



ILMATIETEEN LAITOS

ILMANLAATUSELVITYS



Kuva:
Arkkitehtuuritoimisto B&M Oy

*Liikenteen typenoksidi- ja pienhiukkaspäästöjen
leviämismallinnus Koskelan varikon alueella*

ILMANLAADUN ASiantuntijapalvelut 2013

**HELSINGIN KAUPUNKI
KAUPUNKISUUNNITTELUVIRASTO JA
HELSINGIN KAUPUNGIN LIIKENNELAITOS**

ILMANLAATUSELVITYS

**Liikenteen typenoksidi- ja pienhiukkaspäästöjen leviämismallinnus
Koskelan varikon alueella**

**Hanna Hannuniemi
Emmi Laukkanen
Jatta Salmi
Katja Lovén**

SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO	3
2.1	Ilmanlaatuun vaikuttavat tekijät.....	3
2.2	Typpidioksidi	4
2.3	Hiukkaset	5
2.4	Ilmanlaadun raja- ja ohjearvot.....	6
3	MENETELMÄT	8
3.1	Leviämismallilaskelmien kuvaus.....	8
4	TUTKIMUSALUE JA LÄHTÖTIEDOT.....	10
5	TULOKSET	16
5.1	Typpidioksidipitoisuudet.....	17
5.2	Pienhiukkaspitoisuudet	23
6	YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET	28
	VIITELUETTELO.....	29
	LIITE 1. Pitoisuustaulukot	

1 JOHDANTO

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli arvioida leviämismallilaskelmin liikenteen päästöjen vaikutusta Koskelan raitiovaunuvarikon alueen ilmanlaatuun, erityisesti raitiovaunuvarikon katon päälle suunniteltujen asuinrakennusten osalta. Mallilaskelmat tehtiin Koskelan varikon kaavamuutoksen ja alueen suunnittelun tueksi. Selvityksessä tarkasteltiin kahta eri tulevaisuuden skenaariota; VE0 Liikennejärjestelyt pysyvät ennallaan ja VE1 Hakamäentien tunneli rakennettaisiin ja tunnelin itäosan suuaukko tulisi Kustaa Vaasan tielle Koskelan raitiovaunuvarikon välittömään läheisyyteen. Tutkimuksessa tarkasteltiin ulkoilman typpidioksidin (NO₂) ja pienhiukkasten (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).

Työn tilasivat Helsingin kaupungin kaupunkisuunnitteluvirasto (KSV) ja Helsingin kaupungin liikennelaitos (HKL). Lähtötietoina käytetyt liikennemääräennusteet ja liikenteen aikavaihtelun toimitti kaupunkisuunnitteluvirasto. Tilaajien vastuuhenkilöt ovat Heikki Hälvä (KSV) ja Timo Juolevi (HKL). Päästöjen leviämismallilaskelmat tehtiin Ilmatieteen laitoksen Ilmanlaadun asiantuntijapalveluissa.

2 TAUSTATIETOA ILMAN EPÄPUHTAUKSISTA

2.1 Ilmanlaatuun vaikuttavat tekijät

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

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

suuden 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 ilma-saasteet laimenevat huonosti. Inversiotilanteissa pitoisuudet kohoavat taajamissa etenkin liikeneruuhiin aikana, koska ilmansaasteet kerääntyvät matalaan ilmakerokseen päästölähteiden lähelle.

2.2 Typpidioksidi

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

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

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 risteyksien läheisyydessä. Korkeimmillaan vuosikeskiarvot ovat olleet ilmanlaadun mittausten mukaan Helsingin vilkasliikenteisimmillä alueilla noin 40–50 µg/m³. Yleensä Suomen kaupungeissa vuosikeskiarvot ovat noin 20–30 µg/m³. Puhtailla tausta-alueilla tehtyjen ilmanlaatumittausten mukaan typpidioksidin vuosikeskiarvot ovat olleet Etelä-Suomessa noin 2–8 µg/m³ ja Pohjois-Suomessa noin 1 µg/m³.

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.

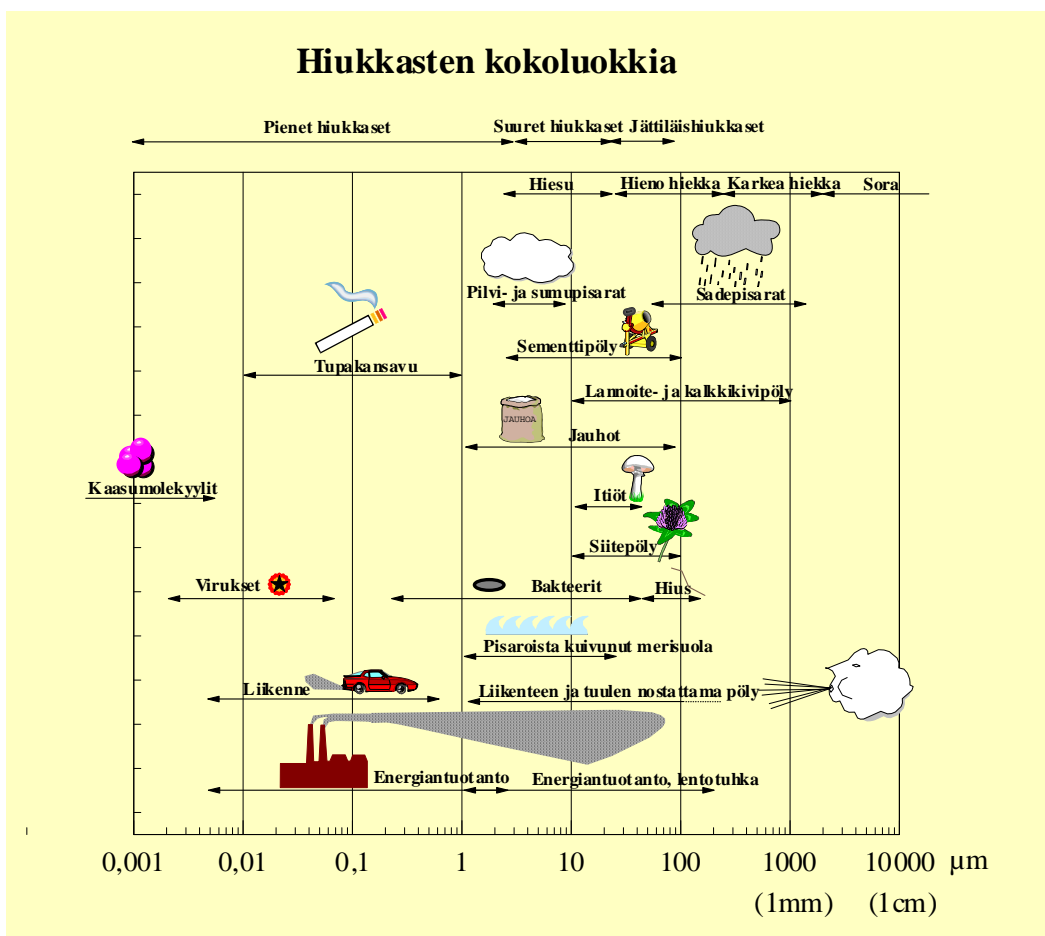
Ulkoilman hiukkasten koko on yhteydessä niiden aiheuttamiin erilaisiin vaikutuksiin. Suurempien hiukkasten korkeat pitoisuudet vaikuttavat merkittävimmin viihtyvyyteen ja aiheuttavat liikaantumista. Terveysvaikutuksiltaan haitallisempia ovat ns. hengitettävät hiukkaset ja pienhiukkaset, jotka kykenevät 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 ($PM_{2,5}$), 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 kaupunkikeskus-toissa. 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 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 $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

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 $12\text{--}14 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Helsingin Kallion kaupunkitausta-alueella vuosipitoisuudet ovat olleet noin $9\text{--}12 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Maaseutu-tausta-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 vuositason 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 taustapi-

toisuudesta valtaosa on kaukokulkeutunutta hiukkasainesta. Kaukokulkeuma muodostaa huomattavan osan myös kaupunki-ilman pienhiukkaspitoisuuksista (Alaviippola ja Pietarila, 2011).



Kuva A. 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 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 kalenterivuodessa (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 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).

Ilmansaaste	Ohjearvo (293 K, 101,3 kPa)	Tilastollinen määrittely
Typpidioksidi (NO_2)	$150 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Kuukauden tuntiarvojen 99. prosenttipiste
	$70 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Kuukauden toiseksi suurin vuorokausiarvo
Pienhiukkaset ($\text{PM}_{2,5}$)	$25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (WHO)	Suurin vuorokausikeskiarvo
	$10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (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.

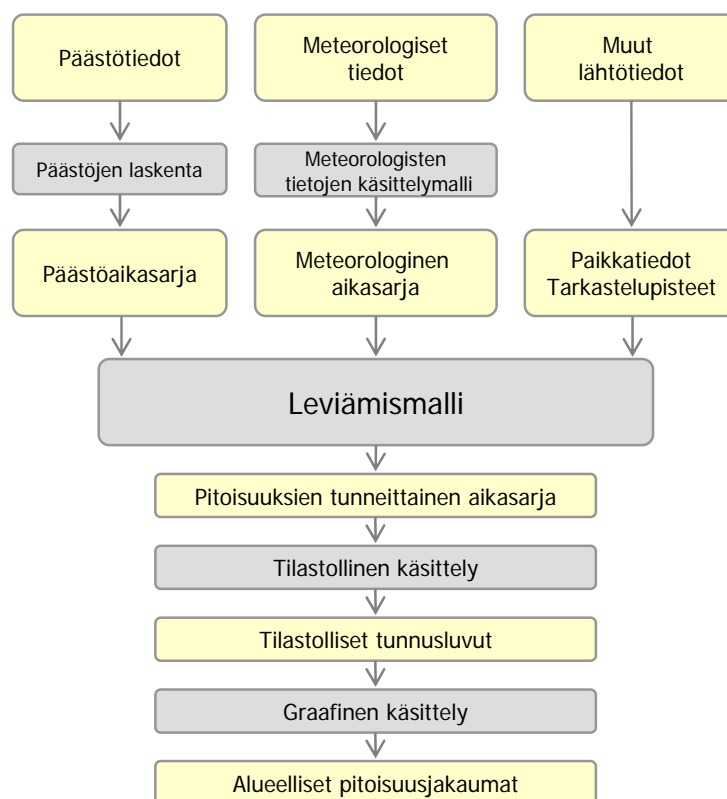
Ilmatieteen laitoksen leviämismalleja on kehitetty pitkäjänteisesti yli kolmenkymmenen vuoden ajan tavoitteena tuottaa luotettavaa tietoa ilmanlaadusta erityisesti Suomen olosuhteissa mm. kaupunki- ja liikennesuunnittelun ja ilmansuojelutoimien suunnittelun tueksi sekä pitoisuuksien ja väestön altistumisen 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 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 B.

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 liikennemäärästä, liikennevirtojen nopeudet ja ajoneuvoikohtaiset nopeusriippuvaliset 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 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 B. 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 pitoisuusajasarjasta lasketaan ilmanlaadun raja- ja ohjearvoihin verrannollisia tilastollisia suureita, jotka esitetään raportissa mm. pitoisuuksien aluejakaumakuvina ja taulukkoina.

4 TUTKIMUSALUE JA LÄHTÖTIEDOT

Tutkimuksessa tarkasteltiin autoliikenteen pakokaasupäästöjen ilmanlaatuvaikutuksia Helsingissä Koskelan raitiovaunuvarikon alueella ja sen lähiympäristössä. Koskelan varikko sijaitsee Kustaa Vaasan tien, Koskelantien ja Valtimontien rajaamalla alueella (kuva C). Tälle varikkotontille 954/1 on suunniteltu asuinrakentamista (suunnitteluvaihtoehto 1) tai tilaa vievän kaupan ja asuinrakentamisen yhdistämistä (suunnitteluvaihtoehto 2) raitiovaunuvarikon laajentamisen yhteydessä. Rakentaminen on suunniteltu toteutettavaksi osittain uuden varikkorakennuksen päälle.



Kuva C. Koskelan raitiovaunuvarikon sijainti.

Mallilaskelmin tarkasteltiin kahta eri tulevaisuuden skenaariota käyttäen vuodelle 2035 ennustettuja liikennemääriä:

- Vaihtoehdossa **VE0** Liikennejärjestelyt pysyvät ennallaan (vuoden 2012 tilanne).
- Vaihtoehdossa **VE1** Hakamäentien itäosan tunneli rakennettaisiin ja tunnelin itäinen suuaukko tulisi Kustaa Vaasan tielle Koskelan raitiovaunuvarikon välittömään läheisyyteen. Tunnelin pituudeksi oletettiin 2 kilometriä ja puolet tunnelin päästöistä arvioitiin vapautuvan suuaukkojen kautta ja puolet ilmastointihormin kautta. Ilmastointihormin kautta vapautuvia päästöjä ei ole huomioitu mallilaskelmissa, koska sen sijainti ei ole vielä tiedossa. Tunnelin liikennemäärä Kustaa Vaasan tien suuaukon kohdalla on noin 72 000 ajoneuvoa arkuvuorokaudessa.

