



# ILMANLAATUSELVITYS

## Autoliikenteen päästöjen vaikutus ilmanlaatuun Raision tunnelin lähialueella vuonna 2040



## **ILMANLAATUSELVITYS**

**Autoliikenteen päästöjen vaikutus ilmanlaatuun  
Raision tunnelin lähialueella vuonna 2040**

**Jatta Salmi  
Emmi Laukkanen  
Katja Lovén**

**Ilmatieteen laitos – Asiantuntijapalvelut  
Ilmanlaatu ja energia  
Helsinki 17.4.2020**

## SISÄLLYSLUETTELO

<b>OSA I.....</b>	<b>4</b>
1 JOHDANTO .....	4
2 LEVIÄMISMALLILASKELMIEN LÄHTÖTIEDOT .....	4
2.1 Tarkastelukohteen sijainti .....	4
2.2 Liikennemäärät ja päästölaskenta .....	5
2.3 Mallilaskelmissa käytetty meteorologia .....	7
3 LEVIÄMISMALLILASKELMIEN TULOKSET .....	8
3.1 Typpidioksidipitoisuudet (NO <sub>2</sub> ) .....	9
3.2 Pienhiukkaspitoisuudet (PM <sub>2,5</sub> ) .....	11
4 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET.....	14
<b>OSA II.....</b>	<b>16</b>
5 TAUSTATIETOA ILMANLAADUSTA.....	16
5.1 Ilmanlaatuun vaikuttavat tekijät .....	16
5.2 Typpidioksidi .....	17
5.3 Hiukkaset .....	17
5.4 Ilmansaasteiden terveysvaikutukset.....	19
6 ULKOILMANLAADUN RAJA- JA OHJEARVOT .....	20
7 LEVIÄMISMALLILASKELMIEN YLEISKUVAUS .....	21
7.1 Liikenteen päästölaskenta .....	23
<b>VIITELUETTELO .....</b>	<b>26</b>

# OSA I

---

## 1 JOHDANTO

Tässä tutkimuksessa arvioitiin leviämismallilaskelmilla autoliikenteen päästöjen vaikutusta ilmanlaatuun Raision keskustassa E18 tielle suunnitellun tunnelin lähialueella. Leviämismalliselvityksen avulla arvioitiin ilmanlaatua Raision keskustassa ja selvitettiin alittuvatko ilmanlaadulle terveysperusteisesti asetetut ohje- ja raja-arvot tulevassa tilanteessa vuonna 2040 Raision tunnelihankkeen toteuduttua alueella.

Tutkimuksessa tarkasteltiin ulkoilman typpidioksidin (NO<sub>2</sub>) ja pienhiukkasten (PM<sub>2,5</sub>) pitoisuuksia vuotta 2040 edustavassa ennusteskenaariossa. Pitoisuudet laskettiin Raision keskustan alueelle hengityskorkeudelle Tulevan tilanteen päästöskenaariossa on käytetty vuodelle 2040 ennustettuja liikennemääriä ja vuoden 2018 (nykytilanteen) ajoneuvokannan EURO-päästöluokittaista ajosuoritejakamaa. Tulevaisuuden autoliikenteen päästöjen ennustamiseen sisältyy useita epävarmuustekijöitä. Tässä työssä käytettiin konservatiivista arviota tulevaisuuden autoliikenteen päästökehityksestä. Mallinnuksessa ei otettu huomioon liikenteen ruuhkautumista, vaan liikennevirran oletettiin etenevän tasaista nopeutta nopeusrajoituksen mukaan.

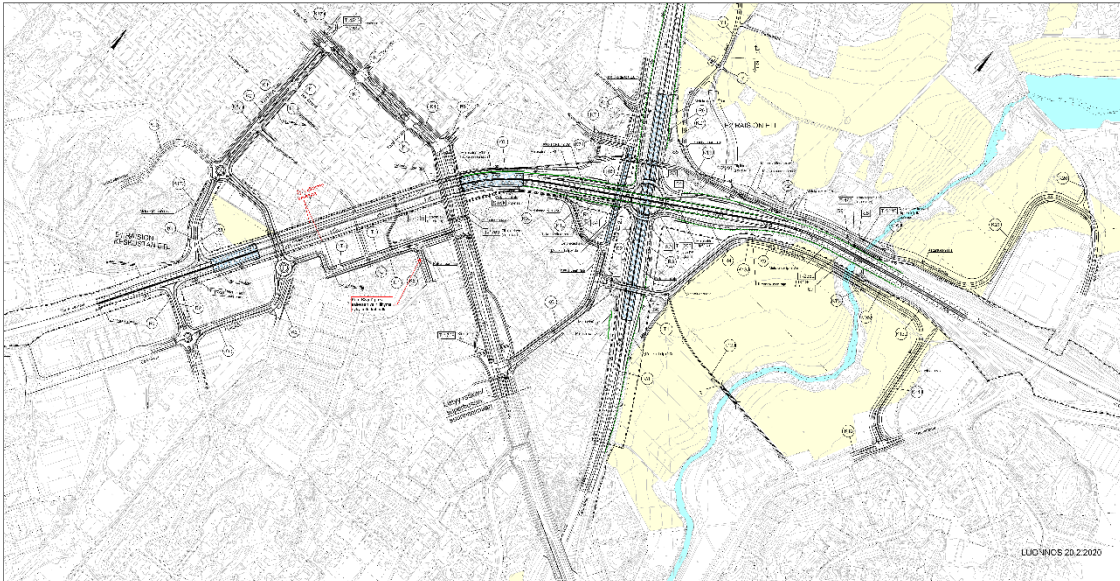
Liikenteen päästöjen aiheuttamat typpidioksidi- ja hiukkaspitoisuudet laskettiin liikenteen päästöjen leviämisen mallintamiseen kehitetyllä mallilla CAR-FMI. Liikenteen aiheuttamien katupölypäästöjen laskennassa käytettiin lisäksi erillistä suspensiopäästömallia.

Ilmanlaatuselvityksen tilasi Sitowise Oy. Mallilaskelmien lähtötietoja toimittivat Sitowise Oy ja Strafica Oy. Päästöjen leviämismallilaskelmat tehtiin Ilmatieteen laitoksen Asiantuntija-palvelut -yksikössä.

## 2 LEVIÄMISMALLILASKELMIEN LÄHTÖTIEDOT

### 2.1 Tarkastelukohteen sijainti

Tutkimuksessa tarkasteltiin autoliikenteen pakokaasupäästöjen ilmanlaatuvaikutuksia Raision keskustassa Turun kehätielle (E18) rakennettavan tunnelin lähialueella päästöjen leviämismallilaskelmien avulla. Kuvassa 1 on esitetty suunnitelma tunnelin sijainnista ja siihen liittyvistä uusista väylistä.



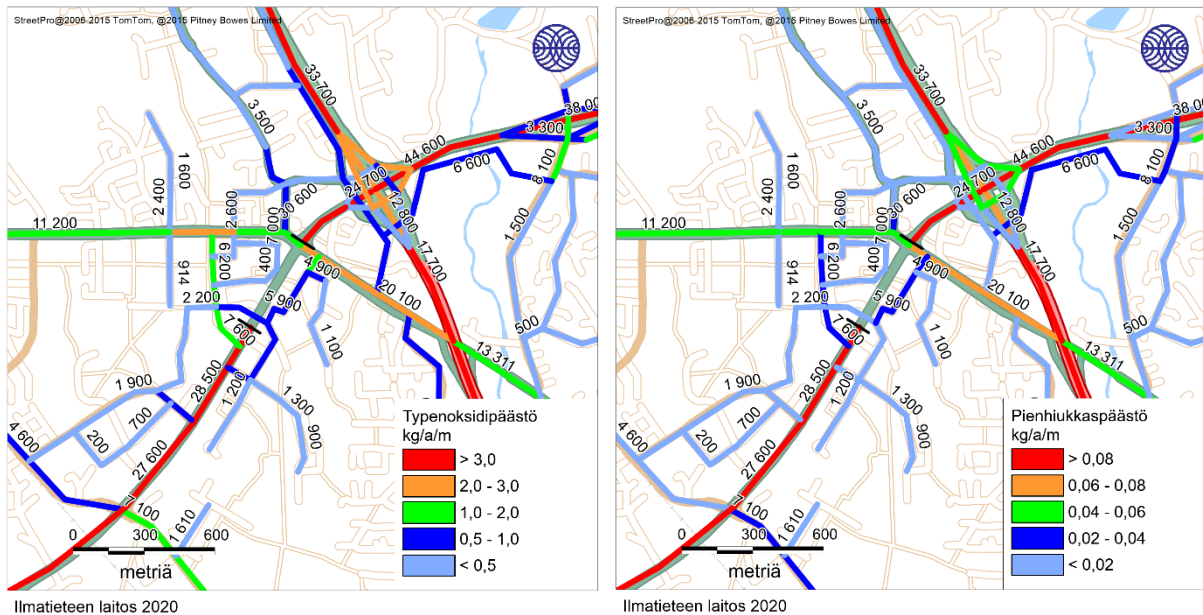
Kuva 1. Raison tunnelin tulevien suunnitelmien asemapiirros (Kuvan lähde: Sitowise Oy).

