



PORIN ILMANLAATUSELVITYS

**Autoliikenteen, energiantuotannon, teollisuuden,
laivaliikenteen, satamatoiminnan ja kiinteistökohtaisen
lämmityksen päästöjen leviämismallilaskelmat**



PORIN ILMANLAATUSELVITYS

**Autoliikenteen, energiantuotannon, teollisuuden,
laivaliikenteen, satamatoiminnan ja kiinteistökohtaisen lämmityksen
päästöjen leviämismallilaskelmat**

Birgitta Komppula

Jenni Latikka

Salla Sillanpää

Timo Rasila

Jatta Salmi

Katja Lovén

Ilmatieteen laitos

Asiantuntijapalvelut – Ilmanlaatu ja energia

Helsinki 17.3.2022

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ	5
OSA I	9
1 JOHDANTO	9
2 LEVIÄMISMALLILASKELMIEN TULOKSET	10
2.1 Typpidioksidi- (NO ₂) ja typenoksidipitoisuudet (NO _x)	11
2.1.1 Kaikki päästölähteet	11
2.1.2 Autoliikenne	15
2.1.3 Energiantuotanto ja teollisuus	16
2.1.4 Laivaliikenne ja satamatoiminta	17
2.1.5 Kiinteistökohtainen lämmitys	19
2.2 Pienhiukkaspitoisuudet (PM _{2,5})	20
2.2.1 Kaikki päästölähteet	20
2.2.2 Autoliikenne	23
2.2.3 Energiantuotanto ja teollisuus	24
2.2.4 Laivaliikenne ja satamatoiminta	26
2.2.5 Kiinteistökohtainen lämmitys	27
2.3 Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet (PM ₁₀)	28
2.3.1 Kaikki päästölähteet	29
2.3.2 Autoliikenne	31
2.3.3 Kiinteistökohtainen lämmitys	33
2.4 Rikkidioksidipitoisuudet (SO ₂)	34
2.4.1 Kaikki päästölähteet	34
2.4.2 Energiantuotanto ja teollisuus	36
2.4.3 Laivaliikenne ja satamatoiminta	37
2.4.4 Kiinteistökohtainen lämmitys	39
2.5 Bentso(a)pyreenipitoisuudet	40
2.6 Arseenin ja raskasmetallien pitoisuudet	41
2.7 Mallilaskelmien tulosten arviointi	44
2.7.1 Mallinnettujen pitoisuuksien vertailu ilmanlaadun mittaustuloksiin	44
2.7.2 Eri päästölähteiden vaikutus ilmanlaatuun	51
2.7.3 Asukkaiden altistuminen ilman epäpuhtauksille	55
3 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET	58
OSA II	61
4 TAUSTATIETOA ILMANLAADUSTA	61
4.1 Ilmanlaatuun vaikuttavat tekijät	61
4.2 Typpidioksidi	61
4.3 Rikkidioksidi	62
4.4 Hiukkaset	62
4.5 Bentso(a)pyreeni	64
4.6 Arseeni ja raskasmetallit	65

4.7	Ilman epäpuhtauksien terveysvaikutukset	66
4.8	Ulkoilmanlaadun vertailuarvot.....	67
5	LEVIÄMISMALLILASKELMIEN LÄHTÖTIEDOT	70
5.1	Mallilaskelmissa huomioidut päästöt	70
5.1.1	Porin kokonaispäästöt	70
5.1.2	Autoliikenteen päästöt	72
5.1.3	Energiantuotannon ja teollisuuden päästöt	76
5.1.4	Laivaliikenteen ja satamatoiminnan päästöt.....	79
5.1.5	Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöt.....	81
5.2	Meteorologiset tiedot.....	86
5.3	Taustapitoisuudet.....	87
5.4	Laskentapisteikkö	87
6	LEVIÄMISMALLILASKELMISSA KÄYTETYT MENETELMÄT	88
6.1	Pitoisuuslaskenta päästöjen leviämismalleilla	88
6.2	Piste- ja pintapäästölähteiden leviämismalli (UDM-FMI)	89
6.3	Liikenteen päästöjen leviämismalli (CAR-FMI).....	90
6.4	Liikenteen suspensiopäästömalli katupölyn mallintamiseen (FORE).....	90
6.5	Laivaliikenteen päästömalli (STEAM).....	91
6.6	Typenoksidipäästöjen ilmakemiamalli	92
6.7	Meteorologisten tietojen käsittelymalli (MPP-FMI)	92
	VIITELUETTELO	94
	LIITTEET	97
	Liitetaulukko energiantuotannon ja teollisuuden raskasmetallipäästöistä	97
	Liitekuvaluettelo.....	99
	Liitekuvat	101

TIIVISTELMÄ

Ilmanlaatuselvityksessä arvioitiin Porin seudun autoliikenteen, energiantuotannon, teollisuuden, laivaliikenteen, satamatoiminnan ja kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen ilmanlaatuvaikutuksia. Leviämismallilaskelmien avulla tarkasteltiin ulkoilman typpidioksidin, typen oksidien, pienhiukkasten, hengitettävien hiukkasten, rikkidioksidin, bentso(a)pyreenin sekä arseenin ja 12 raskasmetallin (Al, As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, V, Zn) pitoisuuksia sekä niiden alueellista jakautumista. Mallinnustulosten perusteella arvioitiin myös eri päästölähteiden vaikutusta ilmanlaatuun. Tuloksina saatuja ulkoilman pitoisuuksia verrattiin lainsäädännössä määriteltäviin ilmanlaadun vertailuarvoihin. Ilman epäpuhtauksille altistumista arvioitiin tarkastelemalla eri pitoisuustasoille altistuvien ihmisten määriä Porin alueella.

Päästöjen leviämismallilaskelmissa käytettiin Ilmatieteen laitoksella kehitettyjä leviämis- ja laskentamalleja: piste- ja pintapäästölähteiden leviämismallia (UDM-FMI), liikennepäästöjen viivalähdemallia (CAR-FMI), katujen pölyämistä kuvaavaa suspensiopäästömallia (FORE) ja laivapäästömallia (STEAM). Pitoisuudet laskettiin koko Porin kaupungin alueelle. Tarkastelualueen koko oli 85 × 45 km. Mallilaskelmat tehtiin käyttäen vuosien 2015–2020 päästötietoja ja alueen ilmastollisia olosuhteita edustavaa vuosien 2018–2020 meteorologista aineistoa.

Leviämismallin lähtötietoina käytetyt päästötiedot sisältävät suurimman osan Porin alueella syntyvistä typen oksidien, hiukkasten ja rikkidioksidin, bentso(a)pyreenin ja raskasmetallien kokonaispäästöistä. Mallilaskelmissa olivat taustapitoisuuksien lisäksi mukana autoliikenteen pakokaasu- ja katupölypäästöt, energiantuotannon ja teollisuuden päästöt, laivaliikenteen ja satamatoiminnan päästöt sekä kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöt. Autoliikenteen pakokaasupäästöt laskettiin käyttäen Euroopan ympäristöviraston määrittämiä nopeudesta ja ajoneuvojen EURO-päästöluokista riippuvia ajoneuvotyyppikohtaisia päästökertoimia sekä liikennemäärätietoja ja liikenteen aikavaihtelutietoja. Energiantuotannon ja teollisuuden lähtötiedot kerättiin suoraan toiminnanharjoittajilta. Laivaliikenteen päästöt laskettiin laivapäästömallilla, joka hyödyntää mm. laivojen automaattisesta seurantajärjestelmästä saatuja paikkatietoja päästöjen laskennassa. Satamatoiminnan työkoneiden päästöt laskettiin Porin Satama Oy:ltä saatujen lähtötietojen avulla. Kiinteistökohtaisen lämmityksen 250 m × 250 m ruuduittaiset päästöt saatiin Suomen ympäristökeskuksen alueellisesta päästöskenaariomallista (FRES-malli).

Mallilaskelmien tulosten perusteella voidaan arvioida, että ilmanlaatu on valtaosassa Porin kaupunkia pääsääntöisesti hyvää. Ilmanlaatu on erityisen hyvää merenrannalla ja Porin maaseutumaisilla alueilla, jotka ovat kauempana keskusta-alueesta ja vilkkaimista väylistä. Alueen ilmanlaatuun vaikuttavat merkittävimmin autoliikenteen typenoksidipäästöt, katupöly, asuinrakennusten puunpoltto sekä pienhiukkasten kaukokulkeuma. Pitoisuudet pienentyvät nopeasti etäisyyden kasvaessa vilkkaimista liikenneväylistä, energiantuotanto- ja teollisuuslaitoksista ja satama-alueilta. Energiantuotantolaitosten, teollisuuden ja laivaliikenteen päästöjen vaikutus Porin ilmanlaatuun on pieni. Laitosten päästöt vapautuvat pääsääntöisesti korkeista piipuista, jolloin ne leviävät ja laimenevat tehokkaasti eivätkä heikennä ilmanlaatua hengityskorkeudella.

Leviämismallilaskelmien tulosten mukaan typpidioksidin kokonaispitoisuudet alittavat ilmanlaadun raja-arvot ja ohjearvot koko Porin kaupungin alueella. Typpidioksidipitoisuudet ovat lähellä vuorokausiohjearvotasoa Porin keskustan ohittavien valtateiden 2 ja 8 varsilla ja niiden ramppien alueilla. Valtateillä liikennemäärä on lähes 20 000 ajoneuvoa vuorokaudessa. Autoliikenteen päästöillä on merkittävin vaikutus typpidioksidin ja typen oksidien pitoisuustasoihin.

Pienhiukkasten vuosikeskiarvopitoisuudet alittavat selvästi vuosiraja-arvon, mutta ylittävät WHO:n vuosiohjearvon koko Porin alueella. Pienhiukkaspitoisuudet ovat suurimmillaan vilkkaimpien liikenneväylien varsilla olevilla tiiviisti rakennetuilla pientaloalueilla. Hetkelliset

pienhiukkaspitoisuudet ylittävät WHO:n vuorokausiohjearvon vilkasliikenteisten väylien varsilla, Porin keskusta-alueella ja lähellä keskustaa olevilla asuinalueilla. Suurin vaikutus pienhiukkasten pitoisuustasoihin on taustapitoisuudella, mistä merkittävä osa koostuu kaukokulkeutuneista pienhiukkasista. Paikallisista päästölähteistä merkittävin vaikutus pienhiukkaspitoisuuksiin on kotitalouksien pienpoltolla ja autoliikenteellä.

Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet alittavat mallilaskelmien mukaan Porissa ilmanlaadun raja-arvot. Hengitettävien hiukkasten vuorokausiraja-arvo ei ylity, mutta vuorokausipitoisuudet voivat ylittää raja-arvotason $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ yhden tai useamman kerran vuoden aikana. Hengitettävien hiukkasten vuorokausiohjearvo ylittyy vilkkaimmin liikennöityjen valtateiden 2 ja 8 varsilla Porin keskustan kohdalla. Huomattavin vaikutus hengitettävien hiukkasten pitoisuuksiin on liikenteen nostattamalla katupölyllä. Katupölypitoisuuksiin voidaan merkittävästi vaikuttaa paikallisella katujen kunnossapidolla sekä oikea-aikaisella hiekoitushiekan poistolla ja pölynsidonnalla.

Rikkidioksidin pitoisuudet ovat pieniä ja alittavat sille asetetut ohje- ja raja-arvot sekä kriittisen tason. Mallitulosten mukaan suurin paikallinen vaikutus rikkidioksidipitoisuuksiin asuinalueilla on omakotitalojen öljylämmityksellä. Mallinnustulosten vertailu mitattuihin pitoisuuksiin kuitenkin indikoi, että mallinuksen lähtötietona käytetyt FRES-mallin päästötiedot yliarvioivat merkittävästi öljylämmityksen rikkidioksidipäästöjä. Energiantuotannon, teollisuuden, laivaliikenteen ja satamatoiminnan korkeimmat pitoisuudet havaitaan lähellä päästölähteitä.

Arseenin ja raskasmetallien pitoisuudet ovat hyvin pieniä ja ne alittavat selvästi raja-arvon ja tavoitearvot. Pitoisuudet ovat korkeimmillaan metalliteollisuuslaitosten läheisyydessä Metallinkylän Kupariteollisuuspuiston läheisyydessä.

Bentso(a)pyreenipitoisuuden vuosikeskiarvo ylittää sille asetetun tavoitearvon Porin keskustassa ja ympäröivillä asuinalueilla sekä Ulvilassa. Bentso(a)pyreenipitoisuuden ylempi arviointikynnys ylittyy laajemmin Porin tiiviimmin asutuilla alueilla mm. keskustan ja Meri-Porin välisellä alueella sekä Noormarkun taajama-alueella.

Leviämismallilaskelmien tuloksia verrattiin Porin ilmanlaadun mittausasemien Paanakedonkadun ja Pastuskerin vuosien 2018–2020 mittaustuloksiin. Mallinuksen ja mittausten epävarmuudet huomioiden voidaan arvioida typpidioksidin, pienhiukkasten ja hengitettävien hiukkasten malli- ja mittaustulosten vastaavan pääosin hyvin toisiaan ja mallitulosten täyttävän mallintamisen epävarmuudelle asetetut laatutavoitteet. Mallitulokset edustavat siten hyvin tarkastelualueen alueellista ilmanlaatua. Porin Paanakedonkadulle mallinnetut rikkidioksidipitoisuudet olivat yliarvio mitattuihin pitoisuuksiin verrattuna kotitalouksien öljylämmityksen päästöyliarvion vuoksi. Pastuskerin tausta-alueella rikkidioksidipitoisuudet vastasivat paremmin mitattuja pitoisuuksia. Porissa ei mitata bentso(a)pyreenin eikä raskasmetallien pitoisuuksia.

Ilman epäpuhtauksille altistumista arvioitiin selvittämällä eri pitoisuustasoille altistuvien porilaisten asukkaiden määrät. Porin ilmanlaatuun vaikuttavat merkittävästi valtatie 2 ja 8, jotka ohittavat Porin keskustan etelä- ja länsipuolitse. Asukkaat altistuvat korkeimmille typen oksidien ja hiukkasten pitoisuuksille ohikulkuteiden varsilla sekä rikkidioksidin ja bentso(a)pyreenin pitoisuuksille asuinalueilla. Altistuminen on vilkkaimpien teiden varsilla suurempaa kuin Porin keskustassa.

Selitteet raportissa käytetyille tärkeimmille yksiköille ja lyhenteille:

Yksiköt:

µm	mikrometri = millimetrin tuhannesosa
µg/m ³	mikrogrammaa (=gramman miljoonasosaa) kuutiometrissä ilmaa (pitoisuus)
m/s	metriä sekunnissa (tuulen nopeus)
°C	Celsiusaste (lämpötila)
K	Kelvinaste (lämpötila), 293 K = 20 °C
atm	atmosfääri, paineen yksikkö, 1 atm = normaali-ilmakehän paine
kPa	kilopascal, paineen yksikkö, 101,3 kPa = 1 atm

Lyhenteet:

NO ₂	Typpidioksidi. Kaasumainen ilman epäpuhtaus, jonka pitoisuuksia hengitysilmassa kohottaa lähinnä autoliikenne.
PM _{2,5}	Pienhiukkaset = halkaisijaltaan alle 2,5 µm:n kokoiset hiukkaset. Hengitysilman pienhiukkaspitoisuuksia kohottavat lähinnä autoliikenteen pakokaasut ja kotitalouksien puunpoltto
PM ₁₀	Hengitettävät hiukkaset = halkaisijaltaan alle 10 µm:n kokoiset hiukkaset. Tyypillinen päästölähde on katupöly.
SO ₂	Rikkidioksidi. Kaasumainen ilman epäpuhtaus, jonka pitoisuuksia hengitysilmassa kohottavat energiantuotanto, teollisuus ja laivaliikenne.
B(a)P	Bentso(a)pyreeni. PAH-yhdisteiden aiheuttaman syöpäriskin merkkiaine.
PAH-yhdisteet	Polysykliset aromaattiset hiilivedyt. PAH-yhdisteitä muodostuu palamisprosesseissa orgaanisen aineksen epätäydellisen palamisen seurauksena erityisesti kotitalouksien puunpolton yhteydessä.
Al	Alumiini, metalli
As	Arseeni, puolimetalli
Cd	Kadmium, metalli
Co	Koboltti, metalli
Cr	Kromi, metalli
Cu	Kupari, metalli
Fe	Rauta, metalli
Hg	Elohopea, metalli
Mn	Mangaani, metalli
Ni	Nikkeli, metalli
Pb	Lyijy, metalli
V	Vanadiini, metalli
Zn	Sinkki, metalli

Lisätietoja yllä mainituista ilman epäpuhtauksista löytyy raportin kappaleista 4.2–4.6.



Kuva: Katja Lovén

OSA I

1 JOHDANTO

Ilmanlaatuselvityksen tarkoituksena oli hankkia leviämismallilaskelmien avulla tietoa Porin ilmanlaadusta, sen alueellisesta vaihtelusta ja eri päästölähteiden vaikutuksesta ilmanlaatuun. Selvityksessä arvioitiin autoliikenteen, energiantuotannon, teollisuuden, laivaliikenteen, satamatoiminnan ja kiinteistökohtaisen lämmityksen ilmanlaatuvaikutuksia Porin kaupungin alueella. Mallinnustulosten perusteella arvioitiin myös ilman epäpuhtauksien eri pitoisuustasoille altistuvien ihmisten määriä.

Ilmanlaatuvaikutuksia arvioitiin laskennallisesti leviämismallien avulla vuosien 2015–2020 päästöjä kuvaavassa tilanteessa. Mallinnuksessa käytettiin Ilmatieteen laitoksella kehitettyjä leviämis- ja laskentamalleja: piste- ja pintapäästölähteiden leviämismallia (UDM-FMI), liikennepäästöjen viivalähdemallia (CAR-FMI), katupölypäästöjen suspensiopäästömallia (FORE) ja laivapäästömallia (STEAM). Leviämismallilaskelmien avulla tarkasteltiin Porin typpidioksidin, typen oksidien, pienhiukkasten, hengitettävien hiukkasten, rikkidioksidin, bentso(a)pyreenin, arseenin ja 12 raskasmetallin pitoisuuksia ja niiden alueellista jakautumista. Tutkimuksen tuloksena saatuja pitoisuuksia verrattiin ilmanlaadun vertailuarvoihin sekä ilmanlaadun mittausten tuloksiin.

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

Ilmanlaatuselvityksen tilasi Porin kaupunki, alueen suurimmat energiantuotannon ja teollisuuden laitokset sekä Porin Satama Oy. Selvityksen kustannukset jaettiin osallistujien kesken päästöjen suhteessa. Päästöjen leviämismallilaskelmat, tulosten tarkastelu ja raportointi tehtiin Ilmatieteen laitoksen Asiantuntijapalvelut -yksikössä.



Kuva: Katja Lovén

2 LEVIÄMISMALLILASKELMIEN TULOKSET

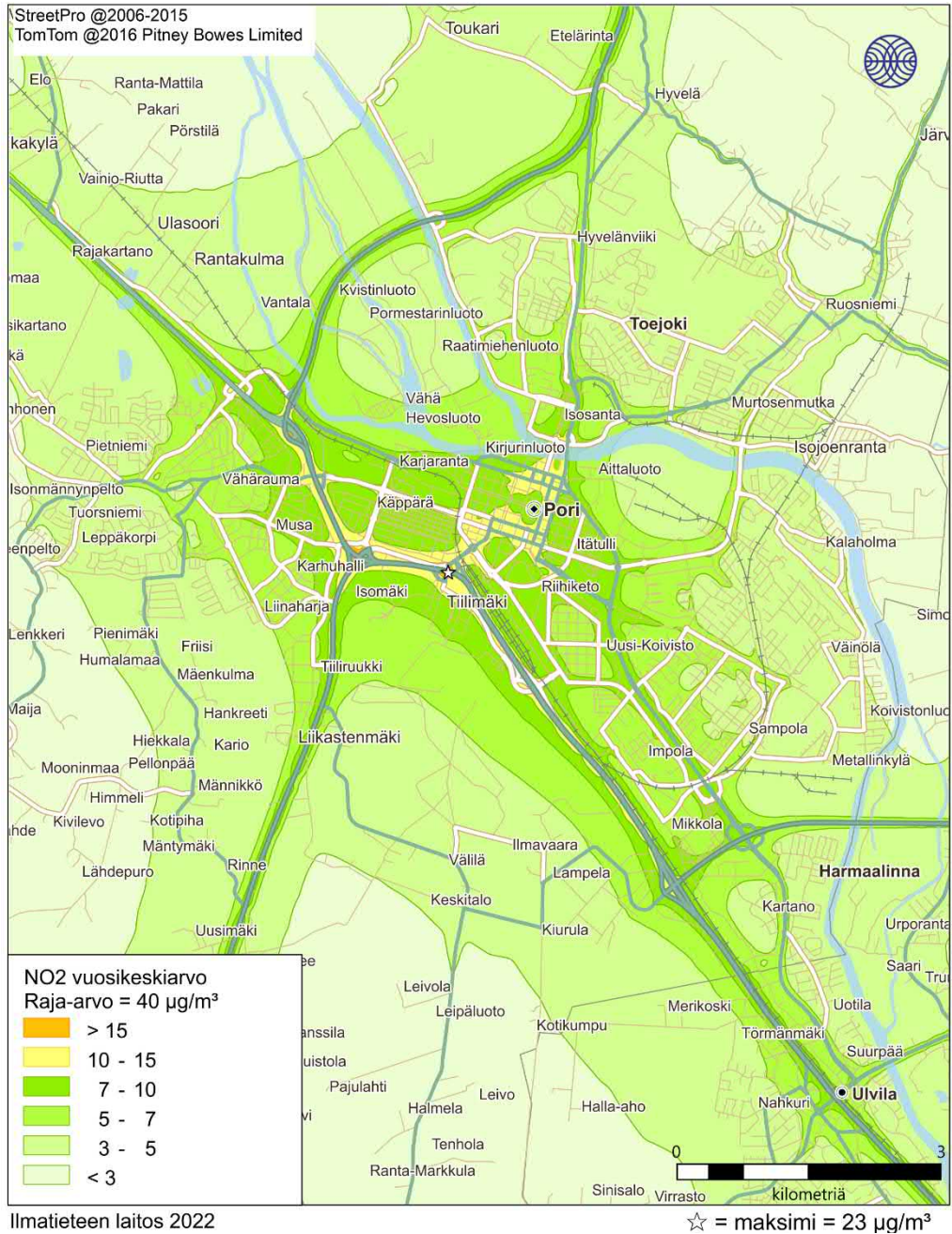
Leviämismallilaskelmien avulla on mahdollista tarkastella laajojen, kokonaisten kaupunkialueiden ilmanlaatua sekä eri tekijöiden vaikutusta ilmanlaatuun. Mallilaskelmilla tehdyn ilmanlaatuarvion tarkoituksena on tuottaa mahdollisimman todenmukaista tietoa ilmanlaadusta ja sen vaihtelusta. Siksi mallilaskelmissa on mukana kaikkien merkittävimpien päästölähteiden tunnetut päästöt ja muualta kulkeutuneiden ilman epäpuhtauksien taustapitoisuus. Mallilaskelmissa käytettyjen lähtötietojen oikeellisuutta ja mallitulosten edustavuutta on arvioitu vertaamalla mallilaskelmin saatuja tuloksia ilmanlaadun mittaustuloksiin. Tässä työssä pitoisuuksien muodostumista on arvioitu koko Porin kaupungin kattavalle alueelle (85 × 45 km). Laajalle alueelle tehdyn leviämismallinnuksen tuloksia voidaan käyttää alueellisten ilmanlaatuvaikutusten arvioinnissa.

Leviämismallilaskelmien tuloksina saadut typpidioksidin, typen oksidien, pienhiukkasten, hengitettävien hiukkasten, rikkidioksidin, bentso(a)pyreenin ja raskasmetallien pitoisuudet on esitetty raportissa havainnollisina karttakuvina, joissa ilman epäpuhtauksia verrataan ilmanlaatulainsäädännössä annettuihin raja-, ohje- ja tavoitearvoihin, kriittisiin tasoihin ja WHO:n ohjearvoihin. Karttakuvissa esitetyt pitoisuusjakaumat kuvaavat enimmäispitoisuustasoa ulkoilmassa ihmisten hengityskorkeudella (2 m). Raportin tekstin sisällä on esitetty tärkeimmät pitoisuuksien tuloskartat ja raportin liitekuviin on esitetty lisää tuloskuvia eri tarkastelualueilta: koko Porin kaupungin alueen lisäksi lähikuvia Porin keskustan ja Meri-Porin alueelta.

Karttakuvissa on esitetty värillisinä jakaumina alueet, joilla tietyn pitoisuuden ylittyminen on pitkän havaintojakson aikana todennäköistä. Vihreän eri sävyillä kuvataan kartoissa hyvää ilmanlaatua ja asteikko jatkuu pitoisuuksien kasvaessa keltaisen ja oranssin sävyjen kautta punaiseen. Kirkkaalla punaisella kuvataan raja-, ohje- tai tavoitearvon ylittymistä. Kartoissa esitetyt pitoisuuksien aluejakaumat eivät edusta koko tutkimusalueella yhtäaikaista vallitsevaa pitoisuustilannetta, vaan ne kuvaavat kuhunkin laskentapisteeseen mallilaskelmissa saatua korkeinta pitoisuutta. Korkeimmat pitoisuudet voivat esiintyä eri laskentapisteissä eri ajanhetkinä.

Vuosikeskiarvopitoisuus kuvaa alueen keskimääräistä ja vallitsevaa ilman epäpuhtauspitoisuustasoa parhaiten. Karttakuvissa esitetyt vuosikeskiarvopitoisuudet kuvaavat kolmen vuoden tarkastelujakson (vuodet 2018–2020) korkeinta vuosikeskiarvoa kussakin laskentapisteessä. Hetkelliset pitoisuudet voivat nousta vuosikeskiarvopitoisuuksia huomattavasti korkeammiksi. Mallinnettuihin lyhytaikaispitoisuuksiin sisältyy enemmän epävarmuutta kuin vuosikeskiarvopitoisuuksiin ja lyhytaikaispitoisuuksien aluejakaumaan vaikuttavat voimakkaammin yksittäiset meteorologiset tilanteet. Karttakuvissa esitetyt vuorokausiohjearvoon verrannolliset pitoisuudet kuvaavat kolmen vuoden tarkastelujakson (vuodet 2018–2020) korkeinta vuorokausiraja- tai ohjearvoon verrannollista pitoisuutta kussakin laskentapisteessä.

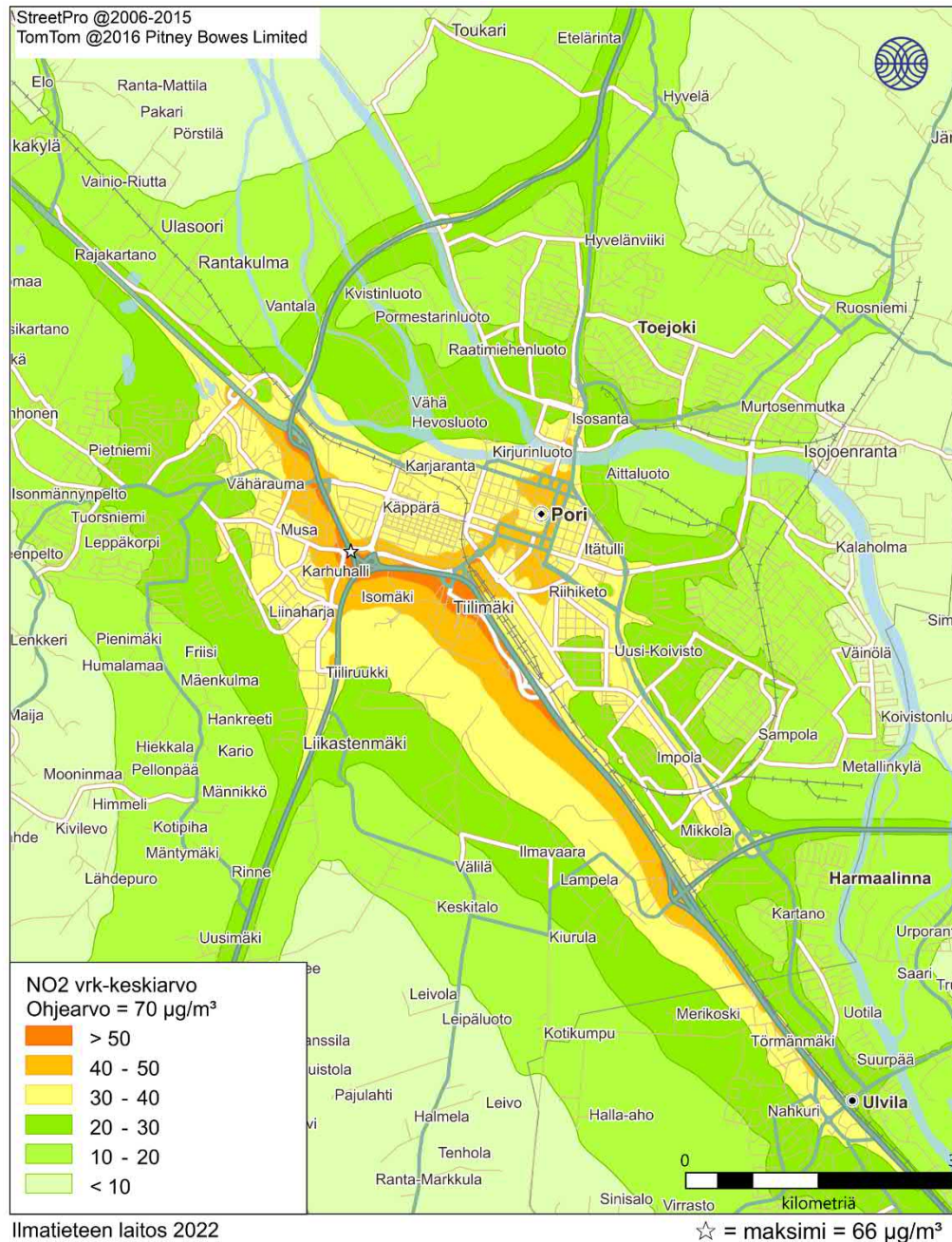
Taustapitoisuutena käytettiin Ilmatieteen laitoksen Paraisten Utössä ja Helsingin yliopiston Juupajoen Hyytiälässä sijaitsevien taustailmanlaadun mittausasemien tuloksia. Tarkastelujaksolla 2018–2020 typen oksidien taustapitoisuuden vuosikeskiarvo oli 2,2 µg/m³, rikkidioksidin 0,4 µg/m³, pienhiukkasten 5,4 µg/m³ ja otsonin 66 µg/m³ (*Ilmatieteen laitos, 2021*). Kaupunkialueilla tai taajamissa paikalliset päästölähteet nostavat pitoisuudet taustapitoisuustasoa korkeammiksi.



Kuva 1. Autoliikenteen, energiantuotannon, teollisuuden, laivaliikenteen, satamatoiminnan ja kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen sekä alueellisen taustapitoisuuden (vuosikeskiarvona 2,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) yhdessä aiheuttama typpidioksidin (NO₂) vuosikeskiarvopitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Porin keskusta-alueella.

Porin kaikkien päästölähteiden ja alueellisen taustapitoisuuden yhdessä aiheuttama typpidioksidin vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus on esitetty kuvassa 2 (ja liitekuivissa 10–11). Hetkelliset typpidioksidipitoisuudet voivat nousta vuosikeskiarvopitoisuuksia huomattavasti korkeammiksi. Leviämismallilaskelmien mukaan typpidioksidipitoisuudet kuitenkin alittavat ohjearvot kaikkialla Porissa. Korkein vuorokausiohjearvoon (70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) verrannollinen pitoisuus on lähellä ohjearvoa (66 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) ramppien alueella Länsi-Porissa, jossa valtatie 2 yhdistyy valtatie 8:ksi. Mallilaskelmien mukaan vuorokausiohjearvoon verrannolliset pitoisuudet ovat korkeimmillaan valtateiden 2 ja 8 varsilla lentokentän ja Mäntyluodontien välisellä osuudella. Porin

keskustan vilkkaimmin liikennöidyillä alueilla pitoisuudet ovat noin 40–50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ja asuinalueilla pääosin alle 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Pitoisuudet pienentyvät nopeasti etäisyyden kasvaessa vilkkaimmista liikenneväylistä.



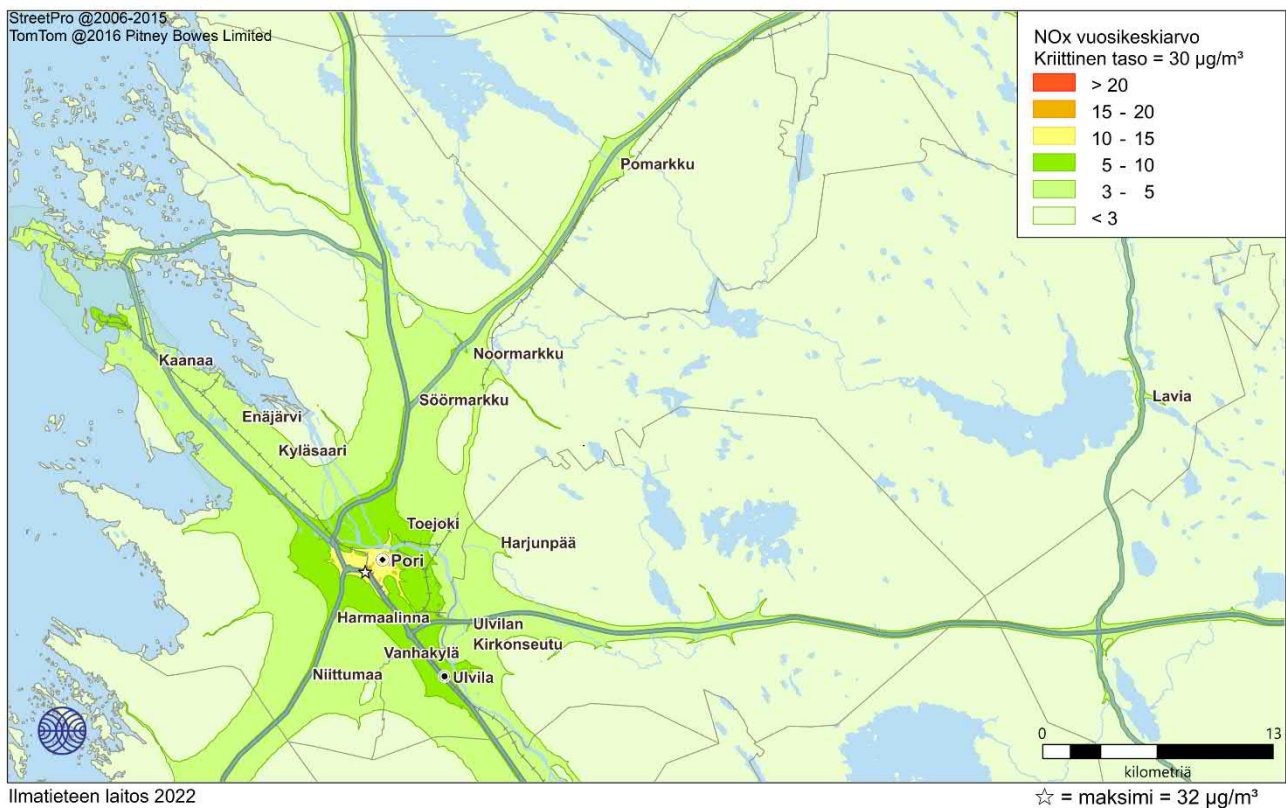
Kuva 2. Autoliikenteen, energiantuotannon, teollisuuden, laivaliikenteen, satamatoiminnan ja kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen sekä alueellisen taustapitoisuuden (vuosikeskiarvona 2,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) yhdessä aiheuttama typpidioksidin vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Porin keskusta-alueella.

Taulukossa 2 on esitetty leviämismallilaskelmien tuloksena saadut korkeimmat typen oksidien kriittiseen tasoon (30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) verrannolliset pitoisuudet Porissa. Korkeimmat pitoisuudet on esitetty

päästölähteittäin ja kaikkien päästölähteiden yhteisvaikutuksena. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden aiheuttama typen oksidien vuosikeskiarvopitoisuus Porissa on esitetty kuvassa 3 ja liitekuviissa 19–20. Typenoksidipitoisuuksille annettua kriittistä arvoa sovelletaan rakennetun ympäristön ulkopuolella olevilla laajoilla maa- ja metsätalousalueilla sekä luonnonsuojelun kannalta merkityksellisillä alueilla. Typen oksidien pitoisuudet alittavat kriittisen tason Porin keskusta-alueen liikenneväylien ulkopuolella. Rakennetun ympäristön ulkopuolella typen oksidien vuosikeskiarvopitoisuudet ovat alle $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Taulukko 2. Eri päästölähteiden aiheuttamat korkeimmat mallinnetut typen oksidien pitoisuudet ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Porissa vuosina 2018–2020. Korkeimmat arvot esiintyvät eri laskentapisteissä eri puolilla tutkimus-alueetta. Kriittisen tason ylitys on lihavoitu.

NO_x ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Kriittinen taso	Auto-liikenne	Energiantuotanto ja teollisuus	Laiva-liikenne ja satamatoiminta	Kiinteistökohtainen lämmitys	Taustapitoisuus	Kaikki yhteensä
Vuosikeskiarvo	30	28	0,52	4,1	2,1	2,2	32



Kuva 3. Autoliikenteen, energiantuotannon, teollisuuden, laivaliikenteen, satamatoiminnan ja kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen sekä alueellisen taustapitoisuuden (vuosikeskiarvona $2,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$) yhdessä aiheuttama typen oksidien (NO_x) vuosikeskiarvopitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Porissa.

2.1.2 Autoliikenne

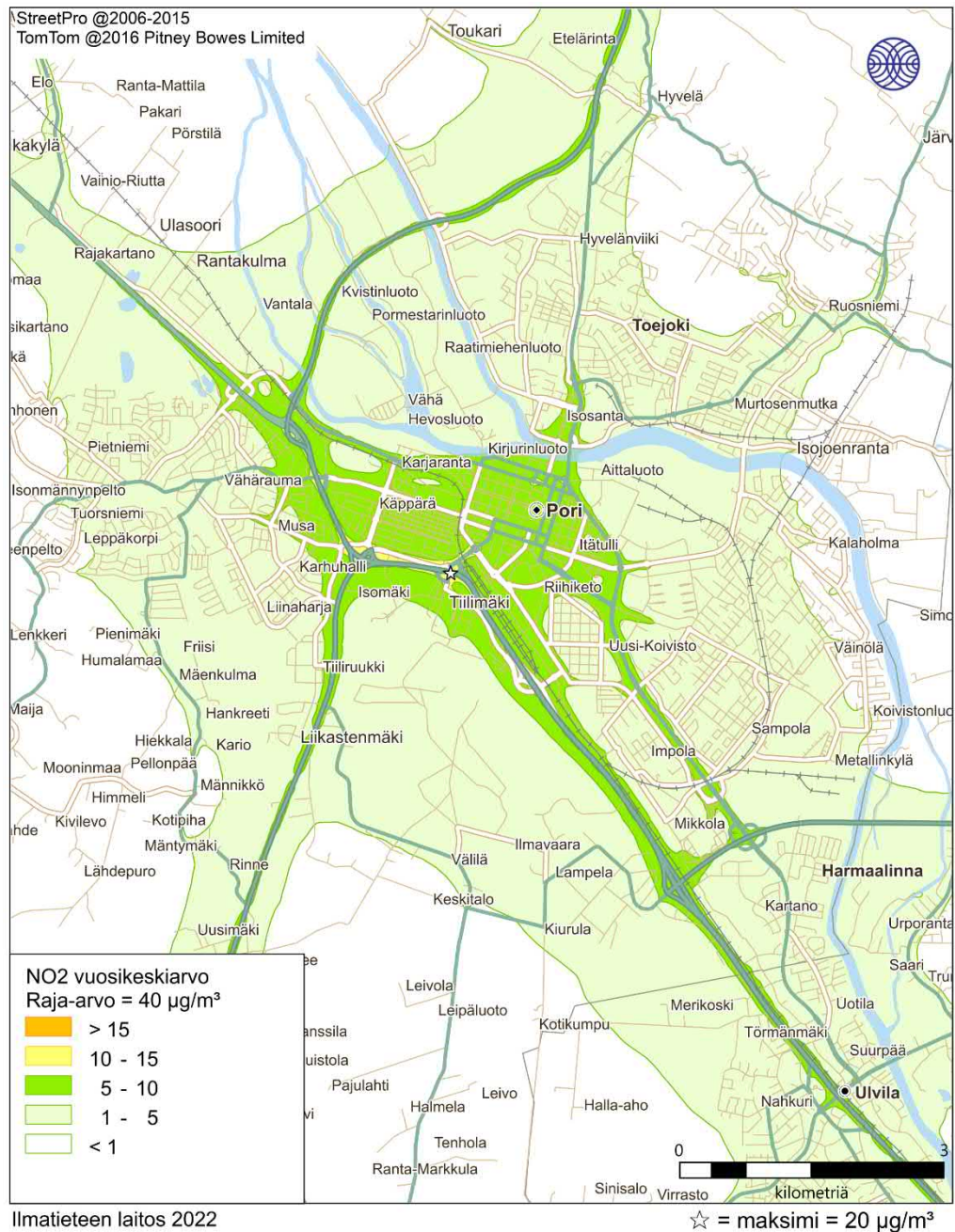
Leviämismallilaskelmien tuloksena saadut autoliikenteen vuoden 2019 päästöjen aiheuttamat korkeimmat typpidioksidipitoisuudet Porin keskustassa on esitetty kuvassa 4 sekä liitekuviissa 3 ja 12. Typpidioksidin kaikki raja- ja ohjearvoihin verrannolliset pitoisuudet alittuvat Porissa.

Typpidioksidipitoisuuden vuosiraja-arvo ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) alittuu selvästi koko tarkastelualueella (kuva 4). Pitoisuudet ovat korkeimmillaan puolet raja-arvotasosta ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$) valtatiellä 2 Tiilimäen ramppien kohdalla ja $10\text{--}15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ valtatie 2 varrella Porin keskustan kohdalla. Autoliikenteen päästöjen yksinään aiheuttama typpidioksidipitoisuuden vuosikeskiarvo on Porin keskusta-alueella ja vilkkaimpien teiden varsilla $5\text{--}10 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Asuinalueilla autoliikenteen aiheuttama typpidioksidipitoisuus on $1\text{--}5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja maaseutumaisilla alueilla alle $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Autoliikenteen vuoden 2019 päästöjen aiheuttamat korkeimmat typpidioksidipitoisuudet alittavat vuorokausiohjearvon ($70 \mu\text{g}/\text{m}^3$) kaikkialla Porissa. Korkeimmillaan vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus on $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Länsi-Porissa ramppien alueella, jossa valtatie 2 yhtyy valtatie 8:aan (liitekuva 12). Porin keskustan alueella ja vilkkaasti liikennöidyillä väylillä vuorokausiohjearvoon verrannolliset pitoisuudet ovat pääosin tasoa $30\text{--}50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Korkeimpien pitoisuuksien pitoisuusvyöhykkeet ovat vain hieman pienempiä kuin kaikkien päästölähteiden yhdessä aiheuttamien typpidioksidipitoisuuksien ylitysalueet, sillä autoliikenne aiheuttaa valtaosan mallinnetuista typpidioksidipitoisuuksista.



Kuva: Katja Lovén



Kuva 4. Autoliikenteen vuotta 2019 edustavien päästöjen yksinään aiheuttama typpidioksidin vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) Porin keskusta-alueella ilman alueellista taustapitoisuutta.

