



# PÄÄKAUPUNKISEUDUN ILMANLAATUSELVITYS

## Autoliikenteen typen oksidipäästöjen leviämismallilaskelmat



# **PÄÄKAUPUNKISEUDUN ILMANLAATUSELVITYS**

## **Autoliikenteen typen oksidipäästöjen leviämismallilaskelmat**

**Jenni Latikka**

**Salla Pykäri**

**Timo Rasila**

**Maija Ylinen**

**Katja Lovén**

**Ilmatieteen laitos**

**Asiantuntijapalvelut – Ilmanlaatu ja energia**

**Helsinki 21.4.2023**

# SISÄLLYSLUETTELO

---

<b>TIIVISTELMÄ .....</b>	<b>5</b>
<b>OSA I.....</b>	<b>7</b>
1 JOHDANTO.....	7
2 LEVIÄMISMALLILASKELMIEN TULOKSET .....	8
2.1 Alueelliset typpidioksidi- (NO <sub>2</sub> ) ja typenoksidipitoisuudet (NO <sub>x</sub> ) .....	9
2.1.1 Nykytilanne .....	9
2.1.2 Tulevaisuuden skenaario (2030) .....	12
2.2 Loittonevat väylägradientit .....	14
2.2.1 Nykytilanne .....	15
2.2.2 Tulevaisuuden skenaario (2030) .....	16
2.3 Katukuilumaiset ympäristöt.....	17
2.4 Mallilaskelmien tulosten vertailu ilmanlaadun mittaustuloksiin .....	19
3 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET.....	24
<b>OSA II.....</b>	<b>26</b>
4 TAUSTATIETOA ILMANLAADUSTA.....	26
4.1 Ilmanlaatuun vaikuttavat tekijät.....	26
4.2 Typpidioksidi .....	26
4.3 Ilman epäpuhtauksien terveysvaikutukset.....	27
4.4 Ulkoilmanlaadun vertailuarvot.....	27
5 LEVIÄMISMALLILASKELMIEN LÄHTÖTIEDOT .....	30
5.1 Autoliikenteen päästöt.....	30
5.2 Meteorologiset tiedot.....	32
5.3 Taustapitoisuudet.....	33
5.4 Laskentapisteikkö .....	34
6 LEVIÄMISMALLILASKELMISSA KÄYTETYT MENETELMÄT .....	35
6.1 Pitoisuuslaskenta päästöjen leviämismalleilla .....	35
6.2 Liikenteen päästöjen leviämismalli (CAR-FMI).....	36
6.3 Katukuilumallinnus (OSPM).....	37
6.4 Typenoksidipäästöjen ilmakemiamalli .....	38
6.5 Meteorologisten tietojen käsittelymalli (MPP-FMI) .....	39
<b>VIITELUETTELO.....</b>	<b>40</b>
<b>LIITTEET .....</b>	<b>41</b>
Liitekuvaluettelo.....	41
Liitekuvat .....	42

## TIIVISTELMÄ

---

Ilmanlaatuselvityksessä arvioitiin pääkaupunkiseudun autoliikenteen typenoksidipäästöjen ilmanlaatuvaikutuksia nykytilanteessa ja tulevaisuudessa vuonna 2025 ja 2030. Leviämismallilaskelmien avulla tarkasteltiin ulkoilman typpidioksidin ja typen oksidien pitoisuuksia ja niiden alueellista jakautumista. Tuloksina saatuja ulkoilman pitoisuuksia verrattiin lainsäädännössä määriteltyihin ilmanlaadun vertailuarvoihin ja Maailman terveysjärjestön, WHO:n, suositteluihin ohjearvoihin.

Koko pääkaupunkiseudun autoliikenteen päästöjen leviämismallilaskelmissa käytettiin Ilmatieteen laitoksella kehitettyä liikennepäästöjen viivalähdemallia (CAR-FMI). Tarkastelualueen koko oli 45 × 35 km. Lisäksi katukuilumaisten kohteiden pitoisuuksia tarkasteltiin tanskalaisella katukuilumallilla (OSPM). Mallilaskelmissa käytettiin autoliikenteen vuoden 2019 ja ennustettuja vuoden 2025 ja 2030 päästötietoja, sekä alueen ilmastollisia olosuhteita edustavaa vuosien 2017–2019 meteorologista aineistoa.

Autoliikenteen typenoksidipäästöt ja alueellinen taustapitoisuus kattavat merkittävän osan pääkaupunkiseudun kokonaispäästöistä. Muita päästölähteitä, joita ei tässä tutkimuksessa tarkasteltu, ovat laiva- ja lentoliikenne, työkoneet, kotitalouksien puun pienpoltto ja energiantuotanto. Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä (HSY) vastasi Helsingin seudun liikenteen (HSL) arvioimien liikennemäärätietojen perusteella lasketuista autoliikenteen typenoksidipäästöistä. Alueellinen taustapitoisuus määritettiin HSY:n Luukin ja Kallion taustailmanlaatuasemien mittausten perusteella.

Mallilaskelmien tulosten perusteella voidaan todeta, että ilmanlaatu pääkaupunkiseudulla on pääsääntöisesti hyvää, mutta vilkasliikenteiset väylät aiheuttavat kohonneita pitoisuuksia paikallisesti. Pitoisuudet pienenevät nopeasti etäisyyden kasvaessa vilkkaimmista liikenneväylistä.

Autoliikenteen päästöjen ja alueellisen taustapitoisuuden yhdessä aiheuttamat typpidioksidin kokonaispitoisuudet nykytilanteessa alittavat ilmanlaadun vuosiraja-arvon koko pääkaupunkiseudulla vilkasliikenteisiä väyliä lukuun ottamatta, joilla raja-arvo ei ole voimassa. WHO:n suosittelema vuosiohjarvo sen sijaan ylittyy Kehä I:n sisäpuolella ja vilkkaiden liikenneympäristöjen läheisyydessä laajoilla alueilla. Tulevaisuudessa, vuonna 2030 ennustettujen autoliikenteen päästöjen ja alueellisen taustapitoisuuden laskun myötä, typpidioksidin vuosipitoisuuksien ennustetaan laskevan, jolloin WHO:n suosittelema vuosiohjarvo ylittyisi enää vain vilkasliikenteisten väylien ja risteysalueiden läheisyydessä sekä katukuilumaisissa kohteissa.

Pelkästään autoliikenteen päästöt ilman taustapitoisuuden vaikutusta aiheuttavat nykytilanteessa typpidioksidin kansallisen vuorokausiohjarvon ylittymisen vilkkaimpien väylien välittömässä läheisyydessä ja WHO:n suositteleman typpidioksidin vuorokausiohjarvon ylittymisen laajalla alueella. Toteutettujen mallinnusten mukaan vuonna 2030 kansalliseen vuorokausiohjarvoon verrannollinen pitoisuus alittuu pääosassa pääkaupunkiseutua lukuun ottamatta yksittäisiä pisteitä vilkasliikenteisillä väylillä ja katukuilumaisissa kohteita. WHO:n suosittelema vuorokausiohjarvo ylittyisi edelleen vilkasliikenteisten väylien ja risteysalueiden ympäristössä, sekä katukuilumaisissa kohteissa.

Typen oksidien vuosipitoisuudelle annettu kriittinen taso alittuu nykytilanteessa kaikkialla pääkaupunkiseudulla lukuun ottamatta vilkkaimpien teiden varsia ja tulevaisuudessa ainoastaan yksittäisissä pisteissä vilkkaimmilla väylillä, joissa kriittisen tason ei katsota olevan voimassa.

Leviämismallilaskelmien tuloksia verrattiin HSY:n pääkaupunkiseudulla sijaitsevien ilmanlaadun mittausasemien ja typpidioksidin passiivikeräinten mittaustuloksiin vuosilta 2017–2019. Mallinnuksen ja mittausten epävarmuudet huomioiden voidaan typenoksidien malli- ja

mittaustulosten arvioida vastaavan pääosin hyvin toisiaan ja mallitulosten täyttävän pääosin mallintamisen epävarmuudelle ilmanlaatuasetuksessa asetetut laatutavoitteet. Laatutavoitteet eivät täyty ilmanlaadullisissa erityiskohteissa, kuten satamissa ja lentokentällä, sekä muutamissa vilkasliikenteisissä mittaus- ja passiivikeräin pisteissä. Katukuilumallinnuksen tulokset vastaavat hyvin mitattuja pitoisuuksia, jolloin alueelliset leviämismallinnuksen ja katukuilumallinnuksen tulokset yhdessä antavat kattavan kuvan alueellisesta ilmanlaadusta. Mallinnuksen tarkkuuteen vaikuttavat mm. mallinnuksessa käytettyjen lähtötietojen, kuten liikennemäärien ja päästöjen oikeellisuus. Lisäksi leviämismallinnus itsessään sisältää yksinkertaistuksia.

## OSA I

---

### 1 JOHDANTO

Ilmanlaatuselvityksen tarkoituksena oli hankkia leviämismallilaskelmien avulla tietoa pääkaupunkiseudun ilmanlaadusta ja sen alueellisesta vaihtelusta. Edellinen koko pääkaupunkiseudun autoliikenteen typenoksidipäästöt kattava ilmanlaatuselvitys valmistui vuonna 2016 (*Hannuniemi ym., 2016*). Selvitys auto- ja laivaliikenteen sekä kotitalouksien puunpolton pienhiukkas-, mustahiili- ja bentso(a)pyreenipäästöjen ilmanlaatuvaikutuksista pääkaupunkiseudun alueella valmistui aikaisemmin vuonna 2022 (*Latikka ym., 2022*).

Autoliikenteen ilmanlaatuvaikutuksia arvioitiin laskennallisesti leviämismallien avulla vuoden 2019, 2025 ja 2030 päästöjä kuvaavissa tilanteissa. Mallinnuksessa käytettiin Ilmatieteen laitoksella kehitettyä liikennepäästöjen viivalähdemallia (CAR-FMI) ja tanskalaista katukuilumallia (OSPM). Leviämismallilaskelmien avulla tarkasteltiin pääkaupunkiseudun autoliikenteen päästöjen aiheuttamia typenoksidipitoisuuksia ja niiden alueellista jakautumista. Muita typenoksidipäästöjä aiheuttavia lähteitä, joita ei huomioitu tässä tutkimuksessa, ovat laiva- ja lentoliikenne, työkoneet, kotitalouksien puun pienpolto ja energiantuotanto. Tutkimuksen tuloksena saatuja pitoisuuksia verrattiin ilmanlaadun vertailuarvoihin ja ilmanlaadun mittausten tuloksiin.

Raportin rakenne on kaksiosainen. Ensimmäisessä osassa esitetään leviämismallinnuksen keskeisimmät tulokset, vertailut mitattuihin pitoisuuksiin ja johtopäätökset. Raportin toisessa osassa on kuvattu mallinnuksen lähtötiedot ja käytetyt menetelmät sekä kerrottu taustatietoa ilmanlaadusta. Raportin kaikki tuloskuvat on esitetty liitteenä raportin lopussa.

Ilmanlaatuselvityksen tilasi Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä (HSY). Päästöjen leviämismallilaskelmat, tulosten tarkastelu ja raportointi tehtiin Ilmatieteen laitoksen Asiantuntijapalvelut -yksikössä.

## 2 LEVIÄMISMALLILASKELMIEN TULOKSET

Leviämismallilaskelmien avulla on mahdollista tarkastella laajojen, kokonaisten kaupunkiseutujen ilmanlaatua sekä eri tekijöiden vaikutusta ilmanlaatuun. Mallilaskelmilla tehdyn ilmanlaatuarvion tarkoituksena on tuottaa mahdollisimman todenmukaista tietoa ilmanlaadusta ja sen vaihtelusta. Siksi mallilaskelmissa on mukana kaikkien merkittävimpien päästölähteiden tunnetut päästöt ja muualta kulkeutuneiden ilman epäpuhtauksien taustapitoisuus. Mallilaskelmissa käytettyjen lähtötietojen oikeellisuutta ja mallitulosten edustavuutta on arvioitu vertaamalla mallilaskelmin saatuja tuloksia ilmanlaadun mittaustuloksiin. Tässä työssä pitoisuuksien muodostumista on arvioitu koko pääkaupunkiseudun kattavalle alueelle (45 × 35 km). Laajalle alueelle tehdyn leviämismallinnuksen tuloksia voidaan käyttää alueellisten ilmanlaatuvaikutusten arvioinnissa ja esimerkiksi ilmanlaadun mittausverkon suunnittelussa.

Leviämismallilaskelmien tuloksina saadut typpidioksidin ja typen oksidien pitoisuudet on esitetty raportissa havainnollisina karttakuvina ja graafeina, joissa ilman epäpuhtauksia verrataan ilmanlaatulainsäädännössä annettuihin raja- ja ohjearvoihin sekä WHO:n suosittelemiin ohjearvoihin. Karttakuvissa esitetyt pitoisuusjakaumat kuvaavat enimmäispitoisuustasoa ulkoilmassa ihmisten hengityskorkeudella (2 m). Raportin ensimmäisessä osiossa on esitetty tärkeimmät pitoisuuksien tuloskartat ja raportin liitekuviin kaikki tuloskartat.

Karttakuvissa on esitetty värillisinä jakaumina alueet, joilla tietyn pitoisuuden ylittyminen on pitkän havaintojakson aikana todennäköistä. Kartoissa esitetyt pitoisuuksien aluejakaumat eivät edusta koko tutkimusalueella yhtä aikaa 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 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.

Taustapitoisuutena mallilaskelmissa käytettiin HSY:n Espoon Luukissa ja Helsingin Kalliossa sijaitsevien taustailmanlaadun mittausasemien mitattuja pitoisuuksia ja tulevaisuuden tarkasteluihin HSY:n arvioimia ennustetaustapitoisuuksia, jonka mukaan typen oksidipitoisuudet vähenevät 50 % nykytilanteesta. Tarkastelujaksolla 2017–2019 typen oksidien ilmanlaatumittausten mukainen taustapitoisuuden vuosikeskiarvo Luukissa oli 4,6 µg/m<sup>3</sup> ja ennustetussa tilanteessa vuonna 2030 2,6 µg/m<sup>3</sup>. Otsonipitoisuus molemmissa tilanteissa oli 50,8 µg/m<sup>3</sup>. Typpidioksidin mitattu keskiarvopitoisuus Kalliossa tarkastelujaksolla 2017–2019 oli 14,9 µg/m<sup>3</sup>, vuodelle 2025 ennustettu vuosikeskiarvopitoisuus 10,5 µg/m<sup>3</sup> ja vuodelle 2030 ennustettu vuosipitoisuus 7,4 µg/m<sup>3</sup>. Otsonipitoisuus Kalliossa kaikkina tarkasteluvuosina oli 51,0 µg/m<sup>3</sup>. (*Ilmatieteen laitos, 2021; HSY, 2020*). Kaupunkialueilla tai taajamissa paikalliset päästölähteet nostavat typen oksidien pitoisuudet taustapitoisuustasoa korkeammiksi.

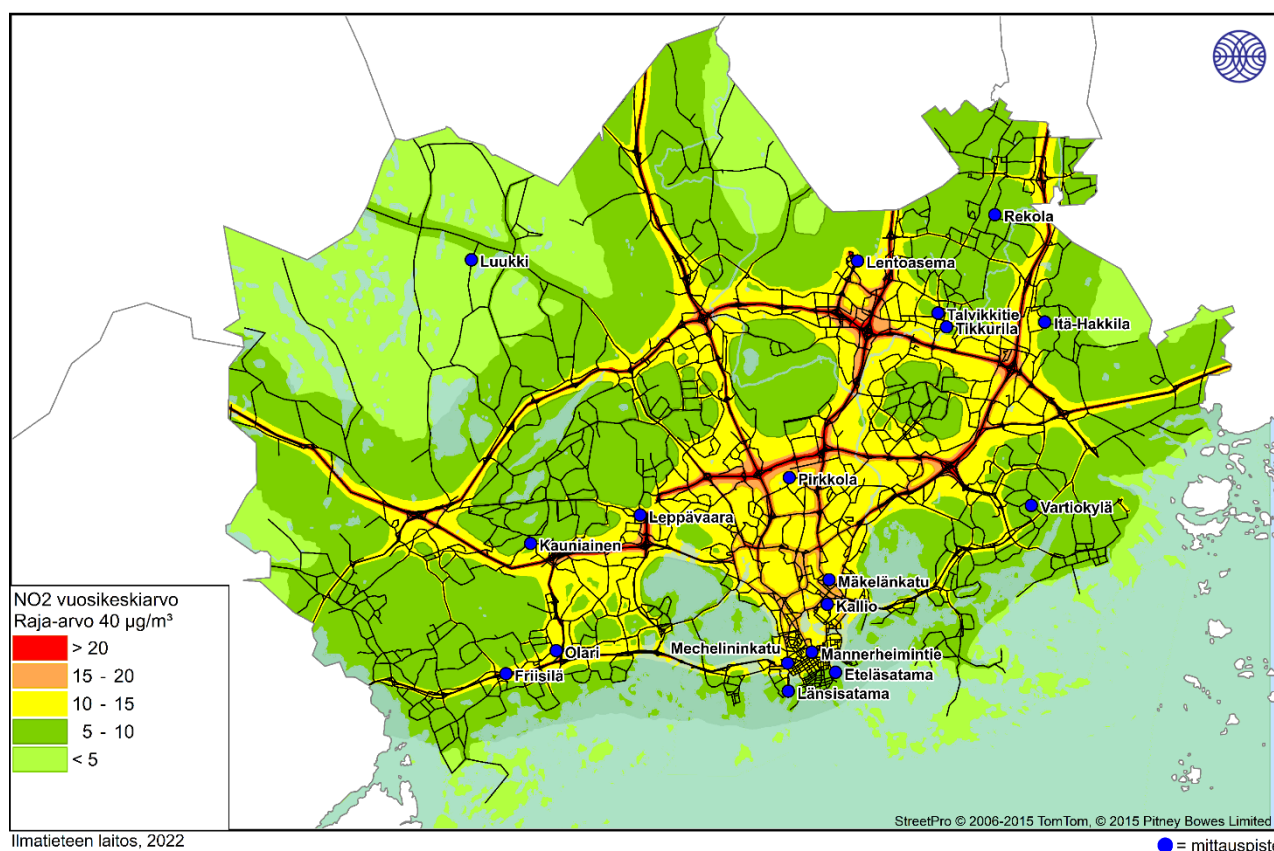
## 2.1 Alueelliset typpidioksidi- (NO<sub>2</sub>) ja typenoksidipitoisuudet (NO<sub>x</sub>)

Korkeimmat typpidioksidipitoisuudet pääkaupunkiseudulla esiintyvät vilkkaasti liikennöityjen teiden varsilla ja risteysalueilla. Pitoisuudet pienenevät selvästi, kun etäisyys liikenneväylistä kasvaa. Hetkelliset typpidioksidipitoisuudet ovat korkeimmillaan ruuhka-aikaan liikennemäärien olleessa suurimmillaan ja erityisesti tyyninä ja kylminä talvipäivinä, jolloin ilman sekoittuminen on heikkoa.

### 2.1.1 Nykytilanne

Leviämismallilaskemien tuloksena saadut pääkaupunkiseudun autoliikenteen vuoden 2019 päästöjen ja alueellisen taustapitoisuuden yhdessä aiheuttama typpidioksidin (NO<sub>2</sub>) vuosikeskiarvopitoisuus on esitetty kuvassa 1 ja liitekuvassa 1. Leviämismallinnuksessa ei ole otettu huomioon muiden typpidioksidipäästöjen lähteitä, kuten laiva-, satama- ja lentoliikennettä, työkoneita, kotitalouksien puunpolttoa tai energiantuotantoa.

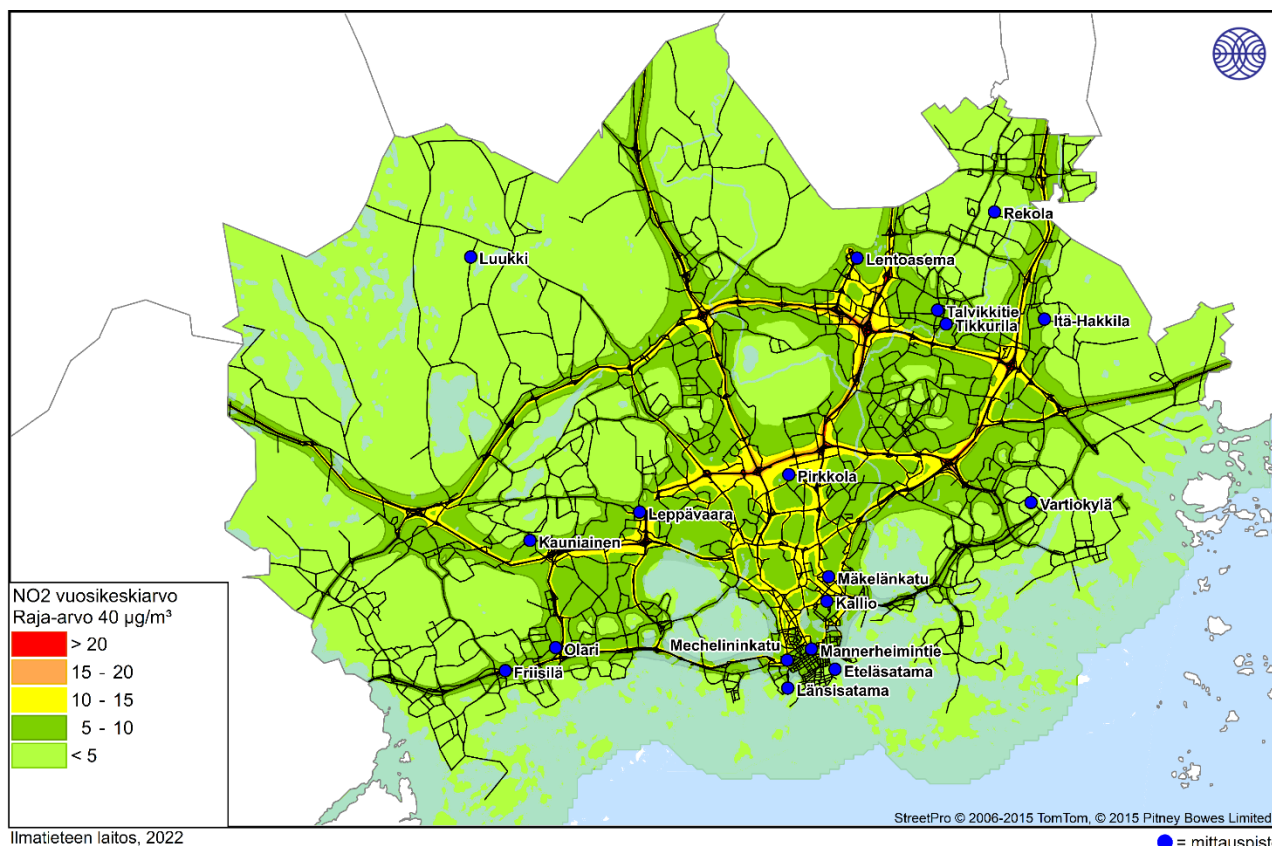
Leviämismallilaskelmien tulosten mukaan typpidioksidin vuosikeskiarvo Kehä I:n sisäpuolella ja vilkkaiden liikenneympäristöjen läheisyydessä on laajoilla alueilla 10–15 µg/m<sup>3</sup>, joka alittaa selvästi typpidioksidin vuosiraja-arvon (40 µg/m<sup>3</sup>), mutta ylittää WHO:n suositteleman ohjearvo (10 µg/m<sup>3</sup>). Vilkkaimpien teiden välittömässä läheisyydessä pitoisuudet ovat yli 15 µg/m<sup>3</sup>. Katukuilumaisissa kohteissa pitoisuudet ovat todellisuudessa korkeampia kuin kuvassa näkyvä arvot (kts. kappale 2.3). Typpidioksidille asetettu vuosiraja-arvo (40 µg/m<sup>3</sup>) ylittyy ainoastaan vilkkaimmilla väylillä, joissa raja-arvo ei ole voimassa. Pääkaupunkiseudun reuna-alueilla typpidioksidin vuosikeskiarvo on taustapitoisuuden tasolla (alle 5 µg/m<sup>3</sup>).



Kuva 1. Autoliikenteen ja alueellisen taustapitoisuuden (vuosikeskiarvo 4,6 µg/m<sup>3</sup>) yhdessä aiheuttama typpidioksidin (NO<sub>2</sub>) vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m<sup>3</sup>) pääkaupunkiseudulla nykytilanteessa.



Autoliikenteen nykytilanteen päästöt aiheuttavat yksinään vilkkaimpien teiden ja risteysten välittömässä läheisyydessä typpidioksidin pitoisuuksia, jotka ylittävät WHO:n suositteleman vuosiohjearvon ( $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Sen sijaan typpidioksidille asetettu vuosiraja-arvo ( $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ylittyy ainoastaan itse vilkkaimmilla väylillä, jossa raja-arvo ei ole voimassa. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama vuosikeskiarvopitoisuus (ilman taustapitoisuutta) on esitetty kuvassa 2 ja liitekuvasa 2.



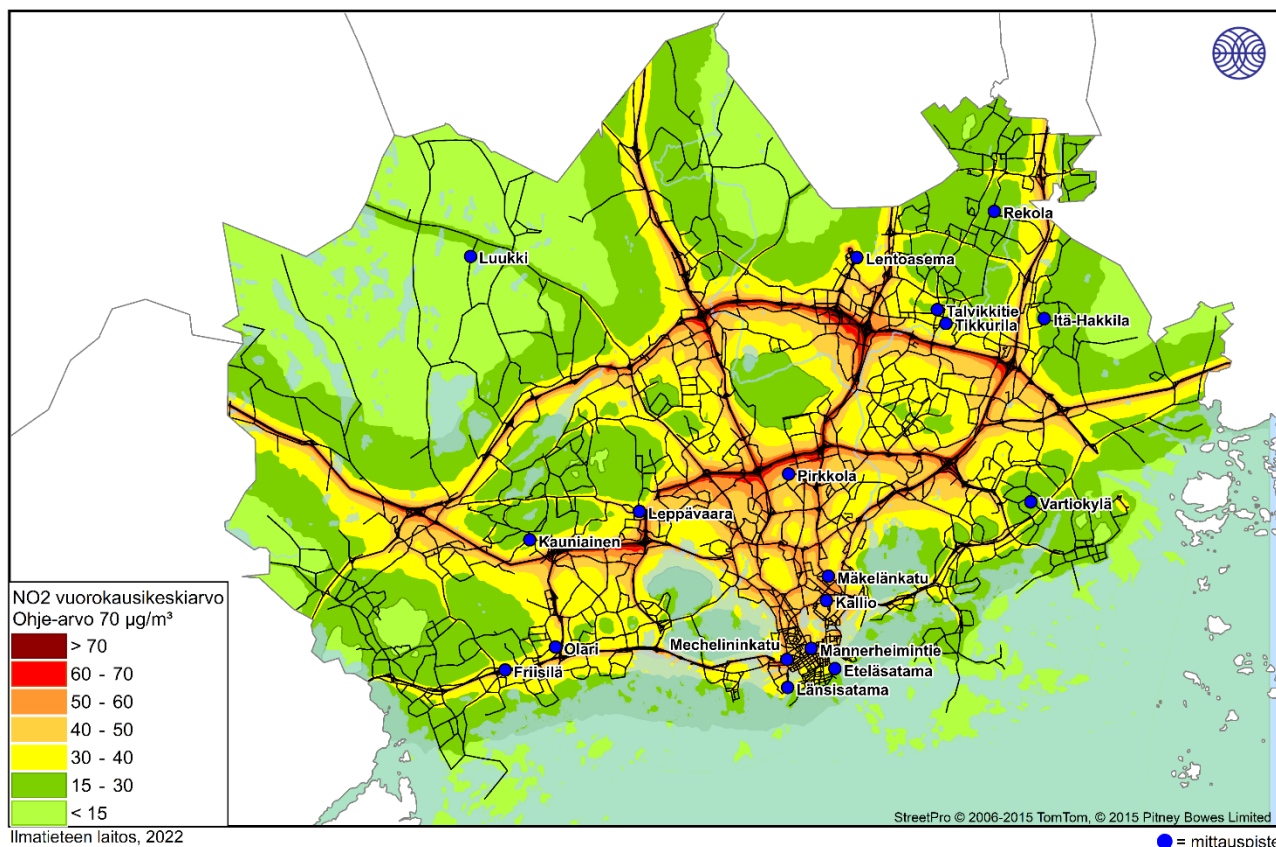
Kuva 2. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama typpidioksidin (NO<sub>2</sub>) vuosikeskiarvopitoisuus ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) pääkaupunkiseudulla nykytilanteessa.

Pääkaupunkiseudun nykytilanteen autoliikenteen ja alueellisen taustapitoisuuden yhdessä aiheuttama typpidioksidin vuorokausiohjearvon ( $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) verrannollinen pitoisuus on esitetty kuvassa 3 ja liitekuvasa 3. Hetkelliset typpidioksidipitoisuudet voivat nousta vuosikeskiarvopitoisuuksia huomattavasti korkeammiksi.

Leviämismallilaskelmien mukaan typpidioksidipitoisuudet ovat laajoilla alueilla Kehä I:n sisäpuolella sekä suurten väylien ja risteysalueiden ympäristössä yli  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Yksin autoliikenteen päästöt aiheuttavat typpidioksidin vuorokausiohjearvon ylittymisen vilkkaimpien väylien välittömässä läheisyydessä (kuva 4, liitekuva 4). Pitoisuudet kuitenkin pienentyvät nopeasti etäisyyden kasvaessa vilkkaimmista liikenneväylistä.

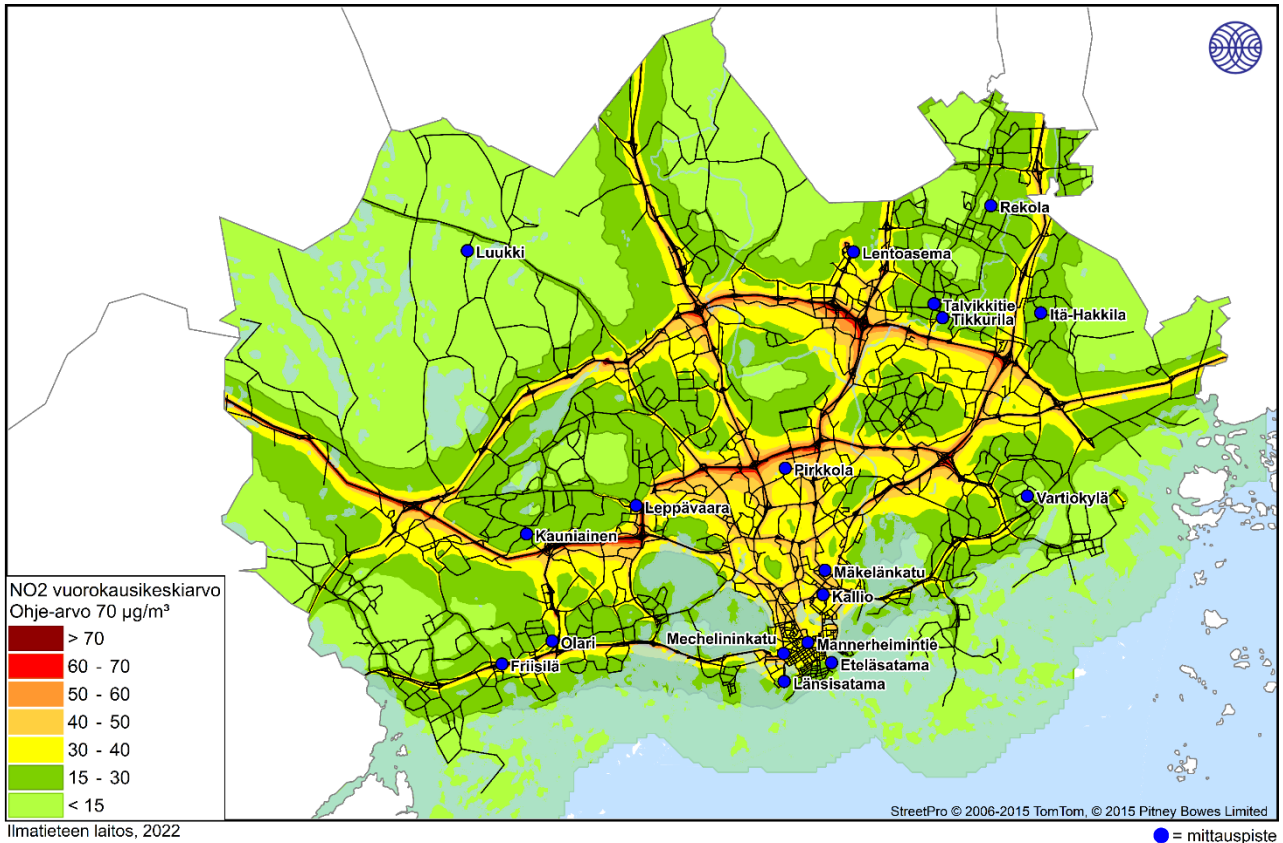
WHO:n suosittelema typpidioksidin vuorokausiohjearvo ( $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ylittyy pelkästään autoliikenteen päästöjen vaikutuksesta laajoilla alueilla. Ainoastaan pääkaupunkiseudun reuna-alueilla ja vähäliikenteisten alueiden ympäristöissä autoliikenteen päästöjen WHO:n vuorokausiohjearvon

verrannollinen pitoisuus on alle  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . WHO:n vuorokausiohjeeseen verrannolliset pitoisuudet on esitetty liitekuivissa 5 ja 6.



Kuva 3. Autoliikenteen päästöjen ja alueellisen taustapitoisuuden aiheuttama typpioksidin ( $\text{NO}_2$ ) vuorokausiohjeeseen verrannollinen pitoisuus ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) pääkaupunkiseudulla nykytilanteessa.

Leviämismallilaskelmien tuloksena saadut autoliikenteen päästöjen ja alueellisen taustapitoisuuden aiheuttamat typen oksidien ( $\text{NO}_x$ ) kriittiseen tasoon ( $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) verrannolliset vuosikeskiarvopitoisuudet on esitetty liitekuivissa 7 ja 8. Typenoksidipitoisuuksille ( $\text{NO}_x = \text{NO}_2 + \text{NO}$ ) annettua kriittistä arvoa sovelletaan rakennetun ympäristön ulkopuolella olevilla laajoilla maa- ja metsätalousalueilla sekä luonnonsuojelun kannalta merkityksellisillä alueilla. Vuosipitoisuudelle annettu kriittinen taso alittuu pääkaupunkiseudulla kaikkialla lukuun ottamatta vilkkaimpien teiden varsia. Rakennetun ympäristön ulkopuolella autoliikenteen päästöjen ja alueellisen taustapitoisuuden typen oksidien vuosikeskiarvopitoisuudet ovat alle  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .



