ILMATIETEEN LAITOS

ILMANLAATU JA ENERGIA
2020

# KUOPION JA SIILINJÄRVEN ILMANLAATUSELVITYS

## Autoliikenteen, kiinteistökohtaisen lämmityksen, energiantuotannon ja teollisuuden vuosien 2017 ja 2035 typenoksidi- ja hiukkaspäästöjen leviämismallinnus

# KUOPION JA SIILINJÄRVEN ILMANLAATUSELVITYS

## Autoliikenteen, kiinteistökohtaisen lämmityksen, energiantuotannon ja teollisuuden vuosien 2017 ja 2035 typenoksidi- ja hiukkaspäästöjen leviämismallinnus

**Birgitta Komppula**
**Timo Rasila**
**Jatta Salmi**
**Emmi Laukkanen**
**Jenni Latikka**
**Hanna Hannuniemi**
**Katja Lovén**

**Ilmatieteen laitos**
**Asiantuntijapalvelut – Ilmanlaatu ja energia**
**Helsinki 20.5.2020**

## SISÄLLYSLUETTELO


**TIIVISTELMÄ ..... 5**

**OSA I ..... 7**

1 JOHDANTO ..... 7
2 LEVIÄMISMALLILASKELMIEN TULOKSET ..... 8
2.1 Typpidioksidi- ($NO_2$) ja typenoksidipitoisuudet ($NO_x$) ..... 8
2.1.1 Kaikki päästölähteet ..... 9
2.1.2 Autoliikenne ..... 15
2.1.3 Kiinteistökohtainen lämmitys ..... 17
2.1.4 Energiantuotanto ja teollisuus ..... 19
2.2 Pienhiukkaspitoisuudet ($PM_{2,5}$) ..... 21
2.2.1 Kaikki päästölähteet ..... 22
2.2.2 Autoliikenne ..... 26
2.2.3 Kiinteistökohtainen lämmitys ..... 28
2.2.4 Energiantuotanto ja teollisuus ..... 30
2.3 Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet ($PM_{10}$) ..... 32
2.3.1 Kaikki päästölähteet ..... 33
2.3.2 Autoliikenne ..... 39
2.3.3 Kiinteistökohtainen lämmitys ..... 41
2.3.4 Energiantuotanto ja teollisuus ..... 43
2.4 Mallilaskelmien tulosten vertailu ilmanlaadun mittaustuloksiin ..... 44
2.5 Eri päästölähteiden vaikutus ilmanlaatuun ..... 52
2.6 Asukkaiden altistuminen ilman epäpuhtauksille ..... 57
3 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET ..... 61

**OSA II ..... 64**

4 TAUSTATIETOA ILMANLAADUSTA ..... 64
4.1 Ilmanlaatuun vaikuttavat tekijät ..... 64
4.2 Typpidioksidi ..... 64
4.3 Hiukkaset ..... 65
4.4 Ilman epäpuhtauksien terveysvaikutukset ..... 67
4.5 Ulkoilmanlaadun raja- ja ohjearvot ..... 67
5 LEVIÄMISMALLILASKELMIEN LÄHTÖTIEDOT ..... 69
5.1 Autoliikenteen päästöt ..... 70
5.2 Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöt ..... 75
5.3 Energiantuotannon ja teollisuuden päästöt ..... 78
5.4 Meteorologiset tiedot ..... 81

5.5 Taustapitoisuudet ..... 82
5.6 Laskentapisteikkö ..... 83
6 LEVIÄMISMALLILASKELMISSA KÄYTETYT MENETELMÄT ..... 84
6.1 Pitoisuuslaskenta päästöjen leviämismallilla ..... 84
6.2 Piste- ja pintapäästölähteiden leviämismalli (UDM-FMI) ..... 84
6.3 Liikenteen päästöjen viivalähdemalli (CAR-FMI) ..... 85
6.1 Liikenteen suspensiopäästömalli katupölyn mallintamiseen ..... 86
6.2 Typenoksidipäästöjen ilmakemiamalli ..... 87
6.3 Meteorologisten tietojen käsittelymalli (MPP-FMI) ..... 88

**VIITELUETTELO ..... 89**

**LIITTEET ..... 91**
Liitekuvaluettelo ..... 92

**LIITEKUVAT ..... 95**

# TIIVISTELMÄ

Ilmanlaatuselvityksessä arvioitiin Kuopion ja Siilinjärven autoliikenteen, energiantuotannon, teollisuuden ja kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen ilmanlaatuvaikutuksia. Leviämismallilaskelmien avulla tarkasteltiin ulkoilman typpidioksidin, typen oksidien, pienhiukkasten ja hengitettävien hiukkasten pitoisuuksia sekä niiden alueellista jakautumista. Mallinnustulosten perusteella arvioitiin myös eri päästölähteiden vaikutusta ilmanlaatuun ja asukkaiden altistumista eri ilman epäpuhtauksien pitoisuustasoille.

Päästöjen leviämismallilaskelmissa käytettiin Ilmatieteen laitoksella kehitettyjä leviämismalleja: piste- ja pintapäästölähteiden leviämismallia (UDM-FMI), liikennepäästöjen viivalähdemallia (CAR-FMI) ja katujen pölyämistä kuvaavaa suspensiopäästömallia. Pitoisuudet laskettiin Kuopion ja Siilinjärven taajama-alueet kattavalle 25 × 50 km kokoiselle alueelle. Lisäksi tarkasteltiin Kuopion kuntaan kuuluvan Nilsiän ja Tahkon matkailukeskuksen alueen ilmanlaatua 30 × 30 km kokoisella alueella. Mallilaskelmat tehtiin nykytilannetta edustavalle vuodelle 2017 ja vuoden 2035 ennustetilanteelle käyttäen alueen ilmastollisia olosuhteita edustavaa vuosien 2016–2018 meteorologista aineistoa.

Leviämismallin lähtötietoina käytetyt päästötiedot sisältävät suurimman osan Kuopiossa ja Siilinjärvellä syntyvistä typen oksidien ja hiukkasten kokonaispäästöistä. Mallilaskelmissa olivat taustapitoisuuksien lisäksi mukana autoliikenteen pakokaasu- ja katupölypäästöt, energiantuotannon ja teollisuuden päästöt sekä kiinteistökohtaisen puu- ja öljylämmityksen päästöt. Autoliikenteen pakokaasupäästöt laskettiin käyttäen Euroopan ympäristöviraston määrittämiä nopeudesta ja ajoneuvojen EURO-päästöluokista riippuvia ajoneuvotyyppikohtaisia päästökertoimia. Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöt pohjautuvat Suomen ympäristökeskuksen alueelliseen päästöskenaariomallin (FRES-malli). Energiantuotannon ja teollisuuden lähtötiedot kerättiin suoraan toiminnanharjoittajilta.

Tutkimuksen tuloksina saatuja pitoisuuksia verrattiin ilmanlaadun raja- ja ohjearvoihin. Mallilaskelmien tulosten mukaan typpidioksidin kokonaispitoisuudet voivat ylittää nykyisin ja ennustetilanteessa niukasti ohjearvot vilkkaimmilla risteysalueilla. Typpidioksidipitoisuuden raja-arvot alittuvat koko tarkastelualueella. Autoliikenteen päästöillä on merkittävin vaikutus typen oksidien ja typpidioksidin pitoisuustasoihin.

Pienhiukkasten vuosikeskiarvopitoisuudet alittavat Kuopion ja Siilinjärven alueella raja-arvon ja WHO:n ohjearvon. Mallilaskelmien tulosten mukaan myös altistumisen vähennystavoite pienhiukkasille alittuu koko tarkastelualueella. Suurin vaikutus pienhiukkaspitoisuustasoihin on taustapitoisuudella, mistä merkittävä osa koostuu kaukokulkeutuneista pienhiukkasista. Paikallisesti kiinteistökohtaisella puulämmityksellä voi olla suurempi vaikutus pienhiukkasten pitoisuustasoihin kuin liikenteen päästöillä.

Hengitettävien hiukkasten vuosikeskiarvopitoisuudet alittavat Kuopiossa ja Siilinjärvellä raja-arvon selvästi. Vuorokausipitoisuudet ylittävät hengitettävien hiukkasten pitoisuudelle annetun ohjearvon ja niukasti myös raja-arvon. Mallitulosten mukaan hengitettävien hiukkasten pitoisuudet ovat ennustetilanteessa nykytilannetta suurempia. Huomattavin vaikutus hengitettävien hiukkasten pitoisuuksiin on liikenteen nostattamalla katupölyllä.

Asukkaiden altistumista arvioitiin selvittämällä eri ilman epäpuhtauksien pitoisuustasoille altistuvien asukkaiden määrät. Korkeimmille ilman epäpuhtauksien pitoisuuksille

asukkaat altistuvat valtatie 5:n varrella sijaitsevilla asuinalueilla. Korkeimmille typpidioksidi- ja pienhiukkaspitoisuuksille altistuminen vähenee nykyisillä asuinalueilla tulevassa tilanteessa liikenteen pakokaasupäästöjen ja pienpolton hiukkaspäästöjen pienentyessä ennusteiden mukaan. Valtatie 5:n varrelle ollaan kuitenkin suunnittelemassa myös uusia asuinalueita. Hengitettävien hiukkasten pitoisuuksille altistuminen lisääntyy tulevassa tilanteessa liikennemäärien kasvun ja siitä johtuvan katupölyn lisääntymisen vuoksi. Katujen pölyämiseen voidaan kuitenkin vaikuttaa tehokkaasti katujen kunnossapidolla sekä oikea-aikaisella hiekanpoistolla ja pölynsidonnalla.

Leviämismallilaskelmien tuloksia verrattiin Kuopion ja Siilinjärven ilmanlaadun mittausasemien vuosien 2016–2018 mittaustuloksiin. Vertailun perusteella mallilaskelmat täyttävät mallintamisen epävarmuudelle asetetut laatutavoitteet hyvin typpidioksidille, pienhiukkasille ja hengitettäville hiukkasille. Mallitulokset edustavat siten hyvin tarkastelualueen alueellista ilmanlaatua.

Mallilaskelmien tulosten perusteella voidaan arvioida, että ilmanlaatu Kuopion ja Siilinjärven alueilla on pääsääntöisesti hyvää. Alueen ilmanlaatuun vaikuttavat merkittävimmin autoliikenteen typenoksidi- ja pienhiukkaspäästöt, katupöly, kotitalouksien pienpoltto sekä pienhiukkasten kaukokulkeuma. Energiantuotantolaitosten ja teollisuuden päästöjen vaikutus ilmanlaatuun on pieni, sillä päästöt vapautuvat pääsääntöisesti korkeista piipuista, jolloin ne leviävät ja laimenevat tehokkaasti eivätkä heikennä ilmanlaatua hengityskorkeudella.

Kuopion Savilahden rantaa ruska-aikaan (Kuva Birgitta Komppula).

# OSA I

## 1 JOHDANTO

Ilmanlaatuselvityksen tarkoituksena oli hankkia leviämismallilaskelmien avulla tietoa Kuopion ja Siilinjärven ilmanlaadusta, sen alueellisesta vaihtelusta ja eri päästölähteiden vaikutuksesta ilmanlaatuun. Työssä selvitettiin myös ilman epäpuhtauksien eri pitoisuustasoille altistuvien asukkaiden määrät. Selvityksessä arvioitiin autoliikenteen, energiantuotannon, teollisuuden ja kiinteistökohtaisen lämmityksen ilmanlaatuvaikutuksia Kuopion ja Siilinjärven taajama-alueilla sekä Nilsiän ja Tahkon alueilla. Edellinen koko Kuopion ja Siilinjärven alueen kattava ilmanlaatumallinnus on tehty vuosina 2007–2008 (*Rasila ym,. 2007; Rasila ym., 2008*). Kuopion ilmanlaatua on mallinnettu myös vuosina 2013, 2017 ja 2018 (*Komppula, ym., 2013; Rasila, ym., 2017; Rasila, ym., 2018*).

Ilmanlaatuvaikutuksia arvioitiin laskennallisesti leviämismallien avulla vuosien 2017 ja 2035 päästöjä kuvaavissa tilanteissa. Mallinnuksessa käytettiin Ilmatieteen laitoksella kehitettyjä päästöjen leviämismalleja: piste- ja pintapäästölähteiden leviämismallia (UDM-FMI), liikennepäästöjen viivalähdemallia (CAR-FMI) ja katupölypäästöjen suspensiopäästömallia. Leviämismallilaskelmien avulla tarkasteltiin Kuopion ja Siilinjärven typpidioksidin, typen oksidien, pienhiukkasten ja hengitettävien hiukkasten pitoisuuksia ja niiden alueellista jakautumista. Tutkimuksen tuloksena saatuja pitoisuuksia verrattiin ilmanlaadun raja- ja ohjearvoihin sekä ilmanlaadun mittausten tuloksiin.

Raportin rakenne on kaksiosainen. Ensimmäisessä osassa esitetään leviämismallinnuksen keskeisimmät tulokset ja johtopäätökset. Raportin toisessa osassa on kerrottu taustatietoa ilmanlaadusta sekä kuvattu lähtötiedot ja käytetyt menetelmät.

Ilmanlaatuselvityksen tilasivat Kuopion kaupunki ja Siilinjärven kunta. Alueen merkittävimmät toiminnanharjoittajat Kuopion Energia Oy, Savon Voima Oyj, Mondi Powerflute Oy, Yara Suomi Oy ja YIT Teollisuus Oy osallistuivat kustannuksiin päästöjensä suhteessa. Päästöjen leviämismallilaskelmat, tulosten tarkastelu ja raportointi tehtiin Ilmatieteen laitoksen Asiantuntijapalvelut -yksikössä.

# 2 LEVIÄMISMALLILASKELMIEN TULOKSET

Leviämismallilaskelmien avulla on mahdollista tarkastella laajojen, kokonaisten kaupunkialueiden 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 päästöt ja taustapitoisuus. Mallilaskelmissa käytettyjen lähtötietojen oikeellisuutta ja mallitulosten edustavuutta on arvioitu vertaamalla mallilaskelmin saatuja tuloksia ilmanlaadun mittaustuloksiin. Tässä työssä pitoisuuksien muodostumista on arvioitu Kuopion ja Siilinjärven taajama-alueet kattavalle alueelle (25 × 50 km) sekä Nilsiän ja Tahkon alueelle (30 × 30 km). Laajalle alueelle tehdyn leviämismallinnuksen tuloksia voidaan käyttää alueellisten ilmanlaatuvaikutusten arvioinnissa.

Leviämismallilaskelmien tuloksina saadut typpidioksidin, typen oksidien, pienhiukkasten ja hengitettävien hiukkasten pitoisuudet on esitetty raportissa havainnollisina karttakuvina, joissa ilman epäpuhtauksia verrataan ilmanlaatulainsäädännössä annettuihin raja- ja ohjearvoihin ja WHO:n ohjearvoihin. Karttakuvissa esitetyt pitoisuusjakaumat kuvaavat pitoisuustasoa hengityskorkeudella. Liitekuvissa on esitetty koko tarkastelualueen kattavat tuloskartat vuosilta 2017 ja 2035 ja raportin sisällä on esitetty lähikuvia Kuopion ja Siilinjärven keskustojen alueesta nykytilanteessa vuonna 2017.

Karttakuvissa on esitetty alueet, joilla tietyn pitoisuuden ylittyminen on pitkän havaintojakson aikana todennäköistä. Kartoissa esitetyt pitoisuuksien aluejakaumat eivät edusta koko tutkimusalueella yhtäaikaa 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 epäpuhtaus-pitoisuustasoa parhaiten. Karttakuvissa esitetyt vuosikeskiarvopitoisuudet kuvaavat kolmen vuoden tarkastelujakson (vuodet 2016–2018) korkeinta vuosikeskiarvoa kussakin laskentapisteessä. Hetkelliset pitoisuudet voivat nousta vuosikeskiarvo-pitoisuuksia 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 (vuodet 2016–2018) korkeinta vuorokausiohjearvoon verrannollista pitoisuutta kussakin laskentapisteessä.

## 2.1 Typpidioksidi- ($NO_2$) ja typenoksidipitoisuudet ($NO_x$)

Korkeimmat typpidioksidipitoisuudet esiintyvät Kuopion ja Siilinjärven halkaiseman valtatie 5 varrella, Kuopion keskustassa ja sen sisääntuloväylien varsilla. Autoliikenteen päästöillä on merkittävin vaikutus typpidioksidin pitoisuustasoihin. Pitoisuudet pienenevät selvästi, kun etäisyys liikenneväylistä kasvaa. Korkeimmillaan typpidioksidipitoisuudet ovat ruuhka-aikaan ja erityisesti tyyninä ja kylminä talvipäivinä, jolloin ilman sekoittuminen on heikkoa.

### 2.1.1 Kaikki päästölähteet

Taulukoissa 1–2 on esitetty leviämismallilaskelmien tuloksena saadut korkeimmat typpidioksidin raja- ja ohjearvoihin verrannolliset pitoisuudet Kuopiossa ja Siilinjärvellä vuosina 2017 ja 2035. Korkeimmat pitoisuudet on esitetty päästölähteittäin ja kaikkien päästölähteiden yhteisvaikutuksena. Mallinnetut typpidioksidipitoisuudet alittavat ilmanlaadun raja-arvot Kuopiossa ja Siilinjärvellä. Typpidioksidipitoisuuden vuorokausiohjearvo ylittyy nykytilanteessa ja tulevassa tilanteessa. Typpidioksidin tuntiohjearvoon verrannolliset pitoisuudet ovat nykytilanteessa ohjearvon tasolla ja ylittyvät niukasti tulevassa tilanteessa. Pääasiassa typpidioksidipitoisuudet kuitenkin tulevat pienenemään tulevaisuudessa. Liikenteen päästöt vaikuttavat selvästi eniten mallinnettuihin typpidioksidipitoisuuksiin.

Taulukko 1. Korkeimmat mallinnetut typpidioksidipitoisuudet (µg/m³) Kuopiossa ja Siilinjärvellä vuonna 2017. Ohjearvon ylitykset on lihavoitu.

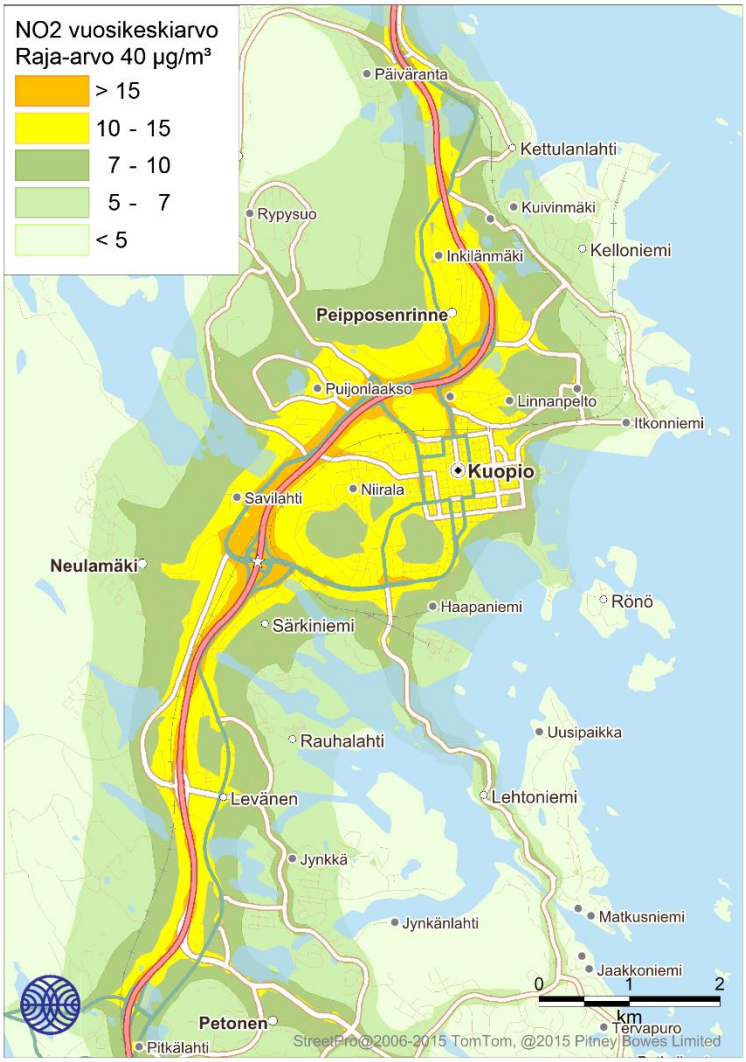
| $NO_2$ 2017 | Ohje- / raja-arvo | Liikenne | Kiinteistö-kohtainen lämmitys | Energian-tuotanto ja teolli-suus | Tausta-pitoi-suus | Kaikki yh-teensä |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Vuosikeskiarvo | 40 | 32 | 0,30 | 0,25 | 1,9 | 35 |
| Vuorokausiohjearvo | 70 | **73** | 2,9 | 3,3 | 3,2 | **77** |
| Tuntiraja-arvo | 200 | 141 | 9,4 | 7,4 | 3,1 | 144 |
| Tuntiohjearvo | 150 | 146 | 12 | 7,0 | 3,0 | 150 |

Taulukko 2. Korkeimmat mallinnetut typpidioksidipitoisuudet (µg/m³) Kuopiossa ja Siilinjärvellä vuonna 2035. Ohjearvon ylitykset on lihavoitu.

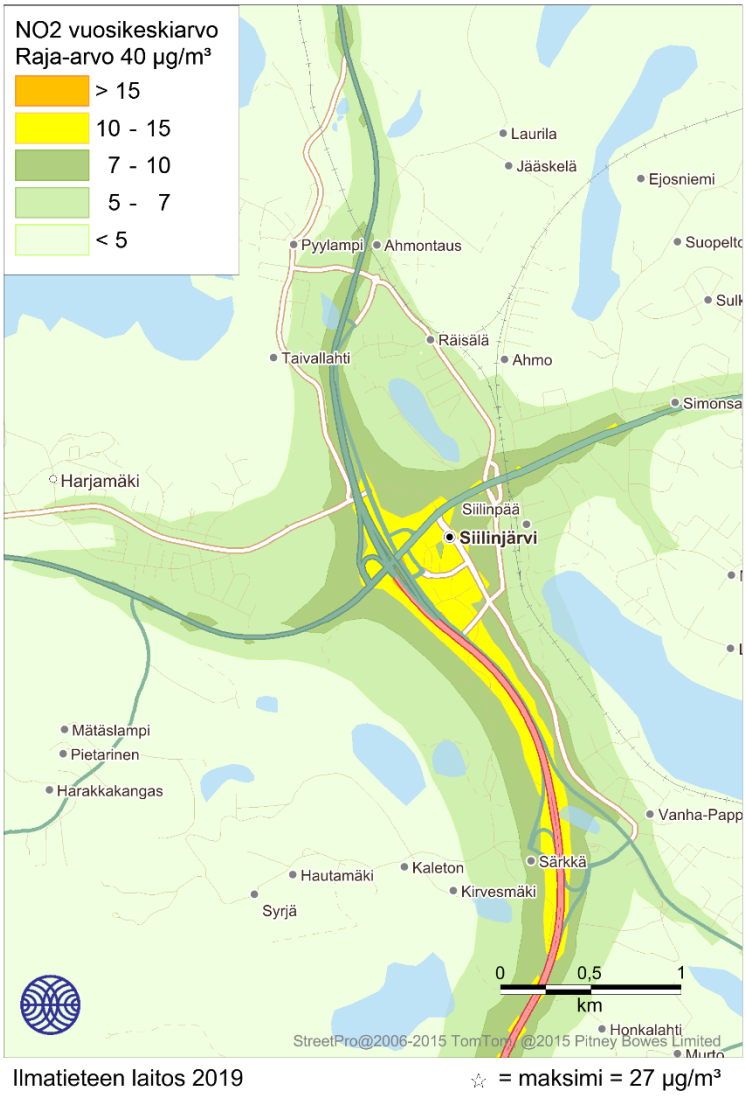
| $NO_2$ 2035 | Ohje- / raja-arvo | Liikenne | Kiinteistö-kohtainen lämmitys | Energian-tuotanto ja teolli-suus | Tausta-pitoi-suus | Kaikki yh-teensä |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Vuosikeskiarvo | 40 | 31 | 0,27 | 0,30 | 1,9 | 33 |
| Vuorokausiohjearvo | 70 | **71** | 2,7 | 3,3 | 3,2 | **75** |
| Tuntiraja-arvo | 200 | 134 | 8,2 | 7,9 | 2,4 | 140 |
| Tuntiohjearvo | 150 | 147 | 11 | 8,9 | 3,1 | **151** |

Kuopion ja Siilinjärven autoliikenteen, energiantuotannon, teollisuuden ja kiinteistökohtaisen lämmityksen vuoden 2017 päästöjen sekä alueellisen taustapitoisuuden yhdessä aiheuttamat korkeimmat typpidioksidin vuosikeskiarvopitoisuudet on esitetty kuvissa 1–2. Tulokset on esitetty laajemmalta alueelta liitekuvissa 17 ja 73. Typpidioksidipitoisuuksien vuosikeskiarvolle annettu raja-arvo (40 µg/m³) alittuu koko Kuopion ja Siilinjärven alueella. Typpidioksidipitoisuuden vuosikeskiarvo on Kuopion keskustan vilkkaimmin liikennöidyillä alueilla noin 10–

15 µg/m³. Asuinalueilla ja Siilinjärvellä pitoisuustaso on noin 5–10 µg/m³. Nilsiällä pitoisuustaso on noin 2–4 µg/m³ (liitekuva 61). Korkeimmillaan valtatiellä 5 ja sen risteysalueilla typpidioksidin vuosikeskiarvopitoisuus voi kohota tasolle 15–35 µg/m³, mutta raja-arvon ei katsota olevan voimassa kyseisillä alueilla. Ennustetilanteessa vuonna 2035 typpidioksidipitoisuudet tulevat kasvavista liikennemääristä huolimatta pääasiassa vähän pienenemään, sillä moottoritekniikan kehitys ja päästörajoitukset pienentävät tulevaisuudessa autoliikenteen pakokaasupäästöjä (liitekuvat 39 ja 95).

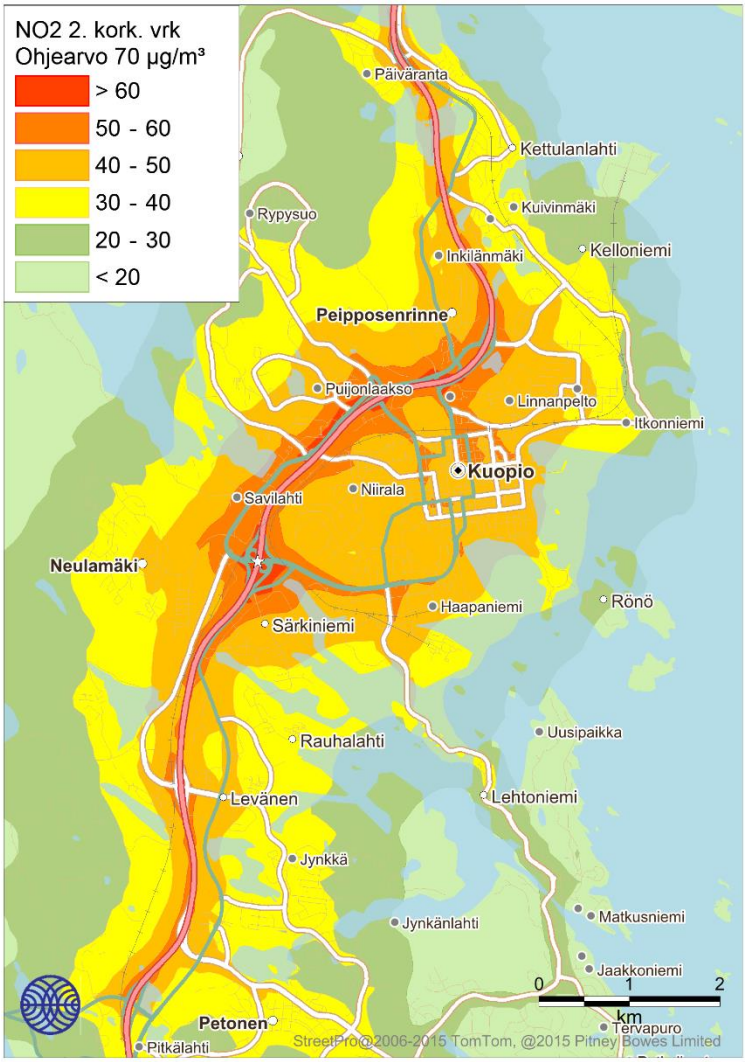



Kuva 1. Autoliikenteen, energiantuotannon, teollisuuden ja kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen sekä alueellisen taustapitoisuuden aiheuttama typpidioksidin ($NO_2$) korkein vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) Kuopiossa vuonna 2017.

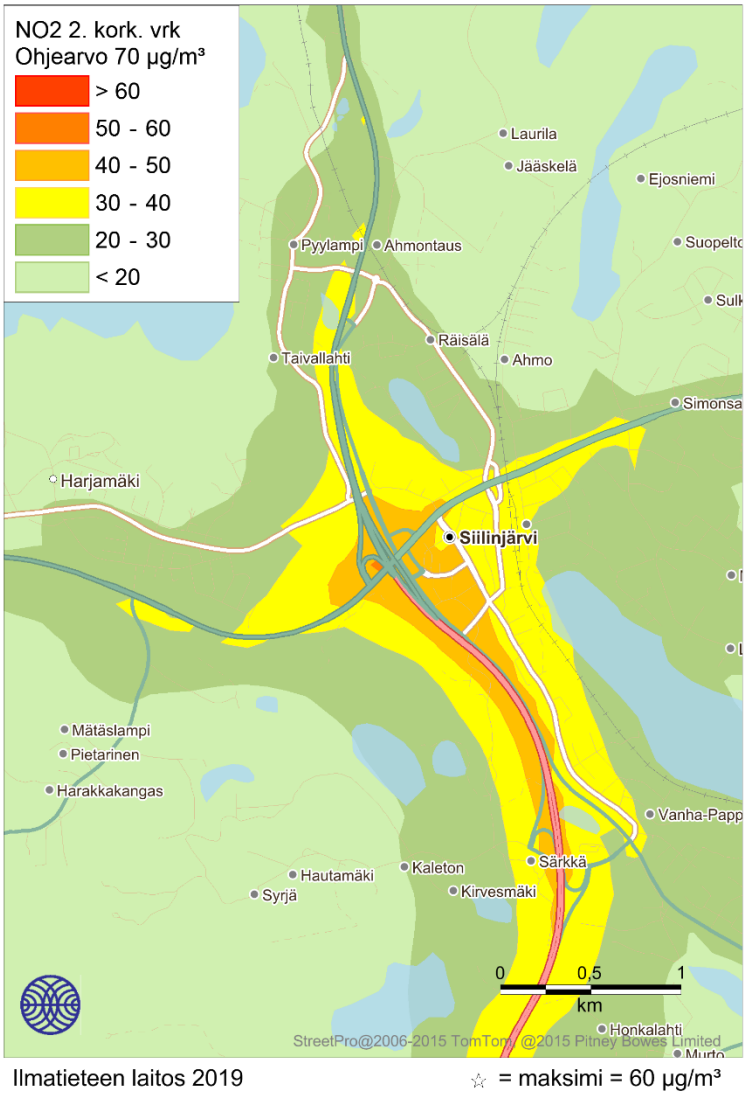



Kuva 2. Autoliikenteen, energiantuotannon, teollisuuden ja kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen sekä alueellisen taustapitoisuuden aiheuttama typpidioksidin ($NO_2$) korkein vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) Siilinjärvellä vuonna 2017. Maksimipitoisuus sijoittuu kartan ulkopuolelle Vuorelan liikenneympyrään.

Kuopion ja Siilinjärven vuoden 2017 kaikkien päästölähteiden ja alueellisen taustapitoisuuden yhdessä aiheuttamat korkeimmat typpidioksidin vuorokausiohjearvoon verrannolliset pitoisuudet on esitetty kuvissa 3–4. Tulokset on esitetty laajemmalta alueelta liitekuvissa 18 ja 74. Mallilaskelmien mukaan typpidioksidipitoisuudelle annettu vuorokausiohjearvo (70 µg/m³) voi ylittyä epäedullisissa meteorologisissa tilanteissa pienellä alueella valtatie 5:n ja Tasavallankatu/Savilahdentie risteysalueella. Liikenneväylien ulkopuolella ohjearvo alittuu. Kuopion keskustassa pitoisuustaso on noin 40–50 µg/m³ ja Siilinjärven keskustassa noin 30–50 µg/m³. Nilsiän keskustassa pitoisuustaso on noin 6–20 µg/m³ (liitekuva 62)




Kuva 3. Autoliikenteen, energiantuotannon, teollisuuden ja kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen sekä alueellisen taustapitoisuuden aiheuttama typpidioksidin vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³) Kuopiossa vuonna 2017.



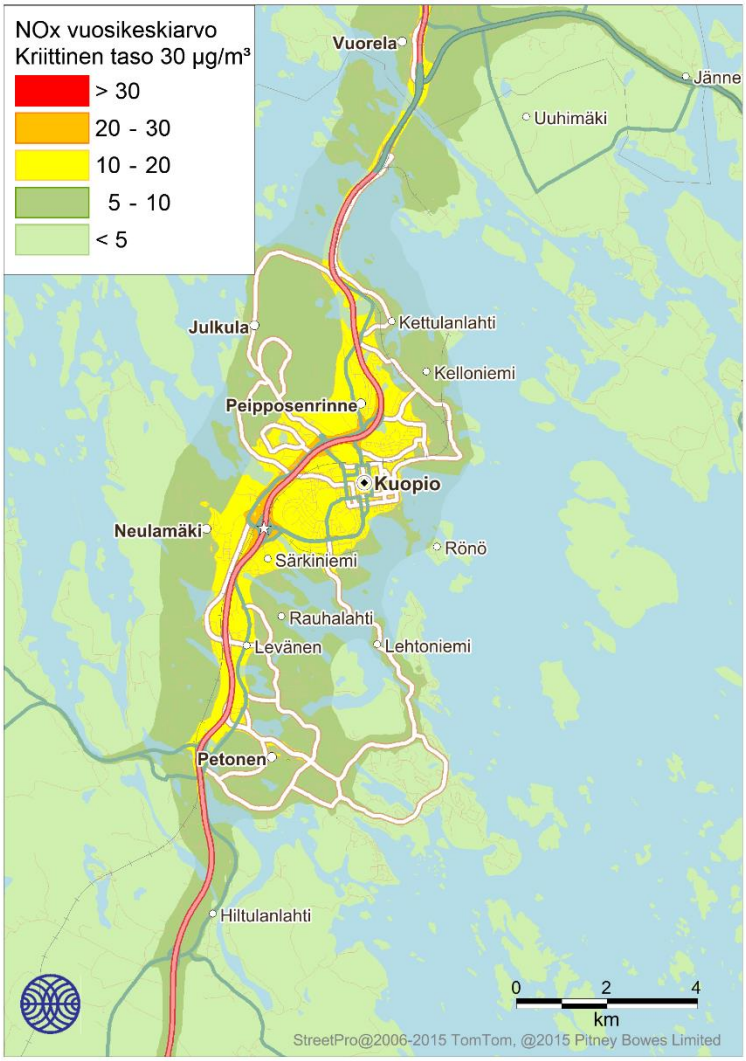

Kuva 4. Autoliikenteen, energiantuotannon, teollisuuden ja kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen sekä alueellisen taustapitoisuuden aiheuttama typpidioksidin vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³) Siilinjärvellä vuonna 2017. Maksimipitoisuus sijoittuu kartan ulkopuolelle Vuorelan liikenneympyrään.

Taulukossa 3 on esitetty leviämismallilaskelmien tuloksena saadut korkeimmat typen oksidien kriittiseen tasoon verrannolliset pitoisuudet Kuopiossa ja Siilinjärvellä vuosina 2017 ja 2035. Korkeimmat pitoisuudet on esitetty päästölähteittäin ja kaikkien päästölähteiden yhteisvaikutuksena. Typenoksidipitoisuuksille annettua kriittistä arvoa sovelletaan rakennetun ympäristön ulkopuolella olevilla tausta-alueilla.

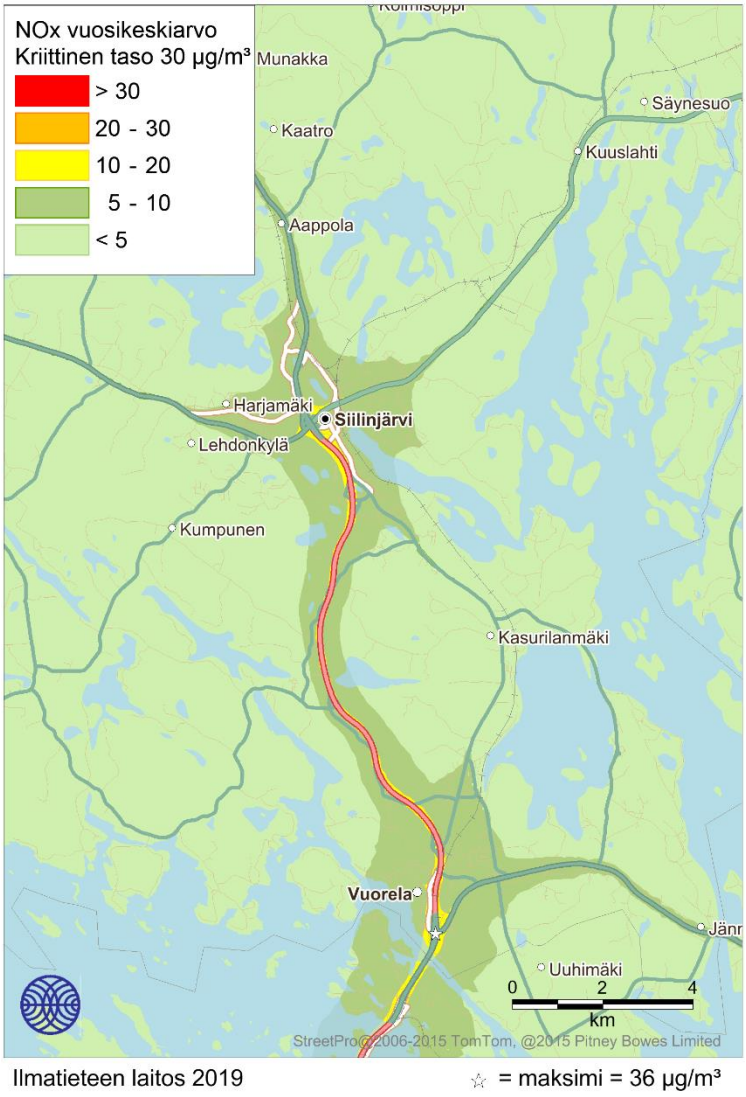
Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden aiheuttamat typen oksidien vuosikeskiarvopitoisuudet Kuopiossa ja Siilinjärvellä on esitetty kuvissa 5 ja 6. Typen oksidien pitoisuudet alittavat kriittisen tason (30 µg/m³) liikenneväylien ulkopuolella. Rakennetun ympäristön ulkopuolella typen oksidien vuosikeskiarvopitoisuudet ovat noin 2–5 µg/m³.

Taulukko 3. Korkeimmat mallinnetut typen oksidien vuosikeskiarvopitoisuudet (µg/m³) Kuopiossa ja Siilinjärvellä vuosina 2017 ja 2035. Kriittisen tason ylitykset on lihavoitu.

| $NO_x$ vuosikeskiarvo | Kriittinen taso | Liikenne | Kiinteistökohtainen lämmitys | Energiantuotanto ja teollisuus | Taustapitoisuus | Kaikki yhteensä |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2017 | 30 | **49** | 2,2 | 1,9 | 2,0 | **53** |
| 2035 | 30 | **47** | 1,8 | 2,3 | 2,0 | **50** |




Kuva 5. Autoliikenteen, energiantuotannon, teollisuuden ja kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen sekä alueellisen taustapitoisuuden aiheuttama typen oksidien ($NO_x$) korkein vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) Kuopiossa vuonna 2017.



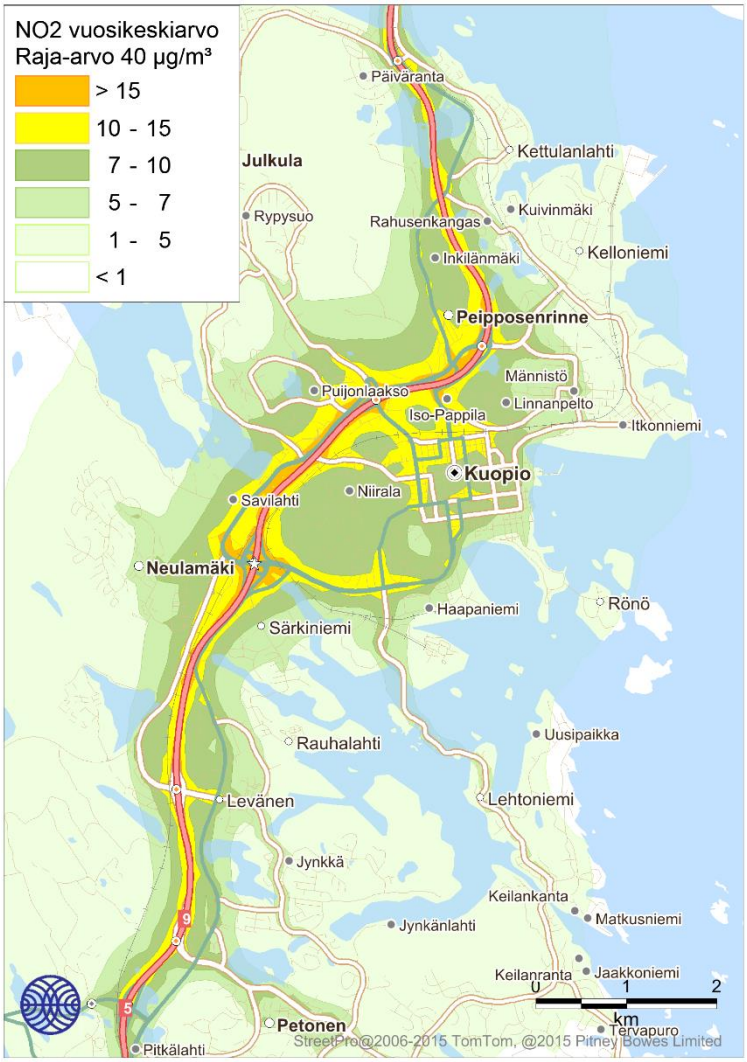

Kuva 6. Autoliikenteen, energiantuotannon, teollisuuden ja kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen sekä alueellisen taustapitoisuuden aiheuttama typen oksidien ($NO_x$) korkein vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) Siilinjärvellä vuonna 2017.

### 2.1.2 Autoliikenne

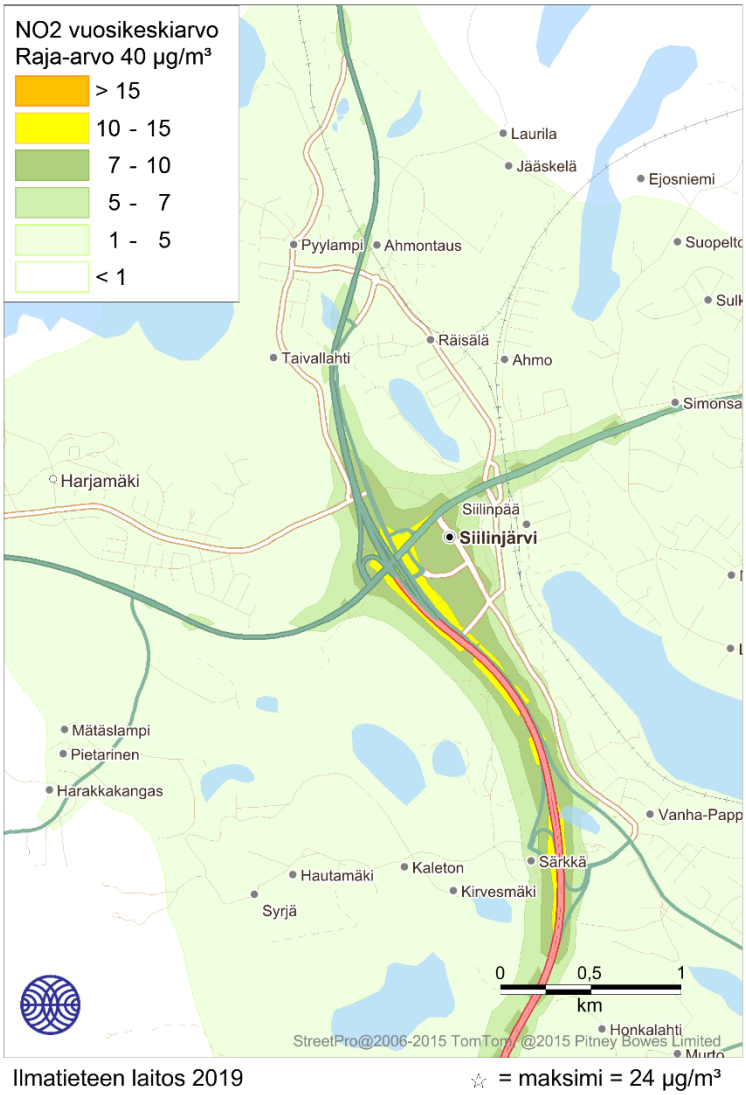
Leviämismallilaskelmien tuloksena saadut autoliikenteen vuoden 2017 päästöjen aiheuttamat korkeimmat typpidioksidin vuosikeskiarvopitoisuudet Kuopiossa ja Siilinjärvellä on esitetty kuvissa 7–8 sekä liitekuvissa 19 ja 75. Tulosten mukaan typpidioksidin vuosipitoisuudet ovat suurimmillaan valtatie 5:n varrella ja keskustan sisääntuloväylillä noin 10–15 µg/m³. Suurimmillaan typpidioksidipitoisuudet ovat valtatie 5:n ja Tasavallankadun/Savilahdentien risteysalueella. Kuopion asuinalueilla pitoisuustaso on alle 10 µg/m³ ja Siilinjärvellä alle 5 µg/m³.

Autoliikenteen vuoden 2017 päästöjen aiheuttamat korkeimmat vuorokausiohjearvoon verrannolliset typpidioksidipitoisuudet ylittävät niukasti ohjearvotason valtatie 5:n ja Tasavallankadun/Savilahdentien risteysalueella (liitekuvat 20 ja 76).

Ennustetilanteessa vuonna 2035 typpidioksidipitoisuudet tulevat kasvavista liikennemääristä huolimatta pääasiassa vähän pienenemään, sillä moottoritekniikan kehitys pienentää tulevaisuudessa autoliikenteen pakokaasupäästöjä (liitekuvat 41–42 ja 97–98). Typpidioksidipitoisuudet tulevat kuitenkin lisääntymään Hiltulanlahden ja Matkuksen täydennysrakennusalueilla, joilla liikenne lisääntyy uusille asuinalueille rakennettavien uusien teiden myötä. Siilinjärvellä tuloksissa tulee esiin valtatie 5:n uusi linjaus Siilinjärven kirkonkylän pohjoispuolella.




Kuva 7. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama typpidioksidin korkein vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) Kuopiossa vuonna 2017.



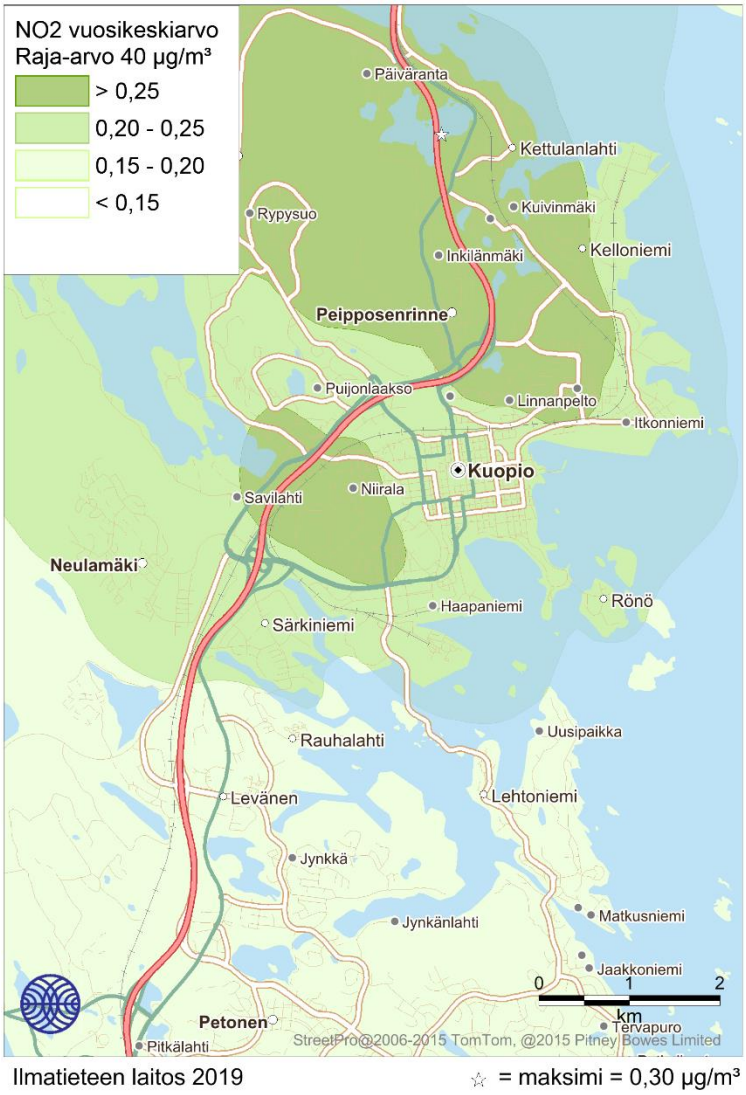

Kuva 8. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama typpidioksidin korkein vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) Siilinjärvellä vuonna 2017. Maksimipitoisuus sijoittuu kartan ulkopuolelle Vuorelan liikenneympyrään.

### 2.1.3 Kiinteistökohtainen lämmitys

Leviämismallilaskelmien tuloksena saadut kiinteistökohtaisen lämmityksen vuoden 2017 päästöjen aiheuttamat korkeimmat typpidioksidin vuosikeskiarvopitoisuudet Kuopiossa ja Siilinjärvellä on esitetty kuvissa 9–10 sekä liitekuvissa 21 ja 77. Tulosten mukaan typpidioksidin vuosipitoisuudet ovat suurimmillaan Kuopiossa keskustan pohjoispuolisilla asuinalueilla ja Niiralassa sekä Siilinjärven taajama-alueella. Typpidioksidipitoisuudet ovat kuitenkin pieniä (alle 0,5 µg/m³) ja pitoisuuksien erot eri alueilla ovat vähäisiä.

Kiinteistökohtaisen lämmityksen vuoden 2017 päästöjen aiheuttamat korkeimmat vuorokausiohjearvoon verrannolliset typpidioksidipitoisuudet ovat korkeimmillaan alle 3 µg/m³ sekä Kuopiossa että Siilinjärvellä (liitekuvat 22 ja 78).

Ennustetilanteessa vuonna 2035 typpidioksidipitoisuudet tulevat kokonaisuudessaan vähän pienenemään johtuen siitä, että ennusteen mukaan puulämmitys tulee korvaamaan vähenevää öljylämmitystä (liitekuvat 43–44 ja 99–100). Samaan aikaan kuitenkin puun käytön arvioidaan lisääntyvän noin 10 %:lla, mikä puolestaan lisää puun polton typenoksidipäästöjä.




Kuva 9. Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttama typpidioksidin korkein vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) Kuopiossa vuonna 2017.

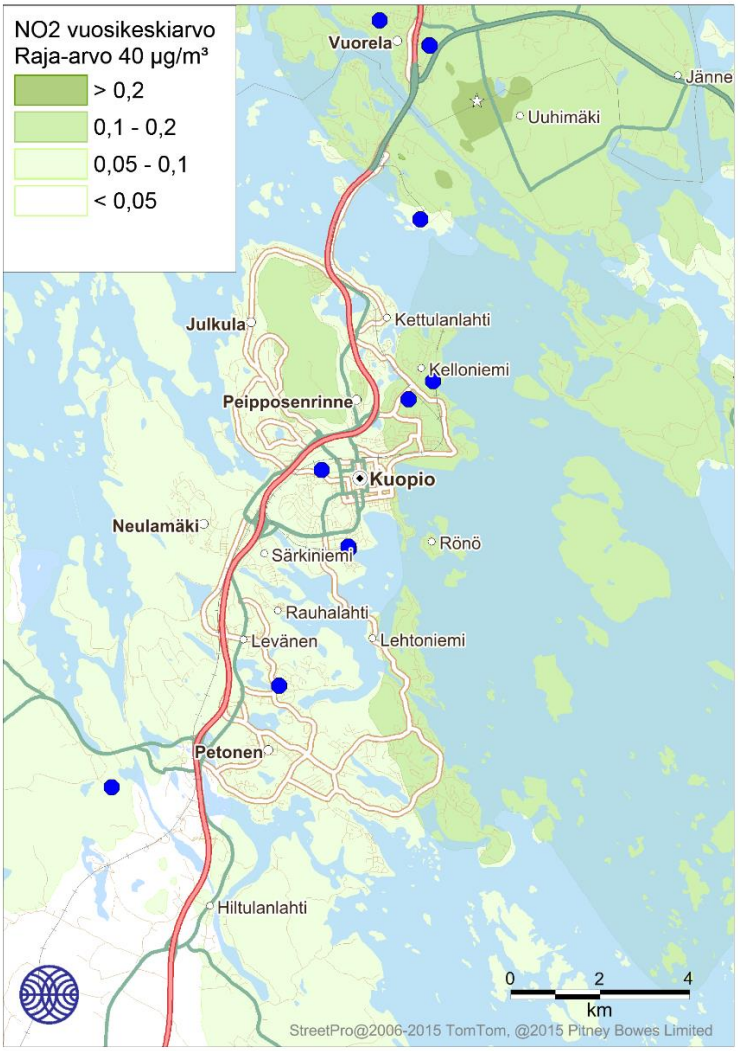
Kuva 10. Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttama typpidioksidin korkein vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) Siilinjärvellä vuonna 2017.

### 2.1.4 Energiantuotanto ja teollisuus

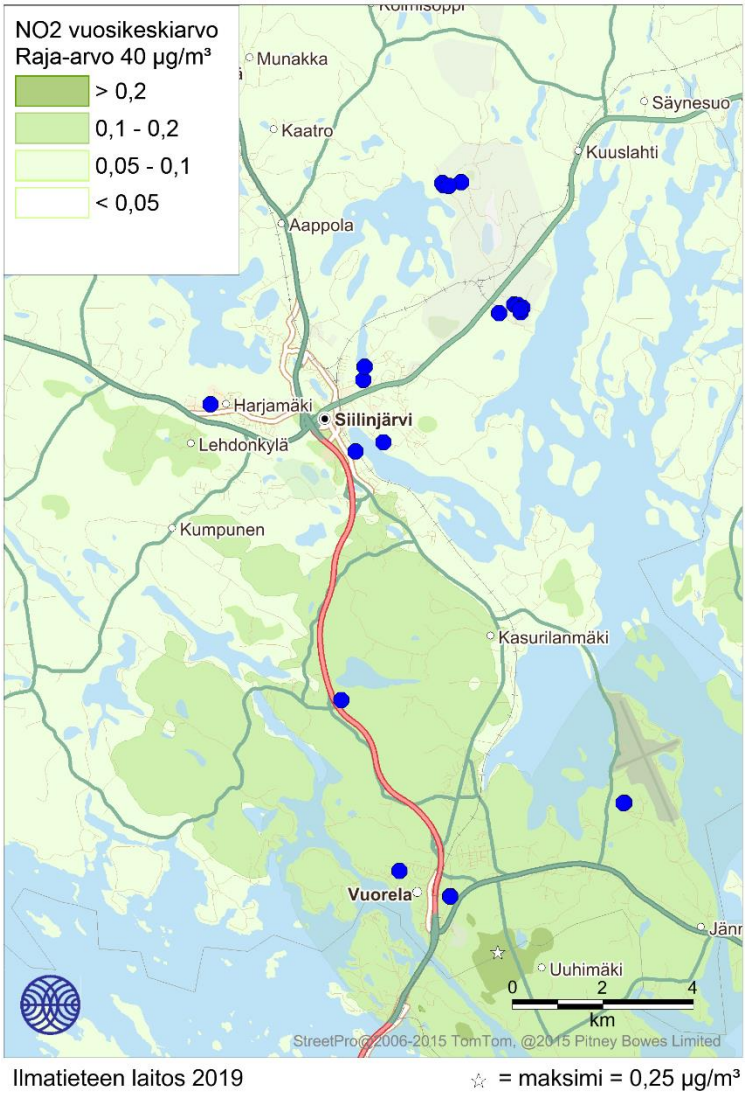
Leviämismallilaskelmien tuloksena saadut energiantuotannon ja teollisuuden vuoden 2017 päästöjen aiheuttamat korkeimmat typpidioksidin vuosikeskiarvopitoisuudet Kuopiossa ja Siilinjärvellä on esitetty kuvissa 11–12 sekä liitekuvissa 23 ja 79. Tulosten mukaan toiminnanharjoittajien yhdessä aiheuttamat korkeimmat typpidioksidin vuosipitoisuudet jäävät alle 0,5 µg/m³. Typpidioksidipitoisuudet ovat suurimmillaan Kuopion ja Siilinjärven rajalla. Korkeimpien pitoisuuksien muodostumiseen vaikuttavat myös maanpinnan muodot, kuten esimerkiksi Puijon mäki. Nykytilanteessa pitoisuuksien muodostumiseen vaikuttavat eniten Mondi Powerflute Oy:n aallotuskartonkitehtaan päästöt. Muiden energiantuotanto- ja teollisuuslaitosten vaikutus typpidioksidipitoisuuksiin on vähäistä.

Energiantuotannon ja teollisuuden vuoden 2017 päästöjen aiheuttamat korkeimmat vuorokausiohjearvoon verrannolliset typpidioksidipitoisuudet ovat korkeimmillaan reilu 3 µg/m³ (liitekuvat 24 ja 80).

Ennustetilanteessa vuonna 2035 typpidioksidipitoisuudet olisivat kasvaneet, jos Finnpulp Oy:n biotuotetehdas olisi otettu käyttöön (liitekuvat 45–46 ja 101–102). 19.12.2019 tuli korkeimman hallinto-oikeuden ratkaisu, että Finnpulp Oy ei saa ympäristölupaa eikä tehdas tule toteutumaan. Merkittävistä päästömääristä huolimatta typpidioksidipitoisuudet hengityskorkeudella olisivat kasvaneet vain vähän johtuen siitä, että biotuotetehtaan päästöt olisivat vapautuneet 130 metriä korkeasta piipusta. Finnpulp Oy olisi sijoittunut Mondi Powerfluten tavoin Sorsasalon saareen valtatie 5:n läheisyyteen ja vaikuttanut sekä Kuopion että Siilinjärven pitoisuuksiin.




Kuva 11. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttama typpidioksidin korkein vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) Kuopiossa vuonna 2017. Siniset pisteet kuvaavat mallinnuksessa mukana olleita energiantuotanto- tai teollisuuslaitoksia.




Kuva 12. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttama typpidioksidin korkein vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) Siilinjärvellä vuonna 2017. Siniset pisteet kuvaavat mallinnuksessa mukana olleita energiantuotanto- tai teollisuuslaitoksia.

## 2.2 Pienhiukkaspitoisuudet ($PM_{2,5}$)

Kaukokulkeumalla on merkittävä vaikutus pienhiukkasten pitoisuustasoihin Suomessa ja korkeimmat pienhiukkaspitoisuudet havaitaankin yleensä kaukokulkeumaepisodien aikana. Suurin vaikutus Kuopion ja Siilinjärven pienhiukkaspitoisuustasoihin onkin taustapitoisuudella (noin 4 µg/m³). Paikalliset päästölähteet aiheuttavat muutamien mikrogrammojen suuruisen lisän taustapitoisuuksiin. Vilkkaiden teiden varsilla liikenteen päästöillä on huomattava vaikutus pienhiukkasten pitoisuustasoihin. Asuinalueilla kotitalouksien puu- ja öljylämmityksellä on paikallisesti liikennepäästöjäkin merkittävämpi vaikutus pienhiukkaspitoisuuksiin.

### 2.2.1 Kaikki päästölähteet

Taulukoissa 4–5 on esitetty leviämismallilaskelmien tuloksena saadut korkeimmat pienhiukkasten raja-arvoon ja WHO:n ohjearvoihin verrannolliset pitoisuudet Kuopiossa ja Siilinjärvellä vuosina 2017 ja 2035. Korkeimmat pitoisuudet on esitetty päästölähteittäin ja kaikkien päästölähteiden yhteisvaikutuksena. Mallinnetut pienhiukkasten vuosikeskiarvopitoisuudet alittavat raja-arvon ja WHO:n ohjearvon Kuopiossa ja Siilinjärvellä. Pienhiukkaspitoisuudelle annettu WHO:n vuorokausiohjearvo ylittyy nykytilanteessa ja on tulevassa tilanteessa ohjearvon tasolla. Liikenne ja kiinteistökohtainen lämmitys vaikuttavat eniten mallinnettuihin pitoisuuksiin. Pienhiukkaspitoisuudet tulevat vähenemään tulevaisuudessa kaikkien päästölähteiden päästöjen pienenemisen vuoksi.

Taulukko 4. Korkeimmat mallinnetut pienhiukkaspitoisuudet (µg/m³) Kuopiossa ja Siilinjärvellä vuonna 2017. WHO:n vuorokausiohjearvon ylitykset on lihavoitu.

| $PM_{2,5}$ 2017 | Ohje- / raja-arvo | Liikenne | Kiinteistö-kohtainen lämmitys | Energian-tuotanto ja teolli-suus | Tausta-pi-toisuus | Kaikki yh-teensä |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Vuosikeskiarvo | 25/10* | 3,5 | 1,4 | 0,84 | 4,1 | 8,4 |
| Vuorokausiohjearvo | 25* | 15 | 17 | 7,4 | 3,8 | **30** |

* WHO:n ohjearvo

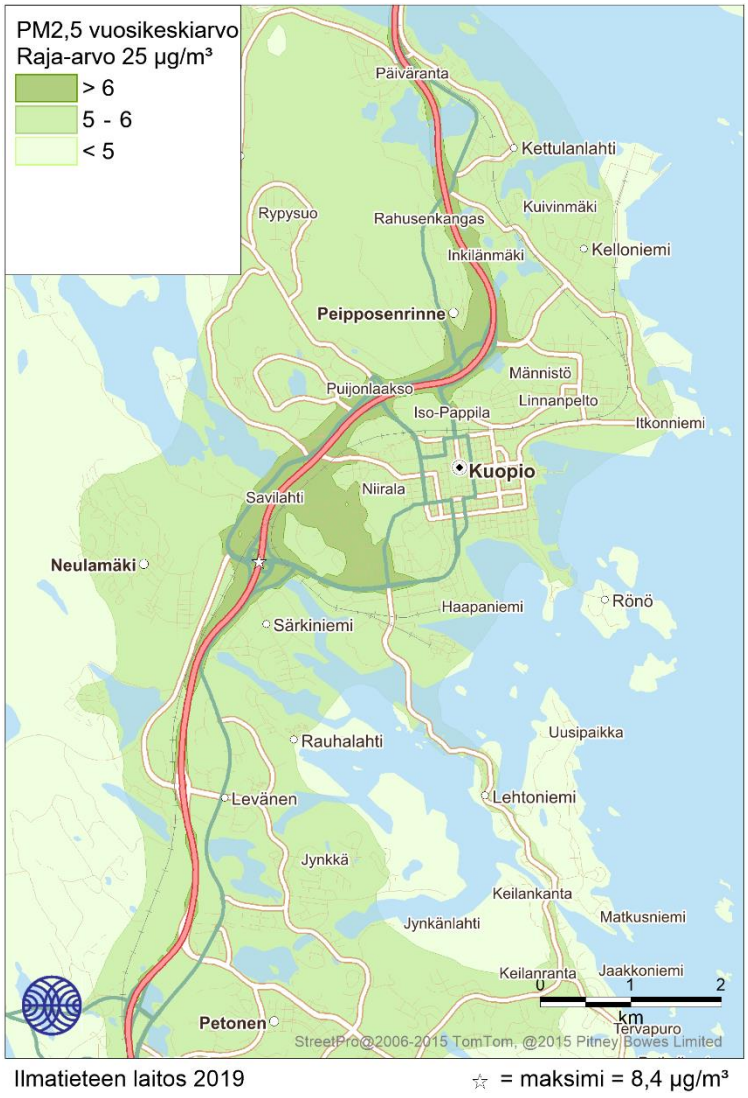
Taulukko 5. Korkeimmat mallinnetut pienhiukkaspitoisuudet (µg/m³) Kuopiossa ja Siilinjärvellä vuonna 2035. WHO:n vuorokausiohjearvon ylitykset on lihavoitu.

| $PM_{2,5}$ 2035 | Ohje- / raja-arvo | Liikenne | Kiinteistö-kohtainen lämmitys | Energian-tuotanto ja teolli-suus | Tausta-pi-toisuus | Kaikki yh-teensä |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Vuosikeskiarvo | 25/10* | 3,0 | 1,1 | 0,84 | 4,1 | 7,8 |
| Vuorokausiohjearvo | 25* | 13 | 14 | 7,1 | 5,4 | **25** |

* WHO:n ohjearvo

Leviämismallilaskelmien tuloksena saadut Kuopion ja Siilinjärven autoliikenteen, energiantuotannon, teollisuuden ja kiinteistökohtaisen lämmityksen vuoden 2017 päästöjen sekä alueellisen taustapitoisuuden yhdessä aiheuttamat korkeimmat pienhiukkasten vuosikeskiarvopitoisuudet on esitetty kuvissa 13–14. Tulokset on esitetty laajemmalta alueelta liitekuvissa 25 ja 81. Pienhiukkaspitoisuuksien vuosikeskiarvolle annettu raja-arvo (25 µg/m³) ja WHO:n ohjearvo (10 µg/m³) alittuvat koko Kuopion ja Siilinjärven alueella. Pienhiukkaspitoisuuden vuosikeskiarvo on Kuopion ja Siilinjärven alueilla 5–6 µg/m³. Nilsiällä ja Tahkolla pienhiukkaspitoisuudet ovat noin 5 µg/m³ (liitekuva 63). Pienhiukkaspitoisuuksien alueellinen vaihtelu on vähäistä, koska suurin osa (4 µg/m³) kokonaispitoisuudesta on taustapitoisuutta. Korkeimpien pitoisuuksien muodostumiseen vaikuttavat sekä tieliikenne että kiinteistökohtainen lämmitys. Pienhiukkaspitoisuudet ovat suurimmillaan valtatie 5:n varrella olevilla pientaloalueilla

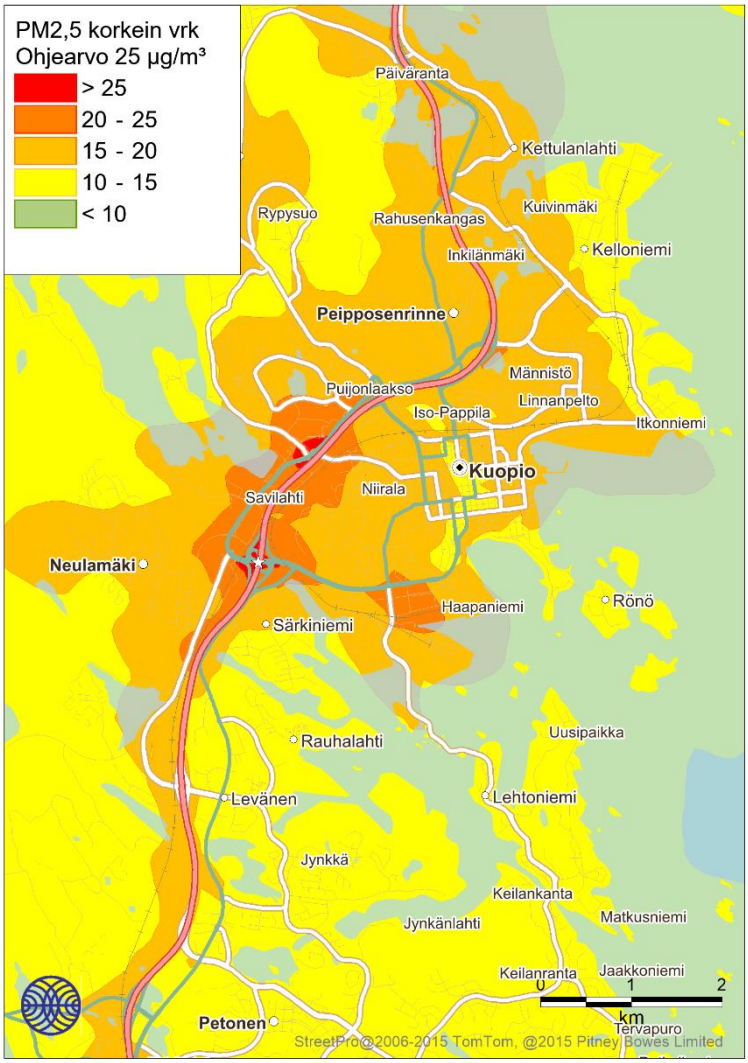
Särkiniemen ja Päivärannan välillä sekä Siilinjärven kirkonkylällä ja Vuorelassa. Korkeimmillaan valtatie 5:n risteysalueella pienhiukkasten vuosikeskiarvopitoisuus on 8,4 µg/m³ alittaen kansallisen altistuksen vähentämistavoitteen 8,5 µg/m³. Ennustetilanteessa vuonna 2035 altistuksen vähentämistavoite alittuu selvemmin. Tulevaisuudessa pienhiukkaspitoisuudet tulevat kasvavista liikennemääristä huolimatta pienenemään, sillä moottoritekniikan kehitys ja päästörajoitukset pienentävät tulevaisuudessa autoliikenteen pakokaasupäästöjä (liitekuvat 47 ja 103).



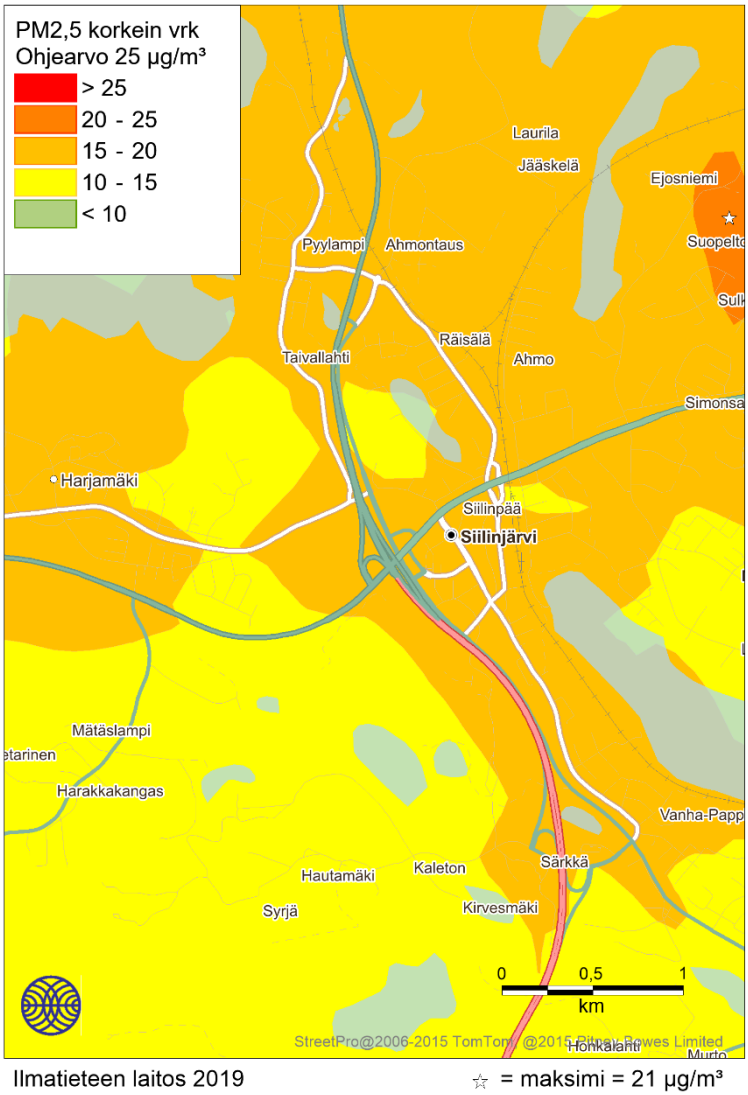

Kuva 13. Autoliikenteen, energiantuotannon, teollisuuden ja kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen sekä alueellisen taustapitoisuuden aiheuttama pienhiukkasten ($PM_{2,5}$) korkein vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) Kuopiossa vuonna 2017.

Kuva 14. Autoliikenteen, energiantuotannon, teollisuuden ja kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen sekä alueellisen taustapitoisuuden aiheuttama pienhiukkasten ($PM_{2,5}$) korkein vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) Siilinjärvellä vuonna 2017. Maksimipitoisuus sijoittuu kartan ulkopuolelle Vuorelan liikenneympyrään.

Kuopion ja Siilinjärven vuoden 2017 kaikkien päästölähteiden ja alueellisen taustapitoisuuden yhdessä aiheuttamat korkeimmat pienhiukkasten WHO:n vuorokausiohjearvoon verrannolliset pitoisuudet on esitetty kuvissa 15–16. Tulokset on esitetty laajemmalta alueelta liitekuvissa 26 ja 82. Mallilaskelmien mukaan pienhiukkaspitoisuudelle annettu vuorokausiohjearvo (25 µg/m$^3$) ylittyy epäedullisissa meteorologisissa tilanteissa valtatien 5 varrella Tasavallankadun risteyksen ja Kuopion yliopistollisen sairaalan kohdilla. Pienhiukkaspitoisuudet ovat korkeimmillaan mm. Niiralan, Savilahden ja Haapaniemen alueilla, joissa pitoisuustasoihin vaikuttavat sekä kotitalouksien pienpoltto että liikenteen päästöt. Siilinjärvellä vuorokausiohjearvo alittuu, mutta korkeimmillaan pitoisuudet ovat Sulkavanniityn asuinalueella. Myös Nilsiällä ohjearvo alittuu. Pienhiukkasten vuorokausipitoisuudet ovat suurimmillaan Nilsiän keskustan ja Tahkon matkailukeskuksen alueella (liitekuva 64).




Kuva 15. Autoliikenteen, energiantuotannon, teollisuuden ja kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen sekä alueellisen taustapitoisuuden aiheuttama pienhiukkasten ($PM_{2,5}$) korkein WHO:n vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³) Kuopiossa vuonna 2017.




Kuva 16. Autoliikenteen, energiantuotannon, teollisuuden ja kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen sekä alueellisen taustapitoisuuden aiheuttama pienhiukkasten ($PM_{2,5}$) korkein WHO:n vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³) Siilinjärvellä vuonna 2017.

### 2.2.2 Autoliikenne

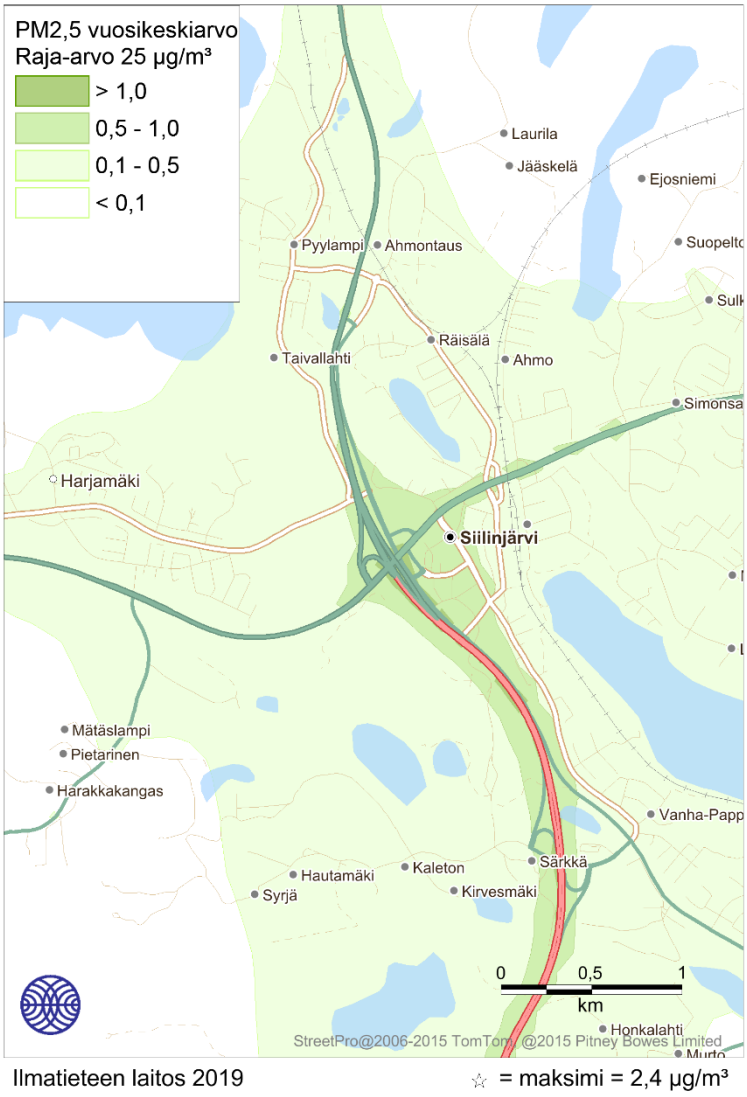
Leviämismallilaskelmien tuloksena saadut autoliikenteen vuoden 2017 päästöjen aiheuttamat korkeimmat pienhiukkasten vuosikeskiarvopitoisuudet Kuopiossa ja Siilinjärvellä on esitetty kuvissa 17–18 sekä liitekuvissa 27 ja 83. Tulosten mukaan pelkän autoliikenteen päästöjen aiheuttamien pienhiukkasten vuosipitoisuudet ovat suurimmillaan valtatie 5:n varrella noin 1–3 µg/m³. Suurimmillaan pienhiukkaspitoisuudet ovat valtatie 5:n ja Tasavallankadun/Savilahdentien risteysalueella. Kuopion asuinalueilla pitoisuustaso on alle 1 µg/m³ ja Siilinjärvellä alle 0,5 µg/m³.

Autoliikenteen vuoden 2017 päästöjen aiheuttamat korkeimmat WHO:n vuorokausiohjearvoon verrannolliset pienhiukkaspitoisuudet ovat vilkasliikenteisillä

risteysalueilla Kuopiossa korkeimmillaan 15 µg/m³ ja Siilinjärvellä 9 µg/m³ (liitekuvat 28 ja 84).

Ennustetilanteessa vuonna 2035 pienhiukkaspitoisuudet tulevat kasvavista liikennemääristä huolimatta entisestään pienenemään, sillä moottoritekniikan kehitys pienentää tulevaisuudessa autoliikenteen pakokaasupäästöjä (liitekuvat 49–50 ja 105–106). Pienhiukkaspitoisuudet kasvavat hiukan Hiltulanlahden ja Matkuksen täydennysrakennusalueilla johtuen rakennettavista uusista teistä. Siilinjärven kirkonkylän pohjoispuolella tuloksissa tulee esiin valtatie 5:n uusi linjaus.

Kuva 17. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama pienhiukkasten korkein vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) Kuopiossa vuonna 2017.



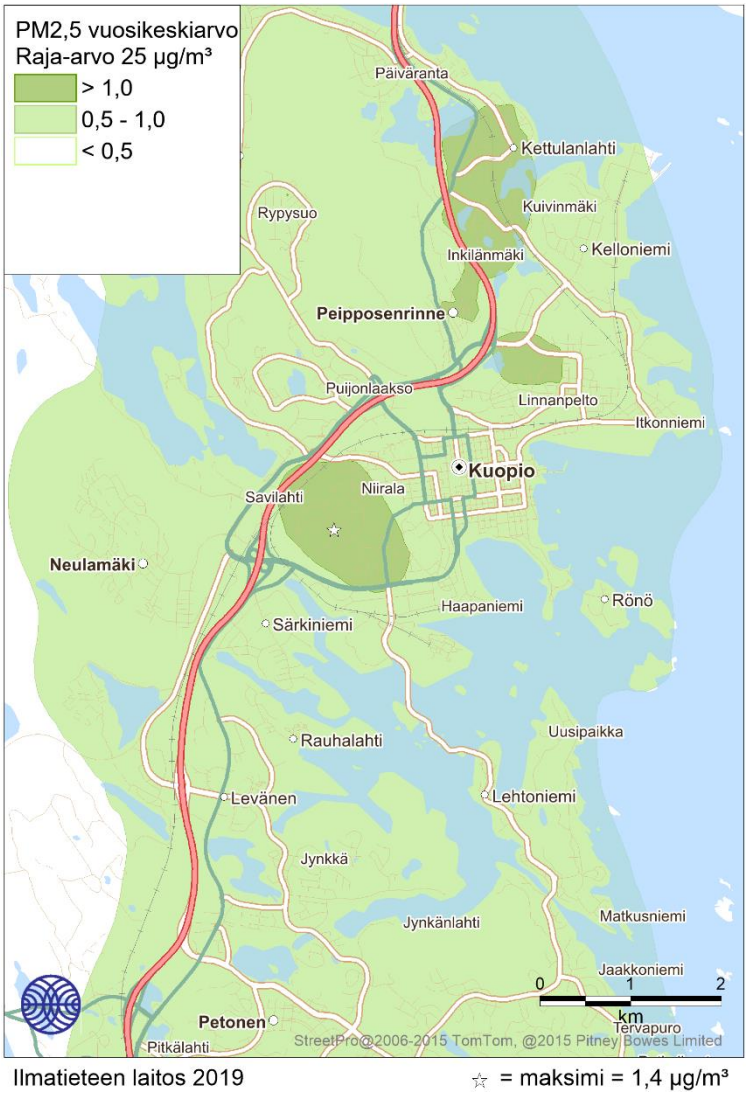

Kuva 18. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama pienhiukkasten korkein vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) Siilinjärvellä vuonna 2017. Maksimipitoisuus sijoittuu kartan ulkopuolelle Vuorelan liikenneympyrään.

### 2.2.3 Kiinteistökohtainen lämmitys

Leviämismallilaskelmien tuloksena saadut kiinteistökohtaisen lämmityksen vuoden 2017 päästöjen aiheuttamat korkeimmat pienhiukkasten vuosikeskiarvopitoisuudet Kuopiossa ja Siilinjärvellä on esitetty kuvissa 19–20 sekä liitekuvissa 29 ja 85. Tulosten mukaan pienhiukkasten vuosipitoisuudet ovat suurimmillaan Kuopiossa Niiralan, Männistön ja Kettulanlahden pientaloalueilla sekä Siilinjärven pientaloalueilla. Pienhiukkaspitoisuudet ovat korkeimmillaan Niiralassa 1,4 µg/m³.

Kiinteistökohtaisen lämmityksen vuoden 2017 päästöjen aiheuttamat korkeimmat WHO:n vuorokausiohjearvoon verrannolliset pienhiukkaspitoisuudet ovat suurimmillaan 17 µg/m³ Niiralan ja Savilahden välisellä alueella (liitekuvat 30 ja 86).

Ennustetilanteessa vuonna 2035 pienhiukkaspitoisuudet tulevat pienenemään ja suurempien pitoisuuksien vyöhykkeet tulevat supistumaan merkittävimmille pienpoltto-toalueille (liitekuvat 51–52 ja 107–108). Tähän vaikuttaa tulisijojen uusiutuminen ja pienempipäästöisten tulisijojen yleistyminen.




Kuva 19. Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttama pienhiukkasten korkein vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) Kuopiossa vuonna 2017.

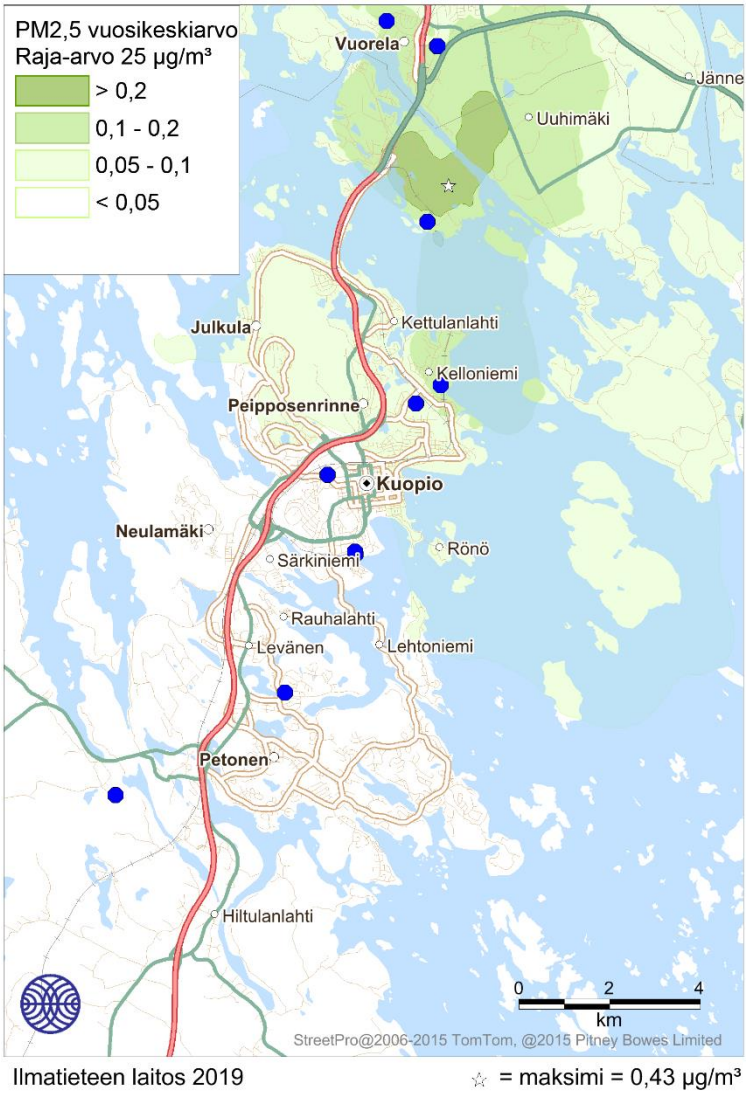
Kuva 20. Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttama pienhiukkasten korkein vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) Siilinjärvellä vuonna 2017. Maksimipitoisuus sijoittuu vähän kartan oikean reunan ulkopuolelle Honkamäen asuinalueelle.

### 2.2.4 Energiantuotanto ja teollisuus

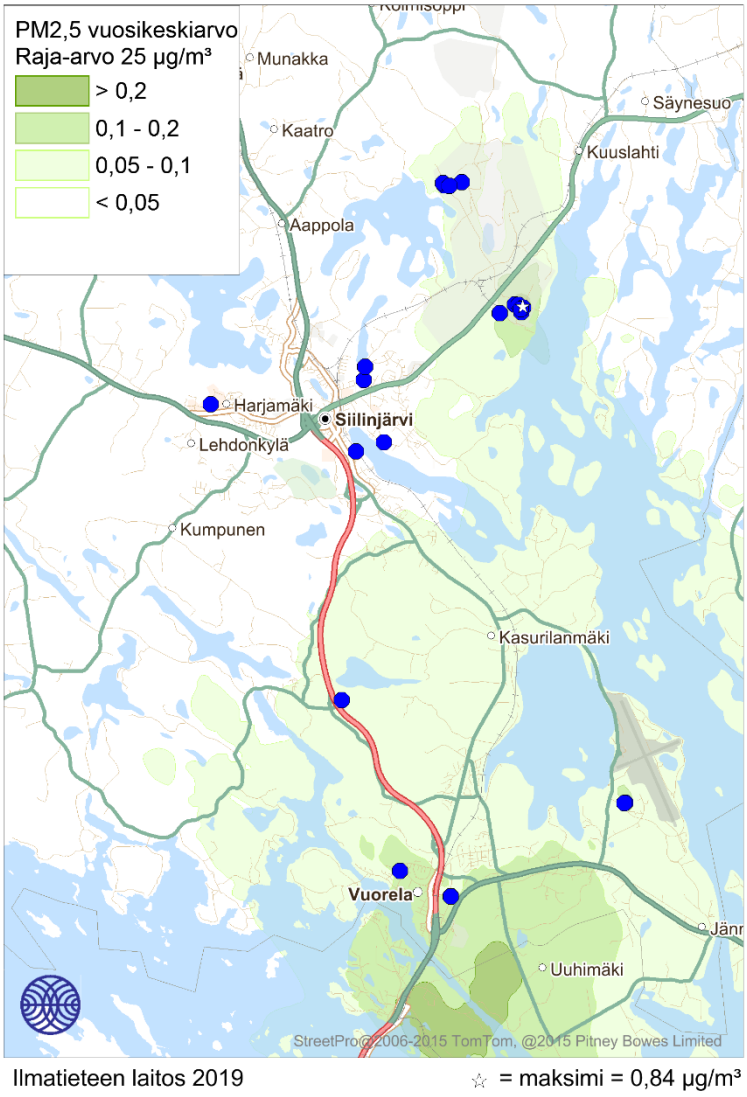
Leviämismallilaskelmien tuloksena saadut energiantuotannon ja teollisuuden vuoden 2017 päästöjen aiheuttamat korkeimmat pienhiukkasten vuosikeskiarvopitoisuudet Kuopiossa ja Siilinjärvellä on esitetty kuvissa 21–22 sekä liitekuvissa 31 ja 87. Tulosten mukaan toiminnanharjoittajien yhdessä aiheuttamat korkeimmat pienhiukkasten vuosipitoisuudet jäävät alle 1 µg/m$^3$. Kuopiossa pitoisuuksien muodostumiseen vaikuttavat eniten Mondi Powerflute Oy:n aallotuskartonkitehtaan päästöt, jonka vaikutusalue ulottuu myös Siilinjärven puolelle. Pienhiukkaspitoisuudet ovat suurimmillaan Siilinjärvellä, jossa pitoisuuksiin vaikuttavat eniten Yara Suomi Oy:n rikkihappotehtaan seisakkipölyt tai hönkäpesurin pölyt. Suurimmat pitoisuudet jäävät kuitenkin matalalla sijaitsevien päästökanavien takia Yaran tuotantoalueelle päästölähteiden läheisyyteen. Yaran kaivosalue on esitetty kartassa vaalean harmaalla sävyllä. Muiden energiantuotanto- ja teollisuuslaitosten vaikutus pienhiukkaspitoisuuksiin on vähäistä.

