



ILMANLAATUSELVITYS

AUTOLIIKENTEN PÄÄSTÖJEN VAIKUTUS ILMANLAATUUN TAMPEREEN ITSENÄISYYDENKATU 7-9:N KORTTELIN ALUEELLA



ILMANLAATUSELVITYS

**Autoliikenteen päästöjen vaikutus ilmanlaatuun
Tampereen Itsenäisyydenkatu 7–9:n korttelin alueella**

**Emmi Laukkanen
Birgitta Komppula
Jatta Salmi**



**Ilmatieteen laitos – Asiantuntijapalvelut
Ilmanlaatu ja energia
Helsinki 30.7.2018**

SISÄLLYSLUETTELO

OSA I	4
1 JOHDANTO.....	4
2 LEVIÄMISMALLILASKELMIEN LÄHTÖTIEDOT.....	4
2.1 Tarkastelukohteen sijainti	4
2.2 Liikennemäärät ja päästölaskenta	6
2.3 Mallilaskelmissa käytetty meteorologia.....	11
3 LEVIÄMISMALLILASKELMIEN TULOKSET.....	12
3.1 Typpidioksidipitoisuudet (NO ₂).....	13
3.2 Pienhiukkaspitoisuudet (PM _{2,5}).....	15
4 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET	17
OSA II	20
5 TAUSTATIETOA ILMANLAADUSTA.....	20
5.1 Ilmanlaatuun vaikuttavat tekijät.....	20
5.2 Typpidioksidi.....	20
5.3 Hiukkaset.....	21
5.4 Ilmansaasteiden terveysvaikutukset	23
6 ULKOILMANLAADUN RAJA- JA OHJEARVOT	23
7 LEVIÄMISMALLILASKELMIEN YLEISKUVAUS.....	24
7.1 Liikenteen päästölaskenta	27
VIITELUETTELO	29

OSA I

1 JOHDANTO

Tässä tutkimuksessa arvioitiin leviämismallilaskelmin autoliikenteen päästöjen vaikutusta ilmanlaatuun Tampereen Tammelan kaupunginosassa osoitteessa Itsenäisyydenkatu 7–9 sijaitsevan korttelin alueella. Ilmanlaatuselvitys tehtiin kaavamuutoksen tueksi: mallilaskelmin arvioitiin täyttääkö alueen uusi asemakaavasuunnitelma ilmanlaadulle terveysperusteisesti asetetut ohje- ja raja-arvot.

Tutkimuksessa tarkasteltiin ulkoilman typpidioksidin (NO₂) ja pienhiukkasten (PM_{2,5}) pitoisuuksia autoliikenteen nopeusriippuvaisilla ajoneuvotyyppi- ja EURO-päästöluokkakohtaisilla päästökertoimilla kahdessa eri skenaariossa: nykytilanteessa ja vuotta 2040 edustavassa ennusteskenaariossa. Pitoisuudet laskettiin suunniteltujen asuinrakennusten pihakannen ja julkisivujen pisteisiin. Tässä työssä on käytetty nykytilanteen päästöskenaariossa vuodelle 2020 ennakoituja liikennemääriä aivan kohteen lähialueille ja vuoden 2016 ajoneuvokannan EURO-päästöluokkajakaumaa. Tulevan tilanteen päästöskenaariossa on käytetty vuodelle 2040 ennustettuja liikennemääriä sekä vuodelle 2030 ennustettua EURO-päästöluokkajakaumaa. Tulevaisuuden autoliikenteen päästöjen ennustamiseen sisältyy useita epävarmuustekijöitä. Mallinnuksessa ei otettu huomioon liikenteen ruuhkautumista, vaan liikennevirran oletettiin etenevän tasaista nopeutta nopeusrajoituksen mukaan.

Liikenteen päästöjen aiheuttamat typpidioksidi- ja pienhiukkaspitoisuudet laskettiin Ilmatieteen laitoksella liikenteen päästöjen leviämisen mallintamiseen kehitetyllä leviämismallilla (CAR-FMI).

Ilmanlaatuselvityksen tilasi Tampereen Opiskelija-asuntosäätiö sr TOAS. Mallilaskelmien lähtötiedot toimitti WSP Finland Oy sekä Arkkitehtitoimisto Neva Oy. Päästöjen leviämismallilaskelmat tehtiin Ilmatieteen laitoksen Asiantuntijapalvelut -yksikössä.

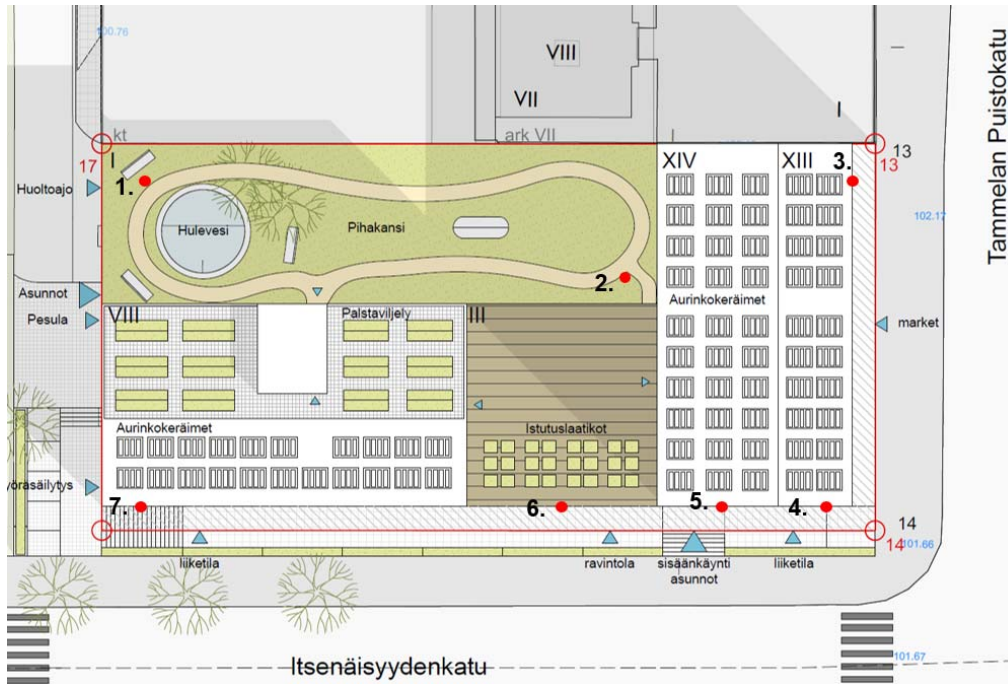
2 LEVIÄMISMALLILASKELMIEN LÄHTÖTIEDOT

2.1 Tarkastelukohteen sijainti

Tutkimuksessa tarkasteltiin autoliikenteen pakokaasupäästöjen ilmanlaatuvaikutuksia Tampereen Tammelassa sijaitsevan Itsenäisyydenkatu 7–9 korttelin alueella päästöjen leviämismallilaskelmien avulla. Kortteli sijaitsee Tammelan puistotien ja Itsenäisyydenkadun risteyksessä. Suunnitelmien mukaan kortteliin sijoitettaisiin nykyisen toimisto- ja liiketiloista koostuvan rakennuksen tilalle uusi rakennus, johon on suunniteltu liiketiloja katutasoon, asuinhuoneistoja liiketilojen yläpuolelle ja oleskelutiloja pihakannelle. Kuvassa 1 on esitetty kortteli nykytilanteessa sekä havainnekuva rakennuksen tulevasta suunnitelmista. Kuvassa 2 on esitetty ilmanlaatuselvityksen tarkastelupisteiden sijainnit pihakannella ja julkisivuilla, joihin mallinnettiin ulkoilman epäpuhtauksien pitoisuudet.



Kuva 1. Tampereen Itsenäisyydenkatu 7–9 sijaitsee Tammelan kaupunginosassa Itsenäisyydenkadun ja Tammelan puistikadun risteyksessä. Ylemmässä kuvassa on esitetty kortteli nykytilanteessa ja alemmassa havainnekuva suunnitellusta rakennuksesta (Havainnekuva: Arkkitehtitoimisto Neva Oy).



Kuva 2. Kuvassa on merkitty punaisilla pisteillä ilmanlaadun tarkastelupisteet pihakannella (1.–2.) ja rakennusten julkisivuilla (3.–7.) eri korkeuksilla (Kuva: Arkkitehtitoimisto Neva Oy).

2.2 Liikennemäärät ja päästölaskenta

Mallilaskelmin tarkasteltiin nykyisen tieverkoston kahta eri autoliikenteen päästötilannetta: nykytilannetta ja tulevaa vuoden 2040 ennustetilannetta (Taulukko 1). Nykytilanteen päästölaskennassa (VE0) käytettiin nykytilannetta (vuosi 2016) ja vuotta 2020 edustavia liikennemääriä. Tulevassa tilanteessa käytettiin vuodelle 2040 ennustettuja liikennemääriä (VE1). Liikenteen päästöt laskettiin ja mallinnettiin tiekohtaisina viivalähteinä noin 3 km etäisyydeltä tutkimuskohteesta. Liikenneväylää kuvattiin peräkkäisinä lyhyinä viivoina, joista jokaisesta vapautuu ympäristöönsä erikseen laskettavan suuruisen päästö. Tieverkon liikenteen päästöt laskettiin Ilmatieteen laitoksella keskimääräisten vuorokausiliikennemäärien (KVL), ajoneuvojakauman, ajonopeuksien, raskaan liikenteen osuuksien ja liikenteen tuntikohtaisen vaihtelun perusteella.

