



ILMATIETEEN LAITOS

ILMANLAATUSELVITYS



*Kuva: Microsoft Bing
(C) 2011 Microsoft Corporation*

*Liikenteen typenoksidi- ja hiukkaspäästöjen
leviämismallinnus Telakkakadun alueella ja
arvio ilmanlaadusta Hernesaassa*

ILMANLAADUN ASiantuntijapalvelut 2012

**HELSINGIN KAUPUNKI
KAUPUNKISUUNNITTELUVIRASTO**

ILMANLAATUSELVITYS

**Liikenteen typenoksidi- ja pienhiukkaspäästöjen leviämismallinnus
Telakkakadun alueella ja arvio ilmanlaadusta Hernesaassa**

**Hanna Hannuniemi
Katja Lovén**

**ILMATIETEEN LAITOS – ILMANLAADUN ASiantuntijapalvelut
Helsinki 29.08.2012**

SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO	3
2	TAUSTATIETOA ILMAN EPÄPUHTAUKSISTA.....	4
2.1	Ilmanlaatuun vaikuttavat tekijät.....	4
2.2	Typpidioksidi.....	4
2.3	Hiukkaset.....	5
2.4	Ilmanlaadun raja- ja ohjearvot	7
3	MENETELMÄT	8
3.1	Leviämismallilaskelmien kuvaus	8
4	TUTKIMUSALUE JA LÄHTÖTIEDOT	10
5	TULOKSET	18
5.1	Typpidioksidipitoisuudet	18
5.2	Pienhiukkaspitoisuudet.....	26
5.3	Ilmanlaadun mittauksia alueella.....	29
6	YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET	35
	VIITELUETTELO.....	37
	LIITEKUVAT	

1 JOHDANTO

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli arvioida leviämismallilaskelmin Helsingin Hernesaaren lähellä sijaitsevan Telakkakadun ympäristön liikenteen päästöjen vaikutusta alueen ilmanlaatuun. Mallilaskelmat tehtiin Hernesaaren osayleiskaavan ja alueen suunnittelun tueksi. Osayleiskaavan mukaisten toimintojen toteutuessa Hernesaareen suuntautuva ajoneuvoliikenne kulkee pääosin Telakkakatua pitkin ja tämän selvityksen tarkoituksena on tarkastella liikenteen lisääntymisen vaikutusta ilmanlaatuun Telakkakadun lähialueella. Tutkimuksessa tarkasteltiin ulkoilman typpidioksidin (NO_2) ja pienhiukkasten ($\text{PM}_{2,5}$) pitoisuuksia sekä nykyistä että uudempaa ajoneuvokantaa edustavilla autoliikenteen ajoneuvotyyppikohtaisilla ja nopeusriippuvaisilla päästökertoimilla. Laskelmat tehtiin käyttäen vuotta 2035 edustavia liikennemääräennusteita. Autoliikenteen päästöjen aiheuttamat typpidioksidi- ja pienhiukkaspitoisuudet mallinnettiin Ilmatieteen laitoksella erityisesti liikenteen päästöjen leviämisen mallintamiseen kehitetyllä leviämismallilla (CAR-FMI). Kappa-leessa 5.4. on lisäksi arvioitu sanallisesti muita alueen ilmanlaatuun vaikuttavia tekijöitä, mm. Länsisataman yhden risteilijäläivapaikan lisäämisen vaikutusta.

Työn tilasi Helsingin kaupungin kaupunkisuunnitteluviraston (KSV) teknistaloudellinen toimisto. Lähtötietoina käytetyt liikennemääräennusteet ja liikenteen aikavaihtelun toimitti kaupunkisuunnitteluviraston liikennesuunnitteluosasto. Tilaajan vastuuhenkilöt teknistaloudellisesta toimistosta ovat DI Kati Immonen ja insinööri Taina Mattila sekä liikennesuunnitteluosastolta DI Anna Nervola. Päästöjen leviämismallilaskelmat teki Hanna Hannuniemi ja Katja Lovén Ilmatieteen laitoksen Ilmanlaadun asiantuntijapalveluista.

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 ilmassa o-
jen mukana laajoille alueille. Tämän kulkeutumisen aikana ilmansaasteet voivat reagoida keskenään sekä muiden ilmassa olevien yhdisteiden kanssa muodostaen uusia yhdisteitä. Ilmansaasteet poistuvat ilmasta sateen huuhtomina (märkäla-
s-
keuma), kuivalaskeutuna erilaisille pinnoille tai kemiallisen muutoksen kautta.

Ilmansaasteiden leviämisen 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 pak-
kasilla. Rajakerroksen korkeus määrää ilmatilavuuden, johon päästöt voivat välittömästi sekoittua. Rajakerroksen tuuliolosuhteet määräävät karkeasti ilmansaasteiden kulkeutumis suunnan, mutta rajakerroksen ilmavirtausten pyörteisyys ja kerroksen korkeus vaikuttavat merkittävästi ilmansaasteiden sekoittumiseen ja pitoisuuksien laimenemiseen kulkeutum-
isen aikana. Leviämisen kannalta keskeisiä meteorologisia tekijöitä ovat tuulen suunta ja nopeus, ilmakehän stabiilisuus ja sekoituskorkeus. Ilmakehän stabiilisu-
della tarkoitetaan ilmakehän herkkyyttä pystysuuntaiseen sekoittumiseen. Stabiil-
isuuden määrää ilmakehän pystysuuntainen lämpötilarakenne.

Inversiolla tarkoitetaan tilannetta, jossa ilmakehän lämpötila nousee ylöspäin mentäessä. Erityisesti maanpintainver-
sion aikana ilmanlaatu voi paikallisesti huonontua nopeasti. Maanpintainversiossa maanpinta ja sen lähellä oleva ilmake-
ros 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, jonka vuoksi ilma-
saasteet laimenevat huonosti. Inversiotilanteissa pitoisuudet kohoavat-
taajamissa etenkin liikenne-
ruuhkien aikana, koska ilmansaasteet kerääntyvät matalaan ilm-
akerrokseen päästölähteiden lähelle.

2.2 Typpidioksidi

Typhen yhdisteitä vapautuu päästölähteistä ilmaan typhen oksideina eli typpimonok-
sidina (NO) ja typpidioksidina (NO₂). Näistä yhdisteistä terveysvaikutuksiltaan haitallisempaa on typpidioksidi, jonka pitoisuuksia ulkoilmassa säädellään ilma-
n-
laadun ohje- ja raja-
arvoilla. Typpidioksidin määrään ilmassa vaikuttavat myös kemialliset muutuntareaktiot, joissa typpimonoksidi h-
apettuu typpidioksidiksi. Ulkoilman typpidioksidipitoisuuksille altistuminen on suurinta kaupunkien keskust o-

jen ja taajamien liikenneympäristöissä. Typpidioksidipitoisuudet kohoavat tyypillisesti ruuhka-aikoina. Korkeimmillaan typpidioksidipitoisuudet ovat erityisesti tyyneinä 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.

Ilmatieteen laitoksella tehdyn ilmanlaadun alustavan arvioinnin (*Pietarila ym., 2001*) tulosten mukaan typpidioksidipitoisuuden raja-arvot voivat nykyisin ylittyä etenkin suurimpien kaupunkien vilkkaasti liikennöidyillä keskusta-alueilla lähinnä liikenneväylien ja risteysten läheisyydessä. Korkeimmillaan vuosikeskiarvot ovat olleet ilmanlaadun mitausten mukaan Helsingin vilkasliikenteisimmillä alueilla noin $40\text{--}50\ \mu\text{g}/\text{m}^3$. Yleensä Suomen kaupungeissa vuosikeskiarvot ovat noin $20\text{--}30\ \mu\text{g}/\text{m}^3$. Puhtailla taustalla tehtyjen ilmanlaatumittausten mukaan typpidioksidin vuosikeskiarvot ovat olleet Etelä-Suomessa noin $2\text{--}8\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja Pohjois-Suomessa noin $1\ \mu\text{g}/\text{m}^3$.

2.3 Hiukkaset

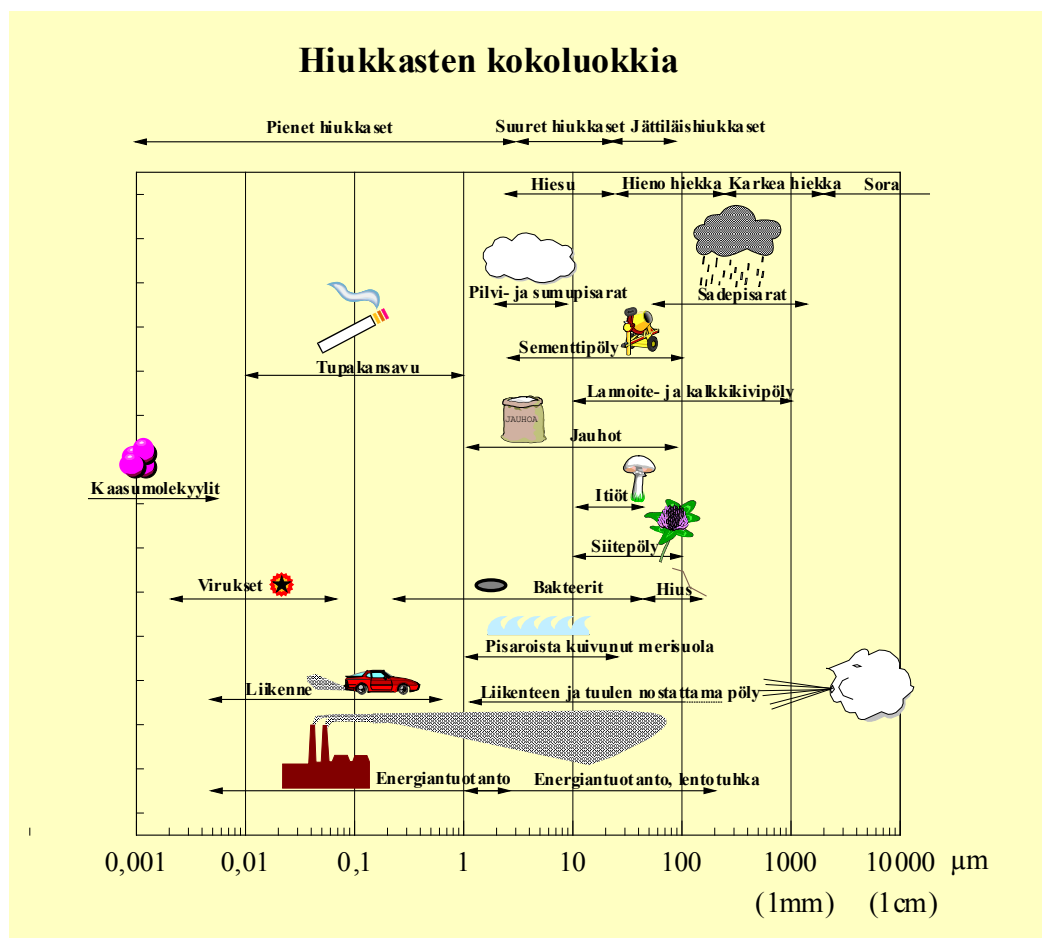
Ulkoilman hiukkaset ovat nykyisin merkittävimpiä ilmanlaatuun vaikuttavia tekijöitä Suomen kaupungeissa. Pienhiukkasia pidetään länsimaissa haitallisimpana ympäristötekijänä ihmisten terveydelle. Ulkoilman hiukkaset ovat taajamissa suurelta osin peräisin liikenteen ja tuulen nostattamasta katupölystä (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 hiilivetyjä 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 A.

Suurimmat hiukkaspitoisuudet esiintyvät vilkkaasti liikennöidyissä kaupunkikeskuksissa. Suomessa hiukkaspitoisuudet kohoavat yleensä voimakkaasti keväällä maaliskuu-huhtikuussa, kun maanpinnan kuivuessa tuuli ja liikenne nostattavat katupyölyä ilmaan. Liikenteen vaikutukset korostuvat matalan päästökorkeuden vuoksi. Hengitettävillä hiukkasilla annettu vuorokausiohjearvo ylittyy keväisin yleisesti Suomen kaupungeissa. Hengitettävien hiukkasten vuorokausipitoisuudelle annettu raja-arvo on sen sijaan ylittynyt viime vuosina vain Helsingin keskustassa.

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 kuitenkin alittunut Suomessa. Pienempien kaupunkien keskusta-alueilla hengitettävien hiukkasten pitoisuuden vuosikeskiarvot voivat ylittää $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja kaupunkien keskusta-alueiden ulkopuolella pitoisuudet ovat olleet yli $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Pietarila ym., 2001). Puhtailla tausta-alueilla vuosikeskiarvopitoisuudet ovat olleet Etelä-Suomessa noin $10\text{--}12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja Pohjois-Suomessa noin $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$.



Kuva A. Hiukkasten kokoluokkia. Hiukkasten koko ilmaistaan halkaisijana mikrometreissä (μm). Mikro (μ) etuliite tarkoittaa miljoonasosaa. 1 μm 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 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).

Aine	Keskiarvon laskenta-aika	Raja-arvo $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (293 K, 101,3 kPa)	Sallittujen ylitysten määrä kalenteri-vuodessa (vertailujakso)
Typpidioksidi (NO_2)	1 tunti	200	18
	kalenterivuosi	40	–
Pienhiukkaset ($\text{PM}_{2,5}$)	kalenterivuosi	25	–

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 merkittävillä 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 (Vpn 480/1996, WHO, 2006).

Ilmansaaste	Ohjearvo (293 K, 101,3 kPa)	Tilastollinen määrittely
Typpidioksidi (NO ₂)	150 µg/m ³	Kuukauden tuntiarvojen 99. prosenttipiste
	70 µg/m ³	Kuukauden toiseksi suurin vuorokausiarvo
Pienhiukkaset (PM _{2,5})	25 µg/m ³ (WHO)	Suurin vuorokausiarvo
	10 µg/m ³ (WHO)	Vuosikeskiarvo

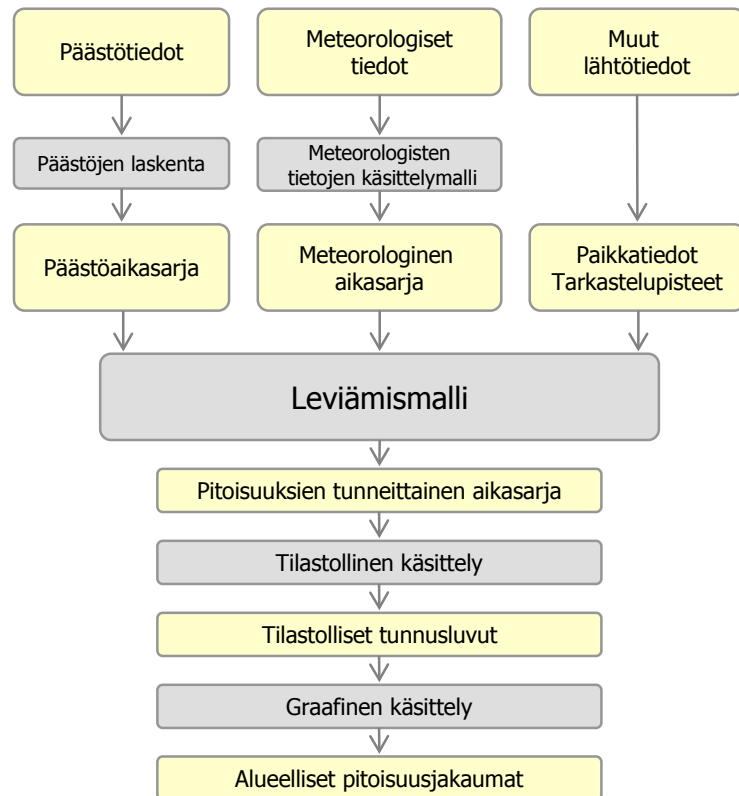
3 MENETELMÄT

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 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 tapahtuva 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 (Caminants in the Air from a Road; *Karppinen, 2001; Härkönen ym., 2001*). Kaaviokuva leviämismallin toiminnasta on esitetty kuvassa B.