Mallilaskelmissa tarkasteltiin tunnelin lähialueelle hengityskorkeudelle muodostuvia ulkoilman typidioksidipitoisuuksia ( $\text{NO}_2$ ) ja pienhiukkaspitoisuuksia ( $\text{PM}_{2.5}$ ). Pitoisuustulokset esitetään kartalla noin 2 km x 2 km alueelta tunnelin ympäriltä. Laskentapisteikkö räätälöitiin tarkastelua varten niin, että pisteiden välisiä etäisyyksiä tihennettiin pitoisuuksien muodostumisen kannalta merkittävimällä alueella eli tunnelin suuaukon ja liikenneväylien lähiympäristössä. Laskentapisteikön pisteet olivat tiheimmillään 5 metrin etäisyydellä toisistaan ja harvimmillaan laskenta-alueen reunoilla 100 metrin etäisyydellä toisistaan.

## 2.2 Liikennemäärät ja päästölaskenta

Liikenteen päästöt laskettiin ja mallinnettiin tiekohtaisina viivalähteinä noin 3 km etäisyydeltä tutkimuskohteesta. Liikenneväyliä kuvattiin peräkkäisinä lyhyinä viivoina, joista jokaisesta vapautuu ympäristöönsä erikseen laskettavan suuruinen päästö. Tunnelissa syntyvien autoliikenteen päästöjen oletettiin laskelmissa vapautuvan ulkoilmaan tunnelin molemmista suuaukoista. Tieverkon liikenteen päästöt laskettiin Ilmatieteen laitoksella keskimääräisten vuorokausiliikennemäärien (KVL), raskaan liikenteen määrien, ajoneuvojakauman, ajonopeuksien ja liikenteen tuntikohtaisen aikavaihtelun perusteella.

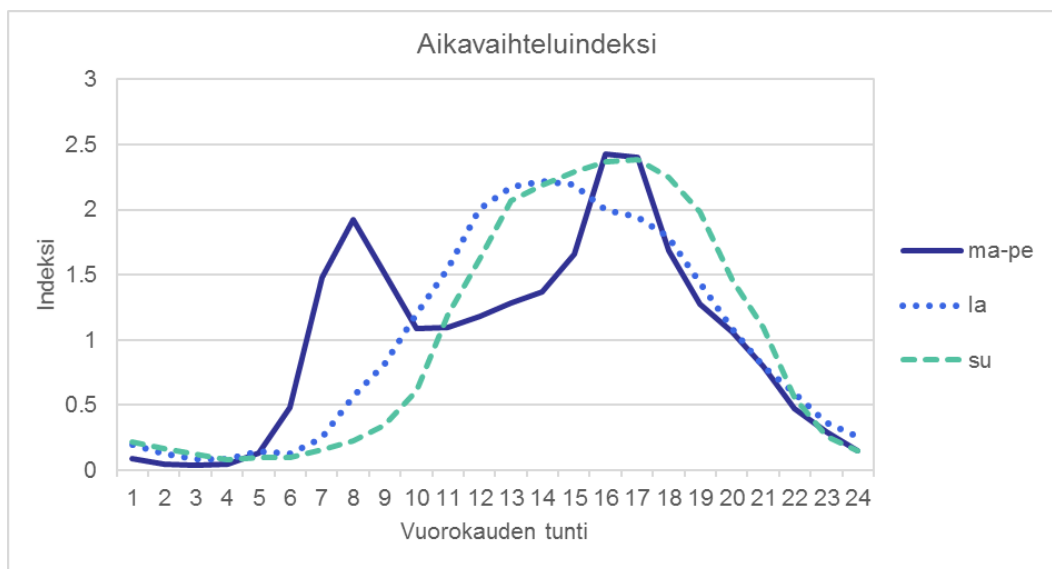
Mallilaskelmin tarkasteltiin tulevan tieverkoston vuoden 2040 liikennemäärien ennustetilannetta. Tulevaisuuden liikennemäärät olivat Strafica Oy:n tekemän ennusteen VE1 mukaisia. Tieosuuksien nopeusrajoitusten ja liikenteen aikavaihtelun oletettiin olevan samoja kuin nykytilanteessa. Tunnelin läpi kulkeva liikennemäärä oli 30 600 ajoneuvoa vuorokaudessa, joista raskasta liikennettä oli 2 590 ajoneuvoa/vrk. Liikennevirran nopeus tunnelissa oli 60 km/h. Kuvassa 2 on esitetty päästölaskennan pohjana olleet keskimääräiset vuorokausiliikennemäärät (KVL, ajoneuvoa/vrk) sekä tieosuksittaiset typenoksidi- ja pienhiukkaspäästöt Raison keskustassa tutkimuskohteen ympäristössä vuoden 2040 tilanteessa.



Kuva 2. Päästölaskennan pohjana käytetyt Raision tunnelin lähiympäristön keskimääräiset vuorokausiliikennemäärät (KVL, ajoneuvoa/vrk) sekä typenoksidi- ja pienhiukkaspäästöt vuoden 2040 tarkasteluskenaariossa. Tunnelin suuaukkojen sijainnit on merkitty karttaan mustilla viivoilla.

Autoliikenteen pakokaasupäästöt laskettiin käyttäen Euroopan ympäristöviraston (*European Environmental Agency, EEA*) määrittämiä nopeudesta ja ajoneuvojen päästoluokista (EURO-luokitus) riippuvia ajoneuvotyyppikohtaisia päästökertoimia (*EEA, 2019*). Ajoneuvojen jakaumana käytettiin Suomen vuoden 2018 ajoneuvojen EURO-luokittaisia ajosuoriteosuuksia VTT:n julkaiseman liikenteen päästöjen laskentajärjestelmän mukaisesti (*VTT, 2019*). Luokittelu kertoo, miten paljon Suomessa vuodessa ajetaan kuhunkin eri päästoluokkaan kuuluvilla ajoneuvoilla. VTT ja Liikennevirasto ovat laatineet vuoteen 2030 asti ulottuvan ennusteen Suomen ajoneuvokannan suoriteosuuksien kehittymisestä. Tulevaisuuden autoliikenteen päästöjen ennustamiseen sisältyy kuitenkin useita epävarmuustekijöitä. Tässä ilmanlaatuselvityksessä on käytetty vuotta 2018 edustavaa ajoneuvojen EURO-luokittaista ajosuoritejakaumaa, eli autojen päästöjen ei lainkaan oleteta pienentyvän tulevaisuudessa, mikä on hyvin konservatiivinen arvio tulevaisuuden päästökehityksestä. Todennäköistä on, että päästöt ja niiden aiheuttamat vaikutukset pienenevät tulevaisuudessa nykytilanteeseen verrattuna, kun ajoneuvojen moottoritekniikka kehittyä ja päästörajoitukset tiukkenevat.

Päästöjen ajallista vaihtelua kuvattiin liikennelaskennoista saatujen liikennemäärien vaihteluiden avulla. Liikennemäärinä käytettiin Liikenneviraston ylläpitämän Raision Haunisilla sijaitsevan liikenteen automaattisen mittausaseman (LAM 233) aineistoa vuodelta 2018. Aineistosta hyödynnettiin päästölaskelmissa päivittäinen tuntivaihtelu eri viikonpäivinä sekä lauantain ja sunnuntain liikennemäärien suhde verrattuna arkipäiviin (kuva 3). Mallilaskelmissa liikenteen oletettiin olevan sujuvaa. Mikäli liikenteen nopeus on nopeusrajoitusta matalampi tai liikenne ruuhkautuu, liikenteen päästöt kasvavat, mutta tätä ei leviämismallilaskelmissa ole otettu huomioon.



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

Tieliikenteen päästöjen lisäksi mallilaskelmissa on huomioitu alueellinen typpidioksidin, otsonin ja pienhiukkasten taustapitoisuus Utössä sijaitsevan Ilmatieteen laitoksen taustailmanlaadun mittausaseman mittaustuloksista. Tausta-aseimalta saadaan typenoksidien muutunnan kuvaamista varten tarvittava otsonin ja typenoksidien pitoisuus kaupungin ulkopuolella ennen paikallisten päästöjen aiheuttamaa otsonin ja typenoksidien ilmakemiallista muutunutta. Typpidioksidin taustapitoisuuden vuosikeskiarvo tarkastelujaksolla 2016–2018 Utössä oli enimmillään noin  $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ja pienhiukkasten noin  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ja otsonin  $68 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Typpidioksidin, otsonin ja pienhiukkasten taustapitoisuuksina käytettiin pitoisuuksien kuukausittain laskettuja tunneittaisia keskiarvoja, joilla pyrittiin kuvaamaan taustapitoisuuksien vuorokauden sisäistä ja vuodenajoittaista vaihtelua (*Ilmatieteen laitos, 2020*). Typenoksidipäästöjen muutunnan kuvaamiseen käytettiin otsonihavaintoja. Leviämismallilaskelmissa oletettiin autoliikenteen typenoksidipäästöistä ( $\text{NO}_x$ ) olevan keskimäärin 20 % typpidioksidia ( $\text{NO}_2$ ) ennen muutunutta (*Anttila, ym., 2011*).

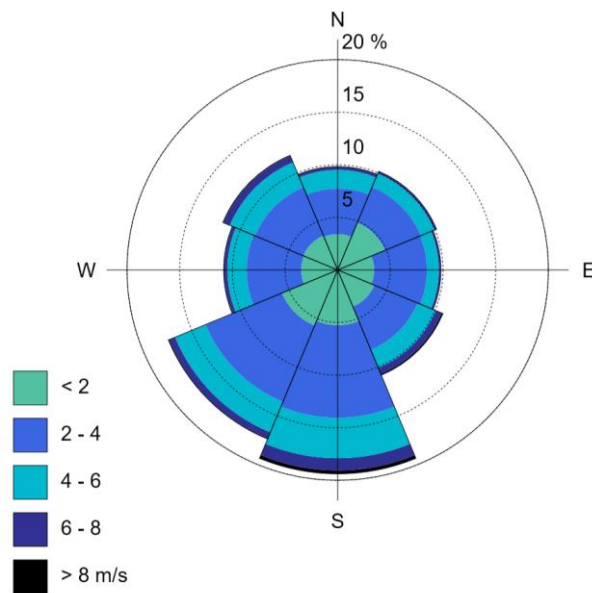
### 2.3 Mallilaskelmissa käytetty meteorologia

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 tunnitaiset aikasarjat.