Energiantuotannon ja teollisuuden vuoden 2017 päästöjen aiheuttamat korkeimmat WHO:n vuorokausiohjearvoon verrannolliset pienhiukkaspitoisuudet ovat korkeimmillaan 7–8 µg/m³ sekä Kuopiossa että Siilinjärvellä (liitekuvat 32 ja 88).

Ennustetilanteessa vuonna 2035 pienhiukkaspitoisuuksiin vaikuttavat mallilaskelmien mukaan Mondi Powerflute Oy:n aallotuskartonkitehdas sekä Finnpulp Oy:n biotuotetehdas (liitekuvat 53–54 ja 109–110). Biotuotetehdas ei tule kuitenkaan toteutumaan tulevaisuudessa. Päästöt kohottavat pitoisuuksia sekä Kuopiossa että Siilinjärvellä. Finnpulp Oy olisi lisännyt vähän pienhiukkaspitoisuuksia tulevassa tilanteessa, mutta vaikutus hengityskorkeuden pitoisuuksiin olisi jäänyt 130 m korkean piipun vuoksi vähäiseksi, vaikka hiukkaspäästöt ovatkin merkittävät.




Kuva 21. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttama pienhiukkasten korkein vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) Kuopiossa vuonna 2017. Siniset pisteet kuvaavat mallinnuksessa mukana olleita energiantuotanto- tai teollisuuslaitoksia.




Kuva 22. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttama pienhiukkasten korkein vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) Siilinjärvellä vuonna 2017. Siniset pisteet kuvaavat mallinnuksessa mukana olleita energiantuotanto- tai teollisuuslaitoksia.

## 2.3 Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet ($PM_{10}$)

Kuopion ja Siilinjärven alueella merkittävin ilmanlaatua heikentävä tekijä on katupöly. Katupölykaudella hengitettävien hiukkasten pitoisuudet kohoavat etenkin vilkkaasti liikennöityjen väylien läheisyydessä. Katupölyä esiintyy keväällä maalis-toukokuussa kuivilla kaduilla lumien sulettua sekä loppusyksystä talvirengaskauden alussa ennen lumipeitettä. Katupölyn ja korkeiden hiukkaspitoisuuksien muodostumiseen voidaan merkittävästi vaikuttaa katujen talvikunnossapidolla, oikea-aikaisella hiekoitushiekan poistolla sekä pölynsidonnalla katupölykaudella. Myös rakennustyömaiden pölyntorjuntaan ja mahdolliseen pölynsidontaan tulee kiinnittää huomiota kaikkina vuodenaikoina.

### 2.3.1 Kaikki päästölähteet

Taulukoissa 6–7 on esitetty leviämismallilaskelmien tuloksena saadut korkeimmat hengitettävien hiukkasten raja- ja ohjearvoihin verrannolliset pitoisuudet Kuopiossa ja Siilinjärvellä vuosina 2017 ja 2035. Korkeimmat pitoisuudet on esitetty päästölähteittäin ja kaikkien päästölähteiden yhteisvaikutuksena. Mallinnetut hengitettävien hiukkasten vuosikeskiarvopitoisuudet alittavat raja-arvon Kuopiossa ja Siilinjärvellä. Hengitettävien hiukkasten vuorokausipitoisuuksille annetut raja- ja ohjearvot ylittyvät nykytilanteessa ja tulevassa tilanteessa. Autoliikenteen katupölypäästöt vaikuttavat selvästi eniten mallinnettuihin pitoisuuksiin. Mallilaskelmien mukaan hengitettävien hiukkasten pitoisuudet tulevat kasvamaan tulevaisuudessa liikennemäärien kasvaessa valtatiellä 5 arvion mukaan 21 % vuoteen 2035 mennessä. Katupölypäästöihin voidaan kuitenkin vaikuttaa tehokkaasti katujen kunnossapidolla ja oikea-aikaisella hiekanpoistolla sekä pölynsidonnalla, jolloin pitoisuuksien nousemista voidaan ehkäistä liikennemäärien kasvusta huolimatta.

Taulukko 6. Korkeimmat mallinnetut hengitettävien hiukkasten pitoisuudet (µg/m³) Kuopiossa ja Siilinjärvellä vuonna 2017. Ohje- ja raja-arvojen ylitykset on lihavoitu.

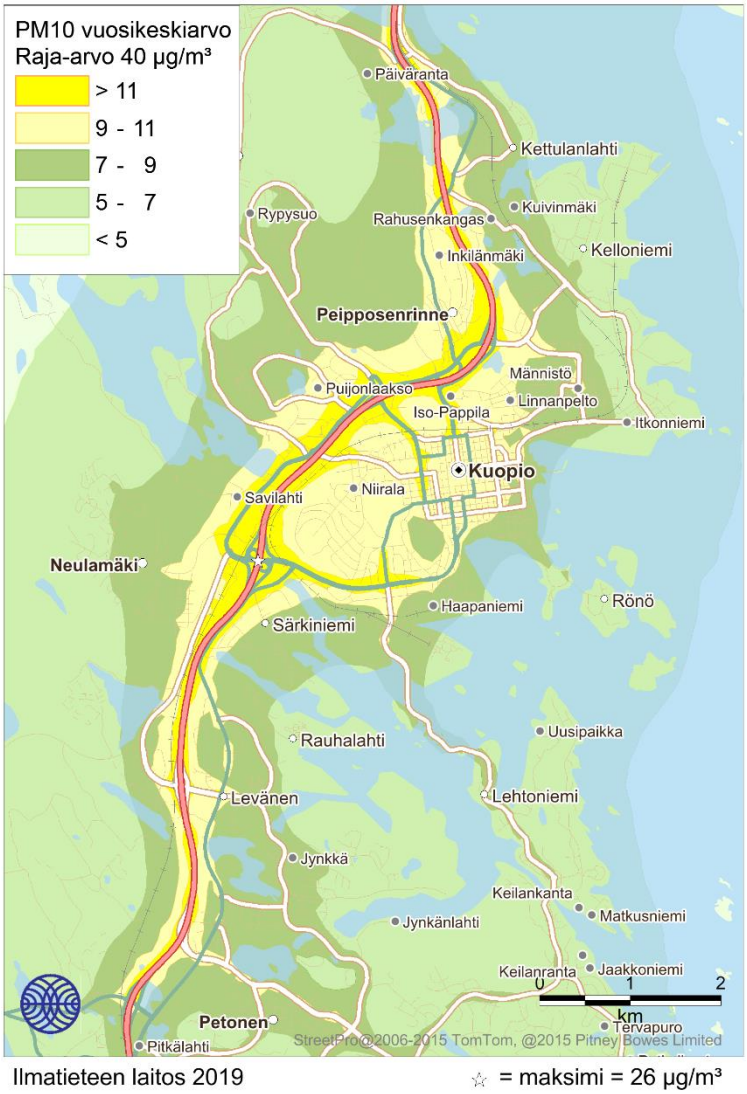
| $PM_{10}$ 2017 | Ohje- / raja-arvo | Liikenne | Kiinteistö-kohtainen lämmitys | Energian-tuotanto ja teolli-suus | Tausta-pitoi-suus | Kaikki yh-teensä |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Vuosikeskiarvo | 40 | 20 | 2,3 | 0,84 | 4,1 | 26 |
| Vuorokausiohjearvo | 70 | **148** | 18 | 6,9 | 4,2 | **153** |
| Vuorokausiraja-arvo | 50 | 50 | 5,0 | 2,7 | 5,2 | **58** |

Taulukko 7. Korkeimmat mallinnetut hengitettävien hiukkasten pitoisuudet (µg/m³) Kuopiossa ja Siilinjärvellä vuonna 2035. Ohje- ja raja-arvojen ylitykset on lihavoitu.

| $PM_{10}$ 2035 | Ohje- / raja-arvo | Liikenne | Kiinteistö-kohtainen lämmitys | Energian-tuotanto ja teolli-suus | Tausta-pitoi-suus | Kaikki yh-teensä |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Vuosikeskiarvo | 40 | 24 | 1,7 | 0,84 | 4,1 | 30 |
| Vuorokausiohjearvo | 70 | **171** | 14 | 6,8 | 4,2 | **176** |
| Vuorokausiraja-arvo | 50 | **61** | 4,1 | 2,7 | 4,1 | **67** |

Leviämismallilaskelmien tuloksena saadut Kuopion ja Siilinjärven autoliikenteen, energiantuotannon, teollisuuden ja kiinteistökohtaisen lämmityksen vuoden 2017 päästöjen sekä alueellisen taustapitoisuuden yhdessä aiheuttamat korkeimmat hengitettävien hiukkasten vuosikeskiarvopitoisuudet on esitetty esitetty kuvissa 23–24. Tulokset on esitetty laajemmalta alueelta liitekuvissa 33 ja 89. Hengitettävien hiukkasten pitoisuuksien vuosikeskiarvolle annettu raja-arvo (40 µg/m³) alittuu selvästi koko Kuopion ja Siilinjärven alueella. Hengitettävien hiukkasten vuosikeskiarvopitoisuus on

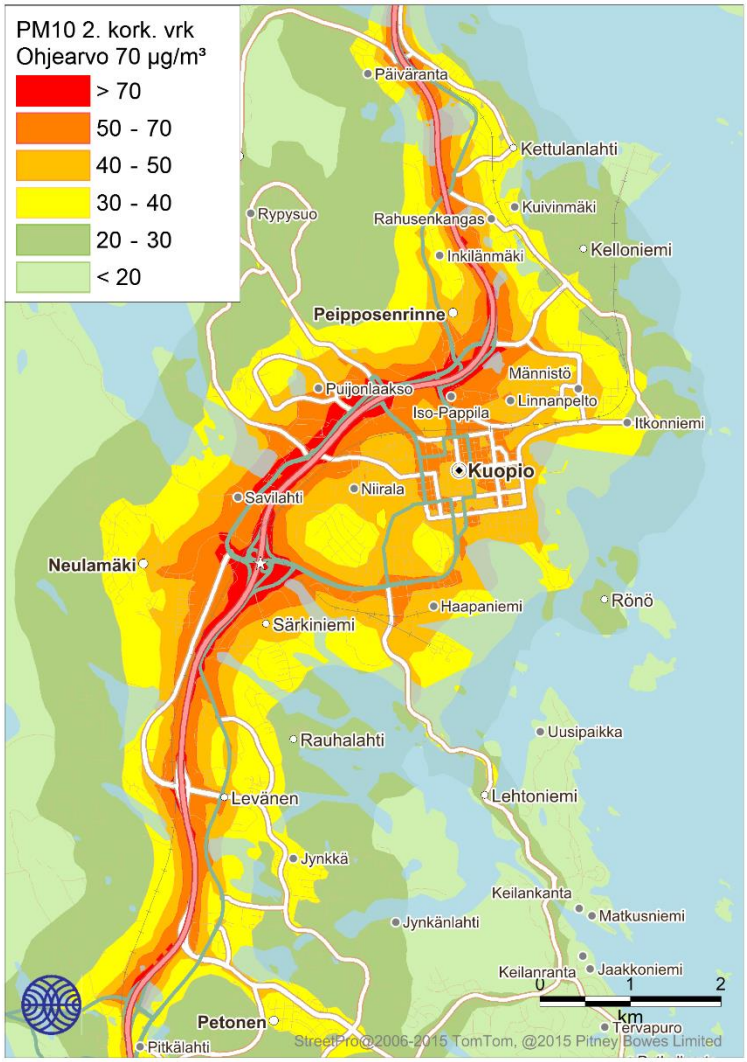
Kuopion keskustan vilkkaimmin liikennöidyillä alueilla noin 9–11 µg/m$^3$. Asuinalueilla ja Siilinjärvellä pitoisuustaso on noin 5–10 µg/m$^3$. Nilsiällä ja Tahkolla pitoisuustaso on noin 5–7 µg/m$^3$ (liitekuva 65). Korkeimmillaan valtatie 5:n varrella ja sen risteysalueilla hengitettävien hiukkasten vuosikeskiarvopitoisuus voi kohota tasolle 11–24 µg/m$^3$, mutta raja-arvon ei katsota olevan voimassa kyseisillä alueilla. Ennustetilanteessa vuonna 2035 hengitettävien hiukkasten pitoisuudet lisääntyvät kasvavien liikennemäärien vuoksi, sillä moottoritekniikan kehitys ei vaikuta katupölyn muodostukseen ja hengitettävien hiukkasten kohonneisiin pitoisuuksiin liikenneympäristössä (liitekuvat 55 ja 111).



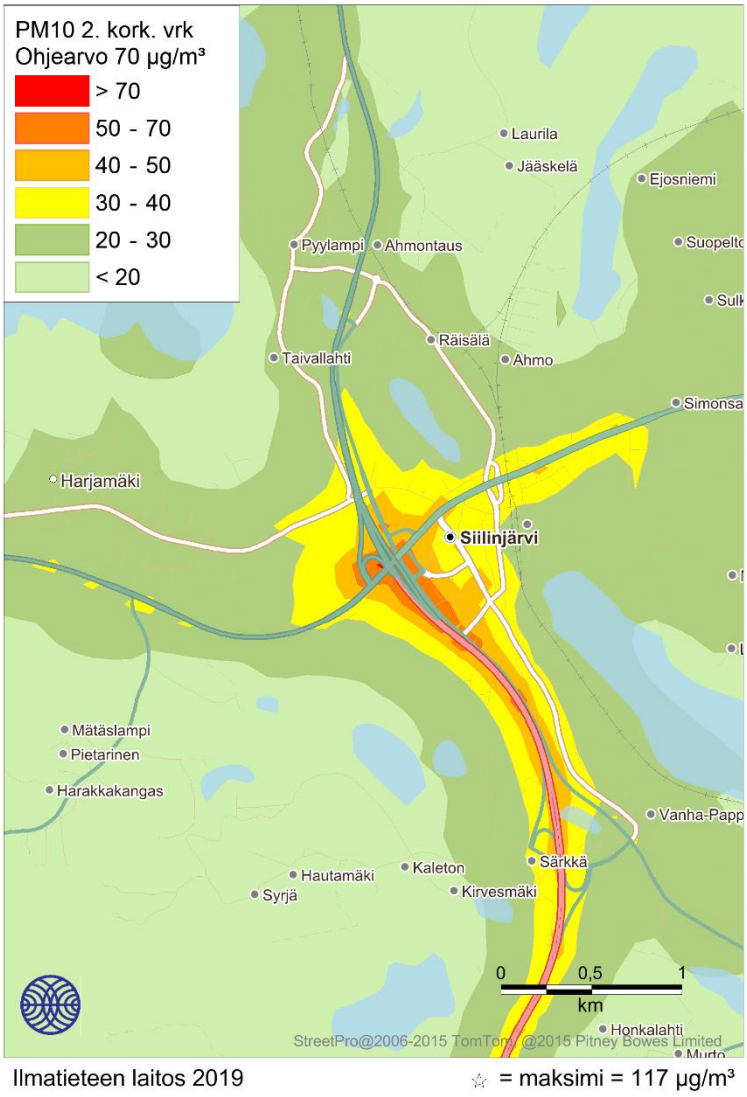

Kuva 23. Autoliikenteen, energiantuotannon, teollisuuden ja kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen sekä alueellisen taustapitoisuuden aiheuttama hengitettävien hiukkasten ($PM_{10}$) korkein vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m$^3$) Kuopiossa vuonna 2017.

Kuva 24. Autoliikenteen, energiantuotannon, teollisuuden ja kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen sekä alueellisen taustapitoisuuden aiheuttama hengitettävien hiukkasten ($PM_{10}$) korkein vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) Siilinjärvellä vuonna 2017. Maksimipitoisuus sijoittuu kartan ulkopuolelle Vuorelan liikenneympyrään.

Kuopion ja Siilinjärven vuoden 2017 kaikkien päästölähteiden ja alueellisen taustapitoisuuden yhdessä aiheuttamat korkeimmat hengitettävien hiukkasten vuorokausiohjearvoon verrannolliset pitoisuudet on esitetty kuvissa 25–26. Tulokset on esitetty laajemmalta alueelta liitekuvissa 34 ja 90. Mallilaskelmien mukaan hengitettävien hiukkasten pitoisuudelle annettu vuorokausiohjearvo (70 µg/m³) ylittyy epäedullisissa meteorologisissa tilanteissa valtatie 5:n varrella Kuopion Petoselta Siilinjärven Vuorelaan. Korkeimmillaan vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus on valtatie 5:n ja Tasavallankadun/Savilahdentien risteysalueella 153 µg/m³. Liikenneväylien ulkopuolella ohjearvo alittuu. Kuopion keskustassa pitoisuustaso on noin 40–70 µg/m³ ja Siilinjärven keskustassa noin 30–50 µg/m³. Nilsiän keskustassa pitoisuustaso on noin 10–20 µg/m³ (liitekuva 65).

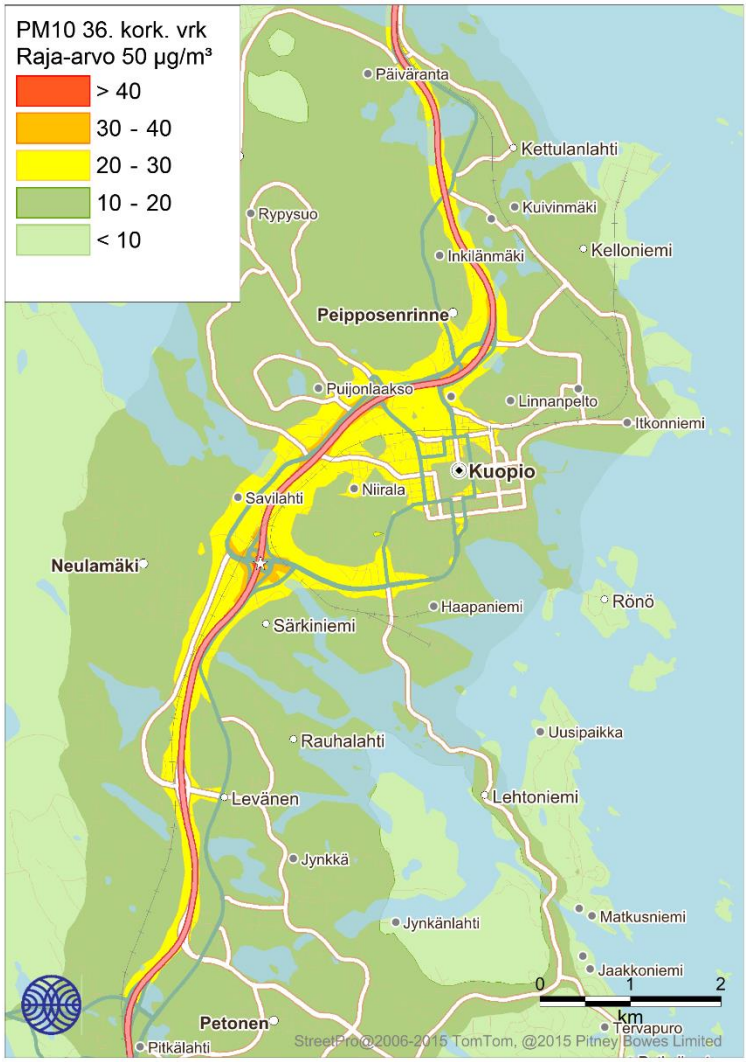



Kuva 25. Autoliikenteen, energiantuotannon, teollisuuden ja kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen sekä alueellisen taustapitoisuuden aiheuttama hengitettävien hiukkasten vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³) Kuopiossa vuonna 2017.

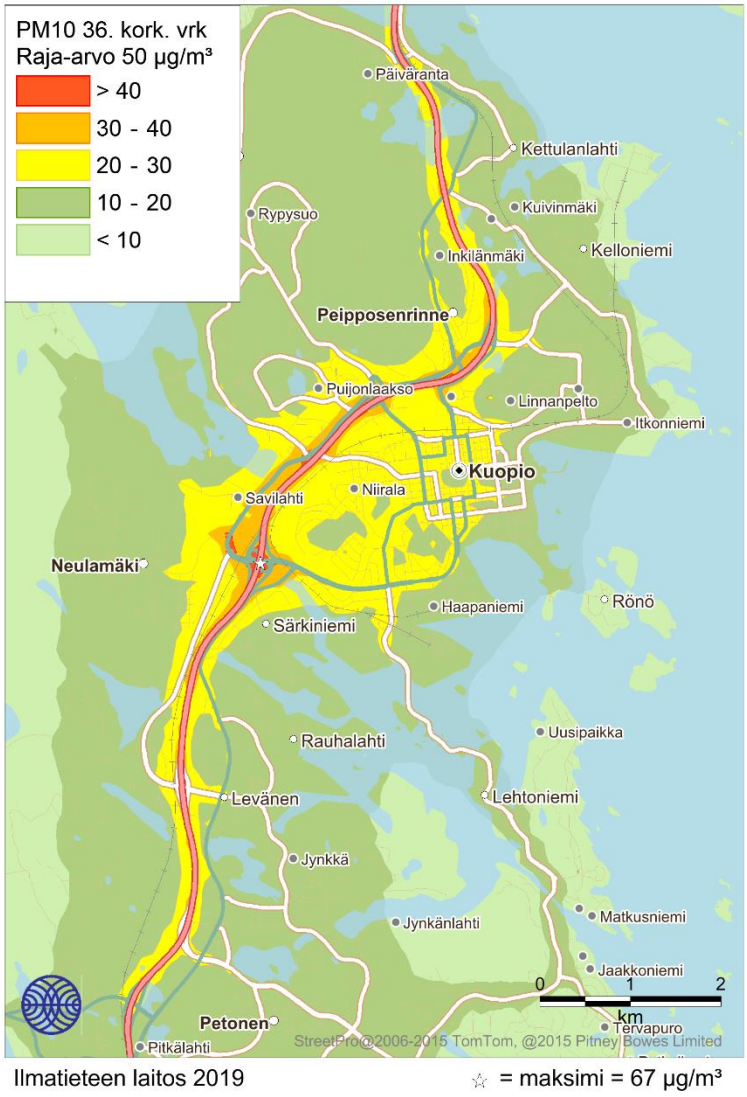



Kuva 26. Autoliikenteen, energiantuotannon, teollisuuden ja kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen sekä alueellisen taustapitoisuuden aiheuttama hengitettävien hiukkasten vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³) Siilinjärvellä vuonna 2017. Maksimipitoisuus sijoittuu kartan ulkopuolelle Vuorelan liikenneympyrään.

Kuopion kaikkien päästölähteiden ja alueellisen taustapitoisuuden yhdessä aiheuttamat korkeimmat hengitettävien hiukkasten vuorokausiraja-arvoon verrannolliset pitoisuudet vuosina 2017 ja 2035 on esitetty kuvissa 27–28. Mallilaskelmien mukaan hengitettävien hiukkasten pitoisuudelle annettu vuorokausiraja-arvo (50 µg/m³) ylittyy nykytilanteessa pienellä alueella valtatie 5:n ja Tasavallankadun/Savilahdentien risteysalueella. Ennustetilanteessa hengitettävien hiukkasten pitoisuudet kasvavat ja raja-arvo voi ylittyä valtatie 5:llä Leväsen ja Puijon välisellä alueella. Liikenneväylien ulkopuolella raja-arvo kuitenkin alittuu.




Kuva 27. Autoliikenteen, energiantuotannon, teollisuuden ja kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen sekä alueellisen taustapitoisuuden aiheuttama hengitettävien hiukkasten vuorokausiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³) Kuopiossa **vuonna 2017**.



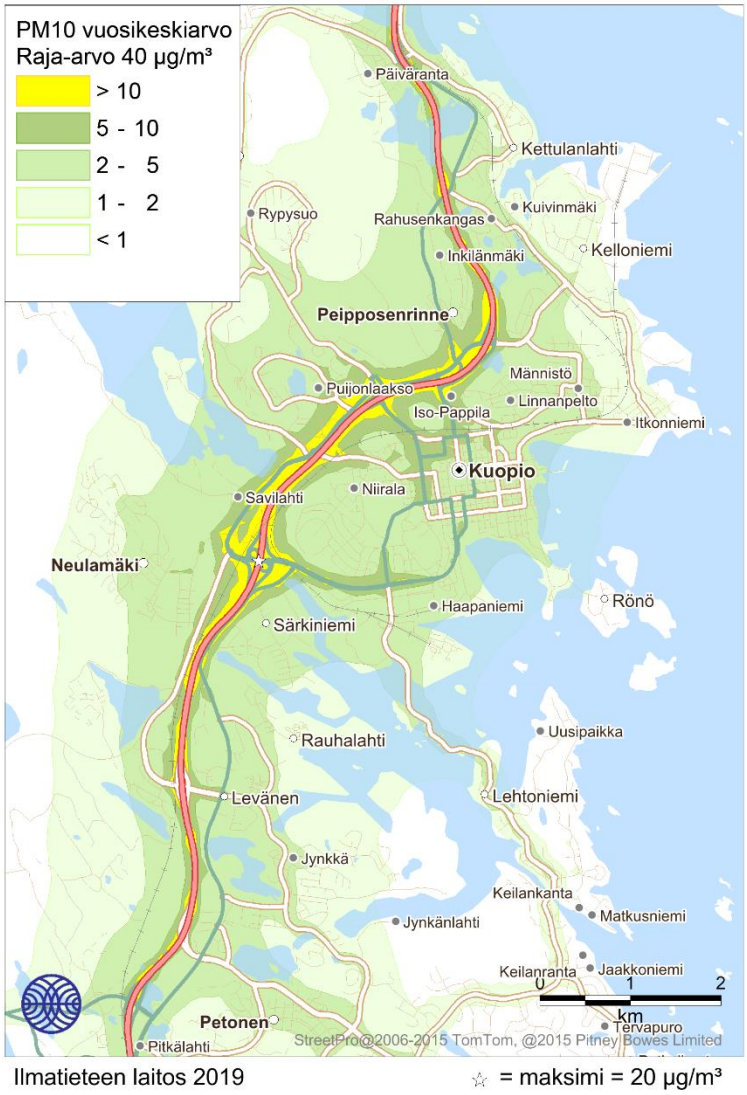

Kuva 28. Autoliikenteen, energiantuotannon, teollisuuden ja kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen sekä alueellisen taustapitoisuuden aiheuttama hengitettävien hiukkasten vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³) Kuopiossa **vuonna 2035**.

### 2.3.2 Autoliikenne

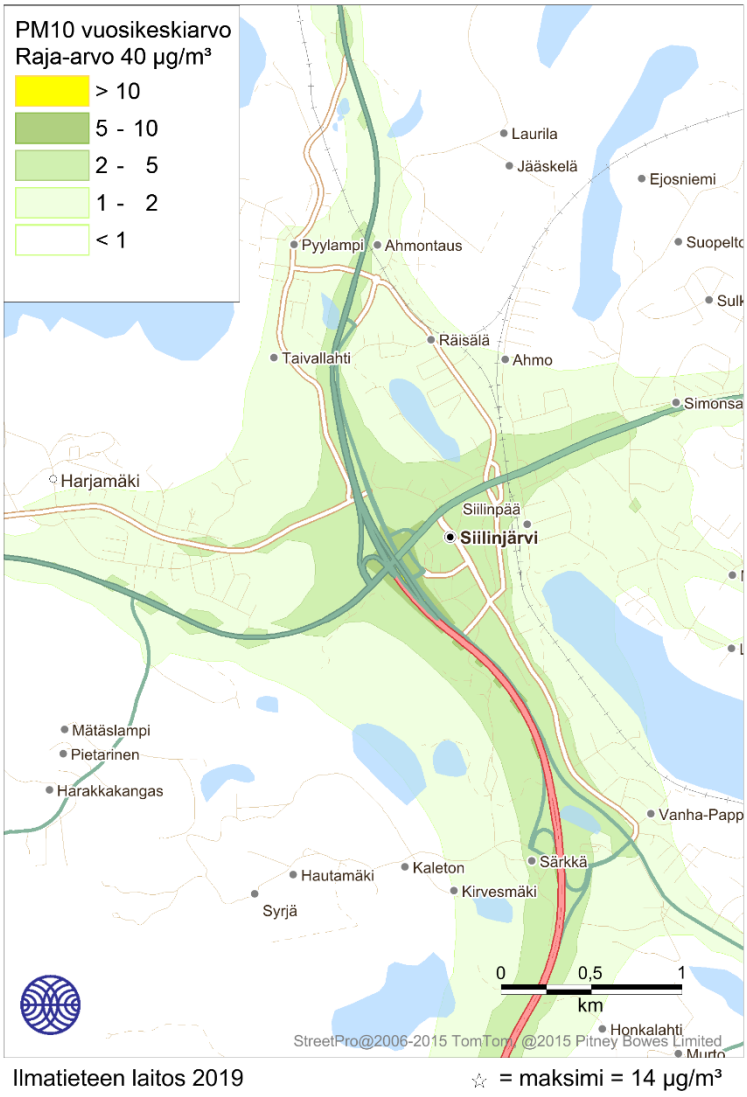
Leviämismallilaskelmien tuloksena saadut autoliikenteen vuoden 2017 päästöjen aiheuttamat korkeimmat hengitettävien hiukkasten vuosikeskiarvopitoisuudet Kuopiossa ja Siilinjärvellä on esitetty kuvissa 29–30 sekä liitekuvissa 35 ja 91. Tulosten mukaan hengitettävien hiukkasten vuosipitoisuudet ovat suurimmillaan valtatie 5:n varrella noin 10–15 µg/m³. Suurimmillaan hengitettävien hiukkasten pitoisuudet ovat valtatie 5:n ja Tasavallankadun/Savilahdentien risteysalueella. Kuopion asuinalueilla pitoisuustaso on alle 5 µg/m³ ja Siilinjärvellä alle 2 µg/m³.

Autoliikenteen vuoden 2017 päästöjen aiheuttamat korkeimmat vuorokausiohjearvoon verrannolliset hengitettävien hiukkasten pitoisuudet voivat ylittää ohjearvotason valtatie 5:n varrella Petosen ja Vuorelan välillä (liitekuvat 36 ja 92).

Ennustetilanteessa vuonna 2035 hengitettävien hiukkasten pitoisuudet tulevat liikennemäärien lisääntymisen myötä kasvamaan ja korkeimpien pitoisuuksien vyöhykkeet ulottuvat kauemmaksi liikenneväylistä (liitekuvat 57–58 ja 113–114). Hengitettäville hiukkasille annettu vuorokausiohjearvo ylittyy tulevassa tilanteessa laajemmalti valtatie 5:n varrella ja voi ylittyä myös Siilinjärvellä valtateiden 5 ja 77 risteysalueella. Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet lisääntyvät myös Hiltulanlahden ja Matkuksen täydennysrakennusalueilla rakennettavien uusien teiden myötä. Siilinjärvellä on nähtävissä valtatie 5:n uuden linjauksen vaikutus hiukkaspitoisuuksiin Siilinjärven kirkonkylän pohjoispuolella.




Kuva 29. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama hengitettävien hiukkasten korkein vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) Kuopiossa vuonna 2017.



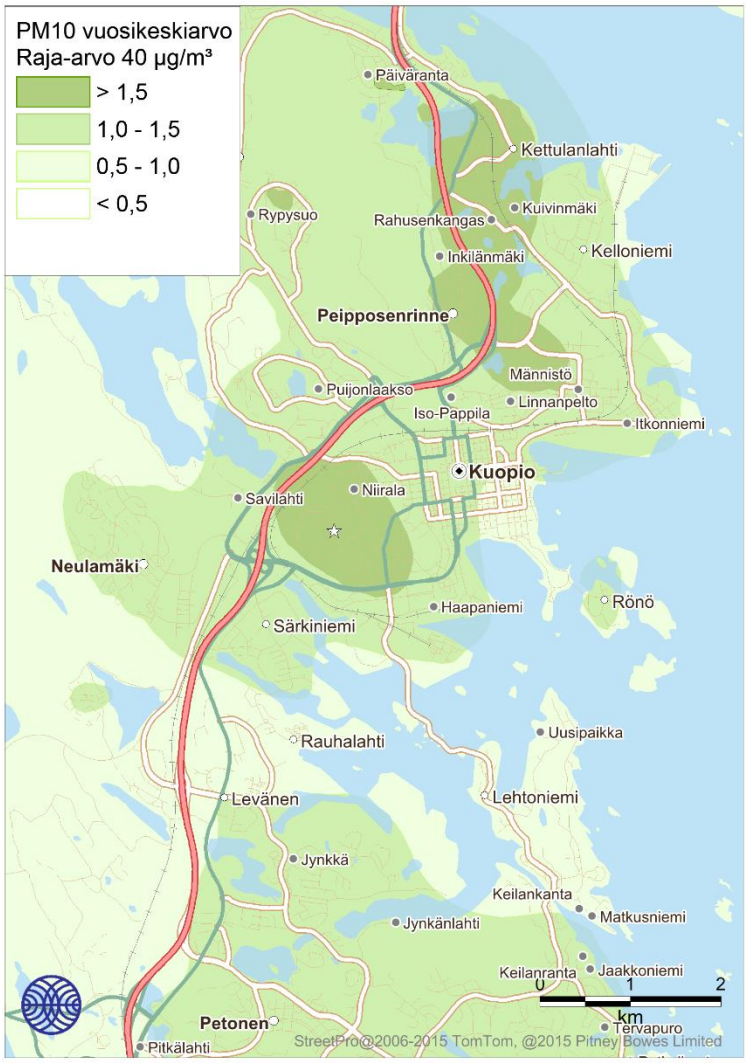

Kuva 30. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama hengitettävien hiukkasten korkein vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) Siilinjärvellä vuonna 2017. Maksimipitoisuus sijoittuu kartan ulkopuolelle Vuorelan liikenneympyrään.

### 2.3.3 Kiinteistökohtainen lämmitys

Leviämismallilaskelmien tuloksena saadut kiinteistökohtaisen lämmityksen vuoden 2017 päästöjen aiheuttamat korkeimmat hengitettävien hiukkasten vuosikeskiarvopitoisuudet Kuopiossa ja Siilinjärvellä on esitetty kuvissa 31–32 sekä liitekuvissa 37 ja 93. Tulosten mukaan hengitettävien hiukkasten vuosipitoisuudet ovat suurimmillaan Kuopiossa keskustan pohjoispuolisilla asuinalueilla ja Niiralassa sekä Siilinjärven taajama-alueella. Hiukkaspitoisuudet ovat kuitenkin pieniä (alle 0,5 µg/m³) ja pitoisuuksien erot eri alueilla ovat vähäisiä.

Kiinteistökohtaisen lämmityksen vuoden 2017 päästöjen aiheuttamat korkeimmat vuorokausiohjearvoon verrannolliset hengitettävien hiukkasten pitoisuudet ovat korkeimmillaan 17–18 µg/m³ sekä Kuopion että Siilinjärven pientaloalueilla (liitekuvat 38 ja 94).

Ennustetilanteessa vuonna 2035 hengitettävien hiukkasten pitoisuudet tulevat pienenemään ja suurempien pitoisuuksien vyöhykkeet tulevat supistumaan merkittävimmille pienpolttoalueille (liitekuvat 59–60 ja 115–116). Tähän vaikuttaa tulisijojen uusiutuminen ja pienempipäästöisten tulisijojen yleistyminen.




Ilmatieteen laitos 2019 ☆ = maksimi = 2,3 µg/m³

Kuva 31. Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttama hengitettävien hiukkasten korkein vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) Kuopiossa vuonna 2017.

Kuva 32. Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttama hengitettävien hiukkasten korkein vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) Siilinjärvellä vuonna 2017. Maksimipitoisuus sijoittuu vähän kartan oikean reunan ulkopuolelle Honkamäen asuinalueelle.

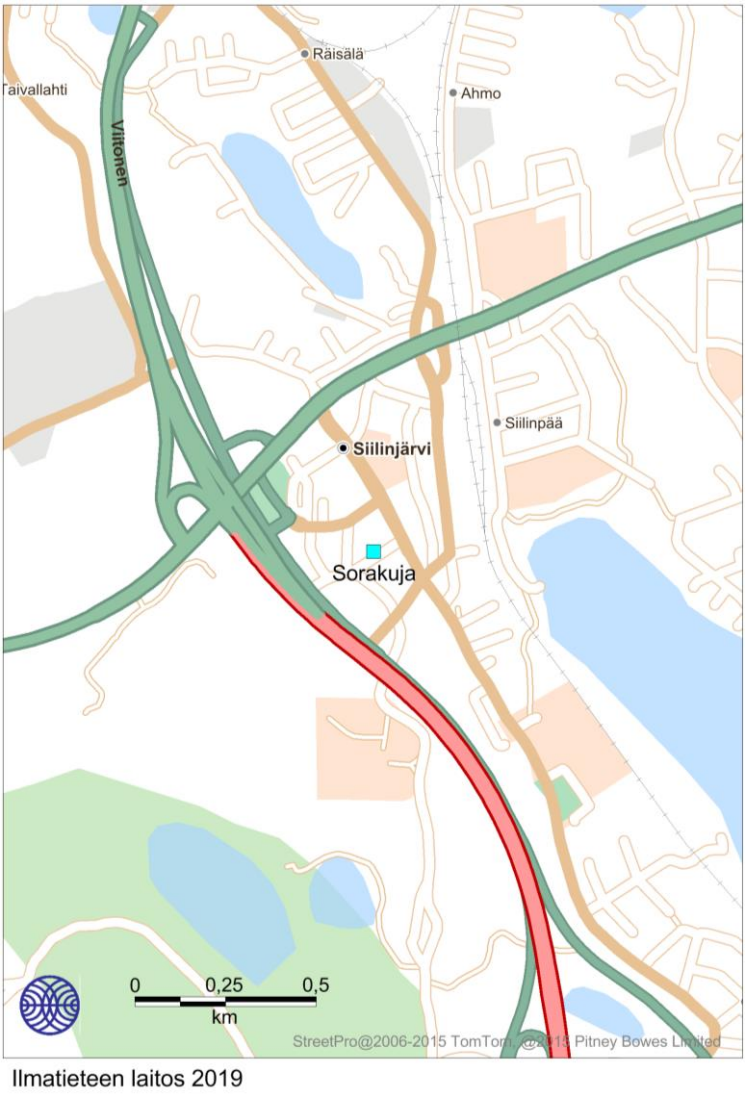
### 2.3.4 Energiantuotanto ja teollisuus

Leviämismallilaskelmissa energiantuotannon ja teollisuuden päästöt mallinnettiin kokonaishiukkaspäästöinä. Lähtötietopyynnön yhteydessä toiminnanharjoittajia pyydettiin arvioimaan hiukkaspäästöjensä hiukkaskokojakaumaa, mutta heillä ei ollut tarkempaa tietoa kokojakaumasta. Oletettavasti kuitenkin suurin osa pistemäisten päästölähteiden hiukkaspäästöistä on kokoluokkaa 2,5 µm. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttamat pienhiukkaspitoisuudet on esitelty luvussa 2.2.4 ja hengitettävien hiukkasten kokonaispitoisuuksiin on laskettu mukaan energiantuotannon teollisuuden päästölähteiden aiheuttamat pienhiukkaspitoisuudet.

## 2.4 Mallilaskelmien tulosten vertailu ilmanlaadun mittaustuloksiin

Mallituloksia ja mallilaskelmissa käytettyjen lähtötietojen oikeellisuutta arvioidaan vertaamalla mallinnettuja pitoisuuksia ilmanlaadun mittausasemilla mitattuihin pitoisuuksiin. Kuopiossa on seurattu typen oksidien ja hiukkasten pitoisuuksia vuosina 2016–2018 Kasarmipuistossa, Maaherrankadulla ja Tasavallankadulla sekä vuonna 2018 Siilinjärven Sorakujalla (kuvat 33–34). Kasarmipuiston asema edustaa ns. kaupunkitausta-asemaa, johon vaikuttavat kaikki kaupungin päästölähteet. Kasarmipuiston mittausasema siirrettiin Niiralaan vuoden 2019 alusta. Kasarmipuistossa mitattiin $NO_2/NO_X$, $PM_{10}$ ja $PM_{2,5}$. Maaherrankadun mittausasema edustaa Kuopion keskusta-alueen liikenneympäristöä. Tasavallankadun mittausasema edustaa vilkasliikenteisen kaupungin sisääntuloväylän ympäristöä. Maaherrankadulla ja Tasavallankadulla seurataan $NO_2/NO_X$, $PM_{10}$ ja vuoden 2019 alusta myös $PM_{2,5}$. Sorakujan mittausasema edustaa Siilinjärven keskustan liikennettä ja siellä seurattiin vuoden 2018 ajan kaikkia leviämismallinnuksessa tarkasteltuja ilman epäpuhtauksia: $NO_2/NO_X$, $PM_{10}$ ja $PM_{2,5}$. Mittausasemilla pitoisuuksia mitataan 4 metrin korkeudella maanpinnasta, mihin myös mittausasemien kohdille mallinnetut pitoisuudet on laskettu.

Kuva 33. Ilmanlaadun mittausasemat Kuopiossa. Mittaukset Niirala ja Savilahti-KYS mittausasemilla on aloitettu vuoden 2019 alussa eivätkä ne ole siksi mukana vertailussa.




Kuva 34. Ilmanlaadun mittausasema Siilinjärvellä. Sorakujalla mitattiin vuoden 2018 ajan.

Mallinnettuja tuloksia on verrattu vuosina 2016–2018 Kuopion kaupungin ylläpitämillä ilmanlaadun mittausasemilla mitattuihin pitoisuuksiin. Mallinnetuisssa pitoisuuksissa oli mukana autoliikenteen, kiinteistökohtaisen lämmityksen, energiantuotannon ja teollisuuden päästöt sekä taustapitoisuudet. Ilmanlaatuasetuksen (*79/2017*) mukainen laatutavoite mallintamisen epävarmuudelle on typpidioksidipitoisuuksien vuosikeskiarvolle 30 %, vuorokausiarvoille 50 % ja tuntiarvoille 50–60 %. Mallintamisen epävarmuus hiukkaspitoisuuksien vuosikeskiarvolle on 50 %. Epävarmuus määritetään enimmäispoikkeamana mitatuista ja mallinnetuista raja-arvoihin verrannollisista pitoisuuksista ottamatta huomioon tapahtumien ajoitusta.

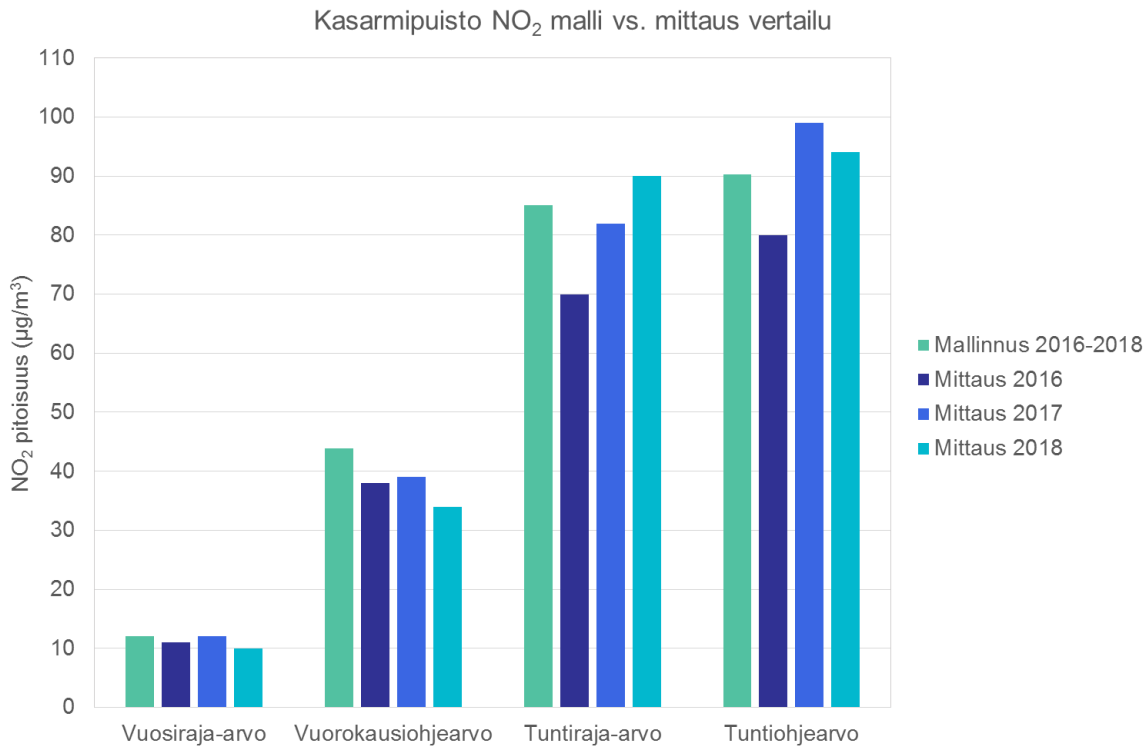
Typpidioksidipitoisuuksien malli-mittausvertailut on esitetty kuvissa 35–38. Mallinnetut typpidioksidipitoisuudet vastasivat erinomaisesti mitattuja pitoisuuksia. Mallinnettujen ja mitattujen typpidioksidin vuosikeskiarvopitoisuuksien ero vaihteli välillä 0–35 % ja raja-arvoon verrannollisten tuntipitoisuuksien välillä 1–21 %. Parhaiten mallinnetut pitoisuudet vastasivat mitattuja typpidioksidipitoisuuksia Kuopion Kasarmipuistossa ja Siilinjärven Sorakujalla. Laatutavoitteet mallintamisen epävarmuudelle täyttyivät selvästi suurimmalla osalla asemista ja tarkasteluvuosista (0–21 %). Malli aliarvioi ainoastaan

kylmän ja lumisen vuoden 2017 vuosipitoisuuksia Maaherrankadulla ja Tasavallankadulla 31–35 %.

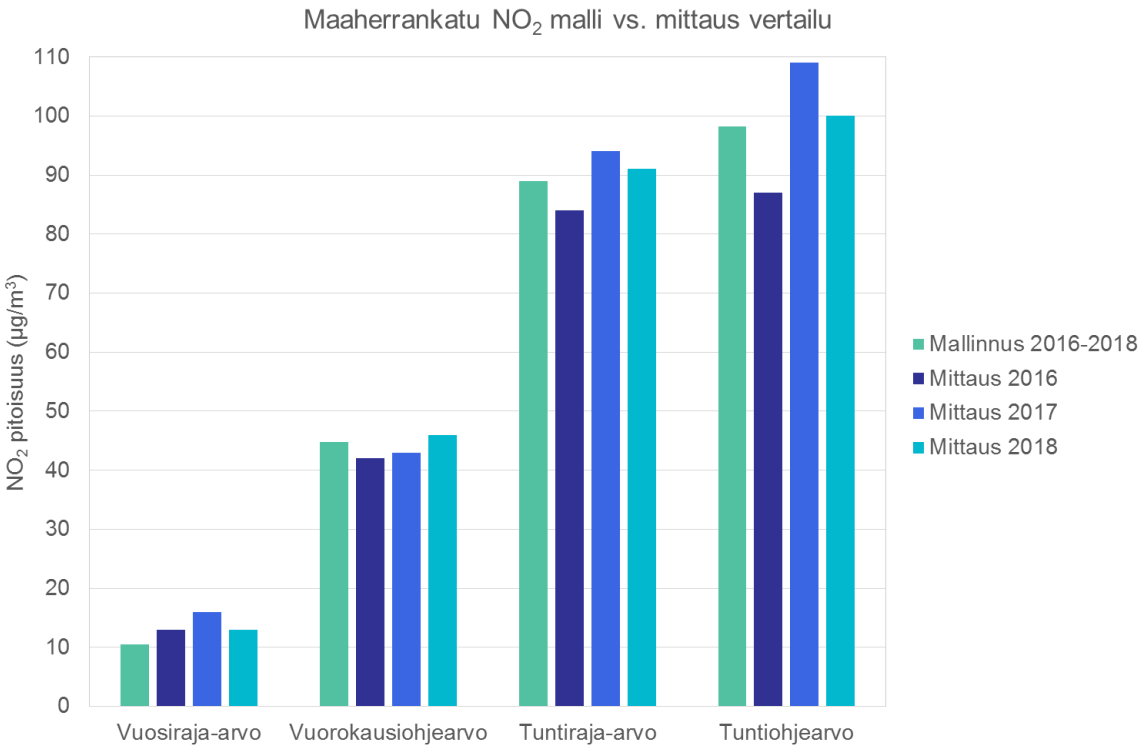
Typen oksidien vuosikeskiarvopitoisuuksien malli-mittausvertailu on esitetty kuvassa 39. Leviämismallinnus aliarvioi merkittävästi typenoksidipitoisuuksia erityisesti vilkasliikenteisten teiden läheisyydessä. Maaherrankadulla ja Tasavallankadulla mallinnettujen ja mitattujen typenoksidipitoisuuksien ero oli noin 40–60 %. Laatutavoite täyttyy Kasarmipuistossa ja ylittyy niukasti Siilinjärven Sorakujalla. Mallinnetut typpidioksidipitoisuudet vastaavat selvästi paremmin mitattuja pitoisuustasoja kuin mallinnetut typenoksidipitoisuudet.

Pienhiukkaspitoisuuksien malli-mittausvertailut on esitetty kuvissa 40–41. Mallitulosten vertailu Kasarmipuistossa mitattuihin pienhiukkaspitoisuuksiin ei ole asianmukaista, sillä mallinnuksessa on käytetty taustapitoisuutena Kasarmipuiston kolmen vuoden keskiarvoa (noin 4 µg/m$^3$). Siilinjärven Sorakujalle mallinnettu vuosikeskiarvopitoisuus vastasi hyvin mitattua pitoisuutta eroten vain 5 %.

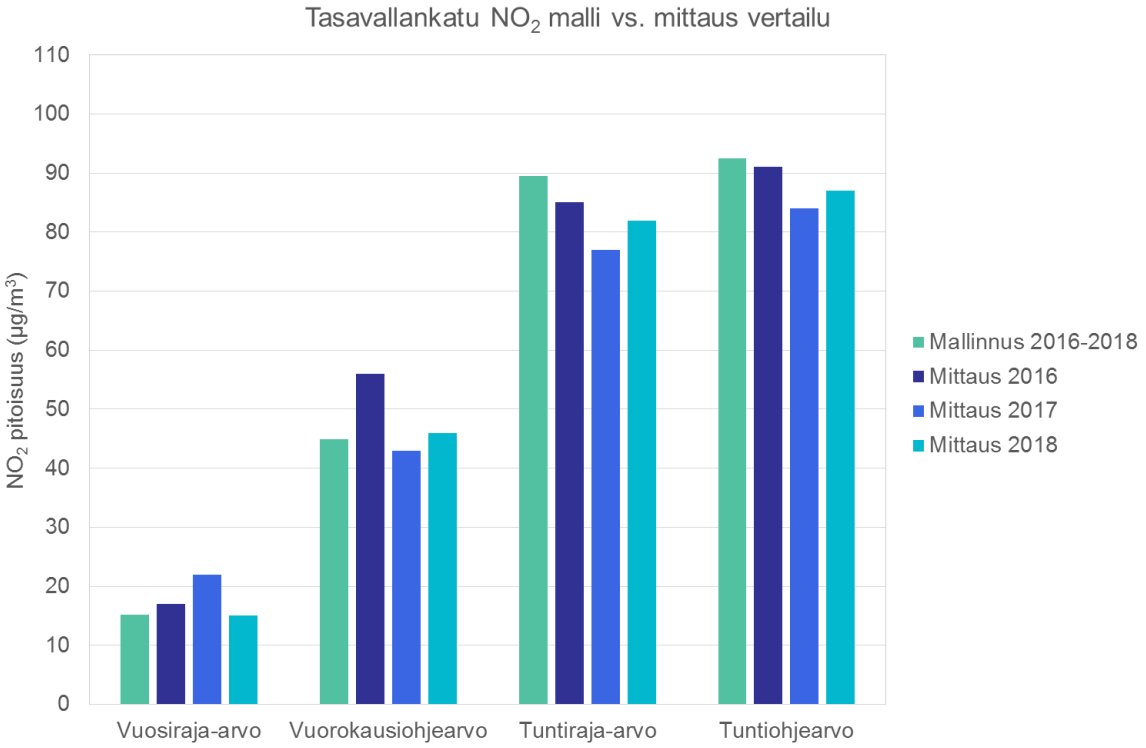
Hengitettävien hiukkasten malli-mittausvertailut on esitetty kuvissa 42–45. Mallintamisen laatutavoite hiukkasten vuosikeskiarvopitoisuuksille täyttyi selvästi kaikilla asemilla ollen 0–35 %. Leviämismalli arvioi hyvin Kuopion Kasarmipuiston ja Siilinjärven Sorakujan mittausasemien hengitettävien hiukkasten pitoisuudet. Leviämismalli aliarvioi korkeimpia lyhytaikaisia hiukkaspitoisuuksia erityisesti liikenneympäristöissä.



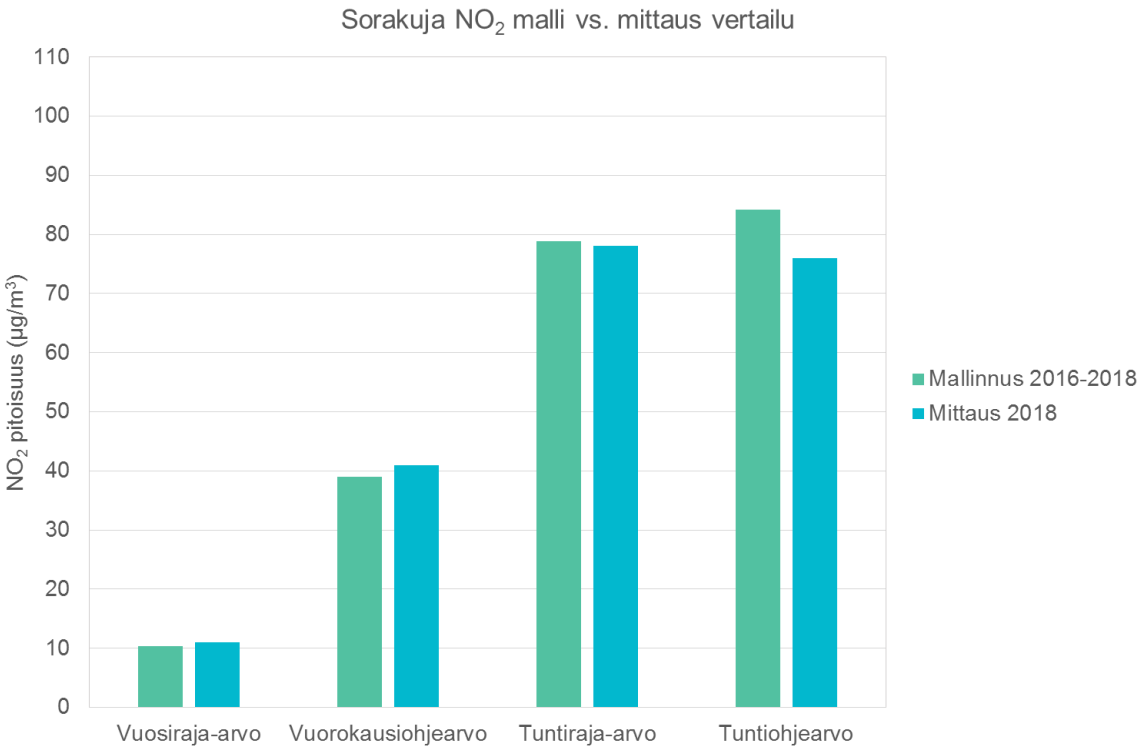

Kuva 35. Mallinnettujen ja mitattujen typpidioksidipitoisuuksien vertailu Kuopion Kasarmipuiston ilmanlaadun mittausasemalla.



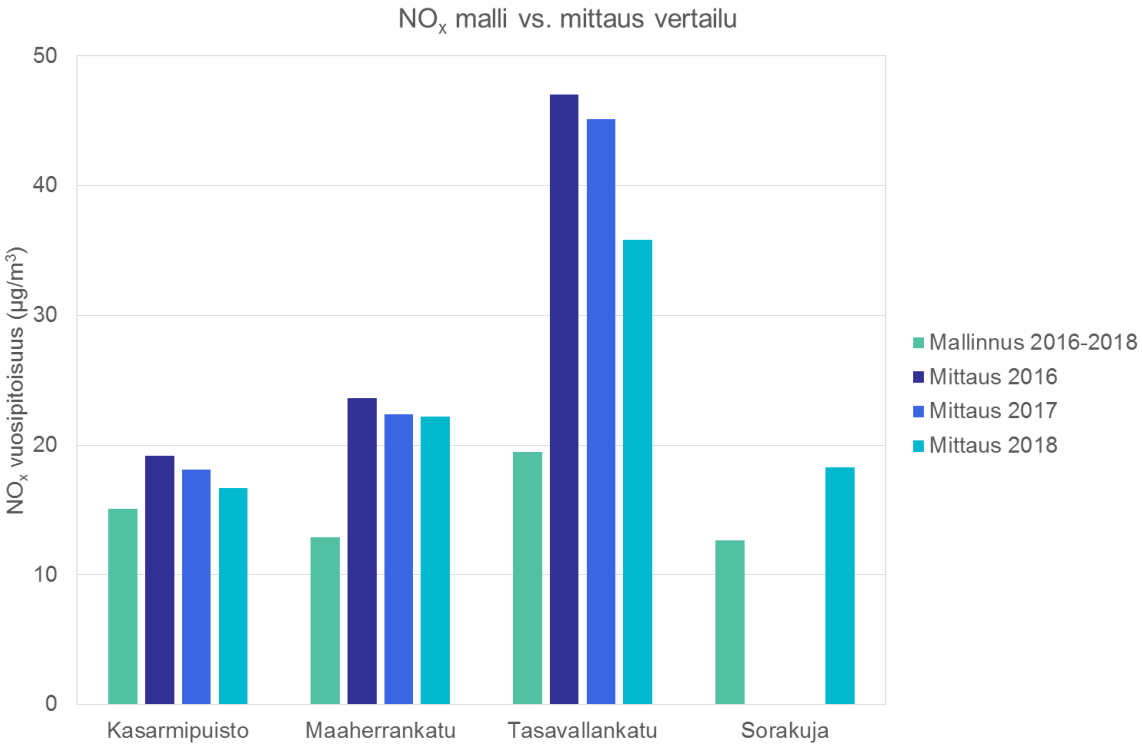

Kuva 36. Mallinnettujen ja mitattujen typpidioksidipitoisuuksien vertailu Kuopion Maaherrankadun ilmanlaadun mittausasemalla.



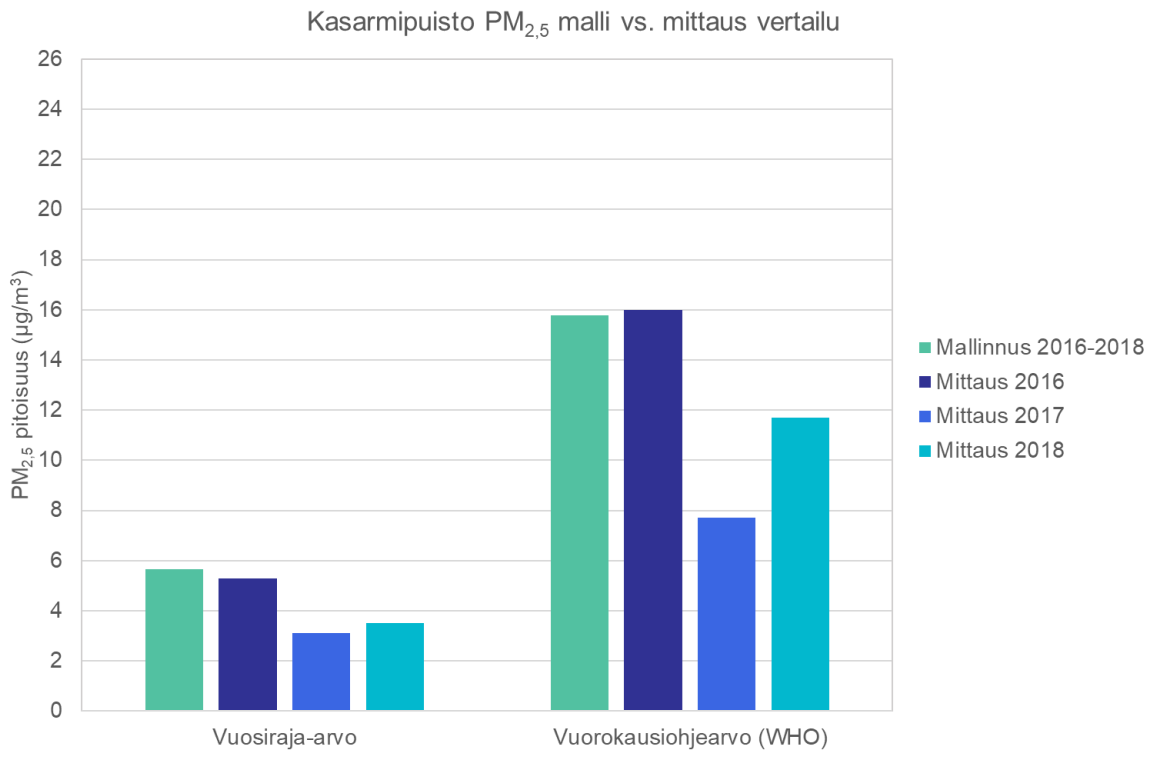

Kuva 37. Mallinnettujen ja mitattujen typpidioksidipitoisuuksien vertailu Kuopion Tasavallankadun ilmanlaadun mittausasemalla.



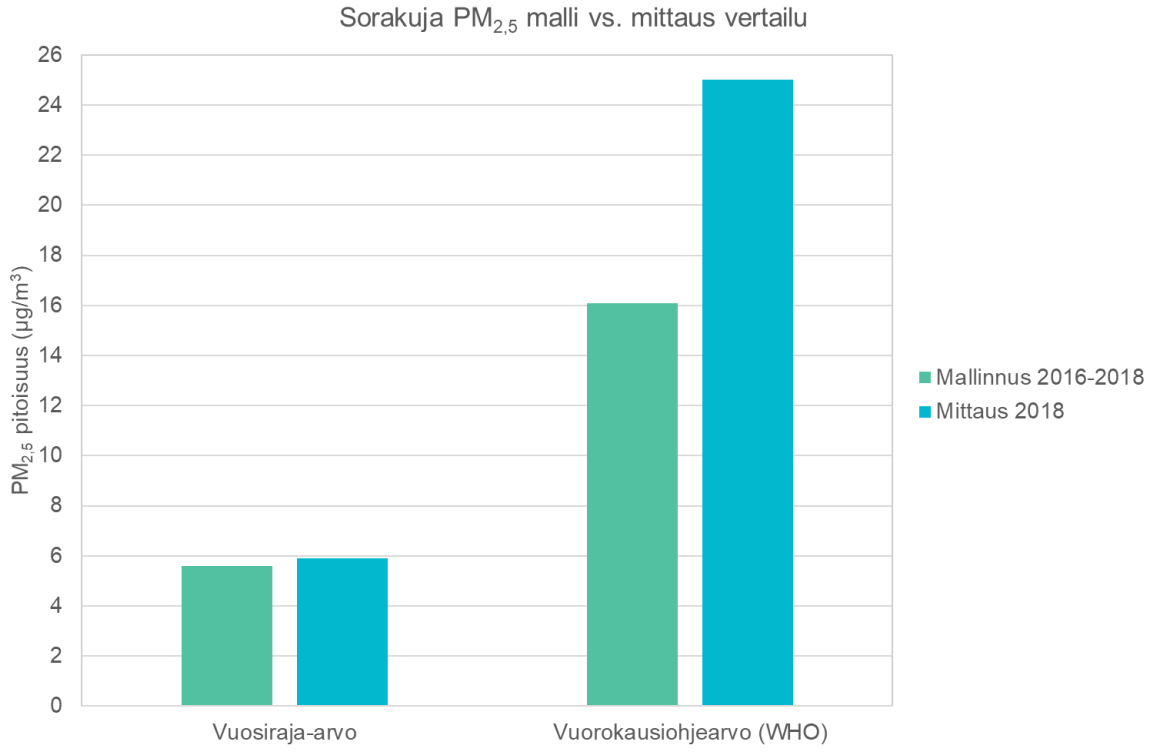

Kuva 38. Mallinnettujen ja mitattujen typpidioksidipitoisuuksien vertailu Siilinjärven Sorakujan ilmanlaadun mittausasemalla.



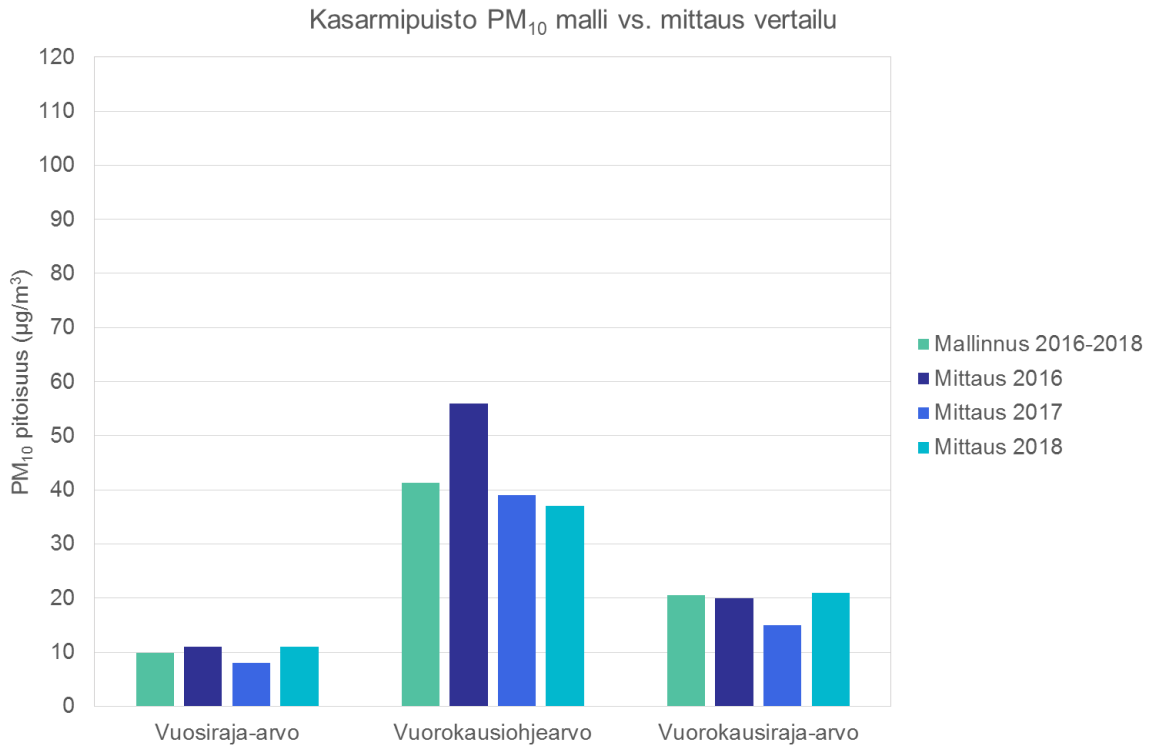

Kuva 39. Mallinnettujen ja mitattujen typen oksidien vuosipitoisuuksien vertailu Kuopion ja Siilinjärven ilmanlaadun mittausasemilla.



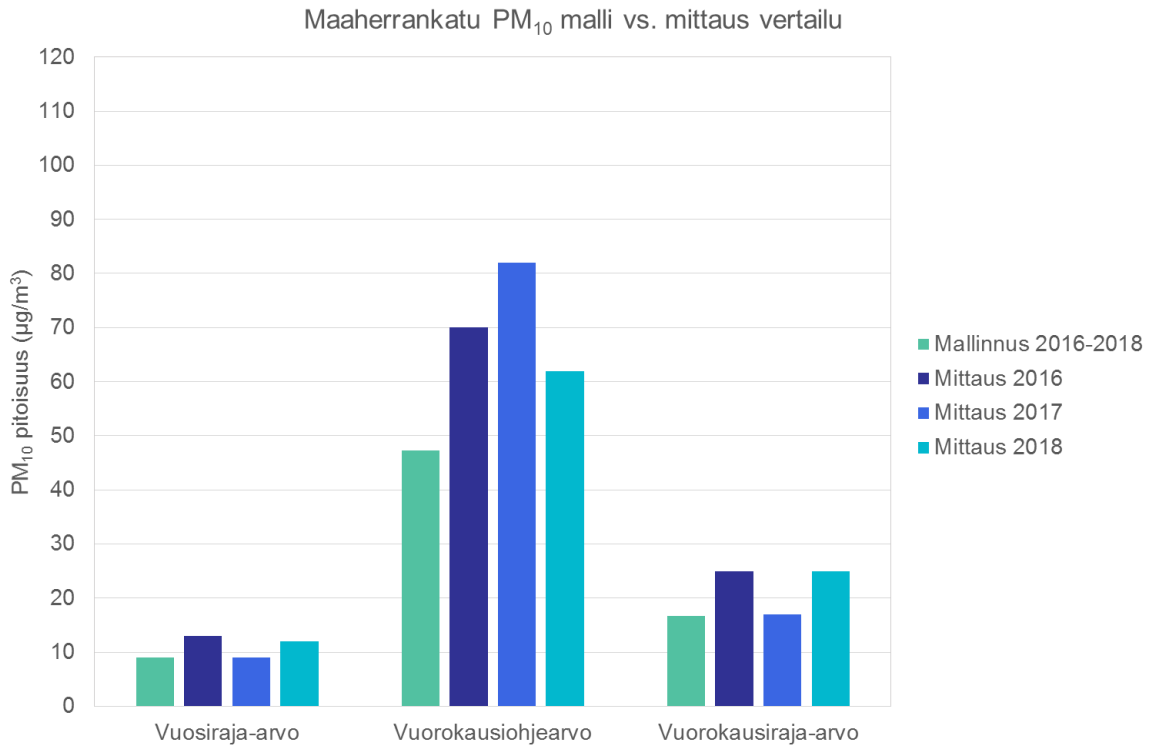

Kuva 40. Mallinnettujen ja mitattujen pienhiukkaspitoisuuksien vertailu Kuopion Kasarmipuiston ilmanlaadun mittausasemalla.



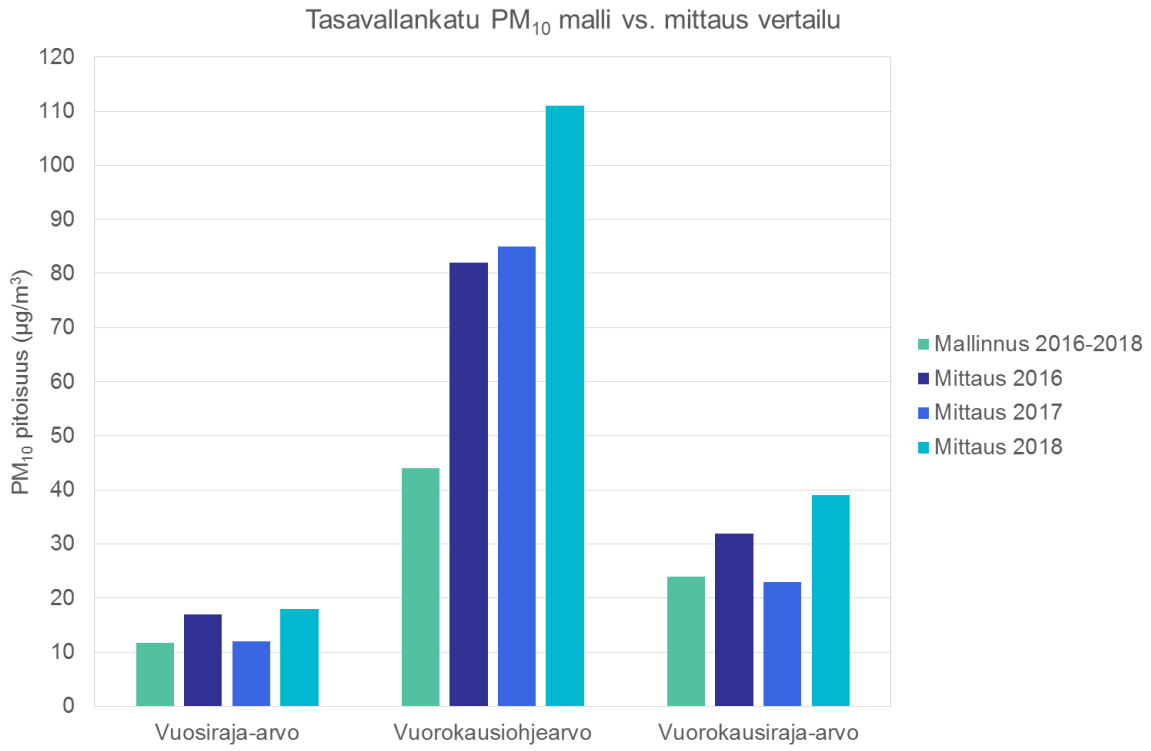

Kuva 41. Mallinnettujen ja mitattujen pienhiukkaspitoisuuksien vertailu Siilinjärven Sorakujan ilmanlaadun mittausasemalla.



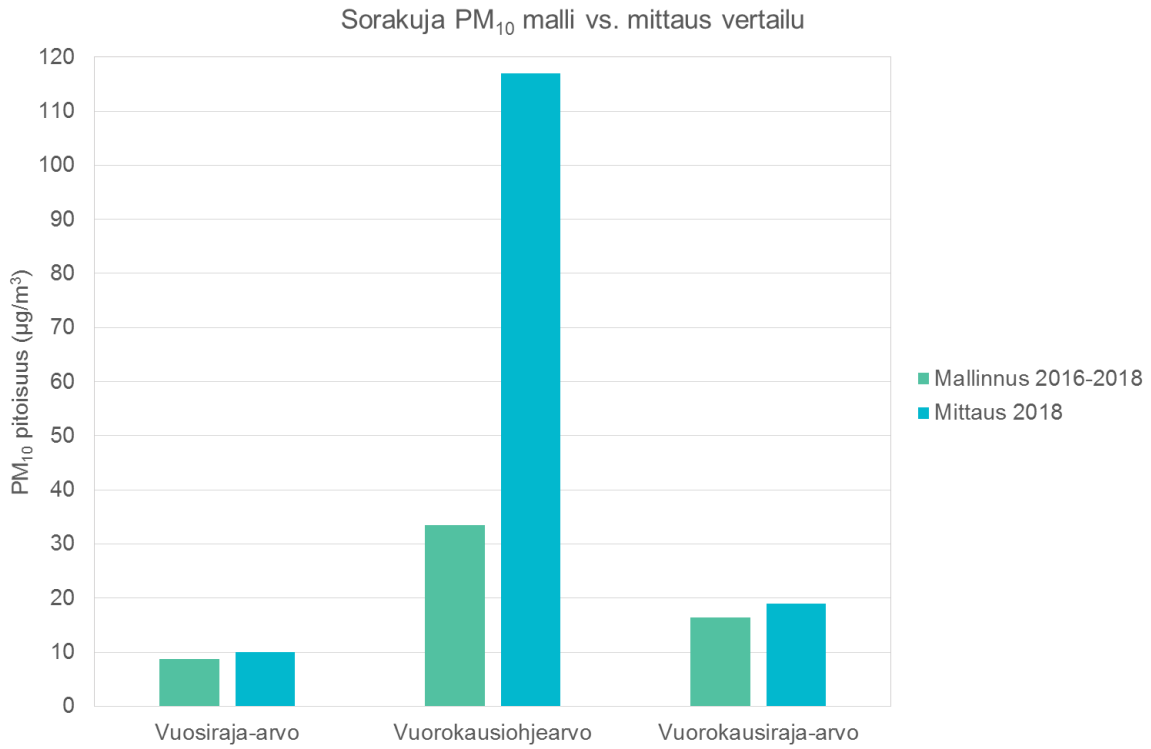

Kuva 42. Mallinnettujen ja mitattujen hengitettävien hiukkasten pitoisuuksien vertailu Kuopion Kasarmipuiston ilmanlaadun mittausasemalla.




Kuva 43. Mallinnettujen ja mitattujen hengitettävien hiukkasten pitoisuuksien vertailu Kuopion Maaherrankadun ilmanlaadun mittausasemalla.




Kuva 44. Mallinnettujen ja mitattujen hengitettävien hiukkasten pitoisuuksien vertailu Kuopion Tasavallankadun ilmanlaadun mittausasemalla.




Kuva 45. Mallinnettujen ja mitattujen hengitettävien hiukkasten pitoisuuksien vertailu Siilinjärven Sorakujan ilmanlaadun mittausasemalla.

Mallivertailun tulosten perusteella voidaan todeta, että leviämismallitulokset edustavat suurimmaksi osaksi hyvin Kuopion ja Siilinjärven ilmanlaatutilannetta eri alueilla. Mallitulosten epävarmuus kuitenkin kasvaa lyhytaikaisissa pitoisuuksissa vuosikeskiarvopitoisuuksiin verrattuna.

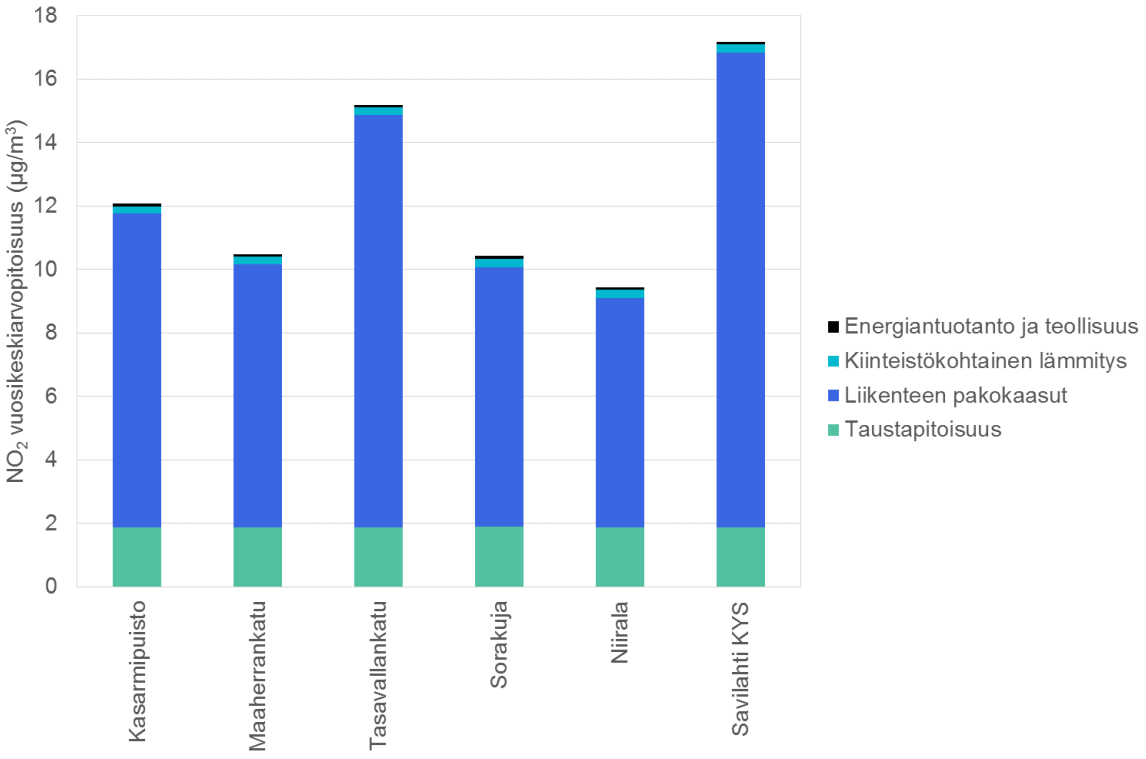
## 2.5 Eri päästölähteiden vaikutus ilmanlaatuun

Kuopion ja Siilinjärven ilmanlaadun mittauspisteisiin mallinnettujen pitoisuuksien avulla voitiin tarkastella eri päästölähdesektoreiden osuutta mallinnetuista epäpuhtauspitoisuuksista ja arvioida eri päästölähteiden vaikutusta ilmanlaatuun. Tarkastelussa on mukana kaksi uutta mittausasemaa, jotka eivät olleet mukana mallitulosten vertailussa mittaustuloksiin. Kuopion kaupunkitausta-aseman mittaukset siirrettiin Kasarmipuistosta Niiralaan vuoden 2019 alusta. Niirala on kaukolämpöverkon ulkopuolella olevalla pientaloalueella sijaitseva mittausasema, jossa hiukkaspitoisuuksiin vaikuttavat paikalliset puun pienpolton päästöt. Savilahti KYS mittausasema on myös aloittanut toimintansa vuoden 2019 alusta. Mittausasema edustaa Kuopion kaupunkialueen kuormitetuinta aluetta liikennepäästöjen suhteen, sillä sen vieressä kulkevat rinnakkain sekä Savilahdentie (KVL 18 000) että valtatie 5 (KVL 36 000).

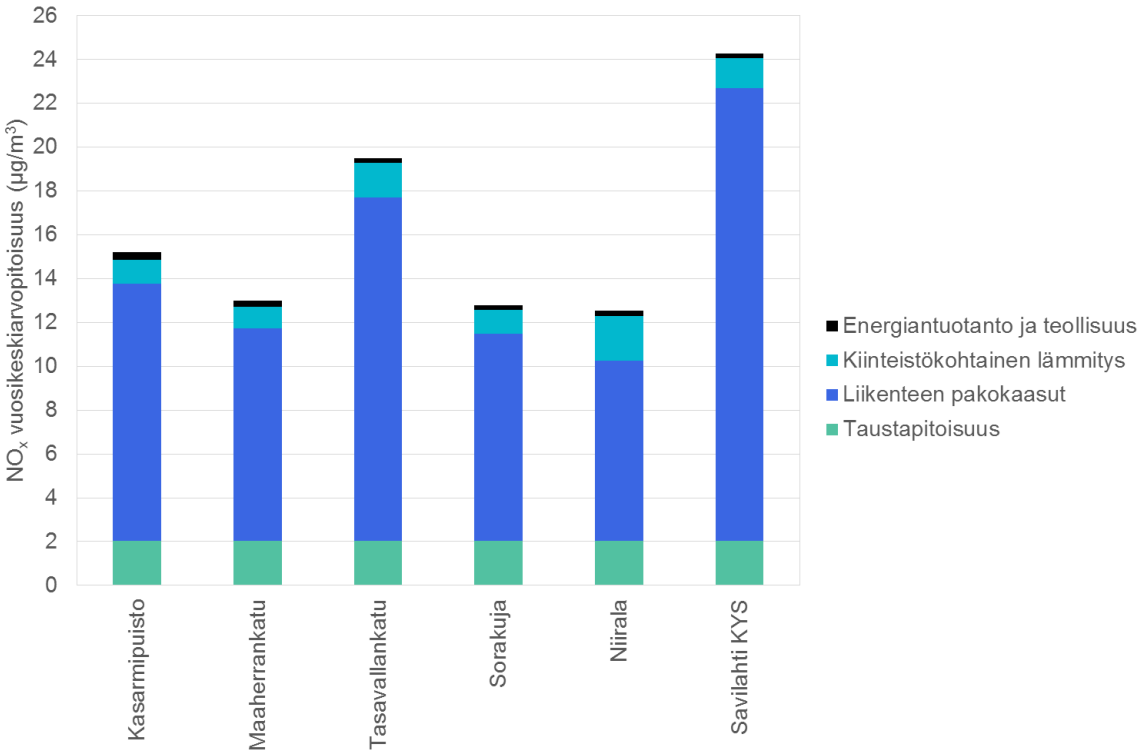
Kuvissa 46–49 on esitetty eri päästölähdesektoreiden osuus mallinnetuista typpidioksidin, typen oksidien, pienhiukkasten ja hengitettävien hiukkasten vuosikeskiarvopitoisuuksista. Liikenteen pakokaasupäästöt vaikuttavat eniten typpidioksidin ja typen oksidien pitoisuuksiin. Mittausaseman ympäristöstä riippuen liikenteen päästöjen vaikutusosuus on noin 75–90 % typpidioksidipitoisuuksista ja noin 65–85 % typenoksidipitoisuuksista. Suurimmillaan liikennepäästöjen vaikutusosuus on vilkkaasti liikennöityjen Tasavallankadun ja Savilahti KYS:n mittausasemien kohdalla. Kiinteistökohtaisen lämmityksen osuus on 2–3 % typpidioksidipitoisuuksista ja 6–16 % typenoksidipitoisuuksista. Pienpolton osuus oli selvästi suurin pientaloalueella sijaitsevassa Niiralassa. Muilla ilmanlaadun mittausasemilla osuus oli alle 10 % typenoksidipitoisuuksista. Energiantuotannon ja teollisuuden vaikutusosuus on alle 1 % typpidioksidipitoisuuksista ja 1–2 % typenoksidipitoisuuksista. Typen oksien taustapitoisuus on noin 10–20 % kokonaispitoisuuksista.

Kaukokulkeuma ja taustapitoisuudet aiheuttavat suurimman osan pienhiukkaspitoisuuksista (60–75 %). Kiinteistökohtainen lämmitys vaikuttaa pientaloympäristöissä liikennepäästöjä enemmän pienhiukkaspitoisuuksiin. Pienpolton osuus mallinnetuista pienhiukkaspitoisuuksista on 12−23 %. Liikenteen pakokaasupäästöjen vaikutusosuus on 7–17 % ja katupölyn 2–6 %. Ainoastaan liikennepäästöjen voimakkaasti kuormittamalla Savilahti KYS:n mittausasemalla liikennepäästöjen osuus on selvästi kiinteistökohtaisen lämmityksen osuutta suurempi. Energiantuotannon ja teollisuuden vaikutusosuus on alle 1 % pienhiukkaspitoisuuksista.

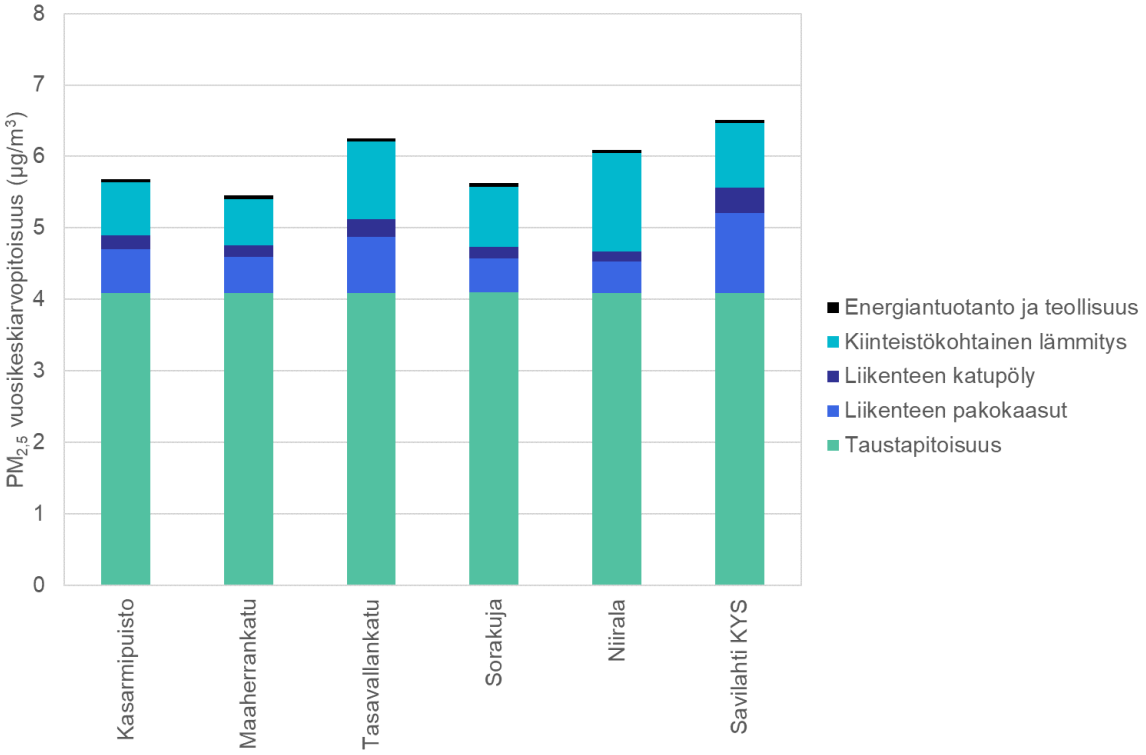
Hengitettävien hiukkasten pitoisuudesta taustapitoisuus muodostaa ympäristöstä riippuen noin 30–50 %. Päästölähdesektoreista katupöly vaikuttaa eniten hengitettävien hiukkasten pitoisuuksiin (noin 30–50 %). Vilkkaasti liikennöityjen Tasavallankadun ja Savilahti KYS:n mittausasemien kohdilla katupöly muodostaa 45–50 % hengitettävien hiukkasten pitoisuuksista. Liikenteen pakokaasupäästöjen vaikutusosuus on noin 5–10 %. Kiinteistökohtaisen lämmityksen osuus hiukkaspitoisuuksista on noin 10–15 % ollen korkeimmillaan Niiralassa. Energiantuotannon ja teollisuuden vaikutusosuus on alle 0,5 % hengitettävien hiukkasten pitoisuuksista.



