



ILMATIETEEN LAITOS

ILMANLAATUSELVITYS



Kuva: SRV Yhtiöt Oy

*Liikenteen typenoksidi- ja pienhiukkaspäästöjen
leviämismalliselvitys Helsingissä Lapinmäentie 1
korttelin lähiympäristössä*

ASiantuntijapalvelut
ILMANLAATU JA ENERGIA 2015

ILMANLAATUSELVITYS

**Liikenteen typenoksidi- ja pienhiukkaspäästöjen leviämismalliselvitys
Helsingissä Lapinmäentie 1 korttelin lähiympäristössä**

**Jatta Salmi
Hanna Hannuniemi**

**ILMATIETEEN LAITOS – ILMANLAATU JA ENERGIA
ASiantuntijapalvelut
Helsinki 6.10.2015**

SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO	4
2	TAUSTATIETOA ILMAN EPÄPUHTAUKSISTA.....	4
2.1	Ilmanlaatuun vaikuttavat tekijät.....	4
2.2	Typpidioksidi.....	5
2.3	Hiukkaset.....	6
2.4	Ilmanlaadun raja- ja ohjeavot	7
3	MENETELMÄT.....	9
4	TUTKIMUSALUE JA LÄHTÖTIEDOT	11
5	TULOKSET	18
5.1	Typpidioksidipitoisuudet	18
5.2	Pienhiukkaspitoisuudet.....	20
6	YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET	23
	VIITELUETTELO.....	26

1 JOHDANTO

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli arvioida leviämismallilaskelmin autoliikenteen päästöjen vaikutusta Helsingin Munkkivuoressa sijaitsevan Lapinmäentie 1 korttelin alueen ja sen lähiympäristön ilmanlaatuun. Mallilaskelmat tehtiin kaavoituksen tueksi.

Tutkimuksessa tarkasteltiin ulkoilman typpidioksidin (NO₂) ja pienhiukkasten (PM_{2,5}) pitoisuuksia. Laskelmat tehtiin käyttäen nykytilannetta edustavia liikennemääriä ja kahta erilaista autoliikenteen päästötasoa: Euro 3 ja Euro 4. Euro 3 –päästötason voidaan ajatella kuvaavan nykytilannetta ja Euro 4 –päästötason tulevaa tilannetta, jossa autokannan uusiutumisen myötä autoliikenteen kokonaispäästöt ovat pienentyneet. Helsingin Kaupunkisuunnitteluvirasto ennustaa tulevien liikennemäärien tällä alueella olevan nykytilannetta pienempiä.

Mallilaskelmilla tarkasteltiin ympäröivän tieliikenteen päästöjen ilmanlaatuvaikutuksia tutkimusalueella maanpintatasossa sekä muutaman suunnitellun asuinrakennuksen kohdalla, eri korkeuksilla maanpintatasosta ylöspäin. Autoliikenteen päästöjen aiheuttamat typpidioksidi- ja pienhiukkaspitoisuudet mallinnettiin Ilmatieteen laitoksella erityisesti liikenteen päästöjen leviämisen mallintamiseen kehitetyllä leviämismallilla (CAR-FMI).

Työn tilasi SRV Yhtiöt Oyj. Lähtötietoina käytetyt katuverkon liikennemäärätiedot ovat peräisin Helsingin Kaupunkisuunnitteluviraston liikennesuunnitteluosastolta. 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 kaukokulkeutuna maamme rajojen ulkopuolelta. Ilmansaasteiden päästöistä suurin osa vapautuu ilmakehän alimpaan kerrokseen, jota kutsutaan rajakerrokseksi. Rajakerroksessa päästöt sekoittuvat ympäröivään ilmaan ja ilmansaasteiden pitoisuudet laimenevat. Päästöt voivat levitä liikkuvien ilmassojen mukana laajoille alueille. Tämän kulkeutumisen aikana ilmansaasteet voivat reagoida keskenään sekä muiden ilmassa olevien yhdisteiden kanssa muodostaen uusia yhdisteitä. Ilmansaasteet poistuvat ilmasta sateen huuhtomina (märkälaskeuma), kuivalaskeutena 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 merkittä-

västi ilmansaasteiden sekoittumiseen ja pitoisuuksien laimenemiseen kulkeutumisen aikana. Leviämisen kannalta keskeisiä meteorologisia tekijöitä ovat tuulen suunta ja nopeus, ilmakehän stabiilisuus ja sekoituskorkeus. Ilmakehän stabiilisuudella tarkoitetaan ilmakehän herkkyttä pystysuuntaiseen sekoittumiseen. Stabiilisuuden 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 ilmansaasteet laimenevat huonosti. Inversiotilanteissa pitoisuudet kohoavat taajamissa etenkin liikenne-ruuhkien 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 astmaatikoille, koska jo puhtaan kylmän ilman hengittäminen rasituksessa aiheuttaa useimmille astmaatikoille 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 katukuiluosoisuuksilla 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, 2015*). Ylitystunteja saa olla

vuodessa 18 kpl, ennen kuin raja-arvo katsotaan ylittyneeksi. Puhtailla tausta-alueilla typpidioksidin vuosikeskiarvot ovat olleet Etelä-Suomessa noin 2–6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ja Pohjois-Suomessa noin 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

2.3 Hiukkaset

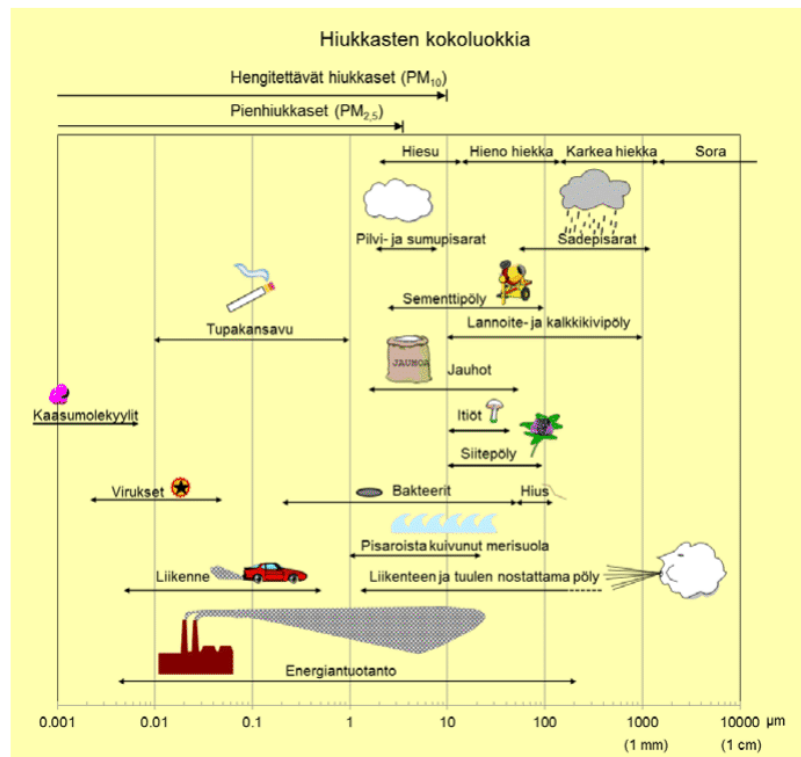
Ulkoilman hiukkaset ovat nykyisin merkittävimpiä ilmanlaatuun vaikuttavia tekijöitä Suomen kaupungeissa. Pienhiukkasia pidetään länsimaissa haitallisimpana ympäristötekijänä ihmisten terveydelle. Ulkoilman hiukkaset ovat taajamissa suurelta osin peräisin liikenteen ja tuulen nostattamasta katupölystä (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. Hengitettävälle hiukkasille, 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 ($\text{PM}_{2,5}$), 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 kaupunkikeskustoissa. Suomessa hiukkaspitoisuudet kohoavat yleensä voimakkaasti keväällä maaliskuussa, kun maanpinnan kuivuessa tuuli ja liikenne nostattavat katupölyä ilmaan. Liikenteen vaikutukset korostuvat matalan päästökorkeuden vuoksi. Hengitettävälle hiukkasille annettu vuorokausiohje-arvo ($70 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ylittyy keväisin yleisesti Suomen kaupungeissa samoin kuin vuorokausipitoisuuksille asetettu raja-arvotaso ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Vuorokausiraja-arvotason ylityksiä saa olla kullakin asemalla 35 kappaletta vuodessa, joka ylittyy harvoin. Hengitettävien hiukkasten vuorokausipitoisuudelle annettu raja-arvo on ylittynyt vain Helsingin keskustassa (viimeisin raja-arvon ylitys oli vuonna 2006). Katupölyn muodostumiseen voidaan merkittävästi vaikuttaa oikea-aikaisella katujen siivouksella ja kunnossapidolla sekä pölynsidonnalla.

Maamme suurimpien kaupunkien keskusta-alueilla on mitattu useina vuosina yli $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$:n hengitettävien hiukkasten pitoisuuden vuosikeskiarvoja. Hengitettävien hiukkasten vuosipitoisuudelle annettu raja-arvo $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ on alittunut Suomessa. Pääkaupunkiseudulla mitatut hengitettävät hiukkasten vuosikeskiarvopitoisuudet ovat olleet suurimmillaan tasoa $25\text{--}30 \mu\text{g}/\text{m}^3$. 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 $3\text{--}6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Komppula ym., 2014).

Pienhiukkaspitoisuuden ($PM_{2,5}$) vuosikeskiarvolle määritetty raja-arvo $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ alittuu kaikkialla Suomessa. Korkeimmillaan vuosipitoisuus on ollut Helsingin vilkkaasti liikennöidyillä keskusta-alueilla noin $12\text{--}14 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Maaseututausta-alueilla pitoisuustaso on Etelä-Suomessa noin $7\text{--}10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Keski-Suomessa noin $4\text{--}7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja Pohjois-Suomessa noin $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Pitoisuuserot erityyppisten mittausympäristöjen välillä ovat melko pieniä: kaupunkiympäristön päästölähteet kohottavat vuositasolla pitoisuuksia liikenneympäristöissä noin $3\text{--}4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja kaupunkitausta-alueilla noin $1\text{--}2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ taustapitoisuuksista. Pienhiukkasten taustapitoisuudesta valtaosa on kaukokulkeutunutta hiukkasainesta. Kaukokulkeuma muodostaa huomattavan osan myös kaupunki-ilman pienhiukkaspitoisuuksista (Alaviipola ja Pietarila, 2011).



Kuva 1. Hiukkasten kokoluokkia. Hiukkasten koko ilmaistaan halkaisijana mikrometreissä (μm). Mikro (μ) etuliite tarkoittaa miljoonasosaa. $1 \mu\text{m}$ on siten metrin miljoonasosa eli millimetrin tuhannesosa

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 teollisuusalueilla tai liikenneväylillä, lukuun ottamatta kevyen liikenteen väyliä. Kansalliset ilmanlaadun ohjearvot eivät ole yhtä sitovia kuin raja-arvot, mutta niitä käytetään

tään 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 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (293 K, 101,3 kPa)	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.

Typenoksidipitoisuuksien (NO_x) vuosikeskiarvoon perustuva kriittinen taso $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ on annettu kasvillisuuden ja ekosysteemien suojelemiseksi ja se on voimassa laajoilla maa- ja metsätalousalueilla ja luonnonsuojelun kannalta merkityksellisillä alueilla.

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 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (293 K, 101,3 kPa)	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

3 MENETELMÄT

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 kehitettyjä leviämismalleja tieliikenteen päästöjen leviämisen kuvaamiseen ja ilmanlaatuvaikutusten arvioimiseen.

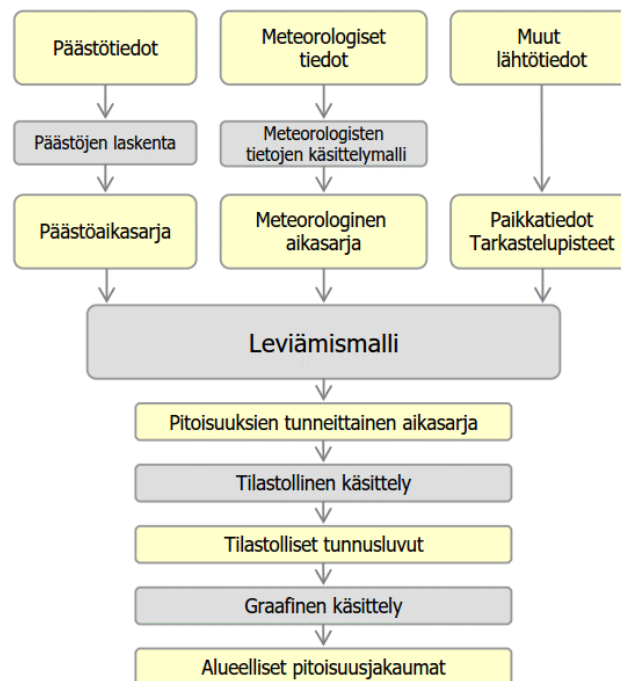
Ilmatieteen laitoksen leviämismalleja on kehitetty pitkäjänteisesti yli kolmenkymmenen vuoden ajan tavoitteena tuottaa luotettavaa tietoa ilmanlaadusta erityisesti Suomen olosuhteissa mm. kaupunki- ja liikennesuunnittelun ja ilmansuojelutoimien suunnittelun tueksi sekä pitoisuuksien ja väestön altistumisen arvioimiseksi. Mallien toimintaa on kehitetty lukuisissa tutkimusprojekteissa, ja verifiointitutkimusten mukaan mallinnusten tulokset on todettu hyvin yhteensopiviksi Suomen taajamien ja teollisuusympäristöjen ilmanlaadun mittaustulosten kanssa. Nykyisissä Ilmatieteen laitoksen leviämismalleissa kuvataan tarkasti päästökohdassa tapahtuvaa mekaanista ja lämpötilaeroista johtuvaa nousulisää, lähimpien esteiden aiheuttamaa savupainumaa, ilmassa tapahtuvia päästöaineiden kemiallisia prosesseja sekä ilmansaasteiden poistumamekanismeja ilmakehästä. Malleihin sisältyy laskentamenetelmä typenoksidien kemialliselle muutunnalle. Liikenteen ja energiantuotannon typenoksidipäästöt koostuvat typpidioksidista sekä typpimonoksidista, jota on valtaosa päästöistä. Osa typpimonoksidista hapettuu ilmassa terveydelle haitallisemmaksi typpidioksidiksi.