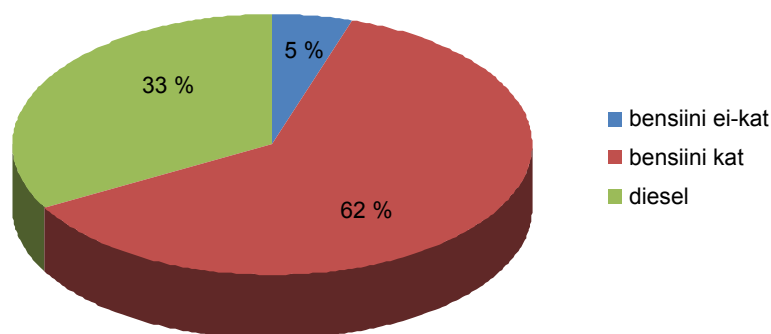
Autoliikenteen pakokaasupäästöjen leviämiskäskelmat tehtiin käyttäen nykytilannetta edustavia (Euro 3 -päästötaso) ja uudempaa ajoneuvokantaa edustavia (Euro 4 -päästötaso) ajoneuvon nopeudesta riippuvia ajoneuvon tyyppikohtaisia päästökertoimia. Taulukossa 3 on esitetty eri päästötasoja (Euro 0 – Euro 5) edustavien henkilöautojen (benssiini- 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 katalysaattorilla varustetuista bensiinikäyttöisistä ajoneuvoista, joiden osuus oli noin 62 % ajosuoritteesta. Bensiinikäyttöisistä henkilöautoista noin 5 % oli kokonaan ilman katalysaattoria. Dieselmikäyttöisten henkilöautojen ajosuoriteosuus oli noin 33 % (kuva D). Tulevaisuudessa tiukkenevista päästönormeista ja ajoneuvojen ikääntymisestä johtuen niiden bensiinikäyttöisten henkilöautojen, joissa ei ole lainkaan katalysaattoria määrä ja ajosuorite tulevat entisestään pienenemään. Muiden diesel- ja bensiinikäyttöisten ajoneuvojen ajosuoritteiden muutoksen ennustaminen on vaikeampaa, sillä siihen vaikuttavat merkittävästi verotukselliset ohjauskeinot. Tässä työssä liikenteen päästölaskennan perusteena on käytetty ajosuoritejakautusta, jossa bensiinikäyttöisten katalysaattorittomien ajoneuvojen suoriteosuutta on pienennetty 1 %:iin ja katalysaattorilla varustettujen ajoneuvojen suoriteosuutta vastaavasti kasvatettu 71 %:iin.

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

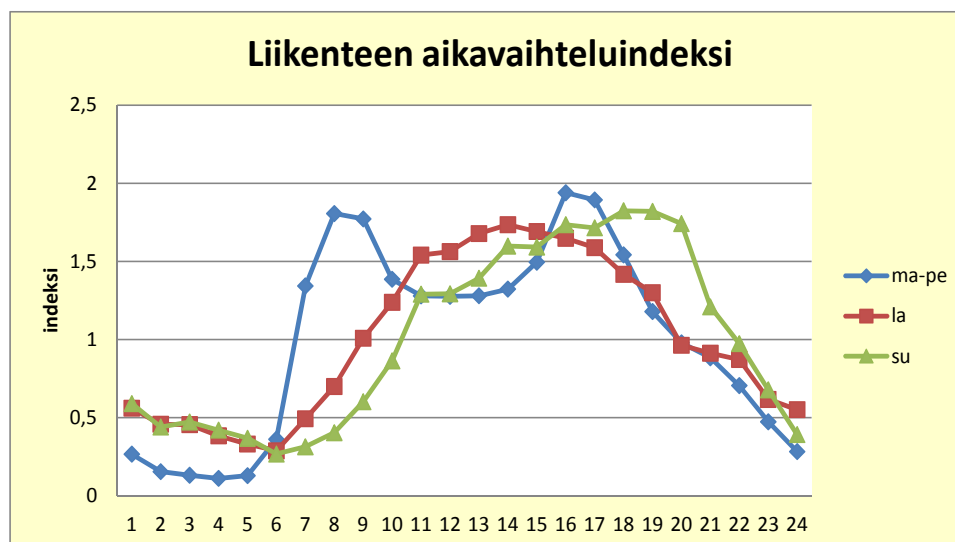
Päästötaso	Luokkaan kuuluvat ajoneuvot	Ajosuorite (%) bensiinikäyttöiset	Ajosuorite (%) dieselmikäyttöiset
Euro 0	ei katalysaattoria, vuosimallit ennen 1990	9	0
Euro 1	vuosimallit 1991–1996	13	7
Euro 2	vuosimallit 1997–2000	20	13
Euro 3	vuosimallit 2001–2005	31	25
Euro 4	vuosimallit 2006–2009	20	40
Euro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



Kuva D. Bensiinikäyttöisten (kat = ajoneuvossa on katalysaattori, ei-kat = ajoneuvossa ei ole katalysaattoria) ja dieselmikäyttöisten henkilöautojen toteutuneet suoriteosuudet vuonna 2011 (Lähde: LIISA 2011, VTT).

Koko tutkimusalueen liikenteen päästöt laskettiin ja mallinnettiin tiekohtaisina viivalähteinä. Liikenneväylää kuvattiin peräkkäisinä lyhyinä viivoina, joista jokaisesta vapautuu ympäristöönsä erikseen laskettavan suuruinen päästö. Tieverkon liikenteen päästöt laskettiin Ilmatieteen laitoksella KSV:n toimittamien keskimää-

räisten vuodelle 2035 ennustettujen arkivuorokausiliikennemäärien (KAVL), ajoneuvojen, raskaan liikenteen osuuksien ja liikenteen tunneittaisen vaihtelun perusteella (Kustaa Vaasan tiellä vuonna 2012 tehty liikennelaskenta). Liikennemäärien tunneittaista vaihtelua kuvaavat aikavaihteluindeksit on esitetty kuvassa E.



Kuva E. Liikenteen tunneittaista vaihtelua kuvaavat aikavaihteluindeksit.

Laskelmissa huomioitiin tieliikenteen päästöt vuoden 2035 liikenne-ennusteisiin perustuen noin 3 km × 3 km suuruiselta alueelta sekä alueellinen taustapitoisuus, jotta mallilaskelmin saadut pitoisuudet vastaisivat mahdollisimman hyvin todellisia epäpuhtauspitoisuustasoja. Taustapitoisuutena käytettiin Helsingin seudun ympäristöpalveluiden (HSY) Espoon Luukin ilmanlaadun kaupunkitaustamittausaseman mittaustuloksia vuosilta 2008–2010. Liikenne-ennustealueen (3 km x 3 km) ulkopuolelta liikenteen päästöt huomioitiin karkeammalla tasolla koko pääkaupunkiseudun alueelta (noin 38 km x 25 km) käyttäen HSY:n vuodelle 2005 laskemia päästöviivoja, jotka skaalattiin vastaamaan Euro 3 – päästötasoa (vuosi 2010).

Päästöjen aiheuttamat pitoisuudet laskettiin pisteikköön, jossa oli 15 192 laskentapistettä. Laskentapistekön pisteet olivat tiheimmillään 10 metrin etäisyydellä toisistaan ja harvimmillaan tutkimusalueen reunoilla 100 metrin etäisyydellä toisistaan. Tutkimuksessa tarkasteltiin liikenteen päästöjen aiheuttamia ulkoilman typpidioksidi- ja pienhiukkaspitoisuuksia varikon alueella eri korkeuksilla (kuvaan F on merkitty punaisilla numeroilla pisteikön korkeus tienpinnan tasosta) ja muualla tutkimusalueella maanpintatasolla. Varikkotontin itäosassa rakennukset on suunniteltu raitiovaunuvarikon katolle (kuvan F mustalla katkoviivalla rajattu alue), joka olisi 4–13 metrin korkeudella ympäröivien teiden tienpinnan tasosta. Kuuteen erillistarkastelupisteeseen (siniset pisteet 1–6 kuvassa F) tehtiin julkisivutarkastelut, joissa pitoisuuksia laskettiin usealle korkeudelle, alkaen maanpinnan tasosta tai raitiovaunuvarikon kattotasosta ja jatkuen aina suunniteltujen rakennusten kattotasolle.

Päästöt laskettiin ajoneuvotyyppikohtaisten päästökertoimien avulla, jotka perustuvat VTT:n (Teknologian tutkimuskeskus VTT) päästölaskelmiin (LAURIKKO, 1998) ja CAR-FMI -mallia varten kehitettyihin ajoneuvojen nopeudesta riippuviin päästö-

kerroinfunktioihin. Vuoden 2035 liikenne-ennustealueen (3 km × 3 km) typenoksidipäästöt ovat nykytilannetta vastaavilla Euro 3 -päästökertoimilla laskettaessa vaihtoehdossa VE0 (ei tunnelia) noin 160 tonnia vuodessa ja Euro 4 -päästökertoimilla 125 t/a. Vaihtoehdossa VE1 (tunneli on rakennettu) päästöt ovat Euro 3 -päästökertoimilla laskettaessa noin 132 tonnia vuodessa ja Euro 4 -päästökertoimilla 103 t/a. Tunnelin Kustaa Vaasan tien suuaukon kautta vapautuvat typenoksidipäästöt ovat Euro 3 -päästökertoimilla laskettaessa noin 11 t/a ja Euro 4 -päästökertoimilla noin 9 t/a, kun 50 % tunnelin päästöistä vapautuu tunnelin suuaukkojen kautta ulos. Lisäksi liikenne-ennustealueen ulkopuolella liikenteen päästöinä huomioitiin nykytasoon skaalattuja pääkaupunkiseudun autoliikenteen typenoksidipäästöjä (HSY) noin 36 km x 28 km alueelta (noin 3 590 t/a).

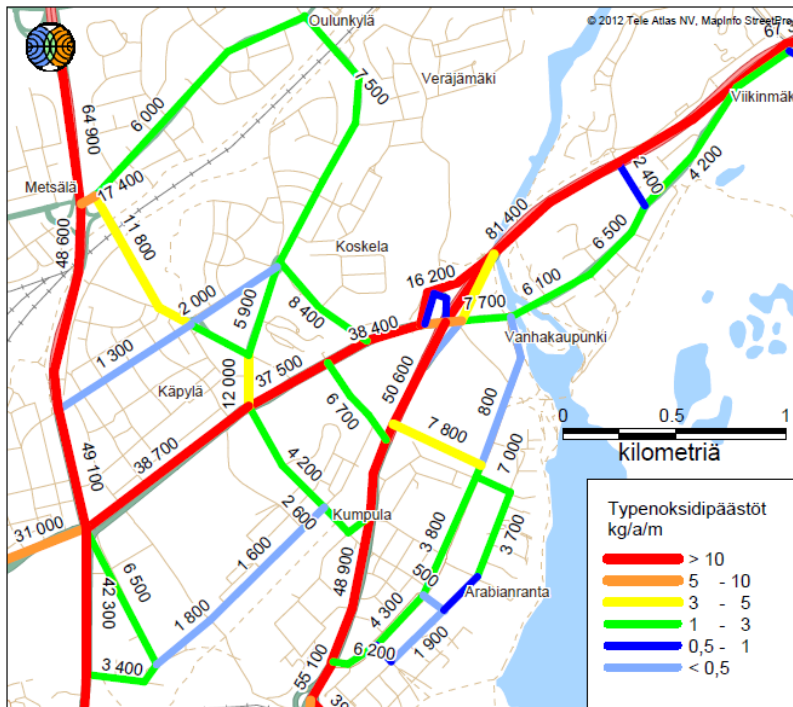
Vastaavasti hiukkaspäästöt olivat vaihtoehdolla VE0 (ei tunnelia) Euro 3 -päästökertoimilla noin 4,7 t/a ja Euro 4 -päästökertoimilla noin 2,6 t/a. Vaihtoehdossa VE1 (tunneli on rakennettu) päästöt ovat Euro 3 -päästökertoimilla 3,9 t/a ja Euro 4 -päästökertoimilla noin 2,2 t/a. Tunnelin hiukkaspäästöt Kustaa Vaasan tien suuaukon kohdalla ovat Euro 3 -päästökertoimilla laskettaessa noin 0,3 t/a ja Euro 4 -päästökertoimilla noin 0,2 t/a. Liikenne-ennustealueen ulkopuolelta liikenteen päästöinä käytettiin pääkaupunkiseudun autoliikenteen pienhiukkaspäästöjä (HSY) skaalattuna nykytasoon (180 t/a).