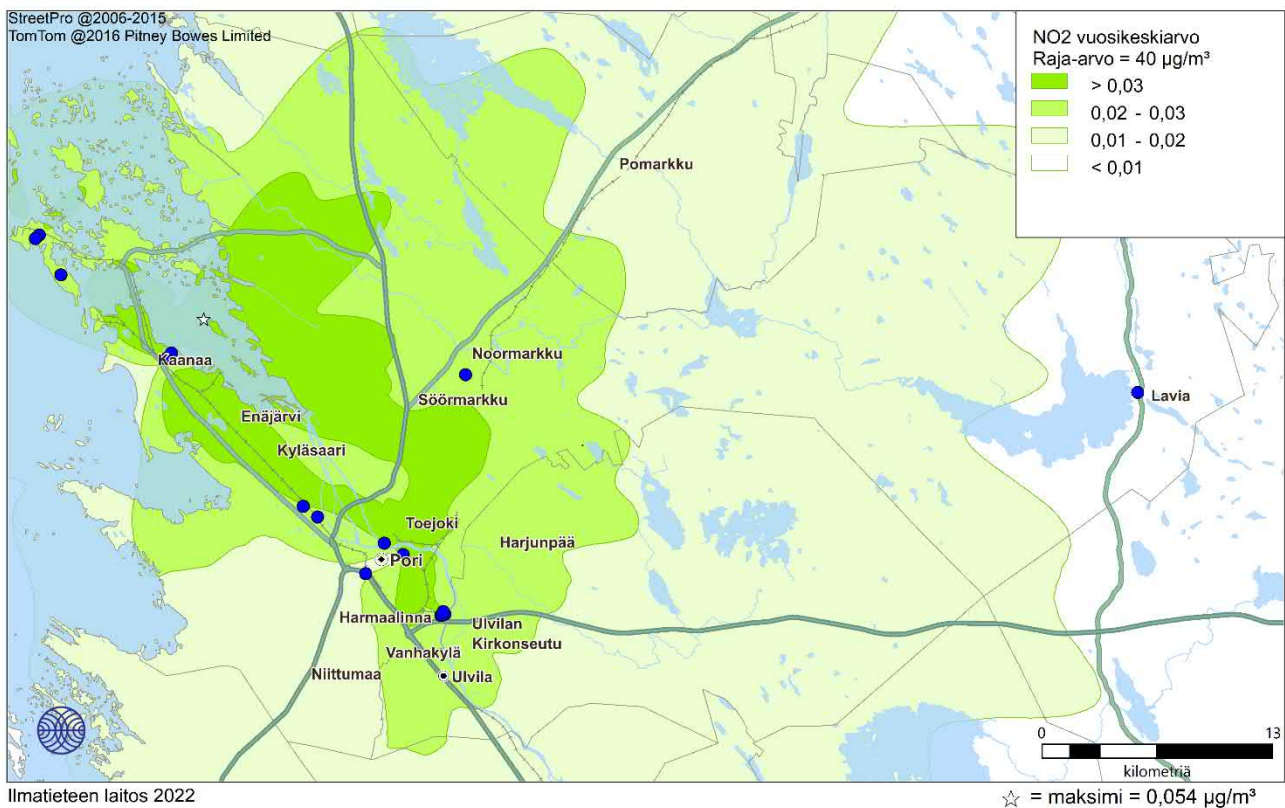
2.1.3 Energiantuotanto ja teollisuus

Leviämismallilaskelmien tuloksena saatu energiantuotannon ja teollisuuden pääosin vuotta 2020 edustavien päästöjen yksinään aiheuttamat korkeimmat typpidioksidipitoisuudet Porissa on esitetty kuvassa 5 sekä liitekuviissa 4–6 ja 13–15. Tulosten mukaan laitosten yhdessä aiheuttama typpidioksidin vuosikeskipitoisuus (raja-arvo 40 µg/m³) on hyvin pieni, korkeimmillaankin vain 0,054 µg/m³. Typpidioksidipitoisuudet ovat suurimmillaan Porin keskustassa, Kaanaan ja Meri-Porin alueella. Pitoisuuksien muodostumiseen vaikuttavat eniten Pori Energian Aittaluodon ja Porin

Prosessivoiman voimalaitosten päästöt. Muiden energiantuotanto- ja teollisuuslaitosten vaikutus typpidioksidipitoisuuksiin on vähäistä.

Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttamat korkeimmat typpidioksin vuorokausiohjearvoon ($70 \mu\text{g}/\text{m}^3$) verrannolliset pitoisuudet ovat korkeimmillaan alle $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (liitekuvat 13–15). Korkein pitoisuus muodostuu Porin Prosessivoiman ympäristöön Pihlavanlahdelle.

Teollisuuden ja energiantuotannon päästöjen vaikutus ilmanlaatuun on pieni, vaikka laitokset tuottavat 18 % Porin typenoksidipäästöistä. Teollisuuden ja energiantuotannon päästöt vapautuvat pääasiassa korkeista piipuista, jolloin ne leviävät ja laimenevat tehokkaasti eivätkä heikennä ilmanlaatua hengityskorkeudella.



Kuva 5. Energiantuotannon ja teollisuuden vuotta 2020 edustavien päästöjen yksinään aiheuttama typpidioksidin vuosikeskiarvopitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Porissa ilman alueellista taustapitoisuutta. Siniset pisteet kuvaavat mallinnuksessa mukana olleita energiantuotanto- tai teollisuuslaitoksia.

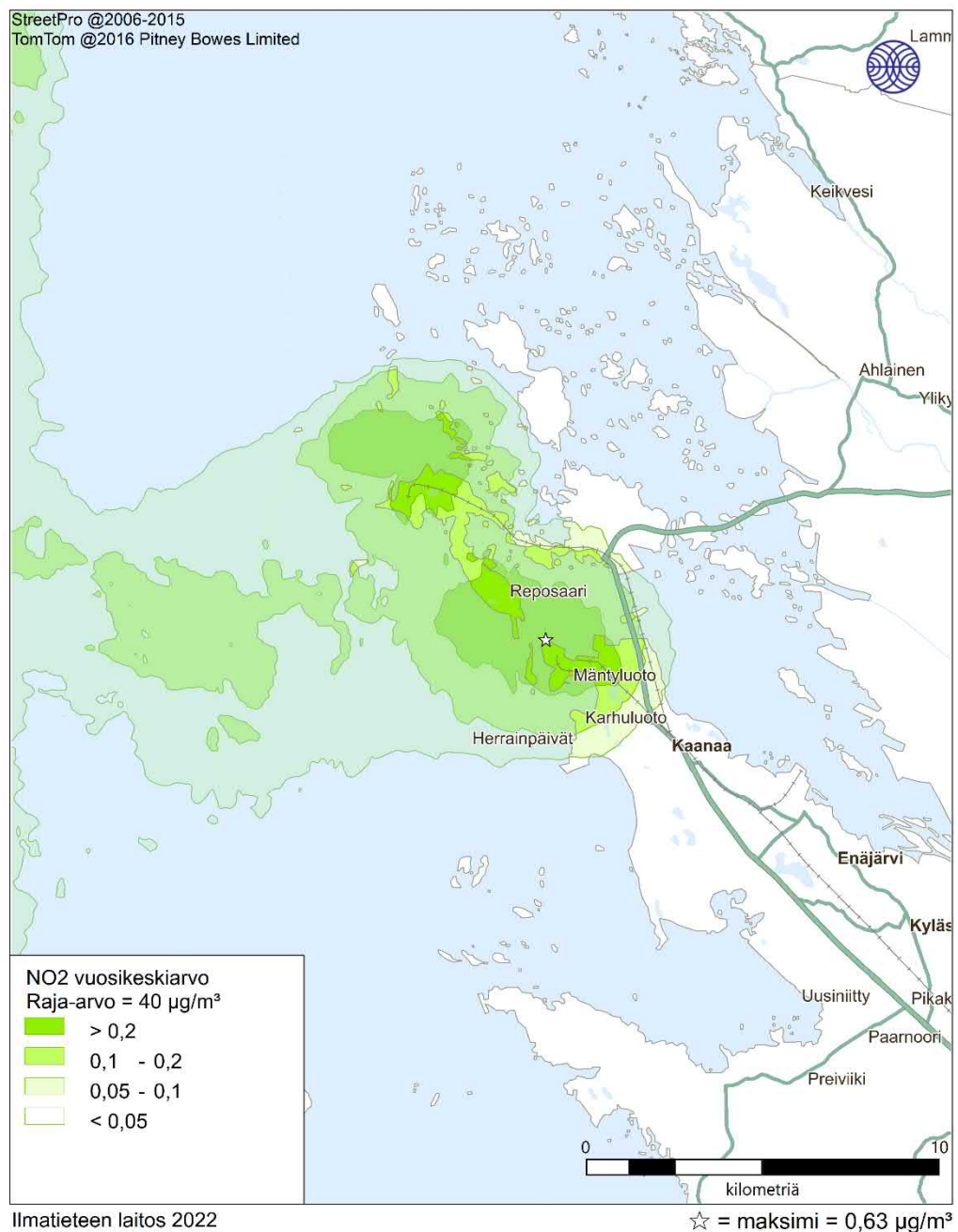
2.1.4 Laivaliikenne ja satamatoiminta

Leviämismallilaskelmien tuloksena saadut laivaliikenteen ja satamatoimintojen vuoden 2019 päästöjen yksinään aiheuttamat korkeimmat typpidioksidipitoisuudet Meri-Porin alueella on esitetty kuvassa 6 sekä liitekuvissa 7 ja 16.

Laivaliikenteen ja satamatoiminnan päästöjen vaikutus Porin typpidioksidipitoisuuksiin on varsin vähäinen. Laivaliikenteen ja satamatoiminnan aiheuttamat typpidioksidipitoisuudet ovat suurimmillaan Tahkoluodon ja Mäntyluodon satamien läheisyydessä. Korkeimmillaan

typpidioksidin vuosikeskiarvopitoisuus on $0,63 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (raja-arvo $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Laivaliikenteen päästöt kohottavat pitoisuuksia vuositasolla noin $0,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ laivaväylällä satamien länsipuolella. Laivaliikenteen ja satamatoiminnan typenoksidipäästöillä ei ole juuri merkitystä Porin typpidioksidipitoisuuksiin Tahkoluodon ja Mäntyluodon alueen ulkopuolella, vaikka ne vastaavat 46 %:sta Porin kokonaistypenoksidipäästöistä.

Laivaliikenteen ja satamatoiminnan päästöillä voi olla selvä vaikutus typpidioksidin lyhytaikaispitoisuuksiin paikallisesti satama-alueilla ja niiden läheisyydessä. Leviämislaskelmien mukaan typpidioksidin vuorokausiohjeeseen ($70 \mu\text{g}/\text{m}^3$) verrannolliset pitoisuudet ovat satama-alueilla noin $2\text{--}4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ollen korkeimmillaan $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Mäntyluodon satamaa vastapäätä sijaitsevassa Reposaarissa (liitekuva 16).



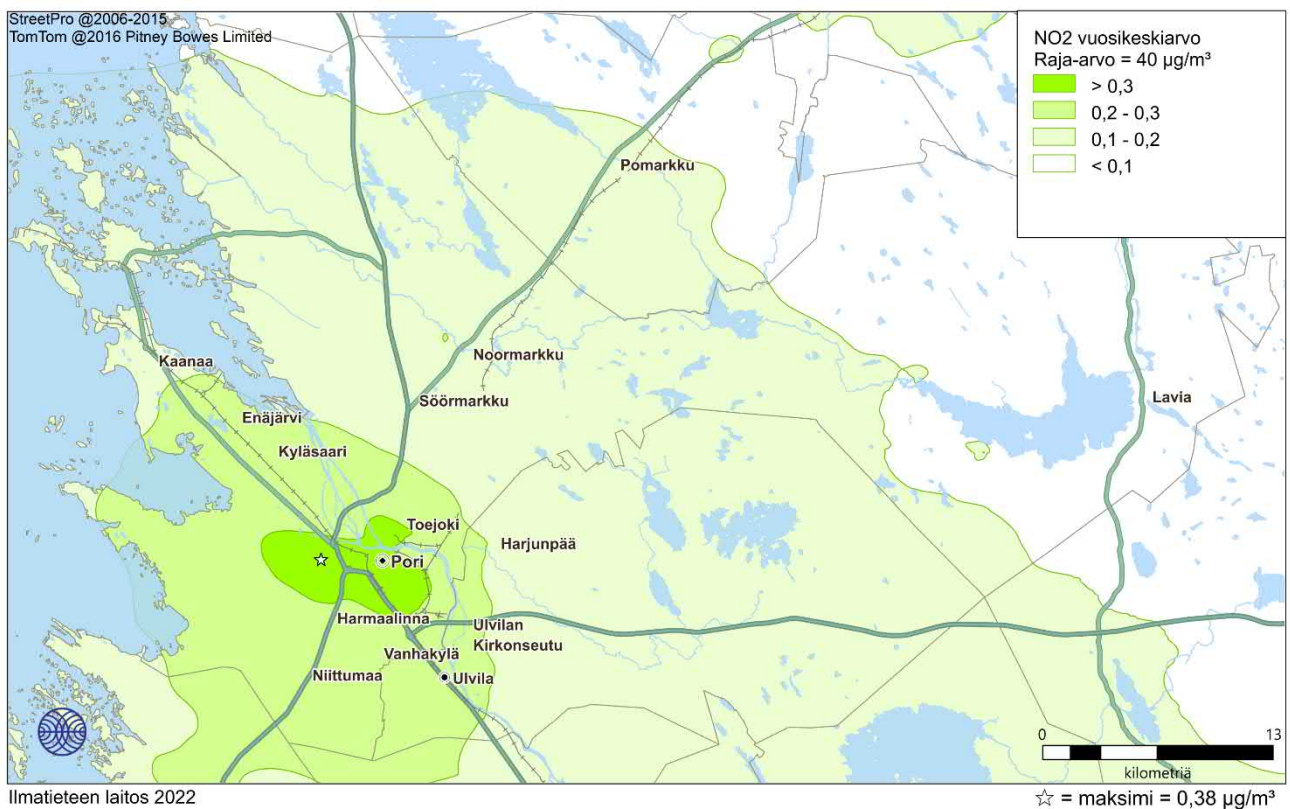
Kuva 6. Laivaliikenteen ja satamatoiminnan vuotta 2019 edustavien päästöjen yksinään aiheuttama typpidioksidin vuosikeskiarvopitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Meri-Porissa ilman alueellista taustapitoisuutta.

2.1.5 Kiinteistökohtainen lämmitys

Leviämismallilaskelmien tuloksena saadut kiinteistökohtaisen lämmityksen vuoden 2015 päästöjen yksinään aiheuttamat korkeimmat typpidioksidipitoisuudet Porissa on esitetty kuvassa 7 sekä liitekuviissa 8–9 ja 17–18.

Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttamat typpidioksidipitoisuudet ovat varsin pieniä. Pienpolton vaikutukset ovat suurimmillaan tiiviisti rakennetuilla pientaloalueilla Porin kaupunkialueella. Typpidioksidin vuosikeskiarvopitoisuus on suurimmillaan $0,38 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Vähärauman asuinalueella (raja-arvo $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Kotitalouksien pienpolton vaikutus typpidioksidipitoisuuksiin on vähäinen ja pitoisuuksia kohottavat lähinnä omakotitalojen öljylämmitys ja lisälämmitys kuten takat.

Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttamat typpidioksidipitoisuuksien vuorokausiohjearvoon ($70 \mu\text{g}/\text{m}^3$) verrannolliset pitoisuudet ovat korkeimmillaan $3,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (liitekuvat 17–18). Korkeampien pitoisuuksien vyöhykkeet painottuvat Länsi-Porin alueelle kyseisenä ajankohtana vallinneiden meteorologisten olosuhteiden vuoksi.



Kuva 7. Kiinteistökohtaisen lämmityksen vuotta 2015 edustavien päästöjen yksinään aiheuttama typpidioksidin vuosikeskiarvopitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Porissa ilman alueellista taustapitoisuutta.

2.2 Pienhiukkaspitoisuudet (PM_{2,5})

Kaukokulkeumalla eli alueelle muualta kulkeutuneilla hiukkasilla on merkittävä vaikutus pienhiukkasten pitoisuustasoihin Suomessa ja korkeimmat pienhiukkaspitoisuudet havaitaan yleensä kaukokulkeumaepisodien aikana. Suurin vaikutus Porinkin pienhiukkaspitoisuustasoihin on taustapitoisuudella, joka on alueella vuositasolla noin 5,4 µg/m³. Paikalliset päästölähteet aiheuttavat vuositasolla muutamien mikrogrammojen suuruisen lisän taustapitoisuuksiin. Korkeimmat pienhiukkaspitoisuudet esiintyvät Porin keskustan tuntumassa. Viikkaimpien teiden varsilla liikenteen päästöillä on huomattava vaikutus pienhiukkasten pitoisuustasoihin. Asuinalueilla pientalojen puunpoltolla on paikallisesti liikennepäästöjäkin merkittävämpi vaikutus pienhiukkaspitoisuuksiin. Porin keskusta-alueen ulkopuolella pienhiukkaspitoisuudet ovat taustapitoisuuden tasolla tai vain hiukan taustapitoisuutta suurempia.

2.2.1 Kaikki päästölähteet

Taulukossa 3 on esitetty leviämismallilaskelmien tuloksena saadut korkeimmat pienhiukkasten raja-arvoon ja WHO:n uusiin ohjearvoihin (voimassa 9/2021 lähtien) verrannolliset pitoisuudet Porissa. Korkeimmat pitoisuudet on esitetty päästölähteittäin ja kaikkien päästölähteiden yhteisvaikutuksena. Porin autoliikenteen, energiantuotannon, teollisuuden, laivaliikenteen, satamatoiminnan ja kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen sekä alueellisen taustapitoisuuden yhdessä aiheuttama pienhiukkasten vuosikeskiarvopitoisuus on esitetty kuvassa 8. Pienhiukkasten kokonaispitoisuudet on esitetty lisäksi raportin lopussa liitekuvin 21–22 ja 30–31.

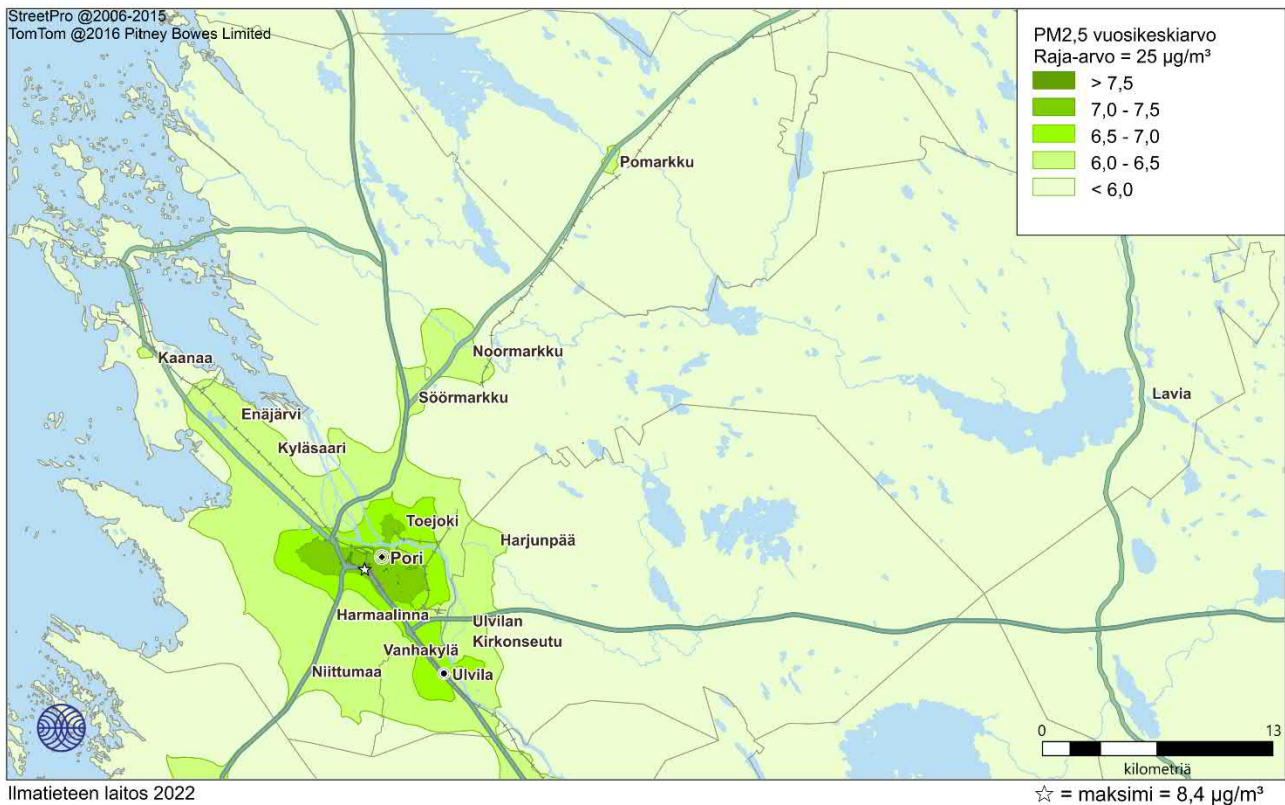
Taulukko 3. Eri päästölähteiden aiheuttamat korkeimmat mallinnetut pienhiukkaspitoisuudet (µg/m³) Porissa vuosina 2018–2020. Korkeimmat arvot esiintyvät eri laskentapisteissä eri puolilla tutkimusaluetta. WHO:n ohjearvon ylitykset on lihavoitu.

PM _{2,5}	Ohje- tai raja-arvo	Auto-liikenne	Energian- tuotanto ja teolli- suus	Laiva- liikenne ja satama- toiminta	Kiinteistö- kohtainen lämmitys	Tausta- pitoisuus	Kaikki yhteensä
Vuosikeskiarvo	25/5*	1,8	0,096	0,20	1,7	5,4	8,4
Vuorokausiohjarvo	15*	7,8	1,0	1,1	11	4,9	21

* WHO:n ohjearvo

Mallinnetut pienhiukkasten vuosikeskiarvopitoisuudet alittavat selvästi vuosiraja-arvon 25 µg/m³, mutta ylittävät WHO:n uuden tiukan vuosiohjarvon 5 µg/m³ koko Porin kaupungin alueella. WHO:n ohjarvoja ei ole viety osaksi Suomen ilmanlaatulainsäädäntöä, joten ne ovat suosituksen omaisia eikä niillä ei ole lainvoimaa Suomessa. Taustapitoisuus vaikuttaa eniten mallinnettuihin pienhiukkasten kokonaispitoisuuksiin ja WHO:n ohjarvo ylittyy jo taustapitoisuuden (5,4 µg/m³) vaikutuksesta. Pienhiukkaspitoisuuksien alueellinen vaihtelu on vähäistä, koska suurin osa kokonaispitoisuudesta on taustapitoisuutta. Autoliikenne, energiantuotanto, teollisuus, laivaliikenne, satamatoiminta ja kotitalouksien puunpoltto vaikuttavat pitoisuuksiin paikallisesti ja kunkin vaikutus on suurimmillaan lähellä päästölähteitä. Pienhiukkaspitoisuuden vuosikeskiarvo on suurimmillaan Porin keskusta-alueella, jossa pitoisuuksiin vaikuttavat sekä autoliikenne että kiinteistökohtainen lämmitys. Korkeimmillaan pienhiukkaspitoisuus on 8,4 µg/m³ valtatie 2

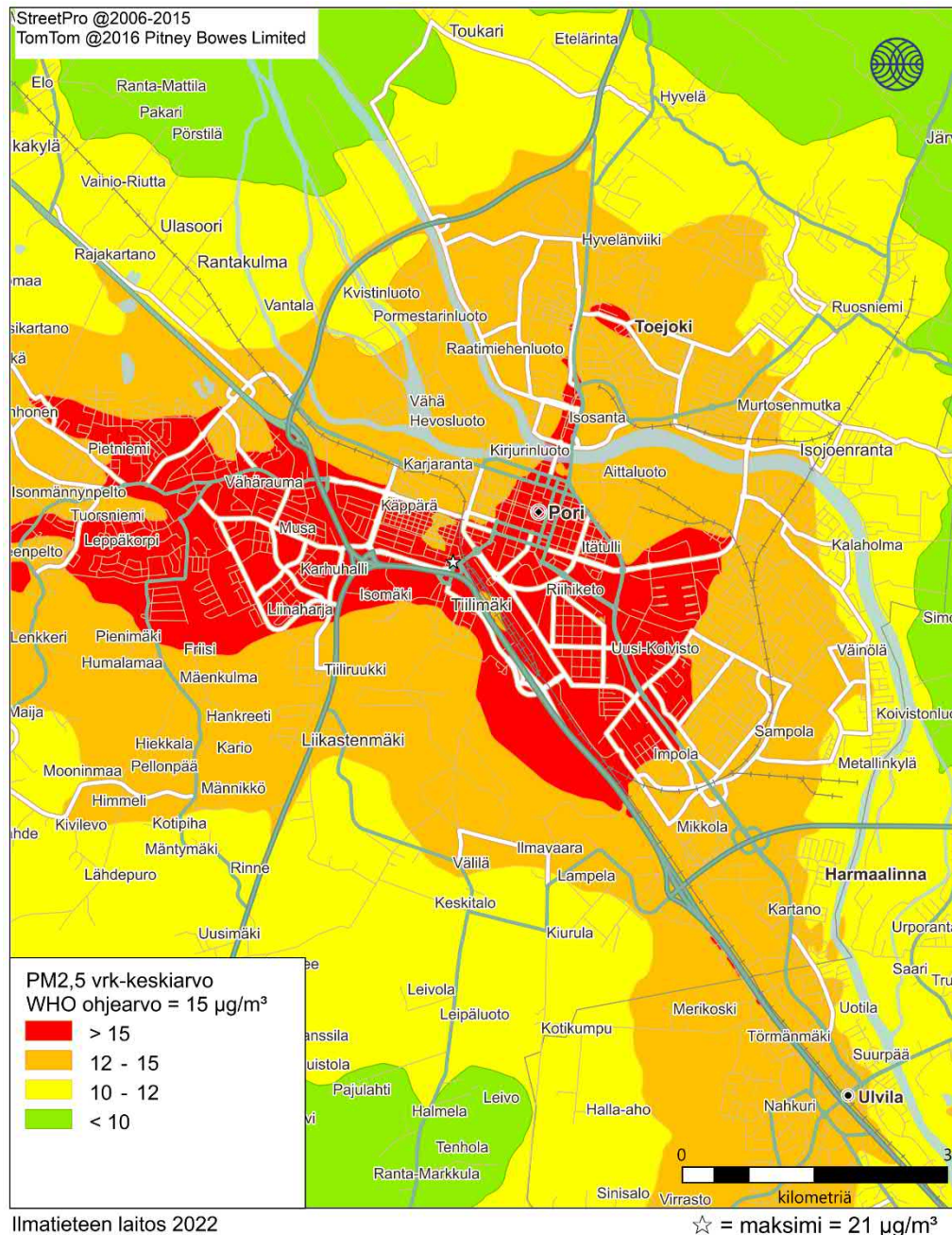
ramppien alueella Tiilimäessä. Porin keskustassa ja keskustan lähellä olevilla asuinalueilla Vähärauman, Uusi-Koiviston ja Toejoen välisellä alueella vuosikeskiarvopitoisuus on yli $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Etäänpänä Porin kaupunkialueen asuinalueilla ja Meri-Porin suunnalla vuosikeskiarvopitoisuus on yli $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Porin maaseutumaisilla alueilla pienhiukkaspitoisuus on taustapitoisuuden tasoa ollen alle $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Korkeimmillaan pienhiukkasten vuosikeskiarvopitoisuus on $8,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$, allistaen kansallisen altistuksen vähentämistavoitteen $8,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$.



Kuva 8. Autoliikenteen, energiantuotannon, teollisuuden, laivaliikenteen, satamatoiminnan ja kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen sekä alueellisen taustapitoisuuden (vuosikeskiarvona $5,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$) yhdessä aiheuttama pienhiukkasten ($\text{PM}_{2,5}$) vuosikeskiarvopitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Porissa.

Porin kaikkien päästölähteiden ja alueellisen taustapitoisuuden yhdessä aiheuttama korkein pienhiukkasten WHO:n vuorokausiohjeeseen verrannollinen pitoisuus on esitetty kuvassa 9 (ja liitekuviissa 30–31). Hetkelliset pienhiukkaspitoisuudet voivat epäedullisissa meteorologisissa olosuhteissa nousta vuosikeskiarvopitoisuuksia huomattavasti korkeammiksi. Leviämismallilaskelmien mukaan pienhiukkaspitoisuudet ylittävät WHO:n ohjeeseen verrannollinen pitoisuus on $21 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Tiilinummen pientaloalueen laidalla lähellä Luvianpuistikatua ja Vt 2 risteysaluetta. Pienhiukkaspitoisuudet ovat noin $10\text{--}15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ suurimpien väylien varsilla ja Porin asuinalueilla. Pitoisuudet pienentyvät nopeasti etäisyyden kasvaessa tiiviimmin asutetusta Porin keskusta-alueesta. Valtaosassa Porin kaupungin aluetta pienhiukkasten vuorokausipitoisuus on alle $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

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



Kuva 9. Autoliikenteen, energiantuotannon, teollisuuden, laivaliikenteen, satamatoiminnan ja kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen sekä alueellisen taustapitoisuuden (vuosikeskiarvona 5,4 µg/m³) yhdessä aiheuttama pienhiukkasten (PM_{2,5}) WHO:n vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³) Porin keskusta-alueella.

2.2.2 Autoliikenne

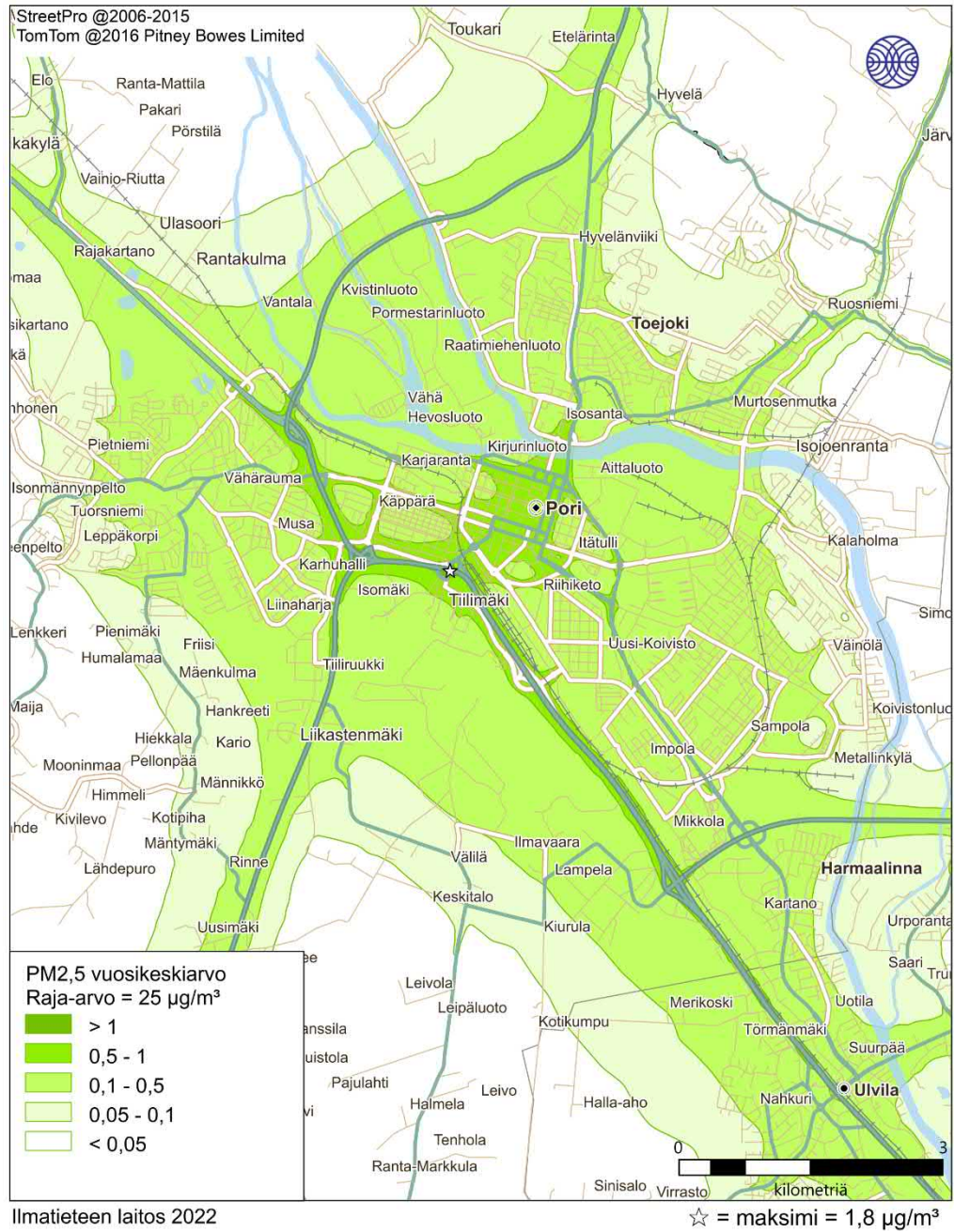
Leviämismallilaskelmien tuloksena saadut autoliikenteen vuoden 2019 päästöjen aiheuttamat korkeimmat pienhiukkaspitoisuudet Porin keskustassa on esitetty kuvassa 10 sekä liitekuviissa 23 ja 32.

Autoliikenteen päästöjen yksinään aiheuttamat pienhiukkaspitoisuudet ovat korkeimmillaan valtateiden 2 ja 8 varsilla sekä Porin keskustan ruutukaava-alueella ja vilkkaimmilla risteysalueilla. Pienhiukkaspitoisuuden vuosikeskiarvo on korkeimmillaan valtatie 2 rampin alueella Tiilimäessä $1,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (raja-arvo $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Muiden vilkkaimmin liikennöityjen väylien varsilla autoliikenteen aiheuttama pienhiukkaspitoisuus on tyypillisesti $0,5\text{--}1 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Pitoisuudet pienentyvät nopeasti etäisyyden kasvaessa liikenneväylistä.

Autoliikenteen vuoden 2019 päästöjen aiheuttamat korkeimmat WHO:n vuorokausiohjeeseen ($15 \mu\text{g}/\text{m}^3$) verrannolliset pienhiukkaspitoisuudet ovat valtatiellä 2 korkeimmillaan $7,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ eli reilu puolet ohjeesta. Porin keskustan vilkasliikenteisillä alueilla pienhiukkasten WHO:n vuorokausiohjeeseen verrannollinen pitoisuus on $3\text{--}5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (liitekuva 32).



Kuva: Katja Lovén

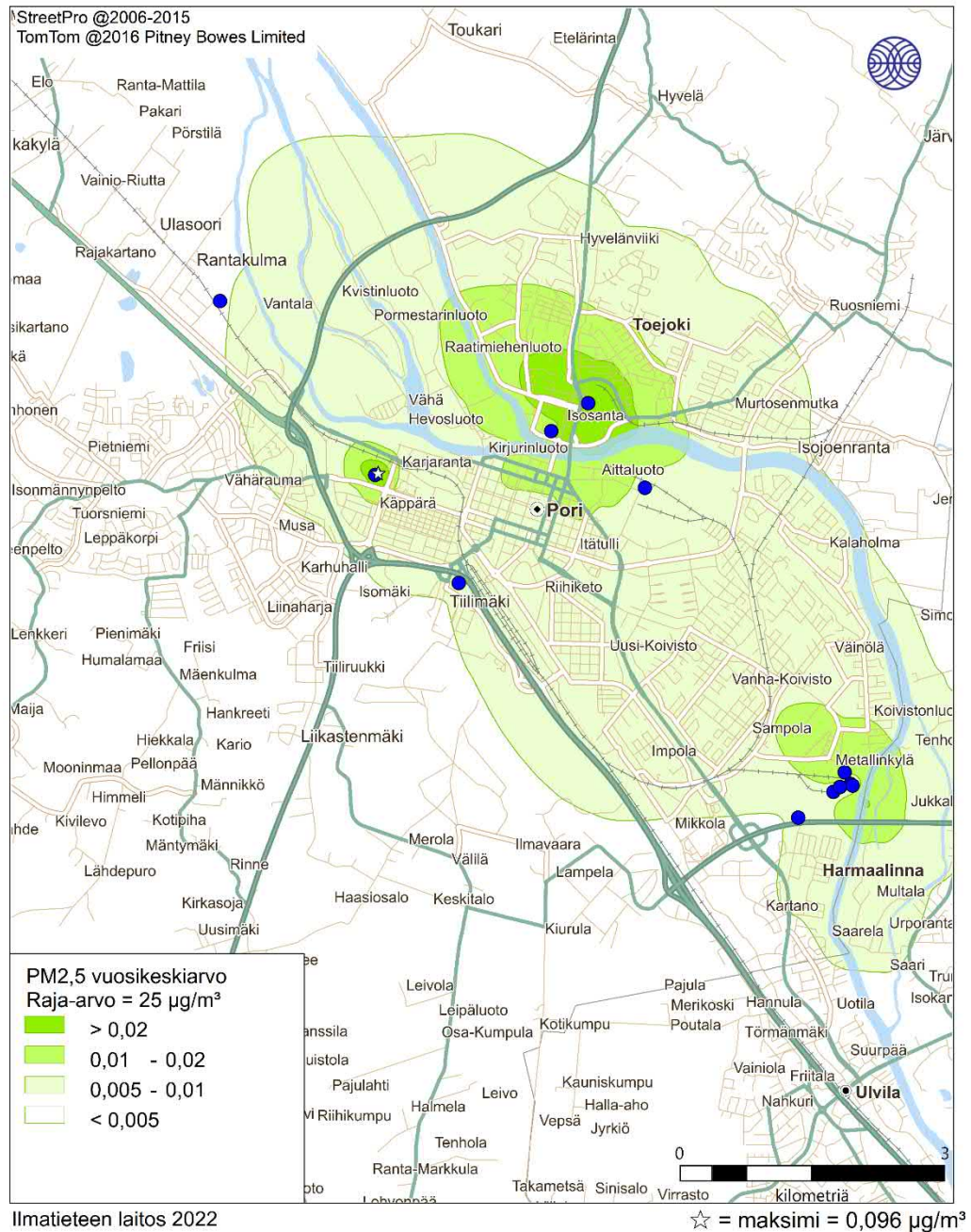


Kuva 10. Autoliikenteen vuotta 2019 edustavien päästöjen yksinään aiheuttama pienhiukkasten vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) Porin keskusta-alueella ilman alueellista taustapitoisuutta.

2.2.3 Energiantuotanto ja teollisuus

Leviämismallilaskelmien tuloksena saadut energiantuotannon ja teollisuuden laitosten pääosin vuotta 2020 edustavien päästöjen aiheuttamat korkeimmat pienhiukkasten vuosikeskiarvopitoisuudet Porissa on esitetty kuvassa 11 sekä liitekuviissa 24–26 ja 33–35. Tulosten mukaan laitosten aiheuttamat korkeimmat pienhiukkasten vuosipitoisuudet ovat hyvin pieniä ja niiden yhteisvaikutus jää koko tarkastelualueella alle 0,1 µg/m³ (raja-arvo 25 µg/m³). Pienhiukkaspitoisuudet ovat suurimmillaan Porin Käppärän hautausmaalla krematorion läheisyydessä matalan piipun korkeuden (5 m) vuoksi. Käppärän krematorion toiminta on

päättymässä vuosien 2023–2024 aikana Mäntyluodontien varteen rakennettavan uuden krematorion käyttöönoton myötä. Kohonneita pitoisuuksia esiintyy myös Toejoella Componenta Finland Oy:n rautavalimon ympäristössä, jossa laitoksen piipun korkeudet ovat 7–18 m sekä Metallinkylän alueella, jossa on useita päästölähteitä suurimpana hiukkaspäästölähteenä Boliden kuparielektrolyysi.



Kuva 11. Energiantuotannon ja teollisuuden vuotta 2020 edustavien päästöjen yksinään aiheuttama pienhiukkasten vuosikeskiarvopitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Porin keskusta-alueella ilman alueellista taustapitoisuutta. Siniset pisteet kuvaavat tarkastelussa mukana olleita energiantuotanto- tai teollisuuslaitoksia.

Energiantuotannon ja teollisuuden vuoden 2020 päästöjen aiheuttamat korkeimmat WHO:n vuorokausiohjearvoon ($15 \mu\text{g}/\text{m}^3$) verrannolliset pienhiukkaspitoisuudet ovat enimmillään $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (liitekuvat 33–35). Korkein vuorokausikeskiarvopitoisuus $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ havaitaan Käppärän

hautausmaan alueella. Suurimmat pienhiukkaspäästölähteet ovat Boliden kuparielektrolyysi, Pori Energian Aittaluodon voimalaitos, Porin Prosessivoiman voimalaitos ja Componenta Finlandin rautavalimo. Pääsääntöisesti teollisuuden ja energiantuotannon päästöjen vaikutus pienhiukkaspitoisuuksiin on hyvin pieni. Teollisuuden ja energiantuotannon päästöt vapautuvat useimmiten korkeista piipuista, jolloin ne leviävät ja laimenevat tehokkaasti eivätkä heikennä ilmanlaatua hengityskorkeudella. Matalista piipuista vapautuvien päästöt voivat olla merkittäviä päästölähteen lähellä, mutta vaikutus ulkoilmapitoisuuksiin jää yleensä varsin paikalliseksi.

Teollisuuden ja energiantuotannon pienhiukkasten pitoisuustuloksia tarkasteltaessa on huomioitava, että mallilaskelmissa on otettu huomioon ainoastaan piipuista ja poistohormeista vapautuvat päästöt. Mallissa ei ole otettu huomioon erilaisista hajapäästölähteistä vapautuvia hiukkaspäästöjä tai erilaisia pölyäviä toimintoja, kuten lastien purkamisia tai kasojen pölyämistä.

2.2.4 Laivaliikenne ja satamatoiminta

Leviämismallilaskelmien tuloksena saadut laivaliikenteen ja satamatoiminnan vuoden 2019 päästöjen yksinään aiheuttamat korkeimmat pienhiukkaspitoisuudet Meri-Porin alueella on esitetty kuvassa 12 sekä liitekuviissa 27 ja 36.

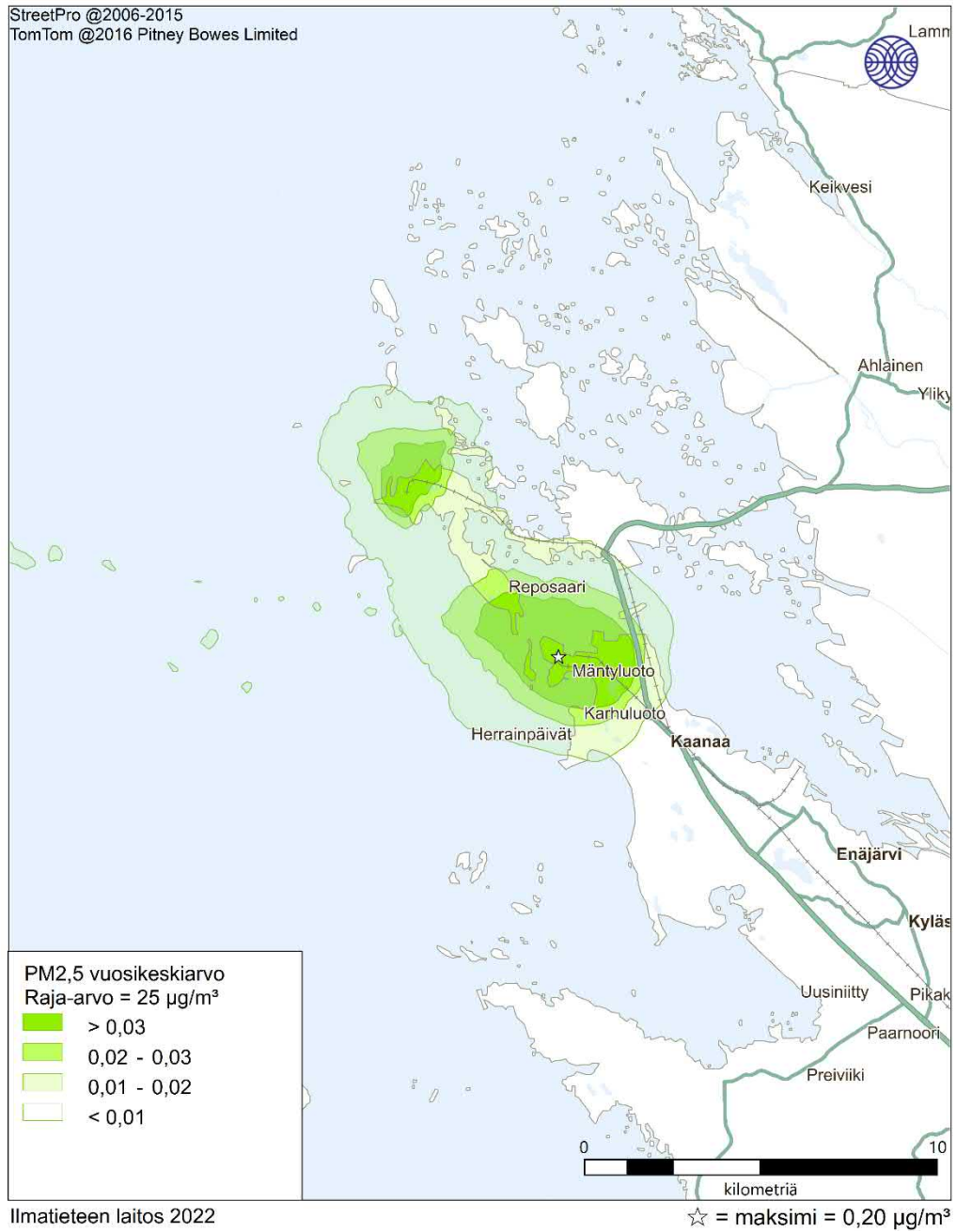
Laivaliikenteen ja satamatoiminnan päästöjen aiheuttamat pienhiukkasten vuosikeskiarvopitoisuudet ovat hyvin pieniä. Pienhiukkaspitoisuudet ovat suurimmillaan Tahkoluodon ja Mäntyluodon satamien läheisyydessä. Korkein pienhiukkasten vuosikeskiarvopitoisuus $0,20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ muodostuu Mäntyluodon satama-alueelle (raja-arvo $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Satamatoiminnot vaikuttavat alueen pienhiukkaspitoisuuksiin laivaväylän liikennettä enemmän.

Laivaliikenteen ja satamatoiminnan päästöjen aiheuttamat WHO:n pienhiukkasten vuorokausiohjearvoon ($15 \mu\text{g}/\text{m}^3$) verrannolliset pitoisuudet ovat korkeimmillaan Mäntyluodon sataman alueella $1,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (liitekuva 36).