Tässä selvityksessä käytetyllä leviämismallilla voidaan arvioida ilmansaasteiden pitoisuuksia ja laskeumaa päästölähteiden lähialueilla. Autoliikenteen päästöjen aiheuttamia ilmanlaatuvaikutuksia arvioitiin viivalähdemallilla CAR-FMI (Contaminants in the Air from a Road; *Karppinen, 2001; Härkönen ym., 2001*). Kaaviokuva leviämismallin toiminnasta on esitetty kuvassa 2.

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 sekä tietoa päästölähteiden sijainnista. Liikenteen päästölaskennassa otetaan huomioon

liikennemäärät ja niiden tunneittainen vaihtelu, erityyppisten ajoneuvojen osuudet liikennemääristä, liikennevirtojen nopeudet ja ajoneuvokohtaiset nopeusriippuvaiset päästökertoimet. Pistemäisten lähteiden päästöjen laskennassa otetaan huomioon lähdekohtaiset päästöt, savukaasujen ominaisuudet ja laitoksen tekniset tiedot. Leviämislaskelmia varten muodostetaan kaikille eri päästölähteille päästöaikasarjat, joissa on jokaiselle tarkastelujakson tunnille (1–3 vuotta, 8 760–26 304 tuntia) laskettu päästö määrä 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 rutiinhavaintojen 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 pituisia 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.

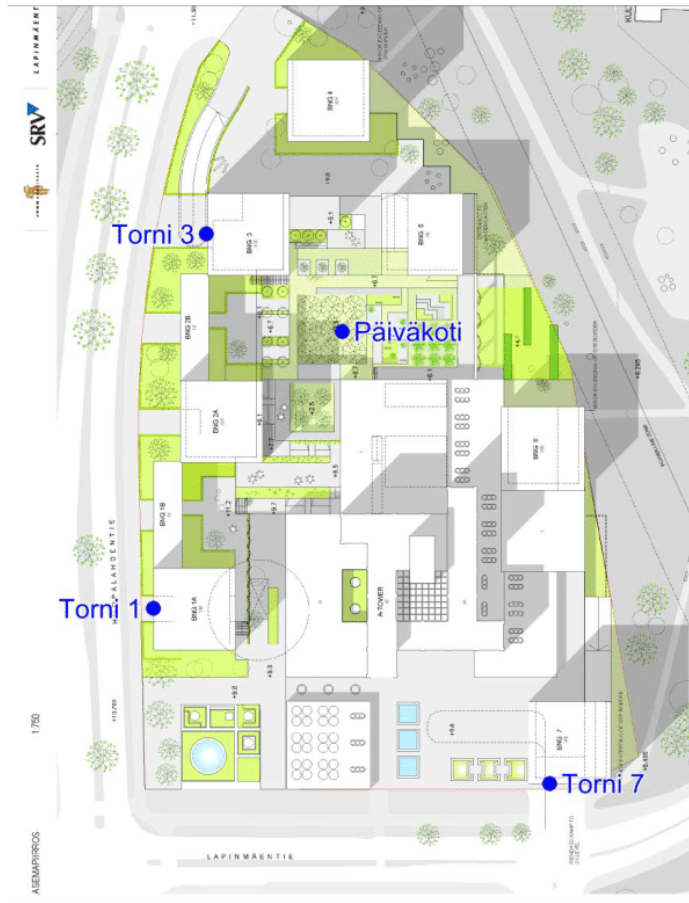


Kuva 2. Kaaviokuva Ilmatieteen laitoksella kehitetyn leviämismallin, viivalähdemallin (CAR-FMI) toiminnasta.

Leviämismallit laskevat ilmansaasteiden pitoisuuksia tarkastelujakson jokaiselle tunnille laskentapisteikköön, joka muodostetaan kullekin tutkimusalueelle sopivaksi. Laskentapisteitä on yleensä useita tuhansia, ja niiden etäisyys toisistaan vaihtelee muutamasta kymmenestä metristä satoihin metreihin riippuen tutkimusalueen koosta ja tarkasteltavista kohteista. Mallin tuottamasta pitoisuusaikasarjasta laskeaan ilmanlaadun raja- ja ohjearvoihin verrannollisia tilastollisia suureita, jotka esitetään raportissa mm. pitoisuuksien aluejakaumakuvina ja taulukkoina.

4 TUTKIMUSALUE JA LÄHTÖTIEDOT

Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin autoliikenteen pakokaasupäästöjen aiheuttamia ilmanlaatuvaikutuksia Helsingin Munkkivuorella sijaitsevan Lapinmäentie 1 korttelin alueella ja sen lähiympäristössä. Työssä tarkasteltiin mallintamalla ulkoilman typpidioksidin (NO_2) ja pienhiukkasten ($\text{PM}_{2,5}$) pitoisuuksia tutkimusalueen maanpintatasolla. Kortteli sijaitsee Huopalahdentien ja Lapinmäentien risteyksessä. Korttelin alueelta on suunniteltu purettavan osia aikaisemmista rakennuksista ja tilalle on suunniteltu uusia asuinkerrostaloja. Uudisrakentamisen on arvioitu alkavan vuonna 2017, jaksottuen noin kymmenen vuoden ajalle. Osassa kerrostaloja parvekkeet on suunniteltu avautumaan vilkkaan Huopalahdentien suuntaan. Kahden tällaisen kerrostalon kohdalla sekä kahdessa muussa erillistarkastelupisteessä tarkasteltiin pitoisuuksien muodostumista eri korkeuksille maanpintatasosta ylöspäin. Suunniteltujen kerrostalojen sekä erillistarkastelupisteiden sijainnit on esitetty kuvassa 3.



Kuva 3. Lapinmäentie 1 korttelin alueelle suunnitellut rakennukset. Sinisillä pisteillä on merkitty niitä erillistarkastelukohtia, joihin on laskettu pitoisuuksien pystysuuntaiset jakaumat. Kuva: Arkkitehtitoimisto JKMM Oy, SRV Yhtiöt Oyj.

Päästöjen leviämislaskelmat tehtiin käyttäen nykytilannetta edustavia liikennemääriä ja kahta erilaista autoliikenteen päästötasoa: Euro 3 ja Euro 4. Lähtötietoina käytetyt katuverkon liikennemäärätiedot ovat peräisin Helsingin Kaupunkisuunnitteluviraston liikennesuunnitteluosastolta (saatu 14.4.2015). KSV ennustaa tulevien liikennemäärien (v. 2035) tällä alueella olevan nykytilannetta pienempiä. Euro 3 -päästötason voidaan ajatella kuvaavan nykytilannetta ja Euro 4 -päästötason tulevaa tilannetta, jossa autokannan uusiutumisen myötä autoliikenteen kokonaispäästöt ovat merkittävästi pienentyneet. Koko tutkimusalueen autoliikenteen päästöt laskettiin ja mallinnettiin tiekohtaisina viivalähteinä. Liikenneväylää kuvattiin mallissa peräkkäisinä lyhyinä viivoina, joista jokaisesta vapautuu ympäristöönsä erikseen laskettavan suuruinen päästö. Tieverkon liikenteen päästöt laskettiin Ilmatieteen laitoksella keskimääräisten nykytilanteen vuorokausiliikennemäärien (KVL), ajonopeuksien, raskaan liikenteen osuuksien ja liikenteen tuntikohtaisen vaihtelun perusteella.

Laskelmissa huomioitiin tieliikenteen päästöt nykytilanteen liikennemääriin perustuen noin 3 km × 3 km suuruiselta alueelta Lapinmäentie 1 korttelin ympäriltä. Tämän

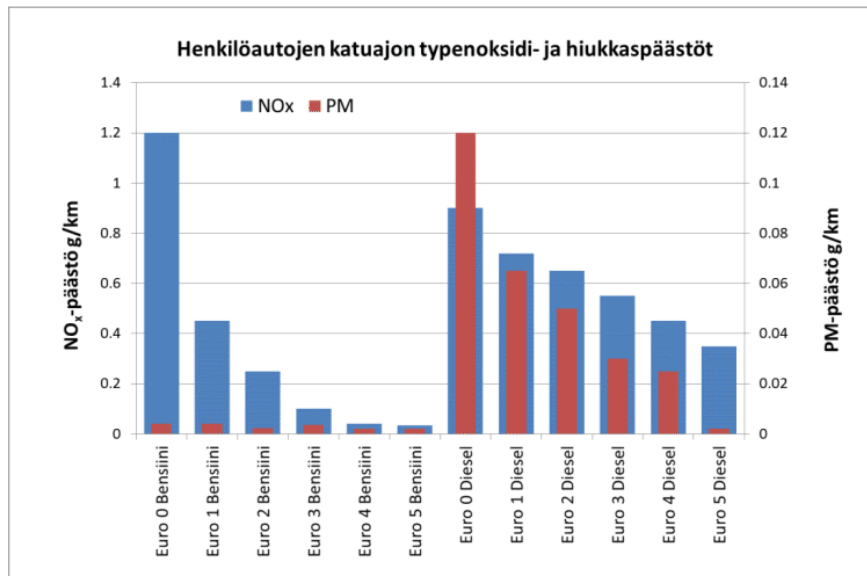
3 km × 3 km kokoisen alueen ulkopuolelta liikenteen päästöt huomioitiin karkeammalla tasolla koko pääkaupunkiseudun alueelta (noin 36 km × 25 km alue) käyttäen HSY:n vuodelle 2005 laskemia päästöviivoja, jotka skaalattiin vastaamaan Euro 3- tai Euro 4 -päästötasoa. Tällä menettelyllä saatiin huomioitua pääkaupunkiseudun liikenteen aiheuttamaa paikallista lisää typpidioksidin ja pienhiukkasten pitoisuustasoissa. Liikenteen päästöjen lisäksi huomioitiin typpidioksidin ja pienhiukkasten alueellinen taustapitoisuus, jotta mallilaskelmin saadut pitoisuudet vastaisivat mahdollisimman hyvin todellisia epäpuhtauspitoisuustasoja.

Päästöt laskettiin ajoneuvon tyypistä (henkilöauto/pakettiauto/raskas liikenne) riippuvien päästökertoimien avulla, mitkä perustuvat VTT:n (Teknologian tutkimuskeskus VTT) päästölaskelmiin (Laurikko, 1998) ja CAR-FMI -mallia varten kehitettyihin ajoneuvojen nopeudesta riippuviin päästökerroinfunktioihin. Autoliikenteen pakokaasupäästöjen leviämislaskelmat tehtiin käyttäen nykytilannetta kuvaavia Euro 3 -päästötasoa edustavia päästökertoimia sekä tulevaa tilannetta kuvaavia Euro 4 -päästötasoa edustavia päästökertoimia. Taulukossa 3 on esitetty eri päästötasoja (Euro 0–Euro 5) edustavien henkilöautojen (benssiini- ja dieselmkäyttöiset) suoriteosuudet vuonna 2011. Euro 4 on päästötaso, jossa oletetaan autokannan uusiutuneen siinä määrin, että kaikkien liikennöivien ajoneuvojen päästötaso vastaisi vuosina 2006–2009 valmistuneiden autojen päästötasoa (VTT, LIPASTO).

Taulukko 3. Eri päästötasoa edustavien henkilöautojen (benssiini- ja dieselmkäyttöiset) suoriteosuudet (%) vuonna 2011 (Lähde: LIPASTO 2012 laskentajärjestelmä, VTT).

Päästötaso	Luokkaan kuuluvat ajoneuvot	Ajosuorite (%) benssiinikäyttöiset	Ajosuorite (%) dieselmkäyttöiset
Euro 0	ei katalysaattoria, vuosimallit ennen 1990	9	0
Euro 1	vuosimallit 1991–1996	13	7
Euro 2	vuosimallit 1997–2000	20	13
Euro 3	vuosimallit 2001–2005	31	25
Euro 4	vuosimallit 2006–2009	20	40
Euro 5	vuosimalli 2010 ja sitä uudemmat	7	16

Euro-päästöluokkien päästömäärien eroja on havainnollistettu kuvassa E, jossa on esitetty henkilöautojen keskimääräiset katuajon typenoksidipäästöt ja hiukkaspäästöt päästöluokittain. Kuvaa tarkasteltaessa on huomioitava, että kyse ei ole Euro-päästörajoiden arvoista, vaan VTT:n laskemista keskimääräisistä päästöistä Suomen tieliikenteessä oleville ajoneuvoille. VTT:n laskentamalleissa henkilöauton kuormitukseksi arvioidaan katuajossa 1,3 henkilöä ja lisäksi huomioidaan kylmäkäynnistysten ja joutokäynnin aiheuttamat keskimääräiset päästölisäykset. Päästökertoimien määrittämisessä on käytetty VTT:n mittaustuloksia sekä lukuisia kansainvälisiä tietolähteitä. Kuvasta 4 voidaan havaita kuinka benssiinikäyttöisissä autoissa kolmitoimikatalysaattorit ovat vähentäneet hiukkaspäästöjä ja muitakin säänneltyjä päästöjä huomattavasti. Dieselmootoreiden hiukkaspäästöjä vähennettiin alkuun polttoaineita ja moottoritekniikkaa kehittämällä, mutta pakokaasuja edelleen puhdistavat hiukkassuodattimet tulivat pakollisiksi Euro 5 -päästöluokasta lähtien.

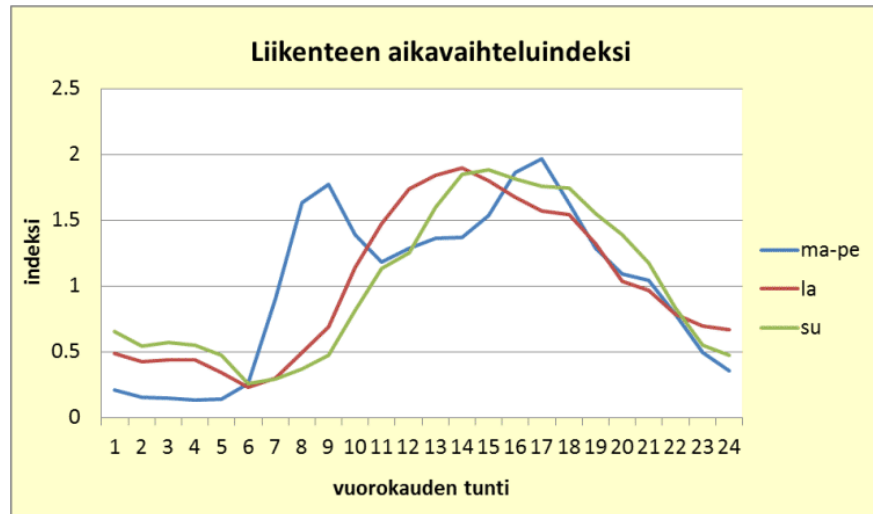


Kuva 4. Eri päästoluokkaan (Euro-luokitus) kuuluvien henkilöautojen keskimääräiset katuajon typenoksidipäästöt (NO_x, siniset pylväät) ja hiukkaspäästöt (PM, punaiset pylväät) käyttövoiman mukaan (benssiini/diesel) jaoteltuna (LIPASTO, VTT 2012).