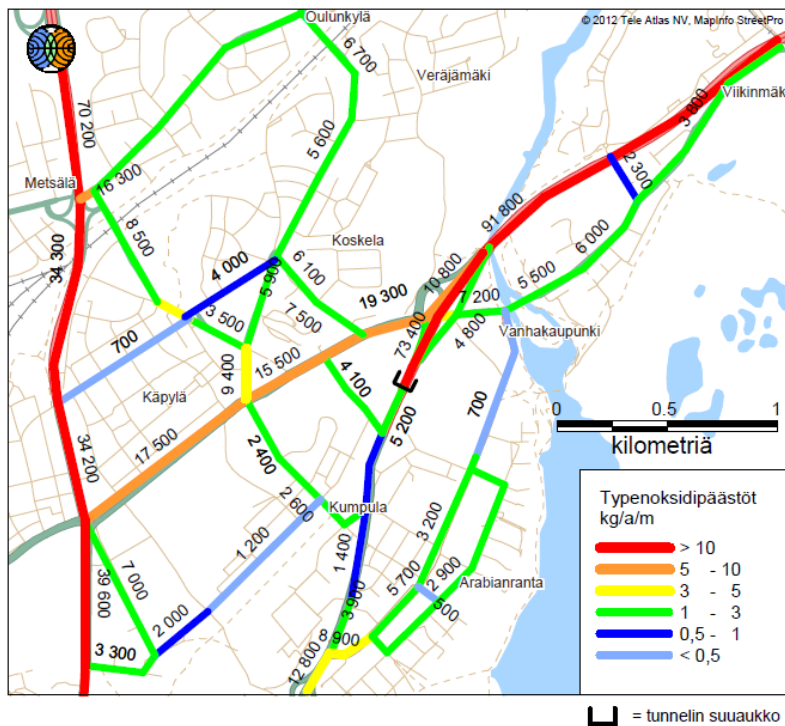
Kuva F. Suunnittelukuva Koskelan raitiovaunuvarikon alueesta. Erillistarkastelupisteiden sijainti on merkitty kuvaan sinisillä pisteillä ja pitoisuuksien laskentakorkeus tienpinnan tasosta (metriä) on merkitty punaisilla numeroilla (Kuva: Arkkitehtuuritoimisto B&M Oy).

Kuvissa G–J on esitetty vuodelle 2035 ennustetut arkivuorokausiliikennemäärät tutkimusalueella sekä liikenneväyläkohtaisesti lasketut typenoksidi- ja hiukkaspääs-

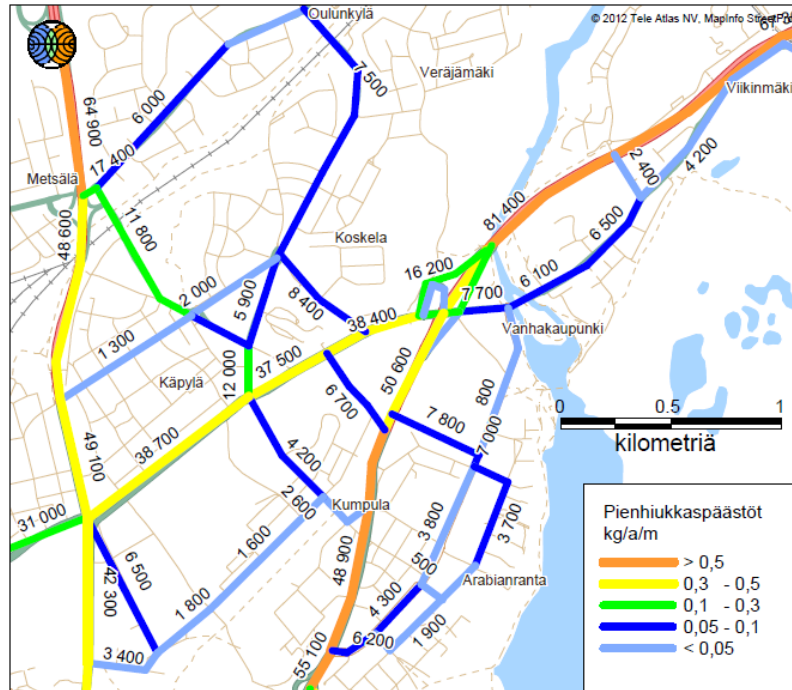
töt (kg/a/m) Euro 3 -päästökertoimilla laskettuna. Euro 4 -päästötason typenoksidipäästöt ovat noin 20 % Euro 3 -päästötasoa pienemmät. Hiukkasilla vastaava ero euroluokkien välillä on noin 40 %.



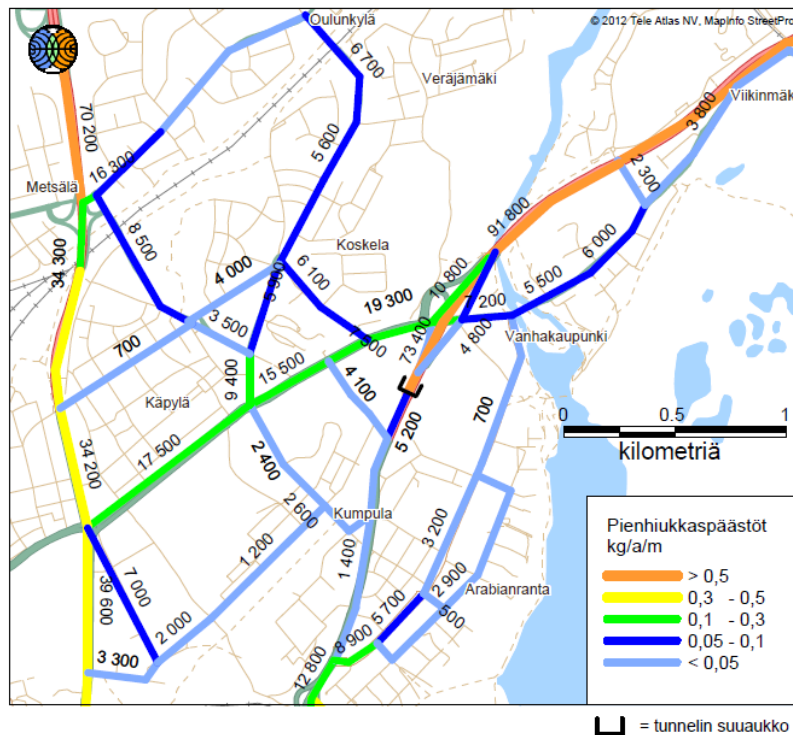
Kuva G. Euro 3 -päästötason typenoksidipäästöt (kg/a/m) ja vuodelle 2035 arvioidut arkivuorokausiliikennemäärät nykyisillä liikennejärjestelyillä Koskelan varikon ympäristössä.



Kuva H. Euro 3 -päästötason typenoksidipäästöt (kg/a/m) ja vuodelle 2035 arvioidut arkivuorokausiliikennemäärät vaihtoehdossa VE1, jossa tunneli on rakennettu.



Kuva I. Euro 3 -päästötason hiukaspäästöt (kg/a/m) ja vuodelle 2035 arvioidut arkivuoro-kausiliikennemäärät nykyisillä liikennejärjestelyillä Koskelan varikon ympäristössä.

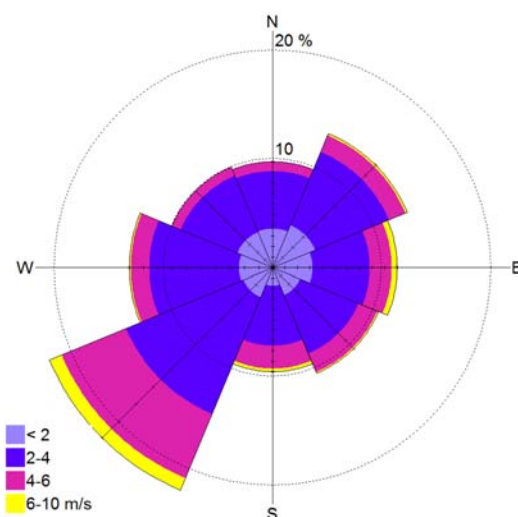


Kuva J. Euro 3 -päästötason hiukaspäästöt (kg/a/m) ja vuodelle 2035 arvioidut arkivuoro-kausiliikennemäärät vaihtoehdossa VE1, jossa tunneli on rakennettu.

Leviämismallilaskelmissa on oletettu autoliikenteen typenoksidipäästöistä (NO_x) olevan keskimäärin 20 % typpidioksidia (NO_2) molemmissa päästöskenaarioissa (Euro 3 ja Euro 4). Typpidioksidipäästöjen osuus pakokaasujen typenoksidipäästöistä on oletettu samaksi molemmilla päästötasoilla, koska typpidioksidipäästöjen osuuden kehittymisen ennustamiseen liittyy paljon epävarmuustekijöitä.

Tutkimusalueen lähikatujen liikenteen lisäksi mallilaskelmissa on huomioitu alueellinen typpidioksidin ja pienhiukkasten taustapitoisuus, joka arvioitiin Helsingin seudun ympäristöpalveluiden Espoon Luukissa sijaitsevan kaupunkitaustaa edustavan 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 2012*).

Tutkimusalueen ilmastollisia olosuhteita edustava meteorologinen aikasarja muodostettiin Helsingin Kumpulan vuosien 2008–2010 havainnoista. Kumpulan säähavaintoasema sijaitsee noin 1,5 kilometrin päässä Koskelan varikkoalueesta. Sekoituskorkeuden määrittämiseen käytettiin Jokioisten observatorion radioluotaushavaintoja vuosilta 2008–2010. Kuvassa K on esitetty tuulen suunta- ja nopeusjakaumat tutkimusalueella. Lounaistuulet ovat tutkimusalueella vallitsevia.



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

5 TULOKSET

Mallituloksia ja mallilaskelmissa käytettyjen lähtötietojen oikeellisuutta tulisi arvioida vertaamalla mallinnettuja pitoisuuksia mitattuihin. Mitä useamman mittausaseman tuloksiin mallilaskelmia on mahdollisuus verrata, sitä kattavampi kuva mallin toimivuudesta erityyppisissä ympäristöissä saadaan. Tulevan tilanteen mallinseknaarioiden osalta tulosten oikeellisuuden arviointi on haastavaa, koska mallinnetut pitoisuudet eivät sellaisenaan ole vertailukelpoisia mittaustuloksiin, jotka edustavat mitatun ajanjakson ilmanlaatua (nykytilanne ja historiatiedot).

Pääkaupunkiseudulle on tehty vuonna 2008 laaja leviämismalliselvitys (*Lappi ym. 2008*), jonka yhteydessä mallituloksien epävarmuutta on arvioitu vertaamalla mallituloksia useiden eri mittausasemien mittaustuloksiin. Leviämismalliselvityksessä huomioitiin kaikki pääkaupunkiseudun merkittävimmät päästölähderyhmittä (liikenne, energiantuotanto, laivaliikenne, lentoliikenne ja taustapitoisuus) ja niiden vaikutus ilmanlaatuun. Leviämismallituloksia verrattiin typenoksidien osalta kahdeksaan ja hiukkasten osalta kahteen erityyppisissä ympäristöissä sijaitsevaan kiinteään HSY ilmanlaadun mittausasemaan. Vertailun perusteella typpidioksidin mitattujen ja mallinnettujen vuosikeskiarvopitoisuuksien ero oli 0–32 % ja pienhiukkasten vuosikeskiarvon ero 4–15 %. Mallintamiselle asetetun (*Vna 38/2011*) laatutavoitteen mukaan suurin sallittu epävarmuus typpidioksidin vuosikeskiarvolle on 30 % ja hiukkasten vuosikeskiarvolle 50 %.

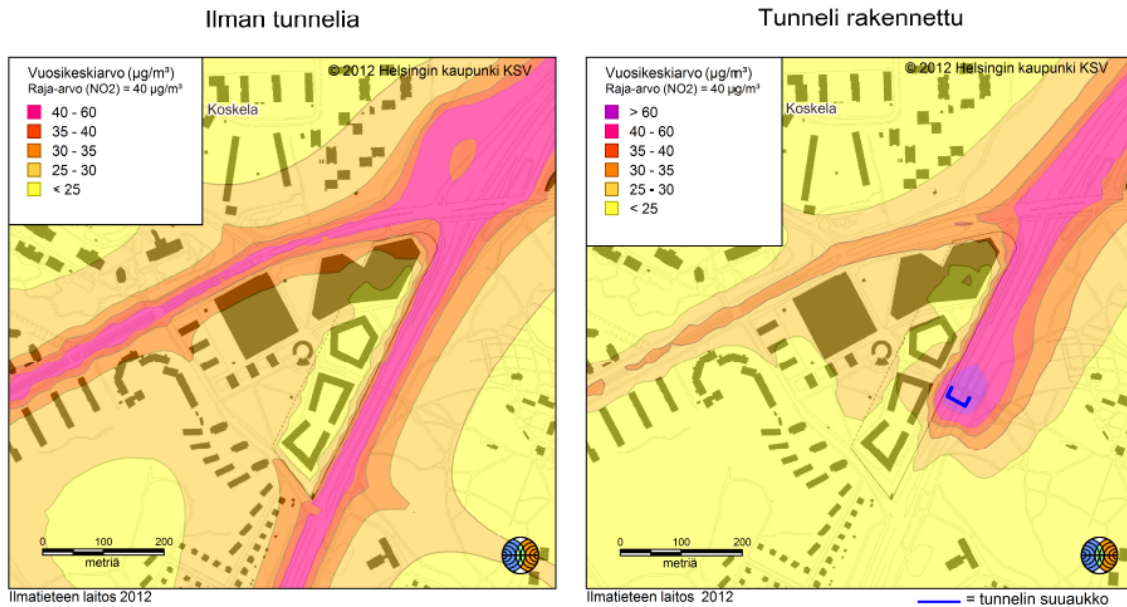
5.1 Typpidioksidipitoisuudet

Leviämismallilaskelmien tuloksina saatujen ulkoilman typpidioksidipitoisuuksien alueellinen vaihtelu Koskelan varikon lähiympäristössä maanpintatasossa sekä varikon alueella eri korkeuksilla tienpinnan tasosta on esitetty kuvissa L–O. Raitiovaunuvarikon kattotason kohdalla pitoisuudet on laskettu korkeuksille 4–13 metriä tienpinnasta. Vasemmanpuoleinen leviämiskuva kuvaa tilannetta VE0, jossa liikennejärjestelyt ovat ennallaan (vuoden 2012 tieverkko) ja oikeanpuoleinen kuva tilannetta VE1, jossa tunneli on rakennettu.