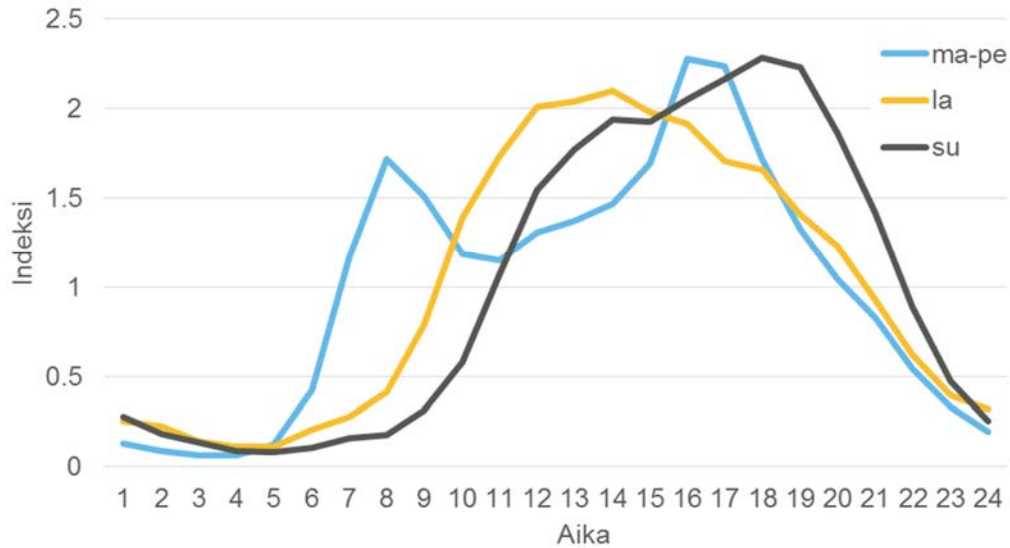
Autoliikenteen pakokaasupäästöjen leviämislaskelmat tehtiin käyttäen Euroopan ympäristöviraston (*European Environmental Agency, EEA*) määrittämiä nopeudesta ja ajoneuvojen EURO-päästöluokista riippuvia ajoneuvotyyppikohtaisia päästökertoimia (*EEA, 2017*). Ajoneuvojen jakaumana käytettiin nykytilanteessa Suomen vuoden 2016 ajoneuvojen EURO-päästöluokittaisia ajosuoriteosuuksia VTT:n julkaiseman liikenteen päästöjen laskentajärjestelmän mukaisesti (*VTT, 2018*). Luokittelu kertoo, miten paljon vuodessa ajetaan kuhunkin eri päästöluokkaan kuuluvilla ajoneuvoilla. Tulevan tilanteen skenaariossa käytettiin vuoden 2030 päästöluokittaisia suoriteosuuksia. VTT:n ennuste on saatavilla vain vuoteen 2030 asti. Tieosuuksien raskaan liikenteen osuudet ja tiekohtaiset nopeusrajoitukset oletettiin olevan samat molemmissa laskentaskenaarioissa.

Taulukko 1. Leviämismallilaskelmien tarkasteluvaihtoehdot.

	Nykytilanne	Ennuste 2040
	VE0	VE1
Liikennemäärien tarkasteluvuosi Tammelan alueella	2020	2040
Liikennemäärien tarkasteluvuosi muualla Tampereella	2016	2040
Ajoneuvojen ajosuoritteiden EURO-päästöluokkajakauman tarkasteluvuosi	2016	2030

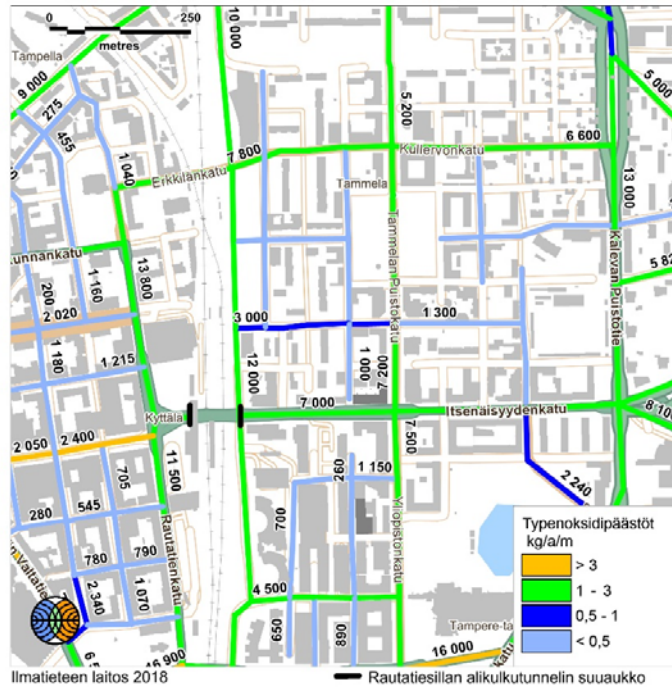
Tulevaisuuden autoliikenteen päästöjen ennustamiseen sisältyy useita epävarmuustekijöitä. Todennäköistä on, että päästöt ja niiden aiheuttamat vaikutukset pienenevät tulevaisuudessa nykytilanteeseen verrattuna, kun ajoneuvojen moottoritekniikka kehittyy ja päästörajoitukset tiukkenevat. On kuitenkin mahdollista, ettei VTT:n tuottama ennuste vuodelle 2030 toteudu täysimääräisenä ja autokannan uudistuminen on ennustettua hitaampaa. Liikennemäärien ennustevuoteen 2040 on kuitenkin vielä 10 vuotta aikaa ajoneuvokannan suoriteosuuksien ennustevuodesta, joten ennusteen tuottama päästötaso voi olla mahdollista saavuttaa. Kuvissa 18 ja 19 (raportin osassa II) on esitetty koko Suomen ajoneuvokannan keskimääräiset nopeusriippuvat päästökertoimet eri vuosille 2016–2030. Päästökertoimen pieneneminen vuodesta 2016 vuoteen 2030 selittyy autokannan uusiutumisella ja sillä, että uusilla vähäpäästöisillä ajoneuvoilla ajetaan suurempi osa ajosuoritteesta. Kuvista 19 nähdään, että ajoneuvokannan muutoksilla ennustetaan olevan merkittävä päästöjä vähentävä vaikutus jo vuosina 2020 ja 2025.

Päästöjen ajallista vaihtelua kuvattiin liikennelaskennoista saatujen liikennemäärien vaihteluiden avulla. Liikennemäärinä käytettiin Liikenneviraston ylläpitämän VT3:n varrella Tampereen Sarankulmassa sijaitsevan liikenteen automaattisen mittausaseman aineistoa vuoden 2018 toukokuulta. Aineistosta hyödynnettiin päästölaskelmissa päivittäinen tuntivaihtelu eri viikonpäivinä sekä lauantain ja sunnuntain liikennemäärien suhde verrattuna arkipäiviin (kuva 3).

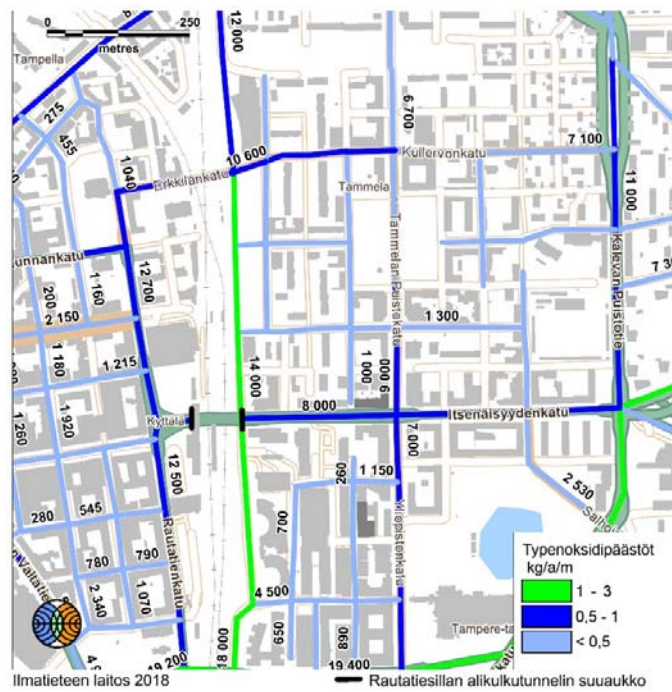


Kuva 3. Liikennemäärien tunneittainen vaihtelu tarkastelualueella eri viikonpäivinä (indeksillä kuvattuna).

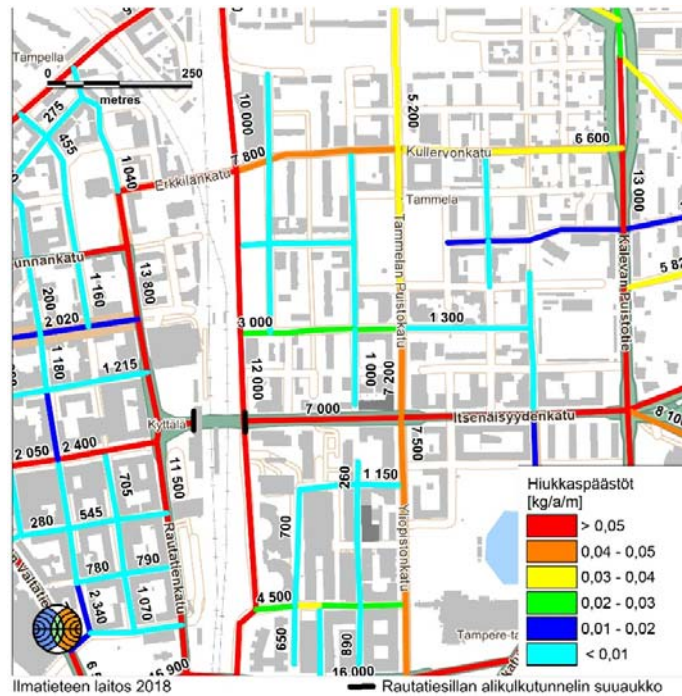
Kuvissa 4–7 on esitetty keskimääräiset vuorokausiliikennemäärät (KVL) Tampereella tutkimuskohteen ympäristössä ja liikenneväyläkohtaisesti lasketut pakokaasuperäiset typenoksidi- ja pienhiukkaspäästöt (kg/a/m) nykytilanteessa ja tulevassa tilanteessa. Nykytilannetta edustavassa skenaariossa VE0 Itsenäisyydenkadulla kulkisi keskimäärin 7 000 ajoneuvoa vuorokaudessa ja tulevaa tilannetta edustavassa skenaariossa noin 8 000 ajoneuvoa vuorokaudessa. Tammelan puistokadulla liikennemäärä olisi nykytilanteessa 7 200 ja tulevassa tilanteessa 9 000 ajoneuvoa/vrk. Liikenneennusteissa on huomioitu mm. raitiotien käyttöönotto Itsenäisyydenkadulla. Liikenteen päästölaskennassa on otettu huomioon Itsenäisyydenkadulla sijaitseva rautatiet alittava tunneli. Liikennevirran nopeus Itsenäisyydenkadulla ja Tammelan puistokadulla on 40 km/h. Liikenteen oletetaan olevan sujuvaa. Mikäli liikenteen nopeus olisi suunniteltua nopeusrajoitusta matalampi tai liikenne ruuhkautuisi, liikenteen päästöt kasvaisivat.