Vuonna 2011 henkilöautojen suoriteisuus koostui VTT:n julkaiseman LIISA 2012 raportin mukaan suurimmaksi osaksi katalysaattorilla varustetuista bensiinikäyttöisistä ajoneuvoista, joiden osuus oli noin 60 % ajosuoritteesta. Bensiinikäyttöisistä henkilöautoista noin 5 % oli kokonaan ilman katalysaattoria. Tulevaisuudessa tiukkenevista päästönormeista ja ajoneuvojen ikääntymisestä johtuen niiden bensiinikäyttöisten henkilöautojen, joissa ei ole lainkaan katalysaattoria, määrä ja ajosuorite tulevat entisestään pienenevään. Muiden diesel- ja bensiinikäyttöisten ajoneuvojen ajosuoritteiden muutoksen ennustaminen on vaikeampaa, sillä siihen vaikuttavat merkittävästi verotukselliset ohjauskeinot. Tässä työssä Euro 4 -päästölaskennan perusteena on käytetty ajosuoritejakaumaa, jossa bensiinikäyttöisten katalysaattorittomien ajoneuvojen suoriteosuutta on pienennetty 1 %:iin ja katalysaattorilla varustettujen bensiinikäyttöisten ajoneuvojen suoriteosuutta vastaavasti kasvatettu 64 %:iin.

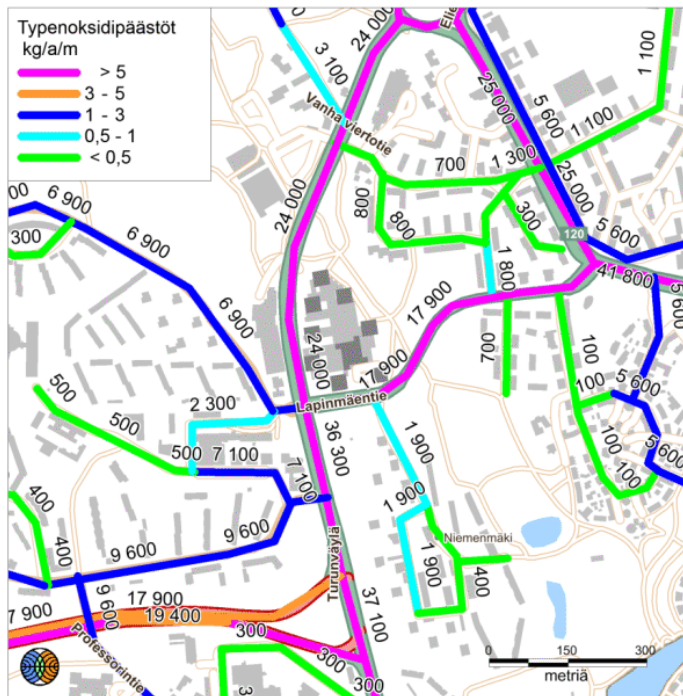
Päästölaskennassa on oletettu autoliikenteen typenoksidipäästöistä (NO_x) olevan keskimäärin 20 % typpidioksidia (NO₂) (Anttila *ym.*, 2011). Typpidioksidipäästöjen osuus pakokaasujen typenoksidipäästöistä on oletettu molemmissa tarkasteluskennarioissa (Euro 3 ja Euro 4) samaksi kuin nykyään, koska typpidioksidipäästöjen osuuden kehittymisen ennustamiseen liittyy paljon epävarmuustekijöitä.

Leviämislaskelmissa käytetyt liikennemäärien tuntikohtaista vaihtelua kuvaavat aikavaihteluindeksit on esitetty kuvassa 5. Aikavaihteluindeksit perustuvat Itäkeskuksen alueella vuonna 2009 tehtyyn liikennelaskentaan.

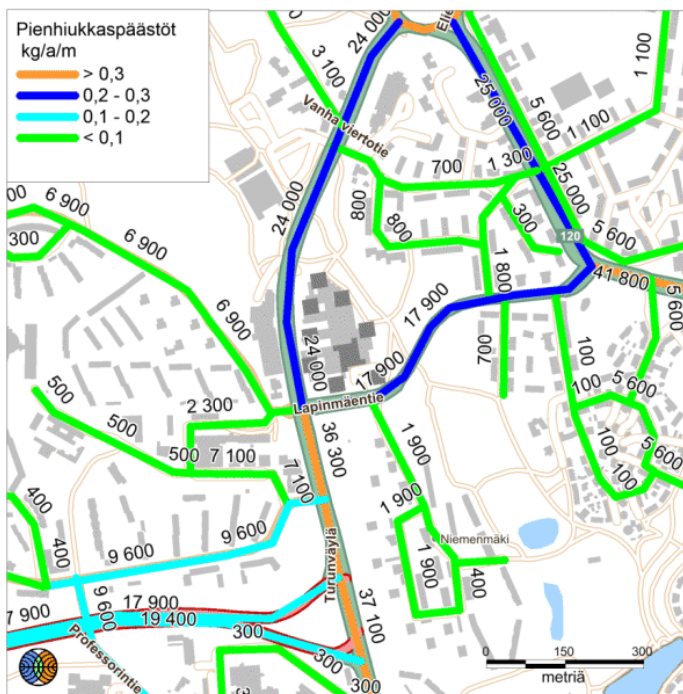


Kuva 5. Liikenteen tunneittaista vaihtelua kuvaavat aikavaihteluindeksit. Aikavaihtelu perustuu Itäkeskuksen alueella vuonna 2009 tehtyyn liikennelaskentaan.

Kuvissa 6–7 sekä raportin lopussa liitekuviissa 1 ja 3 on esitetty päästölaskelmissa käytetyt liikennemäärät (KVL, ajoneuvoa vuorokaudessa) sekä liikenneväyläkohtaiset typenoksidi- ja pienhiukkaspäästöt (kg/a/m) tutkimusalueella Euro 3-päästökertoimilla laskettuna. Euro 4-päästötasoa edustavat vastaavat kuvat on esitetty raportin lopussa liitekuviissa 2 ja 4. Euro 4-päästötason typenoksidi-päästöt olivat noin 25 % Euro 3-päästötasoa pienemmät. Hiukkasilla vastaava ero oli noin 40 %.



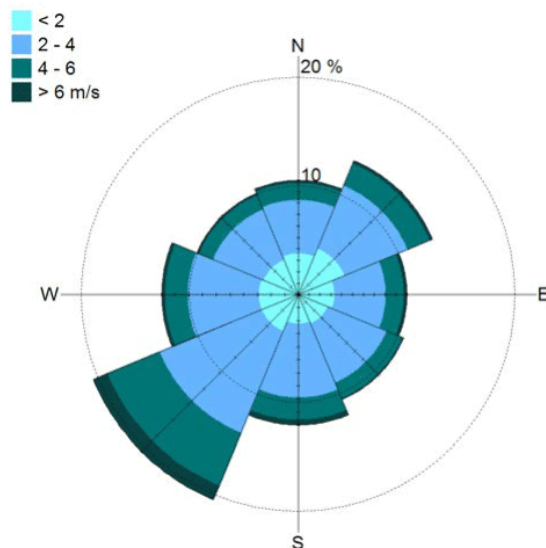
Kuva 6. Euro 3 -päästötason tiekohtaiset typenoksidipäästöt (kg/a/m) sekä nykytilanteen keskimääräiset vuorokausiliikennemäärät (KVL, ajoneuvoa vuorokaudessa) Lapinmäentie 1 korttelin lähiympäristössä.



Kuva 7. Euro 3 -päästötason tiekohtaiset pienhiukkaspäästöt (kg/a/m) sekä nykytilanteen keskimääräiset vuorokausiliikennemäärät (KVL, ajoneuvoa vuorokaudessa) Lapinmäentie 1 korttelin lähiympäristössä.

Tutkimusalueen tieliikenteen päästöjen lisäksi mallilaskelmissa on huomioitu alueellinen typpidioksidin ja pienhiukkasten taustapitoisuus Helsingin seudun ympäristöpalveluiden (HSY) Helsingin Luukissa sijaitsevan ilmanlaadun mittausaseman tuloksista. Typpidioksidin ja pienhiukkasten taustapitoisuudet ovat molemmat vuosikeskiarvona suuruusluokaltaan noin $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (vuosina 2008–2010). Typenoksidipäästöjen muutunnan kuvaamiseen käytettiin Luukin ilmanlaadun mittausaseman otsonihavaintoja. Otsonin taustapitoisuuksina käytettiin pitoisuuksien kuukausittain laskettuja tunneittaisia keskiarvoja, joilla pyrittiin kuvaamaan taustapitoisuuksien vuorokauden sisäistä vaihtelua (*Ilmanlaatuportaali, 2015*).

Tutkimusalueen ilmastollisia olosuhteita edustava meteorologinen aikasarja muodostettiin Helsingin Kumpulan ja Helsinki-Vantaan lentoaseman sääasemien havaintotiedoista vuosilta 2008–2010. Sekoituskorkeuden määrittämiseen käytettiin Jokioisten observatorion radioluotaushavaintoja. Kuvassa 8 on esitetty tuulen suunta- ja nopeusjakauma tutkimusalueella tuuliruusun muodossa. Tutkimusalueella ovat vallitsevia lounaistuulet.



Kuva 8. Tuulen suunta- ja nopeusjakauma tutkimusalueella vuosina 2008–2010. Lasketut tuulitiedot kuvaavat olosuhteita 10 metrin korkeudella maanpinnasta.

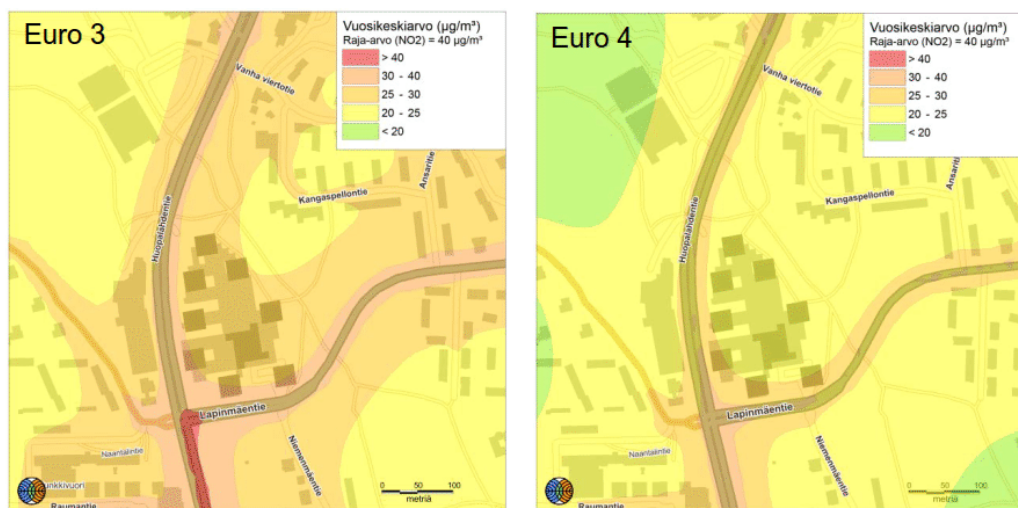
Päästöjen aiheuttamat pitoisuudet laskettiin maanpintatasoon noin $2 \text{ km} \times 2 \text{ km}$ suuruiselle tutkimusalueelle laskentapisteikköön, jossa oli noin 7 500 tarkastelupistettä. Pisteet olivat tiheimmillään alle 10 metrin etäisyydellä toisistaan. Tutkimuksessa tarkasteltiin liikenteen päästöjen aiheuttamia ulkoilman typpidioksidi- ja pienhiukkaspitoisuuksia tutkimusalueen tienpintatasolla. Lisäksi tarkasteltiin pitoisuuksien muodostumista eri korkeuksille neljässä erillisessä tarkastelupisteessä (kuva 3), mallintaen pitoisuuksia maanpintatasolta ylöspäin 2 metrin välein aina 40 metrin korkeudelle asti.

5 TULOKSET

5.1 Typpidioksidipitoisuudet

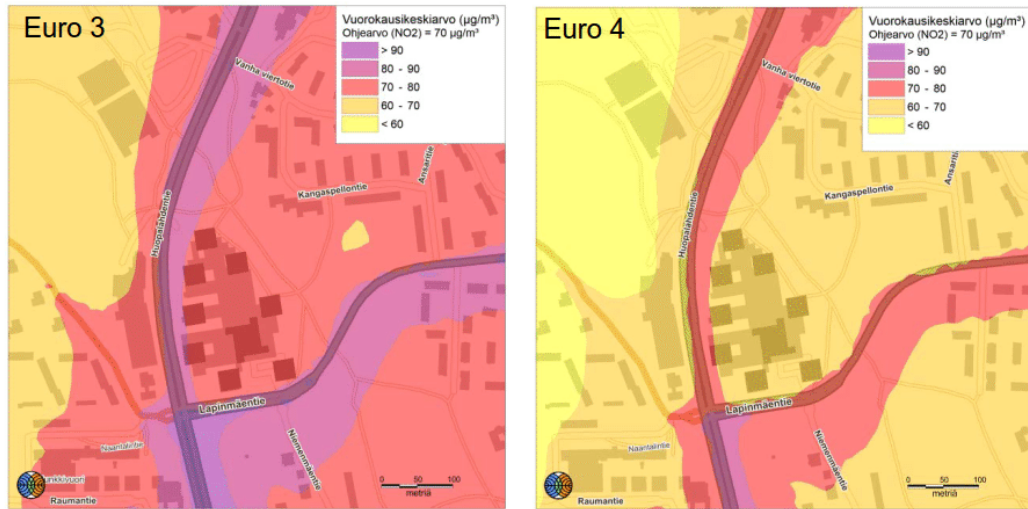
Leviämismallilaskelmien tuloksina saatu ulkoilman typpidioksidipitoisuuksien (NO₂) alueellinen vaihtelu Lapinmäentie 1 korttelin lähiympäristössä tienpintatasossa on esitetty kuvissa 9–10 sekä raportin lopussa olevissa liitekuvin 5–8. Mallilaskelmien tulosten mukaan pitoisuudet ovat korkeimmillaan vilkkaasti liikennöityjen väylien lähiympäristössä sekä risteysalueilla ja pitoisuudet pienenevät etäisyyden kasvaessa liikenneväylästä. Nykytilanteen autokantaa edustavalla päästötasolla Euro 3 havaitaan selvästi korkeampia typpidioksidin pitoisuustasoja kuin tulevaisuuden autokantaa edustavalla päästötasolla Euro 4. Tarkastelualueen korkeimmat pitoisuudet esiintyvät Huopalahdentiellä ja sen varsilla Lapinmäentien eteläpuoleisella alueella, missä liikkuu suuria liikennemääriä. Lapinmäentien liikennemäärä ja Huopalahdentien liikennemäärä Lapinmäentien pohjoispuolella ovat merkittävästi tätä pienempiä, mistä syystä myös typpidioksidin pitoisuudet näillä alueilla ovat selvästi pienempiä.