Kuva B. Kaaviokuva Ilmätieteen laitoksella kehitetyn leviämismallin, viivalähdemallin (CAR-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 sekä tietoa päästölähteiden sijainnista. Liikenteen päästölaskennassa otetaan huomioon liikennemäärät ja niiden tunneittainen vaihtelu, erityyppisten ajoneuvojen osuudet liikennemääristä, liikennevirtojen nopeudet ja ajoneuvo kohtaiset nopeusriippuaiset 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 päästömäärä 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 albedoar-

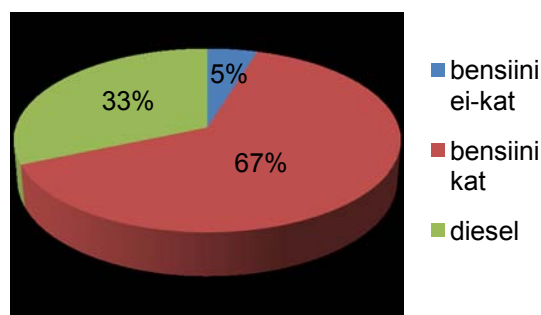
vot (maanpinnan kyky heijastaa auringon säteilyä) eri maanpinnan laaduille. Laskelmissa käytetään yleensä 1–3 vuoden pituisia tutkimusalueen sääolosuhteita edustavaa meteorologista aineistoa. Laskelmissa käytettäviksi sääasemiksi valitaan tutkimusaluetta lähimpänä sijaitsevat sääasemat, joilla mitataan 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. Laskentapisteitä on yleensä useita tuhansia, ja niiden etäisyys toisistaan vaihtelee muutamasta kymmenestä metristä satoihin metreihin riippuen tutkimusalueen koosta ja tarkasteltavista kohteista. Mallin tuottamasta pitoisuusaikasarjasta lasketaan ilmanlaadun raja- ja ohjearvoihin verrannollisia tilastollisia suureita, jotka esitetään raportissa mm. pitoisuuksien aluejakaumakuvina ja taulukkoina.

4 TUTKIMUSALUE JA LÄHTÖTIEDOT

Tutkimuksessa tarkasteltiin Helsingin keskustan ja sitä ympäröivän autoliikenteen suorien päästöjen ilmanlaatuvaikutuksia Telakkakadun lähiympäristössä. Laskelmat tehtiin käyttäen vuodelle 2035 ennustettuja liikennemääriä ja nykytilannetta edustavia (Euro 3) sekä uudempaa ajoneuvokantaa edustavia (Euro 4) nopeusriippuvaisia päästökertoimia. Taulukossa 3 on esitetty eri päästötasoja (Euro 0 - Euro 5) edustavien henkilöautojen (bensa- ja dieselkäyttöiset) suoriteosuudet vuonna 2011. Euro 3 päästötason voidaan katsoa edustavan nykyisen autokannan ja ajoneuvosuoritteiden päästötasoa (vuosimallit 2001–2005). Euro 4 on päästötaso, jossa oletetaan autokannan uusiutuneen siinä määrin, että kaikkien liikennöivien ajoneuvojen päästötaso vastaisi vuosina 2006–2009 valmistuneiden autojen päästötasoa. (VTT, LIPASTO).

Vuonna 2011 henkilöautojen suoriteosuus koostui suurimmaksi osaksi katalysaattorillisista bensinikäyttöisistä ajoneuvoista, joiden osuus oli noin 67 % ajosuoritteesta, ilman katalysaattoria olevista bensinikäyttöisistä henkilöautoista, joiden osuus oli noin 5 % sekä dieselkäyttöisistä henkilöautoista, joiden ajosuoriteosuus oli noin 33 % (kuva C).



Kuva C. Bensinikäyttöisten (kat ja ei-kat) ja dieselkäyttöisten henkilöautojen suoriteosuudet vuonna 2011 (Lähde LIISA 2011, VTT)

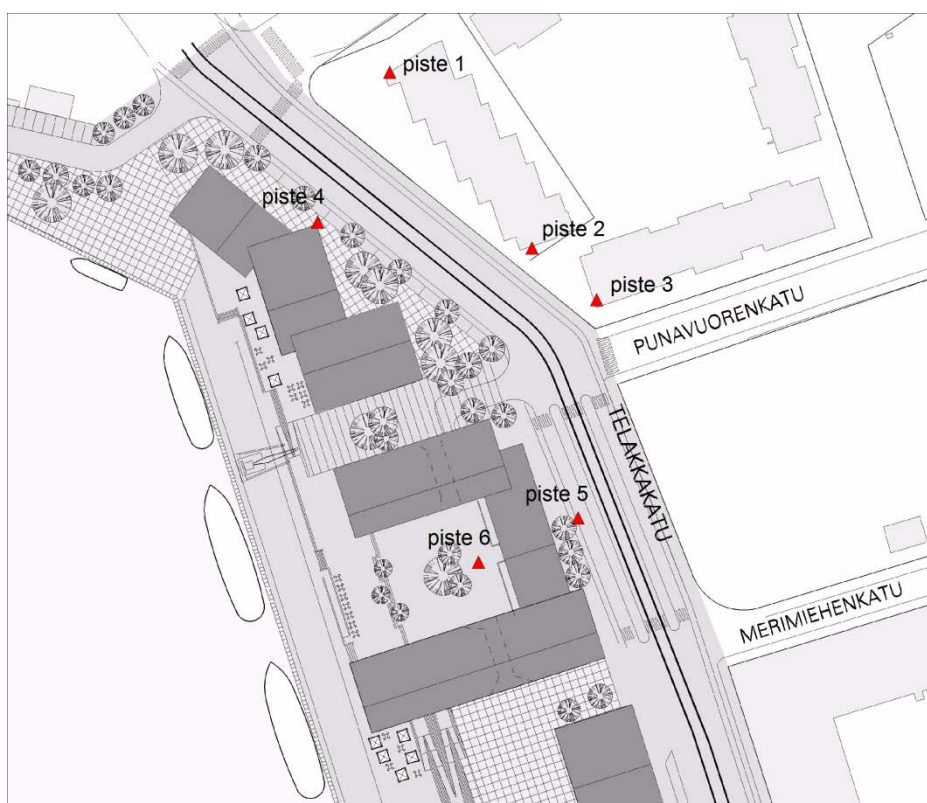
Ilman katalysaattoria olevien bensiinikäyttöisten ajoneuvojen määrä ja ajosuorite pienevät tulevaisuudessa tiukkenevista päästönormeista ja autojen ikääntymisestä johtuen. Diesel- ja bensiinikäyttöisten ajoneuvojen ajosuoritteen muutoksen ennustaminen on vaikeampaa, sillä siihen vaikuttavat merkittävästi verotukselliset ohjaukset. Liikenteen päästölaskennan perusteena on käytetty vuotta 2011 edustavia ajosuoritejakautuksia, ei-kat ajoneuvojen suoriteosuudeksi on muutettu 1 %, jolloin bensiini kat ajoneuvojen osuus on arvioitu olevan 71 %.

Taulukko 3. Eri päästötasoa edustavien henkilöautojen (bensa - ja dieselkäyttöiset) suoriteosuudet vuonna 2011 (Lähde LIPASTO laskentajärjestelmä, VTT)

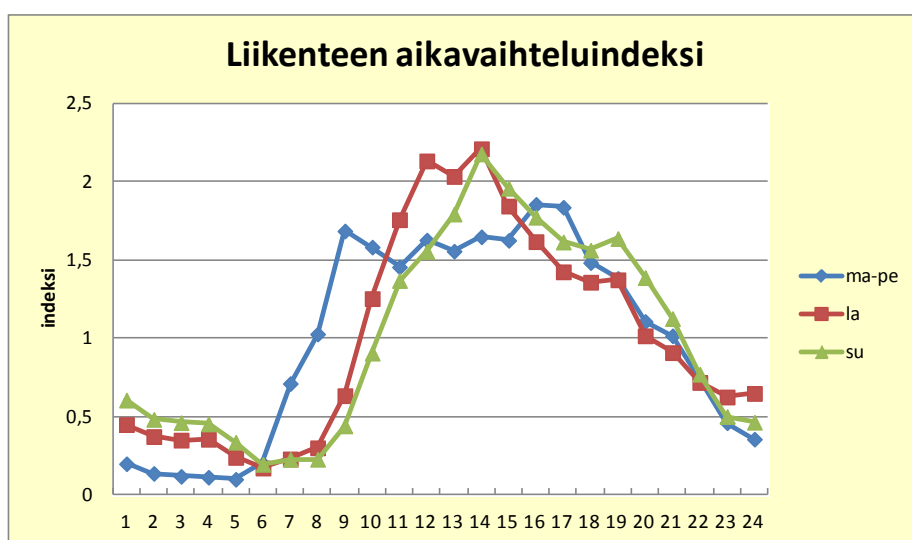
Päästötaso		Bensa	Diesel
Euro 0	ei kat, vuosimallit --> 1990	9.1 %	0.0 %
Euro 1	vuosimallit 1991–1996	13.3 %	6.8 %
Euro 2	vuosimallit 1997–2000	20.4 %	13.2 %
Euro 3	vuosimallit 2001–2005	30.6 %	24.9 %
Euro 4	vuosimallit 2006–2009	19.9 %	39.5 %
Euro 5	vuosimallit 2010 ja sitä uudemmat	6.6 %	15.5 %

Laskelmissa huomioitiin tieliikenteen päästöt vuoden 2035 liikenne -ennusteisiin perustuen noin 5 km × 5 km suuruiselta alueelta sekä alueellinen taustapitoisuus, jotta mallilaskelmin saadut pitoisuudet vastaisivat mahdollisimman hyvin todellisia epäpuhtauspitoisuustasoa. Taustapitoisuutena käytettiin Helsingin seudun ympäristöpalveluiden (HSY) Espoon Luukin ilmanlaadun kaupunkitaustamittausaseman mittauksia vuosilta 2008–2010 sekä vuodelle 2010 skaalattua HSY:n pääkaupunkiseudun alueen liikenteen päästöviivoja noin 36 km x 28 km alueelta. Päästöjen aiheuttamat pitoisuudet laskettiin pisteikköön, jossa oli 12 704 laskentapistettä. Laskentapistekönnön pisteet olivat tiheimmillään 10 metrin etäisyydellä toisistaan ja harvimmillaan tutkimusalueen reunoilla 100 metrin etäisyydellä toisistaan. Tutkimuksessa tarkasteltiin liikenteen päästöjen aiheuttamia ulkoilman typpidioksidi- ja pienhiukkaspitoisuuksia maanpintatasolla koko tutkimusalueella sekä valituissa erillispisteissä (kuva D). Pisteisiin 1-5 tehtiin julkisivutarkastelu, jossa pitoisuuksia laskettiin usealta korkeudelta tienpinnan tasosta rakennusten kattotasoille.

Katujen ja teiden autoliikenteen päästöt arvioitiin leviämismallilaskelmia varten viivalähteinä. Liikenneväylää kuvattiin peräkkäisinä lyhyinä viivoina, joista jokaisesta vapautuu ympäristönsä erikseen laskettavan suuruinen päästö. Tieverkon liikenteen päästöt laskettiin Ilmatieteen laitoksella KSV:n toimittamien keskimääräisten arkivuorokausi liikennemäärien (KAVL), ajonopeuksien, raskaan liikenteen osuuksien ja liikenteen tunneittaisen vaihtelun perusteella (Telakkakadun ja Tehtaankadun risteyksessä vuonna 2012 tehty liikennelaskenta). Liikennemäärien tunneittaista vaihtelua kuvaavat aikavaihteluindeksit on esitetty kuvassa E.



Kuva D. Suunnittelukuva Telakkakadun lähiympäristöstä. Erillistarkastelupisteiden sijainti on merkitty kuvaan punaisilla kolmioilla. (Kuva: KSV)

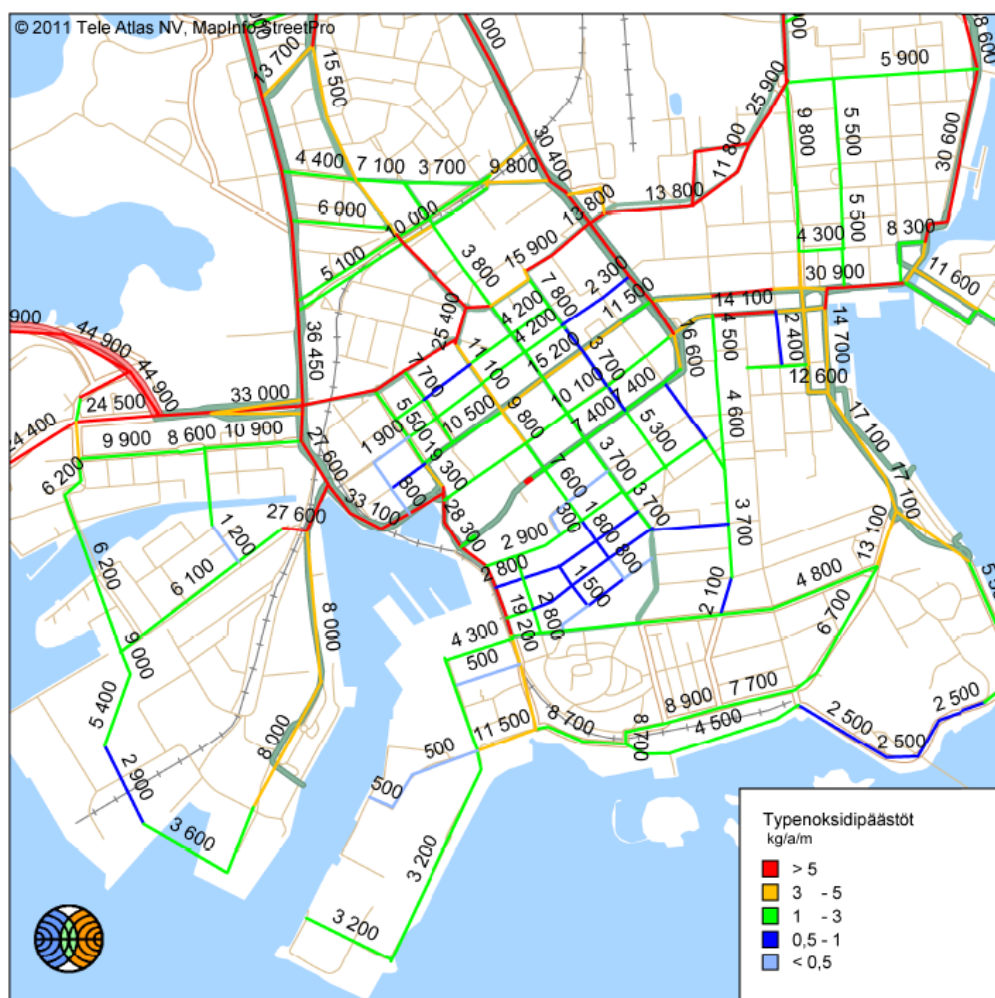


Kuva E. Liikenteen tunneittaista vaihtelua kuvaavat aikavaihteluindeksit.