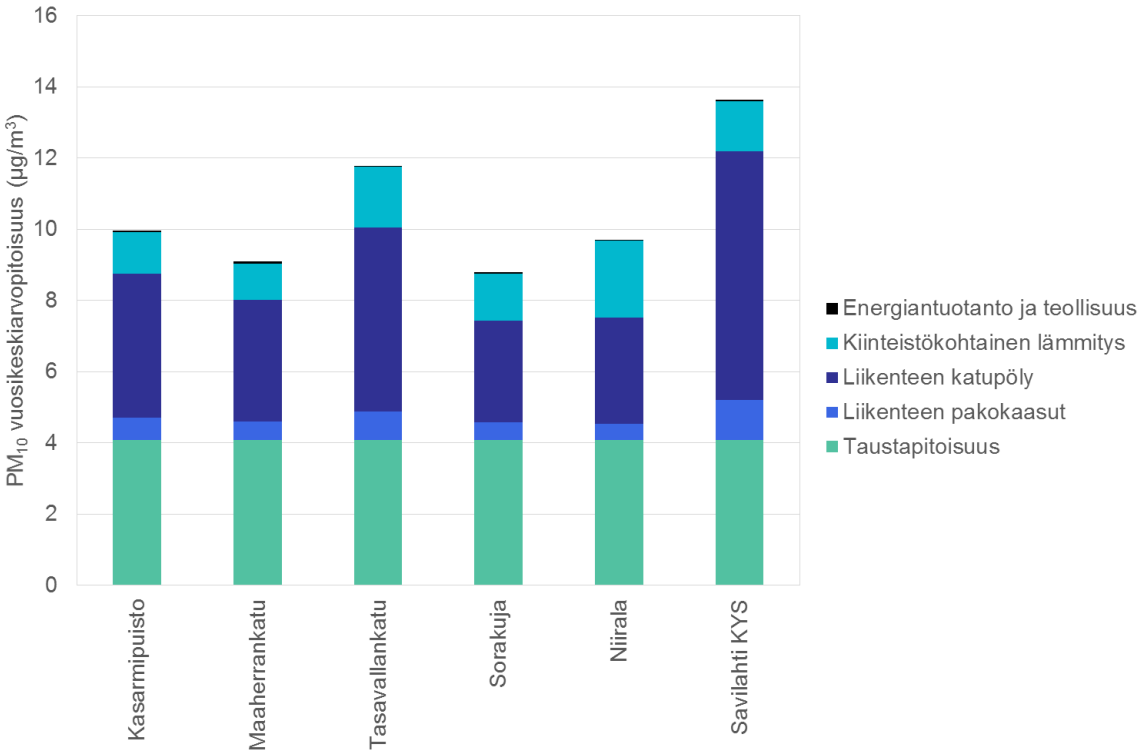

Kuva 46. Eri päästölähdesektoreiden osuus mallinnetuista typpidioksidin vuosikeskiarvopitoisuuksista ilmanlaadun mittauspisteissä vuonna 2017.




Kuva 47. Eri päästölähdesektoreiden osuus mallinnetuista typen oksidien vuosikeskiarvopitoisuuksista ilmanlaadun mittauspisteissä vuonna 2017.




Kuva 48. Eri päästölähdesektoreiden osuus mallinnetuista pienhiukkasten vuosikeskiarvopitoisuuksista ilmanlaadun mittauspisteissä vuonna 2017.

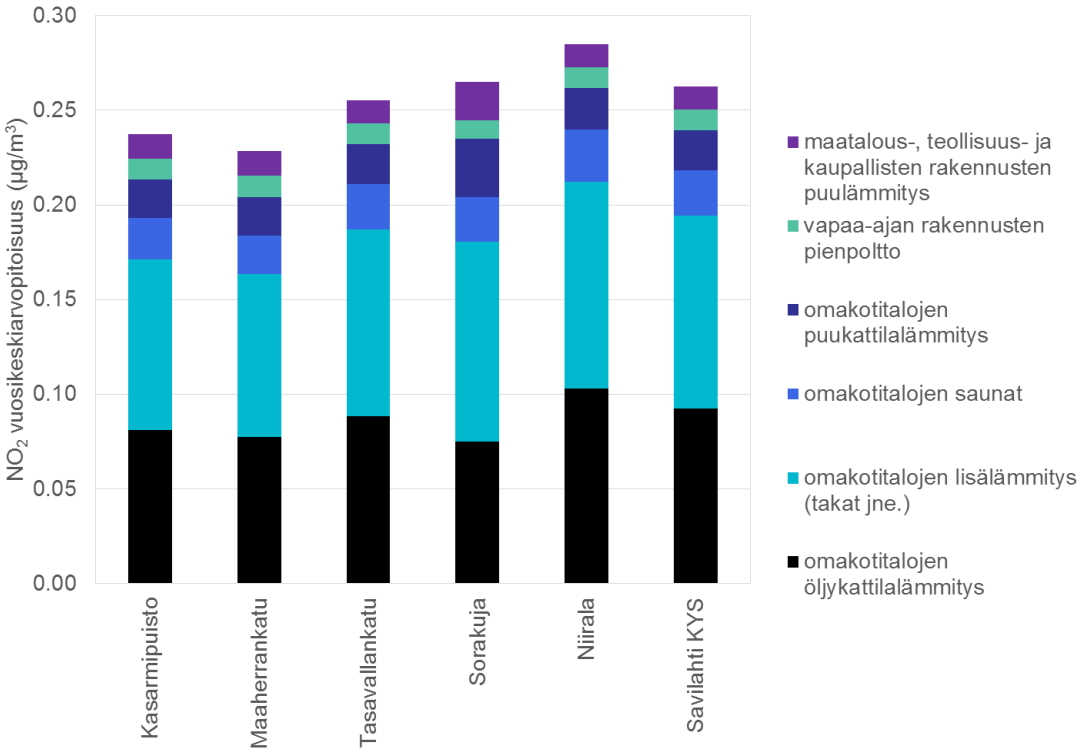



Kuva 49. Eri päästölähdesektoreiden osuus mallinnetuista hengitettävien hiukkasten vuosikeskiarvopitoisuuksista ilmanlaadun mittauspisteissä vuonna 2017.

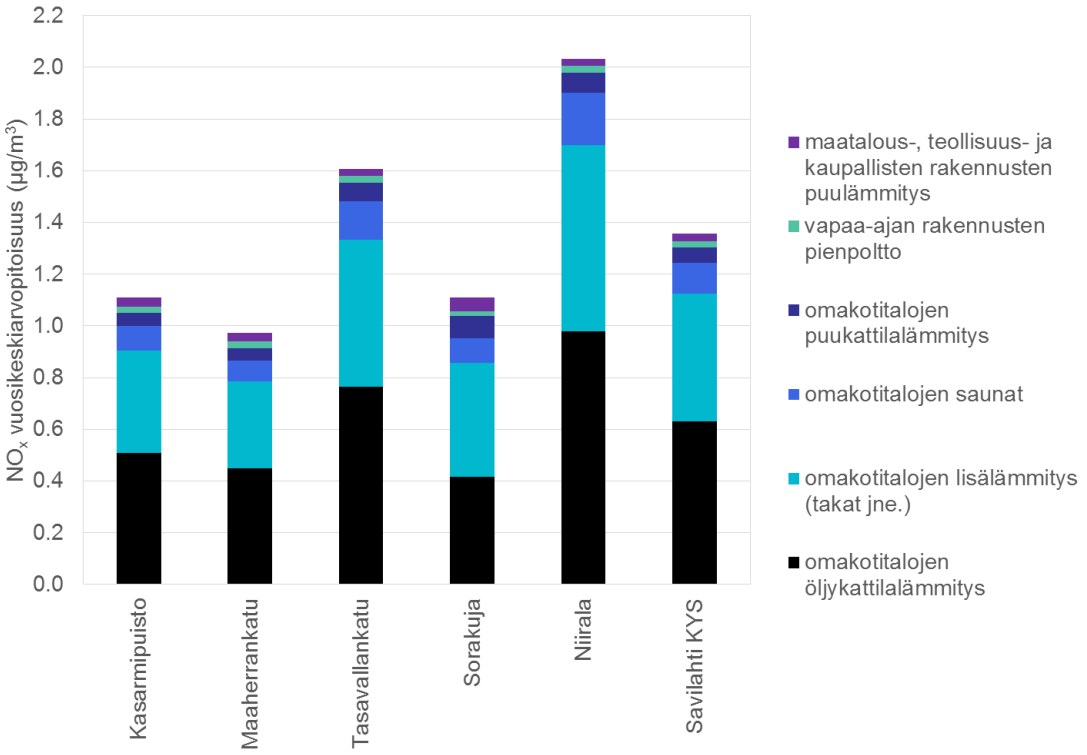
Kiinteistökohtainen lämmitys mallinnettiin erikseen erilaisille pienpolttosektoreille. Mukana mallilaskelmissa olivat omakotitalojen puukattilalämmitys, öljykattilalämmitys, saunat ja lisälämmitys, vapaa-ajan rakennusten pienpoltto sekä maatalous-, teollisuus- ja kaupallisten rakennusten puulämmitys. Seuraavassa on tarkasteltu eri pienpolttosektoreiden osuutta koko kiinteistökohtaisen lämmityksen aiheuttamista ilman epäpuhtauksien pitoisuuksista ilmanlaadun mittausasemien kohdilla (kuvat 50–53).

Kuvista käy ilmi, että pienpolton typenoksidi- ja hiukkaspäästöjen vaikutus on suurinta Niiralan ja Tasavallankadun mittausasemien kohdilla. Kiinteistökohtaisen lämmityksen aiheuttamista typpidioksidipitoisuuksista valtaosa muodostuu omakotitalojen öljylämmityksestä (noin 30–35 %) ja lisälämmityksestä kuten takoista (vajaa 40 %). Mallinnetuista typenoksidipitoisuuksista öljylämmityksen vaikutusosuus on noin 40–50 % ja lisälämmityksen noin 35–40 %. Omakotitalojen saunojen osuus on noin 10 % typpidioksidi- ja typenoksidipitoisuuksista.

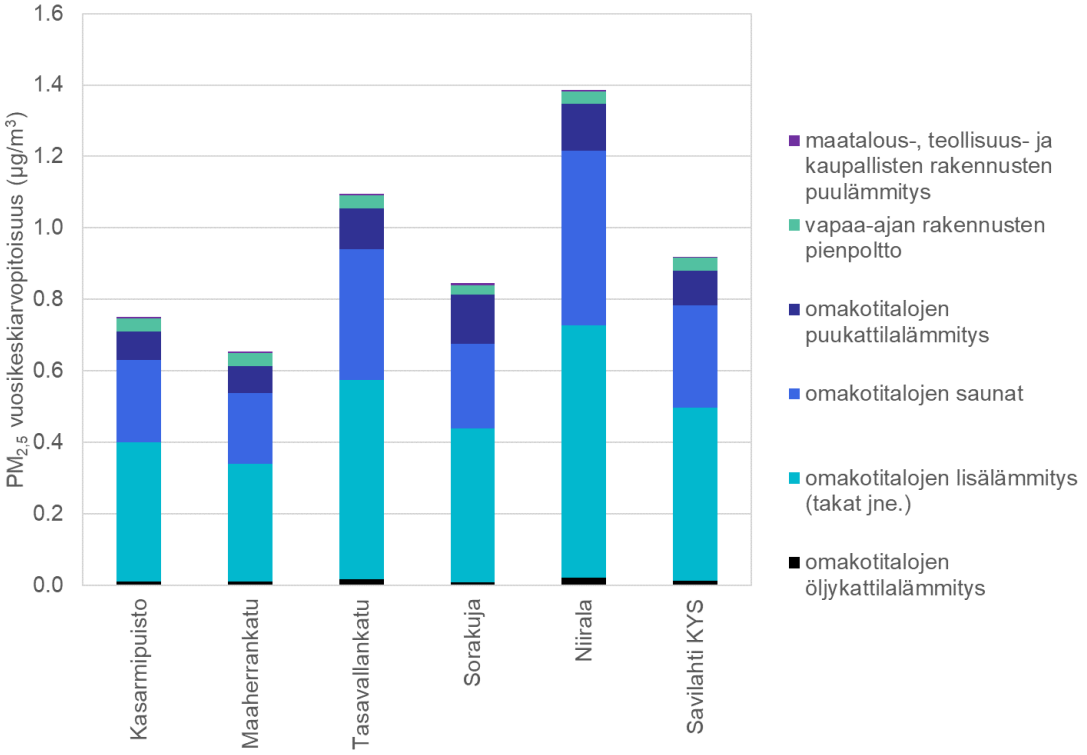
Kiinteistökohtaisen lämmityksen aiheuttamista pienhiukkasten ja hengitettävien hiukkasten pitoisuuksista yli puolet muodostuu omakotitalojen lisälämmityksestä. Saunojen päästöt aiheuttavat noin kolmasosan ja omakotitalojen puukattilalämmitys noin 10–15 % hiukkaspitoisuuksista. Omakotitalojen öljylämmityksen vaikutus hiukkaspitoisuuksiin on vain noin 1–2 %. On huomioitava, että vapaa-ajan rakennusten pienpolton sekä maatalous-, teollisuus- ja kaupallisten rakennusten puunpolton vaikutus on pieni näiden keskusta-alueilla sijaitsevien ilmanlaadun mittausasemien kohdilla, mutta paikallinen vaikutus kyseisten päästölähteiden lähialueilla voi olla merkittävä.



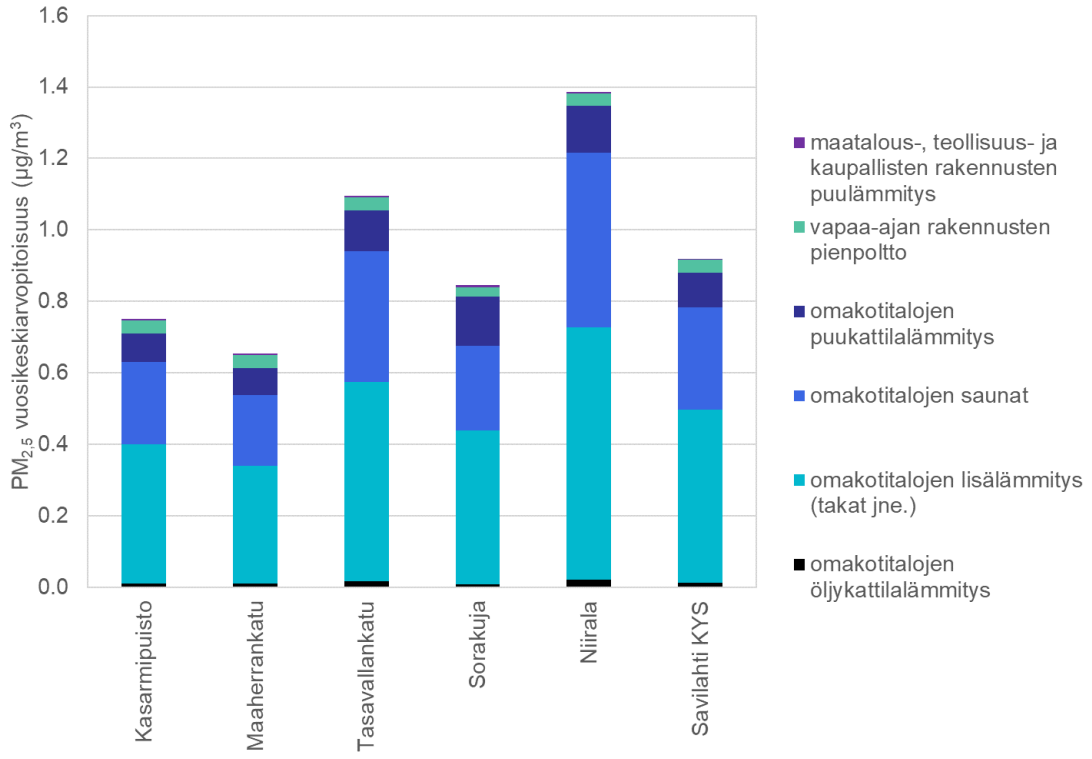

Kuva 50. Kiinteistökohtaisen lämmityksen eri päästölähteiden osuus mallinnetuista typpidioksidin vuosikeskiarvopitoisuuksista ilmanlaadun mittauspisteissä vuonna 2017.




Kuva 51. Kiinteistökohtaisen lämmityksen eri päästölähteiden osuus mallinnetuista typen oksidien vuosikeskiarvopitoisuuksista ilmanlaadun mittauspisteissä vuonna 2017.




Kuva 52. Kiinteistökohtaisen lämmityksen eri päästölähteiden osuus mallinnetuista pienhiukkasten vuosikeskiarvopitoisuuksista ilmanlaadun mittauspisteissä vuonna 2017.

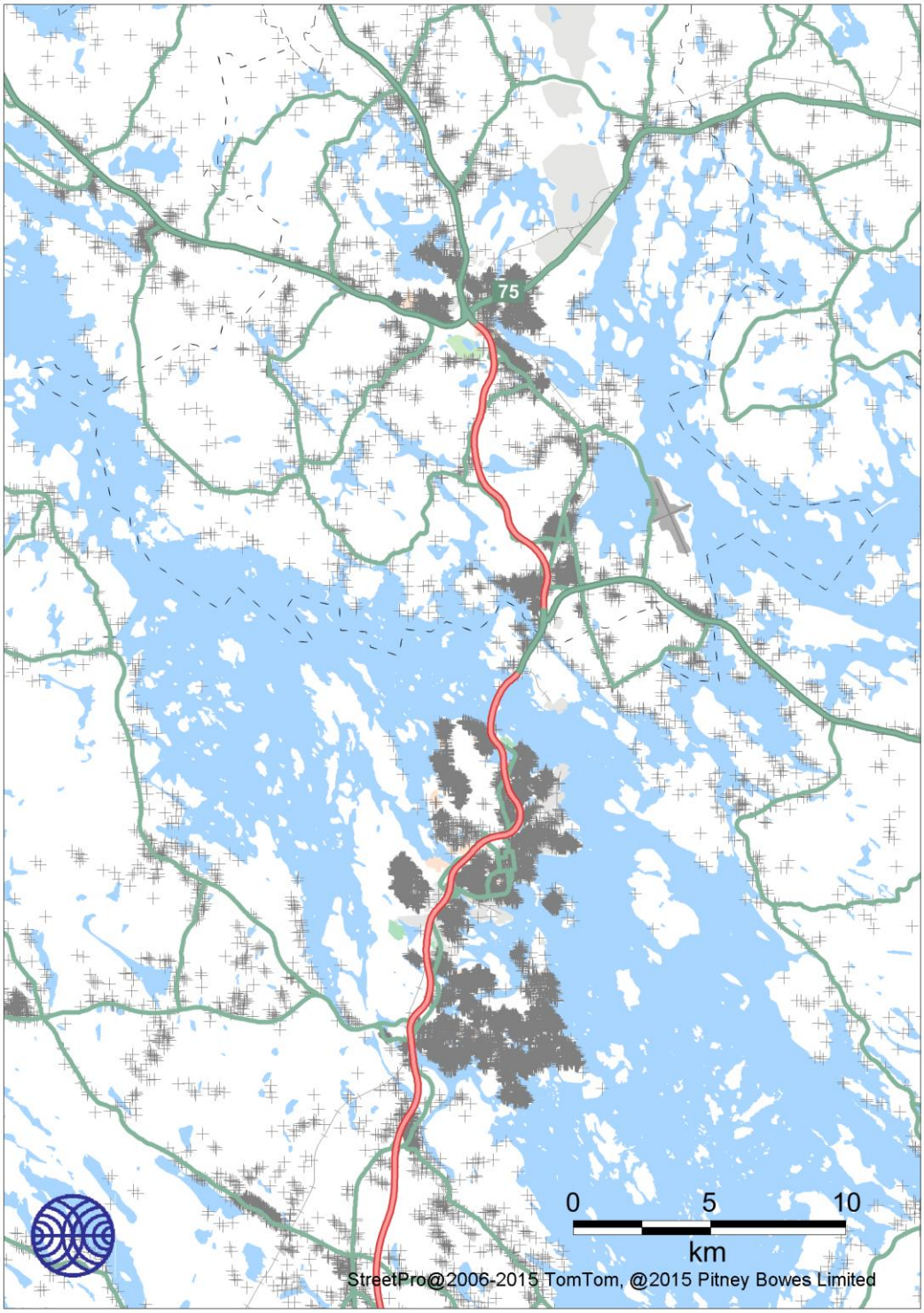



Kuva 53. Kiinteistökohtaisen lämmityksen eri päästölähteiden osuus mallinnetuista hengitettävien hiukkasten vuosikeskiarvopitoisuuksista ilmanlaadun mittauspisteissä vuonna 2017.

## 2.6 Asukkaiden altistuminen ilman epäpuhtauksille

Leviämismallitulosten perusteella tarkasteltiin Kuopiossa ja Siilinjärvellä asuvien asukkaiden altistumista ilman epäpuhtauksille vuosina 2017 ja 2035. Altistumista arvioitiin selvittämällä eri ilman epäpuhtauksien pitoisuustasoille altistuvien asukkaiden määrät. Altistumisen arvioinnissa hyödynnettiin mallinnettuja typpidioksidin, typen oksidien, pienhiukkasten ja hengitettävien hiukkasten vuosikeskiarvopitoisuuksia. Tarkastelu tehtiin koko tarkastelualueen kattavissa 250 m × 250 m ruuduissa laskemalla yhteen rakennuksissa asuvien asukkaiden määrät ja keskiarvoistamalla epäpuhtauksien pitoisuudet ruudun sisällä. Keskiarvoistaminen laimentaa vähän pitoisuuksia väylien varrella sijaitsevissa ruuduissa. Asukkaiden lukumäärät vastaavat vuoden 2019 tilannetta sekä nykytilanteen että tulevan tilanteen tarkastelussa. Rakennuksissa asuvien asukkaiden määrät on saatu Kuopion ja Siilinjärven kuntarekistereistä. Tiedot pohjautuvat Väestörekisterikeskuksen Rakennus- ja huoneistorekisteriin.

Kuopion virallinen asukaslukumäärä 31.12.2018 oli 118 664 asukasta ja Siilinjärven 21 674 asukasta. Yhteensä Kuopiossa ja Siilinjärvellä asuu 140 338 asukasta. Tässä ilmanlaatuselvityksessä keskityttiin kuntien taajama-alueisiin, joissa asuu yhteensä 115 628 asukasta. Kuopiossa tiivis asutus keskittyy keskustaan ja sitä ympäröiville asuinalueille sekä Petoselle ja Saaristokaupunkiin. Siilinjärvellä noin puolet asukkaista asuu kirkonkylällä ja neljännes Toivala-Vuorela -alueella. Kuvassa 54 on esitetty väestön jakaantuminen Kuopion ja Siilinjärven kuntien taajama-alueilla.




Kuva 54. Väestön jakaantuminen Kuopion ja Siilinjärven alueilla vuonna 2019.

Taulukossa 8 on kuvattu asukkaiden altistumista typpidioksidin ja typen oksidien vuosikeskiarvopitoisuuksille vuosina 2017 ja 2035. Korkeimmille typpidioksidipitoisuuksille altistuminen vähenee tulevassa tilanteessa nykyisillä asuinalueilla liikenteen pakokaasupäästöjen pienenemisen vuoksi, vaikka liikennemäärät tulevatkin kasvamaan. Yli 15 µg/m$^3$ ylittäville typpidioksidin vuosipitoisuuksille altistuu tarkastelualueella nykytilanteessa lähes 1 500 asukasta ja tulevassa tilanteessa reilu 500 asukasta. Nämä henkilöt asuvat Kuopiossa valtatie 5:n varrella Petosen ja Päivärannan välillä tai Siilinjärven Vuorelassa. Tulee kuitenkin huomioida, että Kuopiossa on suunnitteilla uutta asutusta moottoritien vaikutuspiirin mm. Savilahdessa, Opistotien ja Hannes Kolehmaisen kadun ympäristössä sekä keskustan alueella. Näiden täydennysrakentamisalueiden tulevia asukkaita ei ole tässä altistumisen arviossa mukana. Jos uudet asuinalueet toteutuvat, altistuvien määrät eivät välttämättä pienene.

Taulukko 8. Typpidioksidin ($NO_2$) ja typen oksidien ($NO_x$) eri pitoisuustasoille (µg/m$^3$) altistuvien henkilöiden lukumäärät yhteensä Kuopiossa ja Siilinjärvellä.

| $NO_2$ vuosikeskiarvo (µg/m$^3$) | 2017 | 2035 | $NO_x$ vuosikeskiarvo (µg/m$^3$) | 2017 | 2035 |
|---|---|---|---|---|---|
| < 5 | 34 689 | 35 843 | < 10 | 72 176 | 73 230 |
| 5–10 | 52 720 | 54 772 | 10–15 | 31 593 | 32 728 |
| 10–15 | 26 723 | 24 479 | 15–20 | 10 771 | 9 179 |
| 15–20 | 1 340 | 378 | 20–30 | 934 | 491 |
| 20–25 | 156 | 156 | 30–35 | 154 | 0 |
| Yhteensä | 115 628 | 115 628 | Yhteensä | 115 628 | 115 628 |

Taulukossa 9 on kuvattu asukkaiden altistumista pienhiukkasten ja hengitettävien hiukkasten vuosikeskiarvopitoisuuksille vuosina 2017 ja 2035. Pienhiukkaspitoisuuksille altistuminen vähenee tulevaisuudessa nykyisillä asuinalueilla liikenteen pakokaasujen ja pienpolton päästöjen pienenemisen vuoksi. Nykytilanteessa 6−7 µg/m$^3$ vuosipitoisuuksille altistuu lähes 4 300 asukasta valtatie 5:n varrella Petosen ja Vuorelan välillä sekä Niiralan ja Haapaniemen alueilla. Tulevassa tilanteessa vastaavalle pitoisuustasolle altistuu 554 asukasta valtatie 5:n varrella Leväsen ja Päivärannan välillä. Altistumisen arvioinnissa ei ole kuitenkaan mukana moottoritien läheisyyteen mahdollisesti toteutettavien uusien täydennysrakentamisalueiden asukkaita. Hengitettävien hiukkasten pitoisuuksille altistuminen lisääntyy tulevassa tilanteessa liikennemäärien kasvun ja siitä johtuvan katupölyn lisääntymisen vuoksi. Yli 15 µg/m$^3$ vuosipitoisuuksille altistuu nykytilanteessa 157 henkilöä ja tulevassa tilanteessa 227 henkilöä. Nykytilanteessa nämä henkilöt asuvat valtatie 5:n varrella Särkiniemen ja Puijonlaakson välillä ja ennustetilanteessa valtatie 5:n varrella Särkiniemen ja Peipposenrinteen välillä. Hengitettävien hiukkasten 10–15 µg/m$^3$ vuosikeskiarvopitoisuuksille altistuu nykytilanteessa lähes 12 000 henkilöä ja ennustetilanteessa noin 24 500 henkilöä valtatie 5:n varrella Petoselta Vuorelaan sekä Kuopion ja Siilinjärven keskustoissa.

Taulukko 9. Pienhiukkasten ($PM_{2,5}$) ja hengitettävien hiukkasten ($PM_{10}$) eri pitoisuustasoille ($\mu g/m^3$) altistuvien henkilöiden lukumäärät yhteensä Kuopiossa ja Siilinjärvellä.

| $PM_{2,5}$ vuosi-keskiarvo ($\mu g/m^3$) | 2017 | 2035 | $PM_{10}$ vuosi-keskiarvo ($\mu g/m^3$) | 2017 | 2035 |
|---|---|---|---|---|---|
| < 5 | 20 878 | 44 381 | < 5 | 5 393 | 6 728 |
| 5–6 | 90 463 | 70 693 | 5–10 | 98 301 | 84 165 |
| 6–7 | 4 287 | 554 | 10–15 | 11 777 | 24 508 |
| 7–8,5 | 0 | 0 | 15–20 | 157 | 227 |
| Yhteensä | 115 628 | 115 628 | Yhteensä | 115 628 | 115 628 |

Kuopiossa keskusta-alue ei ole ilmanlaadun kannalta kuormitetuinta aluetta vaan moottoritien ja kaupungin sisääntuloväylien varret (kuva Birgitta Komppula).

# 3 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tämän ilmanlaatuselvityksen tarkoituksena oli hankkia leviämislaskelmien avulla tietoa Kuopion ja Siilinjärven ilmanlaadusta ja sen alueellisesta vaihtelusta sekä eri päästölähteiden vaikutusosuudesta ilmanlaatuun. Mallitulosten perusteella arvioitiin myös asukkaiden altistumista ilman epäpuhtauksien eri pitoisuustasoille. Ilmanlaatuselvityksessä arvioitiin Kuopion ja Siilinjärven merkittävimpien päästölähteiden: autoliikenteen, kiinteistökohtaisen lämmityksen, energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen ilmanlaatuvaikutuksia nykytilanteessa vuonna 2017 ja vuoden 2035 ennustetilanteessa. Leviämismallilaskelmien avulla tarkasteltiin ulkoilman typpidioksidin, typen oksidien, pienhiukkasten ja hengitettävien hiukkasten pitoisuuksia hengityskorkeudella. Ilmanlaatuselvityksen tuloksina saatuja pitoisuuksia verrattiin ilmanlaadun raja- ja ohjearvoihin sekä ilmanlaadun mittausten tuloksiin.

Tässä ilmanlaatuselvityksessä leviämismallilaskelmilla arvioitiin pitoisuuksien muodostumista Kuopion ja Siilinjärven taajama-alueille sekä Nilsiän ja Tahkon kattavalle alueelle. Laajalle alueelle tehdyn leviämismallinnuksen tuloksia voidaan käyttää alueellisten ilmanlaatuvaikutusten arvioinnissa täydentämässä mittauksin saatua tietoa ilmanlaadusta ja sen vaihtelusta.

Leviämismallilaskelmat tehtiin Ilmatieteen laitoksella kehitetyillä päästöjen leviämismalleilla: liikenteen pakokaasupäästöjen leviämismallilla (CAR-FMI), katupölypäästöjen suspensiopäästömallilla sekä pistemäisten ja pintalähteiden leviämismallilla eli ns. kaupunkimallilla (UDM-FMI). Mallilaskelmissa otettiin huomioon päästölähteiden aiheuttamien pitoisuuksien lisäksi alueellinen taustapitoisuus. Mallinnuksessa käytettiin taustapitoisuutena Ilmatieteen laitoksen Ähtärin, Helsingin yliopiston Hyytiälän ja Kuopion Kasarmipuiston mittausasemien vuosien 2016–2018 havaintoja. Meteorologinen aineisto on koostettu Ilmatieteen laitoksen Kuopion Savilahden ja Ritoniemen sääasemien vuosien 2016–2018 mittaushavainnoista.

Leviämismallin lähtötietoina käytetyt päästöt kattoivat suurimman osan Kuopiossa ja Siilinjärvellä syntyvistä typen oksidien ja hiukkasten päästöistä. Ilmatieteen laitos laski autoliikenteen päästöt WSP Finland Oy:n toimittamien liikennemäärätietojen, Euroopan ympäristöviraston (EEA) tieliikenteen ajoneuvotyyppikohtaisten EURO-päästöluokka- ja nopeusriippuvaisten päästökertoimien sekä VTT:n LIPASTOn ajoneuvojakaumien perusteella. Autoliikenteen pienhiukkasten ja hengitettävien hiukkasten päästöt sisältävät autojen pakokaasuista peräisin olevat sekä katupölystä peräisin olevat hiukkaset. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöt ja muut tekniset tiedot pyydettiin suoraan toiminnanharjoittajilta. Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöt saatiin Suomen ympäristökeskuksen (SYKE) alueellisesta päästöjen skenaariomallista (FRES-malli) 250 × 250 m päästöruuduittain.

Epäpuhtauksien pitoisuuksia ulkoilmassa säädellään ilmanlaadun ohje- ja raja-arvoilla. Ilmanlaadun ohjearvot tulisi ottaa huomioon esimerkiksi liikennesuunnittelussa, kaavoituksessa, rakennusten sijoittelussa ja teknisissä ratkaisuissa, jolloin pyritään etukäteen välttämään ihmisten altistuminen terveydelle haitallisen korkeille ilman epäpuhtauksien pitoisuuksille. Terveysvaikutusperusteiset ilmanlaadun raja-arvot ovat ohjearvoja sitovampia, eivätkä ne saa ylittyä alueella, joilla asuu tai oleskelee ihmisiä. Esimerkiksi autoliikenteelle varatuilla väylillä raja-arvot eivät kuitenkaan ole voimassa.

Ilmanlaatuselvityksen tulosten mukaan ilmanlaadun raja-arvot alittuvat liikenneväylien ulkopuolella. Sen sijaan ilmanlaadun ohjearvot ylittyvät paikoitellen Kuopiota ja Siilinjärveä halkovan moottoritien (vt 5) läheisyydessä. Ilmanlaatu vaihtelee alueellisesti Kuopion ja Siilinjärven alueella. Heikointa ilmanlaatu on moottoritien ja sisääntuloväylien

varsilla sekä keskusta-alueilla. Parhainta ilmanlaatu on etäämpänä vilkkaimmista liikenneväylistä sijaitsevilla asuinalueilla, kuten Saaristokaupungissa.

Kaikkien tutkimuksessa huomioituen päästöjen sekä alueellisen taustapitoisuuden yhdessä aiheuttamat typpidioksidin kokonaispitoisuudet alittavat mallilaskelmien mukaan ilmanlaadun raja-arvot, mutta voivat ylittää ohjearvot. Typpidioksidin vuorokausiohjearvoon verrannolinen pitoisuus voi ylittyä epäedullisissa meteorologisissa tilanteissa pienellä alueella valtatie 5:n ja Tasavallankadun/Savilahdentien risteysalueella. Suurin vaikutus alueen typpidioksidin ja typen oksidien pitoisuustasoihin on autoliikenteen päästöillä. Tulevaisuudessa typpidioksidipitoisuudet pienenevät moottoritekniikan kehityksen ja päästörajoitusten vuoksi, vaikka liikennemäärät kasvavat ennusteen mukaan vilkkaimilla väylillä noin 20 %.

Pienhiukkasten vuosikeskiarvopitoisuudet alittavat raja-arvon ja WHO:n ohjearvon selvästi koko Kuopion ja Siilinjärven alueella. Pienhiukkaspitoisuudet ovat suurimmillaan valtatie 5:n varrella olevilla pientaloalueilla Särkiniemen ja Päivärannan välillä sekä Siilinjärven kirkonkylällä ja Vuorelassa. Nämä alueet ovat sekä autoliikenteen että kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen vaikutusalueella. Pienhiukkaspitoisuuksille annettu WHO:n vuorokausiohjearvo ylittyy valtatie 5:n vilkkaimmilla risteysalueilla. Suurin vaikutus pienhiukkasten pitoisuuksiin on taustapitoisuudella, mistä suurin osa on kaukokulkeutuneita pienhiukkasia. Pienhiukkaspitoisuudet tulevat alenemaan tulevaisuudessa liikenteen, pienpolton sekä energiantuotannon päästöjen pienentyessä.

Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet kohoavat etenkin katupölykaudella vilkkaasti liikennöityjen väylien läheisyydessä. Mallilaskelmien mukaan hengitettävien hiukkasten vuosiraja-arvo alittuu, mutta vuorokausiraja-arvo voi ylittyä valtatie 5:llä. Liikenneväylien ulkopuolella raja-arvo kuitenkin alittuu. Vuorokausiohjearvoon verrannolliset pitoisuudet ylittävät ohjearvon Kuopion ja Siilinjärven halkaisevan valtatie 5:n varrella Kuopion Petoselta Siilinjärven Vuorelaan. Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet tulevat lisääntymään tulevaisuudessa noin 10−15 % liikennemäärien kasvaessa, sillä moottoritekniikan kehitys ei vaikuta katupölyn muodostukseen. Hengitettävien hiukkasten korkeiden pitoisuuksien muodostumiseen voidaan merkittävästi vaikuttaa katujen talvikunnossapidolla sekä oikea-aikaisella hiekanpoistolla ja pölynsidonnalla.

Ilmanlaatuselvityksessä arvioitiin nykytilanteen lisäksi myös ilmanlaatua vuoden 2035 ennustetilanteessa. Tulevaisuuden autoliikenteen päästöjen ennustamiseen sisältyy tällä hetkellä useita epävarmuustekijöitä liittyen esimerkiksi autoliikenteen sähköistymisen kehittymiseen. Todennäköistä on, että päästöt pienenevät tulevaisuudessa, kun ajoneuvojen moottoritekniikka kehittyy ja päästörajoitukset tiukkenevat. Tässä ilmanlaatuselvityksessä on käytetty konservatiivista lähestymistapaa, kun mallinnuksen pohjana on käytetty tulevan tilanteen tarkastelussa vuoden 2035 liikennemääräennustetta sekä vuoden 2020 ajoneuvojakaumaa ja päästökertoimia. On kuitenkin hyvin todennäköistä, että ajoneuvokannan kehitys vähäpäästöisempään suuntaan pienentää pitoisuuksia ja että vuonna 2035 pitoisuudet ovat nyt mallinnettuja pitoisuuksia matalampia. Mallinnuksessa on käytetty taustapitoisuutena nykytilanteen pitoisuutta, joka myös todennäköisesti alenee tulevaisuudessa.

Selvityksessä tarkasteltiin eri päästölähteiden vaikutusosuutta ilman epäpuhtauksien pitoisuuksista. Autoliikenne vaikuttaa selvästi eniten typpidioksidin ja typen oksidien pitoisuuksiin. Kaukokulkeuma ja taustapitoisuudet aiheuttavat suurimman osan pienhiukkaspitoisuuksista. Päästölähteistä kiinteistökohtainen lämmitys ja liikenne aiheuttavat merkittävän lisän pienhiukkasten taustapitoisuuksiin pientaloalueilla ja liikenneväylien vaikutusalueella. Pienpolton hiukkaspäästöjen aiheuttamista

hiukkaspitoisuuksista yli puolet muodostuu omakotitalojen lisälämmityksestä kuten takoista, kolmasosa saunoista ja noin 10–15 % omakotitalojen puukattilalämmityksestä. Katupöly vaikuttaa eniten hengitettävien hiukkasten pitoisuuksiin.

Asukkaiden altistumista arvioitiin selvittämällä eri ilman epäpuhtauksien pitoisuustasoille altistuvien asukkaiden määrät. Kuopion ja Siilinjärven ilmanlaatuun vaikuttaa merkittävästi kunnat halkaiseva valtatie 5. Asukkaat altistuvat korkeimmille ilman epäpuhtauksien pitoisuuksille valtatie 5:n varrella sijaitsevilla asuinalueilla. Epäpuhtauspitoisuudet ja altistuminen ovat moottoritien varrella suurempia kuin Kuopion ja Siilinjärven keskustoissa. Korkeimmille typpidioksidi- ja pienhiukkaspitoisuuksille altistuminen vähenee tulevassa tilanteessa nykyisillä asuinalueilla liikenteen pakokaasupäästöjen ja pienpolton hiukkaspäästöjen pienentyessä. On kuitenkin huomioitava, että Kuopiossa on suunnitteilla täydennysrakentamishankkeita moottoritien vaikutuspiiriin. Uusien asuinalueiden mahdollisesti toteutuessa altistuminen ei välttämättä pienene. Hengitettävien hiukkasten pitoisuuksille altistuminen lisääntyy tulevassa tilanteessa liikennemäärien kasvun ja siitä johtuvan katupölyn lisääntymisen vuoksi.

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 laitosten lyhytaikaisten päästövaihteluiden kuvaaminen. Mallilaskelmien tulosten ja käytettyjen lähtötietojen edustavuutta arvioitiin vertaamalla mallinnettuja tuloksia Kuopion kaupungin ilmanlaadun mittausasemien vuosien 2016–2018 mittaustuloksiin. Mallinnuksen ja mittausten epävarmuudet huomioiden voidaan typpidioksidin, pienhiukkasten ja hengitettävien hiukkasten malli- ja mittaustulosten arvioida olevan hyvin yhteensopivia ja täyttävän mallintamisen epävarmuudelle asetetut laatutavoitteet.

Mallilaskelmien tulosten perusteella voidaan arvioida, että ilmanlaatu Kuopion ja Siilinjärven alueella on pääsääntöisesti hyvää. Ilmanlaatuun vaikuttavat merkittävimmin katupöly, kiinteistökohtaisen lämmityksen hiukkaspäästöt, autoliikenteen typenoksidi- ja pienhiukkaspäästöt sekä pienhiukkasten kaukokulkeuma. Teollisuuden ja energiantuotannon päästöjen vaikutus ilmanlaatuun on pieni, vaikka päästömäärät ovat huomattavia. Laitosten päästöt vapautuvat pääasiassa korkeista piipuista, jolloin ne leviävät ja laimenevat tehokkaasti eivätkä heikennä ilmanlaatua hengityskorkeudella.

# OSA II

## 4 TAUSTATIETOA ILMANLAADUSTA

### 4.1 Ilmanlaatuun vaikuttavat tekijät

Ilmanlaatua heikentävien ilman epäpuhtauksien suurimpia päästölähteitä Suomessa ovat liikenne, energiantuotanto, teollisuus ja puun pienpoltto. Ilmansaasteita kulkeutuu Suomeen myös kaukokulkeumana 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 ilmamassojen mukana laajoille alueille. Tämän kulkeutumisen aikana ilmansaasteet voivat reagoida keskenään sekä muiden ilmassa olevien yhdisteiden kanssa muodostaen uusia yhdisteitä. Ilmansaasteet poistuvat ilmasta sateen huuhtomina (märkälaskeuma), kuivalaskeumana erilaisille pinnoille tai kemiallisen muutunnan kautta.

Ilmansaasteiden leviäminen tapahtuu pääosin ilmakehän alimmassa osassa, rajakerroksessa. Sen korkeus on Suomessa tyypillisesti alle kilometri, mutta varsinkin kesällä se voi nousta yli kahteen kilometriin. Matalimmat rajakerroksen korkeudet havaitaan yleensä talvella kovilla pakkasilla. Rajakerroksen korkeus määrää ilmatilavuuden, johon päästöt voivat välittömästi sekoittua. Rajakerroksen tuuliolosuhteet määräävät karkeasti ilmansaasteiden 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 liikenneruuhkien aikana, koska ilmansaasteet kerääntyvät matalaan ilmakerrokseen päästölähteiden lähelle.

### 4.2 Typpidioksidi

Typen yhdisteitä vapautuu päästölähteistä ilmaan typen oksideina eli typpimonoksidina (NO) ja typpidioksidina ($NO_2$). Näistä yhdisteistä terveysvaikutuksiltaan haitallisempaa on typpidioksidi, jonka pitoisuuksia ulkoilmassa säädellään ilmanlaadun ohje- ja raja-

arvoilla. Typpidioksidin määrään ilmassa vaikuttavat myös kemialliset muutuntareaktiot, joissa typpimonoksidi hapettuu typpidioksidiksi.

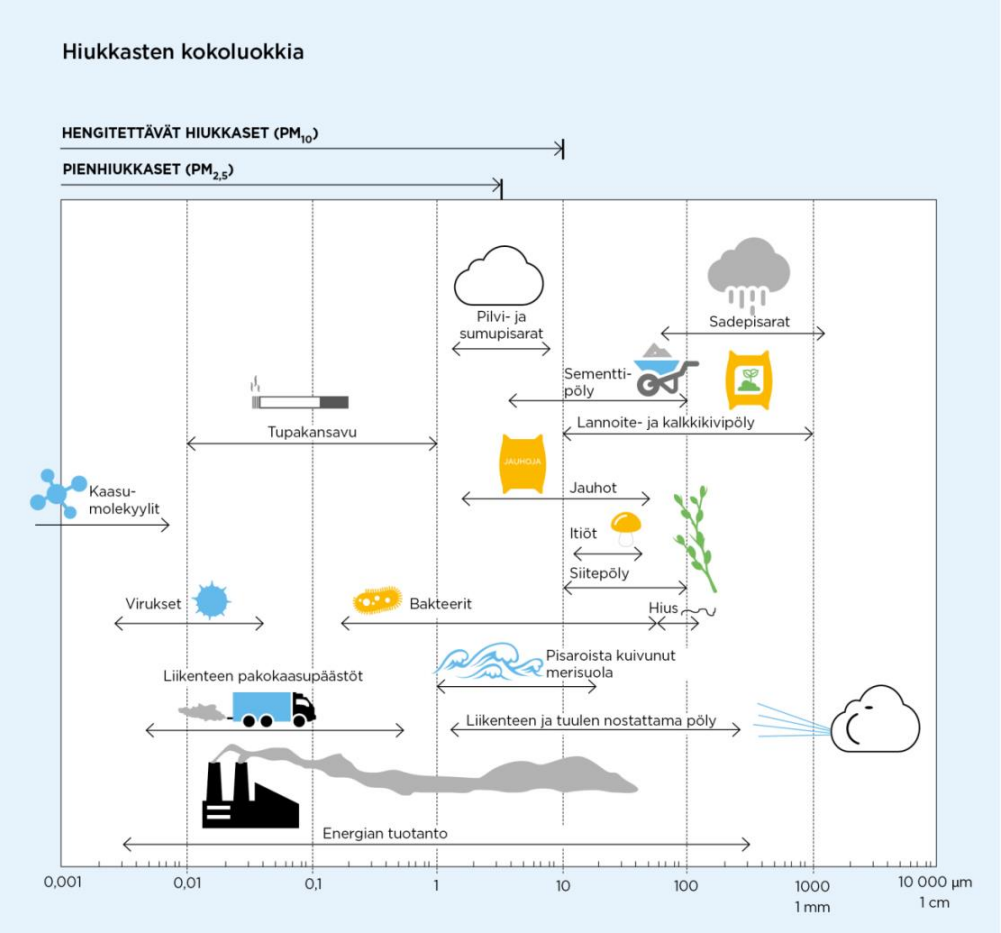
Ulkoilman typpidioksidipitoisuuksille altistuminen on suurinta kaupunkien keskustojen ja taajamien liikenneympäristöissä. Typpidioksidipitoisuudet kohoavat tyypillisesti ruuhka-aikoina. Korkeimmillaan typpidioksidipitoisuudet ovat erityisesti tyyninä ja kylminä talvipäivinä, jolloin myös energiantuotannon päästöt ovat suurimmillaan. Taajamien ja kaupunkien korkeimmat typpidioksidipitoisuudet aiheuttaa pääasiassa ajoneuvoliikenne, vaikka energiantuotannon ja teollisuuden aiheuttamat päästöt (pistemäiset päästölähteet) olisivat määrällisesti jopa suurempia autoliikenteeseen verrattuna. Ihmiset altistuvat helposti liikenteen päästöille, sillä autojen pakokaasupäästöt vapautuvat hengityskorkeudelle.

Typpidioksidin vuosiraja-arvo 40 µg/m$^3$ alittuu nykyisin Suomessa. Typpidioksidin vuosikeskiarvopitoisuudet ovat olleet viime vuosina suurimmissa kaupungeissa keskimäärin 15−25 µg/m$^3$. Vilkkaimmilla teillä ja katukuiluosuuksilla vuosipitoisuudet voivat olla yli 30 µg/m$^3$. Pienissä ja keskisuurissa kaupungeissa typpidioksidin vuosikeskiarvot ovat yleensä noin 5−20 µg/m$^3$ mittausympäristöstä riippuen. Typpidioksidin tuntipitoisuudet voivat kohota yli raja-arvotason (200 µg/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 1,5–4 µg/m$^3$ ja Pohjois-Suomessa noin 1 µg/m$^3$ (*Ilmatieteen laitos, 2019*).

## 4.3 Hiukkaset

Ulkoilman hiukkaset ovat nykyisin merkittävimpiä ilmanlaatuun vaikuttavia tekijöitä Suomen kaupungeissa. Pienhiukkasia pidetään haitallisimpana ilmaperäisenä ympäristötekijänä ihmisten terveydelle. Ulkoilman hiukkaset ovat taajamissa peräisin autojen pakokaasuista, energiantuotannon ja teollisuuden prosesseista ja puun pienpoltosta. Nämä hiukkaspäästöt ovat pääasiassa pieniä hiukkasia. Keväisin ja syksyisin hiukkaspitoisuuksia kohottaa katupöly eli epäsuorat hiukkaspäästöt (ns. resuspensio). Hiukkasiin on sitoutunut myös erilaisia haitallisia yhdisteitä kuten hiilivetyjä ja raskasmetalleja. Liikenteen vaikutukset korostuvat matalan päästökorkeuden vuoksi.

Ulkoilman hiukkasten koko on yhteydessä niiden aiheuttamiin erilaisiin vaikutuksiin. Suurempien hiukkasten korkeat pitoisuudet vaikuttavat merkittävimmin viihtyvyyteen ja aiheuttavat likaantumista. Terveysvaikutuksiltaan haitallisempia ovat ns. hengitettävät hiukkaset ja pienhiukkaset, jotka kykenevät tunkeutumaan syvälle ihmisten hengitysteihin. Hengitettävien hiukkasten halkaisija on alle 10 mikrometriä ($PM_{10}$) ja pienhiukkasten halkaisija on alle 2,5 mikrometriä ($PM_{2,5}$). Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet kohoavat erityisesti keväällä, jolloin jauhautunut hiekoitushiekka ja asfalttipöly nousevat ilmaan kuivilta kaduilta liikenteen nostattamana. Katupölyä esiintyy myös syksyllä talvirengaskauden alussa, kun tiet ovat vielä lumettomia sekä rakennustyömaiden läheisyydessä. Pienhiukkaset ovat pääasiassa peräisin suorista autoliikenteen ja teollisuuden päästöistä ja kaukokulkeumasta, jonka lähde voi olla esimerkiksi metsä- ja maastopalot. Hiukkasten kokoluokkia on havainnollistettu kuvassa 55.




Kuva 55. Hiukkasten kokoluokkia. Hiukkasten koko ilmaistaan halkaisijana mikrometreissä (µm). Mikro (µ) etuliite tarkoittaa miljoonasosaa. 1 µm on siten metrin miljoonasosa eli millimetrin tuhannesosa.

Suurimmat hiukkaspitoisuudet esiintyvät vilkkaasti liikennöidyissä kaupunki-keskustoissa. Suomessa hiukkaspitoisuudet kohoavat yleensä voimakkaasti keväällä maalis-huhtikuussa, kun maanpinnan kuivuessa tuuli ja liikenne nostattavat talven aikana kertynyttä katupölyä ilmaan. Hengitettävien hiukkasten vuorokausipitoisuuksille asetettu raja-arvotaso (50 µg/m$^3$) ylittyy mittausasemilla noin 0–25 kertaa vuoden aikana. Vuorokausiraja-arvotason ylityksiä saa olla mittausasemalla 35 kappaletta vuodessa, ennen kuin raja-arvo katsotaan ylittyneeksi. Hengitettävien hiukkasten vuorokausipitoisuudelle annettu raja-arvo on ylittynyt vain Helsingin keskustassa, viimeksi vuonna 2006. Katupölyn muodostumiseen voidaan merkittävästi vaikuttaa oikea-aikaisella katujen siivouksella ja kunnossapidolla sekä pölynsidonnalla.

Hengitettävien hiukkasten vuosikeskiarvopitoisuudelle annettu raja-arvo 40 µg/m$^3$ alittuu Suomessa. Hengitettävien hiukkasten pitoisuuden vuosikeskiarvot ovat olleet viime vuosina suurimmissa kaupungeissa noin 10–20 µg/m$^3$. Vilkkaimmilla teillä ja katukuiluosuuksilla vuosipitoisuudet voivat olla yli 20 µg/m$^3$. Pienissä ja keskisuurissa kaupungeissa vuosikeskiarvot ovat noin 6−15 µg/m$^3$ mittausympäristöstä riippuen. Puhtailla tausta-alueilla vuosikeskiarvopitoisuudet ovat olleet Etelä-Suomessa noin 9 µg/m$^3$ ja Pohjois-Suomessa noin 3–5 µg/m$^3$ (*Ilmatieteen laitos, 2019*).

Pienhiukkaspitoisuuden vuosikeskiarvolle määritetty raja-arvo 25 µg/m$^3$ alittuu selvästi kaikkialla Suomessa. Viime vuosina pienhiukkasten vuosikeskiarvopitoisuus on ollut pääkaupunkiseudun kaupunkialueilla noin 5–8 µg/m$^3$ ja muilla kaupunkialueilla noin 3−7 µg/m$^3$. Pitoisuuserot erityyppisten mittausympäristöjen välillä ovat muutamia mikrogrammoja. Puhtailla tausta-alueilla vuosikeskiarvopitoisuudet ovat olleet Etelä-Suomessa noin 4–6 µg/m$^3$ ja Pohjois-Suomessa noin 2–3 µg/m$^3$ (*Ilmatieteen laitos, 2019*). Pienhiukkasten taustapitoisuudesta valtaosa on kaukokulkeutunutta hiukkasainesta. Kaukokulkeuma muodostaa huomattavan osan myös kaupunki-ilman pienhiukkaspitoisuuksista.

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

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

## 4.5 Ulkoilmanlaadun raja- ja ohjearvot

Leviämismallilaskelmilla tai ilmanlaadun mittauksilla saatuja ilman epäpuhtauksien pitoisuuksia voidaan arvioida vertaamalla niitä ilmanlaadun ohje- ja raja-arvoihin. EU-maissa voimassa olevat raja-arvot ovat sitovia ja ne eivät saa ylittyä alueilla, joissa asuu tai oleskelee ihmisiä. Raja-arvot eivät ole voimassa esimerkiksi teollisuusalueilla tai liikenneväylillä, lukuun ottamatta kevyen liikenteen väyliä. Kansalliset ilmanlaadun ohjearvot eivät ole yhtä sitovia kuin raja-arvot, mutta niitä käytetään esimerkiksi kaupunkisuunnittelun tukena ja ilman pilaantumisen vaaraa aiheuttavien toimintojen sijoittamisessa. Tavoitteena on ennalta ehkäistä ohjearvojen ylittyminen sekä taata hyvän ilmanlaadun säilyminen.

Raja-arvot määrittelevät ilmansaasteille sallitut korkeimmat pitoisuudet. Raja-arvoilla pyritään vähentämään tai ehkäisemään terveydelle ja ympäristölle haitallisia vaikutuksia. Raja-arvon ylittyessä kunnan on tiedotettava väestöä ja tehtävä ohjelmia ja suunnitelmia ilmanlaadun parantamiseksi ja raja-arvon ylitysten estämiseksi. Tällaisia toimia voivat olla esimerkiksi määräykset liikenteen tai päästöjen rajoittamisesta. Ilman epäpuhtauksien aiheuttamien terveyshaittojen ehkäisemiseksi ulkoilman typpidioksidin, pienhiukkasten ja hengitettävien hiukkasten pitoisuudet eivät saisi ylittää taulukon 10 raja-arvoja alueilla, joilla ihmiset saattavat altistua ilmansaasteille.

Taulukko 10. Terveyshaittojen ehkäisemiseksi annetut ulkoilman typpidioksidin, pienhiukkasten ja hengitettävien hiukkasten pitoisuuksia koskevat raja-arvot (*Vna 79/2017*).

| Ilman epäpuhtaus | Keskiarvon laskenta-aika | Raja-arvo µg/m$^3$ (293 K, 101,3 kPa) | Sallittujen ylitysten määrä kalenteri-vuodessa |
|---|---|---|---|
| Typpidioksidi ($NO_2$) | 1 tunti | 200 [1)] | 18 |
| | kalenterivuosi | 40 [1)] | – |
| Hengitettävät hiukkaset ($PM_{10}$) | 1 vuorokausi | 50 [2)] | 35 |
| | kalenterivuosi | 40 [2)] | – |
| Pienhiukkaset ($PM_{2,5}$) | kalenterivuosi | 25 [2)] | – |

[1)] Tulokset ilmaistaan lämpötilassa 293 K ja paineessa 101,3 kPa.
[2)] Tulokset ilmaistaan ulkoilman lämpötilassa ja paineessa.

Ilmanlaadun ohjearvot on otettava huomioon suunnittelussa ja niitä sovelletaan mm. alueiden käytön, kaavoituksen, rakentamisen ja liikenteen suunnittelussa ja ympäristölupaharkinnassa. Ohjearvojen soveltamisen avulla pyritään ehkäisemään ilmansaasteiden aiheuttamia terveysvaikutuksia. Suomessa voimassa olevat ulkoilman typpidioksidin ja hengitettävien hiukkasten pitoisuuksia koskevat ilmanlaadun ohjearvot on esitetty taulukossa 11. Lisäksi taulukossa esitetään WHO:n suosituksenomaiset ohjearvot pienhiukkasten vuorokausipitoisuudelle ja vuosipitoisuudelle (*WHO, 2006*).

Taulukko 11. Ulkoilman typpidioksidin, hengitettävien hiukkasten ja pienhiukkasten pitoisuuksia koskevat ilmanlaadun ohjearvot (*Vnp 480/1996, WHO, 2006*).

| Ilman epäpuhtaus | Ohjearvo µg/m$^3$ | Tilastollinen määrittely |
|---|---|---|
| Typpidioksidi ($NO_2$) | 150 [1)] | Kuukauden tuntiarvojen 99. prosenttipiste |
| | 70 [1)] | Kuukauden toiseksi suurin vuorokausiarvo |
| Hengitettävät hiukkaset ($PM_{10}$) | 70 [1)] | Kuukauden toiseksi suurin vuorokausiarvo |
| Pienhiukkaset ($PM_{2.5}$) | 25 [2)] | Suurin vuorokausikeskiarvo |
| | 10 [2)] | Vuosikeskiarvo |

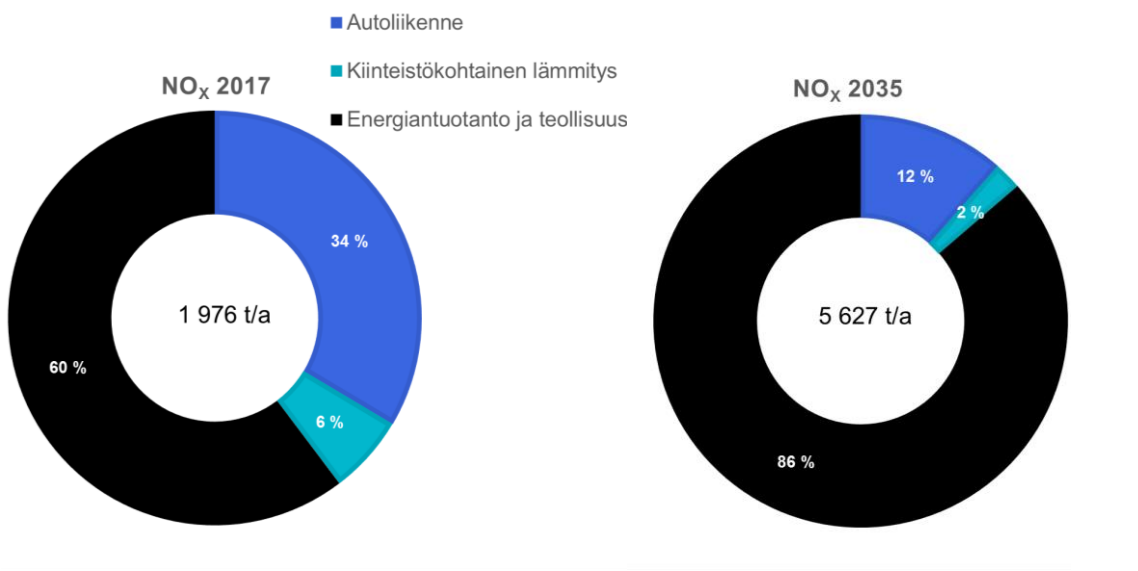
[1)] Tulokset ilmaistaan lämpötilassa 293 K ja paineessa 101,3 kPa.
[2)] WHO

# 5 LEVIÄMISMALLILASKELMIEN LÄHTÖTIEDOT

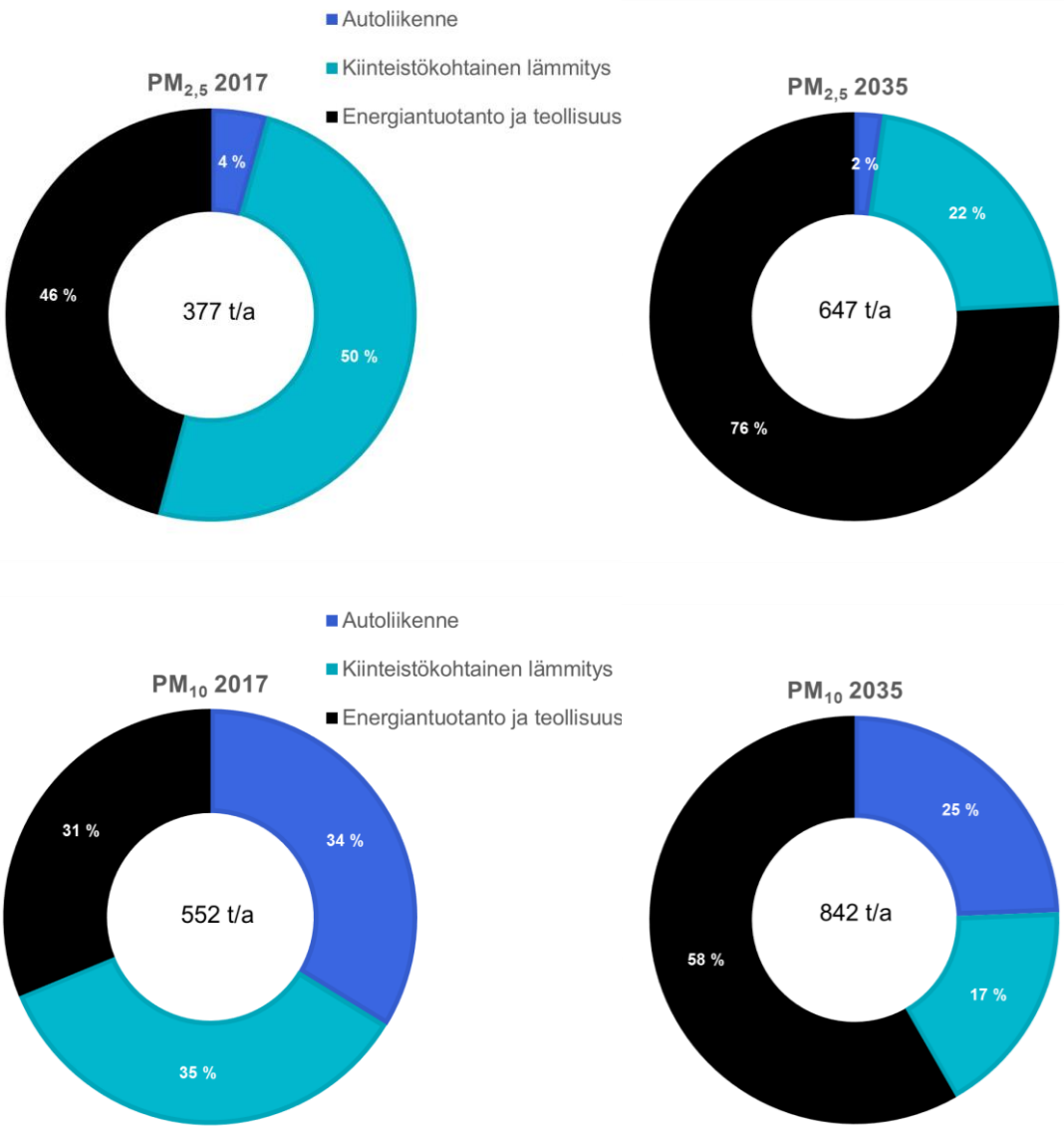
Leviämismallilaskelmissa käytetyt Kuopion ja Siilinjärven autoliikenteen, kiinteistökohtaisen lämmityksen sekä energiantuotannon ja teollisuuden kokonaispäästöt vuosina 2017 ja 2035 on esitetty kuvissa 56–57. Typen oksidien kokonaispäästöistä nykytilanteessa yli puolet tulee energiantuotannosta ja teollisuudesta sekä noin kolmasosa autoliikenteestä. Kiinteistökohtaisen lämmityksen osuus päästöistä on noin 6 %. Ennustetilanteessa vuonna 2035 energiantuotannon ja teollisuuden päästöt olisivat kasvaneet merkittävästi Finnpulp Oy:n biotuotetehtaan myötä. 19.12.2019 ratkesi, että korkein hallinto-oikeus ei anna Finnpulpille ympäristölupaa, joten biotuotetehdashanke raukesi.

Pienhiukkasten kokonaispäästöstä nykytilanteessa puolet tulee kiinteistökohtaisesta lämmityksessä ja vajaa puolet energiantuotannosta ja teollisuudesta. Pienhiukkaspäästöistä vain 4 % on peräisin autoliikenteestä. Päästömäärässä on huomioitu suoraan moottoreiden pakokaasusta peräisin olevat pienhiukkaset ja katupölyn sisältämät pienhiukkaset. Vuonna 2035 Finnpulp Oy olisi kasvattanut selvästi pistemäisten päästölähteiden pienhiukkaspäästöjä.

Hengitettävien hiukkasten kokoluokan hiukkaspäästöistä nykytilanteesa kolmasosa on peräisin kiinteistökohtaisesta lämmityksestä, kolmasosa liikenteen katupölypäästöistä ja kolmasosa energiantuotannosta ja teollisuudesta.




Kuva 56. Kuopion ja Siilinjärven typen oksidien kokonaispäästöt sekä eri päästölähteiden osuudet vuosina 2017 ja 2035.



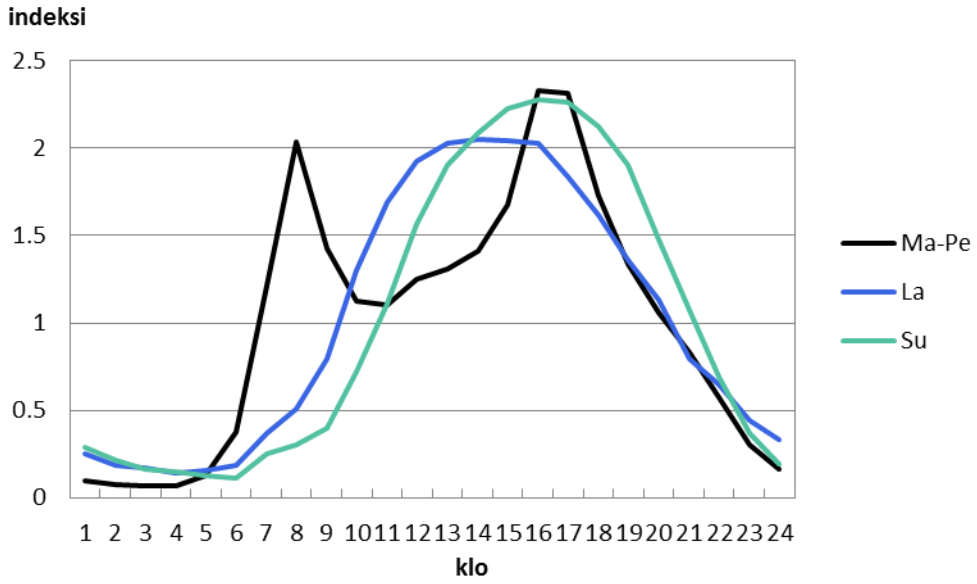

Kuva 57. Kuopion ja Siilinjärven pienhiukkasten ja hengitettävien hiukkasten kokonaispäästöt sekä eri päästölähteiden osuudet vuosina 2017 ja 2035.

## 5.1 Autoliikenteen päästöt

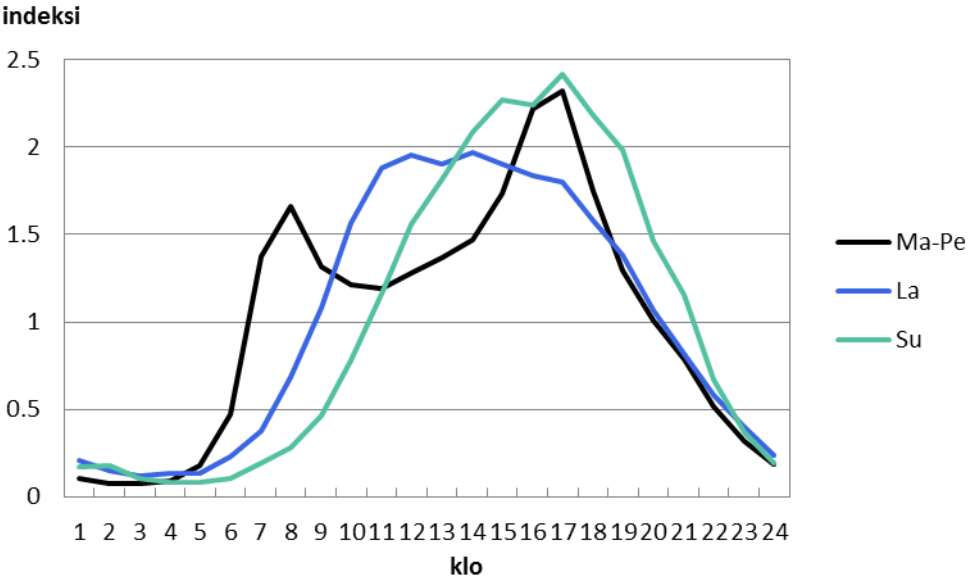
Leviämismallilaskelmilla tarkasteltiin autoliikenteen päästöjä nykytilanteessa ja ennustetilanteessa. Mallilaskelmien lähtötiedoissa nykytilannetta edustivat vuoden 2017 liikennemäärät ja tulevaa tilannetta vuodelle 2035 ennustetut liikennemäärät. Liikennemäärätiedot toimitti WSP Finland Oy. Koko tutkimusalueen autoliikenteen typen oksidien ja hiukkasten päästöt laskettiin ja mallinnettiin tiekohtaisina viivalähteinä. Liikenneväyliä kuvattiin leviämismallilaskelmissa peräkkäisinä lyhyinä viivoina, joista jokaisesta vapautuu ympäristöönsä erikseen laskettavan suuruinen päästö. Mallilaskelmissa huomioitiin nykytilanteessa yhteensä 19 712 viivalähdettä ja ennustetilanteessa 20 843 viivalähdettä Kuopion ja Siilinjärven kuntien alueelta. Ennustetilanteessa on mukana uusia teitä erityisesti Kuopion Hiltulanlahden, Matkuksen, Pienen Neulamäen, Neulamäen ja Savilahden täydennysrakentamisalueilta.

Ennustetilanteessa on huomioitu myös valtatie 5:n uusi tielinjaus Siilinjärven kirkonkylän ja Pöljän välillä.

Tieverkon liikenteen päästöt laskettiin Ilmatieteen laitoksella keskimääräisten arkivuorokausiliikennemäärien (KAVL), ajonopeuksien, raskaan liikenteen osuuksien ja liikenteen tuntikohtaisen vaihtelun perusteella. Päästöjen viikonpäivittäisten ja tunneittaisten aikavaihtelujen kuvaamisessa käytettiin Kuopion Leväsellä (LAM-piste 832) ja Siilinjärvellä (LAM-piste 803) vuonna 2017 tehtyjä liikennelaskenta-aineistoja (kuvat 58–59).



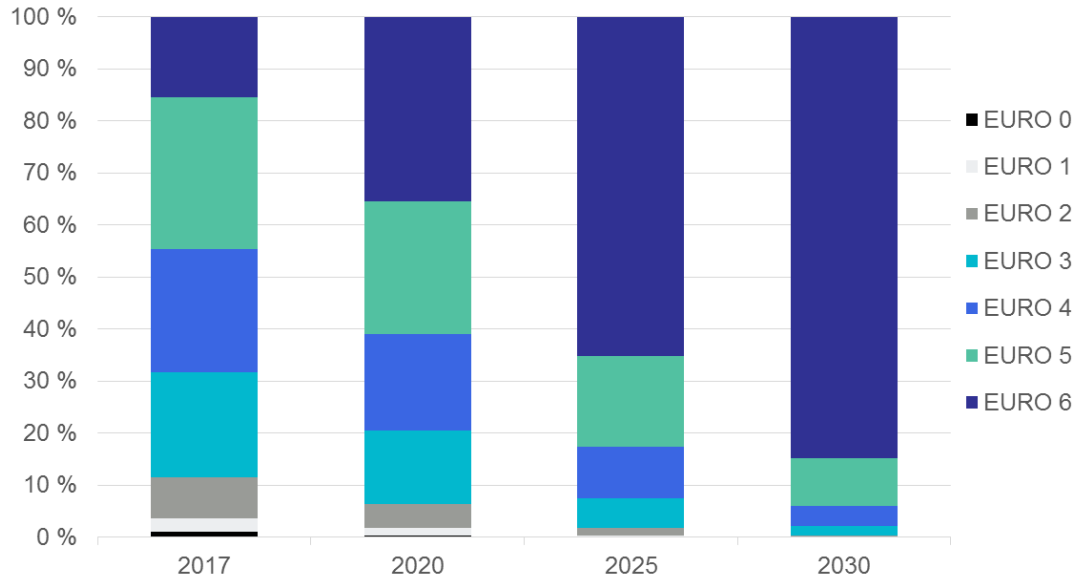

Kuva 58. Kuopion liikenteen tunneittaista vaihtelua kuvaavat aikavaihteluindeksit.




Kuva 59. Siilinjärven liikenteen tunneittaista vaihtelua kuvaavat aikavaihteluindeksit.

Autoliikenteen pakokaasupäästöt laskettiin käyttäen Euroopan ympäristöviraston (*European Environmental Agency, EEA*) määrittämiä tieliikenteen päästökertoimia (*EEA, 2017*). Nämä päästökertoimet riippuvat ajoneuvojen moottoriteknologiasta, EURO-päästöluokista sekä ajonopeudesta. Kertoimet on määritetty yksityiskohtaisesti eri ajoneuvotyypeille, niiden katu- ja maantieajolle tasaisella nopeudella ja ruuhka-aikaan suoritettavalle ajolle. Näistä kertoimista on tätä työtä varten keskiarvoistettu Suomen ajoneuvokantaa edustavat kertoimet.

Suomen autokantaa edustavat EURO-päästöluokittaiset ajosuoriteosuudet on esitetty VTT:n julkaiseman liikenteen laskentajärjestelmä LIPASTO:n ALIISA-autokantamallissa (*VTT, 2019*). Tämä malli tarjoaa vuosittain päivittyvät nykytilannetta edustavat arvot ja ennusteet vuosille 2020, 2025 ja 2030 koko Suomen autokannan EURO-päästöluokkaisille ajosuoriteosuuksille (kuva 60). Luokittelu kertoo, miten paljon Suomessa vuodessa ajetaan kuhunkin eri päästöluokkaan kuuluvilla ajoneuvoilla. Ennusteet pohjautuvat Liikenneviraston ja VTT:n ennusteisiin suoritejakaumista ja autokannan kehityksestä. Ne edustavat perustilannetta, jossa otetaan huomioon vain jo päätetyt autokannan kehitykseen vaikuttavat valtakunnantason toimenpiteet (esim. muutokset verotuksessa).

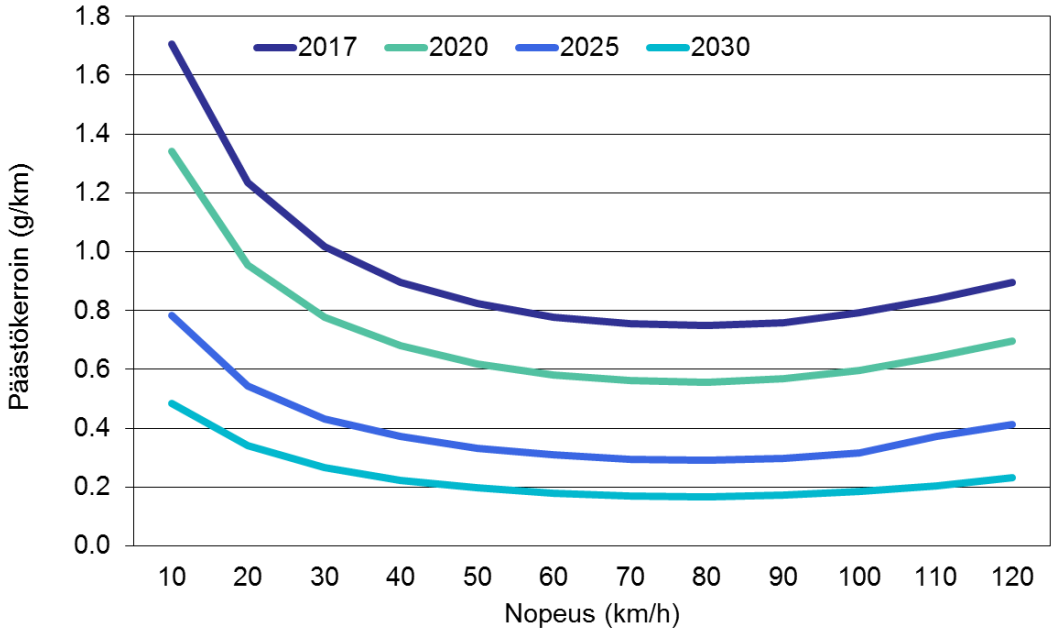



Kuva 60. ALIISA-autokantamallin kaikkien ajoneuvojen EURO-päästöluokittaiset suoritejakaumat Suomessa vuosina 2017–2030 (*VTT, 2019*).

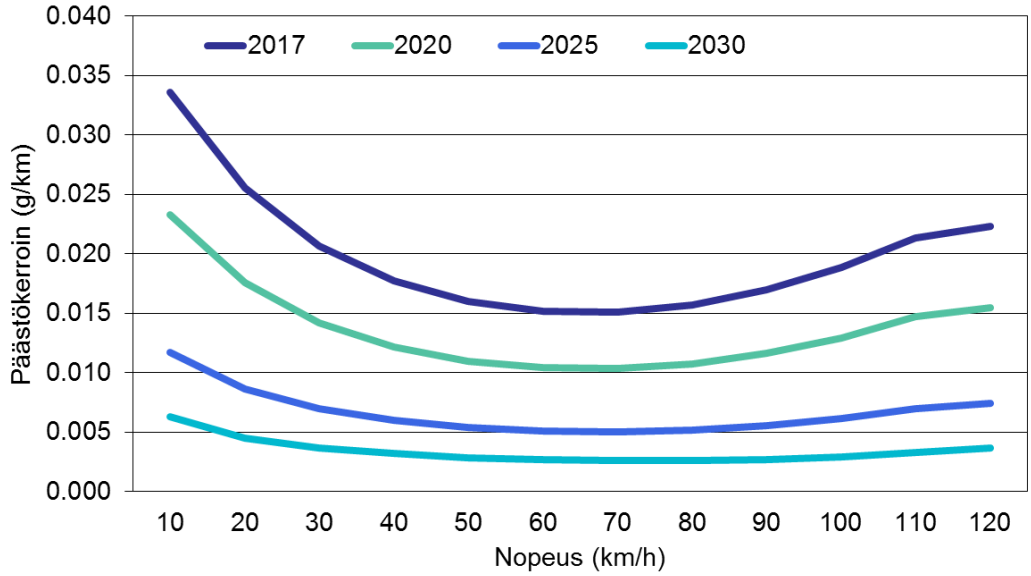
Ajoneuvojen jakaumana käytettiin nykytilanteessa Suomen vuoden 2017 ajoneuvojen EURO-päästöluokittaisia ajosuoriteosuuksia VTT:n liikenteen päästöjen laskentajärjestelmän mukaisesti. Tulevaisuuden autoliikenteen päästöjen ennustamiseen sisältyy useita epävarmuustekijöitä (mm. liikenteen sähköistyminen). Tässä ilmanlaatuselvityksessä on käytetty ennustetilanteelle vuotta 2020 edustavaa ajoneuvojen EURO-luokittaista ajosuoritejakaumaa, mikä on konservatiivinen arvio tulevaisuuden päästötilanteesta. Todennäköistä on, että päästöt ja niiden aiheuttamat vaikutukset pienenevät tulevaisuudessa nykytilanteeseen verrattuna, kun ajoneuvojen moottoritekniikka kehittyy ja päästörajoitukset tiukkenevat. Näin ollen vuonna 2035

toteutuvat pitoisuudet ovat todennäköisesti pienempiä kuin tässä työssä esitetyt enimmäispitoisuudet. On kuitenkin mahdollista, etteivät VTT:n ja Liikenneviraston tuottamat ennusteet toteudu täysimääräisenä ja autokannan uudistuminen on ennustettua hitaampaa. Tekemällä autoliikenteen päästöjen leviämismallinnukset nykytilannetta vastaavalla päästötasolla, mutta tulevan tilanteen ennustetuilla liikennemäärillä, saadaan selville kuinka korkeiksi pitoisuudet voivat enimmillään kohota tulevaisuudessa. Huomionarvoista on myös, että moottoritekniikan kehitys ei vaikuta katupölyn ($PM_{10}$) muodostukseen ja hengitettävien hiukkasten kohonneisiin pitoisuuksiin liikenneympäristössä.

Kuvissa 61 ja 62 on esitetty Suomen koko ajoneuvokannan keskimääräiset päästökertoimet eri vuosille 2017–2030. Päästökertoimet ottavat huomioon ajoneuvotyyppien keskimääräiset suhteelliset osuudet Suomessa. Leviämismallilaskelmissa päästökertoimet on kohdennettu Kuopion ja Siilinjärven ajoneuvotyyppien suhteellisilla suoriteosuuksilla katu- tai tieosuuksien mukaan VTT:n LIISA-laskentajärjestelmän mukaisesti (taulukko 12). Ajoneuvotyyppien suhteellisten suoriteosuuksien ei oletetan muuttuvan eri vuosien päästöskenaarioissa. Päästökertoimen pieneneminen vuodesta 2017 vuoteen 2030 selittyy autokannan uusiutumisella ja sillä, että uusilla vähäpäästöisemmillä ajoneuvoilla ajetaan tulevaisuudessa suhteessa suurempi osa ajosuoritteesta.




Kuva 61. Mallilaskelmissa käytettävät ajoneuvojen keskimääräiset nopeusriippuvat typenoksidien ($NO_x$) päästökertoimet. Kertoimien pohjana ovat EEA:n päästökertoimet (*EEA, 2017*) painotettuna suoritteiden EURO-päästöluokkajakaumilla ja koko Suomen keskimääräisillä ajosuoriteosuuksilla vuonna 2017 ja ennustettuna vuosille 2020–2030 (*VTT, 2019*).




Kuva 62. Mallilaskelmissa käytettävät ajoneuvojen keskimääräiset nopeusriippuvat pienhiukkasten ($PM_{2,5}$) päästökertoimet. Kertoimien pohjana ovat EEA:n päästökertoimet (*EEA, 2017*) painotettuna suoritteiden EURO-päästöluokkajakaumilla ja koko Suomen keskimääräisillä ajonsuoriteosuuksilla vuonna 2017 ja ennustettuna vuosille 2020–2030 (*VTT, 2019*).

Taulukko 12. Kuopion ja Siilinjärven ajoneuvotyyppien jakauma vuonna 2016 (VTT/LIISA).

| Kunta | Henkilö-autot | Paketti-autot | Linja-autot | Kuorma-autot ilman perävaunua | Perävaunulliset kuorma-autot |
|---|---|---|---|---|---|
| Kuopio | 80,3 % | 11,8% | 1,3 % | 4,1 % | 2,5 % |
| Siilinjärvi | 82,4% | 10,0% | 0,8 % | 3,8 % | 3,0% |

Liitekuvissa 1–4 on esitetty päästölaskennan pohjana käytetyt vuosien 2017 ja 2035 arkivuorokausiliikennemäärät tarkastelualueella sekä typen oksidien ja pienhiukkasten päästöt viivalähteittäin. Keskimääräiset arkivuorokausiliikennemäärät (KAVL) kasvavat liikenne-ennusteen mukaan valtatie 5:llä 21 % vuodesta 2017 vuoteen 2035 mennessä. Nykytilanteessa moottoritien liikennemäärä on Savilahden kohdalla noin 34 900 autoa ja ennustetilanteessa noin 42 400 autoa. Leviämismallilaskelmissa oletettiin autoliikenteen typenoksidipäästöistä ($NO_x$) olevan keskimäärin 20 % typpidioksidia ($NO_2$) ennen muutuntaa (*Anttila, ym., 2011*).

Liitekuvissa 5–6 on esitetty hengitettävien hiukkasten päästöt viivalähteittäin. Suspensiopäästöjen laskelmissa arvioitiin, että Kuopiossa ja Siilinjärvellä nastarenkaiden osuus on 90 % kaikista käytössä olevista talvirenkaista. Vakuutusyhtiö If:n vuoden 2017 talvirengaskyselyn mukaan Itä- ja Pohjois-Suomessa yli 90 % autoista on käytössä nastarenkaat.

Taulukossa 13 on esitetty Kuopion ja Siilinjärven autoliikenteen typen oksidien ja pienhiukkasten kokonaispäästöt vuosina 2017 ja 2035.

Taulukko 13. Kuopion ja Siilinjärven autoliikenteen typen oksidien ja pienhiukkasten kokonaispäästöt (t/a) vuosina 2017 ja 2035.

| Kunta | $NO_x$ 2017 | $NO_x$ 2035 | $PM_{2,5}$ 2017 | $PM_{2,5}$ 2035 |
|---|---|---|---|---|
| Kuopio | 500 | 500 | 13 | 11 |
| Siilinjärvi | 162 | 147 | 4,0 | 3,4 |
| Yhteensä | 663 | 647 | 17 | 15 |

Linja-autoliikennettä Kuopion torin laidalla (kuva Birgitta Komppula).

## 5.2 Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöt

Leviämismallinnuksessa käytetyt kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöt saatiin Suomen ympäristökeskukselta (SYKE). Päästöt on laskettu alueellisella päästöskenaariomallilla (FRES-malli) ja ne on esitetty vuosipäästöinä (g/a) 250 ×250 m ruuduissa Kuopion ja Siilinjärven kuntien alueille (*Savolahti, ym. 2019*). Päästöt on jaoteltu omakotitalojen puukattilalämmitykseen, öljykattilalämmitykseen, lisälämmityslähteisiin (esim. takat) ja saunoihin sekä vapaa-ajanrakennusten pienpolttoon sekä maatalous-, teollisuus- ja kaupallisten rakennusten puulämmitykseen. Mallinnuksessa tarkasteltiin kiinteistökohtaisen lämmityksen typen oksidien, pienhiukkasten ja hengitettävien hiukkasten päästöjä

nykytilanteessa vuonna 2015 ja ennustetilanteessa vuonna 2030. Hengitettävien hiukkasten päästöistä 97 % on alle 2,5 µm kokoluokkaa ja 3 % karkeampaa 2,5–10 µm kokoluokkaa.

Taulukoissa 14–16 on esitetty yllä mainittujen eri pienpolttosektoreiden aiheuttamat typen oksidien, pienhiukkasten ja hengitettävien hiukkasten päästöt sekä kokonaispäästöt (t/a) Kuopiossa ja Siilinjärvellä vuosina 2015 ja 2030. Omakotitalojen lisälämmitys eli takkojen ym. tulisijoiden päästöt ovat suurimpia pienpolttopäästölähteitä.

Taulukko 14. Kiinteistökohtaisen lämmityksen typenoksidipäästöt päästölähteittäin.

| $NO_x$-päästöt (t/a) | 2015 | 2030 |
|---|---|---|
| Omakotitalojen puukattilalämmitys | 19 | 22 |
| Omakotitalojen öljylämmitys | 21 | 13 |
| Omakotitalojen takat ym. tulisijat | 44 | 49 |
| Omakotitalojen saunat | 13 | 12 |
| Vapaa-ajan rakennusten tulisijat | 12 | 12 |
| Teollisuus-, maatalous- ja kaupallisten rakennusten lämmitys | 12 | 13 |
| Yhteensä | 122 | 122 |

Talvinen pientaloalue Kuopion Saaristokaupungissa (kuva Birgitta Komppula).

Taulukko 15. Kiinteistökohtaisen lämmityksen pienhiukkaspäästöt päästölähteittäin.

| $PM_{2,5}$-päästöt (t/a) | 2015 | 2030 |
|---|---|---|
| Omakotitalojen puukattilalämmitys | 46 | 25 |
| Omakotitalojen öljylämmitys | 0,7 | 0,4 |
| Omakotitalojen takat ym. tulisijat | 65 | 65 |
| Omakotitalojen saunat | 48 | 25 |
| Vapaa-ajan rakennusten tulisijat | 26 | 19 |
| Teollisuus-, maatalous- ja kaupallisten rakennusten lämmitys | 2,3 | 7,2 |
| Yhteensä | 187 | 141 |

Taulukko 16. Kiinteistökohtaisen lämmityksen hengitettävien hiukkasten päästöt päästölähteittäin.

| $PM_{10}$-päästöt (t/a) | 2015 | 2030 |
|---|---|---|
| Omakotitalojen puukattilalämmitys | 47 | 26 |
| Omakotitalojen öljylämmitys | 1,1 | 0,7 |
| Omakotitalojen takat ym. tulisijat | 68 | 67 |
| Omakotitalojen saunat | 49 | 26 |
| Vapaa-ajan rakennusten tulisijat | 26 | 19 |
| Teollisuus-, maatalous- ja kaupallisten rakennusten lämmitys | 2,4 | 7,4 |
| Yhteensä | 194 | 146 |

Kokonaishiukkaspäästöt pienenevät ennustetilanteessa johtuen tulisijojen uusiutumisesta ja pienempipäästöjen tulisijojen yleistymisestä. Erityisesti omakotitalojen puukattilalämmityksen ja kiukaiden hiukkaspäästöt tulevat pienenemään tulevaisuudessa. Toisaalta maatalous-, teollisuus- ja kaupallisten puulämmityksen hiukkaspäästöt nousevat vuosien 2015 ja 2030 välillä siirryttäessä öljylämmityksestä puulämmitykseen.

Kokonaistypenoksidipäästöt tulevat pysymään jatkossakin suurin piirtein samalla tasolla. Tulisijojen typenoksidipäästöihin laitekannan uusiutuminen ei vaikuta, vaan siihen vaikuttaa ainoastaan poltetun puun määrä. Poltetun puun kokonaismäärä vuodesta 2015 vuoteen 2030 kasvaa noin 10 % kasvattaen puun polton typenoksidipäästöjä. Kokonaistypenoksidipäästöt eivät Kuopion ja Siilinjärven alueella kuitenkaan nouse tarkasteluvuosien välillä, koska öljylämmitys samanaikaisesti vähenee vähentäen typenoksidipäästöjä.

Kiinteistökohtaisen lämmityksen aiheuttamat typen oksidien, pienhiukkasten ja hengitettävien hiukkasten ruuduittaiset päästöt (kg/a) vuosina 2015 ja 2030 on esitetty liitekuvissa 7–12. Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöt ovat suurimmillaan tiheään asutuilla

kaukolämpöverkon ulkopuolella olevilla vanhemmilla pientaloalueilla. Kuopiossa esimerkiksi Niiralan kaupunginosa kaupungin keskustan tuntumassa on tämänlainen omakotitalovaltainen alue.