Typpidioksidin vuosikeskiarvopitoisuuden raja-arvo 40 µg/m³ alittuu Lapinmäentie 1:n alueella (kuva 9) molemmilla tarkastelluilla päästötasoilla. Raja-arvo ei myöskään ylitä muualla tutkimusalueella nykytilanteen liikennemäärillä ja tulevaisuuden autokantaa edustavalla päästötasolla Euro 4. Sen sijaan nykytilanteen liikennemäärillä ja päästötasolla Euro 3, typpidioksidipitoisuuden raja-arvo ylittyy Huopalahdentiellä Lapinmäentiestä etelään.



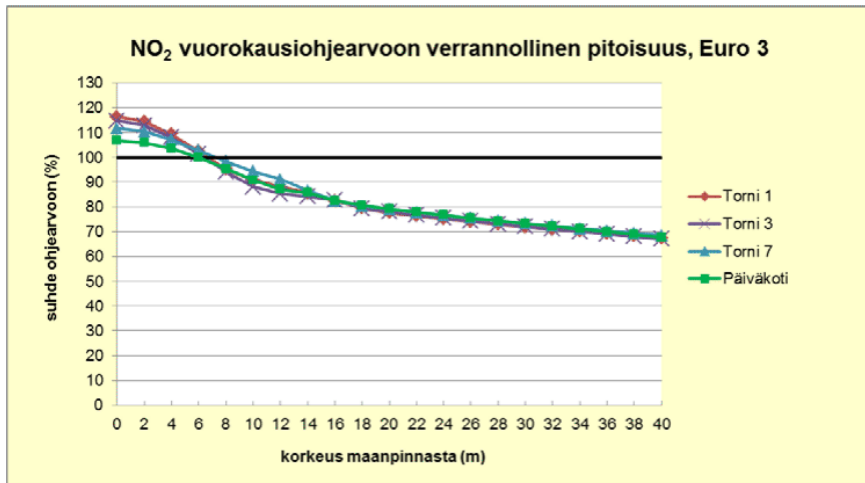
Kuva 9. Typpidioksidin (NO₂) korkein vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus nykytilanteen liikennemäärillä ja Euro 3 sekä Euro 4 -päästötasoilla laskettuna. Lapinmäentie 1 korttelin uudet rakennukset on piirretty kuvaan vanhan rakennuksen päälle tummempina neliöinä.

Mallilaskelmien tulosten mukaan typpidioksidin vuorokausiohjearvoon ($70 \mu\text{g}/\text{m}^3$) verrannollinen pitoisuus ylittyy päästötasolla Euro 3 laajoilla alueilla, mm. koko Lapinmäentie 1 korttelin alueella. Päästötasolla Euro 4 ohjearvon ylitysalue pienee selvästi ja ylitysalueita havaitaan lähinnä vilkkaimpien väylien varsilla, mutta pitoisuudet ovat edelleen lähellä ohjearvotasoa Lapinmäentie 1 korttelin alueella (kuva 10).

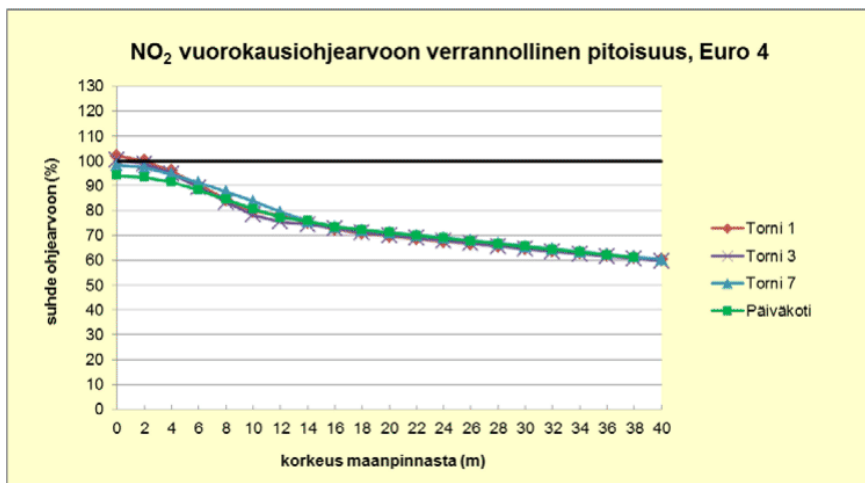


Kuva 10. Typpidioksidin (NO_2) vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus nykytilanteen liikennemäärillä ja Euro 3 sekä Euro 4 -päästötasoilla laskettuna. Lapinmäentie 1 korttelin uudet rakennukset on piirretty kuvaan vanhan rakennuksen päälle tummempina neliöinä.

Leviämismallilaskelmien tuloksina saadut erillispisteiden typpidioksidipitoisuudet molemmilla päästötasoilla laskettuna on esitetty kuvissa 11 ja 12. Pitoisuudet on laskettu maanpintatasolta lähtien, 2 metrin välein ylöspäin. Kuvaajista voidaan havaita, että typpidioksidipitoisuudet pienentyvät ylöspäin mentäessä eli kun etäisyys päästölähteistä kasvaa. Typpidioksidin vuorokausiohjearvoon ($70 \mu\text{g}/\text{m}^3$) verrannollinen pitoisuus ylittyy (kuvaajassa $>100\%$) kaikissa neljässä tarkastelupisteessä päästötasolla Euro 3 noin 8 metrin korkeudelle asti. Pitoisuudet suhteessa ohjearvoon pienevät selvästi noin 16 metrin korkeudelle saakka, minkä jälkeen pitoisuuksien pieneneminen hidastuu. Päästötasolla Euro 4 pitoisuus ylittää ohjearvon vain tornin 1 kohdalla maanpintatasossa, mutta pitoisuudet ovat lähellä ohjearvotasoa kaikissa tarkastelupisteissä alimpien tarkastelupisteiden korkeudella.



Kuva 11. Typpidioksidin (NO₂) vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus erillispisteissä eri korkeustasoilla Euro 3 -päästötasolla ja nykytilanteen liikennemäärillä laskettuna.



Kuva 12. Typpidioksidin (NO₂) vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus erillispisteissä eri korkeustasoilla Euro 4 -päästötasolla ja nykytilanteen liikennemäärillä laskettuna.

5.2 Pienhiukkaspitoisuudet

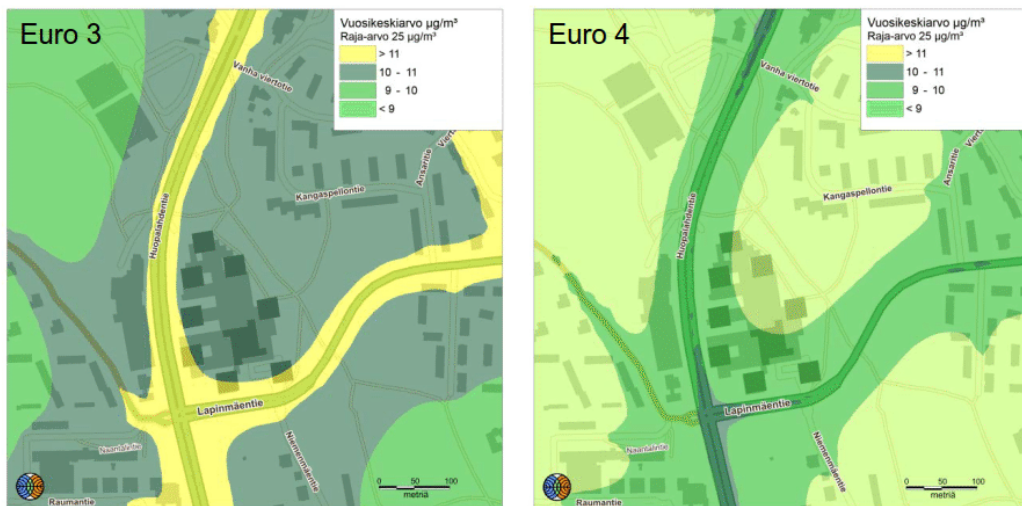
Leviämismallilaskelmien tuloksina saatu ulkoilman pienhiukkaspitoisuuksien (PM_{2,5}) alueellinen vaihtelu Lapinmäentie 1 korttelin lähiympäristössä tienpintatasossa on esitetty kuvissa 13–14 sekä raportin lopussa olevissa liitekuviissa 9–12. Mallilaskelmien tulosten mukaan pitoisuudet ovat korkeimmillaan vilkkaasti liikennöityjen väylien lähiympäristössä sekä risteysalueilla ja pitoisuudet pienenevät etäisyyden kasvaessa liikenneväylästä. Nykytilanteen autokantaa edustavalla päästötasolla Euro 3 havaitaan selvästi korkeampia pienhiukkasten pitoisuustasoja kuin tulevaisuuden autokantaa edustavalla päästötasolla Euro 4. Tarkastelualueen korkeimmat pitoisuudet esiintyvät Huopalahdentiellä ja sen varsilla Lapinmäentien etelänpuolei-

sella alueella, missä liikkuu suuria liikennemääriä. Lapinmäentien liikennemäärä ja Huopalahdentien liikennemäärä Lapinmäentien pohjoispuolella ovat merkittävästi tätä pienempiä, mistä syystä myös pienhiukkasten pitoisuudet näillä alueilla ovat selvästi pienempiä.

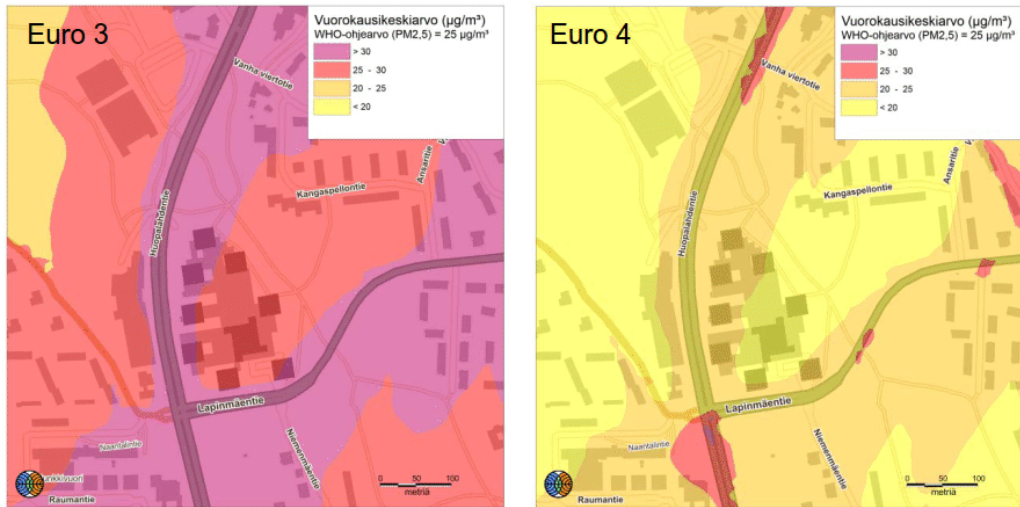
Pienhiukkasten vuosikeskiarvopitoisuuden raja-arvo $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ alittuu selvästi Lapinmäentie 1 korttelin lähiympäristössä (kuva 13), samoin kuin koko tutkimusalueella nykytilanteen liikennemäärillä ja molemmilla päästötasoilla (Euro 3 ja 4). Korkeimmillaan pienhiukkaspitoisuuden vuosikeskiarvo on mallilaskelmien mukaan Huopalahdentien ja Lapinmäentien risteysalueella noin $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Koska pienhiukkasten lyhytaikaisille pitoisuuksille ei ole Suomessa tai EU-tasolla määriteltyä raja-arvoa, on mallilaskelmien tuloksia verrattu WHO:n pienhiukkasillemäärittämään vuorokausiohjeeseen. Mallilaskelmien tulosten mukaan pienhiukkasten WHO:n vuorokausiohjeeseen ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$) verrannollinen pitoisuus ylittyy päästötasolla Euro 3 lähes koko tutkimusalueella (kuva 14). Päästötasolla Euro 4 vuorokausiohjeen ylitäytysalueita havaitaan enää vilkkaimpien väylien varsilla ja niiden risteysalueilla. Lapinmäentie 1 korttelin kohdalla pienhiukkaspitoisuudet ovat lähellä WHO:n ohjeen ylitäytystasoa päästötasolla Euro 4.

Kaukokulkeumalla on merkittävä vaikutus pienhiukkasten pitoisuuksiin Suomessa ja korkeimmat pienhiukkaspitoisuudet havaitaan yleensä kaukokulkeumaepisodien aikana. Näissä tilanteissa pienhiukkasten WHO:n vuorokausiohjeen ylitäytysalueita kaupunkiympäristöissä herkästi. Suurimmat pitoisuudet havaitaan yleensä, kun ilmajärväukset ovat etelän tai idän suuntaisia (mm. Venäjän ja Itä-Euroopan metsäpalojen aiheuttamat kohonneet pienhiukkaspitoisuudet). Myös keväiset katupölyepisodit voivat hetkellisesti nostaa pienhiukkaspitoisuuksia kaupunkialueilla useisiin kymmeniin mikrogrammisiin kuutiosta. Katupölyyn voidaan kuitenkin vaikuttaa merkittävästi katujen kunnossapidolla sekä pölynsidonnalla.