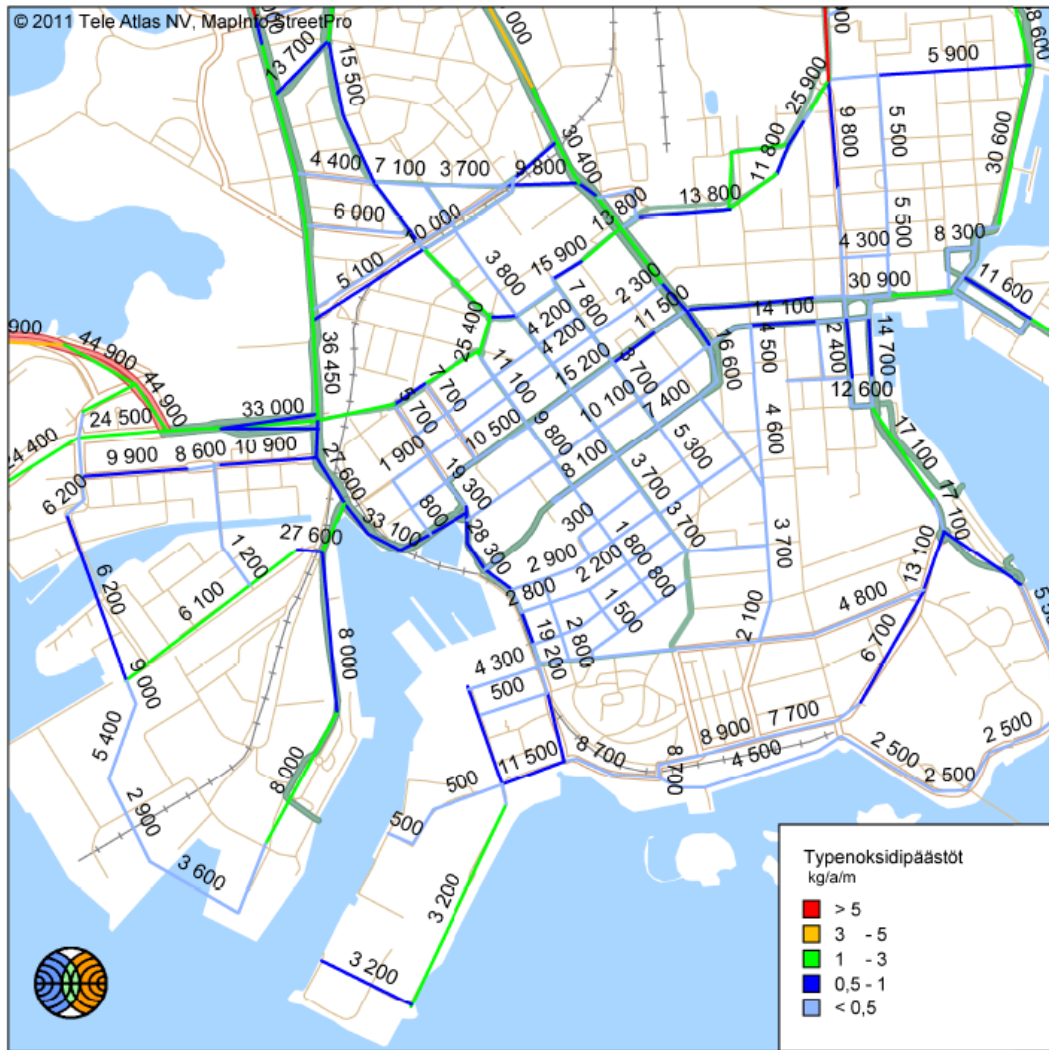
Päästöt laskettiin ajoneuvolajeittaisten päästökertoimien avulla, jotka perustuvat Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen (VTT) päästölaskelmiin (LAURIKKO, 1998) ja

CAR-FMI mallia varten kehitettyihin nopeusriippuvaisiin päästökerroinfunktioihin. Tutkimusalueen liikenteen typenoksidipäästöt ovat nykytilannetta vastaavilla Euro 3 päästökertoimilla laskettaessa noin 733 tonnia vuodessa ja Euro 4 päästökertoimilla 577 t/a, tämän lisäksi liikennetaustana käytettiin vuodelle 2010 skaalattuja HSY:n laskemia pääkaupunkiseudun autoliikenteen päästöjä noin 36 km x 28 km alueelta (noin 2890 t/a). Vastaavasti hiukkaspäästöt olivat Euro 3 päästökertoimilla noin 23 t/a ja Euro 4 päästökertoimilla noin 14 t/a (+ liikennetausta noin 91 t/a).

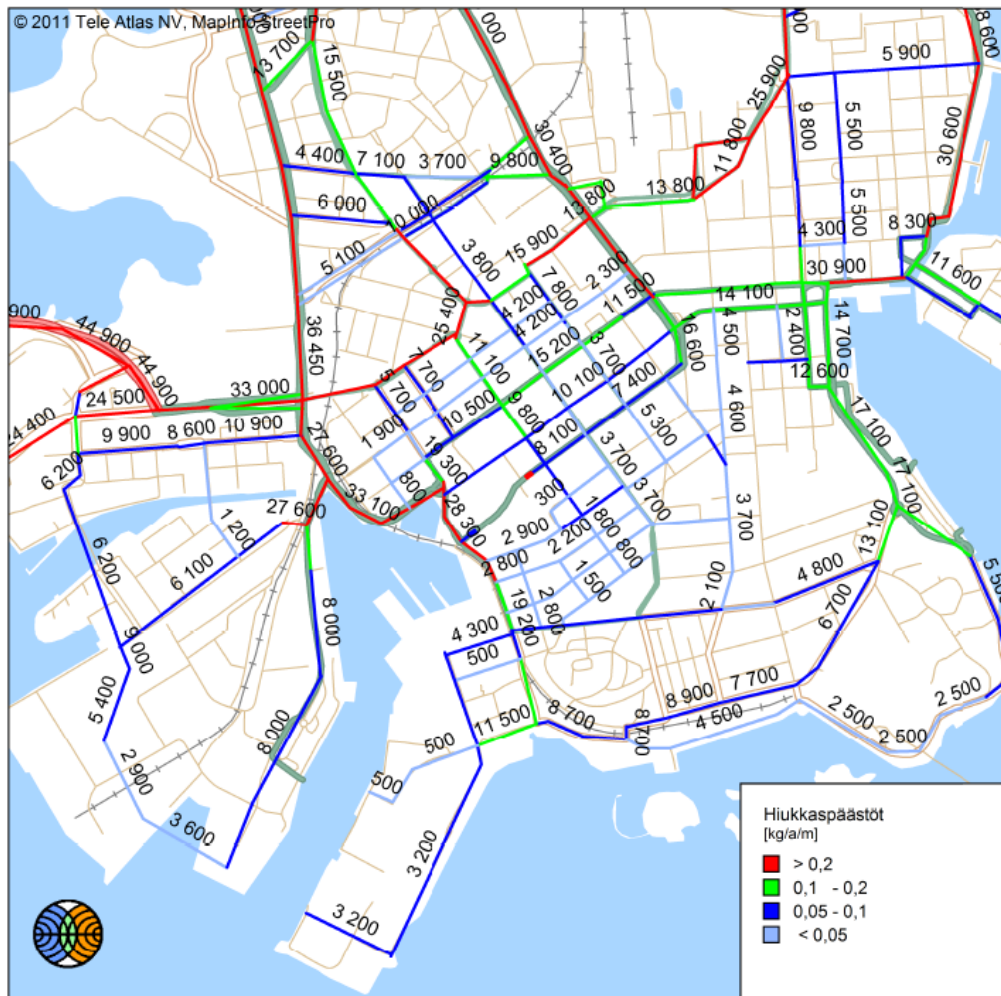
Kuvissa F–I on esitetty vuodelle 2035 ennustetut arkivuorokausiliikennemäärät tutkimusalueella sekä väyläkohtaisesti lasketut typenoksidi – ja hiukkaspäästöt (kg/a/m).



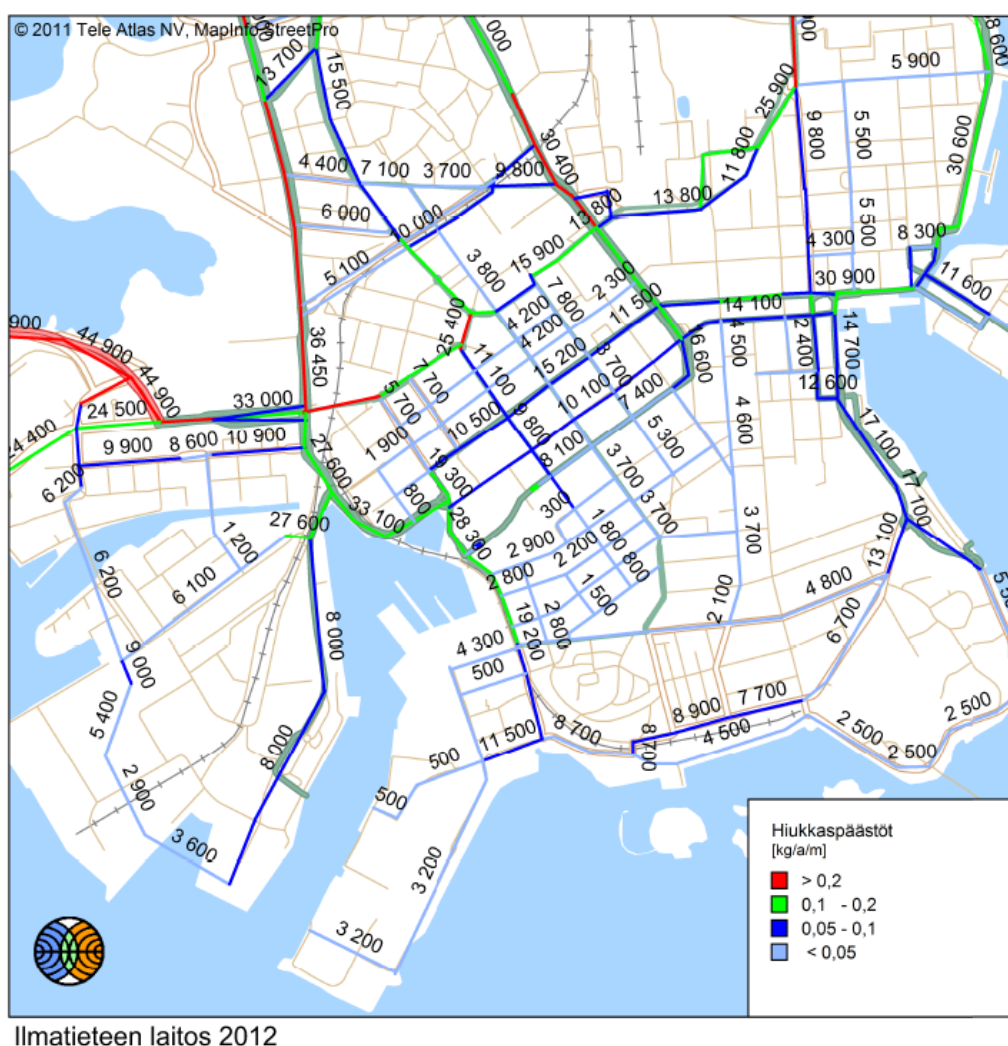
Kuva F. Euro 3 skenaarion typenoksidipäästöt (kg/a/m) ja vuodelle 2035 arvioidut arkivuorokausiliikennemäärät Helsingin niemen alueella.



Kuva G. Euro 4 skenaarion typenoksidipäästöt (kg/a/m) ja v uodelle 2035 arvioidut arkivuo- rokausliikennemäärät Helsingin niemen alueella.



Kuva H. Euro 3 skenaarion hiukkaspäästöt (kg/a/m) ja v uodelle 2035 arvioidut arkivuoro-
kausi liikennemäärät Helsingin niemen alueella.



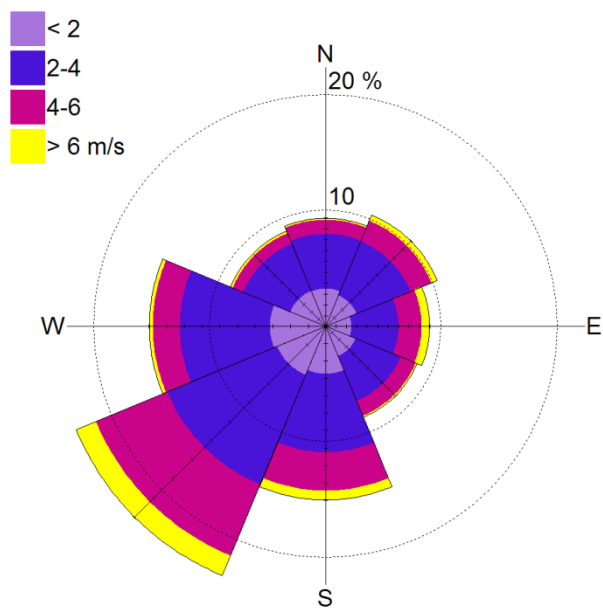
Kuva I. Euro 4 skenaarion hiukkaspäästöt (kg/a/m) ja vuodelle 2035 arvioidut arkivuorokausiliikennemäärät Helsingin niemen alueella.

Leviämismallilaskelmissa on oletettu autoliikenteen typenoksidipäästöistä olevan Euro 3 päästölaskennassa keskimäärin 20 % typpidioksidia ja Euro 4 päästölaskennassa 23 % typpidioksidia.

Tutkimusalueen lähikatujen liikenteen lisäksi mallilaskelmissa on huomioitu alueella typpidioksidin ja pienhiukkasten taustapitoisuus, joka arvioitiin Helsingin seudun ympäristöpalveluiden Espoon Luukissa sijaitsevan kaupunkitaustaa edustavan ilmanlaadun mittausaseman tuloksista. Typpidioksidin ja pienhiukkasten taustapitoisuus on vuorokausikeskiarvona suuruusluokaltaan noin $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (vuosina 2008–2010). Myös typenoksidipäästöjen muutoksen kuvaamiseen käytettiin Luukin ilmanlaadun mittausaseman otsonihavaintoja. Otsonin taustapitoisuusina käytettiin pitoisuuksien kuukausittain laskettuja tyypillisinä keskiarvoina, joilla pyrittiin kuvaamaan taustapitoisuuksien vuorokauden sisäistä vaihtelua.

Tutkimusalueen ilmastollisia olosuhteita edustava meteorologinen aikasarja muodostettiin Helsingin Kumpulan, Helsingin Harmajan ja Espoon Sepänkylän vuosien 2008–2010 havainnoista. Sekoituskorkeuden määrittämiseen käytettiin Jokioisten

observatorion radi oluotaushavaintoja vuosilta 2008–2010 . Kuvassa J on esitetty tuulen suunta - ja nopeusjakaumat tutkimusalueella. Lounaistuulet ovat tutkimus-alueella vallitsevia.

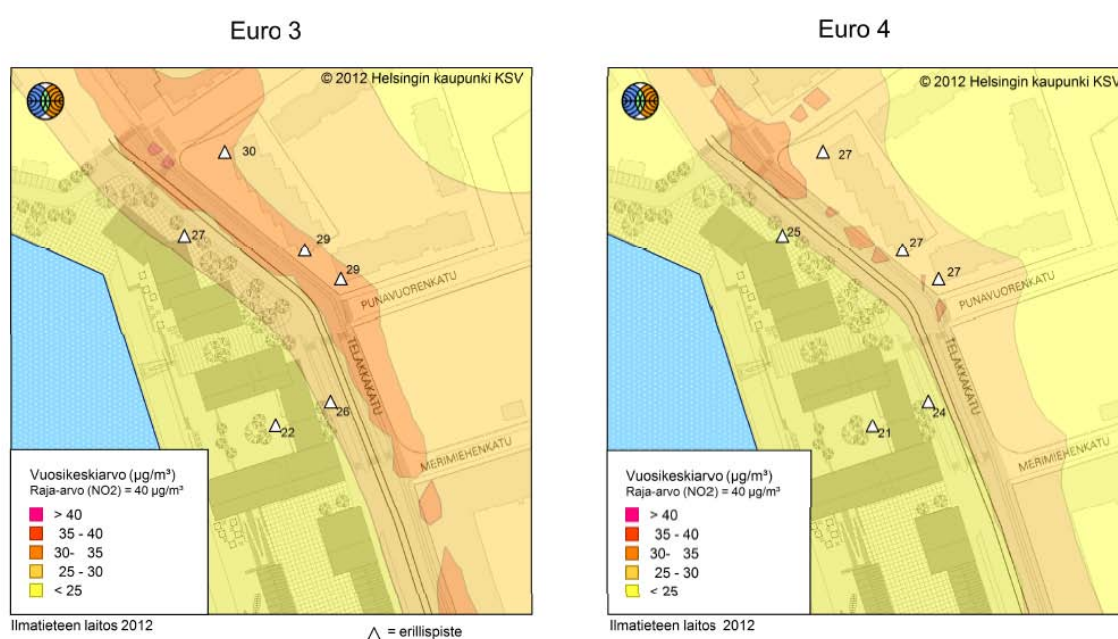


Kuva J. Tuulen suunta- ja nopeusjakauma tutkimusalueella vuosina 2008–2010 . Lasketut tuulitiedot kuvaavat olosuhteita 10 metrin korkeudella maan pinnasta.