Tutkimusalueen ilmastollisia olosuhteita edustava meteorologinen aikasarja muodostettiin Turun Artukaisen ja Turun Rajakaran sääasemien havaintotiedoista vuosilta 2016–2018. Sekoituskorkeuden määrittämiseen käytettiin Jokioisten luotauhavaintoja. Tuulen suunta- ja nopeusjakauma tutkimusalueella on esitetty kuvassa 4. Tutkimusalueella etelä- ja lounaistuulet ovat vallitsevia ja muita tuulensuuntia esiintyy vähemmän.



Kuva 4. Keskimääräinen tuulen suunta- ja nopeusjakauma Turussa vuosina 2016–2018. Tuulitiedot kuvaavat olosuhteita 10 metrin korkeudella maan pinnasta.

### 3 LEVIÄMISMALLILASKELMIEN TULOKSET

Mallilaskelmien tuloksina saadut typpidioksidi- ja pienhiukkaspitoisuudet on esitetty havainnollisina karttakuvina, joissa ilman epäpuhtauksien pitoisuuksia verrataan ilmanlaatulainsäädännössä annettuihin ohje- ja raja-arvoihin sekä WHO:n ohjearvoon. Tulokuvissa aluejakaumina esitetyt pitoisuudet kuvaavat mallilaskelmin saatuja enimmäispitoisuustasoa ulkoilmassa hengityskorkeudella. Kuvissa on mukana alueellinen taustapitoisuus.

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

Vuosikeskiarvopitoisuus kuvaa alueen keskimääräistä ja vallitsevaa ilman epäpuhtauspitoisuustasoa parhaiten. Karttakuvissa esitetyt vuosikeskiarvopitoisuudet kuvaavat kolmen



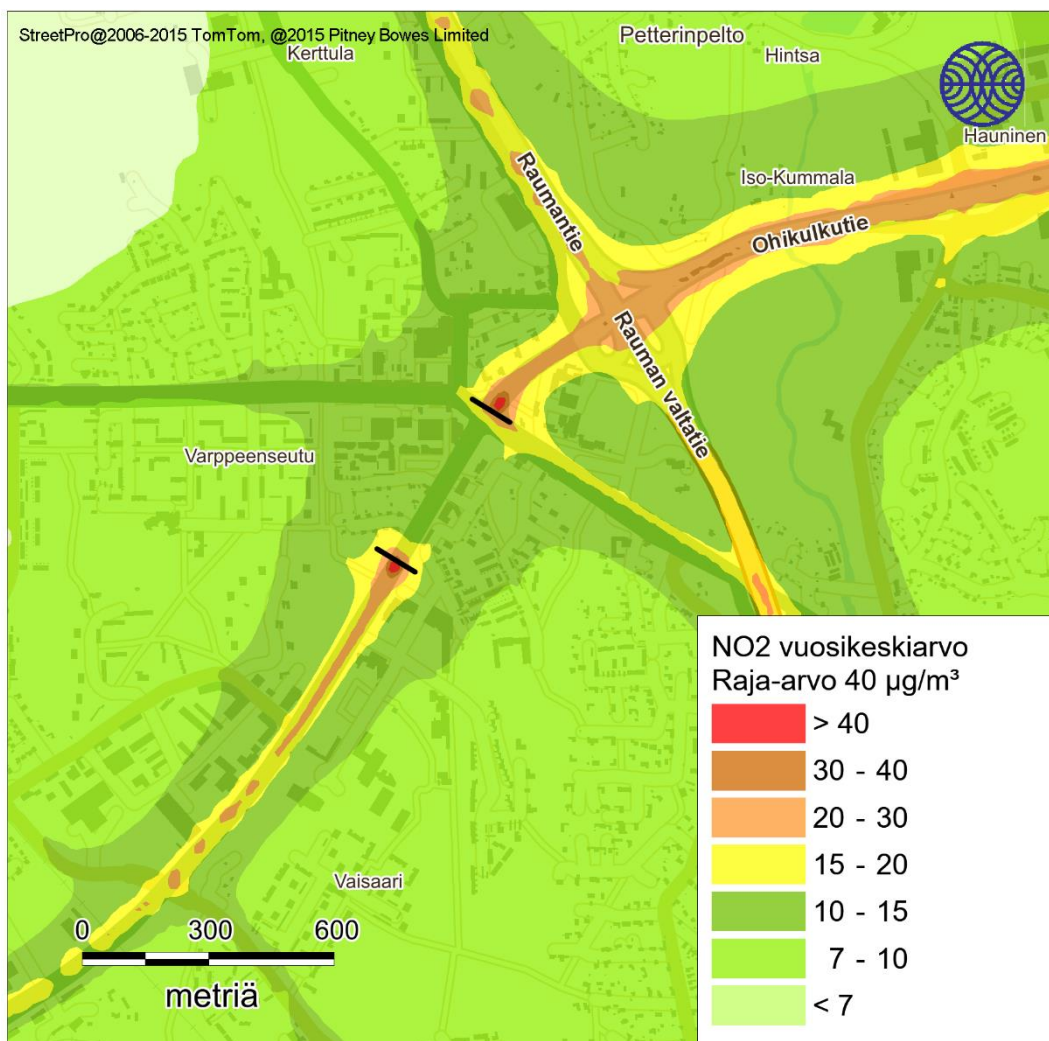
vuoden tarkastelujakson (vuodet 2016–2018) korkeinta vuosikeskiarvoa kussakin laskentapisteessä. Hetkelliset pitoisuudet voivat nousta vuosikeskiarvopitoisuuksia huomattavasti korkeammiksi. Mallinnettuihin lyhytaikaispitoisuuksiin sisältyy enemmän epävarmuutta kuin vuosikeskiarvopitoisuuksiin ja lyhytaikaispitoisuuksien aluejakaumaan vaikuttavat voimakkaammin yksittäiset meteorologiset tilanteet. Karttakuvissa esitetyt vuorokausiohjearvoon verrannolliset pitoisuudet kuvaavat kolmen vuoden tarkastelujakson korkeinta vuorokausiohjearvoon verrannollista pitoisuutta kussakin laskentapisteessä.

### 3.1 Typpidioksidipitoisuudet (NO<sub>2</sub>)

Leviämismallilaskelmien tuloksina saadut ulkoilman typpidioksidipitoisuudet Raision tunnelin ympäristössä on esitetty kuvissa 5–6. Hengityskorkeudelle (2 m) lasketut pitoisuudet ovat korkeimmillaan vilkkaasti liikennöityjen teiden ja katujen varsilla ja risteysalueilla sekä tunnelin molemmilla suuaukoilla. Pitoisuudet pienentyvät nopeasti etäisyyden kasvaessa liikenneväylistä. Päästöjen sekoittumisen ja laimenemisen vuoksi pitoisuudet pienenevät sekä korkeammalle noustessa että kuljettaessa etäämmälle tiestä.