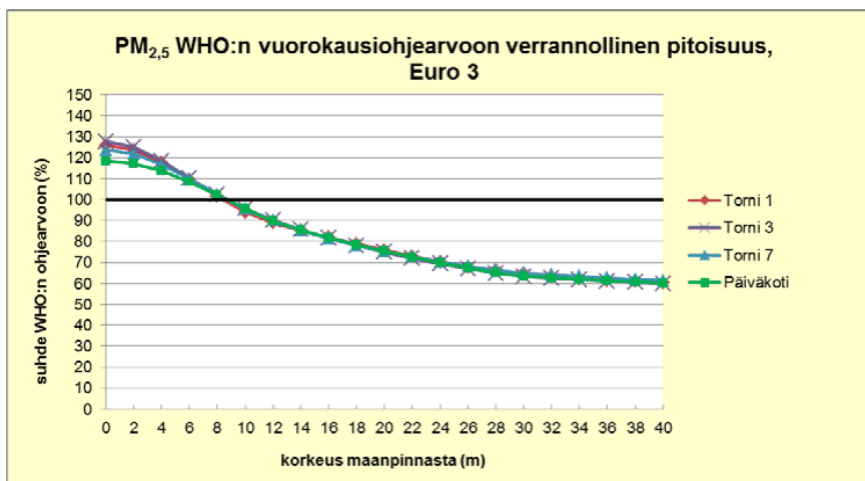


Kuva 13. Pienhiukkasten ($\text{PM}_{2,5}$) korkein vuosiraja-arvoon verrannollinen nykytilanteen liikennemäärillä ja Euro 3 sekä Euro 4 -päästötasoilla laskettuna. Lapinmäentie 1 korttelin uudet rakennukset on piirretty kuvaan vanhan rakennuksen päälle tummempina neliöinä.

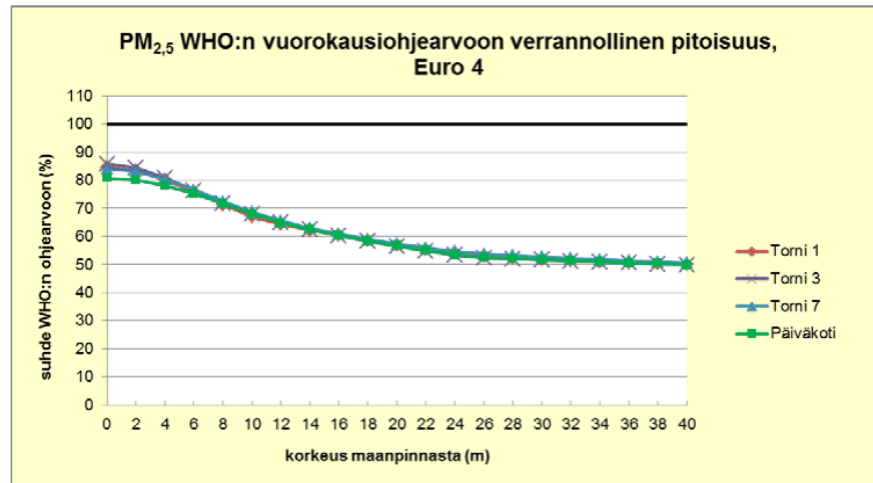


Kuva 14. Pienhiukkasten ($\text{PM}_{2,5}$) korkein WHO:n vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus nykytilanteen liikennemäärillä ja Euro 3 sekä Euro 4 -päästötasoilla laskettuna. Lapinmäentie 1 korttelin uudet rakennukset on piirretty kuvaan vanhan rakennuksen päälle tummempina neliöinä.

Leviämismallilaskelmien tuloksina saadut erillispisteisiin lasketut pienhiukkasten WHO:n vuorokausiohjearvoon verrannolliset pitoisuudet eri päästötasoilla on esitetty kuvassa 15 ja 16. Kuvaajista voidaan havaita, että pienhiukkaspitoisuudet pienentyvät ylöspäin mentäessä eli kun etäisyys päästölähteistä kasvaa. Pitoisuudet on laskettu maanpintatasolta lähtien, 2 metrin välein ylöspäin. Pienhiukkasten WHO:n vuorokausiohjearvoon ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$) verrannollinen pitoisuus ylittyy (kuvaajassa $>100\%$) kaikissa neljässä tarkastelupisteessä päästötasolla Euro 3 noin 8 metrin korkeudelle asti. Päästötasolla Euro 4 pitoisuus ei missään tarkastelupisteessä ylitä pienhiukkaspitoisuuden WHO:n vuorokausiohjearvoa $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ myöskään maanpintatasolla.



Kuva 15. Pienhiukkasten ($\text{PM}_{2,5}$) vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus erillispisteissä eri korkeustasoilla Euro 3-päästötasolla ja nykytilanteen liikennemäärillä laskettuna.



Kuva 16. Pienhiukkasten (PM_{2,5}) vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus erillispeisteissä eri korkeustasoilla Euro 4 -päästötasolla ja nykytilanteen liikennemäärillä laskettuna.

Vaikka tässä tutkimuksessa tarkasteltiin mallintamalla vain pienhiukkaspitoisuuksia (PM_{2,5}), on mahdollista, että pienhiukkasia kooltaan suuremmat, hengitettävien hiukkasten pitoisuudet (PM₁₀) voivat epäedullisissa meteorologisissa olosuhteissa ylittää niiden vuorokausikeskiarvopitoisuudelle asetetun raja-arvotason (*Vna 38/2011*) tarkastellulla tutkimusalueella. Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet ovat usein koholla katupölyepisodien aikaan, jolloin raja-arvotaso (50 µg/m³) tyypillisesti ylittyy vilkkaasti liikennöityjen väylien läheisyydessä. Hengitettävien hiukkasten vuorokausikeskiarvopitoisuuden raja-arvotaso saa ylittyä 35 päivänä ennen kuin raja-arvo katsotaan ylittyneeksi. Katupölyepisodeja esiintyy tyypillisesti keväällä maaliskuussa–huhtikuussa sekä loppusyksystä talvirengaskauden alettua. Korkeiden hiukkaspitoisuuksien muodostumiseen voidaan merkittävästi vaikuttaa paikallisilla toimenpiteillä katujen kunnossapidossa ja siivouksessa, esimerkiksi katujen kastelulla pahoina katupölypäivinä. Erilaisia katupölyn vähentämismenetelmiä on esitelty esim. julkaisussa *Komppula, ym. 2012*.

6 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä selvityksessä arvioitiin leviämismallilaskelmilla liikenteen pakokaasupäästöjen vaikutusta Helsingin Munkkivuorella sijaitsevan Lapinmäentie 1 korttelin lähialueen ilmanlaatuun. Korttelin uudisrakentamisen on arvioitu alkavan vuonna 2017 ja jaksottuvan noin kymmenen vuoden ajalle. Leviämismallilaskelmissa tarkasteltiin typpidioksidin (NO₂) ja pienhiukkasten (PM_{2,5}) pitoisuuksia Ilmatieteen laitoksella kehitetyllä autoliikenteen päästöjen mallintamiseen soveltuvalla leviämismallilla (CAR-FMI). Autoliikenteen päästöt laskettiin nykytilannetta edustavilla ja tulevaa tilannetta edustavilla ajoneuvotyypikohtaisilla ja nopeusriippuvilla päästökertoimilla (Euro 3 ja Euro 4 -päästötasot). Laskelmat tehtiin käyttäen nykytilanteen liikennemääriä päästölaskennan pohjana. Laskelmat tehtiin sekä maanpintatasoon koko tutkimusalueelle että erillistarkastelupisteisiin (asuintornit 1,

3 ja 7 sekä suunnitellun päiväkodin alue) eri korkeuksille maanpintatasosta ylöspäin.

Epäpuhtauksien pitoisuuksia ulkoilmassa säädellään ilmanlaadun ohje- ja raja-arvoilla. Ilmanlaadun ohjearvot tulisi ottaa huomioon esimerkiksi liikennesuunnittelussa, kaavoituksessa, rakennusten sijoittelussa ja teknisissä ratkaisuisa, jolloin pyritään etukäteen välttämään ihmisten pitkäaikainen altistuminen terveydelle haitallisen korkeille ilmansaasteiden pitoisuuksille. Terveysvaikutusperusteiset ilmanlaadun raja-arvot ovat ohjearvoja sitovampia, eivätkä ne saa ylittyä alueilla, joilla ihmiset saattavat altistua ilmansaasteille. Esimerkiksi ajoradoilla ja teiden keskialueilla raja-arvot eivät kuitenkaan ole voimassa, paitsi jos ihmisillä on pääsy näille alueille.

Tässä mallinnuksessa ilmanlaadun kannalta epäedullisin tilanne on otettu huomioon käyttämällä nykytilanteen liikennemääriä ja nykytilannetta edustavaa päästöta-
soa (Euro 3). Lähtötietoina käytetyt katuverkon liikennemäärätiedot ovat peräisin Helsingin Kaupunkisuunnitteluviraston liikennesuunnitteluosastolta. KSV ennustaa tulevien liikennemäärien tällä alueella olevan nykytilannetta pienempiä. Todennäköistä on, että päästöt ja niiden aiheuttamat vaikutukset pienenevät tulevaisuudessa merkittävästi, kun ajoneuvojen moottoritekniikka kehittyy ja päästörajoitukset tiukkenevat. Tätä on mallilaskelmissa kuvattu tekemällä laskelmat myös päästöta-
solla Euro 4. Mallilaskelmien tuloksia arvioitaessa on kuitenkin hyvä huomioida, että tulevaisuuden ennustamiseen sisältyy useita epävarmuustekijöitä.

Korkeimmat typpidioksidin ja pienhiukkasten pitoisuudet havaitaan vilkkaasti liikennöidyillä väylillä ja niiden lähiympäristössä sekä risteysalueilla. Pitoisuudet pienenevät kun etäisyys liikenneväylistä kasvaa sekä maanpinnan tasossa että ylöspäin mentäessä. Nykytilanteen autokantaa edustavalla päästötasolla Euro 3 havaitaan selvästi korkeampia typpidioksidin ja pienhiukkasten pitoisuustasoa kuin tulevaisuuden autokantaa edustavalla päästötasolla Euro 4.

Mallilaskelmien tulosten mukaan typpidioksidipitoisuuden vuosiraja-arvo ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) alittuu Lapinmäentie 1 korttelin alueella sekä erillistarkastelupisteissä molemmilla päästötasoilla. Typpidioksidin vuorokausiohjearvoon ($70 \mu\text{g}/\text{m}^3$) verrannollinen pitoisuus sen sijaan ylittyy laajoilla alueilla päästötasolla Euro 3. Päästötasolla Euro 4 ohjearvon ylitysalue pienenee selvästi ja ylitysalueita havaitaan lähinnä vilkkaimpien väylien varsilla. Lapinmäentie 1 korttelin kohdalla typpidioksidipitoisuudet ovat maanpintatasossa hyvin lähellä ohjearvotasoa myös päästötasolla Euro 4. Erillistarkastelupisteissä typpidioksidin vuorokausiohjearvoon ($70 \mu\text{g}/\text{m}^3$) verrannollinen pitoisuus ylittyy kaikissa neljässä tarkastelupisteessä päästötasolla Euro 3 noin 8 metrin korkeudelle asti. Päästötasolla Euro 4 typpidioksidipitoisuus ylittää ohjearvon vain tornin 1 kohdalla maanpintatasossa, mutta pitoisuudet ovat lähellä ohjearvotasoa kaikissa tarkastelupisteissä alimpien laskentapisteen korkeudella.

Pienhiukkasten vuosikeskiarvopitoisuus alittaa selvästi vuosiraja-arvon ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$) koko tutkimusalueella ja erillistarkastelupisteissä molemmilla päästötasoilla. Mallilaskelmien tulosten mukaan pienhiukkasten WHO:n vuorokausiohjearvoon ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$) verrannollinen pitoisuus ylittyy päästötasolla Euro 3 laajoilla alueilla. Päästötasolla Euro 4 vuorokausiohjearvotason ylitysalueita havaitaan enää vilkkaimpien väylien varsilla ja niiden risteysalueilla. Lapinmäentie 1 korttelin kohdalla

pienhiukkaspitoisuudet ovat lähellä WHO:n ohjearvotasoa päästötasolla Euro 4. Erillistarkastelupisteissä pienhiukkasten WHO:n vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus ylittyy kaikissa neljässä tarkastelupisteessä päästötasolla Euro 3 noin 8 metrin korkeudelle asti. Päästötasolla Euro 4 pitoisuus ei missään tarkastelupisteessä ylitä pienhiukkaspitoisuuden WHO:n vuorokausiohjearvoa $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ myöskään maanpintatasolla.

Vaikka 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 raja-arvotason tarkastellulla tutkimusalueella. Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet ovat usein koholla katupölyepisodioiden aikaan, jolloin raja-arvotaso ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) tyypillisesti ylittyy vilkkaasti liikenneajon väylien läheisyydessä. Hengitettävien hiukkasten raja-arvotaso saa ylittyä 35 päivänä ennen kuin raja-arvo katsotaan ylittyneeksi. Katupölyepisoodeja esiintyy tyypillisesti keväällä maaliskuusta huhtikuussa sekä loppusyksystä talvirengaskauden alettua. Myös pienhiukkaspitoisuudet voivat hetkellisesti nousta korkeiksi kevään katupölyepisodioiden aikana. Korkeiden hiukkaspitoisuuksien muodostumiseen voidaan merkittävästi vaikuttaa katujen kunnossapidolla sekä oikea-aikaisella katujen siivouksella ja pölynsidonnalla.

Raja- ja ohjearvoihin verrannollisia typpidioksidin- ja pienhiukkaspitoisuuksia tarkasteltaessa suunnittelua ohjaavaksi tekijäksi nousee typpidioksidin vuorokausiohjearvon ylittyminen. Typpidioksidin vuorokausiohjearvon ylittyminen on yleistä Helsingissä pääkatujen ympäristössä.

Mallilaskelmien tulosten mukaan suositeltavaa olisi sijoittaa asuinrakennusten raittiin ilman sisäännotot riittävän etäälle vilkkaimmista väylistä, jotta ilman epäpuhtauksille altistuminen rakennuksen sisätiloissa olisi mahdollisimman vähäistä. Parvekkeiden sijoittelussa ja niiden teknisissä ratkaisuissa on suositeltavaa huomioida, etteivät ohjearvot ylittyisi alueilla, jossa asuu ja oleskelee ihmisiä. Mallilaskelmien tulosten mukaan tarkastelluissa erillispisteissä typpidioksidipitoisuuden vuorokausiohjearvo alittuu päästötasolla Euro 4 noin 4 metrin korkeudella maanpintatasosta.