Typpidioksidin vuosikeskiarvopitoisuuksien raja-arvo $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ylittyy Kustaa Vaasan tiellä ja Lahdenväylällä skenaariossa VE0 sekä Euro 3 että Euro 4 -päästötasoilla. Raja-arvopitoisuus ylittyy lisäksi Koskelantiellä skenaariossa VE0 Euro 3 -päästötasolla (kuvat L ja M). Raja-arvo ylitys tapahtuu väylillä, risteysalueella ja väylien välittömässä läheisyydessä. Euro 4 -päästötasolla raja-arvojen ylitysalueet ovat huomattavasti Euro 3 -päästötasoa pienemmät.

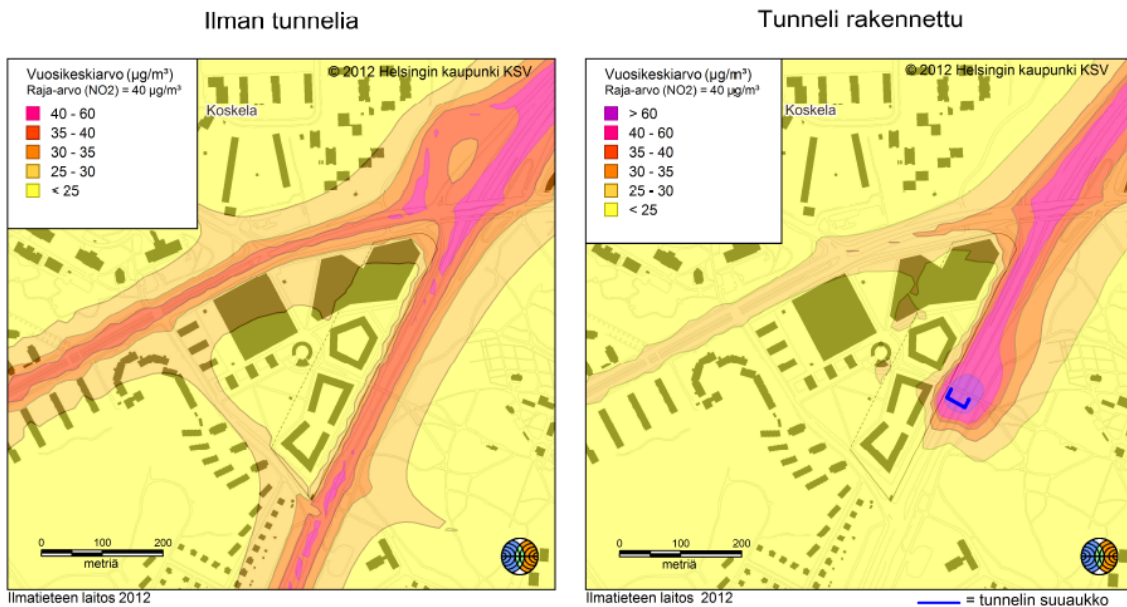
Skenaariossa VE1 raja-arvo ylittyy Lahdenväylällä ja tunnelin suuaukon läheisyydessä. Raja-arvon ei katsota kuitenkaan olevan voimassa väylillä tai risteysalueilla lukuun ottamatta kevyenliikenteen väyliä. Tilanteessa, jossa tunneli rakennettaisiin, raja-arvo ylittyy paikoin myös väylän ulkopuolella tunnelin suuaukon läheisyydessä (Euro 3 -päästötasolla enimmillään 20 metrin säteellä tunnelin suuaukosta raitiovaunuvarikon suuntaan ja Euro 4 -päästötasolla enimmillään 15 metrin säteellä).

EURO 3



Kuva L. Typpidioksidin vuosiraja-arvoon verrannolliset pitoisuudet Euro 3 -päästötasolla ja vuoden 2035 liikennemääräennusteilla laskettuna

EURO 4

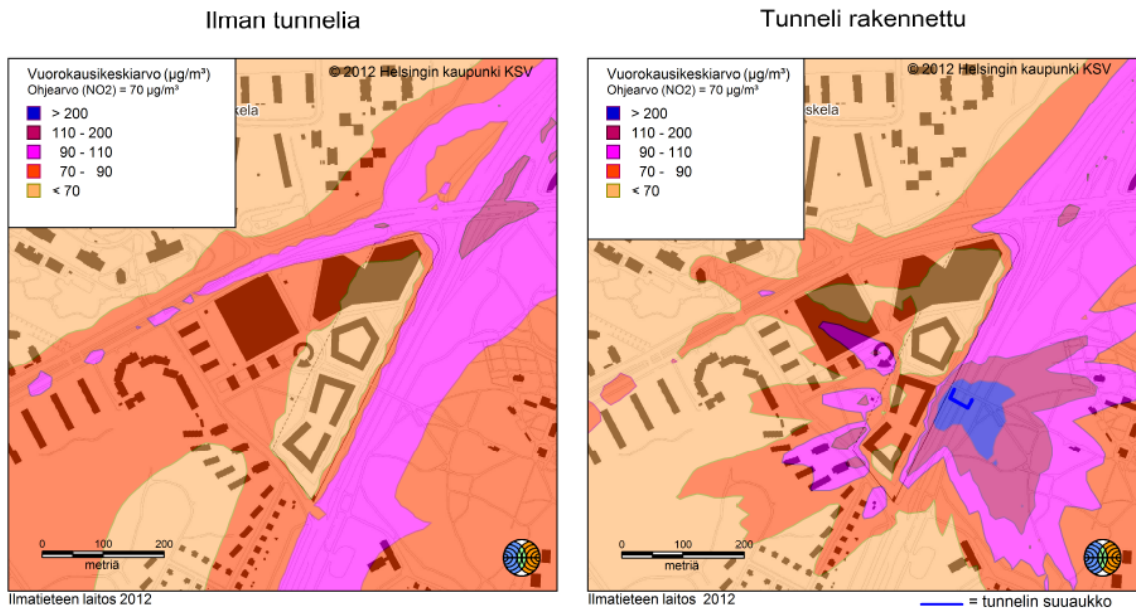


Kuva M. Typpidioksidin vuosiraja-arvoon verrannolliset pitoisuudet Euro 4 -päästötasolla ja vuoden 2035 liikennemääräennusteilla laskettuna.

Mallilaskelmien mukaan typpidioksidin vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus ($70 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ylittyy Koskelantien, Kustaa Vaasan tien ja Lahdenväylän ympäristössä paikoittain yli 200 metrin etäisyydellä Koskelantiestä varikkoalueen suuntaan sekä Euro 3 että Euro 4 -päästötasoilla laskettuna VE0 skenaariossa (Kuva N ja O). Skenaariossa VE1 vuorokausiohjearvo ylittyy Lahdenväylän ympäristössä ja Kustaa Vaasan tien ympäristössä tunnelin suuaukon läheisyydessä sekä paikoin Koskelantiellä. Raitiovaunuvarikon kattotason korkeudella 12–13 metriä

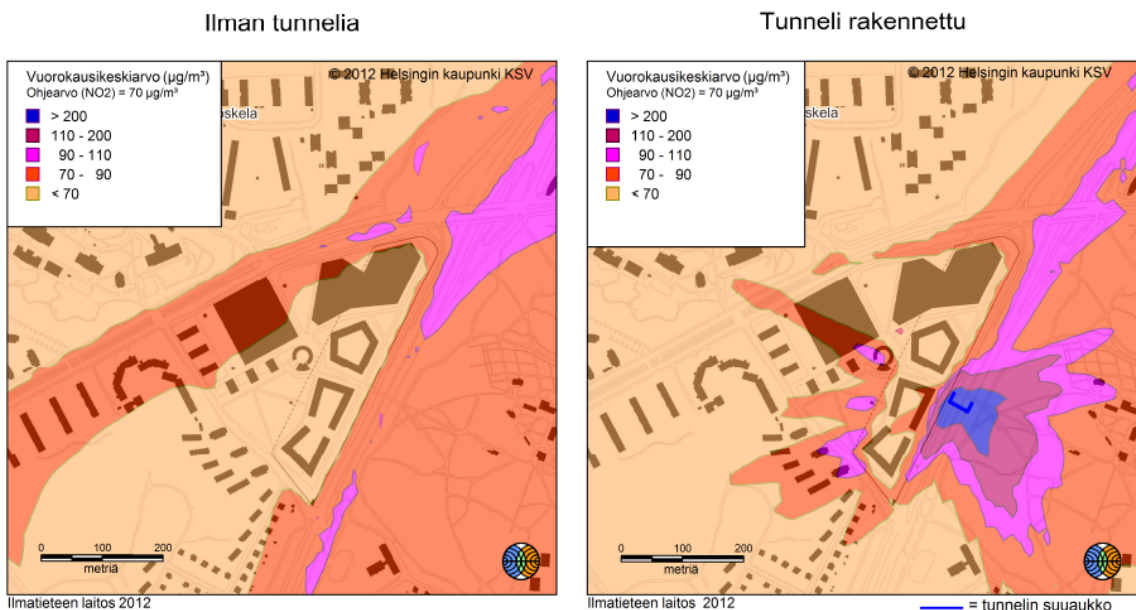
tiempinnan tasosta pitoisuudet jäävät paikoin alle vuorokausiohjearvon (alin pitoisuusluokka kuvissa N ja O).

EURO 3



Kuva N. Typpidioksidin vuorokausiohjearvon verrannolliset pitoisuudet Euro 3 -päästötasolla ja vuoden 2035 liikennemääräennusteilla laskettuna.

EURO 4



Kuva O. Typpidioksidin vuorokausiohjearvon verrannolliset pitoisuudet Euro 4 -päästötasolla ja vuoden 2035 liikennemääräennusteilla laskettuna.

Vaihtoehto VE1, jossa tunneli rakennetaan, muuttaa typpidioksidin vuorokausiohjearvotason ylitysalueiden sijaintia ja laajuutta Koskelan varikkoalueella ja sen läheisyydessä, ylitysalueiden painottuessa tunnelin suuaukon ympäristöön ja risteysalueelle. Mallinnuksessa huomioitua varikkoalueen ja sitä ympäröivien väylien väliset korkeuserot aiheuttavat mallituloksiin huomattavia pitoisuusvaihtelu-

alueita lähellä Kustaa Vaasan tietä, jossa korkeusero varikkoalueeseen on suurin. Varikon ja Kustaa Vaasan tien väliin jäävän seinämän vaikutusta paikalliseen mikrometeorologiaan ja päästöjen leviämiseen ei mallilaskelmissa pystytä riittävällä tarkkuudella huomioimaan. Näin ollen suositeltavaa olisi tulkita ohjearvojen ylitysalueita yhtenäisinä ja kiinnittää huomiota ohjearvojen ylitysalueiden etäisyyksiin tunnelin suuaukkoihin nähden.

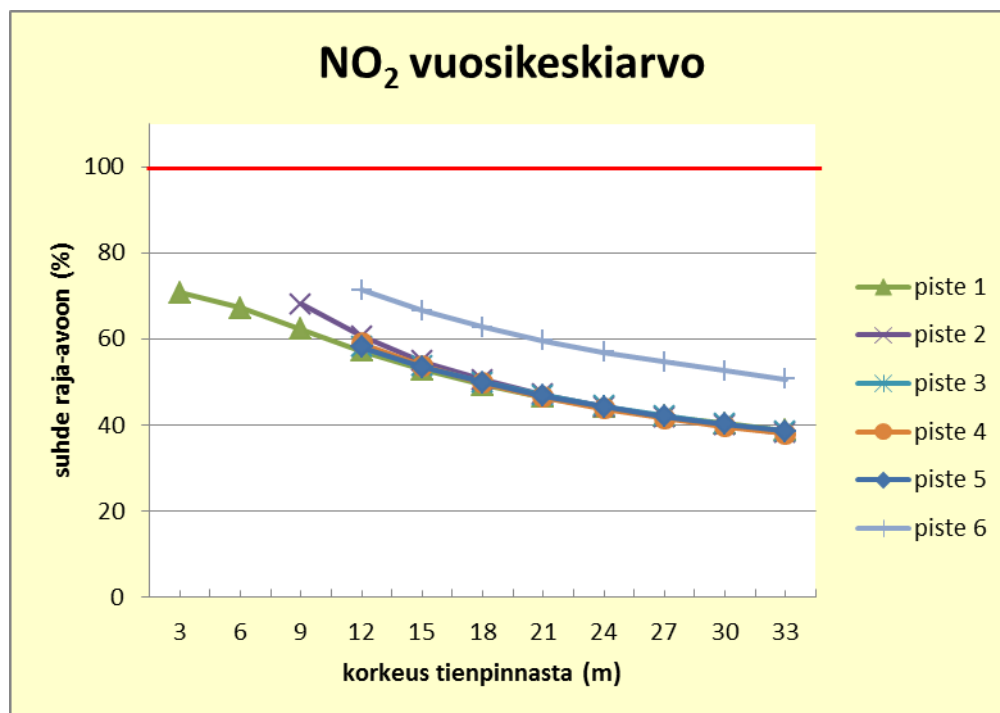
Enimmäisetäisyys, jolla vuorokausiohjearvo voi varikkoalueella ylittyä vaihtoehdossa VE1 on selvästi suurempi kuin vaihtoehdossa VE0, etenkin varikkoalueelle suunniteltujen rakennusten osalta. Taulukossa 4 on esitetty typpidioksidin raja- ja ohjearvojen ylitysalueiden enimmäisetäisyydet vaihtoehdoissa VE0 ja VE1 varikkoalueen suuntaan. Enimmäisetäisyydet kuvaavat etäisyyttä kohtisuoraan väylästä poispäin, sillä raja- ja ohjearvot voivat ylittyä väylällä tien suuntaisesti pidemmällä matkalla.