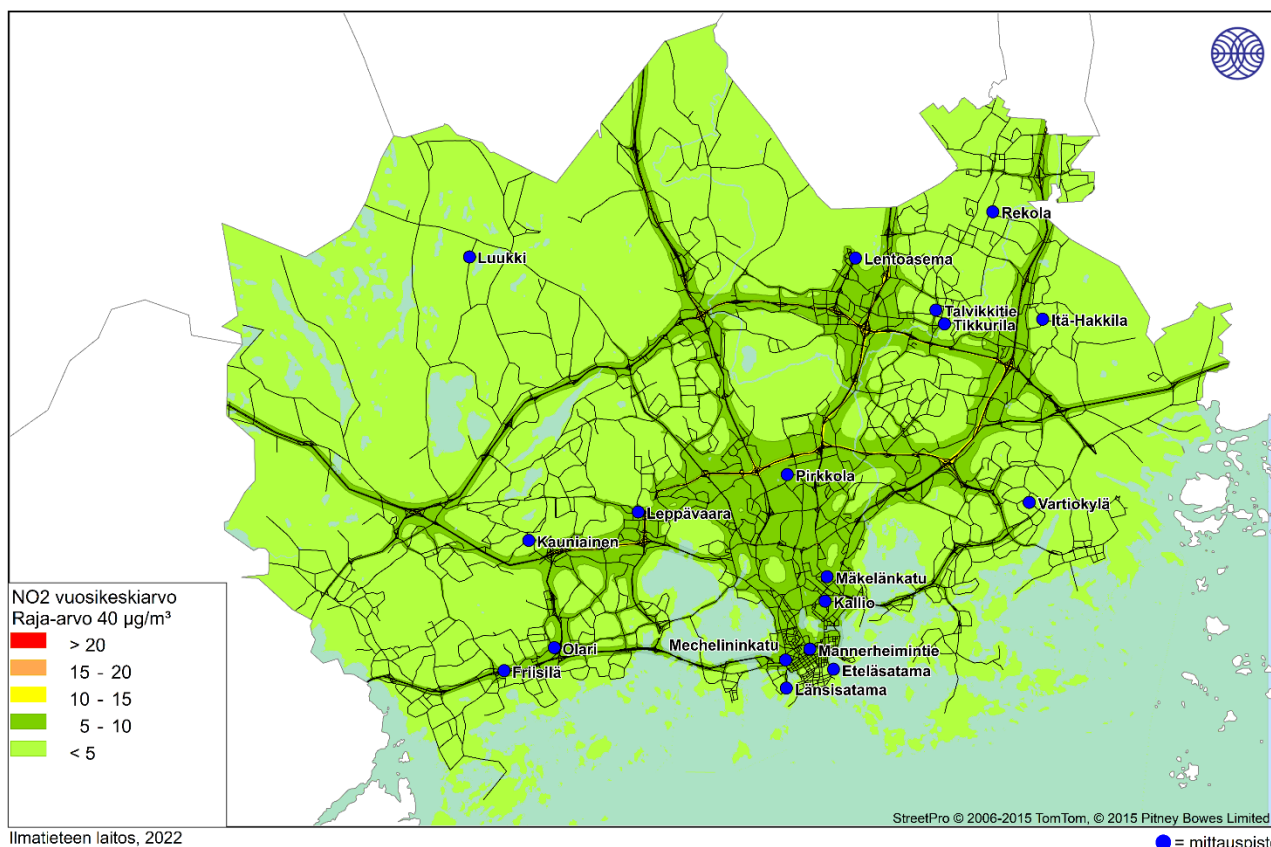
Kuva 4. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama typpidioksidin (NO<sub>2</sub>) vuorokausiohjarvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m<sup>3</sup>) pääkaupunkiseudulla nykytilanteessa.

### 2.1.2 Tulevaisuuden skenaario (2030)

Leviämismallilaskelmien tuloksena saadut vuodelle 2030 ennustettujen autoliikenteen päästöjen ja alueellisen taustapitoisuuden yhdessä aiheuttama typpidioksidin vuosikeskiarvopitoisuus on esitetty kuvassa 5.5 ja liitekuvassa 9. Mallinnuksessa on huomioitu autoliikenteen päästöjen (kts. kappale 5.1) ja typen oksidien alueellisen taustapitoisuuden (kts. kappale 5.3) pieneneminen.

Ennustetussa tulevaisuuden tilanteessa typpidioksidin vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus alittuu koko mallinnusalueella. Pitoisuudet ovat suurimmillaan alle 30 µg/m<sup>3</sup> viikkoilla väylillä. Typpidioksidin vuosikeskiarvo Kehä I:n sisäpuolella ja viikkaiden liikenneväylien ympäristössä on laajoilla alueilla alle 10 µg/m<sup>3</sup> alittaen WHO:n suositteleman ohjarvon. Katukuilumaisissa kohteissa pitoisuudet ovat todellisuudessa korkeampia kuin kuvassa näkyvät arvot (kts. kappale Katukuilumaiset ympäristöt 2.3).

Ennustetussa tulevaisuuden tilanteessa autoliikenteen päästöjen aiheuttama typpidioksidin vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus alittuu koko pääkaupunkiseudun kattavalla mallinnusalueella. Pitoisuudet ovat suurimmillaan alle 25 µg/m<sup>3</sup> viikkoilla väylillä. Yksin autoliikenteen päästöjen aiheuttama typpidioksidin vuosikeskiarvo on pääosassa pääkaupunkiseutua alle 5 µg/m<sup>3</sup>, ja viikkaiden teiden ja risteysalueiden lähiympäristössä 5–10 µg/m<sup>3</sup> alittaen WHO:n suositteleman ohjarvon. Autoliikenteen aiheuttamat vuosikeskiarvopitoisuudet on esitetty liitekuvassa 10.

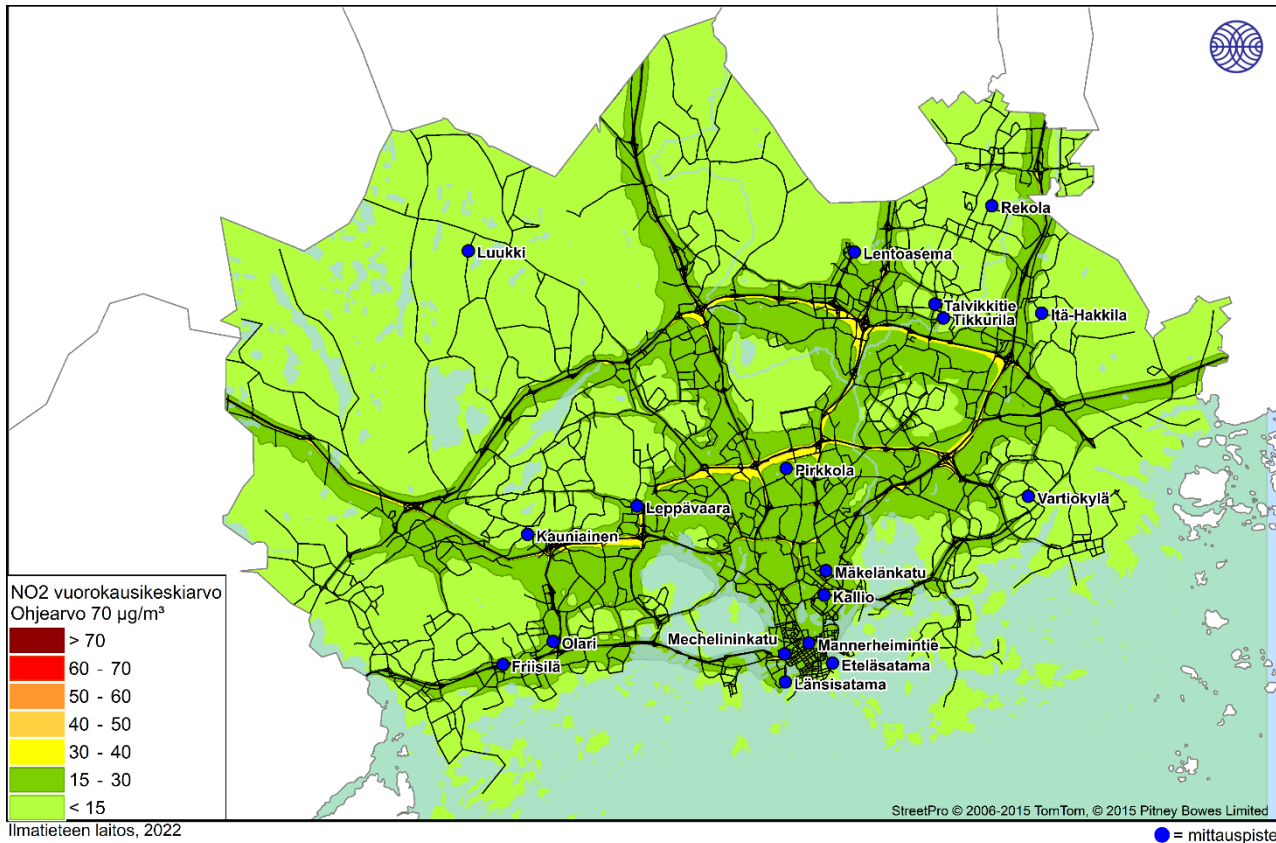


Kuva 5. Autoliikenteen ja alueellisen taustapitoisuuden (vuosikeskiarvo 2,6 µg/m<sup>3</sup>) yhdessä aiheuttama typpidioksidin (NO<sub>2</sub>) vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m<sup>3</sup>) pääkaupunkiseudulla vuonna 2030.

Pääkaupunkiseudun ennustetun autoliikenteen ja alueellisen taustapitoisuuden yhdessä aiheuttama typpidioksidin vuorokausiohjeeseen (70 µg/m<sup>3</sup>) verrannollinen pitoisuus vuonna 2030 on esitetty kuvassa 6 ja liitekuvasa 11. Hetkelliset typpidioksidipitoisuudet voivat nousta vuosikeskiarvopitoisuuksia huomattavasti korkeammiksi.

Leviämismallilaskelmien mukaan vuorokausiohjeeseen verrannolliset typpidioksidipitoisuudet ovat vilkasliikenteisten väylien lähiympäristössä yli 30 µg/m<sup>3</sup>. Vuorokausiohjeeseen ylittyä ainoastaan yksittäisissä pisteissä vilkasliikenteisillä väylillä, jossa sen ei katsota olevan voimassa. Pitoisuudet Kehä I:n sisäpuolella sekä suurten väylien ja risteysalueiden ympäristössä ovat laajoilla alueilla alle 30 µg/m<sup>3</sup>, josta merkittävä osa on yksin autoliikenteen päästöjen aiheuttamia pitoisuuksia (liitekuva 12).

Leviämismallilaskelmien mukaan WHO:n suosittelema typpidioksidin vuorokausiohjeeseen (25 µg/m<sup>3</sup>) ylittyä yksin autoliikenteen päästöjen vaikutuksesta vilkasliikenteisten teiden ja risteysalueiden läheisyydessä. Autoliikenteen päästöjen ja alueellisen taustapitoisuuden yhdessä aiheuttamat WHO vuorokausiohjeeseen verrannolliset pitoisuudet Kehä I:n sisäpuolella ja vilkasliikenteisten väylien ympäristössä ovat 15–20 µg/m<sup>3</sup>. Pitoisuudet pienentyvät nopeasti etäisyyden kasvaessa vilkkaimmista liikenneväylistä ollen pääkaupunkiseudun reuna-alueilla alle 5 µg/m<sup>3</sup>. WHO:n vuorokausiohjeeseen verrannolliset pitoisuudet on esitetty liitekuvasa 12 ja 13.

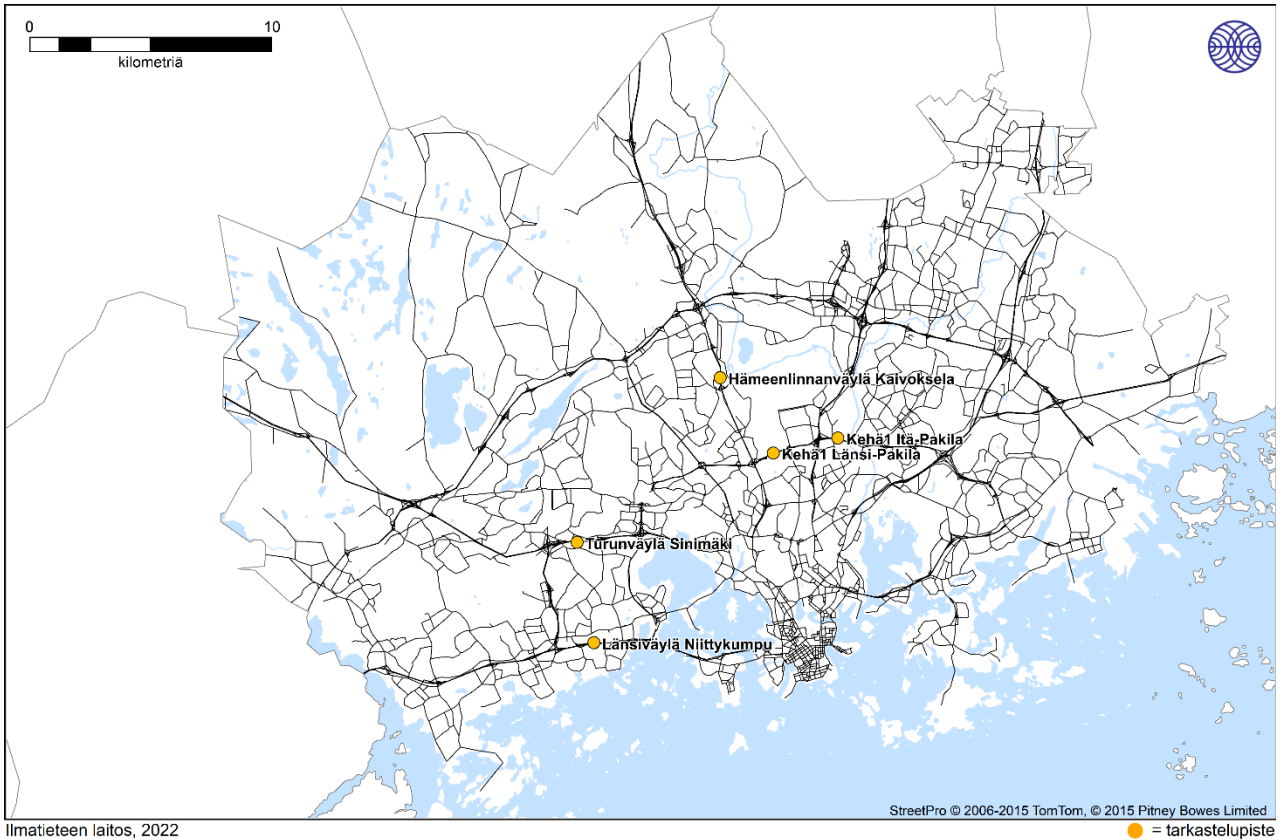


Kuva 6. Autoliikenteen ja alueellisen taustapitoisuuden yhdessä aiheuttama typpidioksidin (NO<sub>2</sub>) vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m<sup>3</sup>) pääkaupunkiseudulla vuonna 2030.

Leviämismallilaskelmien tuloksena saadut ennustetut autoliikenteen päästöjen ja alueellisen taustapitoisuuden aiheuttamat typen oksidien (NO<sub>x</sub>) kriittiseen tasoon (30 µg/m<sup>3</sup>) verrannolliset vuosikeskiarvopitoisuudet on esitetty liitekuvin 15 ja 16. Vuosipitoisuudelle annettu kriittinen taso allittuu pääkaupunkiseudulla kaikkialla lukuun ottamatta yksittäisiä pisteitä vilkkaimmilla väylillä. Rakennetun ympäristön ulkopuolella autoliikenteen päästöjen ja alueellisen taustapitoisuuden typen oksidien vuosikeskiarvopitoisuudet ovat alle 5 µg/m<sup>3</sup>.

## 2.2 Loittonevat väylägradientit

Autoliikenteen päästöjen aiheuttamia typpidioksidipitoisuuksien pienenemistä etäisyyden mukaan vilkasliikenteisestä väylästä arvioitiin loittonevien väylägradienttien avulla. Väylägradientit laskettiin 10–200 m etäisyydelle väylästä Hämeenlinnanväylän Kaivokselan, Kehä I:n Länsi- ja Itä-Pakilan, Länsiväylän Niittykummun ja Turunväylän Sinimäen tarkastelupisteisiin nykytilanteen ja ennustetun tilanteen (vuoden 2030) autoliikenteen päästöillä alueellisen taustapitoisuuden kanssa. Tarkastelupisteet kartalla on esitetty kuvassa 7. Lisäksi nykytilanteen mallinnuksen tuloksia verrattiin saatavilla olevien passiivikeräinmittauksiin tulosten tarkkuuden arvioimiseksi.



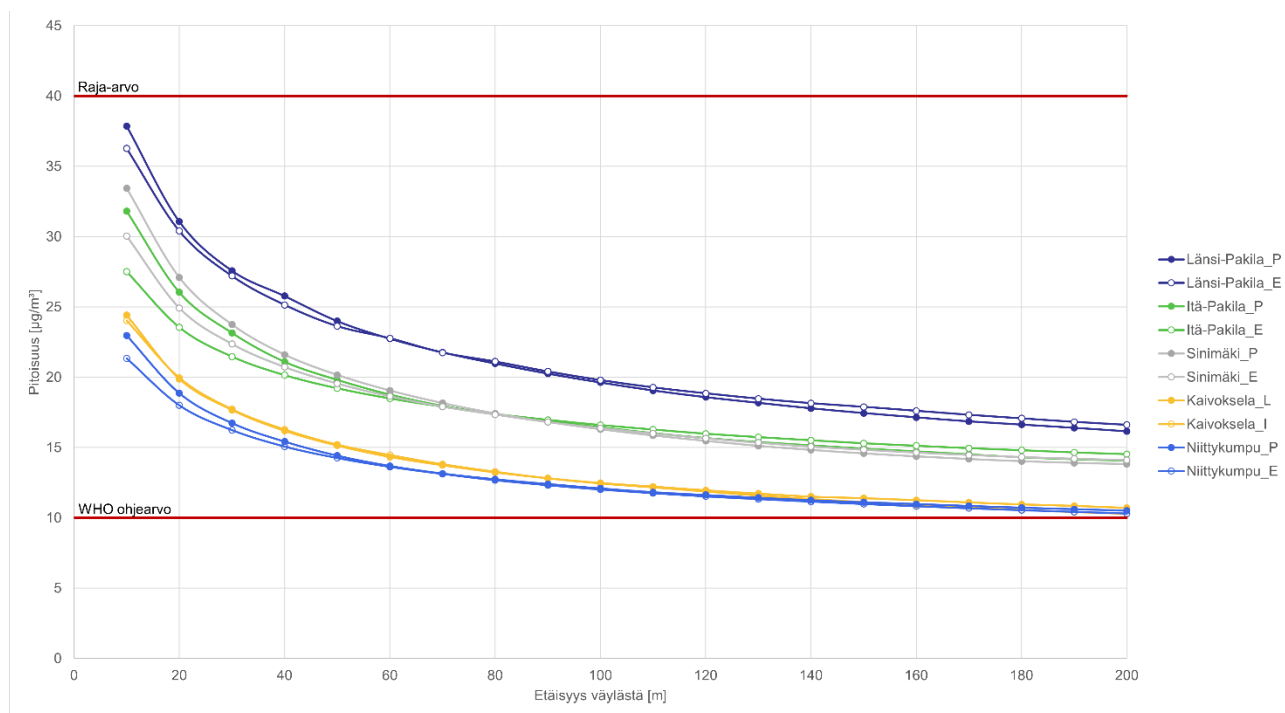
Kuva 7. Loittonevien väylägradienttien tarkastelupisteiden sijainti karttapohjalla.

## 2.2.1 Nykytilanne

Leviämismallinnuksena saadut nykytilanteen autoliikenteen päästöjen ja taustapitoisuuden aiheuttamat vuosipitoisuudet etäisyyden funktiona eri liikenneväylistä on esitetty kuvassa 8 ja liitekuvassa 17. Typpidioksidin vuosikeskiarvo alittaa raja-arvon kaikissa tarkastelupisteissä ollen lähimpänä pääväylää  $21\text{--}38\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Pitoisuudet pienevät etäisyyden funktiona vilkasliikenteisestä väylästä, mutta ylittävät WHO:n suositusohjearvon vielä 200 m etäisyydellä ollen  $10\text{--}17\ \mu\text{g}/\text{m}^3$  eri tarkastelupaikoilla.

Typpidioksidin vuorokausiohjearvoon verrannolliset pitoisuudet on esitetty liitekuvassa 18. Pitoisuudet ylittävät vuorokausiohjearvon lähellä pääväylää Niittykummun pohjoista ja Kaivokselan tarkastelupisteitä lukuun ottamatta, joissa pitoisuudet ovat  $62\text{--}66\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Muissa tarkastelupisteissä pitoisuudet ovat  $75\text{--}116\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Vuorokausiohjearvoon verrannolliset pitoisuudet ovat suurimmillaan Länsi-Pakilan eteläisessä tarkastelupisteessä, jossa pitoisuudet ylittävät ohjearvon 110 m etäisyydelle asti väylästä. 200 m etäisyydellä vuorokausiohjearvoon verrannolliset pitoisuudet ovat  $31\text{--}62\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Kaikkien tarkastelupisteiden pitoisuudet ylittävät WHO:n vuorokausiohjearvoon verrannolliset pitoisuudet (liitekuva 19). Väylää lähimpänä olevassa tarkastelupisteessä pitoisuudet ovat  $56\text{--}104\ \mu\text{g}/\text{m}^3$  ja 200 m etäisyydellä  $31\text{--}58\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ .



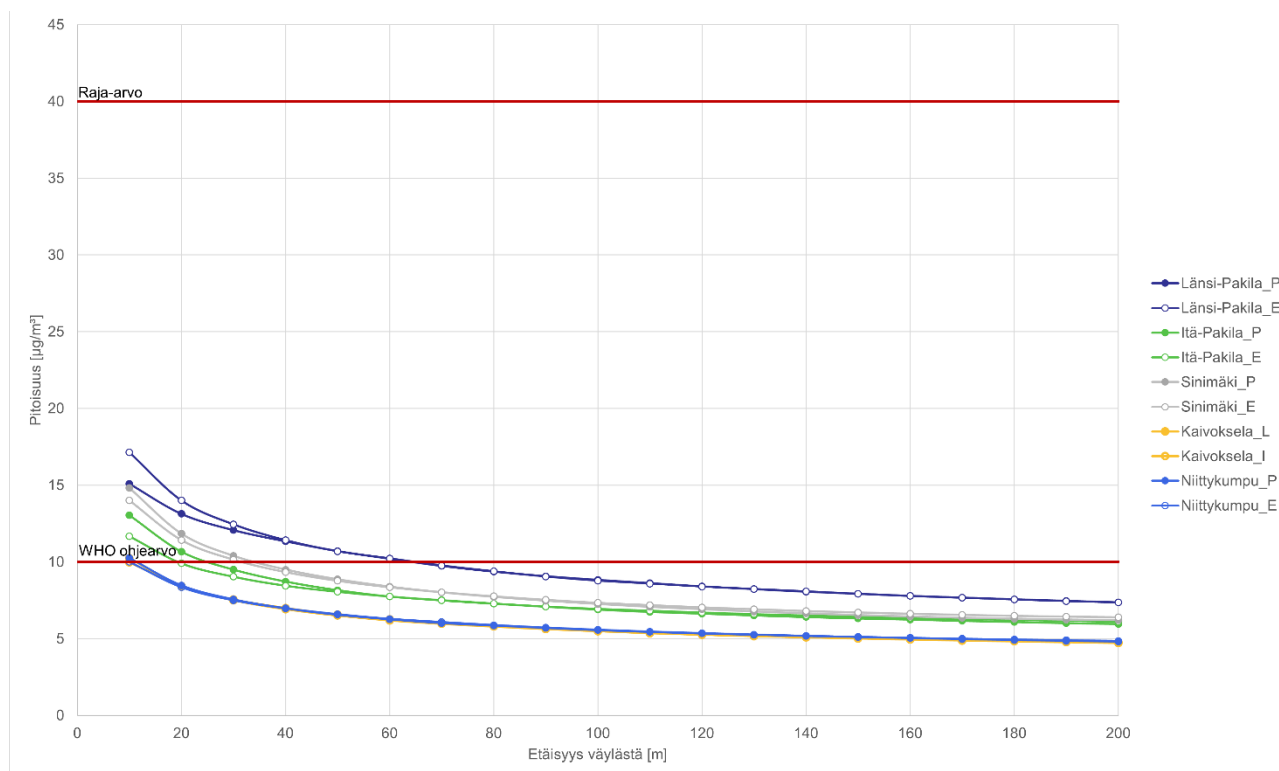
Kuva 8. Autoliikenteen päästöjen ja taustapitoisuuden aiheuttama typpidioksidin vuosikeskiarvopitoisuus etäisyyden funktiona eri väylistä nykytilanteessa. Nimissä loppukirjain kuvaa tarkasteltavaa väylä puolta (P=pohjoinen, E=etelä, I=itä, L=länsi).

### 2.2.2 Tulevaisuuden skenaario (2030)

Ennustetussa tilanteessa, vuonna 2030 autoliikenteen päästöjen ja taustapitoisuuden aiheuttamat vuosipitoisuudet alittavat typpidioksidille asetetun raja-arvon kaikissa väylägradienttien tarkastelupisteissä ollen 10–17  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (kuva 11, liitekuva 20). Siten WHO:n suositushjearvo vuosipitoisuudelle ylittyy kaikilla tarkastelupaikoilla lähimmissä väylägradienttien pisteissä. Pitoisuudet pienenevät etäisyyden funktiona vilkasliikenteisestä pääväylästä ollen alle WHO:n suositushjearvon kaikissa tarkastelupaikoissa 70 m etäisyydeltä lähtien. 200 m etäisyydellä väylästä pitoisuudet ovat 5–7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Typpidioksidille asetettu vuorokausiohjearvo alittuu kaikissa tarkastelupisteissä ollen suurimmillaan 30–68  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  väylää lähimpänä olevissa tarkastelupisteissä (liitekuva 21). 200 m etäisyydellä väylästä vuorokausiohjearvoon verrannolliset pitoisuudet ovat 15–35  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

WHO:n suosittama vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus ylittyy kaikissa tarkastelupaikoissa alle 30 m etäisyydellä pääväylästä. Pitoisuudet ovat suurimmillaan lähellä väylää ollen eri tarkastelupisteissä 30–55  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . 200 m etäisyydellä väylästä ainoastaan Länsi-Pakilan eteläisen tarkastelupisteen vuorokausipitoisuus (29  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ylittää WHO:n suositushjearvon. Muissa tarkastelupisteissä pitoisuudet ovat 15–24  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . WHO:n suositushjearvoon verrannolliset loittonevien väylägradienttien pitoisuudet on esitetty liitekuvasssa 22.



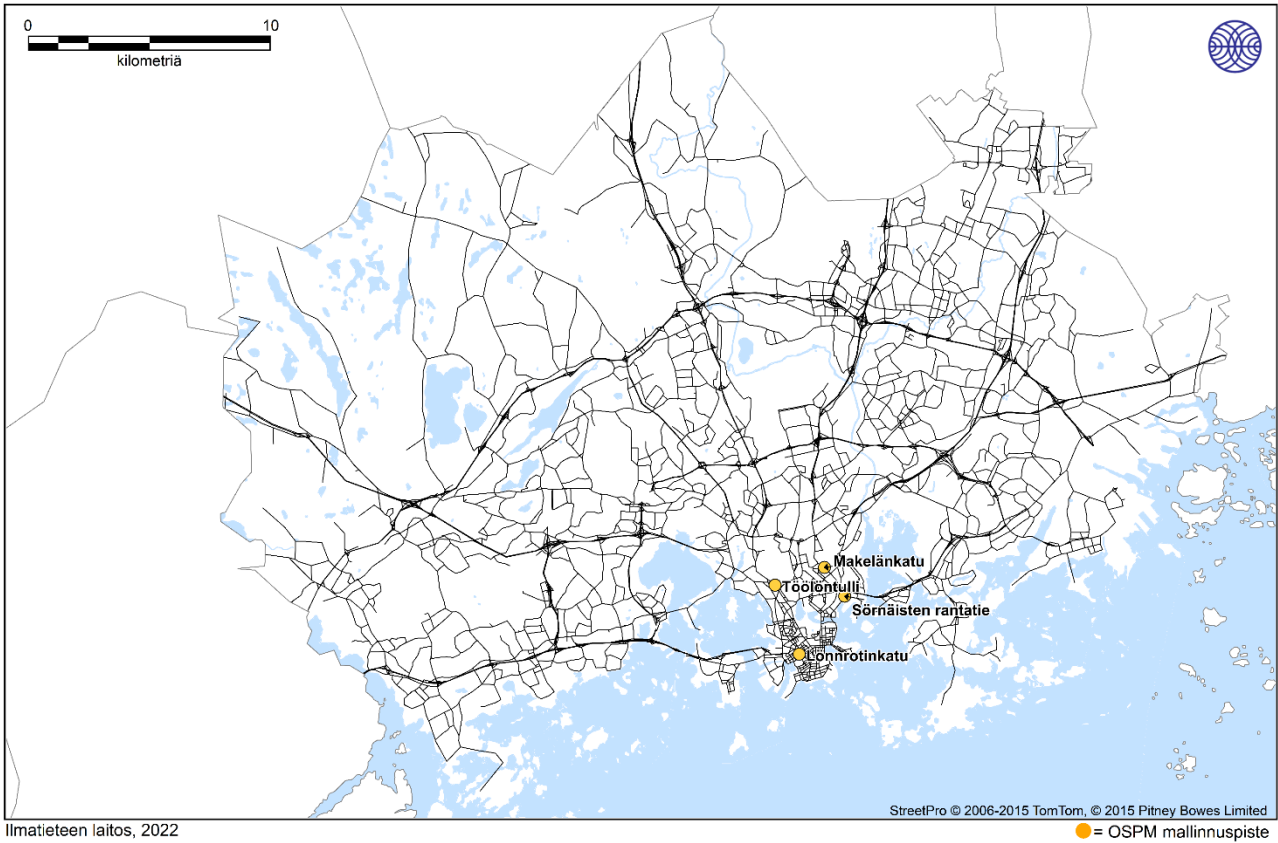
Kuva 9. Ennustettujen autoliikenteen päästöjen ja taustapitoisuuden aiheuttama typpidioksidin vuosikeskiarvopitoisuus etäisyyden funktiona eri väylistä vuonna 2030. Nimissä loppukirjain kuvaa tarkasteltavaa väylä puolta (P=pohjoinen, E=etelä, I=itä, L=länsi).

### 2.3 Katukuilumaiset ympäristöt

Typpidioksidipitoisuuksia katukuilumaisissa kohteissa arvioitiin erikseen katukuilumallilla yhteensä neljässä eri kohteessa (kuva 10). Mäkelänkadulla tarkasteltiin kahta eri tilannetta: nykytilanteen ajonopeudella ja liikennemäärällä, sekä kuvitteellisessa suuremman liikennemäärän skenaariossa, jolloin ajonopeus ja liikennemäärä olisivat korkeammat. Vastaavasti Sörnäisten rantatiellä tarkasteltiin nykytilannetta (kerrostaloja vain toisella laidalla) ja tulevaisuuden tilannetta, jossa korkeamman liikennemäärän lisäksi kadun eteläpuolella on lisärakentamista (katukuilu). Tiedot eri tarkastelukohteiden kaupunkirakenteesta, autoliikenteen nopeudesta ja määrästä on esitetty taulukossa 1. Mallinnukset toteutettiin autoliikenteen päästöjen ja typpidioksidin taustapitoisuuden nykytilanteen sekä skenaariovuosien 2025 ja 2030 aineistoilla.

Katukuilumallinnuksen tulosten mukaan typpidioksidipitoisuudet alittavat vuosiraja-arvon, mutta ylittävät WHO:n suositusohjearvon kaikissa tarkastelupisteissä eri skenaariovuosina. Kuvassa 11 ja liitekuvasa 24 on esitetty pitoisuudet tarkastelukohteiden katukuilun korkeamman pitoisuuden puolelta. Kaikki katukuilumallinnuksen tulokset on esitetty taulukoituna liitteessä 23. Mallinnuksen mukaan suurimmat pitoisuudet ovat Sörnäisten rantatien tulevaisuuden liikennemäärällä ja lisärakentamisella nykytilanteen päästöillä, jolloin vuosipitoisuus olisi  $37 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Muissa tarkastelupisteissä vuosipitoisuudet nykytilanteessa ovat  $25\text{--}37 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Pitoisuudet ovat pienimmillään Lönnrotinkadulla vuonna 2030 ollen  $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , jolloin vuosipitoisuus muissa tarkastelupisteissä on  $12\text{--}17 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

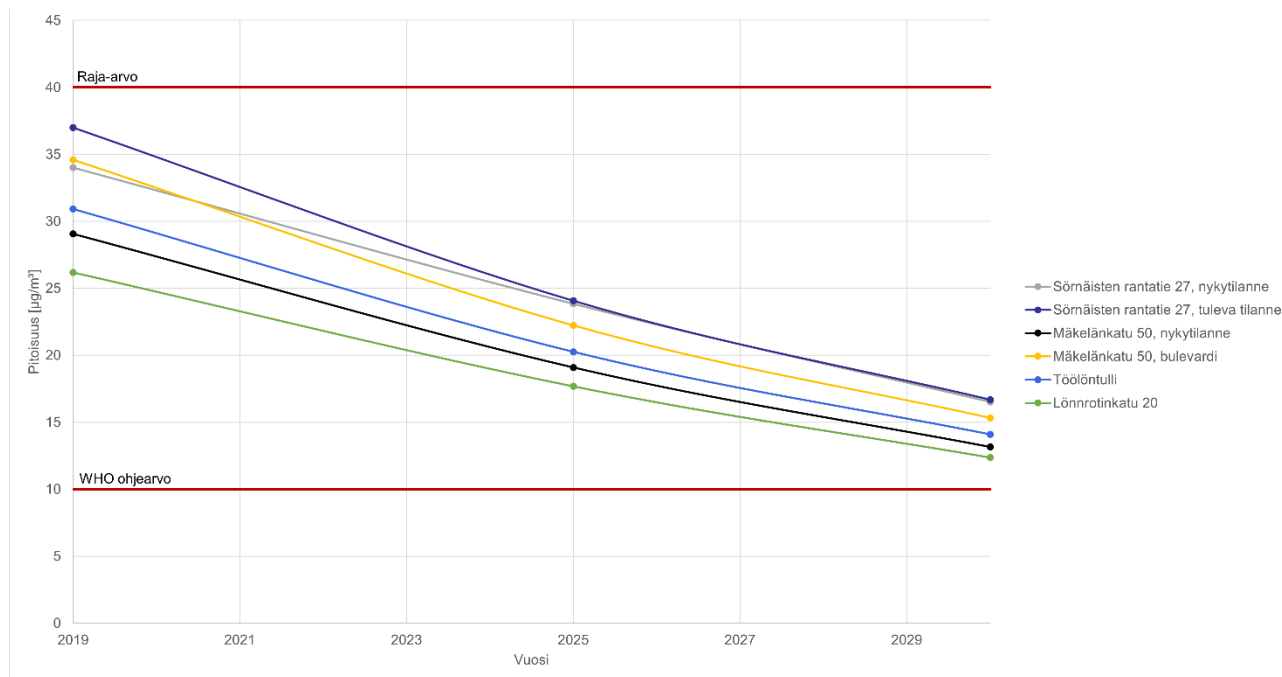




Kuva 10. Katukulumaisten kohteiden sijainti karttapohjalla.

Taulukko 1. Katukuilumallinnuksen tarkastelukohteiden tiedot. Korkeus-levyysuhteella tarkoitetaan kadunvarren rakennusten korkeuden ja kadun leveyden suhdetta. Jos suhdeluku on alle 0,7 katukuilu luokitellaan leveäksi katukuiluksi.