Päiväkotia voidaan pitää ilmanlaadun kannalta ns. herkkänä kohteena, koska lapset voivat ilman epäpuhtauksille altistuessaan saada niistä oireita aikuisia herkemmin. Näin ollen suositeltavaa olisi sijoittaa päiväkotitilat sellaiselle alueelle, jossa ilman epäpuhtauspitoisuudet alittaisivat ilmanlaadun ohjearvot selvästi.

Leviämismallilaskelmilla saatavien tulosten luotettavuuteen vaikuttavat malliin syötettävät lähtötiedot sekä itse mallin toiminta. Malliin sisältyy oletuksia ja yksinkertaistuksia, jotka ovat välttämättömiä mallin toiminnan ja lähtötietojen puutteellisen saatavuuden vuoksi. Vuosikeskiarvopitoisuudet edustavat vallitsevaa pitoisuustilannetta pitkällä ajanjaksolla ja vuorokausi- ja tuntikeskiarvopitoisuudet edustavat lyhytkestoisempia episoditilanteita. Huomionarvoista on, että suurimman osan ajasta epäpuhtauspitoisuudet ovat pienempiä kuin korkeimmat mallinnetut hetkelliset pitoisuudet. Suositeltavaa on käyttää vuosiraja-arvoon sekä vuorokausiohjearvoon verrannollisia pitoisuustasoja hankkeen ilmanlaatuvaikutuksia arvioidessa sekä niihin liittyvien päätösten teon tukena.

VIITELUETTELO

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.

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.

Ilmanlaatuportaali, 2015. Ympäristönsuojelun tietojärjestelmän ilmanlaatuosa, tarkistetut mittaustulokset. www.ilmanlaatu.fi

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

KOMPPULA, B., SALMI, J. & LOVÉN, K. 2012. Kuopion katupölytilanne. Hiukkaspitoisuuksien vertailu Suomen muiden kaupunkien pitoisuustasoihin. Ilmatieteen laitos, Ilmanlaadun asiantuntijapalvelut. 41 s. + 28 liites. http://expo.fmi.fi/aqes/public/Raportti_Kuopion_katupolytilanne.pdf

KOMPPULA, B., ANTTILA, P., VESTENIUS, M., SALMI, T. & LOVÉN, K., 2014. Ilmanlaadun seurantarpeen arviointi. Ilmatieteen laitos, Asiantuntijapalvelut, Ilmanlaatu ja energia. Helsinki. http://expo.fmi.fi/aqes/public/Raportti_Ilmanlaadun_seurantarpeen_arviointi.pdf

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.

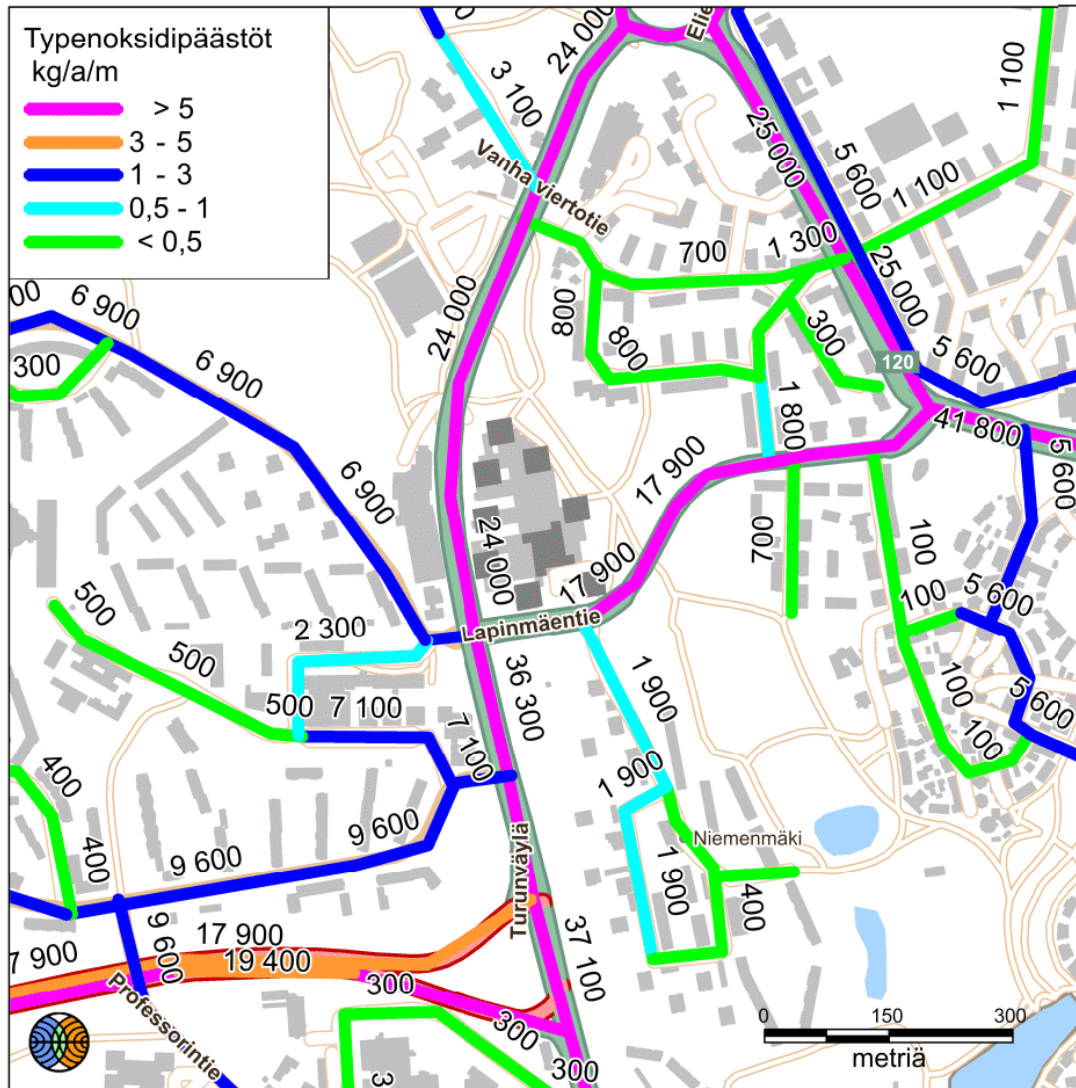
VTT, 2012. Teknologian tutkimuskeskus VTT. LIPASTO liikenteen päästöt <http://lipasto.vtt.fi/>

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.

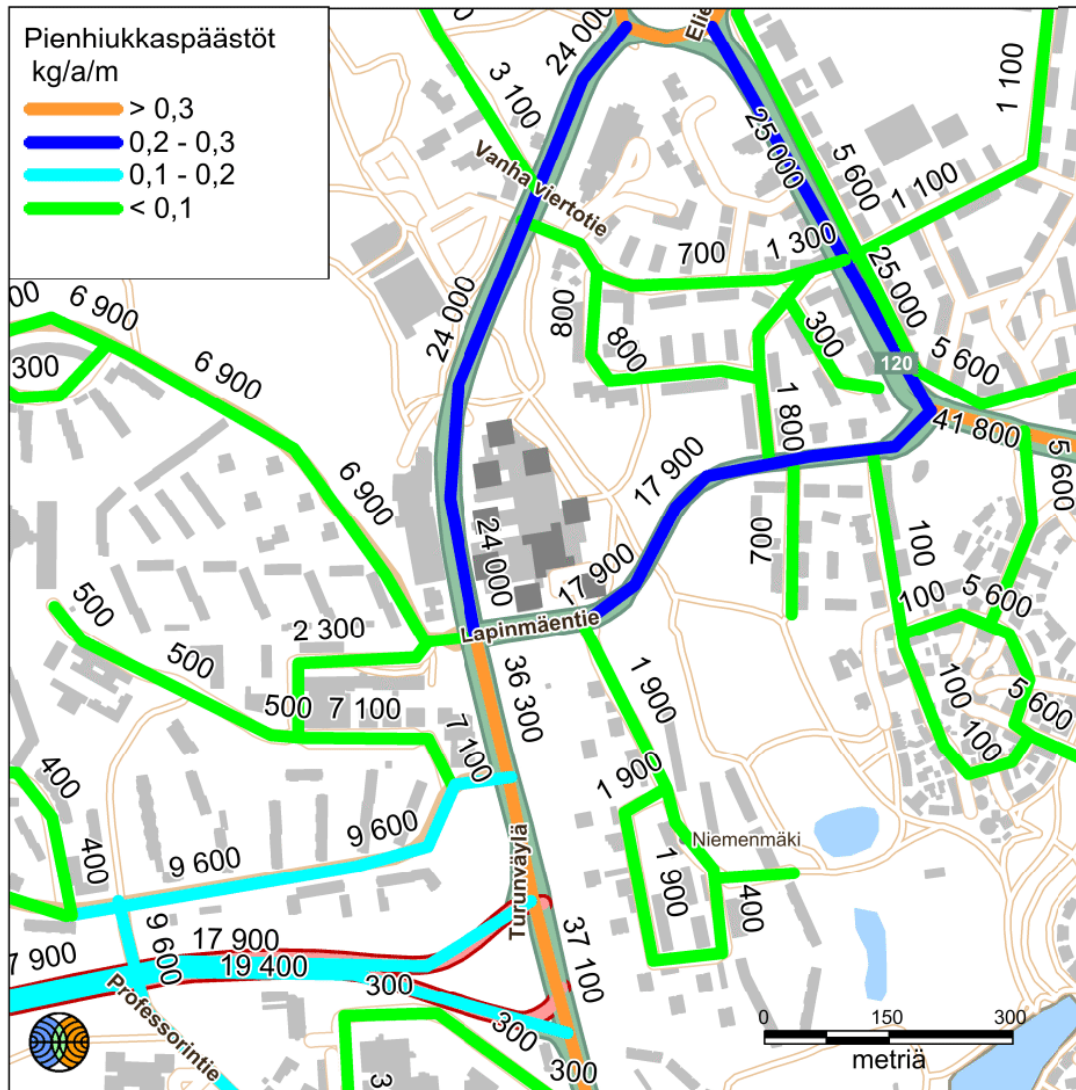
LAPINMÄENTIE 1 EURO 3



Ilmatieteen laitos 2015

Kuva 1. Autoliikenteen typenoksidipäästöt (kg/a/m) päästötasolla Euro 3 ja ja nykytilanteen liikennemäärät (KVL, ajoneuvoa vuorokaudessa).

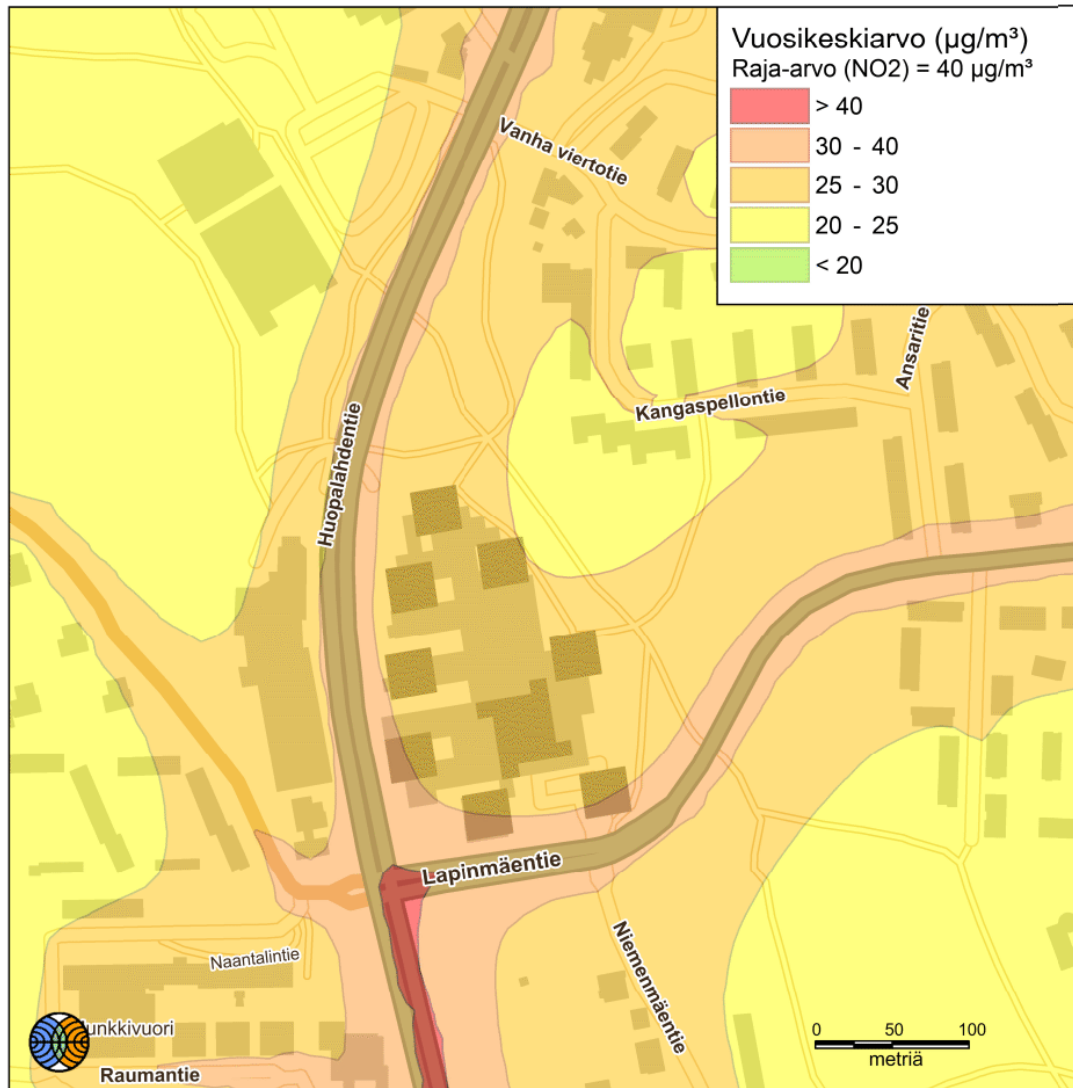
LAPINMÄENTIE 1 EURO 3



Ilmatieteen laitos 2015

Kuva 3. Autoliikenteen pienhiukkaspäästöt (kg/a/m) päästötasolla Euro 3 ja nykytilanteen liikennemäärät (KVL, ajoneuvoa vuorokaudessa).