Laivaliikenteen pienhiukkasten pitoisuustuloksia tarkasteltaessa on huomioitava, että mallilaskelmissa on otettu huomioon ainoastaan laivojen ja satamakoneiden moottoreista vapautuvat päästöt. Mallilaskelmissa ei ole otettu lainkaan huomioon mahdollisia satama-alueilla laivojen lastauksissa ja lastien purkamisissa aiheutuvaa pölyämistä. Laivaliikenteen hiukkaspäästöt vähenivät merkittävästi vuoden 2015 jälkeen, jolloin Itämeren alueella tuli voimaan laivapolttoaineille suurin sallittu rikkipitoisuusraja $0,1 \%$, mikä vähensi rikkidioksidipäästöjen lisäksi myös hiukkaspäästöjä.



Mäntyluodon satama (kuva Porin Satama Oy)



Kuva 12. Laivaliikenteen ja satamatoiminnan vuotta 2019 edustavien päästöjen yksinään aiheuttama pienhiukkasten vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) Meri-Porissa ilman alueellista taustapitoisuutta.

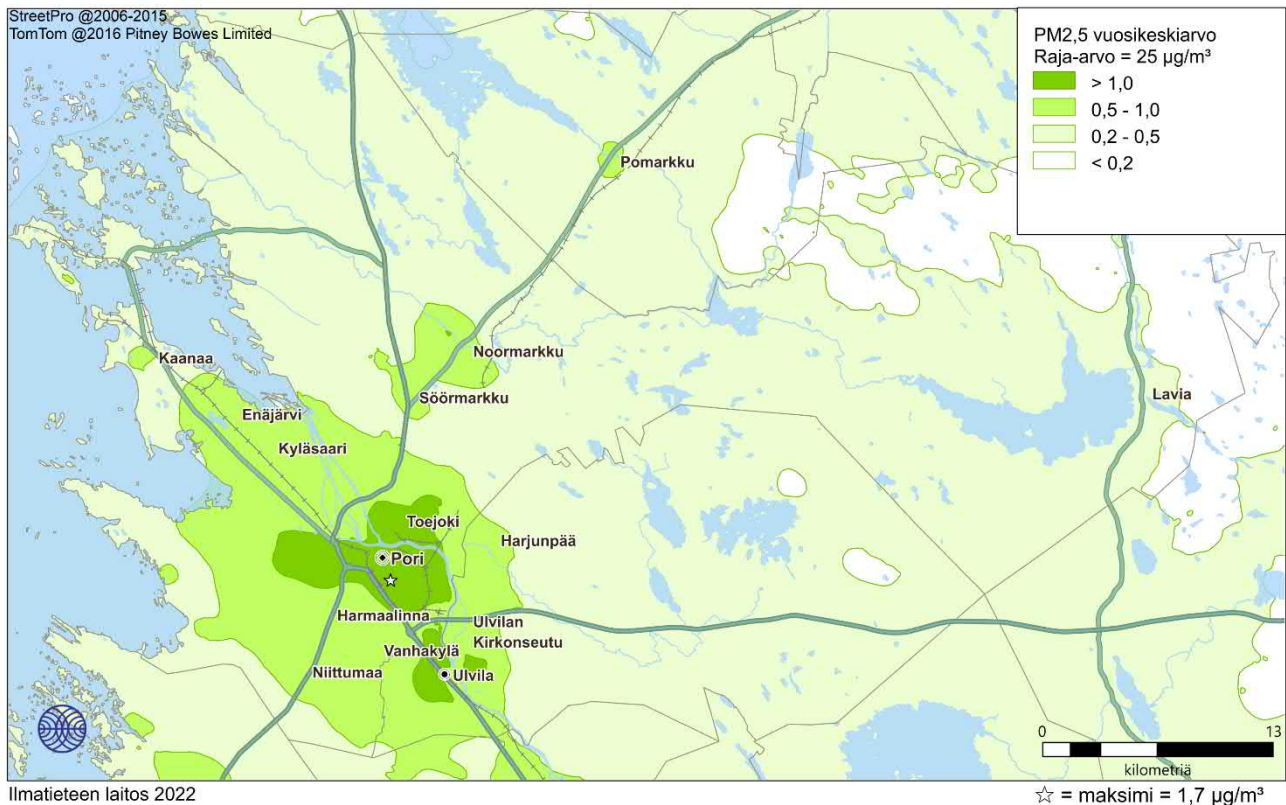
2.2.5 Kiinteistökohtainen lämmitys

Leviämismallilaskelmien tuloksena saadut kiinteistökohtaisen lämmityksen vuoden 2015 päästöjen yksinään aiheuttamat korkeimmat pienhiukkaspitoisuudet Porissa on esitetty kuvassa 13 sekä liitekuviissa 28–29 ja 37–38.

Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttamat pienhiukkaspitoisuudet ovat suurimmillaan tiiviisti rakennetuilla pientaloalueilla Porin kaupunkialueella. Pienhiukkasten vuosikeskiarvopitoisuus on suurimmillaan 1,7 µg/m³ Uusikoiviston pientaloalueella (raja-arvo 25 µg/m³). Mallilaskelmien mukaan kotitalouksien pienpoltto aiheuttaa yli 1 µg/m³ lisän

pienhiukkasten vuosipitoisuuksiin Porin ja naapurikaupunki Ulvilan tiiviimmin rakennetuilla asuinalueilla. Harvemmin asutuilla Porin alueilla ja pienemmissä taajamissa Noormarkussa ja Söörmarkussa kotitalouksien pienpoltto nostaa pienhiukkaspitoisuutta 0,5–1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttamat korkeimmat WHO:n vuorokausiohjeeseen (15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) verrannolliset pienhiukkaspitoisuudet ovat korkeimmillaan 11 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (liitekuvat 37–38). Porin tiiviisti rakennetuilla alueilla pitoisuustaso on 8–11 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ja etäänpästä mm. Pihlavan asuinalueella Meri-Porissa sekä Noormarkussa 5–8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.



Kuva 13. Kiinteistökohtaisen lämmityksen vuotta 2015 edustavien päästöjen yksinään aiheuttama pienhiukkasten vuosikeskiarvopitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Porissa ilman alueellista taustapitoisuutta.

2.3 Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet (PM_{10})

Porissa merkittävin ilmanlaatua ajoittain heikentävä tekijä on katupöly. Katupölykaudella hengitettävien hiukkasten pitoisuudet kohoavat etenkin vilkkaasti liikennöityjen väylien läheisyydessä. Katupölyä esiintyy etenkin keväällä maaliskuusta toukokuuhun lumien sulettua ja katujen kuivuttua sekä loppusyksystä talvirengaskauden alkaessa ennen lumipeitteen tuloa. Leutonevien talvien myötä Porissa on havaittu katupölyä myös keskitalvella. 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

Taulukossa 4 on esitetty leviämismallilaskelmien tuloksena saadut korkeimmat hengitettävien hiukkasten raja- ja ohjearvoihin verrannolliset pitoisuudet Porissa. Korkeimmat pitoisuudet on esitetty päästölähteittäin ja kaikkien päästölähteiden yhteisvaikutuksena. Hengitettävät hiukkaset (hiukkaskokoluokka alle 10 µm) sisältää myös pienhiukkaset (kokoluokka alle 2,5 µm). Hengitettävien hiukkasten kokonaispitoisuuksista energiantuotannon, teollisuuden, laivaliikenteen ja satamatoiminnan osuudet on mallinnettu pienhiukkasina ja autoliikenteen sekä kiinteistökohtaisen lämmityksen hiukkaset on mallinnettu PM₁₀-hiukkasina. Porin kaikkien päästölähteiden päästöjen sekä pienhiukkasten alueellisen taustapitoisuuden yhdessä aiheuttama hengitettävien hiukkasten vuosikeskiarvopitoisuus on esitetty kuvassa 14. Hengitettävien hiukkasten kokonaispitoisuudet on esitetty lisäksi raportin lopussa liitekuviissa 39–40, 44–45 ja 49–50. Hengitettävien hiukkasten pitoisuustuloksia tarkasteltaessa on huomioitava, että mallilaskelmissa ei ole otettu huomioon satama-alueiden työkoneiden mahdollisia pölyviä lastauksia ja liikennöinnin nostattamaa katupölyä. Teollisuuden ja energiantuotannon osalta mallilaskelmissa on otettu huomioon ainoastaan piipuista ja poistohormeista vapautuvat päästöt, eikä laskelmissa ole huomioitu erilaisista hajapäästölähteistä vapautuvia hiukkaspäästöjä tai erilaisia pölyviä toimintoja.

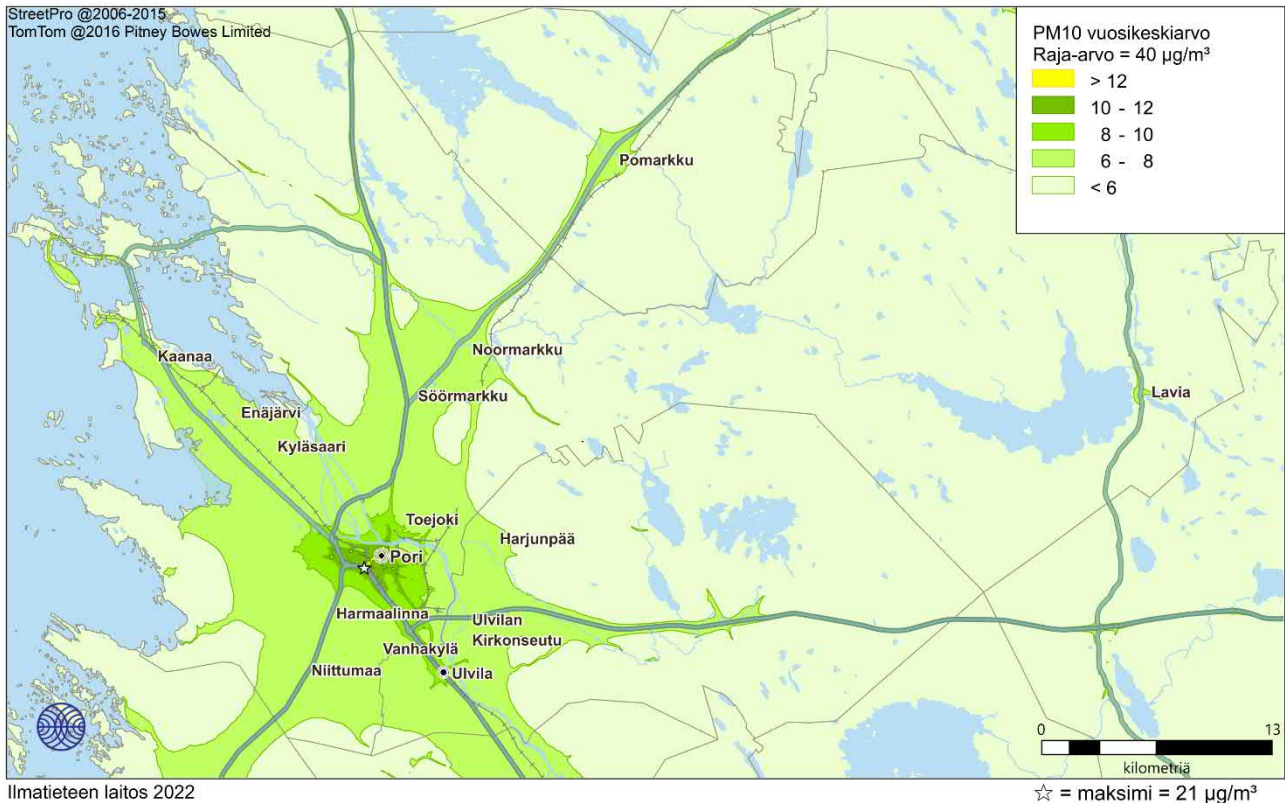
Mallinnetut hengitettävien hiukkasten vuosikeskiarvopitoisuudet alittavat raja-arvot kaikkialla Porissa. Vuosikeskiarvopitoisuus (raja-arvo 40 µg/m³) on Porissa korkeimmillaan reilu puolet raja-arvosta (21 µg/m³). Korkeimmillaan hengitettävien hiukkasten pitoisuudet ovat valtatie 2 Tiilimäen rampin alueella. Porin keskustan vilkkaimmin liikennöidyillä alueilla hengitettävien hiukkasten vuosikeskiarvopitoisuus voi kohota yli 12 µg/m³ ja yleisesti vuosikeskiarvopitoisuus on Porin keskustan alueella 10–12 µg/m³. Meri-Porin alueella, Ulvilassa, laajalti maanteiden varsilla ja maaseututaajamissa (Söörmarkku, Noormarkku, Pomarkku, Lavia) pitoisuustaso on 6–8 µg/m³. Valtaosassa Porin kaupunkia pitoisuudet ovat taustapitoisuuden tasoa, alle 6 µg/m³.

Hengitettävien hiukkasten vuorokausiraja-arvo alittuu kaikkialla Porissa (liitekuvat 44–45). Korkein vuorokausiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus 48 µg/m³ on lähellä vuorokausiraja-arvoa (50 µg/m³, sallitaan 35 ylitystä) valtatie 2 rampin alueella, mutta raja-arvot eivät ole voimassa liikenneväylillä. Vuorokausipitoisuudet voivat kuitenkin ylittää raja-arvotason 50 µg/m³ yhden tai useamman kerran vuoden aikana.

Taulukko 4. Eri päästölähteiden aiheuttamat korkeimmat mallinnetut hengitettävien hiukkasten pitoisuudet (µg/m³) Porissa vuosina 2018–2020. Korkeimmat arvot esiintyvät eri laskentapisteissä eri puolilla tutkimusaluetta. Ohjearvon ylitykset on lihavoitu.

PM ₁₀ (µg/m ³)	Ohje- tai raja-arvo	Auto-liikenne	Energian-tuotanto ja teollisuus	Laiva-liikenne ja satamatoiminta	Kiinteistö-kohtainen lämmitys	Tausta-pitoisuus	Kaikki yhteensä
Vuosikeskiarvo	40	15	0,10 *	0,20 *	1,8	5,4	21
Vuorokausiohjearvo	70	94	1,2 *	1,4 *	17	4,9	104
Vuorokausiraja-arvo	50	40	0,36 *	0,50 *	5,3	4,6	48

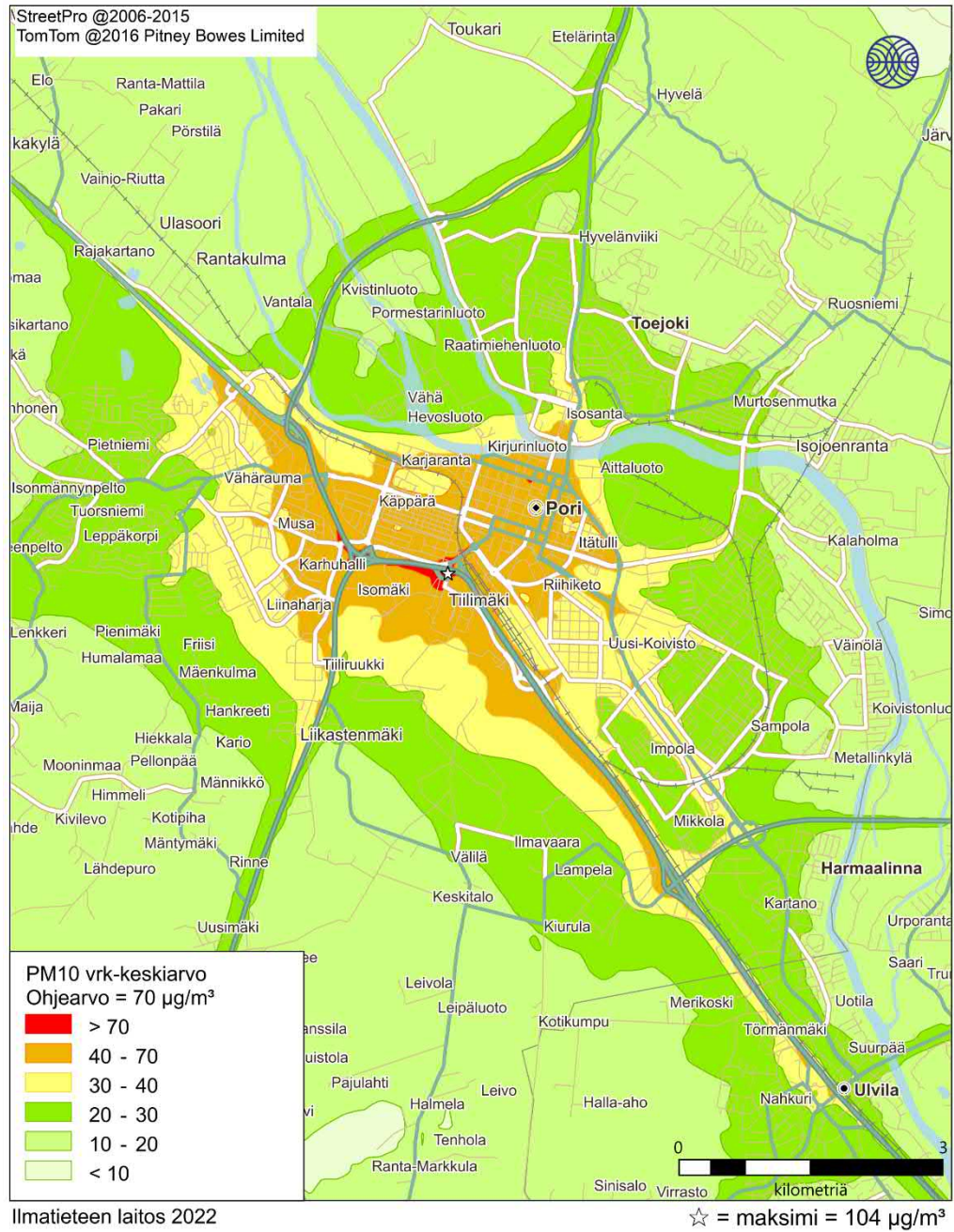
* = Pitoisuus on mallinnettu pienhiukkasina



Kuva 14. Autoliikenteen, energiantuotannon, teollisuuden, laivaliikenteen, satamatoiminnan ja kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen sekä pienhiukkasten alueellisen taustapitoisuuden (pienhiukkasten vuosikeskiarvona 5,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) aiheuttama hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) vuosikeskiarvopitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Porissa.

Porin kaikkien päästölähteiden ja alueellisen taustapitoisuuden yhdessä aiheuttama hengitettävien hiukkasten vuorokausiohjearvoon (70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) verrannollinen pitoisuus on esitetty kuvassa 15. Vuorokausiohjearvo ylittyy vilkkaimmin liikenneöyten valtateiden 2 ja 8 varsilla Porin keskustan kohdalla. Vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus on korkeimmillaan 104 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Porin keskustassa ja liikenneväylien varsilla pitoisuustaso on 40–70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Autoliikenteen katupölypäästöt vaikuttavat selvästi eniten mallinnettuihin pitoisuuksiin ja muilla päästölähteillä on vain vähäinen vaikutus hengitettävien hiukkasten kokonaispitoisuuksiin. Pitoisuudet pienentyvät nopeasti etäisyyden kasvaessa vilkkaimmista liikenneväylistä ja risteysalueista. Katupölypäästöihin ja korkeisiin hetkellisiin hengitettävien hiukkasten pitoisuuksiin voidaan vaikuttaa paikallisesti tehokkaalla katujen kunnossapidolla ja oikea-aikaisella hiekanpoistolla sekä polynsidonnalla.



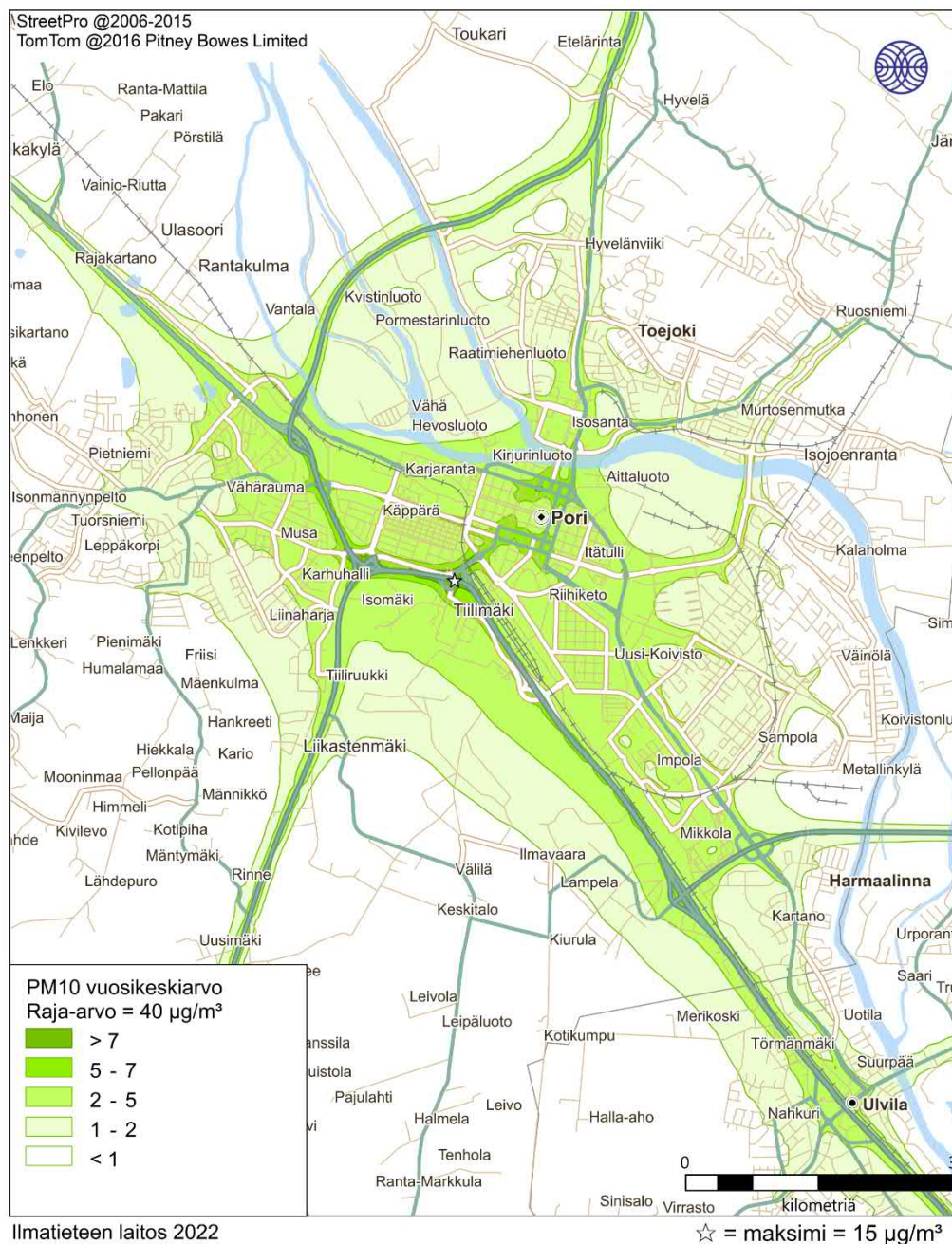
Kuva 15. Autoliikenteen, energiantuotannon, teollisuuden, laivaliikenteen, satamatoiminnan ja kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen sekä pienhiukkasten alueellisen taustapitoisuuden (vuosikeskiarvona 5,4 µg/m³) aiheuttama hengitettävien hiukkasten vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³) Porin keskusta-alueella.

2.3.2 Autoliikenne

Leviämismallilaskelmien tuloksena saadut autoliikenteen vuoden 2019 päästöjen yksinään aiheuttamat korkeimmat hengitettävien hiukkasten vuosikeskiarvopitoisuudet Porissa on esitetty kuvassa 16 sekä liitekuviissa 41 ja 46. Tulosten mukaan hengitettävien hiukkasten vuosikeskiarvopitoisuudet ovat suurimmillaan Porin keskustan vilkkaimpien teiden varsilla ja niiden risteysalueilla, joissa pitoisuus on yli 7 µg/m³. Korkeimmillaan vuosikeskiarvopitoisuus on

valtatie 2 Tiilimäen ramppien alueella $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Porin keskustassa ja isoimpien liikenneväylien varsilla hengitettävien hiukkasten vuosipitoisuus on $2\text{--}5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja maaseutumaisilla alueilla alle $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Autoliikenteen päästöjen aiheuttama hengitettävien hiukkasten pitoisuuden vuorokausiraja-arvo ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) alittuu Porissa. Korkeimmillaan vuorokausiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus on valtatie 2:lla $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Porin keskustassa vuorokausiraja-arvoon verrannolliset pitoisuudet ovat $10\text{--}20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja vilkkaimpien väylien varsilla $5\text{--}20 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Pitoisuudet pienentyvät nopeasti etäisyyden kasvaessa vilkkaimmista teistä (liitekuva 46).



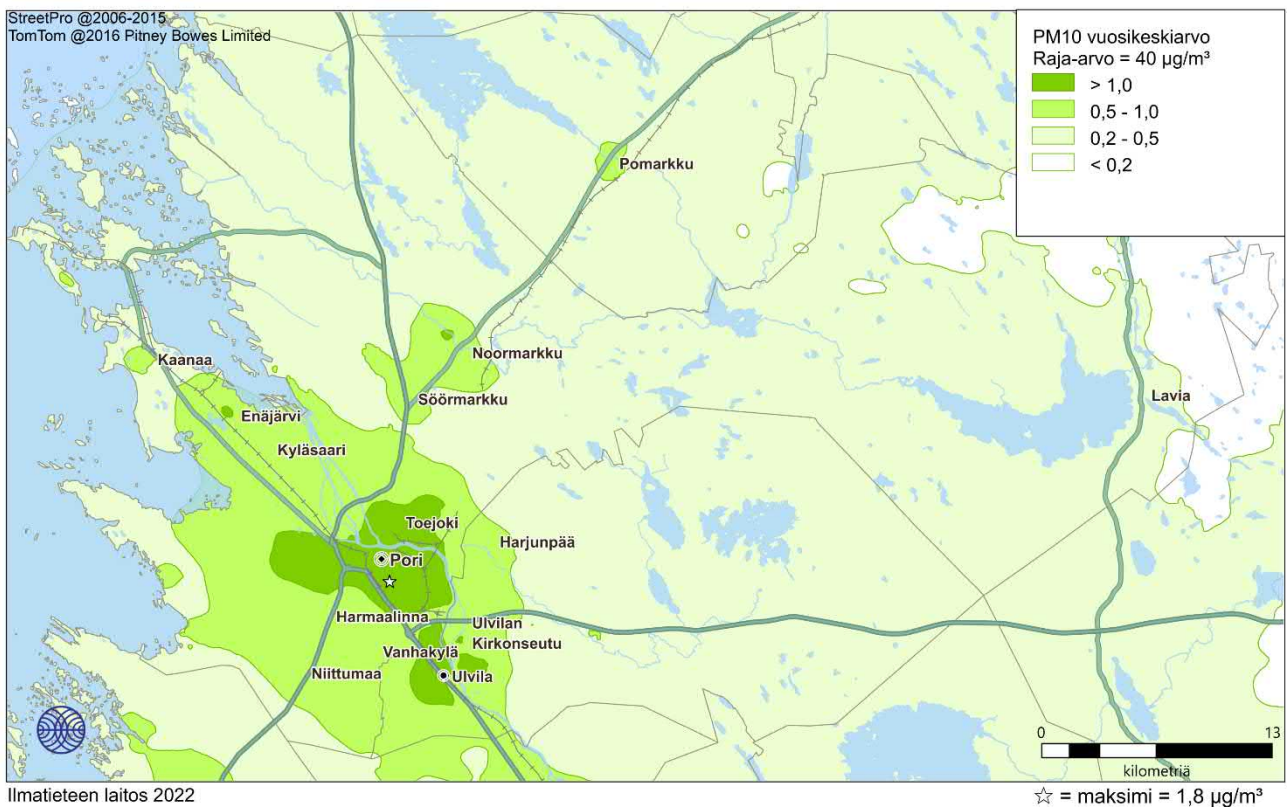
Kuva 16. Autoliikenteen vuotta 2019 edustavien päästöjen yksinään aiheuttama hengitettävien hiukkasten vuosikeskiarvopitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Porin keskusta-alueella ilman alueellista taustapitoisuutta.

2.3.3 Kiinteistökohtainen lämmitys

Leviämismallilaskelmien tuloksena saadut kiinteistökohtaisen lämmityksen vuoden 2015 päästöjen yksinään aiheuttamat korkeimmat hengitettävien hiukkasten pitoisuudet Porissa on esitetty kuvassa 17 sekä liitekuviissa 42–43 ja 47–48.

Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttamat hengitettävien hiukkasten pitoisuudet ovat suurimmillaan tiiviisti rakennetuilla pientaloalueilla Porin kaupunkialueella. Hengitettävien hiukkasten vuosikeskiarvopitoisuus on suurimmillaan $1,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Uusikoiviston pientaloalueella (raja-arvo $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Mallilaskelmien mukaan kotitalouksien pienpoltto aiheuttaa yli $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ hengitettävien hiukkasten vuosipitoisuuksia Porin ja naapurikaupunki Ulvilan tiiviimmin rakennetuilla asuinalueilla. Harvemmin asutuilla Porin alueilla ja pienemmissä taajamissa Noormarkussa ja Söörmarkussa kotitalouksien pienpoltto nostaa pienhiukkaspitoisuutta $0,5\text{--}1 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttamat korkeimmat vuorokausiraja-arvoon ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) verrannolliset hengitettävien hiukkasten pitoisuudet ovat korkeimmillaan $5,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Uusikoiviston pientaloalueella (liitekuvat 47–48). Porin tiiviisti rakennetuilla alueilla pitoisuustaso on $>3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja etäänpästä Porin asuinalueilla sekä Noormarkussa $2\text{--}3 \mu\text{g}/\text{m}^3$.



Kuva 17. Kiinteistökohtaisen lämmityksen vuotta 2015 edustavien päästöjen yksinään aiheuttama hengitettävien hiukkasten vuosikeskiarvopitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Porissa ilman alueellista taustapitoisuutta.

2.4 Rikkidioksidipitoisuudet (SO₂)

Rikkidioksidipitoisuudet ovat Porissa pääsääntöisesti melko pieniä. Kotitalouksien öljylämmityksen päästöt vaikuttavat mallilaskelmien tulosten mukaan rikkidioksidin pitoisuustasoihin eniten Porin keskusta-alueella. Todennäköisesti FRES-mallin päästötiedot kuitenkin yliarvioivat öljylämmityksen rikkidioksidipäästöjä (ks. kpl 2.7.1). Energiantuotanto- ja teollisuuslaitosten sekä satamatoiminnan ja laivaliikenteen päästöillä on paikallinen vaikutus rikkidioksidin pitoisuuksiin lähialueillaan.

2.4.1 Kaikki päästölähteet

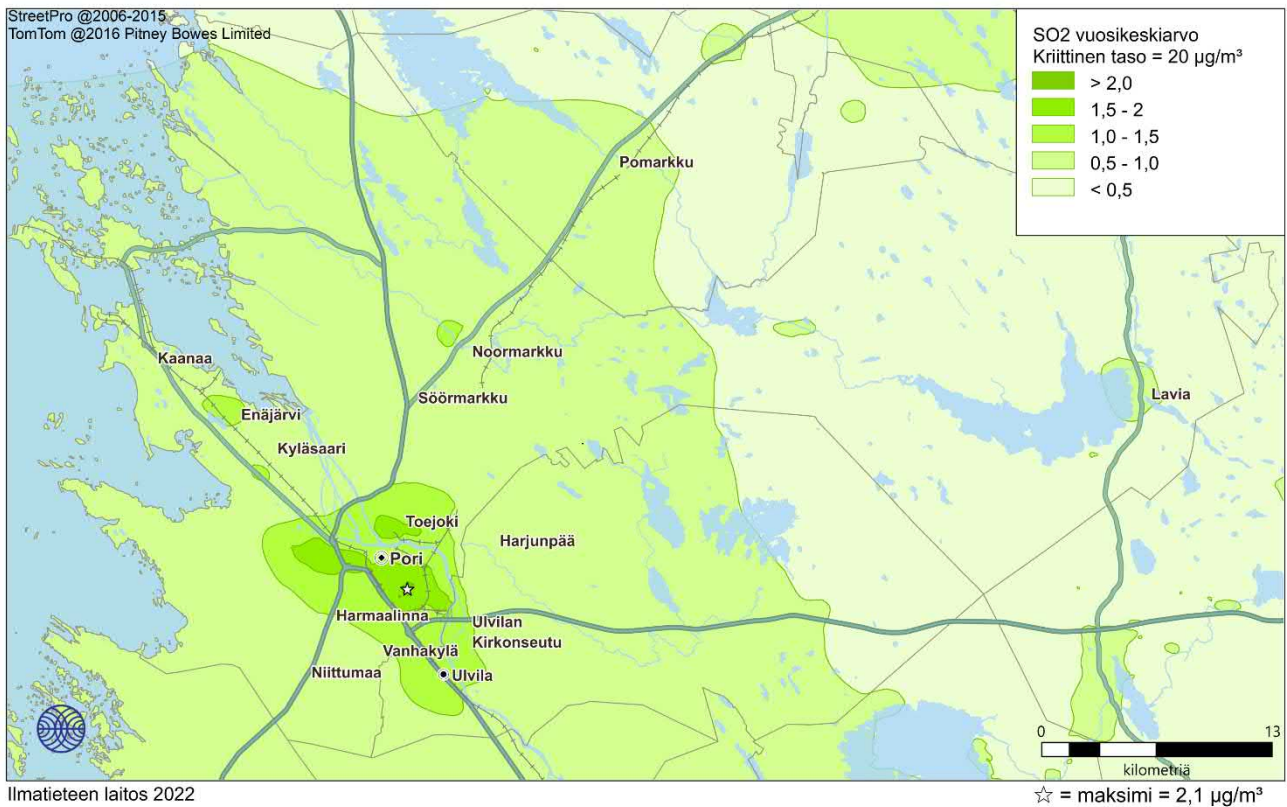
Taulukossa 5 on esitetty leviämismallilaskelmien tuloksena saadut korkeimmat rikkidioksidin raja- ja ohjearvoihin verrannolliset pitoisuudet Porissa. Korkeimmat pitoisuudet on esitetty päästölähteittäin ja kaikkien päästölähteiden yhteisvaikutuksena. Porin energiantuotannon, teollisuuden, laivaliikenteen, satamatoimintojen ja kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen sekä alueellisen taustapitoisuuden yhdessä aiheuttamat korkeimmat rikkidioksidin vuosikeskiarvopitoisuudet on esitetty kuvassa 18 sekä liitekuviissa 51–52 ja 59–60.

Mallinnetut rikkidioksidipitoisuudet alittavat selvästi kaikki ilmanlaadun raja- ja ohjearvot Porissa. Rikkidioksidipitoisuuksien vuosikeskiarvolle annettu kriittinen taso (20 µg/m³) alittuu koko Porin kaupungin alueella selvästi, korkeimpien pitoisuuksien ollessa 2,1 µg/m³. Kriittistä tasoa sovelletaan rakennetun ympäristön ulkopuolella olevilla maa- ja metsätalousalueilla sekä luonnonsuojelun kannalta merkityksellisillä alueilla. Rakennetun ympäristön ulkopuolella rikkidioksidin vuosikeskiarvopitoisuus on alle 1 µg/m³.

Korkeimmat rikkidioksidipitoisuudet esiintyvät Vanhakoiviston pientaloalueella kotitalouksien pienpoltosta johtuen. Suurin vaikutus rikkidioksidipitoisuuksiin on omakotitalojen öljylämmityksellä. Mallinnustulosten vertailu mitattuihin pitoisuuksiin kuitenkin indikoi, että mallinnuksen lähtötietona käytetyt FRES-mallin päästötiedot yliarvioivat merkittävästi öljylämmityksen rikkidioksidipäästöjä. Pienpolton päästöt edustavat vuotta 2014, mutta öljylämmityksen koko ajan vähentyessä ei päästötieto ole enää ajantasainen. Yliarviota voi aiheuttaa myös päästölaskelmissa käytetty lämmitysöljyn rikkipitoisuus <0,1% kun osa markkinoilla olevista lämmitysöljyistä on rikittämiä.

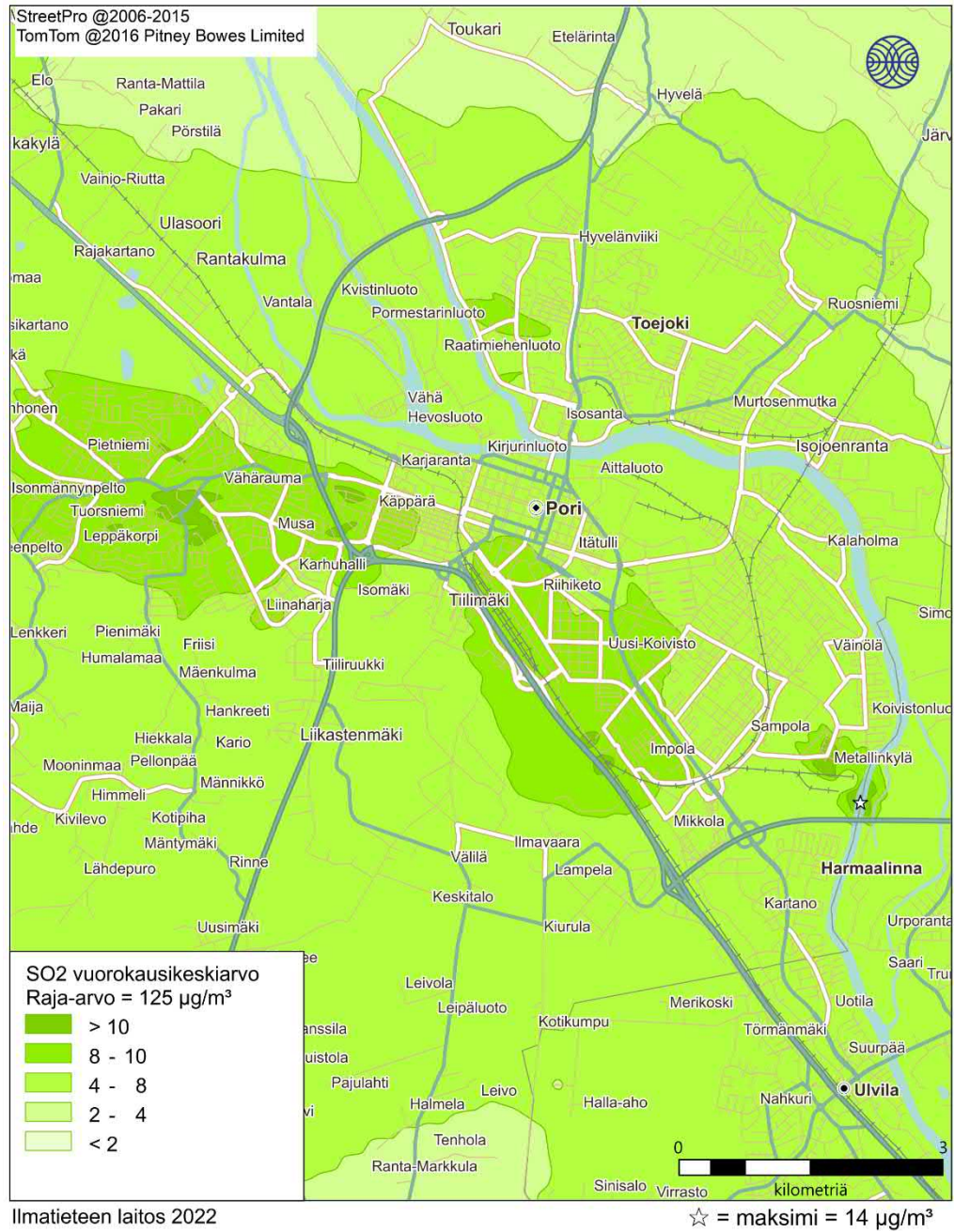
Taulukko 5. Eri päästölähteiden aiheuttamat korkeimmat mallinnetut rikkidioksidipitoisuudet (µg/m³) Porissa vuosina 2018–2020. Korkeimmat arvot esiintyvät eri laskentapisteissä eri puolilla tutkimusaluetta. Raja- ja ohjearvot sekä kriittinen taso alittuivat leviämismallinnuksen perusteella kaikkialla Porissa.

SO ₂	Ohje- tai raja-arvo tai kriittinen taso	Energiantuotanto ja teollisuus	Laiva liikenne ja satamatoiminta	Kiinteistökohtainen lämmitys	Tausta pitoisuus	Kaikki yhteensä
Vuosikeskiarvo	20	1,2	0,034	1,5	0,42	2,1
Vuorokausiohjearvo	80	16	0,91	12	0,40	17
Vuorokausiraja-arvo	125	13	0,75	10	0,42	14
Tuntiohjearvo	250	45	3,4	45	0,41	46
Tuntiraja-arvo	350	38	2,4	34	0,40	38



Kuva 18. Energiantuotannon, teollisuuden, laivaliikenteen, satamatoiminnan ja kiinteistökohtaisen lämmityksen sekä alueellisen taustapitoisuuden (vuosikeskiarvona 0,4 µg/m³) aiheuttama rikkidioksidin (SO₂) vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) Porissa.

Porin kaikkien päästölähteiden ja alueellisen taustapitoisuuden yhdessä aiheuttamat korkeimmat rikkidioksidin vuorokausiraja-arvoon (125 µg/m³) verrannolliset pitoisuudet on esitetty kuvassa 19. Korkeimmat rikkidioksidin vuorokausipitoisuudet muodostuvat Metallinkylän teollisuuskeskittymän läheisyyteen. Korkeimmillaan rikkidioksidin vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus on 14 µg/m³.



Kuva 19. Energiantuotannon, teollisuuden, laivaliikenteen, satamatoiminnan ja kiinteistökohtaisen lämmityksen sekä alueellisen taustapitoisuuden (vuosikeskiarvona $0,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$) aiheuttama rikkidioksidin vuorokausiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Porin keskusta-alueella.

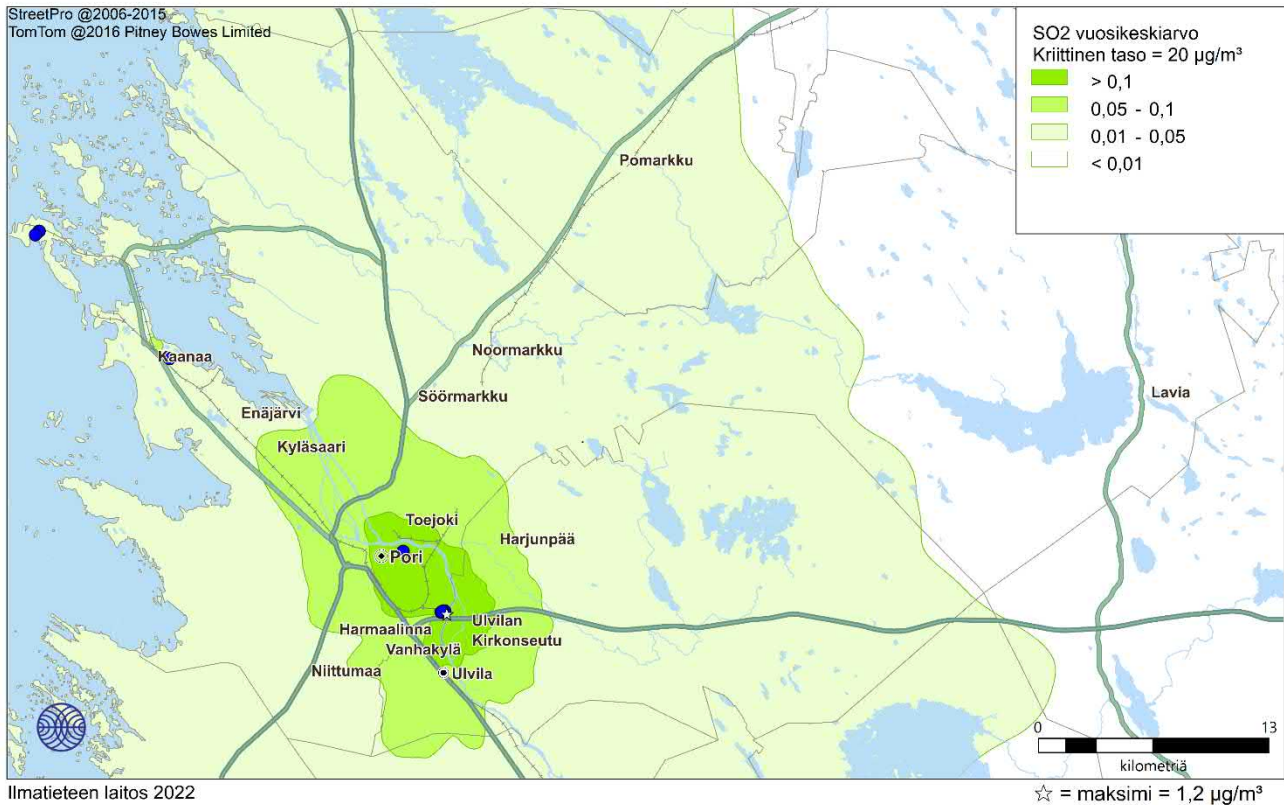
2.4.2 Energiantuotanto ja teollisuus

Leviämismallilaskelmien tuloksena saadut energiantuotannon ja teollisuuden pääosin vuotta 2020 edustavien päästöjen yksinään aiheuttamat korkeimmat rikkidioksidin vuosikeskiarvopitoisuudet Porissa on esitetty kuvassa 20 sekä liitekuviissa 52–55 ja 61–63. Tulosten mukaan laitosten yhdessä aiheuttamat korkeimmat rikkidioksidin vuosipitoisuudet ovat korkeimmillaan $1,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (kriittinen taso $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$) Metallinkylän Kupariteollisuuspuiston alueella. Muualla Porissa rikkidioksidin vuosikeskiarvopitoisuudet ovat varsin pieniä ollen suurimmillaan Porin keskusta-

alueen itäosissa yli $0,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Pitoisuuksien muodostumiseen vaikuttavat eniten Bolidenin kuparielektrolyysin, Pori Energian Aittaluodon voimalaitoksen ja Porin Prosessivoiman voimalaitoksen päästöt. Muiden energiantuotanto- ja teollisuuslaitosten vaikutus rikkidioksidipitoisuuksiin on vähäistä.

Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttamat korkeimmat vuorokausiraja-arvoon ($125 \mu\text{g}/\text{m}^3$) verrannolliset rikkidioksidipitoisuudet ovat korkeimmillaan $13 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Metallinkylän teollisuuslaitosten läheisyydessä (liitekuvat 61–63). Rikkidioksidipitoisuudet ovat noin 3 km etäisyydellä Metallinkylästä yli $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja Porin keskustan alueella $1\text{--}2 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Teollisuuden ja energiantuotannon päästöjen vaikutus ilmanlaatuun on pieni, vaikka laitokset tuottavat valtaosan (66 %) Porin rikkidioksidipäästöistä. Teollisuuden ja energiantuotannon päästöt vapautuvat pääasiassa korkeista piipuista, jolloin ne leviävät ja laimenevat tehokkaasti eivätkä heikennä ilmanlaatua hengityskorkeudella.

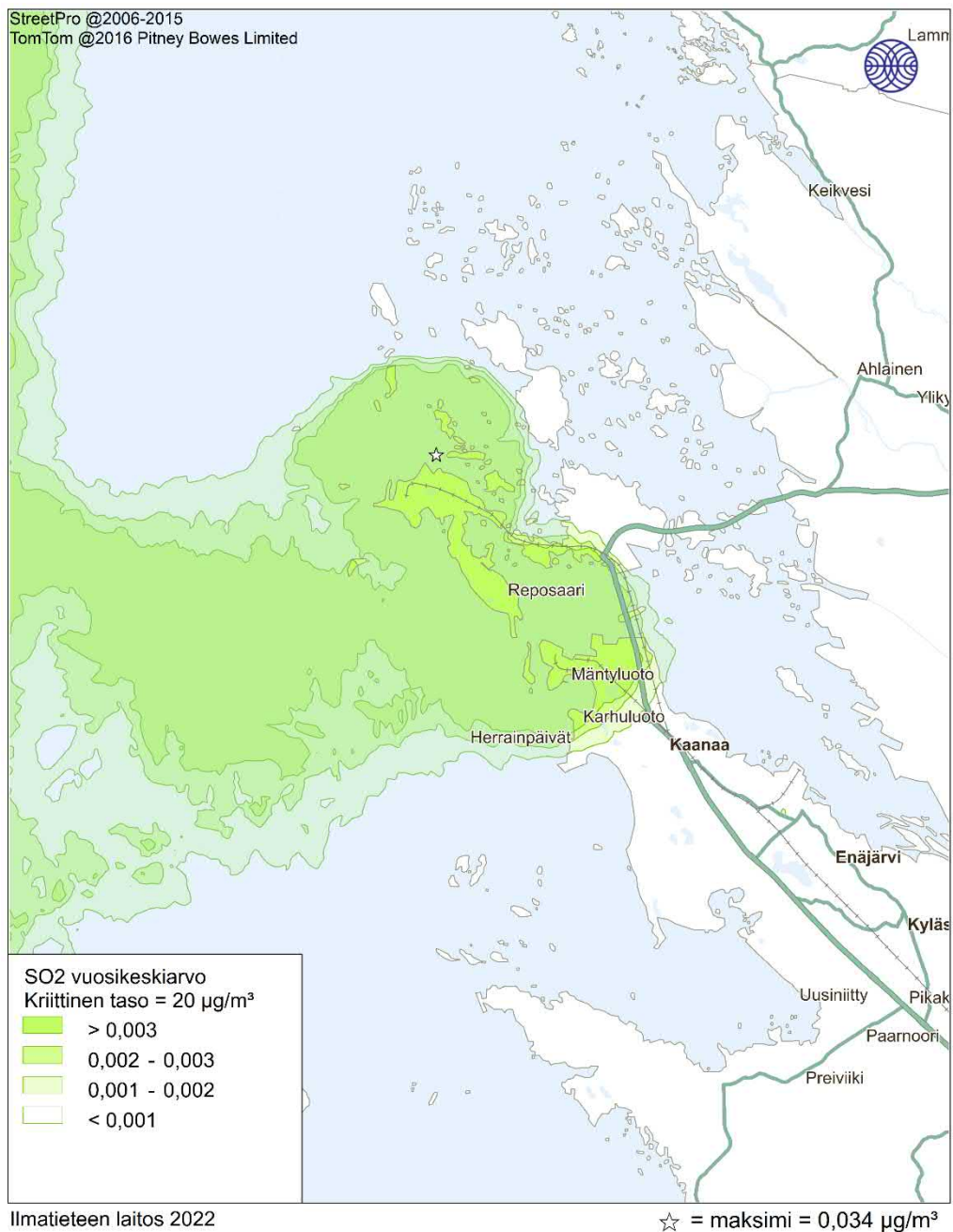


Kuva 20. Energiantuotannon ja teollisuuden vuotta 2020 edustavien päästöjen yksinään aiheuttama rikkidioksidin vuosikeskiarvopitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Porissa ilman alueellista taustapitoisuutta. Siniset pisteet kuvaavat mallinnuksessa mukana olleita energiantuotanto- tai teollisuuslaitoksia.

2.4.3 Laivaliikenne ja satamatoiminta

Leviämismallilaskelmien tuloksena saadut laivaliikenteen ja satamatoiminnan vuoden 2019 päästöjen yksinään aiheuttamat korkeimmat rikkidioksidipitoisuudet Porissa on esitetty kuvassa 21 sekä liitekuvin 56 ja 64.

Laivaliikenteen ja satamatoiminnan päästöjen yksinään aiheuttamat rikkidioksidipitoisuudet ovat nykyisin laivapolttoaineen rikkipitoisuusrajoitusten vuoksi hyvin pieniä. Suurimmillaan rikkidioksidipitoisuudet ovat Porissa Tahkoluodon ja Mäntyluodon satamien läheisyydessä. Vuosikeskiarvopitoisuudet ovat kuitenkin hyvin alhaisia ja korkeimmillaankin rikkidioksidipitoisuus on Tahkoluodon sataman lähellä vain $0,034 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (kriittinen taso $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Laivaliikenteen päästöt kohottavat rikkidioksidipitoisuuksia satama-alueiden lisäksi myös laivaväylien alueella noin $0,003 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Laivaliikenteen ja satamatoiminnan päästöjen aiheuttamat rikkidioksidin vuorokausiraja-arvoon ($125 \mu\text{g}/\text{m}^3$) verrannolliset pitoisuudet ovat korkeimmillaan Tahkoluodon sataman alueella $0,75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (liitekuva 64).



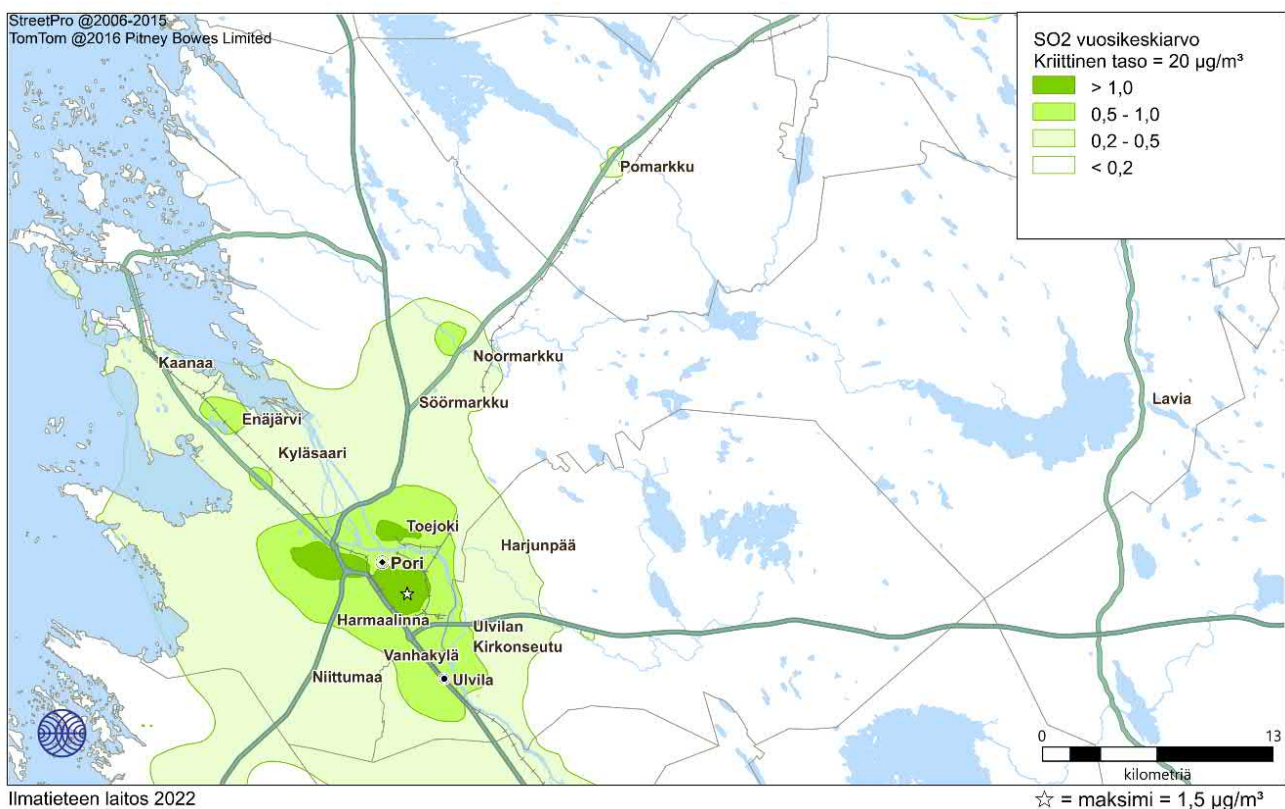
Kuva 21. Laivaliikenteen ja satamatoiminnan vuotta 2019 edustavien päästöjen yksinään aiheuttama rikkidioksidin vuosikeskiarvopitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Meri-Porissa ilman alueellista taustapitoisuutta.

2.4.4 Kiinteistökohtainen lämmitys

Leviämismallilaskelmien tuloksena saadut kiinteistökohtaisen lämmityksen vuoden 2015 päästöjen yksinään aiheuttamat korkeimmat rikkidioksidipitoisuudet Porissa on esitetty kuvassa 22 sekä liitekuviissa 57–58 ja 65–66.

Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttamat rikkidioksidipitoisuudet ovat suurimmillaan tiiviisti rakennetuilla pientaloalueilla ja taloissa, joissa on päälämmitysmuotona käytössä öljylämmitys. Rikkidioksidin vuosikeskiarvopitoisuus on suurimmillaan $1,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Vanhakoiviston pientaloalueella (kriittinen taso $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Mallilaskelmien mukaan kotitalouksien pienpoltto aiheuttaa yli $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ rikkidioksidin vuosipitoisuuksia Porin tiiviimmin rakennetuilla pientaloalueilla mm. Vähärauman, Uusikoiviston, Vanhakoiviston ja Toejoen asuinalueilla.

Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttamat korkeimmat vuorokausiraja-arvoon ($125 \mu\text{g}/\text{m}^3$) verrannolliset rikkidioksidipitoisuudet ovat korkeimmillaan $9,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (liite kuvat 65–66). Porin tiiviisti rakennetuilla asuinalueilla pitoisuustaso on $>6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja etäänpästä Porin asuinalueilla $4\text{--}6 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

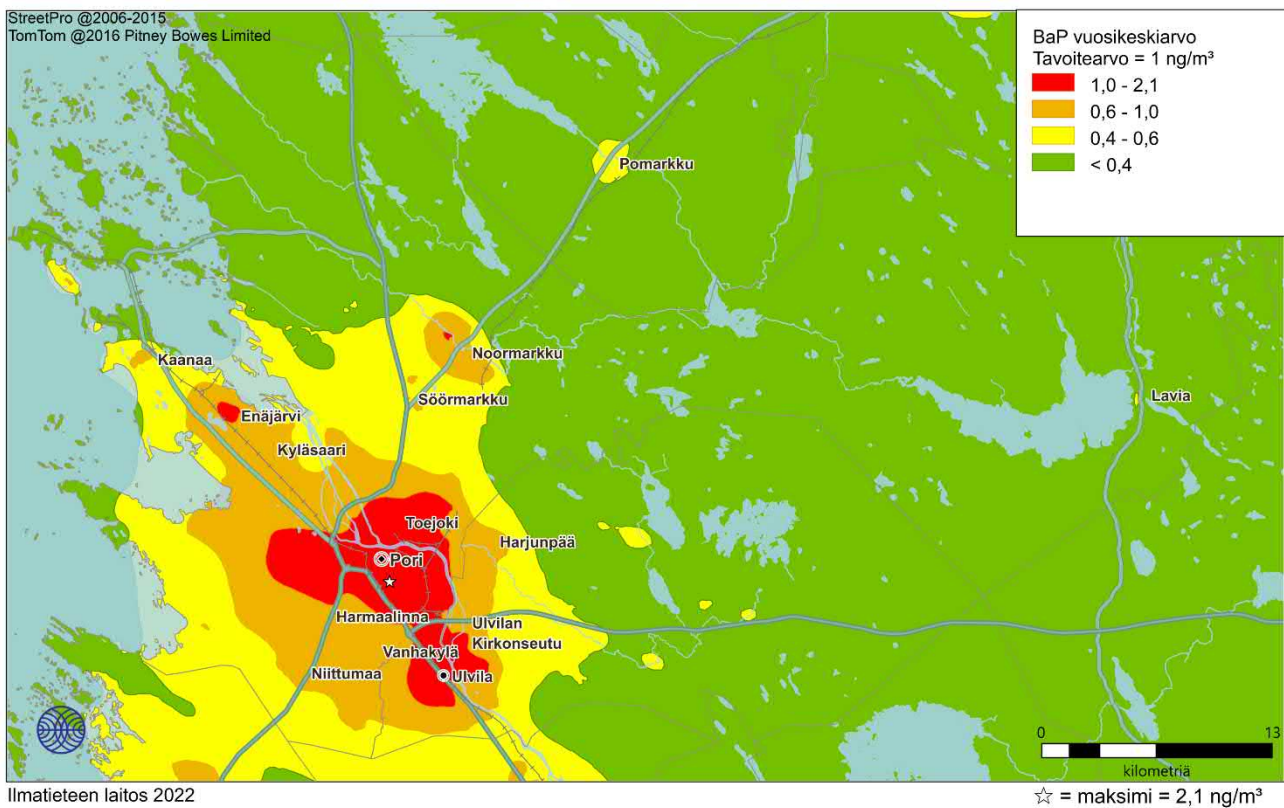


Kuva 22. Kiinteistökohtaisen lämmityksen vuotta 2015 edustavien päästöjen yksinään aiheuttama rikkidioksidin vuosikeskiarvopitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Porissa ilman alueellista taustapitoisuutta.

2.5 Bentso(a)pyreenipitoisuudet

Leviämismallilaskelmien tuloksena saadut kiinteistökohtaisen lämmityksen puunpolton päästöjen aiheuttamat korkeimmat bentso(a)pyreenin vuosikeskiarvopitoisuudet Porissa on esitetty kuvassa 23 ja liitekuviissa 67–69. Bentso(a)pyreenin pitoisuustuloksissa on huomioitu vain rakennusten lämmityslähteiden aiheuttamat puunpolton päästöt ilman alueellista taustapitoisuutta. Hyytiälän maaseututausta-aseamalla bentso(a)pyreenin taustapitoisuuden vuosikeskiarvo on ollut $0,10 \text{ ng/m}^3$ vuosina 2018 ja 2019 (*Ilmatieteen laitos, 2021*). Leviämismallilaskelmien mukaan kiinteistökohtaisen lämmityksen puunpolton päästöjen aiheuttamat suurimmat bentso(a)pyreenipitoisuudet syntyvät Porin keskustan ja Ulvilan pientaloalueiden kohdalle sekä pienille alueille Meri-Porin Pihlavaan ja Noormarkkuun. Näillä alueilla bentso(a)pyreenipitoisuuden vuosikeskiarvo ylittää tavoitearvon 1 ng/m^3 . Bentso(a)pyreenipitoisuuden ylempi arviointikynnys $0,6 \text{ ng/m}^3$ ylittyy laajemmin Porin asuinalueilla ja Noormarkussa. Alempi arviointikynnys $0,4 \text{ ng/m}^3$ ylittyy Porin ja Ulvilan kaupunkien etelärajalta Noormarkun korkeudelle asti. Porin harvemmin asutuilla alueilla kaupungin pohjoisosassa ja idässä Lavian alueella bentso(a)pyreenin vuosipitoisuudet ovat tasolla $0,1\text{--}0,4 \text{ ng/m}^3$.

Ilmanlaadun jatkuvia mittauksia on tehtävä seuranta-alueilla, joilla ylempi arviointikynnys ylittyy. Seuranta-alueilla, joilla pitoisuudet ovat ylemmän ja alemman arviointikynnyksen välillä, ilmanlaadun arvioimiseksi voidaan käyttää jatkuvien ja suuntaa-antavien mittausten sekä mallintamistekniikoiden yhdistelmää. Ylemmän ja alemman arviointikynnyksen ylittyminen määritetään viiden edellisen vuoden pitoisuuksien perusteella. Arviointikynnys katsotaan ylittyvän vasta, kun kynnyksen lukuarvo on ylittynyt vähintään kolmena vuonna viiden vuoden aikana.



Kuva 23. Kiinteistökohtaisen lämmityksen vuotta 2015 edustavien päästöjen aiheuttama bentso(a)pyreenin vuosikeskiarvopitoisuus (ng/m^3) Porissa ilman alueellista taustapitoisuutta.

2.6 Arseenin ja raskasmetallien pitoisuudet

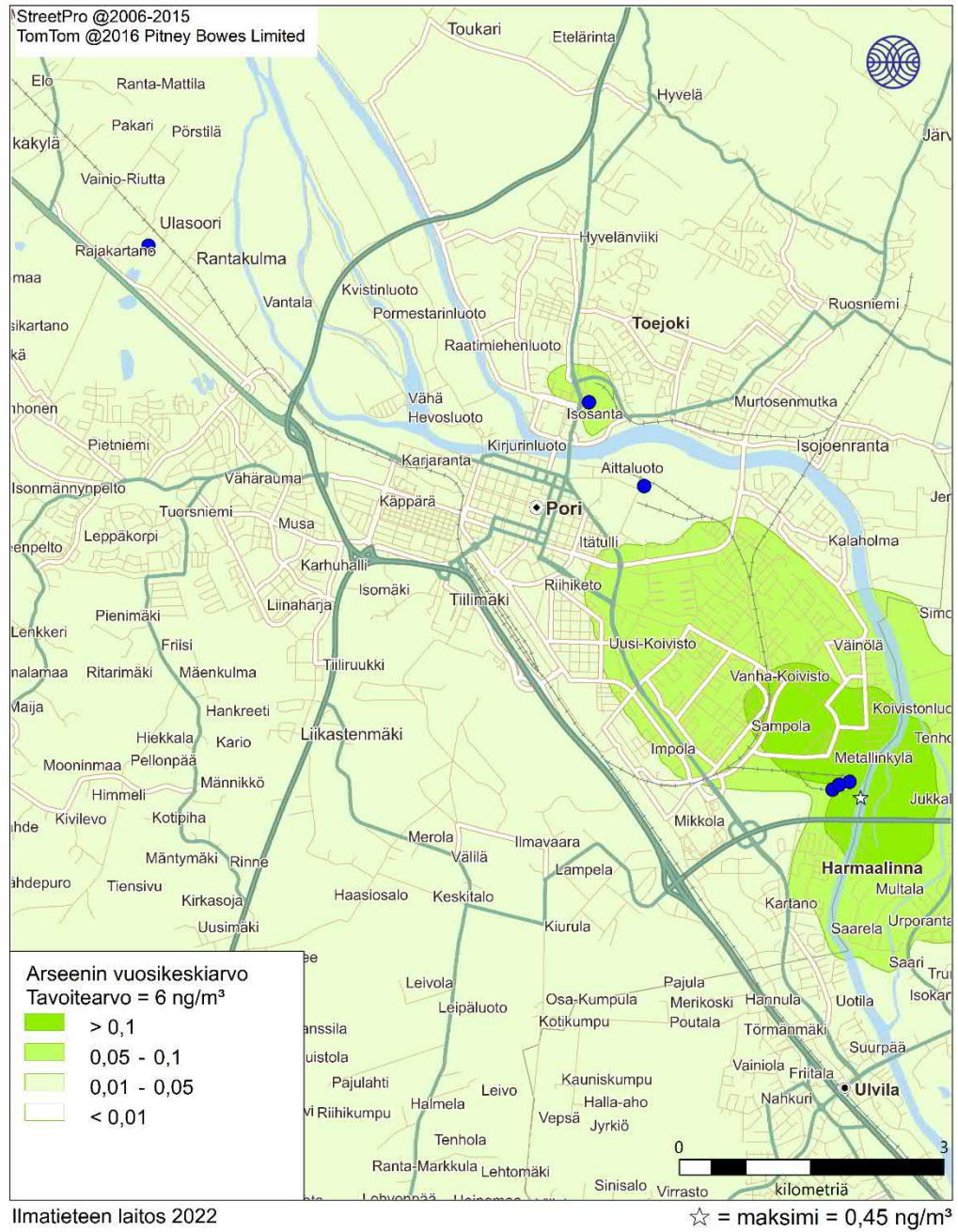
Leviämismallilaskelmien avulla tarkasteltiin Porin energiantuotanto- ja teollisuuslaitosten raskasmetallipäästöjen leviämistä ja pitoisuuksien muodostumista Porin alueelle. Mallilaskelmissa on huomioitu vain laitosten päästöt ilman alueellisia taustapitoisuuksia. Mallilaskelmin tarkasteltiin arseenin ja 12 raskasmetallin päästöjä: alumiini, kadmium, koboltti, kromi, kupari, elohopea, mangaani, nikkeli, lyijy, vanadiini, rauta ja sinkki. Taulukossa 6 on esitetty mallinnettujen raskasmetallien korkeimmat vuosikeskiarvopitoisuudet Porissa. Alueen energiantuotanto- ja teollisuuslaitoksilla ei ole rautapäästöjä, joten niitä ei ole merkitty taulukkoon. Metalleille, joille on annettu raja-arvo (lyijy) tai tavoitearvot (arseni, kadmium, nikkeli) on esitetty myös pitoisuuksien aluejakaumat koko Porin alueella, Porin keskustassa ja Meri-Porin alueella liitekuviissa 70–72 (arseni), 73–75 (kadmium), 76–78 (nikkeli) ja 79–81 (lyijy).

Leviämismallilaskelmien tuloksena saadut energiantuotannon ja teollisuuden vuotta 2020 edustavien metallipäästöjen aiheuttamat arseenin ja raskasmetallien pitoisuudet ovat hyvin pieniä. Korkeimmat arseenin vuosikeskiarvopitoisuudet Porin keskusta-alueella on esitetty kuvassa 24. Tulosten mukaan laitosten yhdessä aiheuttama arseenin vuosipitoisuus on korkeimmillaan $0,45 \text{ ng/m}^3$ (tavoitearvo 6 ng/m^3) Metallinkylän Kupariteollisuuspuiston alueella. Pitoisuuksien muodostumiseen vaikuttaa eniten Metallinkylässä sijaitsevan Bolidenin kuparielektrolyysin päästöt. Lisäksi pienempiä päästöjä tulee Componenta Finlandin rautavalimosta, Fortumin Meri-Porin lauhdevoimalaitoksesta, Pori Energian Aittaluodon ja Porin Prosessivoiman voimalaitoksista.

Korkeimmat nikkelin vuosikeskiarvopitoisuudet Meri-Porin alueella on esitetty kuvassa 25. Laitosten yhdessä aiheuttama korkein nikkelin vuosipitoisuus $0,014 \text{ ng/m}^3$ (tavoitearvo 20 ng/m^3) muodostuu Tahkoluodon edustalle Fortumin Meri-Porin lauhdevoimalaitoksen päästöjen vuoksi. Nikkelipitoisuuksien muodostumiseen vaikuttavat Porissa myös Aittaluodon voimalaitoksen päästöt.

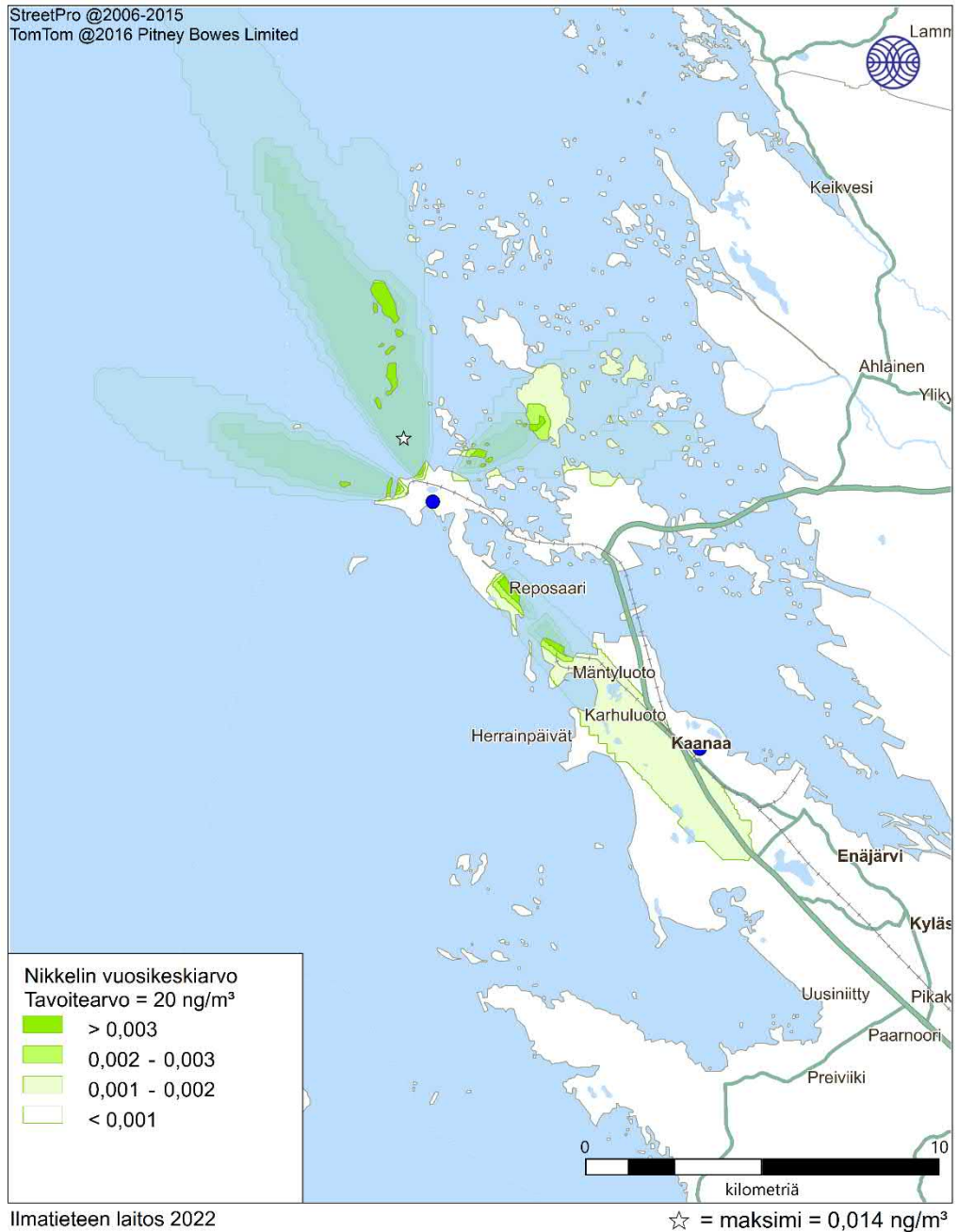
Taulukko 6. Metalliteollisuuslaitosten aiheuttamat korkeimmat mallinnetut arseenin ja raskasmetallien vuosikeskiarvopitoisuudet ($\mu\text{g/m}^3$) Porissa vuosina 2018–2020. Korkeimmat arvot esiintyvät eri las-kentapisteissä eri puolilla tutkimusalueetta.

Metalli	Raja- tai tavoitearvo	Vuosikeskiarvopitoisuus
Alumiini		$0,066 \text{ ng/m}^3$
Arseeni	6 ng/m^3	$0,45 \text{ ng/m}^3$
Elohopea		$0,32 \text{ ng/m}^3$
Kadmium	5 ng/m^3	$0,36 \text{ ng/m}^3$
Koboltti		$0,005 \text{ ng/m}^3$
Kromi		$0,004 \text{ ng/m}^3$
Kupari		$0,86 \text{ ng/m}^3$
Lyijy	$0,5 \mu\text{g/m}^3$	$0,000035 \mu\text{g/m}^3$
Mangaani		$0,006 \text{ ng/m}^3$
Nikkeli	20 ng/m^3	$0,014 \text{ ng/m}^3$
Vanadiini		$0,29 \text{ ng/m}^3$
Sinkki		938 ng/m^3



Kuva 24. Energiantuotannon ja teollisuuden vuotta 2020 edustavien metallipäästöjen aiheuttama arseenin vuosikeskiarvopitoisuus (ng/m³) Porin keskustan alueella ilman alueellista taustapitoisuutta.

Mallilaskelmien mukaan korkeimmat kadmiumpitoisuudet 0,36 ng/m³ (tavoitearvo 5 ng/m³) muodostuvat Kupariteollisuuspuiston alueelle. Suurimpia kadmiumpäästölähteitä Porissa ovat Pori Energian Aittaluodon ja Porin Prosessivoiman voimalaitokset.



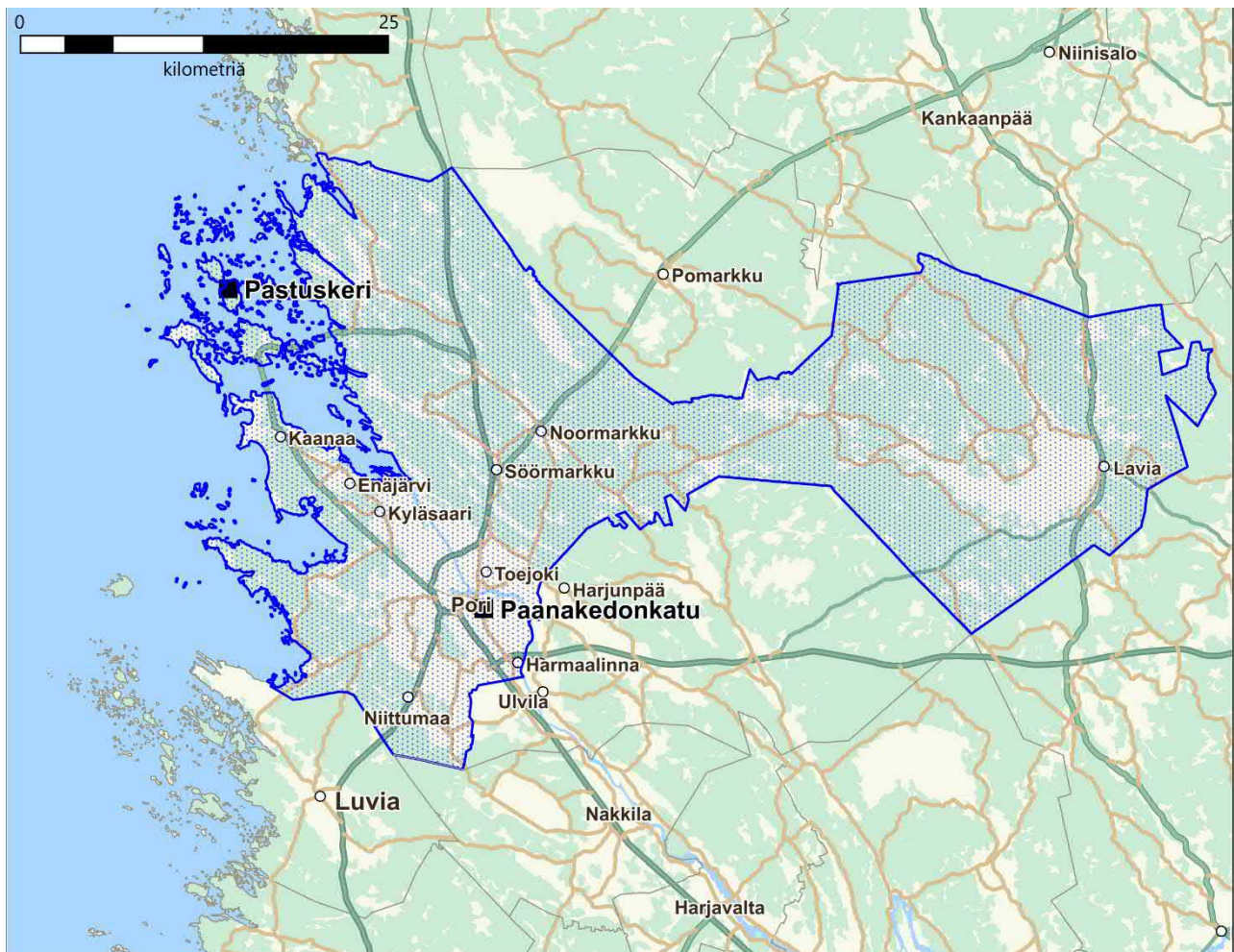
Kuva 25. Energiantuotannon ja teollisuuden vuotta 2020 edustavien metallipäästöjen aiheuttama nikkelin vuosikeskiarvopitoisuus (ng/m³) Meri-Porissa ilman alueellista taustapitoisuutta.

Korkeimmat lyijypitoisuudet 0,000035 µg/m³ (tavoitearvo 0,5 µg/m³) muodostuvat Componenta Finland Oy:n metallitehtaan läheisyyteen Toejoelle. Lyijypitoisuudet ovat koholla myös Kupariteollisuuspuiston ympäristössä. Merkittävimpiä lyijypäästölähteitä Porissa ovat Pori Energian Aittaluodon voimalaitos, Componenta Finland Oy:n rautavalimo, Bolidenin kuparielektrolyysi ja Porin Prosessivoiman voimalaitos.

2.7 Mallilaskelmien tulosten arviointi

2.7.1 Mallinnettujen pitoisuuksien vertailu ilmanlaadun mittaustuloksiin

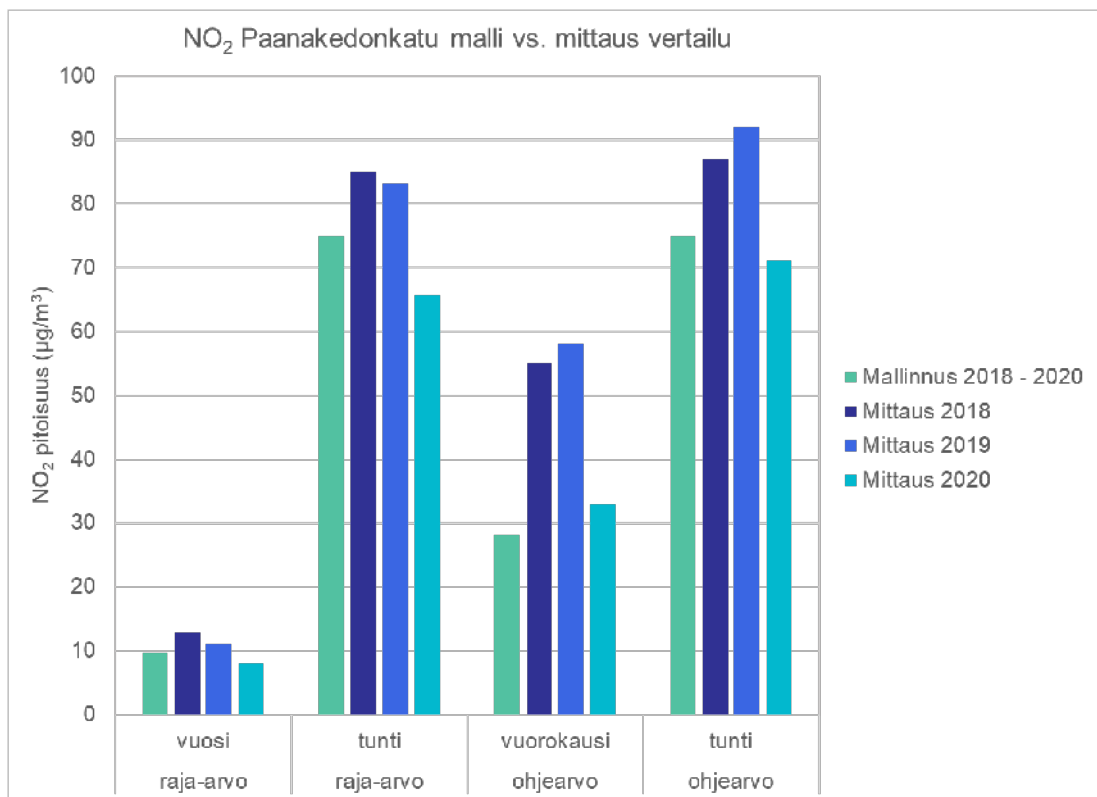
Mallituloksia ja mallilaskelmissa käytettyjen lähtötietojen oikeellisuutta arvioidaan vertaamalla mallinnettuja pitoisuuksia ilmanlaadun mittausasemilla mitattuihin pitoisuuksiin. Porissa on mitattu ulkoilman epäpuhtauksien pitoisuuksia vuosina 2018–2020 kahdella mittausasemalla: Paanakedonkadulla ja Pastuskerissa (kuva 26). Porin keskustassa sijaitsevalla Paanakedonkadun ilmanlaadun mittausasemalla seurataan pääasiassa liikenteen päästöjen vaikutuksia ilmanlaatuun. Myös läheisen Itätullin pientaloalueen kotitalouksien puunpoltto voi vaikuttaa Paanakedon mittaustuloksiin. Paanakedonkadulla mitataan typen oksidien, hengitettävien hiukkasten, pienhiukkasten ja rikkidioksidin pitoisuuksia. Pastuskerin saarella sijaitseva mittausasema on taustamittausasema ja siellä seurataan Meri-Porin tuotantolaitosten vaikutuksia ilmanlaatuun. Pastuskerissa mitataan ulkoilman rikkidioksidipitoisuutta. Bentso(a)pyreenin tai metallien pitoisuuksia Porissa ei ole mitattu. Mittausasemilla pitoisuuksia mitataan 4 metrin korkeudella maanpinnasta, mihin myös mittausasemien kohdille mallinnetut pitoisuudet on laskettu (*Porin kaupungin ympäristö- ja lupapalvelut 2019 ja 2020; Porin kaupungin elinvoima- ja ympäristötoimiala, 2021*).



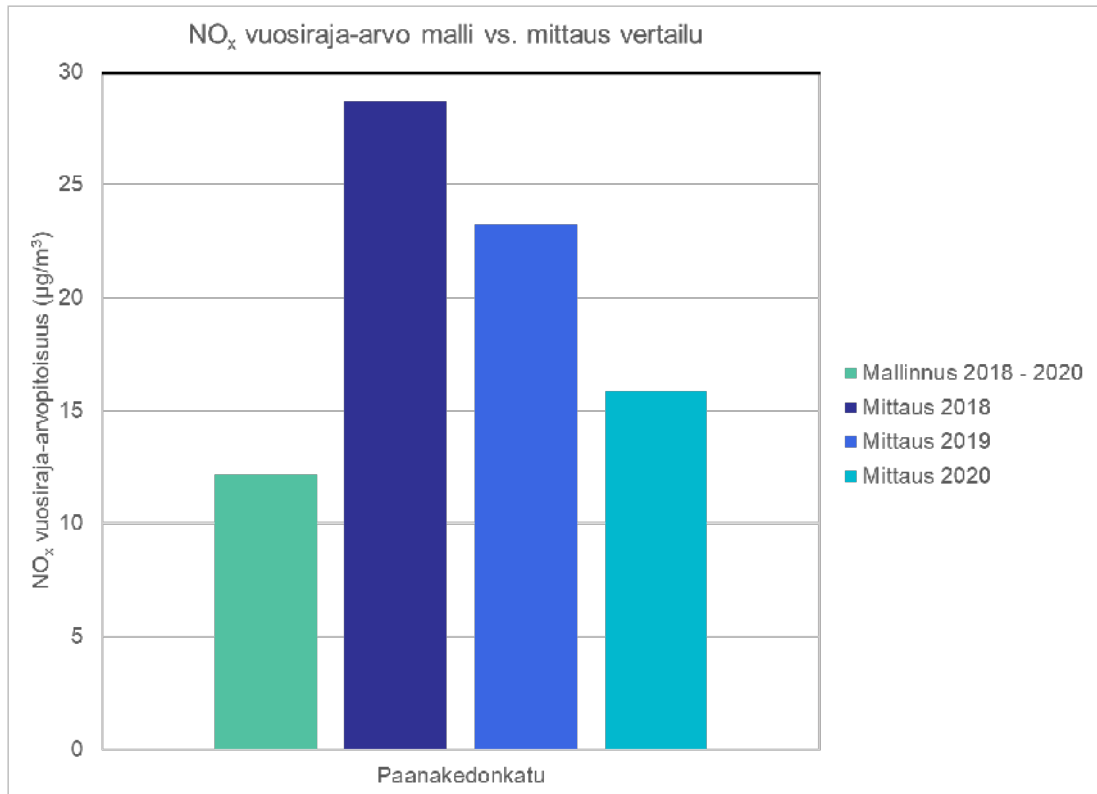
Kuva 26. Porin ilmanlaadun mittausasemat Paanakedonkadulla ja Pastuskerissa.

Mallinnettuja pitoisuustuloksia on verrattu vuosina 2018–2020 ilmanlaadun mittausasemilla mitattuihin pitoisuuksiin, koska mallinnuksessa käytetty meteorologinen aineisto kattoi vuodet 2018–2020. Mallinnus on tehty pääosin vuoden 2019 päästötiedoilla, joten mallitulosten tulisi parhaiten vertautua juuri vuoden 2019 mittauksiin. Mallinnetuissa pitoisuuksissa oli mukana autoliikenteen, energiantuotannon, teollisuuden, laivaliikenteen, satamatoiminnan ja kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttamat pitoisuudet sekä alueelliset taustapitoisuudet. Ilmanlaatuasetuksen (79/2017) mukainen laatutavoite mallintamisen epävarmuudelle on typpidioksidi-, typenoksidi- ja rikkidioksidipitoisuuksien vuosikeskiarvolle 30 % ja vuorokausiarvoille 50 % sekä hiukkaspitoisuuksien vuosikeskiarvolle 50 %. Epävarmuus määritetään enimmäispoikkeamana mitatuista ja mallinnetuista raja-arvoihin verrannollisista pitoisuuksista ottamalla huomioon tapahtumien ajoitusta.

Typpidioksidi- ja typenoksidipitoisuuksien malli-mittausvertailut on esitetty kuvissa 27 ja 28. Mallinnetut typpidioksidin vuosikeskiarvo- ja tuntipitoisuudet vastasivat hyvin mitattuja pitoisuuksia, mutta vuorokausiohjearvoon verrannollisten pitoisuuksien ero mitattuihin oli suurempi. Mallinnettujen ja mitattujen typpidioksidin vuosikeskiarvopitoisuuksien ero vaihteli välillä 11–25 % ja ohjearvoon verrannollisten vuorokausipitoisuuksien välillä 15–52 %. Mallinnettujen ja mitattujen tuntiraja-arvoon ja -ohjearvoon verrannollisten pitoisuuksien ero vaihteli välillä 6–19 %. Laatutavoitteet mallintamisen epävarmuudelle täyttyivät lukuunottamatta vuoden 2019 typpidioksidin vuorokausiohjearvopitoisuuksia. Vuoden 2020 alhaisiin typpidioksidi- ja typenoksidipitoisuuksiin vaikutti koronapandemian aiheuttama liikennemäärien ja sen myötä typenoksidipäästöjen merkittävä vähentyminen. Mallinnetut typen oksidien vuosipitoisuudet aliarvioivat selvästi mitattuja pitoisuuksia ja laatutavoite täyttyy vain poikkeusvuotena 2020 (ero 23–58 %).