Tarkastelukohde	Kadun leveys (m)	Rakennusten keskimääräinen korkeus katukuilun varrella (m)	Korkeus-levyys-suhde	Nopeus (km/h)	Keskimääräinen syksyn arkivuoro-kausiliikenne
Mäkelänkatu 50, nykytilanne	40	20	0,5	40	28 300
Mäkelänkatu 50, suuri liikennemäärä	40	20	0,5	50	55 000
Töölöntulli, nykytilanne	39	21	0,5	40	34 700
Sörnäisten rantatie 27, nykytilanne	61	29	-	50	51 200
Sörnäisten rantatie 27, katukuiluskenaario	61	32	0,5	50	60 500
Lönnrotinkatu 20, nykytilanne	14	22	1,6	30	8 500

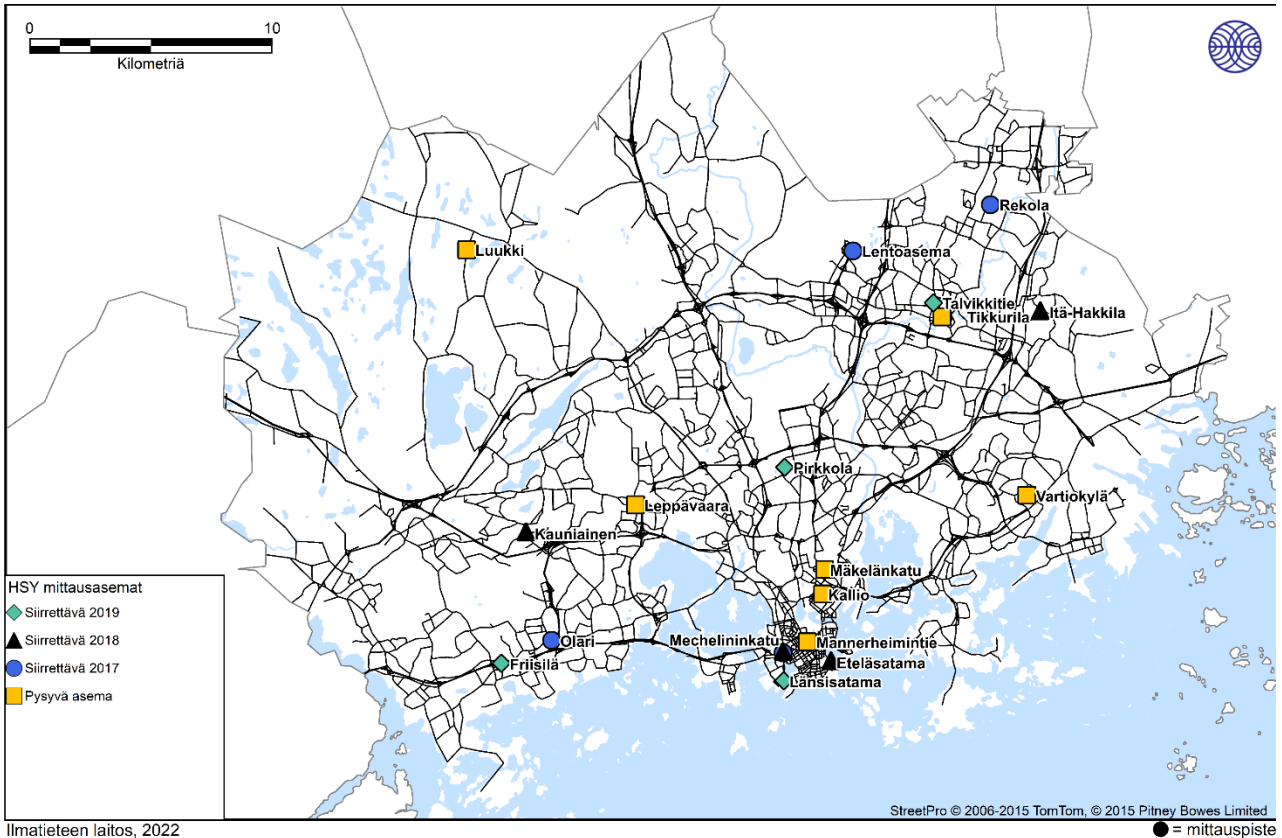


Kuva 11. Autoliikenteen päästöjen ja taustapitoisuuden aiheuttama typpidioksidin vuosikeskiarvopitoisuus ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) nykytilanteessa (2019) ja ennustetuissa vuoden 2025 ja 2030 tilanteessa katukulmaisissa kohteissa.

Typpidioksidin vuorokausiohjearvo ylittyy nykytilanteen päästöillä Mäkelänkadun bulevardisointiskenaariossa ja Sörnäisten rantatien tulevaisuuden skenaariossa, jolloin vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus on  $81 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (liitekuva 25). Muissa tarkastelupisteissä vuorokausipitoisuudet nykytilanteessa ovat  $52\text{--}67 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Vuonna 2025 vuorokausiohjearvoon verrannolliset pitoisuudet ovat  $43\text{--}53 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ja vuonna 2030  $30\text{--}37 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . WHO:n suosittelemaan vuorokausiohjearvoon verrannolliset pitoisuudet ylittyvät kaikissa tarkastelupisteissä eri skenaariossa. Nykytilanteen päästöillä WHO:n suositushjearvoon verrannolliset vuorokausipitoisuudet ovat  $52\text{--}81 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ja vuoden 2030 autoliikenteen päästöillä  $30\text{--}37 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (liitekuva 26).

## 2.4 Mallilaskelmien tulosten vertailu ilmanlaadun mittaustuloksiin

Leviämismallinnuksen tuloksia ja mallilaskelmissa käytettyjen lähtötietojen oikeellisuutta arvioidaan vertaamalla mallinnettuja pitoisuuksia HSY:n ilmanlaadun mittausasemilla mitattuihin pitoisuuksiin. Pääkaupunkiseudulla mitattiin typen oksidin pitoisuuksia vuosina 2017–2019 yhteensä 19 mittausasemalla. Mittausasemista seitsemän ovat kiinteitä mittausasemia: Helsingin Mannerheimintie, Kallio, Mäkelänkatu ja Vartiokylä, Vantaan Tikkurila sekä Espoon Leppävaara ja Luukki. Neljä mittausasemaa ovat siirrettäviä, jotka vaihtavat paikkaa vuosittain (kuva 12). Lisäksi HSY on mitannut typpidioksidin vuosipitoisuuksia passiivikeräimillä vuonna 2019 yhteensä 58 paikalla (liitekuva 27). Mittausasemilla pitoisuuksia mitataan 4 metrin korkeudella maanpinnasta, mihin myös mittausasemien kohdille mallinnetut pitoisuudet on laskettu.

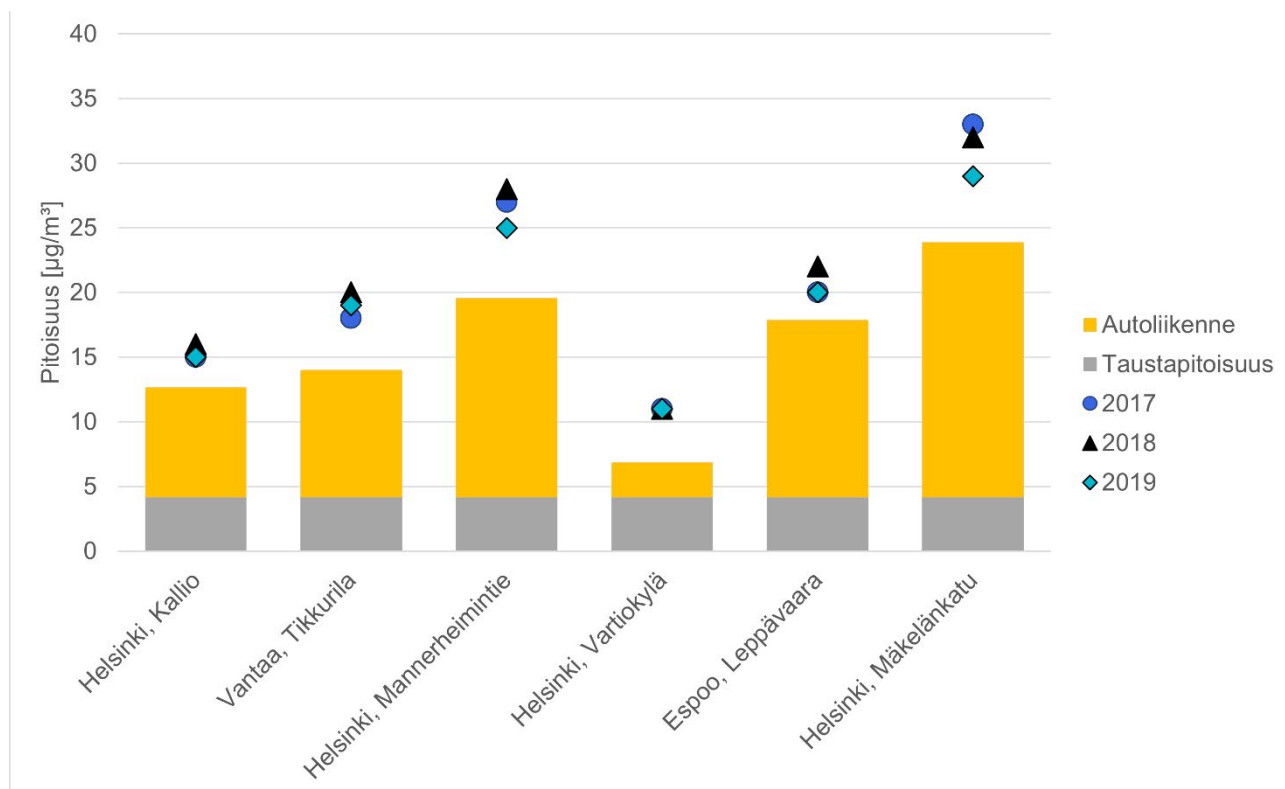


Kuva 12. HSY:n typpidioksidia mittaavat pysyvät ja siirrettävät ilmanlaatuasemat vuosina 2017–2019.

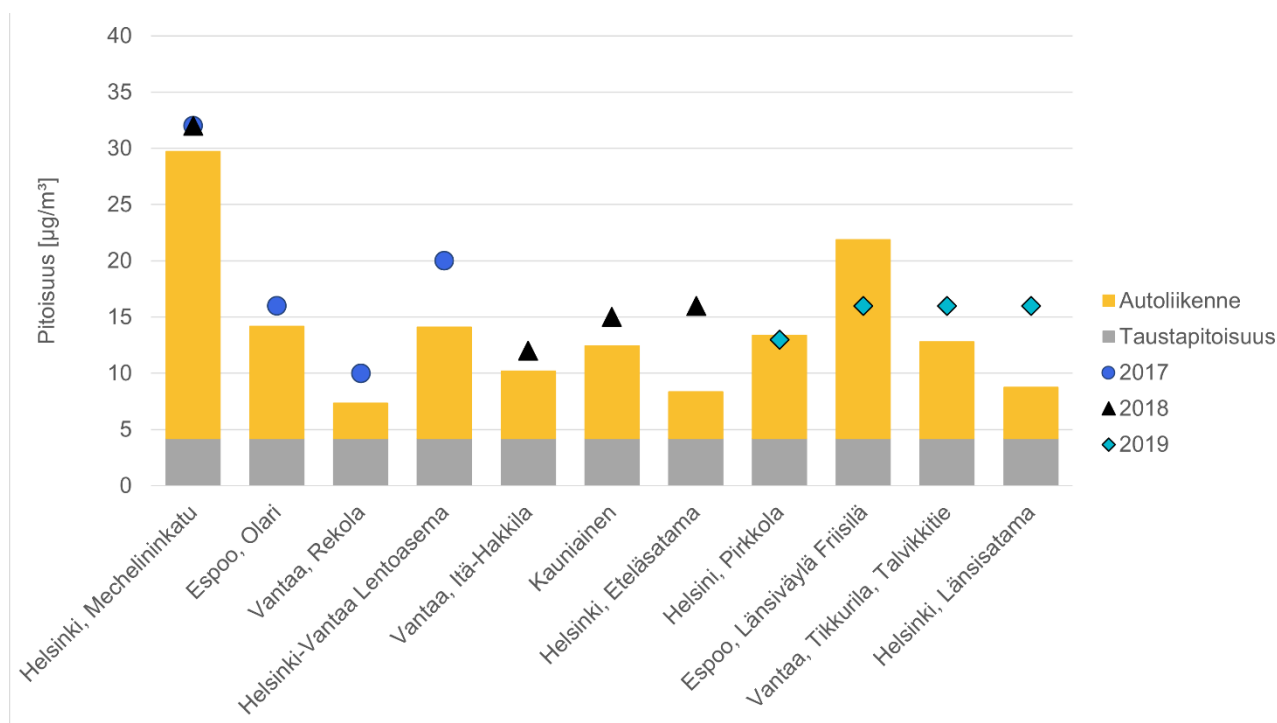
Mallinnettuja pitoisuustuloksia verrattiin vuosina 2017–2019 ilmanlaadun pysyvillä ja siirrettävillä mittausasemilla mitattuihin typpidioksidin ja typen oksidien pitoisuuksiin, sekä vuoden 2019 passiivikeräintuloksiin. Ilmanlaatuasetuksen (79/2017) mukainen laatutavoite mallintamisen epävarmuudelle on typpidioksidin ja typen oksidien vuosikeskiarvolle 30 % ja typpidioksidin vuorokausikeskiarvolle 50 %. Epävarmuus määritetään enimmäispoikkeamana mitatuista ja mallinnetuista raja-arvoihin verrannollisista pitoisuuksista ottamatta huomioon tapahtumien ajoitusta.

Typpidioksidin vuosikeskiarvon malli-mittausvertailu on esitetty pysyvien ja siirrettävien asemien osalta kuvassa 13 ja kuvassa 14 ja passiivikeräinten osalta liitekuvassa 28. Kuvissa on esitetty erikseen mallinnetun nykytilanteen autoliikenteen päästöjen ja alueellisen taustapitoisuuden vaikutus ja osuudet mallinnetuista pitoisuuksista.

Autoliikenteen päästöillä on merkittävä vaikutus typpidioksidin vuosipitoisuuksiin pääkaupunkiseudulla. Leviämismallilla mallinnettu alueellinen vuosikeskiarvopitoisuus vastaa pääosin hyvin mitattua typpidioksidipitoisuutta pysyvillä ja siirrettävillä mittausasemilla. Poikkeuksen tekevät satamat, Espoon Friisilä Länsiväylän varrella ja Helsingin Vartiokylä, joissa mallinnettu vuosipitoisuus ei täytä asetuksen mukaista laatutavoitetta. Näitä lukuun ottamatta mallinnettujen ja mitattujen typpidioksidin vuosipitoisuuksien ero pysyvillä ja siirrettävillä mittausasemilla vaihteli -27 ja 3 % välillä mediaanin ollessa -20 %.



Kuva 13. Alueellisella leviämismallilla mallinnettujen (pylväät) ja mitattujen (pisteet) typpidioksidin raja-arvoon ja WHO:n ohjearvoon verrannollisten vuosikeskiarvopitoisuuksien vertailu HSY:n pysyvillä ilmanlaadun mittausasemilla. Kuvassa taustapitoisuus on tarkasteluvuosien keskiarvo.



Kuva 14. Alueellisella leviämismallilla mallinnettujen (pylväät) ja mitattujen (pisteet) typpidioksidin raja-arvoon ja WHO:n ohjearvoon verrannollisten vuosikeskiarvopitoisuuksien vertailu HSY:n siirrettävillä ilmanlaadun mittausasemilla. Kuvassa taustapitoisuus on tarkasteluvuosien keskiarvo.

HSY:llä on laaja typpidioksidin passiivikeräinverkosto, joka antaa kattavamman kuvan alueellisen leviämismallinnuksen toimivuudesta erityyppisissä ympäristöissä (liitekuva 28). Alueellinen leviämismallinnus aliarvioi pitoisuuksia typpidioksidipäästöjen erityiskohteissa, kuten satamien ja lentoaseman ympäristössä, sekä katukuilumaisissa ympäristöissä Helsingin kantakaupungissa. Mallitulosten yliarviointi painottuu osaan vilkasliikenteisten väylien läheisyyteen. Mallinnettujen ja mitattujen typpidioksidin vuosipitoisuuksien ero typpidioksidin vuoden 2019 passiivikeräinasemilla vaihteli -62 ja 67 % välillä mediaanin ollessa -6 %.

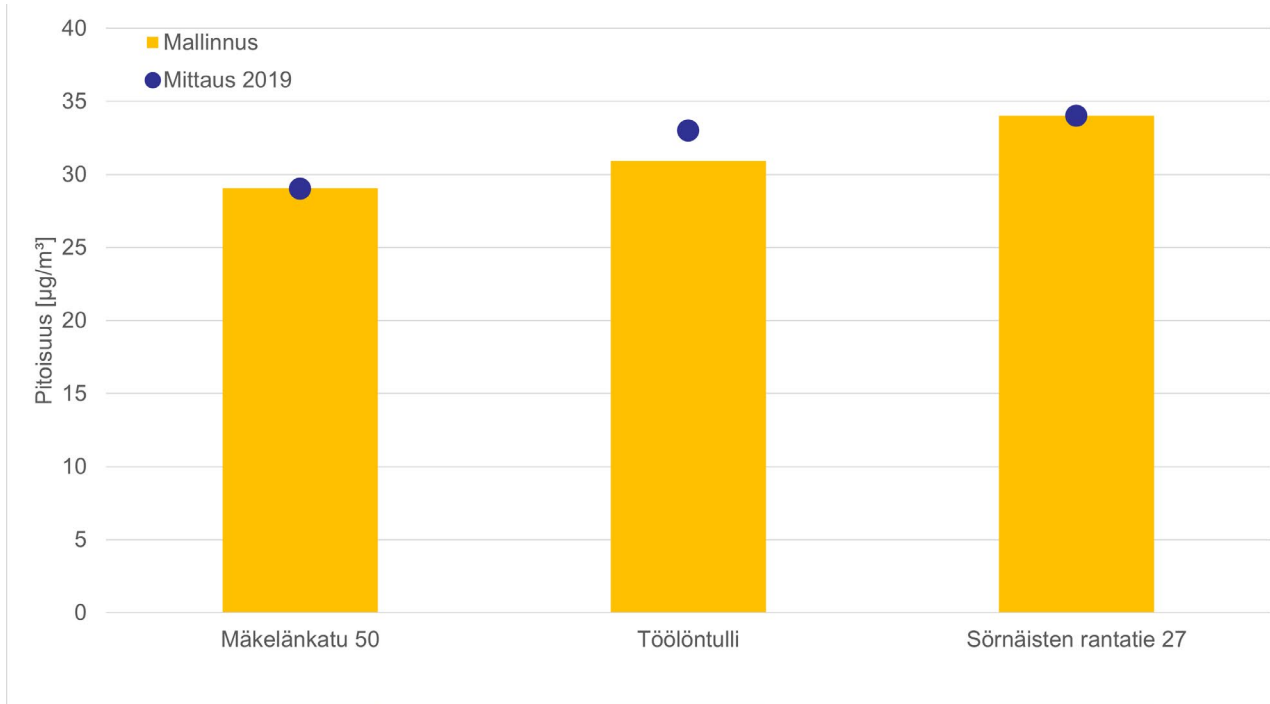
Leviämismallilla mallinnettuja typpidioksidin vuosipitoisuuksia Länsiväylän ja Kehä I varrella etäisyyden funktiona verrattiin saatavilla oleviin passiivikeräinmittauksiin (liitekuva 29). Länsiväylän varrella Espoon Niittykummussa ja Kehä I:n varrella Helsingin Itä-Pakilassa mallinnettujen ja mitattujen typpidioksidin vuosipitoisuuksien ero oli 2–22 %. Yksittäisiä tarkastelupisteitä lukuun ottamatta mallinnus yliarvioi pitoisuuksia. Kehä I:n varrella Helsingin Länsi-Pakilan passiivikeräinpisteissä mallinnus yliarvioi vuosipitoisuuksia merkittävästi. Eteläistä passiivikeräintä lukuun ottamatta muut keräimet sijaitsevat kalliioleikkauksen päällä todellista tienpintaa korkeammalla, mitä ei ole huomioitu mallinnuksessa.

Tässä työssä mukana olivat ainoastaan autoliikenteen päästöt ja alueellinen taustapitoisuus. Muita paikallisia typen oksidipäästöjen lähteitä ovat laivaliikenne, satamatoiminta, lentoliikenne, työkonet, kotitalouksien puun pienpoltto ja energiatuotanto. Päästölähteiden puuttuminen näkyy mallitulosten merkittävänä aliarviointina etenkin päästöjen erityiskohteissa, kuten satamien ja lentoaseman läheisyydessä.

Autoliikenteen päästöjen laskemisessa käytettävillä tiekohtaisilla liikennemäärätiedoilla, aikajakaumalla ja käytetyillä ajoneuvokohtaisilla päästökertoimilla on merkittävä vaikutus mallinnettujen pitoisuuksien muodostumiseen. Mikäli mallinnuksessa käytetyt lähtötiedot poikkeavat huomattavasti todellisista arvoista, poikkeavat mallinnetut pitoisuudet mittauksista. Lisäksi leviämismallit itsessään sisältävät epävarmuuksia ja yksinkertaistuksia, jotka vaikuttavat mallinnustulosten kokonaisepävarmuuteen (6 Leviämismallilaskelmissa käytetyt menetelmät).

Autoliikenteen päästölaskennan lähtötietona käytettiin Helsingin seudun liikenteen (HSL) liikenneennustemallilla arvioituja liikennemääriä (kappale 5.1 Autoliikenteen päästöt). Liikenneennustemallilla lasketut tiekohtaiset liikennemäärätiedot pääkaupunkiseudun alueella vaihtelevat malleissa käytettyjen maankäyttötietojen mukaan, jolloin ne voivat paikoitellen poiketa huomattavastikin väylien todellisista liikennemäärästä. Alueellisessa leviämismallinnuksessa käytettyjä liikennemääriä verrattiin Espoon ja Helsingin kaupunkien tuottamiin liikennemääriin, joiden perusteella pysyvien ja siirrettävien asemien läheisiä päästöviivoja korjattiin tarvittaessa. Liikenteen tiekohtaista tuntivaihtelua ja koko pääkaupunkiseudun kuukausikohtaisen aikavaihtelun kuvaamiseen käytettiin liikennelaskennasta saatuja regressiokertoimia.

Katukuilumaisissa kohteissa mallinnuksessa käytettiin erillistä katukuilumallia, liikenteen päästöt pohjautuivat Helsingin kaupungin tuottamaan liikenneaineistoon. Katukuilumallinnuksella saatu typpidioksidin vuosikeskiarvo vastaa erittäin hyvin eri kohteissa mitattuja arvoja (kuva 15). Ero mallinnettujen ja mitattujen vuosipitoisuuksien välillä on 0–6 %.



Kuva 15. Katukuilumallinnuksella mallinnettujen (pylväät) ja mitattujen (pisteet) typpidioksidin raja-arvoon ja WHO:n ohjearvoon verrannollisten vuosikeskiarvopitoisuuksien vertailu katukuilumaisissa kohteissa.

Alueellisella leviämismallinnuksella saatu typpidioksidin kansalliseen vuorokausiohjearvoon verrannollisten pitoisuuksien mallinnus-mittausvertailun tulokset pysyvillä ja siirrettävillä asemilla on esitetty liitteessä 30. Vuorokausipitoisuudelle asetettu mallinnuksen laatutavoite täyttyy Eteläsatamaa lukuun ottamatta. Mallinnettujen ja mitattujen vuorokausipitoisuuksien ero vaihteli -48 ja 32 % välillä mediaanin ollessa -20 %. Katukuilumallinnuskohteissa vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus oli saatavilla ainoastaan Mäkelänkadulla. Vuonna 2019 mitattu pitoisuus oli  $63 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ja mallinnettu pitoisuus  $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , eli mallin vastaavuus mittauksiin on erittäin hyvä.

Leviämismallinnuksella saadut typen oksidien vuosipitoisuudet mittausasemilla on esitetty liitteessä 31. Pääosin mallinnettujen pitoisuuksien ero mittauksiin on -20 ja 24 % välillä mediaanin ollessa -6 %. Suurimmat erot ovat satamissa sekä Espoon Friisilässä ja Helsingin Vartiokylässä, joissa mallinnukselle asetettu laatutavoite ei täyty.

Malli-mittausvertailun tulosten perusteella voidaan todeta, että alueelliset leviämismallitulokset yhdessä katukuilumallinnuksen tulosten kanssa edustavat nykytilanteen autoliikenteen typen oksidipäästöjen aiheuttamaa ilmanlaatuilannetta pääosin hyvin pääkaupunkiseudun eri alueilla pois lukien päästöjen erityiskohteet, kuten satamat ja lentoaseman ympäristö. Autoliikenteen päästöjen ja taustapitoisuuden ennustettua vaikutusta pitoisuuksiin ei voida mittausten avulla varmentaa. Ilmanlaatuilanteen kehittyminen riippuu autoliikenteen ja muiden typenoksidipäästölähteiden päästökehityksestä tulevaisuudessa. Päästökehitykseen ja sen nopeuteen vaikuttavat useat eri muuttajat, ja siksi ennustamiseen sisältyy paljon epävarmuuksia.

### 3 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tämän ilmanlaatuselvityksen tarkoituksena oli hankkia leviämislaskelmien avulla tietoa pääkaupunkiseudun autoliikenteen typenoksidipäästöjen vaikutuksesta alueen ilmanlaatuun ja sen alueellisesta vaihtelusta. Selvityksessä ei huomioitu muiden päästölähteiden kuin autoliikenteen typenoksidipäästöjä, joka on pääkaupunkiseudun merkittävin päästölähde. Typenioksidipäästöjä vapautuu ilmaan autoliikenteen lisäksi myös laivaliikenteestä ja satamatoiminnasta, lentoliikenteestä, työkoneista, kotitalouksien puun pienpoltosta ja energiatuotannosta. Leviämismallilaskelmien avulla tarkasteltiin ulkoilman typpidioksidipitoisuuksia ulkoilmassa hengityskorkeudella nykytilanteessa ja kahdessa tulevaisuuden skenaariossa (vuonna 2025 ja 2030). Ilmanlaatuselvityksen tuloksina saatuja pitoisuuksia verrattiin ilmanlaadun vertailuarvoihin sekä ilmanlaadun mittausten tuloksiin.

Ilmanlaatuselvityksessä arvioitiin leviämismallilaskelmilla pitoisuuksien muodostumista koko pääkaupunkiseudun alueelle. Laajalle alueelle tehdyn leviämismallinnuksen tuloksia voidaan käyttää alueellisten ilmanlaatuvaikutusten arvioinnissa, täydentämässä mittauksin saatua tietoa ilmanlaadusta ja sen vaihtelusta sekä tulevien ilmanlaadun mittausten suunnittelussa ja mittausverkon optimoinnissa. Mallilaskelmien avulla voidaan tarkastella myös erilaisia tulevaisuuden skenaarioita ja arvioida eri toimenpiteiden vaikutuksia ilmanlaatuun.

Leviämismallilaskelmat tehtiin käyttäen Ilmatieteen laitoksella kehitettyä liikenteen pakokaasupäästöjen leviämismallia CAR-FMI ja tanskalaista katukuilumallia OSPM. Pitoisuudet laskettiin kaikki pääkaupunkiseudun kunnat kattavalle 45 × 35 km kokoiselle alueelle. Mallilaskelmissa otettiin huomioon autoliikenteen päästöjen aiheuttamien pitoisuuksien lisäksi alueellinen taustapitoisuus. Mallinnuksessa käytettiin taustapitoisuutena Espoon Luukin ja Helsingin Kallion mittausasemien vuosien 2017–2019 havaintoja. Tulevien tilanteiden mallinnuksissa typen oksidien taustapitoisuuden oletettiin laskevan nykytasosta. Meteorologinen aineisto koostettiin Ilmatieteen laitoksen Helsingin Harmajan ja Kumpulun, Helsinki-Vantaa lentoaseman ja Jokioisten säähavainnoista. Autoliikenteen päästöt olivat HSY:n laskemia ja ne perustuivat Helsingin seudun liikenteen arvioimiin liikennemäärätietoihin.

Epäpuhtauksien pitoisuuksia ulkoilmassa säädellään terveysperusteisilla ilmanlaadun ohje- ja raja-arvoilla sekä kriittisellä tasolla. Kansalliset ilmanlaadun ohjearvot tulisi ottaa huomioon esimerkiksi liikennesuunnittelussa, kaavoituksessa, rakennusten sijoittelussa ja teknisissä ratkaisuissa, jolloin pyritään etukäteen välttämään ihmisten altistuminen terveydelle haitallisen korkeille ilman epäpuhtauksien pitoisuuksille. Lisäksi pitoisuuksia verrattiin WHO:n suosittelemiin ohjearvoihin. 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. Typenoksidipitoisuuksille annettua kriittistä arvoa sovelletaan rakennetun ympäristön ulkopuolella olevilla laajoilla maa- ja metsätalousalueilla sekä luonnonsuojelun kannalta merkityksellisillä alueilla.

Nyt tehtyjen leviämismallilaskelmien tulosten perusteella voidaan arvioida, että ilmanlaatu pääkaupunkiseudulla on liikenteen typpidioksidipäästövaikutusten osalta pääsääntöisesti hyvää mutta vilkasliikenteiset väylät nostavat pitoisuuksia paikallisesti. Pitoisuudet pienentyvät nopeasti etäisyyden kasvaessa vilkkaimmista liikenneväylistä.

Autoliikenteen päästöjen ja alueellisen taustapitoisuuden yhdessä aiheuttamat typpidioksidin kokonaispitoisuudet nykytilanteessa alittavat ilmanlaadun vuosiraja-arvon koko pääkaupunkiseudulla vilkasliikenteisiä väyliä lukuun ottamatta, joilla raja-arvo ei ole voimassa. WHO:n suosittelema vuosiohjearvo sen sijaan ylittyy Kehä I:n sisäpuolella ja vilkkaiden liikennenympäristöjen läheisyydessä laajoilla alueilla. Tulevaisuudessa, vuonna 2030 ennustettujen autoliikenteen päästöjen ja alueellisen taustapitoisuuden laskun myötä typpidioksidin

vuosipitoisuuksien ennustetaan laskevan, jolloin WHO:n suosittama vuosiohjearvo ylittyisi enää vilkasliikenteisten väylien ja risteysalueiden läheisyydessä sekä katukuilumaisissa kohteissa.

Pelkästään autoliikenteen päästöt aiheuttavat nykytilanteessa typpidioksidin kansallisen vuorokausiohjearvon ylittymisen vilkkaimpien väylien välittömässä läheisyydessä ja WHO:n suosittaman typpidioksidin vuorokausiohjearvon ylittymisen laajalla alueella. Toteutettujen mallinnusten mukaan vuonna 2030 kansallinen ohjearvo alittuu pääosassa pääkaupunkiseutua lukuun ottamatta yksittäisiä pisteitä vilkasliikenteisillä väylillä ja katukuilumaisia kohteita. WHO:n suosittama vuorokausiohjearvo ylittyisi edelleen vilkasliikenteisten väylien ja risteysalueiden ympäristössä ja katukuilumaisissa kohteissa.

Typen oksidien vuosipitoisuudelle annettu kriittinen taso alittuu nykytilanteessa kaikkialla pääkaupunkiseudulla lukuun ottamatta vilkkaimpien teiden varsia ja tulevaisuudessa ainoastaan yksittäisissä pisteissä vilkkaimmilla väylillä, joissa kriittisen tason ei katsota olevan voimassa.

Mallilaskelmien tulosten luotettavuuteen vaikuttavat merkittävästi mallin lähtötietoina käytettävien meteorologisten tietojen, taustapitoisuuksien sekä päästötietojen ja muiden lähtötietojen oikeellisuus, kuten liikennemääräarvion luotettavuus, käytettyjen ajoneuvokohtaisten päästökertoimien edustavuus sekä lyhytaikaisten päästövaihteluiden kuvaaminen. Myös mallinnus itsessään sisältää yksinkertaistuksia ja epävarmuuksia.

Mallilaskelmien tulosten ja käytettyjen lähtötietojen edustavuutta arvioitiin vertaamalla mallinnettuja tuloksia pääkaupunkiseudun ilmanlaadun mittausasemien vuosien 2017–2019 mittaustuloksiin. Mallinnuksen ja mittausten epävarmuudet huomioiden voidaan typpidioksidin malli- ja mittaustulosten arvioida olevan pääosin hyvin yhteensopivia ja mallitulosten täyttävän mallintamisen epävarmuudelle asetetut laatutavoitteet. Suurimmat poikkeavuudet malli- ja mittaustulosten välillä ovat satamien ja lentoaseman ympäristöissä, joiden päästöjä ei tässä työssä huomioitu sekä Helsingin katukuilumaisissa ympäristöissä. Yleisesti ottaen mallinnus aliarvioi mittaustuloksia (mediaani -20 %) mutta vilkkaimpien väylien läheisyydessä vaikutus oli useammin päinvastainen.

Erillinen katukuilumallinnus täydentää alueellisen leviämismallinnuksen tuloksia. Katukuilumallinnuksen tulokset vastaavat hyvin mallinnukselle asetetut laatutavoitteet kaikissa mittauspisteissä. Ero mitattujen ja katukuilumallinnuksella saatujen vuosipitoisuuksien välillä oli 1–6 %.



## OSA II

---

### 4 TAUSTATIETOA ILMANLAADUSTA

#### 4.1 Ilmanlaatuun vaikuttavat tekijät

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

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

#### 4.2 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 ilmakemialliset 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. Taajamien

ja kaupunkien korkeimmat typpidioksidipitoisuudet aiheuttavat 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  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  alittuu nykyisin Suomessa. Typpidioksidin vuosikeskiarvopitoisuudet ovat olleet viime vuosina suurimmissa kaupungeissa keskimäärin  $15\text{--}25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Viikkaimmilla teillä ja katukuiluosuuksilla vuosipitoisuudet voivat olla yli  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Pienissä ja keskisuurissa kaupungeissa typpidioksidin vuosikeskiarvot ovat yleensä noin  $5\text{--}15 \mu\text{g}/\text{m}^3$  mittausympäristöstä riippuen. Typpidioksidin tuntipitoisuudet voivat kohota yli raja-arvotason ( $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) 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  $1,5\text{--}4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ja Pohjois-Suomessa noin  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (*Ilmatieteen laitos, 2021*).

### 4.3 Ilman epäpuhtauksien 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 ennen aikaista kuolemantapausta vuodessa (*Hänninen ym. 2016*). Lisäksi ilmansaasteet aiheuttavat haittoja lisääntyneen sairastamisen takia. Haitalliset vaikutukset ilmenevät siitä huolimatta, että ilmanlaadun raja- tai kansalliset 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 verenkiertoelimistön sairauksia ja lisäävät kuolleisuutta. Terveystutkimusten tulosten perusteella WHO tiukensi vuonna 2021 ohjearvojaan, sillä etenkin pienhiukkasilta ei löydetty pitoisuutta, jonka alapuolella terveyshaittoja ei esiintyisi. Muiden ilmansaasteiden vaikutukset ovat myös vakavia mutta niiden kansanterveydelliset haitat ovat pienhiukkasiin verrattuna vähäisempiä.

### 4.4 Ulkoilmanlaadun vertailuarvot

Leviämismallilaskelmilla tai ilmanlaadun mittauksilla saatuja ilman epäpuhtauksien pitoisuuksia voidaan arvioida vertaamalla niitä ilmanlaadun ohje- ja raja-arvoihin, kriittisiin tasoihin ja WHO:n suosituksenomaisiin ohjearvoihin.

EU-maissa voimassa olevat *raja-arvot* (*Vna 79/2017*) 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. 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. Typpidioksidille asetetut raja-arvot on esitetty taulukossa 2.

Kansalliset ilmanlaadun ohjearvot (*Vnp 480/1996*) eivät ole yhtä sitovia kuin raja-arvot, mutta niitä käytetään esimerkiksi alueiden käytön, kaavoituksen, rakentamisen ja liikenteen suunnittelussa ja ympäristölupaharkinnassa. Tavoitteena on ennalta ehkäistä ohjearvojen ylittyminen sekä taata hyvän ilmanlaadun säilyminen. Suomessa voimassa olevat ulkoilman typpidioksidin pitoisuuksia koskevat ilmanlaadun ohjearvot on esitetty taulukossa 3. Taulukossa 4 esitetään Maailman terveysjärjestön (WHO) suositustenomaiset ohjearvot typpidioksidille (*WHO, 2021*). WHO päivitti ilmanlaadun ohjearvot syksyllä 2021.

Typenoksidipitoisuuksien kriittisen tason ylittyessä pitoisuudet saattavat aiheuttaa haitallisia vaikutuksia kasvillisuudelle tai ekosysteemeille. Kriittisiä tasoja sovelletaan rakennetun ympäristön ulkopuolella olevilla laajoilla maa- ja metsätalousalueilla sekä luonnonsuojelun kannalta merkityksellisillä alueilla (taulukko 5).

Taulukko 2. Terveyshaittojen ehkäisemiseksi annetut ulkoilman typpidioksidin 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 ( $\text{NO}_2$ )	1 tunti	200 <sup>1)</sup>	18
	kalenterivuosi	40 <sup>1)</sup>	–

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

Taulukko 3. Ulkoilman typpidioksidin pitoisuuksia koskevat ilmanlaadun ohjearvot (*Vnp 480/1996*).

Ilman epäpuhtaus	Ohjearvo, $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Tilastollinen määrittely
Typpidioksidi ( $\text{NO}_2$ )	150 <sup>1)</sup>	Kuukauden tuntiarvojen 99. prosenttipiste
	70 <sup>1)</sup>	Kuukauden toiseksi suurin vuorokausiarvo

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

Taulukko 4. Ulkoilman typpidioksidin pitoisuuksia koskevat ilmanlaadun WHO:n ohjeet (WHO, 2021).