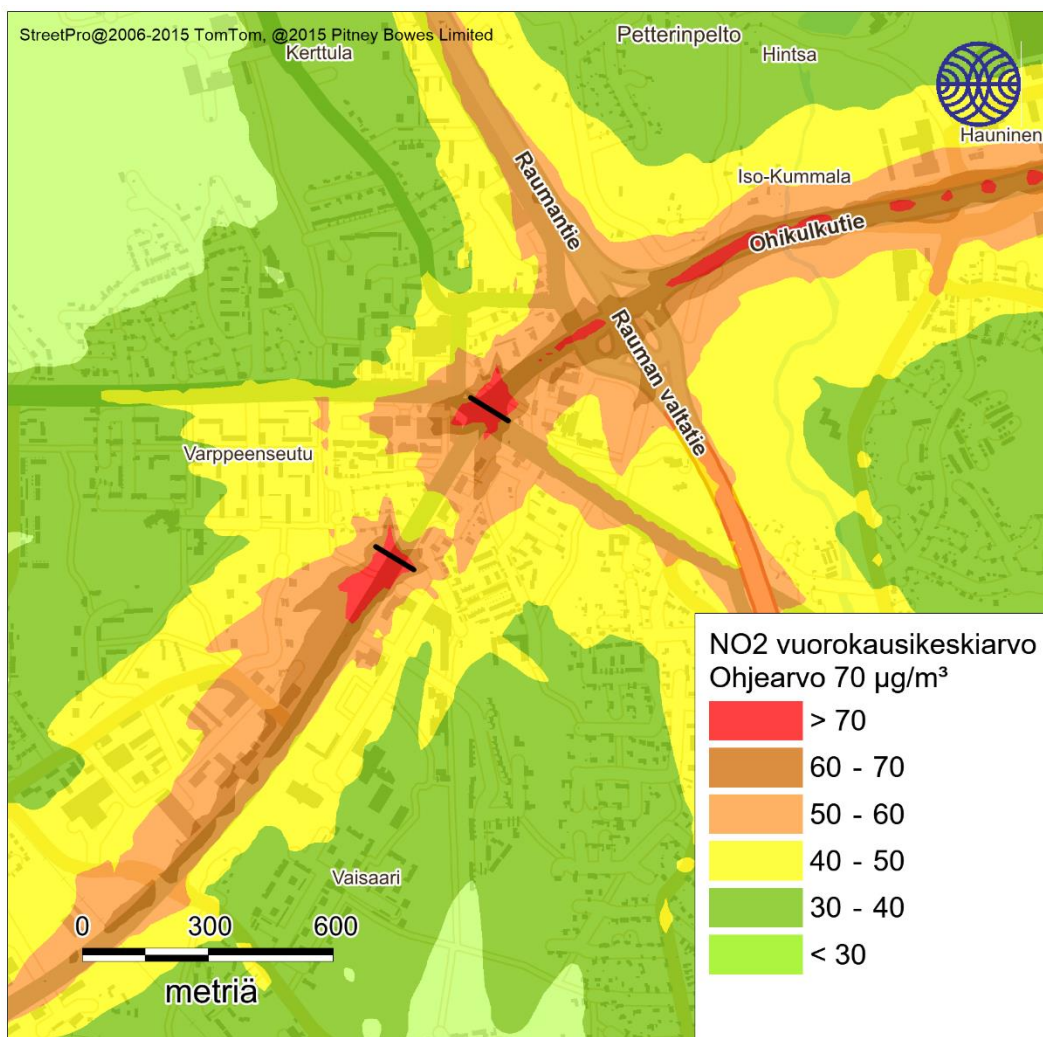
Typpidioksidipitoisuuden vuosiraja-arvon (40 µg/m<sup>3</sup>) on mallilaskelmien mukaan mahdollista ylittyä tunnelin suuaukoilla vuoden 2040 liikennemäärillä, jos autoliikenteen päästöt eivät pienene nykyisestä tasosta. Tunnelin molemmilla suuaukolla ylitysalue on kuitenkin pieni ja rajautuu liikennealueelle, jossa ilmanlaadun raja-arvot eivät ole voimassa. Typpidioksidin vuosikeskiarvopitoisuudet ovat melko lähellä raja-arvotasoa Turun kehätien varrella Raumantien (vt 8) itäpuolella. Tässä kohdassa tarkastelualuetta liikennemäärät ovat suurimmillaan, keskimääräisen vuorokausiliikenteen ollessa 44 600 ajoneuvoa/vrk. Muualla tarkastelualueella pitoisuudet ovat selvästi tätä pienempiä, koska myös liikennemäärät ovat pienempiä.

Hetkelliset typpidioksidipitoisuudet voivat nousta vuosikeskiarvopitoisuuksia huomattavasti korkeammiksi (kuva 6). Leviämismallilaskelmien mukaan typpidioksidin vuorokausiohjearvoon verrannolliset pitoisuudet ylittävät epäedullisissa meteorologisissa olosuhteissa ohjearvotason (70 µg/m<sup>3</sup>) tunnelin suuaukoilla ja Turun kehätien varrella sekä kehätien ja Raumantien risteysalueella. Typpidioksidipitoisuudet ovat lähellä ohjearvotasoa koko Raision keskustan alueella. Pitoisuudet pienentyvät etäisyyden kasvaessa vilkkaimmista liikenneväylistä.



Ilmatieteen laitos 2020

Kuva 5. Typpidioksidin (NO<sub>2</sub>) vuosiraja-arvoon verrannolliset pitoisuudet 40 µg/m<sup>3</sup> ulkoilmassa hengityskorkeudella.



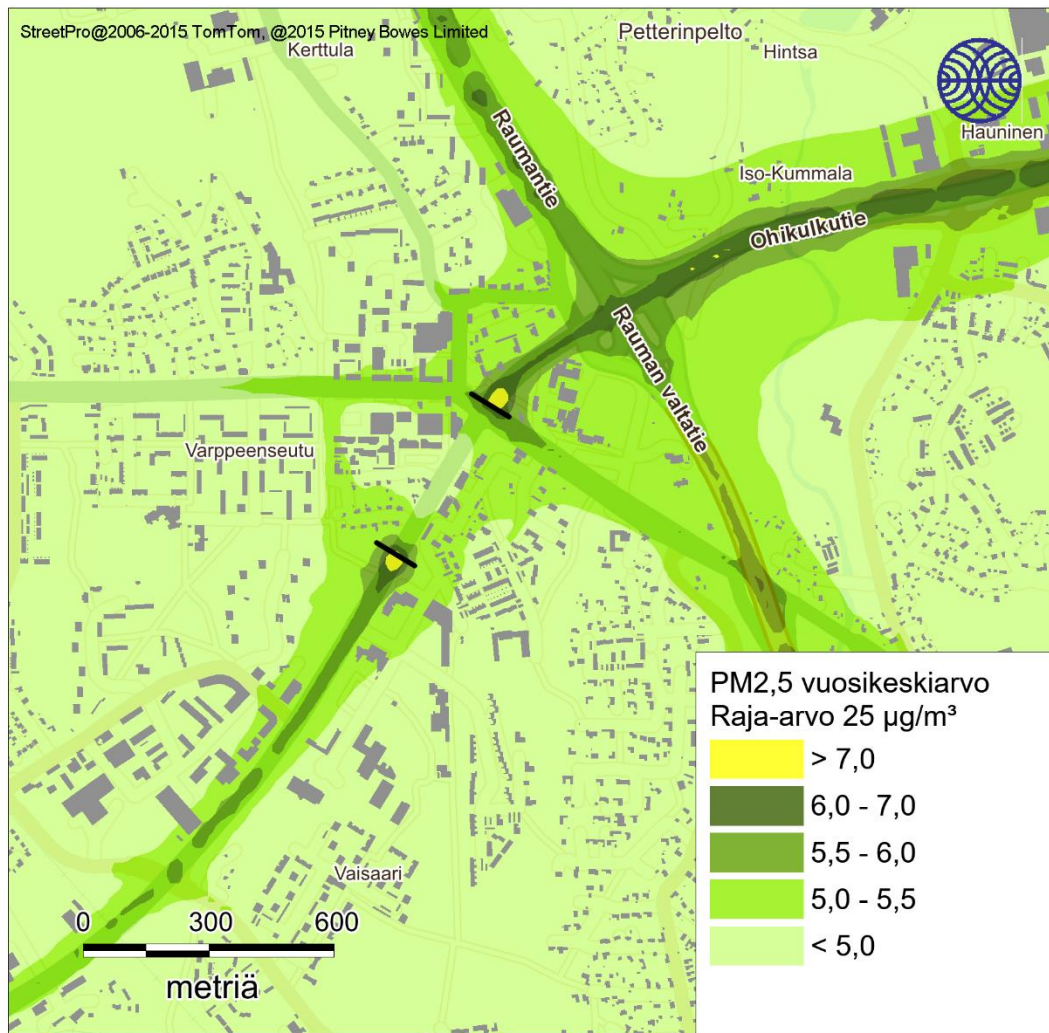
Ilmatieteen laitos 2020

Kuva 6. Typpidioksidin (NO<sub>2</sub>) vuorokausiohjearvoon 70 µg/m<sup>3</sup> verrannolliset pitoisuudet ulkoilmassa hengityskorkeudella.

### 3.2 Pienhiukkaspitoisuudet (PM<sub>2,5</sub>)

Leviämismallilaskelmien tuloksina saadut ulkoilman pienhiukkaspitoisuudet Raision tunnelin ympäristössä on esitetty kuvissa 7–8. Hengityskorkeudelle lasketut pitoisuudet ovat korkeimmillaan teiden ja katujen varsilla sekä risteysalueilla ja tunnelin suaukoilla. Pitoisuudet pienentyvät nopeasti etäisyyden kasvaessa liikenneväylistä. Päästöjen sekoittumisen ja laimenemisen vuoksi pitoisuudet pienenevät sekä korkeammalle noustessa että kuljettaessa etäämmälle tiestä. Keskustan ulkopuolelle siirryttäessä pitoisuudet putoavat nopeasti taustapitoisuuden tasolle. Pienhiukkaspitoisuuksien melko pieni vaihtelu eri ympäristöissä johtuu siitä, että suurin vaikutus pienhiukkaspitoisuustasoihin on alueellisella taustapitoisuudella eli alueelle muualta kulkeutuneilla pienhiukkasilla. Autoliikenteen päästöt aiheuttavat paikallisesti muutaman mikrogramman lisän pienhiukkaspitoisuuksien vuosikeskiarvoon vilkkaiden teiden varsilla.