Taulukko 4. Enimmäisetäisyys (metreinä), jolla typpidioksidipitoisuuden raja- ja ohjearvot voivat ylittyä väylän ulkopuolella Koskelan varikkoalueen suuntaan Euro 3 ja Euro 4 -päästöskenaarioilla tarkasteltuna. Enimmäisetäisyys kuvaa etäisyyttä kohtisuoraan väylästä poispäin.

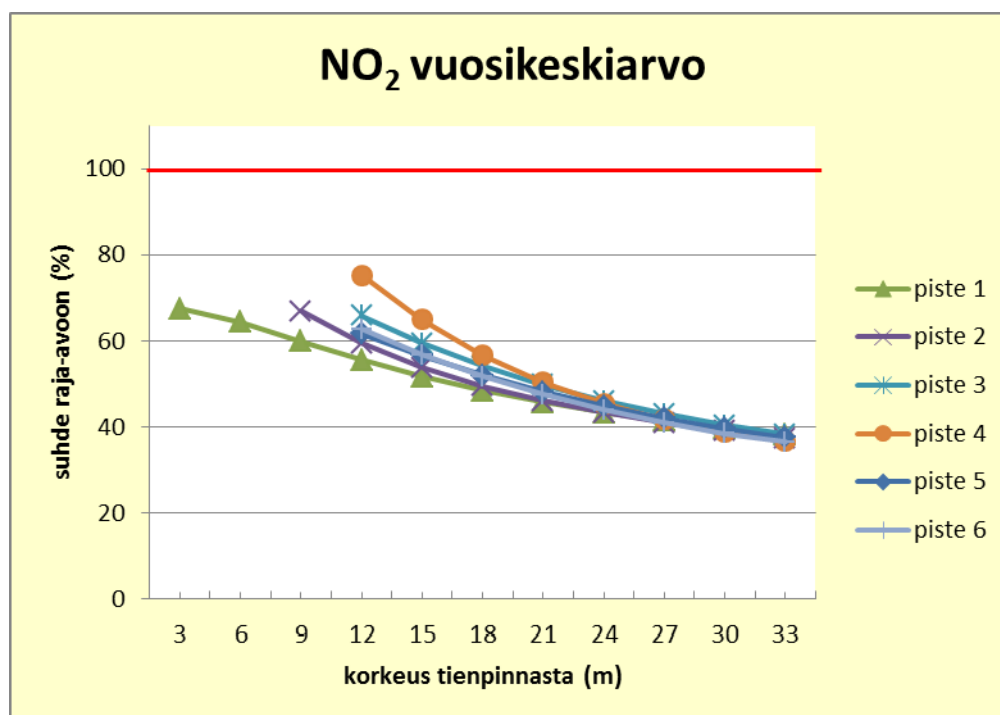
NO ₂ -pitoisuus	V0 Euro 3 Ei tunnelia	V1 Euro 3 Tunneli	V0 Euro 4 Ei tunnelia	V1 Euro 4 Tunneli
Vuosikeskiarvo (raja-arvo)	0 m	20 m	0 m	15 m
Vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (ohjearvo)	230 m	korkeimmillaan koko varikkoalueen matkan	150	korkeimmillaan koko varikkoalueen matkan

Kuvassa F sinisillä pisteillä merkityissä kohteissa 1–6 tehtiin myös erillinen julkisivutarkastelu, jossa laskettiin pitoisuuksia eri korkeuksille alkaen maanpinnan tasosta tai raitiovaunuvarikon kattotasosta aina suunniteltujen rakennusten kattokorkeudelle asti. Julkisivutarkastelun tulokset ovat nähtävissä kuvista P–S, joissa on esitetty pitoisuuksien suhde (%) vuosiraja- ja vuorokausiohjearvoon eri korkeuksilla. Liitteessä 1 on esitetty pitoisuusarvot taulukoituna eri tarkasteluvaihtoehdoille.

Leviämislaskelmien tulosten mukaan typpidioksidipitoisuudet erillistarkastelupisteissä ovat suurimmillaan lähellä maanpintatasoa tai kattotasoa ja pienenevät ylöspäin mentäessä, eli kun etäisyys liikenneväylästä kasvaa. Erillistarkastelupisteistä piste 4 sijaitsee lähimpänä tunnelin suuaukkoa. Mallilaskelmien mukaan typpidioksidipitoisuuden vuosiraja-arvo ei ylitä kummassakaan skenaariossa raitiovaunuvarikon kattotason erillispisteissä (kuva P ja Q).



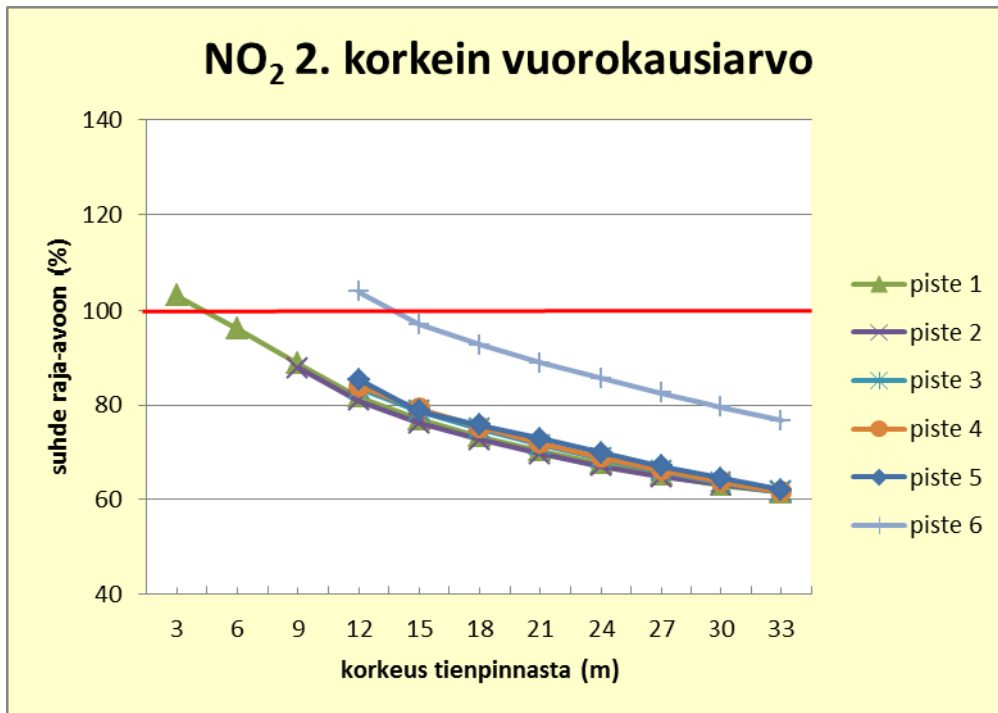
Kuva P. Typpidioksidipitoisuuksien suhde vuosiraja-arvoon ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) Koskelan varikon erillistarkastelupisteissä (kuva F) vaihtoehdossa VE0 Euro 3 -päästötasolla lasketuna.



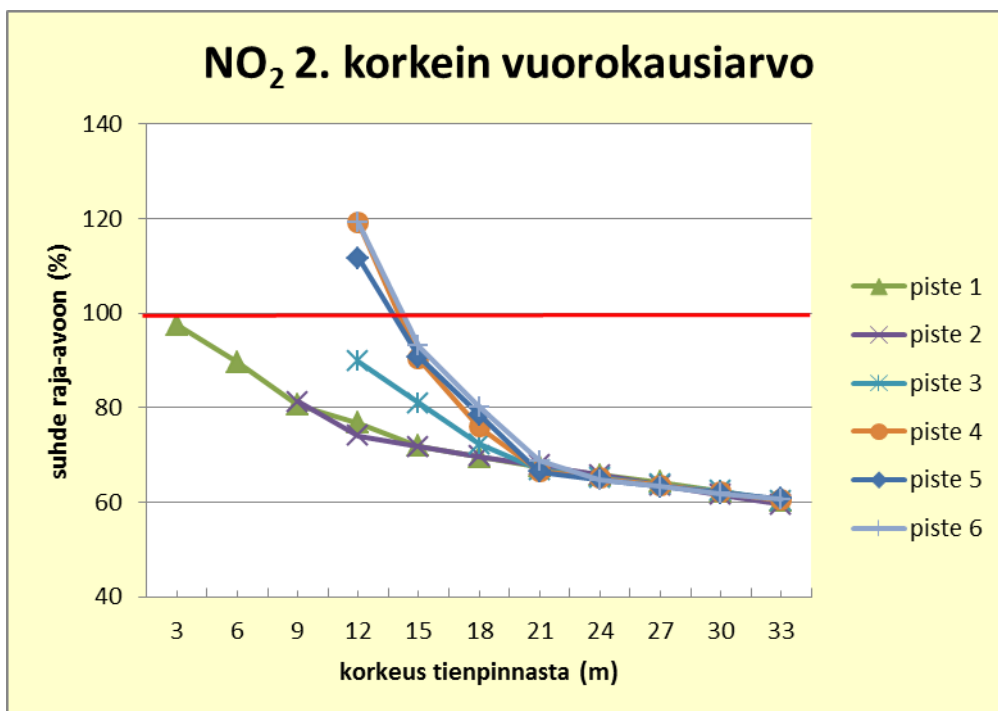
Kuva Q. Typpidioksidipitoisuuksien suhde vuosiraja-arvoon ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) Koskelan varikon erillistarkastelupisteissä (kuva F) vaihtoehdossa VE1 Euro 3 -päästötasolla lasketuna.

Skenaariossa VE1 typpidioksidipitoisuuden vuorokausiohjearvo ($70 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ylittyi erillistarkastelupisteissä 4, 5 ja 6 alimman 12 metrin tarkastelukorkeuden osalta. Pisteessä 1 typpidioksidin vuorokausipitoisuus on korkeimmillaan 98 % ohjearvosta 3 metrin korkeudella tienpinnan tasosta Euro 3 -päästötasolla ja pisteissä 2 ja 3

ohjearvopitoisuus alittuu selvästi kaikilla korkeuksilla. Skenaariossa VE0 Euro 3 -päästötasolla typpidioksidin vuorokausiohjearvo ylittyy erillispisteissä 1 ja 6 varikon kattotasolla, mutta ei enää siitä ylöspäin mentäessä.



Kuva R. Typpidioksidipitoisuuksien suhde vuorokausiohjearvoon (70 µg/m³) Koskelan varikon erillistarkastelupisteissä (kuva F) vaihtoehdossa VE0 Euro 3 -päästötasolla laskettuna.

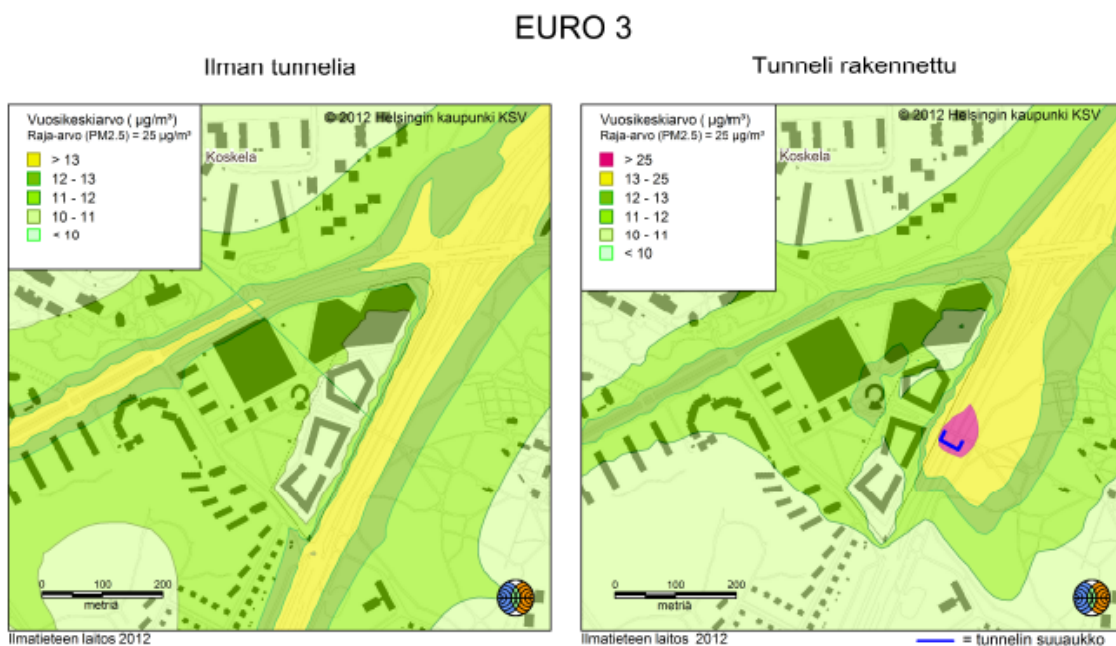


Kuva S. Typpidioksidipitoisuuksien suhde vuorokausiohjearvoon (70 µg/m³) Koskelan varikon erillistarkastelupisteissä (kuva F) vaihtoehdossa VE1 Euro 3 -päästötasolla laskettuna.