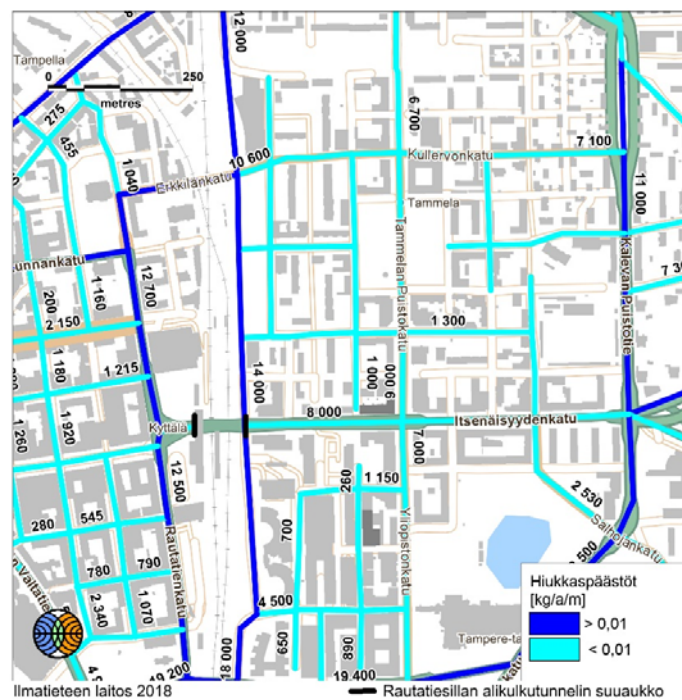
Kuva 4. Tampereen Tammelan alueen liikenteen typenoksidipäästöt (kg/a/m) sekä keskimääräiset vuorokausiliikennemäärät (KVL, ajoneuvoa/vrk) nykytilanteessa, tarkasteluskenaario VE0.



Kuva 5. Tampereen Tammelan alueen liikenteen typenoksidipäästöt (kg/a/m) sekä keskimääräiset vuorokausiliikennemäärät (KVL, ajoneuvoa/vrk) tulevassa tilanteessa, tarkasteluskenaario VE1.



Kuva 6. Tampereen Tammelan alueen liikenteen hiukkaspäästöt (kg/a/m) sekä keskimääräiset vuorokausiliikennemäärät (KVL, ajoneuvoa/vrk) nykytilanteessa, tarkasteluskenaario VE0.



Kuva 7. Tampereen Tammelan alueen liikenteen hiukkaspäästöt (kg/a/m) sekä keskimääräiset vuorokausiliikennemäärät (KVL, ajoneuvoa/vrk) tulevassa tilanteessa, tarkasteluskenaario VE1.

Tieliikenteen päästöjen lisäksi mallilaskelmissa on huomioitu alueellinen typpidioksidin, otsonin ja pienhiukkasten taustapitoisuus HSY:n Espoon Luukissa sijaitsevan ilmanlaadun mittausaseman mittaustuloksista. Luukin tausta-asema edustaa leviämismallin lähtötiedoksi tarvittavaa suuren kaupungin läheisyydessä sijaitsevaa tausta-asemaa, jonka pitoisuuksien voidaan katsoa edustavan myös Tamperetta tausta-asemana. Tausta-asemalta saadaan typenoksidien muutunnan kuvaamista varten tarvittava otsonin ja typenoksidien pitoisuus kaupungin ulkopuolella ennen paikallisten päästöjen aiheuttamaa otsonin ja typenoksidien ilmakemiallista muutunutta. Suomen pienhiukkaspitoisuuksista suuri osa johtuu kaukokulkeumasta, jolloin pitoisuuserot eivät ole Uudenmaan ja Pirkanmaan välillä suuret. Typpidioksidin taustapitoisuuden vuosikeskiarvo tarkastelujaksolla 2015–2017 Luukissa oli enimmillään noin $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja pienhiukkasten noin $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja otsonin $49 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

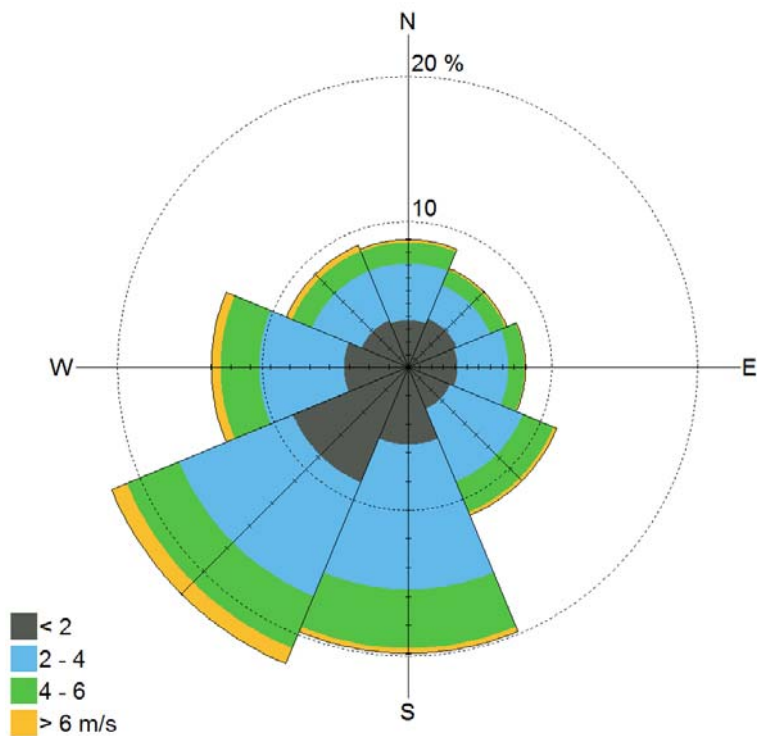
Typpidioksidin, otsonin ja pienhiukkasten taustapitoisuuksina käytettiin pitoisuuksien kuukausittain laskettuja tunneittaisia keskiarvoja, joilla pyrittiin kuvaamaan taustapitoisuuksien vuorokauden sisäistä ja vuodenajoittaista vaihtelua (*Ilmanlaatuportaali, 2018*). Typenoksidipäästöjen muutunnan kuvaamiseen käytettiin otsonihavaintoja. Leviämismallilaskelmissa oletettiin autoliikenteen typenoksidipäästöistä (NO_x) olevan keskimäärin 20 % typpidioksidia (NO_2) ennen muutunutta (*Anttila, ym., 2011*).

2.3 Mallilaskelmissa käytetty meteorologia

Leviämismallin tarvitseman meteorologisen aikasarjan muodostuksessa käytettiin Ilmatieteen laitoksella kehitettyä meteorologisten tietojen käsittelymallia, joka perustuu ilmakehän rajakerroksen parametrisointimenetelmään (*Karppinen, 2001*). Menetelmän avulla voidaan meteorologisten rutiinihavaintojen ja fysiikan perusyhtälöiden avulla arvioida rajakerroksen tilaan vaikuttavat muuttujat, joita tarvitaan päästöjen leviämismallilaskelmissa. Menetelmässä huomioidaan tutkimusalueen paikalliset tekijät, kuten leviämisalustan rosoisuus ja vuodenaikaiset albedoarvot (maanpinnan kyky heijastaa auringon säteilyä) eri maanpinnan laaduille.

Laskelmissa käytettiin kolmen vuoden pituista tutkimusalueen sääolosuhteita edustavaa meteorologista aineistoa. Laskelmissa käytettäväksi sääasemiksi valittiin tutkimusaluetta edustavimmat sääasemat, joilla mitataan kaikkia mallin tarvitsemia sääsuureita. Säähavainto- ja luotausaineistot täyttävät WMO:n ja ICAO:n laatuvaatimukset. Tuulen suunta- ja nopeustiedot muodostettiin kahden sääaseman havaintojen etäisyyspainotettuna tilastollisena yhdistelmänä. Lopputuloksena saatiin leviämismalleissa tarvittavien meteorologisten tietojen tunnittaiset aikasarjat.

Tutkimusalueen ilmastollisia olosuhteita edustava meteorologinen aikasarja muodostettiin Tampere-Pirkkalan lentoaseman sekä Tampereen Härmälän ja Siilinkarin sääasemien havaintotiedoista vuosilta 2015–2017. Sekoituskorkeuden määrittämiseen käytettiin Jokioisten luotauhavaintoja. Tuulen suunta- ja nopeusjakauma tutkimusalueella on esitetty kuvassa 8. Tutkimusalueella etelä- ja lounaistuulet ovat vallitsevia, kun taas itä- ja koillistuulia esiintyy vähemmän.



Kuva 8. Keskimääräinen tuulen suunta- ja nopeusjakauma Tampereella vuosina 2015–2017. Tuulitiedot kuvaavat olosuhteita 10 metrin korkeudella maan pinnasta.

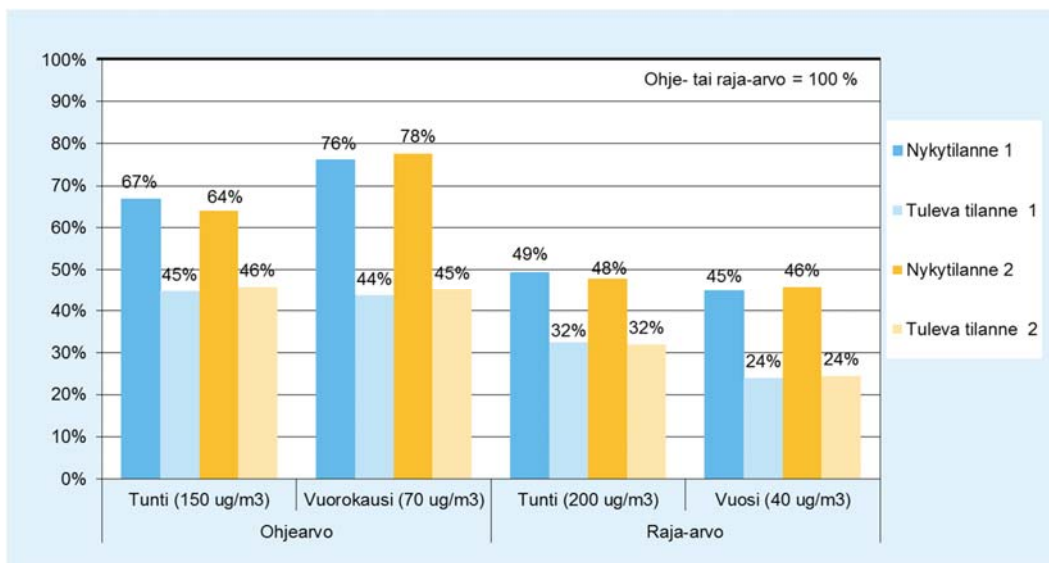
3 LEVIÄMISMALLILASKELMIEN TULOKSET

Mallilaskelmien tuloksina saadut typpidioksidi- ja pienhiukkaspitoisuudet on esitetty kaavioina, joissa ilman epäpuhtauksien pitoisuuksia verrataan ilmanlaatulainsäädännössä ihmisten terveyden suojelemiseksi annettuihin ohje- ja raja-arvoihin sekä WHO:n ohjearvoon.