### 5.3 Energiantuotannon ja teollisuuden päästöt

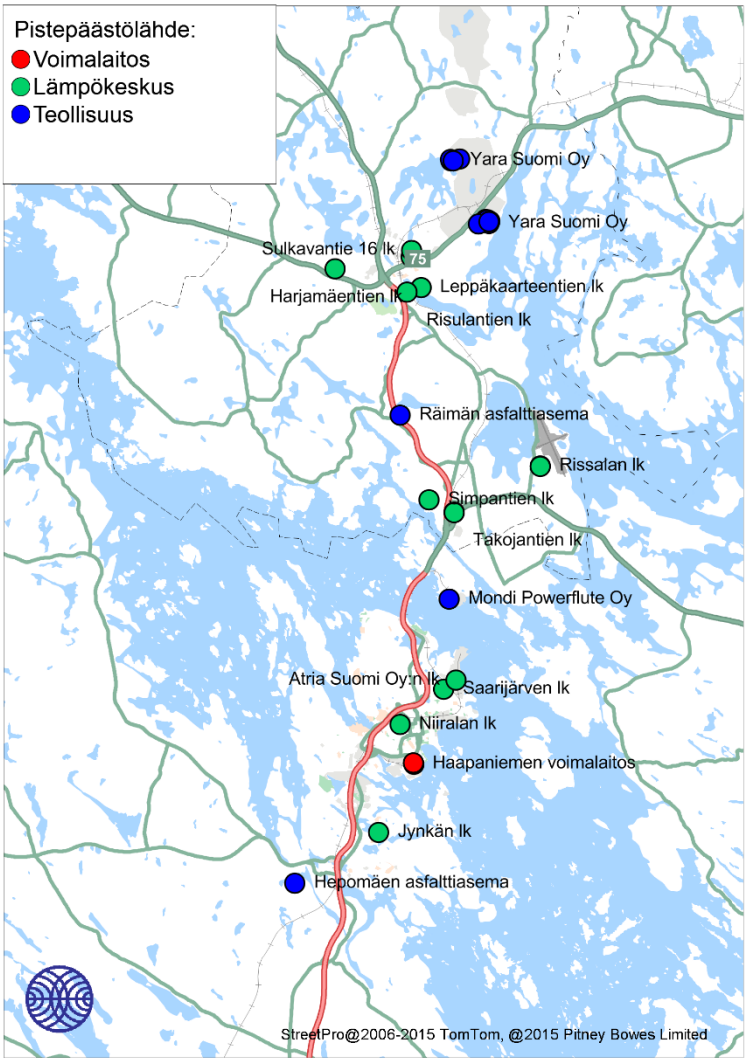
Leviämismallilaskelmissa huomioitiin Kuopion ja Siilinjärven merkittävimmät energiantuotannon ja teollisuuden päästölähteiden vuoden 2017 mukaiset päästöt. Päästöt ja muut tekniset tiedot pyydettiin suoraan toiminnanharjoittajilta. Lähtötietopyynnössä tiedusteltiin myös arviota vuoden 2035 päästöennusteesta, mutta vain harva toiminnanharjoittaja halusi lähteä arvioimaan tilannetta niin pitkälle tulevaisuuteen. Ennustetilanteen arvion puuttuessa laskelmissa on käytetty nykytilanteen lähtötietoja. Leviämismallilaskelmissa kaikki hiukkaset on oletettu pienhiukkasiksi niiden todellisesta koosta riippumatta. Lähtötietopyynnön yhteydessä toiminnanharjoittajia pyydettiin arvioimaan hiukkaspäästöjensä hiukkaskokojakaumaa, mutta kenelläkään ei ollut mitattua tietoa kokojakaumasta.

Laskelmissa huomioitiin energiantuotantolaitoksista Kuopion Energia Oy:n Haapaniemen voimalaitoksen sekä Niiralan, Jynkän ja Saarijärven lämpökeskusten päästöt. Savon Voima Oy:n energiantuotantolaitoksista laskelmissa olivat mukana Siilinjärvellä sijaitsevien Harjamäentien, Leppäkaarteentien, Risulantien, Simpantien, Sulkavantie 8:n, Sulkavantie 16:n ja Takojantien lämpökeskusten päästöt sekä Nilsiällä sijaitsevien Laitisenmäen, Puusepäntien, Simolantien ja Tahkon lämpökeskusten päästöt. Nykytilanteessa oli mukana myös Adven Oy:n Rissalan lämpökeskus Siilinjärvellä. Energiantuotannon päästöt ovat talvella suuremmat kuin kesäaikaan. Eniten päästöjä syntyy kovilla pakkasilla, kun sähkön ja lämmön suuren kulutuksen vuoksi käyttöön otetaan erillisiä huippu- tai varalämpökeskuksia. Voimalaitokset ovat pääsääntöisesti käynnissä jatkuvatoimisesti ympäri vuoden. Pienempiä lämpökeskuksia käytetään yleensä sähkön ja lämmön kulutushuippujen aikana sekä isojen laitosten huoltoseisokkien aikana.

Teollisuuslaitoksista mallilaskelmissa olivat mukana Kuopiosta Mondi Powerflute Oy:n aallotuskartonkitehtaan voimalaitos, Atria Suomi Oy:n höyrykattilalaitos ja Skanskan asfalttiasema. Siilinjärveltä mallilaskelmissa olivat mukana Yara Suomi Oy:n kaivos ja tuotantolaitokset sekä YIT Suomi Oy:n asfalttiasema. Yaran päästölähteistä mukaan laskelmiin otettiin rikkihappotehdas, typpihappotehdas, voimalaitos, apatiitin kuivauslaitos, hienomurskaus, karkeamurskaus, risteysasema, kiilletehtaan rumpukuivaukset, biotiitin rumpukuivaus sekä rikkihappotehtaan hönkäpesurin pöly ja seisakkipöly. Leviämismallinnuksessa ei mallinnettu kaivoksen eikä kipsin läjitysalueen pölyämistä, jotka Ramboll Finland Oy on mallintanut viime vuosina (*Kiljunen ja Keskitalo, 2018; Ramboll Finland Oy, 2018*). Vuoden 2035 ennustetilanteessa mukana oli Finnpulp Oy:n biotuotetehdas, joka olisi toteutuessaan sijoittunut Sorsasalon saareen Kuopion pohjoisosaan. Biotuotetehtaan lähtötietoina käytettiin aikaisemmin tehdyn leviämismallinnuksen lähtötietoja (*Salmi ja Hannuniemi, 2015*). Finnpulp Oy ei saanut ympäristölupaa, joten laitos ei tule toteutumaan.

Energiantuotanto- ja teollisuuslaitosten sijainnit Kuopiossa ja Siilinjärvellä vuonna 2017 on esitetty kuvassa 63. Liitekuvissa 13–16 on esitetty energiantuotanto- ja teollisuuslaitosten typenoksidi- ja hiukkaspäästöjen alueellinen jakauma vuosina 2017 ja 2035. Laitosten kokonaisvuosipäästöt on esitetty taulukoissa 17–19. Alueen merkittävimmät päästölähteet ovat Kuopion Energia Oy:n Haapaniemen voimalaitos, Mondi Powerflute Oy:n aallotuskartonkitehdas sekä Yara Suomi Oy:n Siilinjärven tehtaat ja kaivos

sekä tulevassa tilanteessa Finnpulp Oy:n biotuotetehdas olisi ollut erittäin merkittävä päästölähde.




Ilmatieteen laitos 2019

Kuva 63. Voimalaitoksen, lämpökeskusten ja teollisuuslaitosten sijainnit Kuopiossa ja Siilinjärvellä vuonna 2017. Kuvassa on esitetty vaalean harmaalla Yara Suomi Oy:n kaivosalue.

Leviämismallilaskelmissa tarvittavat energiantuotannon päästölähteiden tekniset tiedot ja sijainnit sekä päästömäärät, käyttöajat ja muut päästöjen ajallisen vaihtelun kuvaamisessa tarvittavat tiedot huomioitiin toiminnanharjoittajien ilmoittaman mukaisina. Jokaiselle laitokselle ja kullekin tarkastellulle epäpuhtauskomponentille muodostettiin koko kolmen vuoden laskentajakson kattaneet tunneittaiset päästöaikasarjat. Nämä aikasarjat muodostettiin laitosten todellisten päästö-, savukaasu- ja käyntituntimäärien perusteella. Päästöjen lyhytaikaisvaihtelua kuvattiin aikasarjassa tunneittaisena satunnaisvaihteluna (± 20 %). Lämpökeskusten oletettiin toimivan käyntituntimääriensä mukaisesti vain vuoden kylmimpinä tunteina.

Taulukko 17. Kuopion energiantuotanto- ja teollisuuslaitosten typenoksidi- ja hiukkaspäästöt vuosina 2017 ja 2035.

| Päästöt (t/a) | NOx 2017 | NOx 2035 | PM 2017 | PM 2035 |
|---|---|---|---|---|
| Haapaniemen voimalaitos | 472 | 472 | 6,8 | 6,8 |
| Jynkän lämpökeskus | 0,7 | 0,2 | 0,02 | 0,0 |
| Niiralan lämpökeskus | 0,8 | 0,7 | 0,06 | 0,02 |
| Saarijärven lämpökeskus | 1,8 | 0,4 | 0,06 | 0,01 |
| Mondi Powerflute Oy aallotuskartonkitehdas | 541 | 541 | 119 | 119 |
| Atria Suomi Oy höyrykattilalaitos | 6,7 | – | 0,6 | – |
| Skanska Hepomäen asfalttiasema | 5,1 | 5,1 | 0,6 | 0,6 |
| Finnpulp Oy:n biotuotetehdas | – | 3681 | – | 320 |

Taulukko 18. Siilinjärven energiantuotanto- ja teollisuuslaitosten typenoksidi- ja hiukkaspäästöt vuosina 2017 ja 2035.

| Päästöt (t/a) | NOx 2017 | NOx 2035 | PM 2017 | PM 2035 |
|---|---|---|---|---|
| Yara Suomi Oy Siilinjärven tehtaat ja kaivos | 139 | 139 | 41 | 41 |
| Harjamäen lämpökeskus | 1,1 | 1,1 | 0,02 | 0,02 |
| Leppäkaarteentien lämpökeskus | 0,0002 | 0,0002 | 0,00003 | 0,00003 |
| Risulantien lämpökeskus | 0,03 | 0,03 | 0,0004 | 0,0004 |
| Simpantien lämpökeskus | 0,07 | 0,07 | 0,004 | 0,004 |
| Sulkavantie 8 lämpökeskus | 0,3 | 0,3 | 0,006 | 0,006 |
| Sulkavantie 16 lämpökeskus | 2,9 | 2,9 | 0,4 | 0,4 |
| Takojantien lämpökeskus | 14 | 14 | 1,8 | 1,8 |
| Adven Oy Rissalan lämpökeskus | 6,5 | – | 0,8 | – |
| YIT Suomi Oy Räimän asfalttiasema | 7,8 | 7,8 | 0,06 | 0,06 |

Taulukko 19. Nilsiän lämpökeskusten typenoksidi- ja hiukkaspäästöt vuosina 2017 ja 2035.

| Päästöt (t/a) | NOx 2017 | NOx 2035 | PM 2017 | PM 2035 |
|---|---|---|---|---|
| Laitisenmäen biolämpökeskus | 7,7 | 7,7 | 0,9 | 0,9 |
| Puusepäntien lämpökeskus | 0,06 | 0,06 | 0,04 | 0,04 |
| Simolantien lämpökeskus | 0,4 | – | 0,02 | – |
| Tahkon biolämpökeskus | 1,6 | 1,6 | 1,1 | 1,1 |

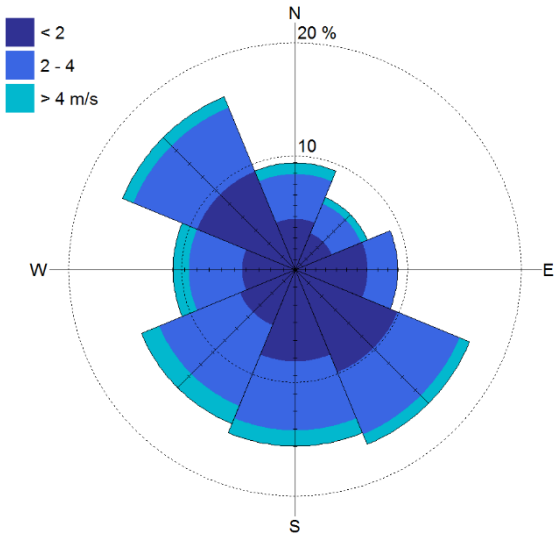
Kuopion Energia Oy:n Haapaniemen voimalaitos talvipakkasilla (kuva Birgitta Komppula)

### 5.4 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 Kuopion ja Siilinjärven alueen mallinnusta varten. Laskelmissa käytettäviksi sääasemiksi valittiin tarkastelualuetta edustavat sääasemat, joilla mitataan kaikkia mallin tarvitsemia sääsuureita.

Mallilaskelmissa käytettyjen meteorologisten tietojen etäisyyspainotettu yhdistelmäaineisto muodostettiin Kuopion Savilahden ja Kuopion Ritoniemen sääasemien vuosien 2016–2018 havainnoista. Tarvittavat auringonpaistetiedot saatiin Jyväskylän lentoaseman sääaseman säteilymittausaineistoista ja sekoituskorkeuden määrittämiseen käytettiin Jokioisten observatorion radioluotaushavaintoja. Säähavainto- ja luotausaineistot täyttävät WMO:n ja ICAO:n laatuvaatimukset. Sääasemien havaintoaineistoista muodostettiin kolmen tarkasteluvuoden (2016–2018) tunneittainen aikasarja, joka sisältää päästöjen leviämisen ja laimenemisen kannalta oleellisia ilmankehän rajakerroksen tilaa kuvaavia parametreja, mm. tuulen suunta ja nopeus, stabiilisuus, sekoituskorkeus ja lämpötila.

Kuvassa 64 on esitetty tuulen suunta- ja nopeusjakauma tarkastelualueella tuuliruusun muodossa. Kuopion ja Siilinjärven alueella luoteistuulet sekä kaakon ja lounaan väliset tuulet ovat vallitsevia, kun taas pohjoisen ja idän välisiä tuulia esiintyy vähemmän.




Kuva 64. Keskimääräinen tuulen suunta- ja nopeusjakauma Kuopiossa vuosina 2016–2018. Tuulitiedot kuvaavat olosuhteita 10 metrin korkeudella maan pinnasta.

## 5.5 Taustapitoisuudet

Leviämismallilaskelmissa huomioitiin tieliikenteen, kiinteistökohtaisen lämmityksen, energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen lisäksi alueellinen taustapitoisuus, jotta mallilaskelmin saadut pitoisuudet vastaisivat mahdollisimman hyvin todellisia epäpuhtauspitoisuustasoja. Otsonipitoisuuksia käytetään myös typenoksidipäästöjen muutunnan laskemisessa. Mallinnetun vuoden 2035 ennustetilanteen taustapitoisuuksina käytettiin nykytilanteen taustapitoisuuksia.

Typen oksidien taustapitoisuutena käytettiin Ilmatieteen laitoksen Ähtärissä ja Helsingin yliopiston Juupajoen Hyytiälässä sijaitsevien ilmanlaadun mittausasemien mittaustuloksia. Ähtärin ilmanlaatumittaukset siirrettiin vuosien 2016–2017 aikana Hyytiälään, minkä vuoksi vuoden 2016 mittausaineisto on Ähtäristä ja vuosien 2017–2018 Hyytiälästä. Ilmanlaatumittauksia jatkettiin puolen vuoden ajan rinnakkain molemmilla taustamittausasemilla. Hyytiälän typenoksidipitoisuuksien perustaso on Ähtärin kaltainen, mutta siellä esiintyy ajoittain korkeampia pitoisuuspiikkejä kuin Ähtärissä. Typen oksidien taustapitoisuuden keskiarvo oli 2,0 µg/m³ tarkastelujaksolla 2016–2018 (*Ilmatieteen laitos, 2019*).

Typenoksidipäästöjen muutunnan kuvaamiseen käytettiin Ähtärin ja Hyytiälän ilmanlaadun mittausasemien otsonihavaintoja. Otsonin taustapitoisuuksina käytettiin pitoisuuksien kuukausittain laskettuja tunneittaisia keskiarvoja, joilla pyrittiin kuvaamaan taustapitoisuuksien vuorokauden sisäistä vaihtelua. Otsonin taustapitoisuuden keskiarvo oli 51 µg/m³ tarkastelujaksolla 2016–2018 (*Ilmatieteen laitos, 2019*).

Pienhiukkasten taustapitoisuutena käytettiin Kuopion kaupungin Kasarmipuiston kaupunkitausta-aseman mittaustuloksia vuosilta 2016–2018. Leviämismallilaskelmissa käytettiin kaupunkitausta-aseman tuloksia, sillä Keski-Suomessa ei ole taustailmanlaadun mittausasemaa, jossa mitattaisiin pienhiukkasia. Kasarmipuiston asema edustaa Keski-Suomen pitoisuustasoa paremmin kuin Etelä- tai Pohjois-Suomen taustamittausasemien mittaustulokset. Pienhiukkasten taustapitoisuuden keskiarvo oli 4,1 µg/m³ tarkastelujaksolla 2016–2018 (*Ilmatieteen laitos, 2019*).

## 5.6 Laskentapisteikkö

Pitoisuudet laskettiin Kuopion ja Siilinjärven taajama-alueet kattavalle 25 × 50 km kokoiselle alueelle sekä Nilsiän ja Tahkon alueet 30 × 30 km kokoiselle alueelle. Kuopion ja Siilinjärven taajama-alueet kattava laskentapisteikkö muodostettiin yli 108 000 laskentapisteestä. Nilsiän ja Tahkon alueet kattavassa laskentapisteikössä oli yli 36 000 laskentapistettä. Laskentapisteiden etäisyys vaihteli 1–250 metrin välillä riippuen alueesta. Liikenneväylien varsilla käytettiin tihennettyä laskentapisteikköä. Laskentapisteet sijoitettiin liikenneväylille 1–50 m välein siten, että yksi piste sijaitsee väylällä ja väylän molemmin puolin sijaitsee laskentapisteet 50 metrin etäisyydellä väylästä. Myös Kuopion ja Siilinjärven keskusta-alueilla sekä teollisuus- ja energiantuotantolaitosten läheisyydessä käytettiin tihennettyä laskentapisteikköä, jossa laskentapisteiden etäisyys toisistaan oli 50 m. Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöt laskettiin 250 m ×250 metrin hilaan SYKE:n ruutupäästöaineiston mukaisesti.

Maapinnan korkeuserot huomioitiin laskentapisteissä Maanmittauslaitoksen maastonkorkeustietojen mukaisesti. Päästöjen aiheuttamat pitoisuudet laskettiin jokaisessa laskentapisteessä 2 metrin korkeudelle eli ihmisten hengityskorkeudelle. Mallinnus-mittaus -vertailua varten pitoisuudet laskettiin kuitenkin ilmanlaadun mittausasemien mittauskorkeudelle eli 4 metrin korkeudelle.

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

# 6 LEVIÄMISMALLILASKELMISSA KÄYTETYT MENETELMÄT

Ilmatieteen laitoksen leviämismalleja on kehitetty pitkäjänteisesti yli neljänkymmenen vuoden ajan tavoitteena tuottaa luotettavaa tietoa ilmanlaadusta erityisesti Suomen olosuhteissa mm. kaupunki- ja liikennesuunnittelun ja ilmansuojelutoimenpiteiden suunnittelun tueksi sekä pitoisuuksien ja väestön altistumisen arvioimiseksi. Mallien toimintaa on kehitetty lukuisissa tutkimusprojekteissa ja verifiointitutkimusten mukaan mallinnusten tulokset on todettu hyvin yhteensopiviksi Suomen taajamien ja teollisuusympäristöjen ilmanlaadun mittaustulosten kanssa.

## 6.1 Pitoisuuslaskenta päästöjen leviämismallilla

Leviämismallien lähtötiedoiksi tarvitaan tietoja päästöistä ja niiden lähteistä, mittaamalla ja mallittamalla saatuja tietoja ilmakehän tilasta sekä tietoja ilmansaasteiden taustapitoisuudesta tutkimusalueella. Lisäksi lähtötiedoiksi tarvitaan erilaisia paikkatietoja, kuten tietoja maanpinnan muodoista ja maanpinnan laadusta sekä tietoa päästölähteiden sijainnista. Liikenteen päästölaskennassa otetaan huomioon liikennemäärät ja niiden tunneittainen vaihtelu, erityyppisten ajoneuvojen osuudet liikennemääristä, liikennevirtojen nopeudet ja ajoneuvokohtaiset nopeus- ja EURO-päästöluokkariippuvaiset päästökertoimet. Pistemäisten lähteiden päästöjen laskennassa otetaan huomioon lähdekohtaiset päästöt, savukaasujen ominaisuudet ja laitoksen tekniset tiedot. Leviämislaskelmia varten muodostetaan kaikille eri päästölähteille päästöaikasarjat, joissa on jokaiselle tarkastelujakson tunnille (3 vuotta, 26 304 tuntia) laskettu päästömäärä erikseen eri 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 aikasarja (3 vuotta eli noin 26 000 tuntia) 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 lasketaan. Näin mallilaskelmasta saatuja pitoisuusarvoja voidaan suoraan verrata ilmanlaadun raja- ja ohjearvoihin (taulukot 10 ja 11).

## 6.2 Piste- ja pintapäästölähteiden leviämismalli (UDM-FMI)

Ilman epäpuhtauksien leviämistä kuvaava Ilmatieteen laitoksen ns. kaupunkimalli UDM-FMI (Urban Dispersion Modelling System) on muokattu Gaussin jakaumaa noudattavasta pistemäisen lähteen viuhkamallista (*Karppinen, ym., 1998*). Malliin sisältyvät laskentamenetelmät pistelähteiden lisäksi myös pinta- ja tilavuuslähteille. Kaupunkimallia on kehitetty Ilmatieteen laitoksella Suomen olosuhteisiin sopivaksi ja sitä on sovellettu sadoissa erilaisissa ilmanlaatuselvityksissä ja -tutkimuksissa Suomessa ja ulkomailla.

Kaupunkimallilla voidaan laskea eri tyyppisten piste-, pinta- ja tilavuuslähteiden päästöjen aiheuttamia epäpuhtauksien pitoisuuksia päästölähteen ympäristössä. Kaupunkimallissa kuvataan tarkasti päästökohdassa tapahtuvaa mekaanista ja

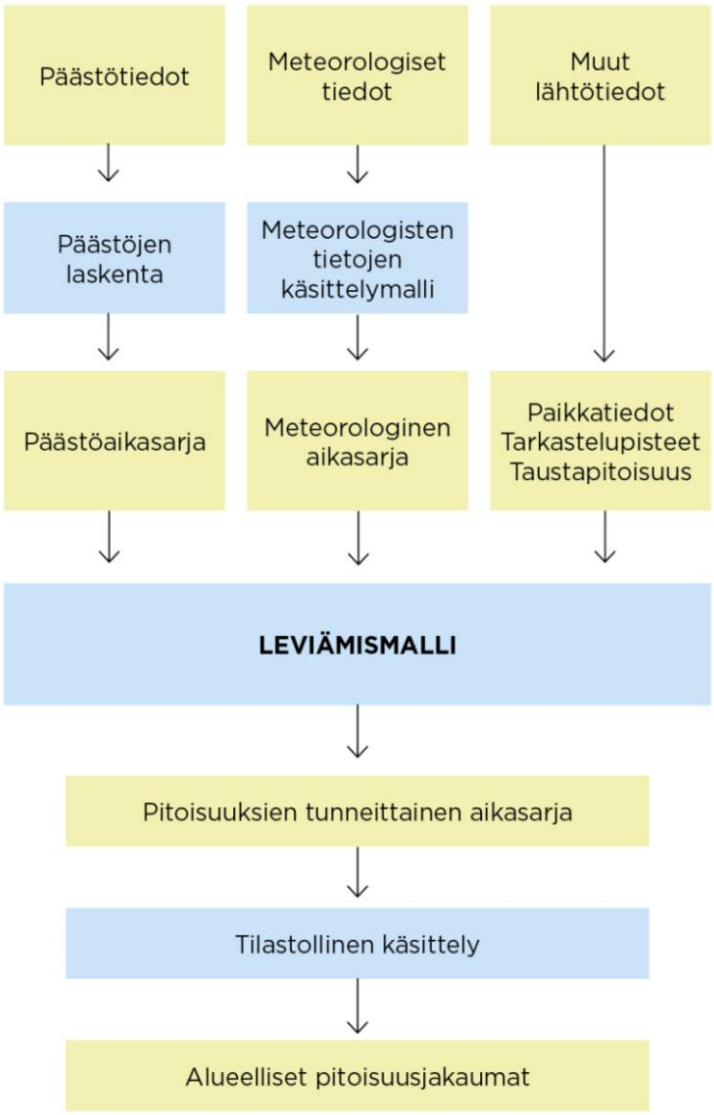
lämpötilaeroista johtuvaa nousulisää, lähimpien esteiden aiheuttamaa savupainumaa, ilmassa tapahtuvia epäpuhtauksien kemiallisia prosesseja sekä ilmansaasteiden poistumamekanismeja ilmakehästä.

Kaupunkimallin merkittävien ero useisiin muihin leviämismalleihin verrattuna on päästölähteestä tulevan poistokaasuvanan epäpuhtauspitoisuusjakauman muotoon vaikuttavien leviämisparametrien määritys. Näiden parametrien arvot ovat yleensä olleet sidoksissa ilmakehän tilaa karkeasti kuvaaviin Pasquill-Turner-stabiilisuusluokkiin. Kaupunkimallissa käytetään Ilmatieteen laitoksella kehitettyä meteorologisen aineiston käsittelymenetelmää (MPP-FMI), eli niin sanottua ilmakehän rajakerroksen parametrisointimenetelmää, jolla voidaan merkittävästi parantaa todellisten ilmakehän olosuhteiden kuvaamista mallissa.

Kaupunkimallissa on laskentamenetelmä nousulisälle, joka muodostuu, kun poistokaasut vapautuessaan päästökohteesta nousevat liikemäärästään ja lämpösisällöstään johtuen päästölähteen huippua korkeammalle. Päästöjen nousulisällä on huomattava vaikutus keskimääräiseen leviämiskorkeuteen ja muodostuviin epäpuhtauspitoisuuksiin. Päästöjen leviämiseen saattavat vaikuttaa ilmavirtauksia häiritsevät kohteet, kuten päästölähdettä ympäröivät rakennukset tai itse lähteen ominaisuudet. Tällöin leviämisessä voi esiintyä systemaattisesti alaspäin suuntautuvaa liikettä, josta käytetään nimitystä savupainuma. Näiden leviämiseen vaikuttavien tekijöiden käsittelymenetelmät pitoisuuksia laskettaessa sisältyvät kaupunkimalliin. Kaupunkimallin sovellutuksissa huomioidaan paikalliset päästöjen kulkeutumiseen ja sekoittumiseen vaikuttavat tekijät, joita ovat muun muassa topografia sekä maaston, vesistöjen ja asutuksen aiheuttamat leviämisalustan rosoisuuserot.

### 6.3 Liikenteen päästöjen viivalähdemalli (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 analyyttiseen ratkaisuun ja päästöjen kemiallisen muutunnan osalta ns. ’discrete parcel’ -menetelmään. Viivalähdemallin leviämislaskenta perustuu avoimen väylän oletukseen. Viivalähdemallilla voidaan laskea esimerkiksi typpimonoksidin, typpidioksidin ja typen oksidien (kokonais-$NO_x$) ja hiukkasten pitoisuuksia haluttuihin pisteisiin eri etäisyyksille liikenneväylästä. Viivalähdemalli on kehitetty alun perin autoliikenteen päästövaikutusten arviointiin, mutta siihen on muokattu menetelmät, joka soveltuvat myös juna-, laiva- ja lentoliikenteen päästöjen leviämislaskelmiin. Viivalähdemallin laskentatuloksista voidaan arvioida yksittäisen liikenneväylän vaikutus lähialueen pitoisuuksiin tai laajan tutkimusalueen liikenneverkon päästöjen kokonaisvaikutus epäpuhtauskomponenteittain. Viivalähdemallin eri sovellutuksilla saadut mallinnustulokset voidaan yhdistää Ilmatieteen laitoksen kaupunkimallilla tehtyihin mallinnustuloksiin. Kaaviokuvassa 65 on esitetty kaupunkimallin ja viivalähdemallin toimintaa.




Kuva 65. Kaaviokuva Ilmatieteen laitoksella kehitettyjen leviämismallien, viivalähdemallin (CAR-FMI) ja piste- ja pintapäästölähteiden leviämismallin (UDM-FMI) toiminnasta.

## 6.1 Liikenteen suspensiopäästömalli katupölyn mallintamiseen

Tieliikenne aiheuttaa pakokaasujen suorien pienhiukkaspäästöjen lisäksi myös epäsuoria hiukkaspäästöjä ajoneuvojen nostattaman katupölyn muodossa, mistä suurin osa on hengitettäviä hiukkasia. Ilmatieteen laitoksen leviämismalleilla voidaan laskea liikenteen suorien hiukkaspäästöjen lisäksi liikenteen epäsuora vaikutus hengitettävien hiukkasten pitoisuuksiin. Tieliikenteen hengitettävien hiukkasten pitoisuuksien laskelmissa hyödynnetään suspensiopäästömallia, jolla kuvataan katujen pölyämisen vaikutusta hiukkaspäästöön (*Kauhaniemi ym., 2011*). Suspensiopäästömalli perustuu Ruotsin Ilmatieteen laitoksen (SMHI) kehittämään hiukkaspäästömalliin (*Omstedt ym., 2005*).

Tienpinnan kosteus säätelee hiukkasten nousemista tienpinnalta ilmaan. Suspensiopäästömalli arvioi tien pinnan kosteutta sademäärän, haihdunnan ja valunnan avulla. Mallissa kuvitteellinen tien pölykerros kasvaa kosteissa olosuhteissa nastarenkaiden aiheuttaman tien kulumisen ja hiekoituksen vuoksi, sillä pöly ei pääse vapautumaan ilmaan sateisina aikoina. Kuivana kautena liikenteen ja tuulen aiheuttama turbulenssi nostaa hiukkaset ilmaan pienentäen näin pölykerrosta. Tien pölykerros pienenee myös sateen aiheuttaman huuhtoutumisen seurauksena. Tien kulumisesta aiheutuvan pölykerroksen paksuus riippuu nastarenkaiden käytön määrästä. Tien hiekoituksesta aiheutuva pölykerros määräytyy mallissa meteorologisten muuttujien mukaan tai kaupungin katujen kunnossapidosta saatujen hiekoitustietojen mukaan. Katujen pölyämisestä ilmaan vapautuvan päästön määrää arvioidaan tiepölyhiukkasten suspensiopäästökertoimien, liikennemäärien ja sääolosuhteiden avulla.

## 6.2 Typenoksidipäästöjen ilmakemiamalli

Kiinteiden päästölähteiden polttoaineiden palamisessa muodostuvat ja liikenteen typenoksidipäästöt ovat pääasiassa typpimonoksidia (NO), kun taas terveysvaikutuksiltaan haitallisempaa typpidioksidia ($NO_2$) on päästöistä pienempi osa. Oksidit hapettuvat ilmassa kaasufaasireaktioissa hapen, otsonin, hydroksyyliradikaalin ja orgaanisten peroksiradikaalien 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 muutuntaa käsitellään menetelmällä, jossa kaupunkimalliin on yhdistetty erilaisten meteorologisten tilanteiden ja otsonin taustapitoisuuden mukaan parametrisoituja funktioita. Näillä funktioilla kuvataan typen oksidien hapettumista ja $NO_2$/NO -suhteen muuttumista poistokaasuvanassa eri etäisyyksillä päästölähteestä.

Liikenteen päästöjen leviämistä kuvaavaan viivalähdemalliin on kehitetty Ilmatieteen laitoksella typenoksien muutuntaa 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 typenoksidi- ja otsonipitoisuuksien keskimääräiset tuntikeskiarvojen jakaumat. Laskennassa huomioidaan muiden viivalähteiden aiheuttamat typpidioksidi- ja typpimonoksidipitoisuudet järjestämällä viivalähteet pitoisuuksia laskettaessa tuulen suunnan mukaan. Näin jokaisen viivalähteen kemiallista muutuntaa arvioitaessa on typpidioksidi- ja typpimonoksidipitoisuuksissa huomioitu kaikkien tuulen yläpuolella olevien, aiemmin laskennassa mukana olleiden viivalähteiden vaikutus tarkasteltavaan viivalähteeseen. Otsonin kuluminen 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 muutunta voi loppua kokonaan typenoksidipäästön määrästä riippumatta.

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

### 6.3 Meteorologisten tietojen käsittelymalli (MPP-FMI)

Ilmatieteen laitoksen leviämismalleissa tarvittavan sääaineiston tuottamisessa käytetään Ilmatieteen laitoksella kehitettyä meteorologisten tietojen käsittelymallia (Meteorological preprocessor, MPP-FMI). Malli perustuu ilmankehän 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**

*Anttila, P., Tuovinen, J-P. ja Niemi, J., 2011*. Primary $NO_2$ emissions and their role in the development of $NO_2$ concentration in a traffic environment. Atmospheric Environment 45 (2011) 986–992.

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

*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

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

*Ilmatieteen laitos, 2019.* Ilmatieteen laitoksen ylläpitämä Ilmanlaatu Suomessa -sivusto, josta on saatavilla mittaustiedot ja historiatietoja pitoisuuksista lähes kaikilta Suomen ilmanlaadun seuranta-asemilta: https://ilmatieteenlaitos.fi/ilmanlaatu

*Karppinen, A., Kukkonen, J., Nordlund, G., Rantakrans, E. ja Valkama, I., 1998.* A dispersion modelling system for urban air pollution. Ilmansuojelun julkaisuja no. 28. Ilmatieteen laitos, Helsinki.

*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.

*Kiljunen, A. ja Keskitalo, T., 2018.* Siilinjärven kaivoksen louhosjatkumo. Pölymallinnus. Ramboll Finland Oy, 26.2.2108.

*Komppula, B., Salmi, J. ja Lovén, K., 2012*. Kuopion katupölytilanne. Hiukkaspitoisuuksien vertailu Suomen muiden kaupunkien pitoisuustasoihin. Ilmatieteen laitos, Ilmanlaadun asiantuntijapalvelut, Helsinki. 41 sivua + 28 liites. http://expo.fmi.fi/ages/public/Raportti_Kuopion_katupolytilanne.pdf

*Ramboll Finland Oy, 2018*. Yara Suomi Oy, Siilinjärven toimipaikka. Kipsin läjitysalueen laajennuksen ympäristövaikutusten arviointiselostus. 5.10.2018.

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

*Rasila, T., Pietarila, H ja Pesonen, R., 2007*. Kuopion ja Siilinjärven vuosien 2005 ja 2020 hiukkaspäästöjen ja vuoden 2005 autoliikenteen hiilimonoksidipäästöjen leviämislaskelmat. Ilmatieteen laitos, Ilmanlaadun asiantuntijapalvelut, Helsinki, 52 s. + 57 liites.

*Rasila, T., Pietarila, H, Lovén, K ja Alaviippola, B., 2008*. Kuopion ja Siilinjärven vuosien 2005 ja 2020 typenoksidipäästöjen leviämislaskelmat. Ilmatieteen laitos, Ilmanlaadun asiantuntijapalvelut, Helsinki, 55 s. + 57 liites.
http://expo.fmi.fi/ages/public/Kuopion_ja_Siilinjarven_leviamismallilaskelmat_2008.pdf

*Rasila, T., Salmi, J. ja Latikka, J., 2017*. Ilmanlaatuselvitys. Kuopion autoliikenteen päästöjen aiheuttamat hiukkas- ja typpidioksidipitoisuudet nykyisessä ja ennustetussa vuoden 2030 päästötilanteessa. Ilmatieteen laitos, Asiantuntijapalvelut, Ilmanlaatu ja energia, Helsinki, 24 s. + 16 liites.
http://expo.fmi.fi/ages/public/Kuopion_autoliikenteen_paastojen_leviamisselvitys_2017.pdf

*Rasila, T., Salmi, J. ja Latikka, J., 2018*. Ilmanlaatuselvitys. Kotitalouksien puun pienpolton päästöjen aiheuttamat bentso(a)pyreenin ja pienhiukkasten pitoisuudet Kuopion seudulla. Ilmatieteen laitos, Asiantuntijapalvelut, Ilmanlaatu ja energia, Helsinki. 21 sivua + 20 liitesivua.
http://expo.fmi.fi/ages/public/Kuopion_puun_pienpolton_paastojen_leviamisselvitys_2018.pdf

*Salmi, J. ja Hannuniemi, H., 2015.* Finnpulp Oy. Kuopion Sorsasaloon suunnitellun sellutehtaan päästöjen leviämismallilaskelmat. Ilmatieteen laitos, Asiantuntijapalvelut, Ilmanlaatu ja energia, Helsinki. 35 sivua + 31 liitesivua.

*Savolahti, M., Lehtomäki, H., Karvosenoja, N., Paunu, V.-V., Korhonen, A., Kukkonen, J., Kupiainen, K., Kangas, L., Hänninen, O., Karppinen, A., 2019*. Residential wood combustion in Finland: PM2.5 emissions and health impacts with and without abatement measures. Int. J. Environ. Res. Public Health 16, 2910. https://www.mdpi.com/1660-4601/16/16/2920

*VTT, 2019*. Teknologian tutkimuskeskus VTT. LIPASTO liikenteen päästöt http://lipasto.vtt.fi/

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

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

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

# LIITTEET

# Liitekuvaluettelo

## Päästöt

1. Liikenteen $NO_x$-päästöt ja KAVL 2017
2. Liikenteen $NO_x$-päästöt ja KAVL 2035
3. Liikenteen $PM_{2,5}$-päästöt ja KAVL 2017
4. Liikenteen $PM_{2,5}$-päästöt ja KAVL 2035
5. Liikenteen $PM_{10}$-päästöt
6. Liikenteen $PM_{10}$-päästöt
7. Kiinteistökohtaisen lämmityksen $NO_x$-päästöt 2015
8. Kiinteistökohtaisen lämmityksen $NO_x$-päästöt 2030
9. Kiinteistökohtaisen lämmityksen $PM_{2,5}$-päästöt 2015
10. Kiinteistökohtaisen lämmityksen $PM_{2,5}$-päästöt 2030
11. Kiinteistökohtaisen lämmityksen $PM_{10}$-päästöt 2015
12. Kiinteistökohtaisen lämmityksen $PM_{10}$-päästöt 2030
13. Energiantuotannon ja teollisuuden $NO_x$-päästöt 2017
14. Energiantuotannon ja teollisuuden $NO_x$-päästöt 2035
15. Energiantuotannon ja teollisuuden PM-päästöt 2017
16. Energiantuotannon ja teollisuuden PM-päästöt 2035

## Kuopion ilmanlaatu 2017

17. 2017 Kuopio kaikki päästölähteet + tausta $NO_2$ vuosikeskiarvo
18. 2017 Kuopio kaikki päästölähteet + tausta $NO_2$ vuorokausiohjearvo
19. 2017 Kuopio liikenne $NO_2$ vuosikeskiarvo
20. 2017 Kuopio liikenne $NO_2$ vuorokausiohjearvo
21. 2017 Kuopio kiinteistökohtainen lämmitys $NO_2$ vuosikeskiarvo
22. 2017 Kuopio kiinteistökohtainen lämmitys $NO_2$ vuorokausiohjearvo
23. 2017 Kuopio teollisuus ja energiantuotanto $NO_2$ vuosikeskiarvo
24. 2017 Kuopio teollisuus ja energiantuotanto $NO_2$ vuorokausiohjearvo

25. 2017 Kuopio kaikki päästölähteet + tausta $PM_{2,5}$ vuosikeskiarvo
26. 2017 Kuopio kaikki päästölähteet + tausta $PM_{2,5}$ WHO-vrk
27. 2017 Kuopio liikenne $PM_{2,5}$ vuosikeskiarvo
28. 2017 Kuopio liikenne $PM_{2,5}$ WHO-vrk
29. 2017 Kuopio kiinteistökohtainen lämmitys $PM_{2,5}$ vuosikeskiarvo
30. 2017 Kuopio kiinteistökohtainen lämmitys $PM_{2,5}$ WHO-vrk
31. 2017 Kuopio teollisuus ja energiantuotanto $PM_{2,5}$ vuosikeskiarvo
32. 2017 Kuopio teollisuus ja energiantuotanto $PM_{2,5}$ WHO-vrk

33. 2017 Kuopio kaikki päästölähteet + tausta $PM_{10}$ vuosikeskiarvo
34. 2017 Kuopio kaikki päästölähteet + tausta $PM_{10}$ vuorokausiohjearvo
35. 2017 Kuopio liikenne $PM_{10}$ vuosikeskiarvo
36. 2017 Kuopio liikenne $PM_{10}$ vuorokausiohjearvo
37. 2017 Kuopio kiinteistökohtainen lämmitys $PM_{10}$ vuosikeskiarvo
38. 2017 Kuopio kiinteistökohtainen lämmitys $PM_{10}$ vuorokausiohjearvo

## Kuopion ilmanlaatu 2035

39. 2035 Kuopio kaikki päästölähteet + tausta $NO_2$ vuosikeskiarvo
40. 2035 Kuopio kaikki päästölähteet + tausta $NO_2$ vuorokausiohjearvo
41. 2035 Kuopio liikenne $NO_2$ vuosikeskiarvo
42. 2035 Kuopio liikenne $NO_2$ vuorokausiohjearvo
43. 2035 Kuopio kiinteistökohtainen lämmitys $NO_2$ vuosikeskiarvo
44. 2035 Kuopio kiinteistökohtainen lämmitys $NO_2$ vuorokausiohjearvo
45. 2035 Kuopio teollisuus ja energiantuotanto $NO_2$ vuosikeskiarvo
46. 2035 Kuopio teollisuus ja energiantuotanto $NO_2$ vuorokausiohjearvo

47. 2035 Kuopio kaikki päästölähteet + tausta $PM_{2,5}$ vuosikeskiarvo
48. 2035 Kuopio kaikki päästölähteet + tausta $PM_{2,5}$ WHO-vrk
49. 2035 Kuopio liikenne $PM_{2,5}$ vuosikeskiarvo
50. 2035 Kuopio liikenne $PM_{2,5}$ WHO-vrk
51. 2035 Kuopio kiinteistökohtainen lämmitys $PM_{2,5}$ vuosikeskiarvo
52. 2035 Kuopio kiinteistökohtainen lämmitys $PM_{2,5}$ WHO-vrk
53. 2035 Kuopio teollisuus ja energiantuotanto $PM_{2,5}$ vuosikeskiarvo
54. 2035 Kuopio teollisuus ja energiantuotanto $PM_{2,5}$ WHO-vrk

55. 2035 Kuopio kaikki päästölähteet + tausta $PM_{10}$ vuosikeskiarvo
56. 2035 Kuopio kaikki päästölähteet + tausta $PM_{10}$ vuorokausiohjearvo
57. 2035 Kuopio liikenne $PM_{10}$ vuosikeskiarvo
58. 2035 Kuopio liikenne $PM_{10}$ vuorokausiohjearvo
59. 2035 Kuopio kiinteistökohtainen lämmitys $PM_{10}$ vuosikeskiarvo
60. 2035 Kuopio kiinteistökohtainen lämmitys $PM_{10}$ vuorokausiohjearvo

**Nilsiän ilmanlaatu 2017**

61. 2017 Nilsiä kaikki päästölähteet + tausta $NO_2$ vuosikeskiarvo
62. 2017 Nilsiä kaikki päästölähteet + tausta $NO_2$ vuorokausiohjearvo
63. 2017 Nilsiä kaikki päästölähteet + tausta $PM_{2,5}$ vuosikeskiarvo
64. 2017 Nilsiä kaikki päästölähteet + tausta $PM_{2,5}$ WHO-vrk
65. 2017 Nilsiä kaikki päästölähteet + tausta $PM_{10}$ vuosikeskiarvo
66. 2017 Nilsiä kaikki päästölähteet + tausta $PM_{10}$ vuorokausiohjearvo

**Nilsiän ilmanlaatu 2035**

67. 2035 Nilsiä kaikki päästölähteet + tausta $NO_2$ vuosikeskiarvo
68. 2035 Nilsiä kaikki päästölähteet + tausta $NO_2$ vuorokausiohjearvo
69. 2035 Nilsiä kaikki päästölähteet + tausta $PM_{2,5}$ vuosikeskiarvo
70. 2035 Nilsiä kaikki päästölähteet + tausta $PM_{2,5}$ WHO-vrk
71. 2035 Nilsiä kaikki päästölähteet + tausta $PM_{10}$ vuosikeskiarvo
72. 2035 Nilsiä kaikki päästölähteet + tausta $PM_{10}$ vuorokausiohjearvo

**Siilinjärven ilmanlaatu 2017**

73. 2017 Siilinjärvi kaikki päästölähteet + tausta $NO_2$ vuosikeskiarvo
74. 2017 Siilinjärvi kaikki päästölähteet + tausta $NO_2$ vuorokausiohjearvo
75. 2017 Siilinjärvi liikenne $NO_2$ vuosikeskiarvo
76. 2017 Siilinjärvi liikenne $NO_2$ vuorokausiohjearvo
77. 2017 Siilinjärvi kiinteistökohtainen lämmitys $NO_2$ vuosikeskiarvo
78. 2017 Siilinjärvi kiinteistökohtainen lämmitys $NO_2$ vuorokausiohjearvo
79. 2017 Siilinjärvi teollisuus ja energiantuotanto $NO_2$ vuosikeskiarvo
80. 2017 Siilinjärvi teollisuus ja energiantuotanto $NO_2$ vuorokausiohjearvo

81. 2017 Siilinjärvi kaikki päästölähteet + tausta $PM_{2,5}$ vuosikeskiarvo
82. 2017 Siilinjärvi kaikki päästölähteet + tausta $PM_{2,5}$ WHO-vrk
83. 2017 Siilinjärvi liikenne $PM_{2,5}$ vuosikeskiarvo
84. 2017 Siilinjärvi liikenne $PM_{2,5}$ WHO-vrk
85. 2017 Siilinjärvi kiinteistökohtainen lämmitys $PM_{2,5}$ vuosikeskiarvo
86. 2017 Siilinjärvi kiinteistökohtainen lämmitys $PM_{2,5}$ WHO-vrk
87. 2017 Siilinjärvi teollisuus ja energiantuotanto $PM_{2,5}$ vuosikeskiarvo
88. 2017 Siilinjärvi teollisuus ja energiantuotanto $PM_{2,5}$ WHO-vrk

89. 2017 Siilinjärvi kaikki päästölähteet + tausta $PM_{10}$ vuosikeskiarvo
90. 2017 Siilinjärvi kaikki päästölähteet + tausta $PM_{10}$ vuorokausiohjearvo
91. 2017 Siilinjärvi liikenne $PM_{10}$ vuosikeskiarvo

92. 2017 Siilinjärvi liikenne $PM_{10}$ vuorokausiohjearvo
93. 2017 Siilinjärvi kiinteistökohtainen lämmitys $PM_{10}$ vuosikeskiarvo
94. 2017 Siilinjärvi kiinteistökohtainen lämmitys $PM_{10}$ vuorokausiohjearvo

## Siilinjärven ilmanlaatu 2035

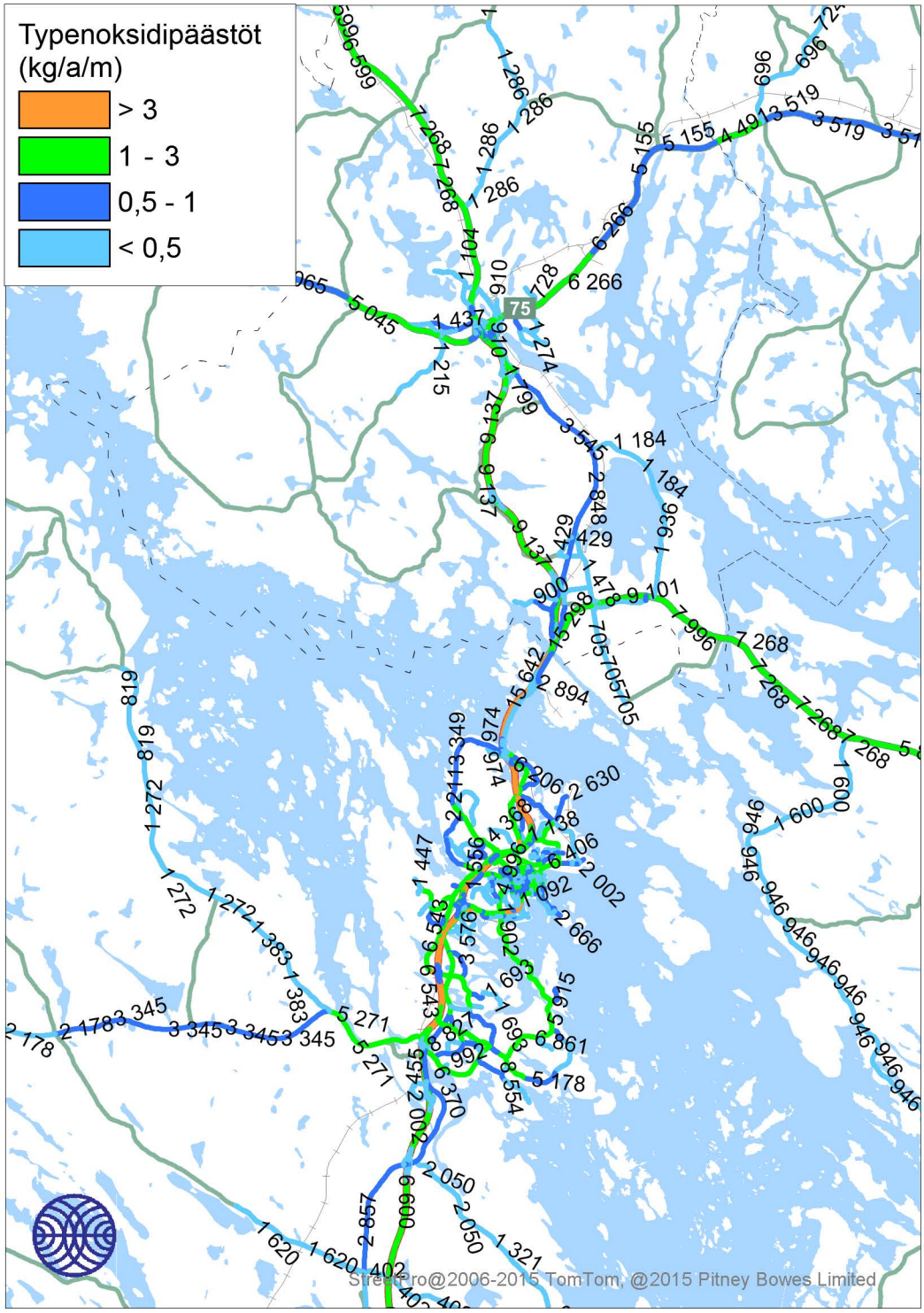
95. 2035 Siilinjärvi kaikki päästölähteet + tausta $NO_2$ vuosikeskiarvo
96. 2035 Siilinjärvi kaikki päästölähteet + tausta $NO_2$ vuorokausiohjearvo
97. 2035 Siilinjärvi liikenne $NO_2$ vuosikeskiarvo
98. 2035 Siilinjärvi liikenne $NO_2$ vuorokausiohjearvo
99. 2035 Siilinjärvi kiinteistökohtainen lämmitys $NO_2$ vuosikeskiarvo
100. 2035 Siilinjärvi kiinteistökohtainen lämmitys $NO_2$ vuorokausiohjearvo
101. 2035 Siilinjärvi teollisuus ja energiantuotanto $NO_2$ vuosikeskiarvo
102. 2035 Siilinjärvi teollisuus ja energiantuotanto $NO_2$ vuorokausiohjearvo

103. 2035 Siilinjärvi kaikki päästölähteet + tausta $PM_{2,5}$ vuosikeskiarvo
104. 2035 Siilinjärvi kaikki päästölähteet + tausta $PM_{2,5}$ WHO-vrk
105. 2035 Siilinjärvi liikenne $PM_{2,5}$ vuosikeskiarvo
106. 2035 Siilinjärvi liikenne $PM_{2,5}$ WHO-vrk
107. 2035 Siilinjärvi kiinteistökohtainen lämmitys $PM_{2,5}$ vuosikeskiarvo
108. 2035 Siilinjärvi kiinteistökohtainen lämmitys $PM_{2,5}$ WHO-vrk
109. 2035 Siilinjärvi teollisuus ja energiantuotanto $PM_{2,5}$ vuosikeskiarvo
110. 2035 Siilinjärvi teollisuus ja energiantuotanto $PM_{2,5}$ WHO-vrk

111. 2035 Siilinjärvi kaikki päästölähteet + tausta $PM_{10}$ vuosikeskiarvo
112. 2035 Siilinjärvi kaikki päästölähteet + tausta $PM_{10}$ vuorokausiohjearvo
113. 2035 Siilinjärvi liikenne $PM_{10}$ vuosikeskiarvo
114. 2035 Siilinjärvi liikenne $PM_{10}$ vuorokausiohjearvo
115. 2035 Siilinjärvi kiinteistökohtainen lämmitys $PM_{10}$ vuosikeskiarvo
116. 2035 Siilinjärvi kiinteistökohtainen lämmitys $PM_{10}$ vuorokausiohjearvo

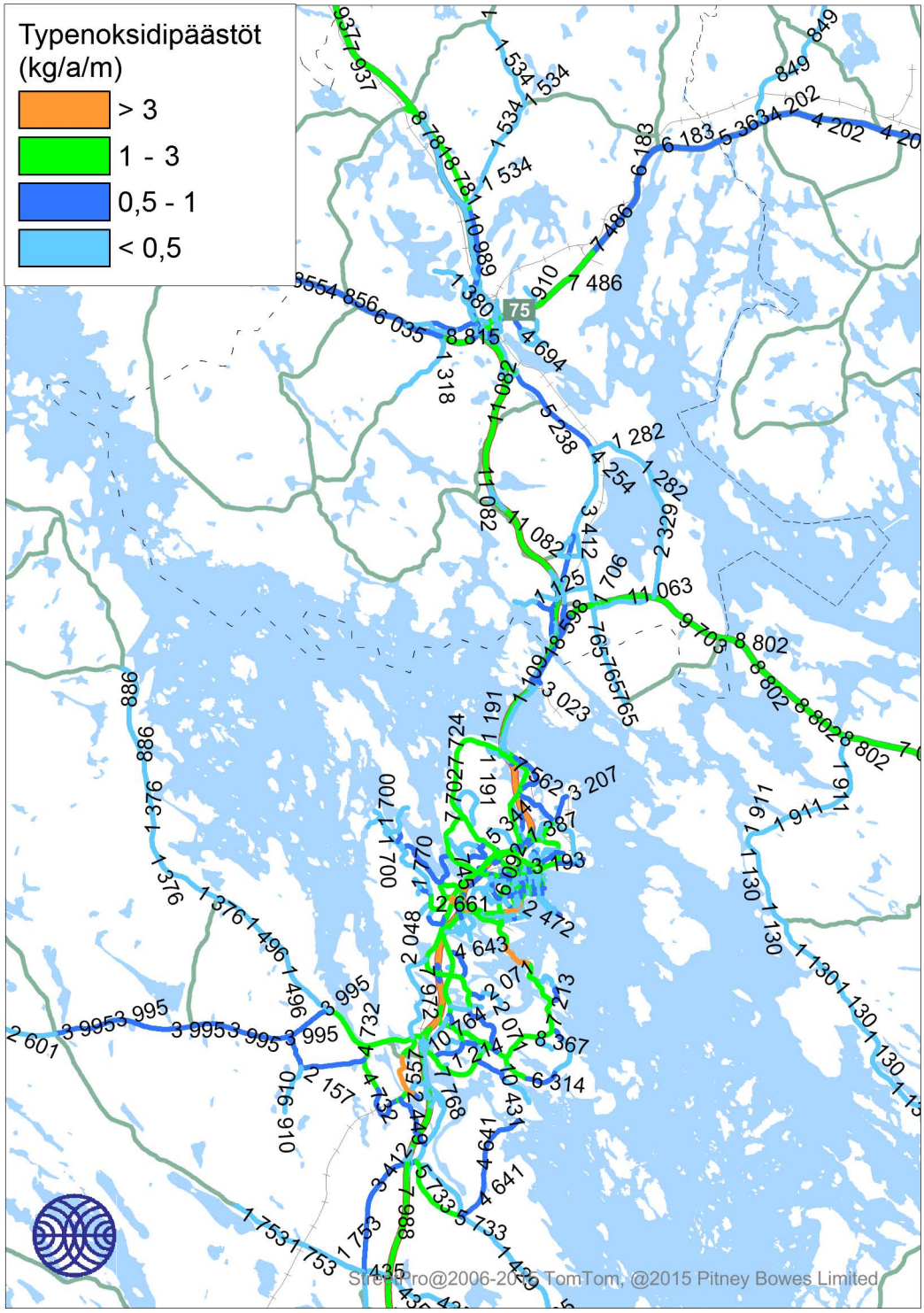
# LIITEKUVAT

# KUOPIO-SIILINJÄRVI




Kuva 1. Liikenteen NOx-päästöt (kg/a/m) ja keskimääräinen arkivuorokausiliikennemäärä (KAVL) vuonna 2017.

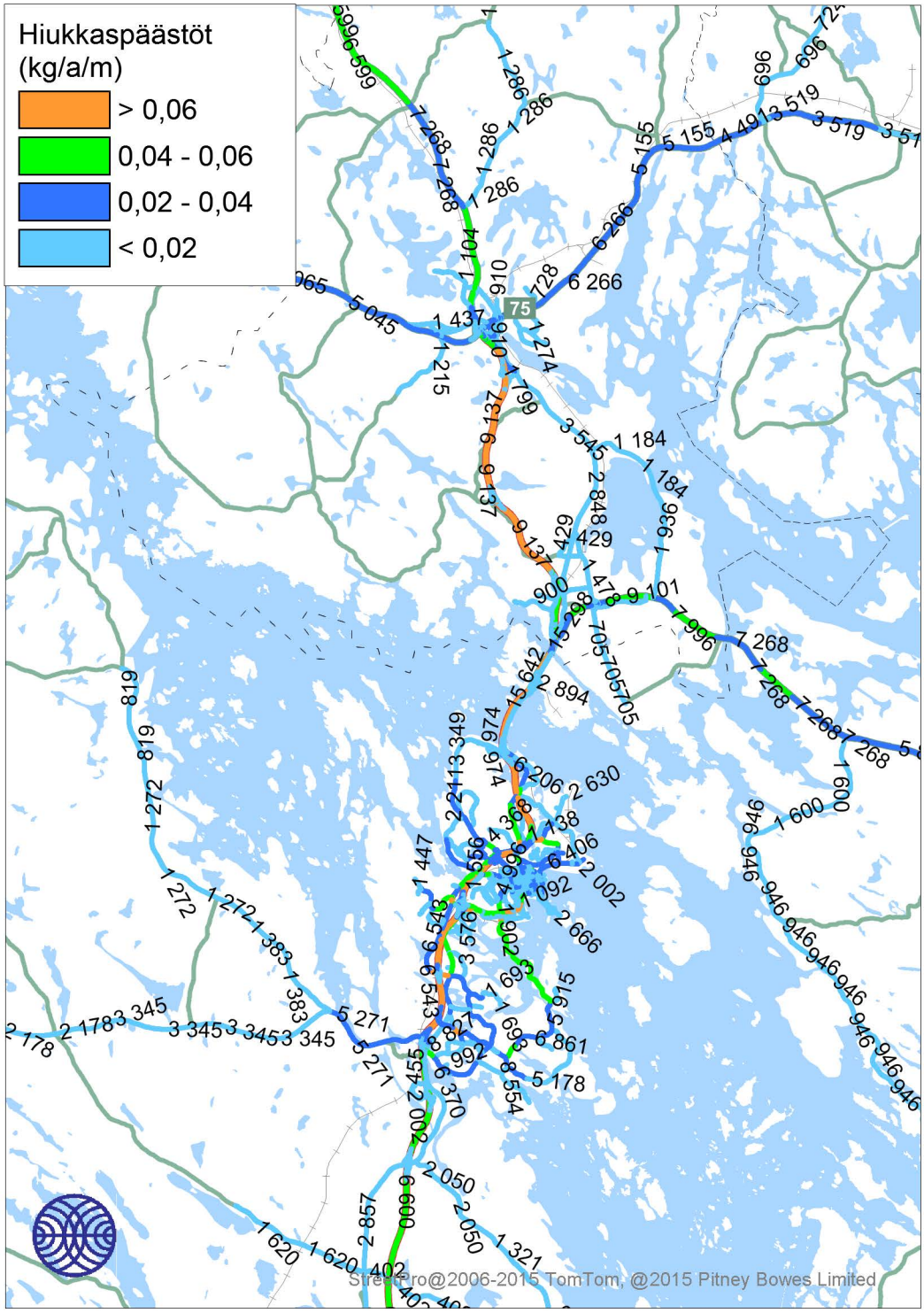
# KUOPIO-SIILINJÄRVI




Ilmatieteen laitos 2019

Kuva 2. Liikenteen NOx-päästöt (kg/a/m) ja keskimääräinen arkivuorokausiliikennemäärä (KAVL) vuonna 2035.

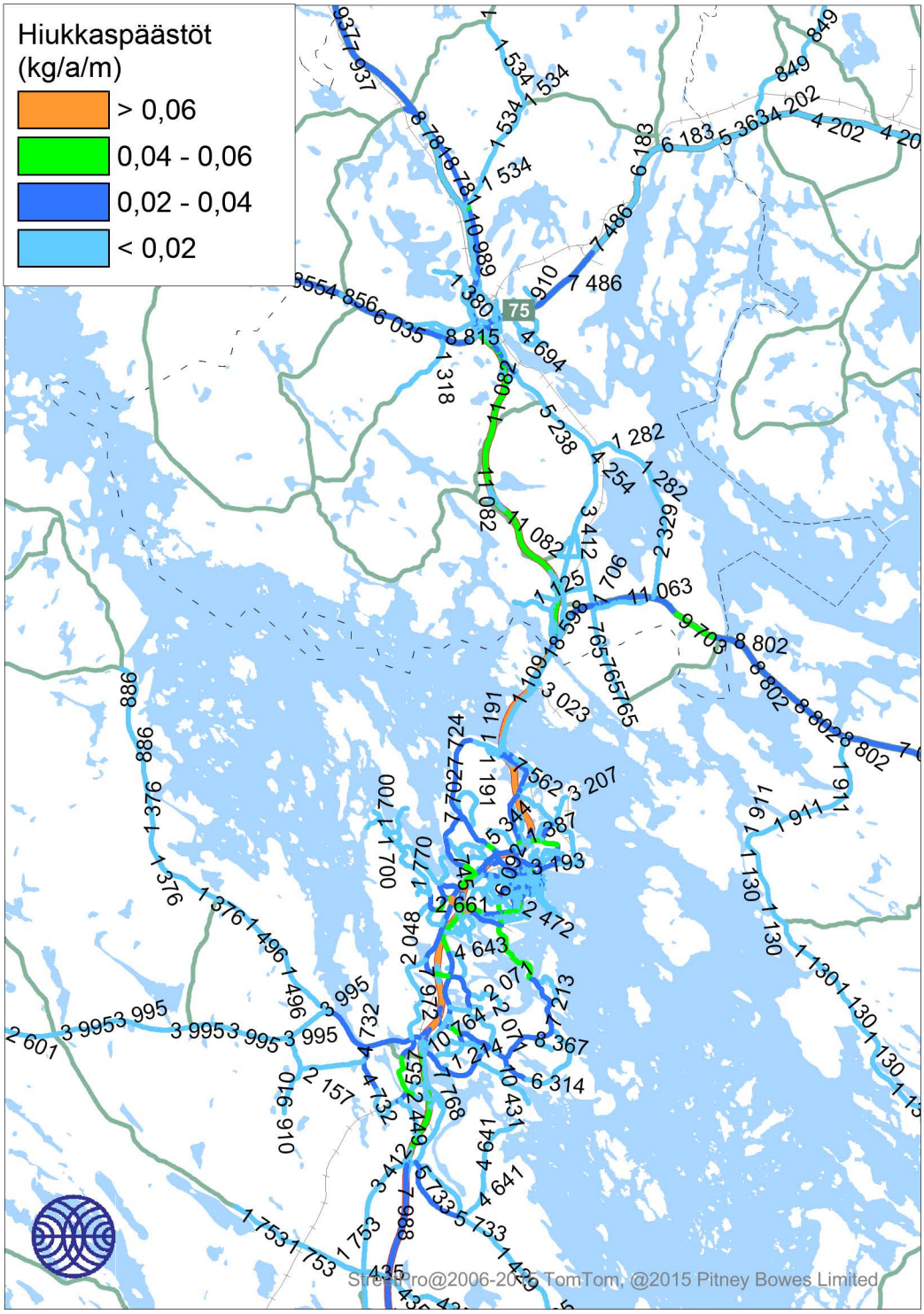
# KUOPIO-SIILINJÄRVI




Ilmatieteen laitos 2019

Kuva 3. Liikenteen PM2,5-päästöt (kg/a/m) ja keskimääräinen arkivuorokausiliikennemäärä (KAVL) vuonna 2017.

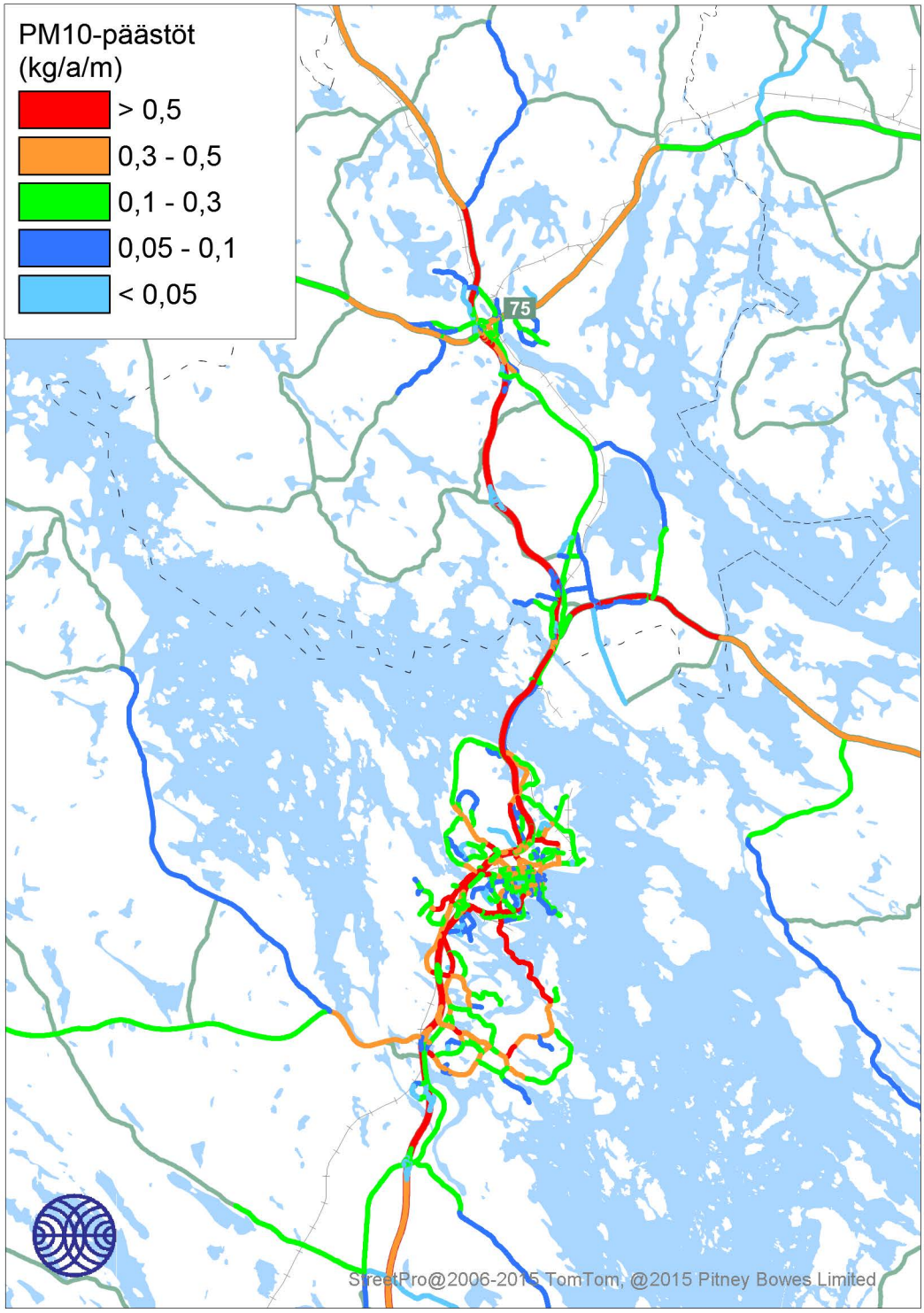
# KUOPIO-SIILINJÄRVI




Ilmatieteen laitos 2019

Kuva 4. Liikenteen PM2,5-päästöt (kg/a/m) ja keskimääräinen arkivuorokausiliikennemäärä (KAVL) vuonna 2035.

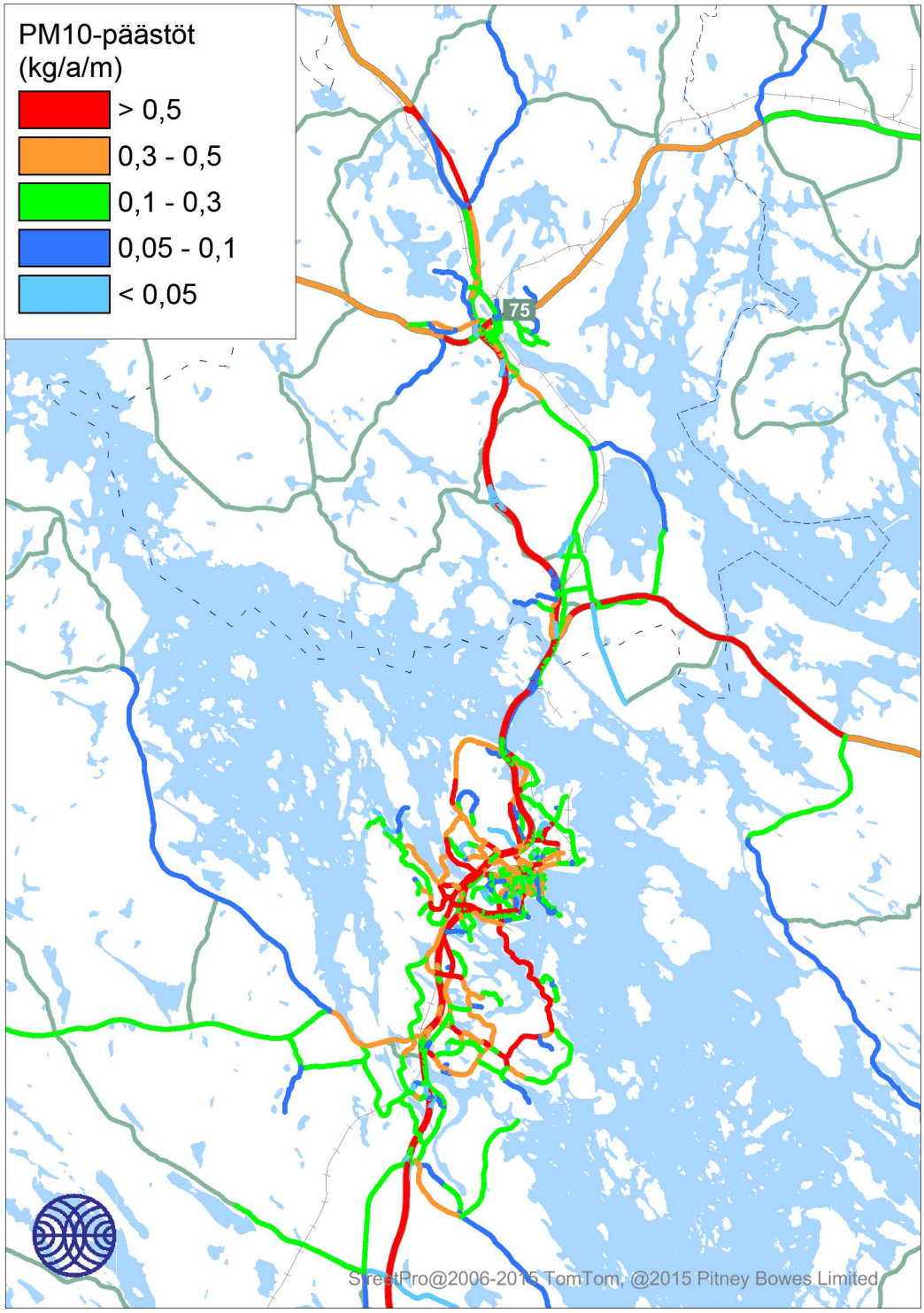
# KUOPIO-SIILINJÄRVI




Ilmatieteen laitos 2019

Kuva 5. Liikenteen PM10-suspensiopäästöt (kg/a/m) vuonna 2017.

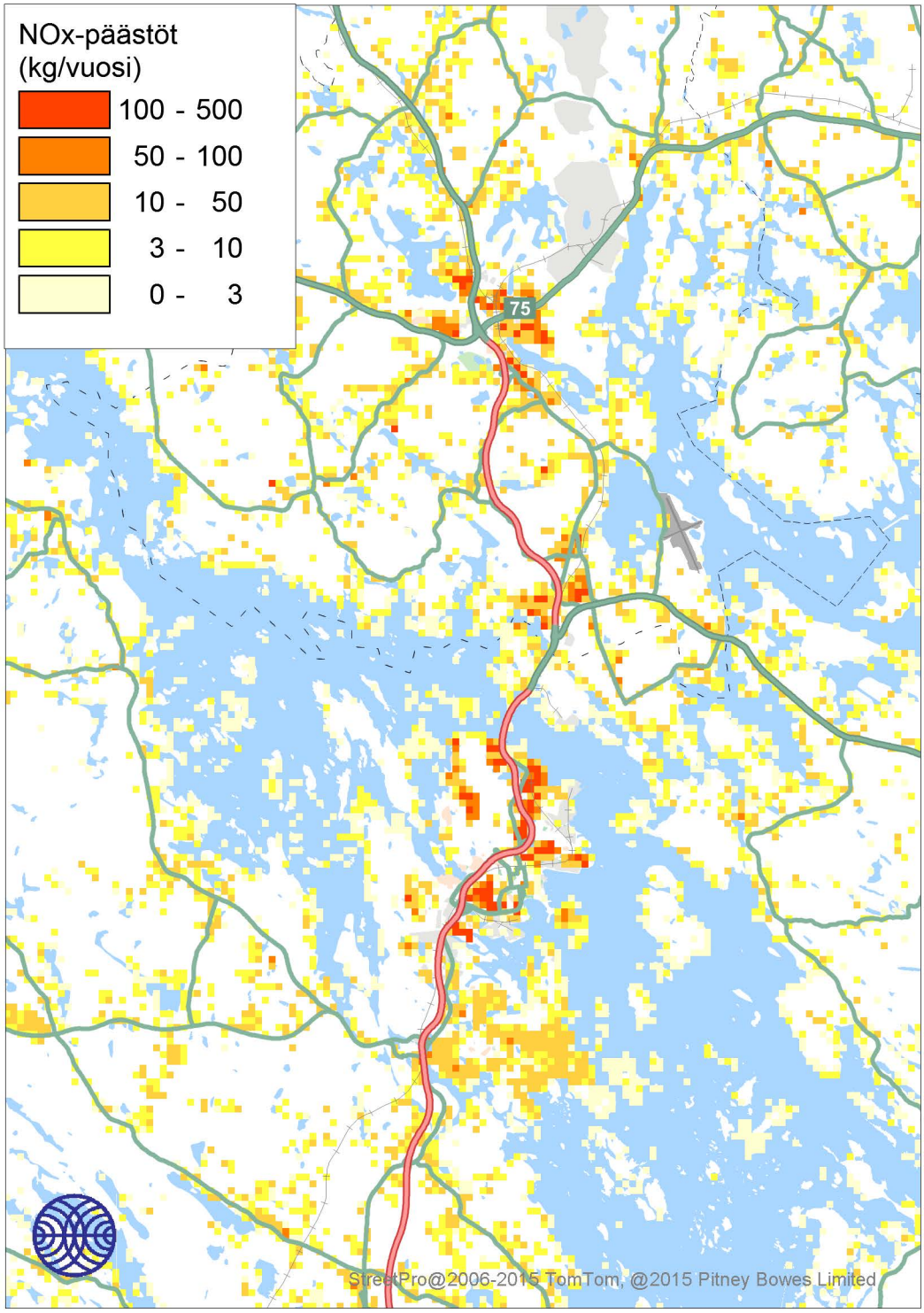
# KUOPIO-SIILINJÄRVI




Ilmatieteen laitos 2019

Kuva 6. Liikenteen PM10-suspensiopäästöt (kg/a/m) vuonna 2035.

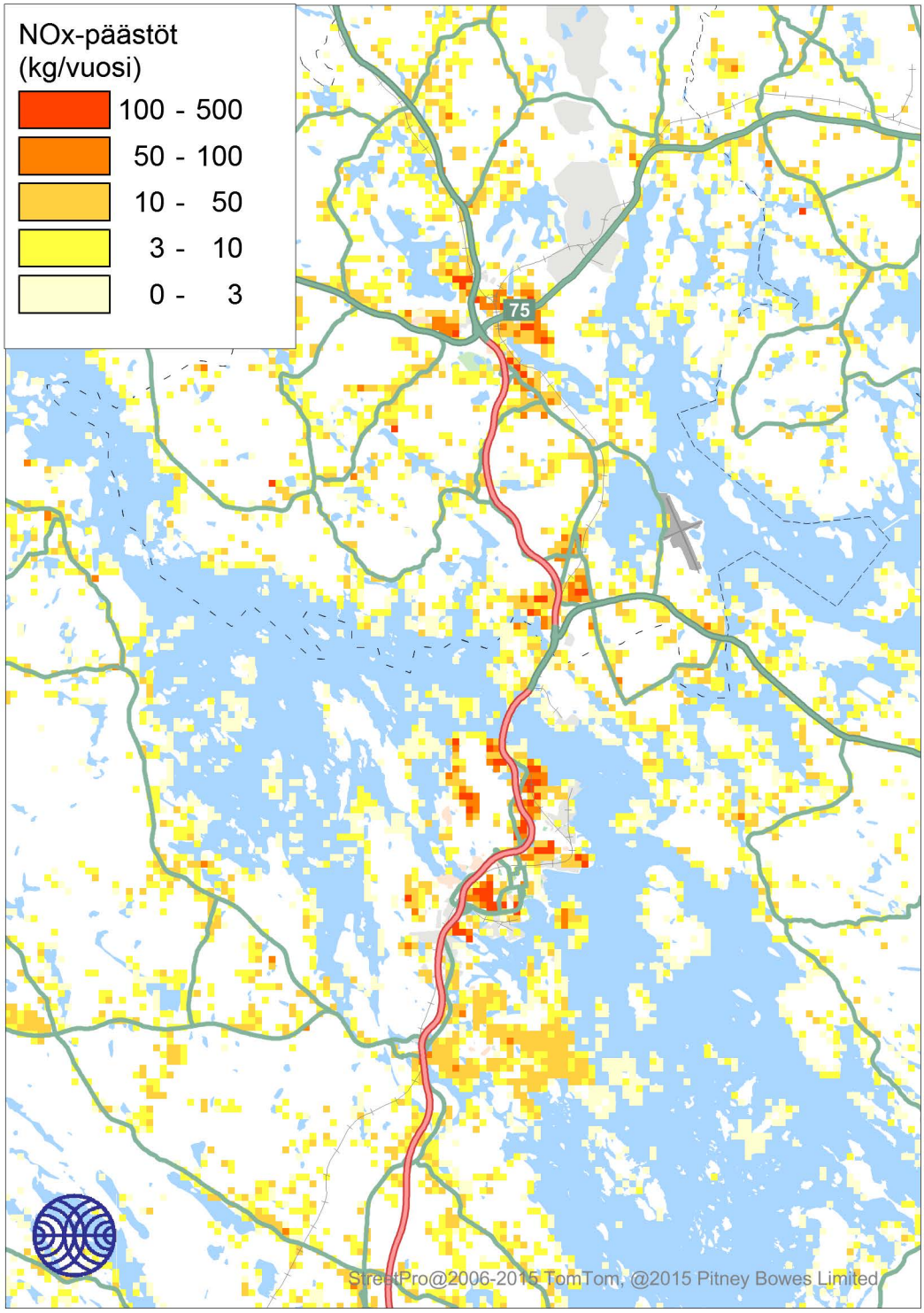
# KUOPIO-SIILINJÄRVI




Ilmatieteen laitos 2019

Kuva 7. Kiinteistökohtaisen lämmityksen NOx-päästöt vuonna 2015.

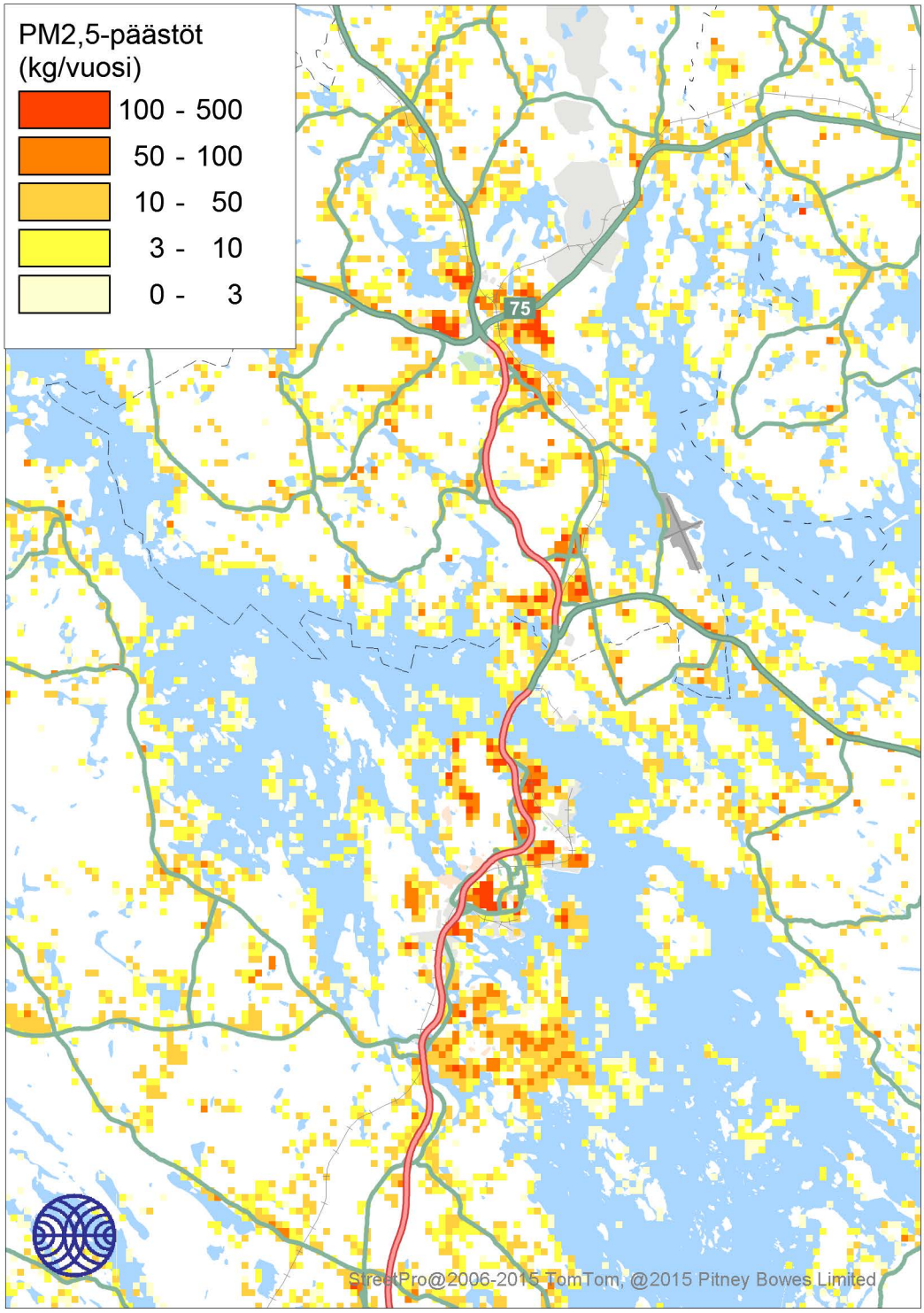
# KUOPIO-SIILINJÄRVI




Ilmatieteen laitos 2019

Kuva 8. Kiinteistökohtaisen lämmityksen NOx-päästöt vuonna 2030.

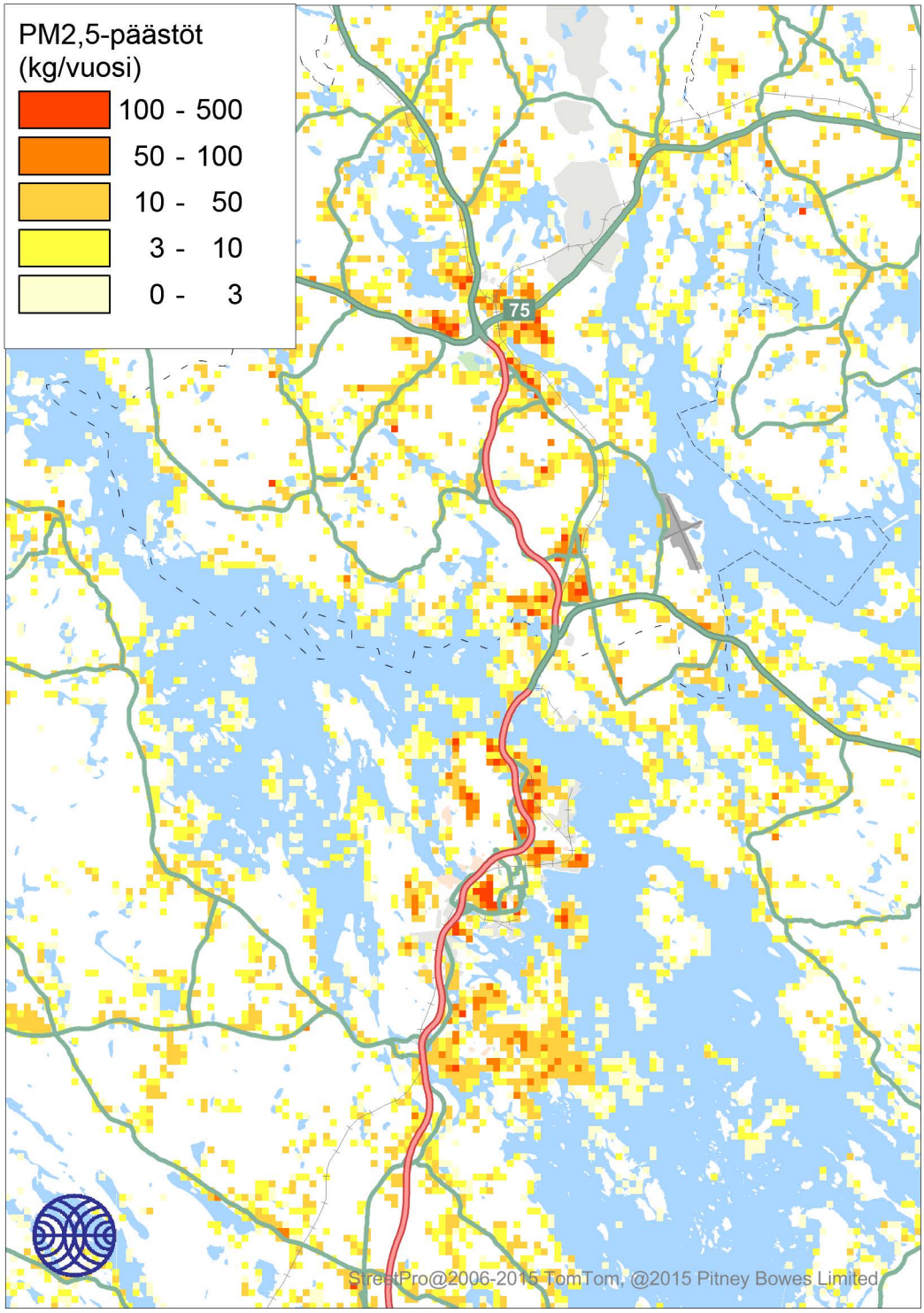
# KUOPIO-SIILINJÄRVI




Ilmatieteen laitos 2019

Kuva 9. Kiinteistökohtaisen lämmityksen PM2,5-päästöt vuonna 2015.

