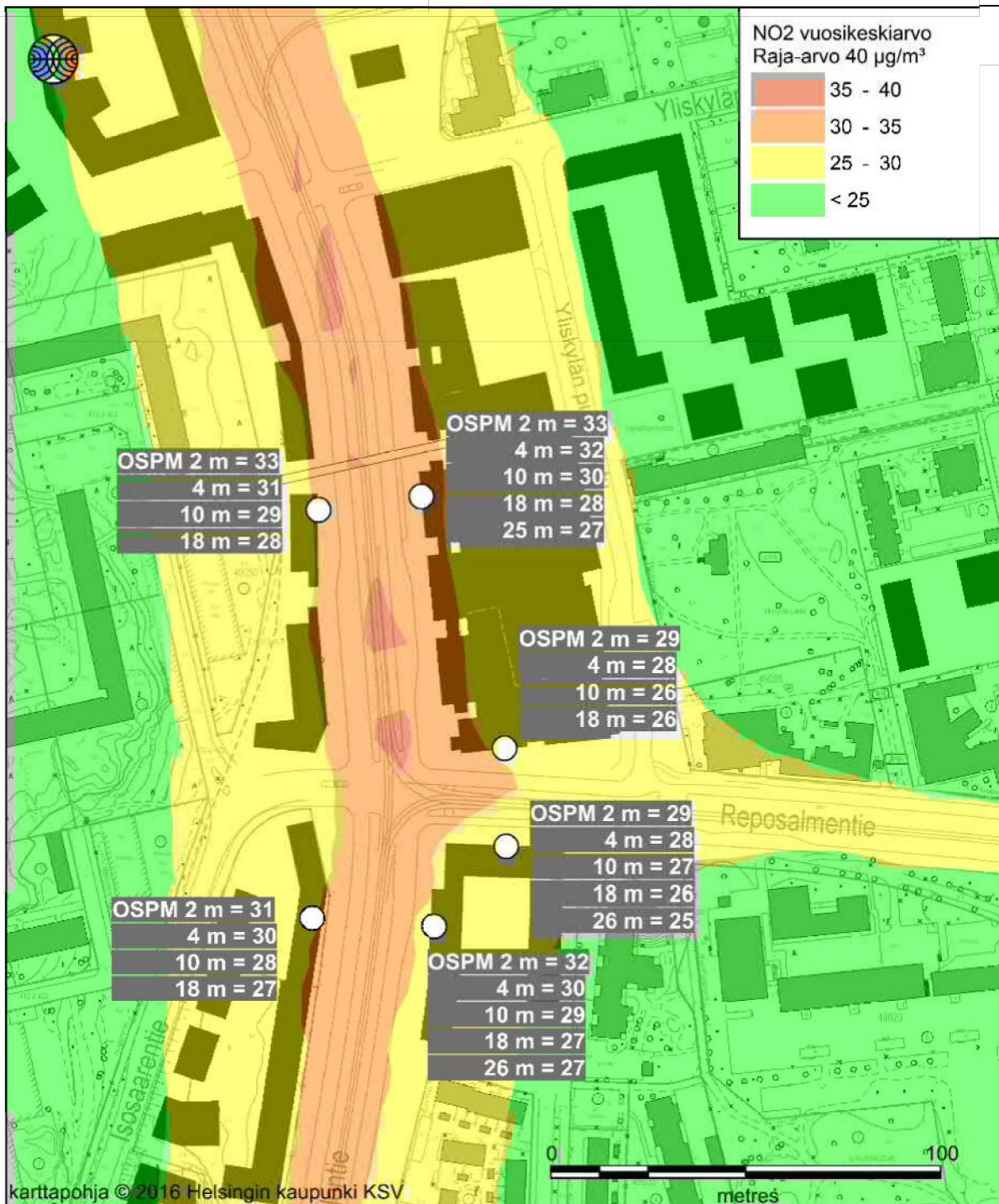
ILMATIETEEN LAITOS
METEOROLOGISKA INSTITUTET
FINNISH METEOROLOGICAL INSTITUTE

ILMATIETEEN LAITOS
Erik Palm in aukio 1
00560 Helsinki
puh. 029 539 1000

WWW.ILMATIETEENLAITOS.FI



LAAJASALO

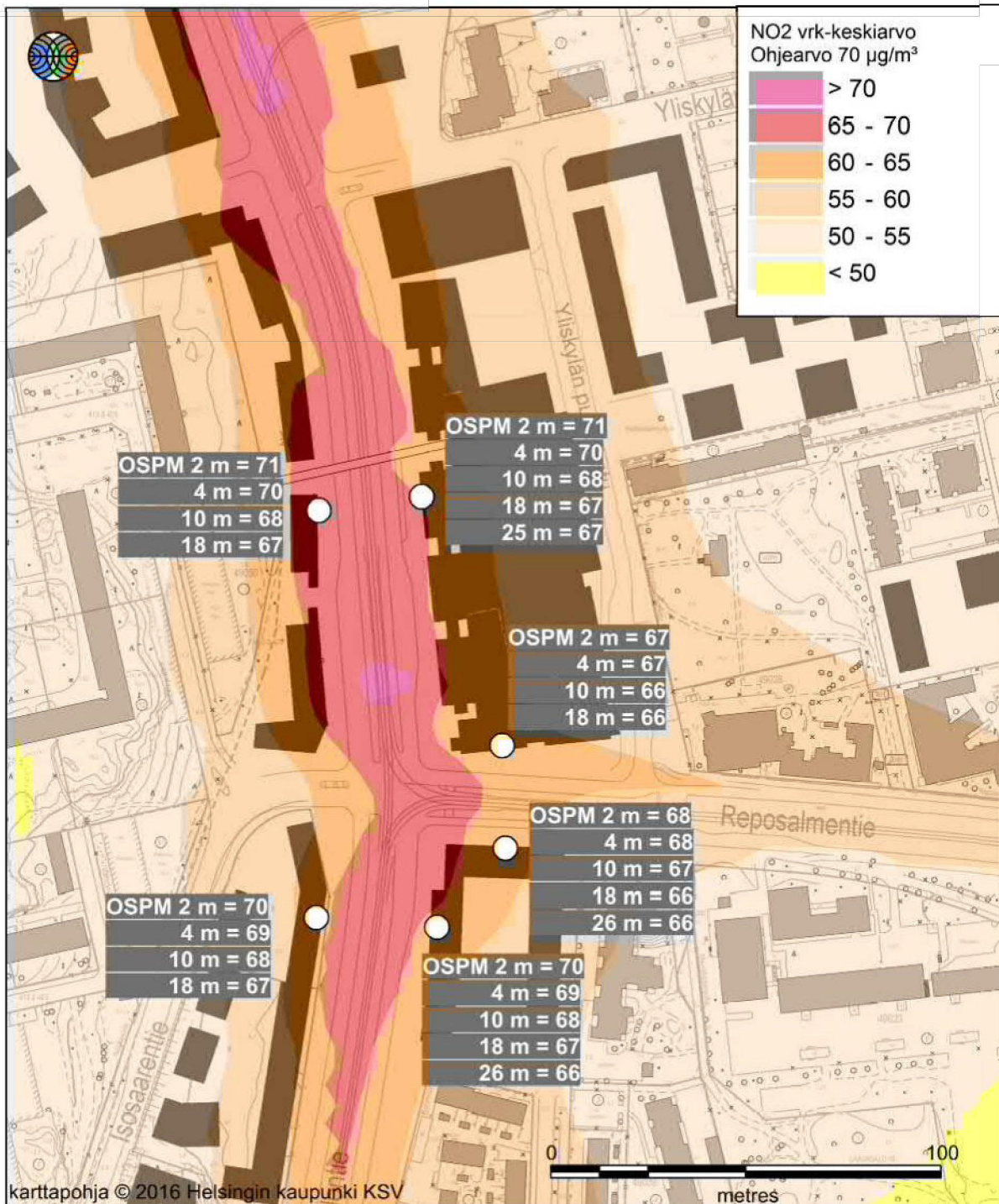


Ilmatieteen laitos 2016

○ = katukuilumallinnuksen tarkastelukohteet

Kuva 1. Typpidioksidin (NO₂) vuosiraja-arvoon verrannolliset pitoisuudet (µg/m³) tarkastelualueella hengityskorkeudella (värillinen aluejakauma) ja katukuilumallinnuksen tarkastelupisteissä eri korkeuksilla tienpinnasta (lukuarvot harmaalla pohjalla).