Ilman epäpuhtaus	Ohjeet, $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Tilastollinen määrittely
Typpidioksidi ( $\text{NO}_2$ )	200	Tuntikeskiarvo
	25	Vuoden vuorokausiarvojen 99. prosenttipiste (sallii 3 ylitystä vuodessa)
	10	Vuoden keskiarvo

Taulukko 5. Ulkoilman typen oksidien pitoisuuksia koskeva ilmanlaadun kriittinen taso (Vna 79/2017).

Ilman epäpuhtaus	Kriittinen taso, $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Tilastollinen määrittely
Typen oksidit ( $\text{NO}_x$ )	30 <sup>1)</sup>	Vuosikeskiarvo

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

## 5 LEVIÄMISMALLILASKELMIEN LÄHTÖTIEDOT

### 5.1 Autoliikenteen päästöt

Alueellisessa leviämismallilaskelmassa tarkasteltiin autoliikenteen päästöjä nykytilanteessa ja tulevaisuuden skenaariossa vuonna 2030. Katukulumallinnuksessa tarkasteltiin lisäksi vuoden 2025 tulevaisuuden skenaariota. Koko tutkimusalueen autoliikenteen päästöt laskettiin ja mallinnettiin tiekohtaisina viivalähteinä. Liikenneväyliä kuvattiin leviämislaskelmissa peräkkäisinä lyhyinä viivoina, joista jokaisesta vapautuu ympäristöönsä erikseen laskettavan suuruinen päästö. Nykytilanteessa mallilaskelmissa huomioitiin yli 11 000 viivalähdettä kaikkien pääkaupunkiseudun kuntien alueelta ja sen ympäriltä vähintään 3 km levyiseltä vyöhykkeeltä (ns. buffer), vuoden 2030 mallinnuksessa viivalähteitä oli yli 19 000.

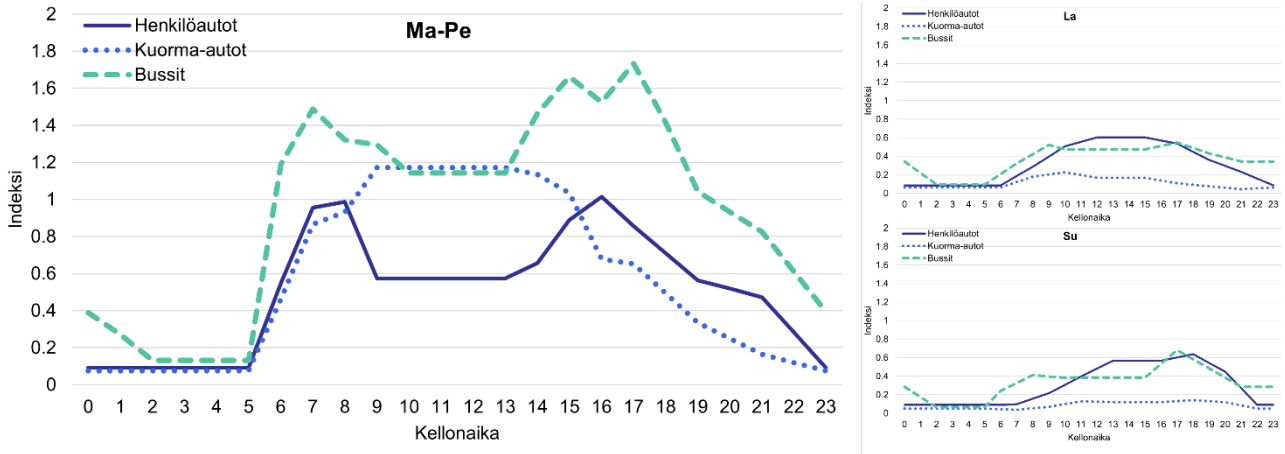
Autoliikenteen päästölaskenta edustaa vuoden 2019, 2025 ja 2030 päästöjä. Laskelmissa huomioitiin erikseen henkilöautoliikenteen ja raskaan liikenteen päästöt. Leviämismallilaskelmissa käytetyt autoliikenteen aiheuttamat typen oksidipäästöt on esitetty taulukossa 6 ja päästöt viivalähteittäin koko pääkaupunkiseudulla liitekuivissa 32 ja 33.

Taulukko 6. Mallilaskelmissa huomioitujen pääkaupunkiseudun autoliikenteen päästöt (t/a) eri skenaarioissa. HSY vastasi päästötietojen toimittamisesta mallilaskelmia varten.

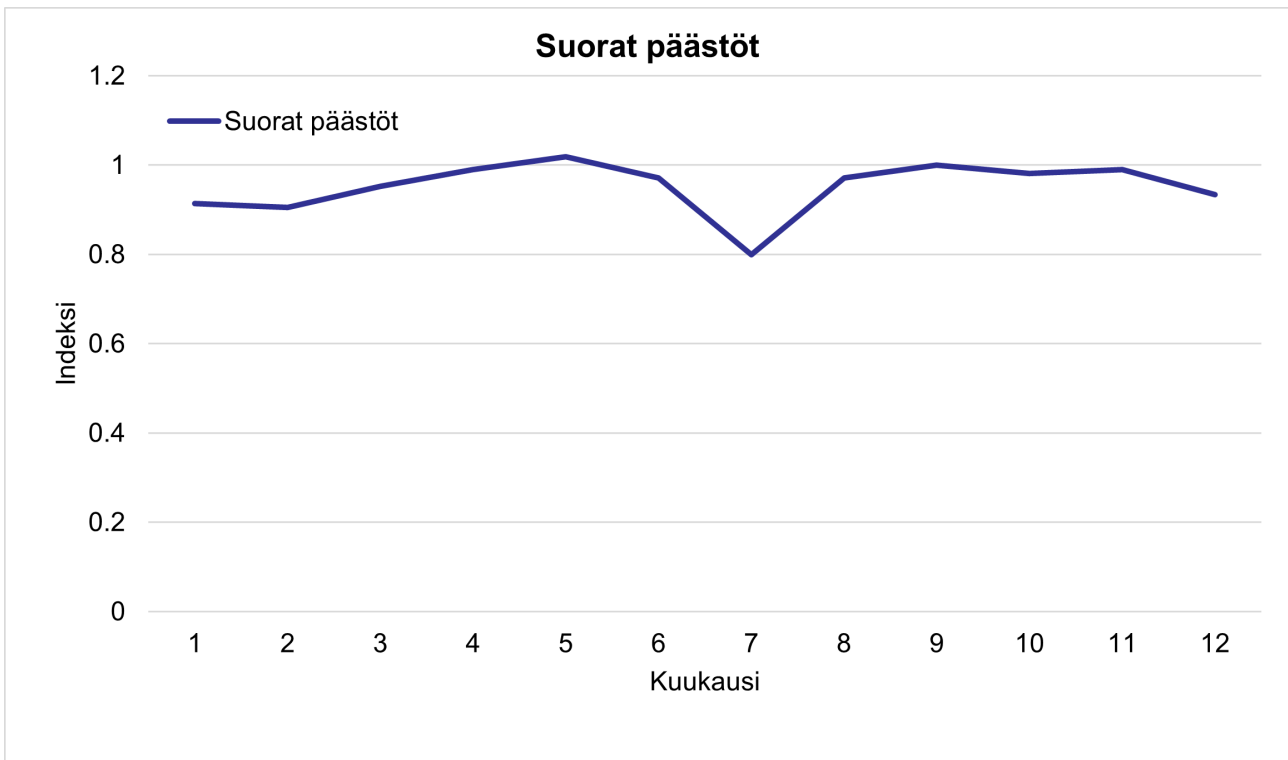
	<b>Autoliikenteen päästöt (t/a)</b>
Vuonna 2019	4 740
Vuonna 2030	1 570

Alueellisessa leviämismallinnuksessa autoliikenteen päästöjen arvioimisessa käytettiin Helsingin seudun liikenteen (HSL) liikennejärjestelmäsuunnitelmaa (MAL2023) varten tuottamia liikenneennustemääriä ja ajoneuvojen nopeuksia. Ennuste on tehty Helmet 4.0.3 -liikenneennustemallijärjestelmällä, käyttäen vuoden 2017 maankäyttötietoja ja vuoden 2020 liikenneverkko kuvausta. MAL2023:n liikenne-ennusteessa sijoitetaan seudulle kysyntämatriisit koko työssäkäyntialueen matkoista erikseen arjelle, lauantaille ja sunnuntaille. Vuorokauden eri tuntien liikennemäärät laskettiin käyttäen pääkaupunkiseudun liikennelaskentatietoihin perustuvia regressiokertoimia. Lisäksi päästöjen leviämismallilaskelmissa otettiin huomioon päästöjen vuodenaikaisvaihtelu (mm. lomakaudet) kuukausikertoimen muodossa. Päästölaskennassa käytetyt liikennemäärien aikavaihtelut on esitetty kuvassa 16 ja 17.

Katukulumallinnuksessa autoliikenteen päästöjen lähtötietona käytettiin Helsingin kaupungin ajoneuvoliikennelaskennoista ja ajoneuvoliikennemäärän arvioista koostettua aineistoa eri ajoneuvojen liikennemääristä tarkasteltavalla katukuiluosuudella.



Kuva 16. Mallilaskelmissa käytetty autoliikenteen tunneittaista vaihtelua kuvaavat aikavaihteluindeksit.



Kuva 17. Mallilaskelmissa käytetty autoliikenteen päästöjen kuukausittaista vaihtelua kuvaavat aikavaihteluindeksit.

HSY laski liikennemäärien perusteella autoliikenteen tyyppien oksidipäästöt. Pakokaasupäästöjen laskennassa käytettiin HBEFA:n (The Handbook of Emission Factors for Road Transport, versio 4.2) päästökertoimia. HBEFA:ssa on päästökertoimet eri liikennetilanteille ja nopeusrajoituksille sekä eri ajoneuvojen euroluokille todellisessa kaupunkiliikenteessä mitattuna. HSY on rakentanut nopeusriippuvat päästökertoimet pääkaupunkiseudun liikenteeseen näitä tietoja käyttäen. Näissä päästölaskelmissa ruuhkautumista ei ole kuitenkaan voitu ottaa tarpeeksi huomioon. HSL:n liikennemalli olettaa liikenteen sujuvammaksi ja siten arvioidut ajonopeudet ovat korkeampia kuin

ne ovat todellisessa liikenteessä. Päästöt riippuvat ajonopeudesta ja yleensä hiljaisemmillä ajonopeuksilla päästöt ovat suurimmillaan ruuhkaisessa liikenteessä.

Vuoden 2019 ajoneuvokannassa bensiiniautojen suoriteosuus on arvioitu olevan 72 % ja dieselautojen 28 %. Henkilöautojen bensiini/diesel-suhteen tiedot on saatu VTT LIPASTO:n vuosien 2012–2030 ajoneuvokanta-arviosta huomioiden, että dieselautojen suorite on 1,57-kertainen bensiinikäyttöisiin autoihin verrattuna. Päästöjä laskettaessa huomioitiin, että vuonna 2019 biopolttoainetta oletettiin olevan HSL:n dieselbussien käytössä 33,6 %. Tätä oletusta käytettiin myös muille busseille kuin HSL:n omille busseille, siten päästöjä on hieman aliarvioitu. Päästölaskennassa käytetty ajoneuvojakauma on esitetty taulukossa 7. Vuoden 2025 ja 2030 ennustetussa päästötilanteessa huomioitiin autokannan euroluokkien muuttuminen VTT:n Aliisa-tietokannan mukaisesti, bussien päästökehitys huomioitiin HSL:n arvioin mukaisesti.

Taulukko 7. Ajoneuvojen osuudet eri euroluokissa vuonna 2019 (VTT/ALIISA 2021, linja-autot HSL toukokuu 2022).

	Henkilöautot (bensa)	Henkilöautot (diesel)	Pakettiautot	Linja-autot	Kuorma-autot
Euro 0	0,6 %	0,3 %	1,5 %	0 %	0 %
Euro 1	2,4 %	0,3 %	2,3 %	0 %	0,3 %
Euro 2	7,5 %	1,8 %	5,7 %	0 %	5,3 %
Euro 3	21,7 %	8,8 %	15,2 %	1,2 %	15,7 %
Euro 4	18,3 %	23,1 %	29,4 %	0,3 %	16,9 %
Euro 5	22,4 %	36,7 %	20,5 %	0,4 %	31,4 %
Euro 6	27,1 %	28,8 %	25,4 %	57,1 %	30,5 %
EEV				31,0 %	
EEV light				7,0 %	
Sähkö	0,1 %	0,1 %	0,1 %	3,0 %	

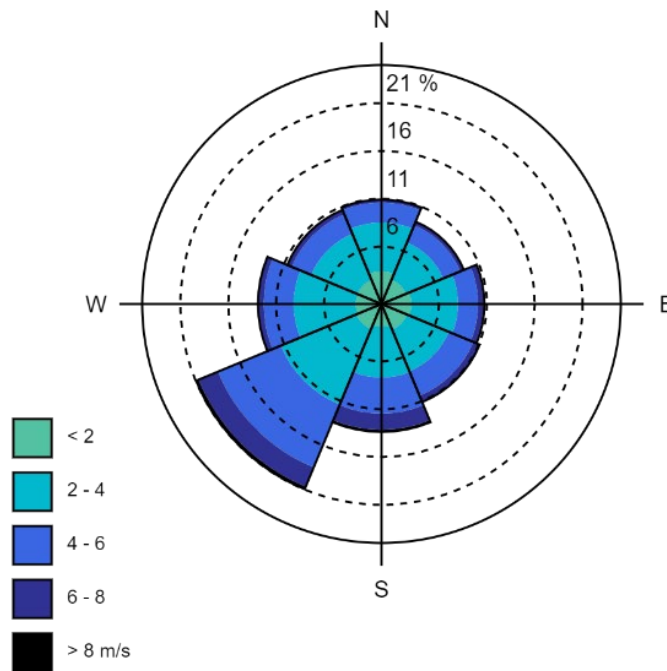
## 5.2 Meteorologiset tiedot

Leviämismallilaskelmia varten määritettiin ilmakehän rajakerrosta kuvaavat parametrit, jotka edustavat tutkimusaluetta mahdollisimman hyvin. Mallilaskelmissa käytetyn meteorologisen aineiston muodostamisessa on käytetty eri ympäristöissä sijaitsevien Ilmatieteen laitoksen sääasemien havaintoja, jotta aineistosta saadaan mahdollisimman edustava koko pääkaupunkiseudun alueen mallinnusta varten. Laskelmissa käytettäväksi sääasemiksi valittiin tarkastelualueetta edustavat sääasemat, joilla mitataan kaikkia mallin tarvitsemia sääsuureita.

Mallilaskelmissa käytettyjen meteorologisten tietojen etäisyyspainotettu yhdistelmäaineisto muodostettiin Helsingin Kumpulan, Harmajan ja Vantaan Helsinki-Vantaa lentoaseman sääasemien vuosien 2017–2019 havainnoista. Lisäksi Kumpulan puuttuvat lämpötilahavainnot korvattiin Helsingin Malmin lentoaseman havainnoilla. Sekoituskorkeuden määrittämiseen käytettiin Jokioisten observatorion radioluotaushavaintoja. Säähavainto- ja luotausaineistot

täyttävät WMO:n ja ICAO:n laatuvaatimukset. Sääasemien havaintoaineistoista muodostettiin kolmen tarkasteluvuoden tunneittainen aikasarja, joka sisältää päästöjen leviämisen ja laimenemisen kannalta oleellisia ilmakehän rajakerroksen tilaa kuvaavia parametreja, mm. tuulen suunta ja nopeus, stabiilisuus, sekoituskorkeus ja lämpötila.

Kuvassa 18 on esitetty tuulen suunta- ja nopeusjakauma tarkastelualueella tuuliruusun muodossa. Pääkaupunkiseudulla lounaistuulet ovat vallitsevia, kun taas luoteen- ja idänpuoleisia tuulia esiintyy vähiten.



Kuva 18. Keskimääräinen tuulen suunta- ja nopeusjakauma pääkaupunkiseudulla vuosina 2017–2019. Tuulitiedot kuvaavat olosuhteita 10 metrin korkeudella maan pinnasta.

### 5.3 Taustapitoisuudet

Autoliikenteen päästöjen lisäksi mallilaskelmissa huomioitiin alueelliset typpidioksidin ja otsonin taustapitoisuudet. Autoliikenteen päästöjen leviämismallinnuksessa käytettiin HSY:n Luukissa sijaitsevan ilmanlaadun mittausaseman tuloksia. Luukin taustapitoisuuksien vuosikeskiarvot oli mittauksissa tarkastelujakson 2017–2019 aikana typpidioksidille  $4,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Mallilaskelmissa käytettiin Luukin ilmanlaadun mittausaseman otsonihavaintoja typenoksidipäästöjen muutunnan osuuden arviointiin typpidioksidipitoisuuksissa.

Katukuilumallinnuksessa käytettiin HSY:n Helsingin Kallion kaupunkitausta-aseman mittauksia taustapitoisuuden määrittämiseksi. Kallion taustapitoisuuksien vuosikeskiarvo mittauksissa tarkastelujakson 2017–2019 aikana typpidioksidille oli  $14,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Tulevaa tilannetta mallintaessa typpimonoksidin ja typpidioksidin oletettiin laskevan 50 % vuosien 2017–2019 tasosta. Luukin taustapitoisuuden typpidioksidin vuosikeskiarvo vuodelle 2030 olisi tällöin  $2,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ja Kallion osalta  $7,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .



Leviämismallilaskelmissa autoliikenteen aiheuttamista typenoksidipäästöistä (NO<sub>x</sub>) oletettiin HSY:n arvion mukaan typpidioksidin (NO<sub>2</sub>) osuudeksi nykytilanteessa 23 % ja vuonna 2030 27 % ennen ulkoilmassa tapahtuvaa muutunutta. Taustapitoisuuksina käytettiin pitoisuuksien kuukausittain laskettuja tunneittaisia keskiarvoja, joilla pyrittiin kuvaamaan taustapitoisuuden vuodenaikaista ja vuorokauden sisäistä vaihtelua (*Ilmatieteen laitos, 2021*).

#### 5.4 Laskentapisteikkö

Pitoisuudet laskettiin koko pääkaupunkiseudun kattavalle 45 × 35 km kokoiselle alueelle. Tälle alueelle muodostettiin laskentapisteikkö, jossa oli yli 132 000 laskentapistettä. Laskentapisteiden etäisyys toisistaan vaihteli 25–200 metrin välillä riippuen alueesta. Liikenneväylien varsilla käytettiin tihennettyä laskentapisteikköä, jossa laskentapisteet sijoitettiin 25–200 m etäisyydelle liikenneväylästä 25 m välein.

Päästöjen aiheuttamat pitoisuudet laskettiin jokaisessa laskentapisteessä 2 metrin korkeudelle maanpinnasta eli ihmisten hengityskorkeudelle. Pitoisuustulosten mallinnus-mittaus -vertailua varten pitoisuudet laskettiin myös tarkastelualueella sijaitsevien ilmanlaadun mittausasemien kohdalle niiden mittauskorkeudelle eli 4 metrin korkeudelle maanpinnasta.

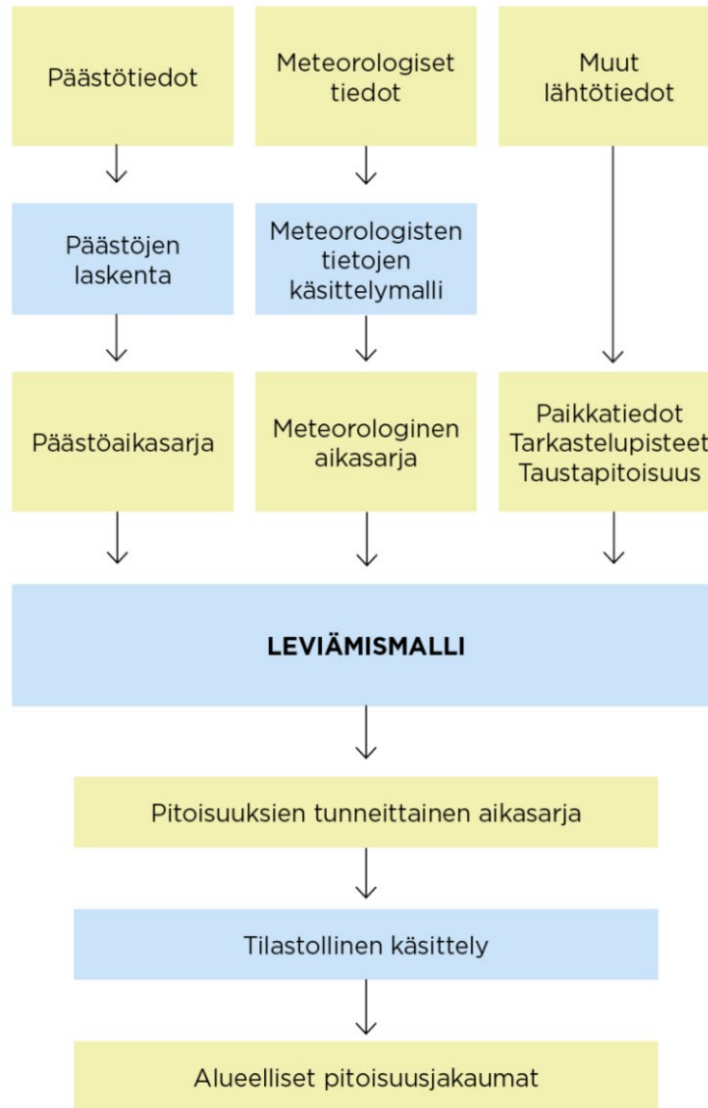
Yksittäisiin laskentapisteisiin lasketuista pitoisuusarvoista ja niistä edelleen lasketuista tilastollisista arvoista muodostetaan pitoisuuksien aluejakaumia. Pitoisuuksien aluejakaumissa esitetään leviämismallilaskelmien tuloksina samanarvonkäyrillä ne alueet, joilla tietyn pitoisuuden ylittyminen on pitkän havaintojakson aikana todennäköistä. Tiheän laskentapisteikön ansiosta pitoisuuksien alueelliset ja paikalliset vaihtelut voidaan kuvata tarkasti.

## **6 LEVIÄMISMALLILASKELMISSA KÄYTETYT MENETELMÄT**

### **6.1 Pitoisuuslaskenta päästöjen leviämismalleilla**

Leviämismalleilla tutkitaan päästöjen kulkeutumista ilmakehässä ja niiden aiheuttamia ilman epäpuhtauksien pitoisuuksia maanpinnan tasolla. Leviämismallit ovat tietokoneohjelmistoja, joiden avulla pyritään jäljittelemään ilmakehässä tapahtuvia fysikaalisia ja kemiallisia ilmiöitä mahdollisimman todenmukaisesti. Malleihin sisältyy usein laskentamenetelmiä, joiden avulla voidaan tarkastella epäpuhtauksien muuntumista, kemiallisia reaktioita ja poistumista ilmakehästä laskeutuneena. 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.

Leviämislaskelmia varten muodostetaan kaikille eri päästölähteille päästöaikasarjat, joissa on jokaiselle tarkastelujakson tunnille (3 vuotta, 26 304 tuntia) laskettu päästmäärä erikseen kaikille tarkasteltaville ilman epäpuhtauksille. Leviämismalleilla lasketaan ilman epäpuhtauspitoisuuden tuntikeskiarvoja sillä oletuksella, että meteorologinen tilanne ja eri lähteiden päästöt pysyvät vakioina tunnin ajan. Laskenta etenee tunnin aika-askeleella kunnes koko meteorologisten tietojen kolmen vuoden tuntiaikasarja ja kunkin päästölähteen tunneittaiset päästöaikasarjat on käyty läpi. Leviämismallit tuottavat jokaisen tunnin meteorologista tilannetta vastaavat, kunkin lähteen päästöjen aiheuttamat pitoisuudet jokaiseen laskentapisteeseen. Näin kuhunkin laskentapisteeseen muodostetaan tilastollisesti edustava määrä pitoisuuden tuntiarvoja, joista ilmanlaadun ohje- ja raja-arvoihin verrannolliset tunnusluvut edelleen lasketaan. Mallilaskelmasta saatuja pitoisuusarvoja voidaan verrata ilmanlaadun raja- ja ohjearvoihin sekä WHO:n ohjearvoihin. Kaaviokuvassa 19 on esitetty Ilmatieteen laitoksen leviämismallien toimintaa. Eri leviämismalleja kuvataan tarkemmin seuraavissa kappaleissa.



Kuva 19. Kaaviokuva Ilmatieteen laitoksella kehitettyjen leviämismallien, piste- ja pintapäästölähteiden leviämismallin UDM-FMI ja viivalähdemallin CAR-FMI toiminnasta.

## 6.2 Liikenteen päästöjen leviämismalli (CAR-FMI)

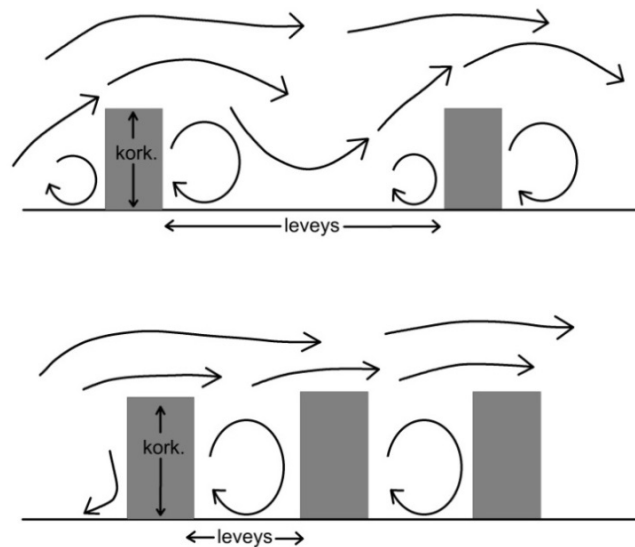
Ilmatieteen laitoksella kehitetty liikenteen päästöjen viivalähdemalli CAR-FMI (Contaminants in the Air from a Road; *Karppinen, 2001; Härkönen ym., 2001*) perustuu leviämisen osalta analyttiseen ratkaisuun ja päästöjen kemiallisen muutoksen osalta ns. 'discrete parcel' -menetelmään. Viivalähdemallin leviämislaskenta perustuu avoimen väylän oletukseen. Viivalähdemallilla voidaan laskea esimerkiksi typpimonoksidin, typpidioksidin ja typen oksidien (kokonais- $\text{NO}_x$ ) ja hiukkasten pitoisuuksia haluttuihin pisteisiin eri etäisyyksille liikenneväylästä. Viivalähdemalli on kehitetty alun perin autoliikenteen päästövaikutusten arviointiin, mutta siihen on muokattu menetelmät, jotka soveltuvat myös juna-, laiva- ja lentoliikenteen päästöjen leviämislaskelmiin. Viivalähdemallin laskentatuloksista voidaan arvioida yksittäisen liikenneväylän vaikutus lähialueen pitoisuuksiin tai laajan tutkimusalueen liikenneverkon päästöjen kokonaisvaikutus epäpuhtauskomponentteittain.

### 6.3 Katukuilumallinnus (OSPM)

Autoliikenneperäisten epäpuhtauksien leviämistä katukuilumaisissa ympäristössä tutkittiin tanskalaisen NERI:n (National Environmental Research Institute) kehittämällä OSPM-mallilla (The Operational Street Pollution Model).

Katukuilumaisessa ympäristössä rakennukset estävät liikenteen päästöjen leviämistä ja heikon laimenemisen vuoksi ilman epäpuhtauksien pitoisuudet voivat kohota korkeiksi. Katukuilumallilla voidaan arvioida liikennemäärän ja ajonopeuden vaikutusta ilmanlaatuun yksittäisen kadun molemmilla puolilla ja eri korkeuksilla kadusta. Mallilla voidaan tarkastella katukuilun rakenteen, kuten rakennusten korkeuden, kadun leveyden ja rakennusmassan yhtenäisyyden ilmanlaatuvaikutuksia. Katukuilumallilla ei voida arvioida rakennusten sisäpihoille muodostuvia pitoisuuksia. Parhaiten malli soveltuu katukuiluille, joissa katua reunustavien rakennusten korkeus on yhtä suuri kuin rakennusten välisen katutilan leveys eli katukuilun korkeus-leveysuhde on 1.

Malli perustuu puoliiksi Gaussin pluumiteoriaan ja puoliiksi kokeelliseen laatikkomalli-tekniikkaan. Gaussin pluumimallia käytetään liikenteen päästövaikutusten laskemiseen ja laatikkomallia ilman epäpuhtauksien takaisin kulkeutuvan osan laskemiseen (*Hertel and Berkowicz, 1989*). Katukuilumallilla voidaan laskea mm. typpidioksidin, hiilimonoksidin, bentseenin, hengitettävien hiukkasten, pienhiukkasten ja otsonin pitoisuudet. Malli sisältää typen oksidien, otsonin ja hapen muutunnan perusreaktiot. Myös typpidioksidin osuus typenoksidipäästöistä on mahdollista määrittää mallin lähtötiedoissa.



Kuva 20. Leveässä katukuilussa (ylempi kuva) sekoittumista tapahtuu katukuilun ja yläpuolisen ilman välillä enemmän kuin kapeassa katukuilussa (alempi kuva). Kapeassa katukuilussa syntyy selvä tuulipyörre, ja pyörteen ja yläpuolisen tuulen välillä tapahtuva sekoittuminen jää niukaksi.

Tuulen nopeus ja suunta ovat tärkeimmät tekijät, jotka vaikuttavat katukuilun pitoisuuksiin. Tuulipyörre, joka kierrättää liikenteen päästöjä ja kadun ulkopuolelta tulevia päästöjä katukuilussa, on yksi katukuiluympäristön perusominaisuuksista (kuva 20). Katukuilussa esiintyvien pyörteiden lukumäärä riippuu rakennusten ja muiden katukuilussa olevien esteiden, kuten puiden, korkeudesta ja muodosta. Kapeaan katukuiluun syntyy selvä pysyvä tuulipyörre, mutta leveässä katukuilussa

sekoittumista tapahtuu katukuilun ja yläpuolisen ilman välillä enemmän. Katukuilumallissa oletetaan olevan maksimissaan vain yksi tuulipyörre rakennusten korkeudesta ja kadun leveydestä riippumatta. Pyörteen ansiosta tuulen suunta on katutasolla vastakkainen verrattuna kattotason tuulen suuntaan. Tuulipyörre muodostuu, jos tuulen suunta on kohtisuorassa katuun nähden. Jos tuulen suunta on samansuuntainen katuun nähden, pyörre häviää ja pitoisuudet molemmilla puolilla katua tulevat samansuuruisiksi. Tuulipyörre häviää myös matalilla tuulen nopeuksilla, jolloin taas liikenteen vaikutus pitoisuuksiin kasvaa (*Berkowicz, 1999*).

#### 6.4 Typenoksidipäästöjen ilmakemiamalli

Kiinteiden päästölähteiden polttoaineiden palamisessa muodostuvat ja liikenteen typenoksidipäästöt ovat pääasiassa typpimonoksidia (NO), kun taas terveysvaikutuksiltaan haitallisempaa typpidioksidia (NO<sub>2</sub>) on päästöistä pienempi osa. Oksidit hapettuvat ilmassa kaasufaasireaktioissa hapen, otsonin, hydroksyyliiradikaalin ja orgaanisten peroksidiradikaalien toimiessa hapettimina. Reaktionopeudet riippuvat vuoden- ja vuorokaudenajasta, auringon säteilyn määrästä ja lämpötilasta. Valokemialliset reaktiot, joissa molekyylit hajoavat, ovat tärkeitä päivänvalossa. Myös päästöjen leviäminen ja niiden sekoittuminen ilmaan vaikuttavat typen oksidien muutunnan tehokkuuteen.

Jotta leviämismallilaskelmin voitaisiin kuvata erilaisten hapettuneiden typen yhdisteiden pitoisuudet ulkoilmassa, on mallisovellutuksissa otettava huomioon ilmakehässä tapahtuvat kemialliset reaktiot. Pistemäisten päästölähteiden typenoksidipäästöjen muutunutta käsitellään menetelmällä, jossa UDM-FMI-malliin on yhdistetty erilaisten meteorologisten tilanteiden ja otsonin taustapitoisuuden mukaan parametrisoituja funktioita. Näillä funktioilla kuvataan typen oksidien hapettumista ja NO<sub>2</sub>/NO-suhteen muuttumista poistokaasuvanassa eri etäisyyksillä päästölähteestä.

Liikenteen päästöjen leviämistä kuvaavaan viivalähdemalliin on kehitetty Ilmatieteen laitoksella typenoksidien muutunutta arvioiva malli, jolla voidaan huomioida erilaisten taustapitoisuuksien ilmakemiallinen vaikutus kunkin viivalähteen päästöön. Laskennassa käytetään taustailmanlaadun mittausasemien mittaustuloksia, joista määritetään kullekin vuoden kuukaudelle vuorokauden sisäistä vaihtelua kuvaavat typenoksidin- ja otsonipitoisuuksien keskimääräiset tuntikeskiarvojen jakaumat. Laskennassa huomioidaan muiden viivalähteiden aiheuttamat typpidioksidin- ja typpimonoksidipitoisuudet järjestämällä viivalähteet pitoisuuksia laskettaessa tuulen suunnan mukaan. Näin jokaisen viivalähteen kemiallista muutunutta arvioitaessa on typpidioksidin- ja typpimonoksidipitoisuuksissa huomioitu kaikkien tuulen yläpuolella olevien, aiemmin laskennassa mukana olleiden viivalähteiden vaikutus tarkasteltavaan viivalähteeseen. Otsonin kulumisen typen oksidien ilmakemiallisissa reaktioissa huomioidaan eli alueellisen otsonitaustan ei oleteta olevan muutunnassa ehtymätön otsonilähde. Mallinnuksessa otsoni voi kulua loppuun erityisesti vilkkaasti liikennöidyillä alueilla. Tämän seurauksena typpidioksidin muutunutta voi loppua kokonaan typenoksidipäästön määrästä riippumatta.

Kemiallisissa muutunnamalleissa tarvittavat auringon säteilytiedot muodostetaan yleensä tarkastelualuetta lähinnä sijaitsevan sääaseman mittaustuloksista ja otsonin ja typen oksidien taustapitoisuustiedot hankitaan lähimmältä ilmanlaadun taustahavaintoasemalta.

## 6.5 Meteorologisten tietojen käsittelymalli (MPP-FMI)

Ilmatieteen laitoksen leviämismalleissa tarvittavan sääaineiston tuottamisessa käytetään Ilmatieteen laitoksella kehitettyä meteorologisten tietojen käsittelymallia MPP-FMI (Meteorological preprocessor). Malli perustuu ilmakehän rajakerroksen (noin 0–2 000 m maanpinnasta) parametrisointimenetelmään (*Rantakrans, 1990; Karppinen, 2001*). Menetelmän avulla voidaan meteorologisten rutiinihavaintojen ja fysiikan perusyhtälöiden avulla arvioida rajakerroksen tilaan vaikuttavat muuttujat, joita tarvitaan päästöjen leviämismallilaskelmissa. Tarvittavat mittaustiedot saadaan Ilmatieteen laitoksen havaintotietokantaan tallennetuista sää-, auringonpaiste- ja radioluotaushavainnoista.

Rajakerroksen parametrisoinnin avulla on mahdollista ilmaista leviämismalleissa käytetyt muuttujat jatkuvina rajakerroksen tilan funktioina, joissa voidaan ottaa huomioon myös päästölähteisiin liittyvä fysiikka paremmin kuin jos käytettäisiin vain ilmakehän tilaa karkeasti kuvaavia Pasquill-Turner -stabiiliusluokkia. Menetelmässä huomioidaan tutkimusalueen paikallisia tekijöitä, kuten leviämisalustan rosoisuus ja vuodenaikaiset albedoarvot (auringon säteilyn heijastuskyky maanpinnasta) eri maanpinnan laaduille. Ilman epäpuhtauksien leviämisen kannalta keskeisiä meteorologisia muuttujia ovat tuulen suunta ja nopeus, ilmakehän stabiiliutta kuvaava suure ja sekoituskorkeus.