Vuosikeskiarvopitoisuus kuvaa alueen keskimääräistä ja vallitsevaa ilman epäpuhtauspitoisuustasoa parhaiten. Kaavioissa esitetyt vuosikeskiarvopitoisuudet kuvaavat kolmen vuoden tarkastelujakson (vuodet 2015–2017) korkeinta vuosikeskiarvoa kussakin tarkastelupisteessä. Hetkelliset pitoisuudet voivat nousta vuosikeskiarvopitoisuuksia huomattavasti korkeammiksi. Mallinnettuihin lyhytaikaispitoisuuksiin sisältyy enemmän epävarmuutta kuin vuosikeskiarvopitoisuuksiin ja lyhytaikaispitoisuuksiin vaikuttavat voimakkaammin yksittäiset meteorologiset tilanteet. Kaavioissa esitetyt vuorokausiohjearvoon verrannolliset pitoisuudet kuvaavat kolmen vuoden tarkastelujakson (vuodet 2015–2017) korkeinta vuorokausiohjearvoon verrannollista pitoisuutta kussakin laskentapisteessä.

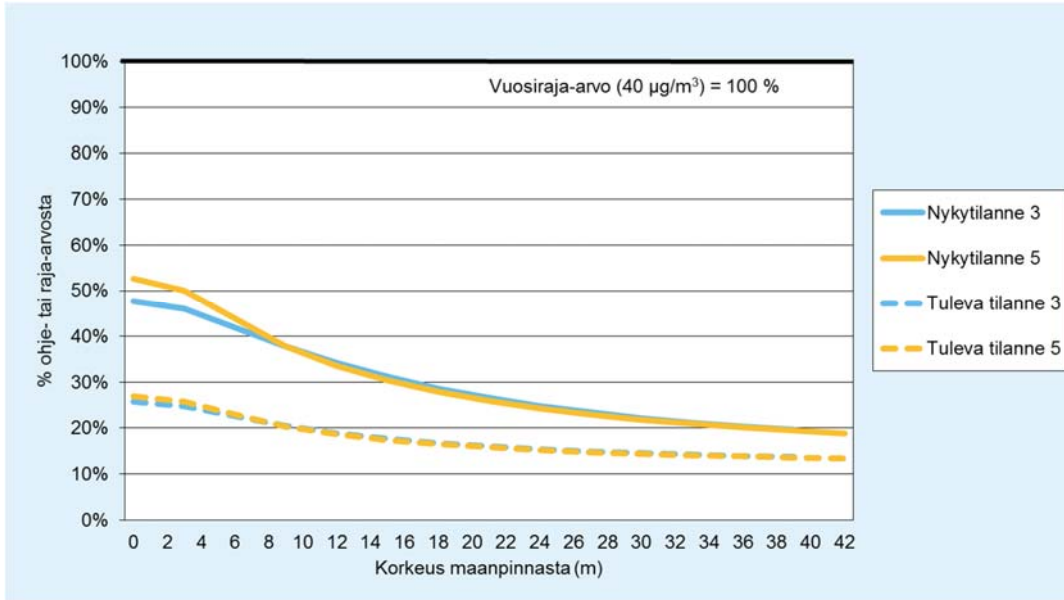
3.1 Typpidioksidipitoisuudet (NO₂)

Leviämismallilaskelmien tuloksina saadut ulkoilman typpidioksidipitoisuudet ilmanlaadun tarkastelupisteissä Itsenäisyydenkatu 7–9 korttelin alueella on esitetty kuvissa 9–11. Kuvassa 9 on esitetty oleskelupihalle lasketut ohje- ja raja-arvoihin verrannolliset pitoisuudet. Tulevan tilanteen skenaariossa typpidioksidipitoisuudet ovat nykytilannetta matalampia. Laskelmien mukaan kummassakin skenaariossa typpidioksidin ohje- ja raja-arvot alittuvat.

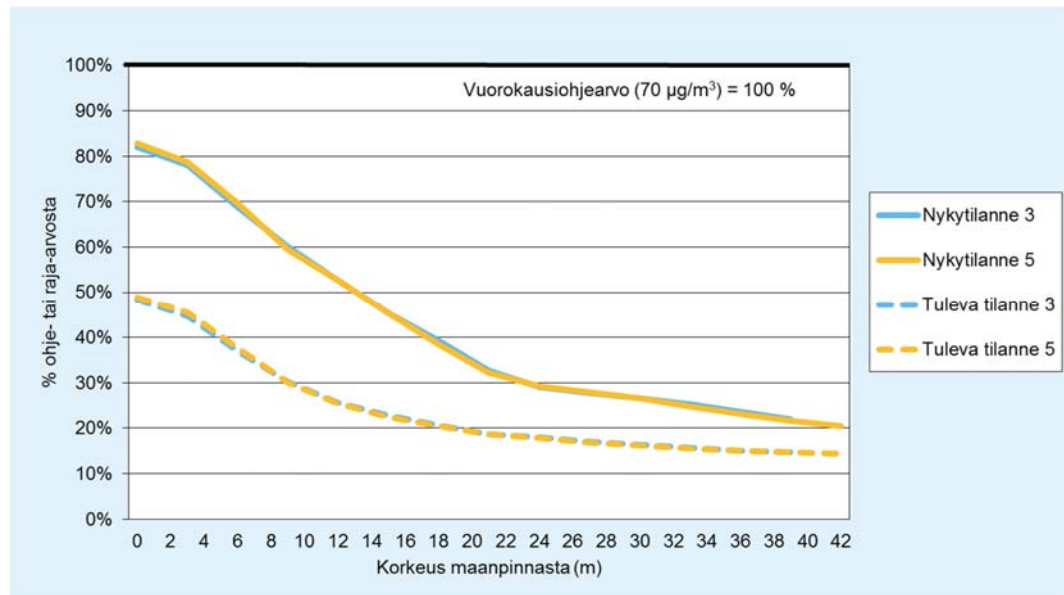


Kuva 9. Typpidioksidipitoisuudet (NO₂) suhteessa ilmanlaadun ohje- ja raja-arvoihin nykytilanteessa (tummemmat pylväät) ja tulevassa tilanteessa (vaaleammat pylväät) Itsenäisyydenkatu 7–9 korttelin oleskelupihan tarkastelupisteissä 1 & 2.

Kuvissa 10 ja 11 on esitetty Itsenäisyydenkadun puoleisen tarkastelupisteen 5. ja Tammen puistikadun puoleisen tarkastelupisteen 3. typpidioksidipitoisuudet suhteessa ohje- ja raja-arvoihin eri korkeuksilla maanpinnasta. Pitoisuudet ovat kaikissa Itsenäisyydenkadun julkisivun tarkastelupisteissä (4.–7.) samalla tasolla kuin tarkastelupisteessä 5., joka sijaitsee korttelin korkeimman rakennuksen kohdalla, joten kuvissa esitetään vain tarkastelupisteen 5. tulokset. Kuvissa esitetyt typpidioksidin vuosiraja-arvo ja vuorokausiohje-arvo ylittyvät tuntiraja-arvoa ja tuntiohje-arvoa herkemmin. Autoliikenteen päästöjen vaikutus ulkoilman typpidioksidipitoisuuksiin on suurin hengityskorkeudella. Päästöjen sekoittumisen ja laimenemisen vuoksi pitoisuudet pienenevät sekä korkeammalle noustessa että kuljettaessa etäämmälle tiestä. Hetkelliset typpidioksidipitoisuudet voivat nousta vuosikeskiarvopitoisuuksia huomattavasti korkeammiksi. Laskelmien mukaan typpidioksidille annetut ohje- tai raja-arvot eivät ylitä Itsenäisyydenkadun tulevan asuinrakennuksen tarkastelupisteissä kummassakaan tarkasteluskenaariossa.



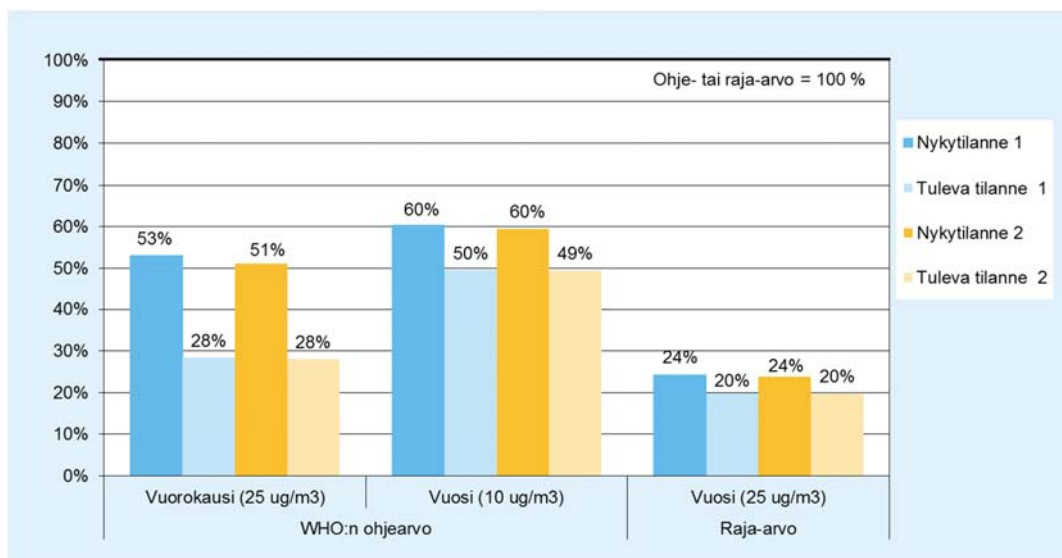
Kuva 10. Typpidioksidipitoisuuden (NO_2) korkein vuosikeskiarvo suhteessa vuosiraja-arvoon nykytilanteessa (yhtenäinen viiva) ja tulevassa tilanteessa (katkoviiva) Itsenäisyydenkatu 7–9 korttelin julkisivujen tarkastelupisteissä 3 ja 5 eri korkeuksilla maanpinnasta.



Kuva 11. Typpidioksidin (NO_2) korkein vuorokausiohjeeseen verrannollinen pitoisuus suhteessa vuorokausiohjeeseen nykytilanteessa (yhtenäinen viiva) ja tulevassa tilanteessa (katkoviiva) Itsenäisyydenkatu 7–9 korttelin julkisivujen tarkastelupisteissä 3 ja 5 eri korkeuksilla maanpinnasta.