LAAJASALO

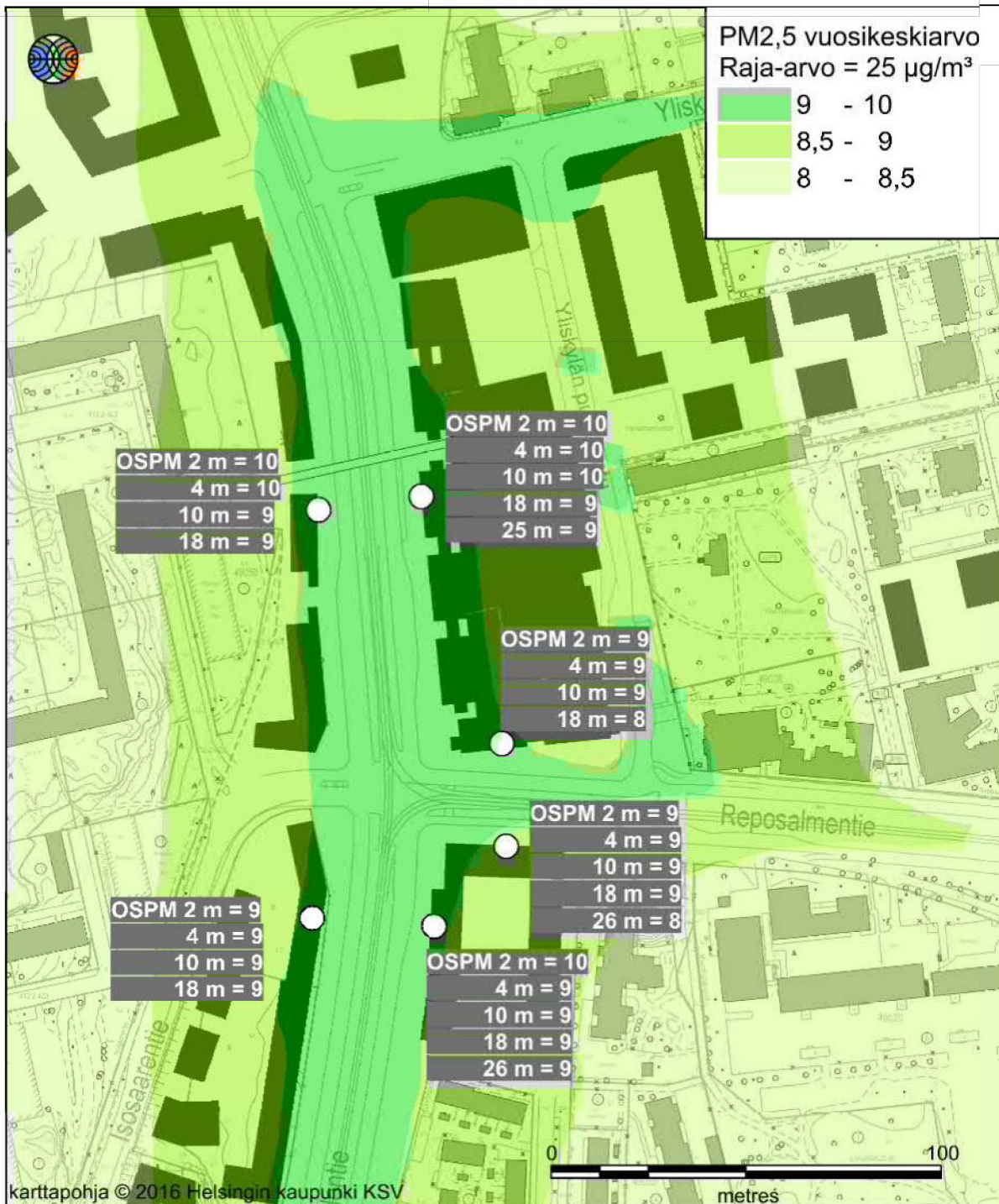


Ilmatieteen laitos 2016

○ = katukuilumallinnuksen tarkastelukohteet

Kuva 2. Typpidioksidin (NO₂) vuorokausiohjearvoon verrannolliset pitoisuudet (µg/m³) tarkastelualueella hengityskorkeudella (värillinen aluejakauma) ja katukuilumallinnuksen tarkastelupisteissä eri korkeuksilla tienpinnasta (lukuarvot harmaalla pohjalla).