Laskelmissa käytetään yleensä kolmen vuoden pituista tutkimusalueen sääolosuhteita edustavaa meteorologista aineistoa. Säähavaintoaineisto hankitaan Ilmatieteen laitoksen omilta säähavaintoasemilta, joilla mitataan kaikkia mallin tarvitsemia sääsuureita. Säähavainto- ja luotausaineistot täyttävät WMO:n ja ICAO:n laatuvaatimukset. Tuulen suunta- ja nopeustiedot muodostetaan kahden tai useamman sääaseman havaintojen tilastollisena yhdistelmänä. Näin varmistetaan, etteivät tietyt sääasemien lähiympäristöstä johtuvat tuuliaineiston erityispiirteet vääristä kuvaa leviämismallilaskelmin saatavista pitoisuuksien aluejakaumista ja esimerkiksi maksimiarvon sijainnista mallin tulostusalueella. Lopputuloksena saadaan leviämismalleissa tarvittavien meteorologisten parametrien tunneittaiset aikasarjat. Meteorologisen aikasarjan laatii meteorologi.

## VIITELUETTELO

*Berkowicz, R., 1999.* OSPM – A Parameterised Street Pollution Model, Environmental Monitoring and Assessment Vol. 65.

*Hannuniemi, H., Salmi, J., Rasila, T., Wemberg, A., Komppula, B., Lovén, K. ja Pietarila, H., 2016.* Pääkaupunkiseudun päästöjen leviämismalliselvitys. Autoliikenteen, energiantuotannon, laivaliikenteen ja lentoliikenteen typenoksidi-, pienhiukkas- ja rikkidioksidipäästöjen leviämismallinnus. Ilmatieteen laitos, Asiantuntijapalvelut, Ilmanlaatu ja energia, Helsinki. 47 sivua + 27 liitesivua.

*Hertel, O. and Berkowicz, R., 1989.* Modelling Pollution from Traffic in a Street Canyon.

*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.

*Korhonen, S., Loukkola, K. ja Portin, H., 2020.* Ilmanlaatu pääkaupunkiseudulla vuonna 2019 - Vuosiraportti. HSY:n julkaisuja 2/2020. <https://julkaisu.hsy.fi/ilmanlaatu-paakaupunkiseudulla-vuonna-2019-1.pdf>

*Ilmatieteen laitos, 2021.* Ilmatieteen laitoksen ylläpitämä Ilmanlaatu Suomessa -sivusto, josta on saatavilla mittaustiedot ja historiatietoja pitoisuuksista lähes kaikilta Suomen ilmanlaadun seuranta-asemilta, lisäksi sivustolla teematietoa ilmansaasteista: <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.

*Latikka, J., Sillanpää, S., Rasila, T., Komppula, B., Laukkanen, E. ja Lovén, K., 2022.* Pääkaupunkiseudun ilmanlaatuselvitys. Kotitalouksien puunpolton, autoliikenteen ja laivaliikenteen pinehiukkas-, mustahiili- ja bentso(a)pyreenipäästöjen leviämismallilaskelmat. Korjattu 19.1.2023. Ilmatieteen laitos, Asiantuntijapalvelut, Ilmanlaatu ja energia, Helsinki, 58 s. + 59 liites. [https://expo.fmi.fi/ages/public/Paakaupunkiseudun ilmanlaatuselvitys\\_2022.pdf](https://expo.fmi.fi/ages/public/Paakaupunkiseudun_ilmanlaatuselvitys_2022.pdf)

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

*VTT, 2021.* 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, 2021.* WHO Air quality guidelines. Particulate matter (PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub>), ozone, nitrogen dioxide, sulphur dioxide and carbon monoxide. Geneva, World Health Organization.

## LIITTEET

---

### Liitekuvaluettelo

#### Pitoisuuksien aluejakaumat

1. Autoliikenne + taustapitoisuuden NO<sub>2</sub> vuosikeskiarvo
2. Autoliikenne NO<sub>2</sub> vuosikeskiarvo
3. Autoliikenne + taustapitoisuuden NO<sub>2</sub> vuorokausikeskiarvo
4. Autoliikenne NO<sub>2</sub> vuorokausikeskiarvo
5. Autoliikenne + taustapitoisuuden NO<sub>2</sub> WHO vuorokausiohjearvo
6. Autoliikenne NO<sub>2</sub> WHO vuorokausiohjearvo
7. Autoliikenne + taustapitoisuuden NO<sub>x</sub> vuosikeskiarvo
8. Autoliikenne NO<sub>x</sub> vuosikeskiarvo
9. Autoliikenne + taustapitoisuuden NO<sub>2</sub> vuosikeskiarvo 2030
10. Autoliikenne NO<sub>2</sub> vuosikeskiarvo 2030
11. Autoliikenne + taustapitoisuuden NO<sub>2</sub> vuorokausikeskiarvo 2030
12. Autoliikenne NO<sub>2</sub> vuorokausikeskiarvo 2030
13. Autoliikenne + taustapitoisuuden NO<sub>2</sub> WHO vuorokausiohjearvo 2030
14. Autoliikenne NO<sub>2</sub> WHO vuorokausiohjearvo 2030
15. Autoliikenne + taustapitoisuuden NO<sub>x</sub> vuosikeskiarvo 2030
16. Autoliikenne NO<sub>x</sub> vuosikeskiarvo 2030

#### Loittonevat väylägradientit

17. Autoliikenne + taustapitoisuuden NO<sub>2</sub> vuosikeskiarvo
18. Autoliikenne + taustapitoisuuden NO<sub>2</sub> vuorokausikeskiarvo
19. Autoliikenne + taustapitoisuuden NO<sub>2</sub> WHO vuorokausiohjearvo
20. Autoliikenne + taustapitoisuuden NO<sub>2</sub> vuosikeskiarvo 2030
21. Autoliikenne + taustapitoisuuden NO<sub>2</sub> vuorokausikeskiarvo 2030
22. Autoliikenne + taustapitoisuuden NO<sub>2</sub> WHO vuorokausiohjearvo 2030

#### Katukuilumallinnuksen tulokset

23. Taulukko katukuilumallinnuksen tuloksista ja mittaus
24. Autoliikenne + taustapitoisuuden NO<sub>2</sub> vuosikeskiarvo katukuilumaisissa kohteissa
25. Autoliikenne + taustapitoisuuden NO<sub>2</sub> vuorokausikeskiarvo katukuilumaisissa kohteissa
26. Autoliikenne + taustapitoisuuden NO<sub>2</sub> WHO vuorokausiohjearvo katukuilumaisissa kohteissa

#### Malli-mittausvertailun tulokset

27. HSY passiivikeräinasemat vuonna 2019
28. NO<sub>2</sub> vuosikeskiarvon malli-mittausvertailun tulokset passiivikeräinasemilla
29. NO<sub>2</sub> vuosikeskiarvon malli-mittausvertailun tulokset loittonevissa väylägradien-teissa
30. NO<sub>2</sub> vuorokausikeskiarvon malli-mittausvertailun tulokset pysyvillä ja siirrettävillä asemilla
31. NO<sub>x</sub> vuosikeskiarvon malli-mittausvertailun tulokset pysyvillä ja siirrettävillä asemilla

#### Päästöt

32. Autoliikenne NO<sub>x</sub> päästöt vuonna 2019
33. Autoliikenne NO<sub>x</sub> päästöt vuonna 2030



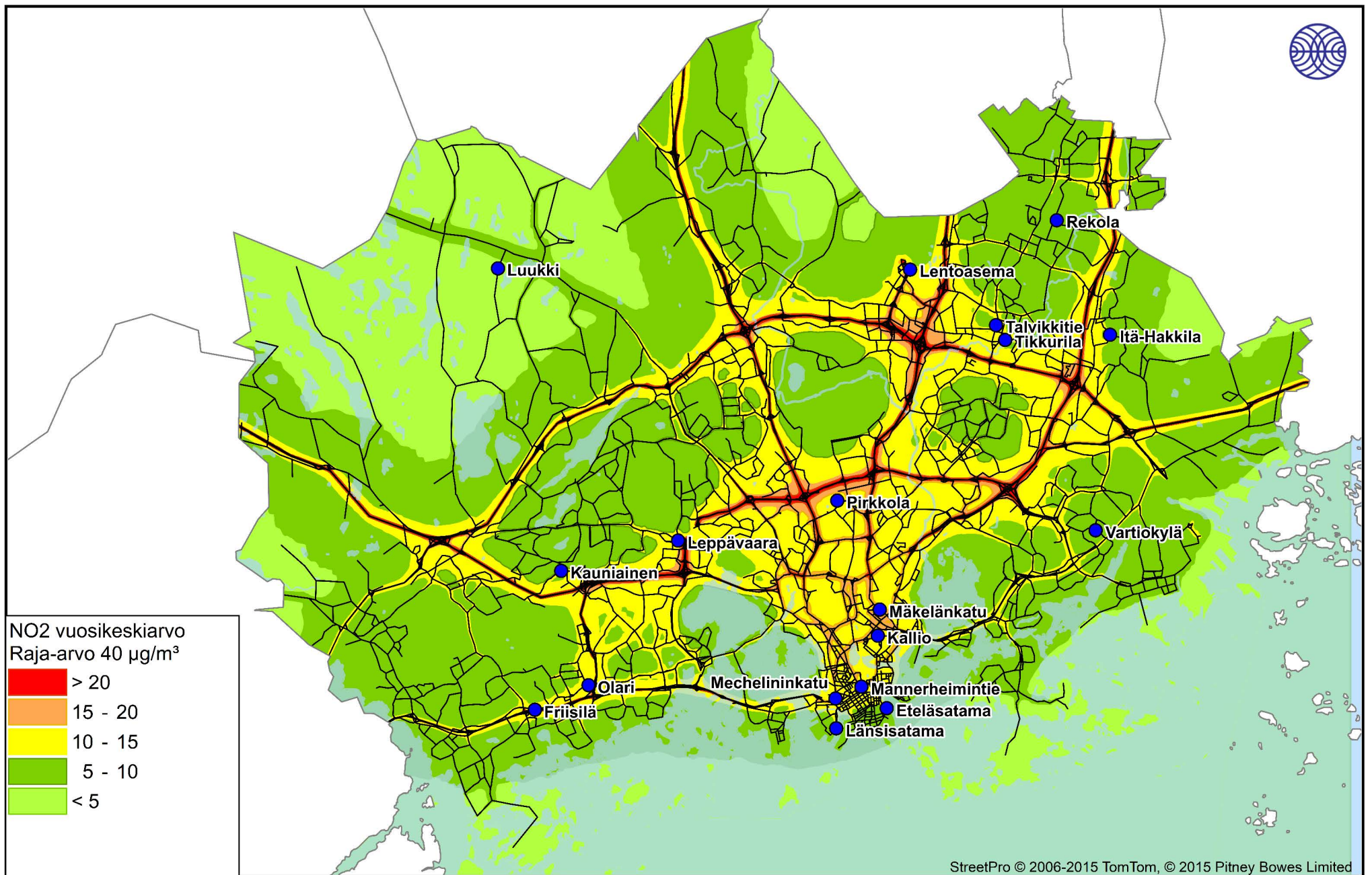
## Liitekuvat

Leviämismallilaskelmien tuloksina saadut typpidioksidi- ja typen oksidipitoisuudet on esitetty karttakuvina, joissa ilman epäpuhtauksia verrataan ilmanlaatulainsäädännössä annettuihin raja- ja ohjearvoihin, kriittiseen tasoon ja WHO:n suositushjearvoihin. Karttakuvissa esitetyt pitoisuusjakaumat kuvaavat enimmäispitoisuustasoa ulkoilmassa ihmisten hengityskorkeudella (2 m). Kuvissa on esitetty koko tarkastelualueen (45 × 35 km) kattavat pitoisuuksien tuloskartat.

Karttakuvissa on esitetty värillisinä jakaumina alueet, joilla tietyn pitoisuuden ylittyminen on pitkän havaintojakson aikana todennäköistä. Lainsäädännössä annettu raja- ja ohjearvo sekä WHO suositushjearvo on esitetty kuvien esitetekstissä. Kartoissa esitetyt pitoisuuksien aluejakaumat eivät edusta koko tutkimusalueella yhtä aikaa vallitsevaa pitoisuustilannetta, vaan ne kuvaavat kuhunkin laskentapisteeseen mallilaskelmissa saatua korkeinta pitoisuutta. Korkeimmat pitoisuudet voivat esiintyä eri laskentapisteissä eri ajanhetkinä.

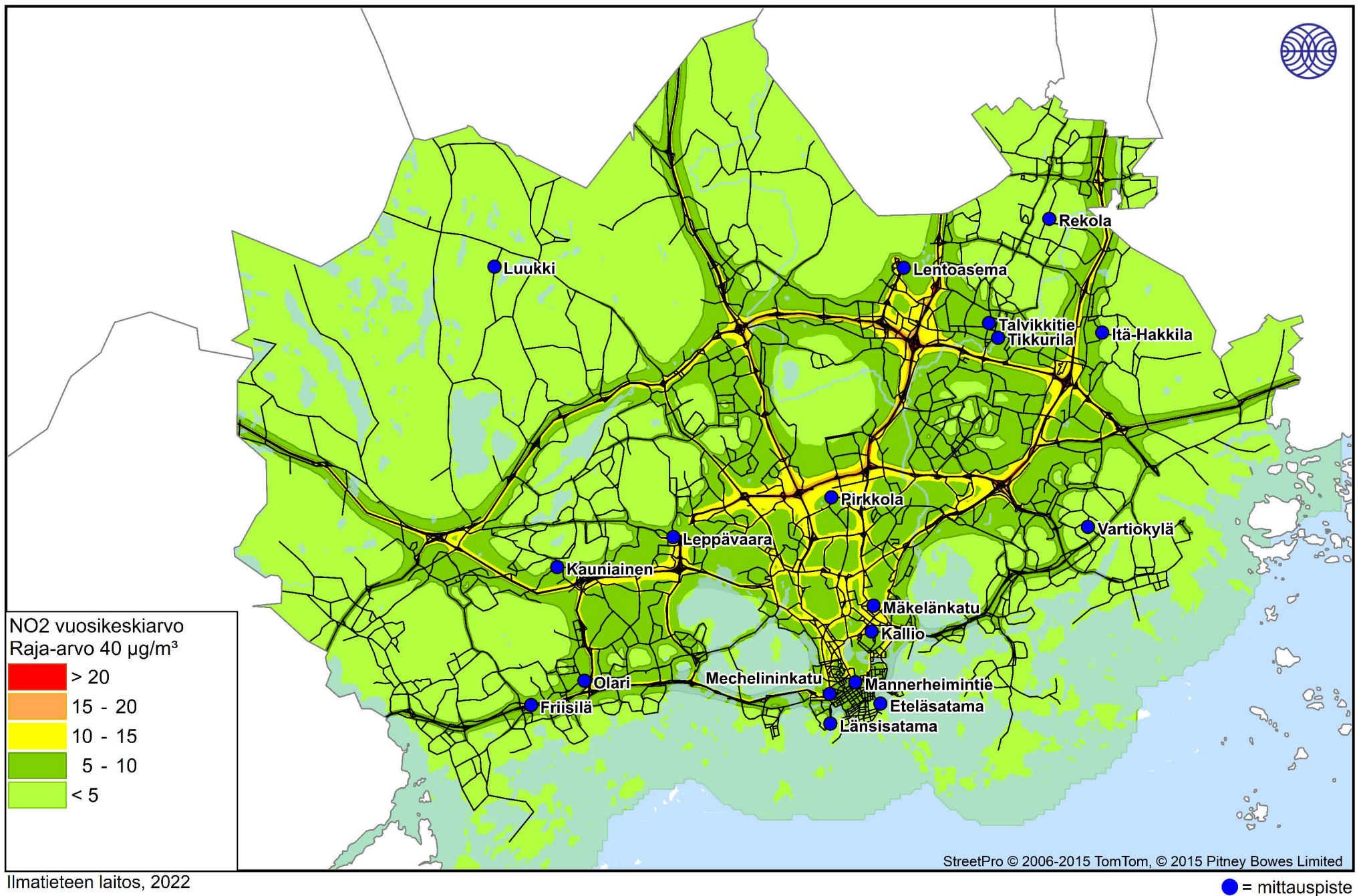
Vuosikeskiarvopitoisuus kuvaa alueen keskimääräistä ja vallitsevaa ilman epäpuhtauspitoisuustasoa parhaiten. Karttakuvissa esitetyt vuosikeskiarvopitoisuudet kuvaavat kolmen vuoden tarkastelujakson korkeinta vuosikeskiarvoa kussakin laskentapisteessä. Hetkelliset pitoisuudet voivat nousta vuosikeskiarvopitoisuuksia 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.

Taustapitoisuutena käytettiin HSY:n Espoon Luukissa ja Helsingin Kalliossa sijaitsevien taustailmanlaadun mittausasemien tuloksia. Tarkastelujaksolla 2017–2019 typen oksidien taustapitoisuuden vuosikeskiarvo Luukissa oli 4,6 µg/m<sup>3</sup> ja ennustetussa tilanteessa vuonna 2030 2,6 µg/m<sup>3</sup>. Otsonipitoisuus molemmissa tilanteissa oli 50,8 µg/m<sup>3</sup>. Typpidioksidin vuosikeskiarvo Kalliossa tarkastelujaksolla 2017–2019 oli 14,9 µg/m<sup>3</sup>, vuonna 2025 10,5 µg/m<sup>3</sup> ja vuonna 2030 7,4 µg/m<sup>3</sup>. Otsonipitoisuus Kalliossa kaikkina tarkasteluvuosina oli 51,0 µg/m<sup>3</sup>. (*Ilmatieteen laitos, 2021; HSY, 2020*).

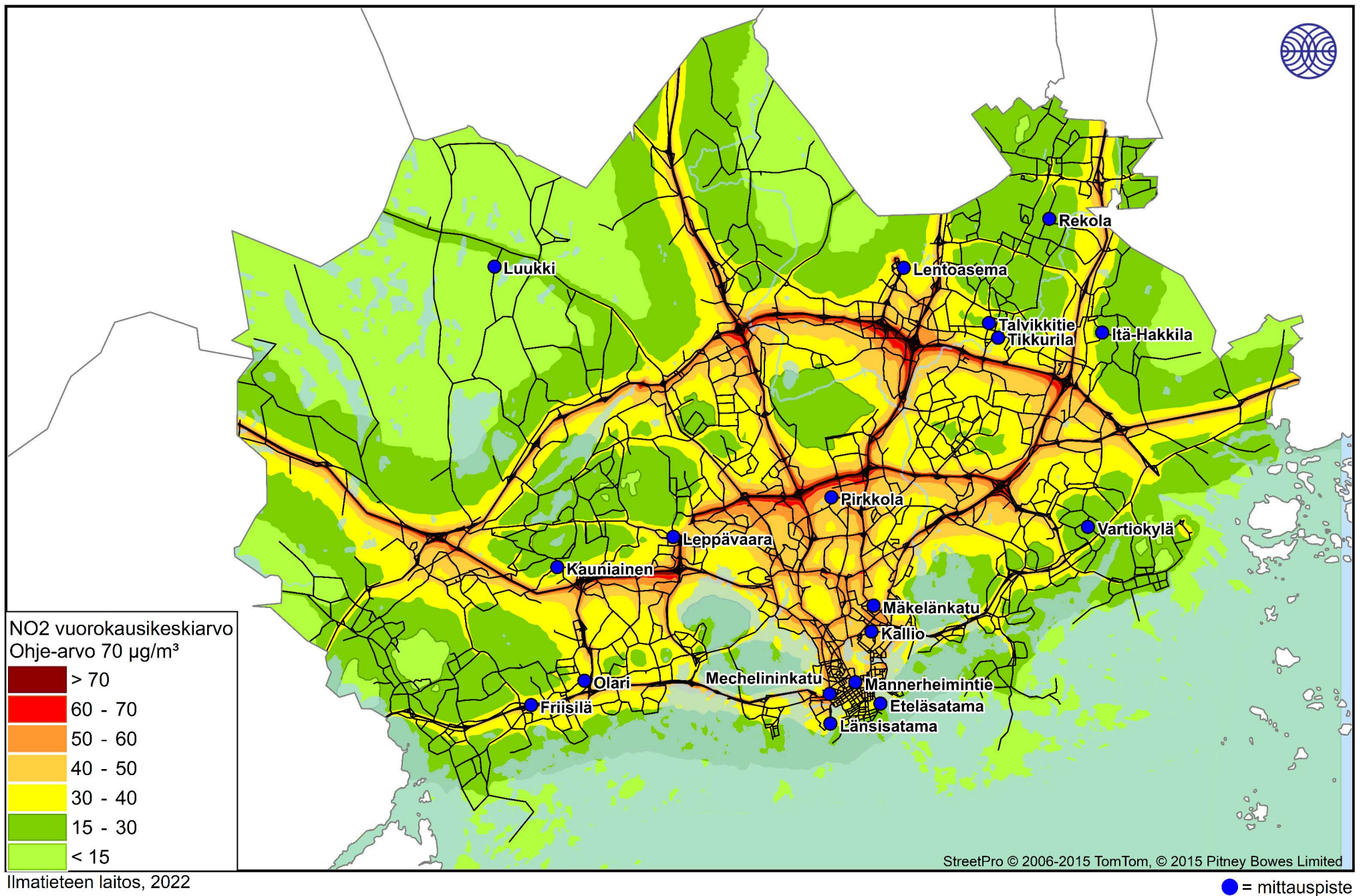


Ilmatieteen laitos, 2022

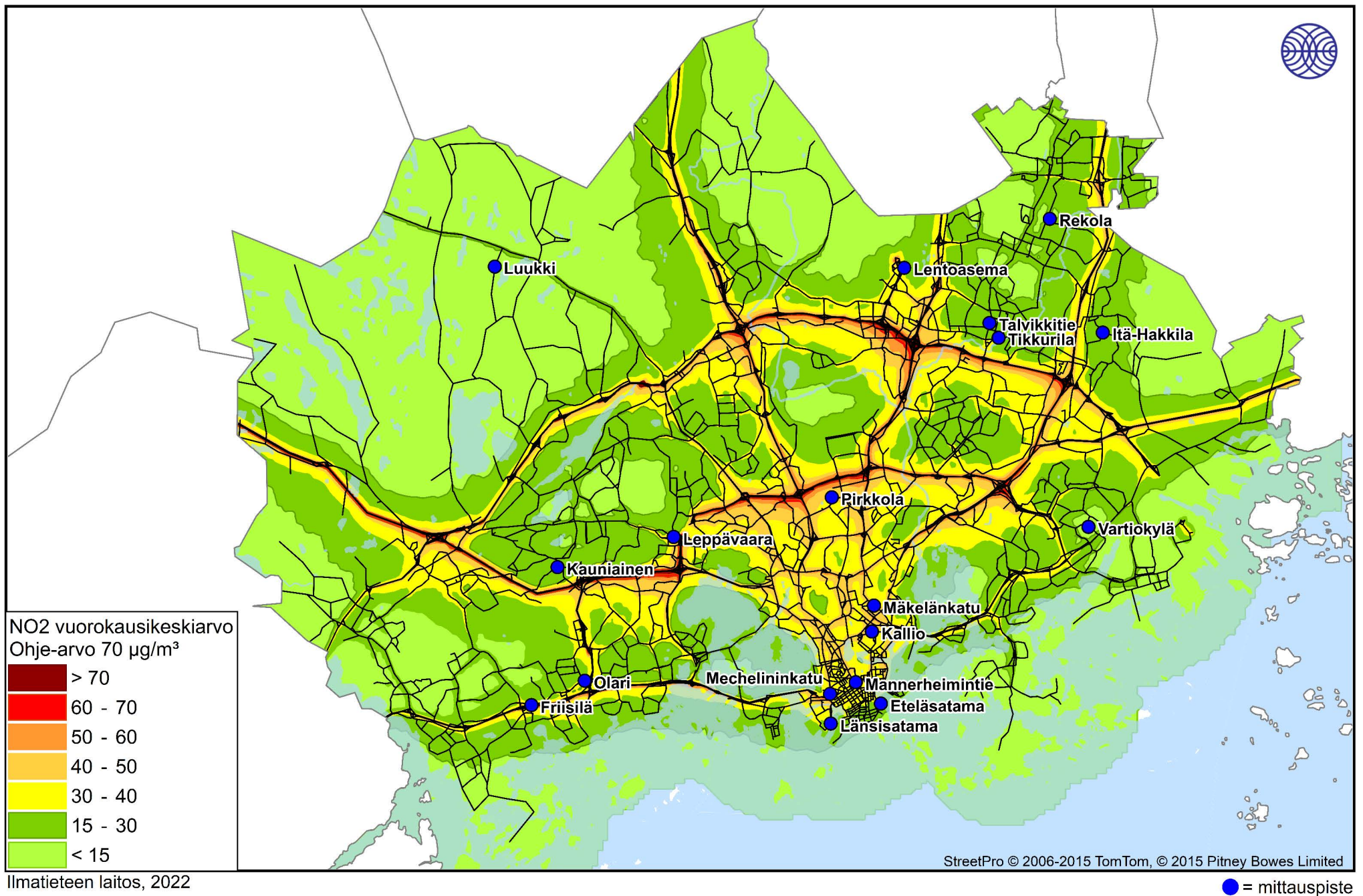
Kuva 1. Autoliikenteen päästöjen ja taustapitoisuuden aiheuttama typpidioksidin vuosikeskiarvopitoisuus ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) nykytilanteessa.



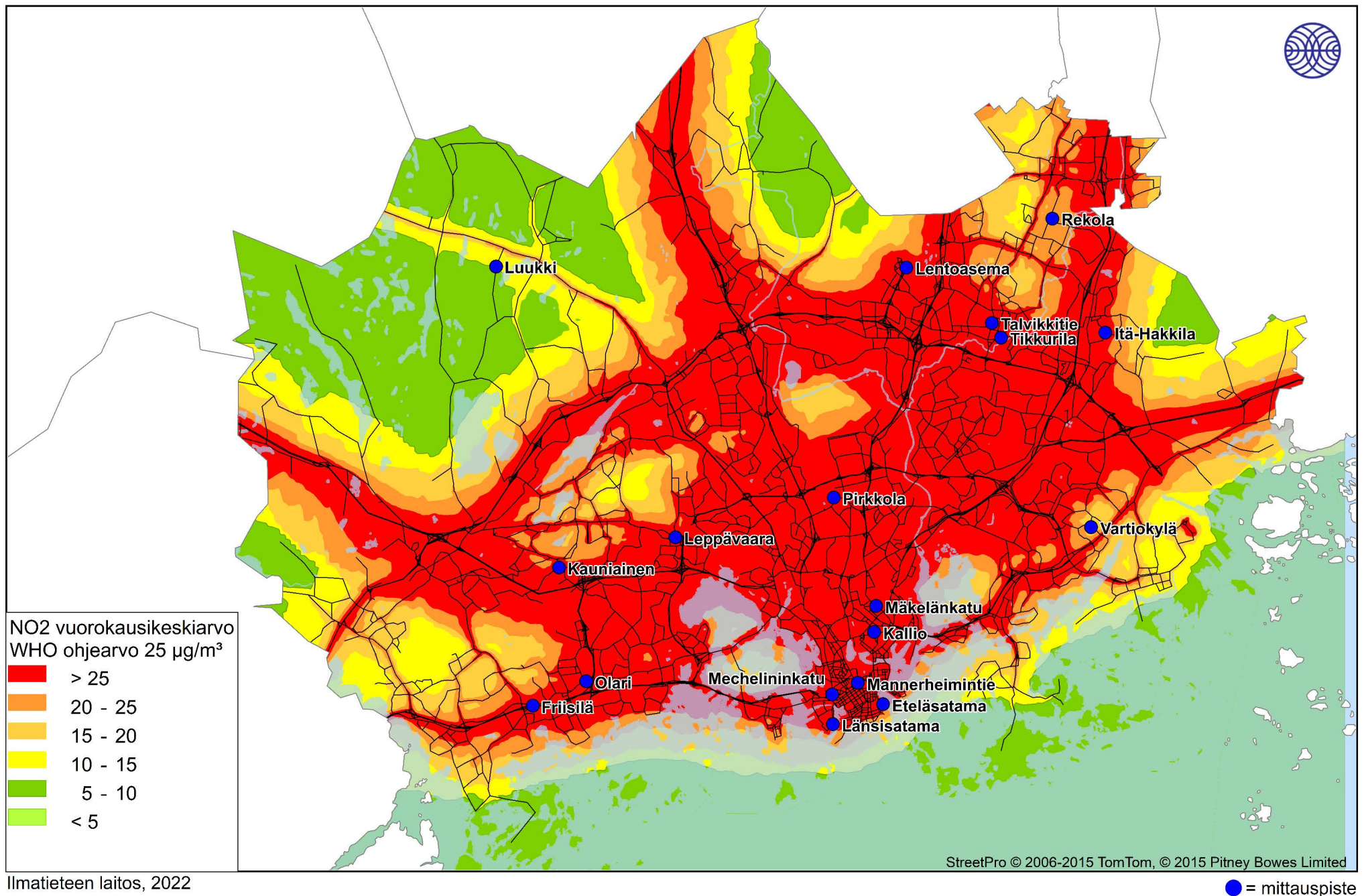
Kuva 2. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama typpidioksidin vuosikeskiarvopitoisuus ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) nykytilanteessa.



Kuva 3. Autoliikenteen päästöjen ja taustapitoisuuden aiheuttama typpidioksidin vuorokausikeskiarvopitoisuus (µg/m<sup>3</sup>) nykytilanteessa.

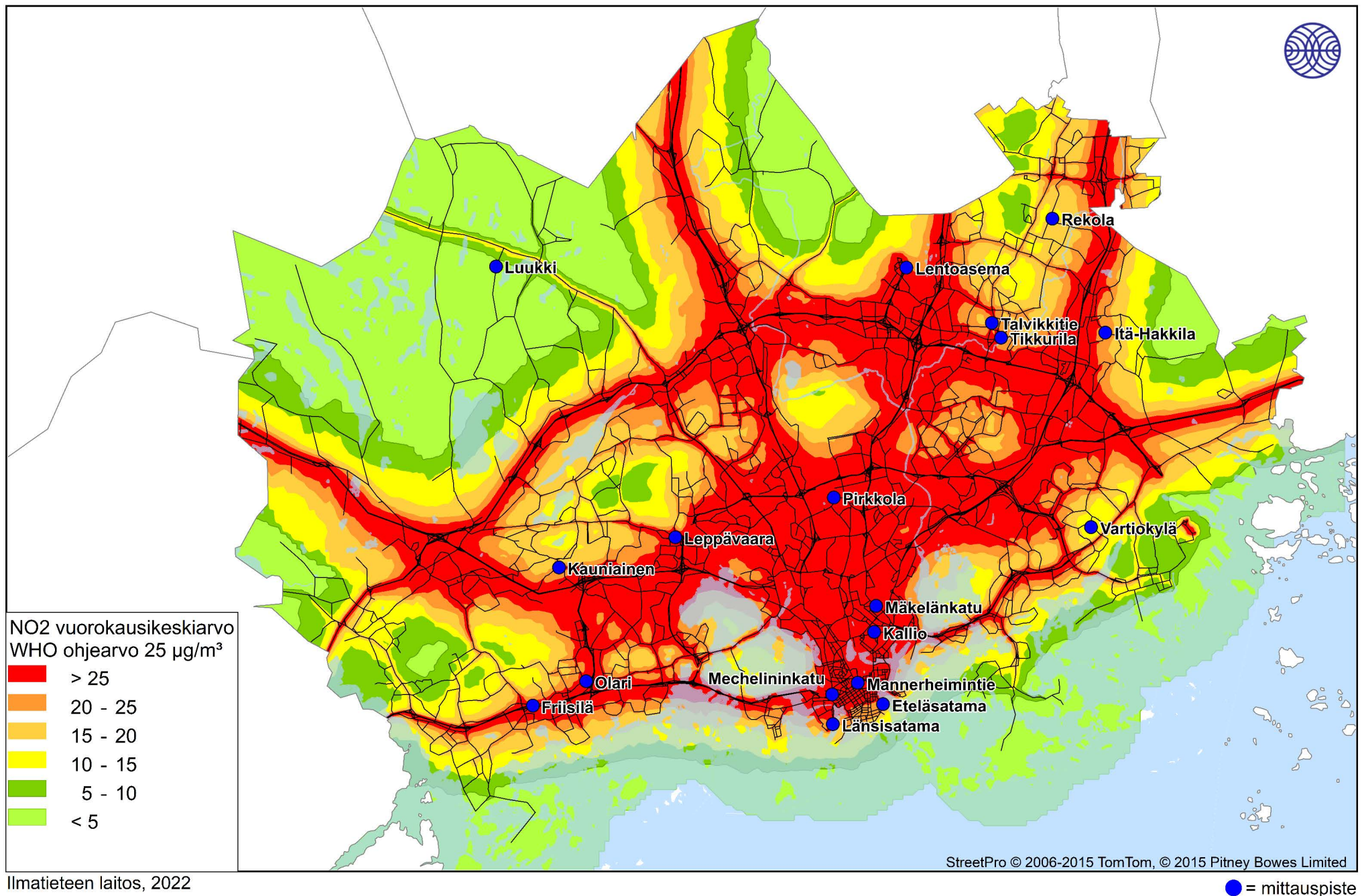


Kuva 3. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama typpidioksidin vuorokausikeskiarvopitoisuus ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) nykytilanteessa.



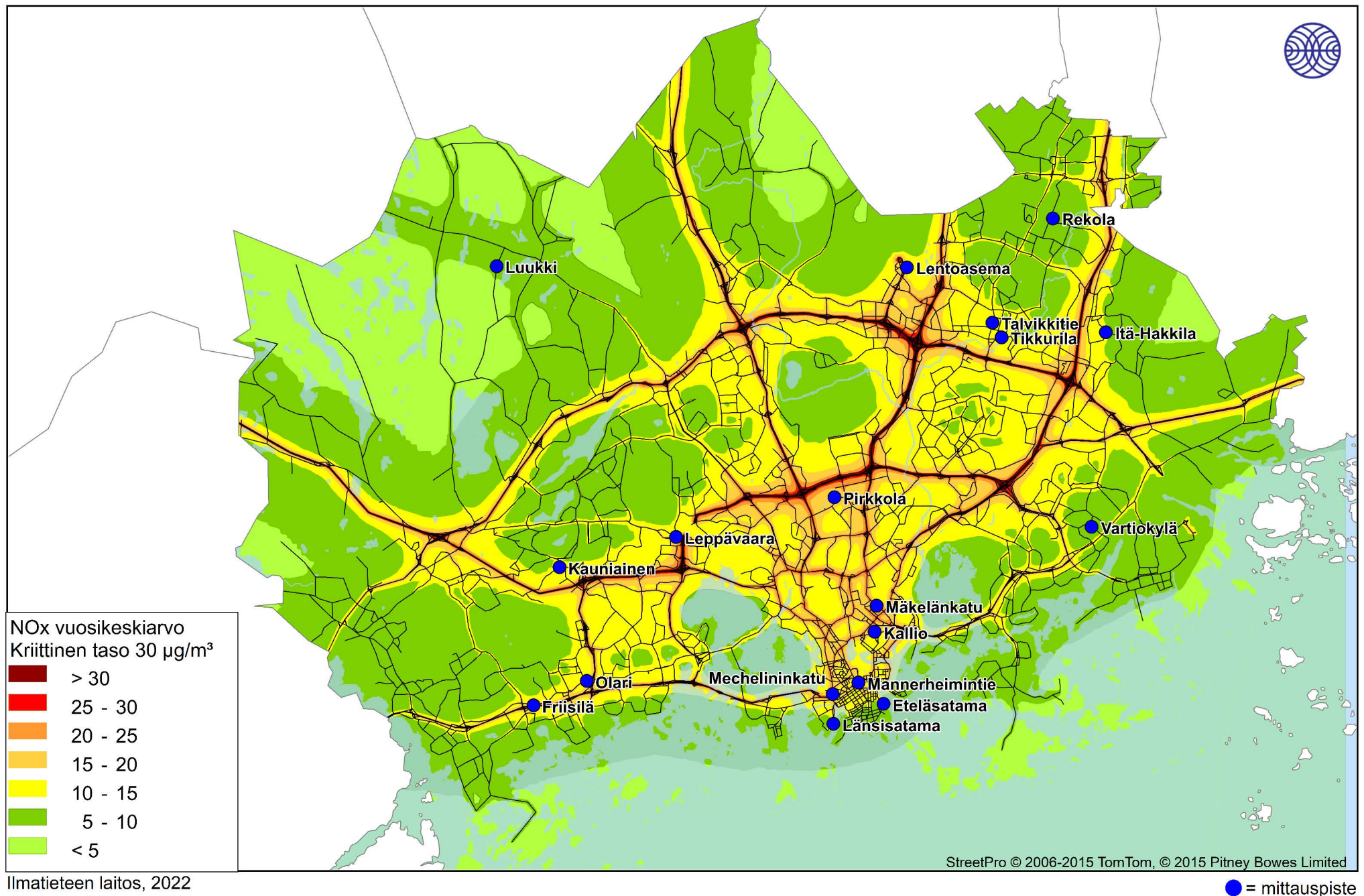
Ilmatieteen laitos, 2022

Kuva 5. Autoliikenteen päästöjen ja taustapitoisuuden aiheuttama typpidioksidin WHO suositushjearvoon verrattava vuorokausikeskiarvopitoisuus (µg/m<sup>3</sup>) nykytilanteessa.