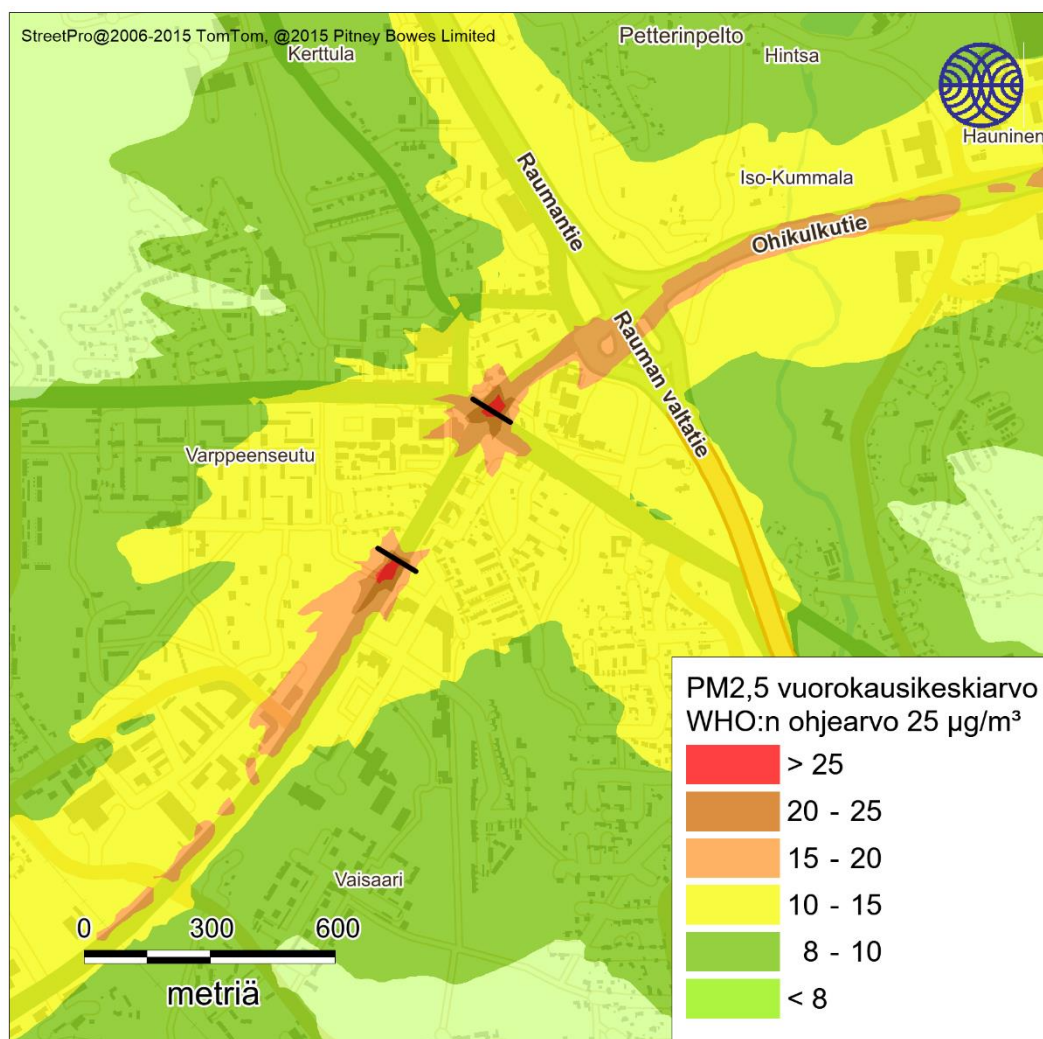
Pienhiukkaspitoisuuden vuosiraja-arvo ( $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) alittuu selvästi koko tarkastelualueella, eli vuosiraja-arvo alittuu myös tunnelin suuaukoilla. Myös Maailman terveysjärjestö WHO:n antama suosituksenomainen vuosiohjearvo  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  alittuu tarkastelualueella. Korkeimmat vuosikeskiarvopitoisuudet esiintyvät tunnelin suuaukoilla sekä Turun kehätien varrella Raumantien (vt 8) itäpuolella, jossa liikennemäärät ovat suurimmillaan. Muualla tarkastelualueella pitoisuudet ovat selvästi tätä pienempiä.



Kuva 7. Pienhiukkasten ( $\text{PM}_{2,5}$ ) vuosiraja-arvoon  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$  verrannolliset pitoisuudet ulkoilmassa hengityskorkeudella.

Hetkelliset pienhiukkaspitoisuudet voivat nousta vuosikeskiarvopitoisuuksia korkeammiksi (kuva 8). Mallilaskelmien mukaan pienhiukkasten WHO:n vuorokausiohjearvoon verrannolliset pitoisuudet ylittävät korkeimmillaan ohjearvotason ( $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) tunnelin molemmilla suuaukoilla vuoden 2040 liikennemäärillä, jos autoliikenteen päästöt eivät pienene nykyisestä tasosta. Ylitysalueet ovat kuitenkin pieniä ja rajautuvat liikennealueelle. Pitoisuudet pienentyvät nopeasti etäisyyden kasvaessa liikenneväylästä. WHO:n määrittelemä ohjearvo on suosituksenomainen eikä ole osa Suomen ilmansuojelulainsäädäntöä. Pitoisuuksia verrataan

yleisesti WHO:n ohjearvoon, koska pienhiukkasten lyhytaikaispitoisuuksille ei ole Suomessa voimassaolevaa ohje- tai raja-arvoa. Kaukokulkeumalla on merkittävä vaikutus pienhiukkasten pitoisuuksiin Suomessa ja korkeimmat pienhiukkaspitoisuudet havaitaan yleensä kaukokulkeumaepisodioiden aikana. Näissä tilanteissa pienhiukkaspitoisuuden WHO:n vuorokausiohjarvo ylittyy nykyisin helposti koko Suomessa, jopa puhtailla tausta-alueillakin. Suurimmat pitoisuudet havaitaan yleensä, kun ilmavirtaukset ovat etelän tai idän suuntaisia (mm. Venäjän ja Itä-Euroopan metsäpalojen aiheuttamat kohonneet pienhiukkaspitoisuudet).



Kuva 8. Pienhiukkasten (PM<sub>2,5</sub>) WHO:n vuorokausiohjarvoon 25 µg/m<sup>3</sup> verrannolliset pitoisuudet ulkoilmassa hengityskorkeudella.

#### 4 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä ilmanlaatuselvityksessä arvioitiin leviämismallilaskelmilla autoliikenteen päästöjen vaikutusta ilmanlaatuun Raision keskustassa Turun kehätielle (E18) rakennettavan tunnelin lähialueella. Selvityksessä tarkasteltiin ulkoilman typpidioksidin ja pienhiukkasten pitoisuuksia tunnelin lähiympäristössä hengityskorkeudella.

Leviämismallilaskelmat tehtiin Ilmatieteen laitoksella liikenteen päästöjen leviämisen mallintamiseen kehitetyllä mallilla CAR-FMI. Leviämismallinnuksen lähtökohtana olivat vuoden 2040 ennusteen mukaiset liikennemäärät ja raskaan liikenteen määrät sekä nykytilanteen mukainen ajoneuvokanta. Tunnelissa syntyvien autoliikenteen päästöjen oletettiin laskelmissa vapautuvan ulkoilmaan tunnelin molemmista suuaukoista. Tieosuuskien nopeusrajoitusten ja liikenteen aikavaihtelun oletettiin olevan tulevassa tilanteessa nykytilanteen mukaiset. Tunnelin liikennemäärä oli 30 600 ajoneuvoa/vrk ja liikenteen nopeus tunnelin läpi 60 km/h. Mallilaskelmissa otettiin huomioon autoliikenteen päästöjen aiheuttamien pitoisuuksien lisäksi alueellinen taustapitoisuus. Mallinnuksessa käytettiin taustapitoisuutena Ilmatieteen laitoksen Utön taustailmanlaadun mittausaseman vuosien 2016–2018 havaintoja. Myös laskennassa käytetty meteorologinen aineisto oli koostettu Ilmatieteen laitoksen säähavaintoasemien vuosien 2016–2018 mittaushavainnoista.

Epäpuhtauksien pitoisuuksia ulkoilmassa säädellään ilmanlaadun ohje- ja raja-arvoilla. Ilmanlaadun ohjearvot tulisi ottaa huomioon esimerkiksi liikennesuunnittelussa, kaavoituksessa, rakennusten sijoittelussa ja erilaisissa 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. Risteyalueilla ja autoliikenteelle varatuilla väylillä raja-arvot eivät kuitenkaan ole voimassa.

Korkeimmat typpidioksidin ja pienhiukkasten pitoisuudet havaitaan kaupunkialueella tyypillisesti vilkkaasti liikennöidyillä väylillä ja niiden lähiympäristössä sekä risteysalueilla. Päästöjen ilmaan sekoittumisen ja laimenemisen vuoksi pitoisuudet pienenevät, kun etäisyys liikenneväylistä kasvaa. Mallilaskelmissa korkeimmat pitoisuudet esiintyivät tunnelin molemmilla suuaukoilla sekä Turun kehätien varrella Raumantien (vt 8) itäpuolella. Korkeimpien pitoisuuksien esiintymisalueella Turun kehätien varrella liikennemäärät olivat suurimmat koko tarkastelualueella.

Typpidioksidipitoisuuden vuosiraja-arvon on mallilaskelmien mukaan mahdollista ylittyä tunnelin suuaukoilla vuoden 2040 liikennemäärillä, jos autoliikenteen päästöt eivät tulevaisuudessa pienene nykyisestä tasosta. Tunnelin molemmilla suuaukolla ylitysalue on kuitenkin pieni ja rajautuu liikennealueelle, jossa ilmanlaadun raja-arvot eivät ole voimassa. Vuosikeskiarvopitoisuus kuvaa alueen keskimääräistä ja vallitsevaa ilman epäpuhtauspitoisuustasoa parhaiten. Hetkelliset typpidioksidipitoisuudet voivat nousta vuosikeskiarvopitoisuuksia huomattavasti korkeammiksi. Leviämismallilaskelmien mukaan typpidioksidin vuorokausiohjearvoon verrannolliset pitoisuudet ylittivät korkeimmillaan ohjearvotason tunnelin suuaukoilla ja Turun kehätien varrella sekä kehätien ja Raumantien risteysalueella ja pitoisuudet olivat lähellä ohjearvotasoa koko Raision keskustan alueella.