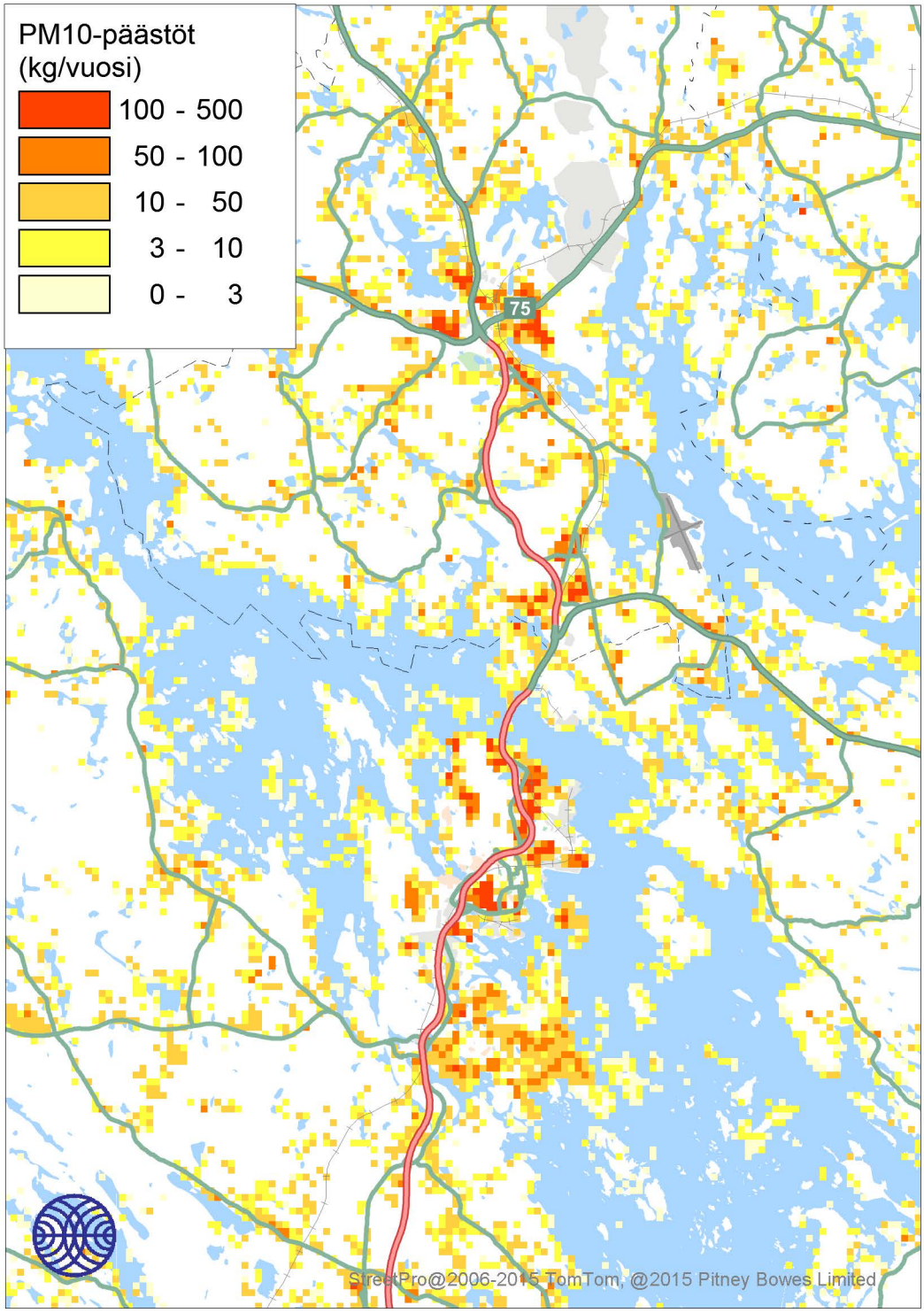
# KUOPIO-SIILINJÄRVI




Ilmatieteen laitos 2019

Kuva 10. Kiinteistökohtaisen lämmityksen PM2,5-päästöt vuonna 2030.

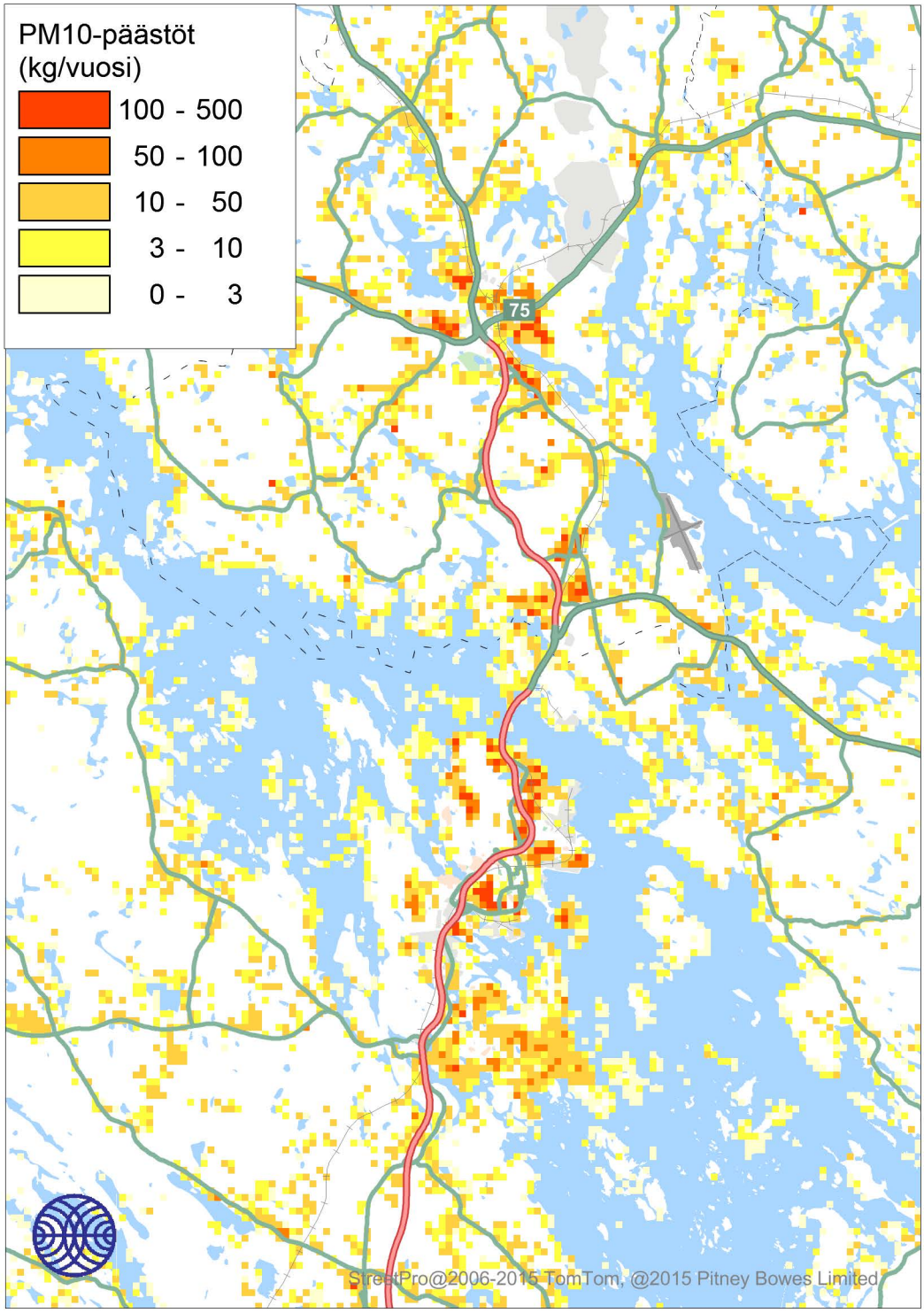
# KUOPIO-SIILINJÄRVI




Ilmatieteen laitos 2019

Kuva 11. Kiinteistökohtaisen lämmityksen PM10-päästöt vuonna 2015.

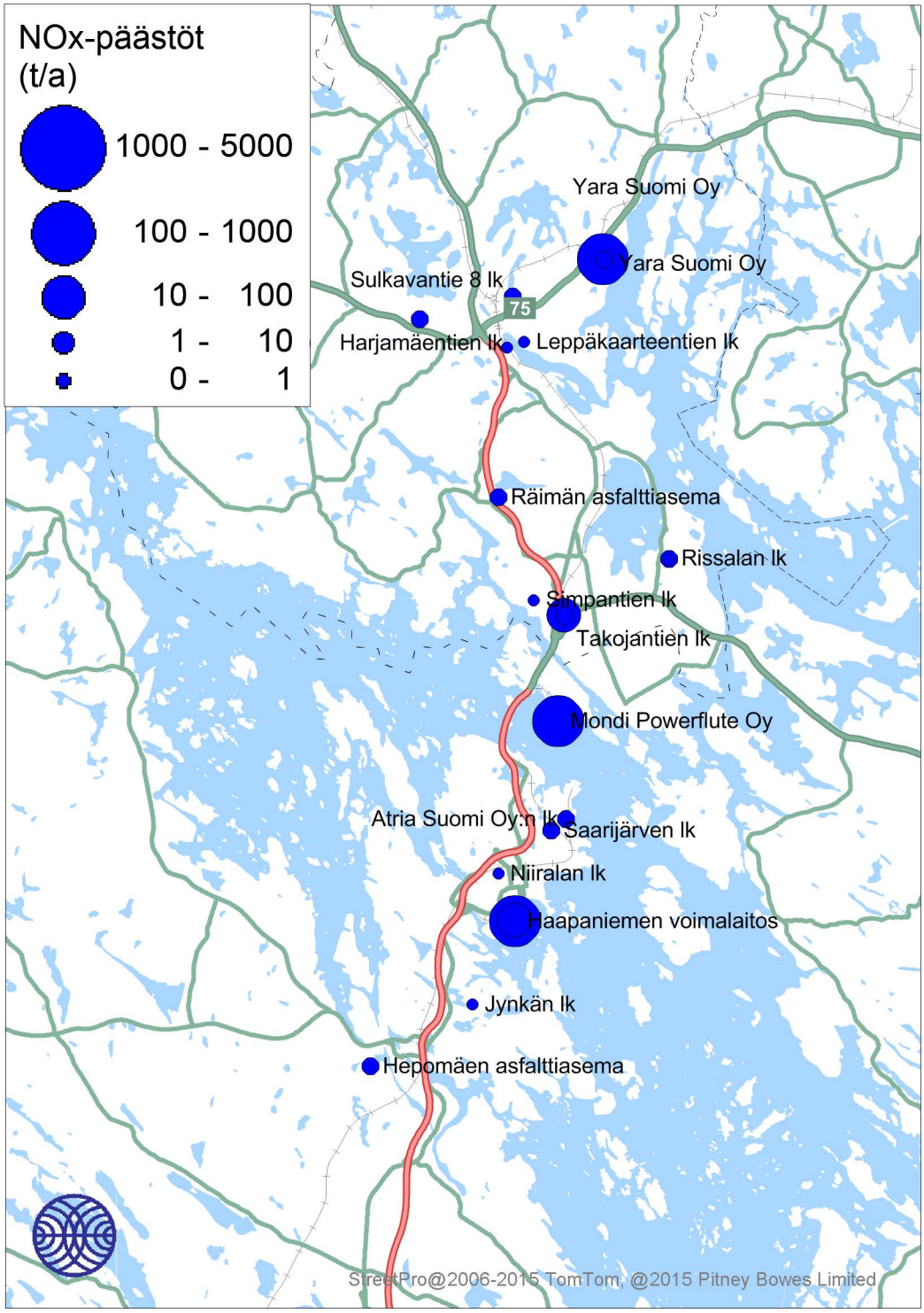
# KUOPIO-SIILINJÄRVI




Ilmatieteen laitos 2019

Kuva 12. Kiinteistökohtaisen lämmityksen PM10-päästöt vuonna 2030.

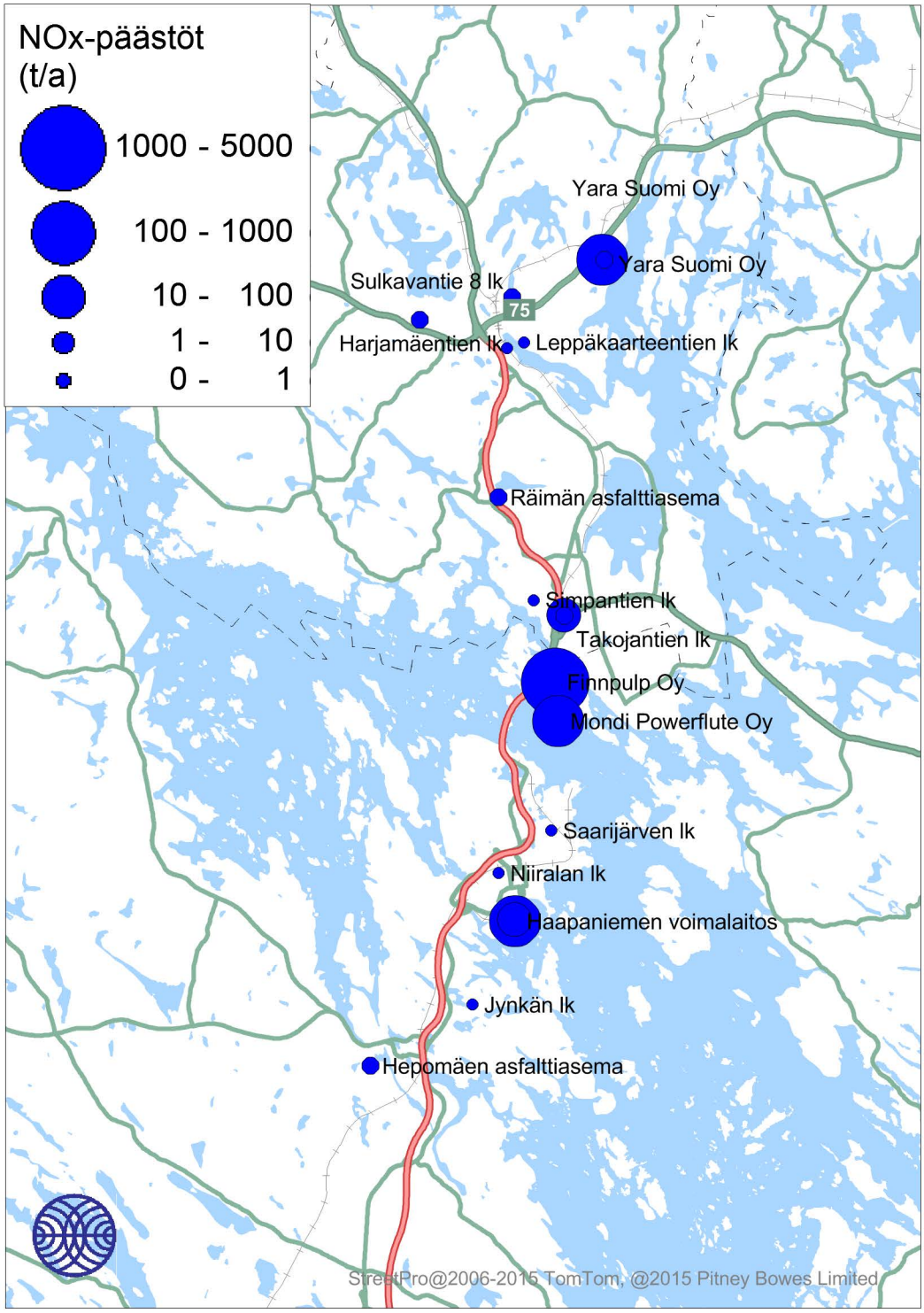
# KUOPIO-SIILINJÄRVI




Ilmatieteen laitos 2019

Kuva 13. Energiantuotannon ja teollisuuden NOx-päästöt (t/a) vuonna 2017.

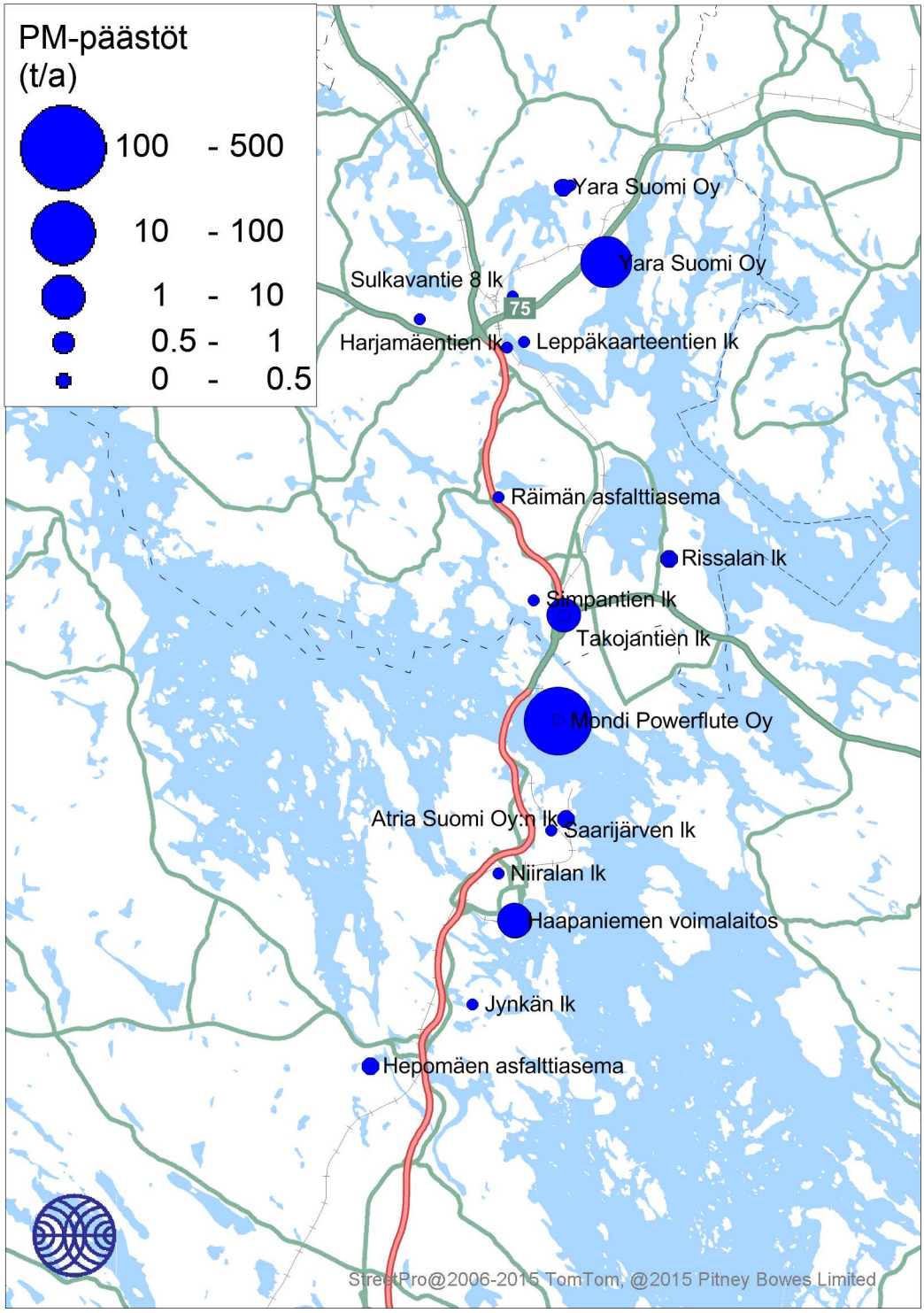
# KUOPIO-SIILINJÄRVI




Ilmatieteen laitos 2019

Kuva 14. Energiantuotannon ja teollisuuden NOx-päästöt (t/a) vuonna 2035.

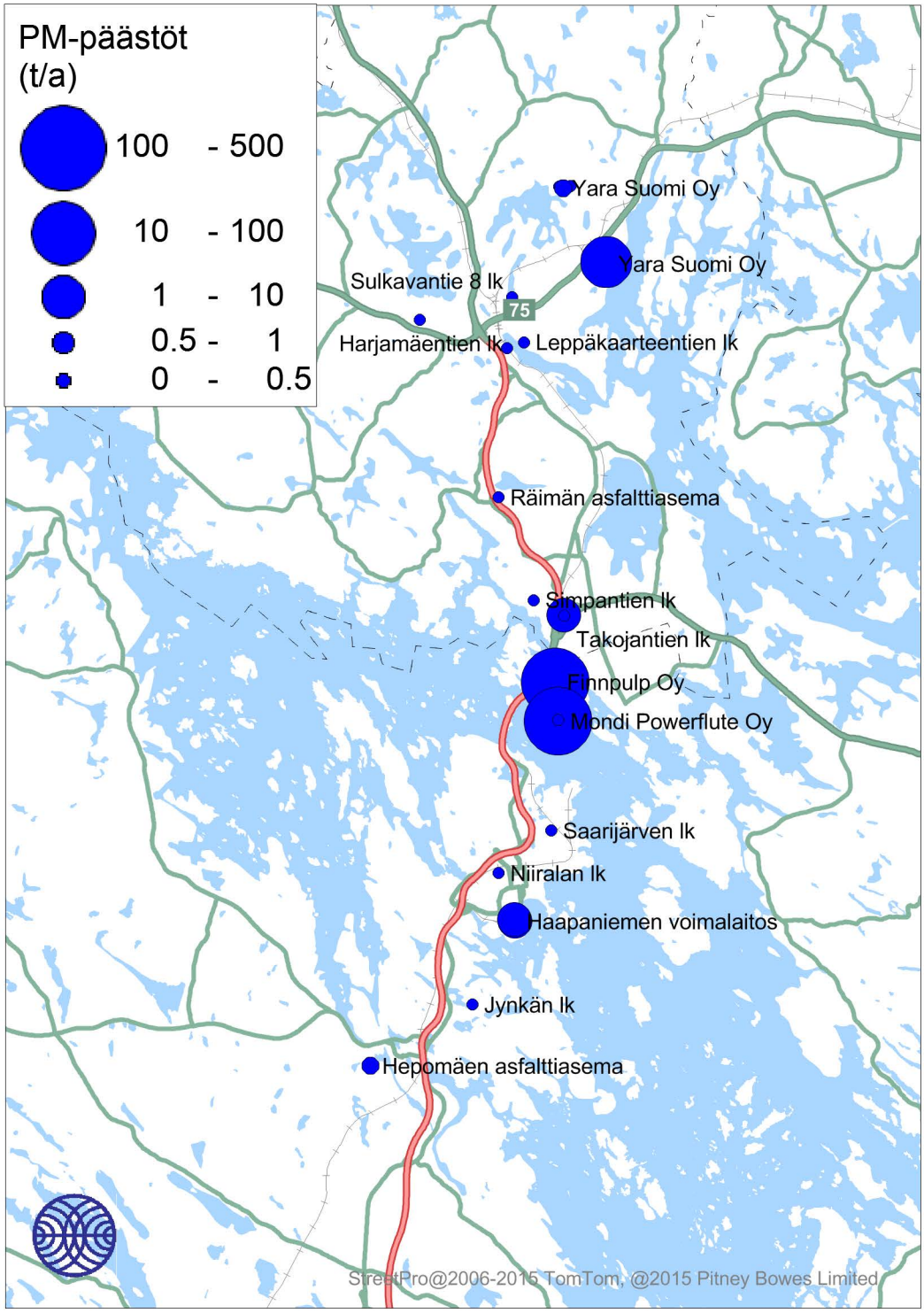
# KUOPIO-SIILINJÄRVI




Ilmatieteen laitos 2019

Kuva 15. Energiantuotannon ja teollisuuden PM-päästöt (t/a) vuonna 2017.

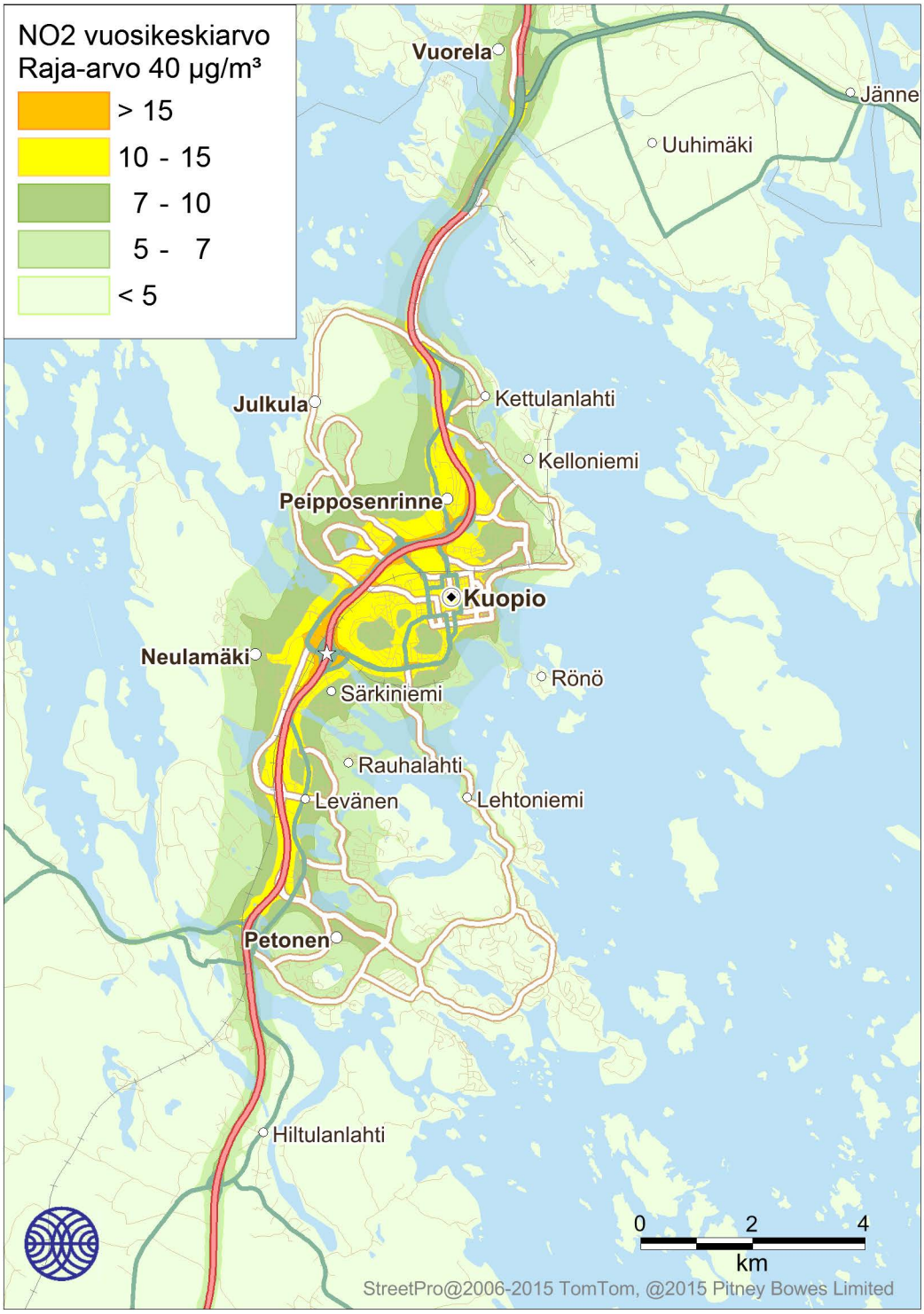
# KUOPIO-SIILINJÄRVI




Ilmatieteen laitos 2019

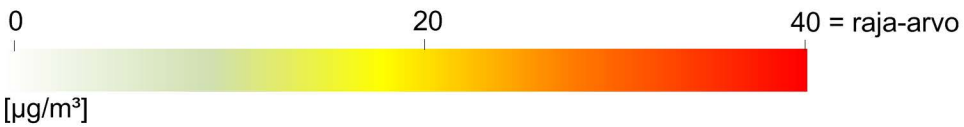
Kuva 16. Energiantuotannon ja teollisuuden PM-päästöt (t/a) vuonna 2035.

# KUOPIO 2017



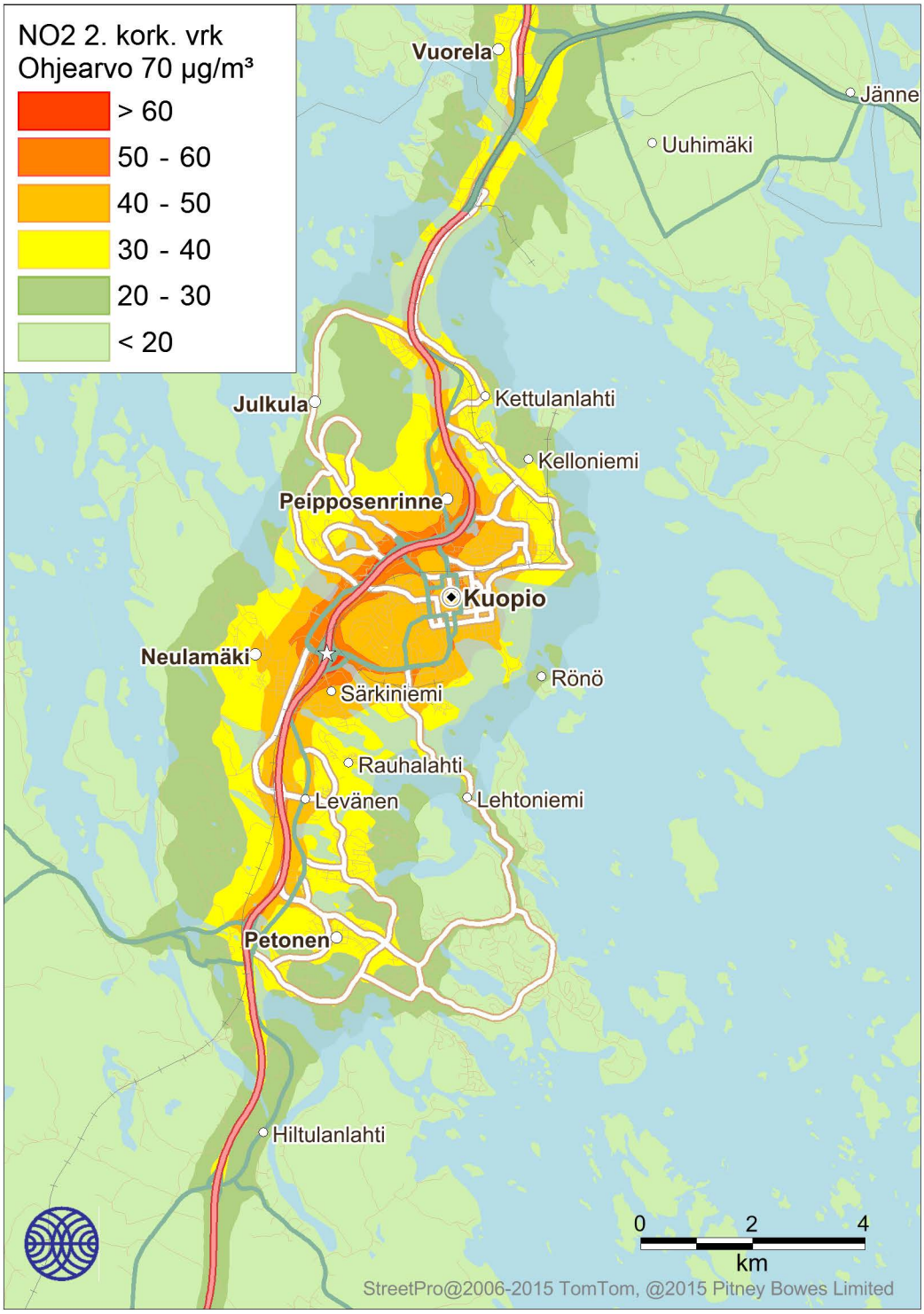

Ilmatieteen laitos 2019

☆ = maksimi = 35 µg/m³



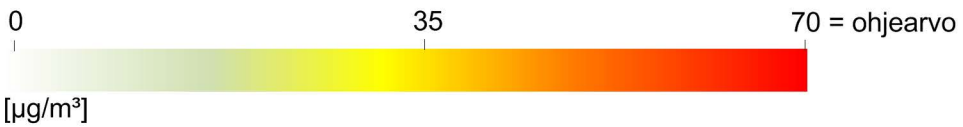

Kuva 17. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden yhdessä aiheuttama NO2 vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

# KUOPIO 2017



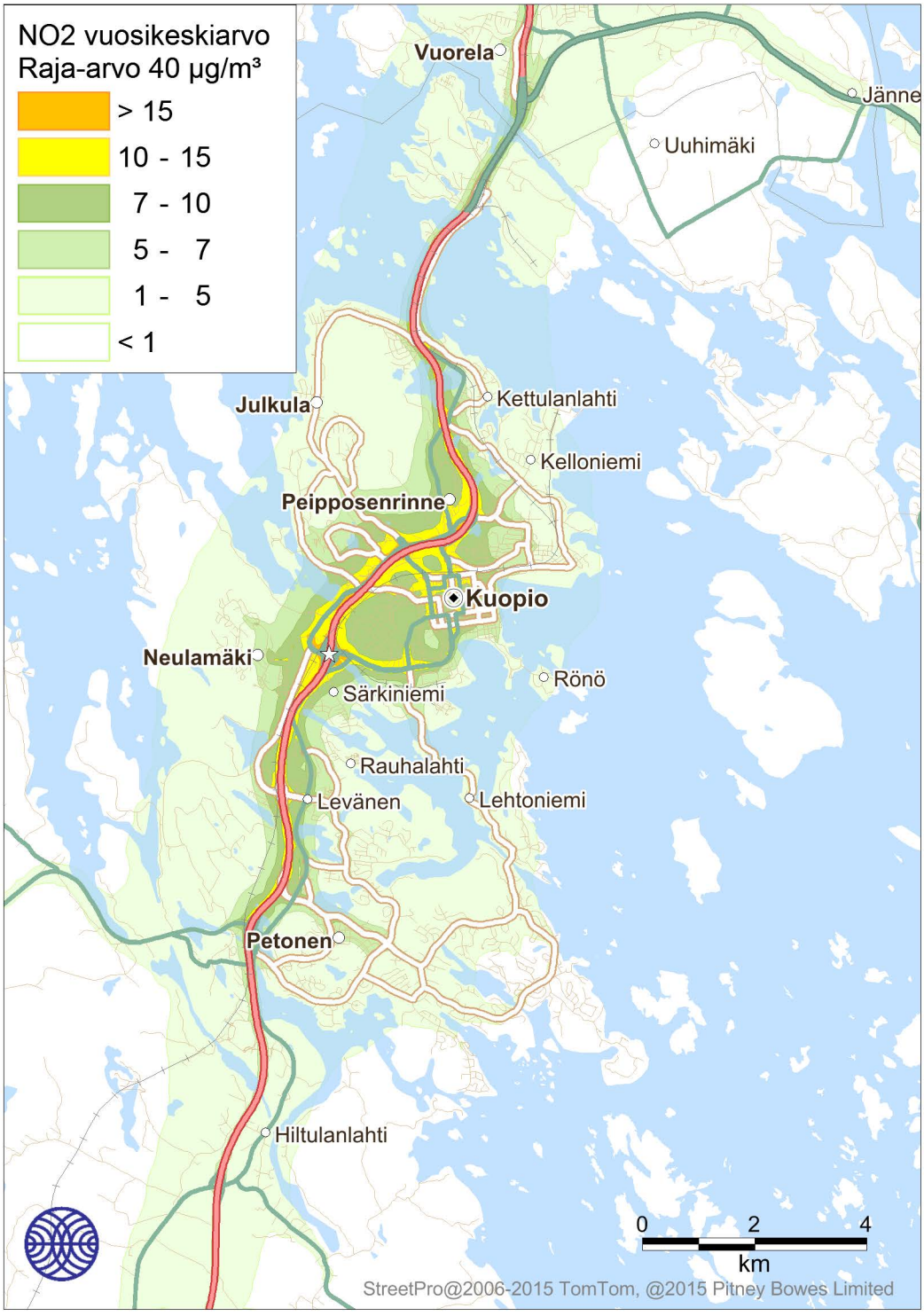

Ilmatieteen laitos 2019

☆ = maksimi = 77 µg/m³



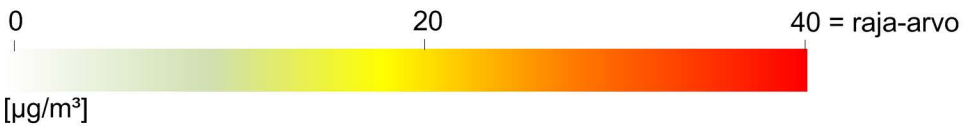

Kuva 18. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden yhdessä aiheuttama NO2 vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

# KUOPIO 2017



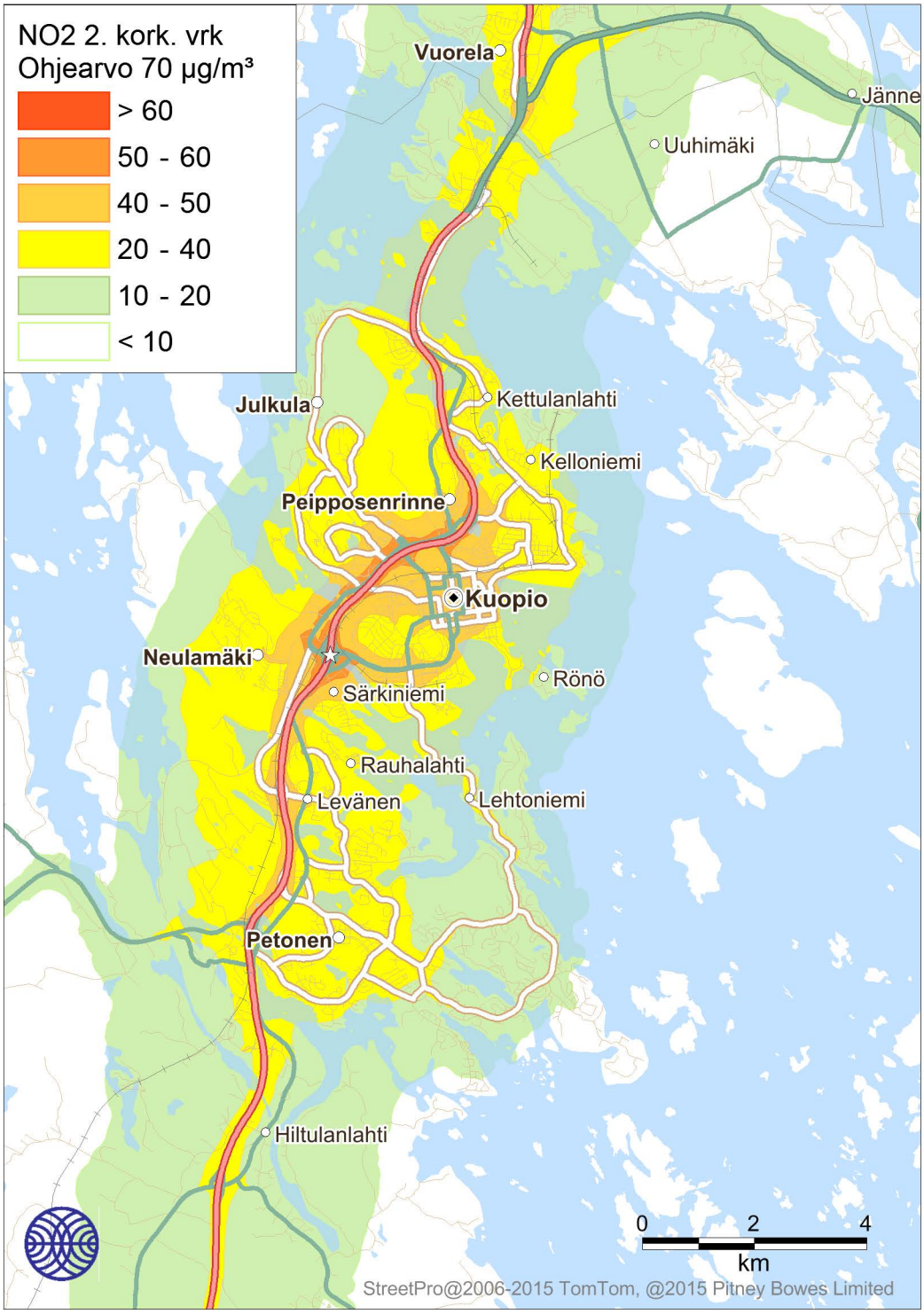

Ilmatieteen laitos 2019

☆ = maksimi = 32 µg/m³



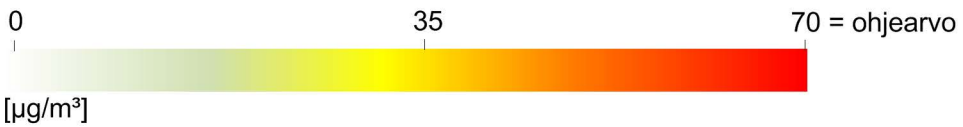

Kuva 19. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama NO2 vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

# KUOPIO 2017




Ilmatieteen laitos 2019

☆ = maksimi = 73 µg/m³

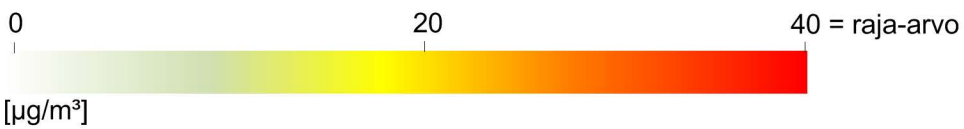



Kuva 20. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama NO2 vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

# KUOPIO 2017

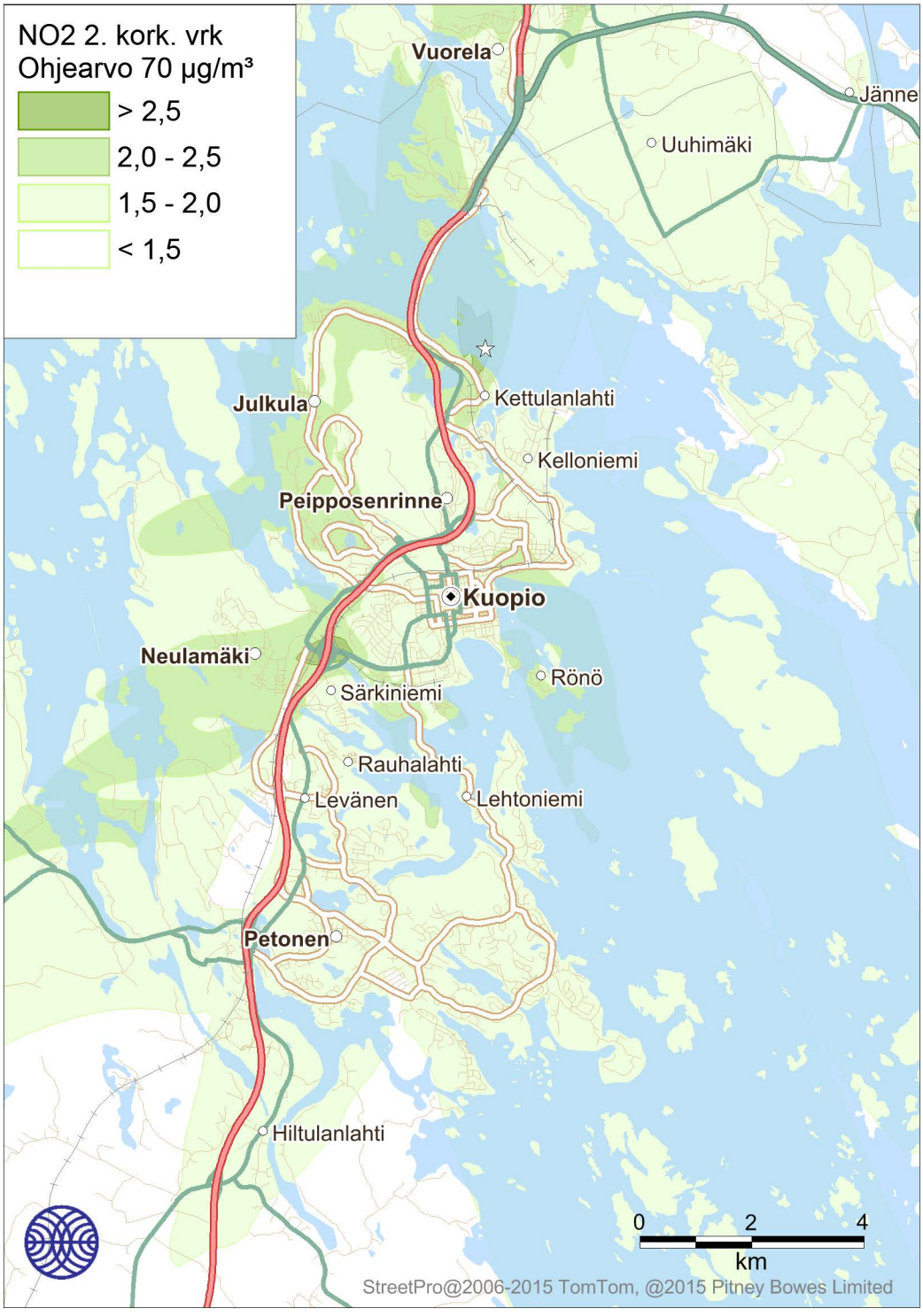
Ilmatieteen laitos 2019

☆ = maksimi = 0,30 µg/m³



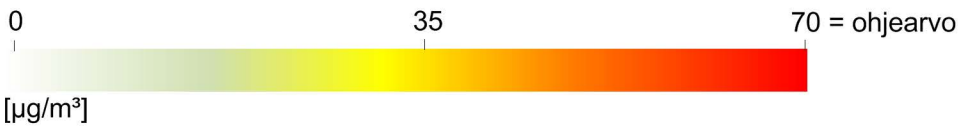

Kuva 21. Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttama NO2 vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

# KUOPIO 2017




Ilmatieteen laitos 2019

☆ = maksimi = 2,8 µg/m³

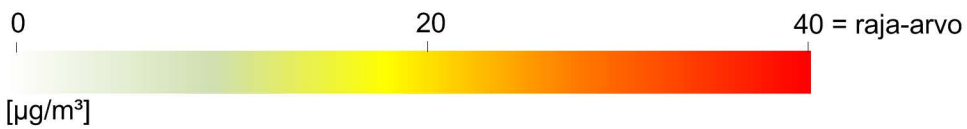



Kuva 22. Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttama NO2 vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

# KUOPIO 2017

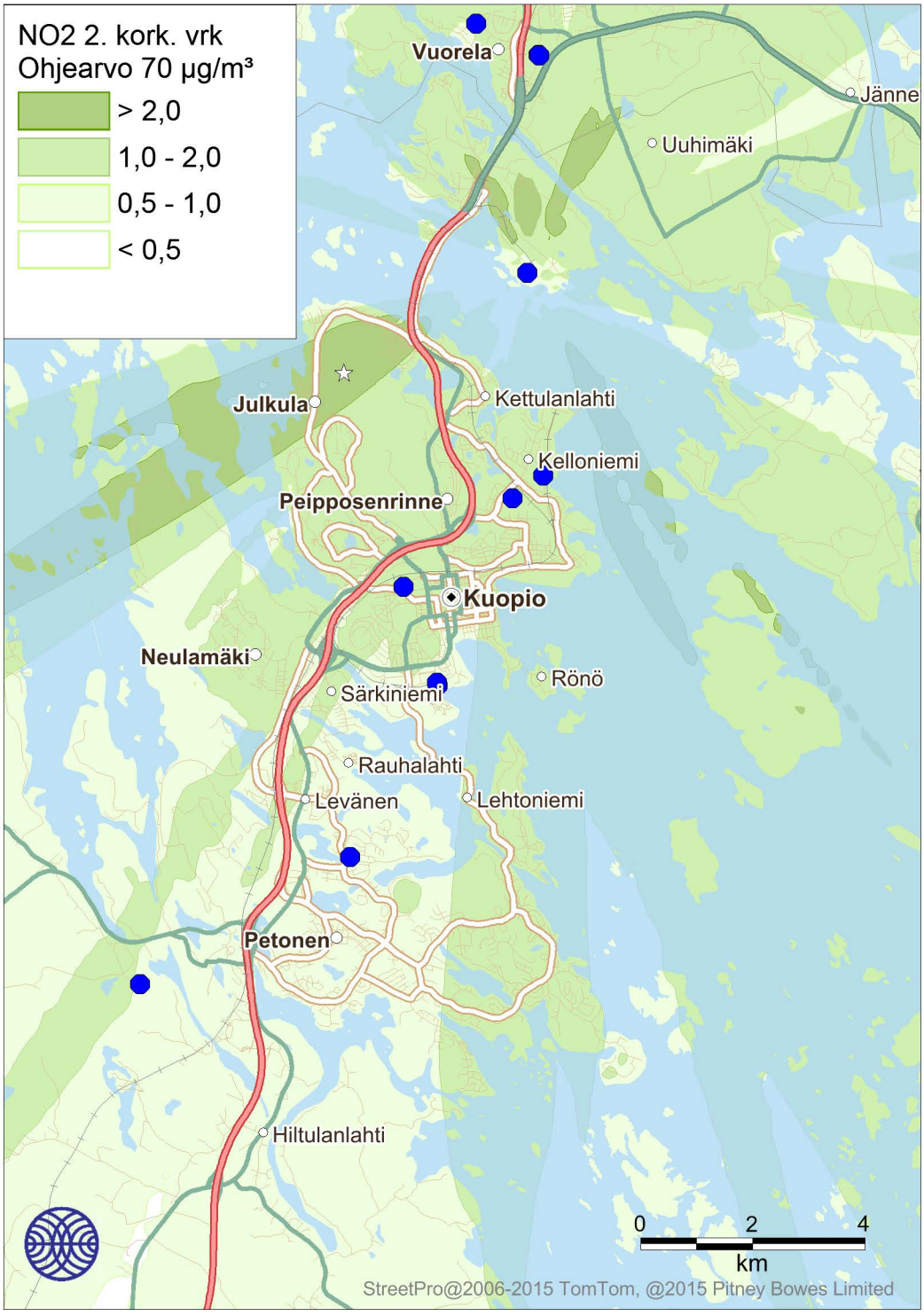
Ilmatieteen laitos 2019

☆ = maksimi = 0,25 µg/m³



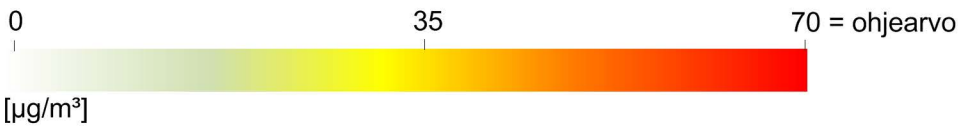

Kuva 23. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttama NO2 vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

# KUOPIO 2017




Ilmatieteen laitos 2019

☆ = maksimi = 3,3 µg/m³

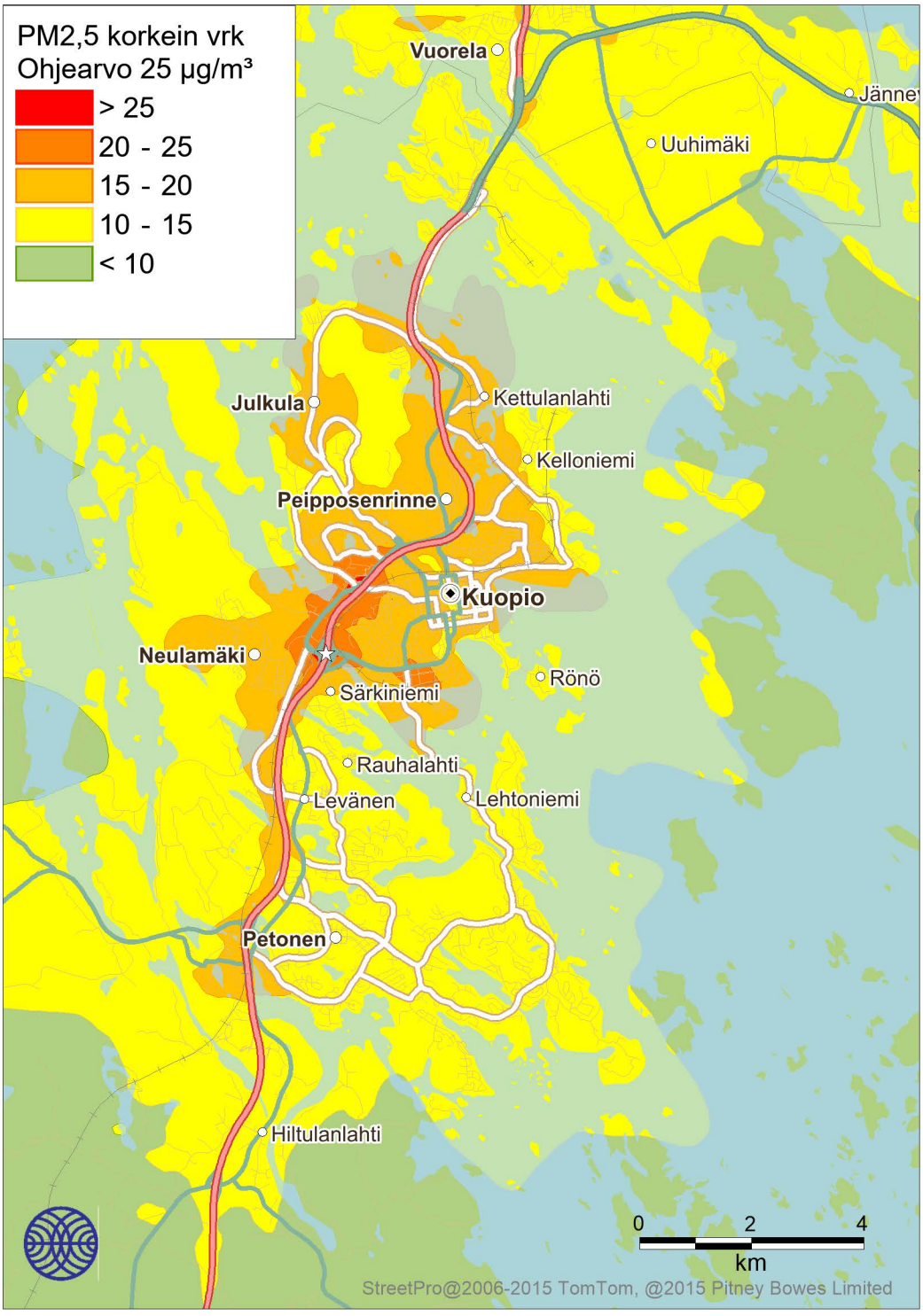



Kuva 24. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttama NO2 vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

# KUOPIO 2017

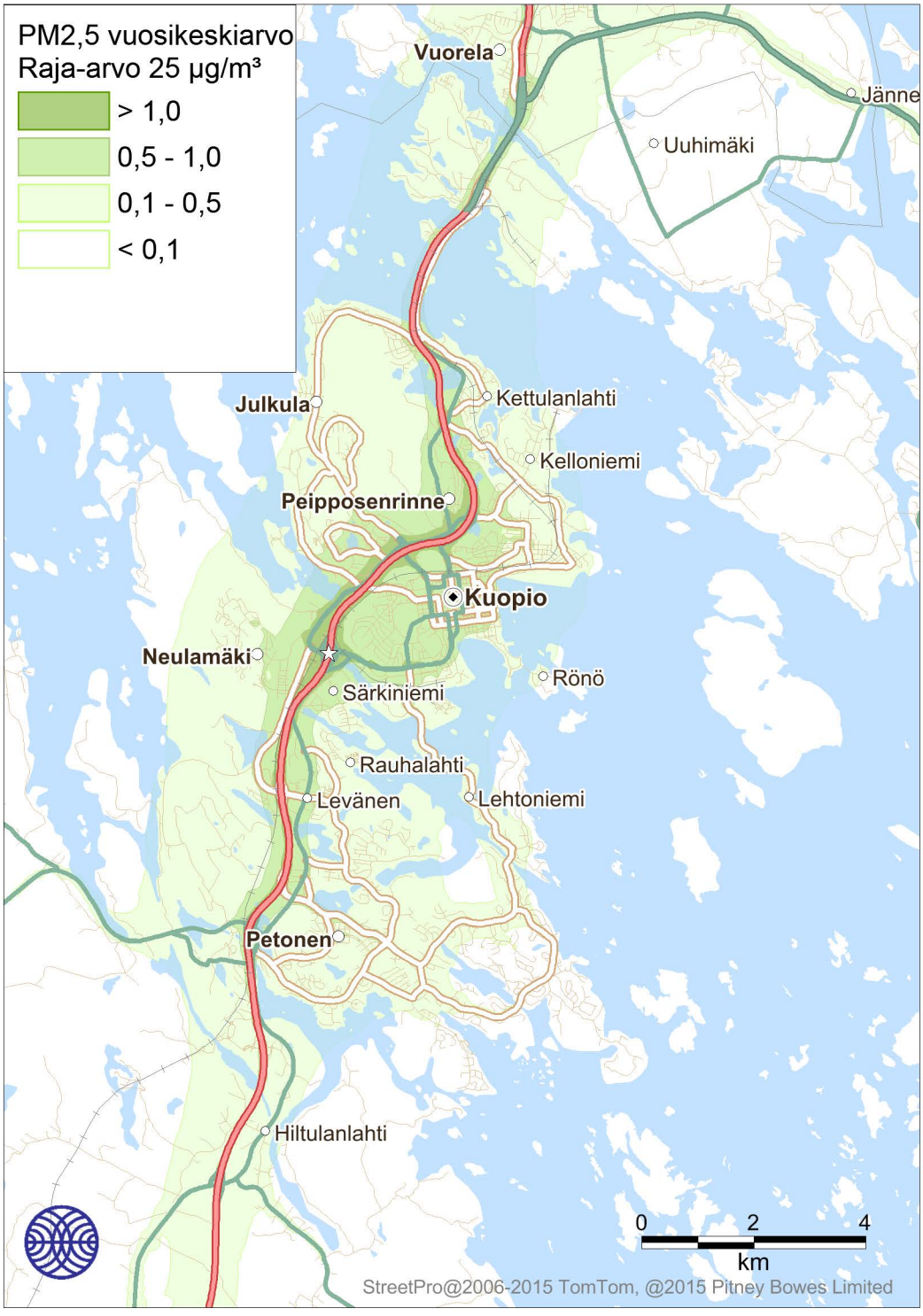
Kuva 25. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden yhdessä aiheuttama PM2,5 vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

# KUOPIO 2017




Kuva 26. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden yhdessä aiheuttama PM2,5 WHO:n vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

# KUOPIO 2017

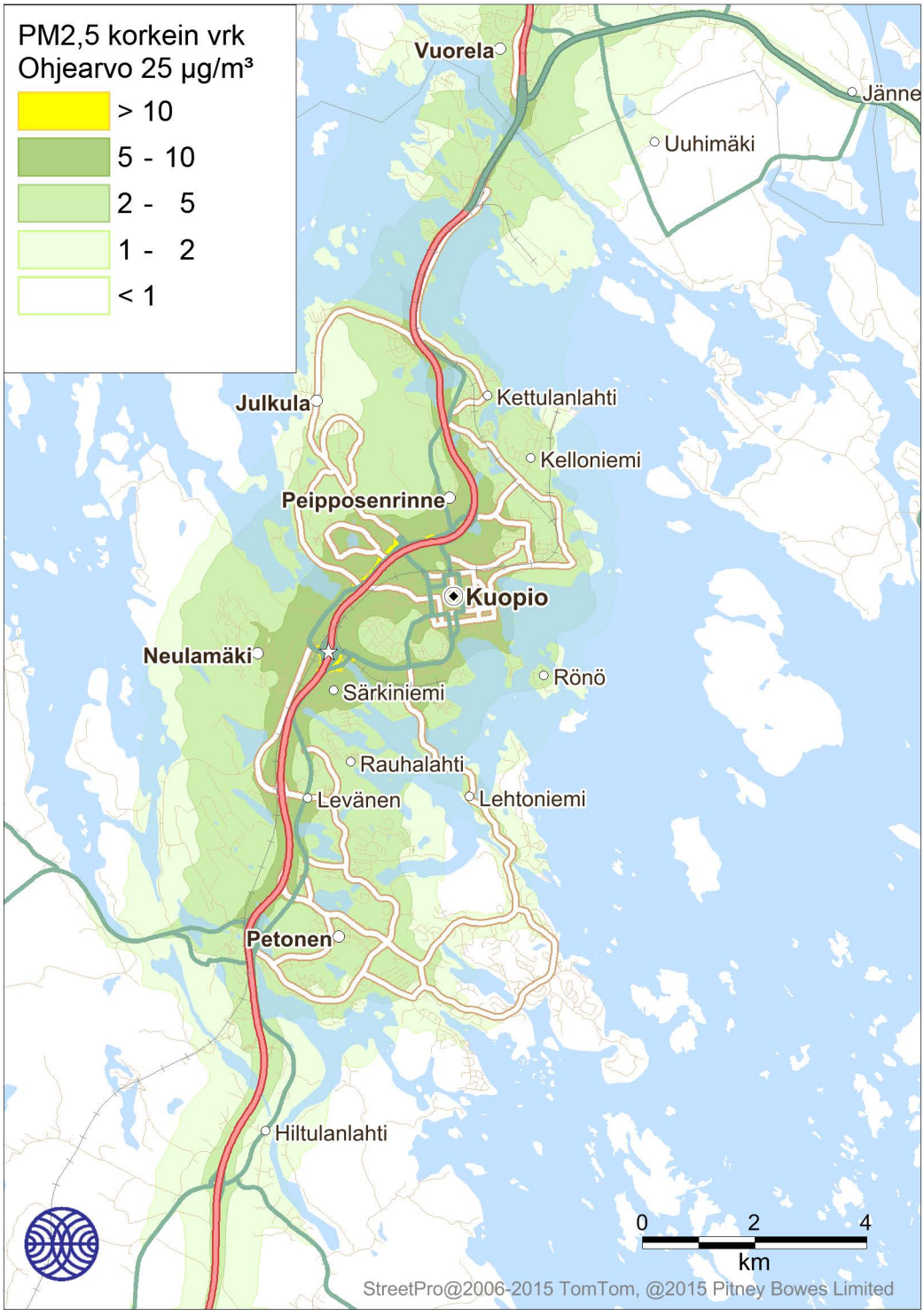



Ilmatieteen laitos 2019

☆ = maksimi = 3,5 µg/m³

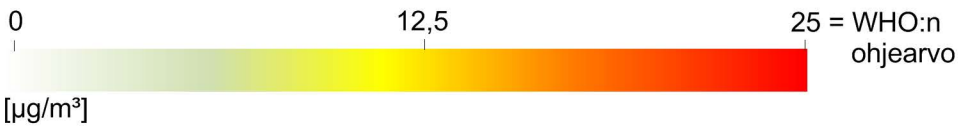
Kuva 27. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama PM2,5 vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

# KUOPIO 2017




Ilmatieteen laitos 2019

☆ = maksimi = 15 µg/m³




Kuva 28. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama PM2,5 WHO:n vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

# KUOPIO 2017

Ilmatieteen laitos 2019

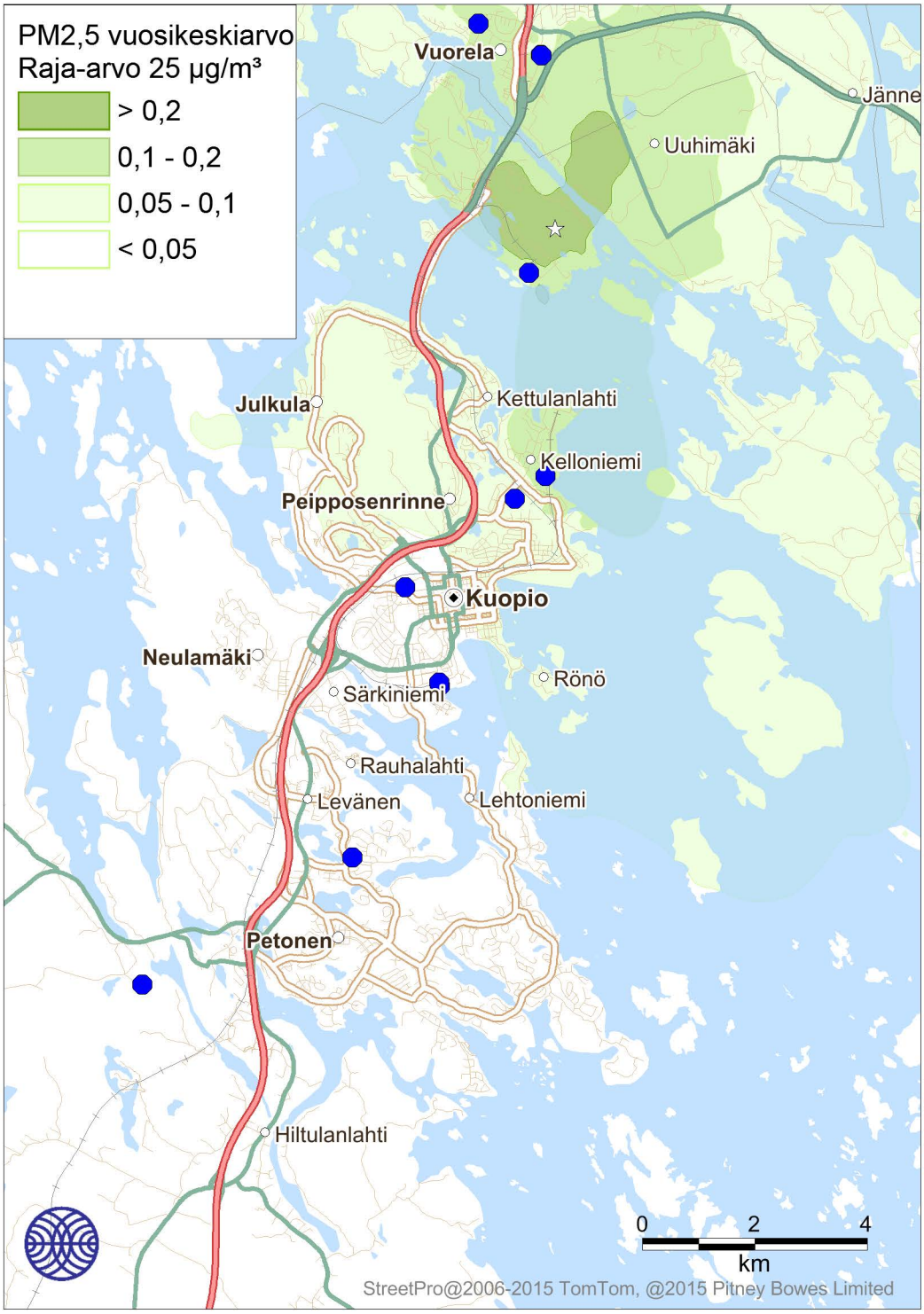
☆ = maksimi = 1,4 µg/m³

Kuva 29. Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttama PM2,5 vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

# KUOPIO 2017

Kuva 30. Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttama PM2,5 WHO:n vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

# KUOPIO 2017




Ilmatieteen laitos 2019

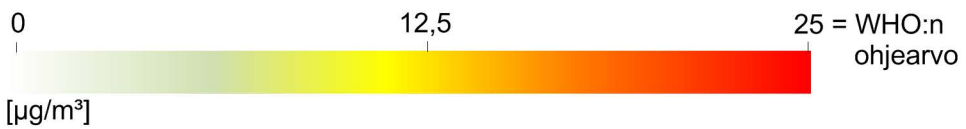
☆ = maksimi = 0,43 µg/m³

Kuva 31. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttama PM2,5 vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

# KUOPIO 2017

Ilmatieteen laitos 2019

☆ = maksimi = 7,4 µg/m³

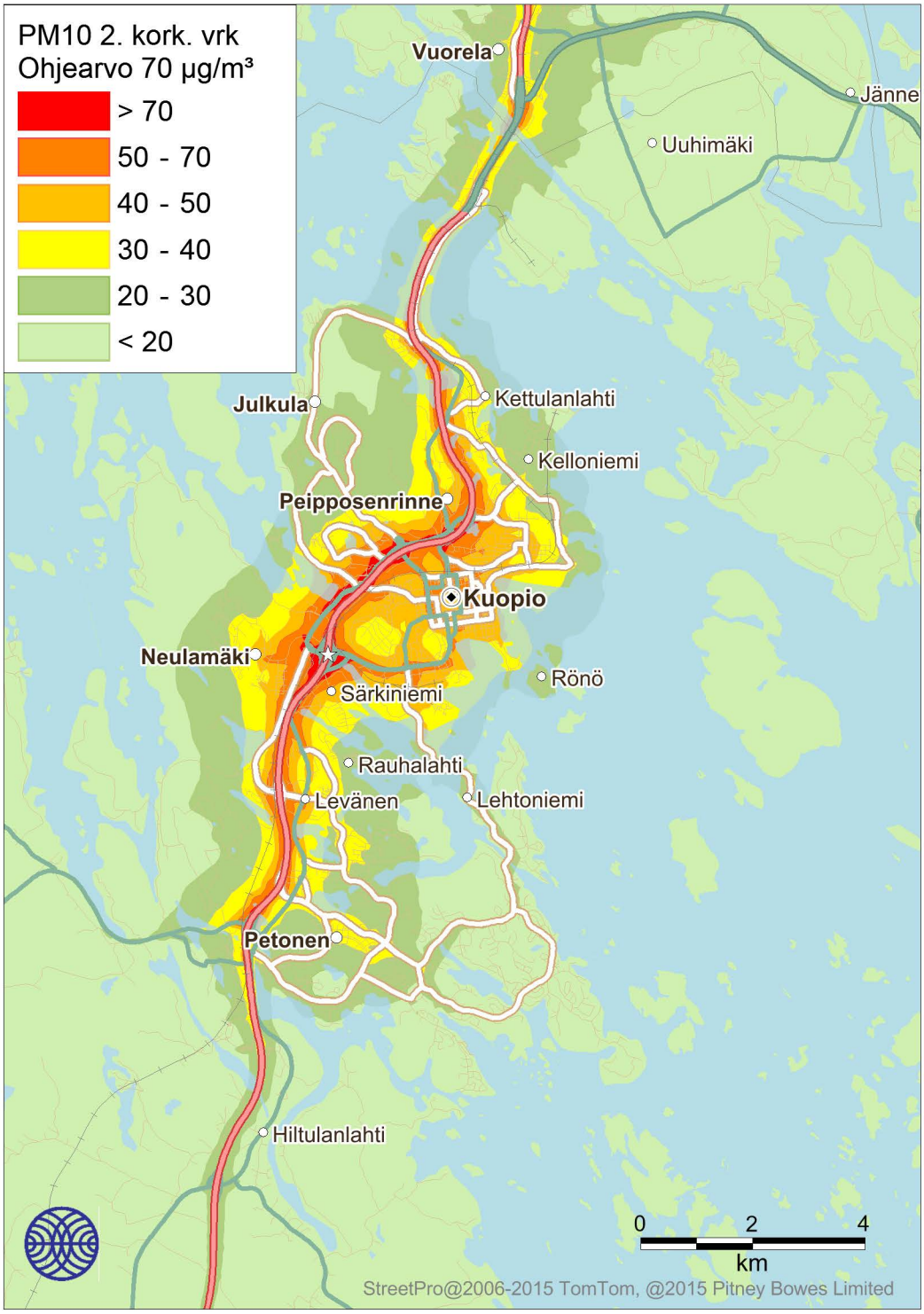



Kuva 32. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttama PM2,5 WHO:n vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

# KUOPIO 2017

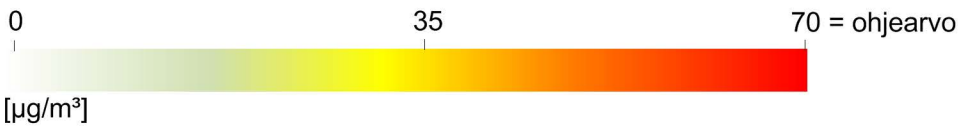
Kuva 33. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden yhdessä aiheuttama PM10 vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

# KUOPIO 2017



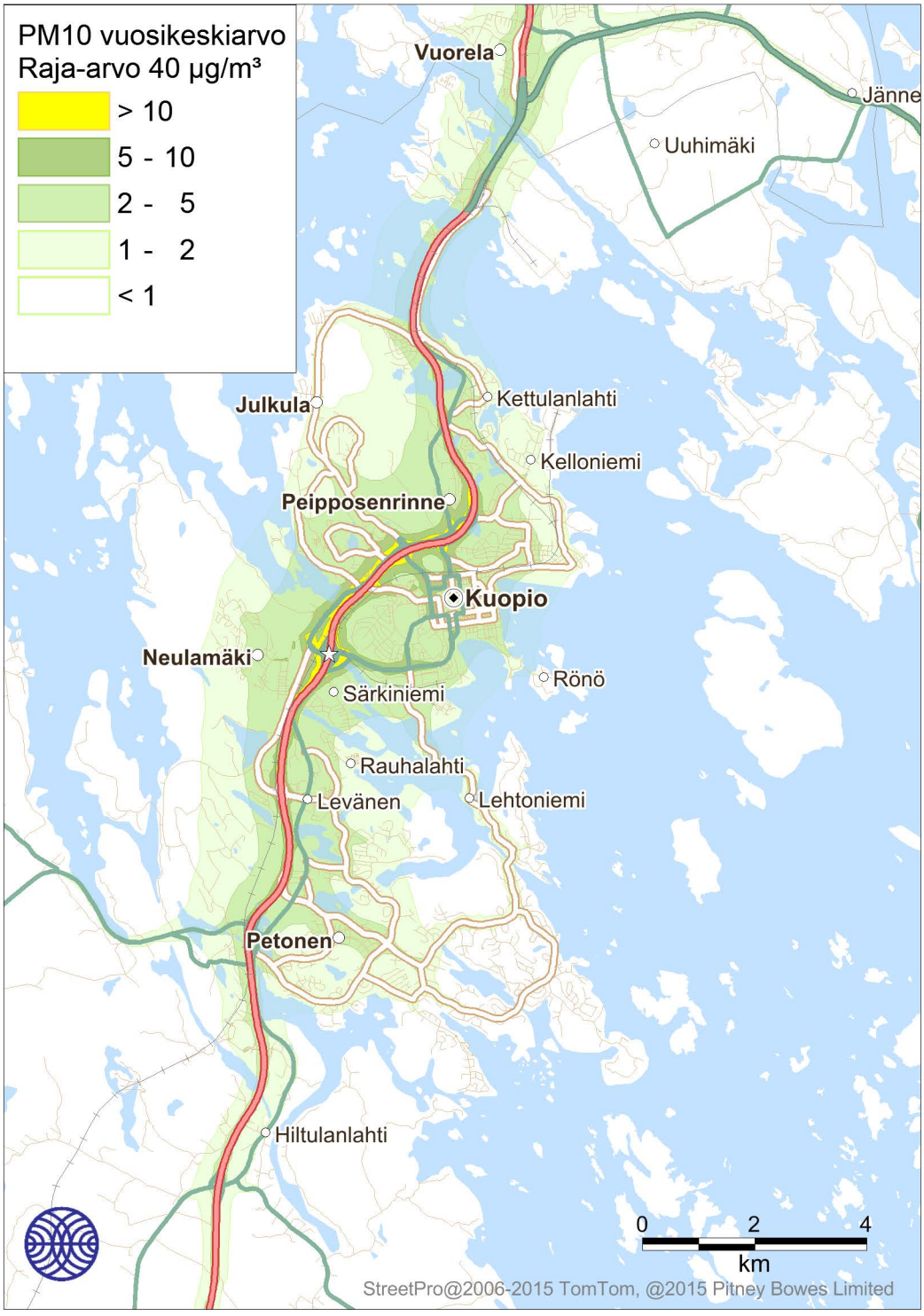

Ilmatieteen laitos 2019

☆ = maksimi = 153 µg/m³



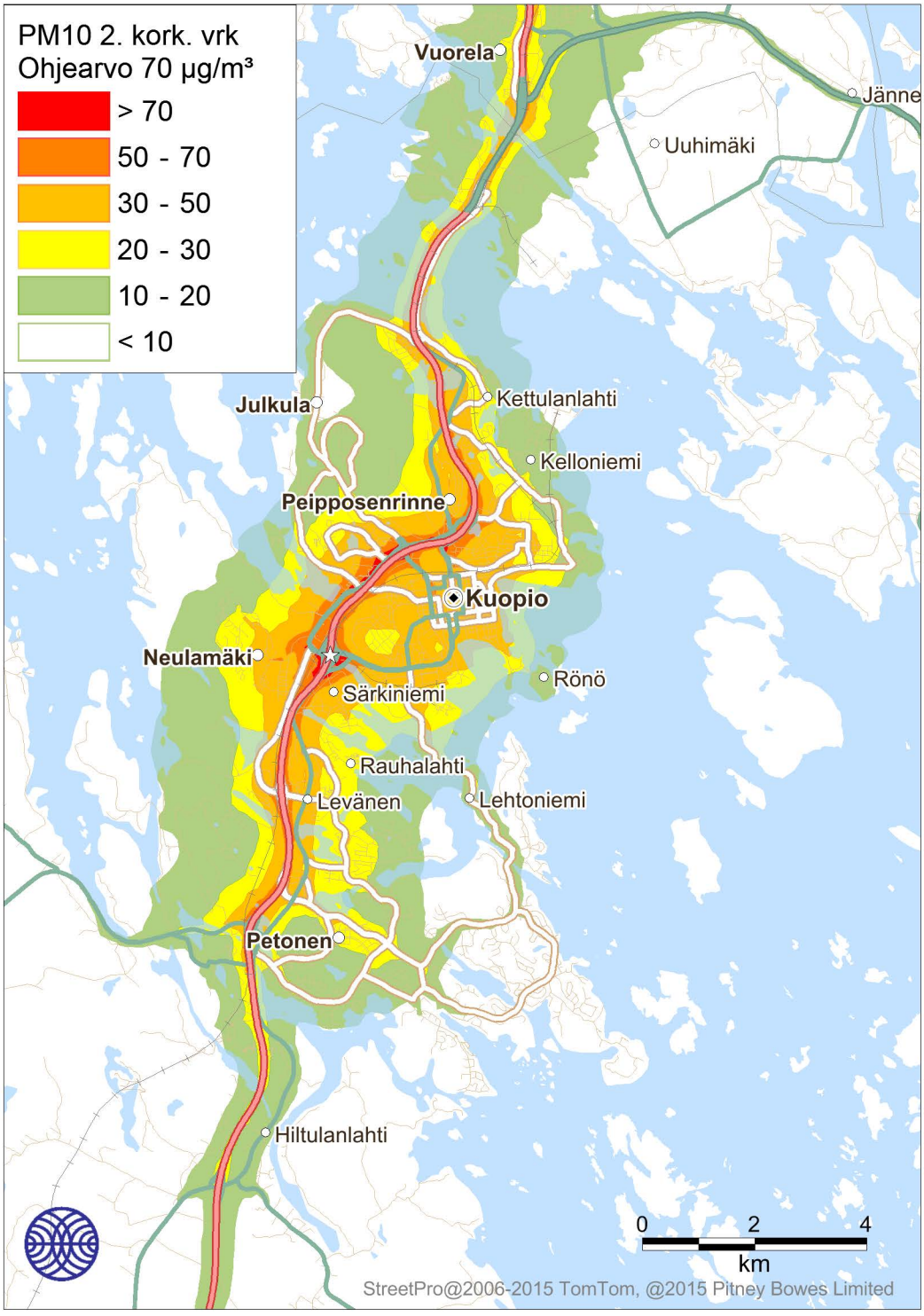

Kuva 34. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden yhdessä aiheuttama PM10 vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

# KUOPIO 2017



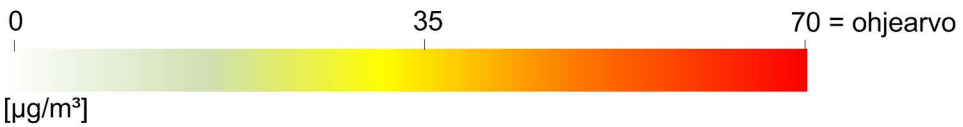

Kuva 35. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama PM10 vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

# KUOPIO 2017




Ilmatieteen laitos 2019

☆ = maksimi = 148 µg/m³

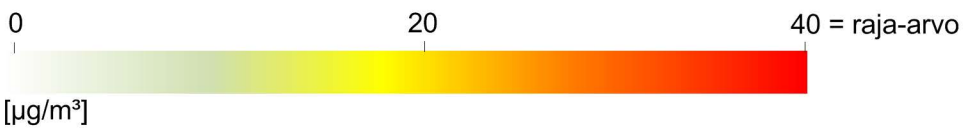



Kuva 36. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama PM10 vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

# KUOPIO 2017

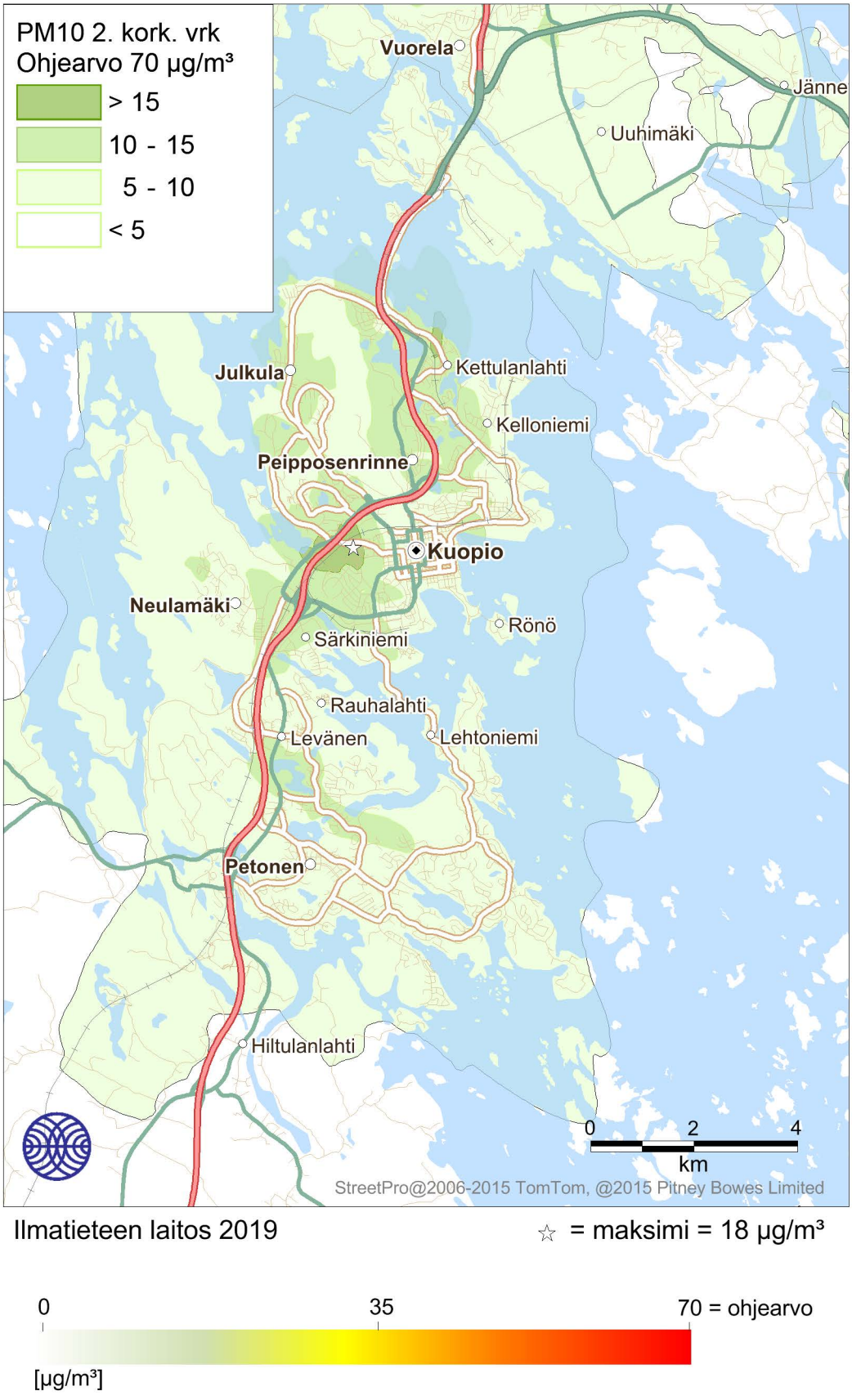
Ilmatieteen laitos 2019

☆ = maksimi = 2,3 µg/m³



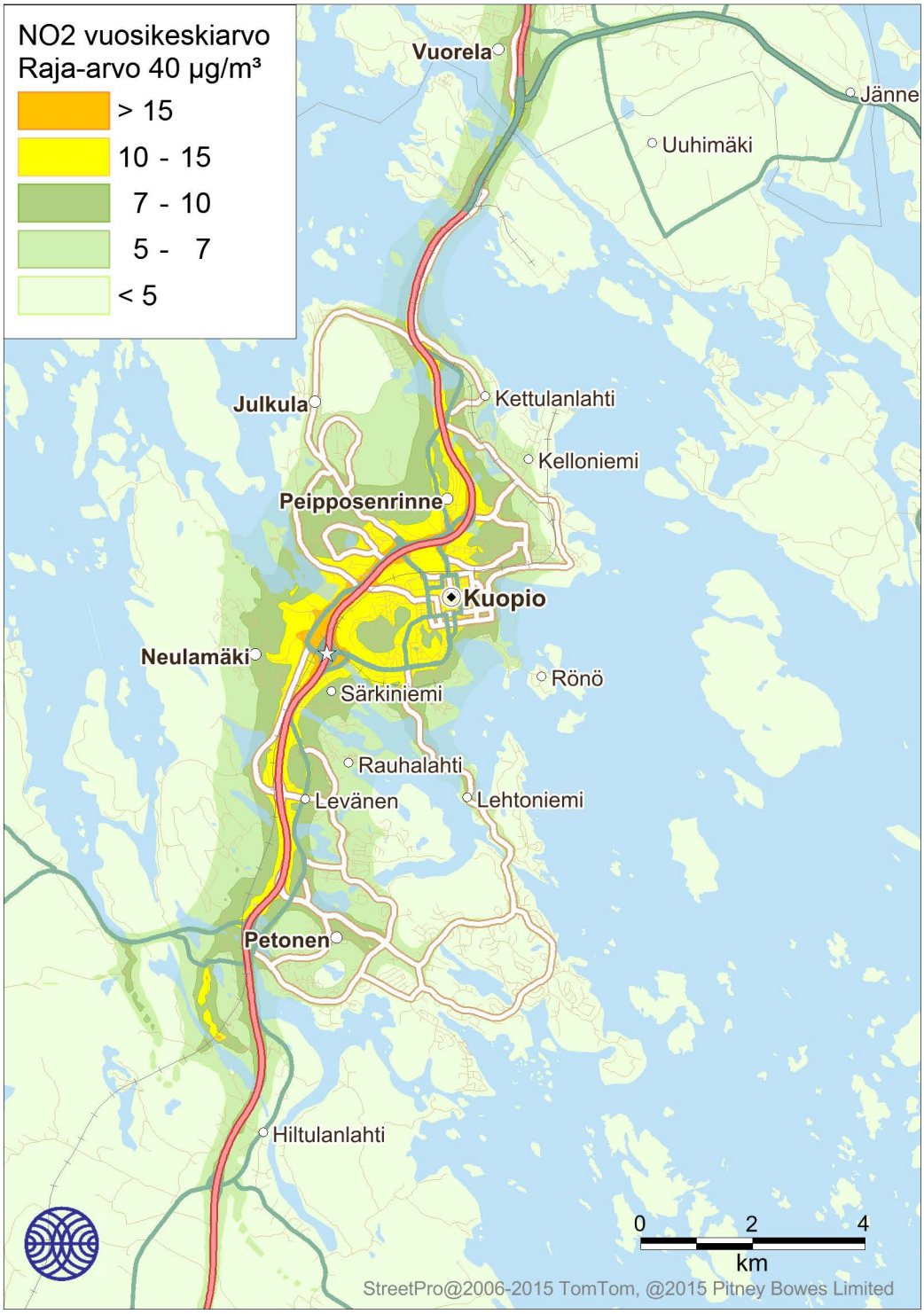

Kuva 37. Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttama PM10 vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

# KUOPIO 2017



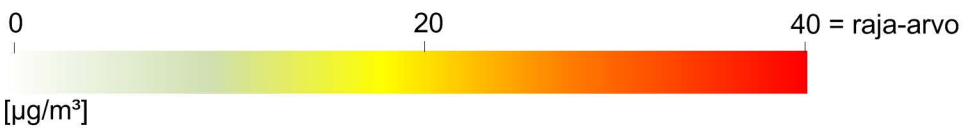

Kuva 38. Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttama PM10 vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

# KUOPIO 2035



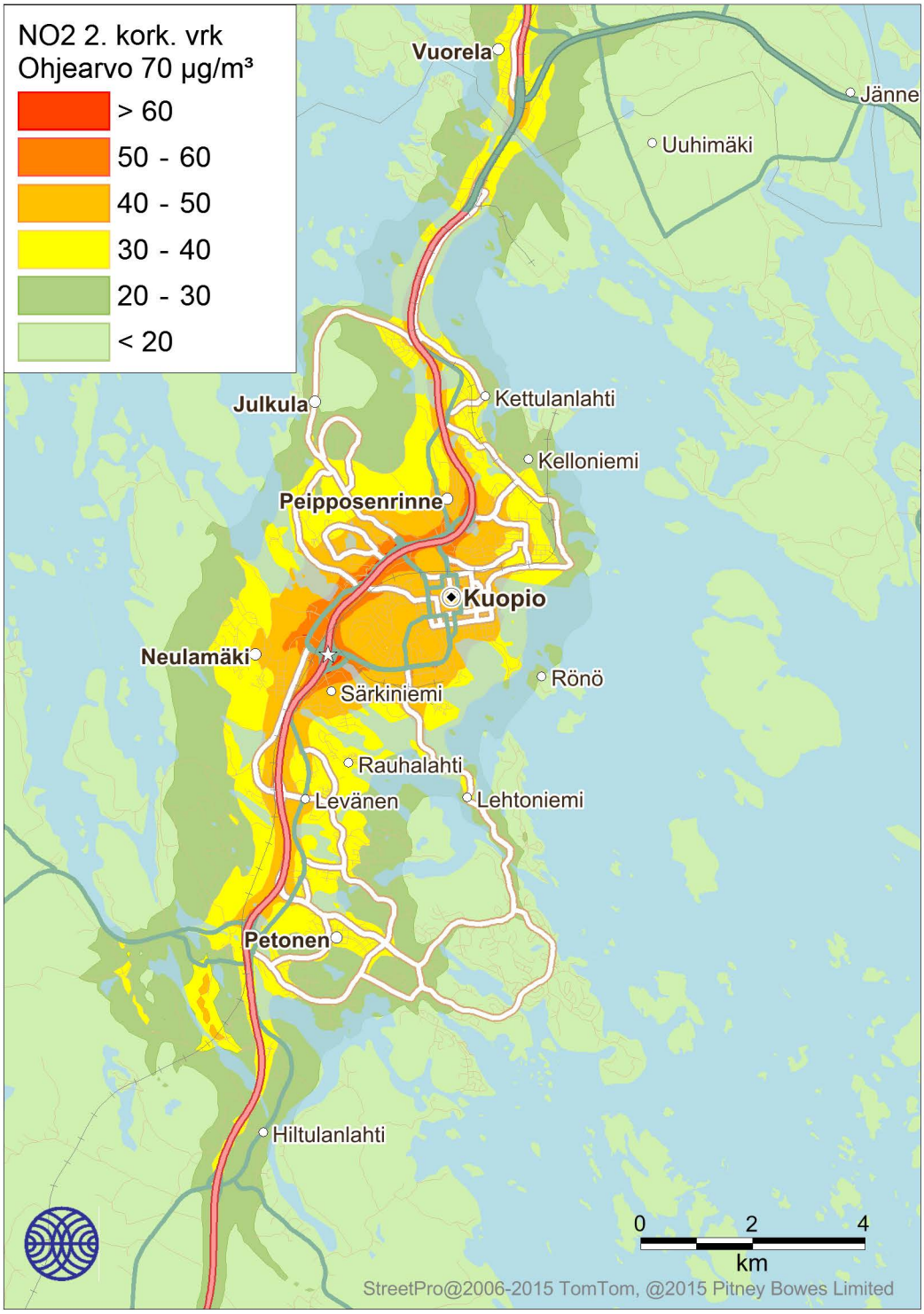

Ilmatieteen laitos 2019

☆ = maksimi = 33 µg/m³



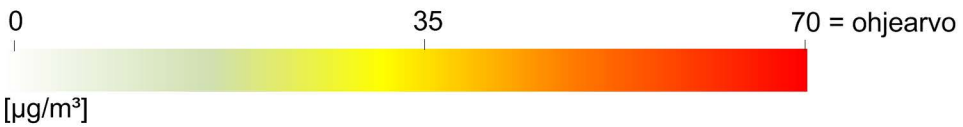

Kuva 39. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden yhdessä aiheuttama NO2 vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