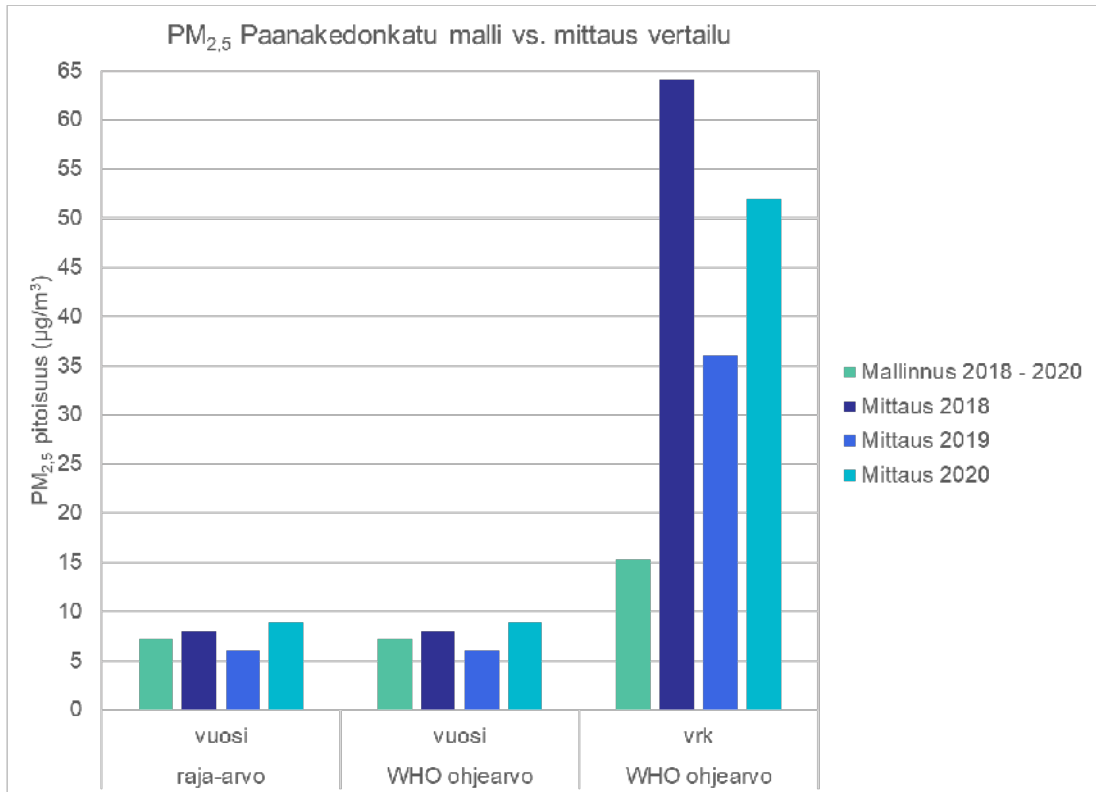


Kuva 27. Mallinnettujen ja mitattujen typpidioksidin raja- ja ohjearvoihin verrannollisten pitoisuuksien vertailu Porin Paanakedonkadun ilmanlaadun mittausasemalla.



Kuva 28. Mallinnettujen ja mitattujen typen oksidin kriittiseen tasoon ($30 \mu\text{g}/\text{m}^3$) verrannollisten vuosikeskiarvopitoisuuksien vertailu Porin Paanakedonkadun ilmanlaadun mittausasemalla.

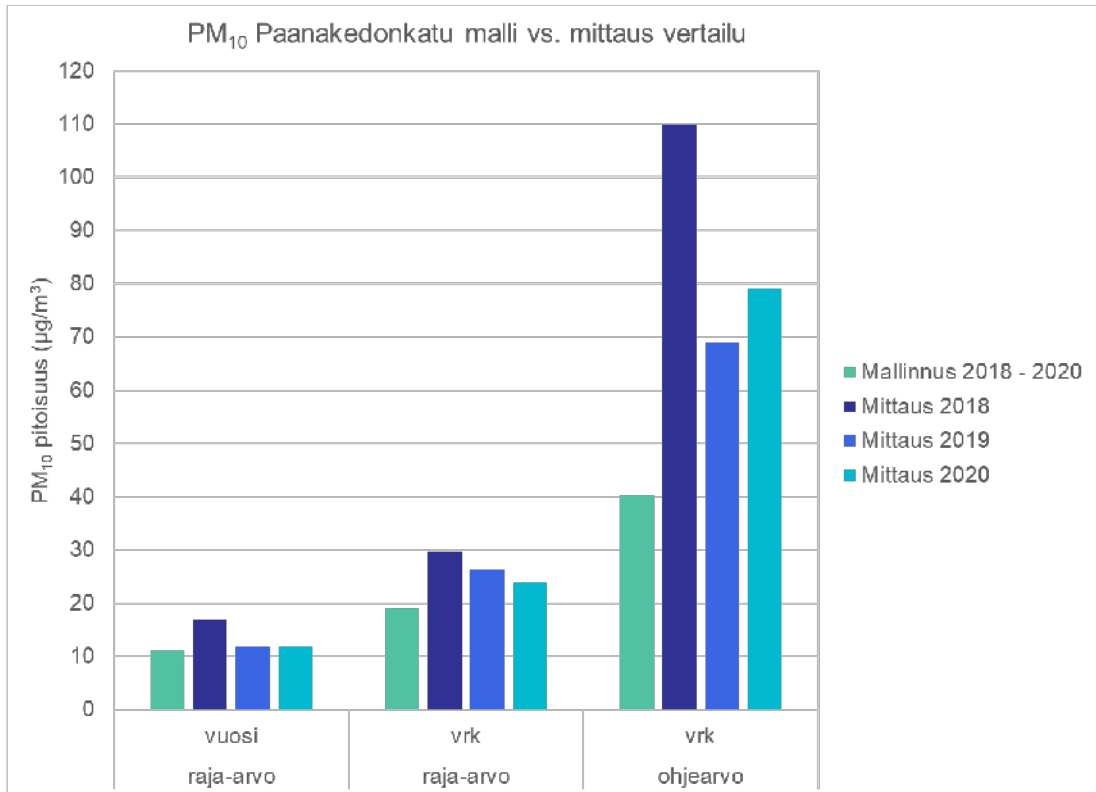
Pienhiukkaspitoisuuksien malli-mittausvertailu on esitetty kuvassa 29. Mallinnettu vuosikeskiarvopitoisuus vastasi hyvin mitattua pienhiukkaspitoisuutta eroten mitatusta 6–9 %. Laatutavoite hiukkaspitoisuuden mallintamisen epävarmuudelle täyttyi selvästi. Mallinnettu WHO:n vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus jäi alle puoleen mitatuista vuoden 4. korkeimmista vuorokausipitoisuuksista. Pienhiukkaspitoisuuksia on mitattu Paanakedonkadulla vuodesta 2018 vuoden 2020 toukokuun loppuun saakka menetelmällä, joka ei ole mittausstandardin mukainen (Environnement MP101M-laitteeseen liitetty optinen yksikkö CPM). Fidas 200-mittalaite otettiin käyttöön 1.6.2020 ja sen jälkeen WHO:n ohjearvotaso $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ei enää ylittynyt loppuvuonna 2020. Leviämismalli puolestaan aliarvioi korkeimpia lyhytaikaisia kaukokulkeumasta johtuvia hiukkaspitoisuuksia, koska taustapitoisuus kuvataan malliin kuukausikohtaisina tuntikeskiarvoina, jolloin kaukokulkeumaepisodiin aiheuttamat korkeat hetkelliset pienhiukkaspitoisuudet tasoittuvat taustapitoisuuden keskiarvoistukseen. Lokakuussa 2018 oli pienhiukkasten kaukokulkeumaepisodi, jolloin mitattiin korkeita hiukkaspitoisuuksia useimmilla mittausasemilla Etelä- ja Keski-Suomessa ja kaikkein korkeimmat pienhiukkaspitoisuudet havaittiin Utön taustailmanlaadun mittausasemalla. Tällöin myös Porin Paanakedonkadulla mitattiin pienhiukkasten vuorokausipitoisuudeksi $64 \mu\text{g}/\text{m}^3$.



Kuva 29. Mallinnettujen ja mitattujen pienhiukkasten raja-arvoon ja WHO:n ohjearvoihin verrannollisten pitoisuuksien vertailu Porin Paanakedonkadun ilmanlaadun mittausasemalla.

Hengitettävien hiukkasten malli-mittausvertailut on esitetty kuvassa 30. Mallinnettu vuosikeskiarvopitoisuus vastasi melko hyvin mitattua hengitettävien hiukkasten pitoisuutta eroten mitatusta 8–35 %. Mallintamisen laatutavoite hiukkasten vuosikeskiarvopitoisuuksille täyttyi kaikkina tarkasteluvuosina. Leviämismalli pääsääntöisesti aliarvioi hengitettävien hiukkasten vuorokausipitoisuuksia. Hengitettävien hiukkasten vuorokausiraja-arvoon verrannolliset pitoisuudet erosivat mitatuista 20–35 % ja vuorokausiohjearvoon verrannolliset pitoisuudet 42–63 %. Eniten eroa mallinnettujen mitattujen pitoisuuksien välillä oli vuonna 2018.

Vuoden 2018 kevät-pölykausi oli pitkä ja hankala ja hengitettävien hiukkasten vuorokausiraja-arvon numeroarvon ylittyi Paanakedonkadulla 18 vuorokautena, mikä on selvästi keskimääräistä enemmän (2019: 6 ylitystä ja 2020: 3 ylitystä). Katupölykautta pidensivät pitkään jatkunut kuiva ja heikkotuulinen korkeapainesää sekä katujen puhdistustöitä hidastanut kevään pakkasjakso (*Porin kaupungin ympäristö- ja lupapalvelut, 2019*). Vuoden 2020 huhti-heinäkuussa Paanakedonkadun liikenneympyrätyömaan takia liikenne ohjattiin kiertotietä pitkin kauempaa mittausasemasta, mikä näkyi mittaustuloksissa pienempinä pitoisuuksina ja keskimääräistä vähäisempänä ylitysmääränä (*Porin kaupungin elinvoima- ja ympäristötoimiala, 2021*). Leviämismallilla ei saatu kuvattua todenmukaisesti näitä olosuhteita. Katupölypäästömallissa liikenteen PM₁₀-päästön määrä perustuu todellisiin havaintuihin sääolosuhteisiin ja sääolosuhteiden perusteella arvioituihin hiekoitusajankohtiin. Katupölypäästön määrässä ei siten ole otettu huomioon todellisia hiekoitusten ajankohtia, hiekoitusmääriä ja katujen puhdistamisen ja pölynsidonnan vaikutusta pölypäästöön.

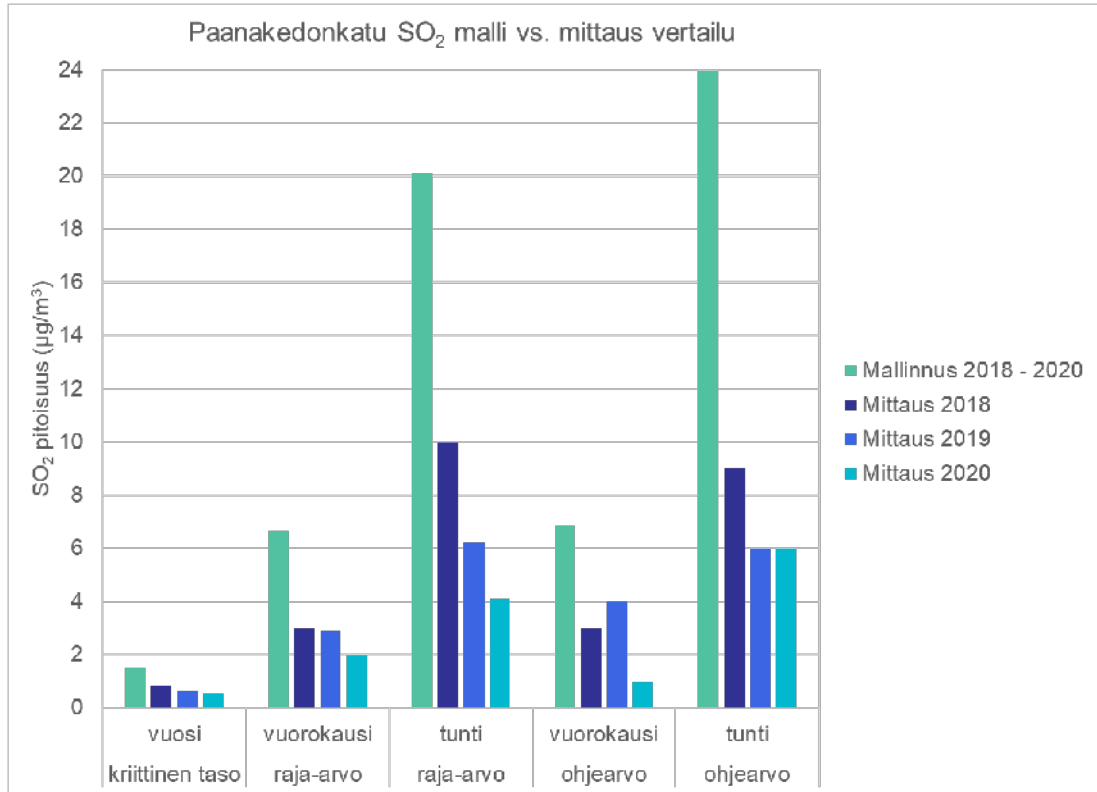


Kuva 30. Mallinnettujen ja mitattujen hengitettävien hiukkasten raja- ja ohjearvoihin verrannollisten pitoisuuksien vertailu Porin Paanakedonkadun ilmanlaadun mittausasemalla.

Rikkidioksidipitoisuuksien malli-mittausvertailut Porin Paanakedonkadulla ja Pastuskerissa on esitetty kuvissa 31–32. Mallinnetut rikkidioksidipitoisuudet olivat Paanakedonkadulla selvästi suurempia kuin mitatut pitoisuudet. Mallinnettujen ja mitattujen rikkidioksidin vuosikeskiarvopitoisuuksien ero vaihteli Paanakedonkadulla välillä 78–175 %. Toisaalta mallinnetut rikkidioksidin vuosipitoisuudet olivat Pastuskerissa vähän pienempiä kuin mitatut. Ero mallinnettujen ja mitattujen pitoisuuksien välillä oli Pastuskerin mittausaseman kohdalla 22–30 %. Laatutavoitteet mallintamisen epävarmuudelle eivät täyttyneet Paanakedonkadulla, mutta ne täyttyivät Pastuskerissa vuosi- ja vuorokausipitoisuuksien osalta kaikkina vuosina ja tuntipitoisuuksien osalta vuosina 2019–2020. Mallinnettuja rikkidioksidipitoisuuksia kohotti Paanakedonkadun mittausaseman kohdalla kotitalouksien öljylämmitys, jonka päästöt ovat selvä yliarvio FRES-päästömallissa. Pienpolton päästöt edustavat vuotta 2014 ja koska öljylämmitys lämmitysmuotona on vähentynyt koko ajan ei päästötieto ole enää ajantasainen. Rikkidioksidipäästöt voivat olla yliarvio myös sen vuoksi, että päästölaskelmissa lämmitysöljyn rikkipitoisuus on ollut <0,1%, mutta osa markkinoilla olevista lämmitysöljyistä on rikittämiä.

Porin teollisuuden ja energiantuotannon rikkidioksidin kokonaispäästömäärät laskivat vuonna 2020 merkittävästi edellisvuosiin verrattuna. Vuonna 2020 rikkidioksidipäästöt olivat noin 200 t/a kun ne vielä vuonna 2018 olivat noin 700 t/a. Päästömäärien voimakkaan laskun syynä olivat erityisesti Pori Energian Aittaluodon uuden biokattilalaitoksen käyttöönotto, Fortum Power and Heat Oy:n Meri-Porin voimalaitoksen siirtyminen tehoreserviin sekä Venator P&A Finland Oy:n Porin pigmenttitehtaan toimiminen vajaalla teholla (*Porin kaupungin elinvoima- ja ympäristötoimiala, 2021*). Rikkidioksidipäästöjen pieneneminen näkyy myös Paanakedonkadun rikkidioksidin vuosikeskiarvopitoisuuksien tasaisena laskuna. Rikkidioksidin mitattuihin lyhytaikaispitoisuuksiin vaikuttavat merkittävästi teollisuuden hetkelliset korkeat päästöt häiriötilanteissa. Leviämismallilla

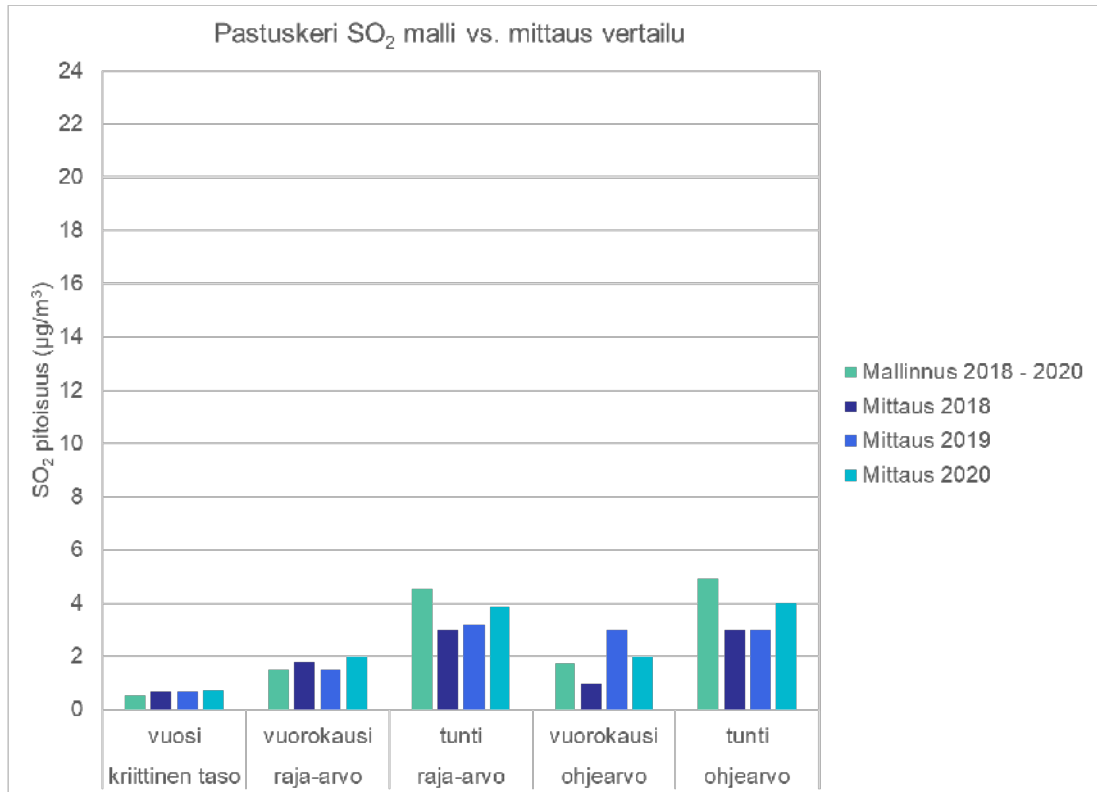
ei pystytä arvioimaan häiriöpäästöjen aiheuttamia pitoisuuksia, koska mallilaskelmat tehdään laitoksen tiedossa olevilla normaalitoiminnan päästöillä.



Kuva 31. Mallinnettujen ja mitattujen rikkidioksidin kriittiseen tasoon sekä raja- ja ohjearvoihin verrannollisten pitoisuuksien vertailu Porin Paanakedonkadun ilmanlaadun mittausasemalla.



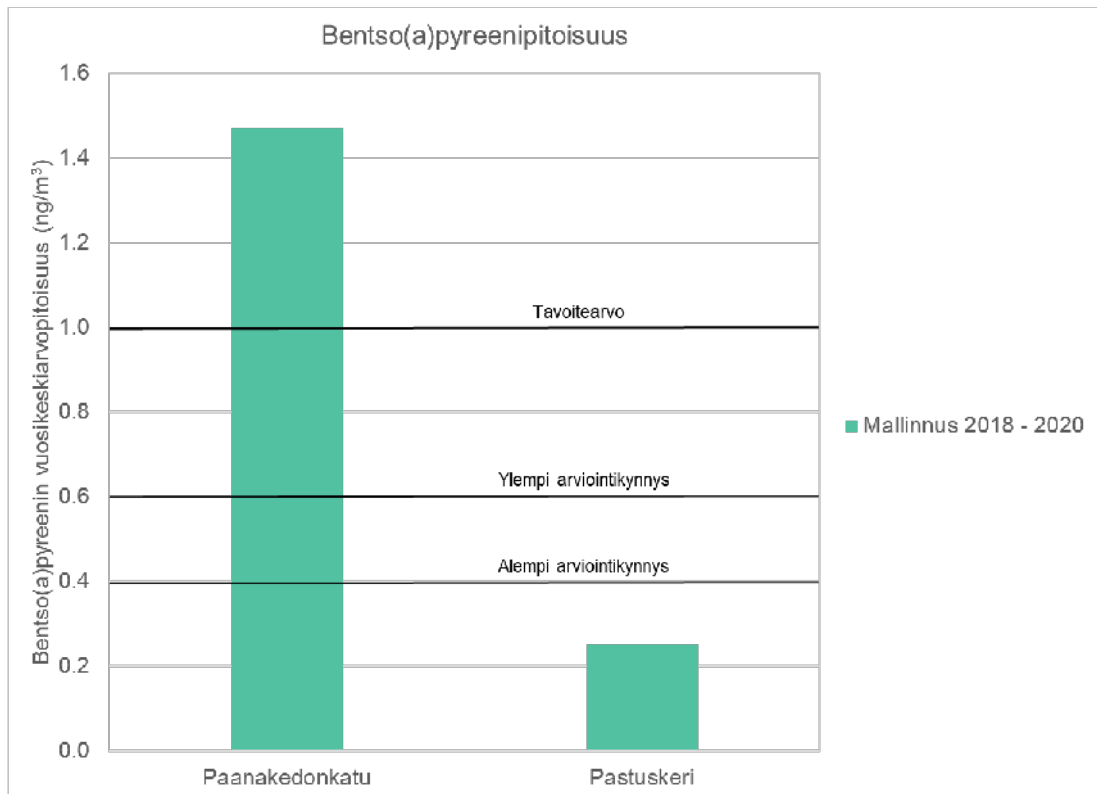
Kuva: Katja Lovén



Kuva 32. Mallinnettujen ja mitattujen rikkidioksidin kriittiseen tasoon sekä raja- ja ohjearvoihin verrannollisten pitoisuuksien vertailu Porin Pastuskerin ilmanlaadun mittausasemalla.

Bentso(a)pyreeniä ei ole mitattu Porissa, mutta sen pitoisuudet mallinnettiin samoihin ilmanlaadun mittauspisteisiin kuin muutkin epäpuhtaudet (kuva 33). Bentso(a)pyreenipitoisuuden tavoitearvo (1 ng/m^3) ylittyy selvästi Paanakedonkadun mittausaseman kohdalla ollen lähes $1,5 \text{ ng/m}^3$. Pastuskerin saarella bentso(a)pyreenipitoisuus alittaa alemman arviointikynnyksen ($0,4 \text{ ng/m}^3$). Ylemmän arviointikynnyksen ylittyessä seuranta-alueella on tehtävä jatkuvia mittauksia. Arviointikynnys katsotaan ylittyvän vasta, kun kynnyksen lukuarvo on ylittynyt vähintään kolmena vuonna viiden vuoden aikana.

Malli-mittausvertailun tulosten perusteella voidaan todeta, että leviämismallitulokset edustavat suurimmaksi osaksi hyvin Porin ilmanlaatuilannetta eri alueilla. Mallitulosten epävarmuus kuitenkin kasvaa lyhytaikaisissa pitoisuuksissa vuosikeskiarvopitoisuuksiin verrattuna. Yhtenä syynä epävarmuuteen voi olla käytettyjen lähtötietojen tarkkuus (esim. liikennemäärät, päästötiedot ja niiden ajallinen vaihtelu).



Kuva 33. Mallinnetut bentso(a)pyreenin tavoitearvoon (1 ng/m³) verrannolliset pitoisuudet Porin Paanakedonkadun ja Pastuskerin mittausasemien kohdalla niiden mittauskorkeudelle mallinnettuna. Porissa ei ole mitattu bentso(a)pyreeniä.

2.7.2 Eri päästölähteiden vaikutus ilmanlaatuun

Porin ilmanlaadun mittauspisteisiin mallinnettujen pitoisuuksien avulla voitiin tarkastella eri päästölähdesektoreiden osuutta mallinnetuista epäpuhtauspitoisuuksista erityyppisissä ympäristöissä ja arvioida siten eri päästölähteiden vaikutusta ilmanlaatuun. Tarkastelussa olivat molemmat kaksi ilmanlaadun mittausasemaa, riippumatta siitä, mitataanko kyseistä ilman epäpuhtautta tällä asemalla. Kuvissa 34–36 on esitetty eri päästölähdesektoreiden osuus mallinnetuista typpidioksidin, pienhiukkasten, hengitettävien hiukkasten ja rikkidioksidin vuosikeskiarvopitoisuuksista. Bentso(a)pyreenipitoisuudet ovat mallilaskelmissa peräisin pelkästään kiinteistökohtaisesta lämmityksestä, joten kuvassa 38 esitetään eri lämmityslähteiden osuudet pienpolton kokonaispitoisuuksista.

Autoliikenteen pakokaasupäästöt vaikuttavat eniten typpidioksidin pitoisuuksiin Paanakedonkadun mittausasemalla. Liikenteen päästöjen vaikutusosuus on 75 % kokonaispitoisuudesta. Pastuskerin tausta-asemalla taustapitoisuuden osuus on 90 % mallinnetusta typpidioksidipitoisuudesta ja Paanakedonkadulla noin 20 %. Kiinteistökohtaisen lämmityksen vaikutusosuus on 3–5 %. Energiantuotannon ja teollisuuden vaikutusosuus on korkeimmillaan 1 % ja laivaliikenteen ja satamatoiminnan 0,5 % typpidioksidipitoisuuksista.

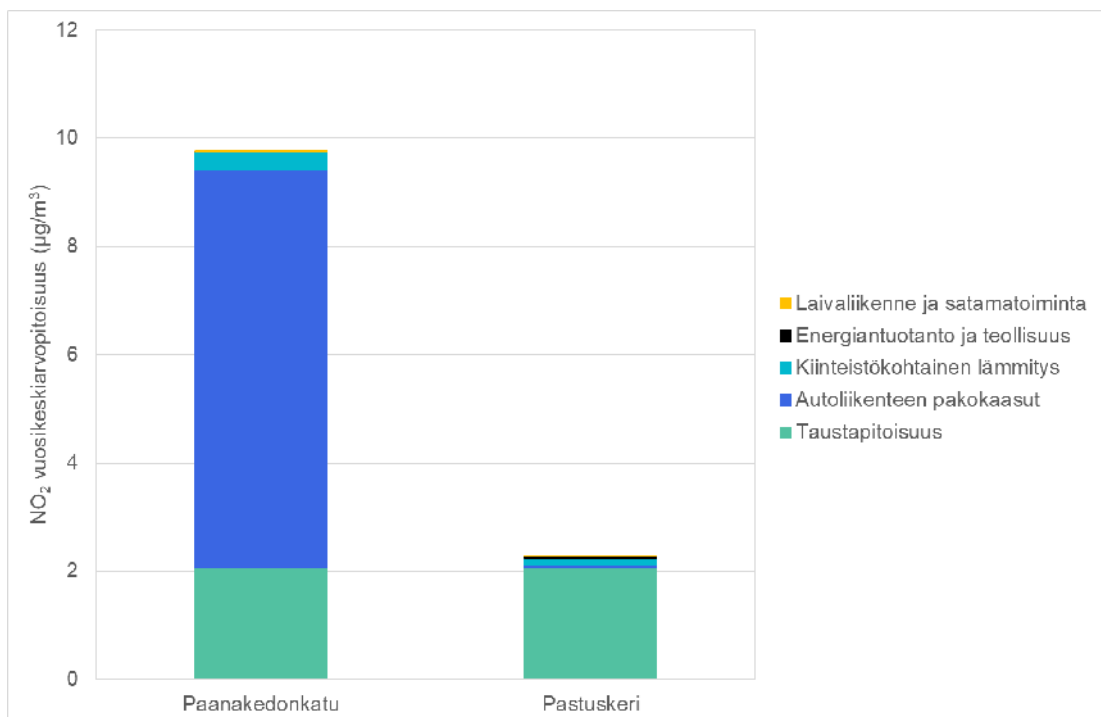
Taustapitoisuus eli alueelle muualta kulkeutuneet pienhiukkaset aiheuttavat suurimman osan (76–95 %) pienhiukkaspitoisuuksista mittausasemilla. Suurin osa pienhiukkasten taustapitoisuudesta on kaukokulkeutunutta hiukkasmassaa, joka voi olla peräisin jopa tuhansien kilometrien päästä. Kiinteistökohtainen lämmitys vaikuttaa liikennepäästöjä enemmän pienhiukkaspitoisuuksiin. Kotitalouksien puunpolton osuus mallinnetuista pienhiukkaspitoisuuksista on noin 4–17 %.

Autoliikenteen pakokaasupäästöjen vaikutusosuus on Paanakedonkadulla 2 % ja katupölyn 5 % pienhiukkasten kokonaispitoisuudesta. Pastuskerissa autoliikenteen vaikutus on marginaalinen. Energiantuotannon ja teollisuuden vaikutusosuus on 0,1 % ja laivaliikenteen ja satamatoiminnan osuus 0,1–0,2 % pienhiukkaspitoisuuksista molemmilla mittausasemilla.

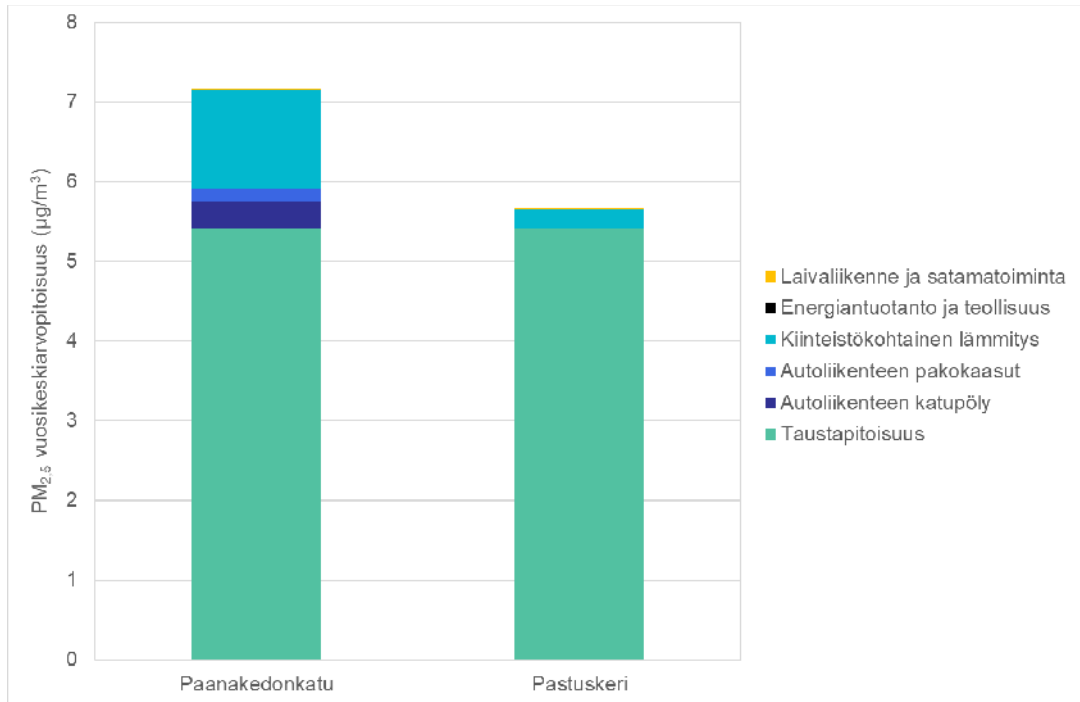
Hengitettävien hiukkasten pitoisuudesta taustapitoisuuden osuus on ympäristöstä riippuen noin 50–95 %. Päästölähdesektoreista katupöly vaikuttaa eniten hengitettävien hiukkasten pitoisuuksiin Paanakedonkadulla (38 %). Autoliikenteen pakokaasupäästöjen vaikutusosuus on noin 1,5 %. Kiinteistökohtaisen lämmityksen osuus hiukkaspitoisuuksista on 4–12 %. Energiantuotannon ja teollisuuden vaikutusosuus on alle 0,1 % ja laivaliikenteen ja satamatoiminnan 0,1–0,2 % hengitettävien hiukkasten pitoisuuksista.

Kiinteistökohtainen lämmitys ja erityisesti omakotitalojen öljylämmitys aiheuttaa valtaosan (64 %) rikkidioksidipitoisuuksista Paanakedonkadulla. Pastuskerissa kiinteistökohtaisen lämmityksen vaikutusosuus on 17 %. Pastuskerissa rikkidioksidin taustapitoisuus vaikuttaa eniten (78 %) rikkidioksidin kokonaispitoisuuksiin. Paanakedonkadulla taustan vaikutus on 27 %. Energiantuotannon ja teollisuuden osuus 5–9 % ja laivaliikenteen ja satamatoiminnan osuus on korkeimmillaan alle 0,1 % rikkidioksidin kokonaispitoisuuksista.

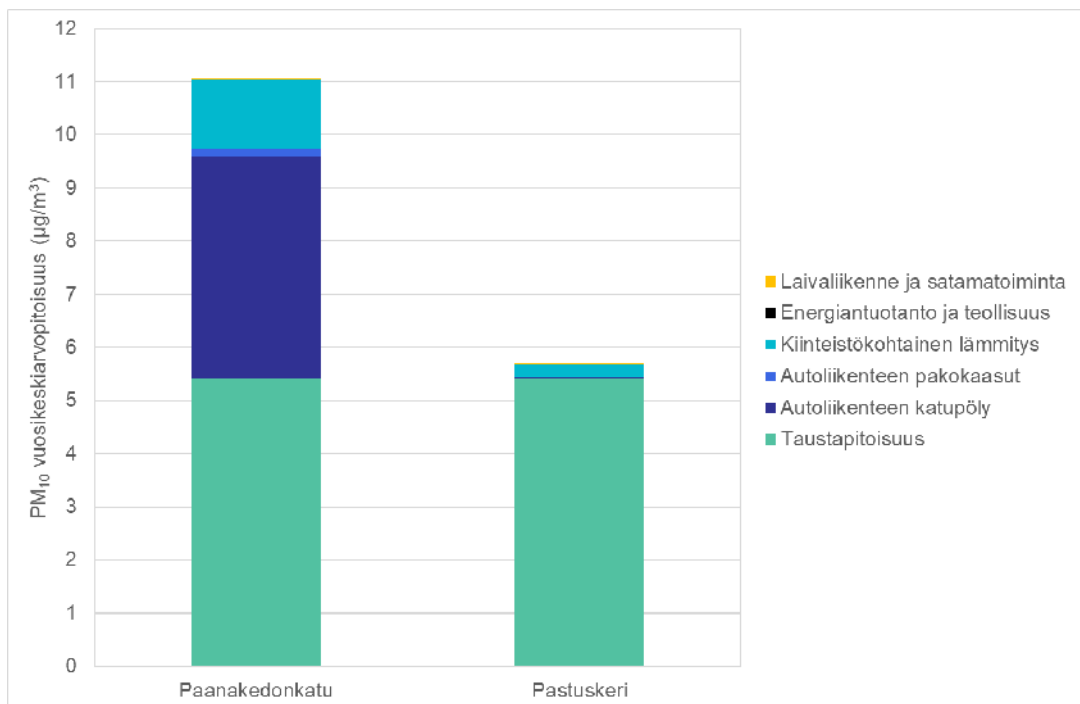
Bentso(a)pyreenipitoisuudesta valtaosan (40–54 %) aiheuttavat omakotitalojen lisälämmitys (takat ym.) sekä omakotitalojen saunat (32–42 %). Pastuskerissa neljäsosan bentso(a)pyreenipitoisuuksista aiheuttaa vapaa-ajan asuntojen pienpoltto.



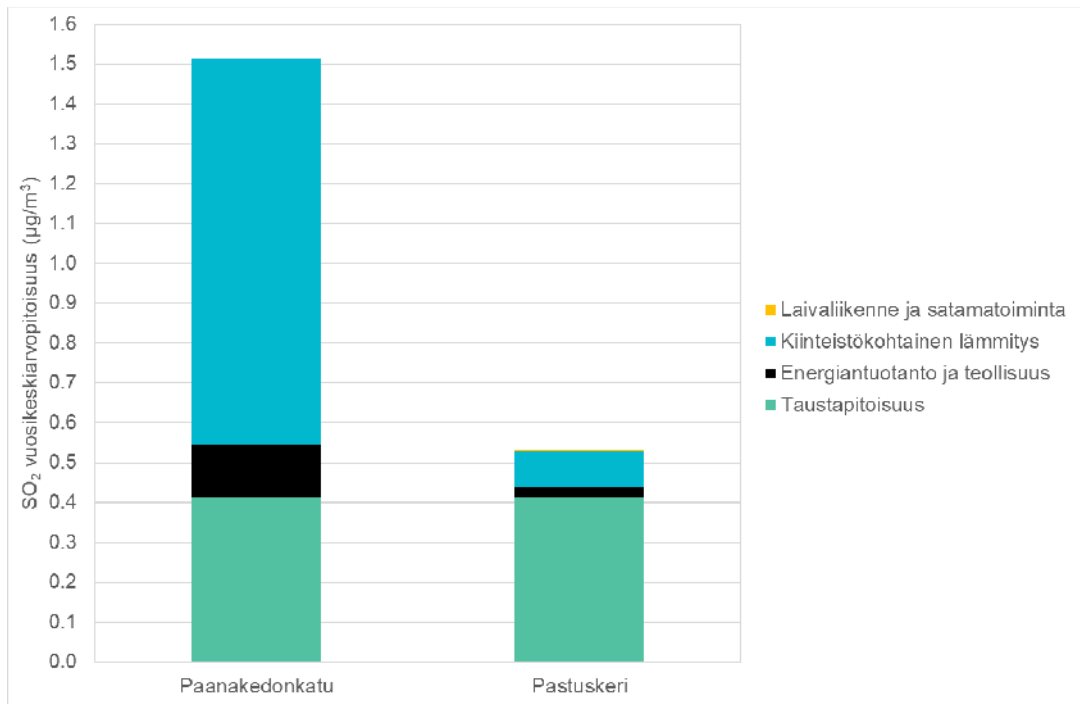
Kuva 34. Eri päästölähdesektoreiden osuus mallinnetuista typpidioksidin vuosikeskiarvopitoisuuksista ilmanlaadun mittauspisteissä.



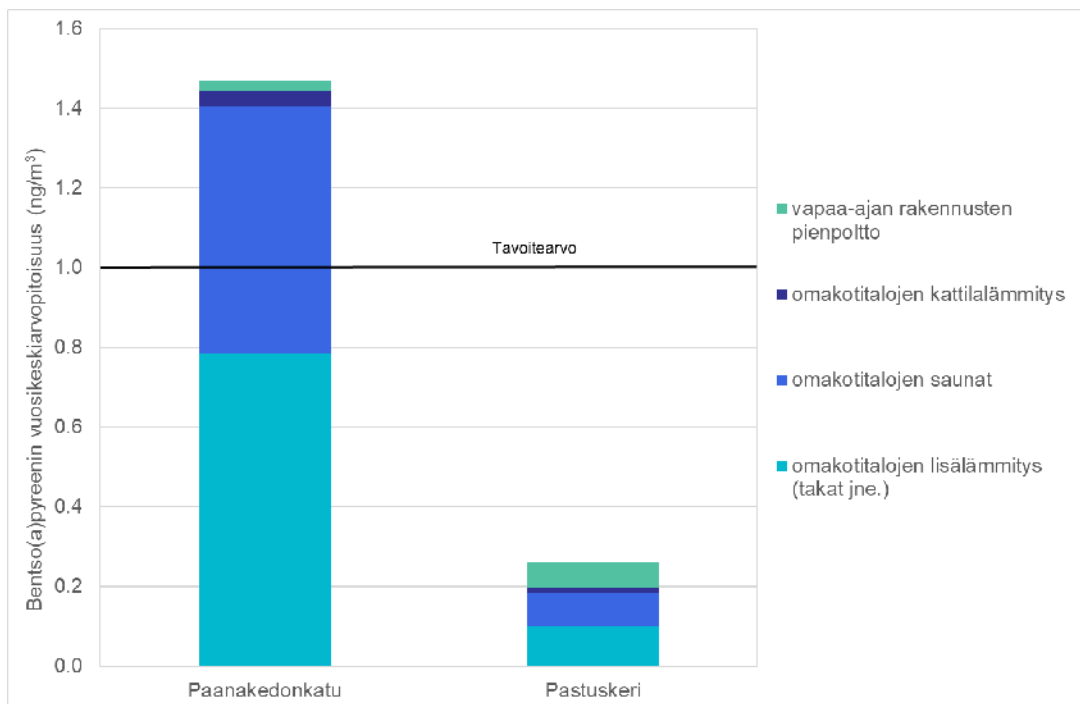
Kuva 35. Eri päästölähdesektoreiden osuus mallinnetuista pienhiukkasten vuosikeskiarvopitoisuuksista Porin ilmanlaadun mittauspisteissä.



Kuva 36. Eri päästölähdesektoreiden osuus mallinnetuista hengitettävien hiukkasten vuosikeskiarvopitoisuuksista Porin ilmanlaadun mittauspisteissä.



Kuva 37. Eri päästölähdesektoreiden osuus mallinnetuista rikkidioksidin vuosikeskiarvopitoisuuksista Porin ilmanlaadun mittauspisteissä.

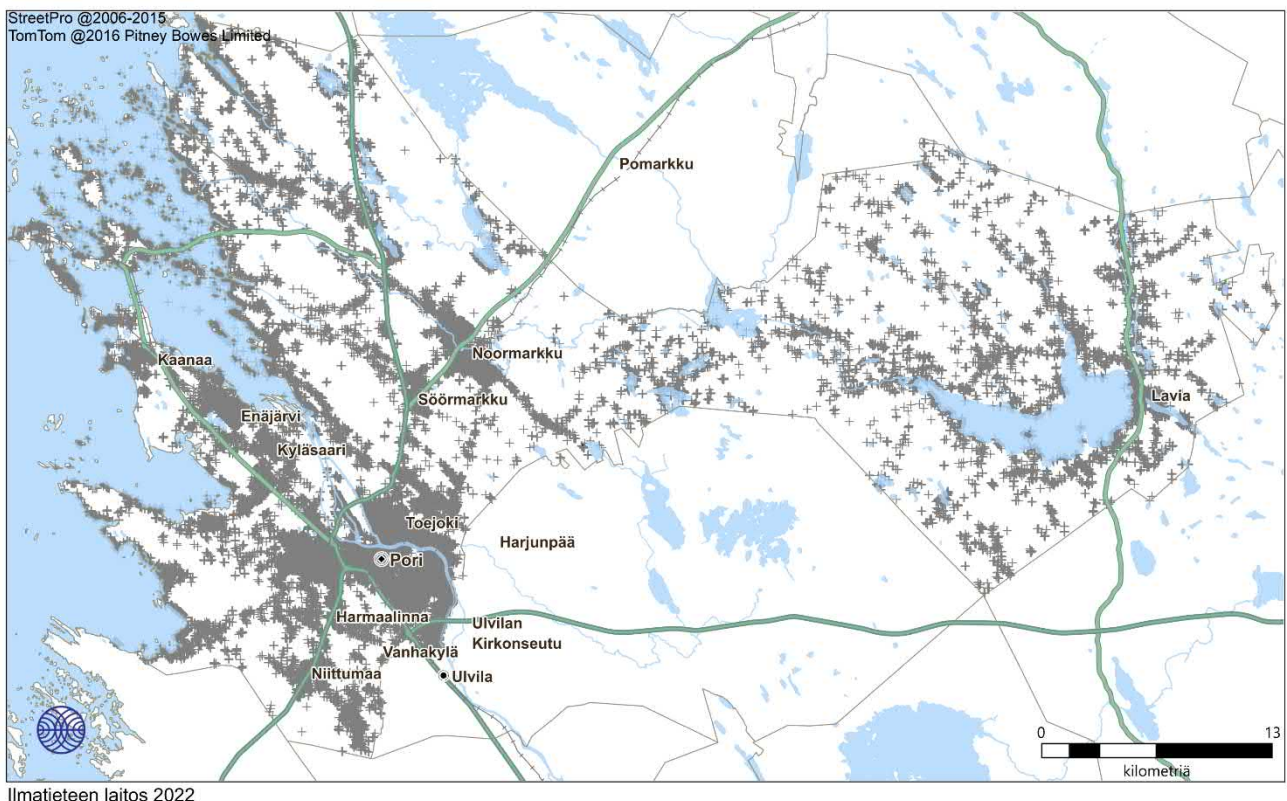


Kuva 38. Eri päästölähdesektoreiden osuus mallinnetuista bentso(a)pyreenin vuosikeskiarvopitoisuuksista Porin ilmanlaadun mittauspisteissä.