LAAJASALO

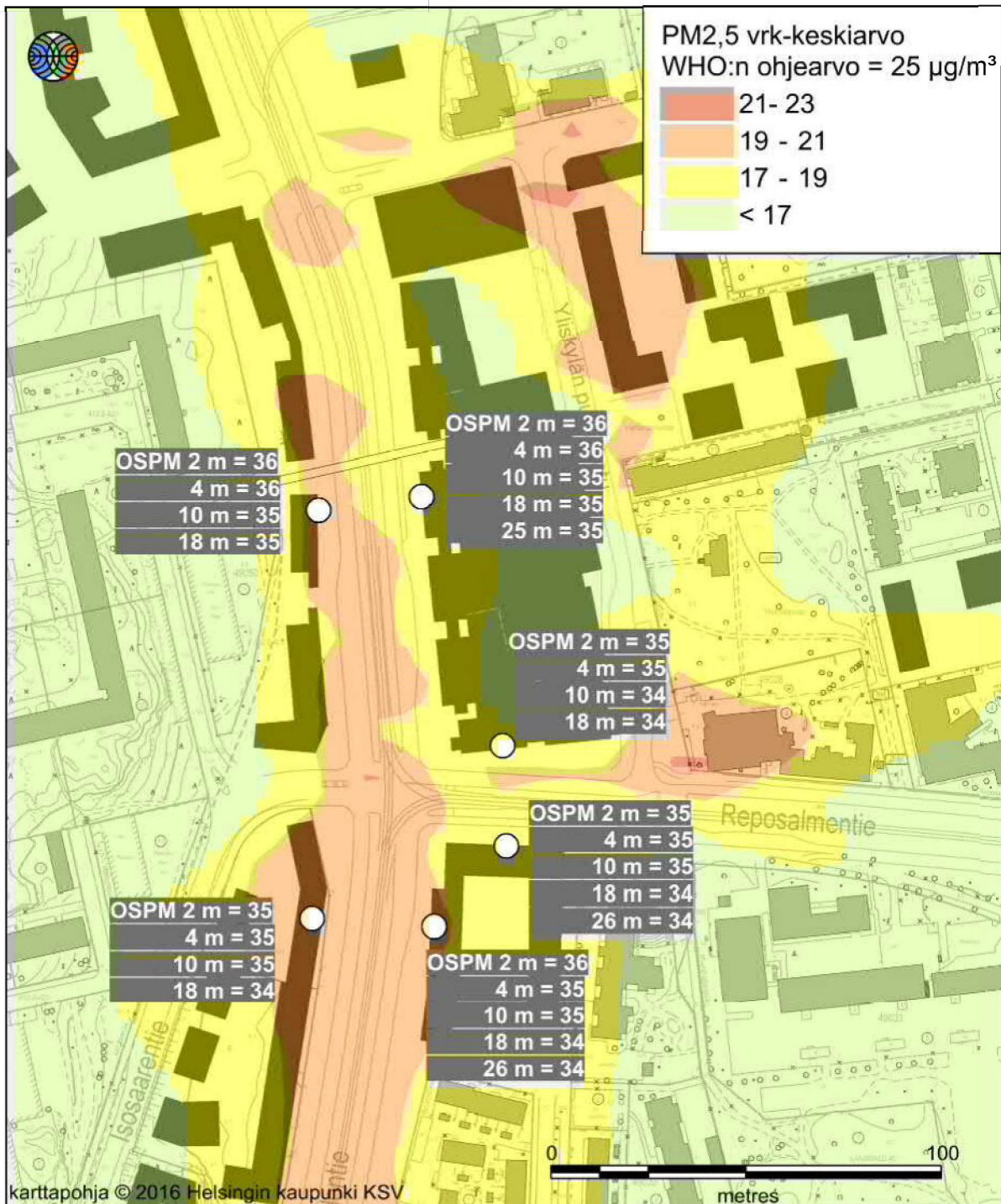


Ilmatieteen laitos 2016

○ = katukuilumallinnuksen tarkastelukohteet

Kuva 3. Pienhiukkasten (PM2,5) vuosiraja-arvoon verrannolliset pitoisuudet (µg/m³) tarkastelualueella hengityskorkeudella (värillinen aluejakauma) ja katukuilumallinnuksen tarkastelupisteissä eri korkeuksilla tienpinnasta (lukuarvot harmaalla pohjalla).

LAAJASALO



Ilmatieteen laitos 2016

○ = katukuilumallinnuksen tarkastelukohteet

Kuva 4. Pienhiukkasten (PM2,5) vuorokausiohjearvoon verrannolliset pitoisuudet (µg/m³) tarkastelualueella hengityskorkeudella (värillinen aluejakauma) ja katukuilumallinnuksen tarkastelupisteissä eri korkeuksilla tienpinnasta (lukuarvot harmaalla pohjalla).