5.2 Pienhiukkaspitoisuudet

Leviämismallilaskelmien tuloksina saatujen ulkoilman pienhiukkaspitoisuuksien ($PM_{2,5}$) alueellinen vaihtelu Koskelan varikon lähiympäristössä maanpintatasossa sekä varikon alueella eri korkeuksilla tienpinnan tasosta (raitiovaunuvarikon katto-tason kohdalla pitoisuudet on laskettu korkeuksille 4–13 metriä tienpinnasta) on esitetty kuvissa T–W. Vasemmanpuoleinen leviämiskuva kuvaa tilannetta VE0, jossa liikennejärjestelyt ovat ennallaan (vuoden 2012 tieverkko) ja oikeanpuoleinen kuva tilannetta VE1, jossa tunneli on rakennettu.

Pienhiukkasten vuosikeskiarvopitoisuudet alittavat selvästi vuosiraja-arvon $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ skenaariossa VE0. Tilanteessa, jossa tunneli rakennettaisiin (VE1), pitoisuudet voivat ylittää mallilaskelmien mukaan vuosiraja-arvon tunnelin suuaukolla ja sen välittömässä läheisyydessä (Euro 3 -päästötasolla enimmillään 20 metrin säteellä tunnelin suuaukosta Annalaan päin ja Euro 4 -päästötasolla enimmillään 15 metrin säteellä). Laskelmien mukaan raja-arvo ei ylittyisi raitiovaunuvarikon alueella. Korkeimmat pienhiukkaspitoisuudet painottuvat väylille, risteys-alueelle sekä tunnelin suuaukon ympäristöön.



Kuva T. Pienhiukkasten ($PM_{2,5}$) vuosiraja-arvoon ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$) verrannolliset pitoisuudet Euro 3 -päästötasolla ja vuoden 2035 liikennemääräennusteilla laskettuna.

EURO 4

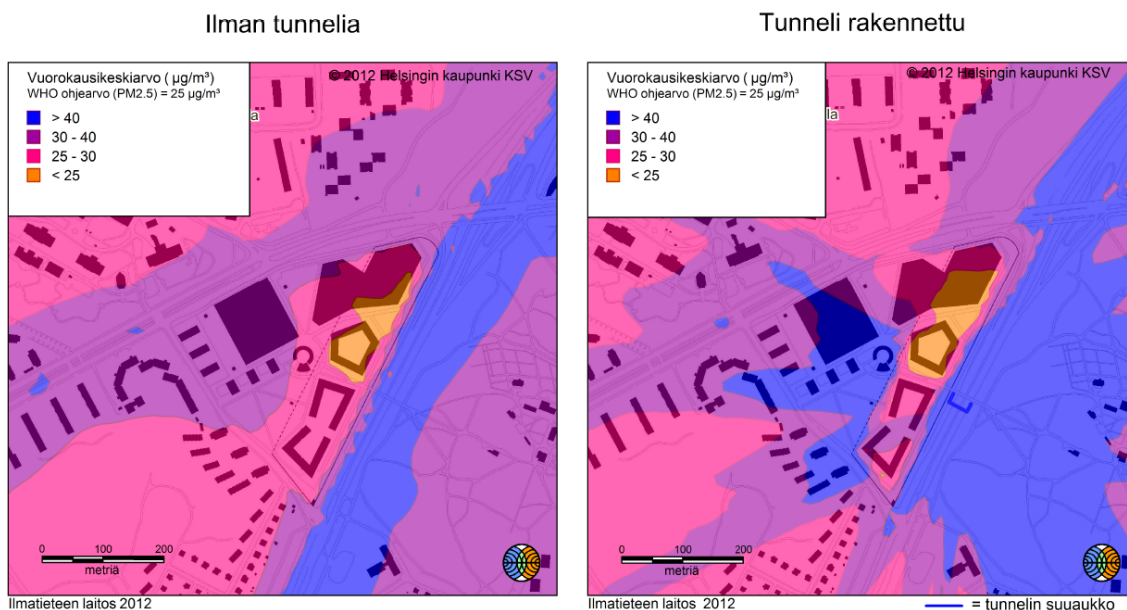


Kuva U. Pienhiukkasten ($PM_{2,5}$) vuosiraja-arvoon ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$) verrannolliset pitoisuudet Euro 4 -päästötasolla ja vuoden 2035 liikennemääräennusteilla laskettuna.

Koska pienhiukkasten lyhytaikaisille pitoisuuksille ei ole Suomessa tai EU-tasolla määriteltyä raja-arvoa, on mallilaskelmien tuloksia verrattu WHO:n pienhiukkasille määrittelemään vuorokausiohjeeseen. WHO:n vuorokausiohjearvo $PM_{2,5}$ -hiukkasille ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ylittyy tutkimusalueella yleisesti vilkasliikenteisillä väylillä ja niiden läheisyydessä Euro 3 -päästötasolla laskettuna. Tilanteessa, jossa tunneli rakennettaisiin (VE1), pitoisuudet ylittävät vuorokausiohjearvon varikon alueella molemmilla päästötasoilla varsin laajasti.

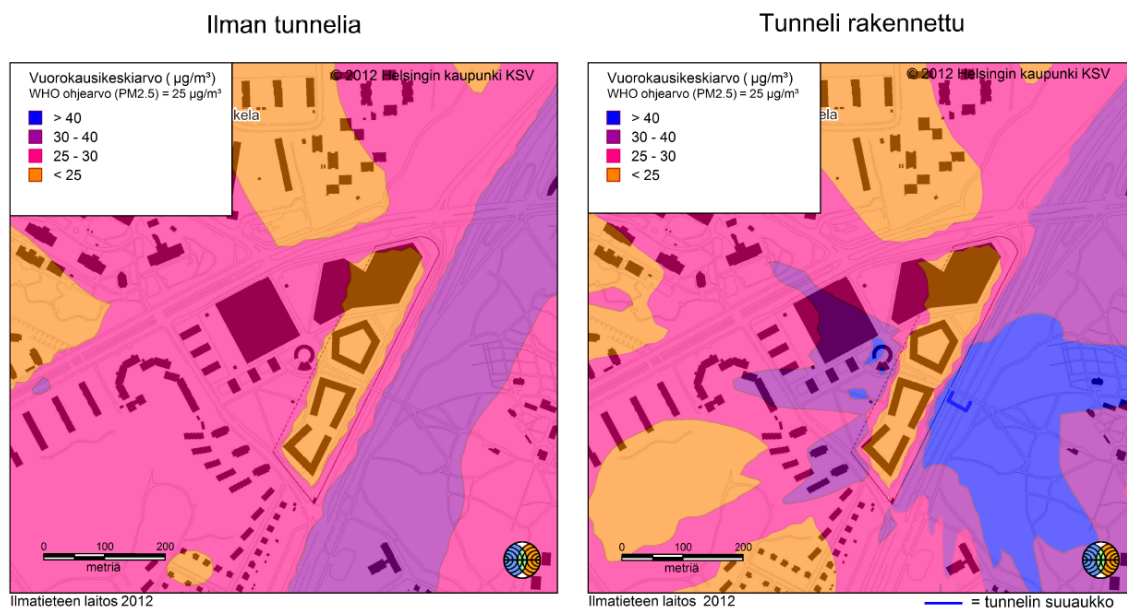
Kaukokulkeumalla on merkittävä vaikutus pienhiukkasten pitoisuuksiin Suomessa ja korkeimmat pienhiukkaspitoisuudet havaitaan yleensä kaukokulkeuma-episodioiden aikana. Näissä tilanteissa pienhiukkasten WHO:n vuorokausiohjearvo ylittyy kaupunkiympäristöissä herkästi. Suurimmat pitoisuudet havaitaan, kun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

EURO 3



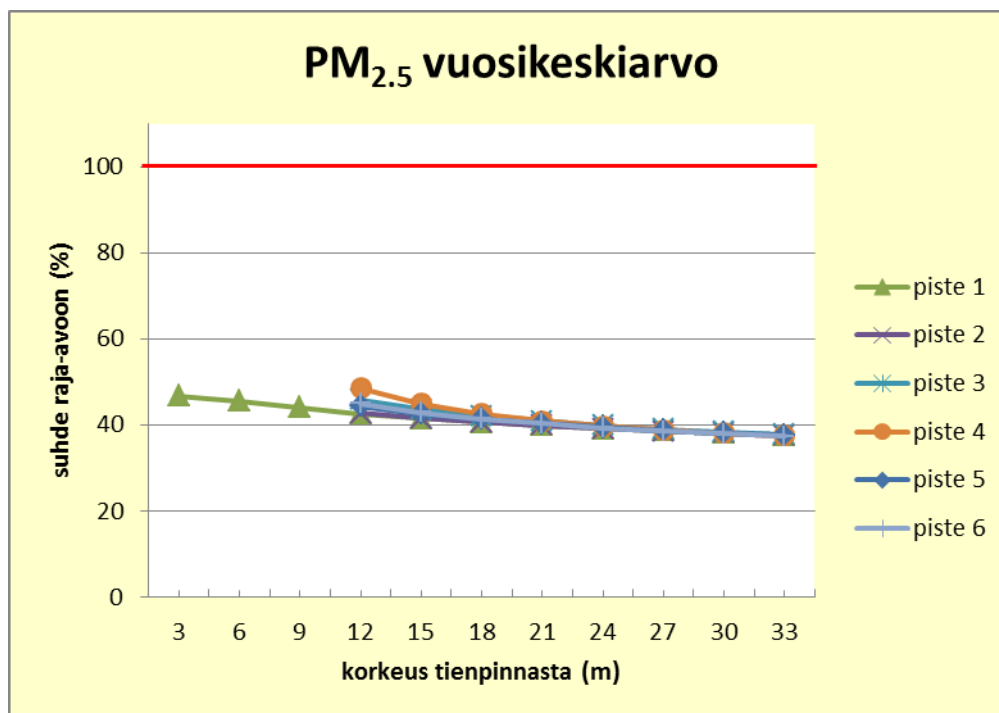
Kuva V. Pienhiukkasten ($\text{PM}_{2.5}$) vuorokausiohjearvoon (WHO, $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$) verrannolliset pitoisuudet Euro 3 -päästötasolla ja vuoden 2035 liikennemääräennusteilla laskettuna.

EURO 4



Kuva W. Pienhiukkasten ($\text{PM}_{2.5}$) vuorokausiohjearvoon (WHO, $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$) verrannolliset pitoisuudet Euro 4 -päästötasolla ja vuoden 2035 liikennemääräennusteilla laskettuna.

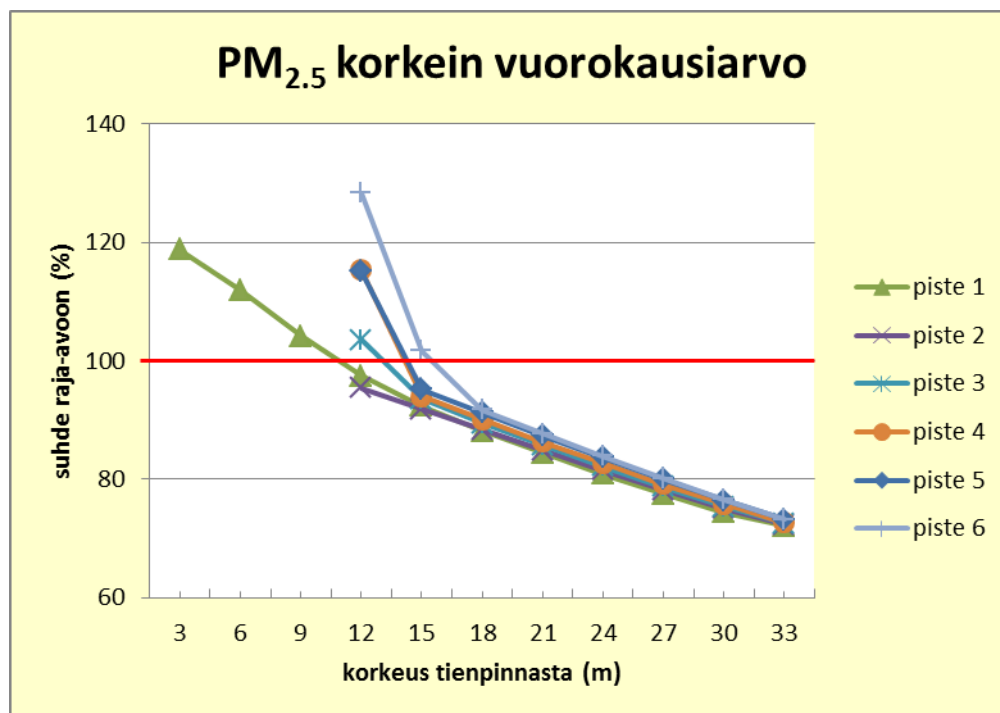
Julkisivutarkastelujen tulokset pienhiukkasille ovat näkyvissä kuvissa X–Z. Liitteessä 1 on esitetty pitoisuusarvot taulukoituna eri tarkasteluvaihtoehdoille. Leviämislaskelmien tulosten mukaan pienhiukkaspitoisuudet erillistarkastelupisteissä ovat suurimmillaan lähellä maanpintatasoa tai kattotasoa ja pienenevät ylöspäin mentäessä, eli kun etäisyys liikenneväylistä kasvaa. Pienhiukkaspitoisuuden vuosirajearvo ei ylity millään korkeudella tarkastelluissa pisteissä kummallakaan suunnitteluvaihtoehdolla (VE0 tai VE1).