5 TULOKSET

5.1 Typpidioksidipitoisuudet

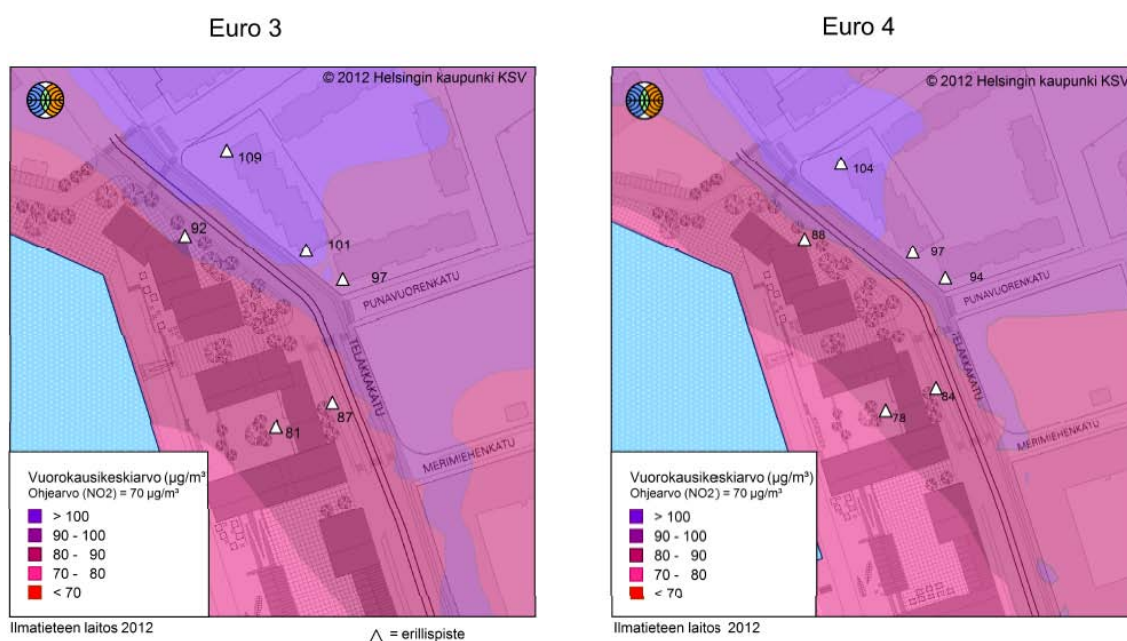
Leviämismallilaskelmien tuloksina saadut Helsingin keskustan autoliikenteen päästöjen aiheuttamien ulkoilman typpidioksidipitoisuuksien alueellinen vaihtelu Telakkakadun lähiympäristössä maanpintatasossa on esitetty kuvissa K ja L. Suuremman alueen leviämiskuvat on esitetty liitekuviissa 1–2. Kuvissa on esitetty pitoisuusarvot kolmioilla merkittyjen paikkojen kohdilla, jotka edustavat valittuja erillispisteitä. Pitoisuudet ovat kuvassa näkyvällä alueella korkeimmillaan Telakkakadun ja Mallaskadun risteyksessä.



Kuva K. Typpidioksidin vuosiraja-arvoon verrannolliset pitoisuudet Euro 3 - ja Euro 4 - päästötasoilla ja vuoden 2035 liikennemääräennusteilla laskettuna.

Typpidioksidipitoisuuksien raja-arvo 40 µg/m³ ei ylitä Telakkakadun läheisyydessä kummallakaan päästöskenaariolla. Suuremman alueen leviämiskuvista (liitekuva 1) nähdään, että raja-arvo ylittyy paikoin Hietalahdenrannasta Jätkäsaaren käyntiyvällä tieosuudella sekä Euro 3 että Euro 4 päästötasoilla. Raja-arvon ei katsota kuitenkaan olevan voimassa väylillä tai risteysalueilla lukuun ottamatta kevyen liikenteen väyliä. Vuosipitoisuudet ovat kolmioilla merkityissä pisteissä maanpintatasossa 55–75 % raja-arvosta.

Mallilaskelmien mukaan typpidioksidin vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (70 µg/m³) ylittyy lähes kaikkialla Helsingin keskustassa ja myös Telakkakadun ympäristössä sekä Euro 3 että Euro 4 päästöskenaarioilla laskettuna (Kuva L ja liitekuva 2).



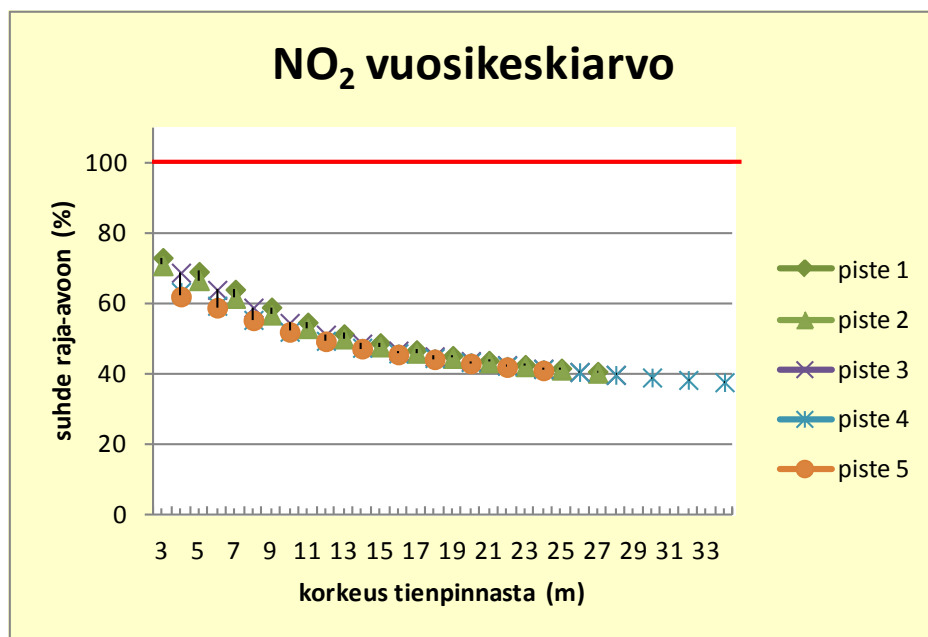
Kuva L. Typpidioksidin vuorokausiohjearvoon verrannolliset pitoisuudet Euro 3- ja Euro 4 - päästötasoilla ja vuoden 2035 liikennemääräennusteilla laskettuna.

Kolmiolla merkityissä kohteista 1–5 (kuva D) tehtiin myös erillinen julkisivutarkastelu, jossa laskettiin korkeuserojen vaikutusta pitoisuuksiin laskemalla pitoisuuksia eri korkeuksilla tienpinnan tasosta rakennusten kattokorkeudelle. Julkisivutarkastelun tulokset ovat nähtävissä taulukoista 4–11, jossa pitoisuudet eri korkeuksilla on esitetty absoluuttisina pitoisuusarvoina ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ja kuvista M–P, joissa on esitetty pitoisuuksien suhde (%) vuosiraja- ja vuorokausiohjearvoon eri korkeuksilla. Piste 6 sijaitsee sisäpihan keskellä ja näin ollen tähän pisteeseen ei ole tehty julkisivutarkastelua. Piste 6 pitoisuudet maanpintatasossa on nähtävillä leviämiskuvista.

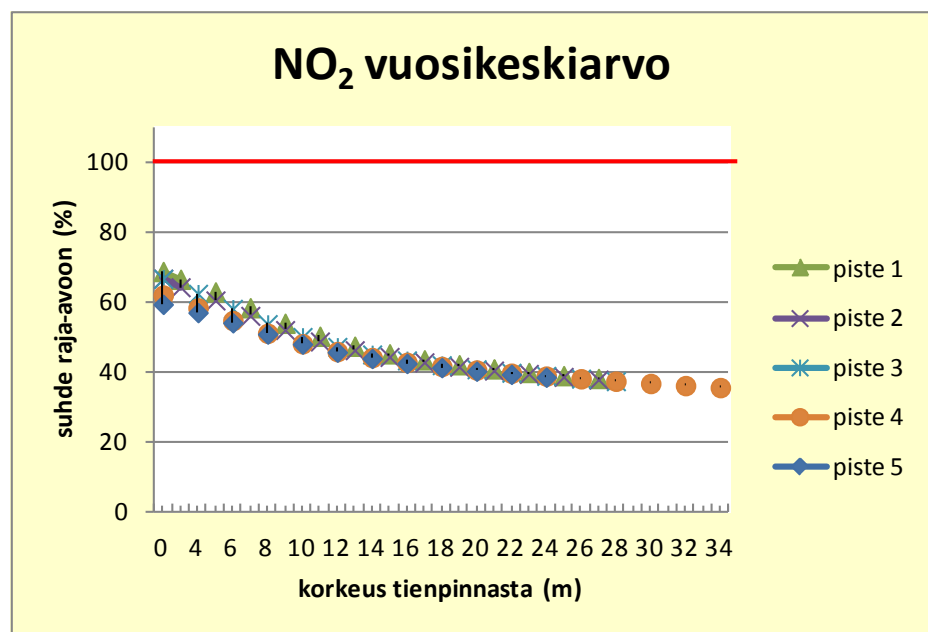
Mallilaskelmien mukaan typpidioksidin vuosiraja-arvo ei ylitä millään korkeudella tarkastelluissa pisteissä. Mallilaskelmien tulosten mukaan typpidioksidin vuorokausiohjearvo ($70 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ylittyy kaikissa erillistarkastelupisteissä enimmillään 13 metrin korkeudelle Telakkakadun tasosta Euro 3 skenaariolla ja enimmillään 12 metrin korkeudelle tienpinnan tasosta Euro 4 skenaariolla.

Taulukko 4. Typpidioksidin absoluuttiset vuosiraja -arvoon ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) verrannolliset pitoisuudet Telakkakadun I ähiympäristön erillistarkastelupisteissä (kuva D) eri korkeuksilla tienpinnasta Euro 3 skenaariolla laskettuna.

korkeus tienpinnasta (m)	NO ₂ vuosipitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)				
	piste 1	piste 2	piste 3	piste 4	piste 5
0	30	29	29	27	26
3	29	28			
4			27	25	25
5	28	27			
6			26	24	24
7	26	25			
8			24	22	22
9	24	23			
10			22	21	21
11	22	21			
12			20	20	20
13	21	20			
14			19	19	19
15	20	19			
16			19	18	18
17	19	18			
18			18	18	18
19	18	18			
20			17	17	17
21	18	17			
22			17	17	17
23	17	17			
24			17	17	16
25	17	16			
26			16	16	
27	16	16			
28			16	16	
29					
30				16	
31					
32				15	
33					
34				15	



Kuva M. Typpidioksidipitoisuuksien suhde vuo siraja-arvoon Telakkakadun lähiympäristön erillistarkastelupisteissä (kuva D) eri korkeuksilla tienpinnasta Euro 3 skenaariolla laskettuna. Vaaka-akselilla on korkeus tienpinnasta ja pystyakselilla on vuo siraja-arvoon verrannollinen taso.



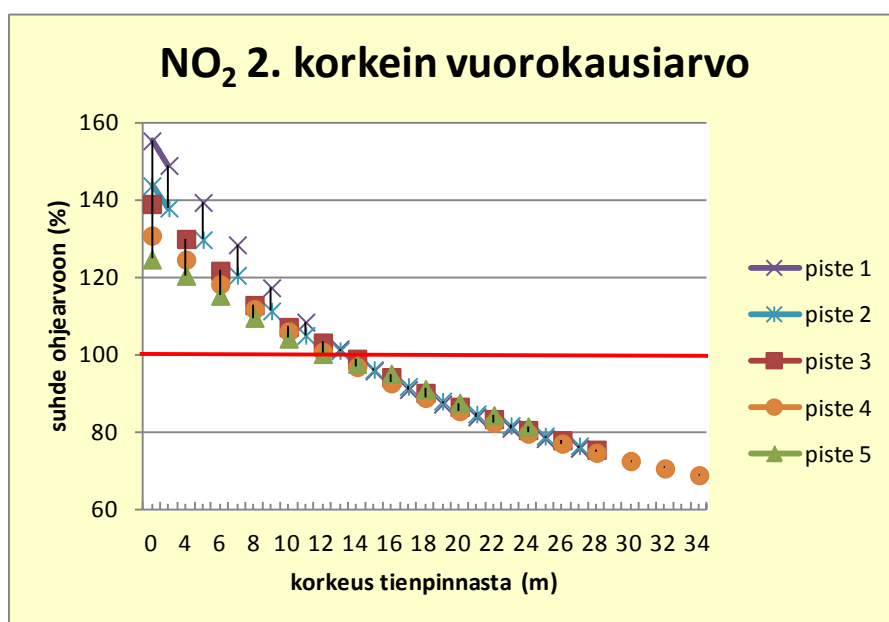
Kuva N. Typpidioksidipitoisuuksien suhde vuo siraja-arvoon Telakkakadun lähiympäristön erillistarkastelupisteissä (kuva D) eri korkeuksilla tienpinnasta Euro 4 skenaariolla laskettuna. Vaaka-akselilla on korkeus tienpinnasta ja pystyakselilla on vuo siraja-arvoon verrannollinen taso.

Taulukko 6. Typpidioksidin absoluuttiset vuosiraja -arvoon ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) verrannolliset pitoisuudet Telakkakadun lähiympäristön erillistarkastelupisteissä (kuva D) eri korkeuksilla tienpinnasta Euro 4 skenaariolla laskettuna.

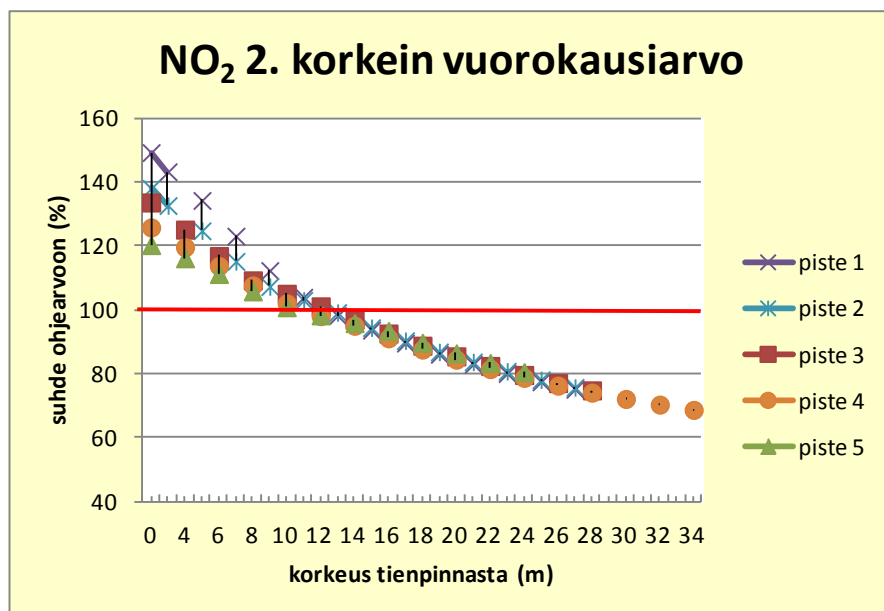
korkeus tienpinnasta (m)	NO ₂ vuosipitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)				
	piste 1	piste 2	piste 3	piste 4	piste 5
0	27	27	27	25	24
3	27	26			
4			25	23	23
5	25	24			
6			23	22	22
7	23	22			
8			21	20	20
9	22	21			
10			20	19	19
11	20	19			
12			19	18	18
13	19	18			
14			18	18	18
15	18	18			
16			17	17	17
17	17	17			
18			17	17	17
19	17	17			
20			16	16	16
21	16	16			
22			16	16	16
23	16	16			
24			16	16	15
25	16	15			
26			15	15	
27	15	15			
28			15	15	
29					
30				15	
31					
32				14	
33					
34				14	

Taulukko 8. Typpidioksidin absoluuttiset vuorokausihjearvoon ($70 \mu\text{g}/\text{m}^3$) verrannolliset pitoisuudet Telakkakadun lähiympäristön erillistarkastelupisteissä (kuva D) eri korkeuksilla tienpinnasta Euro 3 skenaariolla laskettuna.

korkeus tienpinnasta (m)	NO ₂ 2.korkein vuorokausipitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)				
	piste 1	piste 2	piste 3	piste 4	piste 5
0	109	101	97	92	87
3	104	97			
4			91	87	84
5	98	91			
6			85	83	81
7	90	84			
8			79	78	77
9	82	78			
10			75	74	73
11	76	74			
12			72	71	70
13	71	71			
14			69	68	68
15	67	67			
16			66	65	67
17	64	64			
18			63	62	64
19	61	62			
20			61	60	61
21	59	59			
22			58	58	59
23	57	57			
24			56	56	57
25	55	55			
26			55	54	
27	53	54			
28			53	52	
29					
30				51	
31					
32				49	
33					
34				48	



Kuva O. Typpidioksidipitoisuuksien suhde vuorokausi-ohjearvoon Telakkakadun lähiympäristön erillistarkastelupisteissä (kuva D) eri korkeuksilla tienpinnasta Euro 3 skenaariolla laskettuna. Vaaka-akselilla on korkeus tienpinnasta ja pystyakselilla on vuorokausi-ohjearvoon verrannollinen taso.