Pienhiukkasten vuosikeskiarvopitoisuudet alittivat leviämismallilaskelmien mukaan vuosiraja-arvon ja WHO:n vuosiohjearvon Raision tunnelin ympäristössä ja myös tunnelin suuaukoilla. WHO:n ohjearvo pienhiukkaspitoisuuksien vuorokausikeskiarvolle ylittyi mallinnustulosten mukaan tunnelin molemmilla suuaukoilla. Pitoisuudet pienentyvät nopeasti etäisyyden kasvaessa liikenneväylistä. Pienhiukkaspitoisuuksien melko pieni vaihtelu johtuu siitä, että suurin vaikutus pienhiukkaspitoisuustasoihin on alueellisella taustapitoisuudella, joihin liikenne aiheuttaa vain pienen pitoisuuslisän.

Tässä ilmanlaatuselvityksessä tulevan tilanteen tarkastelussa on käytetty konservatiivista lähestymistapaa, jossa tulevan tilanteen mallinnuksen pohjana on käytetty nykytilanteen ajoneuvojakaumaa ja päästökertoimia sekä tulevan tilanteen liikennemääräennustetta. Tällä tavalla leviämismallin tuloksena saadaan pitoisuustaso, jolla autoliikenteen aiheuttamat pitoisuudet enintään ovat jos mitään päästökehitystä ei tulevaisuudessa tapahdu ja ainoastaan liikennemäärät ja liikenneverkko muuttuvat. Tulevaisuuden autoliikenteen päästöjen ennustamiseen sisältyy useita epävarmuustekijöitä. Todennäköistä kuitenkin on, että autoliikenteen päästöt ja niiden aiheuttamat vaikutukset pienenevät tulevaisuudessa, kun ajoneuvojen moottoritekniikka kehittyy, päästörajoitukset tiukkenevat ja autokanta pikkuhiljaa uusiutuu vähäpäästöisempiin ajoneuvoihin.

Huomionarvoista on, että ajoneuvojen moottoritekniikan kehitys ei vaikuta katupölyn muodostukseen ja hengitettävien hiukkasten kohonneisiin pitoisuuksiin liikenneympäristössä. Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin mallintamalla hiukkasista 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 myös tulevaisuudessa. Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet kohoavat etenkin keväisin katupölykaudella vilkkaasti liikennöityjen väylien läheisyydessä. Niiden pitoisuuksiin voidaan nyt ja tulevaisuudessa vaikuttaa oikea-aikaisella hiekoitushiekan poistolla ja katujen puhdistuksella sekä pölynsidonnalla.

## OSA II

---

### 5 TAUSTATIETOA ILMANLAADUSTA

#### 5.1 Ilmanlaatuun vaikuttavat tekijät

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

Ilmansaasteiden leviäminen tapahtuu pääosin ilmakehän alimmassa osassa, rajakerroksessa. Sen korkeus on Suomessa tyypillisesti alle kilometri, mutta varsinkin kesällä se voi nousta yli kahteen kilometriin. Matalimmat rajakerroksen korkeudet havaitaan yleensä talvella kovilla pakkasilla. Rajakerroksen korkeus määrää ilmatilavuuden, johon päästöt voivat välittömästi sekoittua. Rajakerroksen tuuliolosuhteet määräävät karkeasti ilmansaasteiden kulkeutumis suunnan, mutta rajakerroksen ilmapvirtausten 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 herkkyyttä pystysuuntaiseen sekoittumiseen. Stabiilisuuden määrää ilmakehän pystysuuntainen lämpötilarakenne sekä mekaaninen turbulenssi eli alustan kitkan synnyttämä ilman pyörteisyys.

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



## 5.2 Typpidioksidi

Typen yhdisteitä vapautuu päästölähteistä ilmaan typen oksideina eli typpimonoksidina (NO) ja typpidioksidina (NO<sub>2</sub>). 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.

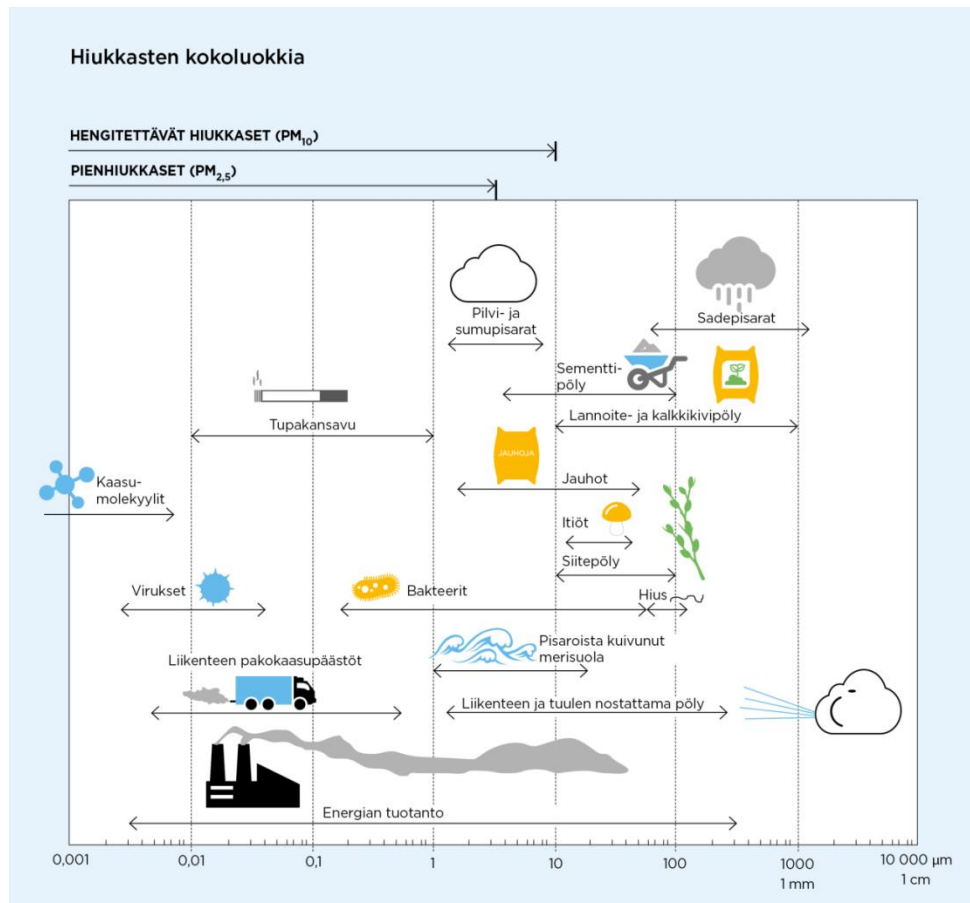
Typpidioksidin vuosiraja-arvo 40 µg/m<sup>3</sup> alittuu nykyisin Suomessa. Typpidioksidin vuosikeskiarvopitoisuudet ovat olleet viime vuosina suurimmissa kaupungeissa keskimäärin 15–25 µg/m<sup>3</sup>. Vilkkaimmilla teillä ja katukuiluosuusilla vuosipitoisuudet voivat olla yli 30 µg/m<sup>3</sup>. Pienissä ja keskisuurissa kaupungeissa typpidioksidin vuosikeskiarvot ovat yleensä noin 5–20 µg/m<sup>3</sup> mittausympäristöstä riippuen. Typpidioksidin tuntipitoisuudet voivat kohota yli raja-arvotason (200 µg/m<sup>3</sup>) yksittäisillä mittausasemilla muutamina tunteina vuodessa. Ylitystunteja saa olla vuodessa 18 kpl, ennen kuin raja-arvo katsotaan ylittyneeksi. Puhtailla tausta-alueilla typpidioksidin vuosikeskiarvot ovat olleet Etelä-Suomessa noin 1,5–4 µg/m<sup>3</sup> ja Pohjois-Suomessa noin 1 µg/m<sup>3</sup> (*Ilmatieteen laitos, 2020*).

## 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 syvälle ihmisten hengitysteihin. Hengitettävälle hiukkasille, joiden halkaisija on alle 10 mikrometriä (PM<sub>10</sub>), 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 (PM<sub>2,5</sub>), ovat pääasiassa peräisin suorista autoliikenteen ja teollisuuden päästöistä ja kaukokulkeumasta, jonka lähde voi olla esimerkiksi metsä- ja maastopalot. Hiukkasten kokoluokkia on havainnollistettu kuvassa 9.

Suurimmat hiukaspitoisuudet esiintyvät vilkkaasti liikennöidyissä kaupunkikeskustoissa. Suomessa hiukaspitoisuudet kohoavat yleensä voimakkaasti keväällä maaliskuussa, kun maanpinnan kuivuessa tuuli ja liikenne nostattavat talven aikana kertynyttä katupölyä ilmaan. Hengitettävien hiukkasten vuorokausipitoisuuksille asetettu raja-arvotaso ( $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ylittyy mittausasemilla tyypillisesti noin 0–25 kertaa vuoden aikana. Vuorokausiraja-arvotason ylityksiä saa olla mittausasemalla 35 kappaletta vuodessa, ennen kuin raja-arvo katsotaan ylittyneeksi. Hengitettävien hiukkasten vuorokausipitoisuudelle annettu raja-arvo on ylittynyt vain Helsingin keskustassa, viimeksi vuonna 2006. Katupölyn muodostumiseen voidaan merkittävästi vaikuttaa oikea-aikaisella katujen siivouksella ja kunnossapidolla sekä pölynsidonnalla. Pölyhaittojen ehkäisemiseksi tulee jatkossakin kiinnittää huomiota katujen ja teiden talvikunnossapitoon, oikea-aikaiseen hiekoitushiekan poistoon sekä tehostettuun pölynsidontaan etenkin katupölykaudella. Myös rakennustyömaiden ja muiden pölyävien toimintojen pölyntorjuntaan ja mahdolliseen pölynsidontaan tulee kiinnittää huomiota kaikkina vuodenaikoina.