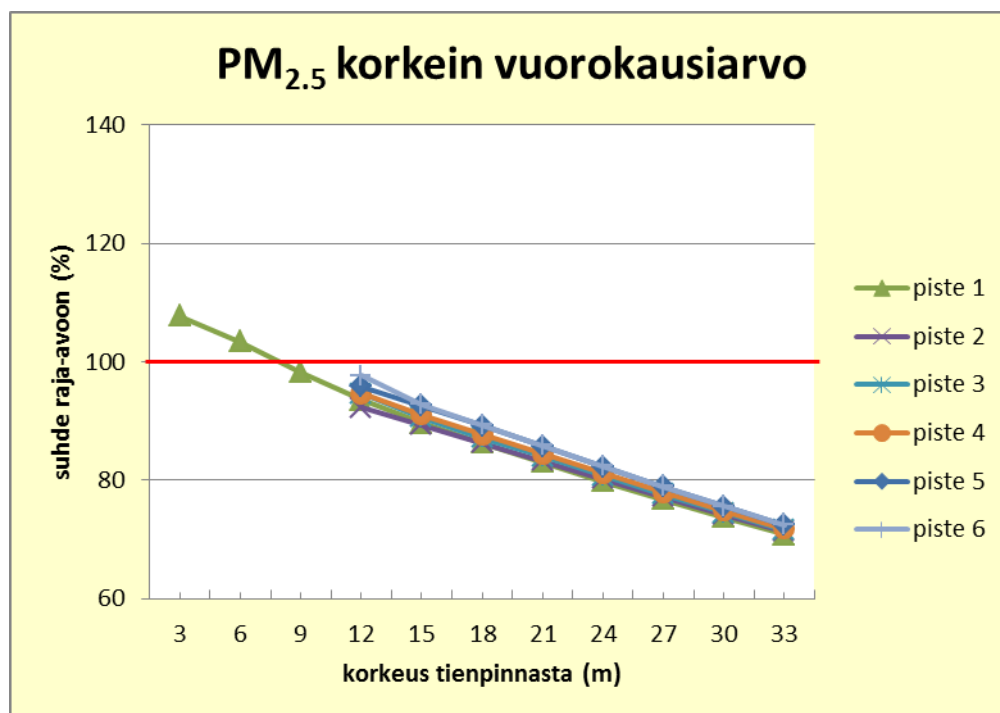
Kuva X. Pienhiukkaspitoisuuksien suhde vuosiraja-arvoon ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$) Koskelan varikon erillistarkastelupisteissä (kuva F) vaihtoehdossa VE1 Euro 3 -päästötasolla laskettuna.

Vuorokausiohjearvo ylittyy suunnitteluvaihtoehdossa VE0 erillispisteessä 1 molemmilla päästötasolla laskettuna (Euro 3 -päästötasolla enimmillään 9 metrin korkeudella ja Euro 4 -päästötasolla enimmillään 6 metrin korkeudella tienpinnan tasosta). Suunnitteluvaihtoehdolla VE0 Euro 3 -päästötasolla vuorokausiohjearvo ylittyy lisäksi erillistarkastelupisteissä 3–6 alimmalla tarkastelukorkeudella (12 metriä tienpinnan tasosta). Suunnitteluvaihtoehdolla VE0 Euro 4 -päästötasolla muissa erillistarkastelupisteissä vuorokausiohjearvo ei ylity.

Skenaariossa VE1 vuorokausiohjearvo ylittyy lähes kaikissa erillispisteissä molemmilla Euro 3 -päästötasolla laskettuna enimmillään 15 metrin korkeudella tienpinnan tasosta. Euro 4 -päästötasolla vuorokausiohjearvo ylittyisi ainoastaan erillispisteessä 1 enimmillään 9 metrin korkeudella tienpinnan tasosta.



Kuva Y. Pienhiukkaspitoisuuksien suhde vuorokausiohjeeseen (WHO, 25 µg/m³) Koskelan varikon erillistarkastelupisteissä (kuva F) vaihtoehdossa VE1 Euro 3 -päästötasolla laskettuna.



Kuva Z. Pienhiukkaspitoisuuksien suhde vuorokausiohjeeseen (WHO, 25 µg/m³) Koskelan varikon erillistarkastelupisteissä (kuva F) vaihtoehdossa VE1 Euro 4 -päästötasolla laskettuna.

6 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä selvityksessä arvioitiin leviämismallilaskelmin liikenteen päästöjen vaikutusta Koskelan raitiovaunuvarikon alueen ilmanlaatuun, erityisesti raitiovaunuvarikon kattotason päälle suunniteltujen asuinrakennusten osalta. Mallilaskelmat tehtiin Koskelan varikon kaavamuutoksen ja alueen suunnittelun tueksi. Selvityksessä tarkasteltiin kahta eri tulevaisuuden skenaariota: VE0 liikennejärjestelyt pysyvät ennallaan ja VE1 Hakamäentien tunneli rakennettaisiin ja tunnelin itäosan suuaukko tulisi Kustaa Vaasan tielle Koskelan raitiovaunuvarikon välittömään läheisyyteen (50 % tunnelin päästöistä oletettiin ohjattavan ilmastointihormin kautta ulos ja 50 % päästöistä vapautuvan tunnelin suuaukkojen kautta). Päästöt laskettiin nykytilanetta edustavilla autoliikenteen ajoneuvotyypikohtaisilla ja nopeusriippuvaisilla päästökertoimilla (Euro 3) ja sekä vastaavilla uudempaa ajoneuvokantaa edustavilla (Euro 4) päästökertoimilla. Laskelmat tehtiin käyttäen vuoden 2035 liikennemääräennusteita. Leviämislaskelmat tehtiin Ilmatieteen laitoksella kehitetyllä viivalähdemallilla (CAR-FMI).

Epäpuhtauksien pitoisuuksia ulkoilmassa säädellään ilmanlaadun ohje- ja raja-arvoilla. Ilmanlaadun ohjearvot 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 ohjearvoja sitovampia, eivätkä ne saa ylittyä alueella, joilla asuu tai oleskelee ihmisiä. Esimerkiksi autoliikenteelle varatuilla väylillä raja-arvot eivät kuitenkaan ole voimassa.

Mallilaskelmien tulosten mukaan typpidioksidipitoisuuden vuosiraja-arvo ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ylittyy väylien lisäksi skenaariossa VE1 (tunneli rakennettu) tunnelin suuaukon läheisyydessä Euro 3 -päästötasolla enimmillään 20 metrin säteellä ja Euro 4 -päästötasolla enimmillään 15 metrin säteellä tunnelin suuaukosta raitiovaunuvarikon suuntaan. Skenaariossa VE1 Euro 3-päästötasolla typpidioksidipitoisuuden vuosiraja-arvo ei ylity erillistarkastelupisteissä millään korkeudella.

Koskelan Varikon ympäristössä typpidioksidipitoisuuden vuorokausiohjearvo ylittyy Euro 3 -päästötasolla VE0 skenaariossa pisteissä 1 ja 6 varikon kattotason korkeudella, mutta ei enää siitä ylöspäin mentäessä. Euro 4 -päästötasolla laskettuna vuorokausiohjearvo ei ylity skenaariossa VE0. Skenaariossa VE1 typpidioksidin vuorokausiohjearvo ($70 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ylittyy tai on ohjearvotasolla erillistarkastelupisteissä 1 ja 4–6 alimpien tarkastelukorkeuksien osalta (enimmillään 15 metrin korkeudella tienpinnan tasosta pisteissä 4–6). Typpidioksidin vuorokausiohjearvon ylittyminen on yleistä kantakaupungin pääkatujen ympäristössä. Esimerkiksi HSY:n Vallilassa sijaitsevassa ilmanlaadun mittauspisteessä typpidioksidin vuorokausiohjearvo on ylittynyt vuonna 2011 helmi- ja huhtikuussa (HSY, 2012).

Pienhiukkasten vuosikeskiarvopitoisuudet alittavat selvästi vuosiraja-arvon skenaariossa VE0. Tilanteessa, jossa tunneli rakennettaisiin (VE1), pitoisuudet voivat ylittää mallilaskelmien mukaan vuosiraja-arvon tunnelin suuaukolla ja sen välittömässä läheisyydessä. Laskelmien mukaan raja-arvo ei ylittyisi raitiovaunuvarikon alueella. Erillistarkastelupisteissä vuosiraja-arvo ei ylity millään korkeudella kummallakaan suunnitteluvaihtoehdolla. WHO:n antama suosituksenomainen vuorokausiohjearvo $\text{PM}_{2,5}$ -hiukkasille ylittyy vilkasliikenteisten väylien varsilla yleisesti.

Näin tapahtuu mallilaskelmien mukaan myös Koskelan varikon alueella. Skenaariorissa VE1 vuorokausiohjearvo ylittyy lähes kaikissa erillispisteissä Euro 3 -päästötasolla laskettuna (enimmillään 12 metrin korkeudelle tienpinnan tasosta) ja Euro 4 -päästötasolla erillispisteessä 1 enimmillään 9 metrin korkeudella.

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 ennustetilanne. Tässä mallinnuksessa pahin tilanne on otettu huomioon käyttämällä vuoden 2035 liikennemääräennustetta ja nykytilannetta edustavaa päästötasoa (Euro 3). Todennäköistä on, että päästöt ja niiden aiheuttamat vaikutukset pienenevät tulevaisuudessa, kun ajoneuvojen moottoritekniikka kehittyy ja päästörajoitukset tiukkenevat. Näin ollen Euro 4 -päästötason tulokset vastaavat todennäköisesti paremmin vuoden 2035 tilannetta.

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

Mallilaskelmin saadut typpidioksidin vuorokausiohjearvoihin verrannolliset pitoisuudet ylittävät asetetun vuorokausiohjearvon tunnelin suuaukon läheisyydessä, ja myös erillistarkastelupisteessä 4–6 raitiovaunuvarikon kattotasolla. Näin ollen suositeltavaa olisi sijoittaa Koskelan raitiovaunuvarikon alueelle suunniteltuihin rakennuksiin keskitetty, koneellinen ilmanvaihto sekä rakennusten raittiin ilman sisäänotto mahdollisimman korkealle maanpintatasosta. Suositeltavaa olisi myös huomioida rakennusmassojen sijoittelussa se, etteivät raja- tai ohjearvot ylittyisi alueilla, jossa asuu ja oleskelee ihmisiä. Esimerkiksi parvekkeet ja muut oleskelutilat olisi hyvä sijoittaa mahdollisimman etäälle väylistä.

Raitiovaunuvarikon alueelle suunnitellut rakennukset sijaitsevat vilkkaasti liikennöityjen Kustaa Vaasan tien ja Koskelantien välittömässä läheisyydessä, ja osa niistä selvästi Kustaa Vaasan tien katutasoa korkeammalla. Mallilaskelmien tulosten mukaan typpidioksidipitoisuuden vuorokausiohjearvo ylittyy laajoilla alueilla tutkimusalueella ja WHO:n vuorokausiohjearvo pienhiukkaspitoisuuksille lähes koko tutkimusalueella. Tunneli parantaa ilmanlaatua erityisesti Koskelantien läheisyydessä, mutta heikentää ilmanlaatua tunnelin suuaukon ympäristössä ja varikkoalueen tunnelin puoleisella alueella. Väylän, tunnelin suuaukon ja varikkoalueen kannen välillä oleva korkeusero voi kuitenkin edesauttaa päästöjen leviämistä ja laimenemista.

Jos Koskelan varikkoalueelle suunnitellaan asuinrakennuksien sijoittamista, olisi suositeltavaa täydentää tehtyjä mallilaskelmia varikkoalueella tehtävillä ilmanlaadun mittauksilla.

VIITELUETTELO

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

HSY, 2012. Ilmanlaatu pääkaupunkiseudulla 2011. Helsingin seudun ympäristöpalvelut –kuntayhtymä.

ILMANLAATUPORTAALI, 2012. 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.