3.2 Pienhiukkaspitoisuudet (PM_{2,5})

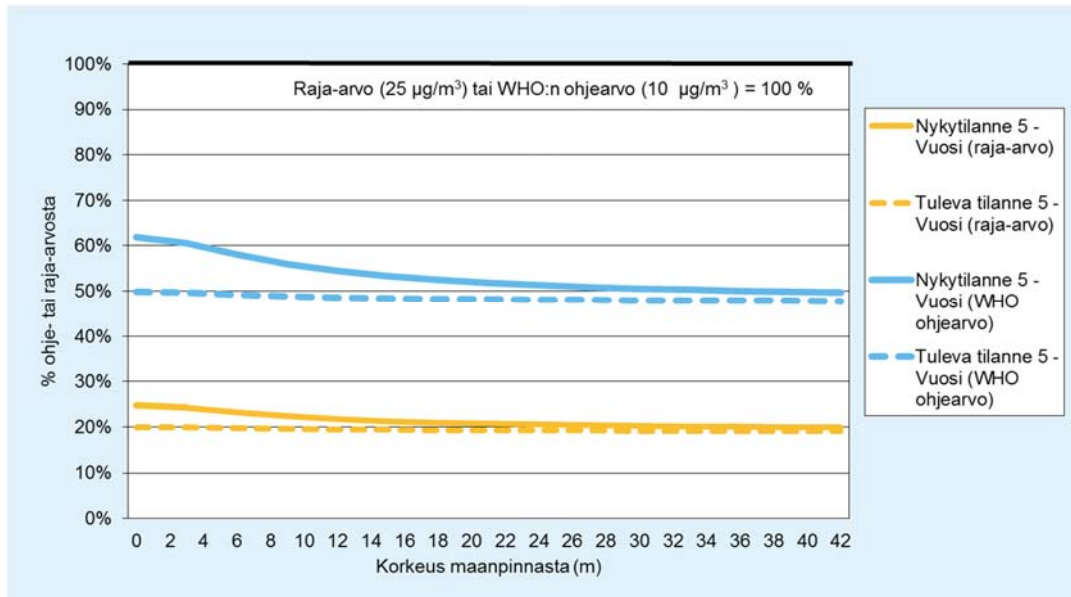
Leviämismallilaskelmien tuloksina saadut ulkoilman pienhiukkaspitoisuudet ilmanlaadun tarkastelupisteissä Itsenäisyydenkatu 7–9 korttelin alueella on esitetty kuvissa 12–14. Kuvassa 12 on esitetty oleskelupihalle lasketut ohje- ja raja-arvoihin verrannolliset pitoisuudet. Tulevan tilanteen skenaariossa pienhiukkaspitoisuudet ovat nykytilannetta matalampia. Pienhiukkaspitoisuuden vuosiraja-arvo (25 µg/m³) alittuu kummallakin tarkasteluvaihtoehdolla. Myös WHO:n suosituksenomainen vuosiohjearvotaso (10 µg/m³) alittuu.



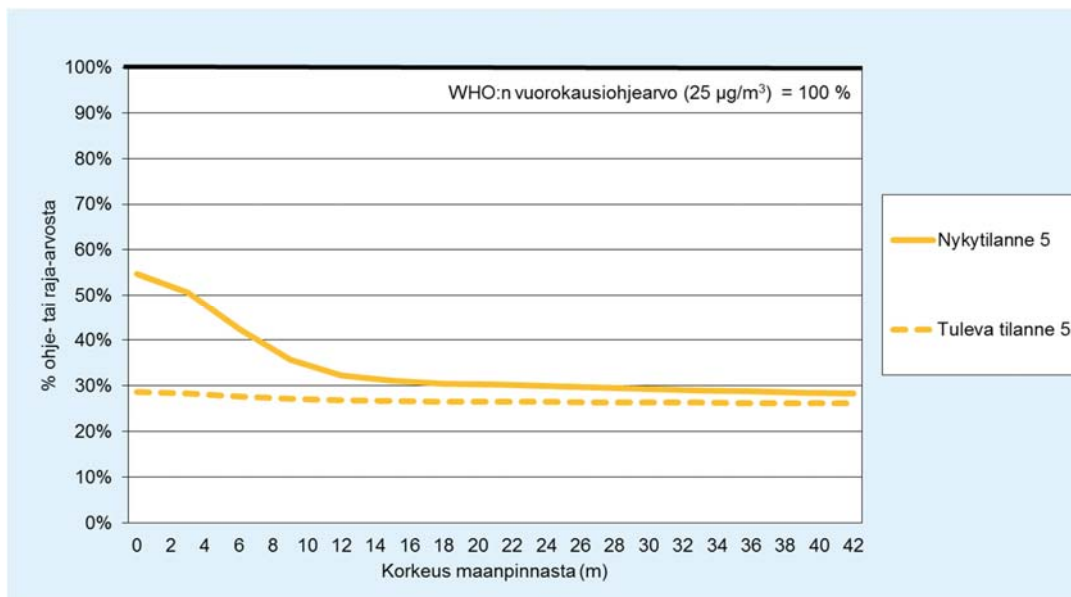
Kuva 12. Pienhiukkaspitoisuudet (PM_{2,5}) suhteessa raja-arvoon ja WHO:n ohjearvoihin nykytilanteessa (tummemmat pylväät) ja tulevassa tilanteessa (vaaleammat pylväät) Itsenäisyydenkatu 7–9 korttelin oleskelupihan tarkastelupisteissä 1 & 2.

Kuvissa 13 ja 14 on esitetty tarkastelupisteen 5. pitoisuudet suhteessa raja-arvoon ja WHO:n ohjearvoihin. Pienhiukkaspitoisuudet kaikissa Itsenäisyydenkadun ja Tammen puistikadun julkisivujen tarkastelupisteissä (3.–7.) ovat samalla tasolla kuin tarkastelupisteessä 5, joka sijaitsee korttelin korkeimman rakennuksen kohdalla. Autoliikenteen päästöjen vaikutus ulkoilman pienhiukkaspitoisuuksiin on suurin hengityskorkeudella. Päästöjen sekoittumisen ja laimenemisen vuoksi pitoisuudet pienenevät sekä korkeammalle noustessa että kuljettaessa etäämmälle tiestä. Hetkelliset pitoisuudet voivat nousta vuosikeskiarvopitoisuuksia korkeammiksi.

WHO:n määrittelemä ohjearvo on suosituksenomainen eikä ole osa Suomen ilmansuojelulainsäädäntöä. Pitoisuuksia verrataan WHO:n ohjearvoon, koska pienhiukkasten lyhytaikaispitoisuuksille ei ole Suomessa voimassaolevaa ohje- tai raja-arvoa. Laskelmien mukaan pienhiukkasille annetut terveysperustaiset ohje- tai raja-arvot eivät ylitä Itsenäisyydenkadun tulevan asuinrakennuksen tarkastelupisteissä kummassakaan tarkasteluskenaariossa.



Kuva 13. Pienhiukkaspitoisuuden ($\text{PM}_{2.5}$) korkein vuosikeskiarvo suhteessa vuosiraja-arvoon ja WHO:n vuosiohjeeseen nykytilanteessa (yhtenäinen viiva) ja tulevassa tilanteessa (katkoviiva) Itsenäisyydenkatu 7–9 korttelin julkisivun tarkastelupisteessä 5 eri korkeuksilla maanpinnasta.



Kuva 14. Pienhiukkasten ($\text{PM}_{2.5}$) korkein vuorokausipitoisuus suhteessa WHO:n vuorokausiohjeeseen nykytilanteessa (yhtenäinen viiva) ja tulevassa tilanteessa (katkoviiva) Itsenäisyydenkatu 7–9 korttelin julkisivun tarkastelupisteessä 5 eri korkeuksilla maanpinnasta.

Pienhiukkaspitoisuuksien melko pieni vaihtelu johtuu siitä, että suurin vaikutus pienhiukkaspitoisuustasoihin Suomessa on alueellisella taustapitoisuudella. Autoliikenteen päästöt aiheuttavat muutaman mikrogramman paikallisen lisän pienhiukkasten kokonaispitoisuuksien vuosikeskiarvoon vilkkaiden teiden varsilla.

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

Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin mallintamalla vain pienhiukkaspitoisuuksia ($PM_{2,5}$). On mahdollista, että pienhiukkasia kooltaan suurempien hengitettävien hiukkasten pitoisuudet (PM_{10}) voivat epäedullisissa meteorologisissa olosuhteissa ylittää niiden vuorokausipitoisuudelle asetetun ohjearvon tai raja-arvotason tarkastellulla tutkimusalueella. Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet kohoavat etenkin katupölykaudella vilkkaasti liikennöityjen väylien läheisyydessä. Katupölyä esiintyy tyypillisesti keväällä maaliskuussa ennen hiekoitushiekkojen puhdistusta sekä loppusyksystä talvirengaskauden alettua. Myös pienhiukkaspitoisuudet voivat hetkellisesti nousta korkeiksi näiden katupölyepisodien aikana. Katupölyn ja korkeiden hiukkaspitoisuuksien muodostumiseen voidaan merkittävästi vaikuttaa katujen talvikunnossapidolla sekä oikea-aikaisella katujen siivouksella ja pölynsidonnalla.

4 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä selvityksessä arvioitiin leviämismallilaskelmin autoliikenteen päästöjen vaikutusta ilmanlaatuun Tampereen Tammelan kaupunginosan Itsenäisyydenkatu 7–9:n korttelin alueella. Ilmanlaatuselvitys toteutettiin korttelin kaavamutoksen tueksi. Tutkimuksessa tarkasteltiin ulkoilman typpidioksidin (NO_2) ja pienhiukkasten ($PM_{2,5}$) pitoisuuksia korttelin pihakannen ja julkisivujen tarkastelupisteissä. Leviämismallilaskelmat tehtiin Ilmatieteen laitoksella liikenteen päästöjen leviämisen mallintamiseen kehitetyllä leviämismallilla (CAR-FMI).

Ilmanlaadun leviämismallinnus on tehty käyttäen parasta mahdollista olemassa olevaa tietoa. Lähtökohtana ovat olleet nykyisen ja tulevan tilanteen ennusteen mukaiset liikennemäärät sekä nykyisen ja tulevan tilanteen mukainen ajoneuvokanta. Taustapitoisuudet ja meteorologinen aineisto on koostettu nykyhetken mukaan, vuosien 2015–2017 mittaushavainnoista. Tulevaisuuden autoliikenteen päästöjen ennustamiseen sisältyy useita epävarmuustekijöitä. Todennäköistä on, että päästöt ja niiden aiheuttamat vaikutukset pienenevät tulevaisuudessa vaikka liikennemäärät alueella kasvavatkin voimakkaasti, kun ajoneuvojen moottoritekniikka kehittyä ja päästörajoitukset tiukenevat. Huomionarvoista on, että moottoritekniikan kehitys ei vaikuta katupölyn muodostukseen ja hengitettävien hiukkasten kohonneisiin pitoisuuksiin liikenneympäristössä. Hengitettävien hiukkasten pitoisuuksia ei arvioitu tässä työssä.