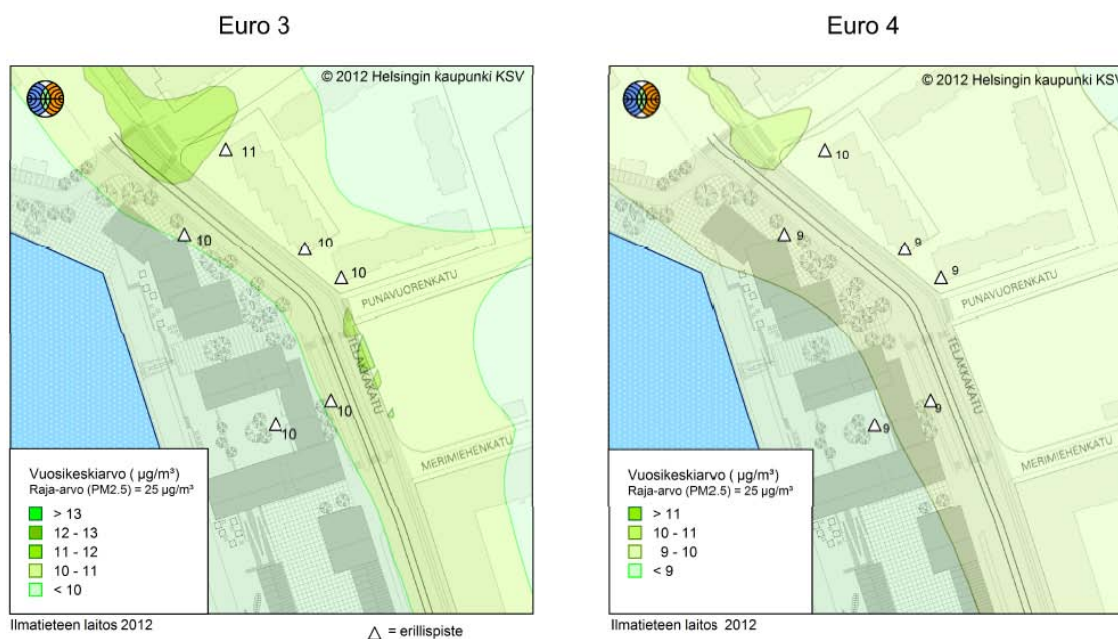
Kuva P. Typpidioksidipitoisuuksien suhde vuorokausi-ohjearvoon Telakkakadun lähiympäristön erillistarkastelupisteissä (kuva D) eri korkeuksilla tienpinnasta Euro 4 skenaariolla laskettuna. Vaaka-akselilla on korkeus tienpinnasta ja pystyakselilla on vuorokausi-ohjearvoon verrannollinen taso.

Taulukko 10. Typpidioksidin absoluuttiset vuorokausiohjearvoon ($70 \mu\text{g}/\text{m}^3$) verrannolliset pitoisuudet Telakkakadun lähiympäristön erillistarkastelupisteissä (kuva D) eri korkeuksilla tienpinnasta Euro 4 skenaariolla laskettuna.

korkeus tienpinnasta (m)	NO ₂ 2.korkein vuorokausipitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)				
	piste 1	piste 2	piste 3	piste 4	piste 5
0	104	97	94	88	84
3	100	93			
4			88	84	81
5	94	87			
6			82	80	78
7	86	81			
8			77	75	74
9	79	75			
10			74	71	71
11	73	72			
12			71	69	69
13	69	69			
14			68	67	67
15	66	66			
16			65	64	65
17	63	63			
18			62	61	63
19	60	61			
20			60	59	61
21	58	59			
22			58	57	58
23	56	57			
24			56	55	56
25	54	55			
26			54	53	
27	53	53			
28			52	52	
29					
30				51	
31					
32				49	
33					
34				48	

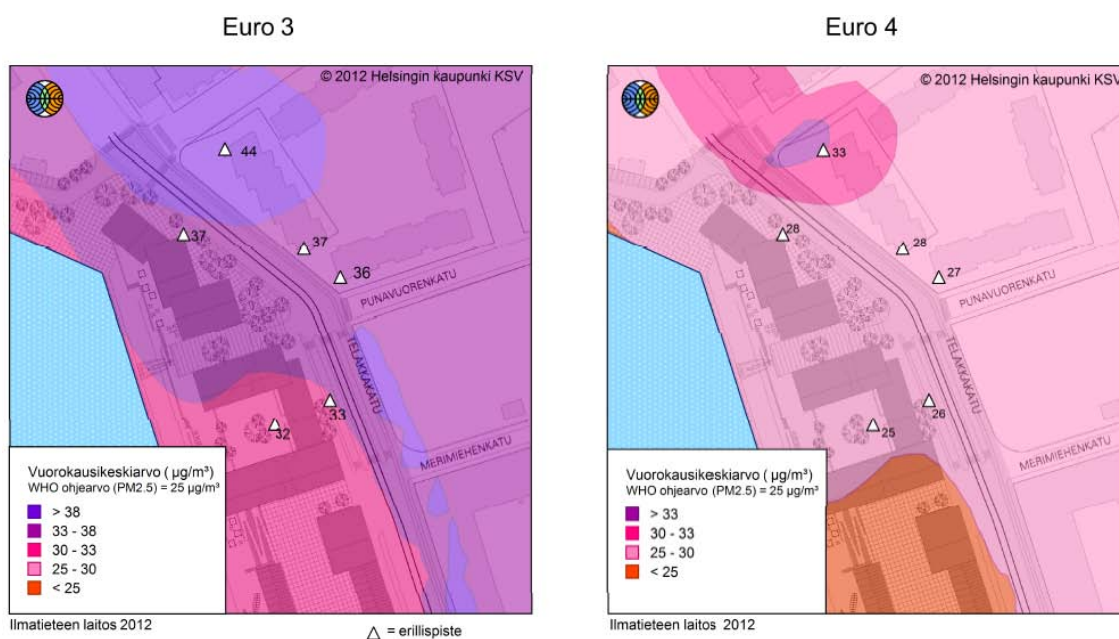
5.2 Pienhiukkaspitoisuudet

Leviämismallilaskelmien tuloksina saadut Helsingin keskustan autoliikenteen päästöjen aiheuttamien ulkoilman pienhiukkaspitoisuuksien ($PM_{2,5}$) alueellinen vaihtelu Telakkakadun lähiympäristössä maanpintatasossa on esitetty kuvissa Q–P. Suuremman alueen leviämiskuvat on esitetty liitte kuvissa 3–4. Kuvissa on esitetty pitoisuusarvot kolmioilla merkittyjen paikkojen kohdilla, jotka edustavat valittuja erillispisteitä. Pitoisuudet ovat kuvassa näkyvällä alueella korkeimmillaan Telakkakadun ja Mallaskadun risteyksessä.



Kuva Q. Pienhiukkasten ($PM_{2,5}$) vuosiraja-arvoon verrannolliset pitoisuudet Euro 3- ja Euro 4 -päästötasoilla ja vuoden 2035 liikennemääräennusteilla laskettuna.

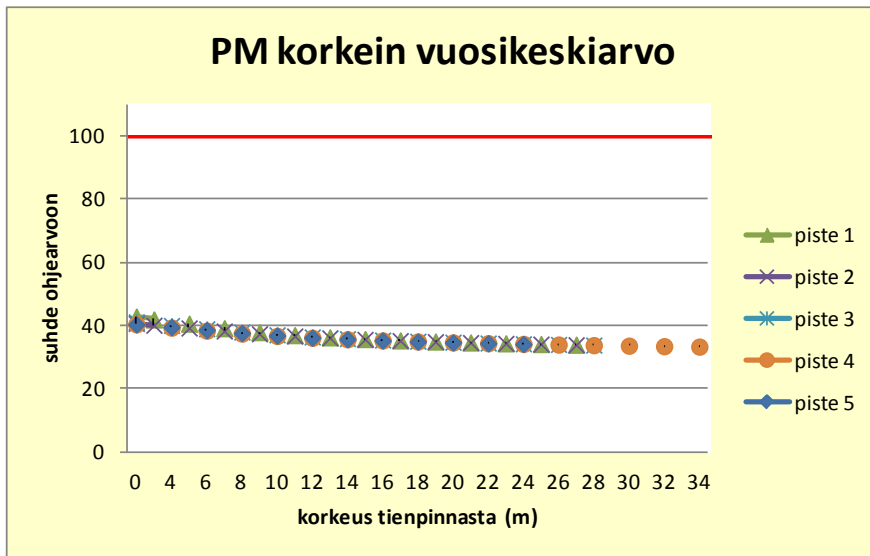
Pienhiukkasten vuosikeskiarvopitoisuudet alittavat selvästi vuosiraja -arvon $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Mallilaskelmissa on huomioitu liikenteen päästöjen aiheuttamien pienhiukkaspitoisuuksien lisäksi alueellinen pienhiukkasten taustapitoisuus HSY:n Espoossa sijaitsevan Luukin kaupunkistausta -aseman vuoden 2008–2010 mittaus-tulosten mukaan, joka on noin $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Pienhiukkaspitoisuuden raja -arvo on Suomen pitoisuustasoihin nähden löysä ja valtaosa mallinnetuista pitoisuuksista on taustapitoisuutta.



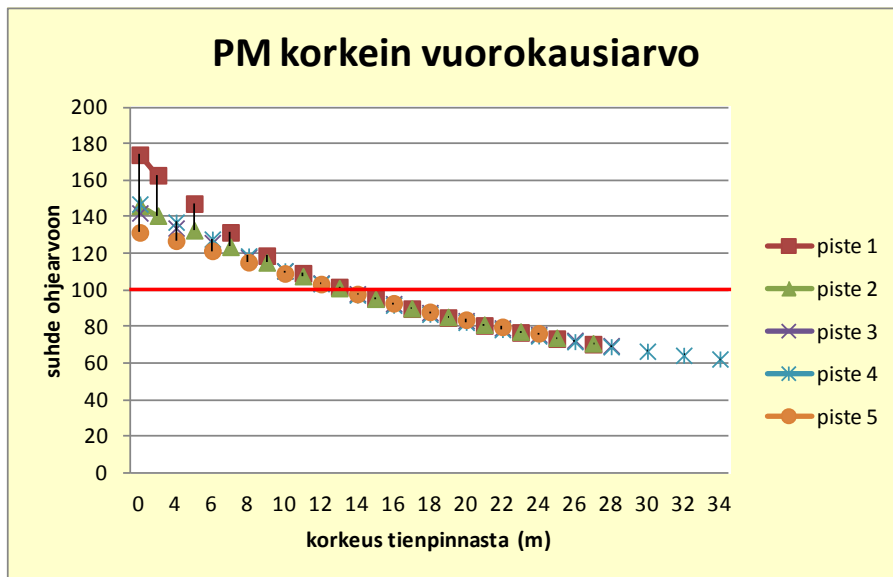
Kuva R. Pienhiukkasten (PM_{2,5}) vuorokausiohjeeseen verrannolliset pitoisuudet Euro 3- ja Euro 4 -päästötasoilla ja vuoden 2035 liikennemääräennusteilla laskettuna.

Koska pienhiukkasille ei ole Suomessa tai EU tasolla määriteltyä raja-arvoa lyhytaikaisille pitoisuuksille on mallilaskelmien tuloksia verrattu WHO:n pienhiukkasille määrittelemään vuorokausiohjeeseen. WHO:n vuorokausiohje PM_{2,5}-hiukkasille (25 µg/m³) ylittyy tutkimusalueella yleisesti. Koska kaukokulkeumalla on merkittävä vaikutus pienhiukkasten pitoisuuksiin, johtuu WHO:n vuorokausiohjeen ylittyminen käytännössä useimmiten Venäjän ja Itä-Euroopan metsäpalojen aiheuttamista pienhiukkaskulkeutumista tai joka keväisistä katupölyepisodeista, joista jälkimmäistä pyritään ehkäisemään katujen kunnossapitoa ja oikea-aikaista siivousta tehostamalla.

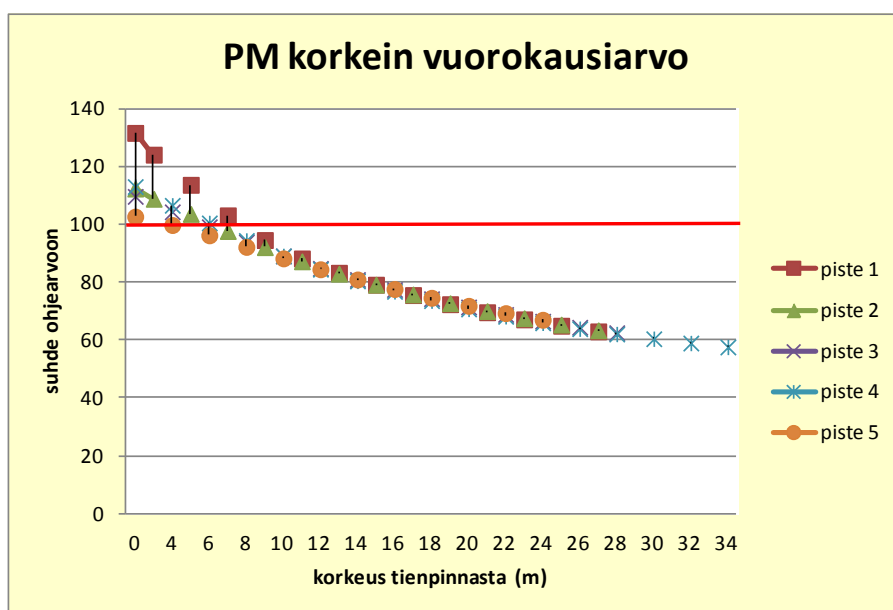
Julkisivutarkastelun tulokset pienhiukkasille ovat näkyvissä kuvista S–U. Vuosiraja-arvo ei ylitä millään korkeudella tarkastelluissa pisteissä kummallakaan päästökennariolla. WHO:n vuorokausiohje ylittyy kaikissa pisteissä enimmillään 14 metrin korkeudella Telakkakadun tasosta Euro 3 skenaariossa ja enimmillään 7 metrin korkeudelle Euro 4 skenaariossa.



Kuva S. Pienhiukkaspitoisuuksien suhde vuo siraja-arvoon Telakkakadun lähiympäristön erillistarkastelupisteissä (kuva D) eri korkeuksilla tienpinnasta Euro 3 skenaariolla laskettuna. Vaaka-akselilla on korkeus tienpinnasta ja pystyakselilla on vuo siraja-arvoon verrannollinen taso.



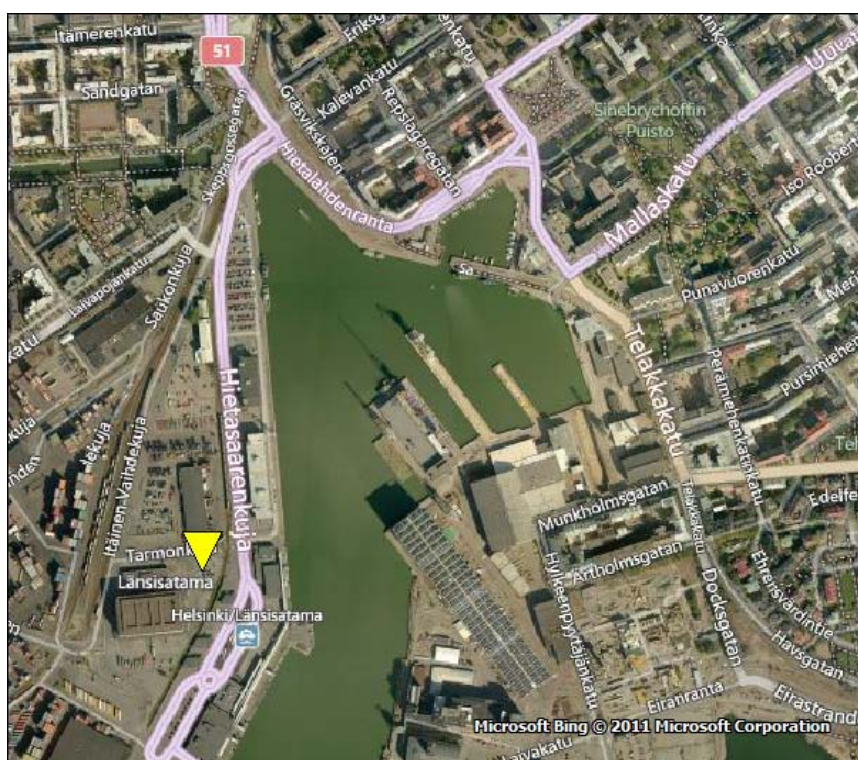
Kuva T. Pienhiukkaspitoisuuksien suhde vuorokausiohjarvoon Telakkakadun lähiympäristön erillistarkastelupisteissä (kuva D) eri korkeuksilla tienpinnasta Euro 3 skenaariolla laskettuna. Vaaka-akselilla on korkeus tienpinnasta ja pystyakselilla on vuorokausiohjarvoon verrannollinen taso.



Kuva U. Pienhiukkaspitoisuuksien suhde vuorokausiohjearvoon Telakkakadun lähiympäristön erillistarkastelupisteissä (kuva D) eri korkeuksilla tienpinnasta Euro 4 skenariolla laskettuna. Vaaka-akselilla on korkeus tienpinnasta ja pystyakselilla on vuorokausiohjearvoon verrannollinen taso.