LAPPI, S., LOVÉN, K., RASILA, T. JA PIETARILA, H., 2008. Pääkaupunkiseudun päästöjen leviämismalliselvitys. Energiantuotannon, satamatoiminnan, laivaliikenteen, lentoliikenteen, lentoasematoiminnan ja autoliikenteen typenoksidi-, 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. Rikkidioksidi, 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.

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

VTT, 2011. 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.

LIITE 1. Pitoisuustaulukot

Taulukko 4. Typpidioksidin vuosiraja-arvoon ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) verrannolliset pitoisuudet Koskelan varikon erillistarkastelupisteissä eri korkeuksilla tienpinnasta Euro 3 -päästötasolla ja VE0 skenaariolla laskettuna.

korkeus tienpinnasta (m)	NO ₂ vuosikeskiarvo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)					
	piste 1	piste 2	piste 3	piste 4	piste 5	piste 6
3	28					
6	27					
9	25	27				
12	23	24	23	24	23	29
15	21	22	21	22	21	27
18	20	20	20	20	20	25
21	19	19	19	19	19	24
24	18	18	18	18	18	23
27	17	17	17	17	17	22
30	16	16	16	16	16	21
33	16	15	15	15	15	20

Taulukko 5. Typpidioksidin vuosiraja-arvoon ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) verrannolliset pitoisuudet Koskelan varikon erillistarkastelupisteissä eri korkeuksilla tienpinnasta Euro 4 -päästötasolla ja VE0 skenaariolla laskettuna.

korkeus tienpinnasta (m)	NO ₂ vuosikeskiarvo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)					
	piste 1	piste 2	piste 3	piste 4	piste 5	piste 6
3	25					
6	24					
9	22	24				
12	21	22	21	21	21	21
15	19	20	19	19	19	19
18	18	18	18	18	18	18
21	17	17	17	17	17	17
24	16	16	16	16	16	16
27	16	16	16	15	16	15
30	15	15	15	15	15	15
33	15	14	14	14	14	14

Taulukko 6. Typpidioksidin vuosiraja-arvoon ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) verrannolliset pitoisuudet Koskelan varikon erillistarkastelupisteissä eri korkeuksilla tienpinnasta Euro 3 -päästötasolla ja VE1 skenaariolla laskettuna.

korkeus tienpinnasta (m)	NO ₂ vuosikeskiarvo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)					
	piste 1	piste 2	piste 3	piste 4	piste 5	piste 6
3	27					
6	26					
9	24	27				
12	22	24	26	30	25	25
15	21	21	24	26	23	23
18	19	20	22	23	21	21
21	18	18	20	20	19	19
24	17	17	18	18	18	18
27	17	16	17	17	17	16
30	16	16	16	16	16	15
33	15	15	15	15	15	15

Taulukko 7. Typpidioksidin vuosiraja-arvoon ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) verrannolliset pitoisuudet Koskelan varikon erillistarkastelupisteissä eri korkeuksilla tienpinnasta Euro 4 -päästötasolla ja VE1 skenaariolla laskettuna.

korkeus tienpinnasta (m)	NO ₂ vuosikeskiarvo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)					
	piste 1	piste 2	piste 3	piste 4	piste 5	piste 6
3	24					
6	23					
9	22	24				
12	20	21	24	27	23	23
15	19	20	22	24	21	21
18	18	18	20	21	19	19
21	17	17	18	18	18	18
24	16	16	17	17	17	16
27	15	15	16	16	16	15
30	15	15	15	15	15	14
33	14	14	14	14	14	14

Taulukko 8. Typpidioksidin vuorokausiohjeeseen ($70 \mu\text{g}/\text{m}^3$) verrannolliset pitoisuudet Koskelan varikon erillistarkastelupisteissä eri korkeuksilla tienpinnasta Euro 3 -päästötasolla ja VE0 skenaariolla laskettuna. Punaisella taustalla on merkitty korkeudet, joilla raja- tai ohjearvo ylittyy.

korkeus tienpinnasta (m)	NO ₂ 2.korkein vuorokausipitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)					
	piste 1	piste 2	piste 3	piste 4	piste 5	piste 6
3	72					
6	67					
9	62	61				
12	57	57	58	59	60	73
15	54	53	55	56	55	68
18	51	51	52	53	53	65
21	49	49	50	50	51	62
24	47	47	48	48	49	60
27	46	45	46	46	47	58
30	44	44	44	45	45	56
33	43	43	43	43	43	54

Taulukko 9. Typpidioksidin vuorokausiohjeeseen ($70 \mu\text{g}/\text{m}^3$) verrannolliset pitoisuudet Koskelan varikon erillistarkastelupisteissä eri korkeuksilla tienpinnasta Euro 4 -päästötasolla ja VE0 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	piste 6
3	68					
6	61					
9	59	57				
12	55	55	54	56	54	56
15	52	52	52	52	52	51
18	50	50	51	50	50	50
21	48	48	49	49	49	48
24	47	46	47	47	47	47
27	45	45	45	46	46	46
30	44	43	44	44	44	44
33	42	42	42	42	43	43

Taulukko 10. Typpidioksidin vuorokausiohjarvoon ($70 \mu\text{g}/\text{m}^3$) verrannolliset pitoisuudet Koskelan varikon erillistarkastelupisteissä eri korkeuksilla tienpinnasta Euro 3 -päästötasolla ja VE1 skenaariolla laskettuna. Punaisella taustalla on merkitty korkeudet, joilla raja- tai ohjarvo ylittyy.

korkeus tienpinnasta (m)	NO ₂ 2.korkein vuorokausipitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)					
	piste 1	piste 2	piste 3	piste 4	piste 5	piste 6
3	68					
6	63					
9	56	57				
12	54	52	63	83	78	83
15	50	50	57	63	63	65
18	49	49	51	53	55	56
21	47	47	47	47	46	48
24	46	46	46	46	45	45
27	45	45	45	44	44	44
30	44	43	44	43	43	43
33	42	42	42	42	42	42

Taulukko 11. Typpidioksidin vuorokausiohjarvoon ($70 \mu\text{g}/\text{m}^3$) verrannolliset pitoisuudet Koskelan varikon erillistarkastelupisteissä eri korkeuksilla tienpinnasta Euro 4 -päästötasolla ja VE1 skenaariolla laskettuna. Punaisella taustalla on merkitty korkeudet, joilla raja- tai ohjarvo ylittyy.

korkeus tienpinnasta (m)	NO ₂ 2.korkein vuorokausipitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)					
	piste 1	piste 2	piste 3	piste 4	piste 5	piste 6
3	61					
6	57					
9	55	53				
12	52	49	57	74	70	75
15	48	48	52	58	58	59
18	47	47	47	49	50	50
21	46	46	45	45	45	45
24	45	45	44	44	44	44
27	44	44	43	43	43	43
30	43	43	42	42	42	42
33	42	41	42	41	41	41

Taulukko 12. Pienhiukkasten vuosiraja-arvoon ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$) verrannolliset pitoisuudet Koskelan varikon erillistarkastelupisteissä eri korkeuksilla tienpinnasta Euro 3 -päästötasolla ja VE0 skenaariolla laskettuna.

korkeus tienpinnasta (m)	PM _{2.5} vuosikeskiarvo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)					
	piste 1	piste 2	piste 3	piste 4	piste 5	piste 6
3	11					
6	11					
9	11					
12	11	11	11	11	11	11
15	10	10	10	10	10	10
18	10	10	10	10	10	10
21	10	10	10	10	10	10
24	10	10	10	10	10	10
27	10	10	10	10	10	10
30	10	10	10	10	10	10
33	9	9	9	9	9	9

Taulukko 13. Pienhiukkasten vuosiraja-arvoon ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$) verrannolliset pitoisuudet Koskelan varikon erillistarkastelupisteissä eri korkeuksilla tienpinnasta Euro 4 -päästötasolla ja VE0 skenaariolla laskettuna.

korkeus tienpinnasta (m)	PM _{2.5} vuosikeskiarvo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)					
	piste 1	piste 2	piste 3	piste 4	piste 5	piste 6
3	10					
6	10					
9	10					
12	10	10	10	10	10	10
15	10	10	10	10	10	10
18	10	10	10	10	10	10
21	10	10	10	10	10	10
24	9	9	9	9	9	9
27	9	9	9	9	9	9
30	9	9	9	9	9	9
33	9	9	9	9	9	9

Taulukko 14. Pienhiukkasten vuosiraja-arvoon ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$) verrannolliset pitoisuudet Koskelan varikon erillistarkastelupisteissä eri korkeuksilla tienpinnasta Euro 3 -päästötasolla ja VE1 skenaariolla laskettuna.

korkeus tienpinnasta (m)	PM _{2.5} vuosikeskiarvo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)					
	piste 1	piste 2	piste 3	piste 4	piste 5	piste 6
3	12					
6	11					
9	11					
12	11	11	11	12	11	11
15	10	10	11	11	11	11
18	10	10	11	11	10	10
21	10	10	10	10	10	10
24	10	10	10	10	10	10
27	10	10	10	10	10	10
30	10	10	10	10	10	10
33	9	9	9	9	9	9

Taulukko 15. Pienhiukkasten vuosiraja-arvoon ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$) verrannolliset pitoisuudet Koskelan varikon erillistarkastelupisteissä eri korkeuksilla tienpinnasta Euro 4 -päästötasolla ja VE1 skenaariolla laskettuna.

korkeus tienpinnasta (m)	PM _{2.5} vuosikeskiarvo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)					
	piste 1	piste 2	piste 3	piste 4	piste 5	piste 6
3	11					
6	11					
9	10					
12	10	10	11	11	10	10
15	lin10	10	10	10	10	10
18	10	10	10	10	10	10
21	10	10	10	10	10	10
24	10	10	10	10	10	10
27	9	9	10	9	9	9
30	9	9	9	9	9	9
33	9	9	9	9	9	9

Taulukko 16. Pienhiukkasten WHO:n vuorokausiohjeeseen ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$) verrannolliset pitoisuudet Koskelan varikon erillistarkastelupisteissä eri korkeuksilla tienpinnasta Euro 3 -päästötasolla ja VE0 skenaariolla laskettuna.

korkeus tienpinnasta (m)	PM _{2.5} korkein vuorokausipitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)					
	piste 1	piste 2	piste 3	piste 4	piste 5	piste 6
3	29					
6	27					
9	26					
12	25	25	25	25	26	26
15	24	24	24	24	25	25
18	22	23	23	23	23	23
21	21	22	22	22	22	22
24	21	21	21	21	21	21
27	20	20	20	20	20	20
30	19	19	19	19	19	19
33	18	19	19	19	19	19

Taulukko 17. Pienhiukkasten WHO:n vuorokausiohjeeseen ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$) verrannolliset pitoisuudet Koskelan varikon erillistarkastelupisteissä eri korkeuksilla tienpinnasta Euro 4 -päästötasolla ja VE0 skenaariolla laskettuna.


korkeus tienpinnasta (m)	PM _{2.5} korkein vuorokausipitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)					
	piste 1	piste 2	piste 3	piste 4	piste 5	piste 6
3	26					
6	25					
9	24					
12	23	23	24	24	24	24
15	23	23	23	23	23	23
18	22	22	22	22	23	22
21	21	21	21	21	22	22
24	20	20	20	20	21	21
27	19	19	20	20	20	20
30	18	19	19	19	19	19
33	18	18	18	18	18	18

Taulukko 18. Pienhiukkasten WHO:n vuorokausiohjeeseen ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$) verrannolliset pitoisuudet Koskelan varikon erillistarkastelupisteissä eri korkeuksilla tienpinnasta Euro 3 -päästötasolla ja VE1 skenaariolla laskettuna. Punaisella taustalla on merkitty korkeudet, joilla raja- tai ohjearvo ylittyy.

korkeus tienpinnasta (m)	PM _{2.5} korkein vuorokausipitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)					
	piste 1	piste 2	piste 3	piste 4	piste 5	piste 6
3	30					
6	28					
9	26					
12	24	24	26	29	29	32
15	23	23	23	23	24	25
18	22	22	22	23	23	23
21	21	21	21	22	22	22
24	20	20	21	21	21	21
27	19	20	20	20	20	20
30	19	19	19	19	19	19
33	18	18	18	18	18	18

Taulukko 19. Pienhiukkasten WHO:n vuorokausiohjeeseen ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$) verrannolliset pitoisuudet Koskelan varikon erillistarkastelupisteissä eri korkeuksilla tienpinnasta Euro 4 -päästötasolla ja VE1 skenaariolla laskettuna. Punaisella taustalla on merkitty korkeudet, joilla raja- tai ohjearvo ylittyy.

korkeus tienpinnasta (m)	PM _{2.5} korkein vuorokausipitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)					
	piste 1	piste 2	piste 3	piste 4	piste 5	piste 6
3	27					
6	26					
9	25					
12	23	23	24	24	24	24
15	22	22	23	23	23	23
18	22	22	22	22	22	22
21	21	21	21	21	21	21
24	20	20	20	20	21	21
27	19	19	19	20	20	20
30	18	19	19	19	19	19
33	18	18	18	18	18	18

A decorative graphic consisting of a solid blue wave shape that curves across the page. It is composed of multiple thin, parallel lines that create a sense of movement and depth. The wave starts on the left, dips, and then rises to the right, crossing the center of the page.

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