Kuva 9. Hiukkasten kokoluokkia. Hiukkasten koko ilmaistaan halkaisijana mikrometreissä ( $\mu\text{m}$ ). Mikro ( $\mu$ ) etuliite tarkoittaa miljoonasosaa.  $1 \mu\text{m}$  on siten metrin miljoonasosa eli millimetrin tuhannesosa.

Hengitettävien hiukkasten vuosikeskiarvopitoisuudelle annettu raja-arvo  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  alittuu Suomessa. Hengitettävien hiukkasten pitoisuuden vuosikeskiarvot ovat olleet viime vuosina suurimmissa kaupungeissa noin  $10\text{--}20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Vilkkaimmilla teillä ja katukuiluosuuksilla vuosipitoisuudet voivat olla yli  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Pienissä ja keskisuurissa kaupungeissa

vuosikeskiarvot ovat noin 6–15  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  mittausympäristöstä riippuen. Puhtailla tausta-alueilla vuosikeskiarvopitoisuudet ovat olleet Etelä-Suomessa noin 9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ja Pohjois-Suomessa noin 3–5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (*Ilmatieteen laitos, 2020*).

Pienhiukkaspitoisuuden vuosikeskiarvolle määritetty raja-arvo 25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  alittuu selvästi kaikkialla Suomessa. Viime vuosina pienhiukkasten vuosikeskiarvopitoisuus on ollut pääkaupunkiseudun kaupunkialueilla noin 5–8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ja muilla kaupunkialueilla noin 3–7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Pitoisuuserot erityyppisten mittausympäristöjen välillä ovat muutamia mikrogrammoja. Puhtailla tausta-alueilla vuosikeskiarvopitoisuudet ovat olleet Etelä-Suomessa noin 4–6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ja Pohjois-Suomessa noin 2–3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (*Ilmatieteen laitos, 2020*). Pienhiukkasten taustapitoisuudesta valtaosa on kaukokulkeutunutta hiukkasainesta. Kaukokulkeuma muodostaa huomattavan osan myös kaupunki-ilman pienhiukkaspitoisuuksista.

#### 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 enneaikaista 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 pakkanen 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 verenkiertoelimistön 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 hiukkasten 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 79/2017).

Ilman epäpuhtaus	Keskiarvon las- kenta-aika	Raja-arvo $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (293 K, 101,3 kPa)	Sallittujen ylitysten määrä kalenterivuo- dessa
Typpidioksidi ( $\text{NO}_2$ )	1 tunti	200 <sup>1)</sup>	18
	kalenterivuosi	40 <sup>1)</sup>	–
Pienhiukkaset ( $\text{PM}_{2,5}$ )	kalenterivuosi	25 <sup>2)</sup>	–

<sup>1)</sup> Tulokset ilmaistaan lämpötilassa 293 K ja paineessa 101,3 kPa.

<sup>2)</sup> 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 ja hiukkasten pitoisuuksia koskevat ilmanlaadun ohjearvot on esitetty taulukossa 2. Lisäksi taulukossa esitetään WHO:n suositustenomaiset ohjearvot pienhiukkasten vuorokausipitoisuudelle ja vuosipitoisuudelle (WHO, 2006).

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

Ilman epäpuhtaus	Ohjearvo µg/m <sup>3</sup>	Tilastollinen määrittely
Typpidioksidi (NO <sub>2</sub> )	150 <sup>1)</sup>	Kuukauden tuntiarvojen 99. prosenttipiste
	70 <sup>1)</sup>	Kuukauden toiseksi suurin vuorokausiarvo
Pienhiukkaset (PM <sub>2.5</sub> )	25 <sup>2)</sup>	Suurin vuorokausikeskiarvo
	10 <sup>2)</sup>	Vuosikeskiarvo

<sup>1)</sup> Tulokset ilmaistaan lämpötilassa 293 K ja paineessa 101,3 kPa.

<sup>2)</sup> 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.

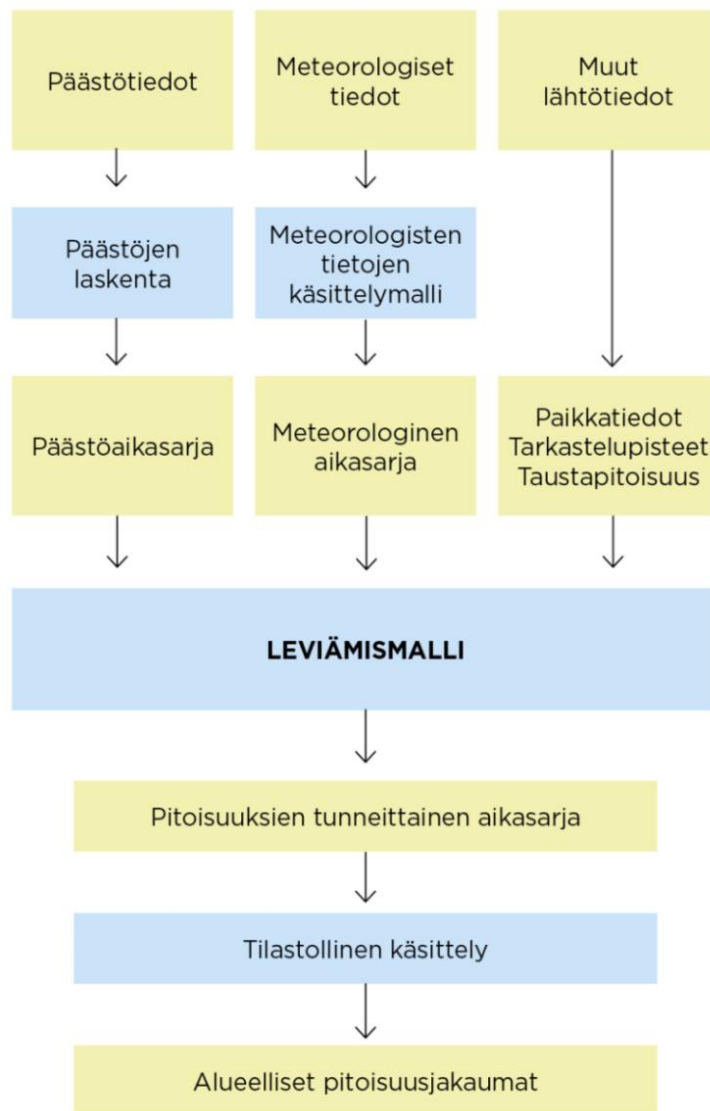
Ilmatieteen laitoksen leviämismalleja on kehitetty pitkäjänteisesti yli kolmenkymmenen vuoden ajan tavoitteena tuottaa luotettavaa tietoa ilmanlaadusta erityisesti Suomen olosuhteissa mm. kaupunki- ja liikennesuunnittelun ja ilmansuojelutoimenpiteiden suunnittelun tueksi sekä pitoisuuksien ja väestön 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 kuvassa 10.

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 tietoja 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 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 10. Kaaviokuva Ilmatieteen laitoksella kehitetyn leviämismallin CAR-FMI toiminnasta.

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

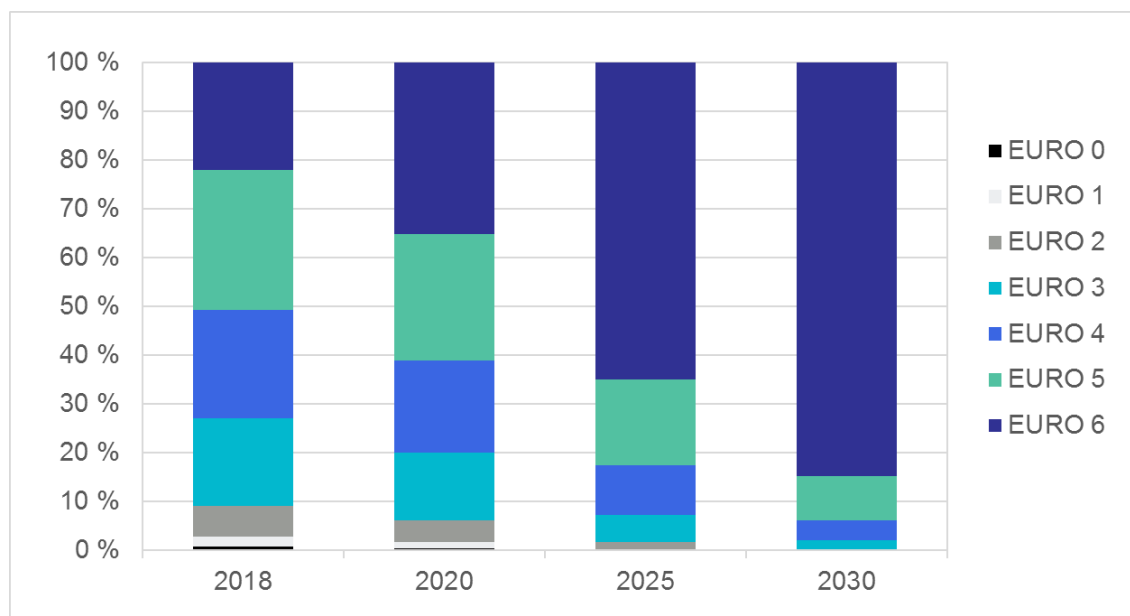
## 7.1 Liikenteen päästölaskenta

Liikenteen päästölaskennan pohjatietona sovelletaan Euroopan ympäristöviraston määrittämiä tieliikenteen päästökertoimia (EEA, 2019). Nämä päästökertoimet riippuvat ajoneuvojen moottoriteknologiasta ja ajoneuvojen EURO-päästöluokista sekä ajonopeudesta. Kertoimet on määritetty yksityiskohtaisesti eri ajoneuvotyypeille, niiden katu- ja maantieajolle

tasaiselle nopeudella sekä ruuhka-aikaan suoritettavalle ajolle. Näistä kertoimista on tätä työtä varten keskiarvoistettu Suomen ajoneuvokantaa edustavat päästökertoimet.