5.3 Ilmanlaadun mittauksia alueella

HSY on tehnyt vuonna 2008 NO, NO₂ ja PM_{2.5} pitoisuuksien mittauksia Länsisatamassa. HSY:n ilmanlaadun siirrettävä mittausasema oli koko vuoden 2008 Jätkäsaarella Tarmonkujan päässä olevalla parkkipaikalla (Kuva V). Etäisyys mittausasemalta Telakkakadulle linnuntietä on noin 700 m. Mittaukset tehtiin 4 metrin korkeudella maanpinnasta. Länsisataman mittausten tarkoituksena oli selvittää ilmanlaatua sataman vaikutusalueella, jonne suunnitellaan uutta asuinrakentamista. Hietalahdenkujan liikennemäärä oli vuonna 2008 noin 3 800 ajoneuvoa vuorokaudessa ja liikenne-ennuste vuodelle 2035 on 8 000 ajoneuvoa vuorokaudessa.



Kuva V. HSY:n siirrettävän mittausaseman sijainti (keltainen kolmio) Länsisatamassa vuonna 2008.

Länsisataman mittauspisteessä siirrettävän mittausaseman NO_2 pitoisuuksien vuosikeskiarvo oli $22 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja typpidioksidin korkein vuorokausihjearvoon verrannollinen pitoisuus oli $52 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Mallinnuksella saatu vuosikeskiarvo mittauspisteessä 4 metrin korkeudella maanpinnasta on Euro 3 päästöskenaariolla $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja Euro 4 skenaariolla $17 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Vuorokausihjearvoon verrannollinen pitoisuus on Euro 3 päästöskenaariolla $67 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja Euro 4 skenaariolla $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

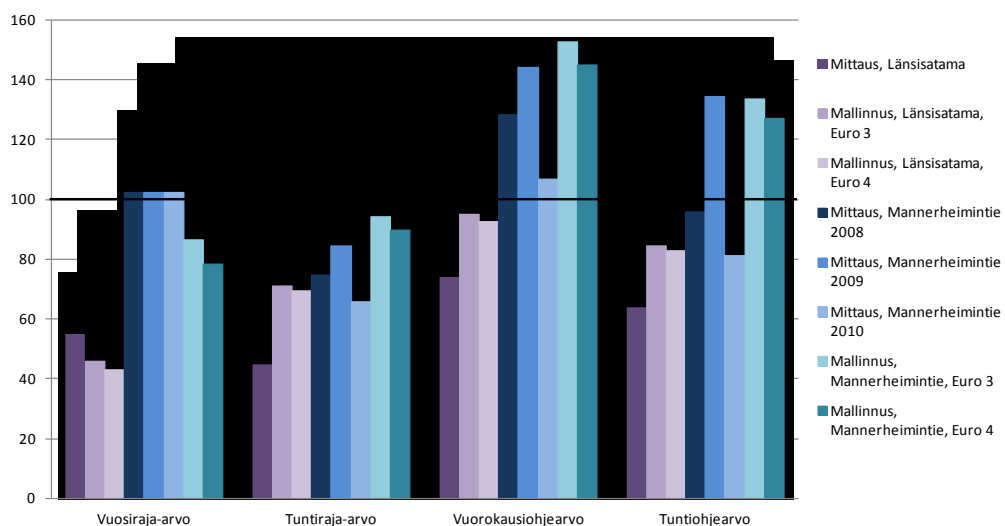
Pienhiukkasten ($\text{PM}_{2.5}$) vuosikeskiarvo oli Länsisataman mittauspisteen vuoden 2008 mittauksen mukaan $8,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Mallinnuksella saatu vuosikeskiarvo mittauspisteessä 4 metrin korkeudella maanpinnasta on Euro 3 päästöskenaariolla $8,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja Euro 4 skenaariolla $8,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Kuvissa W ja X on esitetty mallitulosten vertailua mitaustuloksiin. Mukaan on otettu myös vertailun vuoksi HSY:n Mannerheimintien (Mannerheimintie 5) pysyvän mittauspisteen havaitut pitoisuudet vuosina 2008, 2009 ja 2010. Huomion arvoista on, että mallinnetut ja mitatut pitoisuudet eivät ole suoraan verrannollisia keskenään eri tarkasteluvuosista johtuen. Mitatut pitoisuudet kuvaavat vuoden 2008 (Mannerheimintien mittauspisteessä vuosien 2008–2010) tilannetta ja mallinnetut pitoisuudet ovat puolestaan laskettu vuoden 2005 liikennemääräennusteella. Mallinnuksessa ei ole huomioitu laivaliikenteen eikä voimalaitosten päästöjä, joista varsinkin laivaliikenteen päästöillä voi olla vaikutusta satama-alueen läheisyydessä oleviin typpidioksidi ja pienhiukkaspitoisuuksiin.

Mittausvertailun perusteella voidaan arvioida, että typpidioksidin vuosikeskiarvo pitoisuudet voivat olla hieman mallinnettu ja korkeampia, koska sekä Länsisataman

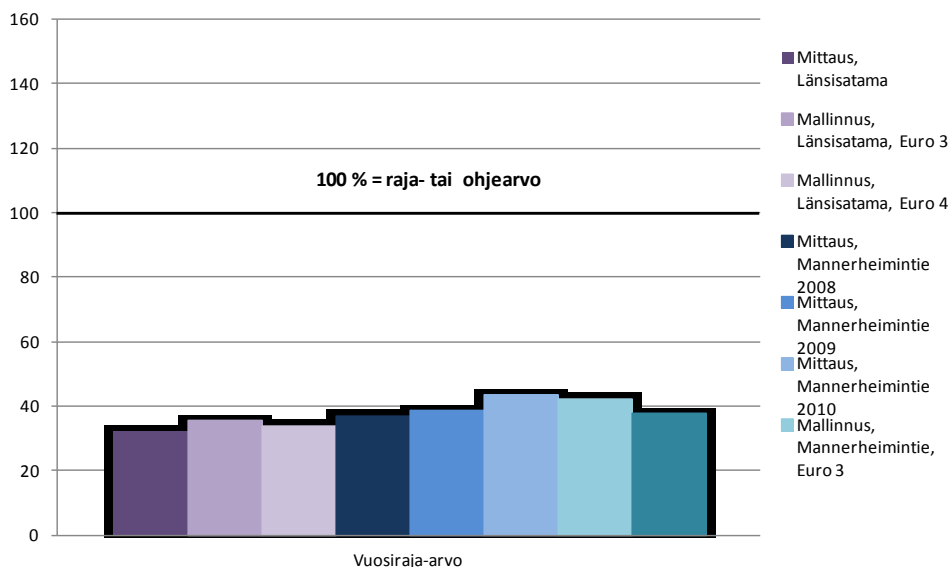
että Mannerheimintien mittauspisteisiin mallinnetut vuosikeskiarvopitoisuudet ovat mitattuja alhaisempia (noin 10–15 %) johtuen laivaliikenteen päästöjen puuttumisesta mallinnuksesta sekä Mannerheimintien osalta myös katukuilumaisesta mittausympäristöstä (rakennusten vaikutuksesta). Mallinnettujen pitoisuuksien pitäisi olla mitattuja pitoisuuksia korkeampia, koska mallinnuksessa käytetty päästölaskenta on tehty nykytilannetta suuremmilla liikennemäärillä ja nykytilannetta edustavalla päästötasolla (Euro 3). Typpidioksidin lyhytaikaisempien pitoisuuksien (vuorokausi-, tuntiohje- ja raja-arvoihin verrannolliset pitoisuudet) mallinnetut pitoisuudet ovat selvästi mitattuja korkeampia (noin 20–40 %), koska lyhytaikaisiin pitoisuuksiin vaikuttaa liikenneympäristössä merkittävimmin liikenteen ruuhkautuminen ja siitä aiheutuvat korkeat pitoisuustasot. Tällöin muiden päästölähteiden, kuten laivaliikenteen päästöjen merkitys pitoisuustasoihin pienenee. Pienhiukkasten osalta kaukokulkeumalla on merkittävä vaikutus niin vuosikeskiarvo kuin lyhytaikaisemmissa WHO:n vuorokausiohjearvoon verrannollisissa pitoisuuksissa.

Mallintamiselle asetetun (Vna 38/2011) laatutavoitteen mukaan suurin sallittu epävarmuus typpidioksidin vuosikeskiarvolle on 30 %, vuorokausikeskiarvolle 50 % ja tuntiarvoille 50–60 %. Hiukkasten suurin sallittu epävarmuus vuosikeskiarvopitoisuudelle on 50 %. Mallintamisen epävarmuus määritellään enimmäispoikkeamana mitatuista ja lasketuista pitoisuuksista. Ilmatieteen laitoksen käyttämien mallien on todettu lukuisissa vertaisarvioituissa tieteellisissä julkaisuissa sekä laajoissa koko kaupunkialueiden kattavissa päästöjen leviämismallilaskelmissa täyttävän hyvin mallilaskelmille asetetut laatutavoitteet erityisesti Suomen olosuhteissa. Pääkaupunkiseudun osalta leviämismallien soveltuvuutta on laajasti alustavasti verifioitu viimeksi vuonna 2008 valmistuneessa Pääkaupunkiseudun päästöjen leviämismalliselvityksessä (Lappi ym., 2008).



Kuva W. Mallitulosten vertailua vuonna 2008 tehtyihin ilmanlaadun mittauksiin HSY:n Länsisataman mittauspisteessä. Kuvaajaan on otettu mukaan myös Mannerheimintien pysyvän mittausaseman tulokset vuosilta 2008–2010. Kuvaajassa on es-

tetty mallinnettujen (vuosi 2035 liikennemääräennuste) ja mitattujen typpidioksidipitoisuuksien suhde ilmanlaadun raja- ja ohjearvoihin.



Kuva X. Mallitulosten vertailua vuonna 2008 tehtyihin ilmanlaadun mittauksiin HSY:n Länsisataman mittauspisteessä. Kuvaajaan on otettu mukaan myös Mannerheimintien pysyvän mittausaseman tulokset vuosilta 2008–2010. Kuvaajassa on esitetty mallinnettujen (vuosi 2035 liikennemääräennuste) ja mitattujen pienhiukkaspitoisuuksien suhde ilmanlaadun vuosiraja-arvoon.

5.4 Muut alueen ilmanlaatuun vaikuttavat tekijät

Hernesaaren ja Telakkakadun alueen ilmanlaatuun vaikuttavat liikenteen päästöjen lisäksi Länsisataman risteilylaivaliikenteen sekä pääkaupunkiseudun energiantuotannon aiheuttama päästökuorma. Hernesaaren läheisyydessä sijaitsee Munkkisaaren huippulämpökeskus.

Eri päästölähteiden vaikutusta ilmanlaatuun on arvioitu koko Pääkaupunkiseudun päästöjen leviämismalliselvityksessä (Lappi ym., 2008). Mallilaskelmien mukaan satamien ja laivaliikenteen päästöjen aiheuttama typpidioksidin vuosikeskiarvo Hernesaaren ja Telakkakadun alueella vuonna 2005 oli noin $3\text{--}4\mu\text{g}/\text{m}^3$, rikkidioksidin vuosikeskiarvo noin $1\text{--}3\mu\text{g}/\text{m}^3$ ja hiukkasten vuosikeskiarvo noin $0,2\text{--}0,5\mu\text{g}/\text{m}^3$. Vuoden 2005 päästötietoihin perustuvissa mallilaskelmissa oli Länsisataman osalta mukana kolme (3) matkustajalaivapaikkaa, yksi (1) risteilylaivapaikka sekä seitsemän (7) rahtiliikennelaivapaikkaa. Mallilaskelmien mukaan laivaliikenteen päästöillä on vuonna 2005 ollut vaikutusta Hernesaaren ja Telakkakadun alueen ilmanlaatuun. Vuoden 2005 jälkeen tilanne on ilmanlaadun kannalta parantunut Länsis a-

taman rahtilaivaliikenteen siirryttyä Vuosaareen uuden rahtisataman valmistuttua vuonna 2008, jonka seurauksena laivaliikenteen määrä Länsisatamassa on vähenyt. Laivaliikenteen päästöjä koskeva lainsäädäntö on myös tiukentunut. Vuoden 2010 alusta alkaen voimaan tullut rikkidirektiivi (2005/33/EY) edellyttää, että satamassa yli kaksi tuntia viipyvät alukset käyttävät vähärikkistä (alle 0,1 % rikkiä sisältävää) polttoainetta. Vuoden 2011 alusta alkaen uusien alusten typenoksidipäästöjen tulee laskea 20 % (Tier I moottorit -> Tier II moottorit) ja valmisteilla on vuodelle 2016 uusia laivoja koskeva selvästi tiukempi typenoksidipäästöjä rajoittava (80 % päästövähennys) sopimus (NECA), joten myös laivaliikenteen typenoksidipäästöjen voidaan olettaa laskevan tulevaisuudessa. Laivojen pitkän käyttöiän huomioon ottaen typenoksidipäästövähennysten vaikutus tulee viemään aikaa. Matkustajalaivaliikenteen on ennustettu kasvavan nykyisestä vuoteen 2035 mennessä. Parhaaseen olemassa olevan tie- ja rautatie- ja vesiliikenteen vuodelle 2005 edustavat mallilaskelmissä tulokset, HSY:n Länsisatamassa tekemiin ilmanlaatumittauksiin sekä päästöjä rajoittavan lainsäädännön tiukentumiseen perustuen voidaan arvioida, että yhden risteilijälaivapaikan lisääminen Länsisatamaan tulee merkittävästi vaikuttamaan Hernesaaren ja Telakkakadun alueen ilmanlaatuun vuonna 2035. On mahdollista, että epäedullisissa meteorologisissa tilanteissa laivaliikenteen päästöt voivat aiheuttaa hetkellisesti vuosikeskiarvoitaitoisuustasoja selvästi korkeampia epäpuhtauspitoisuuksia, mutta niiden keskimääräinen vaikutus Hernesaaren ja Telakkakadun alueen ilmanlaatuun jää kuitenkin vähäiseksi liikenteen päästövaikutukseen verrattuna.

Energiantuotannon päästöjen aiheuttama typidioksidin vuosikeskiarvo Hernesaaren ja Telakkakadun alueella vuonna 2005 oli mallilaskelmien mukaan alle 0,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, rikkidioksidin vuosikeskiarvo alle 0,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ja hiukkasten vuosikeskiarvo alle 0,03 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Mallilaskelmien tulosten perusteella voidaan arvioida, että energiantuotannon päästöillä on keskimäärin hyvin vähäinen vaikutus Hernesaaren ja Telakkakadun alueen ilmanlaatuun. Tutkimusalueella lähellä sijaitseva Munkkisaaren huippulämpökeskus ei ole jatkuvassa käytössä, joten sen päästöjen aiheuttamilla ilman epäpuhtauspitoisuuksilla (NO_2 , SO_2 ja PM) on keskimäärin hyvin vähäinen vaikutus ilmanlaatuun, joskin pitoisuudet voivat kohota hetkellisesti huippulämpökeskuksen päästöjen ja epäedullisten meteorologisten tilanteiden seurauksena lämpökeskuksen käytön aikana.

Hernesaaren ja Telakkakadun tutkimusalueen läheisyydessä sijaitsee myös Hietalahden telakka. Telakka-alueella käytetään mm. maaleja, joiden liuottimet aiheuttavat haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (VOC) päästöjä telakan lähiympäristöön. Telakkatoiminnasta aiheutuu ilmaan myös hiukkas- ja savukaasupäästöjä. Hiukkas- ja VOC-päästöt aiheutuvat kappaleiden, lohkojen ja laivojen pintakäsittelystä. Savukaasuja syntyy laivojen lämmittämisestä ja laivojen moottoreiden käytöstä koekäyttöjen ja -matkojen aikana. Telakka-alueen VOC-päästöjen aiheuttamia hajuvaikutuksia on tutkittu hajukartoituksella (VTT, 2001), jossa todettiin, että: "Telakalta peräisin olevan liuotinhajun sekä matkustajalaivojen pakokaasujen aiheuttaman hajun erottaminen ulkoilmassa Jätkäsaaren itä-eteläosassa oli selkeä, mutta länsiosassa saarta auto- ja trukkiliikenteen pakokaasut sekä osa konteista aiheuttivat taustahajun, jolloin etenkin laivojen aiheuttama haju mahdollisesti peittyi liikenteen aiheuttamiin hajuihin." Ilmatieteen laitos on tehnyt vuonna 2007 (Puputti ym., 2007) selvityksen Länsisataman laivojen hajupäästöistä, jossa arvioitiin laivaliikenteen aiheuttamaa hajukuormitusta alueella vuonna 2030. Selvityksessä

todettiin, että hajujen esiintyminen tutkimusalueella painotuu vallitsevan tuulen suunnan mukaisesti Länsisataman koillispuolelle sekä itse satama-altaaseen ja sen välittömään läheisyyteen. Laivaliikenteen aiheuttamaa selkeää tunnistettavissa olevaa lyhytkestoista hajua esiintyisi yli 3 % vuoden tunneista noin 500 metrin säteellä satama-altaasta Kirkkosaaren, pohjoisen Saukonnokan, Valtameren kadun ympäristön ja eteläisen Hietasaaren alueilla sekä Munkkisaareissa. Mallilaskelmien tulosten mukaan laivaliikenteen hajuvaikutukset ovat merkittävämmät kesällä kuin talvella johtuen pääasiallisesti risteilijäliikenteen kausiluontoisuudesta sekä vuorokaudenaikojen erilaisesta meteorologiasta.