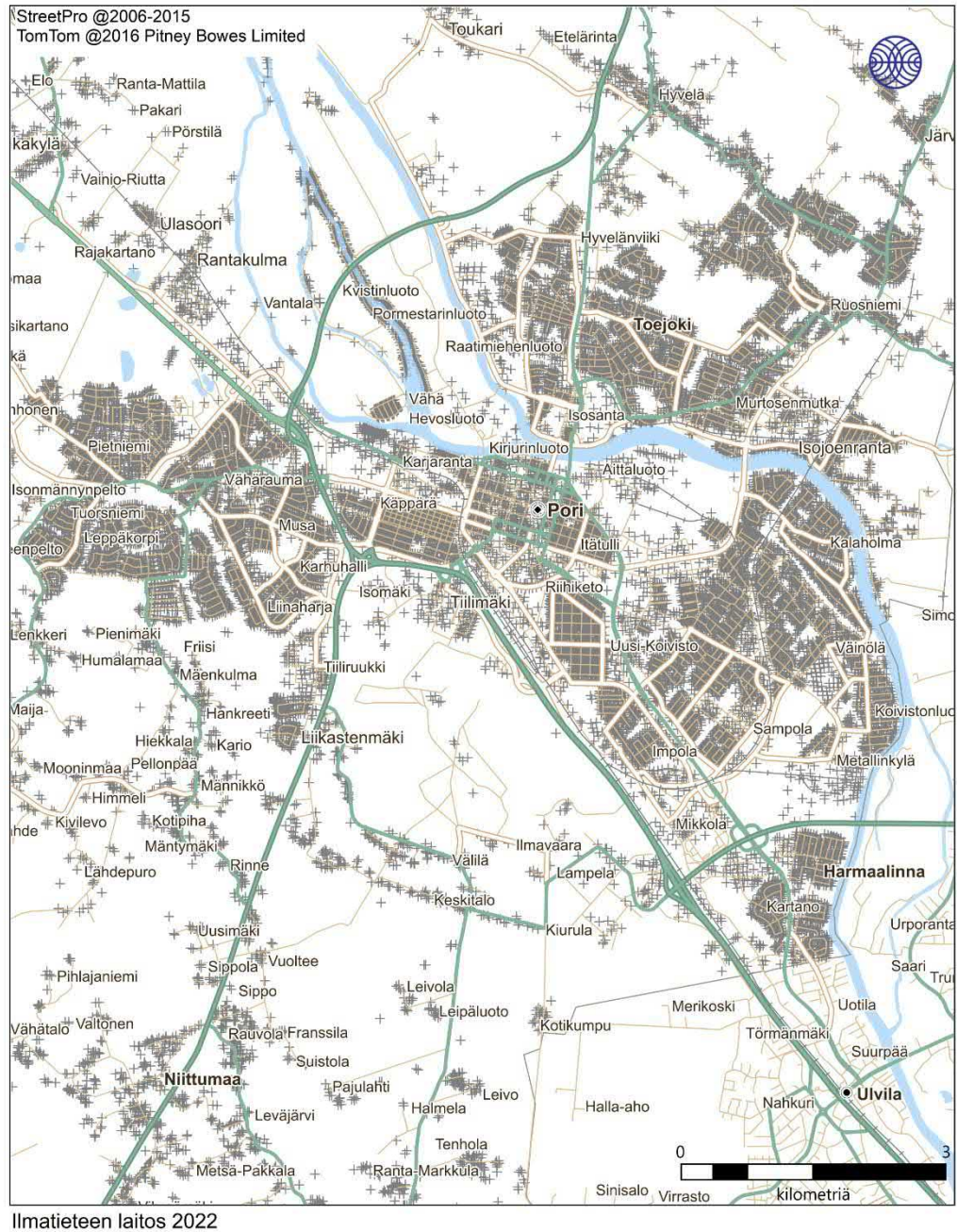
2.7.3 Asukkaiden altistuminen ilman epäpuhtauksille

Leviämismallitulosten perusteella tarkasteltiin Porissa asuvien asukkaiden altistumista ilman epäpuhtauksille vuosina 2018–2020. Altistumista arvioitiin selvittämällä eri ilman epäpuhtauksien pitoisuustasoille altistuvien asukkaiden määrät. Altistumisen arvioinnissa hyödynnettiin mallinnettuja typpidioksidin, typen oksidien, pienhiukkasten, hengitettävien hiukkasten, rikkidioksidin ja bentso(a)pyreenin vuosikeskiarvopitoisuuksia. Tarkastelu tehtiin koko Porin alueen kattavissa 250 m × 250 m ruuduissa laskemalla yhteen rakennuksissa asuvien asukkaiden määrät ja keskiarvoistamalla epäpuhtauksien pitoisuudet ruudun sisällä. Keskiarvoistaminen laimentaa vähän pitoisuuksia väylien varrella sijaitsevilla ruuduissa. Porin asukkaiden lukumäärät vastaavat vuoden 2020 tilannetta. Rakennuksissa asuvien asukkaiden määrät on saatu Porin kaupungin kuntarekisteristä. Tiedot pohjautuvat Digi- ja väestötietoviraston Rakennus- ja huoneistorekisteriin.

Porin virallinen asukaslukumäärä 31.12.2021 oli 83 491 asukasta. Saadussa Porin väestöaineistossa on 82 514 asukasta. Aineistosta puuttuvat asukkaat, joiden asuinpaikkaa ei luovuteta kuten esim. kaikki pitkäaikaisessa laitoshoidossa olevat henkilöt. Porin kaupungin alueella tiivis asutus keskittyy Porin keskustaan ja sitä ympäröiville asuinalueille, Meri-Poriin ja Noormarkun taajamaan. Kuvissa 39 ja 40 on esitetty väestön jakaantuminen koko Porin kaupungin alueella sekä Porin keskustan alueella.



Kuva 39. Väestön ja rakennusten jakaantuminen Porin kaupungin alueella (lähde: Porin kuntarekisteri).



Kuva 40. Väestön ja rakennusten jakaantuminen Porin keskustan alueella (lähde: Porin kuntarekisteri).

Taulukossa 7 on kuvattu asukkaiden altistumista typpidioksidin, typen oksidien ja rikkidioksidin eri vuosipitoisuustasojen vuosina 2018–2020. $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ylittävälle typpidioksidin vuosipitoisuuksille ja yli $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ylittävälle typen oksidien vuosipitoisuuksille altistuu 54 asukasta valtatie 2 Tiilimäen rampin läheisyydessä 5 pienkerrostalon alueella. $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ylittävälle rikkidioksidin vuosipitoisuuksille altistuu 531 asukasta Vanhakoiviston pientaloalueella, jossa ilmeisesti käytetään lämmitysmuotona öljylämmitystä.

Taulukko 7. Typpidioksidin (NO₂), typen oksidien (NO_x) ja rikkidioksidin (SO₂) eri pitoisuustasoille (µg/m³) altistuneiden henkilöiden lukumäärät Porin kaupungin alueella.

NO ₂ vuosikeskiarvo (µg/m ³)	Asukkaita	NO _x vuosikeskiarvo (µg/m ³)	Asukkaita	SO ₂ vuosikeskiarvo (µg/m ³)	Asukkaita
< 5	47 870	< 10	61 430	< 0,5	1 231
5–10	28 049	10–15	20 162	0,5–1,0	15 664
10–15	6 541	15–20	868	1,0–1,5	36 416
15–20	54	20–30	54	1,5–2,0	28 672
				2,0–2,5	531
Yhteensä	82 514	Yhteensä	82 514	Yhteensä	82 514

Taulukossa 8 on kuvattu asukkaiden altistumista pienhiukkasten, hengitettävien hiukkasten ja bentso(a)pyreenin eri vuosipitoisuustasoille vuosina 2018–2020. Pienhiukkasten yli 7,5 µg/m³ vuosipitoisuuksille altistuu yli 1 000 asukasta valtateiden 2 ja 8 varsilla ja risteysalueilla Porin keskustan kohdalla sekä keskustan sisääntuloväylien Rauhanpuiston ja Luvianpuistokadun varsilla. Hengitettävien hiukkasten vuosipitoisuuksille 15–20 µg/m³ altistuu 54 henkilöä valtatie 2:n Tiilimäen ramppien läheisyydessä 5 pienkerrostalon alueella. Hengitettävien hiukkasten vuosipitoisuustasoille 10–15 µg/m³ altistuu yli 21 000 henkilöä ohikulkuteiden ja sisääntuloväylien varsilla, Porin keskustassa sekä keskustan viereisillä Itätullin ja Tiilinummen asuinalueilla.

Bentso(a)pyreenin tavoitearvon 1 ng/m³ ylittävälle vuosipitoisuuksille altistuu mallilaskelmien mukaan jopa 62 364 asukasta (75 % porilaisista) tiiviisti asutuilla alueilla Porin kaupungissa. Bentso(a)pyreenin pitoisuustasolle 1,5–2,0 µg/m³ altistuu Porissa lähes 28 000 asukasta mm. Vähärauman, Tiilinummen, Toejoen, Uusikoiviston ja Vanhakoiviston asuinalueilla. Korkeimmille yli 2,0 ng/m³ bentso(a)pyreenipitoisuuksille altistuu 317 asukasta Uusikoiviston tiiviin pientaloalueen keskellä.

Taulukko 8. Pienhiukkasten (PM_{2,5}), hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) ja bentso(a)pyreenin (B(a)P) eri pitoisuustasoille (µg/m³) altistuneiden henkilöiden lukumäärät Porin kaupungin alueella.

PM _{2,5} vuosikeskiarvo (µg/m ³)	Asukkaita	PM ₁₀ vuosikeskiarvo (µg/m ³)	Asukkaita	B(a)P vuosikeskiarvo (ng/m ³)	Asukkaita
< 6,0	7 531	< 5	3 762	< 0,4	3 586
6,0–6,5	16 998	5–10	57 403	0,4–0,6	4 326
6,5–7,0	27 832	10–15	21 295	0,6–1,0	12 238
7,0–7,5	29 073	15–20	54	1,0–1,5	34 108
7,5–8,0	1 080			1,5–2,0	27 939
				2,0–2,1	317
Yhteensä	82 514	Yhteensä	82 514	Yhteensä	82 197

3 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tämän ilmanlaatuselvityksen tarkoituksena oli hankkia leviämislaskelmien avulla tietoa Porin ilmanlaadusta ja sen alueellisesta vaihtelusta sekä eri päästölähteiden vaikutusosuudesta ilmanlaatuun. Selvityksessä tarkasteltiin myös ilman epäpuhtauksien eri pitoisuustasoille altistuvien porilaisten asukkaiden määriä. Ilmanlaatuselvityksessä arvioitiin Porin merkittävimpien päästölähteiden eli autoliikenteen, energiantuotannon, teollisuuden, laivaliikenteen, satamatoiminnan ja kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen ilmanlaatuvaikutuksia. Leviämismallilaskelmien avulla tarkasteltiin ulkoilman typpidioksidin, typen oksidien, pienhiukkasten, hengitettävien hiukkasten, rikkidioksidin, bentso(a)pyreenin sekä arseenin ja 12 raskasmetallin pitoisuuksia ulkoilmassa hengityskorkeudella. Ilmanlaatuselvityksen tuloksina saatuja pitoisuuksia verrattiin ilmanlaadun vertailuarvoihin sekä ilmanlaadun mittausten tuloksiin.

Ilmanlaatuselvityksessä arvioitiin leviämismallilaskelmilla pitoisuuksien muodostumista koko Porin kaupungin alueelle. Laajalle alueelle tehdyn leviämismallinnuksen tuloksia voidaan käyttää alueellisten ilmanlaatuvaikutusten arvioinnissa, täydentämässä mittauksin saatua tietoa ilmanlaadusta ja sen vaihtelusta sekä tulevien ilmanlaadun mittausten suunnittelussa ja mittausverkon optimoinnissa.

Leviämismallilaskelmat tehtiin käyttäen Ilmatieteen laitoksella kehitettyjä päästöjen laskentamalleja ja leviämismalleja: pistemäisten ja pintalähteiden leviämismalli UDM-FMI, liikenteen pakokaasupäästöjen leviämismalli CAR-FMI, katupölypäästöjen suspensiopäästömalli FORE sekä laivapäästömalli STEAM. Mallilaskelmissa otettiin huomioon päästölähteiden aiheuttamien pitoisuuksien lisäksi alueellinen taustapitoisuus. Mallinnuksessa käytettiin taustapitoisuutena Paraisten Utön ja Juupajoen Hyytiälän mittausasemien vuosien 2018–2020 havaintoja. Meteorologinen aineisto on koostettu Ilmatieteen laitoksen Porin Rautatieaseman ja Porin Tahkoluodon sääasemien vuosien 2018–2020 mittaushavainnoista.

Leviämismallin lähtötietoina käytetyt päästöt kattoivat suurimman osan Porissa syntyvistä typen oksidien, hiukkasten, rikkidioksidin, bentso(a)pyreenin ja raskasmetallien päästöistä. Ilmatieteen laitos laski autoliikenteen päästöt Porin kaupungin ja Ramboll Finland Oy:n toimittamien liikennemäärätietojen perusteella, käyttäen VTT:n LIPASTO:n kaupunkikohtaisia ajoneuvo- ja ajosuoritejakaumia sekä Euroopan ympäristöviraston (EEA) tieliikenteen ajoneuvotyyppiäkohtaisia EURO-päästöluokasta ja nopeudesta riippuvia päästökertoimia. 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 250 m × 250 m ruuduittaiset päästöt saatiin Suomen ympäristökeskuksen alueellisesta päästöskenaariomallista (FRES-malli). Laivaväylien päästötiedot saatiin STEAM-laivapäästömallista ja Ilmatieteen laitos laski Mäntyluodon ja Tahkoluodon satamatoimintojen päästöt Porin Satama Oy:ltä saatujen lähtötietojen perusteella.

Epäpuhtauksien pitoisuuksia ulkoilmassa säädellään ilmanlaadun ohje-, raja- ja tavoitearvoilla. 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. Tavoitearvon ylittyminen on mahdollisuuksien mukaan pyrittävä välttämään, jotta ihmisten terveyteen ja ympäristöön kohdistuvia haitallisia vaikutuksia vähennetään.

Nyt tehtyjen leviämismallilaskelmien tulosten perusteella voidaan arvioida, että ilmanlaatu Porin alueella on pääsääntöisesti hyvää. Ilmanlaatu on erityisen hyvää merenrannalla ja Porin

maaseutumaisemilla alueilla, jotka ovat kauempana keskusta-alueesta ja vilkkaimmista väylistä. Alueen ilmanlaatuun vaikuttavat merkittävimmin autoliikenteen typenoksidipäästöt, katupöly, kotitalouksien puunpoltto sekä pienhiukkasten kaukokulkeuma. Pitoisuudet pienentyvät nopeasti etäisyyden kasvaessa vilkkaimmista liikenneväylistä, energiantuotanto- ja teollisuuslaitoksista ja satama-alueilta. Energiantuotantolaitosten, teollisuuden, laivaliikenteen ja satamatoimintojen päästöjen vaikutus Porin ilmanlaatuun on varsin pieni.

Kaikkien tutkimuksessa huomioitujen päästöjen sekä alueellisen taustapitoisuuden yhdessä aiheuttamat typpidioksidin kokonaispitoisuudet alittavat ilmanlaadun raja-arvot ja ohjearvot koko Porin kaupungin alueella. Typpidioksidipitoisuudet ovat lähellä vuorokausiohjearvotasoa Porin keskustan ohittavien valtateiden 2 ja 8 varsilla ja ramppien alueilla. Näillä alueilla liikennemäärä on lähes 20 000 ajoneuvoa vuorokaudessa. Typen oksidien vuosikeskiarvo ylittää sille asetetun kriittisen tason ainoastaan liikenneväylien välittömässä läheisyydessä, muttei rakennetun ympäristön ulkopuolella. Suurin vaikutus alueen typpidioksidin ja typen oksidien pitoisuustasoihin on autoliikenteen päästöillä.

Pienhiukkasten vuosikeskiarvopitoisuudet alittavat selvästi vuosiraja-arvon, mutta ylittävät WHO:n vuosiohjearvon koko Porin alueella. Pienhiukkaspitoisuudet ovat suurimmillaan vilkkaimpien liikenneväylien varsilla olevilla tiiviisti rakennetuilla pientaloalueilla. Hetkelliset pienhiukkaspitoisuudet ylittävät WHO:n vuorokausiohjearvon vilkasliikenteisten väylien varsilla, Porin keskusta-alueella ja lähellä keskustaa olevilla asuinalueilla. Pienhiukkaspitoisuuksien alueellinen vaihtelu on vähäistä, koska suurin osa kokonaispitoisuudesta aiheutuu taustapitoisuudesta, joka koostuu pääosin kaukokulkeutuneista pienhiukkasista.

Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet kohoavat etenkin katupölykaudella vilkkaasti liikennöityjen väylien läheisyydessä. Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet alittavat mallilaskelmien mukaan Porissa ilmanlaadun raja-arvot. Hengitettävien hiukkasten vuorokausiraja-arvo ei ylity, mutta vuorokausipitoisuudet voivat ylittää raja-arvotason $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ yhden tai useamman kerran vuoden aikana. Hengitettävien hiukkasten vuorokausiohjearvo ylittyy vilkkaimmin liikennöityjen valtateiden 2 ja 8 varsilla Porin keskustan kohdalla. Hengitettävien hiukkasten korkeiden pitoisuuksien muodostumiseen voidaan merkittävästi vaikuttaa katujen talvikunnossapidolla sekä oikea-aikaisella hiekanpoistolla ja pölynsidonnalla.

Rikkidioksidipitoisuudet ovat Porissa pääsääntöisesti pieniä. Suurin paikallinen vaikutus rikkidioksidipitoisuuksiin asuinalueilla on omakotitalojen öljylämmityksellä. Energiantuotannon, teollisuuden, laivaliikenteen ja satamatoiminnan korkeimmat pitoisuudet havaitaan lähellä päästölähteitä. Mallinnetut rikkidioksidipitoisuudet alittavat kaikki ilmanlaadun raja- ja ohjearvot sekä kriittisen tason koko Porin kaupungin alueella.

Arseenin ja raskasmetallien pitoisuudet ovat hyvin pieniä ja ne alittavat selvästi raja-arvon ja tavoitearvot. Pitoisuudet ovat korkeimmillaan metalliteollisuuslaitosten läheisyydessä Metallinkylän Kupariteollisuuspuiston läheisyydessä.

Bentso(a)pyreenipitoisuuden tavoitearvo $1 \text{ ng}/\text{m}^3$ ylittyy mallilaskelmien mukaan Porin keskustassa ja ympäröivillä asuinalueilla sekä Ulvilassa. Myös ylempi arviointikynnys $0,6 \text{ ng}/\text{m}^3$ ylittyy laajalti Porin tiiviimmin asutuilla alueilla. Ilmanlaadun jatkuvatoimisia mittauksia on tehtävä seuranta-alueilla, joilla ylempi arviointikynnys ylittyy kolmena vuotena viiden vuoden tarkastelujaksolla. On suositeltavaa aloittaa bentso(a)pyreenin pitoisuusseuranta kalenterivuoden pituisella mittauskampanjalla ja arvioida sen jälkeen pitoisuustulosten perusteella jatkomittausten tarvetta.

Selvityksessä tarkasteltiin eri päästölähteiden vaikutusosuutta ilman epäpuhtauksien pitoisuuksista. Autoliikenne vaikuttaa selvästi eniten typpidioksidin pitoisuuksiin. Kaukokulkeuma ja taustapitoisuudet aiheuttavat suurimman osan pienhiukkaspitoisuuksista. Päästölähteistä kotitalouksien puunpoltto ja autoliikenne aiheuttavat merkittävän lisän pienhiukkaspitoisuuksiin.

pientaloalueilla ja liikenneväylien vaikutusalueella. Katupöly vaikuttaa eniten hengitettävien hiukkasten pitoisuuksiin. Energiantuotanto- ja teollisuuslaitosten päästöt vaikuttavat eniten rikkidioksidin ja raskasmetallien pitoisuuksiin. Laivaliikenteen ja satamatoiminnan vaikutukset näkyvät lähinnä Mäntyluodon ja Tahkoluodon satamien läheisyydessä.

Kun päästöt vapautuvat korkeista piipuista, ehtivät ne laimentua ennen leviämistään ympäristöönsä. Toisaalta korkealta vapautuvat päästöt voivat kulkeutua kauemmas päästölähteistä kuin maanpintatasolta vapautuvat päästöt. Savukaasujen nousunopeus piipussa sekä ulkolämpötilan ja savukaasujen lämpötilan välinen ero aiheuttavat päästöihin nousulisää, joka edesauttaa päästöjen leviämistä ja laimenemista. Kuuma savukaasu kohoaa ylöspäin kylmempää ilmaa korkeammalle kunnes kaasun lämpötila on jäähtynyt ulkoilman tasolle. Piipuista suurella nousunopeudella vapautuvien kuumien savukaasujen vaikutukset maanpinnalla jäävät siten pieniksi, vaikka päästömäärät olisivat suuriakin. Päästöt leviävät melko tasaisesti joka ilmansuuntaan päästölähteiden ympäristöön, vaikka vallitsevat tuulensuunnat ovat kaakon ja luoteen välisiltä tuulensuunnilta. Kaikkein korkeimmat pitoisuudet havaitaan todennäköisesti heikottuulisissa tilanteissa, jolloin sekoittuminen on vähäistä. Kun tuulennopeus on suuri, päästöt leviävät ja laimenevat tehokkaammin.

Mallilaskelmien tulosten luotettavuuteen vaikuttavat merkittävästi mallin lähtötietoina käytettävien meteorologisten tietojen, taustapitoisuuksien sekä päästötietojen ja muiden lähtötietojen oikeellisuus, kuten liikennemääräarvion luotettavuus, käytettyjen ajoneuvokohtaisten päästökertoimien edustavuus sekä lyhytaikaisten päästövaihteluiden kuvaaminen. Mallilaskelmien tulosten ja käytettyjen lähtötietojen edustavuutta arvioitiin vertaamalla mallinnettua tuloksia Porin ilmanlaadun mittausasemien vuosien 2018–2020 mittaustuloksiin. Mallinnyksen ja mittausten epävarmuudet huomioiden voidaan typpidioksidin, pienhiukkasten ja hengitettävien hiukkasten malli- ja mittaustulosten arvioida olevan pääosin hyvin yhteensopivia ja mallitulosten täyttävän mallintamisen epävarmuudelle asetetut laatutavoitteet.

Asukkaiden altistumista arvioitiin selvittämällä eri ilman epäpuhtauksien pitoisuustasoille altistuvien asukkaiden määrät. Porin ilmanlaatuun vaikuttavat merkittävästi valtatie 2 ja 8, jotka ohittavat Porin keskustan etelä- ja länsipuolitse. Asukkaat altistuvat korkeimmille typen oksidien ja hiukkasten pitoisuuksille ohikulkuteiden varsilla sekä rikkidioksidin ja bentso(a)pyreenin pitoisuuksille asuinalueilla. Altistuminen on vilkkaimpien teiden varsilla suurempaa kuin Porin keskustassa.



Kuva: Katja Lovén

OSA II

4 TAUSTATIETOA ILMANLAADUSTA

4.1 Ilmanlaatuun vaikuttavat tekijät

Ilmanlaatua heikentävien ilman epäpuhtauksien suurimpia päästölähteitä Suomessa ovat liikenne, energiantuotanto, teollisuus ja asuinrakennusten puunpoltto. Ilmansaasteita kulkeutuu Suomeen myös 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 kulkeutumis suunnan, 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 yläpuolelleen olevan lämpimän kerroksen läpi, ja ilmakehän pystysuuntainen liike estyy. Inversiokerroksessa tuuli on hyvin heikkoa ja ilmaa sekoittava pyörteisyys on vähäistä, minkä vuoksi ilmansaasteet laimenevat huonosti. Inversiotilanteissa pitoisuudet kohoavat taajamissa etenkin liikenne ruuhkien aikana, koska ilmansaasteet kerääntyvät matalaan ilmakerrokseen päästölähteiden lähelle.

4.2 Typpidioksidi

Typen yhdisteitä vapautuu päästölähteistä ilmaan typen oksideina eli typpimonoksidina (NO) ja typpidioksidina (NO₂). Näistä yhdisteistä terveysvaikutuksiltaan haitallisempaa on typpidioksidi, jonka pitoisuuksia ulkoilmassa säädellään ilmanlaadun ohje- ja raja-arvoilla. Typpidioksidin määrään ilmassa vaikuttavat myös ilmakehän 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 $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ alittuu nykyisin Suomessa. Typpidioksidin vuosikeskiarvopitoisuudet ovat olleet viime vuosina suurimmissa kaupungeissa keskimäärin $15\text{--}25 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Viikkaimilla teillä ja katukuiluosuuksilla vuosipitoisuudet voivat olla yli $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Pienissä ja keskisuurissa kaupungeissa typpidioksidin vuosikeskiarvot ovat yleensä noin $5\text{--}15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ mittausympäristöstä riippuen. Typpidioksidin tuntipitoisuudet voivat kohota yli raja-arvotason ($200 \mu\text{g}/\text{m}^3$) yksittäisillä mittausasemilla muutamina tunteina vuodessa. Ylitystunteja saa olla vuodessa 18 kpl, ennen kuin raja-arvo katsotaan ylittyneeksi. Puhtailla tausta-alueilla typpidioksidin vuosikeskiarvot ovat olleet Etelä-Suomessa noin $1,5\text{--}4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja Pohjois-Suomessa noin $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (*Ilmatieteen laitos, 2021*).

4.3 Rikkidioksidi

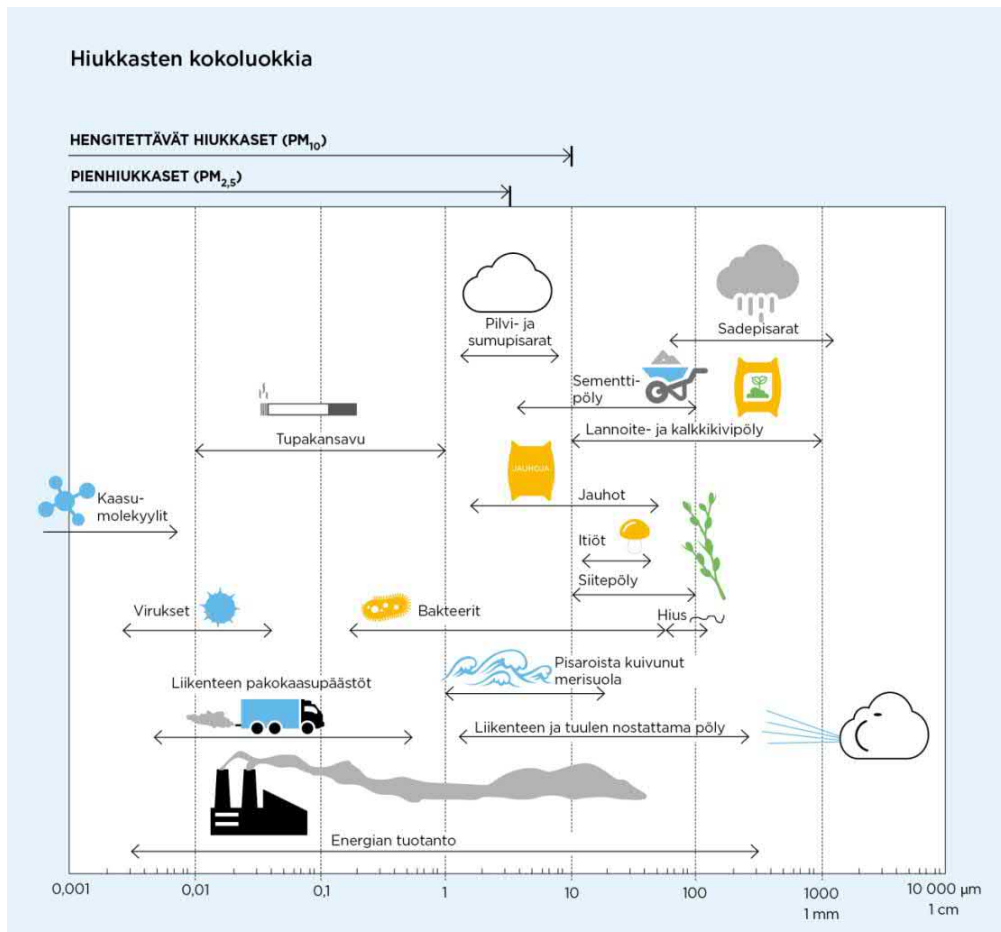
Ulkoilman rikkidioksidipitoisuudet ovat nykyisin alhaisella tasolla Suomessa. Rikkidioksidipäästöjen tehokkaan ja pitkäjänteisen rajoittamisen seurauksena kaupunkialueiden rikkidioksidipitoisuudet ovat laskeneet lähelle tausta-alueiden pitoisuuksia. Ulkoilmassa oleva rikkidioksidi on pääosin peräisin energiantuotannosta, teollisuudesta ja laivojen päästöistä. Teollisuuspaikkakunnilla rikkidioksidipitoisuudet voivat kohota lyhytaikaisesti ja paikallisesti epäedullisissa meteorologisissa tilanteissa ja häiriöpäästötilanteissa. Myös satamien ja huippulämpökusten lähellä voi ajoittain esiintyä korkeita lyhytaikaispitoisuuksia. Korkeat rikkidioksidipitoisuudet voivat lisätä hengitystieinfektioita ja astmaatikkojen kohtauksia. Äkillisiä oireita ovat yskä, hengenahdistus ja keuhkoputkien supistuminen. Pakkanen voi pahentaa rikkidioksidin aiheuttamia oireita. Puhtailla tausta-alueilla rikkidioksidipitoisuuden vuosikeskiarvot ovat olleet jo useiden vuosien ajan noin $1\text{--}2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (*Ilmatieteen laitos, 2021*).

4.4 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 puunpoltosta. 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 syväälle ihmisten hengitysteihin. Hengitettävien hiukkasten halkaisija on alle 10 mikrometriä (PM_{10}) ja pienhiukkasten halkaisija on alle 2,5 mikrometriä ($\text{PM}_{2,5}$). 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. Pienhiukkaset voivat kulkeutua ilmavirtausten mukana jopa tuhansia kilometrejä. Hiukkasten kokoluokkia on havainnollistettu kuvassa 41.



Kuva 41. 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 kaupunkikeskustoissa. Suomessa hiukkaspitoisuudet kohoavat yleensä voimakkaasti keväällä maaliskuussa, kun maanpinnan kuivuessa tuuli ja liikenne nostattavat talven aikana kertynyttä katupölyä ilmaan. Hengitettävien hiukkasten vuorokausipitoisuuksille asetettu raja-arvotaso ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ylittyi 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 $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ alittuu Suomessa. Hengitettävien hiukkasten pitoisuuden vuosikeskiarvot ovat olleet viime vuosina Suomen kaupungeissa noin $5\text{--}20 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Vilkkaimmilla teillä ja katukuiluosoilla vuosipitoisuudet

voivat olla yli $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Puhtailla tausta-alueilla vuosikeskiarvopitoisuudet ovat olleet Etelä-Suomessa noin $9\text{--}14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja Pohjois-Suomessa noin $3\text{--}5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (*Ilmatieteen laitos, 2021*).

Pienhiukkaspitoisuuden vuosikeskiarvolle määritetty raja-arvo $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ alittuu selvästi kaikkialla Suomessa. Viime vuosina pienhiukkasten vuosikeskiarvopitoisuus on ollut pääkaupunkiseudun kaupunkialueilla noin $5\text{--}9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja muilla kaupunkialueilla noin $2\text{--}8 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Pitoisuuserot erityyppisten mittaussympäristöjen välillä ovat muutamia mikrogrammoja. Puhtailla tausta-alueilla vuosikeskiarvopitoisuudet ovat olleet Etelä-Suomessa noin $4\text{--}6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja Pohjois-Suomessa noin $2\text{--}3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (*Ilmatieteen laitos, 2021*). Pienhiukkasten taustapitoisuudesta valtaosa on kaukokulkeutunutta hiukkasainesta. Kaukokulkeuma muodostaa huomattavan osan myös kaupunki-ilman pienhiukkaspitoisuuksista.

4.5 Bentso(a)pyreeni

Bentso(a)pyreeni kuuluu polysyklisiin aromaattisiin hiilivetyihin eli PAH-yhdisteisiin. PAH-yhdisteet ovat orgaanisia yhdisteitä, jotka muodostuvat vähintään kahdesta toisiinsa yhdistyneestä kokonaan hiilestä ja vedystä koostuvasta aromaattisesta renkaasta. PAH-yhdisteitä muodostuu palamisprosesseissa orgaanisen aineksen epätäydellisen palamisen seurauksena. PAH-yhdisteitä syntyy siten energiantuotannossa, liikenteessä (dieselmoottorit), asuinrakennusten puunpoltossa, kulotuksessa, jätteenpoltossa, öljynjalostuksessa, alumiinin tuotannossa sekä kaksin valmistuksessa. Liikenne on merkittävin ilmanlaatuun vaikuttava PAH-yhdisteiden lähde kaupunkien keskustoissa ja vilkkaasti liikennöityjen teiden varsilla matalasta päästökorkeudesta johtuen. Pientaloalueilla asuinrakennusten puunpoltto on merkittävin PAH-päästöjen lähde. Arkielämässä merkittävimpiä PAH-yhdisteiden lähteitä ovat muun muassa pakokaasut, tupakansavu, noki sekä ruoanvalmistus paahtamalla ja grillaamalla. Luonnollisia lähteitä ovat metsäpalot ja tulivuoren purkaukset.

PAH-yhdisteiden fysikaalis-kemialliset ominaisuudet vaihtelevat huomattavasti, mutta osa PAH-yhdisteistä on helposti haihtuvia. Ne vapautuvat ilmaan ja kulkeutuvat ilmakehässä pitkiä matkoja. PAH-yhdisteet esiintyvät joko kaasumaisessa olomuodossa tai sitoutuneina ilmassa oleviin pienhiukkasiin. PAH-yhdisteet, jotka sisältävät viisi rengasta tai enemmän havaitaan lähinnä hiukkasiin sitoutuneina kun taas $2\text{--}3$ rengasta sisältävät ovat lähes ainoastaan kaasumaisessa olomuodossa. Vaihtelevuudet olomuodossa liittyvät pääasiassa 4 rengasta sisältäviin PAH-yhdisteisiin, kuten fluoranteeniin, pyreeniin, bentso(a)antraseeniin ja kryseeniin (*European Commission, 2001*). Bentso(a)pyreeni on viisirenkainen hiilivety, joka kiinnittyy palamisessa syntyviin pienhiukkasiin. PAH-yhdisteet ovat karsinogeenisiä ja ulkoilman PAH-yhdisteet lisäävät erityisesti keuhkosityöpään sairastumisen riskiä. PAH-yhdisteiden aiheuttaman syöpäriskin merkkiaineena käytetään bentso(a)pyreeniä.

Bentso(a)pyreenin pitoisuudet ja vuodenaikaisvaihtelu kuvaavat hyvin muidenkin PAH-yhdisteiden ominaisuuksia. Talvella PAH-yhdisteiden pitoisuudet ovat suurempia kuin kesällä, koska mm. energiantuotannon ja puunpoltton takia PAH-yhdisteiden päästöt ovat talvikaudella suuremmat. Toisin kuin monet muun ilmansaasteen päästöt, bentso(a)pyreenin päästöt ilmaan ovat kasvaneet Euroopassa viime vuosina. Tämä johtuu suurimmaksi osaksi lisääntyneestä biomassan poltosta. Noin 17% Euroopan kaupunkien väestöstä altistui EU:n tavoitearvon $1 \text{ ng}/\text{m}^3$ ylittävälle bentso(a)pyreenipitoisuuksille (*EEA, 2019*).

Suomessa bentso(a)pyreeni on tyypillisesti sellaisten pientaloalueiden ongelma, joissa poltetaan paljon puuta. Korkeita pitoisuuksia esiintyy erityisesti talvisin. Tavoitearvoa $1 \text{ ng}/\text{m}^3$ hipovia ja jopa sen ylittäviä vuosipitoisuustasoja on mitattu paljon pientaloalueilla sekä Raahessa terästeollisuuslaitoksen tuntumassa. Vuonna 2018 Suomen korkein vuosikeskiarvo $1,7 \text{ ng}/\text{m}^3$ mitattiin Raahen Lapaluodossa. Bentso(a)pyreenin mittauksia on Suomessa melko harvassa,

mutta tavoitearvoa lähellä olevia tai jopa sen ylittäviä pitoisuuksia esiintyy melko tasaisesti ympäri Suomea asutuskeskuksissa alueilla, joissa on paljon puunpolttoa (*Ilmatieteen laitos, 2021*).

4.6 Arseeni ja raskasmetallit

Raskasmetalleja pääsee ulkoilmaan sekä kaasuina että hiukkasiin sitoutuneina pääasiassa erilaisista metalliteollisuusprosesseista, energiantuotannosta, jätteenpoltosta ja liikenteestä sekä myös luonnollisista lähteistä, kuten metsäpalojen, tuulieroosion ja tulivuorten purkausten vaikutuksesta. Poltto- ja teollisuusprosesseista peräisin olevat hiukkaset sisältävät useita terveydelle haitallisia alkuaineita, kuten arseenia, kadmiumia, nikkeliä ja lyijyä. Näitä aineita voi myös rikastua maaperään, jolloin niitä löytyy myös maasta takaisin ilmaan nousseista hiukkasista.

Kadmiumin (Cd), nikkelin (Ni) ja arseenin (As) vuosikeskiarvopitoisuuksille on Suomessa säädetty tavoitearvot (*Vna 113/2017*). Myös ulkoilman lyijyn (Pb) vuosipitoisuuksille on annettu raja-arvo (*Vna 79/2017*), mutta raja-arvo alittuu selkeästi kaikkialla Suomessa eikä lyijy ole enää keskeinen ilmanlaatutekijä maassamme. Arseenin, kadmiumin, lyijyn ja nikkelin pitoisuudet ilmassa ovat yleensä alhaiset Euroopassa, ja raja- tai tavoitearvojen ylityksiä esiintyy vain muutamissa paikoissa. Nämä epäpuhtaudet aiheuttavat kuitenkin laskeumaa ja myrkyllisten metallitasojen kertymistä maaperään, sedimentteihin ja organismeihin (*EEA, 2020*).

Arseeni

Arseeni esiintyy pääasiassa ulkoilman pienissä hiukkasissa, jotka ovat kooltaan luokkaa 1 µm tai sitä pienempiä. Arseenin keskeisiä päästölähteitä Suomessa ovat energiantuotanto, teollisuusprosessit ja jätehuolto. Arseenin kokonaispäästöiksi Suomessa on arvioitu 2,1 tonnia vuonna 2019 (*SYKE, 2021*).

Arseenille altistutaan pääasiallisesti ruoansulatuskanavan kautta ruoan ja juomaveden välityksellä. Eurooppalaisissa arvioissa on esitetty, että vain alle 1 % kokonaisannoksesta saataisiin normaalioloissa hengitysilma. Työperäisissä altistuksissa, joissa arseenipitoisuudet ovat merkittävästi korkeampia kuin ulkoilmassa, on arseenin todettu lisäävän sydänkuoleman riskiä, aiheuttavan maksasairauksia, ruoansulatuskanavan, keskus- ja ääreishermoston oireita, allergisia ja muita iho-oireita sekä vaikuttavan verisolujen muodostumiseen luuytimessä. Hengitysteitse saatavien arseeniannosten kannalta keuhkosyöpä on merkittävin pitkäaikaisen altistumisen lopputila.

Kadmium

Kadmium rikastuu pääasiassa ulkoilman pieniin hiukkasiin, jotka ovat kooltaan luokkaa 1 µm tai sitä pienempiä. Kadmiumin keskeisiä päästölähteitä Suomessa ovat energiantuotanto, teollisuusprosessit, jätehuolto ja liikenne. Kadmiumin kokonaispäästöiksi Suomessa on arvioitu 0,8 tonnia vuonna 2019 (*SYKE, 2021*).

Ihmiset altistuvat kadmiumille hengitysilman, juomaveden ja ravinnon kautta. Koska kadmiumyhdisteet imeytyvät ruoansulatuskanavaan melko huonosti, on hengityselinten kautta saatu altistus terveysvaikutusten kannalta tärkeä. Korkeilla, pitkäaikaisilla työperäisillä kadmiumpitoisuuksilla on havaittu olevan yhteyttä eturauhasen sekä ylähengitysteiden ja keuhkojen syöpien lisääntymiseen ja krooniselle keuhkotulehdukselle ominaisiin oireisiin ja löydöksiin. Kadmium kertyy maksaan ja munuaisiin, joista se poistuu vasta vuosikymmenien kuluessa. Munuaisiin kertymiseen voi myös liittyä elinten vajaatoimintaa. Kansainvälinen syöpätutkimuskeskus, IARC, on luokitellut kadmiumin ihmisille syöpävaaralliseksi.

Nikkeli

Nikkeliä esiintyy yleisesti maaperässä ja sitä on rikastuneena raakaöljyyn. Nikkeliä vapautuu ulkoilmaan pääasiassa polttoaineiden ja jäteöljyn poltossa sekä nikkelimalmin louhinnassa ja jalostuksessa. Muita nikkelin käyttöalueita ovat muun muassa keramiikka, paristot, elektroniikka sekä lasin ja muovien värjäys. Nikkeliä esiintyy ulkoilmassa melko runsaasti myös karkeammissa hiukkasissa, jotka ovat kooltaan muutamasta mikrometristä ylöspäin. Nikkelin kokonaispäästöiksi Suomessa on arvioitu 12 tonnia vuonna 2019 (SYKE, 2021).

Kun otetaan huomioon ulkoilman nikkelipitoisuuksien taso, merkittävin nikkelialtistus saadaan Suomessa ja koko Euroopassa yleensä ruoan välityksellä. Nikkelin aiheuttamia yleisiä terveyshaittoja ovat myös allergiset kontakti-ihottumat, hengitysteihin kohdistuvat vaikutukset, limakalvojen ärsytys sekä elimistön immuuni- ja puolustusjärjestelmään kohdistuvat vaikutukset. Euroopan unionin luokittelun mukaan useat nikkeliyhdisteet on todettu syöpää aiheuttaviksi ja monet nikkeliyhdisteet arvioitu mahdollisiksi karsinogeneiksi.

4.7 Ilman epäpuhtauksien terveysvaikutukset

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

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

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

4.8 Ulkoilmanlaadun vertailuarvot

Leviämismallilaskelmilla tai ilmanlaadun mittauksilla saatuja ilman epäpuhtauksien pitoisuuksia voidaan arvioida vertaamalla niitä ilmanlaadun ohje- ja raja-arvoihin, kriittisiin tasoihin ja tavoitearvoihin. EU-maissa voimassa olevat raja-arvot (Vna 79/2017) ovat sitovia ja ne eivät saa ylittyä alueilla, joissa asuu tai oleskelee ihmisiä. Raja-arvot eivät ole voimassa esimerkiksi teollisuusalueilla tai liikenneväylillä, lukuun ottamatta kevyen liikenteen väyliä. Kansalliset ilmanlaadun ohje-arvot (Vnp 480/1996) eivät ole yhtä sitovia kuin raja-arvot, mutta niitä käytetään esimerkiksi kaupunkisuunnittelun tukena ja ilman pilaantumisen vaaraa aiheuttavien toimintojen sijoittamisessa. Tavoitteena on ennalta ehkäistä ohje-arvojen 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 ylityessä 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 9 raja-arvoja alueilla, joilla ihmiset saattavat altistua ilmansaasteille.

Taulukko 9. Terveyshaittojen ehkäisemiseksi annetut ulkoilman typpidioksidin, rikkidioksidin pienhiukkasten ja hengitettävien hiukkasten pitoisuuksia koskevat raja-arvot (Vna 79/2017).

Ilman epäpuhtaus	Keskiarvon las- kenta-aika	Raja-arvo $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (293 K, 101,3 kPa)	Sallittujen ylitysten määrä kalenterivuo- dessa
Typpidioksidi (NO_2)	1 tunti	200 ¹⁾	18
	kalenterivuosi	40 ¹⁾	–
Rikkidioksidi (SO_2)	1 tunti	350 ¹⁾	24
	1 vuorokausi	125 ¹⁾	3
Hengitettävät hiukkaset (PM_{10})	1 vuorokausi	50 ²⁾	35
	kalenterivuosi	40 ²⁾	–
Pienhiukkaset ($\text{PM}_{2,5}$)	kalenterivuosi	25 ²⁾	–
Lyijy	kalenterivuosi	0,5 ²⁾	–

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

²⁾ Tulokset ilmaistaan ulkoilman lämpötilassa ja paineessa.

Ilmanlaadun ohje-arvot on otettava huomioon suunnittelussa ja niitä sovelletaan mm. alueiden käytön, kaavoituksen, rakentamisen ja liikenteen suunnittelussa ja ympäristölupaharkinnassa. Ohje-arvojen soveltamisen avulla pyritään ehkäisemään ilmansaasteiden aiheuttamia terveysvaikutuksia. Suomessa voimassa olevat ulkoilman typpidioksidin ja hengitettävien hiukkasten pitoisuuksia koskevat ilmanlaadun ohje-arvot on esitetty taulukossa 10.

Taulukko 10. Ulkoilman typpidioksidin, rikkidioksidin ja hengitettävien hiukkasten pitoisuuksia koskevat ilmanlaadun ohjearvot (Vnp 480/1996).