Itsenäisyydenkadun keskimääräiset liikennemäärät (KVL) olivat nykytilanteessa 7 000 ajoneuvoa vuorokaudessa ja tulevassa tilanteessa 8 000 ajoneuvoa vuorokaudessa. Liikenne-ennusteessa on huomioitu raitiotien käyttöönotto Itsenäisyydenkadulla.

Raskaan liikenteen osuuksien ja tieosuuksien nopeusrajoitusten oletettiin olevan tulevassa tilanteessa nykytilanteen mukaiset ja liikenteen oletettiin olevan sujuvaa kaikilla tieosuuksilla.

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 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.

Korkeimmat typpidioksidin ja pienhiukkasten pitoisuudet havaitaan tyypillisesti vilkkaasti liikennöidyillä väylillä ja niiden lähiympäristössä sekä risteysalueilla. Päästöjen sekoittumisen ja laimenemisen vuoksi pitoisuudet pienenevät, kun etäisyys liikenneväylistä kasvaa sekä maanpinnan tasossa että ylöspäin mentäessä. Vuosikeskiarvopitoisuudet kuvaavat keskimääräistä ilman epäpuhtauspitoisuustasoa parhaiten. Hetkelliset pitoisuudet voivat nousta vuosikeskiarvopitoisuuksia huomattavasti korkeammiksi. Mallinnettuihin lyhytaikaispitoisuuksiin sisältyy kuitenkin enemmän epävarmuutta kuin vuosipitoisuuksiin ja lyhytaikaispitoisuuksiin vaikuttavat voimakkaasti yksittäiset leviämisen kannalta epäedulliset meteorologiset tilanteet. Huomionarvoista on, että suurimman osan ajasta epäpuhtauspitoisuudet ovat pienempiä kuin mallilaskelmissa saadut korkeimmat pitoisuudet. Mikäli liikenteen nopeus on suunniteltua nopeusrajoitusta matalampi tai liikenne ruuhkautuu, liikenteen päästöistä aiheutuvat pitoisuudet ovat suuremmat kuin tässä mallilaskelmassa saadut pitoisuudet.

Mallilaskelmien tulosten mukaan typpidioksidipitoisuuden ohje- ja raja-arvot alittuvat nykytilanteessa ja tulevan tilanteen skenaariossa korttelin asuinrakennusten kohdalla hengityskorkeudella ja rakennusten julkisivuilla kattotasolle asti. Pitoisuudet ovat korkeimmillaan hengityskorkeudella ja ne pienenevät ylöspäin mentäessä. Pienhiukkasten vuosikeskiarvopitoisuudet alittavat vuosiraja-arvon $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ korttelin kaikissa tarkastelupisteissä kaikilla korkeuksilla kummallakin tarkasteluvaihtoehdolla. Myös WHO:n ohjearvo pienhiukkaspitoisuuksien vuorokausikeskiarvolle ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$) alittuu. Tulevan tilanteen skenaariossa liikenteen päästöistä johtuvat pitoisuudet olisivat enää pieni lisäys pienhiukkasten kokonaispitoisuuteen. Kaukokulkeumaepisodien aikana pienhiukkaspitoisuuden WHO:n vuorokausiohjearvo ylittyy helposti koko Suomessa. WHO:n määrittelemä ohjearvo on suosituksenomainen eikä ole osa Suomen ilmansuojelulainsäädäntöä.

Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin mallintamalla hiukkasista vain pienhiukkaspitoisuuksia ($\text{PM}_{2,5}$). On mahdollista, että pienhiukkasia kooltaan suurempien hengitettävien hiukkasten pitoisuudet (PM_{10}) voivat epäedullisissa meteorologisissa olosuhteissa ylittää niiden vuorokausipitoisuudelle asetetun ohjearvon tai raja-arvotason tarkastellulla tutkimusalueella. Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet kohoavat etenkin katupölykaudella vilkkaasti liikennöityjen väylien läheisyydessä.

Johtopäätökset

Tehtyjen mallilaskelmien perusteella voidaan todeta, että tieliikenteen pakokaasupäästöistä aiheutuvat ilman epäpuhtauksien pitoisuudet eivät ylitä nykytilanteessa Tampereen Tammelan kaupunginosan Itsenäisyydenkatu 7–9:n korttelin alueella ilmanlaadun terveysperustaisia ohje- tai raja-arvoja. Autoliikenteen päästökehityksen ennustamiseen liittyy paljon epävarmuuksia, mutta joka tapauksessa autokanta kehittyy jatkuvasti uudempaan ja vähäpäästöisempään suuntaan. Mikäli autokanta kehittyy Suomessa VTT:n ennusteen mukaan, autoliikenteestä aiheutuvat pitoisuudet alueella jäävät tulevaisuudessa hyvin pieniksi vuoden 2040 ennustetuilla liikennemäärillä.

OSA II

5 TAUSTATIETOA ILMANLAADUSTA

5.1 Ilmanlaatuun vaikuttavat tekijät

Ilmanlaatu heikentävien ilmansaasteiden suurimpia päästölähteitä Suomessa ovat liikenne, energiantuotanto, teollisuus ja puun pienpoltto. Ilmansaasteita kulkeutuu Suomeen myös kaukokulkeutuneina maamme rajojen ulkopuolelta. Ilmansaasteiden päästöistä suurin osa vapautuu ilmakehän alimpaan kerrokseen, jota kutsutaan ilmakehän rajakerrokseksi. Rajakerroksessa päästöt sekoittuvat ympäröivään ilmaan ja ilmansaasteiden pitoisuudet laimenevat. Päästöt voivat levitä liikkuvien ilmassaallojen 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), kuivalaskeutuneina erilaisille pinoille tai kemiallisen muutoksen kautta.

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

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

5.2 Typpidioksidi

Typhen yhdisteitä vapautuu päästölähteistä ilmaan typhen 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 tynninä 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.

Typpidioksidin vuosikeskiarvopitoisuudet ovat suurimmissa kaupungeissa keskimäärin 20–30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Viikkaimmilla teillä ja katukuiluosuuksilla pitoisuudet voivat olla lähellä vuosiraja-arvoa 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Pienissä ja keskisuurissa kaupungeissa typpidioksidin vuosikeskiarvot ovat yleensä noin 10–20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Komppula *ym.*, 2014). Typpidioksidin tuntipitoisuudet voivat kohota yli raja-arvotason (200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) suurimpien kaupunkien vilkkaasti liikennöidyillä keskusta-alueilla muutamia kertoja vuodessa (Ilmanlaatuportaali, 2018). Ylitystunteja saa olla vuodessa 18 kpl, ennen kuin raja-arvo katsotaan ylittyneeksi. Puhtailla tausta-alueilla typpidioksidin vuosikeskiarvot ovat olleet Etelä-Suomessa noin 2–6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ja Pohjois-Suomessa noin 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

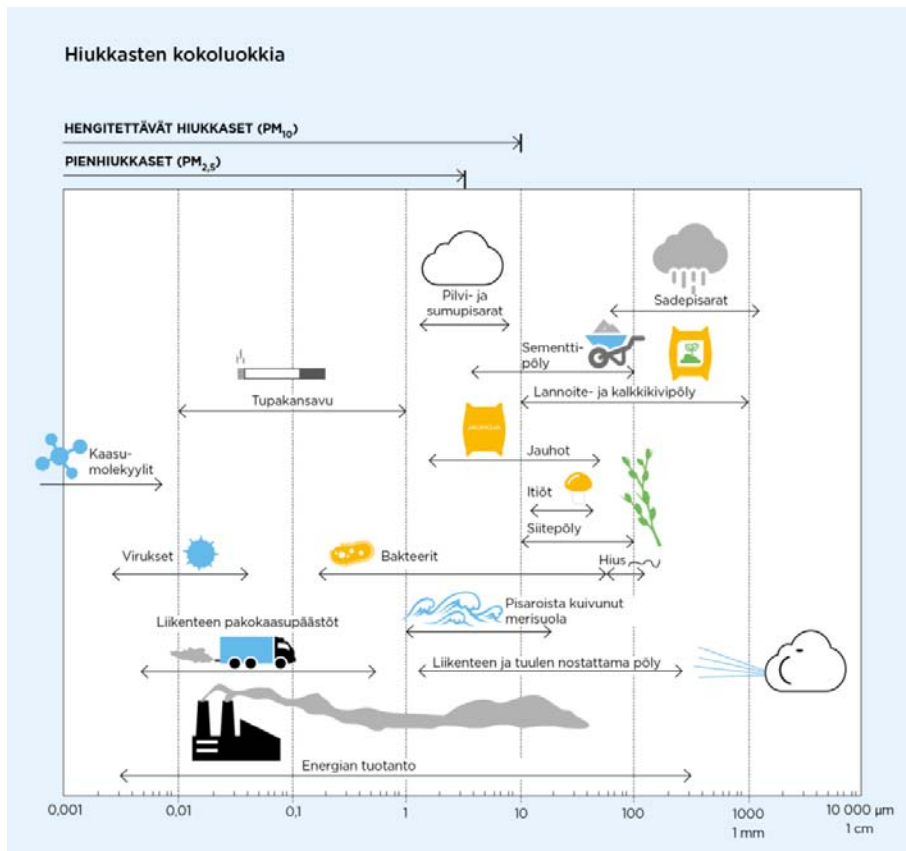
5.3 Hiukkaset

Ulkoilman hiukkaset ovat nykyisin merkittävimpiä ilmanlaatuun vaikuttavia tekijöitä Suomen kaupungeissa. Pienhiukkasia pidetään haitallisimpana ilmaperäisenä ympäristötekijänä ihmisten terveydelle. Ulkoilman hiukkaset ovat taajamissa suurelta osin peräisin liikenteen ja tuulen nostattamasta katupölystä (ns. resuspensio) eli epäsuorista päästöistä. Hiukkaspitoisuuksia kohottavat myös ihmisperäiset suorat hiukkaspäästöt, jotka ovat peräisin energiantuotannon ja teollisuuden prosesseista, autojen pakokaasuista ja puun pienpoltosta. Nämä 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 hiekoitushiekka 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 Kuva 15.