6 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä selvityksessä arvioitiin leviämismallilaskelmin Helsingin Hernesaaren läheisyydessä sijaitsevan Telakkakadun lähiympäristön liikenteen suorien typenoksi- ja pienhiukkaspäästöjen ilmanlaatuvaikutuksia. Mallilaskelmat tehtiin Hernesaaren osayleiskaavan ja alueen suunnittelun tueksi. Päästöt laskettiin nykytilannetta edustavilla autoliikenteen ajoneuvotyypikohtaisilla ja nopeusriippuvaisilla päästöökertoimilla (Euro 3) ja sekä vastaavilla uudempaa ajoneuvokantaa edustavilla (Euro 4) päästöökertoimilla. Laskelmat tehtiin käyttäen vuoden 2035 liikennemääräennusteita. Leviämislaskelmat tehtiin Ilmatieteen laitoksella kehitetyllä viivalhdemallia (CAR-FMI).

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 saa ylittyä alueella, joilla asuu tai oleskelee ihmisiä. Esimerkiksi autoliikenteelle varatuilla väylillä raja-arvot eivät kuitenkaan ole voimassa.

Mallilaskelmien tulosten mukaan typpidioksidin raja-arvo ei ylity Telakkakadun lähiympäristössä. Typpidioksidin vuorokausiohje- ja raja-arvo ylittyy yleisesti Helsingin keskustan alueella ja myös Telakkakadun ympäristössä. HSY:n Mannerheimintien mittauspisteessä typpidioksidin vuorokausiohje- ja raja-arvo on ylittynyt vuosien 2008–2010 aikana joka vuosi. Telakkakadun lähellä olevien erillistarkastelualueiden julkisivuilla pitoisuudet ylittävät typpidioksidin vuorokausiohje- ja raja-arvon enimmillään 13 metrin korkeudelle Telakkakadun tasosta.

Pienhiukkasten vuosikeskiarvopitoisuudet alittavat selvästi vuosiraja-arvon. WHO:n antama suositusarvomainen vuorokausiohje- ja raja-arvo $PM_{2,5}$ -hiukkasille ylittyy tutkimusalueella yleisesti.

Mallilaskelmien tuloksia arvioitaessa on hyvä huomioida, että tulevaisuuden ennustamiseen sisältyy useita epävarmuustekijöitä, joten tulevan tilanteen ennusteita sovellettaessa olisikin syytä ottaa huomioon myös ilmanlaadun kannalta pahin mahdollinen ennuste-tilanne. Tässä mallinnuksessa pahin tilanne on otettu huomioon käyttämällä vuoden 2035 liikennemääräennustetta ja nykytilannetta edustavaa päästötasoa (Euro 3). Todennäköistä on kuitenkin, että päästöt ja niiden aiheuttamat vaikutukset pienenevät tulevaisuudessa, kun tekniikka kehittyy ja päästörajotukset tiukkenevat. Näin ollen Euro 4 päästöskenaarion tulokset vastaavat todennäköisesti tulevaa tilannetta paremmin.

Parhaaseen olemassa olevaan tietoon; vuotta 2005 edustavat mallilaskelmien tulokset, HSY:n Länsisatamassa tekemiin ilmanlaatumittauksiin sekä päästöjä rajoittavan lainsäädännön tiukentumiseen perustuen voidaan arvioida, ettei yhden risteilijäläivapaikan lisääminen Länsisatamaan tule merkittävästi vaikuttamaan Hernesaaren ja Telakkakadun alueen ilmanlaatuun vuonna 2035. On mahdollista, että epäedullisissa meteorologisissa tilanteissa laivaliikenteen päästöt voivat aiheuttaa hetkellisesti Pääkaupunkiseudun päästöjen leviämismalliselvityksessä

(Lappi ym., 2008) esitettyjä laivaliikenteen päästöjen aiheuttamia pitoisuustasoja korkeampia lyhytaikaisia epäpuhtauspitoisuuksia, mutta niiden keskimääräinen vaikutus Hernesaaren ja Telakkakadun alueen ilmanlaatuun jää kuitenkin vähäiseksi liikenteen päästövaikutukseen verrattuna.

Huomionarvoista on, että suurimman osan ajasta epäpuhtauspitoisuudet ovat lyhytaikaisiin ohje- ja raja-arvopitoisuuksiin verrannollisia mallinnettuja pitoisuuksia pienempiä. Vuosikeskiarvopitoisuus kuvaa keskimääräistä epäpuhtauspitoisuustasoa parhaiten. Lyhytaikaiset pitoisuudet voivat nousta vuosikeskiarvopitoisuuksia huomattavasti korkeammiksi.

Mallilaskelmien tulokset huomioon ottaen suositeltavaa olisi sijoittaa Telakkakadun varteen suunniteltu ihin rakennuksiin keskitetty, koneellinen ilmanvaihto sekä rakennusten raittiinilman sisäänotto mahdollisimman korkealle maanpintatasosta, koska mallilaskelmin saadut typpidioksidin vuorokausiohjearvoon verrannolliset typpidioksidipitoisuudet ylittävät ohjearvon 13 metrin korkeudelle saakka Telakkakadun tasosta. Suositeltavaa olisi sijoittaa myös parvekkeet ja muut oleskelutilat mahdollisimman etäälle väylistä.

VIITELUETTELO

- HSY, 2011. Ilmanlaatu pääkaupunkiseudulla vuonna 2010. Helsingin seudun ympäristöpalvelut –kuntayhtymä, Helsinki.
- 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.
- 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.
- LAPPI, S., LOVÉN, K., RASILA, T. JA PIETARILA, H., 2008. Pääkaupunkiseudun päästöjen leviämismalliselvitys. Energiantuotannon, satamatoiminnan, laivaliikenteen, lentoliikenteen, lentoasematoiminnan ja autoliikenteen typenoksiidi-, rikkidioksidi- ja hiukkaspäästöjen leviämislaskelmat. Ilmatieteen laitos, Ilmanlaadun asiantuntijapalvelut, Helsinki.
- LAURIKKO, J. K., 1998. On exhaust from petrol-fuelled passenger cars at low ambient temperatures. VTT julkaisu 348.
- PIETARILA, H., SALMI, T., SAARI, H. & PESONEN, R., 2001. Ilmanlaadun alustava arviointi Suomessa. Rikkiidioksidi, typen oksidit, PM₁₀ ja lyijy. The preliminary assessment under the EC air quality directives in Finland. SO₂, NO₂/NO_x, PM₁₀, lead. Ilmatieteen laitos, Ilmanlaadun tutkimus, Helsinki.
- PUPUTTI, K., VARJORANTA, R. & PIETARILA, H., 2007. Helsingin Länsisataman matkustajalaivojen hajupäästöjen leviämismallilaskelmat. Ilmatieteen laitos, Ilmanlaadun asiantuntijapalvelut, Helsinki.
- RANTAKRANS, E., 1990. Uusi menetelmä meteorologisten tietojen soveltamiseksi ilman epäpuhtauksien leviämismalleissa. Ilmansuojelu-uutiset 1/90, s. 18–20.
- RASILA, T., PIETARILA, H., SALMI, J. & ALAVIIPPOLA, B., 2006. Espoon Maarisolmun ja Hagalundinkallion asemakaava-alueiden ilman laatuselvitys. Ilmatieteen laitos, Ilmanlaadun asiantuntijapalvelut, Helsinki.
- Valtion teknillinen tutkimuskeskus, 2011. 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.

VTT, 2001. Tutkimusselostus KET 945/01 Hajun ja hajuhaitan kartoittaminen Jätkäsaarella.

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

LIITEKUVAT

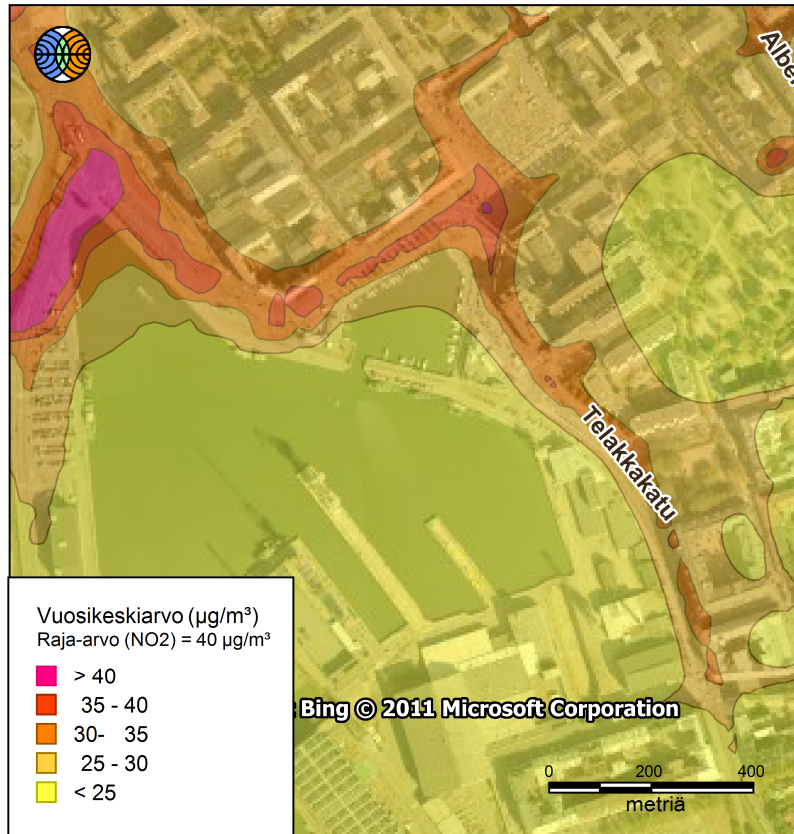
Seuraavissa karttakuvissa on esitetty laskentapisteittäisistä keskiarvoista samanarvonviivoin muodostetut korkeimpien pitoisuuksien alueet, joilla tietyn pitoisuuden ylittyminen on pitkän havaintojakson aikana todennäköistä.

Pitoisuuksien aluejakaumat eivät edusta koko tulostusalueella yhtä aikaa vallitsevaa pitoisuustilannetta vaan ne kuvaavat eri päivinä ja eri tunteina esiintyvien, raja- ja ohjearvoihin verrannollisten pitoisuuksien maksimitasoa tutkimusalueen eri osissa. Suurimman osan ajasta pitoisuudet ovat kaikissa laskentapisteissä selvästi pienempiä kuin aluejakaumakuvis sa esitetyt korkeimmat arvot. Lisäksi suurimmissa osassa tutkimusaluetta pitoisuudet ovat jatkuvasti merkittävästi pienempiä kuin niissä kohteissa, joissa maksimi-arvot esiintyvät.

Pitoisuuksien aluejakaumissa esiintyy kohonneiden pitoisuuksien kielekkeitä, joiden sijaintiin vaikuttaa varsinkin tuulen pysyvyys pitkällä tarkastelujaksolla tietyssä ilmansuunnassa. Maanpinnan muodot voivat aiheuttaa aluejakaumiin erillisiä suppeita alueita, joissa pitoisuudet ovat joko korkeampia tai matalampia kuin lähiympäristössään.

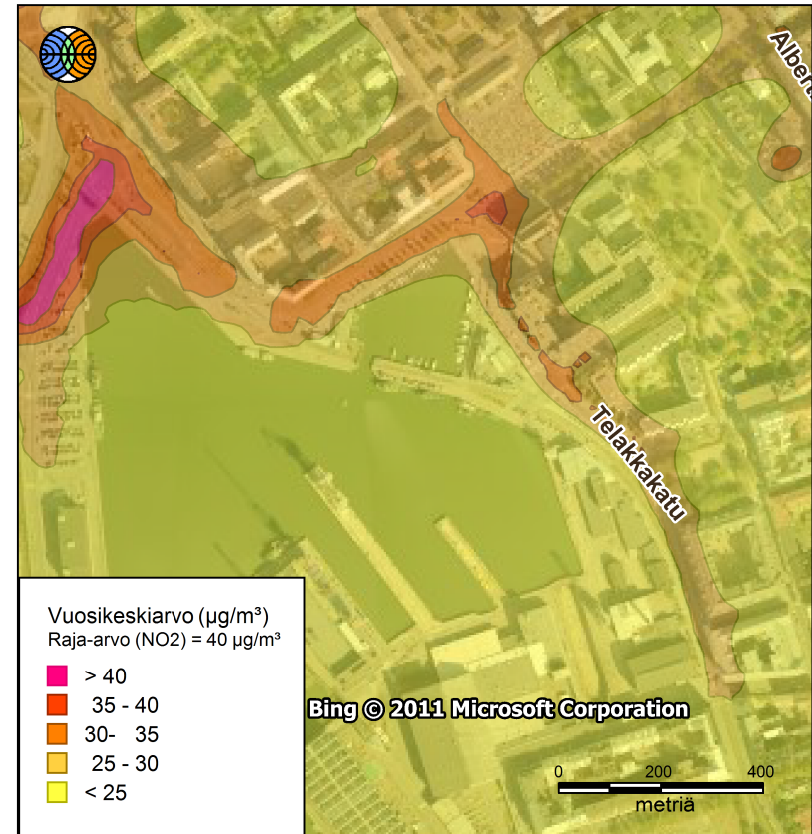
TELAKKAKATU

Euro 3



Ilmatieteen laitos 2012

Euro 4



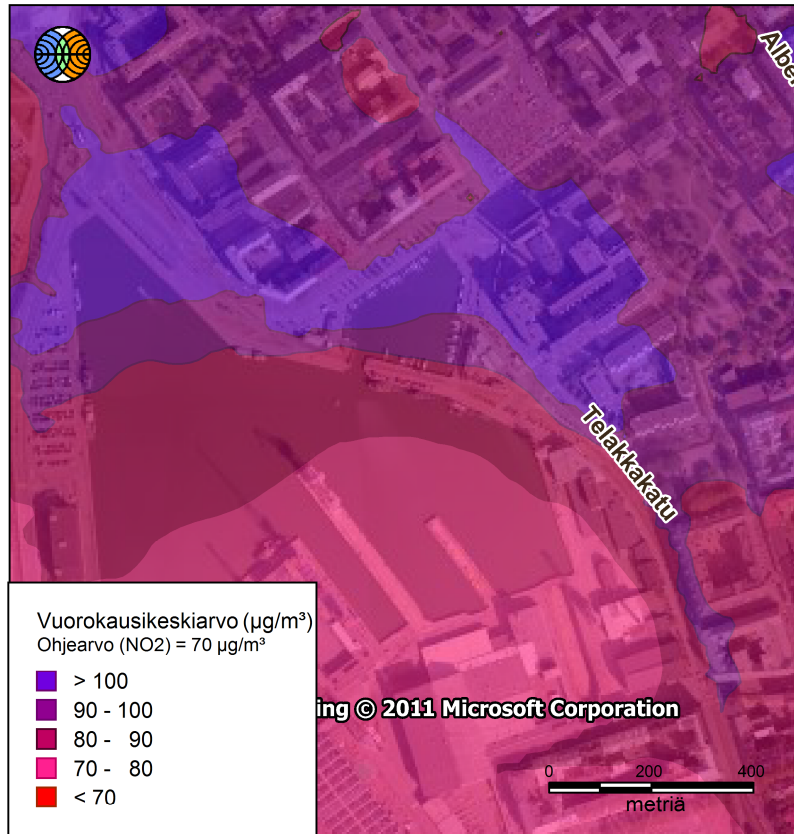
Ilmatieteen laitos 2012



Kuva 1. Typpidioksidin korkein vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). Laskelmat on tehty vuoden 2035 liikennemääräennusteella ja Euro 3 sekä Euro 4 päästökertoimilla.