Ilman epäpuhtaus	Ohjearvo $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Tilastollinen määrittely
Typpidioksidi (NO_2)	150 ¹⁾	Kuukauden tuntiarvojen 99. prosenttipiste
	70 ¹⁾	Kuukauden toiseksi suurin vuorokausiarvo
Rikkidioksidi (SO_2)	250 ¹⁾	Kuukauden tuntiarvojen 99. prosenttipiste
	80 ¹⁾	Kuukauden toiseksi suurin vuorokausiarvo
Hengitettävät hiukkaset (PM_{10})	70 ¹⁾	Kuukauden toiseksi suurin vuorokausiarvo

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

Taulukossa 11 esitetään Maailman terveysjärjestön (WHO) suositustenomaiset ohjearvot typpidioksidille, rikkidioksidille, hengitettäville hiukkasille ja pienhiukkasille (WHO, 2021). WHO päivitti ilmanlaadun ohjearvot syksyllä 2021.

Taulukko 11. Ulkoilman typpidioksidin, rikkidioksidin, hengitettävien hiukkasten ja pienhiukkasten pitoisuuksia koskevat ilmanlaadun ohjearvot (WHO, 2021).

Ilman epäpuhtaus	Ohjearvo $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Tilastollinen määrittely
Typpidioksidi (NO_2)	200	Tuntikeskiarvo
	25	Vuoden vuorokausiarvojen 99. prosenttipiste (sallii 3–4 ylitystä vuodessa)
	10	Vuoden keskiarvo
Rikkidioksidi (SO_2)	500	10 minuutin keskiarvo
	40	Vuoden vuorokausiarvojen 99. prosenttipiste (sallii 3–4 ylitystä vuodessa)
Hengitettävät hiukkaset (PM_{10})	45	Vuoden vuorokausiarvojen 99. prosenttipiste (sallii 3–4 ylitystä vuodessa)
	15	Vuoden keskiarvo
Pienhiukkaset ($\text{PM}_{2,5}$)	15	Vuoden vuorokausiarvojen 99. prosenttipiste (sallii 3–4 ylitystä vuodessa)
	5	Vuoden keskiarvo

Typenoksidi- ja rikkidioksidipitoisuuksien kriittisen tason ylittyessä pitoisuudet saattavat aiheuttaa haitallisia vaikutuksia kasvillisuudelle tai ekosysteemeille. Kriittisiä tasoja sovelletaan rakennetun ympäristön ulkopuolella olevilla laajoilla maa- ja metsätalousalueilla sekä luonnonsuojelun kannalta merkityksellisillä alueilla (taulukko 12).

Taulukko 12. Ulkoilman typen oksidien ja rikkidioksidin pitoisuuksia koskevat ilmanlaadun kriittiset tasot (Vna 79/2017).

Ilman epäpuhtaus	Kriittinen taso $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Tilastollinen määrittely
Typen oksidit (NO_x)	30 ¹⁾	Vuosikeskiarvo
Rikkidioksidi (SO_2)	20 ¹⁾	Vuosikeskiarvo

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

Tavoitearvolla tarkoitetaan ilmassa olevaa pitoisuutta, joka on mahdollisuuksien mukaan alitettava määräajassa ja jolla pyritään välttämään, ehkäisemään tai vähentämään ihmisten terveyteen ja ympäristöön kohdistuvia haitallisia vaikutuksia. Pitoisuuksien alittaessa säädetyn tavoitearvon, pitoisuudet on pyrittävä pitämään tavoitearvojen alapuolella ja mahdollisuuksien mukaan estämään pitoisuuksien nouseminen. Tavoitearvon ylittyminen on pyrittävä estämään käyttämällä parasta käyttökelpoista tekniikkaa ja noudattamalla ympäristön kannalta parhaan käytännön periaatetta (Vna 113/2017). Bentso(a)pyreenin, arseenin, kadmiumin ja nikkelin ulkoilmapitoisuuksia koskevat ilmanlaadun tavoitearvot sekä pitoisuuksien seurantaan liittyvät ylempät ja alemmat arviointikynnykset on esitetty taulukossa 13.

Ylemmällä arviointikynnyksellä tarkoitetaan sellaista ilman epäpuhtauden pitoisuutta, jota korkeammassa pitoisuuksissa jatkuvat mittaukset ovat ensisijainen ilmanlaadun seurantamenetelmä seuranta-alueella. Tätä alemmissa pitoisuuksissa jatkuvien mittausten tarve on vähäisempi ja ilmanlaadun arvioinnissa voidaan käyttää jatkuvien mittausten ja mallintamistekniikoiden tai suuntaa-antavien mittausten yhdistelmää. *Alemmalla arviointikynnyksellä* tarkoitetaan ilman epäpuhtauden pitoisuutta, jota alemmissa pitoisuuksissa ilmanlaadun arvioimiseksi riittää, että seuranta-alueella käytetään yksinomaan mallintamista tai muita menetelmiä kuten päästökartoituksia. Ylemmän ja alemman arviointikynnyksen ylittyminen määritetään viiden edellisen vuoden pitoisuuksien perusteella. Arviointikynnyksen katsotaan ylittyneen, kun se on ylittynyt vähintään kolmena vuotena viidestä.

Taulukko 13. Bentso(a)pyreenin, arseenin, kadmiumin ja nikkelin tavoitearvot ja arviointikynnykset pitoisuuksien vuosikeskiarvoille (Vna 113/2017).

Yhdiste	Keskiarvon laskenta-aika	Tavoitearvo *) ng/m^3	Alempi arviointikynnys ng/m^3	Ylempi arviointikynnys ng/m^3
Bentso(a)pyreeni	kalenterivuosi	1,0	0,4	0,6
Arseeni	kalenterivuosi	6	3,6	2,4
Kadmium	kalenterivuosi	5	3	2
Nikkeli	kalenterivuosi	20	14	10

*) Pitoisuus määritetään hengitettävien hiukkasten massapitoisuudesta kalenterivuoden keskiarvona. Tulokset ilmoitetaan ulkoilman lämpötilassa ja paineessa.

5 LEVIÄMISMALLILASKELMIEN LÄHTÖTIEDOT

5.1 Mallilaskelmissa huomioidut päästöt

5.1.1 Porin kokonaispäästöt

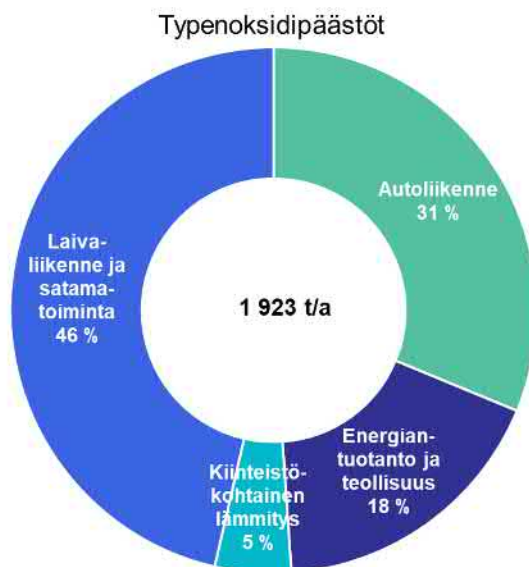
Leviämismallilaskelmissa huomioidut Porin autoliikenteen, energiantuotannon, teollisuuden, laivaliikenteen, satamatoiminnan ja kiinteistökohtaisen lämmityksen kokonaispäästöt on esitetty kuvissa 42–44. Typen oksidien kokonaispäästöistä 46 % tulee laivaliikenteestä ja satamatoiminnoista ja 18 % energiantuotannosta ja teollisuudesta. Autoliikenteestä aiheutuu 31 % typen oksidien kokonaispäästöistä. Autoliikenteen päästöt vapautuvat mallilaskelmissa noin metrin korkeudelta, laivaliikenteen päästöt 30 metrin korkeudelta ja laitosten päästöt niiden todellisilta piipunkorkeuksilta.

Pienhiukkasten kokonaispäästöistä 63 % aiheutuu kiinteistökohtaisesta lämmityksestä. Laivaliikenteen ja satamatoiminnan osuus on 24 % ja energiantuotannon ja teollisuuden osuus on 5 %. Autoliikenteen osuus 8 % pienhiukkaspäästöistä. Autoliikenteen päästömäärässä on huomioitu suoraan moottoreiden pakokaasusta peräisin olevat pienhiukkaset ja katupölyn sisältämät pienhiukkaset.

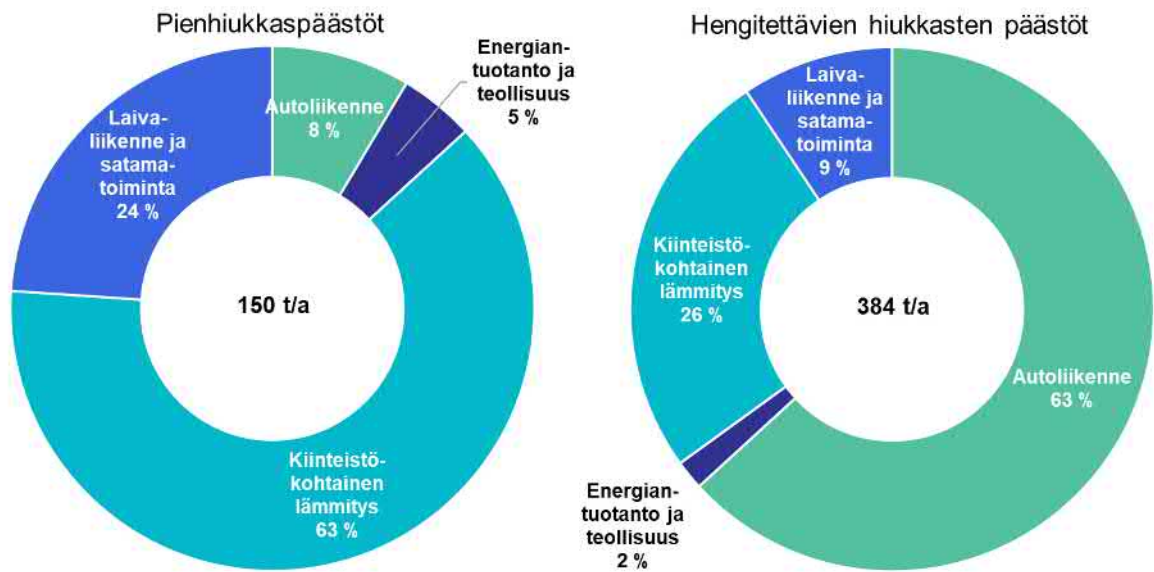
Hengitettävien hiukkasten kokoluokan hiukkaspäästöistä 63 % on peräisin autoliikenteen päästöistä. Päästöissä on huomioitu pakokaasuista peräisin olevat pienhiukkaset sekä katupölyn sisältämät PM₁₀-hiukkaset, jotka on laskettu erillisellä suspensiopäästömallilla (ks. kpl 6.4). Kiinteistökohtaisen lämmityksen osuus PM₁₀-hiukkaspäästöistä on 26%. Energiantuotannon ja teollisuuden (2 %) sekä laivaliikenteen ja satamatoiminnan (9 %) päästöt on otettu huomioon pienhiukkasina, koska niiden tarkemmasta kokojakaumasta ei ole olemassa tietoa.

Rikkidioksidipäästöistä 66 % aiheutuu energiantuotannon ja teollisuuden päästölähteistä, 20 % kiinteistökohtaisesta lämmityksestä ja 14 % laivaliikenteen ja satamatoiminnan päästöistä.

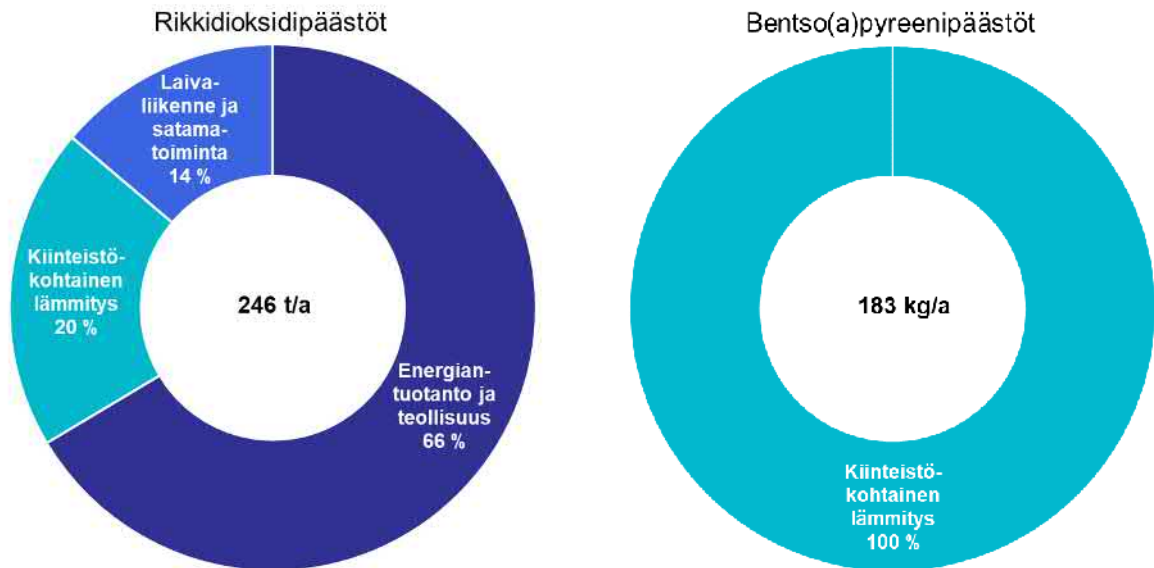
Bentso(a)pyreenipäästöt aiheutuvat kokonaan kotitalouksien puunpolton päästöistä.



Kuva 42. Porin typen oksidien kokonaispäästöt sekä eri päästölähteiden osuudet.



Kuva 43. Porin pienhiukkasten ja hengitettävien hiukkasten kokonaispäästöt sekä eri päästölähteiden osuudet.



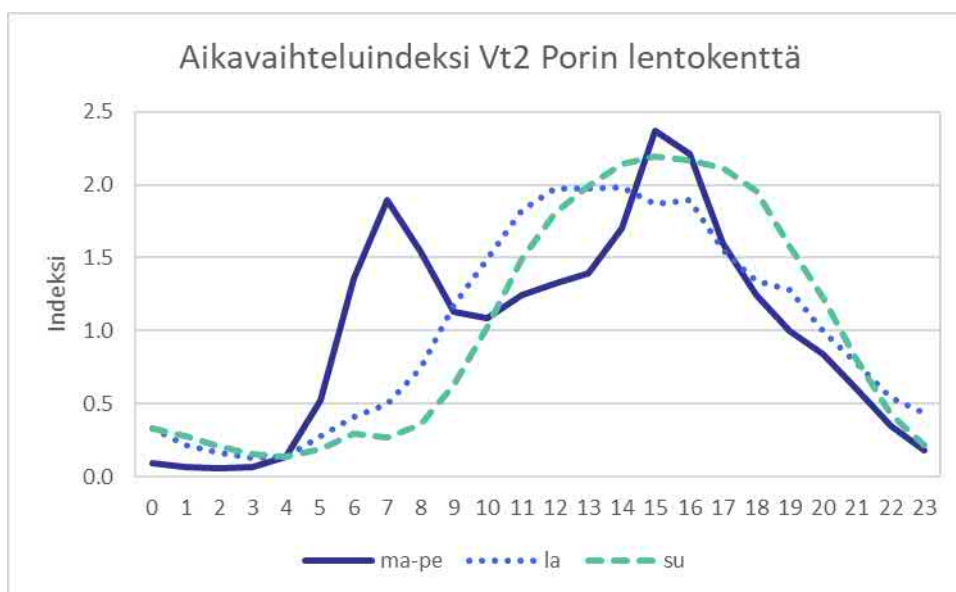
Kuva 44. Porin rikkidioksidin ja bentso(a)pyreenin kokonaispäästöt sekä eri päästölähteiden osuudet.

5.1.2 Autoliikenteen päästöt

Leviämismallilaskelmilla tarkasteltiin autoliikenteen päästöjä nykytilanteessa. Mallilaskelmien lähtötiedoissa nykytilannetta edustivat vuoden 2019 liikennemäärät. Liikennemäärätietoja saatiin Ramboll Finland Oy:ltä ja Porin kaupungilta ja yleisten teiden osalta käytettiin Väyläviraston Digiroad-aineistoa. Mallissa huomioitiin vain ne tiet ja kadut, joista saatiin lähtötietoaineistoja. Suurimmat vuorokausiliikennemäärät Porissa on valtatiellä 2 (noin 19 700) ja valtatiellä 8 (noin 19 200) Porin keskustan kohdalla. Sisääntuloväylällä Luvianpuistokadulla liikennemäärä on korkeimmillaan 21 900 ajoneuvoa/vrk. Porin keskustassa vilkkaimmin liikennöityjä katuja ovat Paanakedonkatu (max 14 300 autoa/vrk), Maantiekatu (max 13 500 autoa/vrk), Itsenäisyydenkatu (max 11 200 autoa/vrk) ja Valtakatu (max 13 000 autoa/vrk).

Koko tutkimusalueen autoliikenteen tyyppien 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 7 457 viivalähdettä Porin seudun kuntien alueelta.

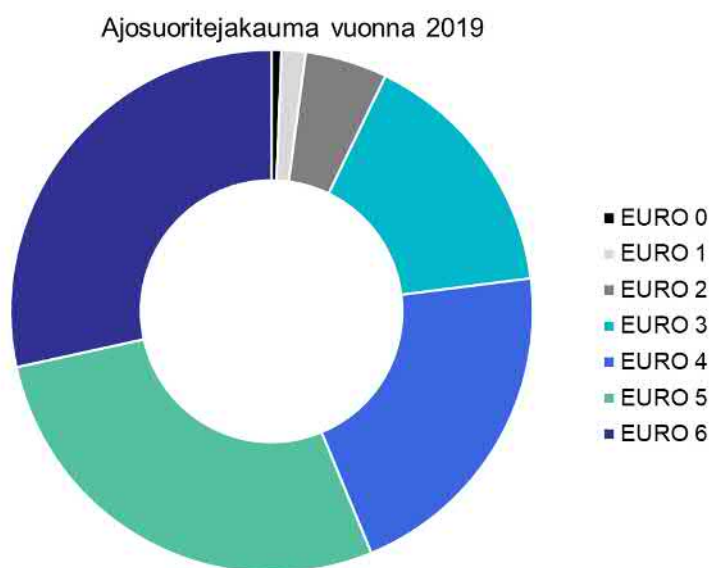
Tieverkon liikenteen päästöt laskettiin Ilmatieteen laitoksella keskimääräisten vuorokausiliikennemäärien (KVL), ajonopeuksien, raskaan liikenteen osuuksien ja liikenteen tuntikohtaisen vaihtelun perusteella. Ajonopeudet oli saatavissa kaikille viivalähteille. Raskaan liikenteen osuudet saatiin Digiroadista yleisille teille. Porin kaupungin alueella raskaan liikenteen osuuksia oli mitattu noin 30 kadulla ja näillä kaduilla käytettiin mitattuja arvoja, jotka vaihtelivat välillä 0,3–9,9 %. Paanakedonkadulla raskaan liikenteen osuus on 1 %. Raskaan liikenteen käyttämillä kaduilla käytettiin raskaan liikenteen osuudelle arviota 3,5 % ja muille kaduille ja teille 2 %. Päästöjen viikonpäivittäisten ja tunneittaisten aikavaihtelujen kuvaamisessa käytettiin valtatie 2:lla sijaitsevan liikenteen automaattisen mittauspisteen (LAM) liikennelaskenta-aineistoja. Liikenteen aikavaihtelu LAM-pisteessä 232 (Vt2 Porin lentokenttä) on esitetty kuvassa 45.



Kuva 45. Mallilaskelmissa käytetyt liikenteen tunneittaista vaihtelua kuvaavat aikavaihteluindeksit LAM-pisteessä 232 (Vt2 Porin lentokenttä).

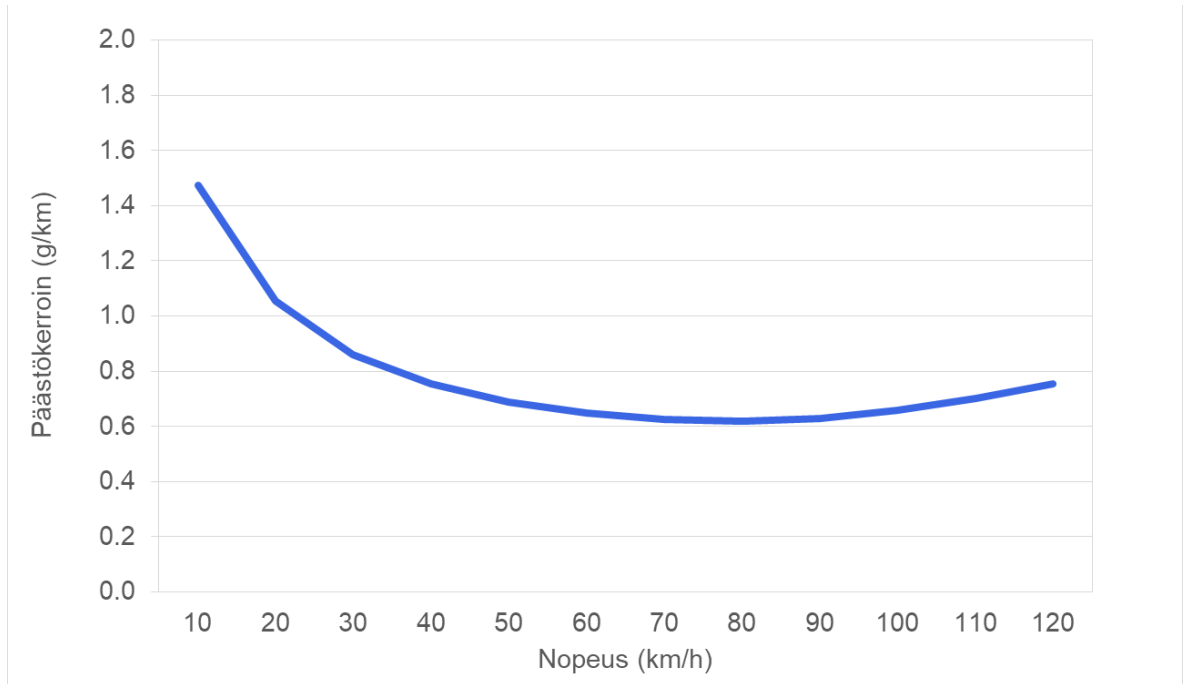
Autoliikenteen pakokaasupäästöt laskettiin käyttäen Euroopan ympäristöviraston (*European Environmental Agency, EEA*) määrittämiä tieliikenteen päästökertoimia (*EEA, 2017*). Nämä päästökertoimet riippuvat ajoneuvojen moottoriteknologiasta, EURO-päästöluokista sekä ajonopeudesta. Kertoimet on määritetty 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, 2020*). Tämä malli tarjoaa vuosittain päivittyvät nykytilannetta edustavat arvot koko Suomen autokannan EURO-päästöluokkaisille ajosuoriteosuuksille (kuva 46). Luokittelu kertoo, miten paljon Suomessa vuodessa ajetaan kuhunkin eri päästöluokkaan kuuluvilla ajoneuvoilla.

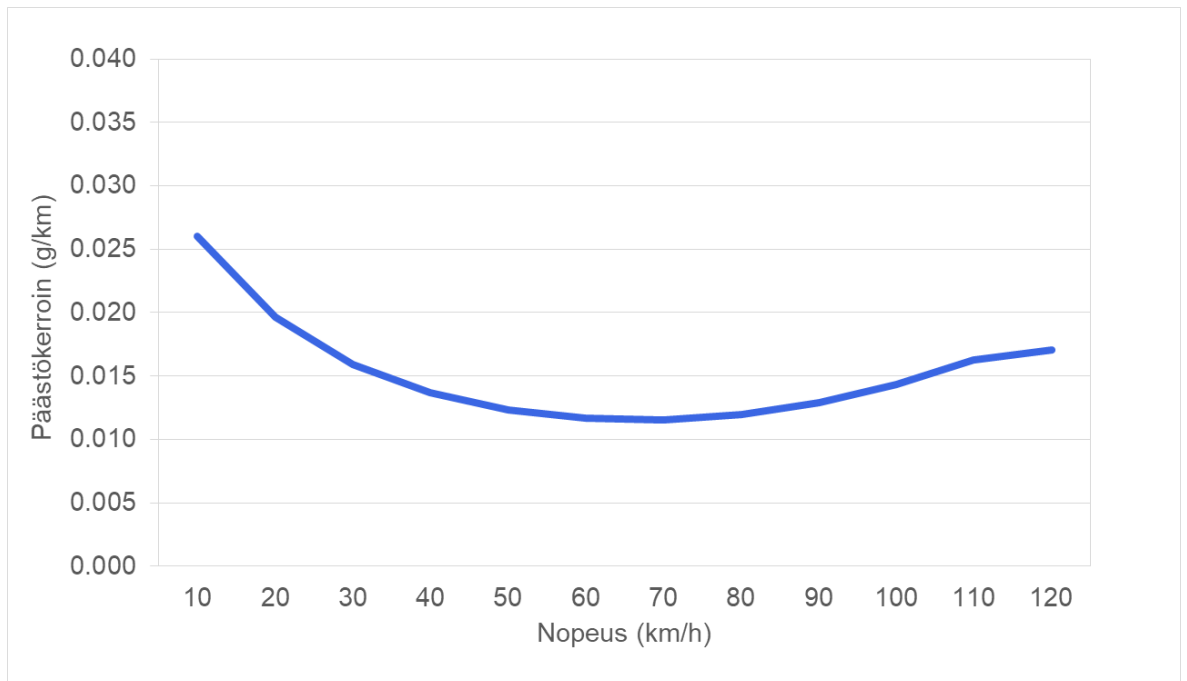


Kuva 46. ALIISA-autokantamallin kaikkien ajoneuvojen EURO-päästöluokittaiset suoritejakaumat Suomessa vuonna 2019 (*VTT, 2020*).

Ajoneuvojen jakaumana käytettiin Suomen vuoden 2019 ajoneuvojen EURO-päästöluokittaisia ajosuoriteosuuksia VTT:n liikenteen päästöjen laskentajärjestelmän mukaisesti. Kuvissa 47 ja 48 on esitetty päästölaskennassa käytetyt Suomen koko ajoneuvokannan keskimääräiset pakokaasujen tyyppien oksidien ja pienhiukkasten päästökertoimet vuodelle 2019. Päästökertoimet ottavat huomioon ajoneuvotyyppien keskimääräiset suhteelliset osuudet Suomessa. Leviämismallilaskelmissa päästökertoimet on kohdennettu Poriin ajoneuvotyyppien suhteellisilla suoriteosuuksilla katu- tai tieosuuden mukaan VTT:n LIISA-laskentajärjestelmän mukaisesti (taulukko 14).



Kuva 47. Mallilaskelmissa käytettävät ajoneuvojen keskimääräiset nopeusriippuvat typen oksidien (NO_x) päästökertoimet. Kertoimien pohjana ovat EEA:n päästökertoimet (EEA, 2017) painotettuna suoritteiden EURO-päästöluokkajakaumilla ja koko Suomen keskimääräisillä ajosuoriteosuuksilla vuonna 2019 (VTT, 2020).



Kuva 48. Mallilaskelmissa käytettävät ajoneuvojen keskimääräiset nopeusriippuvat pienhiukkasten ($\text{PM}_{2.5}$) päästökertoimet. Kertoimien pohjana ovat EEA:n päästökertoimet (EEA, 2017) painotettuna suoritteiden EURO-päästöluokkajakaumilla ja koko Suomen keskimääräisillä ajosuoriteosuuksilla vuonna 2019 (VTT, 2020).

Taulukko 14. Porin kuntakohtainen ajoneuvotyyppien jakauma vuonna 2016 (VTT/LIISA).

Kunta	Henkilöautot	Pakettiautot	Linja-autot	Kuorma-autot ilman perävaunua	Perävaunulliset kuorma-autot
Pori	78,3 %	12,2 %	1,4 %	4,5 %	3,5 %

Taulukossa 15 on esitetty Porin seudun autoliikenteen tyyppien oksidien, pienhiukkasten ja hengitettävien hiukkasten kokonaispäästöt vuonna 2019. Liitekuviissa 82–83 on esitetty päästölaskennan pohjana käytetyt vuoden 2019 keskimääräiset vuorokausiliikennemäärät tarkastelualueella sekä tyyppien oksidien päästöt viivalähteittäin koko Porin kunnan alueella sekä tarkemmin Porin keskusta-alueella. Leviämismallilaskelmissa oletettiin autoliikenteen tyyppien oksidipäästöistä (NO_x) olevan keskimäärin 20 % typpidioksidia (NO₂) ennen ulkoilmassa tapahtuvaa kemiallista muutunutta (*Anttila, ym., 2011*).

Liitekuviissa 84–87 on esitetty pienhiukkasten ja hengitettävien hiukkasten päästöt viivalähteittäin koko Porin kaupungin alueella ja tarkemmin Porin keskusta-alueella. Suspensiopäästöjen laskelmissa arvioitiin, että Porin seudulla nastarenkaiden osuus on 80 % kaikista käytössä olevista talvirenkaista. Suspensiopäästöjen määrä vaihteli vuosittain sääolosuhteiden takia välillä 221–234 t/a. Taulukossa on esitetty kolmen tarkasteluvuoden PM₁₀-kokonaispäästöjen keskiarvo.

Taulukko 15. Porin seudun autoliikenteen kokonaispäästöt (t/a) vuonna 2019.

	Autoliikenteen kokonaispäästöt
NO _x	601 t/a
PM _{2,5}	13 t/a
PM ₁₀	230 t/a

5.1.3 Energiantuotannon ja teollisuuden päästöt

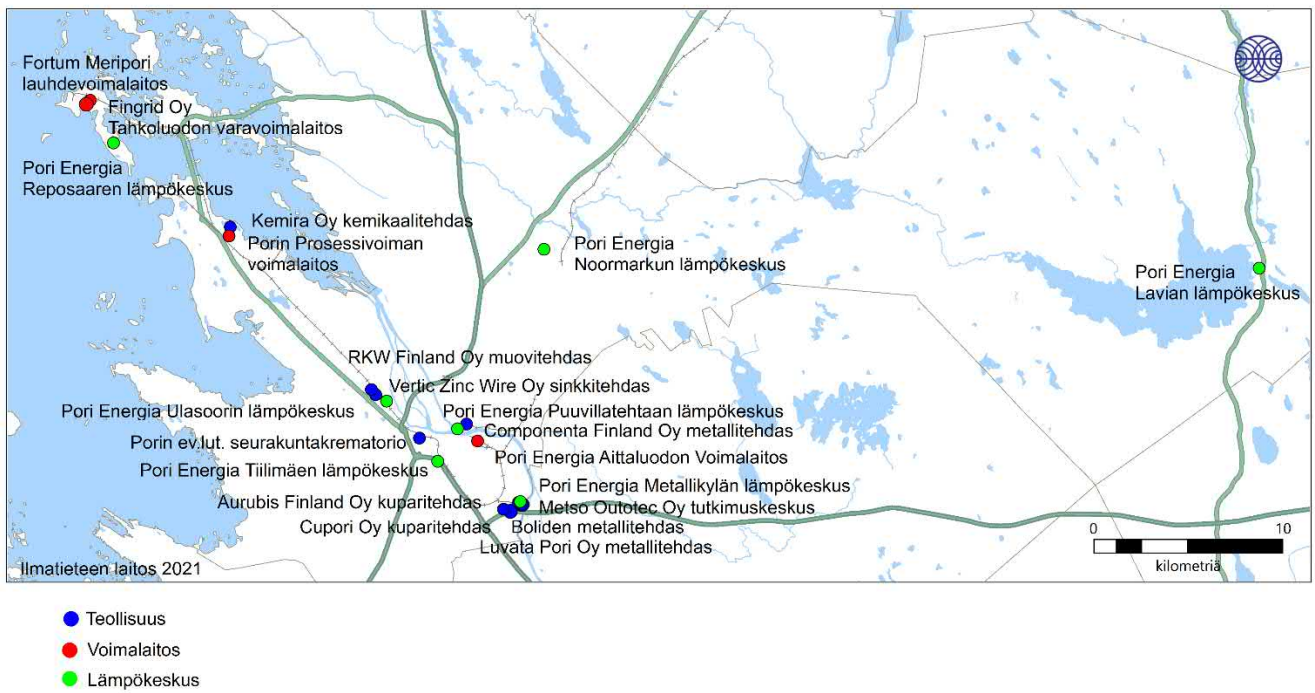
Leviämismallilaskelmissa huomioitiin Porin seudun merkittävimmät energiantuotannon ja teollisuuden päästölähteiden vuoden 2020 mukaiset päästöt. Päästöt ja muut tekniset tiedot pyydettiin suoraan toiminnanharjoittajilta. Mallilaskelmissa oli mukana yhteensä 48 yksittäistä päästölähdettä 13 eri laitokselta. Leviämismallilaskelmissa kaikki energiantuotannon ja teollisuuden hiukkaspäästöt on oletettu pienhiukkasiksi niiden todellisesta koosta riippumatta, koska laitosten hiukkaskokojakaumasta ei ollut tarkempaa tietoa. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttamat pienhiukkaspitoisuudet on mallilaskelmissa otettu mukaan myös hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) kokonaispitoisuuksiin.

Laskelmissa huomioitiin energiantuotantolaitoksista Porin Prosessivoiman voimalaitos, Fortumin Meri-Porin lauhdevoimalaitos, Fingrid Oy:n Tahkoluodon varavoimalaitos ja Pori Energian Aittaluodon voimalaitos. Meri-Porin lauhdevoimalaitoksen osalta on käytetty nykyistä normaalitoimintaa kuvaavia päästöjä vuoden 2020 päästöjen sijaan, sillä laitos siirtyi vuoden 2020 aikana tehoreserviin. Lisäksi mallilaskelmissa olivat mukana Pori Energian Reposaaressa, Noormarkun, Lavian, Ulasoorin, Tiilimäen, Metallikylän ja Puuvillatehtaan lämpökeskukset. 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 Kemira Oy:n kemikaalitehdas, RKW Finland Oy:n muovitehdas, Vertic Zinc Wire Oy:n sinkkitehdas, Componenta Finland Oy:n metallitehdas, Metso Outotec Oy:n tutkimuskeskus, Bolidenin ja Luvata Pori Oy:n metallitehtaat, Aurubis Finland Oy:n ja Cupori Oy:n kuparitehtaat sekä Porin evankelilaisluterilaisen seurakunnan krematorio.

Energiantuotanto- ja teollisuuslaitosten sijainnit Porin seudulla vuonna 2020 on esitetty kuvassa 49. Metalliteollisuuskeskittymä sijaitsee Porin kaakkoisosassa Kupariteollisuuspuistossa Kokemäenjoen varrella. Liitekuviissa 88–90 on esitetty energiantuotanto- ja teollisuuslaitosten typenoksidi-, hiukkas- ja rikkidioksidipäästöjen alueellinen jakauma vuonna 2020. Laitosten typen oksidien, hiukkasten ja rikkidioksidin kokonaisvuosipäästöt on esitetty taulukossa 16 ja raskasmetallipäästöt liitteessä 1. Alueen merkittävimmät päästölähteet ovat Pori Energian Aittaluodon voimalaitos, Porin Prosessivoiman voimalaitos ja Bolidenin metallitehdas.

Leviämismallilaskelmissa tarvittavat energiantuotannon päästölähteiden sijainnit ja laitosten tekniset tiedot sekä päästömäärät, käyttöajat ja muut päästöjen ajallisen vaihtelun kuvaamisessa tarvittavat tiedot huomioitiin mahdollisimman tarkasti 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. Jos toiminnanharjoittajalta ei saatu muuta tietoa päästöjen hetkellisestä lyhytaikaisvaihtelusta, kuvattiin päästövaihtelua aikasarjassa tunneittaisena $\pm 20\%$ satunnaisvaihteluna. Lämpökeskusten oletettiin toimivan käyntituntimääriensä mukaisesti vain vuoden kylmimpinä tunteina.



Kuva 49. Teollisuuslaitosten (sinisellä), voimalaitosten (punaisella) ja lämpökeskusten (vihreällä) sijainnit Porin kaupungin alueella.



Kuva: Katja Lovén

Taulukko 16. Porin seudun energiantuotanto- ja teollisuuslaitosten typenoksidi-, hiukkas- ja rikkidioksidipäästöt vuonna 2020 sekä piippujen korkeudet. Leviämismallilaskelmissa kaikki energiantuotannon ja teollisuuden hiukkaspäästöt on oletettu pienhiukkasiksi niiden todellisesta koosta riippumatta, koska laitosten hiukkaskokojakaumasta ei ollut tarkempaa tietoa.

Laitos	Piipun korkeus (m)	NO _x (t/a)	SO ₂ (t/a)	PM (t/a)
Fortum Oyj, Meri-Porin lauhdevoimalaitos*	83–147	4,3	4,0	0,6
Fingrid Oyj, Tahkoluodon varavoimalaitos	12	0,7	0,002	0,08
Pori Energia, Aittaluodon voimalaitos	70–120	205	33	1,8
Pori Energia, Puuvillan lämpökeskus	55	0,01	0	0,001
Pori Energia, Ulasoorin lämpökeskus	73	0,07	0	0,005
Pori Energia, Metallikylän lämpökeskus	53	0,04	0	0,006
Pori Energia, Tiilimäen lämpökeskus	50	1,1	0	0,1
Pori Energia, Lavian lämpökeskus	25	0,4	0	0,22
Pori Energia, Reposaaaren lämpökeskus	30	0,4	0	0,22
Pori Energia Noormarkun lämpökeskus	30	0,3	0	0,06
Porin Prosessivoima Oy, voimalaitos	30–90	119	9,4	0,9
Boliden kuparielektrolyysi	25–50	4,6	114	1,6
Cupori Oy kupariputkitehdas	10	0	0	0,006
Aurubis Finland Oy kuparivalssaamo ja valimo	37	3,6	0,3	0,05
RKW Finland Oy muovikalvotehdas	5	0,2	0	0
Outotec Finland Oy tutkimuskeskus	54	0,0002	0,005	0,006
Componenta Finland Oy rautavalimo	7–18	0	0	1,0
Kemira Oyj vesikemikaalitehdas	11–14	0,05	0	0,2
Luvata Pori Oy kuparituotetehdas	30	0,02	2,9	0,02
Porin ev.lut. seurakuntien krematorio	5	0	0	0,1
Kokonaispäästöt		340	164	7

* Käytössä normaalitoimintaa kuvaavat päästöt, sillä vuoden 2020 päästöt poikkeavat merkittävästi raportoiduista päästöistä.

5.1.4 Laivaliikenteen ja satamatoiminnan päästöt

Leviämismallilaskelmissa käytetyt laivaliikenteen aiheuttamat päästöt arvioitiin laivojen päästölaskentaan Ilmatieteen laitoksella kehitetyllä STEAM-laskentamallilla (Ship Traffic Emission Assessment Model), joka hyödyntää mm. laivojen automaattisesta kulunvalvonnasta saatuja paikkatietoja päästöjen laskennassa (katso kappale 6.5).

Laivojen dieselmoottoareiden teknistä kehitystä ja typenoksidipäästöjen määrää säädellään Tier I–III-päästörajoilla (*IMO, 2008*). Standardeilla määritetään laivoille asennettujen dieselmoottoareiden typen oksidien päästötasot laivojen valmistumisajankohdan mukaan. Tier I vaatimukset typen oksidien enimmäismäärälle koskevat moottoreita, joiden teho on enemmän kuin 130 kW ja jotka on asennettu aikavälillä 1.1.2000–1.1.2011 valmistuneisiin laivoihin, Tier II moottoreita, jotka on asennettu aikavälillä 1.1.2011–1.1.2016 valmistuneisiin laivoihin ja Tier III moottoreita, jotka on asennettu 1.1.2016 jälkeen valmistuneisiin laivoihin. STEAM-laskentamallin tuloksissa oletettiin vuoden 2019 laivapäästöjen noudattavan standardeja Tier I tai II. Itämeren ja Pohjanmeren NO_x -päästöjen valvonta-alueilla (NECA) on laivojen typenoksidipäästöjen vähentämiseksi ollut vuoden 2021 alusta asti voimassa myös Tier III -päästöraja, joka koskee dieselmoottoareita, joiden teho on enemmän kuin 130 kW ja jotka on asennettu aluksiin, jotka on rakennettu 1.1.2021 tai sen jälkeen. MARPOL-yleissopimuksen VI liitteen Tier III -päästörajoitukset voidaan täyttää asentamalla alukseen katalysaattori (SCR), käyttämällä polttoaineena nesteytettyä maakaasua (LNG) tai pakokaasujen takaisinkierrätystekniikkaa (EGR).

Laivaliikenteen vuoden 2019 päästölaskelmissa on oletettu polttoaineen rikkipitoisuudeksi 0,1 paino-% (liikennöinti satamissa ja matka-ajo). Koko Itämeri on osa rikkivalvonta-alueetta, jolla kulkevat laivat ovat käyttäneet vuoden 2015 alusta lähtien 0,1 paino-% rikkiä sisältävää polttoainetta (2012/33). Lisäksi EU:n satamien alueella käytettävän polttoaineen rikkipitoisuuden maksimiarvo on ollut 0,1 paino-% jo 1.1.2010 alkaen. Lainsäädännöllä rajoitetaan samanaikaisesti myös syntyvien pienhiukkasten määrää, koska polttoaineen rikkipitoisuudella ja pienhiukkasten määrällä on vahva yhteys.

STEAM-mallin tuloksista muodostettiin edelleen Porin seudun merialueelle tunneittaiset, viivamaiset typenoksidi-, pienhiukkas- ja rikkidioksidipäästöaineistot noin 55 km × 50 km kokoiselle alueelle. Laskelmissa käytetty päästölähteiden (viivalähteiden) kokonaismäärä oli kaikilla epäpuhtauksilla noin 8 000 kpl. Laskelmissa huomioitiin viivalähteet, joiden vuosittaiset päästöt ylittivät 100 g vuodessa. Kaikki viivalähteet olivat pohjois-eteläsuuntaisia ja pituudeltaan noin 270 metriä.

Laivaliikenteen päästöjen leviämislaskelmissa käytettiin kaikkien laivojen päästökorkeutena 30 metriä. Samaa päästökorkeutta on käytetty myös aiemmissa tutkimuksissa, joissa arvioitiin laivaliikenteen päästöjen ilmanlaatuvaikutuksia Suomen etelärannikolla (*SNOOP, 2011; BSR INNOSHIP, 2013; SALMI ym, 2020*). Liitekuviissa 91–93 on esitetty STEAM-mallista leviämislaskelmia varten tuotettu laivaliikenteen typenoksidi-, pienhiukkas- ja rikkidioksidipäästöjä merialueella kuvaava aineisto.

Laskelmissa käytetyt laivaliikenteen aiheuttamat kokonaispäästöt on esitetty taulukossa 17. Päästöissä on mukana sekä Poriin suuntautuva laivaliikenne että osittain myös isomman etelä-pohjoissuuntaisen meriväylän laivojen päästöjä noin 20 km etäisyydelle Porin satamista. Laskelmissa on oletettu laivaliikenteen ja satamatoiminnan päästöhiukkasten olevan kokonaisuudessaan pienhiukkasia. Laivaliikenteen päästöjen aiheuttamat pienhiukkaspitoisuudet on mallilaskelmissa otettu mukaan myös hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) kokonaispitoisuuksiin.

Porissa on kaksi satamaa: Mäntyluodon ja Tahkoluodon satamat. Satamatoimintojen päästölaskelmat perustuivat Porin Satama Oy:ltä saatuihin tietoihin satamien alueella liikkuvista työkoneista ja niiden käyttötuntimääristä sekä VTT:n TYKO 2020 Suomen työkonien

päästölaskentajärjestelmästä saatuihin työkoneiden päästökertoimiin (VTT, 2021). Työkoneet liikkuvat satamien alueella päivittäin noin klo 6–24. Työkoneiden päästökorkeudet oletettiin 2 m korkeammiksi kuin Porin Satamalta saadut korkeustiedot, jotta mallilaskelmissa voitiin huomioida pakokaasun lämpönoste ja liikemäärä päästöjen leviämisessä. Laskelmissa mukana olleiden satamatoimintojen työkoneiden vuosittaiset kokonaiskäyttötuntimäärät olivat Tahkoluodon satamassa 20 764 tuntia ja Mäntyluodon satamassa 31 665 tuntia. Satamatoiminnot mallinnettiin pintalähteinä (ruutu noin 200 m × 200 m), joita oli 10 kpl molempien satamien alueilla.

Taulukko 17. Mallilaskelmissa huomioitujen Porin seudun laivaliikenteen sekä Mäntyluodon ja Tahkoluodon satamatoimintojen kokonaispäästöt (t/a) vuonna 2019.

Päästöt (t/a)	Laivaliikenne	Mäntyluodon satama	Tahkoluodon satama	Satamatoiminta yhteensä	Laivaliikenne ja satamatoiminnot yhteensä
NO _x	866	10,7	2,1	12,7	892
PM _{2,5}	35	0,53	0,10	0,63	36
SO ₂	34	0,0091	0,0019	0,011	34



Tahkoluodon satama (kuva Porin Satama Oy).