Ilmatieteen laitos, 2022

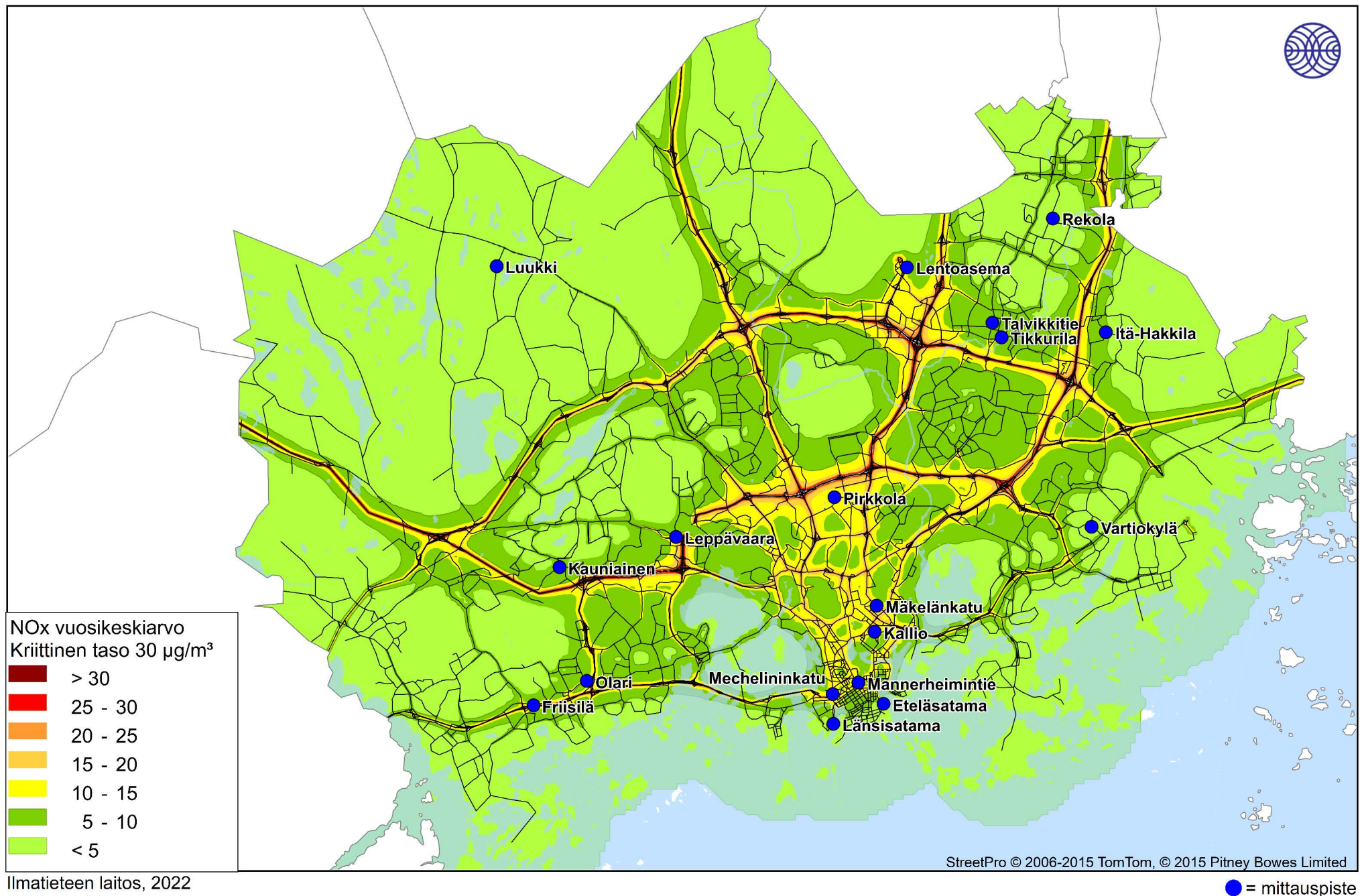
Kuva 6. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama typpidioksidin WHO suositusohjearvoon verrattava vuorokausikeskiarvopitoisuus (µg/m<sup>3</sup>) nykytilanteessa.



Ilmatieteen laitos, 2022

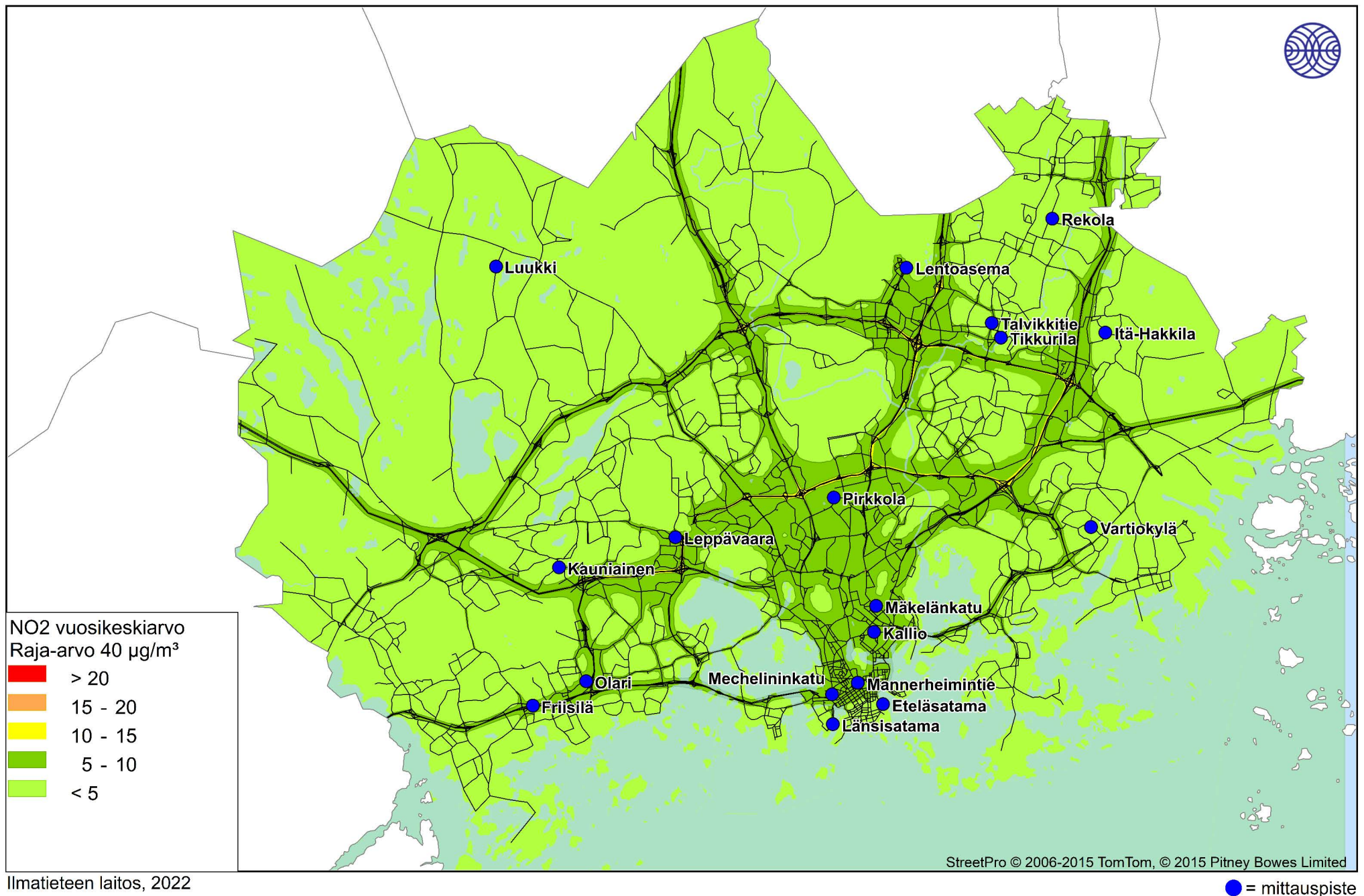
Kuva 7. Autoliikenteen päästöjen ja taustapitoisuuden aiheuttama typen oksidin vuosikeskiarvopitoisuus ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) nykytilanteessa.





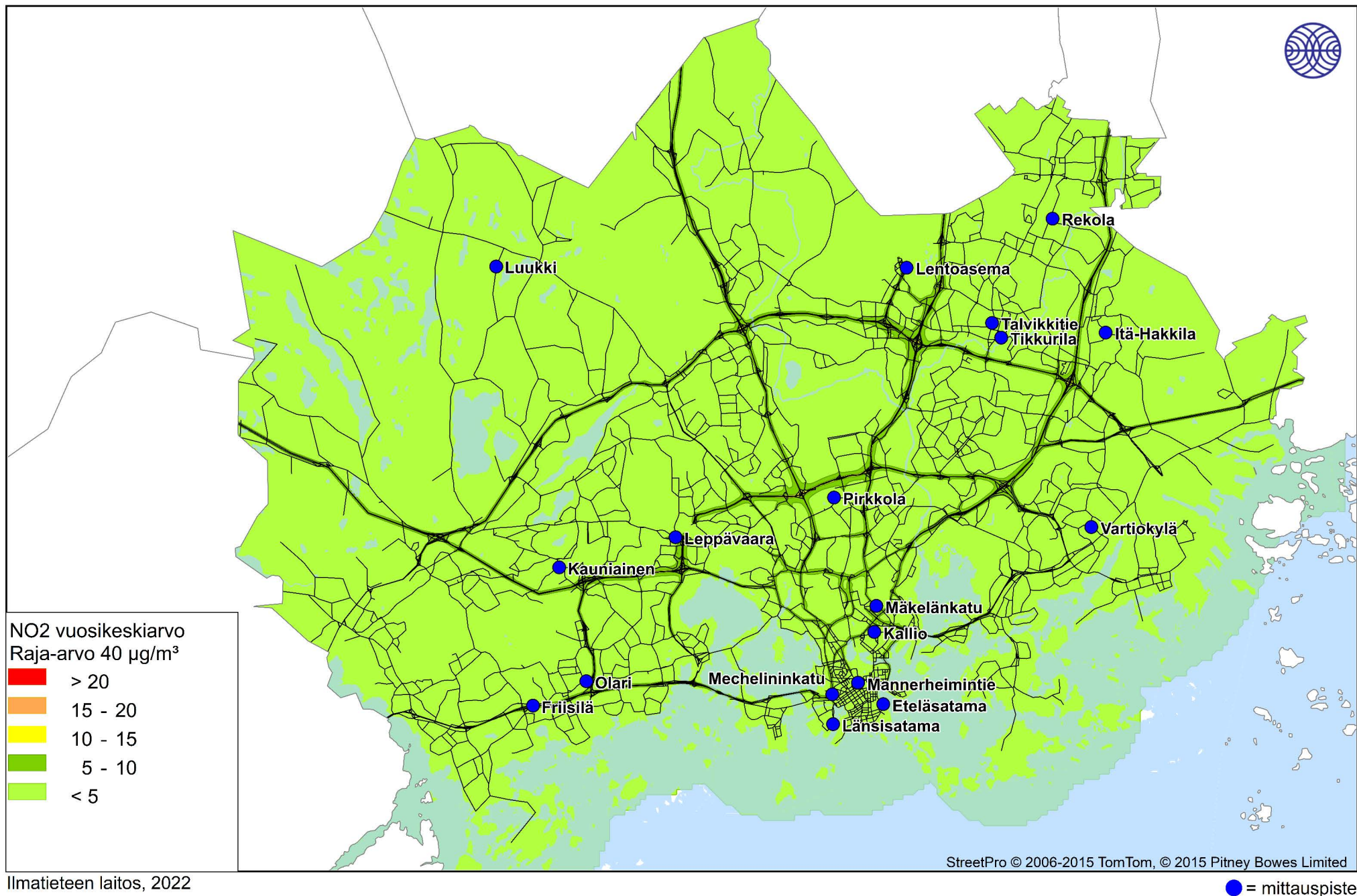
Ilmatieteen laitos, 2022

Kuva 8. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama typen oksidin vuosikeskiarvopitoisuus ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) nykytilanteessa.



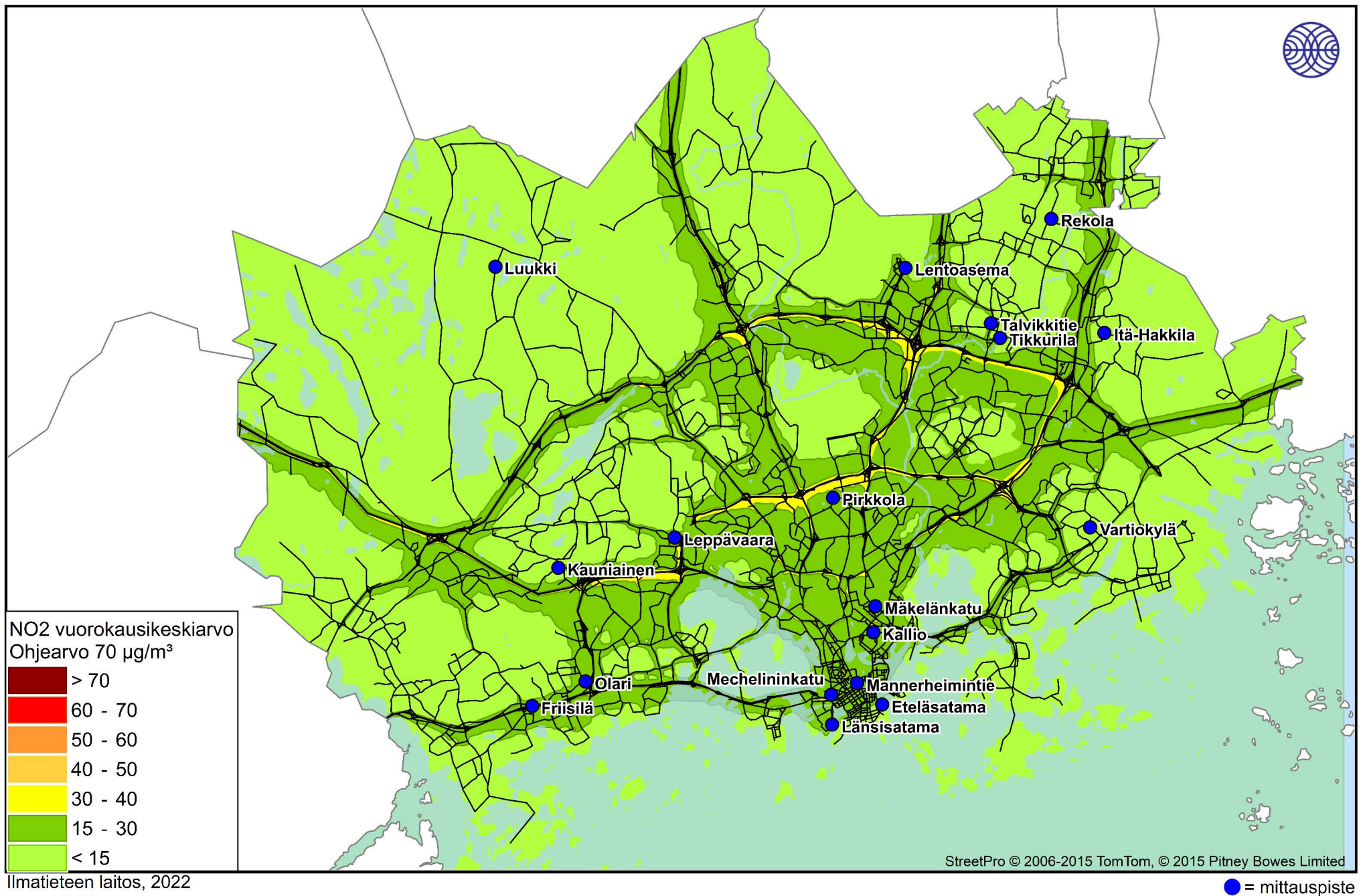
Ilmatieteen laitos, 2022

Kuva 9. Autoliikenteen päästöjen ja taustapitoisuuden aiheuttama typpidioksidin vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m<sup>3</sup>) vuonna 2030.

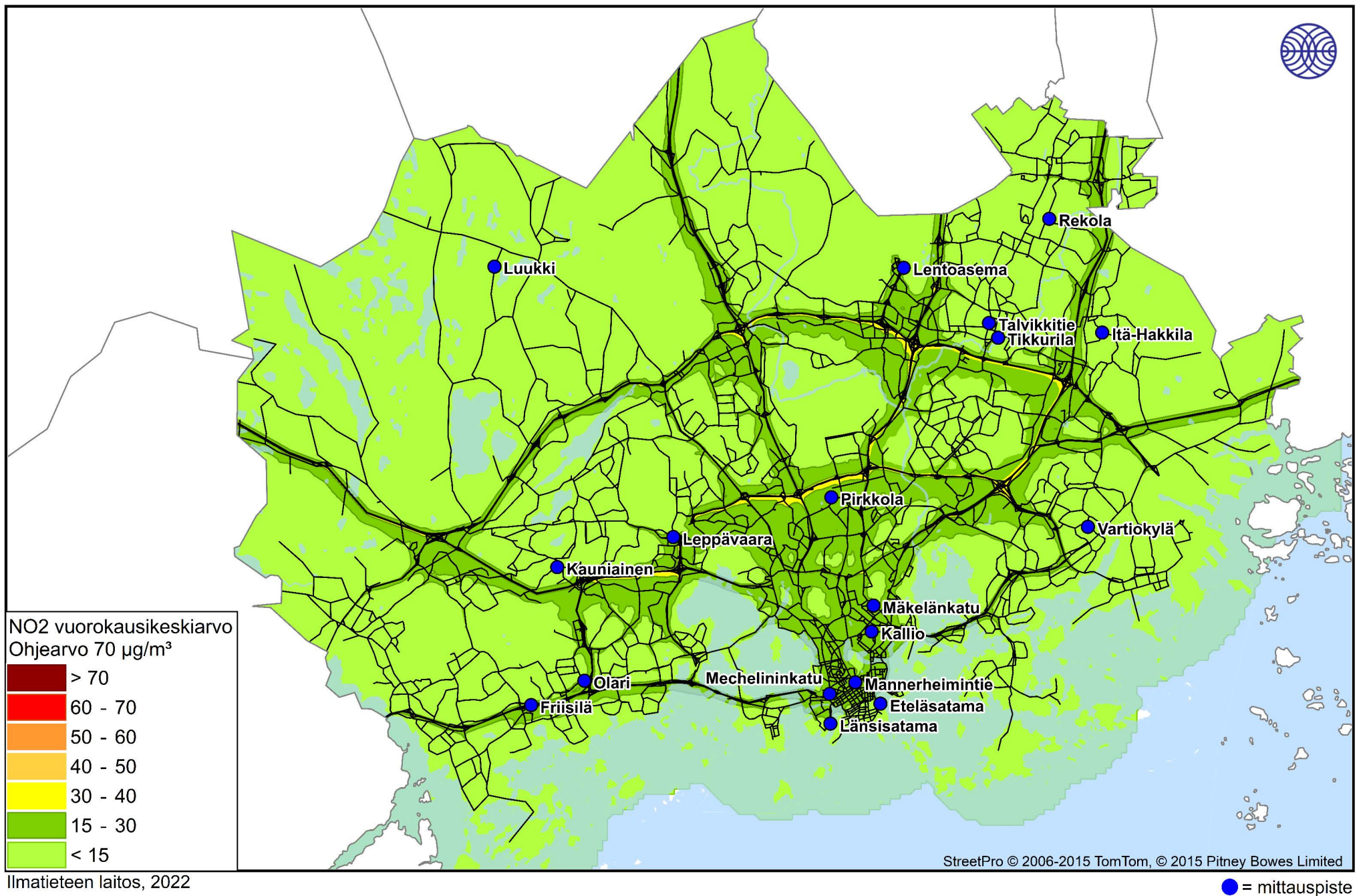


Ilmatieteen laitos, 2022

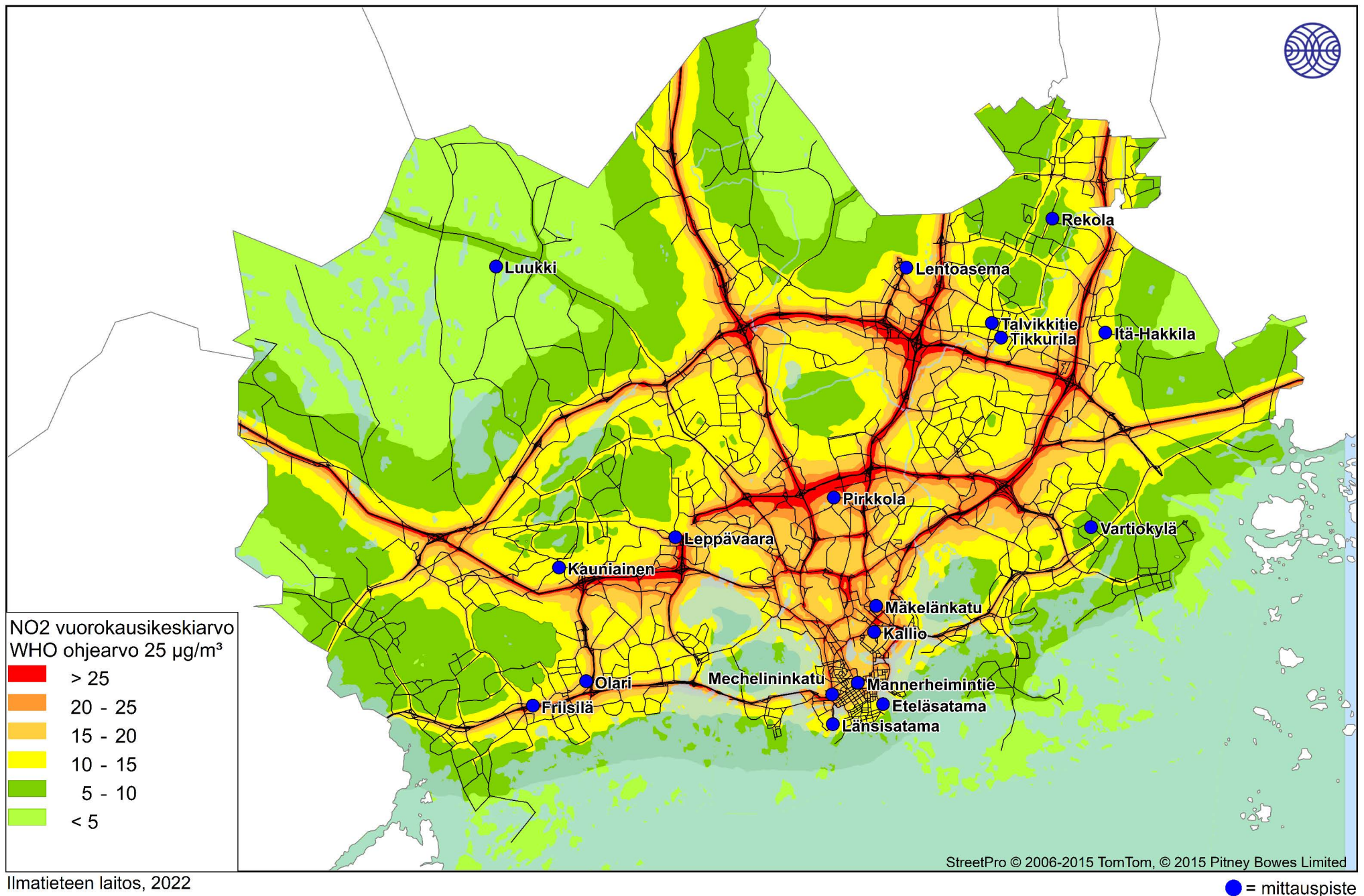
Kuva 10. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama typpidioksidin vuosikeskiarvopitoisuus ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) vuonna 2030.



Kuva 11. Autoliikenteen päästöjen ja taustapitoisuuden aiheuttama typpidioksidin vuorokausikeskiarvopitoisuus (µg/m<sup>3</sup>) vuonna 2030.

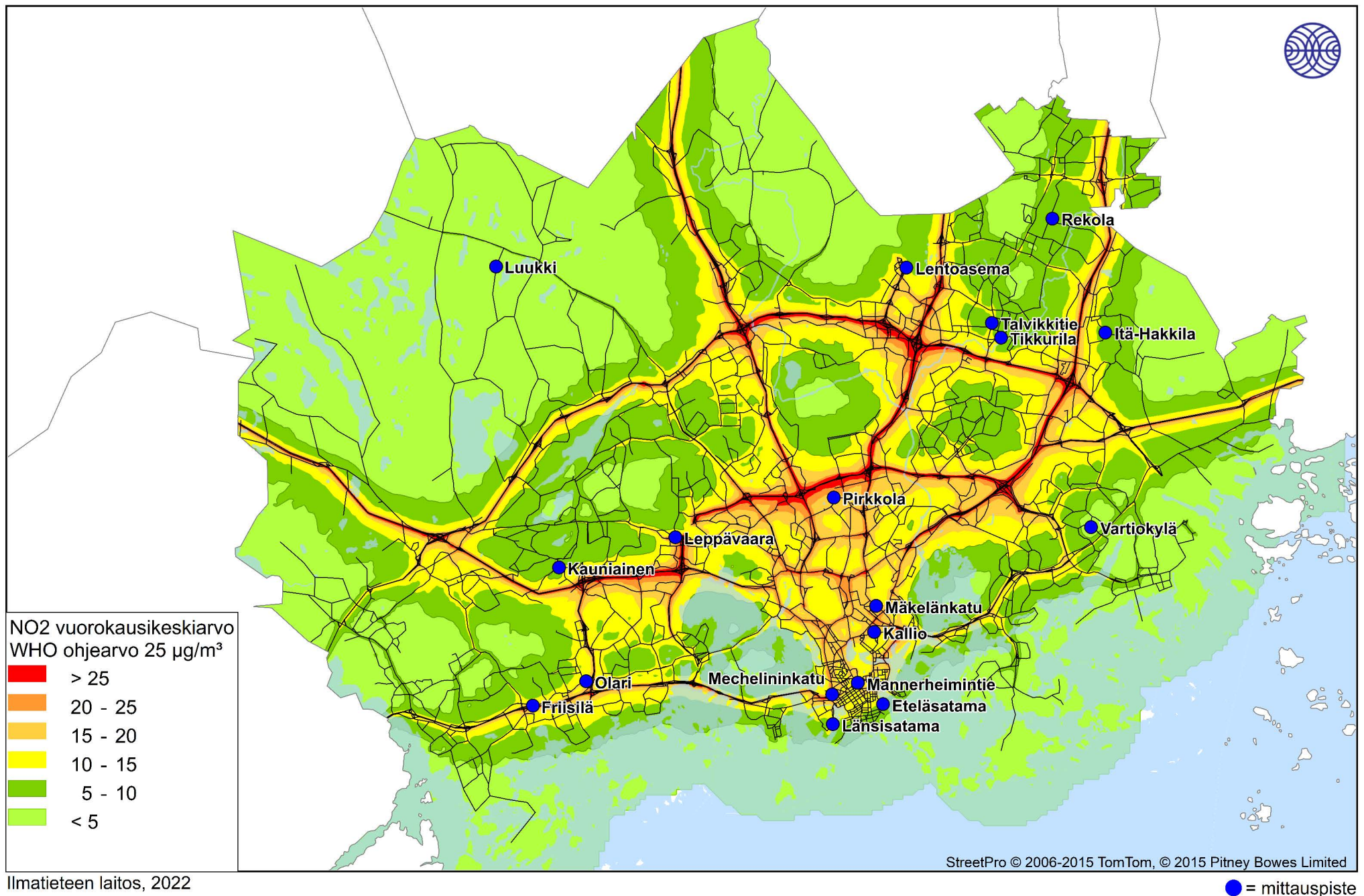


Kuva 12. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama typpidioksidin vuorokausikeskiarvopitoisuus ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) vuonna 2030.



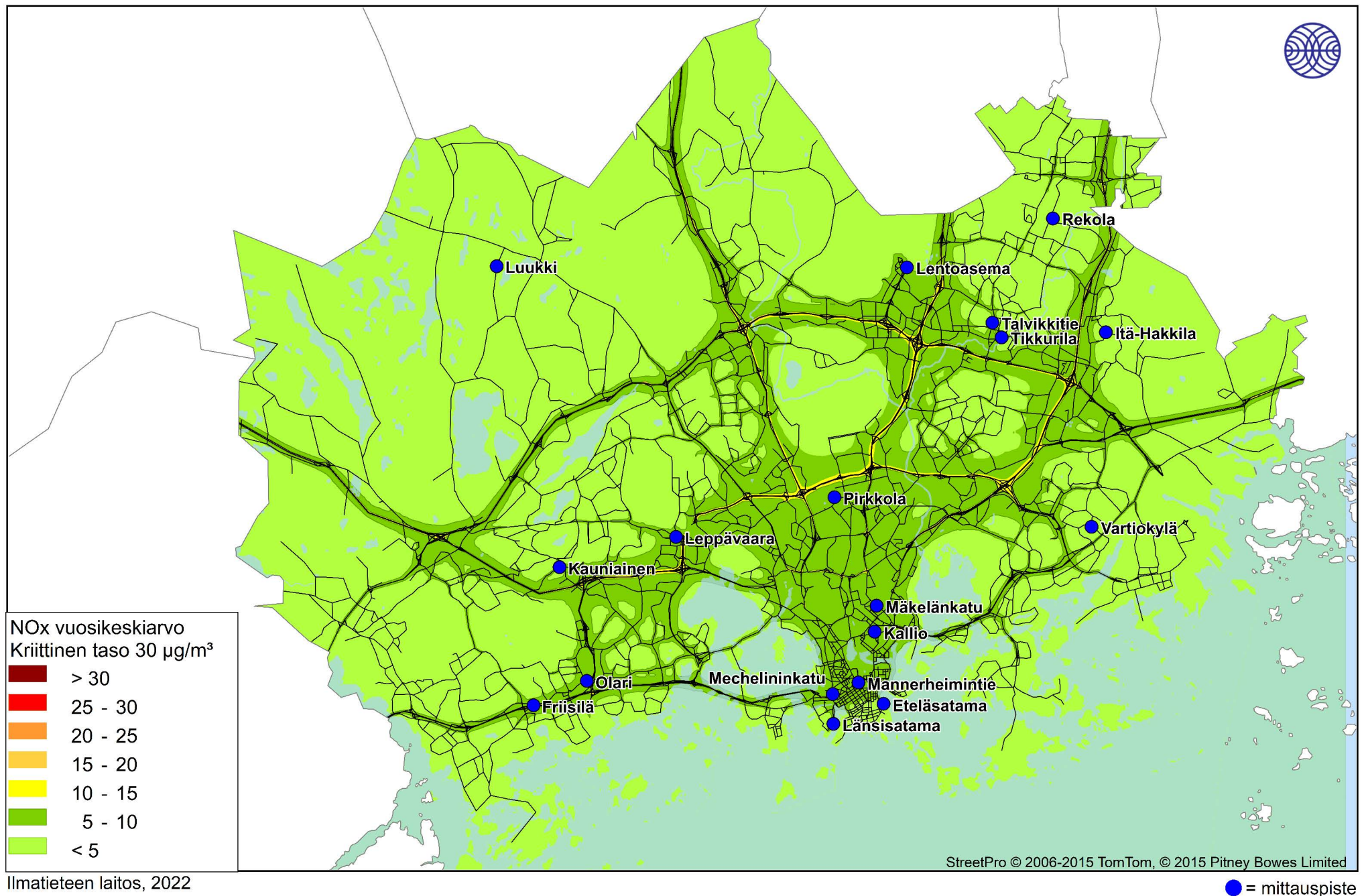
Ilmatieteen laitos, 2022

Kuva 13. Autoliikenteen päästöjen ja taustapitoisuuden aiheuttama typpidioksidin WHO suositusohjearvoon verrattava vuorokausikeskiarvopitoisuus ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) vuonna 2030.



Ilmatieteen laitos, 2022

Kuva 14. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama typpidioksidin WHO suositusohjearvoon verrattava vuorokausikeskiarvopitoisuus (µg/m<sup>3</sup>) vuonna 2030.



Ilmatieteen laitos, 2022

Kuva 15. Autoliikenteen päästöjen ja taustapitoisuuden aiheuttama typen oksidin vuosikeskiarvopitoisuus ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) vuonna 2030.