Suurimmat hiukkaspitoisuudet esiintyvät vilkkaasti liikennöidyissä kaupunki-keskustoissa. Suomessa hiukkaspitoisuudet kohoavat yleensä voimakkaasti keväällä maaliskuuhun, kun maanpinnan kuivuessa tuuli ja liikenne nostattavat katupölyä ilmaan. Liikenteen vaikutukset korostuvat matalan päästökorkeuden vuoksi. Hengitettävälle hiukkasille annettu vuorokausiohjearvo (70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) ylittyy keväisin yleisesti Suomen kaupungeissa samoin kuin vuorokausipitoisuuksille asetettu raja-arvotaso (50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Vuorokausiraja-arvotason ylityksiä saa olla kullakin asemalla 35 kappaletta vuodessa, ennen kuin raja-arvo katsotaan ylittyneeksi. Katupölyn

muodostumiseen voidaan merkittävästi vaikuttaa oikea-aikaisella katujen siivouksella ja kunnossapidolla sekä pölynsidonnalla.



Kuva 15. Hiukkasten kokoluokkia. Hiukkasten koko ilmaistaan halkaisijana mikrometreissä (μm). Mikro (μ) etuliite tarkoittaa miljoonasosaa. 1 μm on siten metrin miljoonasosa eli millimetrin tuhannesosa.

Maamme suurimpien kaupunkien keskusta-alueilla on mitattu useina vuosina yli $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$:n hengitettävien hiukkasten pitoisuuden vuosikeskiarvoja. Hengitettävien hiukkasten vuosipitoisuudelle annettu raja-arvo $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ on alittunut Suomessa. Pääkaupunkiseudulla mitatut hengitettävät hiukkasten vuosikeskiarvopitoisuudet ovat olleet suurimmillaan tasoa $25\text{--}30 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Pienempienkin kaupunkien keskusta-alueilla hengitettävien hiukkasten pitoisuuden vuosikeskiarvot voivat ylittää $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Komppula ym., 2014). Puhtailla tausta-alueilla vuosikeskiarvopitoisuudet ovat olleet Etelä-Suomessa noin $9\text{--}12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja Pohjois-Suomessa noin $3\text{--}6 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Pienihiukkaspitoisuuden ($\text{PM}_{2.5}$) vuosikeskiarvolle määritetty raja-arvo $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ alittuu kaikkialla Suomessa. Korkeimmillaan vuosipitoisuus on ollut Helsingin vilkkaasti liikennöidyillä keskusta-alueilla noin $12\text{--}14 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Maaseututausta-alueilla pitoisuustaso on Etelä-Suomessa noin $7\text{--}10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Keski-Suomessa noin $4\text{--}7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja Pohjois-Suomessa noin $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Pitoisuuserot erityyppisten mittausympäristöjen välillä ovat melko pieniä: kaupunkiympäristön päästölähteet kohottavat vuositasolla pitoisuuksia liikenneympäristöissä noin $3\text{--}4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja kaupunkitausta-alueilla noin

1–2 µg/m³ taustapitoisuuksista. Pienhiukkasten taustapitoisuudesta valtaosa on kaukokulkeutunutta hiukkasainesta. Kaukokulkeuma muodostaa huomattavan osan myös kaupunki-ilman pienhiukkaspitoisuuksista (*Alaviippola ja Pietarila, 2011*).

5.4 Ilmansaasteiden terveysvaikutukset

Ilmansaasteiden terveyshaitat ovat seurausta altistumisesta ulkoilmassa oleville haitallisille aineille. Altistuminen on sitä suurempaa mitä korkeampia hengitysilman pitoisuudet ovat ja mitä kauemmin ihminen hengittää saastunutta ilmaa. Pitkäaikainen altistuminen ilmansaasteille on terveysvaikutusten kannalta haitallisempaa kuin lyhytaikainen altistuminen.

Ilmansaasteiden arvioidaan aiheuttavan Suomessa noin 1 600 ennenaikaista kuolemantapausta vuodessa (*Hänninen ym. 2016*). Lisäksi ilmansaasteet aiheuttavat haittoja lisääntyneen sairastamisen takia. Haitalliset vaikutukset ilmenevät siitä huolimatta, että ilmanlaadun raja- tai ohjearvot eivät Suomessa ylity laajassa mitassa. Terveyshaitat aiheutuvat suurelta osin pienhiukkasista ja pienemmältä osin hengitettävistä hiukkasista sekä typpidioksidista. Yksilöiden herkkyys ilmansaasteille vaihtelee. Herkkiä väestöryhmiä ovat kaikenikäiset astmaatit, ikääntyneet sepelvaltimotautia ja keuhkohtaumatautia sairastavat sekä lapset. Talvisin pakkasen voi pahentaa ilmansaasteista aiheutuvia oireita.

Tieteellinen näyttö pienhiukkasten haitallisista terveysvaikutuksista on erittäin laaja. Hiukkaset kulkeutuvat ilman mukana kaikkiin osiin hengitysteitä, jolloin ne aiheuttavat sekä suoria vaikutuksia keuhkoissa että siirtyvät osin verenkiertoon ja edelleen kehon muihin osiin kuten sydänlihakseen ja aivoihin. Hiukkaset lisäävät sydän- ja verenkiertoelimestön sairauksia ja lisäävät kuolleisuutta. Muiden ilmansaasteiden vaikutukset ovat myös vakavia mutta niiden kansanterveydelliset haitat ovat pienhiukkasiin verrattuna vähäisempiä.

6 ULKOILMANLAADUN 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 Taulukko 2 raja-arvoja alueilla, joilla ihmiset saattavat altistua ilmansaasteille.

Taulukko 2. Terveyshaittojen ehkäisemiseksi annetut ulkoilman typpidioksidin ja pienhiukkasten pitoisuuksia koskevat raja-arvot (Vna 79/2017).

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

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

²⁾ Tulokset ilmaistaan ulkoilman lämpötilassa ja paineessa.

Ilmanlaadun ohjearvot on otettava huomioon suunnittelussa ja niitä sovelletaan mm. alueiden käytön, kaavoituksen, rakentamisen ja liikenteen suunnittelussa ja ympäristölupaharkinnassa. Ohjearvojen soveltamisen avulla pyritään ehkäisemään ilmansaasteiden aiheuttamia terveysvaikutuksia. Suomessa voimassa olevat ulkoilman typpidioksidin pitoisuuksia koskevat ilmanlaadun ohjearvot on esitetty taulukossa Taulukko 3. Lisäksi taulukossa esitetään WHO:n suosituksenomaiset ohjearvot pienhiukkasten vuorokausipitoisuudelle ja vuosipitoisuudelle (WHO, 2006).

Taulukko 3. Ulkoilman typpidioksidin ja pienhiukkasten pitoisuuksia koskevat ilmanlaadun ohjearvot (Vnp 480/1996, WHO, 2006).

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

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

²⁾ WHO

7 LEVIÄMISMALLILASKELMIEN YLEISKUVAUS

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.

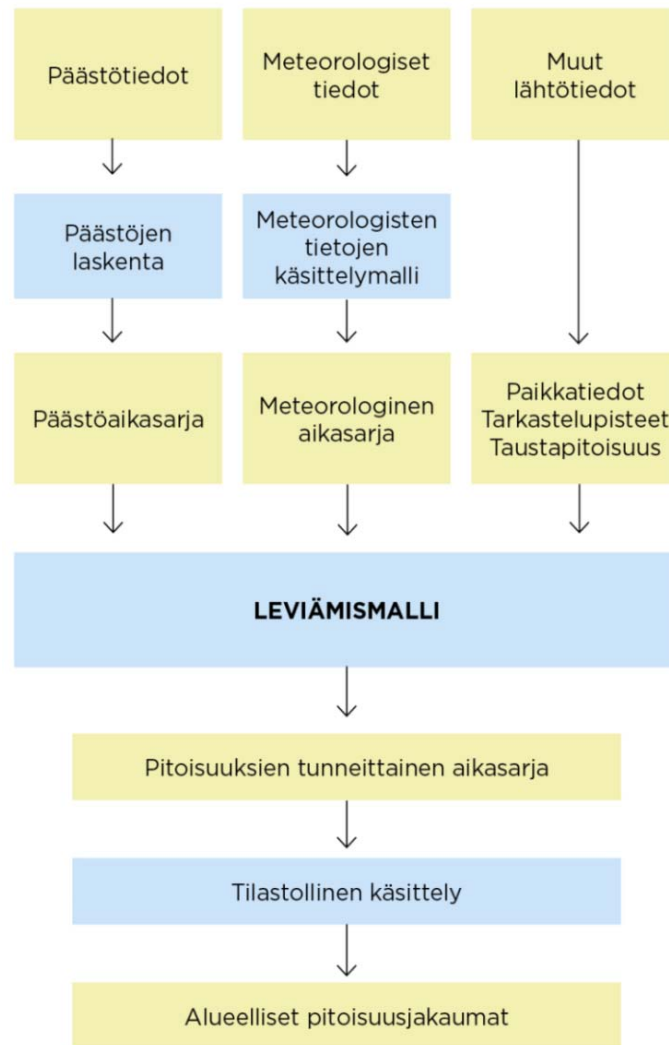
Ilmatieteen laitoksen leviämismalleja on kehitetty pitkäjänteisesti yli kolmenkymmenen vuoden ajan tavoitteena tuottaa luotettavaa tietoa ilmanlaadusta erityisesti Suomen olosuhteissa mm. kaupunki- ja liikennesuunnittelun ja ilmansuojelutoimenpiteiden suunnittelun tueksi sekä pitoisuuksien ja väestön 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 Kuva 16.

Leviämismallien lähtötiedoiksi tarvitaan tietoja päästöistä ja niiden lähteistä, mittaamalla 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 ajoneuvokohtaiset nopeusriippuvaiset päästökertoimet. Pistemäisten lähteiden päästöjen laskennassa otetaan huomioon lähdekohtaiset päästöt, savukaasujen ominaisuudet ja laitoksen tekniset tiedot. Leviämislaskelmia varten muodostetaan kaikille eri päästölähteille päästöaikasarjat, joissa on jokaiselle tarkastelujakson tunnille (1–3 vuotta, 8 760–26 304 tuntia) laskettu päästö määrä erikseen eri ilmansaasteille.

Leviämismallin tarvitseman meteorologisen aikasarjan muodostuksessa käytetään Ilmatieteen laitoksella kehitettyä meteorologisten tietojen käsittelymallia, joka perustuu ilmakehän rajakerroksen parametrisointimenetelmään (*Rantakrans, 1990; Karppinen, 2001*). Menetelmän avulla voidaan meteorologisten 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 16. Kaaviokuva Ilmatieteen laitoksella kehitetyn leviämismallin CAR-FMI toiminnasta.