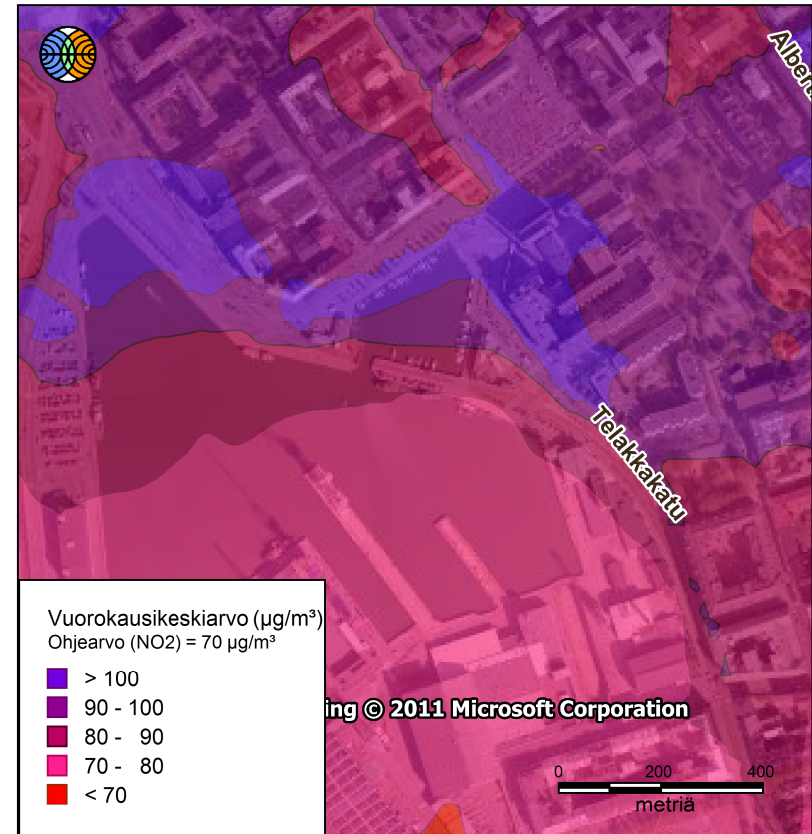
TELAKKAKATU

Euro 3

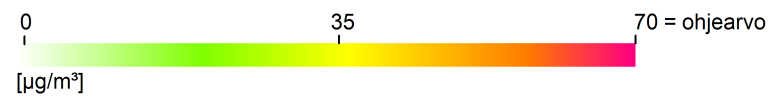


Ilmatieteen laitos 2012

Euro 4



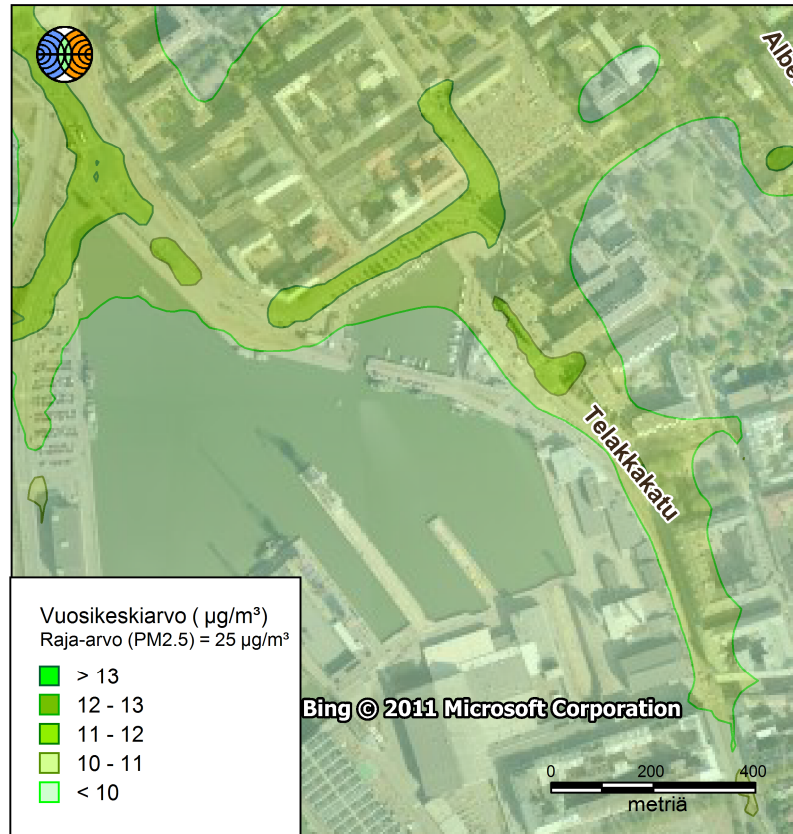
Ilmatieteen laitos 2012



Kuva 2. Typpidioksidin korkein vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). Laskelmat on tehty vuoden 2035 liikennemääräennusteella ja Euro 3 sekä Euro 4 päästökertoimilla.

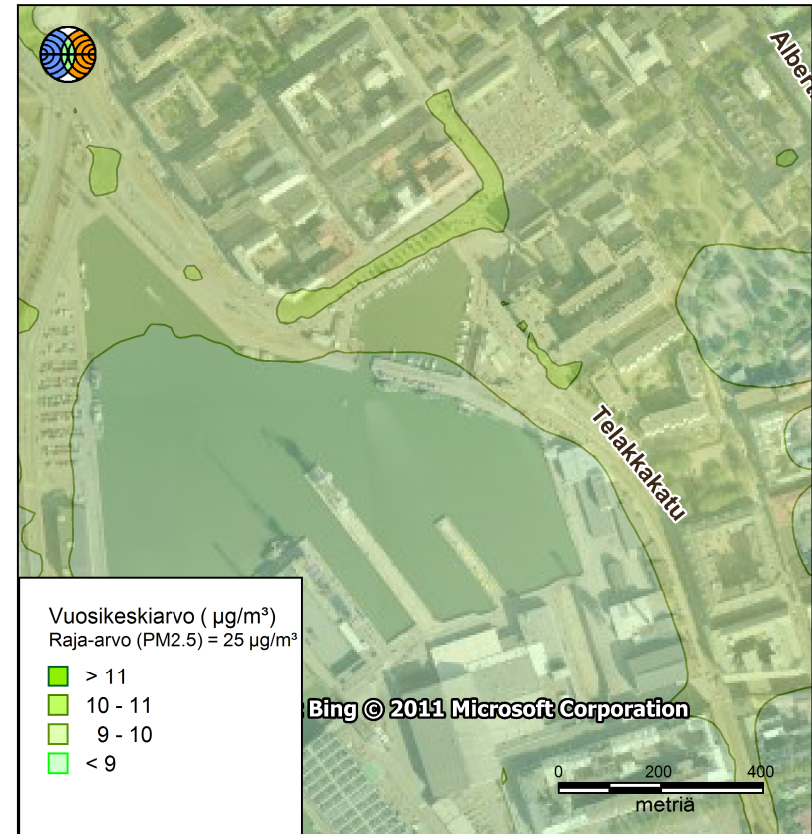
TELAKKAKATU

Euro 3

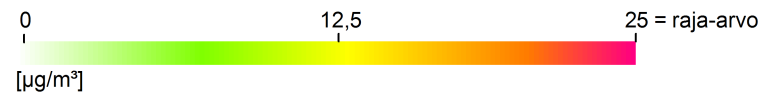


Ilmatieteen laitos 2012

Euro 4



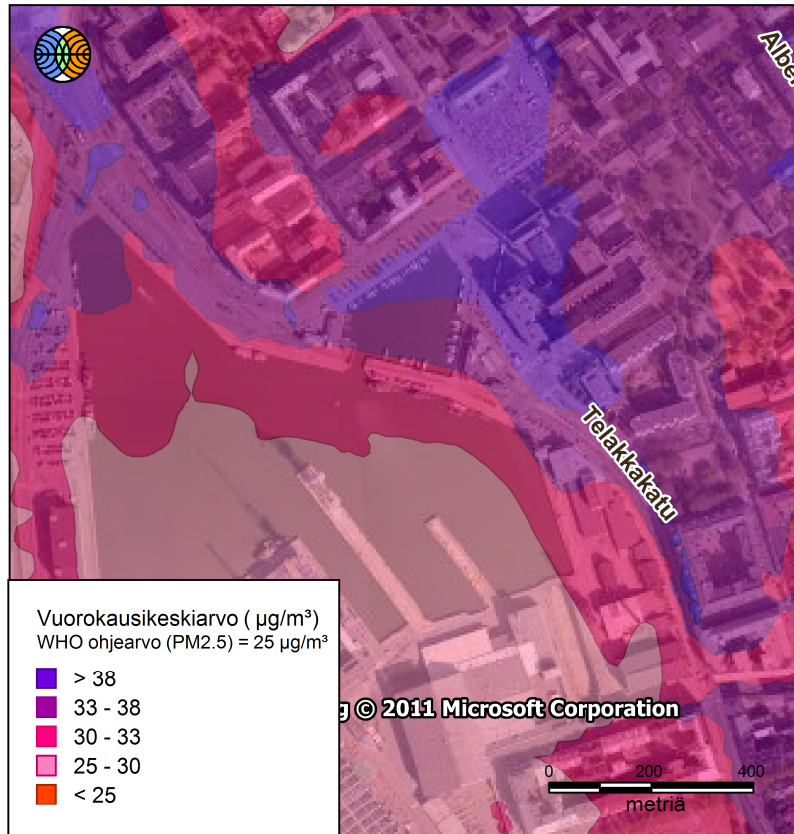
Ilmatieteen laitos 2012



Kuva 3. Pienhiukkasten (PM2.5) korkein vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). Laskelmat on tehty vuoden 2035 liikennemääräennusteella ja Euro 3 sekä Euro 4 päästökertoimilla.

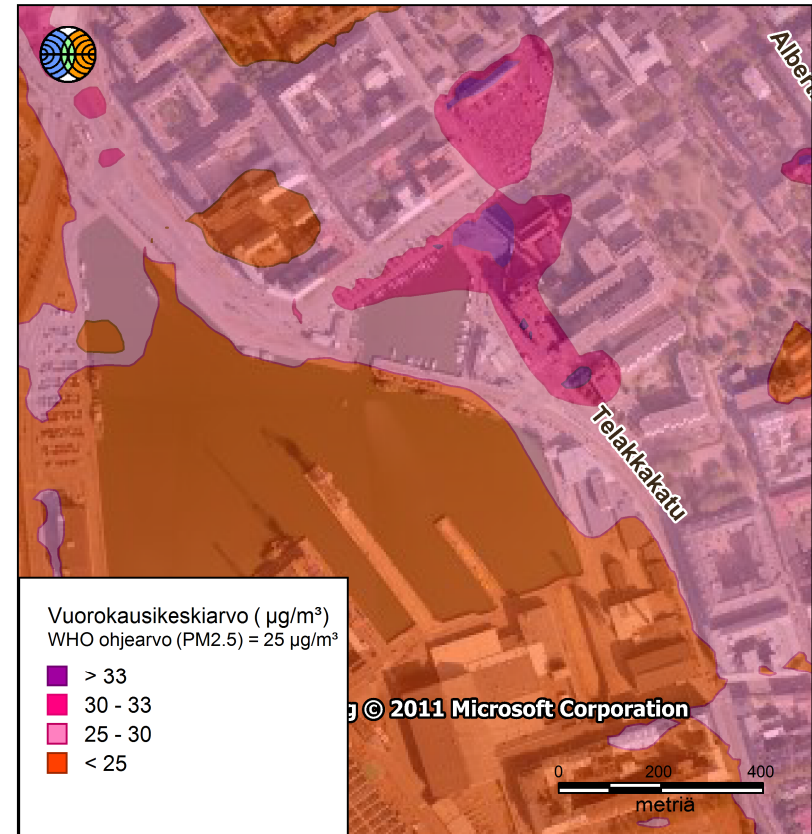
TELAKKAKATU

Euro 3

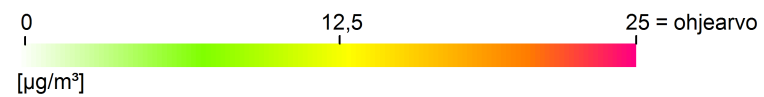


Ilmatieteen laitos 2012

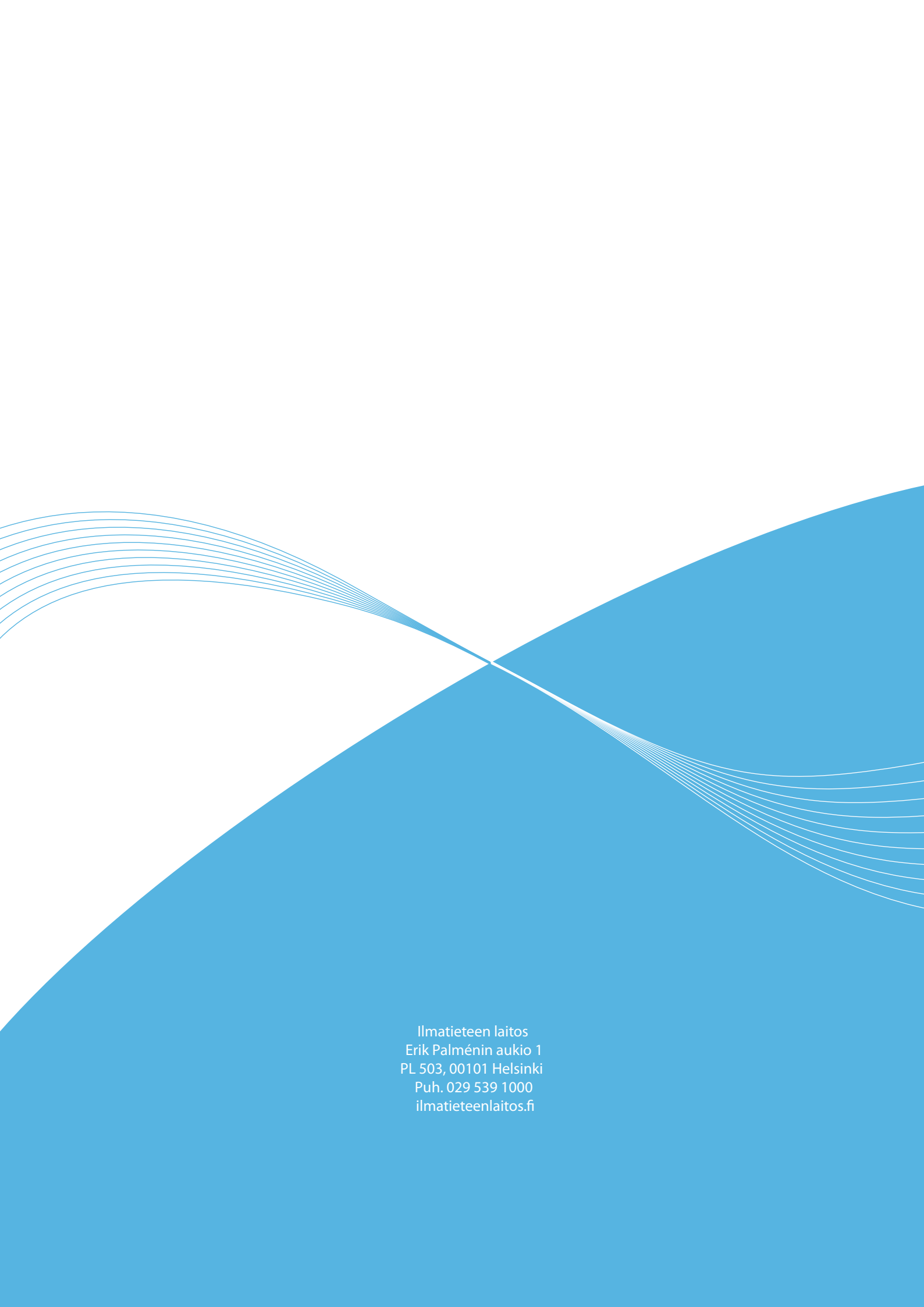
Euro 4



Ilmatieteen laitos 2012



Kuva 4. Pienhiukkasten (PM2.5) korkein vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). Laskelmat on tehty vuoden 2035 liikennemääräennusteella ja Euro 3 sekä Euro 4 päästökertoimilla.

The image features a decorative graphic consisting of several thin, light blue wavy lines that curve across the upper portion of the page. Below these lines, a large, solid blue area occupies the bottom half of the page, creating a modern, minimalist aesthetic.

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