# KUOPIO 2035




Ilmatieteen laitos 2019

☆ = maksimi = 75 µg/m³

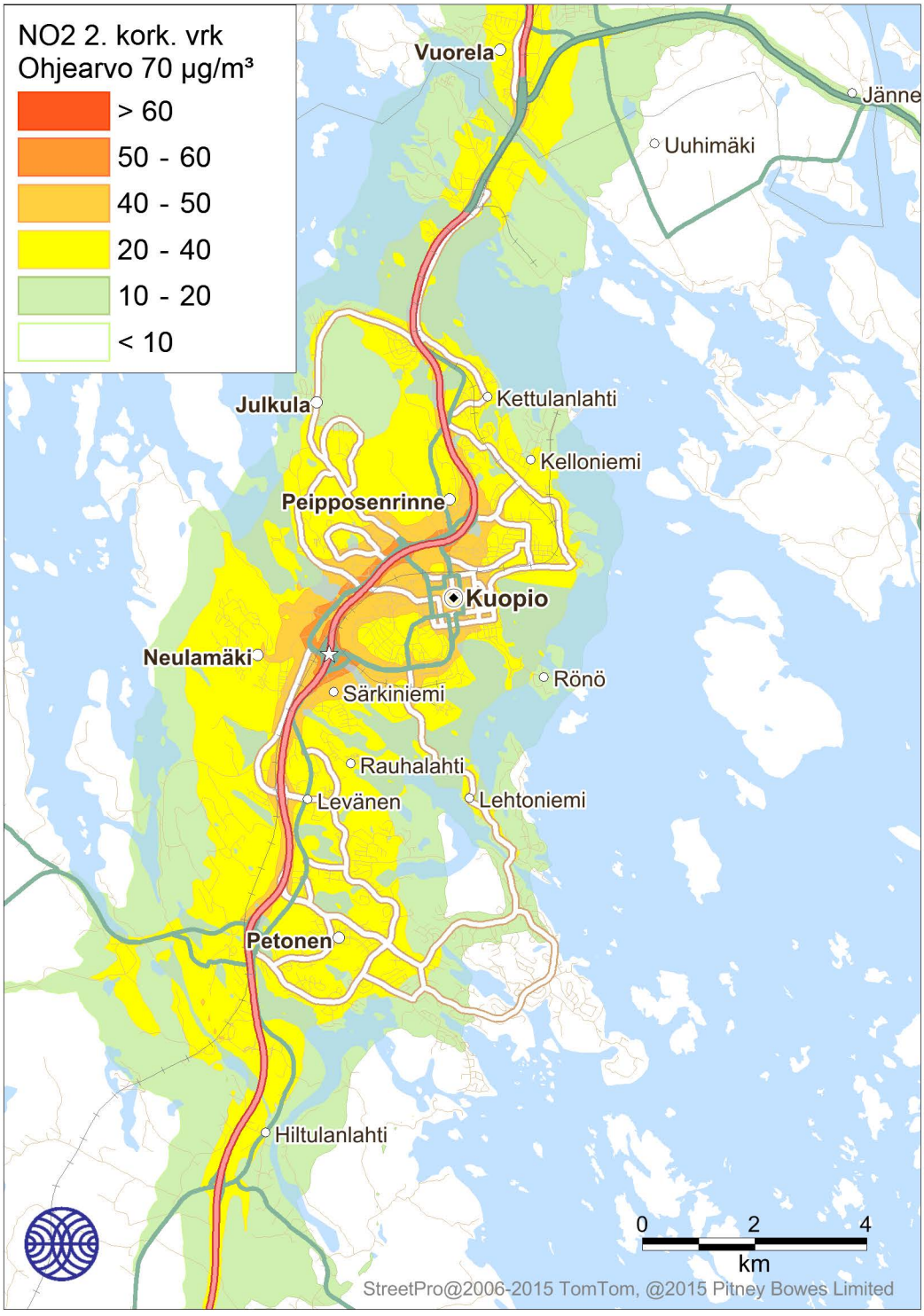



Kuva 40. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden yhdessä aiheuttama NO2 vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

# KUOPIO 2035

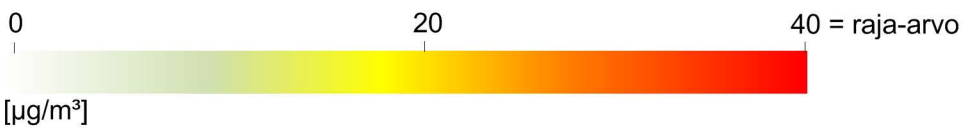
Kuva 41. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama NO2 vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

# KUOPIO 2035



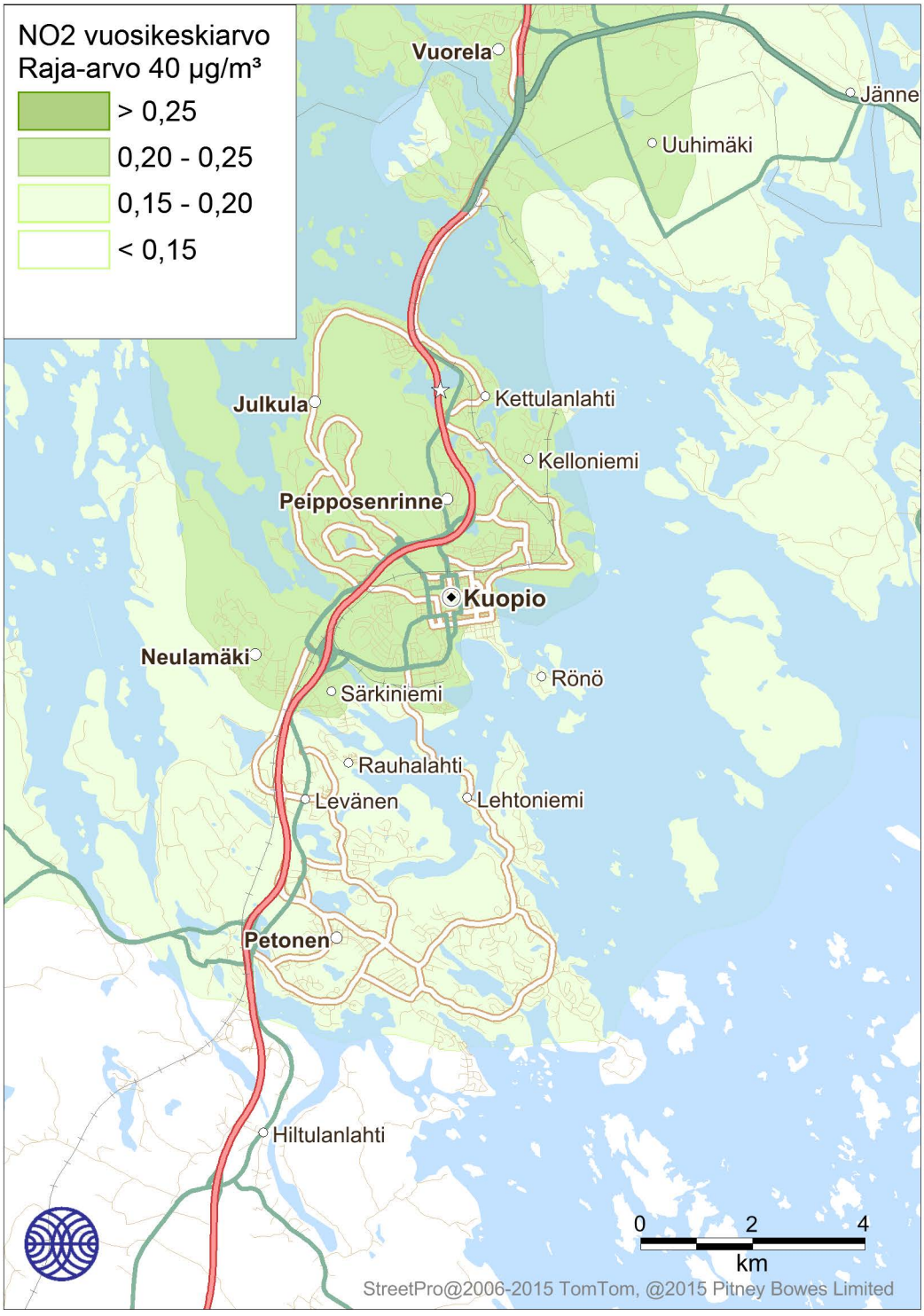

Ilmatieteen laitos 2019

☆ = maksimi = 71 µg/m³



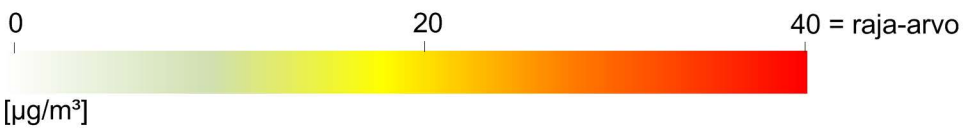

Kuva 42. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama NO2 vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

# KUOPIO 2035



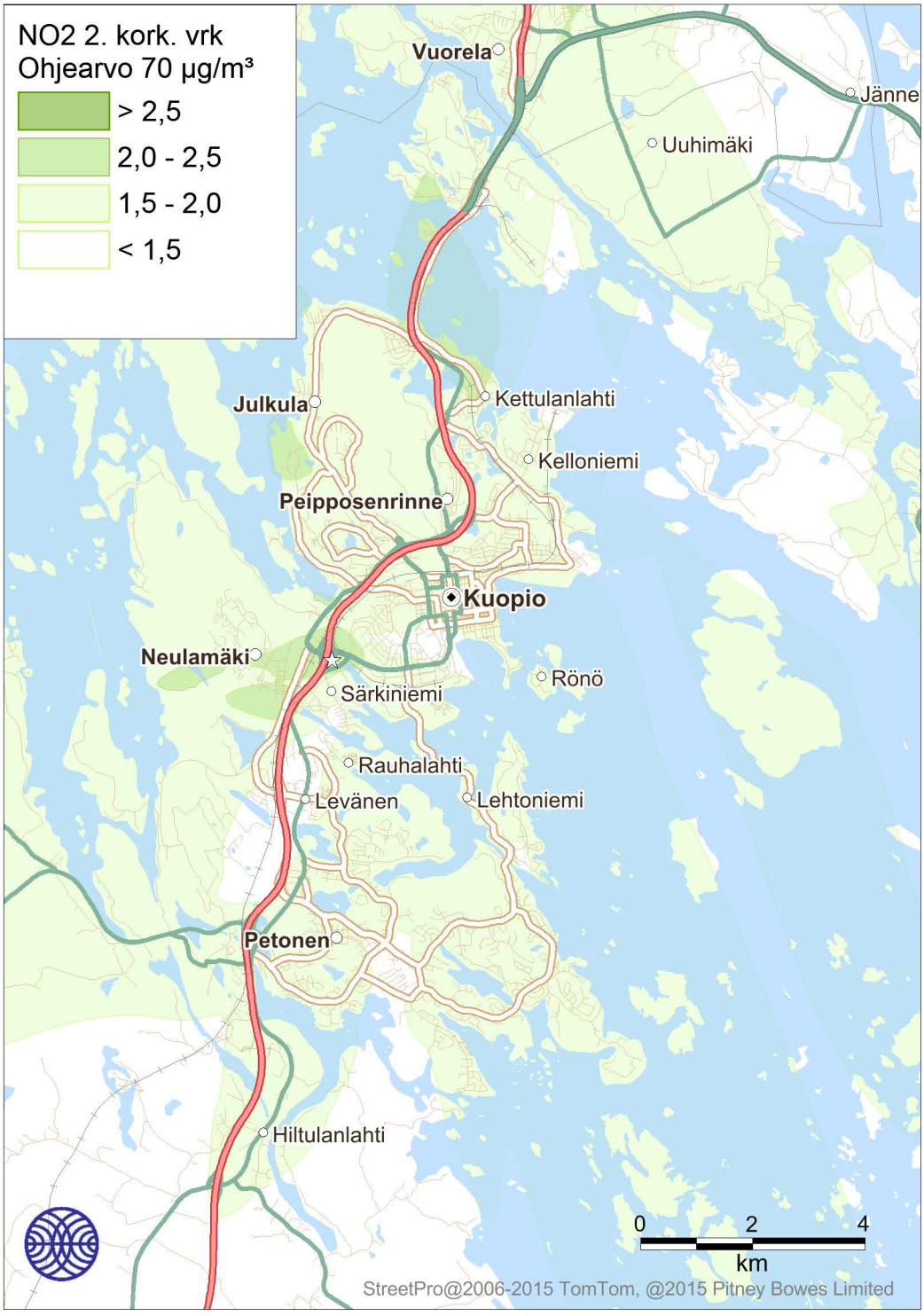

Ilmatieteen laitos 2019

☆ = maksimi = 0,27 µg/m³



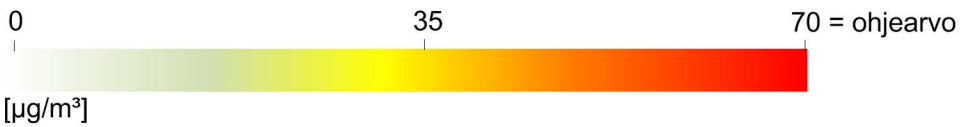

Kuva 43. Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttama NO2 vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

# KUOPIO 2035



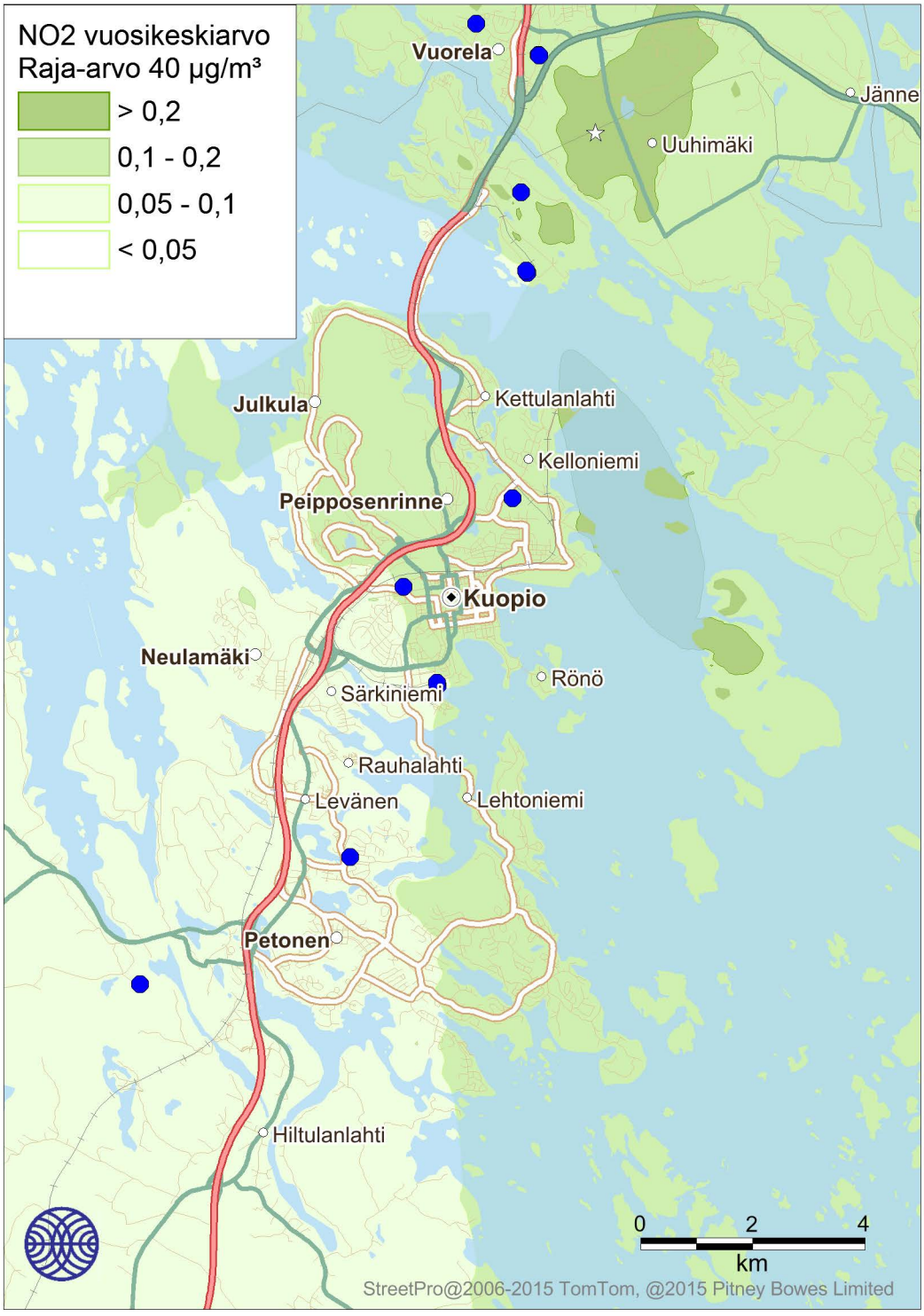

Ilmatieteen laitos 2019

☆ = maksimi = 2,5 µg/m³



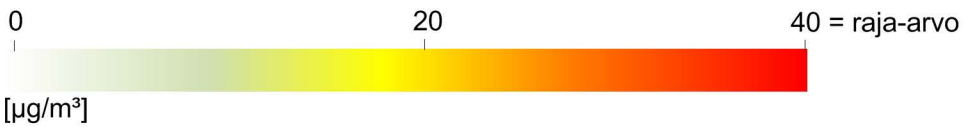

Kuva 44. Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttama NO2 vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

# KUOPIO 2035



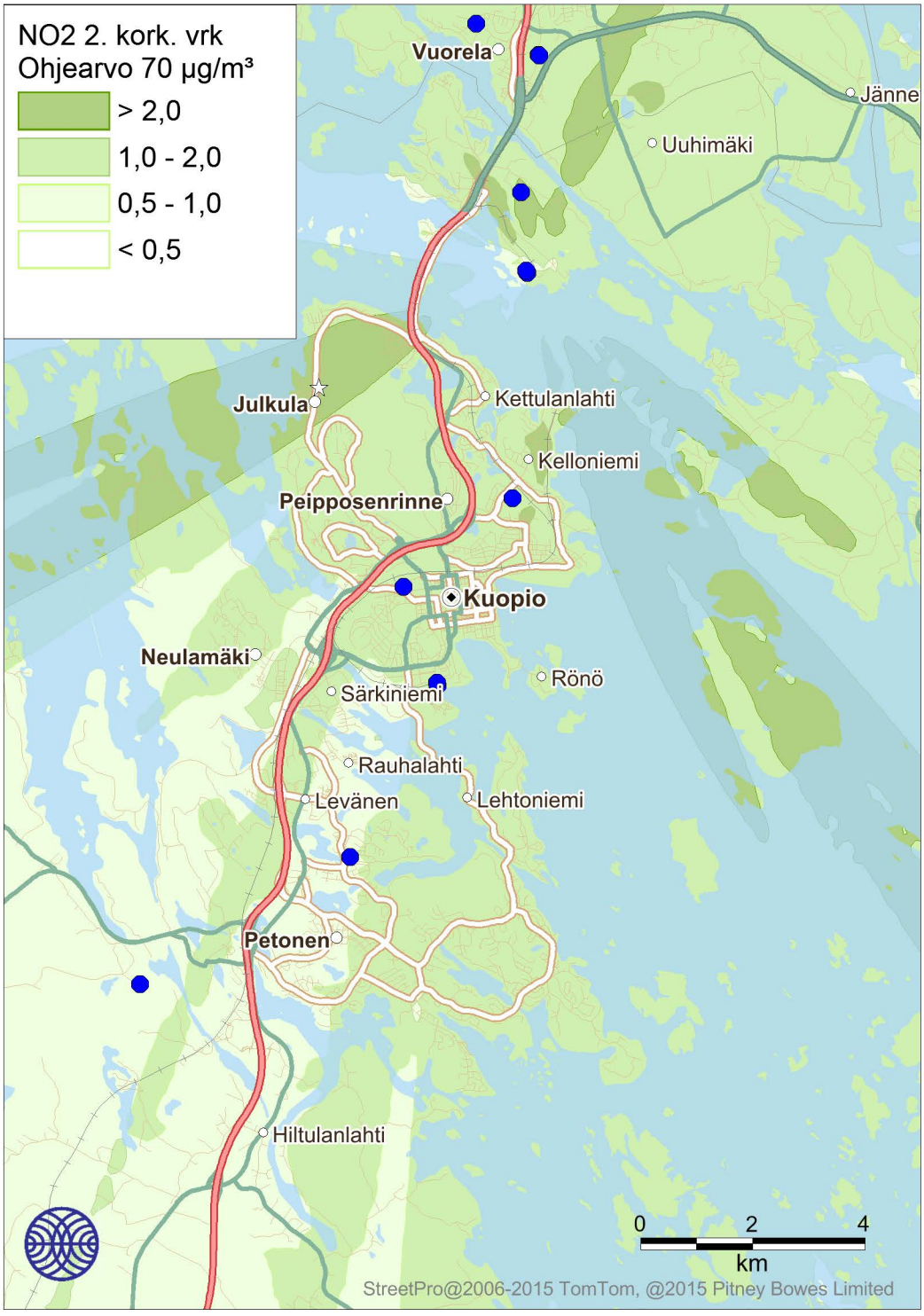

Ilmatieteen laitos 2019

☆ = maksimi = 0,28 µg/m³



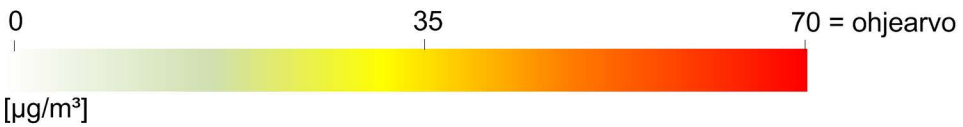

Kuva 45. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttama NO2 vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

# KUOPIO 2035




Ilmatieteen laitos 2019

☆ = maksimi = 3,3 µg/m³

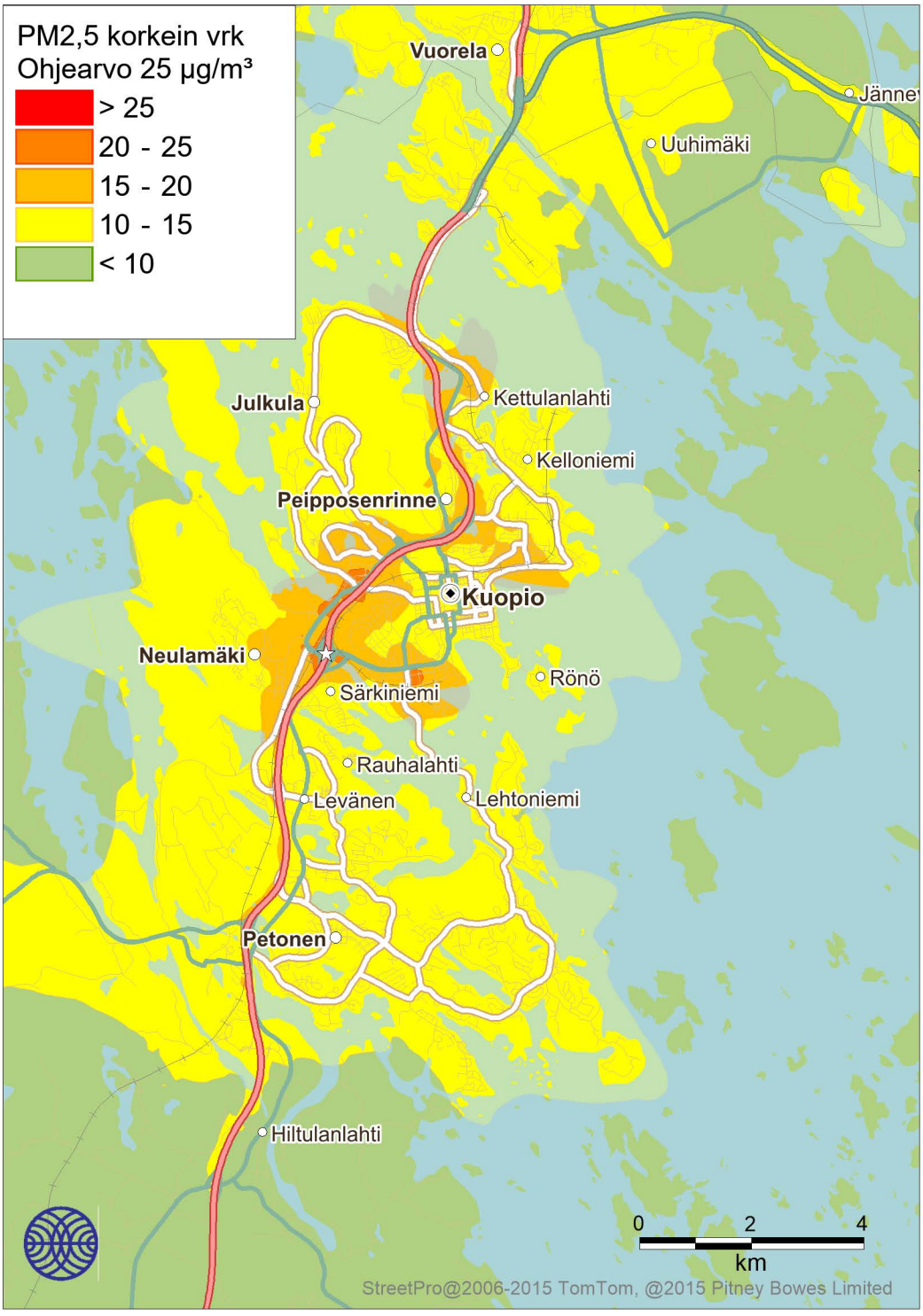



Kuva 46. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttama NO2 vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

# KUOPIO 2035

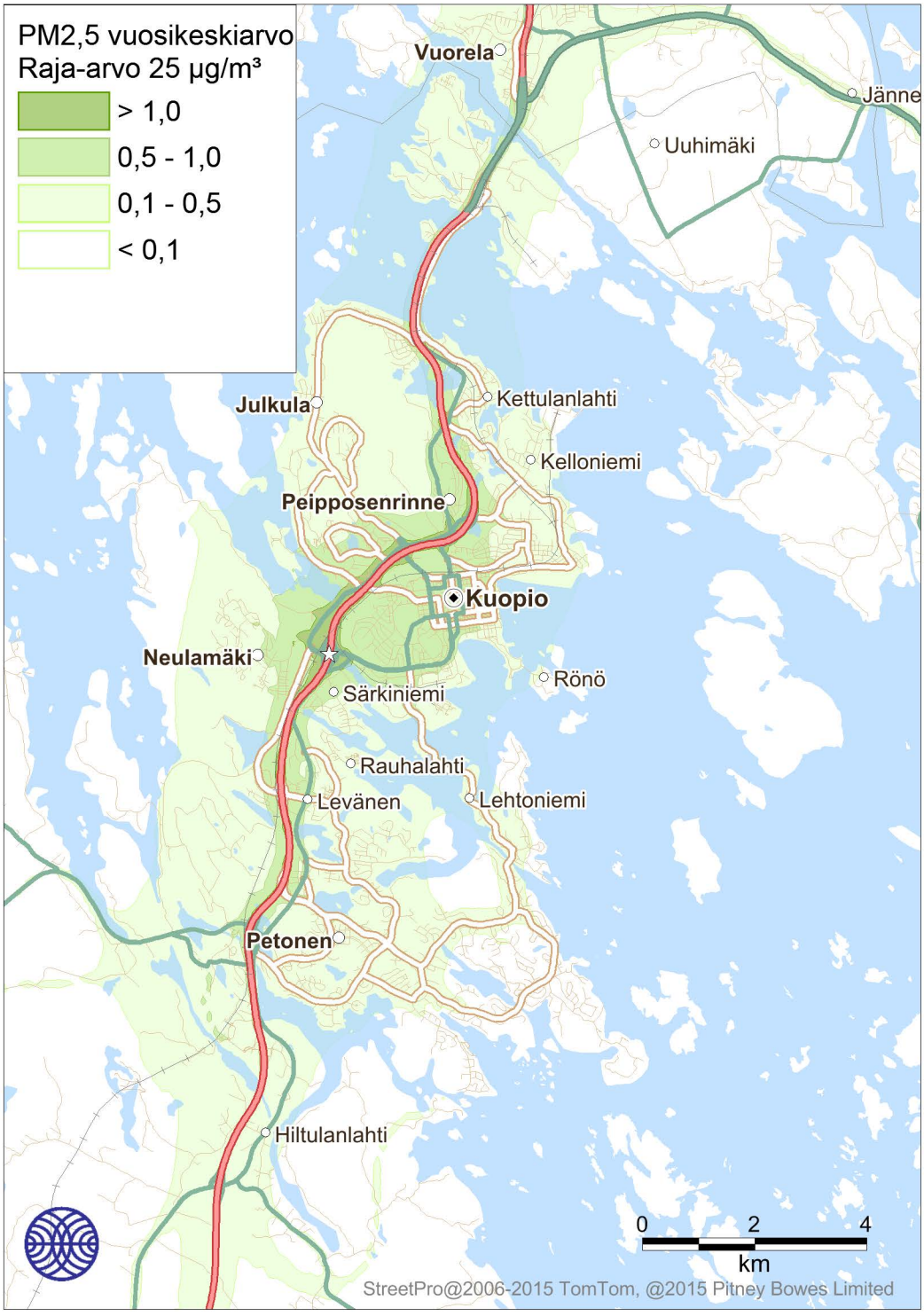
Kuva 47. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden yhdessä aiheuttama PM2,5 vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

# KUOPIO 2035



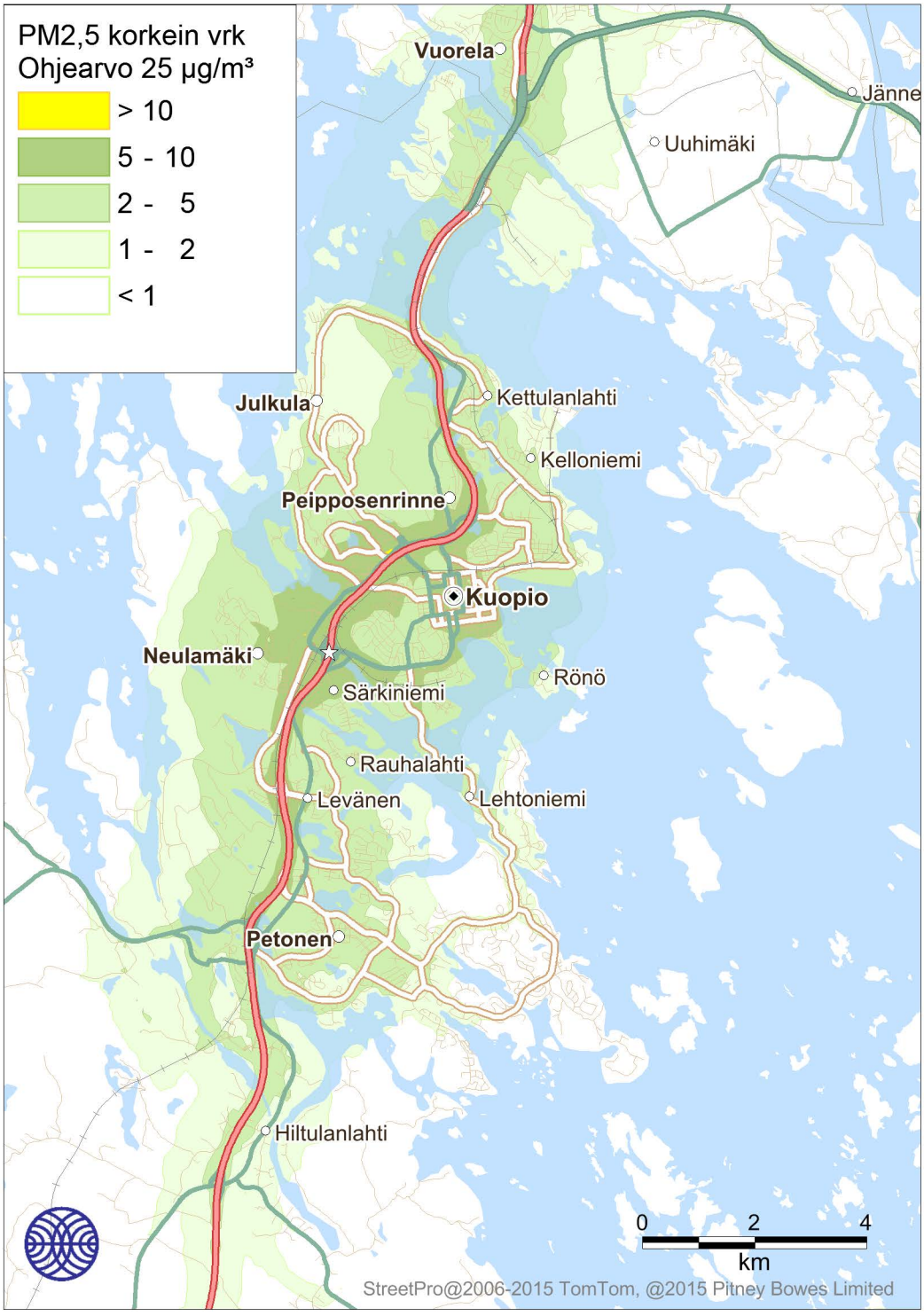

Kuva 48. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden yhdessä aiheuttama PM2,5 WHO:n vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

# KUOPIO 2035



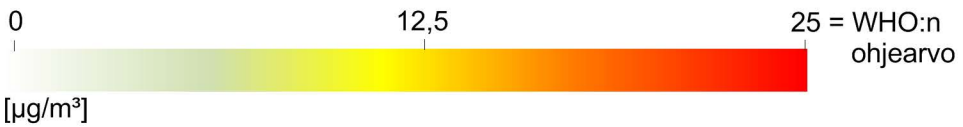

Kuva 49. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama PM2,5 vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

# KUOPIO 2035




Ilmatieteen laitos 2019

☆ = maksimi = 13 µg/m³

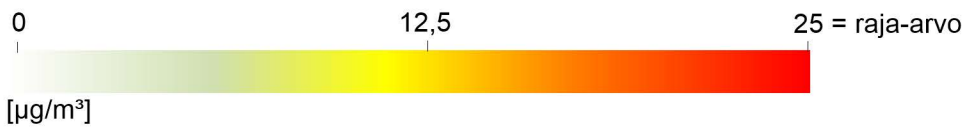



Kuva 50. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama PM2,5 WHO:n vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

# KUOPIO 2035

Ilmatieteen laitos 2019

☆ = maksimi = 1,1 µg/m³

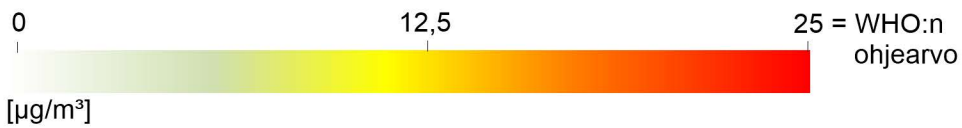



Kuva 51. Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttama PM2,5 vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

# KUOPIO 2035

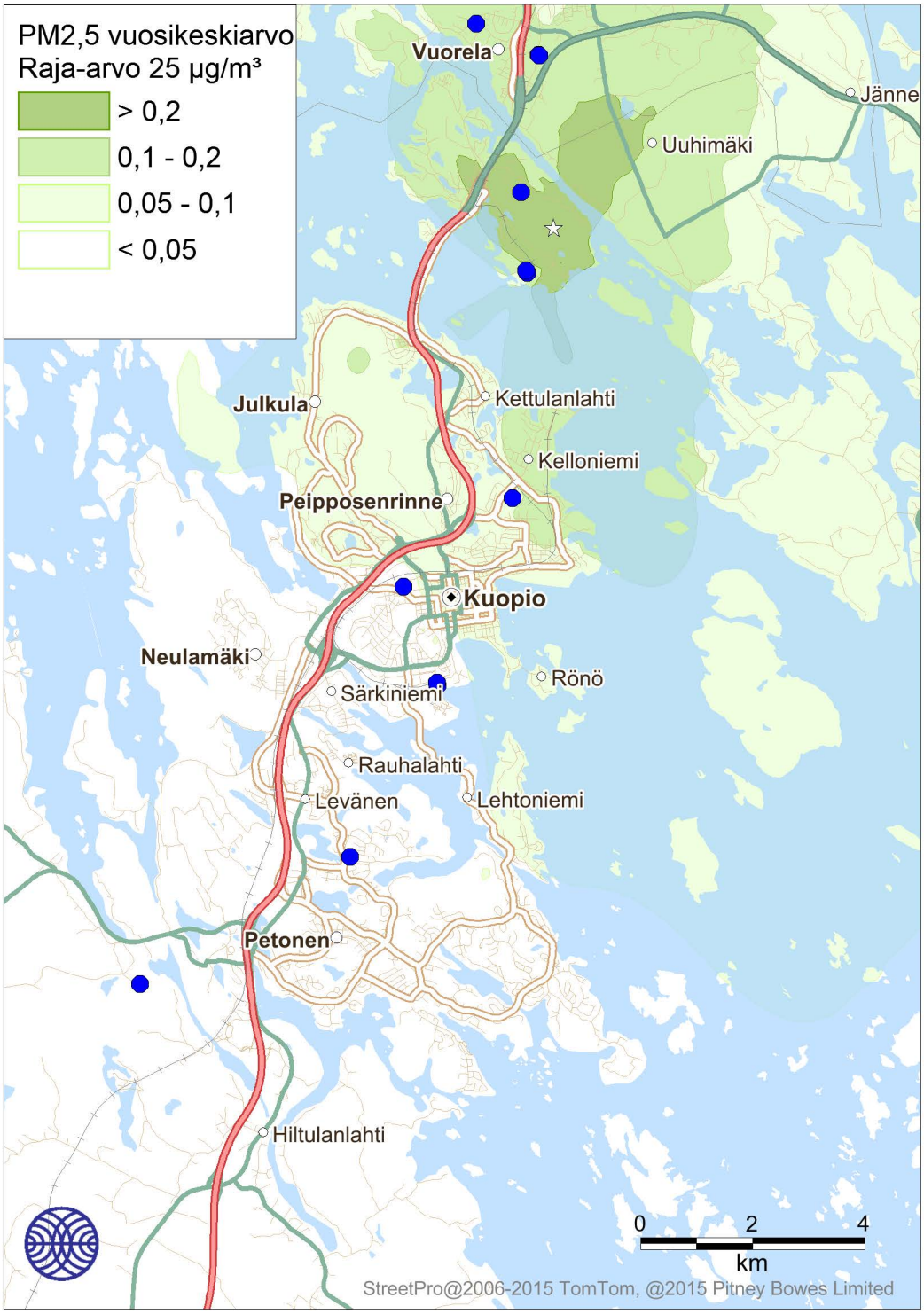
Ilmatieteen laitos 2019

☆ = maksimi = 14 µg/m³




Kuva 52. Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttama PM2,5 WHO:n vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

# KUOPIO 2035




Ilmatieteen laitos 2019

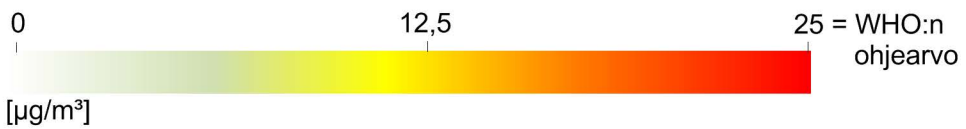
☆ = maksimi = 0,46 µg/m³

Kuva 53. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttama PM2,5 vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

# KUOPIO 2035

Ilmatieteen laitos 2019

☆ = maksimi = 7,1 µg/m³

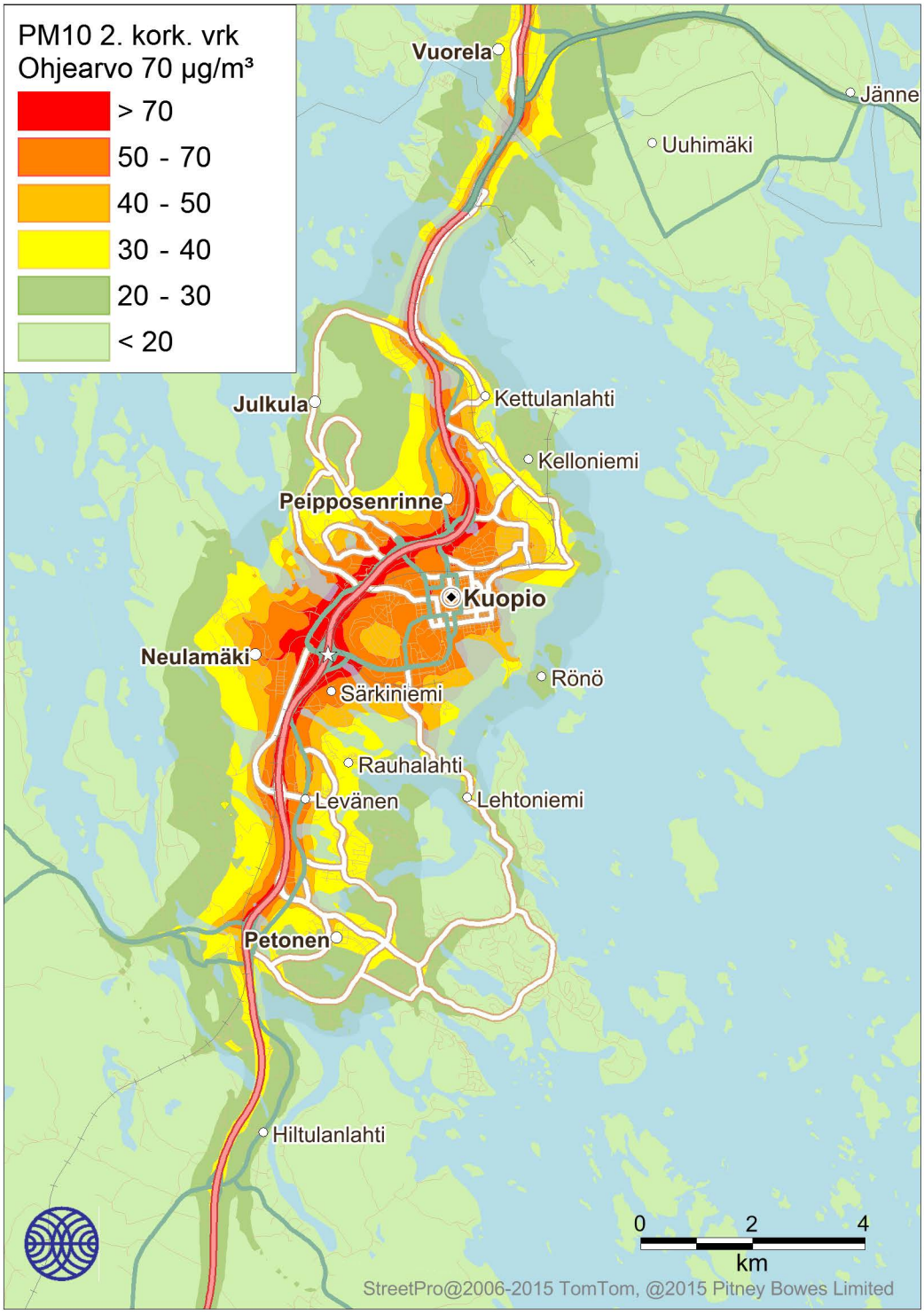



Kuva 54. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttama PM2,5 WHO:n vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

# KUOPIO 2035

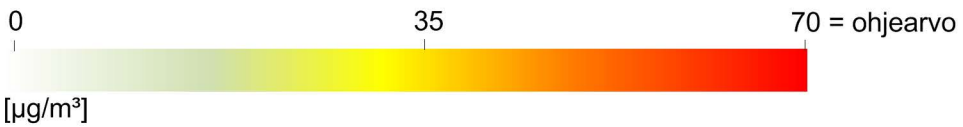
Kuva 55. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden yhdessä aiheuttama PM10 vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

# KUOPIO 2035



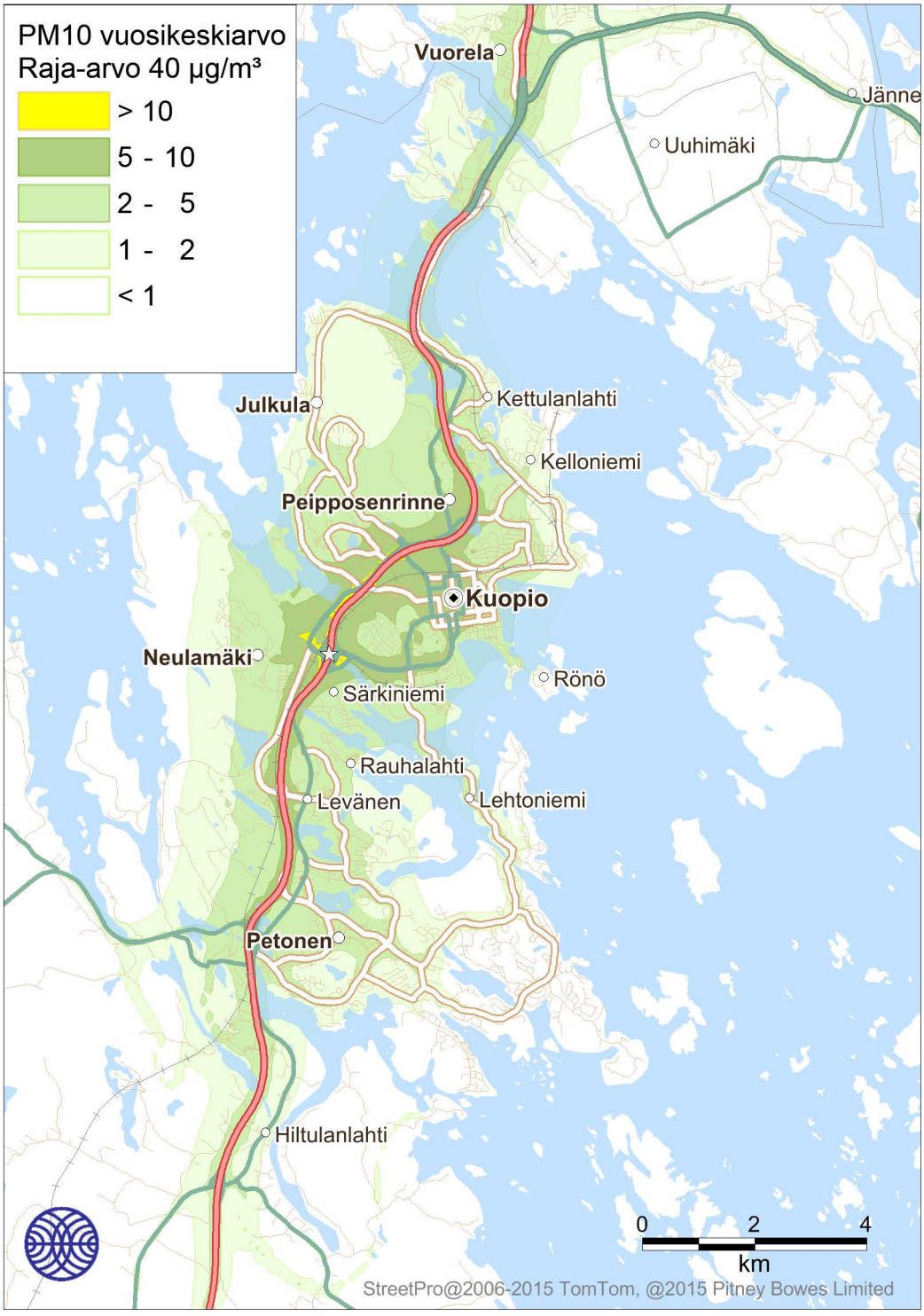

Ilmatieteen laitos 2019

☆ = maksimi = 176 µg/m³



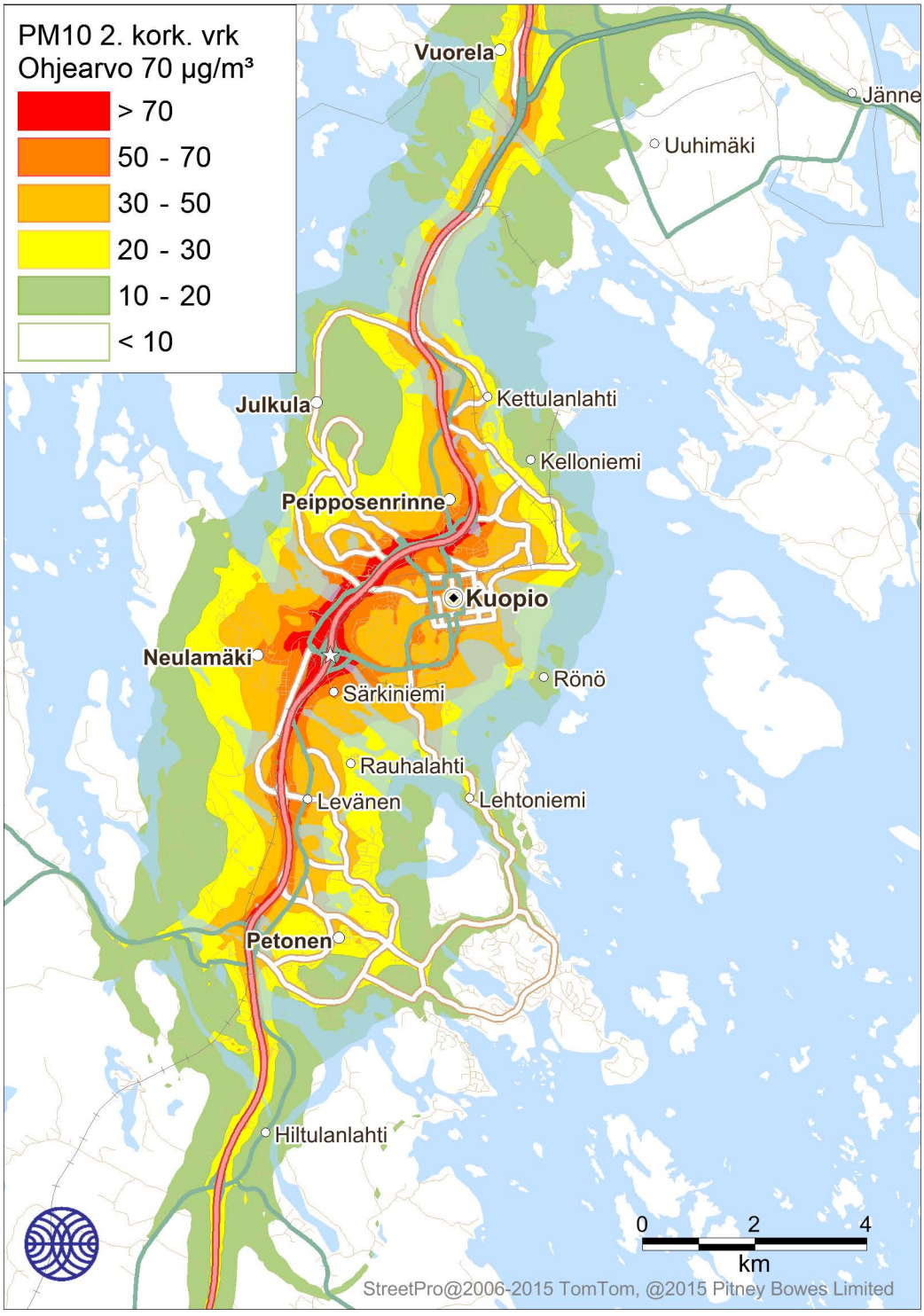

Kuva 56. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden yhdessä aiheuttama PM10 vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

# KUOPIO 2035



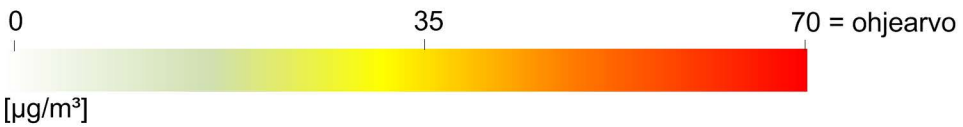

Kuva 57. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama PM10 vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

# KUOPIO 2035



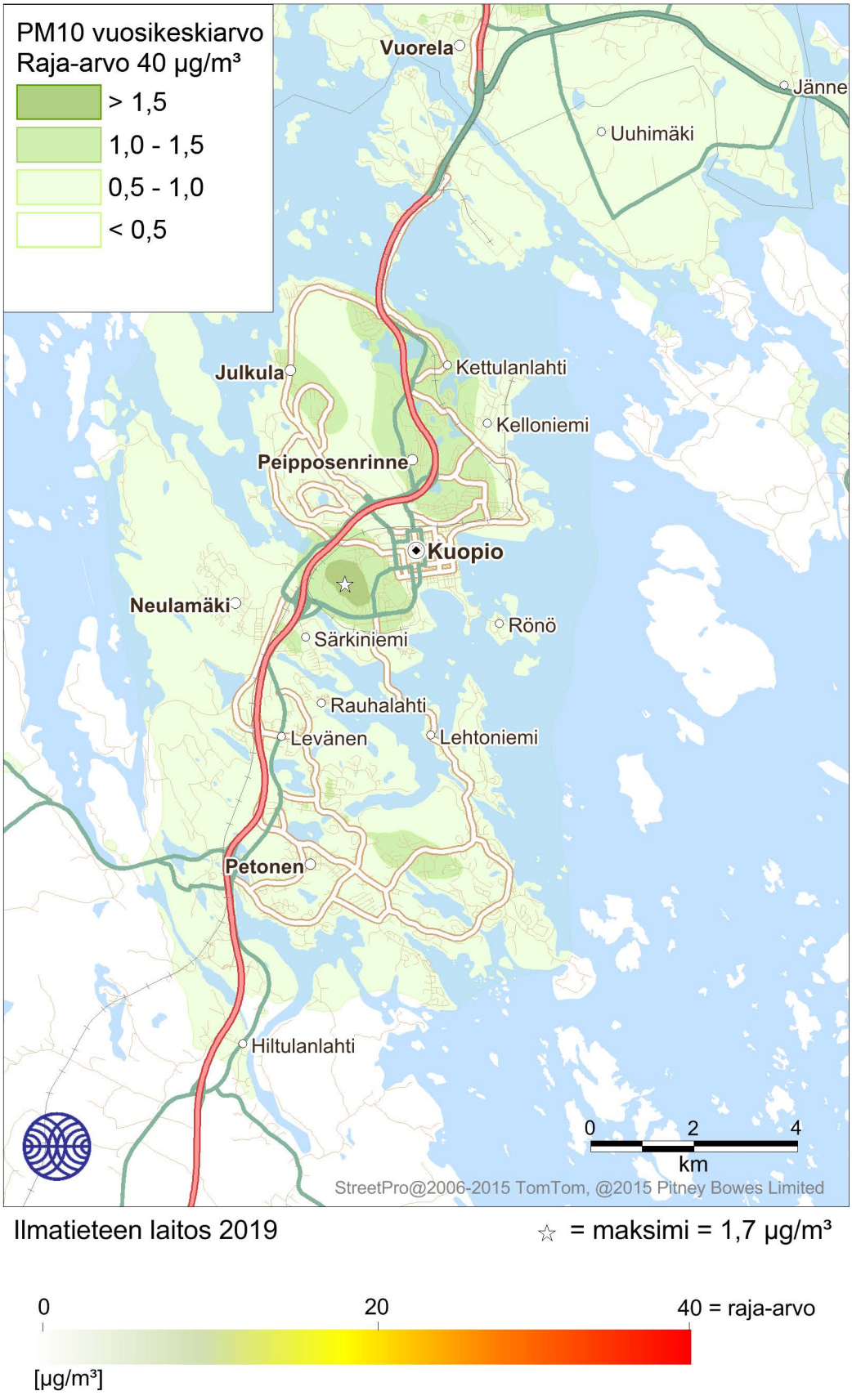

Ilmatieteen laitos 2019

☆ = maksimi = 171 µg/m³




Kuva 58. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama PM10 vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

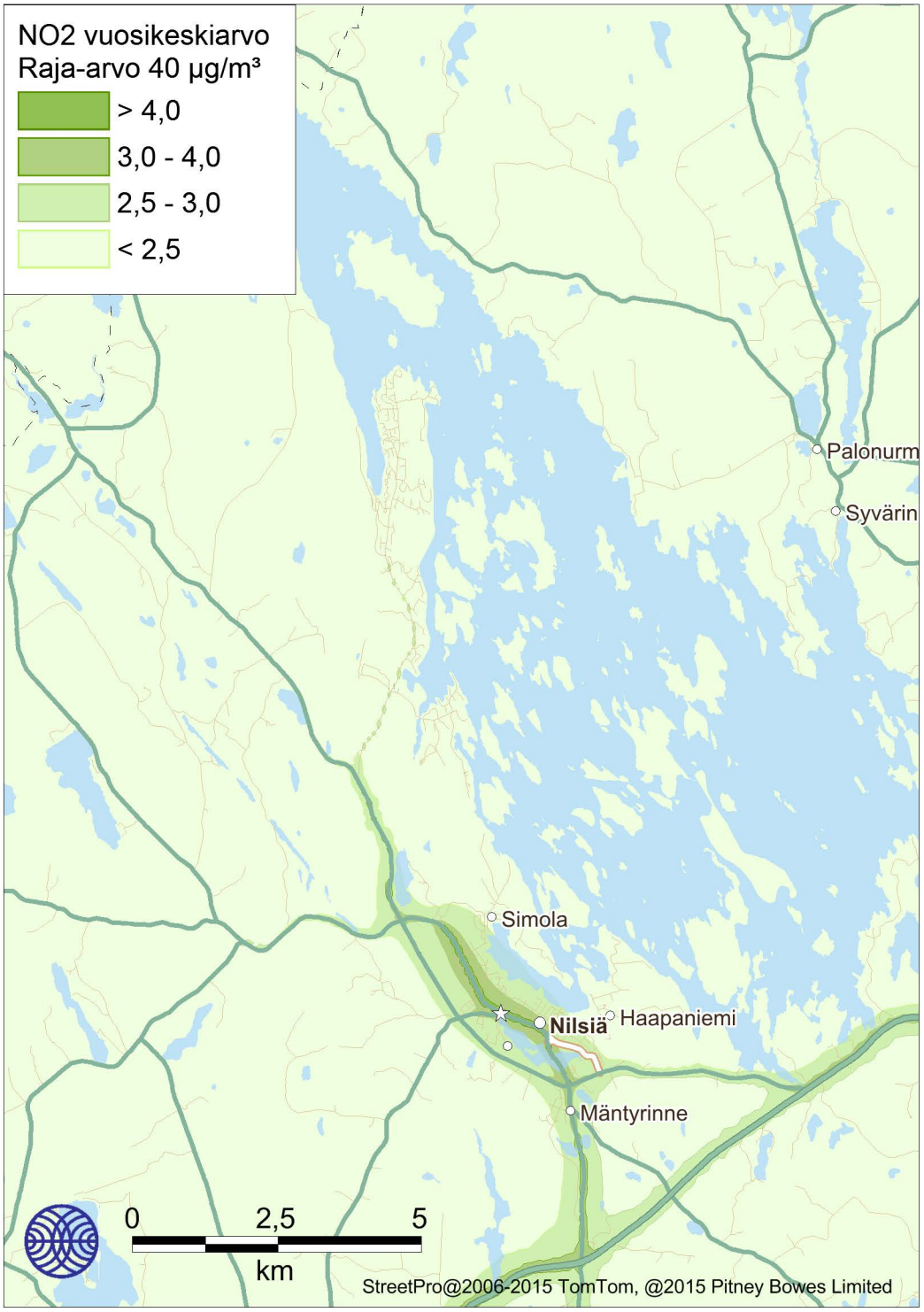
# KUOPIO 2035




Kuva 59. Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttama PM10 vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

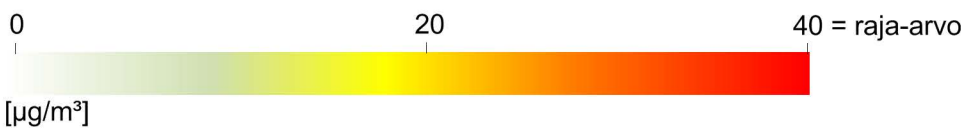
# KUOPIO 2035

Kuva 60. Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttama PM10 vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

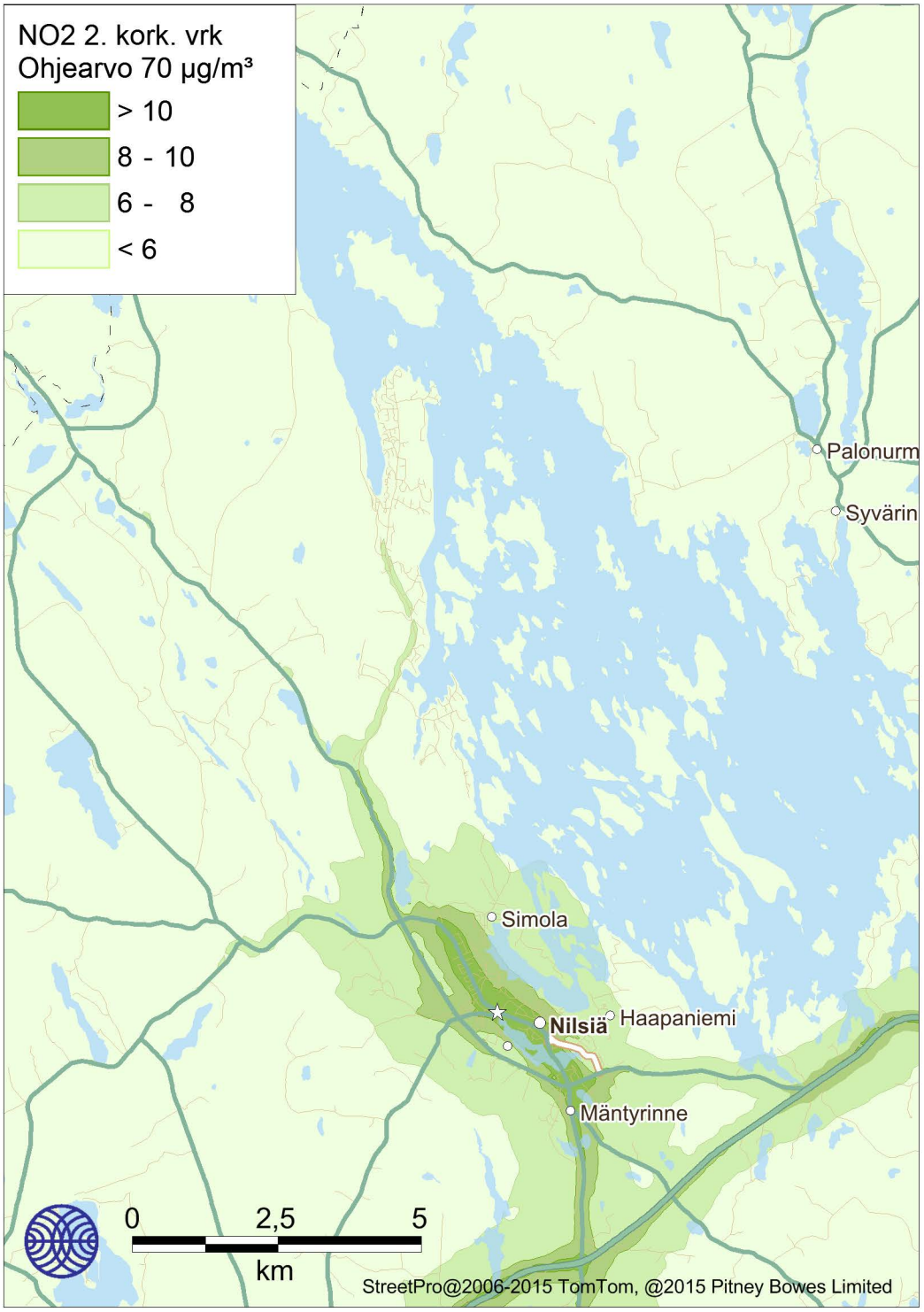



Ilmatieteen laitos 2019

☆ = maksimi = 6,7 µg/m³

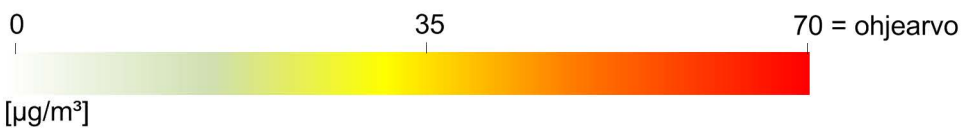



Kuva 61. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden yhdessä aiheuttama NO2 vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).




Ilmatieteen laitos 2019

☆ = maksimi = 24 µg/m³

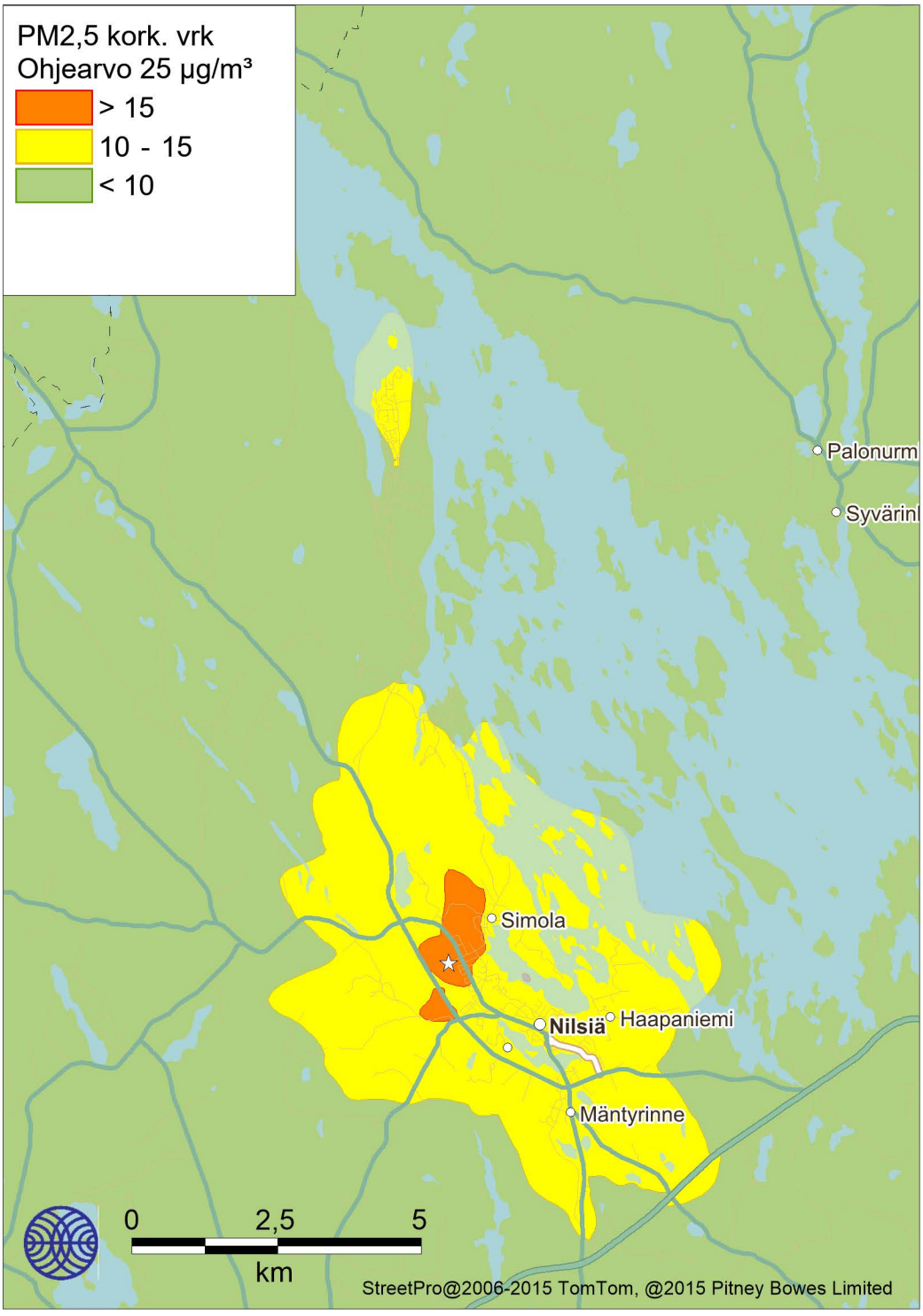



Kuva 62. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden yhdessä aiheuttama NO2 vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

# NILSIÄ-TAHKO 2017

Kuva 63. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden yhdessä aiheuttama PM2,5 vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

# NILSIÄ-TAHKO 2017

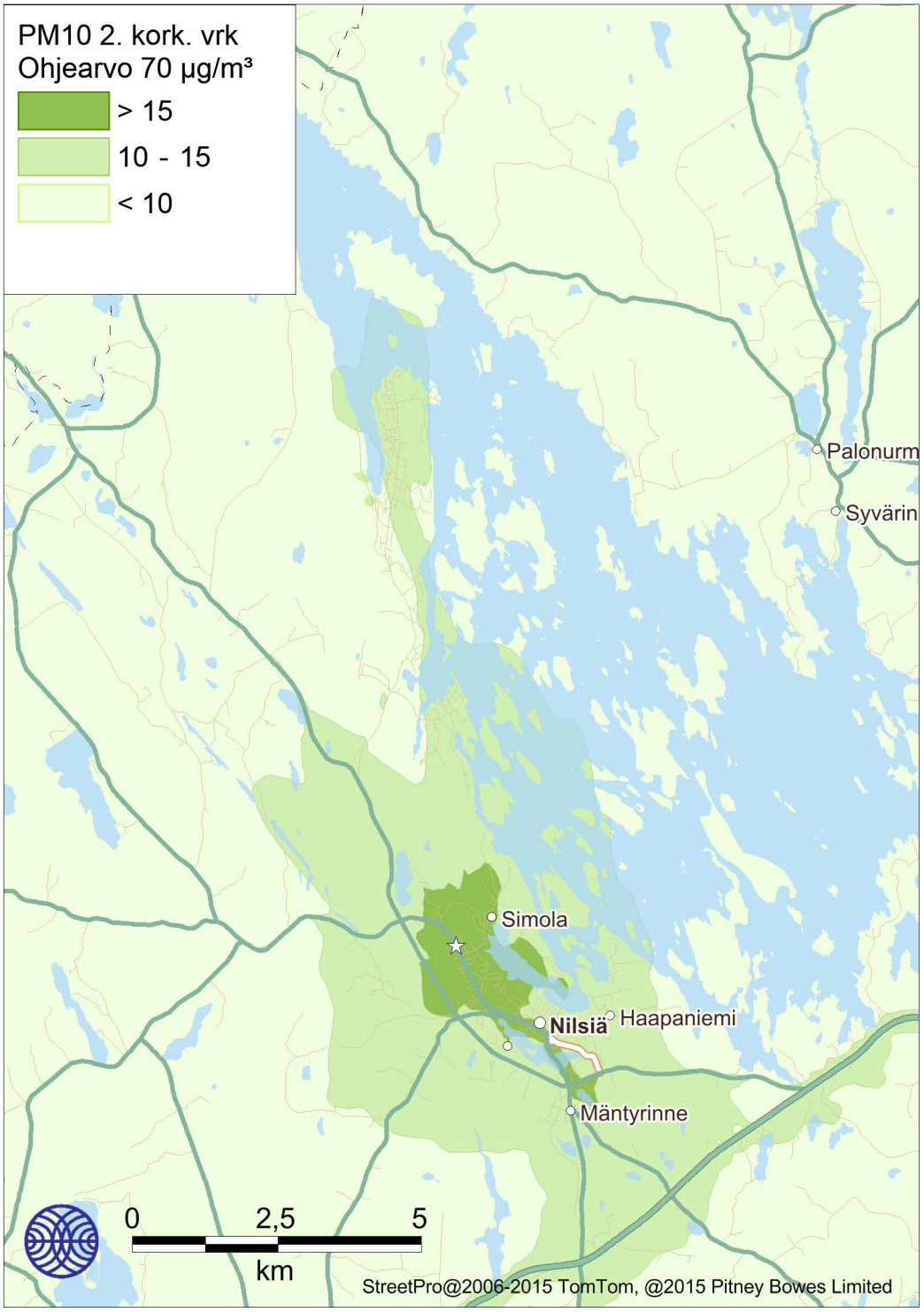



Kuva 64. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden yhdessä aiheuttama PM2,5 WHO:n vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

Ilmatieteen laitos 2019

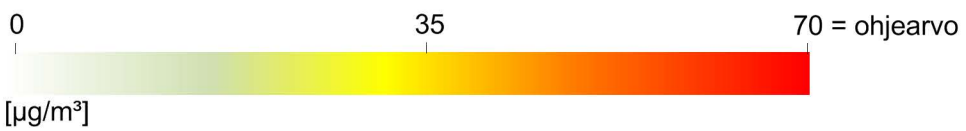
☆ = maksimi = 7,4 µg/m³

Kuva 65. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden yhdessä aiheuttama PM10 vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

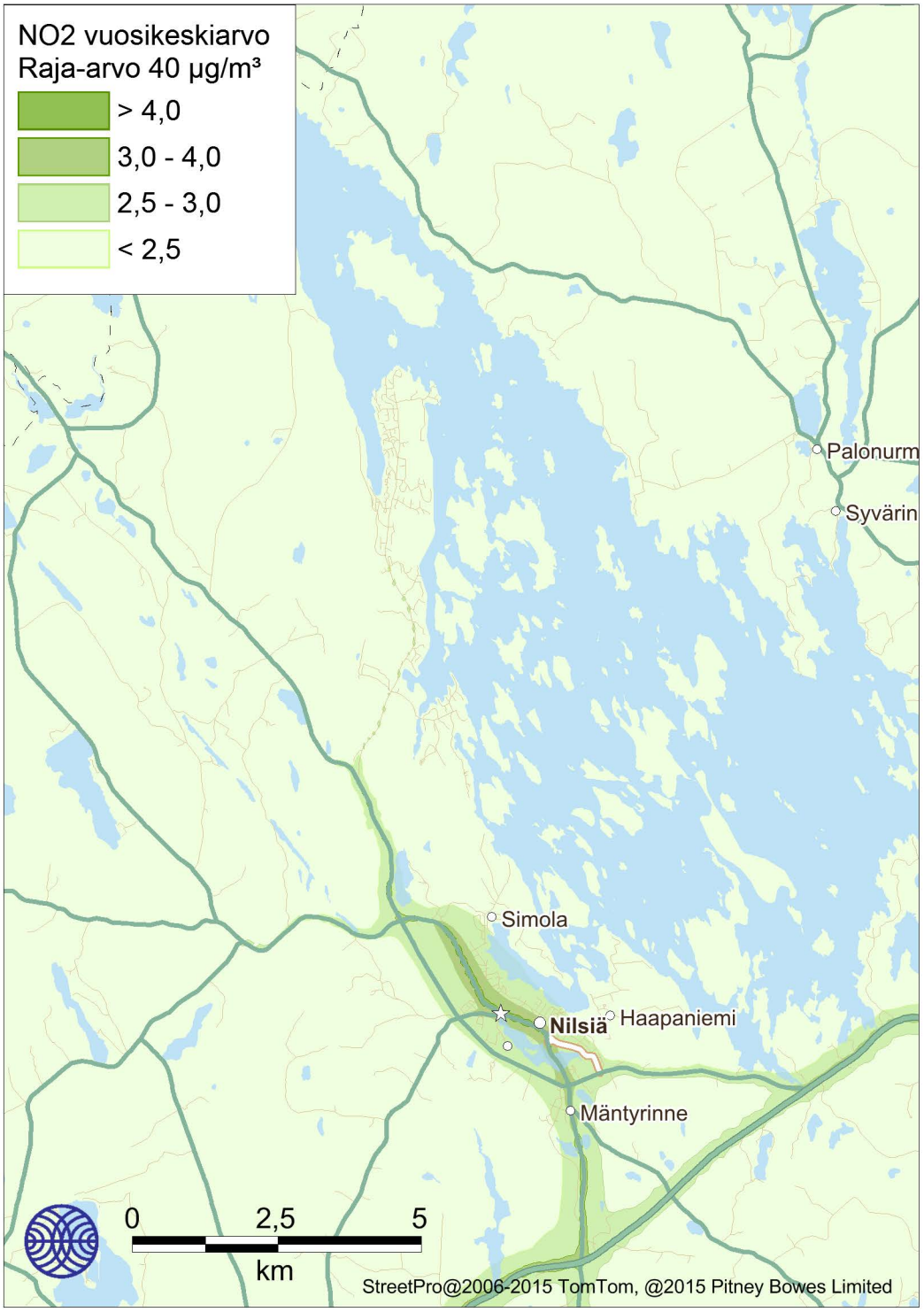



Ilmatieteen laitos 2019

☆ = maksimi = 23 µg/m³

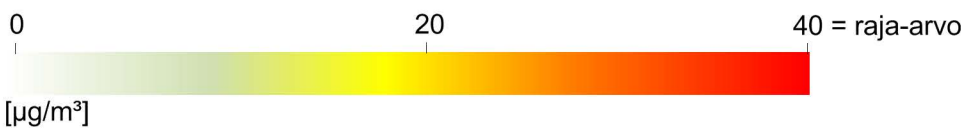



Kuva 66. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden yhdessä aiheuttama PM10 vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

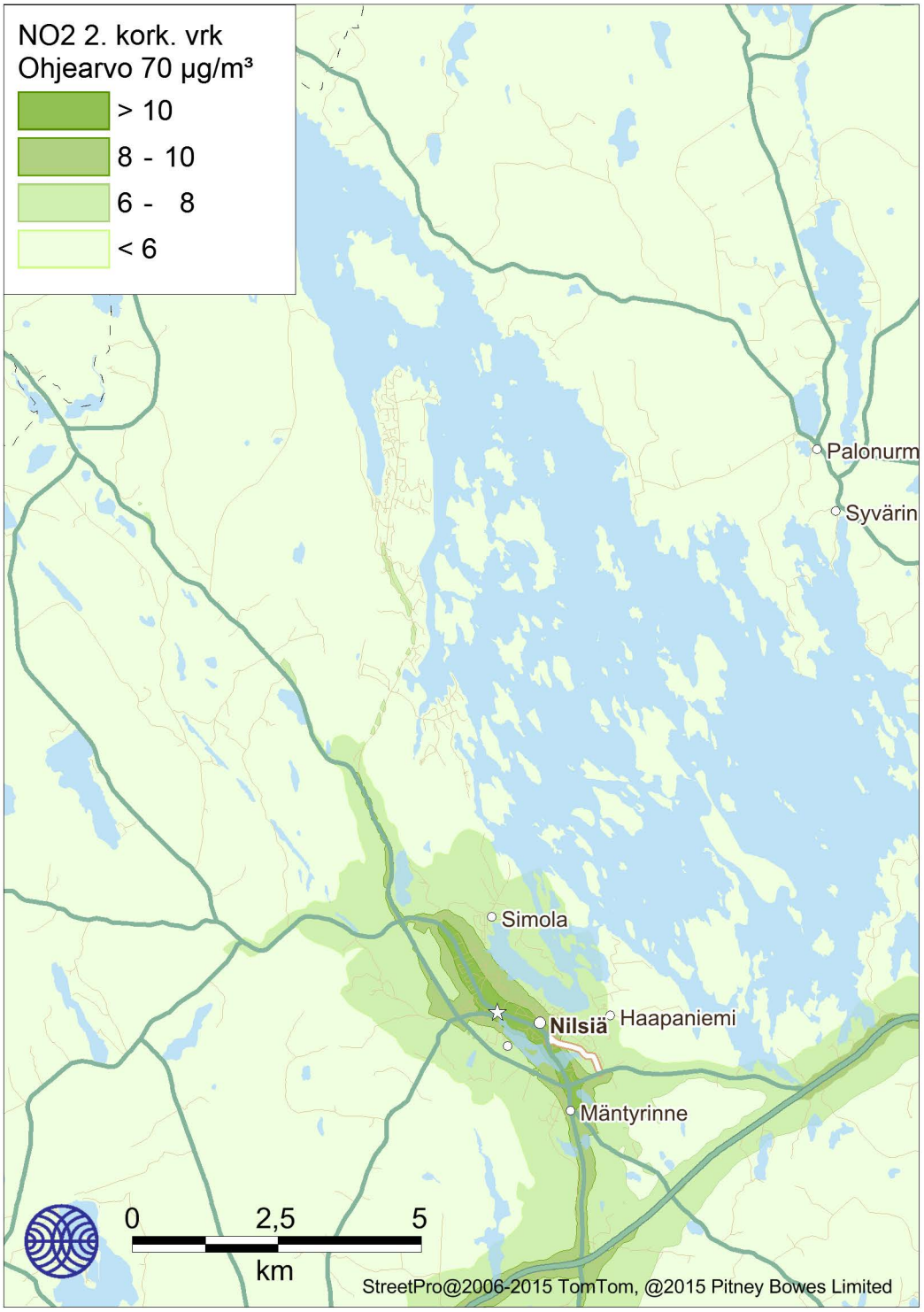



Ilmatieteen laitos 2019

☆ = maksimi = 6,3 µg/m³

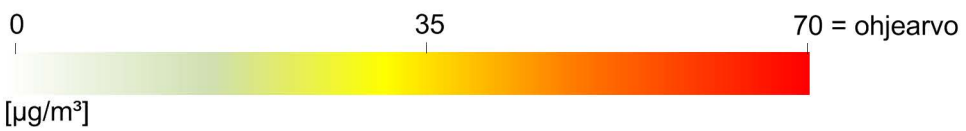



Kuva 67. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden yhdessä aiheuttama NO2 vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).