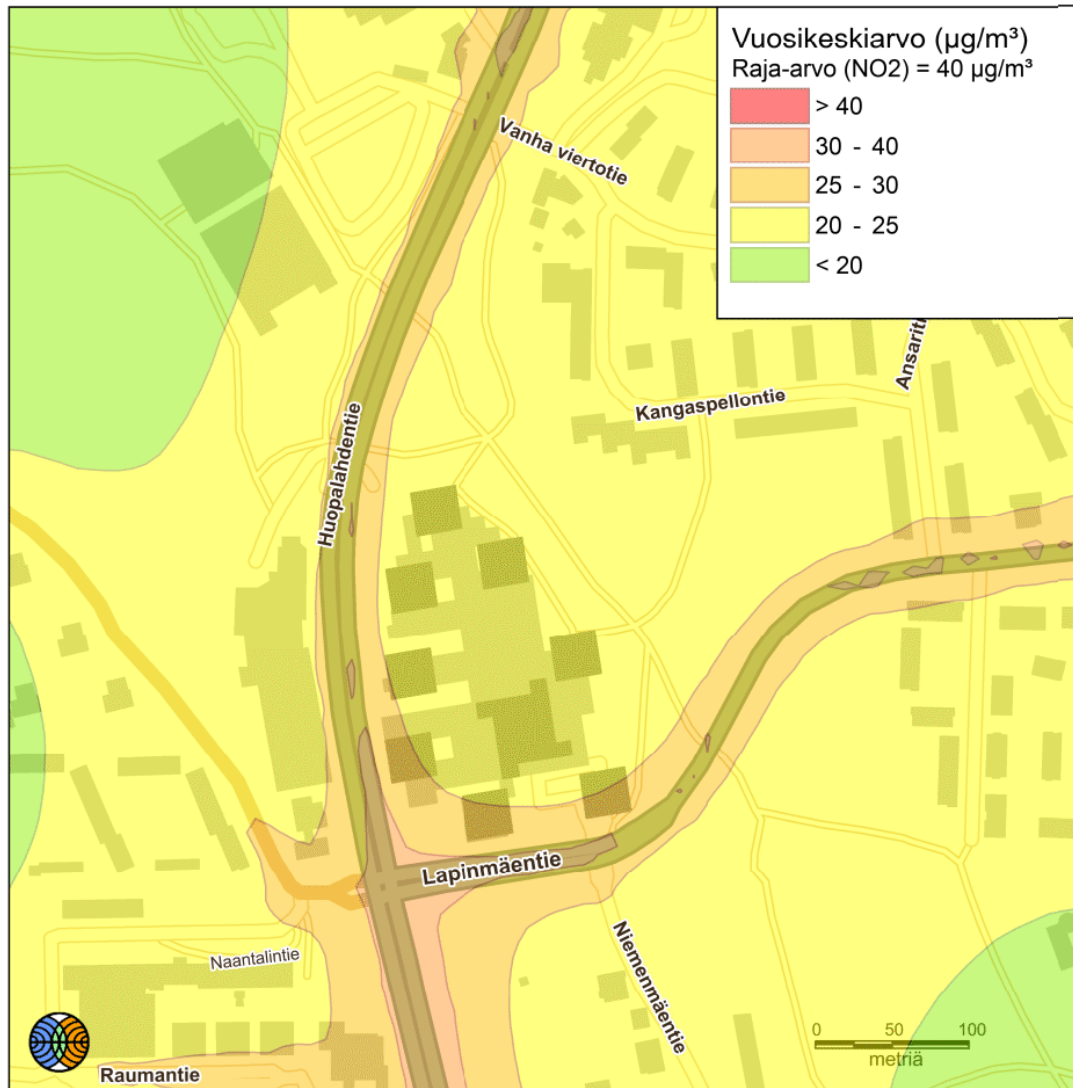
LAPINMÄENTIE 1 EURO 3



Ilmatieteen laitos 2015

Kuva 5. Typpidioksidin korkein vuosikeskiarvopitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Lapinmäentie 1 korttelin lähialueella. Nykytilanteen liikennemäärät, päästötaso Euro 3.

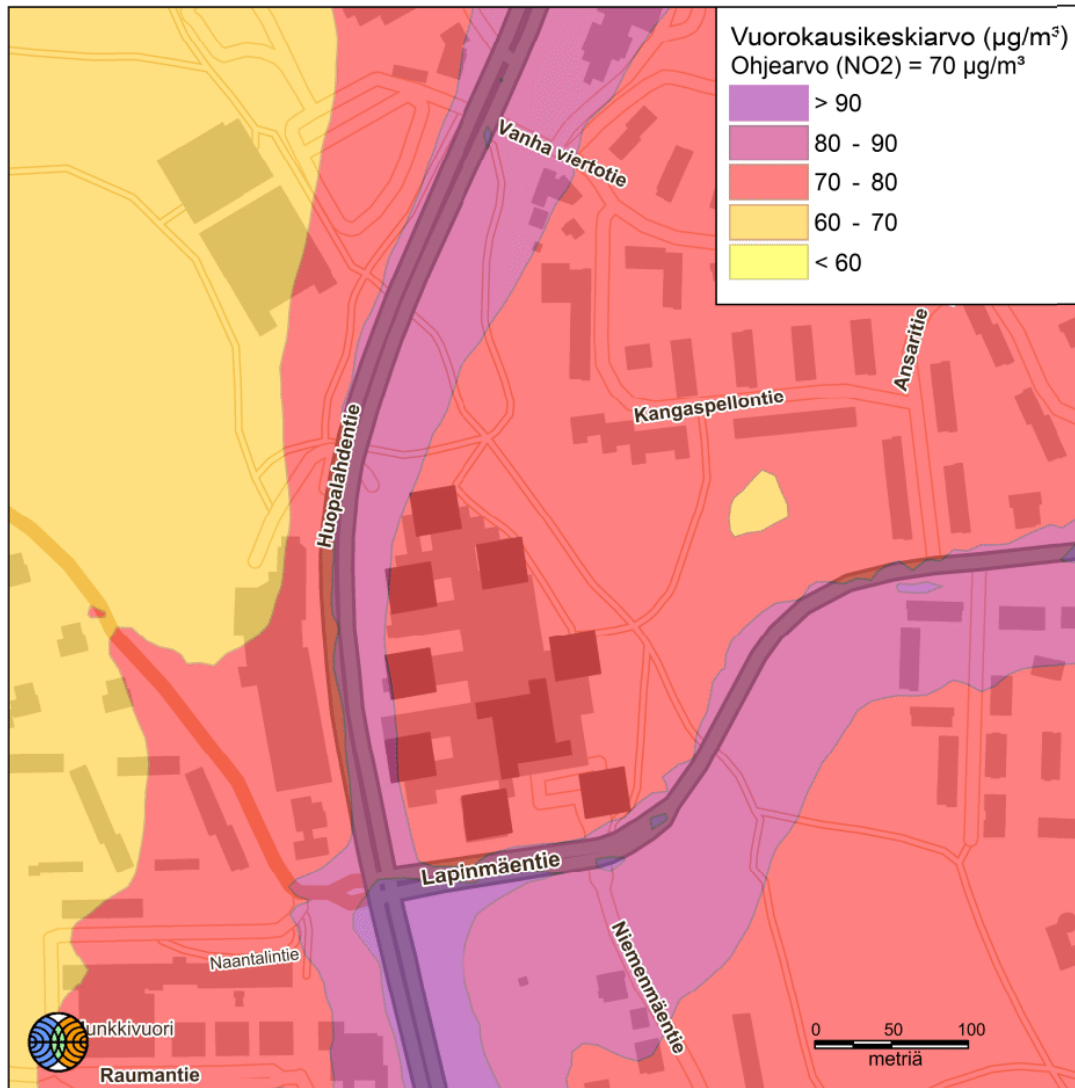
LAPINMÄENTIE 1 EURO 4



Ilmatieteen laitos 2015

Kuva 6. Typpidioksidin korkein vuosikeskiarvopitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Lapinmäentie 1 korttelin lähialueella. Nykytilanteen liikennemäärät, päästötaso Euro 4.

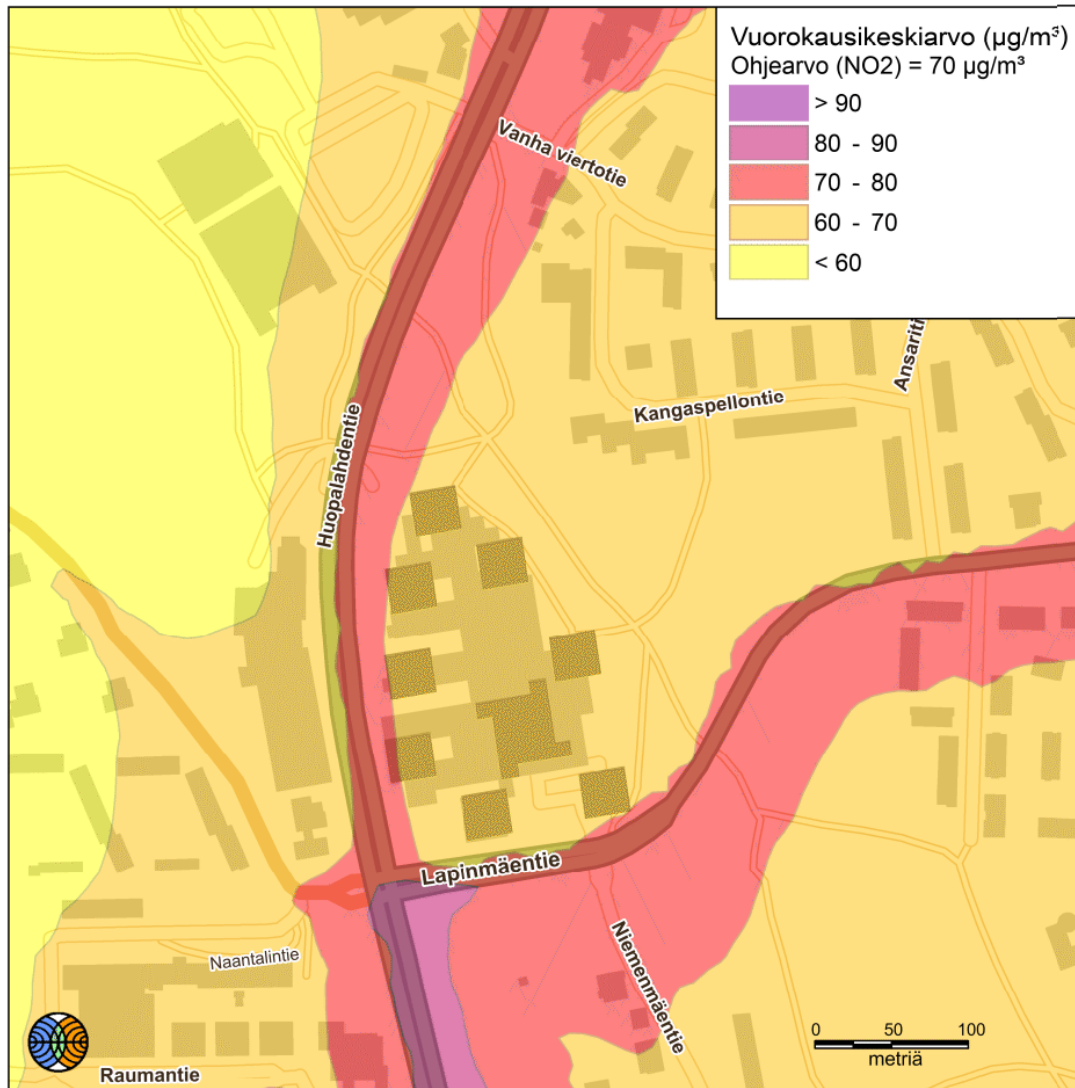
LAPINMÄENTIE 1 EURO 3



Ilmatieteen laitos 2015

Kuva 7. Typpidioksidin korkein vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Lapinmäentie 1 korttelin lähialueella. Nykytilanteen liikennemäärät, päästötaso Euro 3.

LAPINMÄENTIE 1 EURO 4



Ilmatieteen laitos 2015

Kuva 8. Typpidioksidin korkein vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Lapinmäentie 1 korttelin lähialueella. Nykytilanteen liikennemäärät, päästötaso Euro 4.