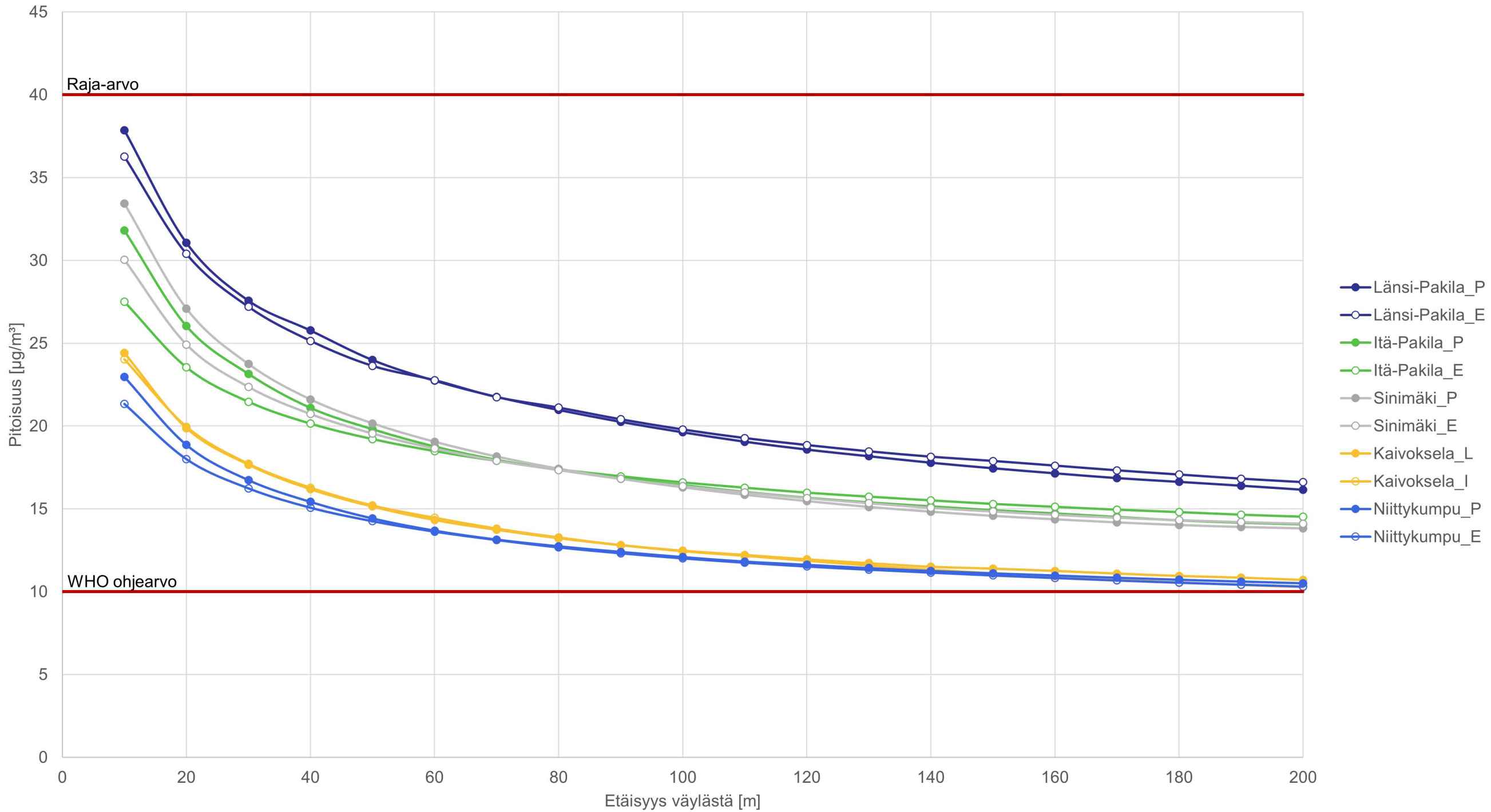


Ilmatieteen laitos, 2022

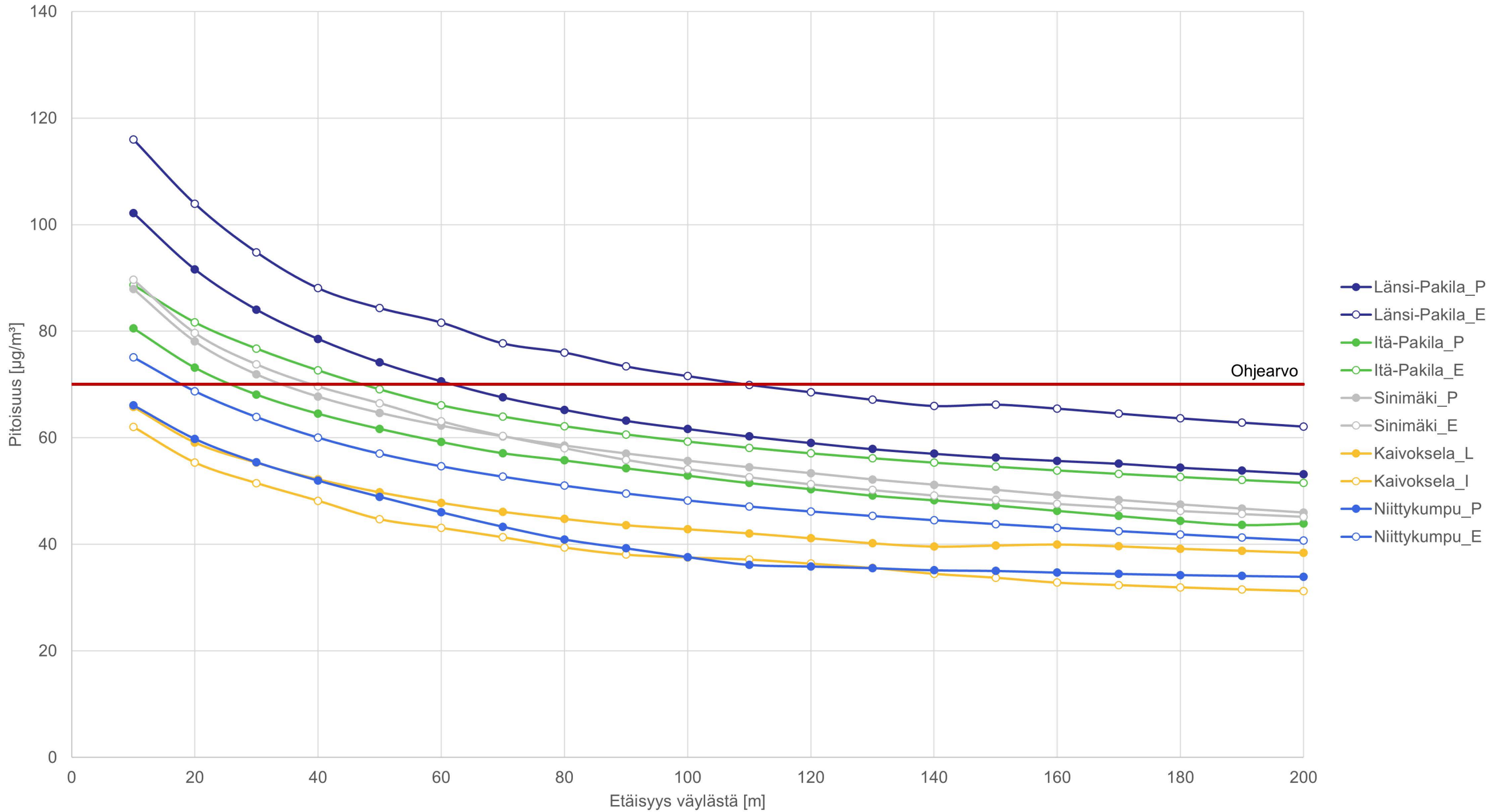
● = mittauspiste

Kuva 16. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama typen oksidin vuosikeskiarvopitoisuus ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) vuonna 2030.

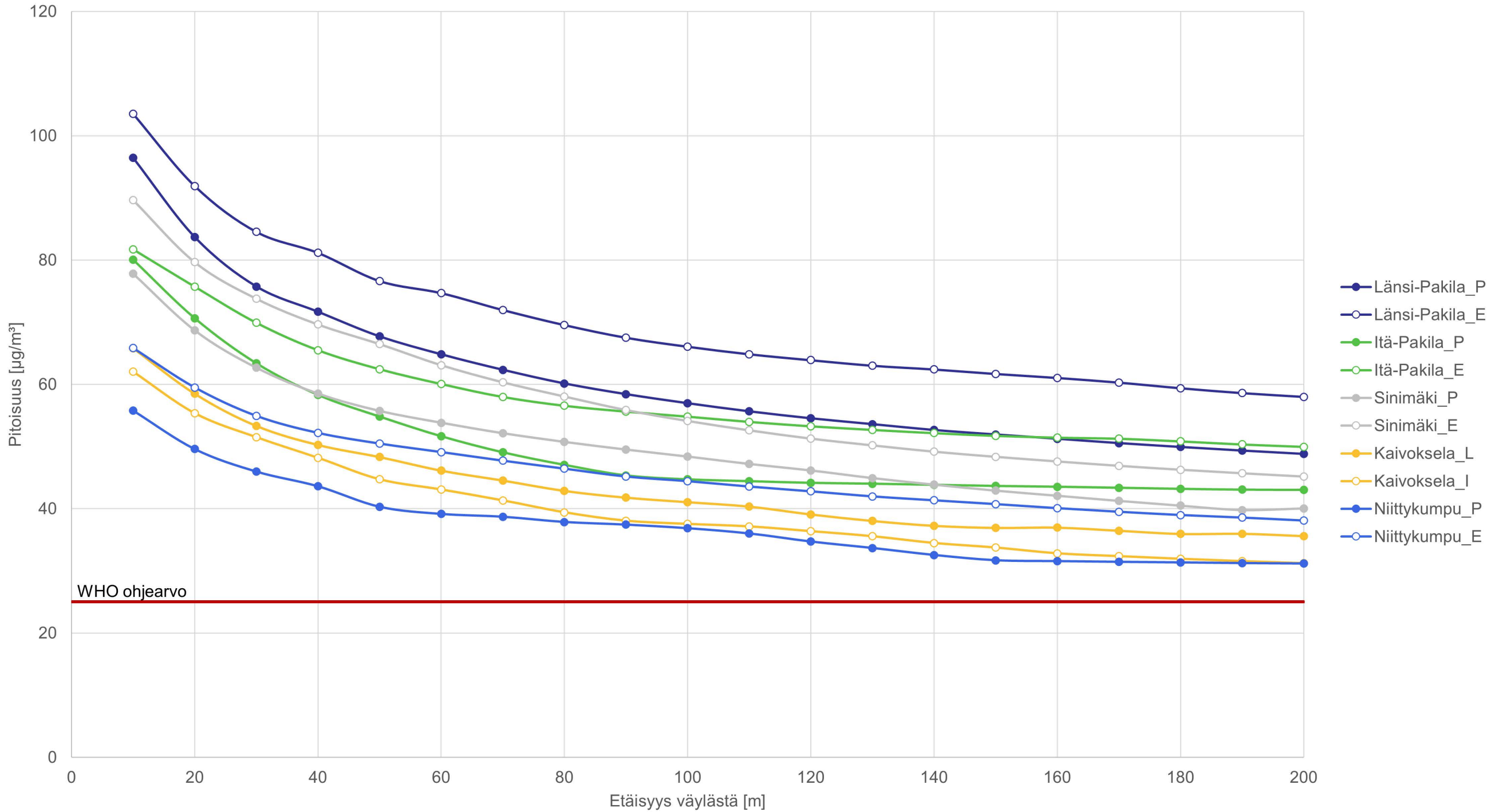
NO<sub>2</sub> vuosikeskiarvo [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ], nykytilanne



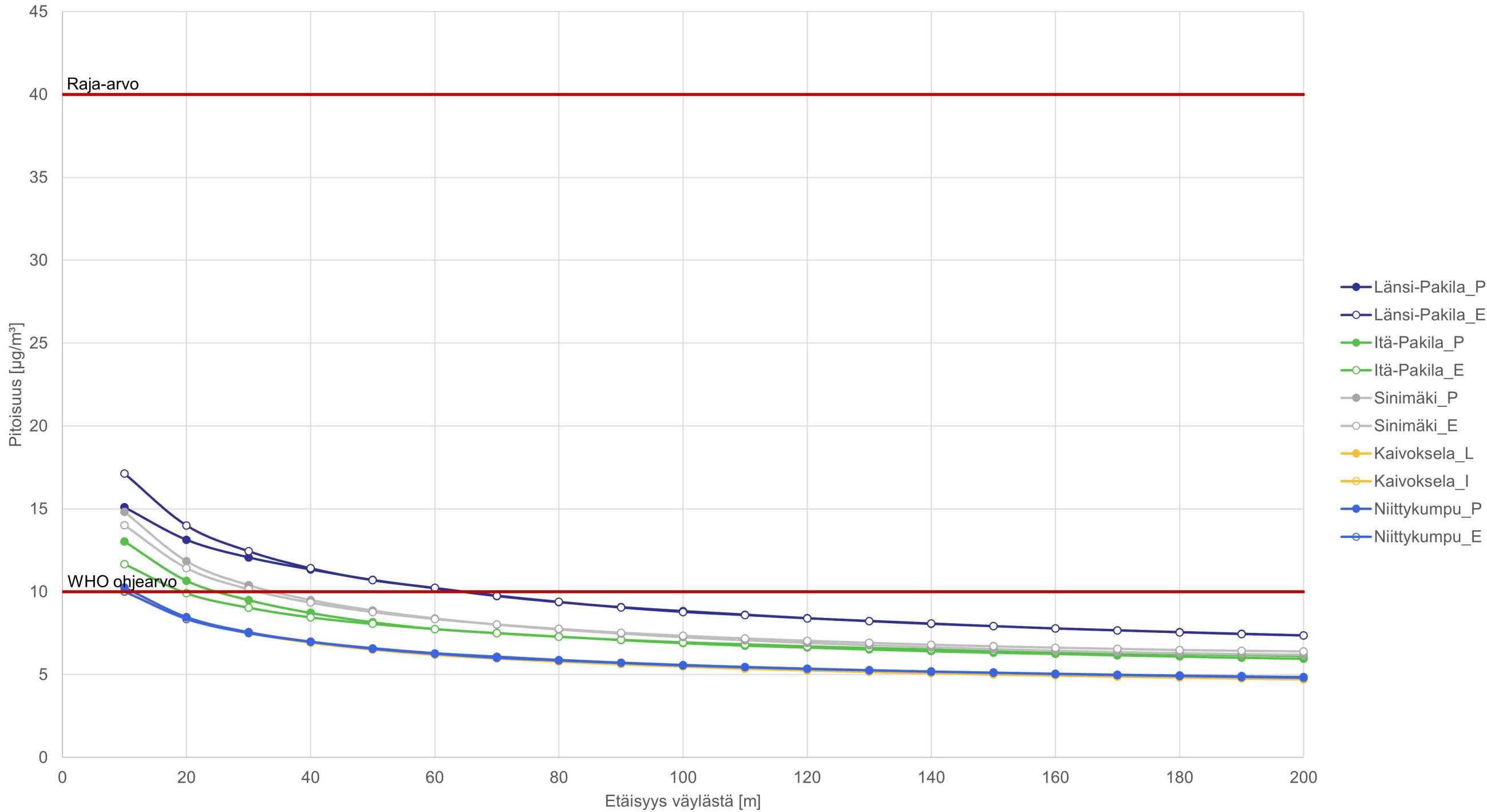
NO<sub>2</sub> vuorokausikeskiarvo [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ], nykytilanne



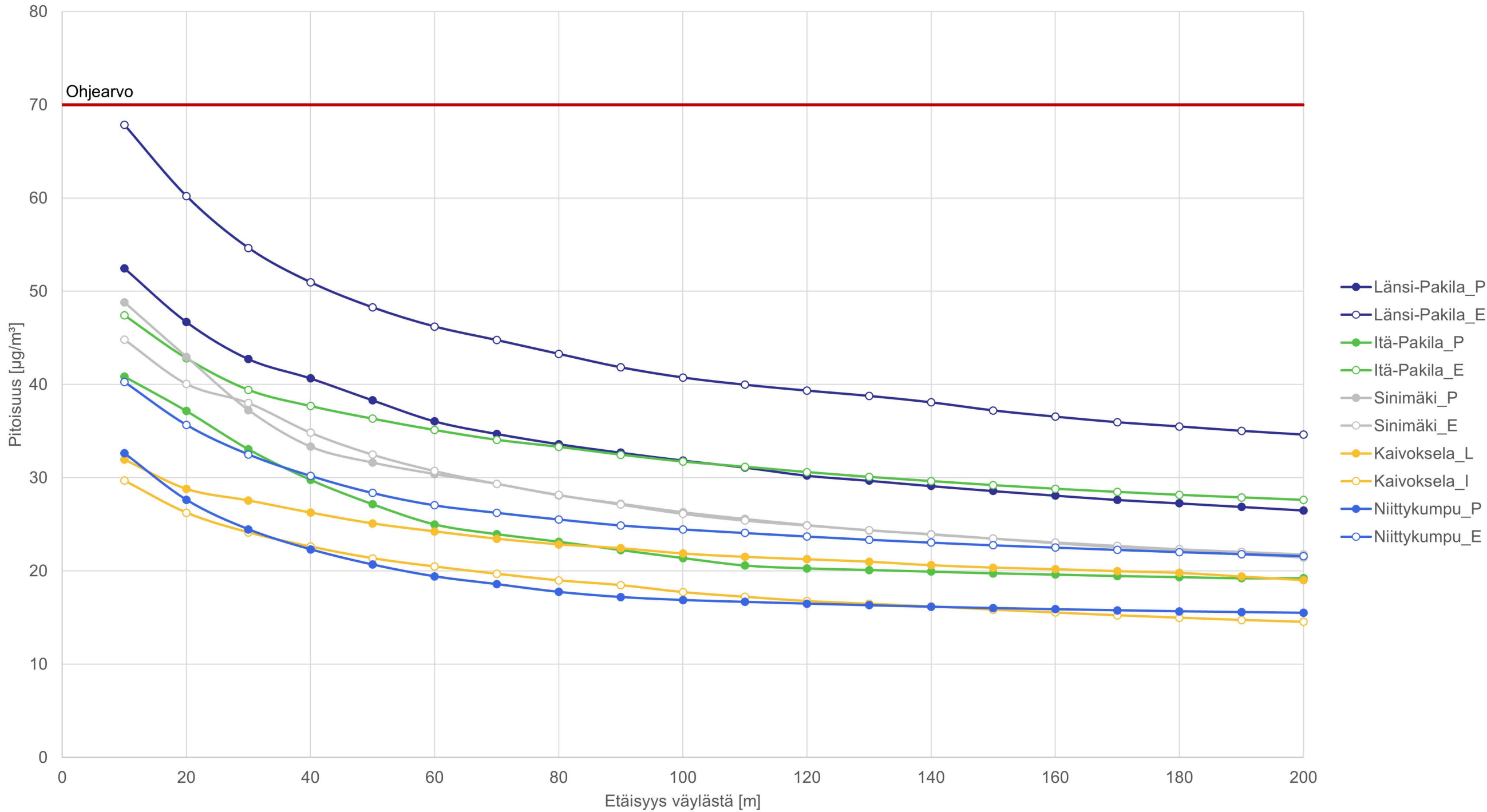
NO<sub>2</sub> WHO vuorokausikeskiarvo [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ], nykytilanne



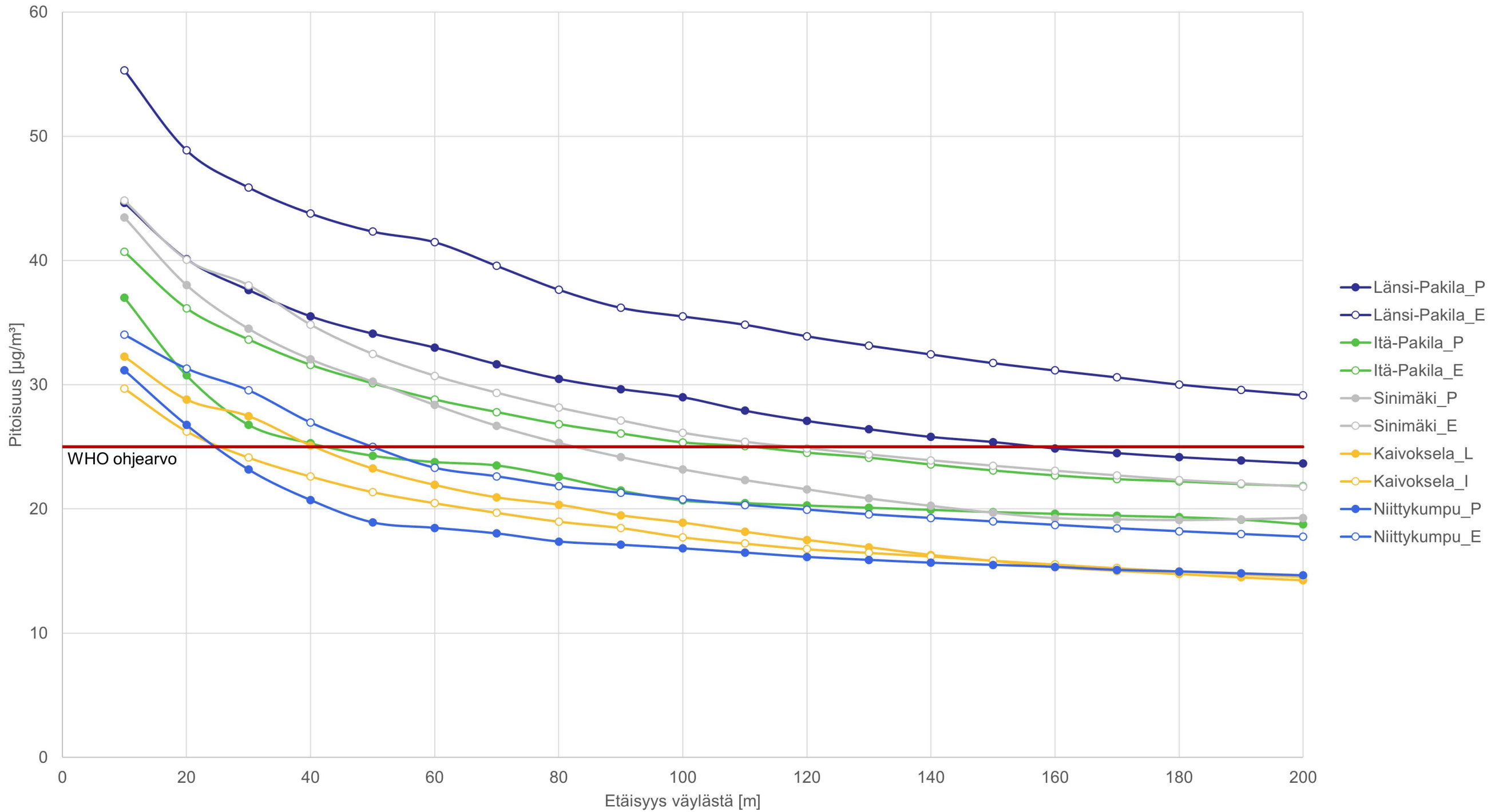
NO<sub>2</sub> vuosikeskiarvo [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ], tuleva tilanne



NO<sub>2</sub> vuorokausikeskiarvo [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ], tuleva tilanne



NO<sub>2</sub> WHO vuorokausikeskiarvo [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ], tuleva tilanne



Liite 23. Katukuilumallinnuksen tulokset eri skenaariovuosina ja mitattu arvo

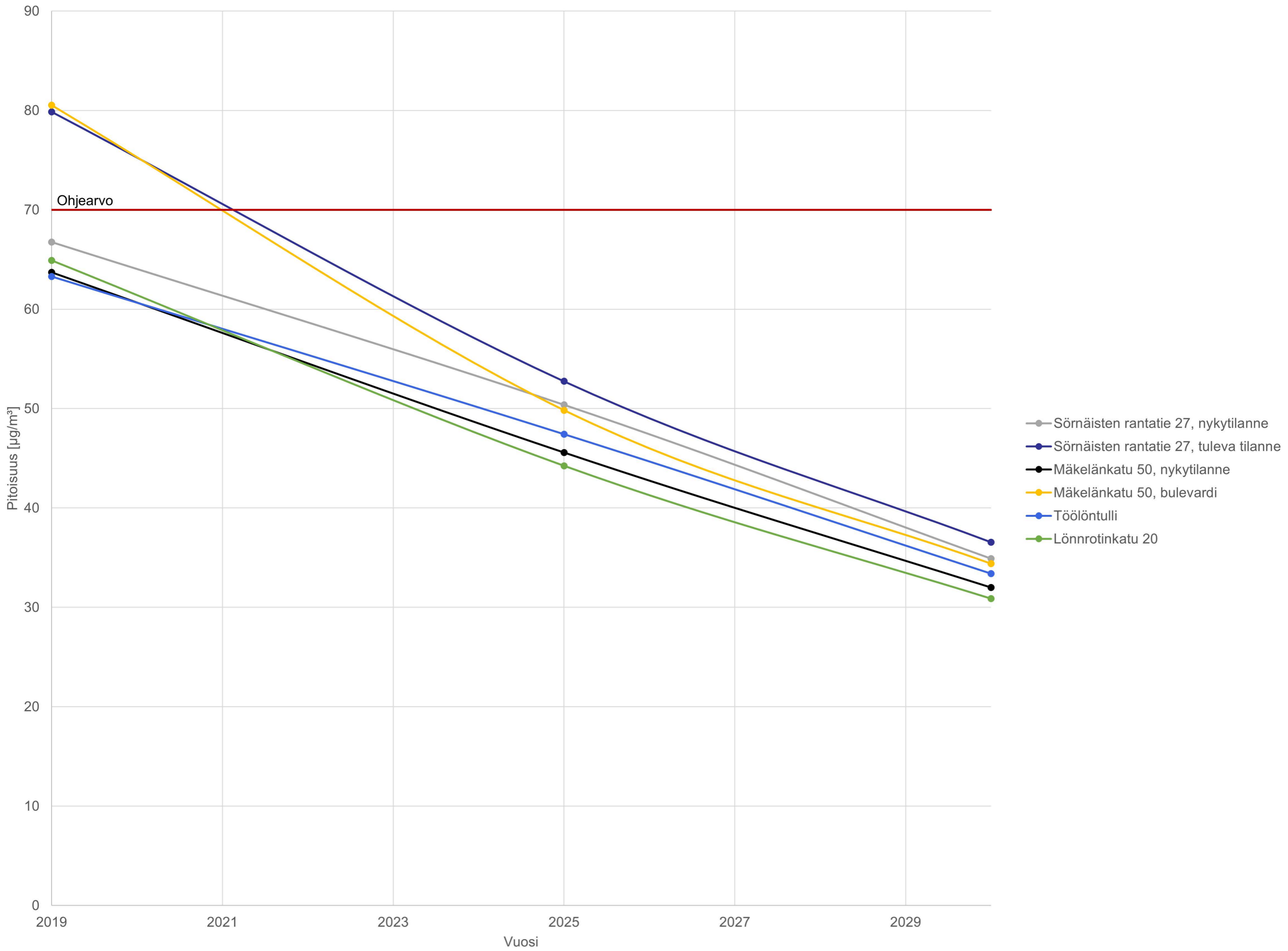
	Mallinnus 2019 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]			Mallinnus 2025 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]			Mallinnus 2030 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]			Mittaus 2019 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	
	Vuosikeskiarvo	Vrk ohjearvo	WHO vrk ohjearvo	Vuosikeskiarvo	Vrk ohjearvo	WHO vrk ohjearvo	Vuosikeskiarvo	Vrk ohjearvo	WHO vrk ohjearvo	Vuosikeskiarvo	Vrk ohjearvo
Mäkelänkatu 50, nykytilanne_1	26	64	64	18	46	46	12	32	32		
Mäkelänkatu 50, nykytilanne_2	29	60	60	19	45	45	13	31	31	29	63
Mäkelänkatu 50, bulevardi_1	31	80	80	21	49	49	14	34	34		
Mäkelänkatu 50, bulevardi_2	35	81	81	22	50	50	15	34	34		
Töölöntulli_1	31	63	61	20	47	47	14	33	33	33	
Töölöntulli_2	27	58	58	18	43	43	12	30	30		
Sörnäisten rantatie 27, nykytilanne_1	34	67	67	24	50	50	17	35	35	34	
Sörnäisten rantatie 27, nykytilanne_2	25	52	52	18	48	47	13	34	33		
Sörnäisten rantatie 27, tuleva tilanne_1	37	77	77	24	51	51	17	36	36		
Sörnäisten rantatie 27, tuleva tilanne_2	36	80	80	24	53	53	16	37	37		
Lönnrotinkatu 20_1	25	63	61	17	44	42	12	31	30		
Lönnrotinkatu 20_2	26	65	65	18	44	44	12	31	31		



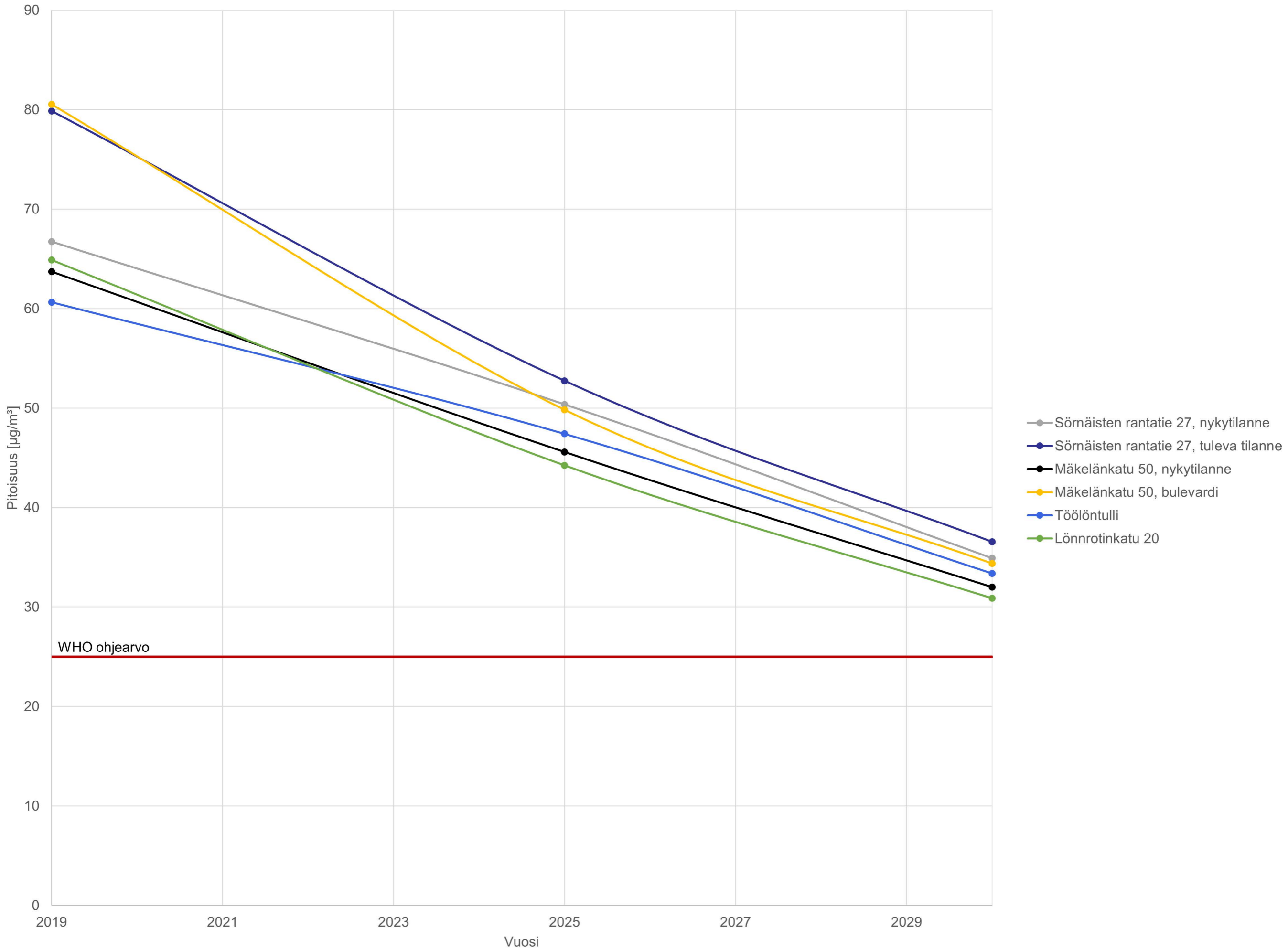
NO2 vuosikeskiarvo [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] katukuilumaisissa kohteissa

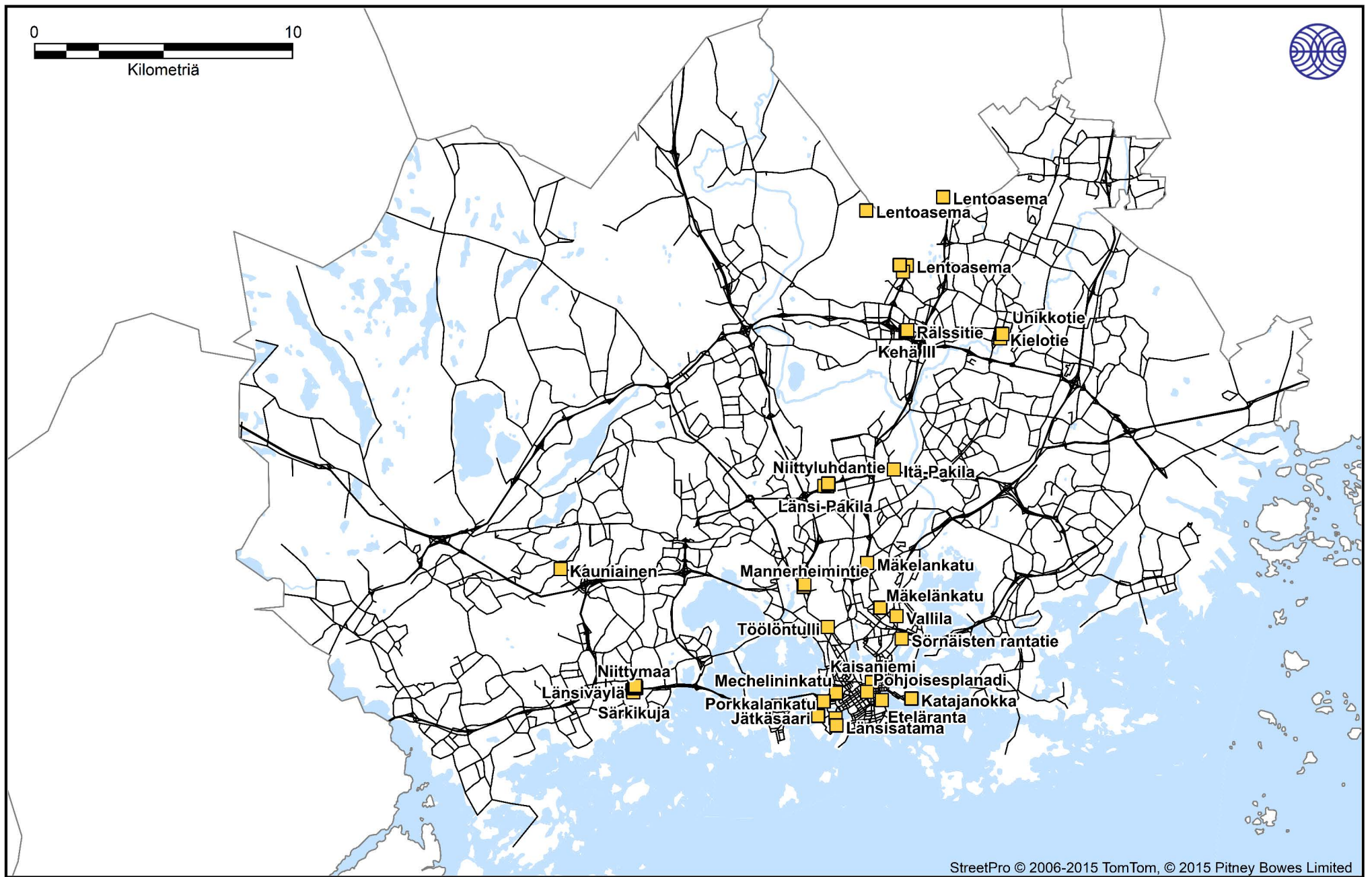


NO2 vuorokausiohjearvo [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] katukuilumaisissa kohteissa



NO2 WHO vuorokausiohjearvo [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] katukuilumaisissa kohteissa