Ilmatieteen laitos 2019

☆ = maksimi = 21 µg/m³

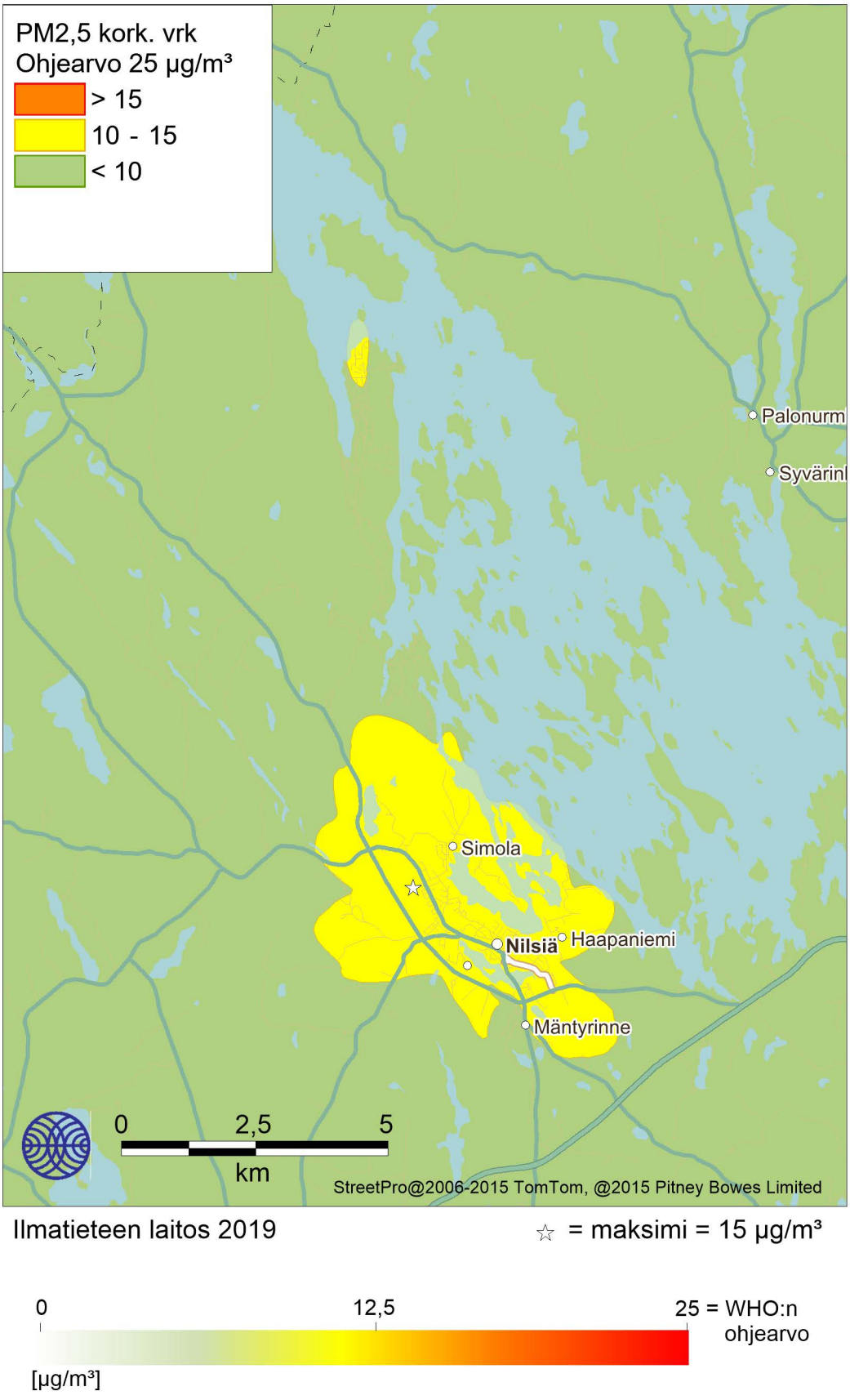



Kuva 68. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden yhdessä aiheuttama NO2 vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

# NILSIÄ-TAHKO 2035

Kuva 69. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden yhdessä aiheuttama PM2,5 vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

# NILSIÄ-TAHKO 2035




Kuva 70. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden yhdessä aiheuttama PM2,5 WHO:n vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

# NILSIÄ-TAHKO 2035

Ilmatieteen laitos 2019

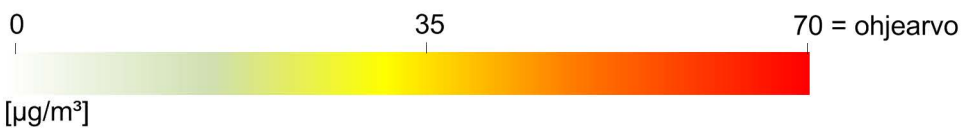
☆ = maksimi = 7,4 µg/m³

Kuva 71. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden yhdessä aiheuttama PM10 vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

# NILSIÄ-TAHKO 2035

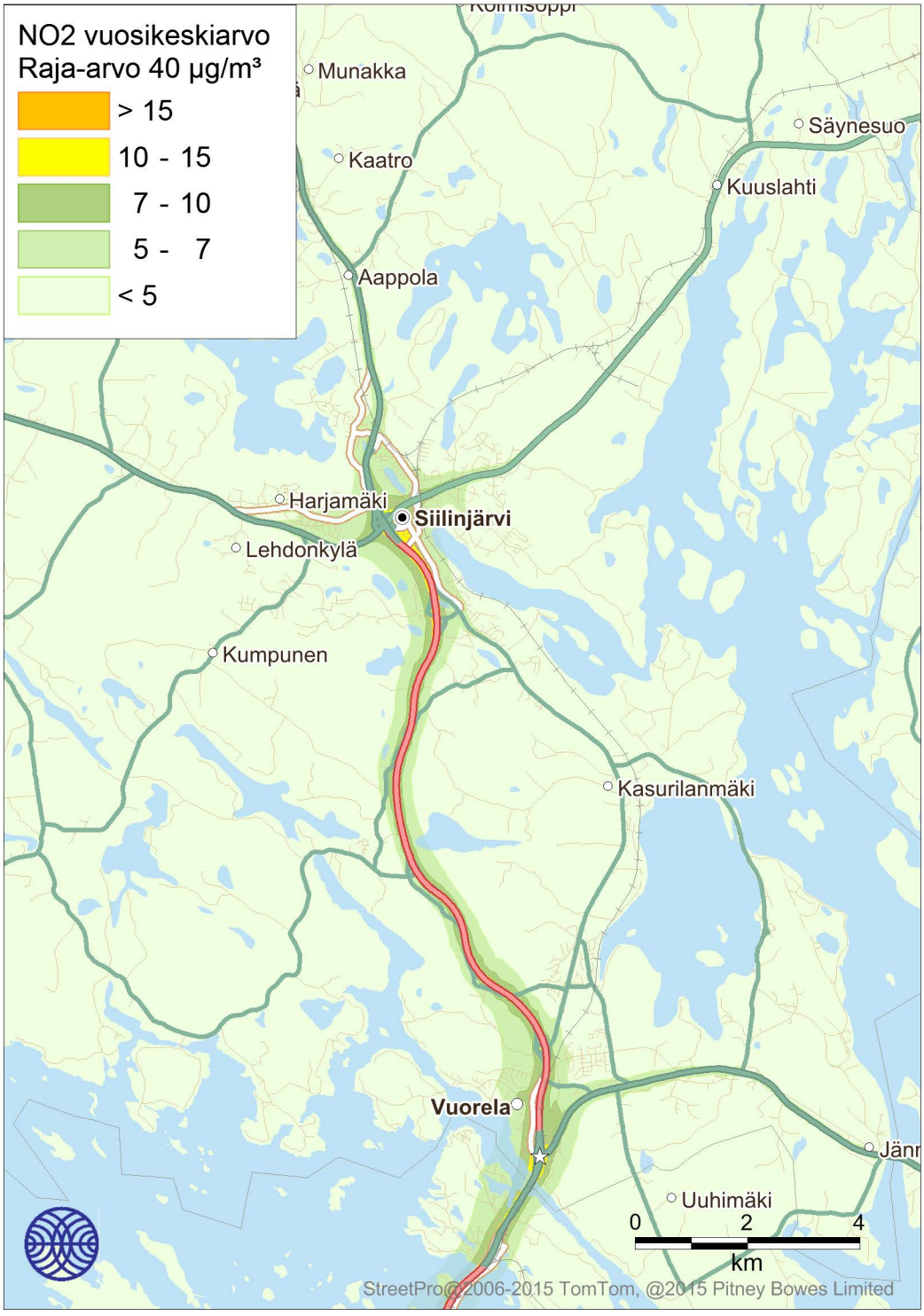
Ilmatieteen laitos 2019

☆ = maksimi = 24 µg/m³



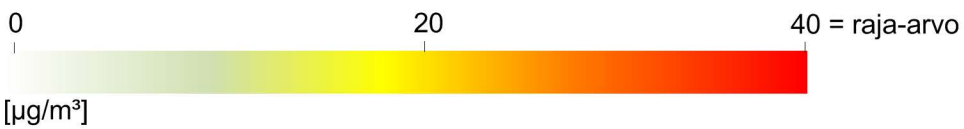

Kuva 72. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden yhdessä aiheuttama PM10 vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

# SIILINJÄRVI 2017



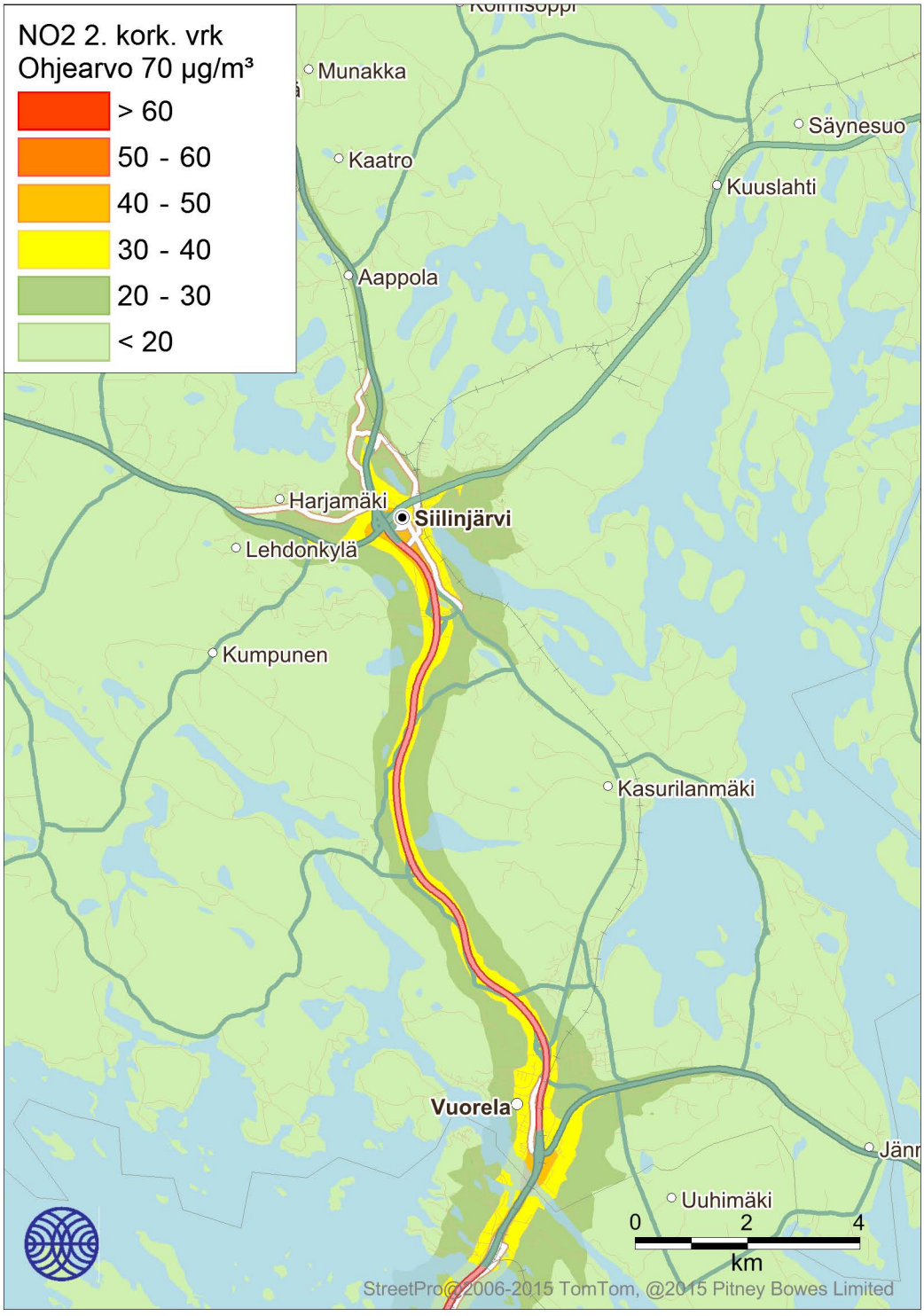

Ilmatieteen laitos 2019

☆ = maksimi = 27 µg/m³



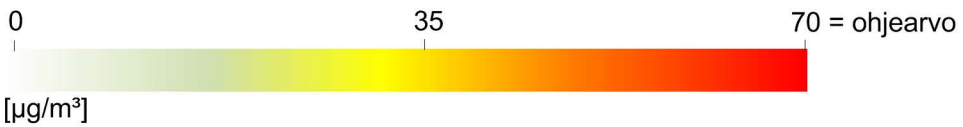

Kuva 73. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden yhdessä aiheuttama NO2 vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

# SIILINJÄRVI 2017



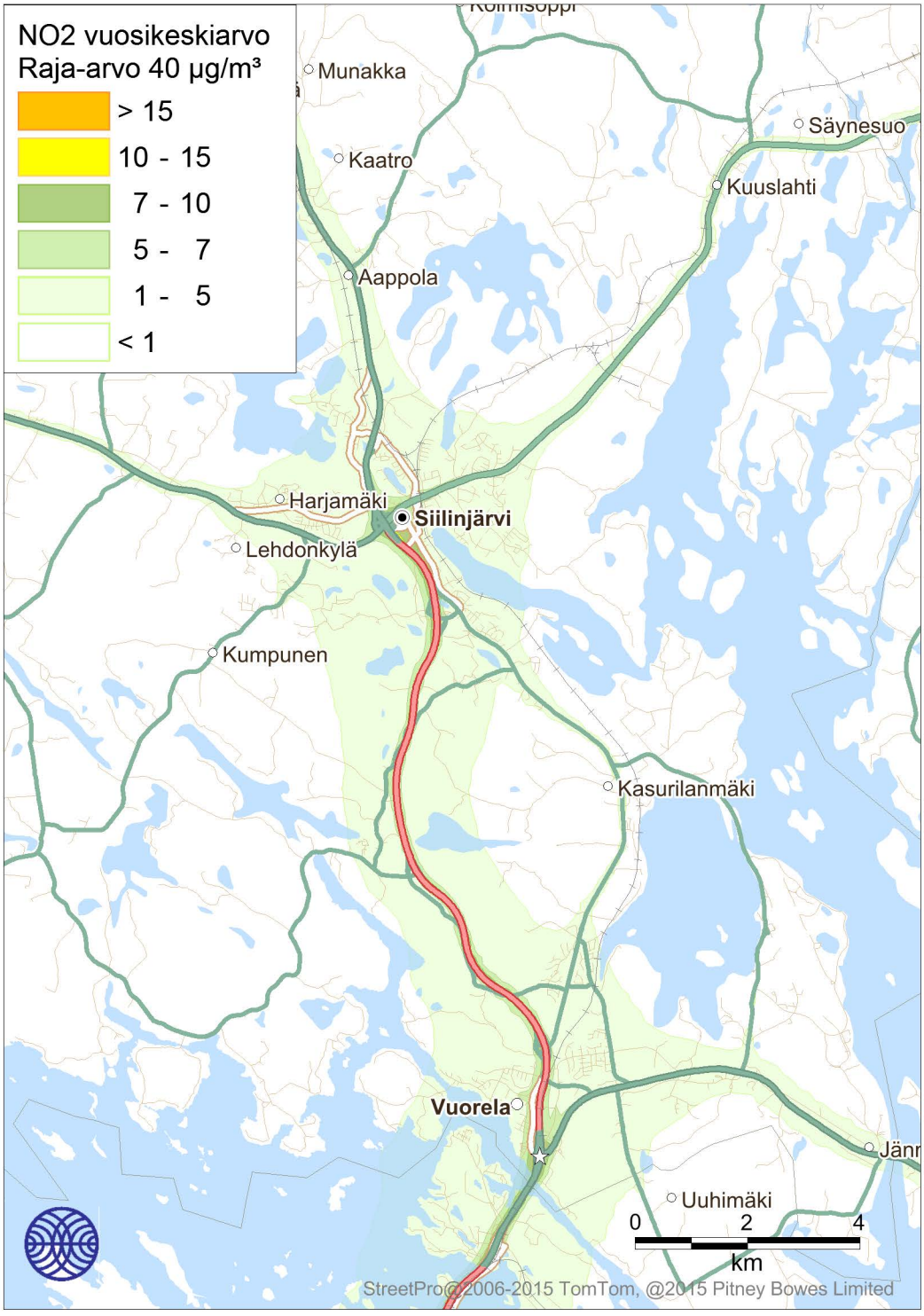

Ilmatieteen laitos 2019

☆ = maksimi = 60 µg/m³



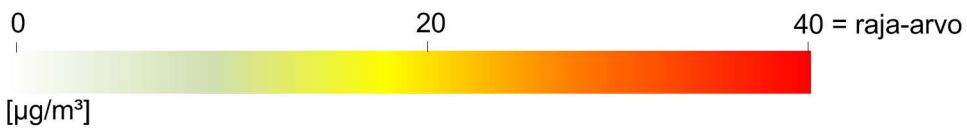

Kuva 74. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden yhdessä aiheuttama NO2 vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

# SIILINJÄRVI 2017



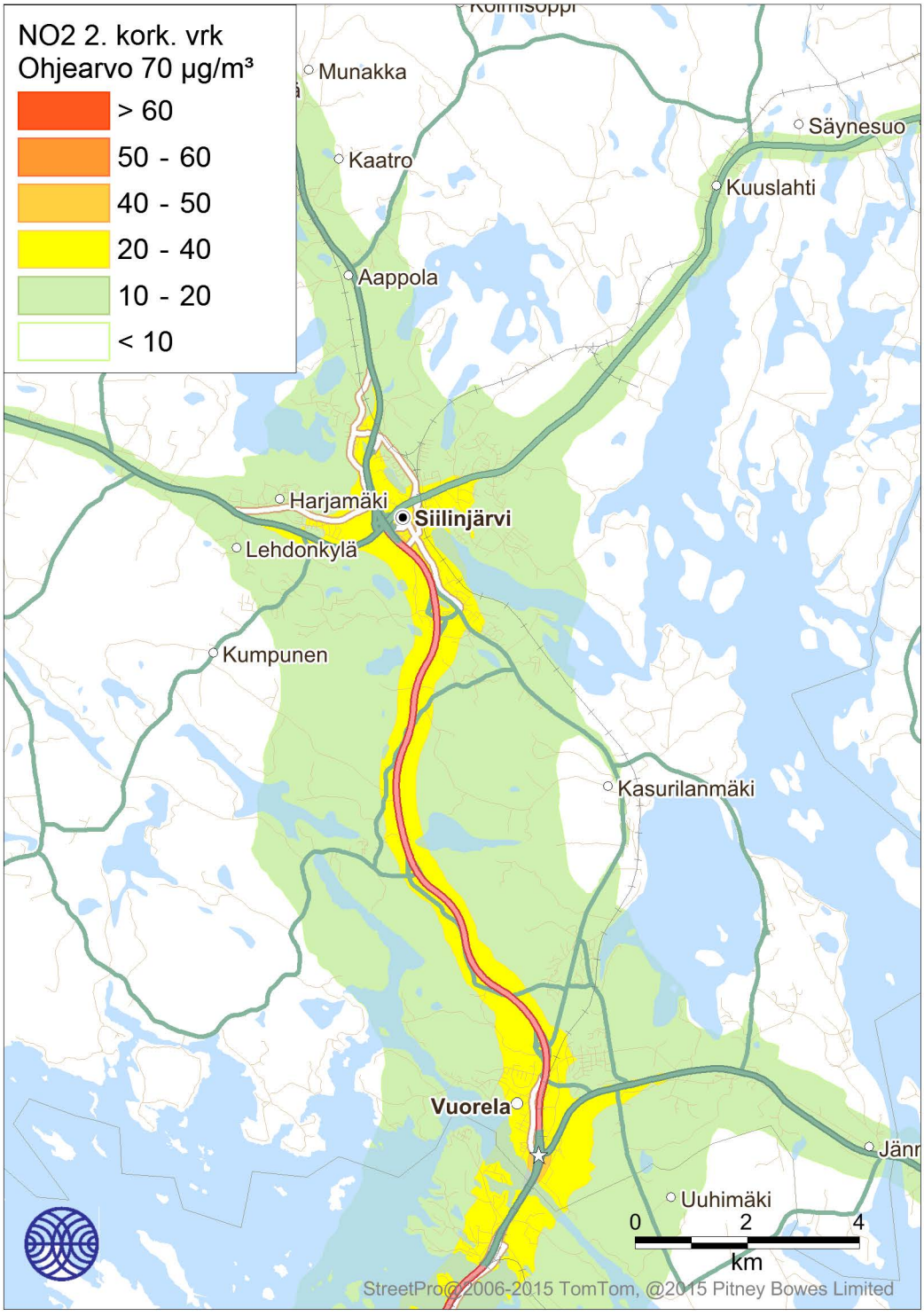

Ilmatieteen laitos 2019

☆ = maksimi = 24 µg/m³



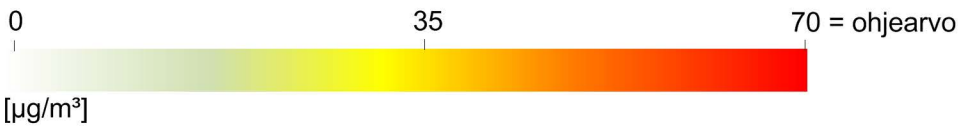

Kuva 75. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama NO2 vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

# SIILINJÄRVI 2017



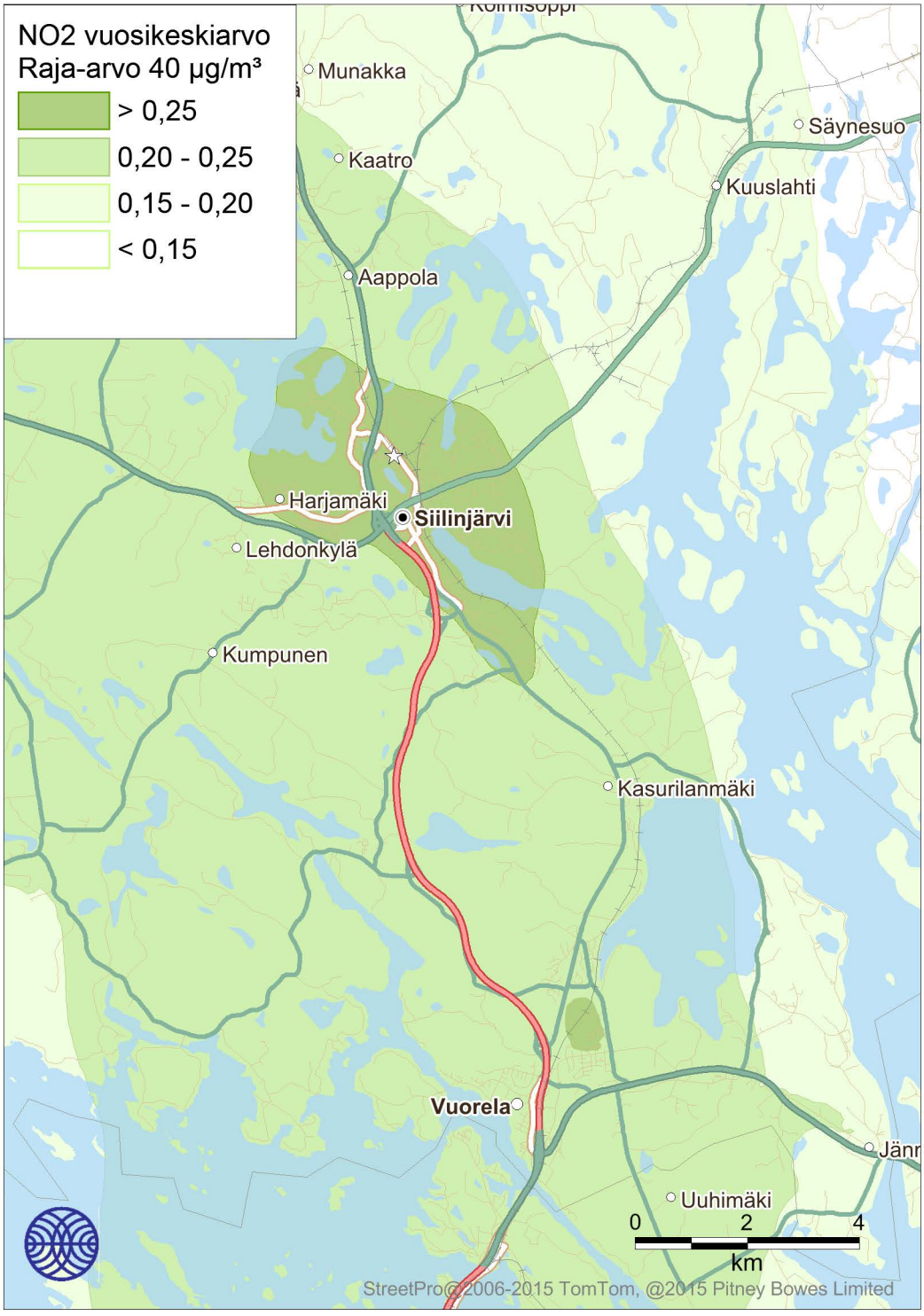

Ilmatieteen laitos 2019

☆ = maksimi = 56 µg/m³



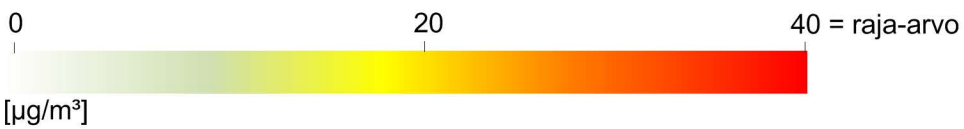

Kuva 76. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama NO2 vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

# SIILINJÄRVI 2017



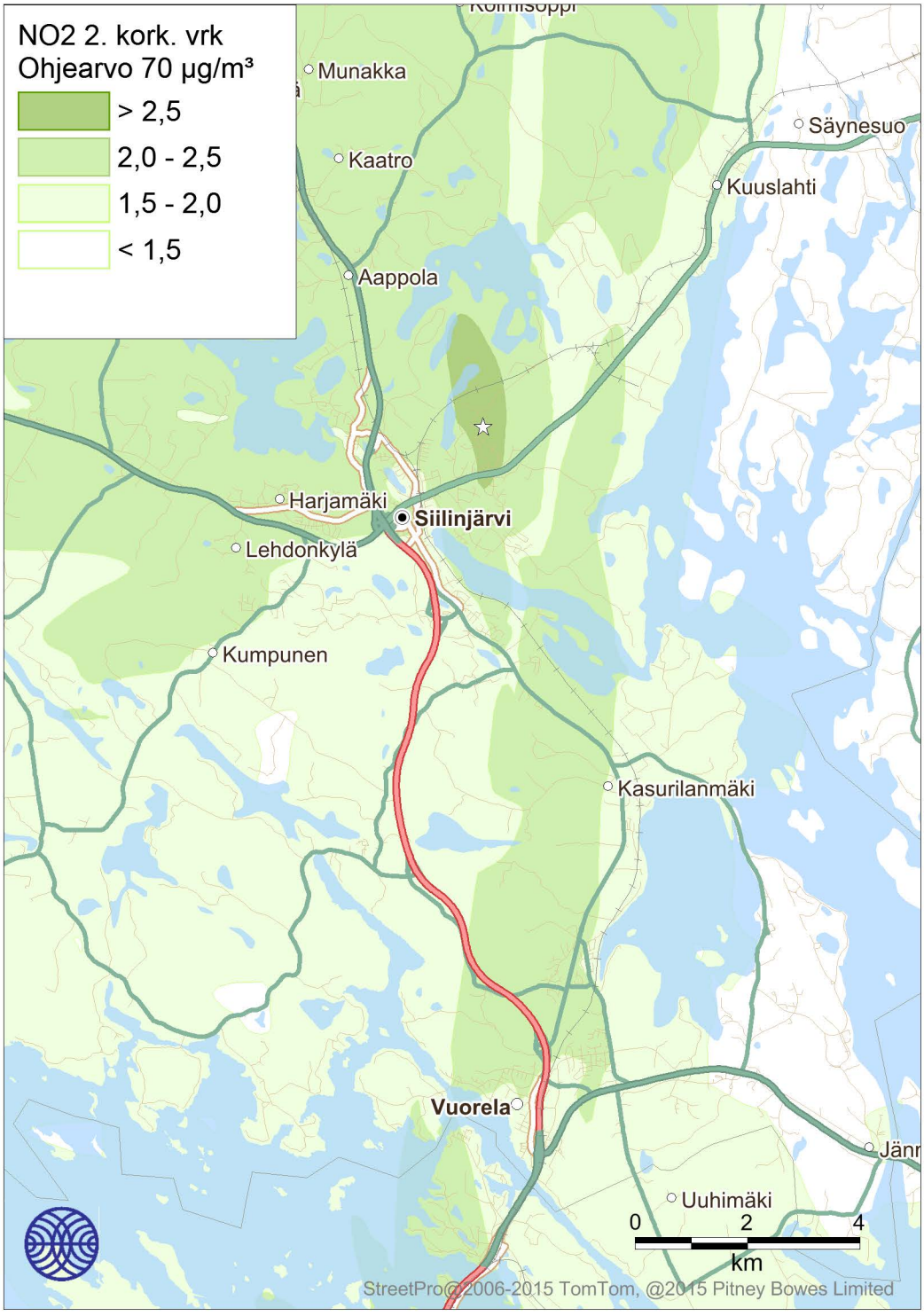

Ilmatieteen laitos 2019

☆ = maksimi = 0,29 µg/m³



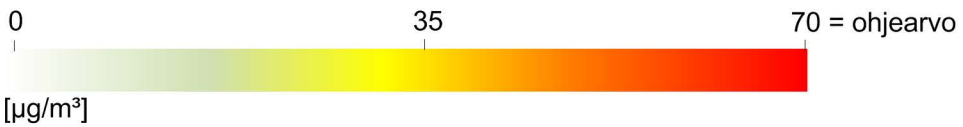

Kuva 77. Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttama NO2 vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

# SIILINJÄRVI 2017



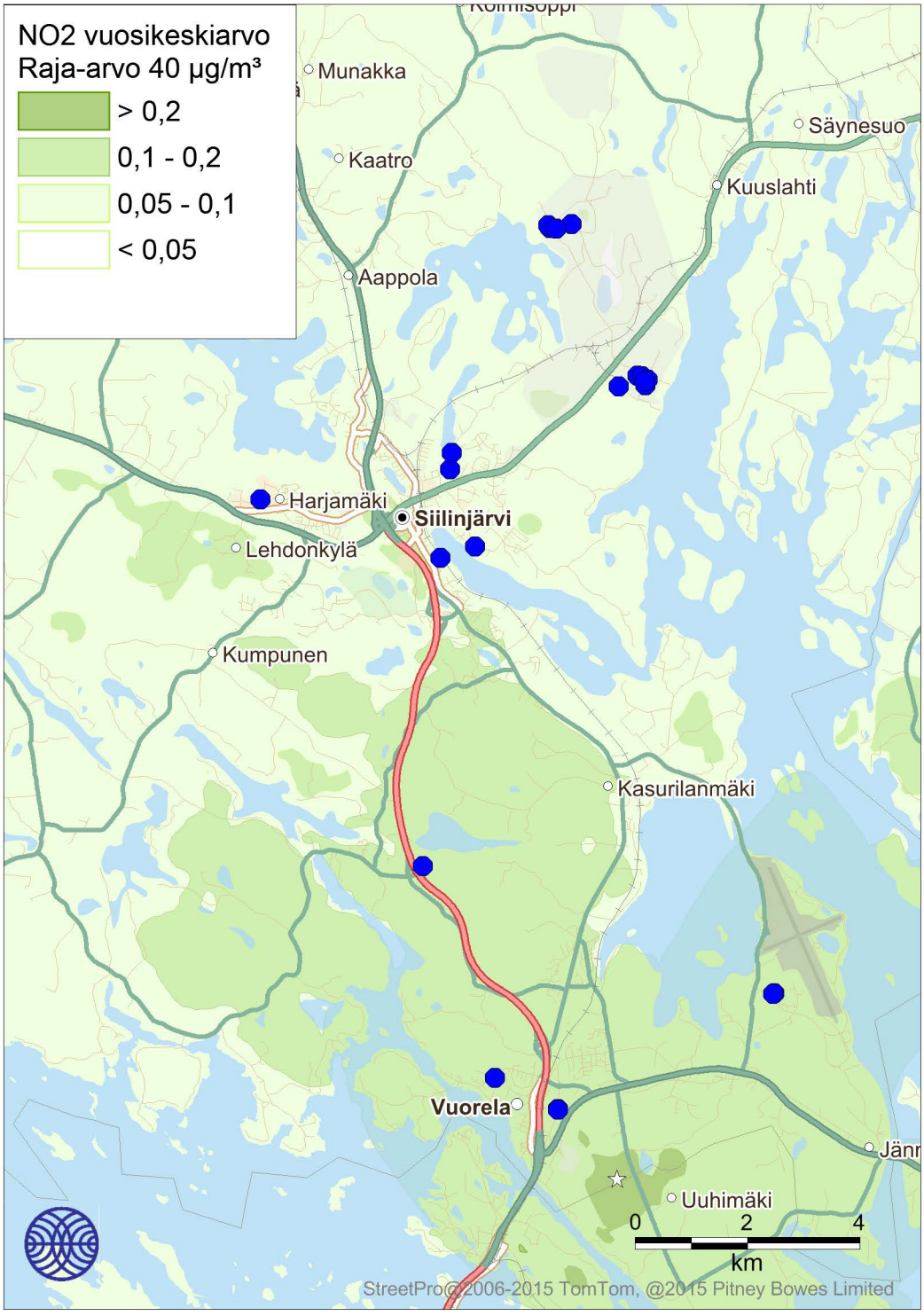

Ilmatieteen laitos 2019

☆ = maksimi = 2,9 µg/m³



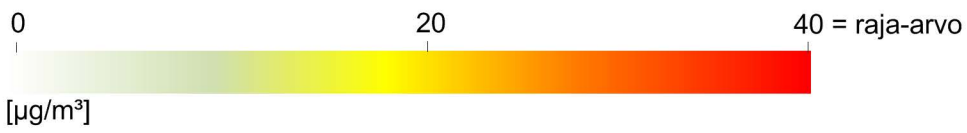

Kuva 78. Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttama NO2 vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

# SIILINJÄRVI 2017



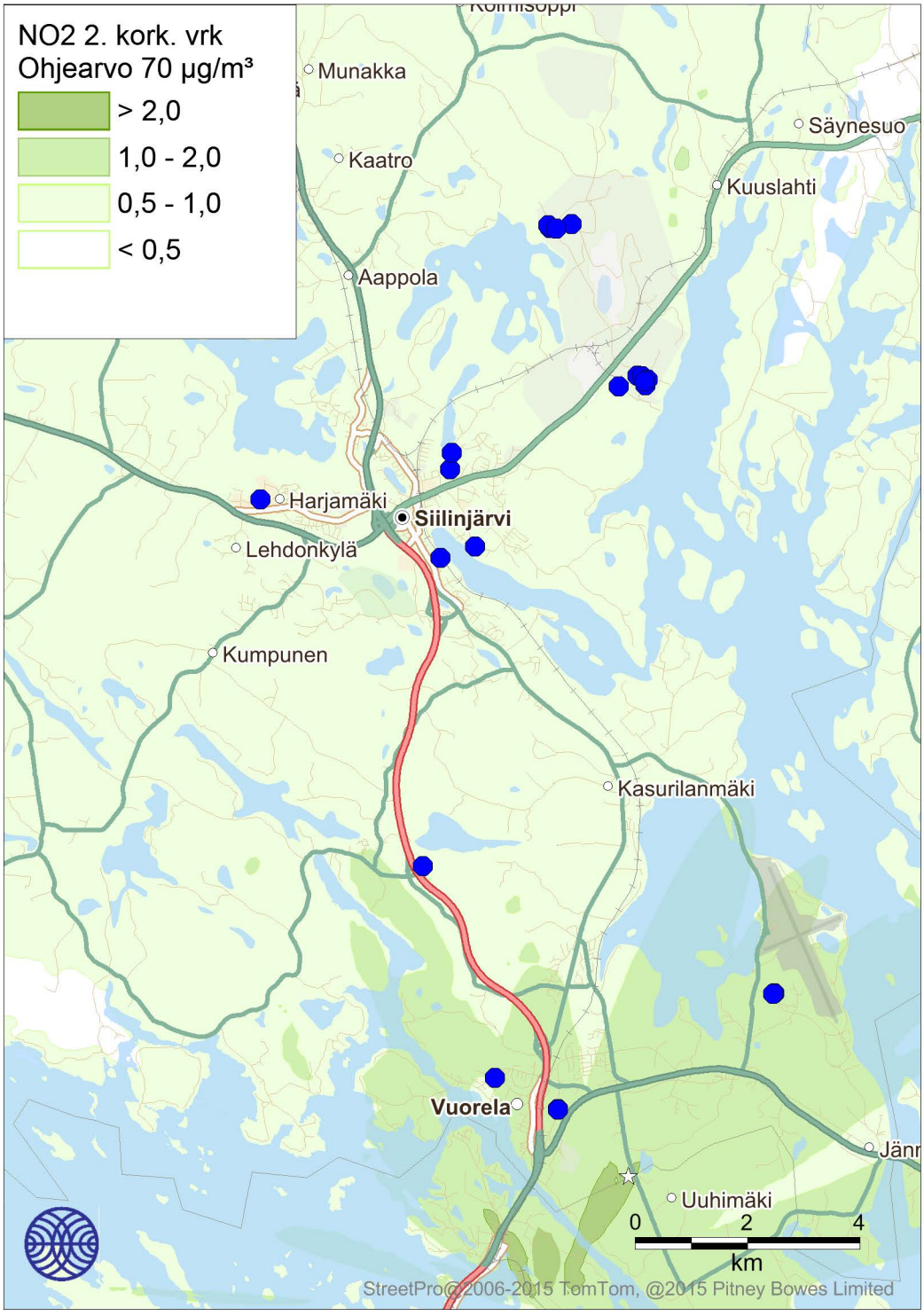

Ilmatieteen laitos 2019

☆ = maksimi = 0,25 µg/m³



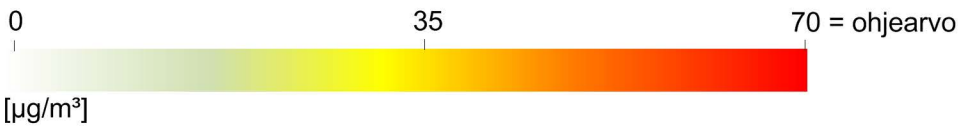

Kuva 79. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttama NO2 vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

# SIILINJÄRVI 2017



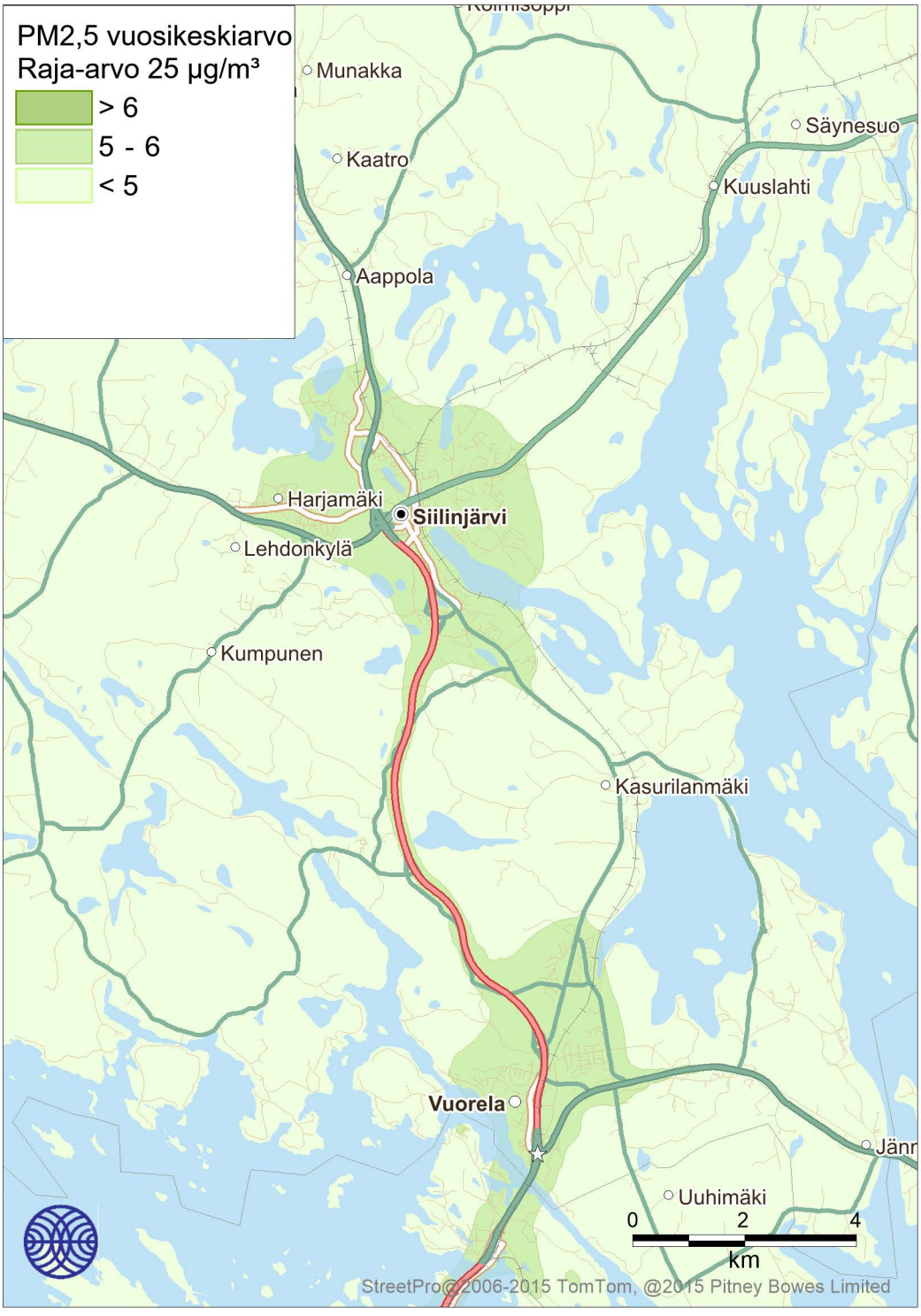

Ilmatieteen laitos 2019

☆ = maksimi = 2,1 µg/m³



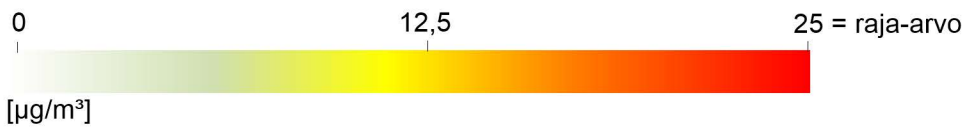

Kuva 80. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttama NO2 vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

# SIILINJÄRVI 2017



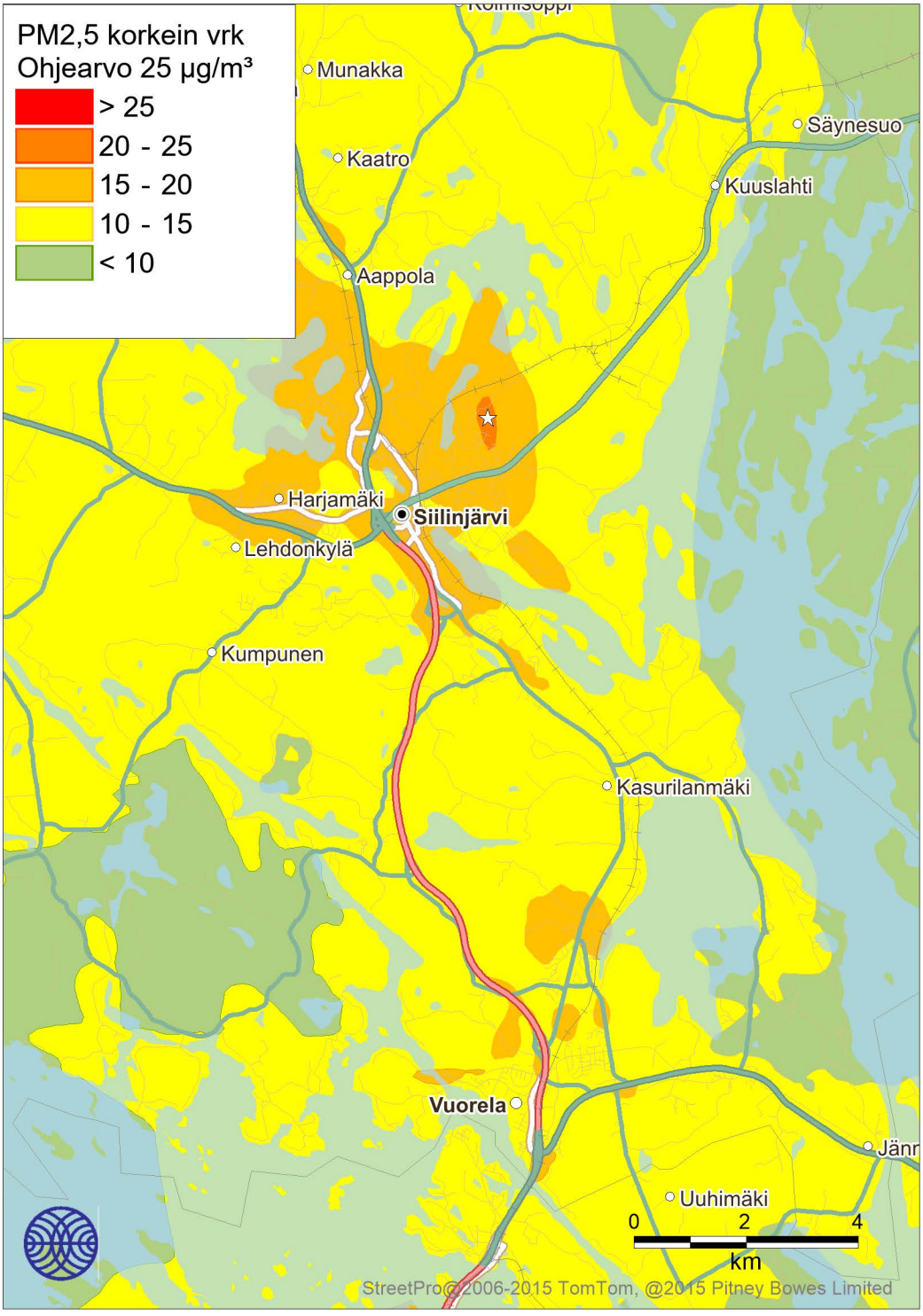

Ilmatieteen laitos 2019

☆ = maksimi = 7,2 µg/m³



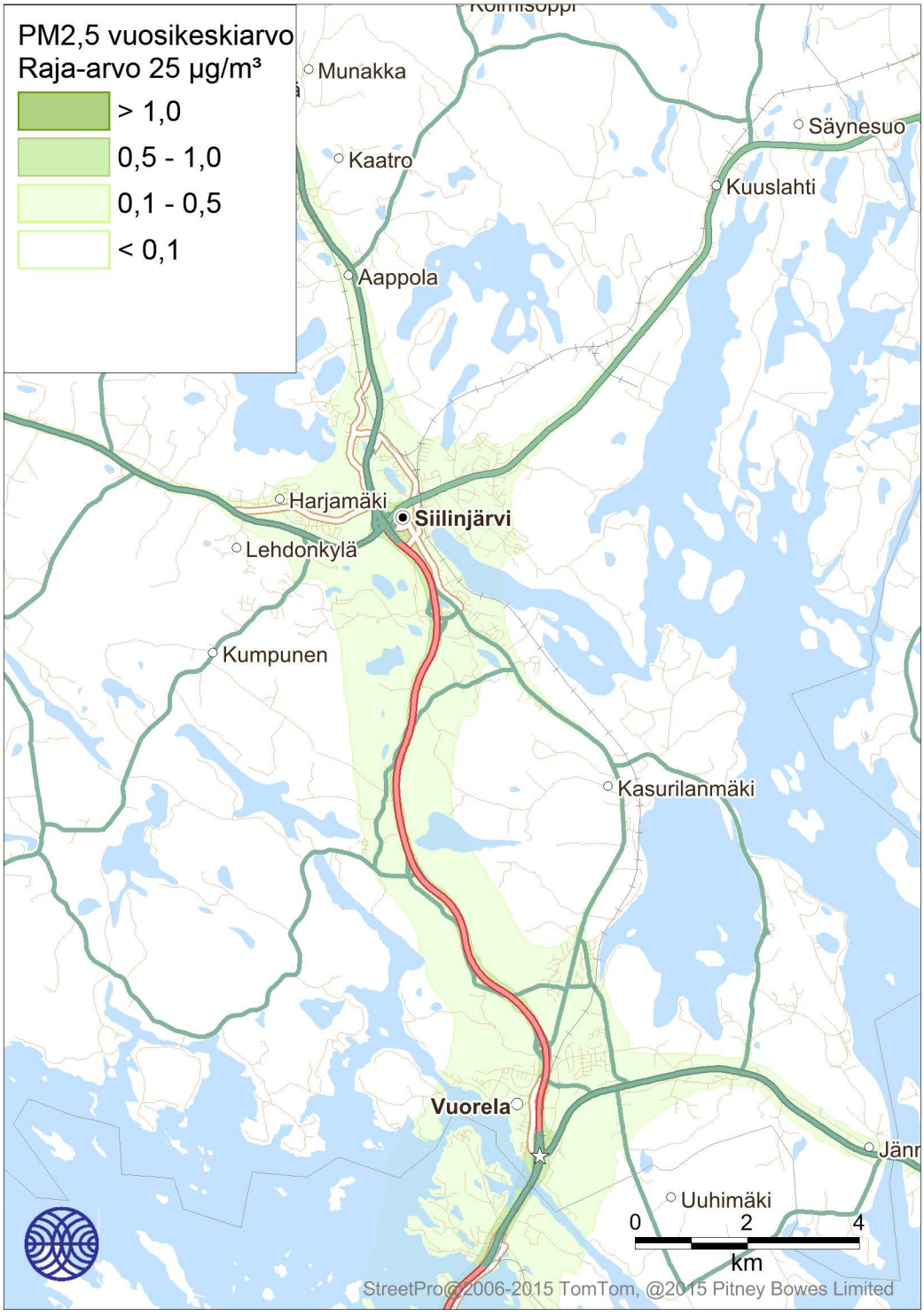

Kuva 81. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden yhdessä aiheuttama PM2,5 vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

# SIILINJÄRVI 2017




Kuva 82. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden yhdessä aiheuttama PM2,5 WHO:n vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

# SIILINJÄRVI 2017

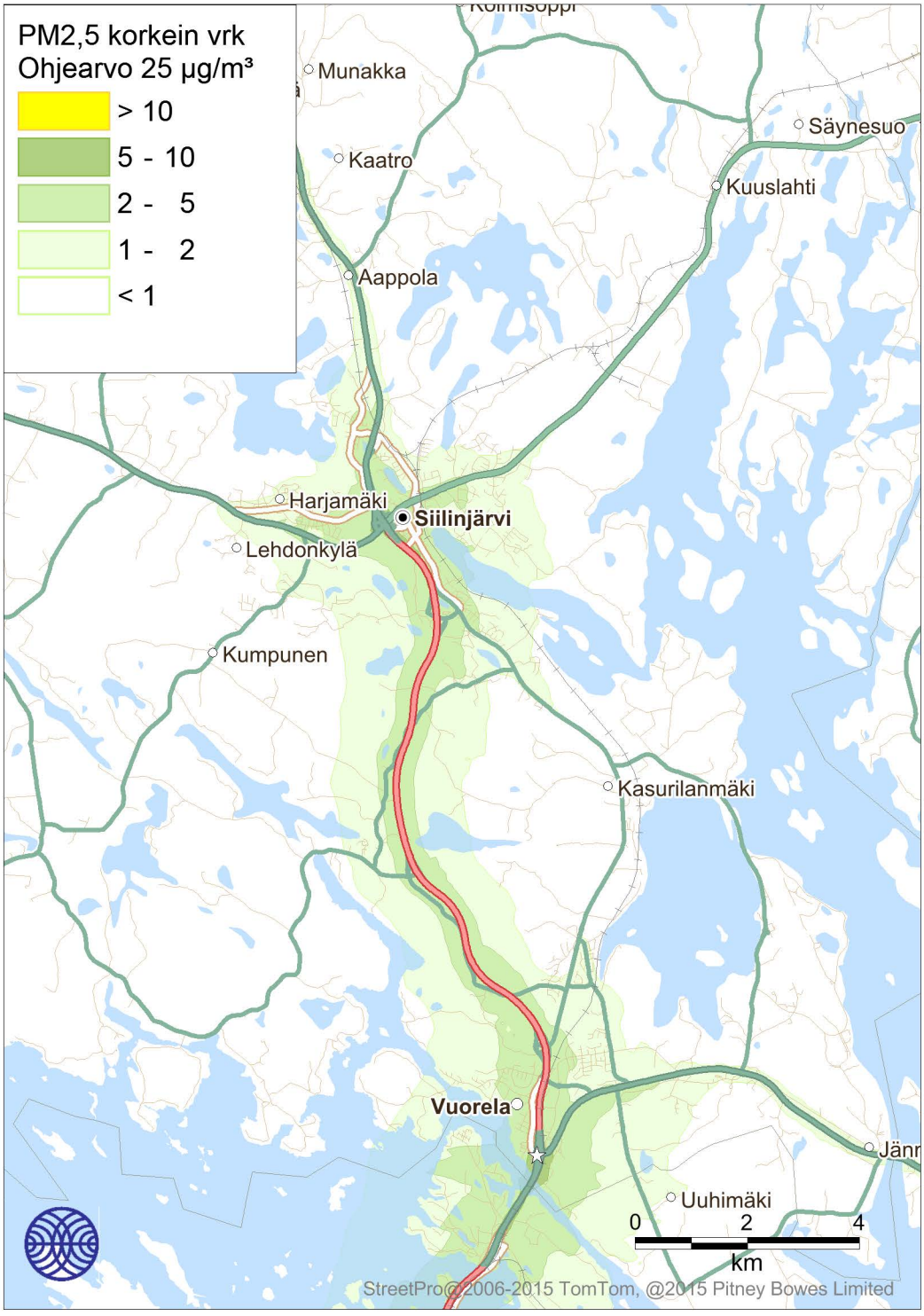



Ilmatieteen laitos 2019

☆ = maksimi = 2,4 µg/m³

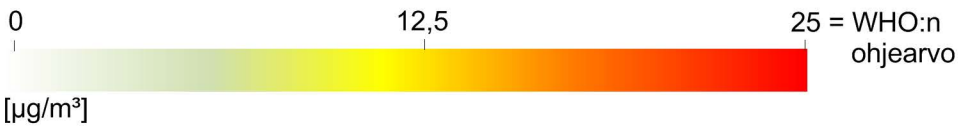
Kuva 83. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama PM2,5 vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

# SIILINJÄRVI 2017



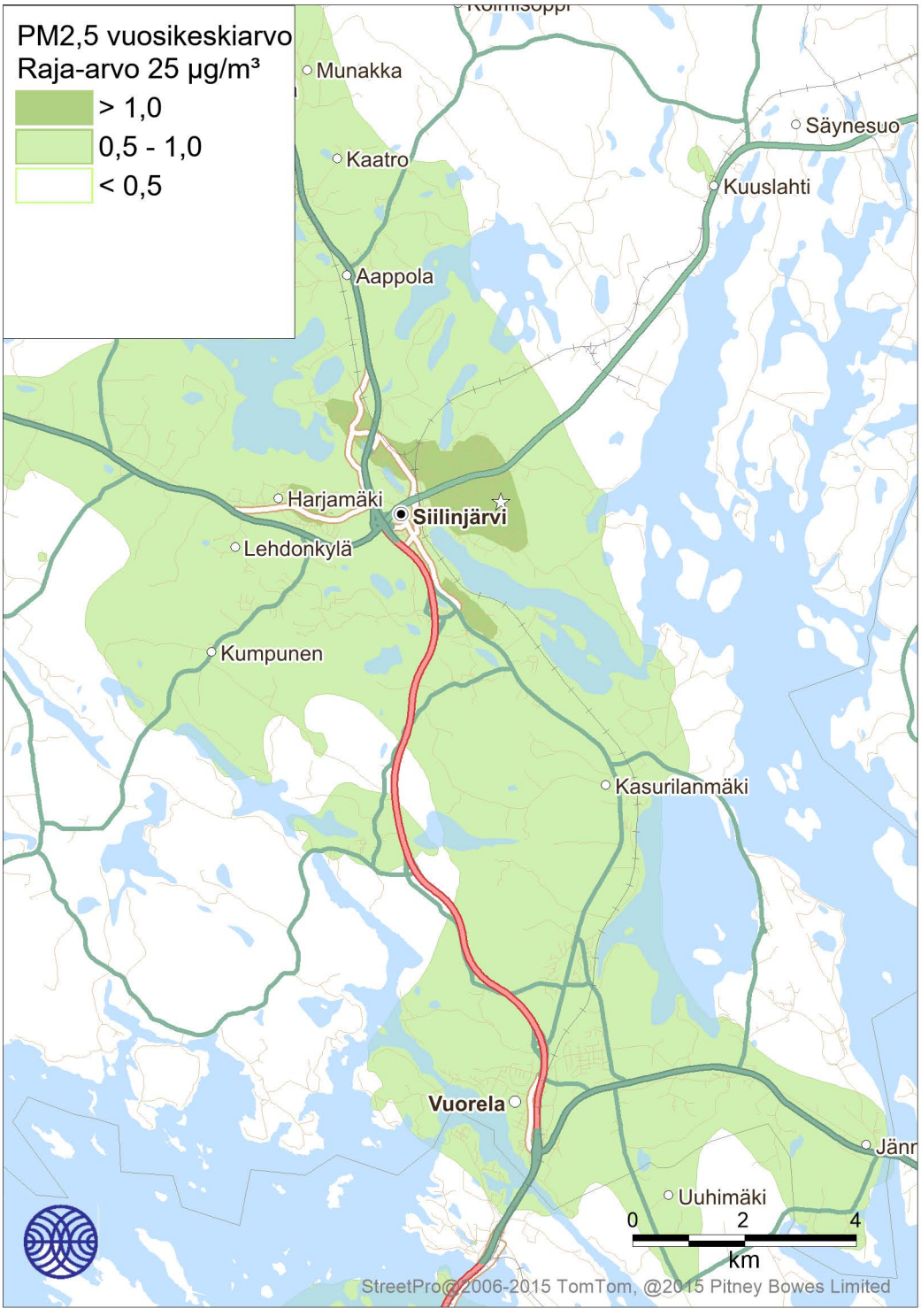

Ilmatieteen laitos 2019

☆ = maksimi = 9,4 µg/m³



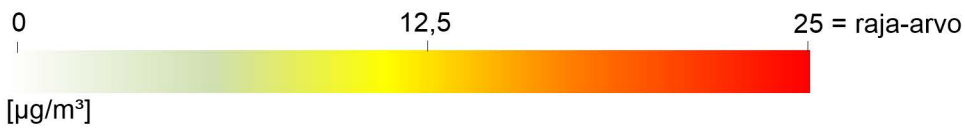

Kuva 84. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama PM2,5 WHO:n vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

# SIILINJÄRVI 2017



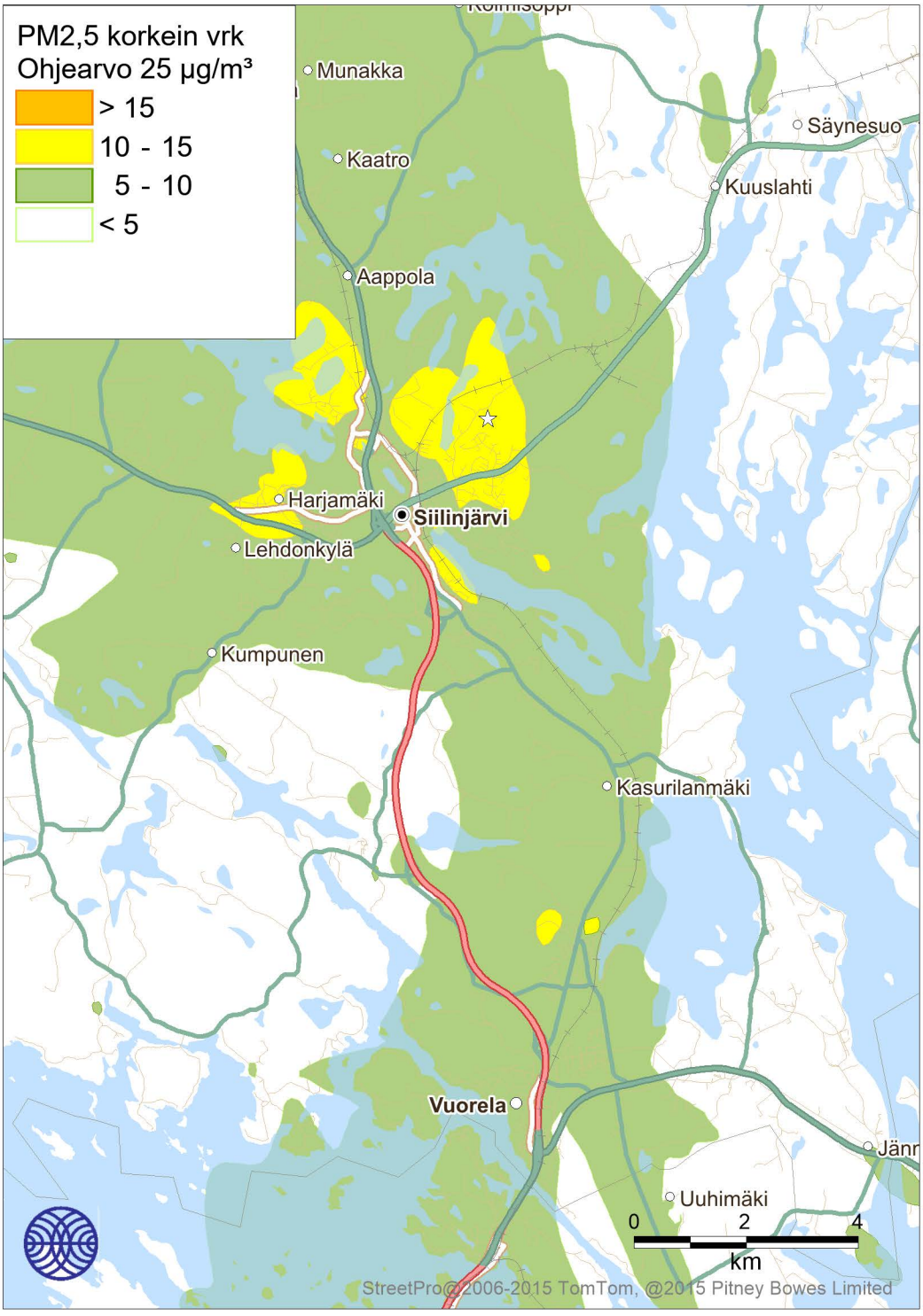

Ilmatieteen laitos 2019

☆ = maksimi = 1,2 µg/m³



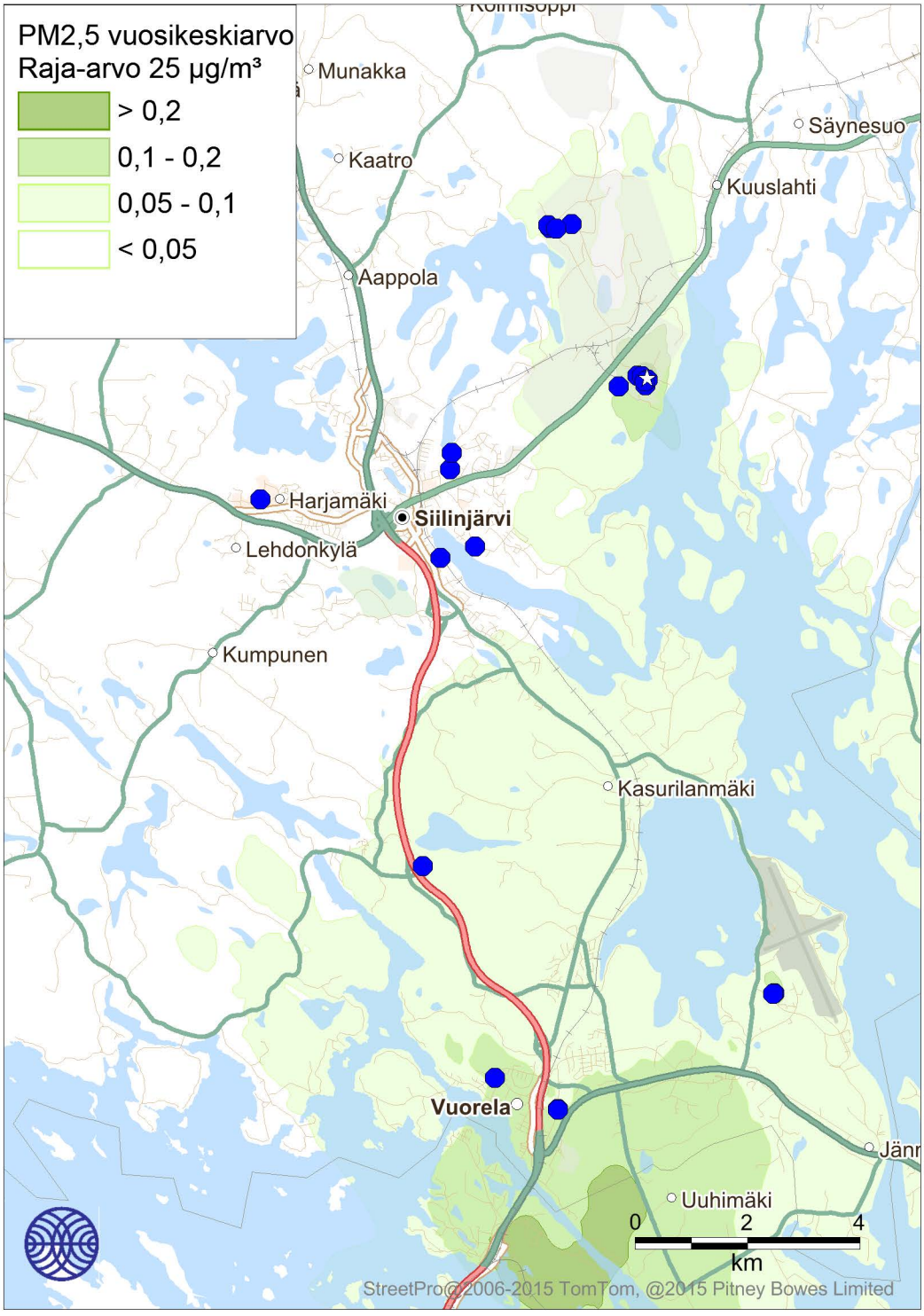

Kuva 85. Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttama PM2,5 vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

# SIILINJÄRVI 2017




Kuva 86. Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttama PM2,5 WHO:n vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

# SIILINJÄRVI 2017

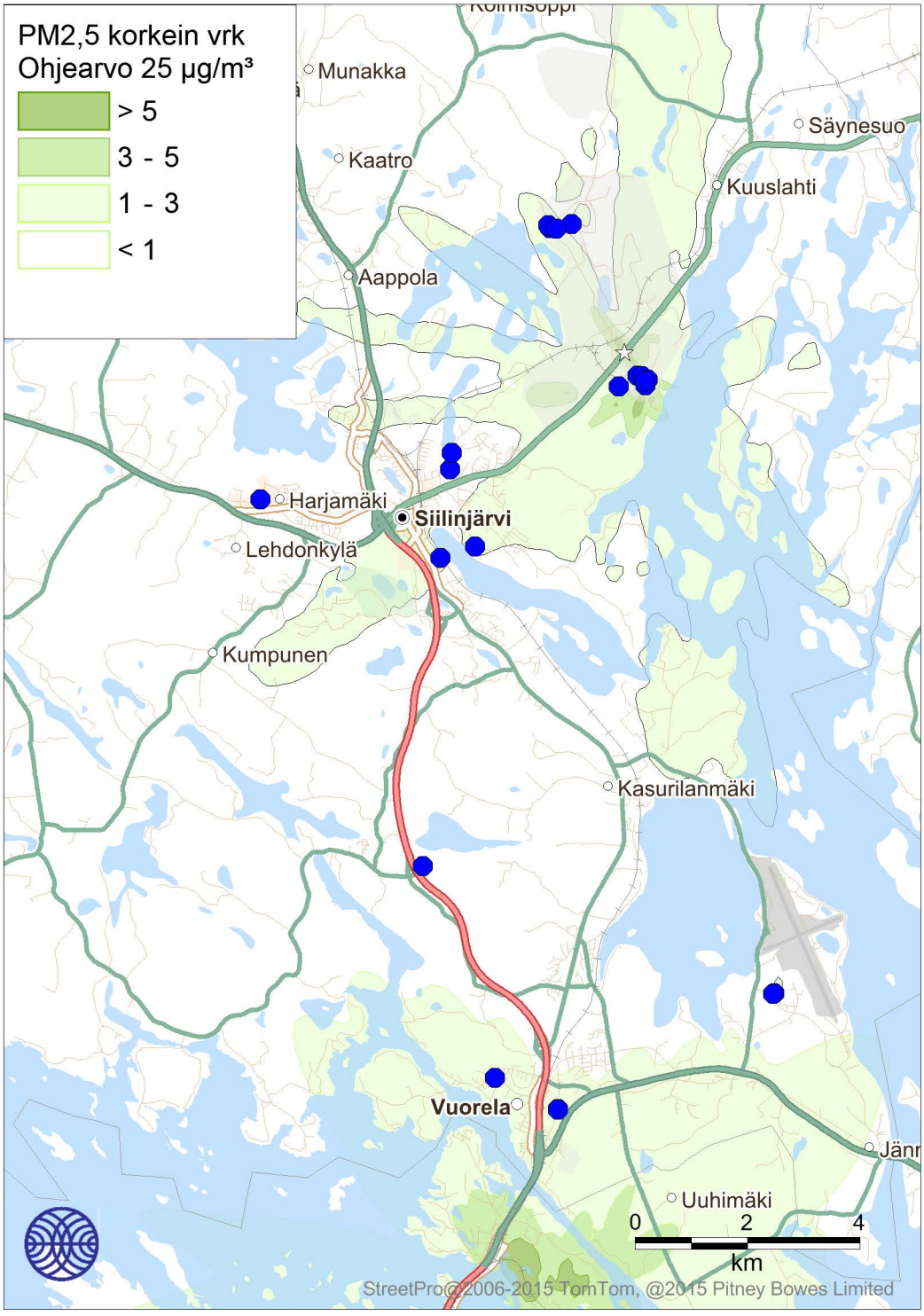



Ilmatieteen laitos 2019

☆ = maksimi = 0,84 µg/m³

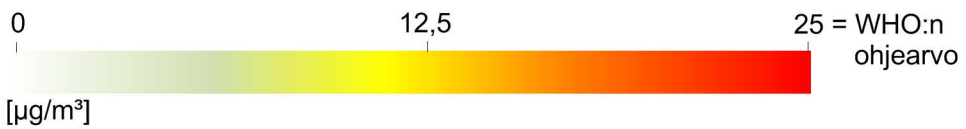
Kuva 87. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttama PM2,5 vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

# SIILINJÄRVI 2017



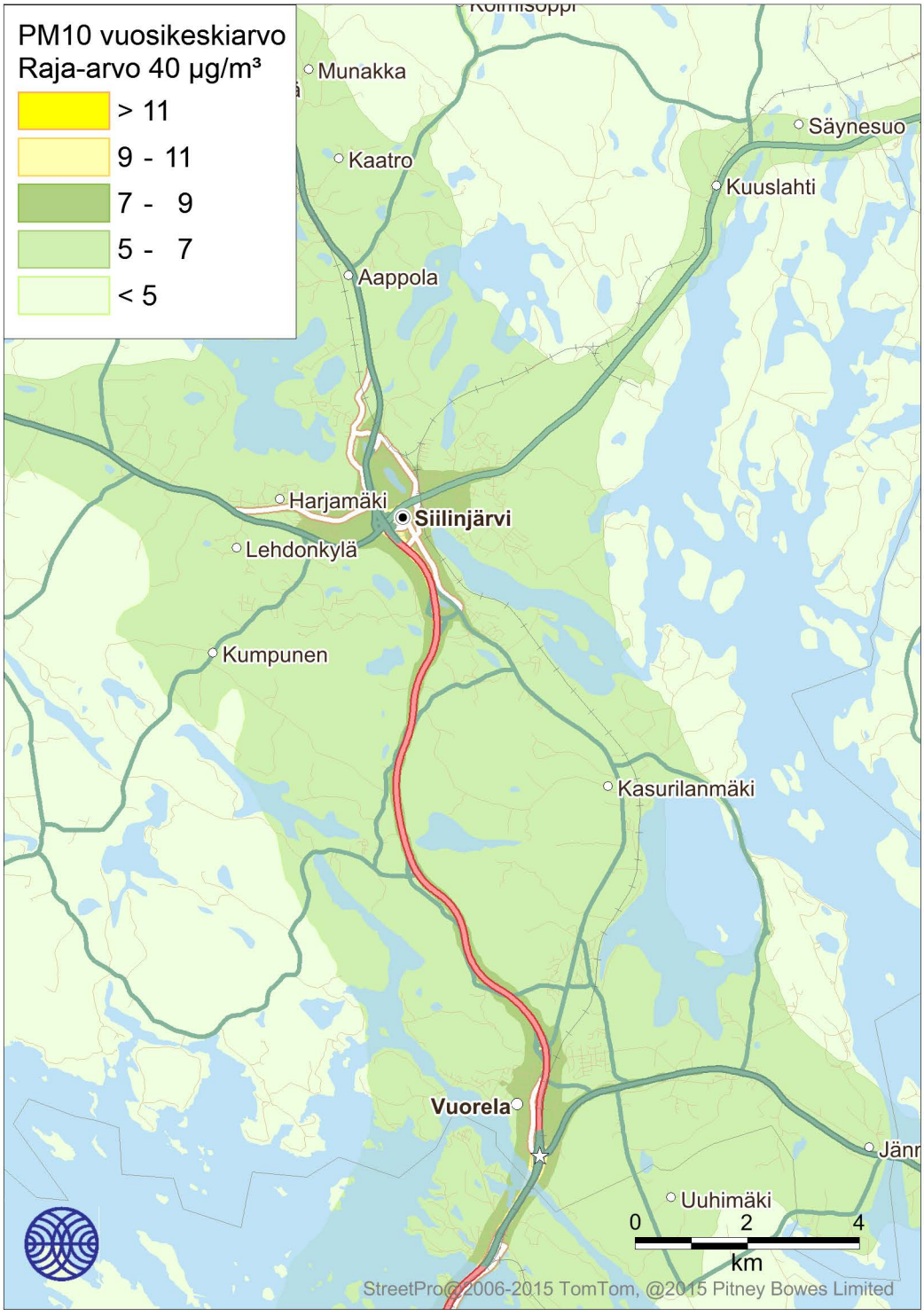

Ilmatieteen laitos 2019

☆ = maksimi = 7,0 µg/m³



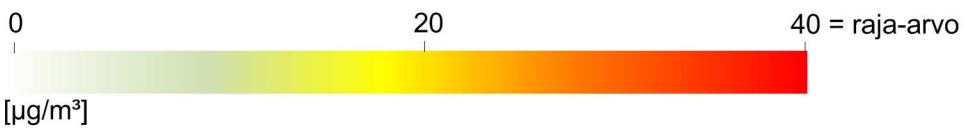

Kuva 88. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttama PM2,5 WHO:n vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

# SIILINJÄRVI 2017



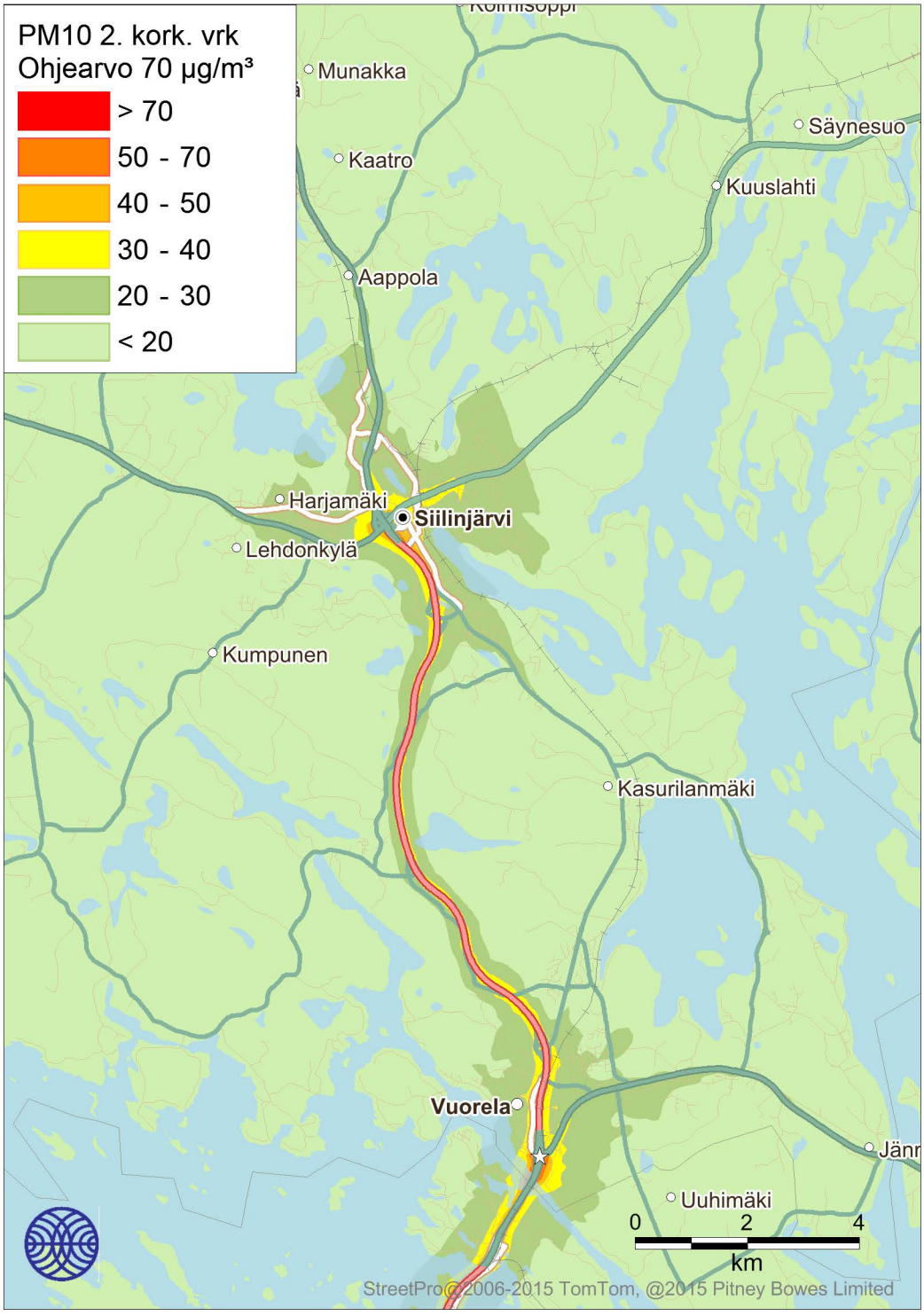

Ilmatieteen laitos 2019

☆ = maksimi = 19 µg/m³



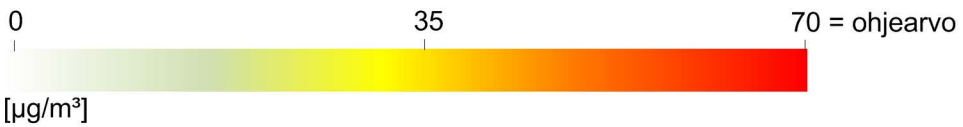

Kuva 89. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden yhdessä aiheuttama PM10 vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

# SIILINJÄRVI 2017



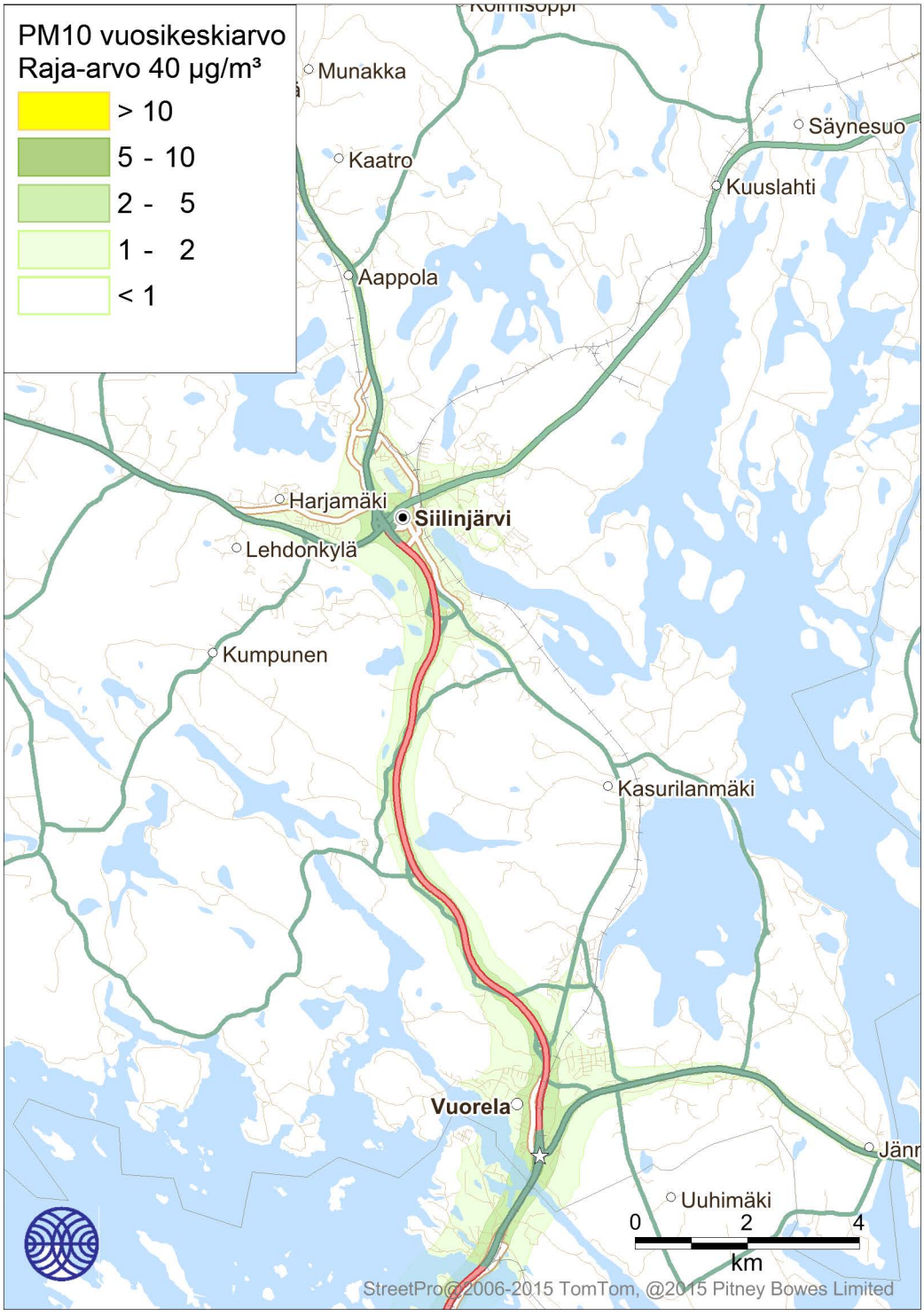

Ilmatieteen laitos 2019

☆ = maksimi = 117 µg/m³




Kuva 90. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden yhdessä aiheuttama PM10 vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

# SIILINJÄRVI 2017

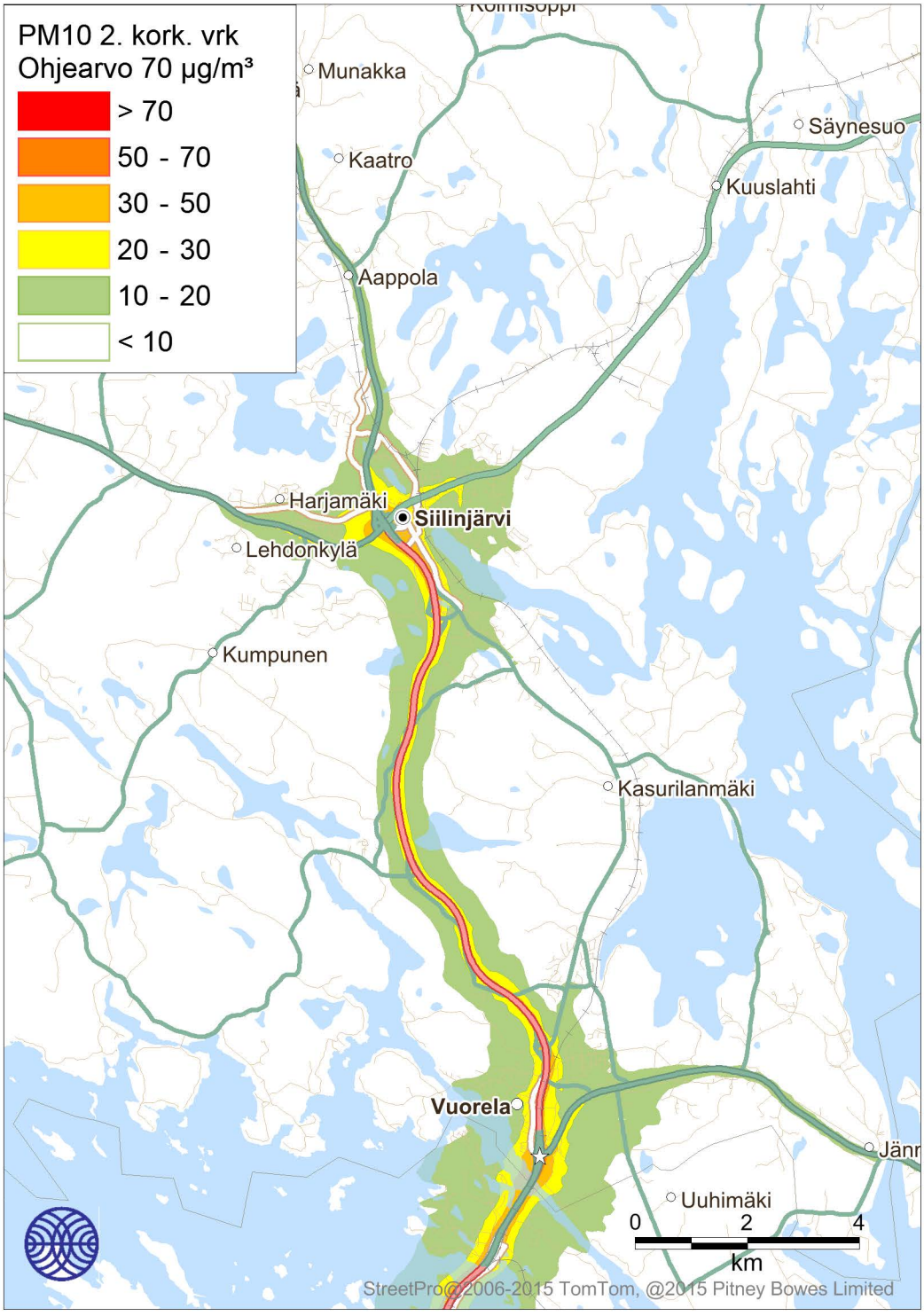



Ilmatieteen laitos 2019

☆ = maksimi = 14 µg/m³

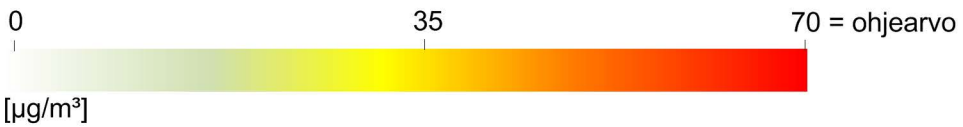
Kuva 91. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama PM10 vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

# SIILINJÄRVI 2017



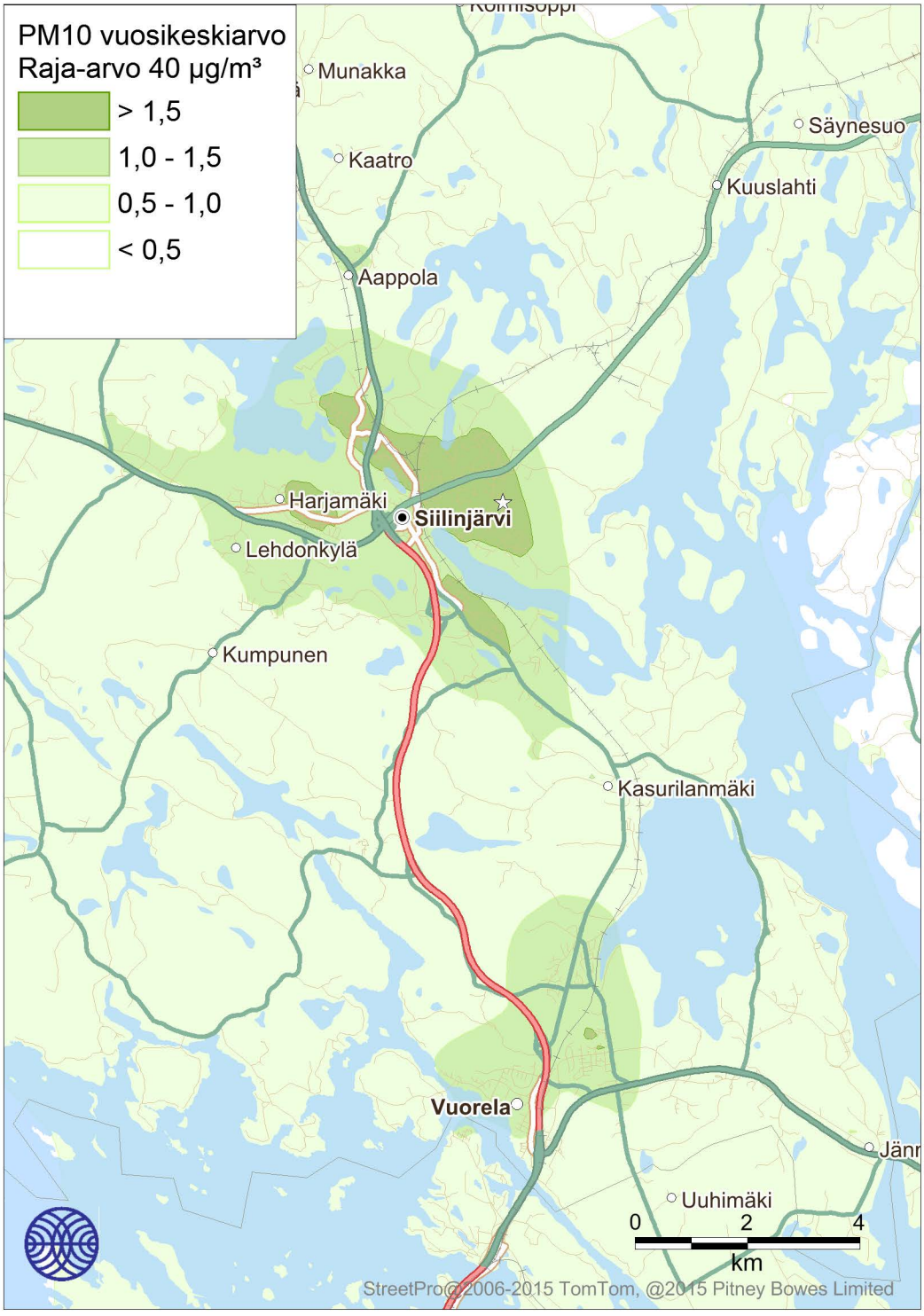

Ilmatieteen laitos 2019

☆ = maksimi = 111 µg/m³



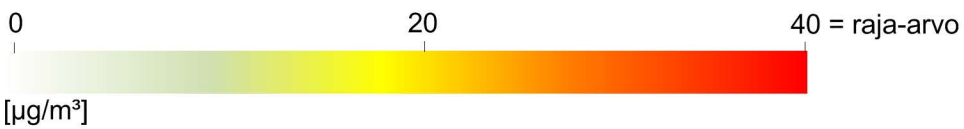

Kuva 92. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama PM10 vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