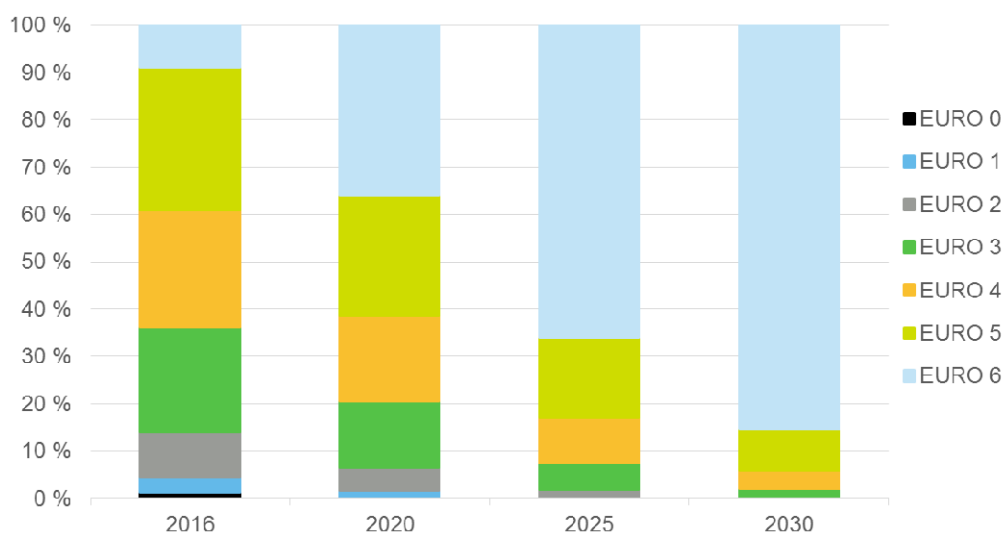
Leviämismallit laskevat ilmansaasteiden pitoisuuksia tarkastelujakson jokaiselle tunnille laskentapisteikköön, joka muodostetaan kullekin tutkimusalueelle sopivaksi. Mallin tuottamasta tunneittaisesta pitoisuusajaksarjasta lasketaan edelleen ilmanlaadun raja- ja ohjearvoihin verrannollisia tilastollisia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

7.1 Liikenteen päästölaskenta

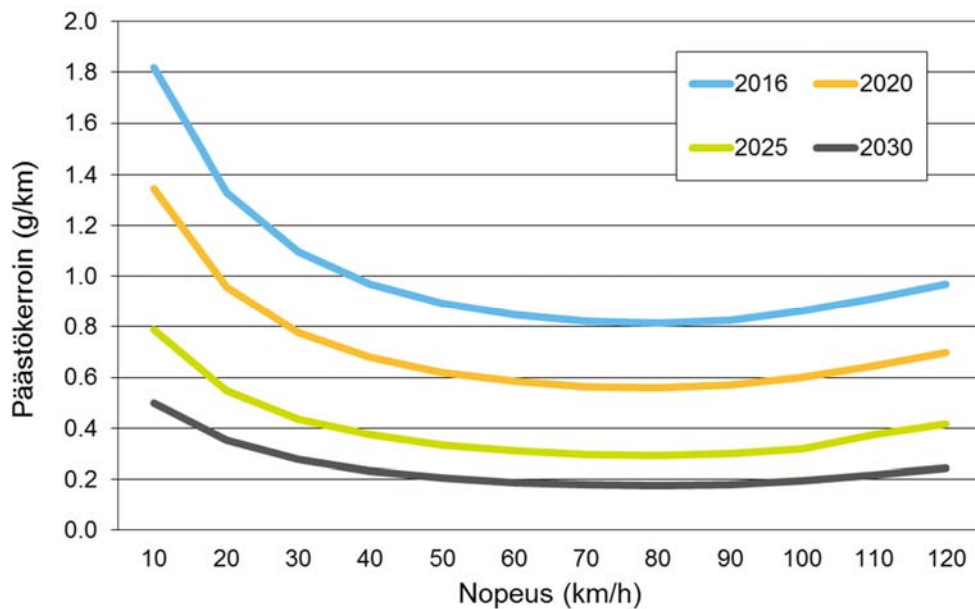
Liikenteen päästölaskennan pohjatietona sovelletaan Euroopan ympäristöviraston määrittämiä tieliikenteen päästökertoimia (EEA, 2017). Nämä päästökertoimet riippuvat ajoneuvojen moottoriteknologiasta ja EURO-päästöluokista sekä ajonopeudesta. Kertoimet on määritetty yksityiskohtaisesti eri ajoneuvotyypeille, niiden katu- ja maantieajolle tasaiselle nopeudella ja ruuhka-aikaan suoritettavalle ajolle. Näistä kertoimista on tätä työtä varten keskiarvoistettu Suomen ajoneuvokantaa edustavat kertoimet.

Suomen autokantaa edustavat EURO-päästöluokittaiset ajosuoriteosuudet on esitetty VTT:n julkaiseman liikenteen laskentajärjestelmä LIPASTO:n ALIISA-autokantamallissa. Tämä malli tarjoaa vuosittain päivittyvät nykytilannetta edustavat arvot (nyt käytössä vuosi 2016) ja ennusteet vuosille 2020, 2025 ja 2030 koko Suomen autokannan EURO-päästöluokittaisille ajosuoriteosuuksille (kuva 17). Ennusteet pohjautuvat Liikenneviraston ja VTT:n ennusteisiin ajosuoritejakaumista ja autokannan kehityksestä. Ne edustavat perustilannetta, jossa otetaan huomioon vain jo päätetyt autokannan kehitykseen vaikuttavat valtakunnantason toimenpiteet (esim. muutokset verotuksessa).

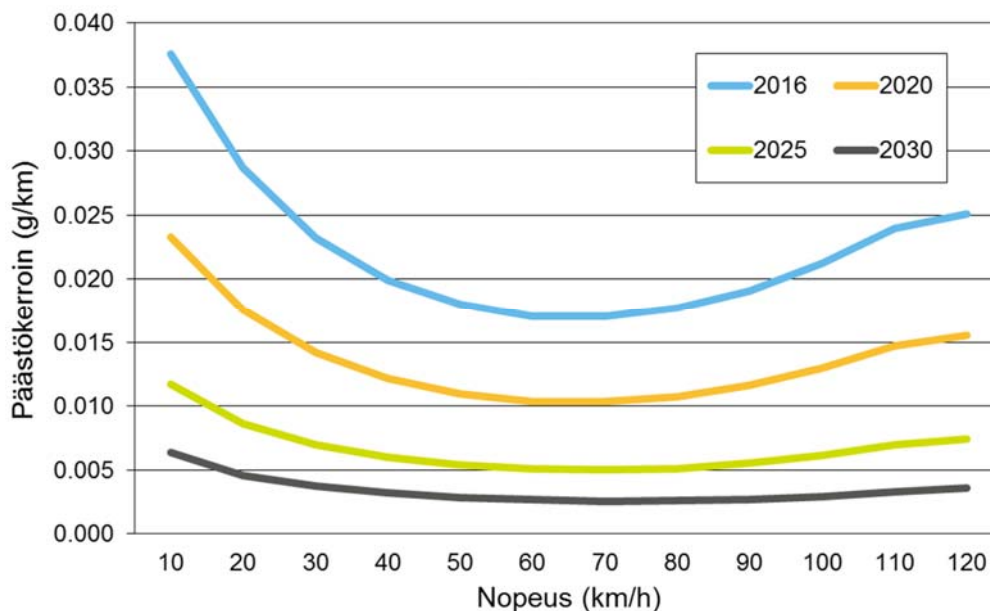
Kuvissa Kuva 18 ja 19 on esitetty Suomen koko ajoneuvokannan keskimääräiset päästökertoimet vuosille 2016–2030. Alla olevat kertoimet ottavat huomioon ajoneuvotyyppien keskimääräiset suhteelliset osuudet Suomessa. Kertoimet kohdennetaan kunnittain ajoneuvotyyppien suhteellisilla suoriteosuuksilla katu- tai tieosuuksien mukaan VTT:n LIISA-laskentajärjestelmän mukaisesti. Ajoneuvotyyppien suhteellisten suoriteosuuksien ei oleteta muuttuvan eri vuosien päästöskenaarioissa. Päästökertoimen pieneneminen vuodesta 2016 vuoteen 2030 selittyy autokannan uusiutumisen ja sillä, että uusilla vähäpäästöisemmällä ajoneuvoilla ajetaan tulevaisuudessa suhteessa suurempi osa ajosuoritteesta. Tulevaisuuden ennusteisiin kuitenkin liittyy runsaasti epävarmuustekijöitä. Tekemällä päästöjen leviämislaskennat useilla eri vuosien päästötasoilla, saadaan aikaiseksi vaihteluväli, jolla autoliikenteen päästöjen aiheuttamat pitoisuudet tulevaisuudessa todennäköisesti esiintyvät.



Kuva 17. ALIISA-Autokantamallin kaikkien ajoneuvojen EURO-päästöluokittaiset suoritejakaumat Suomessa vuosina 2016–2030 (VTT, 2018).



Kuva 18. Mallilaskelmissa käytettävät ajoneuvojen keskimääräiset nopeusriippuvat typenoksidien päästökertoimet. Kertoimien pohjana ovat EEA:n päästökertoimet (EEA, 2017) painotettuna suoritteiden EURO-päästöluokkajakaumilla ja koko Suomen keskimääräisillä ajosuoriteosuuksilla vuonna 2016 ja ennustettuna vuosille 2020–2030 (VTT, 2018).



Kuva 19. Mallilaskelmissa käytettävät ajoneuvojen keskimääräiset nopeusriippuvat pienhiukkasten päästökertoimet. Kertoimien pohjana ovat EEA:n päästökertoimet (EEA, 2017) painotettuna suoritteiden EURO-päästöluokkajakaumilla ja koko Suomen keskimääräisillä ajosuoriteosuuksilla vuonna 2016 ja ennustettuna vuosille 2020–2030 (VTT, 2018).

VIITELUETTELO

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

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

EEA, 2017. Exhaust emissions from road transport. Kappale teoksessa: EMEP/EEA air pollutant emission inventory guide book 2016, last update June 2017. EEA Report No 21/2016. European Environment Agency, Denmark. ISBN 978-92-9213-806-6

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

ILMANLAATUPORTAALI, 2018. Ilmatieteen laitoksen ylläpitämä palvelu, josta on saatavilla mittauksien ja historiatietoja pitoisuuksista lähes kaikilta Suomen ilmanlaadun seuranta-aseteilta: <https://ilmatieteenlaitos.fi/ilmanlaatu>

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

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

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

VTT, 2018. Teknologian tutkimuskeskus VTT. LIPASTO liikenteen päästöt <http://lipasto.vtt.fi/>

Vna 79/2017. Valtioneuvoston asetus ilmanlaadusta. Julkaistu 1.2.2017.

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

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



ILMATIETEEN LAITOS
METEOROLOGISKA INSTITUTET
FINNISH METEOROLOGICAL INSTITUTE

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

WWW.ILMATIETEENLAITOS.FI