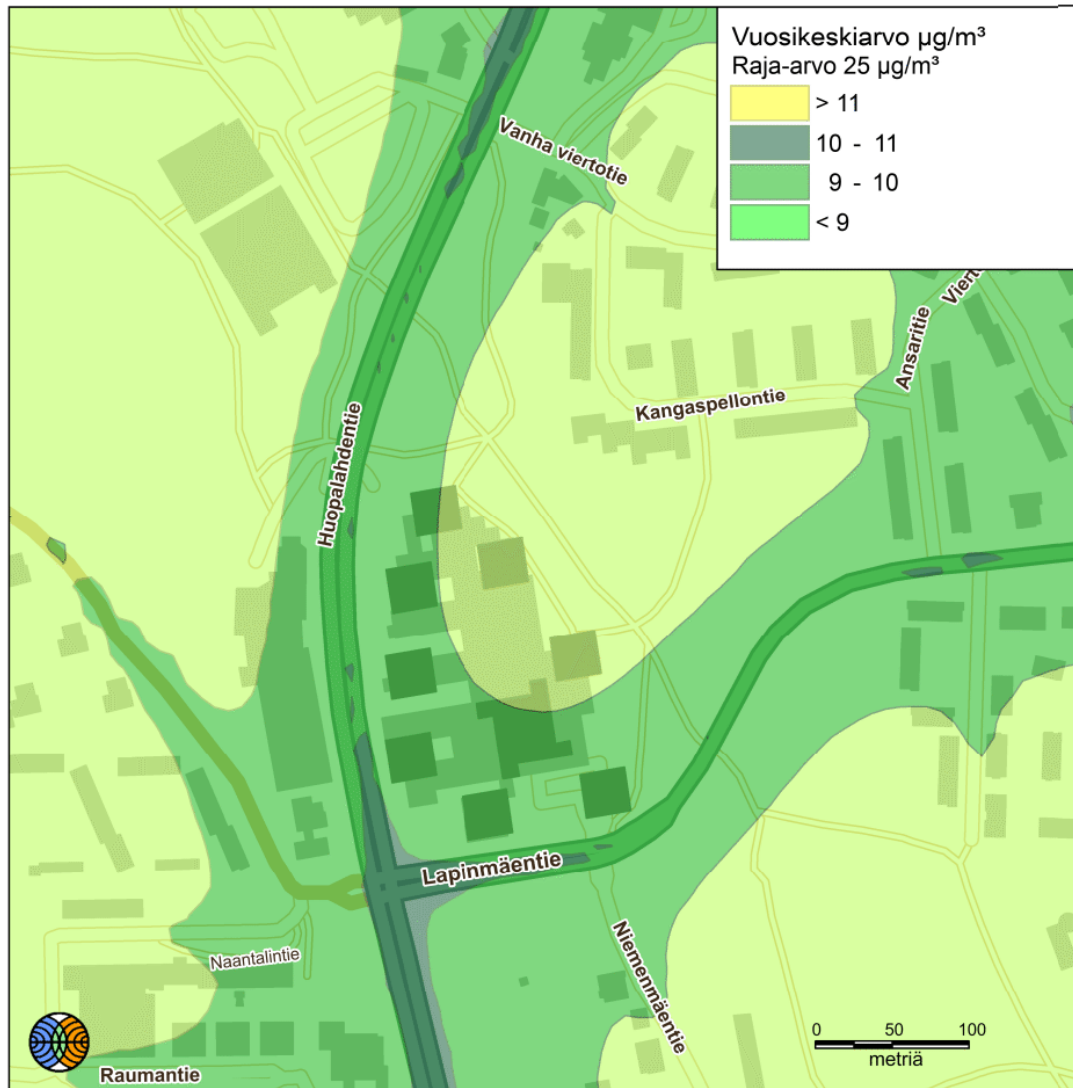
LAPINMÄENTIE 1 EURO 3



Ilmatieteen laitos 2015

Kuva 9. Pienhiukkasten korkein vuosikeskiarvopitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Lapinmäentie 1 korttelin lähialueella. Nykytilanteen liikennemäärät, päästötaso Euro 3.

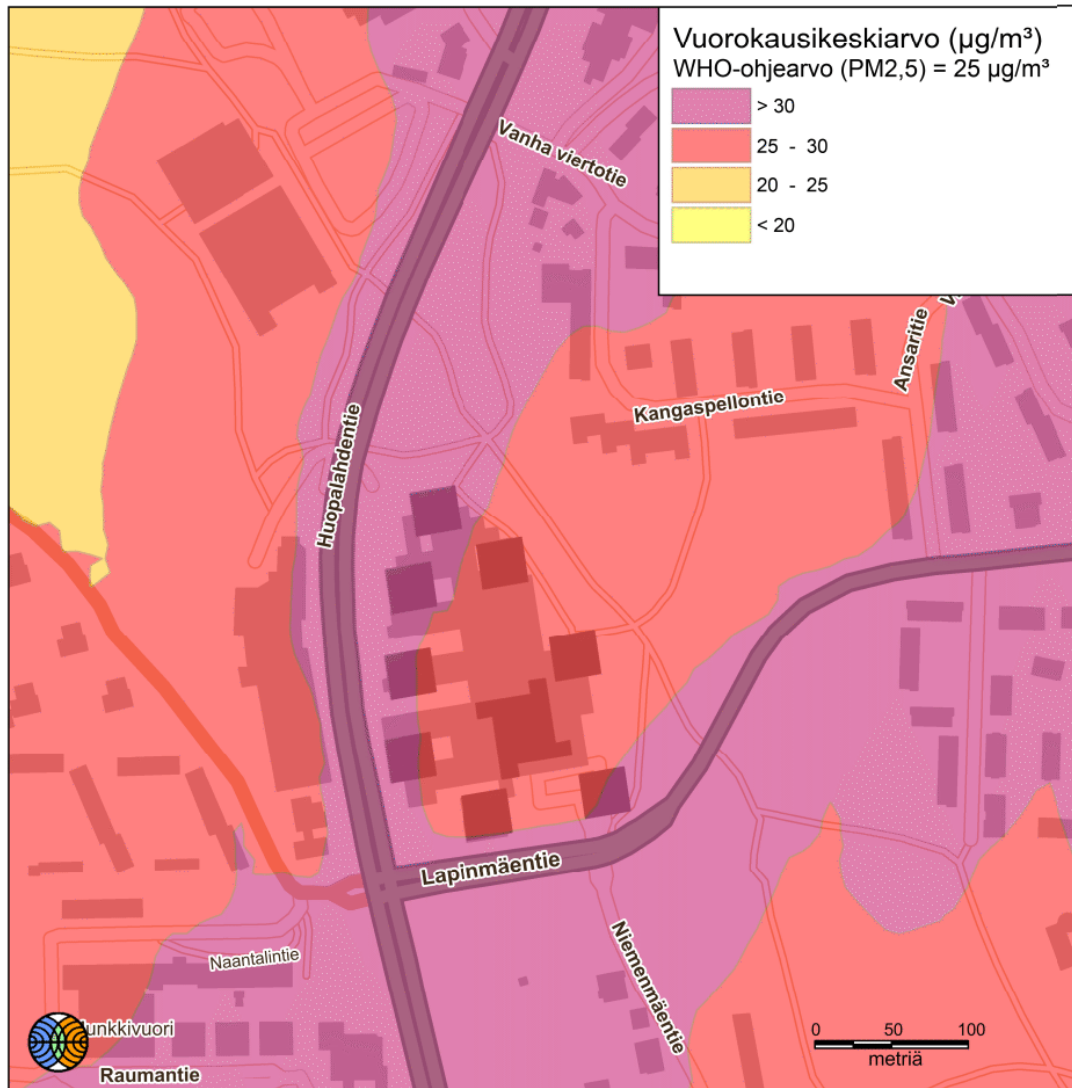
LAPINMÄENTIE 1 EURO 4



Ilmatieteen laitos 2015

Kuva 10. Pienhiukkasten korkein vuosikeskiarvopitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Lapinmäentie 1 korttelin lähialueella. Nykytilanteen liikennemäärät, päästötaso Euro 4.

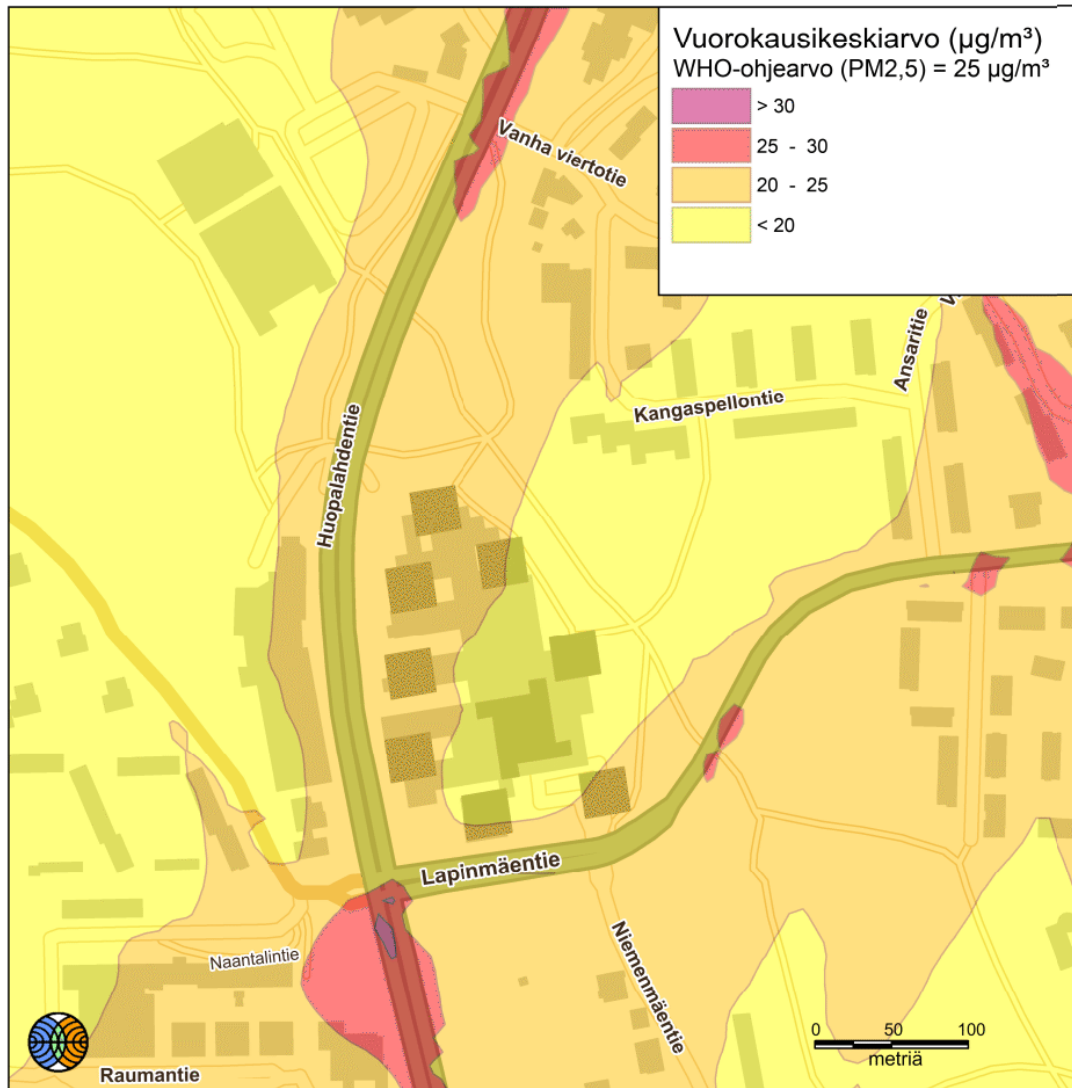
LAPINMÄENTIE 1 EURO 3



Ilmatieteen laitos 2015

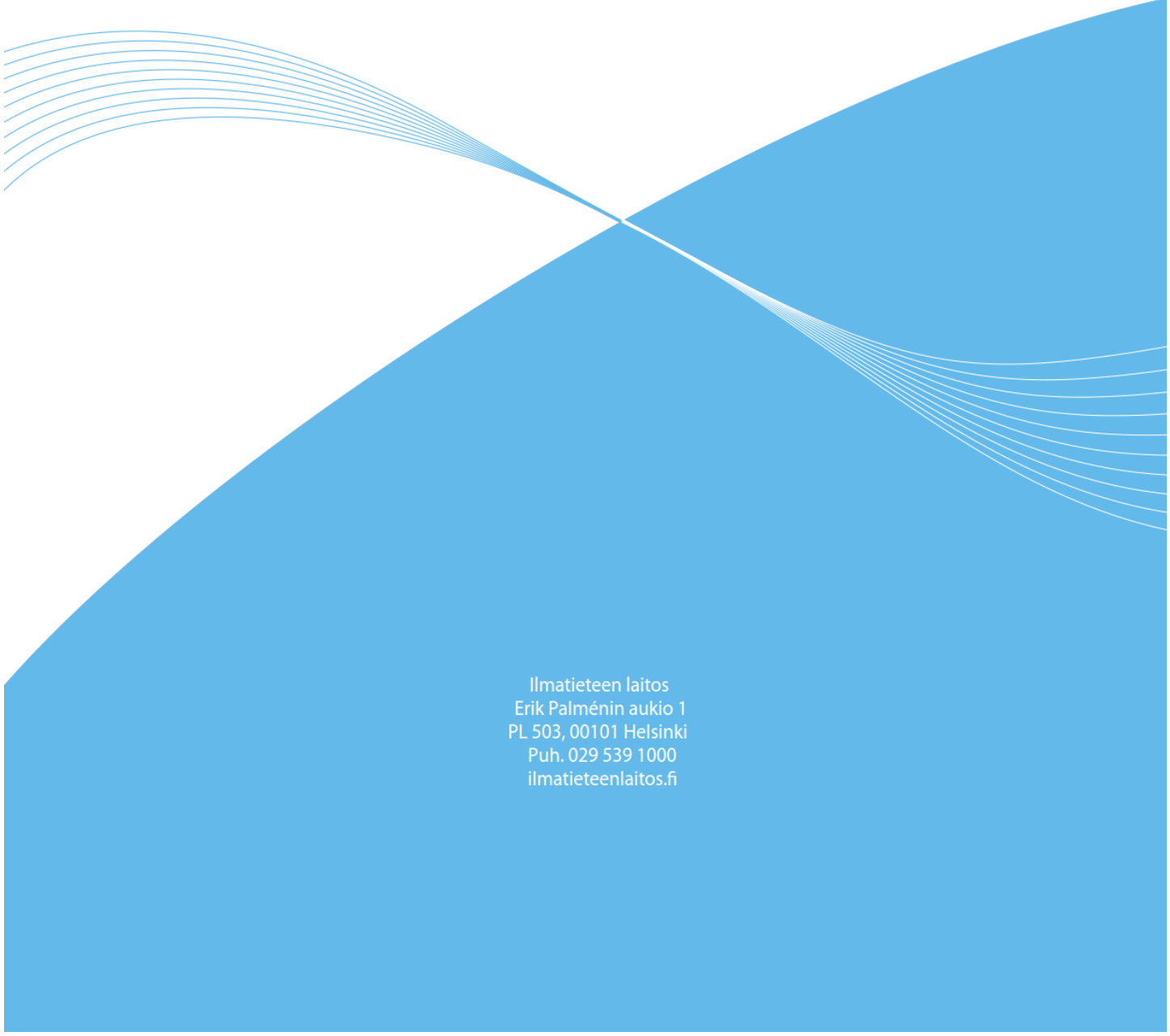
Kuva 11. Pienhiukkasten korkein WHO:n vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Lapinmäentie 1 korttelin lähialueella. Nykytilanteen liikennemäärät, päästötaso Euro 3.

LAPINMÄENTIE 1 EURO 4



Ilmatieteen laitos 2015

Kuva 12. Pienhiukkasten korkein WHO:n vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Lapinmäentie 1 korttelin lähialueella. Nykytilanteen liikennemäärät, päästötaso Euro 4.



Ilmatieteen laitos
Erik Palménin aukio 1
PL 503, 00101 Helsinki
Puh. 029 539 1000
ilmatieteenlaitos.fi