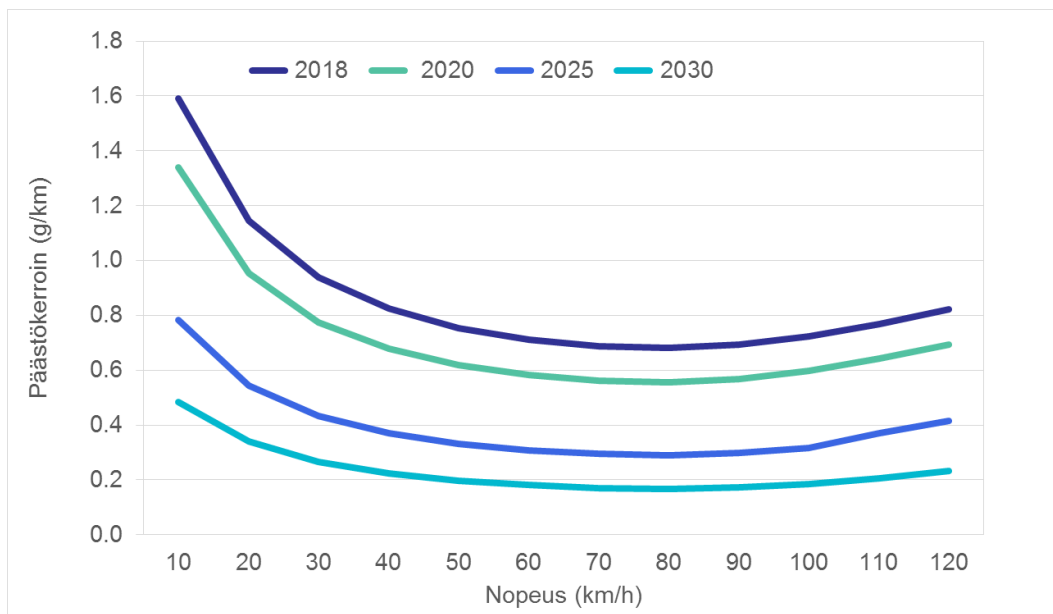
Suomen autokantaa edustavat EURO-päästöluokittaiset ajosuoriteosuudet on esitetty VTT:n julkaiseman liikenteen laskentajärjestelmä LIPASTO:n ALIISA-autokantamallissa. Tämä malli tarjoaa vuosittain päivittyvät nykytilannetta edustavat arvot (nyt käytössä vuosi 2018) ja ennusteet vuosille 2020, 2025 ja 2030 koko Suomen autokannan EURO-päästöluokittaisille ajosuoriteosuuksille (kuva 11). 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). On kuitenkin mahdollista, etteivät VTT:n tuottamat ennusteet toteudu täysimääräisenä ja autokannan uudistuminen on ennustettua hitaampaa.

Kuvissa 12 ja 13 on esitetty Suomen koko ajoneuvokannan keskimääräiset päästökertoimet vuosille 2018–2030. Kertoimet ottavat huomioon ajoneuvotyyppien keskimääräiset suhteelliset osuudet Suomessa. Kertoimet kohdennetaan kunnittain ajoneuvotyyppien suhteellisilla suoriteosuuksilla katu- tai tieosuuksien mukaan VTT:n ALIISA-laskentajärjestelmän mukaisesti. Ajoneuvotyyppien suhteellisten suoriteosuuksien ei oleteta muuttuvan eri vuosien päästöskenaarioissa. Päästökertoimen pieneneminen vuodesta 2018 vuoteen 2030 selittyy autokannan uusiutumisella ja sillä, että uusilla vähäpäästöisemmillä ajoneuvoilla ajetaan tulevaisuudessa suhteessa suurempi osa ajosuoritteesta. Tulevaisuuden ennusteisiin kuitenkin liittyy runsaasti epävarmuustekijöitä. Tekemällä päästöjen leviämismallit useilla eri vuosien päästötasoilla, saadaan aikaiseksi vaihteluväli, jolla autoliikenteen päästöjen aiheuttamat pitoisuudet tulevaisuudessa todennäköisesti esiintyvät. Tekemällä myös tulevaisuutta ennustavat päästöjen leviämismallit nykyhetken päästökertoimilla saadaan tuloksena enimmäistaso, jolla autoliikenteen aiheuttamat pitoisuudet enintään ovat jos mitään päästökehitystä ei tapahdu.

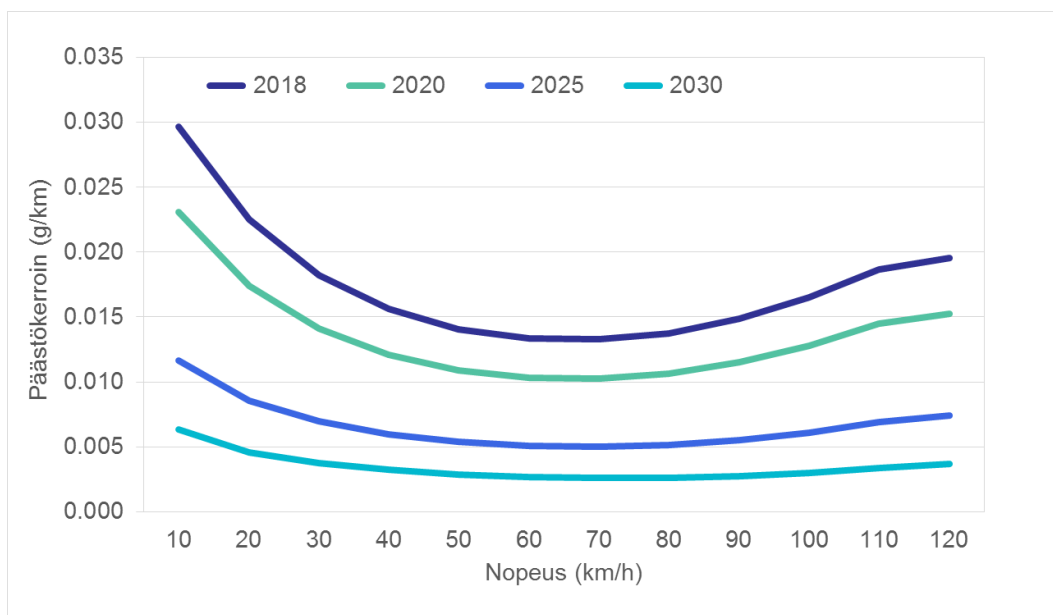


Kuva 11. ALIISA-Autokantamallin kaikkien ajoneuvojen EURO-päästöluokittaiset suoritejakaumat Suomessa vuosina 2018–2030 (VTT, 2019).





Kuva 12. Autoliikenteen päästölaskelmissa käytettävät ajoneuvojen keskimääräiset nopeusriippuvat **typenoksidien (NO<sub>x</sub>)** päästökertoimet. Kertoimien pohjana ovat EEA:n päästökertoimet (EEA, 2019) painotettuna ajosuoritteiden EURO-päästöluokkajakaumilla ja koko Suomen keskimääräisillä ajosuoriteosuuksilla vuonna 2018 ja ennustettuna vuosille 2020–2030 (VTT, 2019).



Kuva 13. Autoliikenteen päästölaskelmissa käytettävät ajoneuvojen keskimääräiset nopeusriippuvat **pienhiukkasten (PM<sub>2,5</sub>)** päästökertoimet. Kertoimien pohjana ovat EEA:n päästökertoimet (EEA, 2019) painotettuna ajosuoritteiden EURO-päästöluokkajakaumilla ja koko Suomen keskimääräisillä ajosuoriteosuuksilla vuonna 2018 ja ennustettuna vuosille 2020–2030 (VTT, 2019).

## VIITELUETTELO

*Anttila, P., Tuovinen, J.-P. ja Niemi, J., 2011.* Primary NO<sub>2</sub> emissions and their role in the development of NO<sub>2</sub> concentration in a traffic environment. *Atmospheric Environment* 45 (2011) 986-992.

*EEA, 2019.* 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

*Hänninen, O., Korhonen, A., Lehtomäki, H., Asikainen, A., Rumrich, I, 2016.* Ilmansaasteiden terveysvaikutukset. Ympäristöministeriön raportteja 16/2016. [https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/74861/YMra\\_16\\_2016.pdf](https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/74861/YMra_16_2016.pdf)

*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.

*Ilmatieteen laitos, 2020.* Ympäristönsuojelun tietojärjestelmän ilmanlaatuosa, tarkistettut mittaustulokset. <https://ilmatieteenlaitos.fi/havaintojen-lataus#!/>

*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.

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

*VTT, 2019.* 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

**ILMATIETEEN LAITOS**

puh. 029 539 1000

Ilmanlaatu ja Energia

[ilmanlaatupalvelut@fmi.fi](mailto:ilmanlaatupalvelut@fmi.fi)

[www.ilmatieteenlaitos.fi/ilmanlaatupalvelut](http://www.ilmatieteenlaitos.fi/ilmanlaatupalvelut)

**WWW.ILMATIETEENLAITOS.FI**