# SIILINJÄRVI 2017



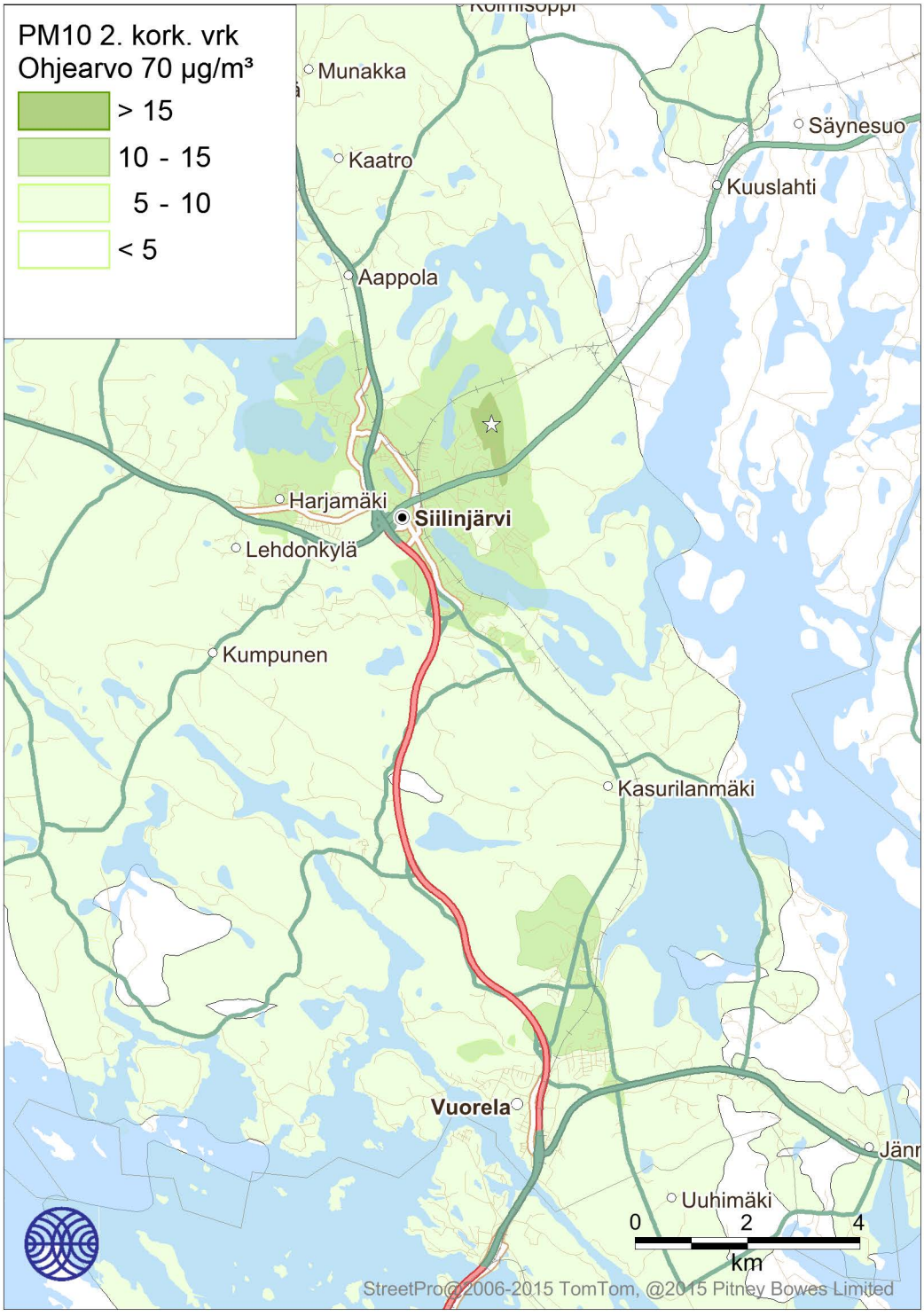

Ilmatieteen laitos 2019

☆ = maksimi = 1,9 µg/m³



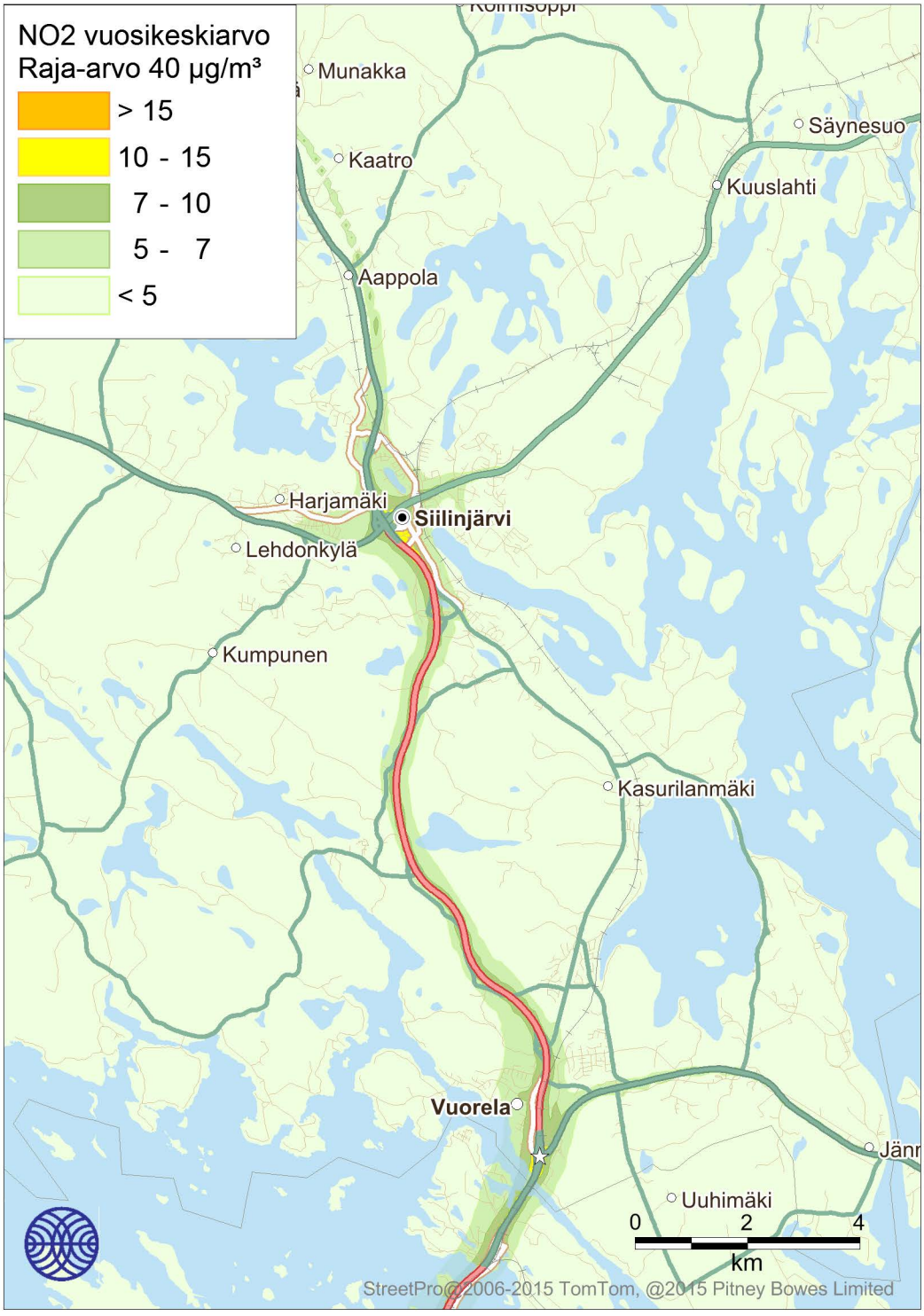

Kuva 93. Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttama PM10 vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

# SIILINJÄRVI 2017



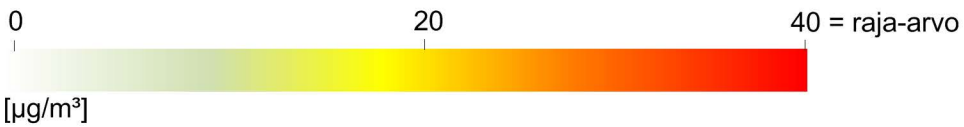

Kuva 94. Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttama PM10 vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

# SIILINJÄRVI 2035



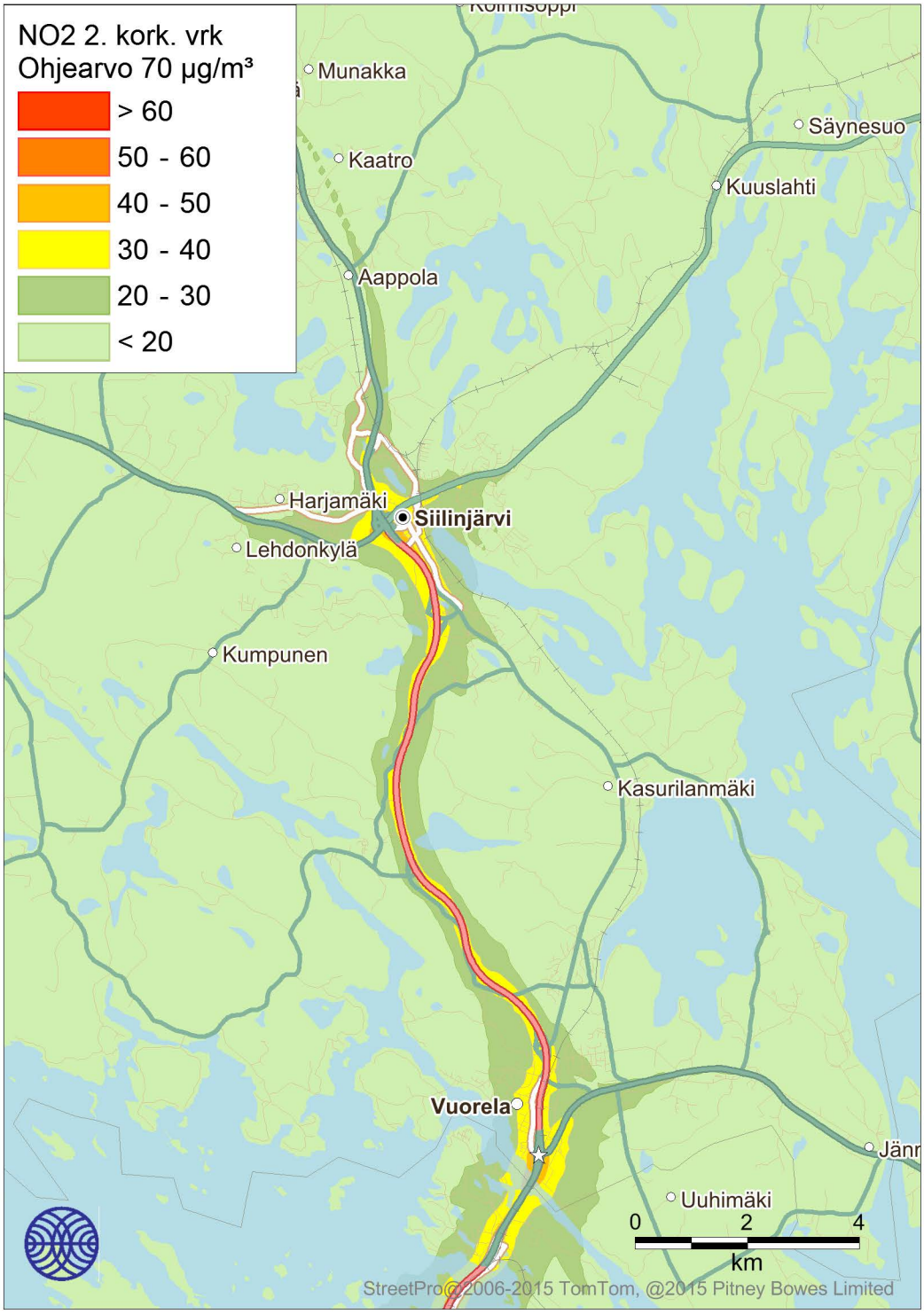

Ilmatieteen laitos 2019

☆ = maksimi = 25 µg/m³



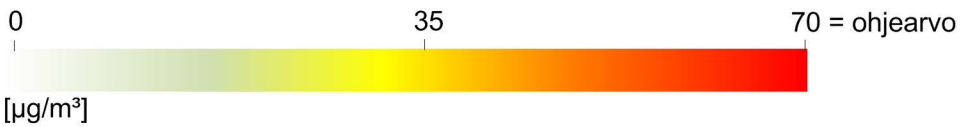

Kuva 95. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden yhdessä aiheuttama NO2 vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

# SIILINJÄRVI 2035



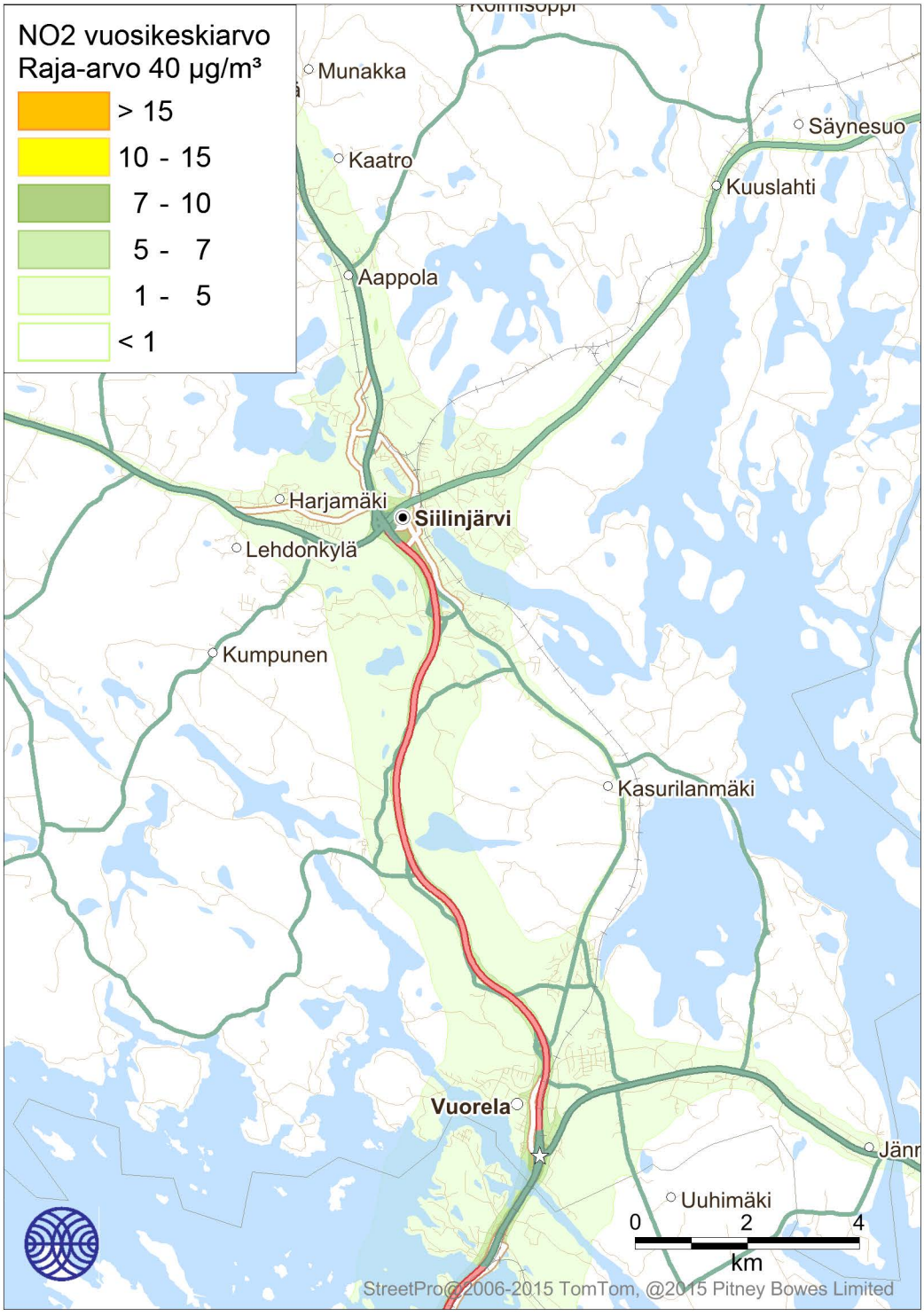

Ilmatieteen laitos 2019

☆ = maksimi = 59 µg/m³



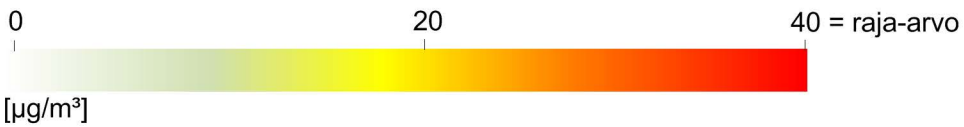

Kuva 96. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden yhdessä aiheuttama NO2 vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

# SIILINJÄRVI 2035



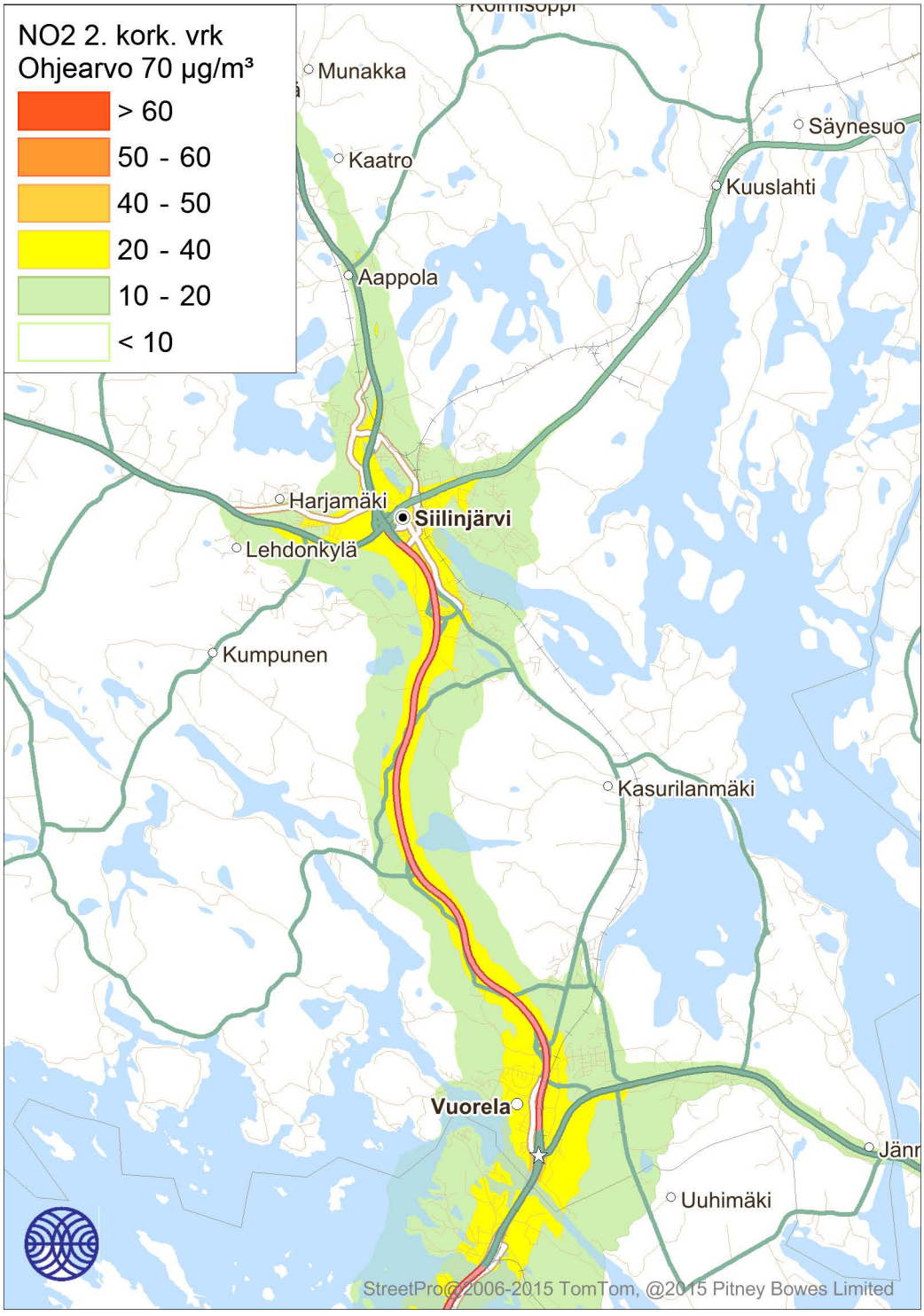

Ilmatieteen laitos 2019

☆ = maksimi = 23 µg/m³



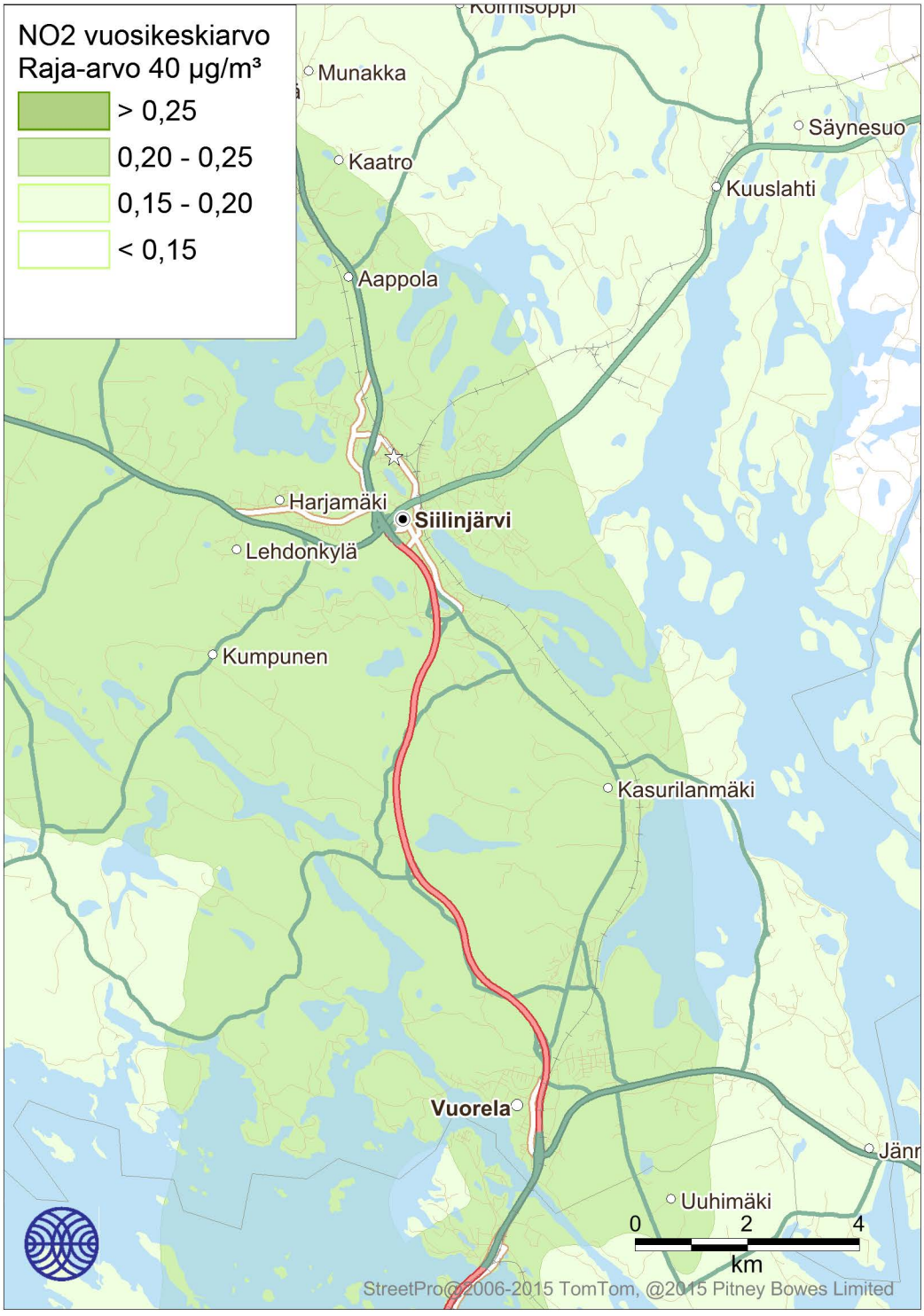

Kuva 97. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama NO2 vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

# SIILINJÄRVI 2035



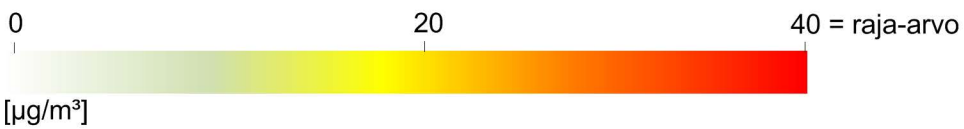

Kuva 98. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama NO2 vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

# SIILINJÄRVI 2035



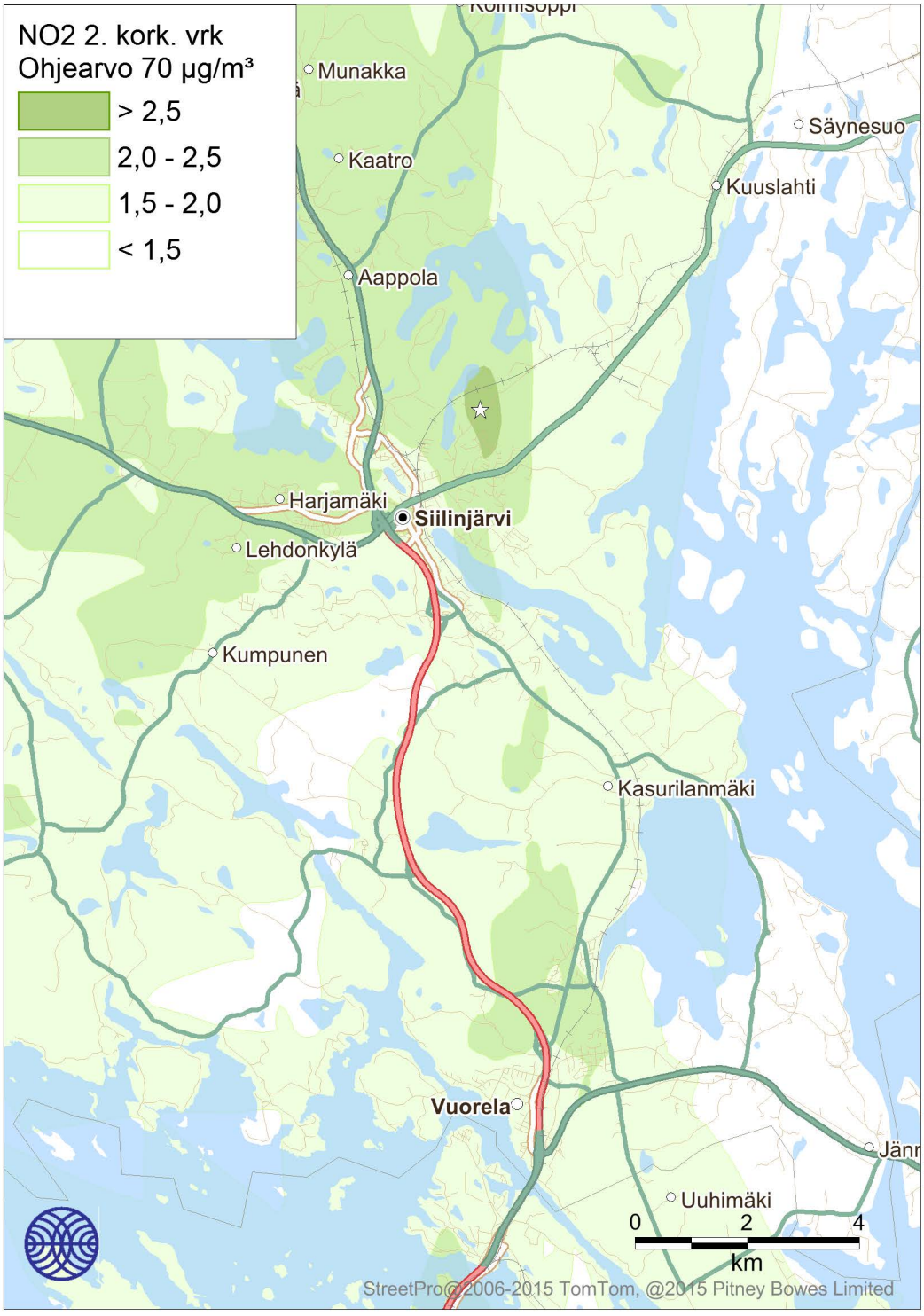

Ilmatieteen laitos 2019

☆ = maksimi = 0,27 µg/m³



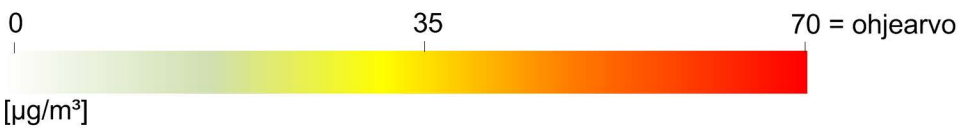

Kuva 99. Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttama NO2 vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

# SIILINJÄRVI 2035



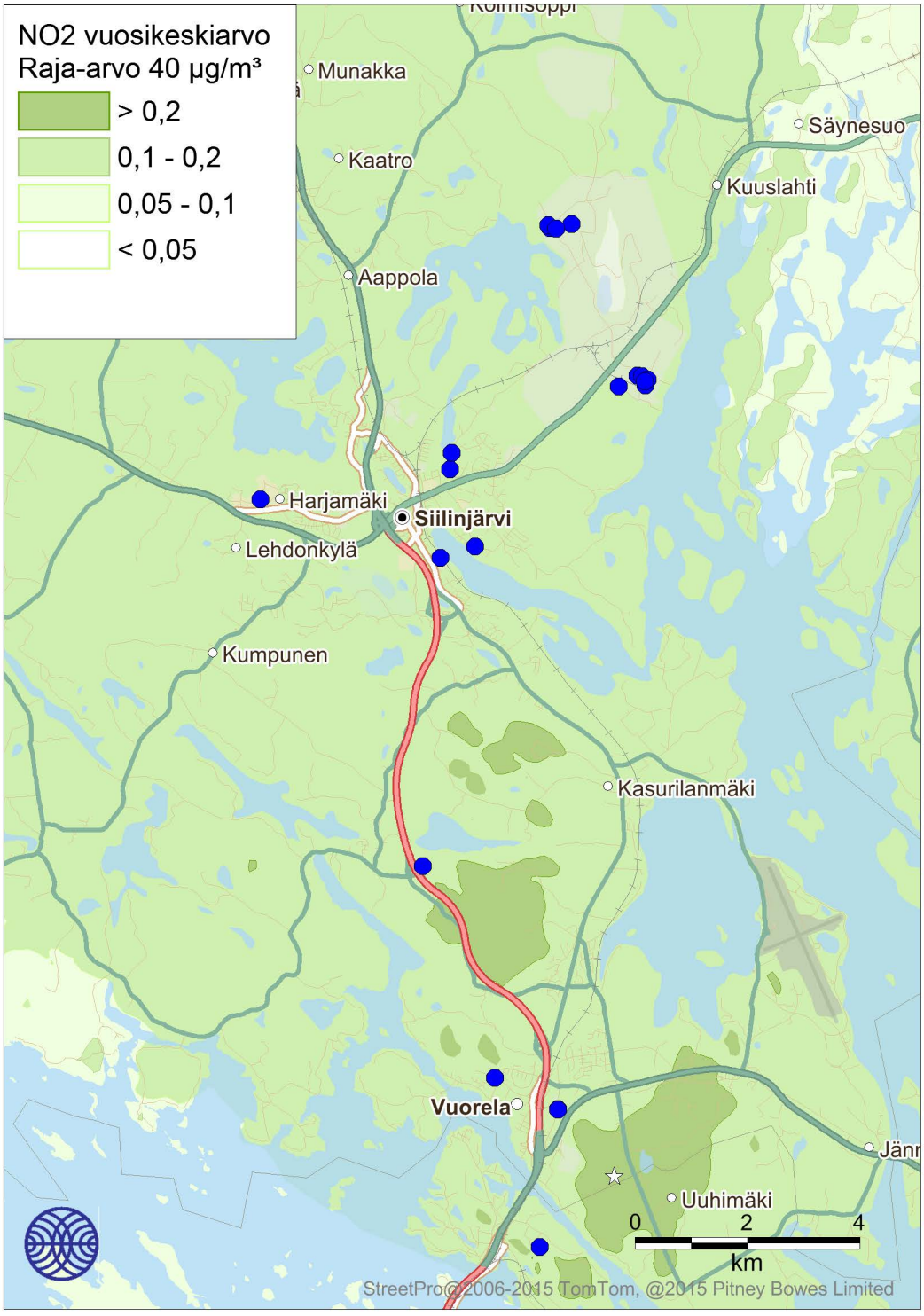

Ilmatieteen laitos 2019

☆ = maksimi = 2,7 µg/m³



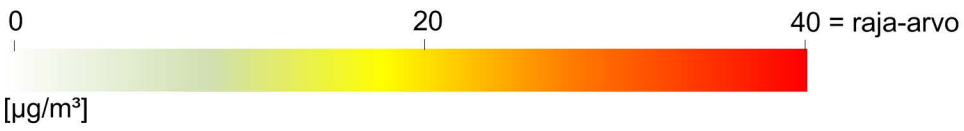

Kuva 100. Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttama NO2 vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

# SIILINJÄRVI 2035



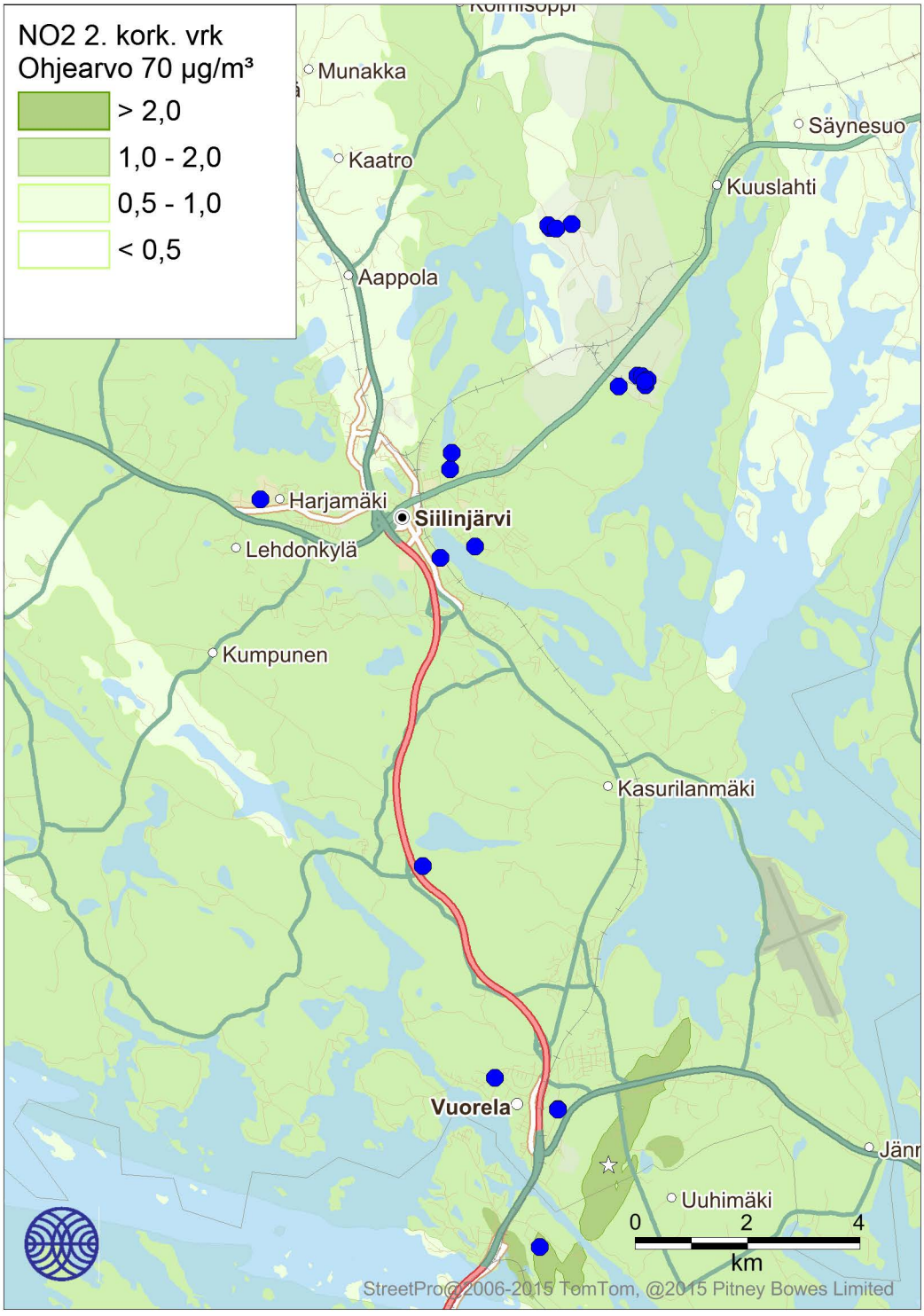

Ilmatieteen laitos 2019

☆ = maksimi = 0,30 µg/m³



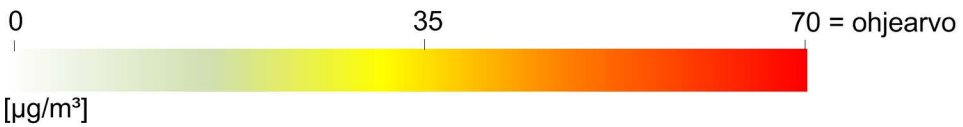

Kuva 101. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttama NO2 vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

# SIILINJÄRVI 2035




Ilmatieteen laitos 2019

☆ = maksimi = 3,3 µg/m³

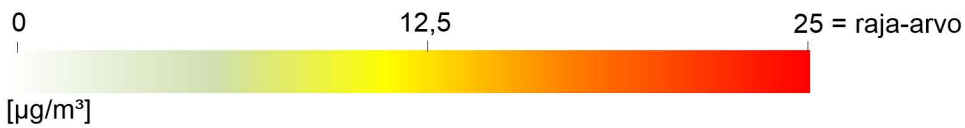



Kuva 102. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttama NO2 vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

# SIILINJÄRVI 2035

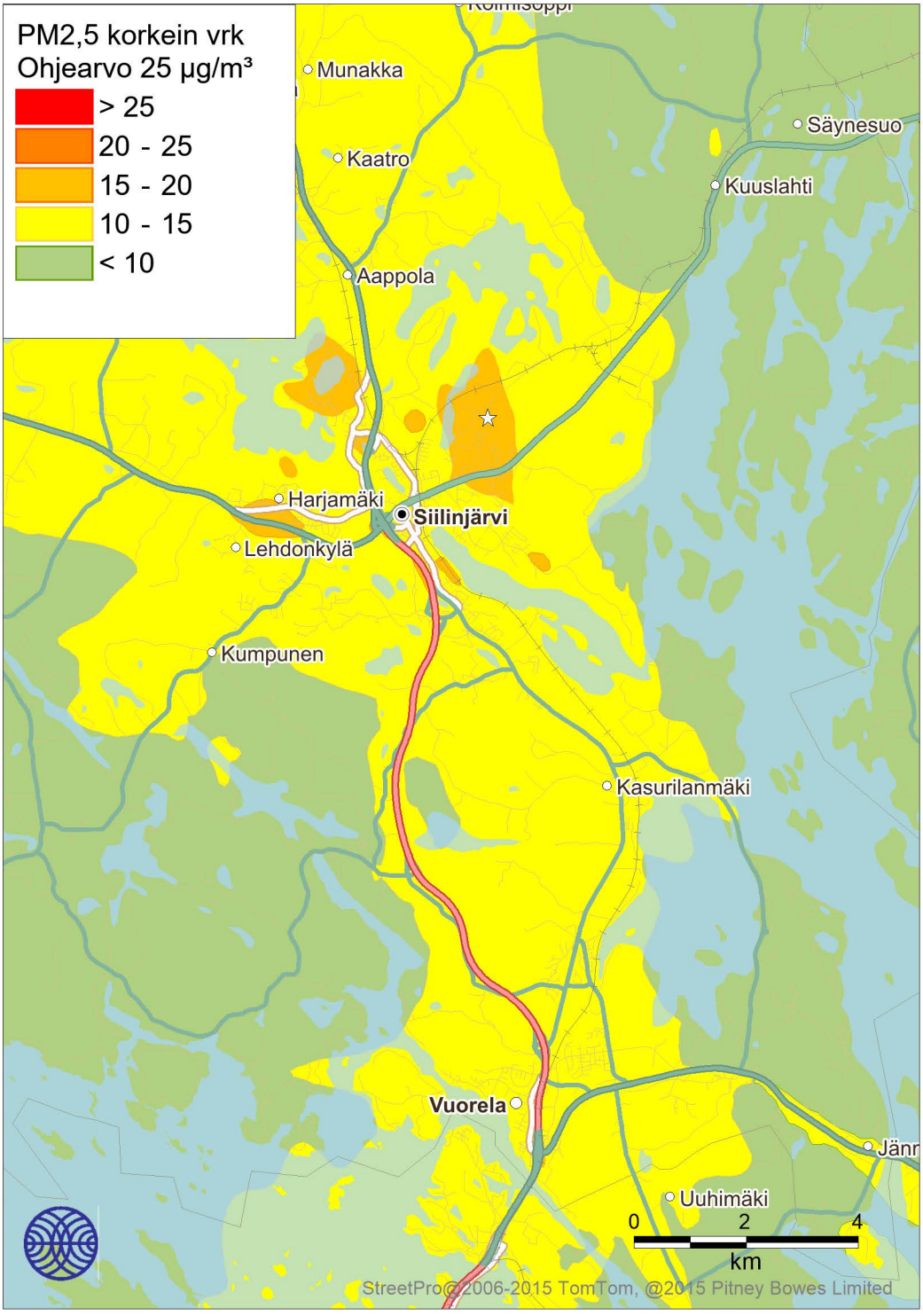
Ilmatieteen laitos 2019

☆ = maksimi = 6,7 µg/m³




Kuva 103. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden yhdessä aiheuttama PM2,5 vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

# SIILINJÄRVI 2035

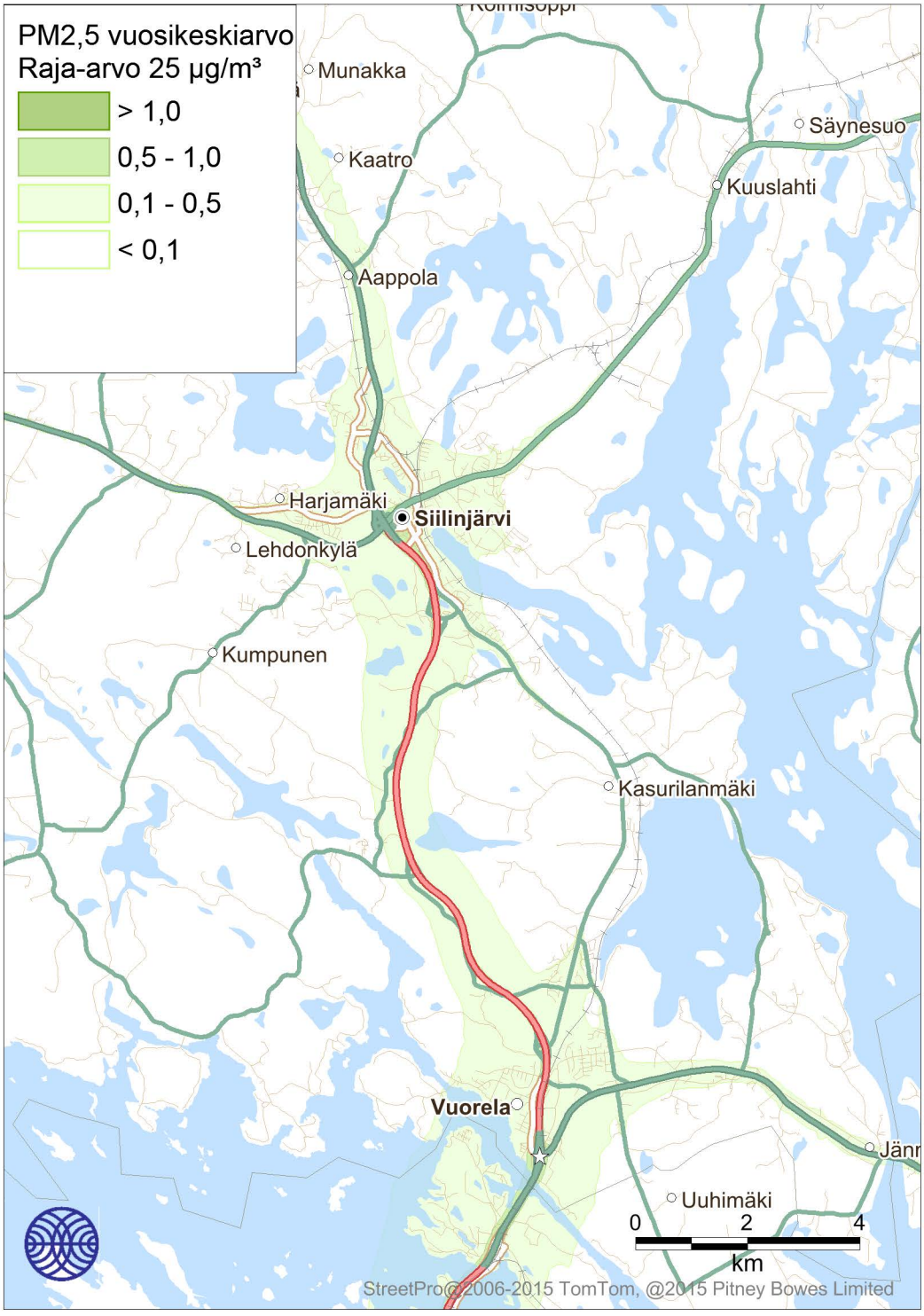



Ilmatieteen laitos 2019

☆ = maksimi = 18 µg/m³

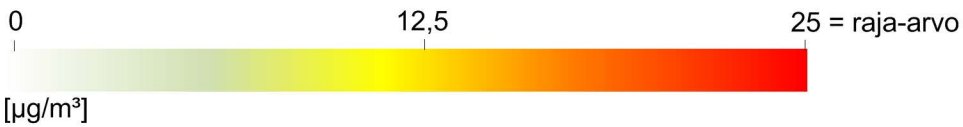
Kuva 104. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden yhdessä aiheuttama PM2,5 WHO:n vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

# SIILINJÄRVI 2035



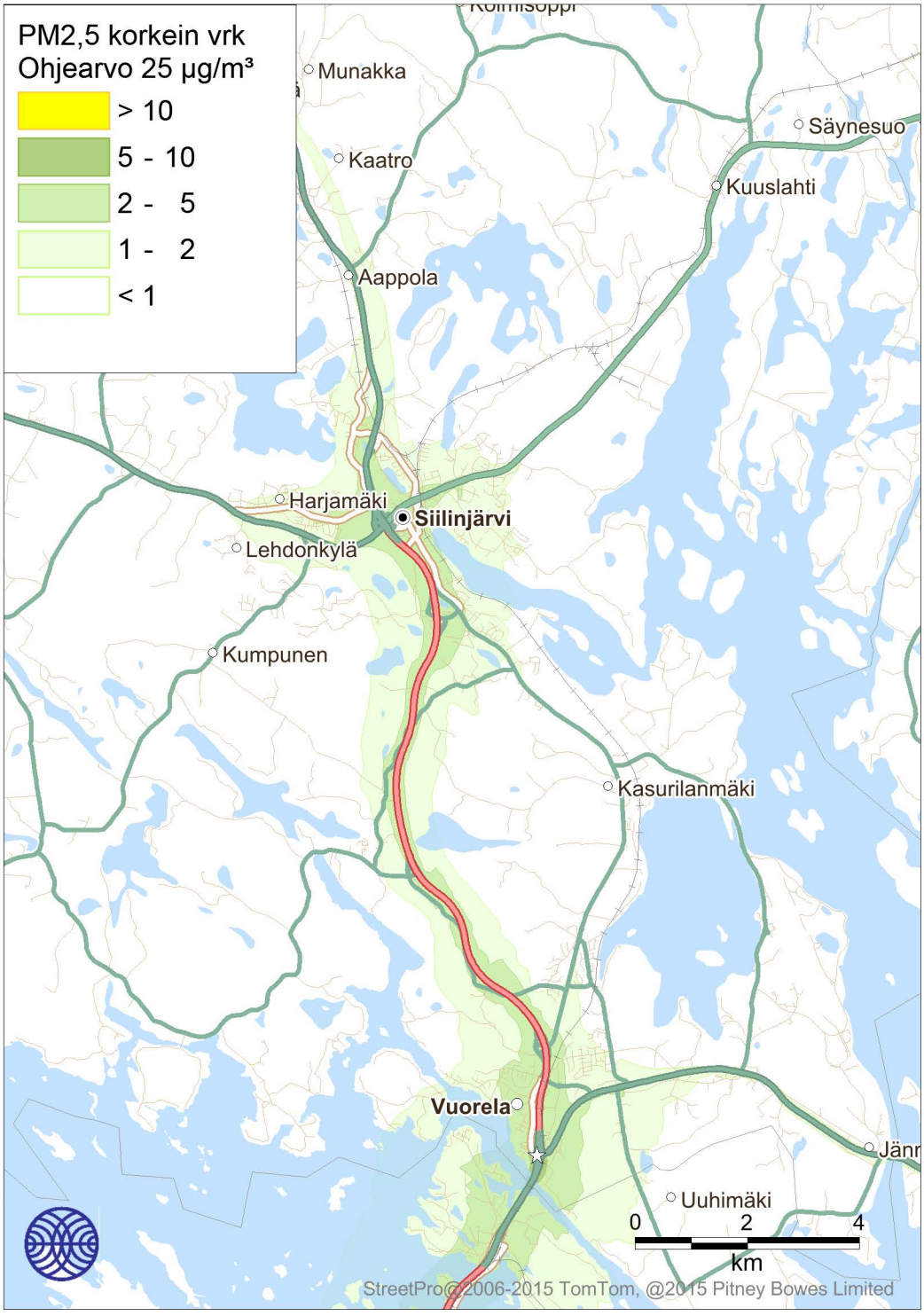

Ilmatieteen laitos 2019

☆ = maksimi = 2,0 µg/m³



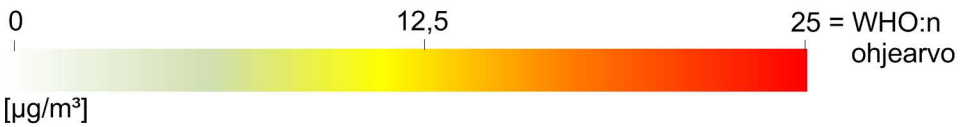

Kuva 105. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama PM2,5 vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

# SIILINJÄRVI 2035



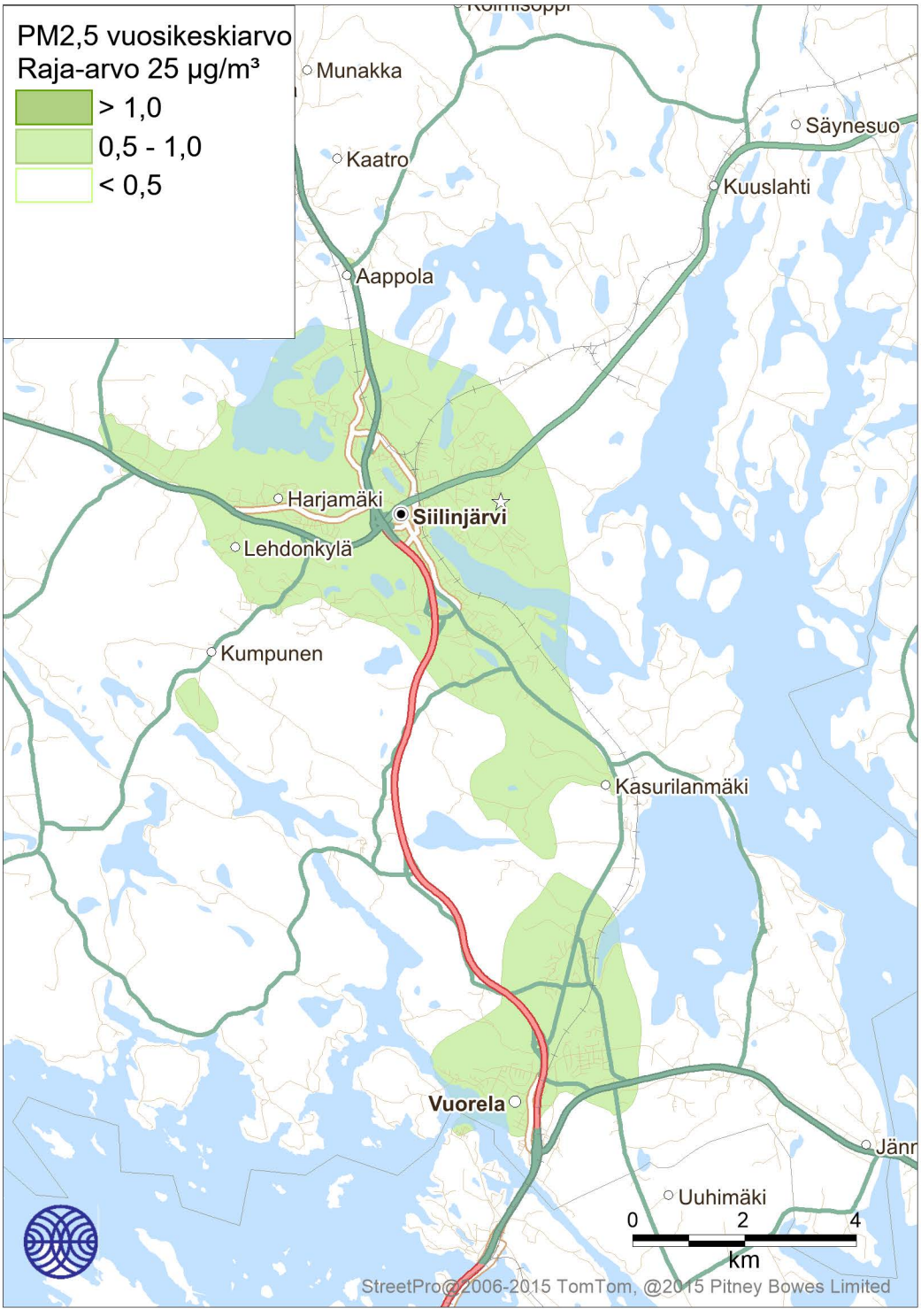

Ilmatieteen laitos 2019

☆ = maksimi = 8,6 µg/m³




Kuva 106. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama PM2,5 WHO:n vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

# SIILINJÄRVI 2035

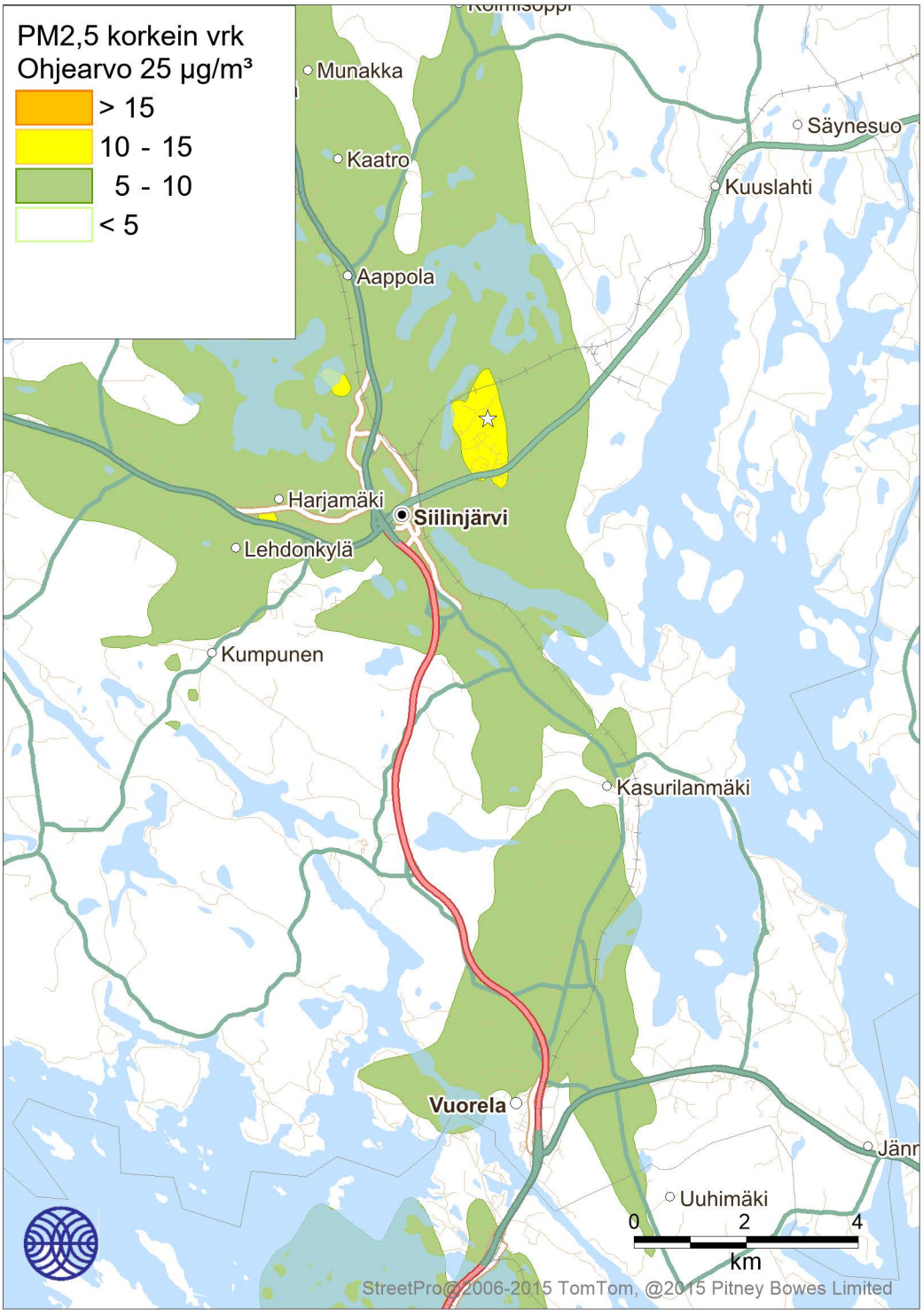



Ilmatieteen laitos 2019

☆ = maksimi = 0,96 µg/m³

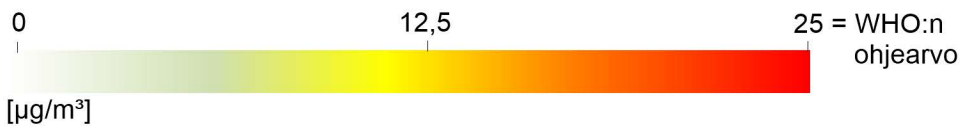
Kuva 107. Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttama PM2,5 vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

# SIILINJÄRVI 2035



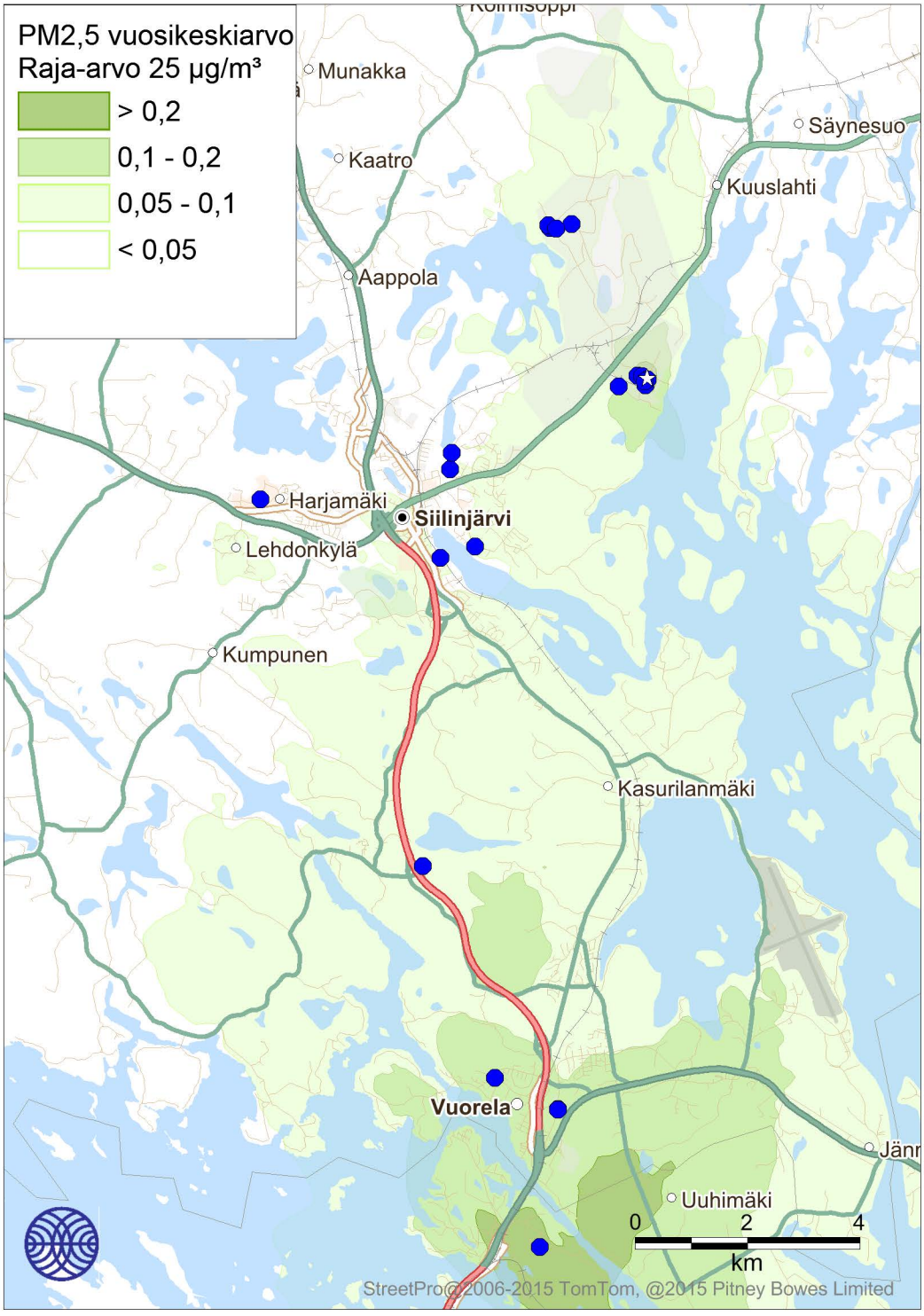

Ilmatieteen laitos 2019

☆ = maksimi = 12 µg/m³



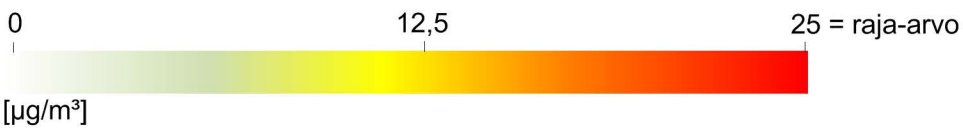

Kuva 108. Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttama PM2,5 WHO:n vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

# SIILINJÄRVI 2035



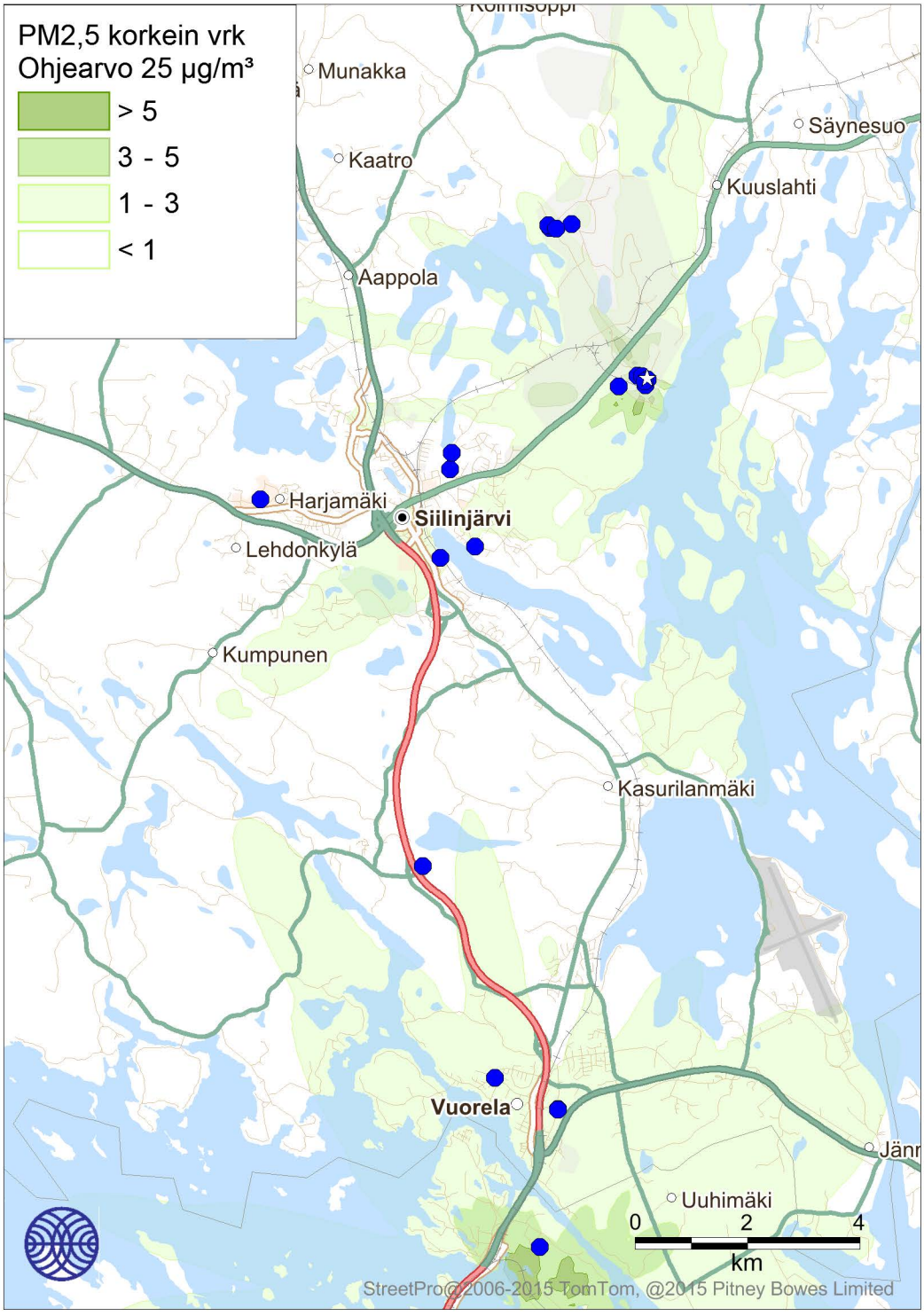

Ilmatieteen laitos 2019

☆ = maksimi = 0,84 µg/m³



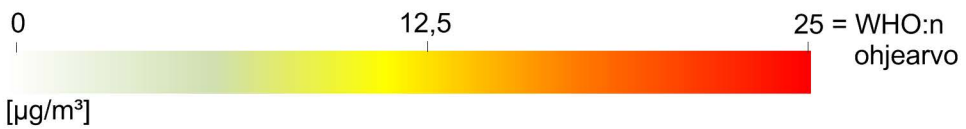

Kuva 109. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttama PM2,5 vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

# SIILINJÄRVI 2035



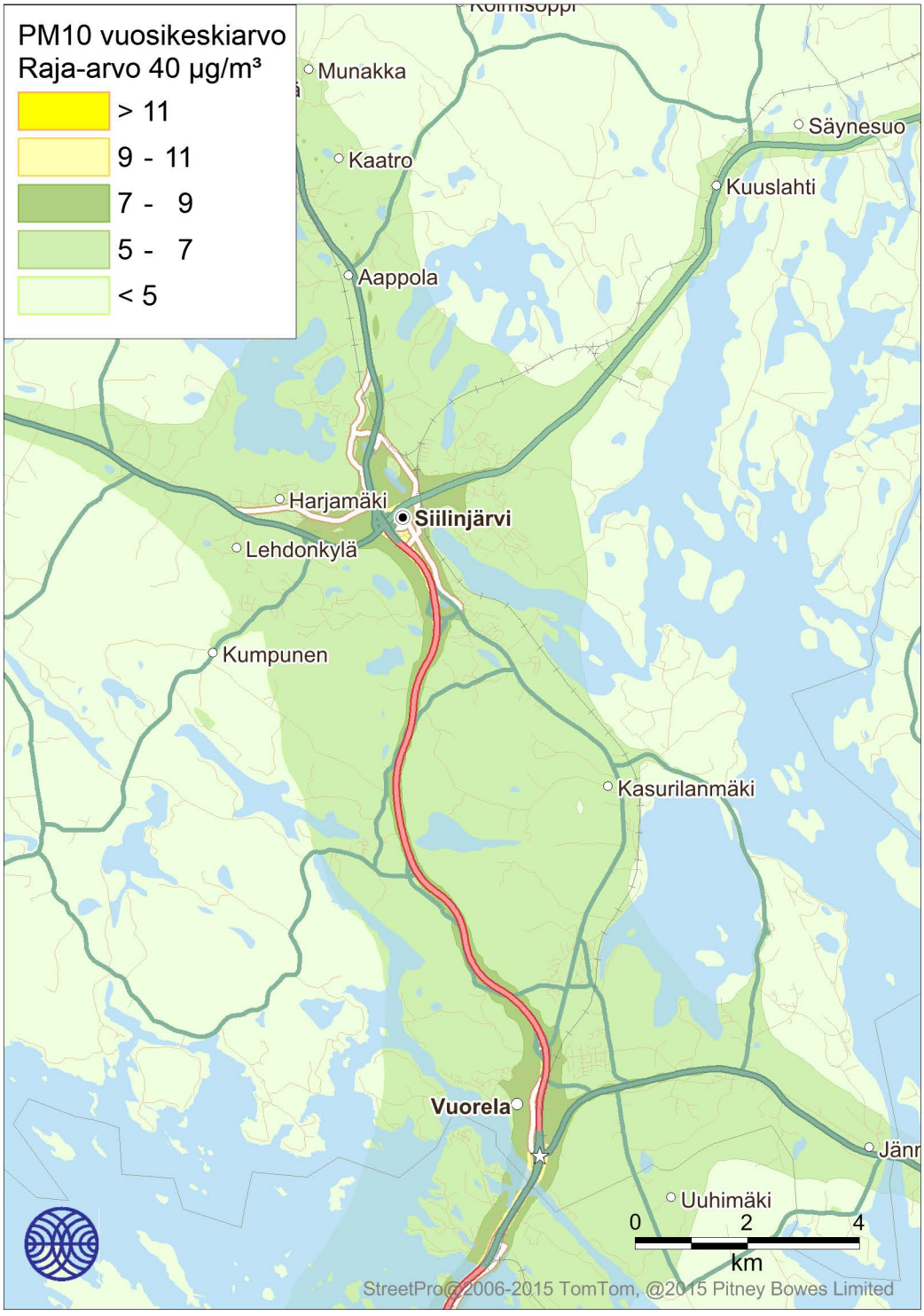

Ilmatieteen laitos 2019

☆ = maksimi = 7,1 µg/m³



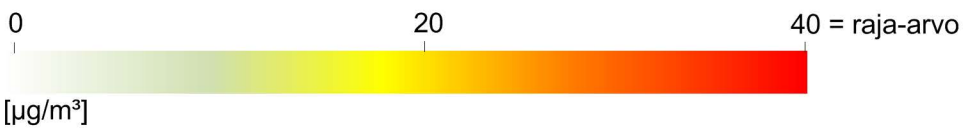

Kuva 110. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttama PM2,5 WHO:n vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

# SIILINJÄRVI 2035



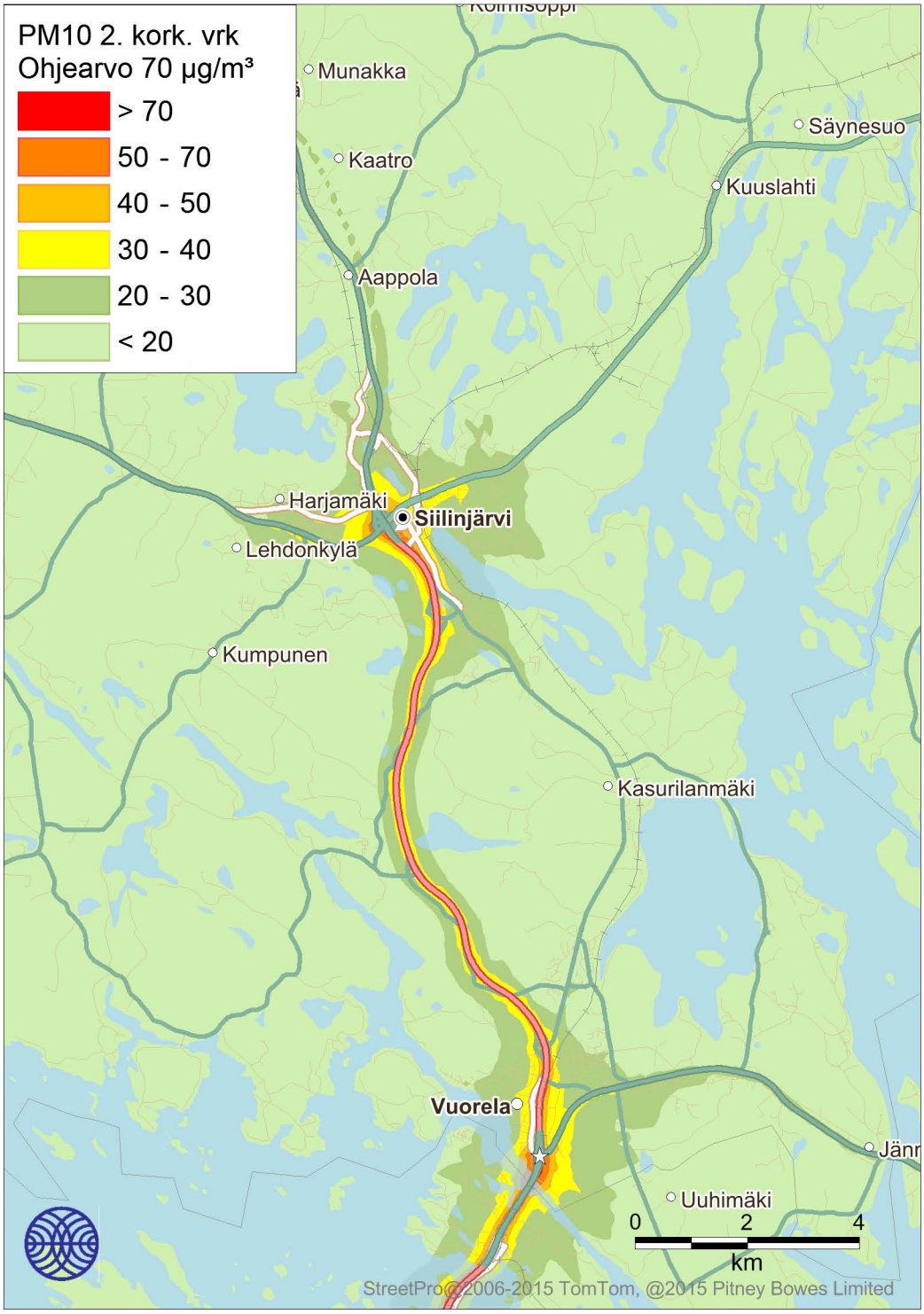

Ilmatieteen laitos 2019

☆ = maksimi = 21 µg/m³



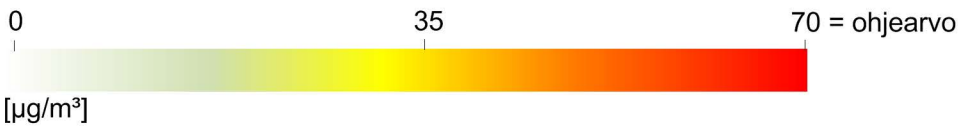

Kuva 111. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden yhdessä aiheuttama PM10 vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

# SIILINJÄRVI 2035



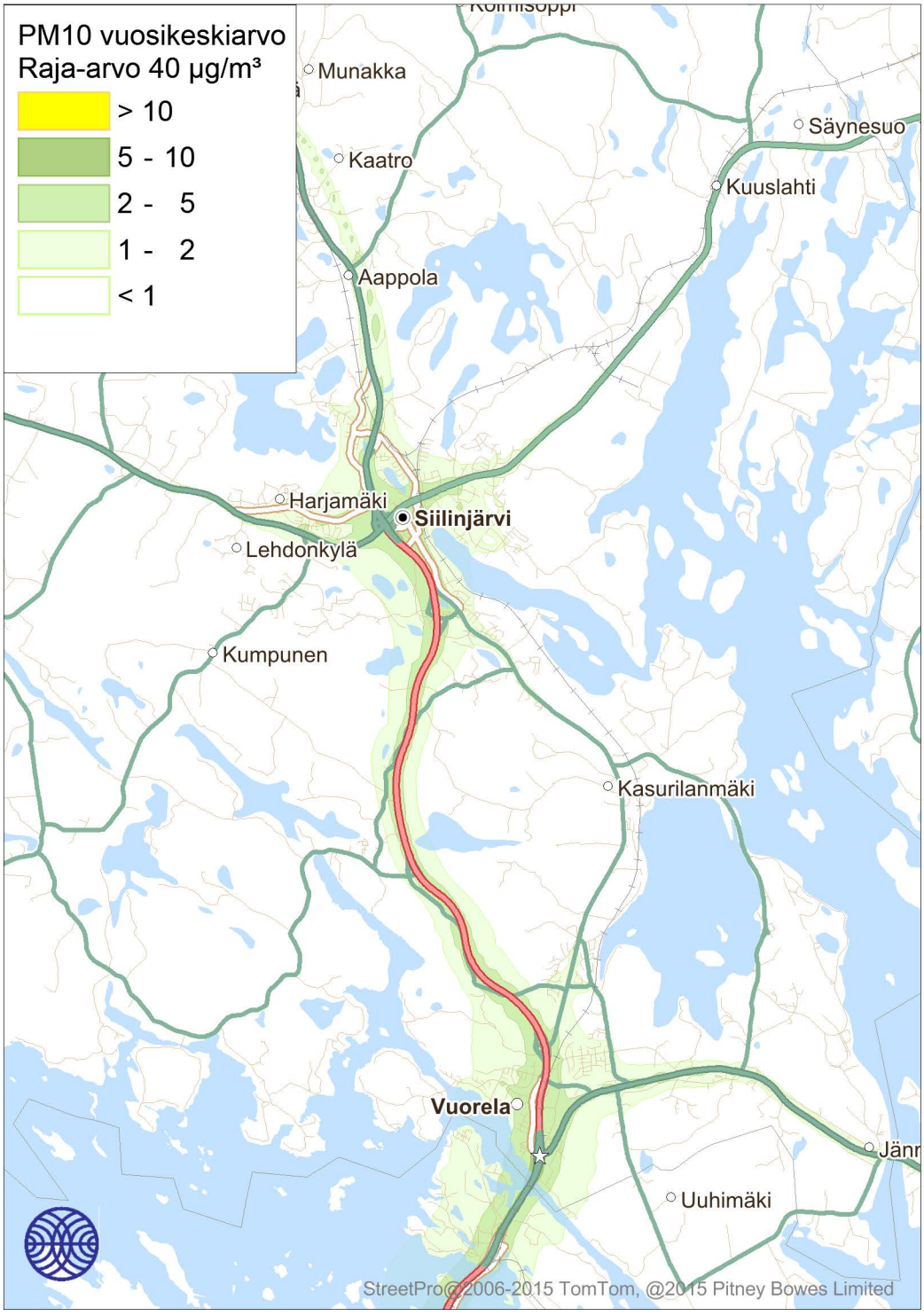

Ilmatieteen laitos 2019

☆ = maksimi = 133 µg/m³



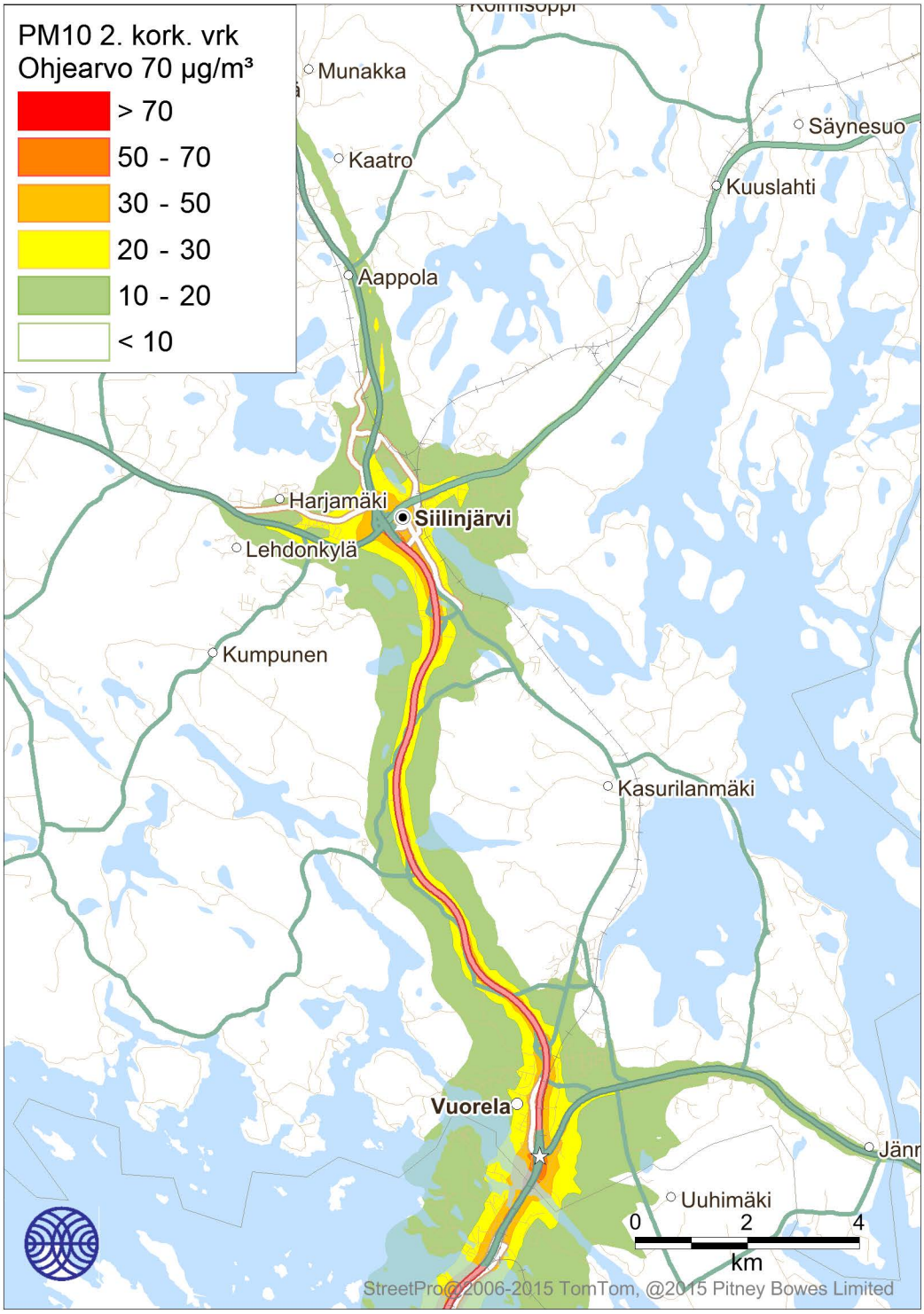

Kuva 112. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden yhdessä aiheuttama PM10 vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

# SIILINJÄRVI 2035



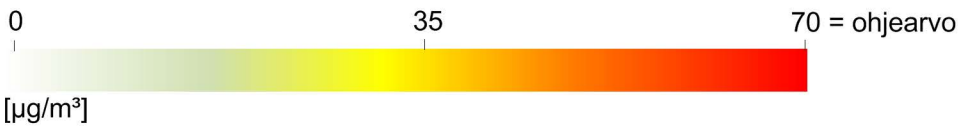

Kuva 113. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama PM10 vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

# SIILINJÄRVI 2035



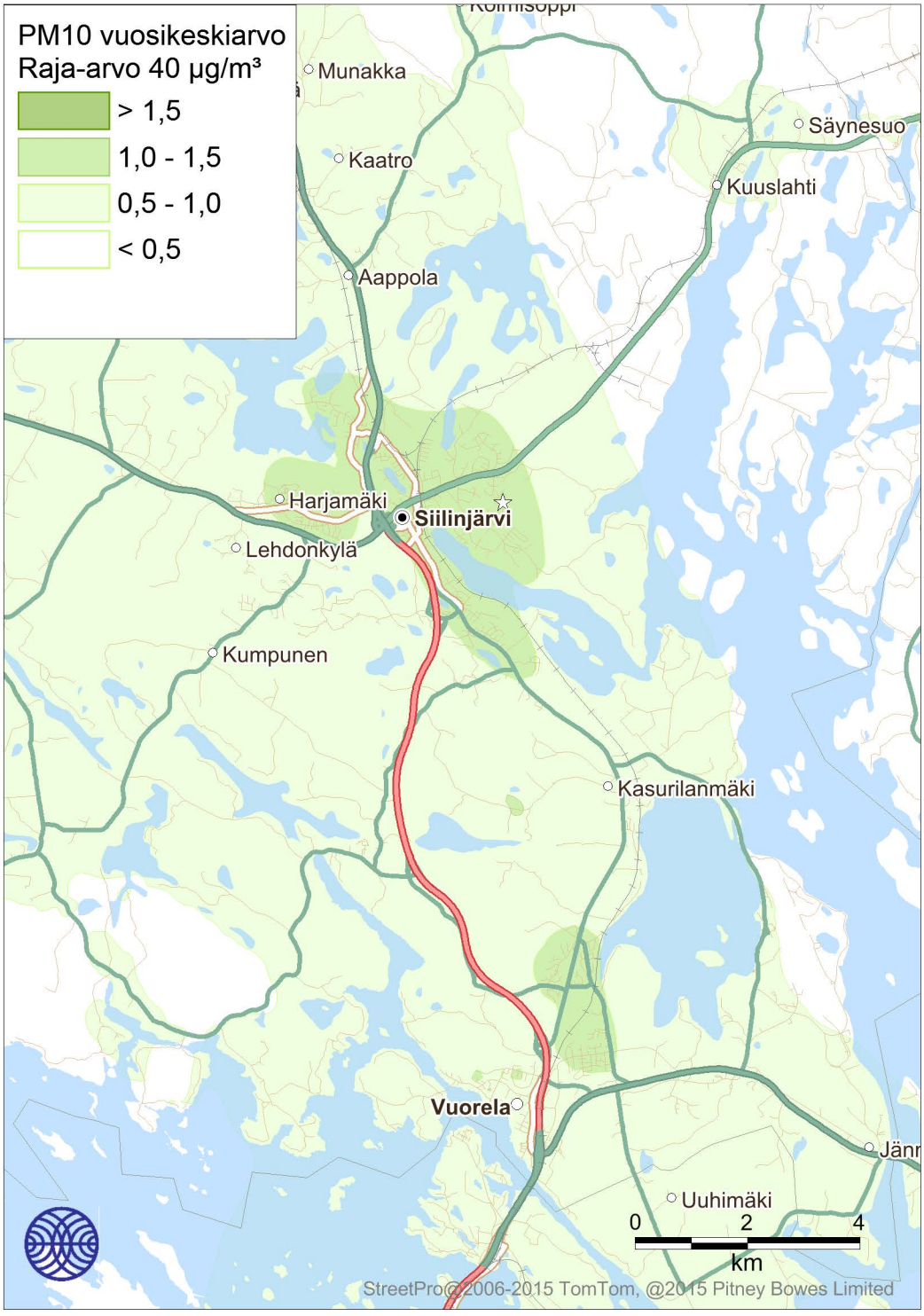

Ilmatieteen laitos 2019

☆ = maksimi = 128 µg/m³



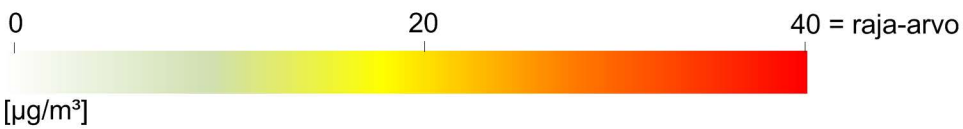

Kuva 114. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama PM10 vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

# SIILINJÄRVI 2035



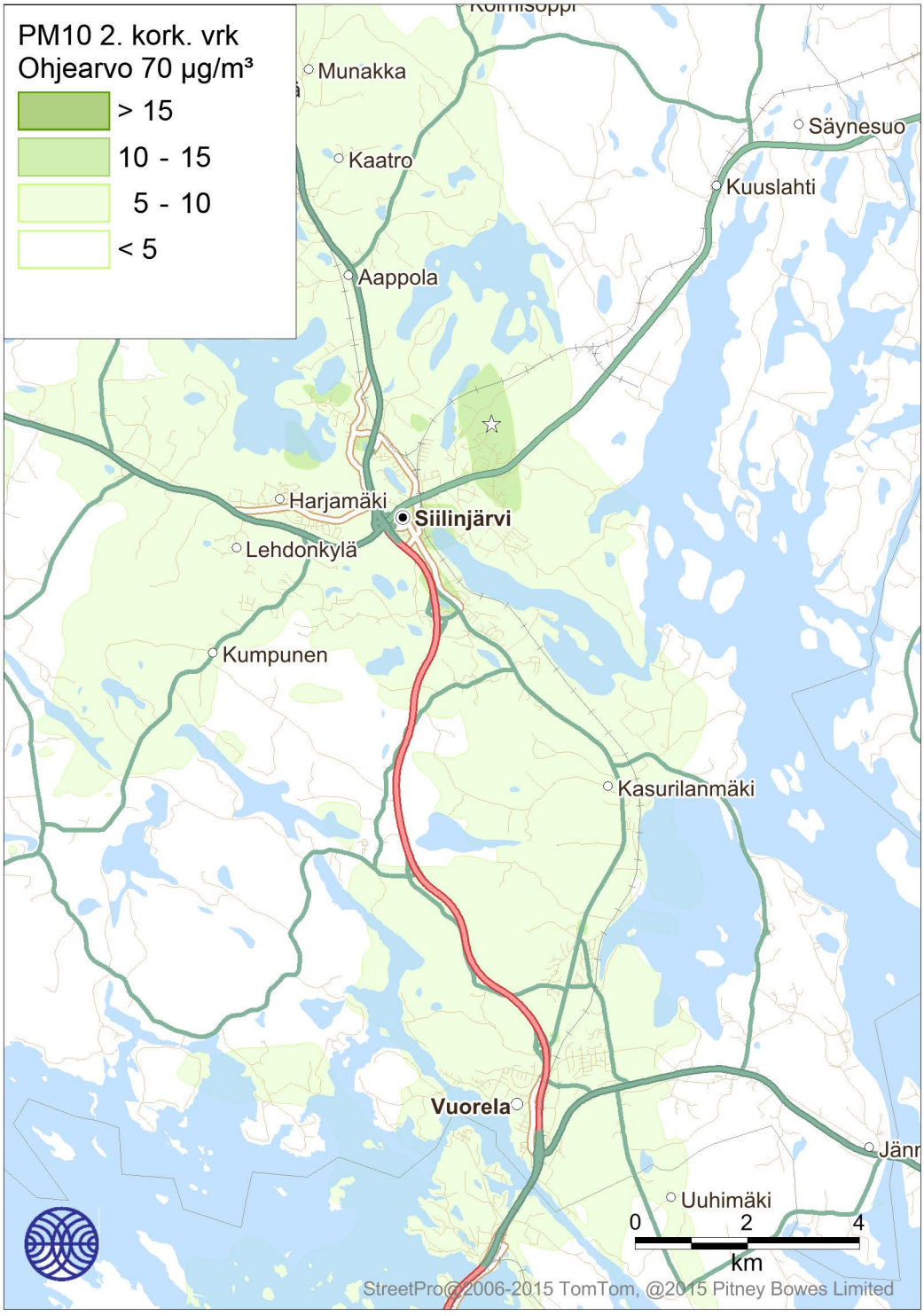

Ilmatieteen laitos 2019

☆ = maksimi = 1,5 µg/m³




Kuva 115. Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttama PM10 vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

# SIILINJÄRVI 2035




Kuva 116. Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttama PM10 vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

ILMATIETEEN LAITOS

**ILMATIETEEN LAITOS**
puh. 029 539 1000

Ilmanlaatu ja Energia
ilmanlaatupalvelut@fmi.fi
www.ilmatieteenlaitos.fi/ilmanlaatupalvelut

**WWW.ILMATIETEENLAITOS.FI**