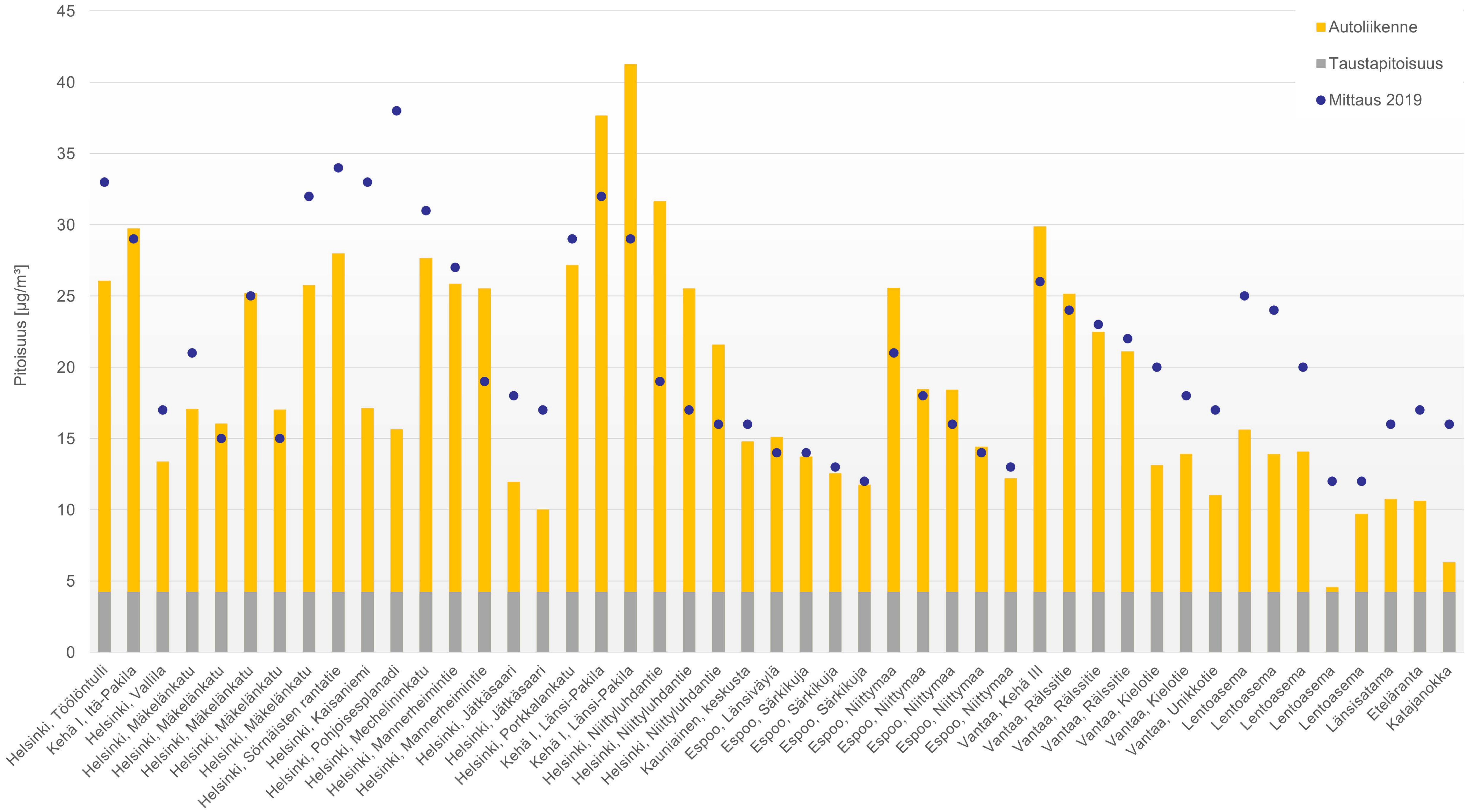


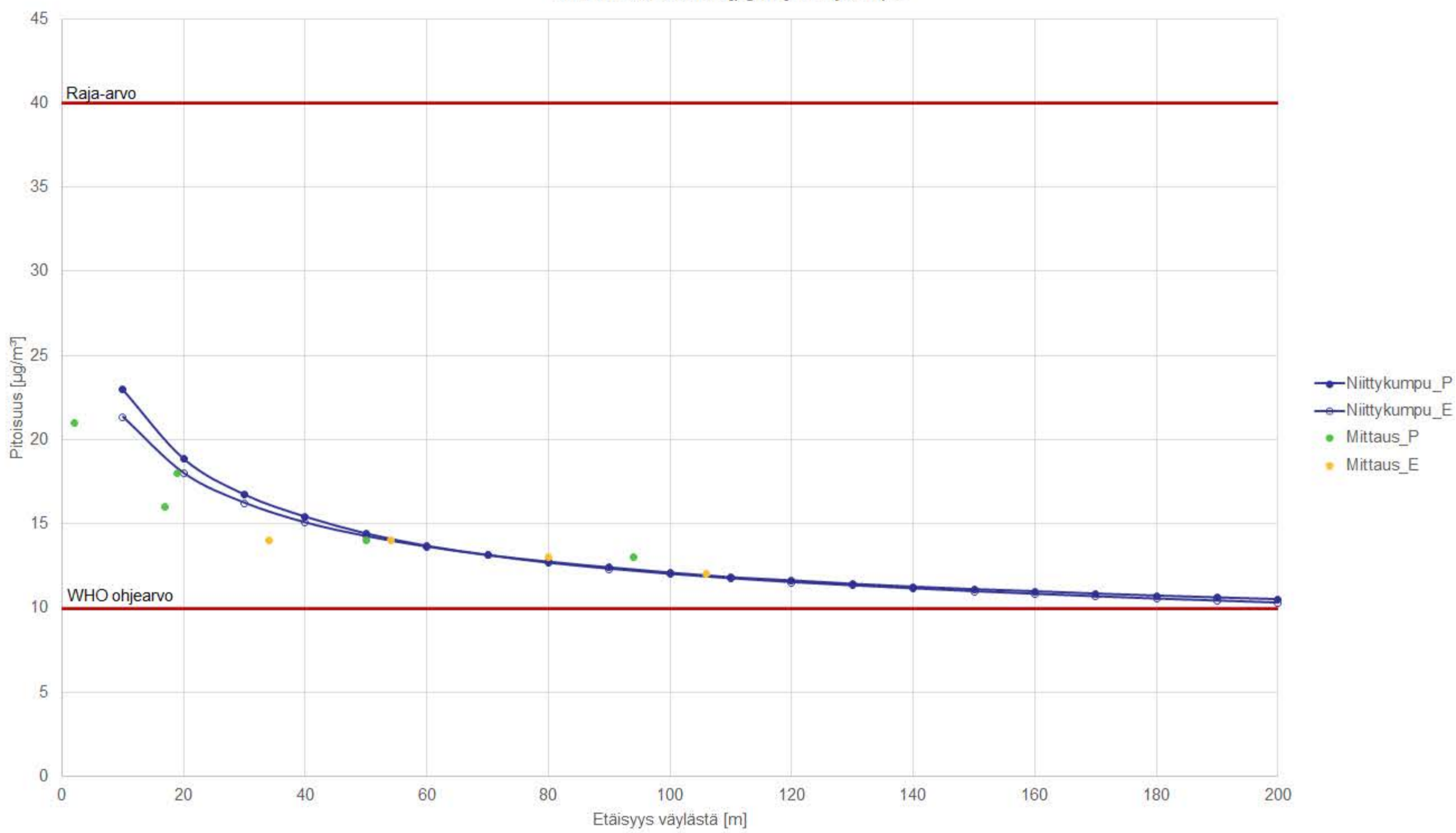
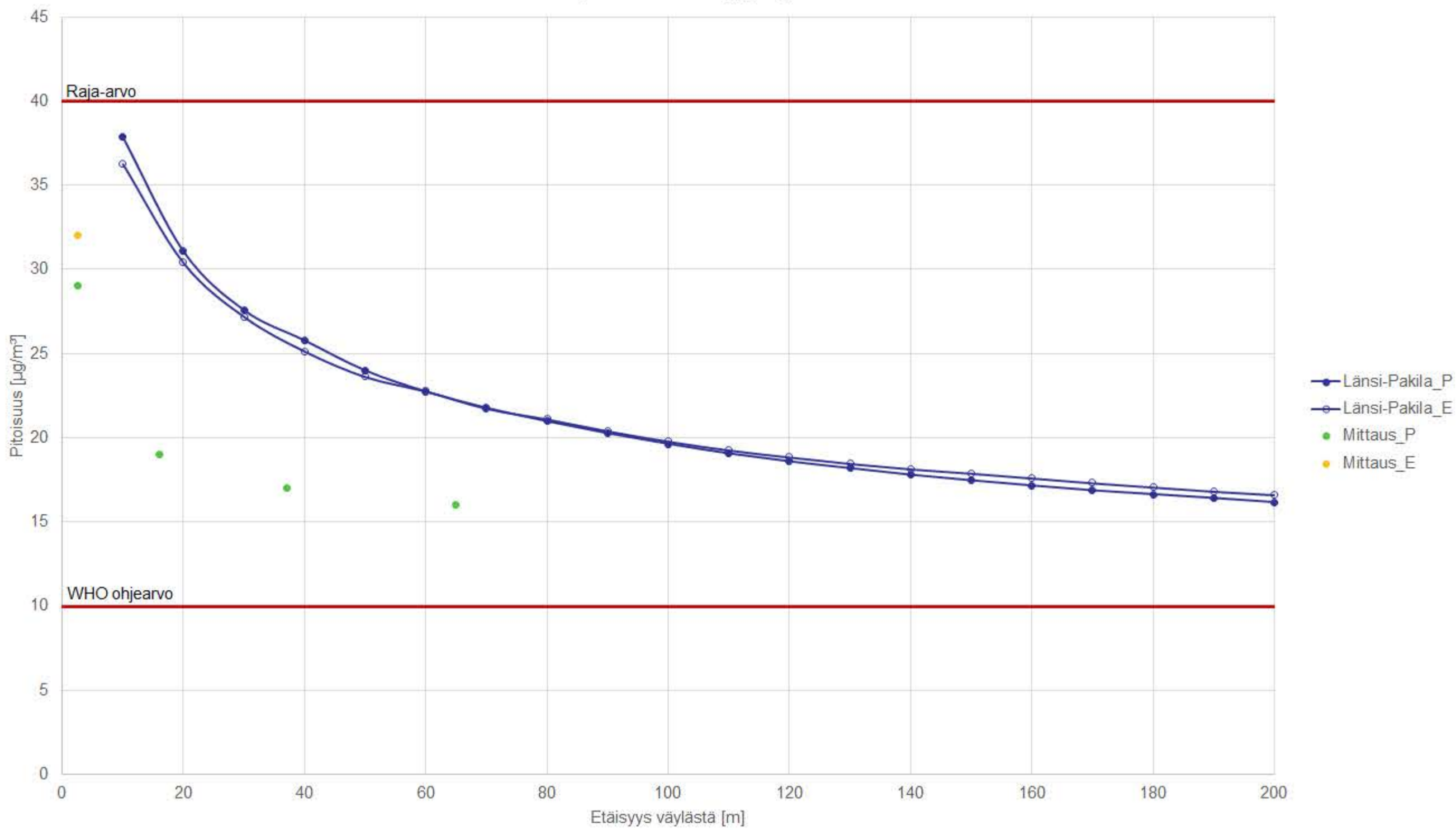
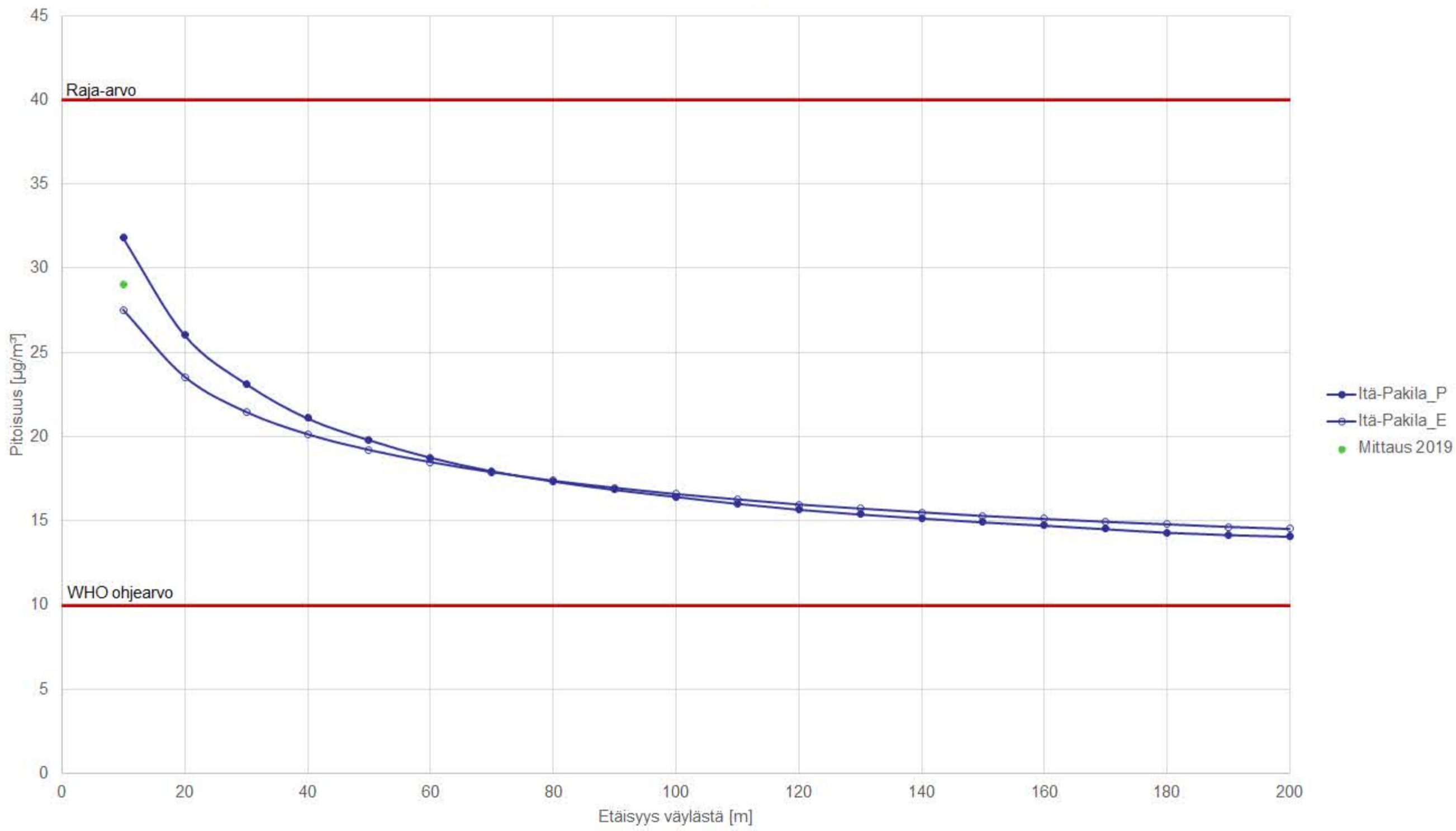


Ilmatieteen laitos, 2022

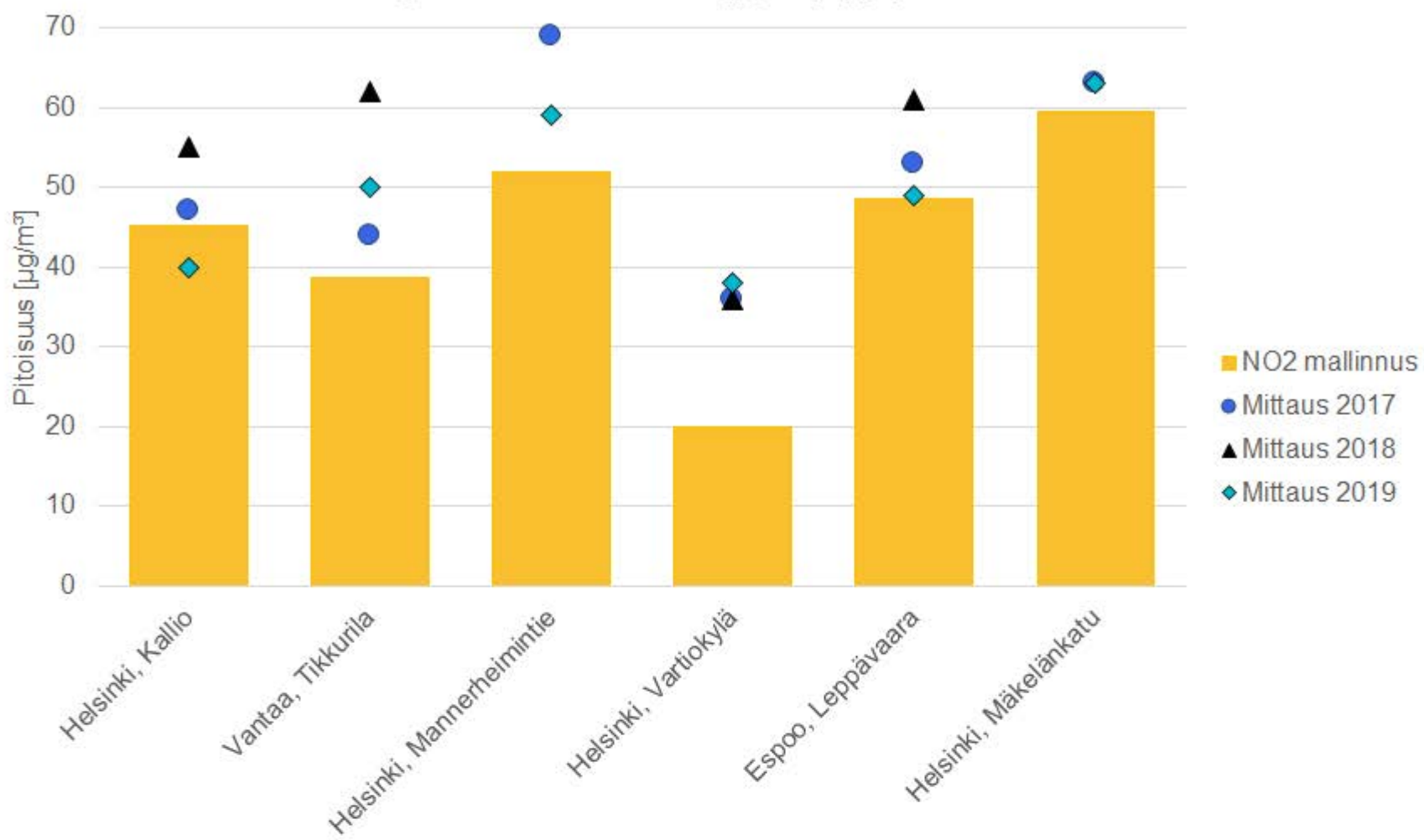
Kuva 27. HSY:n passiivikeräinasemat vuonna 2019.

Malli-mittausvertailu, NO2 vuosikeskiarvo [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]

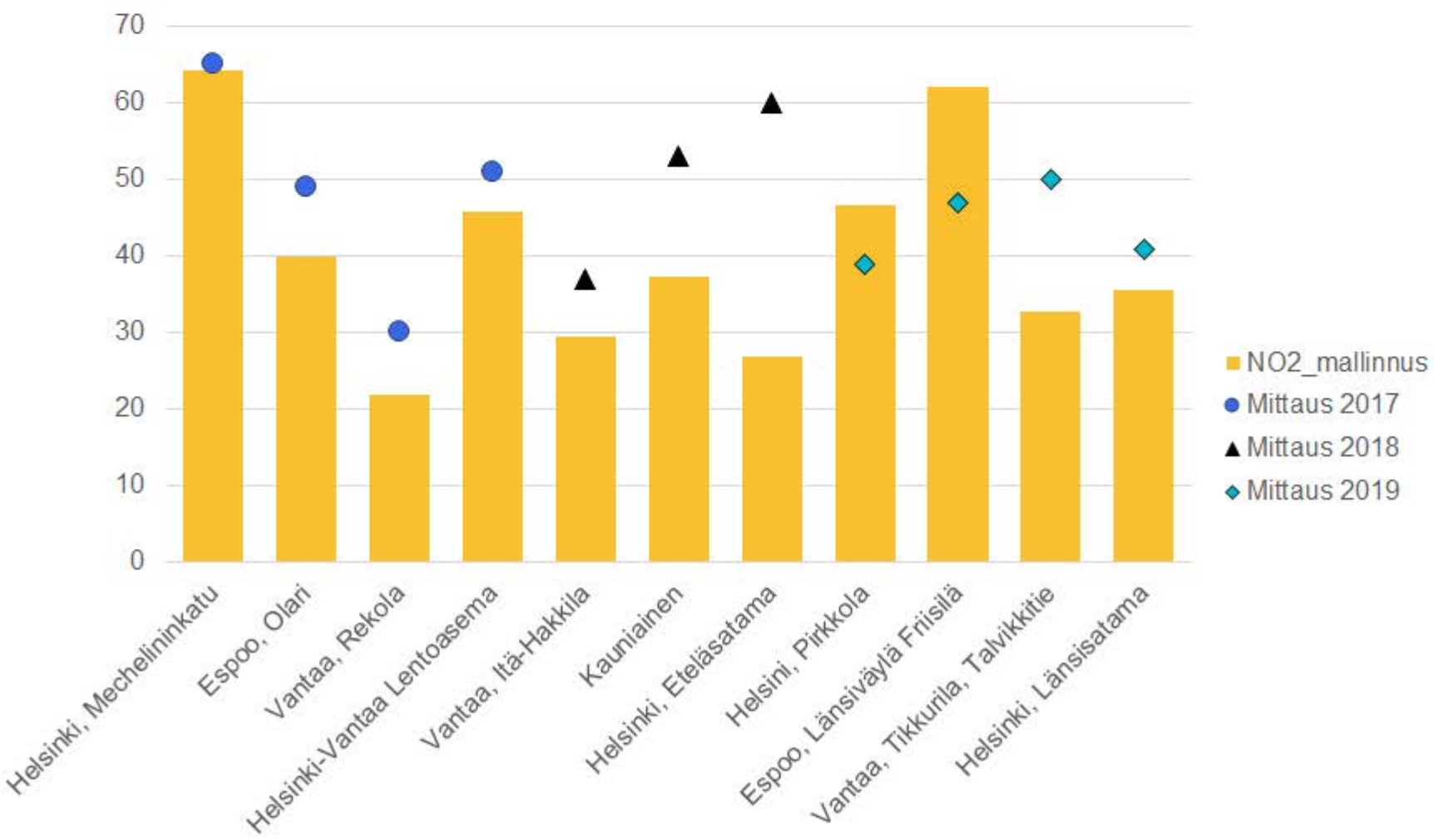


NO<sub>2</sub> vuosikeskiarvo [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ], NiittykumpuNO<sub>2</sub> vuosikeskiarvo [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ], Länsi-PakilaNO<sub>2</sub> vuosikeskiarvo [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ], Itä-Pakila

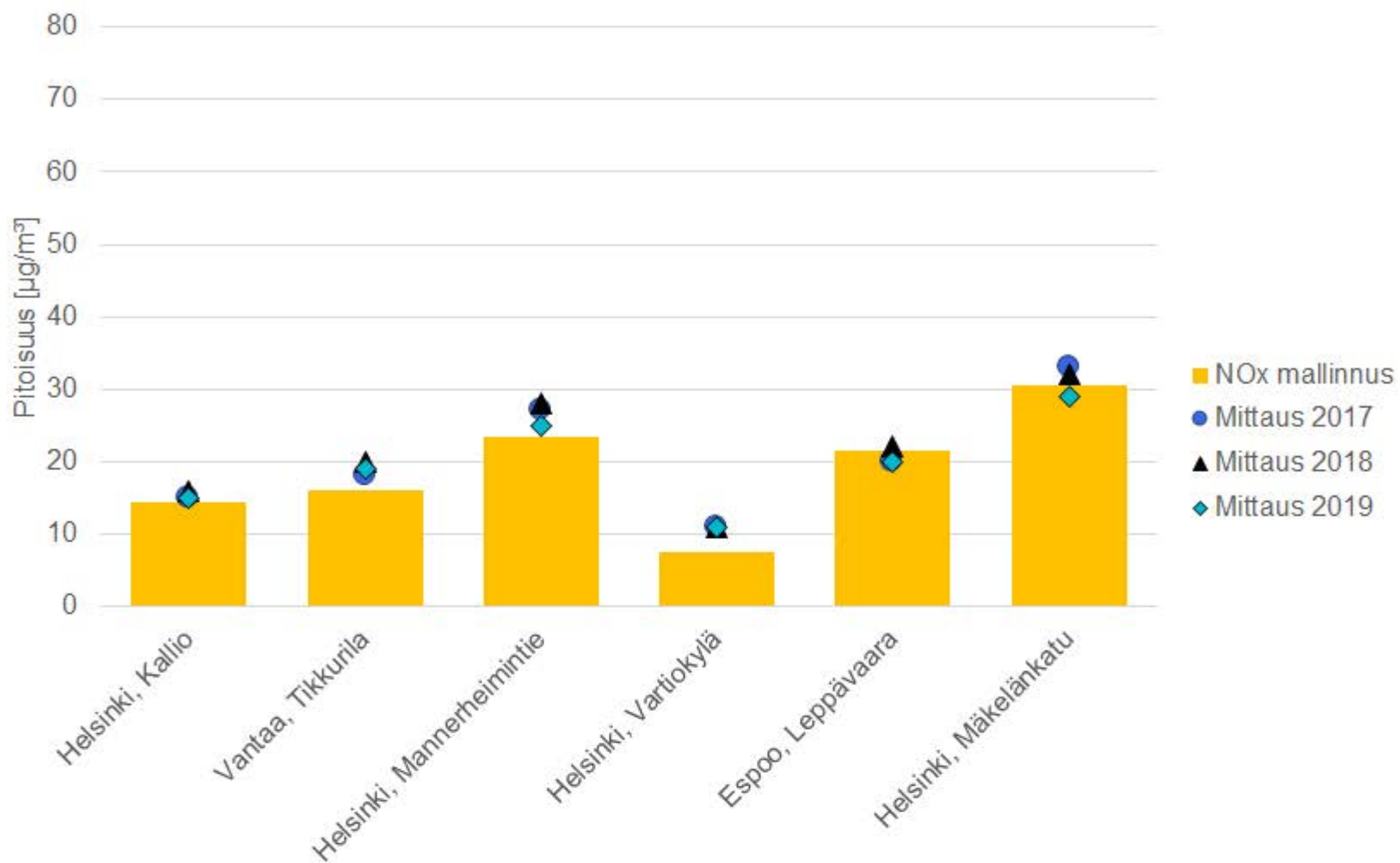
NO<sub>2</sub> vuorokausikeskiarvo [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ], pysyvät asemat



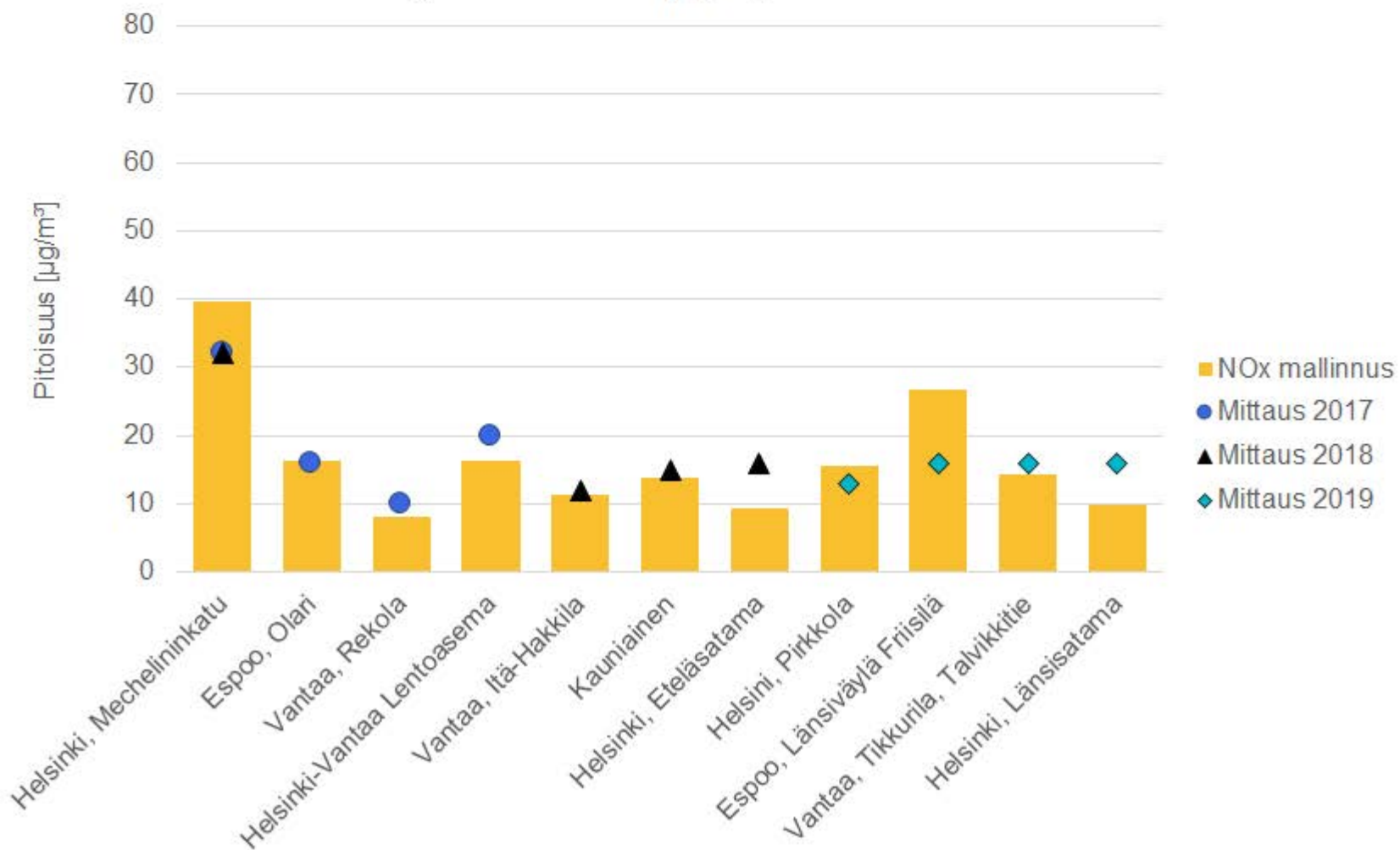
NO<sub>2</sub> vuorokausikeskiarvo [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ], siirrettävät asemat



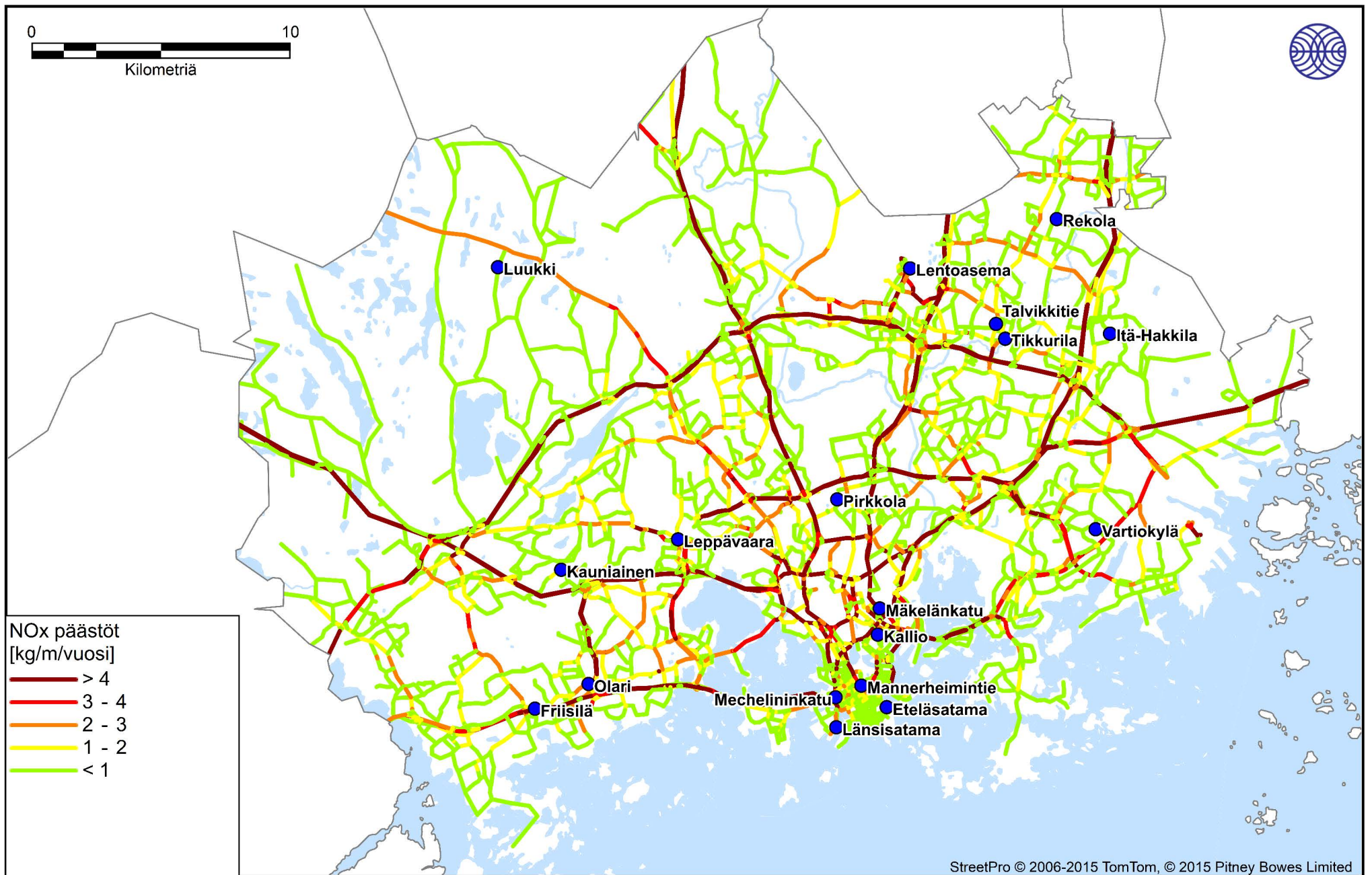
NO<sub>x</sub> vuosikeskiarvo [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ], pysyvät asemat



NO<sub>x</sub> vuosikeskiarvo [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ], siirrettävät asemat

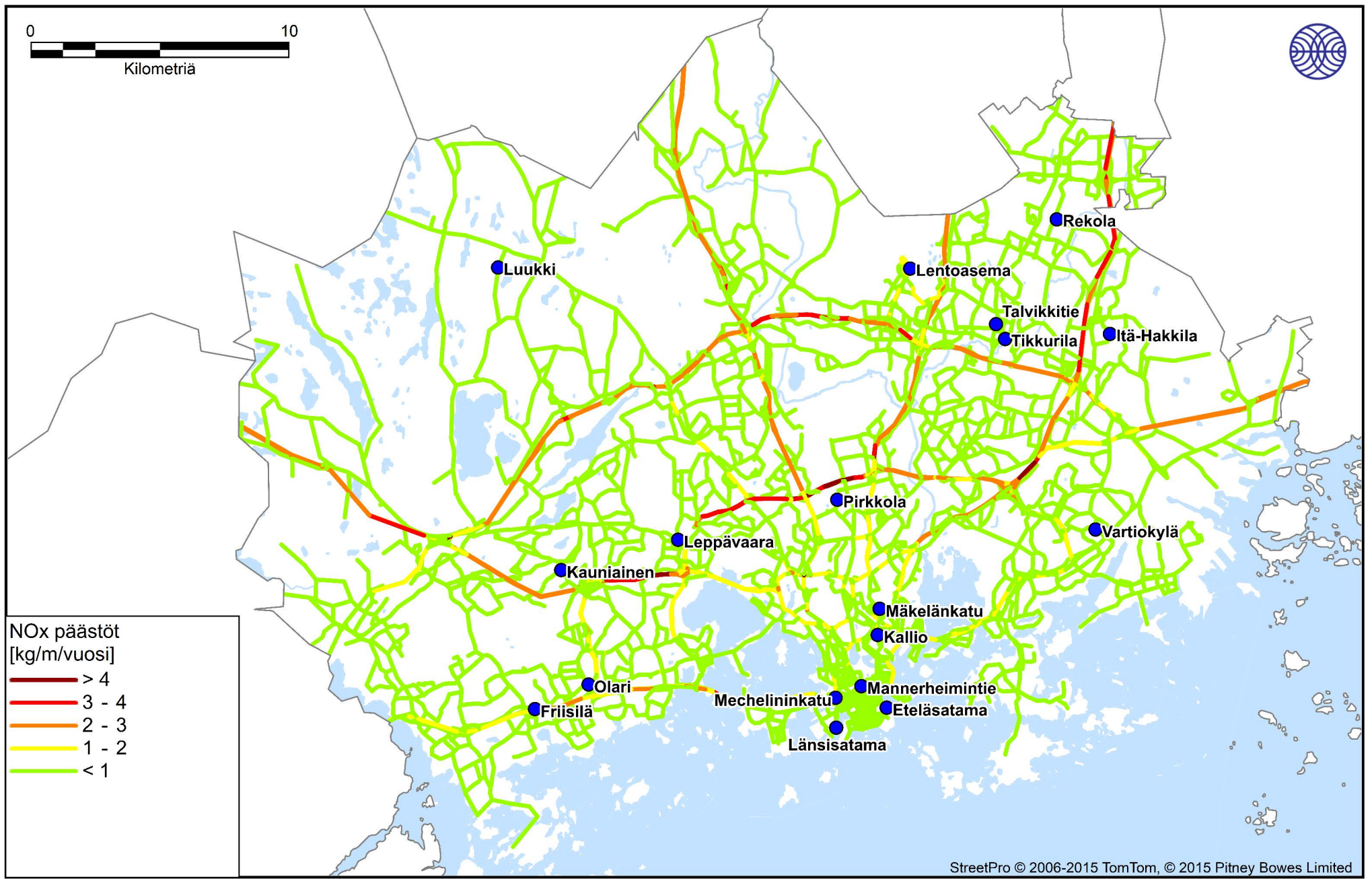






Ilmatieteen laitos, 2022

Kuva 32. Autoliikenteen tyyppien oksidipäästöt (kg/m/vuosi) vuonna 2019.



Ilmatieteen laitos, 2022

Kuva 33. Autoliikenteen typen oksidipäästöt (kg/m/vuosi) vuonna 2030.



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**