5.1.5 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 Porin ja sen naapurikuntien alueille (*Savo-lahti, ym. 2019*). Reunavaikutuksen minimoimiseksi mallilaskelmiin otettiin mukaan Porin lisäksi myös Eurajoen, Ulvilan, Nakkilan, Harjavallan, Kokemäen, Sastamalan, Kankaanpään, Pomarkun, Siikaisten ja Merikarvian kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöt. 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 tyypin oksidien, pienhiukkasten, hengitettävien hiukkasten, rikkidioksidin ja bentso(a)pyreenin päästöjä nykytilanteessa vuonna 2015.

Kuvassa 50 esitetty kiinteistökohtaisen lämmityksen kokonaispäästöt ja eri lämmityslähteiden osuudet Porin kokonaispäästöistä vuonna 2015. Taulukoissa 18–22 on esitetty numeroarvoina eri lämmityslähteiden aiheuttamat tyypin oksidien, pienhiukkasten, hengitettävien hiukkasten, rikkidioksidin ja bentso(a)pyreenin päästöt Porin kaupungin alueella sekä yhteensä Porin ja naapurikuntien alueella vuonna 2015. Merkittävimmät tyypin oksidien päästölähteet ovat omakotitalojen öljylämmitys (44 %) ja lisälämmitys eli takkojen ym. tulisijat (30 %). Hiukkaspäästöjä vapautuu eniten takoista ja muista lisälämmityslähteistä (42 %) sekä kiukaista (30 %). Rikkidioksidipäästöistä suurin osa (91 %) aiheutuu omakotitalojen öljylämmityksestä. Omakotitalojen kiukaat (45 %) ja takat (37 %) aiheuttavat valtaosan bentso(a)pyreenipäästöistä.

Kiinteistökohtaisen lämmityksen aiheuttamien tyypenoksidi-, hiukas- ja rikkidioksidipäästöjen (kg/a) sekä bentso(a)pyreenipäästöjen (g/a) alueellinen jakauma ruuduittain vuonna 2015 on esitetty liitekuviissa 94–103. Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöt ovat suurimmillaan tiheään asutuilla pientaloalueilla. Näitä alueita ovat mm. Porin keskusta-alueella Vähärauman, Toejoen, Uusikoiviston ja Vanhakoiviston kaupunginosat, Meri-Porissa Pihlavan ja Reposaaaren asuinalueet sekä Noormarkun taajama-alue ja Ulvila.

FRES-päästöskenaariomallissa arvio eri polttolaitteiden suhteellisista määristä ja puun käytöstä erityyppisissä pientaloissa perustuu koko maan kattaviin kyselyihin, joita on verrattu paikallisempiin kyselyihin. Puun käyttömääriin vaikuttaa myös kaupungistumisaste ja ulkoilman keskilämpötilaan perustuva lämmitystarve muilla lämmityslähteillä kuin kiukailla. Näiden perusteella päästöt jaetaan rakennus- ja huoneistorekisterin (RHR) pientalokannalle koko Suomeen. RHR-rekisterin vuoden 2014 tietojen perusteella Porissa 17 900 pientaloa, joista 6 080 oli öljylämmitteisiä. Porin öljylämmitteisten omakotitalojen osuus on 34 % käytetyssä päästöaineistossa. FRES-mallissa öljylämmityksen päästölaskelmissa on käytetty oletusta, että lämmitysöljyn rikkipitoisuus on 0,1 %. Päästöaineistossa pienpolton hengitettävien hiukkasten päästöistä 97 % on alle 2,5 µm kokoluokkaa ja 3 % karkeampaa 2,5–10 µm kokoluokkaa.

Päästöjen leviämismallinnuksessa päästöt mallinnettiin ns. pintapäästölähteinä, joiden koko oli 250 × 250 m. Leviämismallilaskelmassa päästöruutujen korkeuden oletettiin olevan 7,5 m maanpinnasta, millä kuvattiin pientalojen keskimääräistä päästöjen vapautumiskorkeutta eli piipun korkeutta.



Kuva 50. Porin kiinteistökohtaisen lämmityksen aiheuttamat typen oksidien, pienhiukkasten, hengitettävien hiukkasten ja rikkidioksidin päästöt (t/a) sekä bentso(a)pyreenin päästöt (kg/a) lämmityslähteittäin vuonna 2015.

Leviämismallinnuksessa huomioitiin eri lämmityslähteiden päästöjen aikavaihtelu SYKE:n tuottaman Suomen keskimääräisen aikavaihteluaineiston perusteella. Aineistossa oli 4 erilaista aikavaihtelua: erikseen asuinrakennusten lämmityskattiloille ja lisälämmityslähteille, saunoille sekä vapaa-ajan asunnoille. Aikavaihtelun avulla painotetaan keskimääräisiä päästöjä eri ajankohdille. Lämmityskattiloissa puuta käytetään eniten talvikuukausina, lisälämmityslähteissä talvikuukausina viikonloppuisin, saunoissa lauantaisin, perjantaisin ja keskiviikkoisin läpi vuoden ja vapaa-ajan asunnoilla kesäkuukausina viikonloppuisin. Kaikki lämmityslähteet ovat käytössä klo 6–22 välisenä aikana käytön painottuessa alkuiltaan ja aamupäivään.

Taulukko 18. Mallilaskelmissa huomioitua Porin ja naapurikuntien (Eurajoki, Ulvila, Nakkila, Harjavalta, Kokemäki, Sastamala, Kankaanpää, Pomarkku, Siikainen ja Merikarvia) kiinteistökohtaisen lämmityksen typenoksidipäästöt päästölähteittäin.

NO _x -päästöt vuonna 2015 (t/a)	Pori	Pori ja naapurikunnat yhteensä
Omakotitalojen puukattilalämmitys	6,0	39
Omakotitalojen öljylämmitys	38	90
Omakotitalojen takat ym. tulisijat	27	83
Omakotitalojen saunat	8,0	24
Vapaa-ajan rakennusten tulisijat	4,4	16
Teollisuus-, maatalous- ja kaupallisten rakennusten lämmitys	6,0	31
Kokonaispäästö NO _x yhteensä (t/a)	90	283

Taulukko 19. Mallilaskelmissa huomioitua Porin ja naapurikuntien (Eurajoki, Ulvila, Nakkila, Harjavalta, Kokemäki, Sastamala, Kankaanpää, Pomarkku, Siikainen ja Merikarvia) kiinteistökohtaisen lämmityksen pienhiukkaspäästöt päästölähteittäin.

PM _{2,5} -päästöt vuonna 2015 (t/a)	Pori	Pori ja naapurikunnat yhteensä
Omakotitalojen puukattilalämmitys	14	94
Omakotitalojen öljylämmitys	1,2	2,9
Omakotitalojen takat ym. tulisijat	40	122
Omakotitalojen saunat	29	87
Vapaa-ajan rakennusten tulisijat	9,1	33
Teollisuus-, maatalous- ja kaupallisten rakennusten lämmitys	1,2	6,1
Kokonaispäästö PM _{2,5} yhteensä (t/a)	95	345

Taulukko 20. Mallilaskelmissa huomioitua Porin ja naapurikuntien (Eurajoki, Ulvila, Nakkila, Harjavalta, Kokemäki, Sastamala, Kankaanpää, Pomarkku, Siikainen ja Merikarvia) kiinteistökohtaisen lämmityksen hengitettävien hiukkasten päästöt päästölähteittäin.

PM ₁₀ -päästöt vuonna 2015 (t/a)	Pori	Pori ja naapurikunnat yhteensä
Omakotitalojen puukattilälämmitys	15	97
Omakotitalojen öljylämmitys	1,9	4,5
Omakotitalojen takat ym. tulisijat	41	126
Omakotitalojen saunat	29	90
Vapaa-ajan rakennusten tulisijat	9,4	34
Teollisuus-, maatalous- ja kaupallisten rakennusten lämmitys	1,2	6,3
Kokonaispäästö PM ₁₀ yhteensä (t/a)	98	357

Taulukko 21. Mallilaskelmissa huomioitua Porin ja naapurikuntien (Eurajoki, Ulvila, Nakkila, Harjavalta, Kokemäki, Sastamala, Kankaanpää, Pomarkku, Siikainen ja Merikarvia) kiinteistökohtaisen lämmityksen rikkidioksidipäästöt päästölähteittäin.

SO ₂ -päästöt vuonna 2015 (t/a)	Pori	Pori ja naapurikunnat yhteensä
Omakotitalojen puukattilälämmitys	0,5	3,4
Omakotitalojen öljylämmitys	44	104
Omakotitalojen takat ym. tulisijat	2,4	7,3
Omakotitalojen saunat	0,7	2,2
Vapaa-ajan rakennusten tulisijat	0,4	1,4
Teollisuus-, maatalous- ja kaupallisten rakennusten lämmitys	0,5	2,8
Kokonaispäästö SO ₂ yhteensä (t/a)	49	121

Taulukko 22. Mallilaskelmissa huomioitua Porin ja naapurikuntien (Eurajoki, Ulvila, Nakkila, Harjavalta, Kokemäki, Sastamala, Kankaanpää, Pomarkku, Siikainen ja Merikarvia) kiinteistökohtaisen lämmityksen bentso(a)pyreenipäästöt päästölähteittäin.

B(a)P-päästöt vuonna 2015 (kg/a)	Pori	Pori ja naapurikunnat yhteensä
Omakotitalojen puukattilalämmitys	12	77
Omakotitalojen öljylämmitys	0	0
Omakotitalojen takat ym. tulisijat	68	207
Omakotitalojen saunat	83	252
Vapaa-ajan rakennusten tulisijat	21	74
Teollisuus-, maatalous- ja kaupallisten rakennusten lämmitys	0,0055	0,028
Kokonaispäästö B(a)P yhteensä (kg/a)	183	610



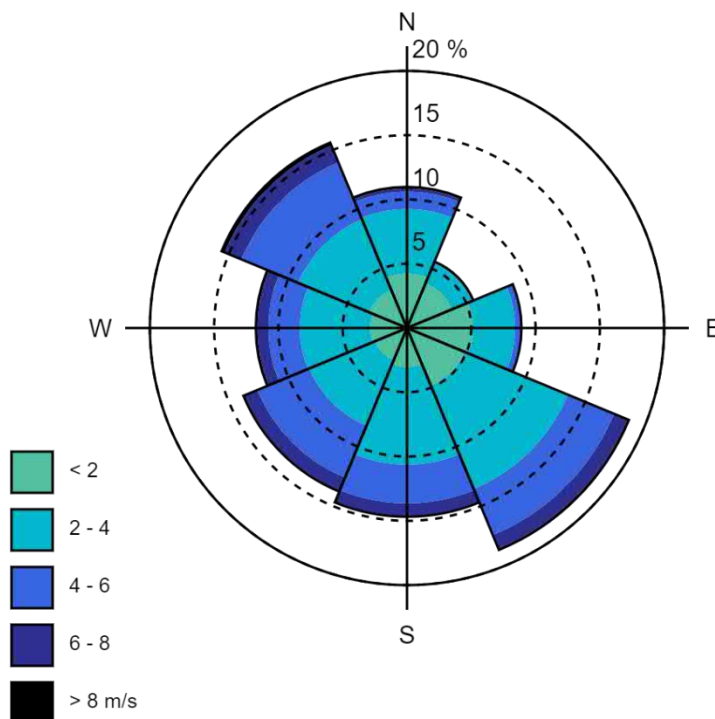
Kuva: Katja Lovén

5.2 Meteorologiset tiedot

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

Mallilaskelmissa käytettyjen meteorologisten tietojen etäisyyspainotettu yhdistelmäaineisto muodostettiin Porin Rautatieaseman ja Porin Tahkoluodon sataman sääasemien vuosien 2018–2020 havainnoista. Tarvittavat auringonpaistetiedot saatiin Jokioisten Ilmalan sääaseman säteilymittausaineistoista ja sekoituskorkeuden määrittämiseen käytettiin Jokioisten observatorion radioluotaushavaintoja. Säähavainto- ja luotausaineistot täyttävät WMO:n ja ICAO:n laatuvaatimukset. Sääasemien havaintoaineistoista muodostettiin kolmen tarkasteluvuoden tunneittainen aikasarja, joka sisältää päästöjen leviämisen ja laimenemisen kannalta oleellisia ilmankehän rajakerroksen tilaa kuvaavia parametreja, mm. tuulen suunta ja nopeus, stabiilisuus, sekoituskorkeus ja lämpötila.

Kuvassa 51 on esitetty tuulen suunta- ja nopeusjakauma tarkastelualueella tuuliruusun muodossa. Porin seudun alueella kaakkois- ja luoteistuulet ovat vallitsevia, kun taas koillisen puoleisia tuulia esiintyy vähiten.



Kuva 51. Keskimääräinen tuulen suunta- ja nopeusjakauma Porin seudulla vuosina 2018–2020. Tuulitiedot kuvaavat olosuhteita 10 metrin korkeudella maan pinnasta.

5.3 Taustapitoisuudet

Leviämismallilaskelmissa huomioitiin autoliikenteen, energiantuotannon, teollisuuden, laivaliikenteen, satamatoiminnan ja kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttamien pitoisuuksien lisäksi alueellinen taustapitoisuus, jotta mallilaskelmin saadut pitoisuudet vastaisivat mahdollisimman hyvin todellisia epäpuhtauspitoisuustasoja. Taustamittausasemalta saadaan typen oksidien muutunnan kuvaamista varten tarvittava otsonin ja typen oksidien pitoisuus kaupungin ulkopuolella ennen paikallisten päästöjen aiheuttamaa otsonin ja typen oksidien ilmakemiallista muutunnaa. Taustapitoisuutena käytettiin Ilmatieteen laitoksen Paraisten Utössä sekä Helsingin yliopiston Juupajoen Hyytiälässä sijaitsevien taustailmanlaadun mittausasemien tuloksia. Pienhiukkasten ja rikkidioksidin taustapitoisuuksina käytettiin Utön mittausaineistoja ja typen oksidien sekä otsonin taustapitoisuuksina käytettiin Hyytiälän mittausaineistoja. Tarkastelujaksolla 2018–2020 typen oksidien taustapitoisuuden keskiarvo oli $2,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, rikkidioksidin $0,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$, pienhiukkasten $5,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja otsonin $51 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (*Ilmatieteen laitos, 2021*). Taustapitoisuuksina käytettiin pitoisuuksien kuukausittain laskettuja tunneittaisia keskiarvoja, joilla pyrittiin kuvaamaan taustapitoisuuksien vuorokauden sisäistä ja vuodenaajoittaista vaihtelua.

5.4 Laskentapisteikkö

Pitoisuudet laskettiin koko Porin kaupungin kattavalle 85×45 km kokoiselle alueelle. Tälle alueelle muodostettiin laskentapisteikkö, jossa oli yhteensä lähes 160 000 laskentapistettä. Laskentapisteiden etäisyys toisistaan vaihteli 1–250 metrin välillä riippuen alueesta. Liikenneväylien ja laivaväylien varsilla käytettiin tihennettyä laskentapisteikköä. Laskentapisteesi sijoitettiin liikenneväylille 1–50 m välein siten, että yksi piste sijaitsee väylällä ja väylän molemmin puolin sijaitsevat laskentapisteesi 50 metrin etäisyydellä väylästä. Suurimmille liikenneväylille laskentapisteesi sijoitettiin niin, että molemmin puolin väylää sijaitsee laskentapisteesi 100 metrin sekä 200 metrin etäisyydellä väylästä. Myös kaupungin keskusta-alueella sekä teollisuus- ja energiantuotantolaitosten läheisyydessä käytettiin tihennettyä laskentapisteikköä, jossa laskentapisteiden etäisyys toisistaan oli 50 m.

Maanpinnan korkeuserot huomioitiin laskentapisteissä Maanmittauslaitoksen maastonkorkeus-tietojen mukaisesti. Päästöjen aiheuttamat pitoisuudet laskettiin jokaisessa laskentapisteessä 2 metrin korkeudelle maanpinnasta eli ihmisten hengityskorkeudelle. Pitoisuustulosten mallinnus-mittaus -vertailua varten pitoisuudet laskettiin myös tarkastelualueella sijaitsevien kahden ilmanlaadun mittausaseman (Paanakedonkatu ja Pastuskeri) kohdalle niiden mittauskorkeudelle eli 4 metrin korkeudelle maanpinnasta.

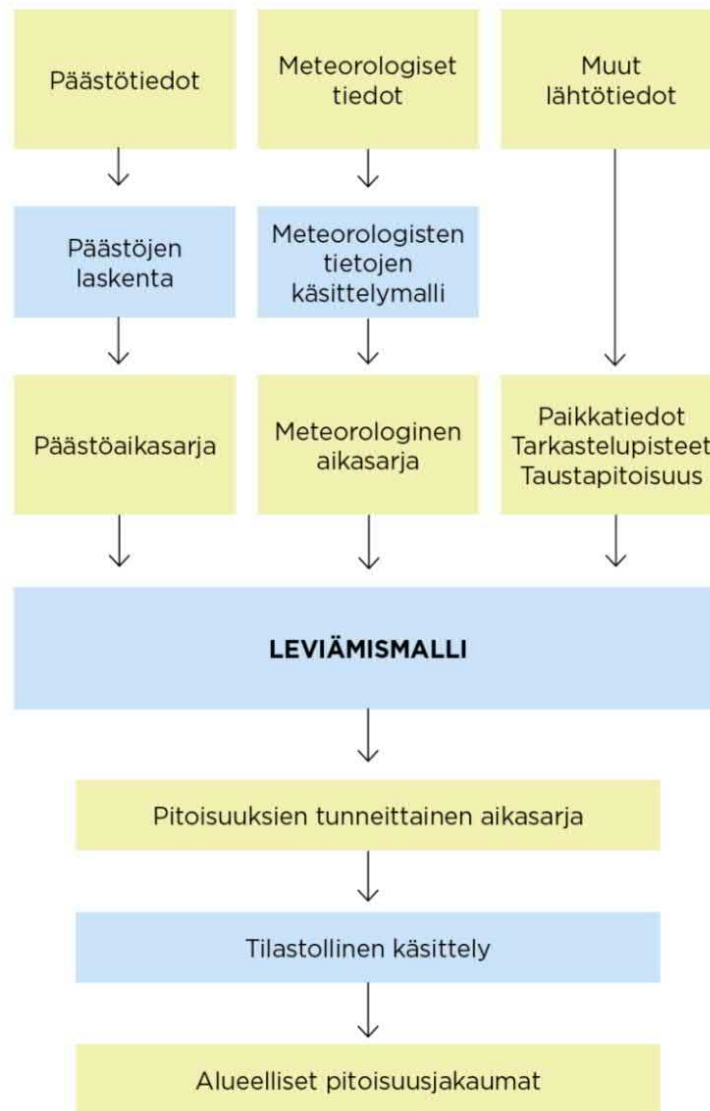
Yksittäisiin laskentapisteisiin lasketuista pitoisuusarvoista ja niistä edelleen lasketuista tilastollisista arvoista muodostetaan pitoisuuksien aluejakaumia. Pitoisuuksien aluejakaumissa esitetään leviämismallilaskelmien tuloksina samanarvonkäyrillä ne alueet, joilla tietyn pitoisuuden ylittyminen on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

6 LEVIÄMISMALLILASKELMISSA KÄYTETYT MENETELMÄT

6.1 Pitoisuuslaskenta päästöjen leviämismalleilla

Leviämismalleilla tutkitaan päästöjen kulkeutumista ilmakehässä ja niiden aiheuttamia ilman epäpuhtauksien pitoisuuksia maanpinnan tasolla. Leviämismallit ovat tietokoneohjelmistoja, joiden avulla pyritään jäljittelemään ilmakehässä tapahtuvia fysikaalisia ja kemiallisia ilmiöitä mahdollisimman todenmukaisesti. Malleihin sisältyy usein laskentamenetelmiä, joiden avulla voidaan tarkastella epäpuhtauksien muuntumista, kemiallisia reaktioita ja poistumista ilmakehästä laskeutuneena. Leviämismallien lähtötiedoiksi tarvitaan tietoja päästöistä ja niiden lähteistä, mittaamalla ja mallittamalla saatuja tietoja ilmakehän tilasta sekä tietoja ilmansaasteiden taustapitoisuudesta tutkimusalueella. Lisäksi lähtötiedoiksi tarvitaan erilaisia paikkatietoja, kuten tietoja maanpinnan muodoista ja maanpinnan laadusta sekä tietoa päästölähteiden sijainnista.

Leviämislaskelmia varten muodostetaan kaikille eri päästölähteille päästöaikasarjat, joissa on jokaiselle tarkastelujakson tunnille (3 vuotta, 26 304 tuntia) laskettu päästmäärä erikseen kaikille tarkasteltaville ilman epäpuhtauksille. Leviämismalleilla lasketaan ilman epäpuhtauspitoisuuden tuntikeskiarvoja sillä oletuksella, että meteorologinen tilanne ja eri lähteiden päästöt pysyvät vakioina tunnin ajan. Laskenta etenee tunnin aika-askeleella kunnes koko meteorologisten tietojen kolmen vuoden tuntiaikasarja ja kunkin päästölähteen tunneittaiset päästöaikasarjat on käyty läpi. Leviämismallit tuottavat jokaisen tunnin meteorologista tilannetta vastaavat, kunkin lähteen päästöjen aiheuttamat pitoisuudet jokaiseen laskentapisteeseen. Näin kuhunkin laskentapisteeseen muodostetaan tilastollisesti edustava määrä pitoisuuden tuntiarvoja, joista ilmanlaadun ohje- ja raja-arvoihin verrannolliset tunnusluvut edelleen lasketaan. Mallilaskelmasta saatuja pitoisuusarvoja voidaan verrata ilmanlaadun raja- ja ohjearvoihin (taulukot 9 ja 10). Kaaviokuvassa 52 on esitetty Ilmatieteen laitoksen leviämismallien toimintaa. Eri leviämismalleja kuvataan tarkemmin seuraavissa kappaleissa.



Kuva 52. Kaaviokuva Ilmatieteen laitoksella kehitettyjen leviämismallien, piste- ja pintapäästölähteiden leviämismallin UDM-FMI ja viivalähdemallin CAR-FMI toiminnasta.

6.2 Piste- ja pintapäästölähteiden leviämismalli (UDM-FMI)

Ilman epäpuhtauksien leviämistä kuvaava Ilmatieteen laitoksen leviämismalli UDM-FMI (Urban Dispersion Modelling System) on muokattu Gaussin jakaumaa noudattavasta pistemäisen lähteen viuhkamallista (Karpainen, ym., 1998). Leviämismallia on kehitetty Ilmatieteen laitoksella Suomen olosuhteisiin sopivaksi ja sitä on sovellettu sadoissa erilaisissa ilmanlaatuselvityksissä ja -tutkimuksissa Suomessa ja ulkomailla. Tällä leviämismallilla voidaan laskea eri tyyppisten piste- ja pintalähteiden päästöjen aiheuttamia epäpuhtauksien pitoisuuksia päästölähteen ympäristössä. Mallissa kuvataan tarkasti päästökohdassa tapahtuvaa mekaanista ja lämpötilaeroista johtuvaa nousulisää, lähimpien esteiden aiheuttamaa savupainumaa, ilmassa tapahtuvia epäpuhtauksien kemiallisia prosesseja sekä ilmansaasteiden poistumamekanismeja ilmakehästä.

UDM-FMI-mallin merkittävien ero useisiin muihin leviämismalleihin verrattuna on päästölähteestä tulevan poistokaasuvanan pitoisuusjakauman muotoon vaikuttavien leviämismallien määritys. Näiden mallien arvot ovat yleensä olleet sidoksissa ilmakehän tilaa karkeasti kuvaaviin Pasquill-Turner-stabiilisuusluokkiin. UDM-FMI-mallissa käytetään kuitenkin Ilmatieteen laitoksella kehitettyä meteorologisen aineiston käsittelymenetelmää MPP-FMI, eli niin sanottua ilmakehän rajakerroksen parametrisointimenetelmää, jolla voidaan merkittävästi parantaa todellisten ilmakehän olosuhteiden kuvaamista mallissa.

Leviämismallissa on laskentamenetelmä nousulisälle, joka muodostuu, kun poistokaasut vapautuessaan päästökohdasta nousevat liikemäärästään ja lämpösisällöstään johtuen päästölähteen huippua korkeammalle. Päästöjen nousulisällä on huomattava vaikutus keskimääräiseen leviämiskorkeuteen ja muodostuviin epäpuhtauspitoisuuksiin. Päästöjen leviämiseen saattavat vaikuttaa ilmapirtauksia 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 leviämismalliin. Mallin 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 leviämismalli (CAR-FMI)

Ilmatieteen laitoksella kehitetty liikenteen päästöjen viivalähdemalli CAR-FMI (Contaminants in the Air from a Road; *Karppinen, 2001; Härkönen ym., 2001*) perustuu leviämisen osalta analyttiseen ratkaisuun ja päästöjen kemiallisen muutoksen osalta ns. 'discrete parcel' -menetelmään. Viivalähdemallin leviämislaskenta perustuu avoimen väylän oletukseen. Viivalähdemallilla voidaan laskea esimerkiksi typpimonoksidin, typpidioksidin ja typen oksidien (kokonais-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 epäpuhtauskomponentteittain. Viivalähdemallin eri sovellutuksilla saadut mallinnustulokset voidaan yhdistää UDM-FMI-mallilla tehtyihin tuloksiin.

6.4 Liikenteen suspensio- ja katupölyn mallintamiseen (FORE)

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 pakoakaasupäästöjen lisäksi myös liikenteen epäsuora vaikutus hengitettävien hiukkasten pitoisuuksiin. Tieliikenteen hengitettävien hiukkasten pitoisuuksien laskelmissa hyödynnetään suspensio- ja katupölyn mallia, jolla kuvataan katujen pölyämisen vaikutusta hiukkaspäästöön (*Kauhaniemi ym., 2011*). Suspensio- ja katupölyn malli perustuu Ruotsin Ilmatieteen laitoksen (SMHI) kehittämään hiukkaspölyn malliin (*Omstedt ym., 2005*).

Tienpinnan kosteus säätelee hiukkasten nousemista tienpinnalta ilmaan. Suspensio- ja katupölyn malli 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.

6.5 Laivaliikenteen päästömalli (STEAM)

STEAM-laivapäästömalli hyödyntää laivaliikenteessä yleisesti käytettävää AIS-järjestelmää (Automatic Identification System) sekä yksittäisten laivojen ominaisuuksia kuvaavaa laivatietokantaa (Ilmatieteen laitos käyttää IHS Markit rekisteriä). Laivojen lähettämien AIS-viestien avulla tieto laivojen todellisesta sijainnista ja hetkellisestä liikkumisnopeudesta on saatavilla muutaman sekunnin välein. Laivan sijaintitarkkuuden määrittää GPS-signaalin tarkkuus. Tämän dynaamisen aktiviteettidatan ja yksityiskohtaisen laivatietokannan avulla voidaan mallintaa laivan käyttämä koneteho ja polttoaineen kulutus laivakohtaisesti ajan funktiona, niin satamassa olon aikana kuin väylälläkin. Polttoaineen kulutus lasketaan erikseen pää- ja apukoneille. Päästöjen laskenta perustuu laivojen todelliseen polttoaineenkulutukseen ja päästökertoimien käyttöön. Päästölaskennassa on huomioitu rikkipesureiden ja nestemäisen maakaasun vaikutus päästöihin.

Päästöjen laskemiseksi STEAM-mallissa käytetään dynaamisia päästökertoimia, kuten esimerkiksi IMO:n (International Maritime Organisation) NO_x-päästöstandardikäyriä suhteessa moottorin kierrosnopeuteen (IMO Marine Engine Regulations). Hiukas- ja rikkidioksidipäästöt riippuvat puolestaan vahvasti konekuormasta ja polttoaineen rikkipitoisuudesta. Alhaisella konekuormalla, esim. satamien läheisyydessä operoidessa, päästökertoimet ovat suuremmat kuin merellä normaalilla etenemisnopeudella liikuttaessa. Mallin päästölaskentamenetelmää on kuvattu tarkemmin julkaisuissa (*Jalkanen ym., 2009, 2012 ja 2016; Johansson ym., 2013 ja 2017a*). STEAM-mallin käyttämä laivatietokanta käsittää tällä hetkellä yli 90 000 yksittäistä laivaa.

Mallissa on mukana reititysmenetelmä, jonka avulla laivan reitti voidaan arvioida puuttuvasta sijaintitiedosta huolimatta. Tämä osa mallia on tärkeä globaalissa mittakaavassa, koska tuolloin AIS-paikkatiedon maantieteellinen kattavuus ei ole täydellinen. Satamamittakaavan työssä tällä ominaisuudella ei juuri ole merkitystä, koska AIS-paikkatiedon kattavuus on hyvä. Kaikkien laivojen osalta vaadittavia teknisiä tietoja ei löydy laivatietokannoista. Puuttuvat tiedot korvataan mahdollisimman samantyyppisen laivan teknisillä ominaisuuksilla, jotka löytyvät laivatietokannasta. Tätä varten malliin on kehitetty automaattinen hakumenetelmä puuttuvan tiedon korvaamiseen. Mallia on validoitu vertailemalla vuosittaisia raportoituja polttoaineraportteja ja mallinnettuja tuloksia (*Jalkanen ym., 2009 ja 2012*) sekä ilmasta käsin tehtyjen päästömittauksien perusteella (*Balzani Löv ym., 2014; Beecken ym., 2014 ja 2015; Berg ym., 2012*). STEAM-mallia on käytetty globaalien laivaliikenteen päästöjen (*Johansson ym., 2017b; Sofiev ym., 2018*) sekä paikallisen skaalan päästöjen (*Ramacher ym., 2019*) mallintamiseen.

6.6 Typenoksidipäästöjen ilmakeiamalli

Kiinteiden päästölähteiden polttoaineiden palamisessa muodostuvat ja liikenteen typenoksidipäästöt ovat pääasiassa typpimonoksidia (NO), kun taas terveysvaikutuksiltaan haitallisempaa typpidioksidia (NO₂) on päästöistä pienempi osa. Oksidit hapettuvat ilmassa kaasufaasireaktioissa hapen, otsonin, hydroksyyliiradikaalin 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 muutunnaa käsitellään menetelmällä, jossa UDM-FMI-malliin on yhdistetty erilaisten meteorologisten tilanteiden ja otsonin taustapitoisuuden mukaan parametrisoituja funktioita. Näillä funktioilla kuvataan typen oksidien hapettumista ja NO₂/NO-suhteen muuttumista poistokaasuvanassa eri etäisyyksillä päästölähteestä.

Liikenteen ja laivaliikenteen päästöjen leviämistä kuvaavaan viivalähdemalliin on kehitetty Ilmatieteen laitoksella typenoksidien muutunnaa arvioiva malli, jolla voidaan huomioida erilaisten taustapitoisuuksien ilmakeiallinen vaikutus kunkin viivalähteen päästöön. Laskennassa käytetään taustailmanlaadun mittaussasemien 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 muutunnaa arvioitaessa on typpidioksidi- ja typpimonoksidipitoisuuksissa huomioitu kaikkien tuulen yläpuolella olevien, aiemmin laskennassa mukana olleiden viivalähteiden vaikutus tarkasteltavaan viivalähteeseen. Otsonin kuluminen typen oksidien ilmakeiallisissa reaktioissa huomioidaan eli alueellisen otsonitaustan ei oleteta olevan muutunnassa ehtymätön otsonilähde. Mallinnuksessa otsoni voi kulua loppuun erityisesti vilkkaasti liikennöidyillä alueilla. Tämän seurauksena typpidioksidin muutunna voi loppua kokonaan typenoksidipäästön määrästä riippumatta.

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

6.7 Meteorologisten tietojen käsittelymalli (MPP-FMI)

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

Rajakerroksen parametrisoinnin avulla on mahdollista ilmaista leviämismalleissa käytetyt muuttujat jatkuvina rajakerroksen tilan funktioina, joissa voidaan ottaa huomioon myös päästölähteisiin liittyvä

fysiikka paremmin kuin jos käytettäisiin vain ilmakehän tilaa karkeasti kuvaavia Pasquill-Turner -stabiiliusluokkia. Menetelmässä huomioidaan tutkimusalueen paikallisia tekijöitä, kuten leviämisalustan rosoisuus ja vuodenaikaiset albedoarvot (auringon säteilyn heijastuskyky maanpinnasta) eri maanpinnan laaduille. Ilman epäpuhtauksien leviämisen kannalta keskeisiä meteorologisia muuttujia ovat tuulen suunta ja nopeus, ilmakehän stabiiliutta kuvaava suure ja sekoituskorkeus.

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



Kuva: Birgitta Komppula

VIITELUETTELO

Anttila, P., Tuovinen, J.-P. ja Niemi, J., 2011. Primary NO₂ emissions and their role in the development of NO₂ concentration in a traffic environment. *Atmospheric Environment* 45 (2011) 986–992.

Balzani Lööv, J. M., Alfoldy, B., Gast, L. F. L., Hjorth, J., Lagler, F., Mellqvist, J., Beecken, J., Berg, N., Duyzer, J., Westrate, H., Swart, D. P. J., Berkhout, A. J. C., Jalkanen, J.-P., Prata, A. J., Van Der Hoff, G. R. and Borowiak, A., 2014. Field test of available methods to measure remotely SO_x and NO_x emissions from ships, *Atmos. Meas. Tech.*, 7(8), doi:10.5194/amt-7-2597-2014.

Beecken, J., Mellqvist, J., Salo, K., Ekholm, J. and Jalkanen, J.-P., 2014. Airborne emission measurements of SO₂, NO_x and particles from individual ships using a sniffer technique, *Atmos. Meas. Tech.*, 7(7), doi:10.5194/amt-7-1957-2014.

Beecken, J., Mellqvist, J., Salo, K., Ekholm, J., Jalkanen, J. P., Johansson, L., Litvinenko, V., Volodin, K. and Frank-Kamenetsky, D. A., 2015. Emission factors of SO₂, NO₂ and particles from ships in Neva Bay from ground-based and helicopter-borne measurements and AIS-based modeling, *Atmos. Chem. Phys.*, 15(9), doi:10.5194/acp-15-5229-2015.

Berg, N., Mellqvist, J., Jalkanen, J. P. and Balzani, J., 2012. Ship emissions of SO₂ and NO₂: DOAS measurements from airborne platforms, *Atmos. Meas. Tech.*, 5(5), doi:10.5194/amt-5-1085-2012.

BSR INNOSHIP, 2013. Pan-Baltic Manual of Best Practices on clean shipping and Port Operations. http://www.baltic.org/files/2753/Innoship_manual_web.pdf

EEA, 2019. Air quality in Europe – 2019 report. EEA Report, No 10/2019. ISSN 1977-8449. <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2019>

EEA, 2017. Exhaust emissions from road transport. Kappale teoksessa: EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 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.

IMO, 2008. International maritime organization, The International Convention for the Prevention of Marine Pollution from Ships, 1973 as modified by the Protocol of 1978 relating thereto (MARPOL 73/78), Annex VI: Prevention of Air Pollution from Ships, (2008 Amendments), 2008.

IMO, Marine Engine Regulations. <https://www.dieselnet.com/standards/inter/imo.php>

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

Jalkanen, J.-P., Brink, A., Kalli, J., Pettersson, H., Kukkonen, J. and Stipa, T., 2009. A modelling system for the exhaust emissions of marine traffic and its application in the Baltic Sea area. *Atmos. Chem. Phys.*, 9, 9209–9223.

Jalkanen, J.-P., Johansson, L., Kukkonen, J., Brinki, A., Kalli, J. and Stipa, T., 2012. Extension of an assessment model of ship traffic exhaust emissions for particulate matter and carbon monoxide. *Atmos. Chem. Phys.*, 12, 2641–2659.

Jalkanen, J.-P., Johansson, L. and Kukkonen, J., 2016. A comprehensive inventory of ship traffic exhaust emissions in the European sea areas in 2011, *Atmos. Chem. Phys.*, 16(1), 71–84, doi:10.5194/acp-16-71-2016.

Johansson, L., Jalkanen, J.-P., Kalli, J. and Kukkonen, J., 2013. The evolution of shipping emissions and the costs of regulation changes in the northern EU area, *Atmos. Chem. Phys.*, 13(22), 11375–11389, doi:10.5194/acp-13-11375-2013.

Johansson, L., Jalkanen, J.-P., and Kukkonen, J., 2017a. Global assessment of shipping emissions in 2015 on a high spatial and temporal resolution, *Atmos. Environ.*, 167(Fig 1), 403–415, doi:10.1016/j.atmosenv.2017.08.042.

Johansson, L., Jalkanen, J. P. and Kukkonen, J., 2017b. Global assessment of shipping emissions in 2015 on a high spatial and temporal resolution, *Atmos. Environ.*, 167, 403–415, doi:10.1016/j.atmosenv.2017.08.042.

Karppinen, A., Kukkonen, J., Nordlund, G., Rantakrans, E. ja Valkama, I., 1998. A dispersion modelling system for urban air pollution. *Ilmansuojelun julkaisu* 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.

Porin kaupungin ympäristö- ja lupapalvelut, 2019. Harjavallan ja Porin ilmanlaatu 2018. Ilmanlaatu työryhmä Harjavalta-Pori. Raportti 1/2019.

Porin kaupungin ympäristö- ja lupapalvelut, 2020. Harjavallan ja Porin ilmanlaatu 2019. Ilmanlaatu työryhmä Harjavalta-Pori. Raportti 1/2020.

Porin kaupungin elinvoima- ja ympäristötoimiala, 2021. Harjavallan ja Porin ilmanlaatu 2020. Ilmanlaatu työryhmä Harjavalta-Pori. Raportti 1/2021.

Ramacher, M. O. P., Karl, M., Bieser, J., Jalkanen, J. P. and Johansson, L., 2019. Urban population exposure to NO_x emissions from local shipping in three Baltic Sea harbour cities - a generic approach, *Atmos. Chem. Phys.*, 19(14), 9153–9179, doi:10.5194/acp-19-9153-2019.

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

Salmi, J., Laukkanen, E., Rasila, T., Hannuniemi, H., Komppula, B. ja Lovén, K., 2020. Turun seudun päästöjen ilmanlaatuselvitys. Autoliikenteen, energiantuotannon ja teollisuuden, laivaliikenteen ja asuinrakennusten puunpolton vuoden 2018 päästöjen leviämislaskelmat. Ilmatieteen laitos, Asiantuntijapalvelut, Ilmanlaatu ja energia, Helsinki, 82 s. + 75 liites. http://expo.fmi.fi/ages/public/Turun_seudun_ilmanlaatuselvitys_2020.pdf

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: PM_{2.5} 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>

SNOOP, 2011. Shipping-Induced NO_x and SO_x Emissions – operational monitoring network (SNOOP). WP4 – Local scale Dispersion Modeling Study. The Effect of the Ship Emissions to the Local Air Quality in Helsinki and Turku.

Sofiev, M., Winebrake, J., Johansson, L., Carr, E. W., Prank, M., Soares, J., Vira, J., Kouznetsov, R., Jalkanen, J.-P. and Corbett, J., 2018. Cleaner fuels for ships provide public health benefits with climate tradeoffs, *Nat. Commun.*, 9(1), 1–29, doi:10.1038/s41467-017-02774-9.

SYKE, 2021. Ilman epäpuhtauksien päästöt Suomessa. Suomen ympäristökeskus. http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kartat_ja_tilastot/Ilman_epapuhtauksien_paastot

VTT, 2020. Teknologian tutkimuskeskus VTT. LIPASTO liikenteen päästöt <http://lipasto.vtt.fi/>

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

Vna 113/2017. Valtioneuvoston asetus ilmassa olevasta arseenista, kadmiumista, elohopeasta, nikkelistä ja polysyklisistä aromaattisista hiilivedyistä. Annettu Helsingissä 16.2.2017.

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

WHO, 2021. WHO Air quality guidelines. Particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulphur dioxide and carbon monoxide. Geneva, World Health Organization.

2012/33. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2012/33/EU, annettu 21 päivänä marraskuuta 2012, neuvoston direktiivin 1999/32/EY muuttamisesta meriliikenteessä käytettävien polttoaineiden rikkipitoisuuden osalta.

LIITTEET

Liitetaulukko energiantuotannon ja teollisuuden raskasmetallipäästöistä

Laitos	Piipun korkeus (m)	As (kg/a)	Cd (kg/a)	Cr (kg/a)	Cu (kg/a)	Hg (kg/a)	Ni (kg/a)	Pb (kg/a)
Fortum Oyj, Meri-Porin lauhdevoimalaitos*	83–147	0,6	0,005	0,1	0,05	0,007	3,7	0,04
Fingrid Oyj, Tahkoluodon varavoimalaitos	12	0	0	0	0	0	0	0
Pori Energia, Aittaluodon voimalaitos	70–120	0,1	0,2	3,7	0,8	0,47	3,4	3,5
Pori Energia, Puuvillan lämpökeskus	55	0	0	0	0	0	0	0
Pori Energia, Ulasoorin lämpökeskus	73	0	0	0	0	0	0	0
Pori Energia, Metallikylän lämpökeskus	53	0	0	0	0	0	0	0
Pori Energia, Tiilimäen lämpökeskus	50	0	0	0	0	0	0	0
Pori Energia, Lavian lämpökeskus	25	0	0	0	0	0	0	0
Pori Energia, Reposaaressen lämpökeskus	30	0	0	0	0	0	0	0
Pori Energia Noormarkun lämpökeskus	30	0	0	0	0	0	0	0
Porin Prosessivoima Oy, voimalaitos	30–90	0,4	0,08	2,9	0,9	0,6	0,4	0,4
Boliden	25–50	45,4	0,01	0	0,7	0,05	0,4	0,3
Cupori Oy	10	0	0	0	3,4	0	0	0
Vertic Zinc Wire Oy	8	0	0	0	0	0	0	0
Aurubis Finland Oy	37	0,1	0,01	0	4,3	0	0,04	0,2
RKW Finland Oy	5	0	0	0	0	0	0	0
Outotec Finland Oy	54	0	0	0,03	0,003	0	0	0
Componenta Finland Oy	7–18	0,8	0,004	0	0,3	0	0,01	0,3
Kemira Oyj	11–14	0	0	0	0	0	0	0
Luvata Pori Oy	30	0,03	0,008	0,2	2	0	0	0,2
Porin ev.lut. seurakuntien krematorio	5	0	0	0	0	0,5	0	0
Kokonaispäästöt		47,7	0,3	6,8	12,4	1,6	7,9	4,8

Laitos	Piipun korkeus (m)	Zn	Al	Co	Mn	Fe	V
Fortum Oyj, Meri-Porin lauhdevoimalaitos*	83–147	0,9	0	0	0	0	7,8
Fingrid Oyj, Tahkoluodon varavoimalaitos	12	0	0	0	0	0	0
Pori Energia, Aittaluodon voimalaitos	70–120	0	0	0,07	1,8	0	4,5
Pori Energia, Puuvillan lämpökeskus	55	0	0	0	0	0	0
Pori Energia, Ulasoorin lämpökeskus	73	0	0	0	0	0	0
Pori Energia, Metallikylän lämpökeskus	53	0	0	0	0	0	0
Pori Energia, Tiilimäen lämpökeskus	50	0	0	0	0	0	0
Pori Energia, Lavian lämpökeskus	25	0	0	0	0	0	0
Pori Energia, Reposaaaren lämpökeskus	30	0	0	0	0	0	0
Pori Energia Noormarkun lämpökeskus	30	0	0	0	0	0	0
Porin Prosessivoima Oy, voimalaitos	30–90	0	0	0,2	0,9	0	0,4
Boliden	25–50	1,1	0	0	0	0	0
Cupori Oy	10	0	0	0	0	0	0
Vertic Zinc Wire Oy	8	3,7	0	0	0	0	0
Aurubis Finland Oy	37	0,5	0	0	0	0	0
RKW Finland Oy	5	0	0	0	0	0	0
Outotec Finland Oy	54	3,4	0	0	0	0	0
Componenta Finland Oy	7–18	0,8	0,4	0,001	0	0	0
Kemira Oyj	11–14	0	0	0	0	0	0
Luvata Pori Oy	30	1,8	3,2	0,08	0,3	0	0,08
Porin ev.lut. seurakuntien krematorio	5	0	0	0	0	0	0
Kokonaispäästöt		12,2	3,6	0,4	3,0	0	12,7

Liitekuvaluettelo

Pitoisuuksien aluejakaumat

1. Kaikki päästölähteet + taustapitoisuus NO₂ vuosikeskiarvo koko Pori
2. Kaikki päästölähteet+ taustapitoisuus NO₂ vuosikeskiarvo Porin keskusta
3. Autoliikenne NO₂ vuosikeskiarvo Porin keskusta
4. Energiantuotanto ja teollisuus NO₂ vuosikeskiarvo koko Pori
5. Energiantuotanto ja teollisuus NO₂ vuosikeskiarvo Porin keskusta
6. Energiantuotanto ja teollisuus NO₂ vuosikeskiarvo Meri-Pori
7. Laivaliikenne ja satamatoiminta NO₂ vuosikeskiarvo Meri-Pori
8. Kiinteistökohtainen lämmitys NO₂ vuosikeskiarvo koko Pori
9. Kiinteistökohtainen lämmitys NO₂ vuosikeskiarvo Porin keskusta
10. Kaikki päästölähteet+ taustapitoisuus NO₂ vuorokausiohjeearvo koko Pori
11. Kaikki päästölähteet+ taustapitoisuus NO₂ vuorokausiohjeearvo Porin keskusta
12. Autoliikenne NO₂ vuorokausiohjeearvo Porin keskusta
13. Energiantuotanto ja teollisuus NO₂ vuorokausiohjeearvo koko Pori
14. Energiantuotanto ja teollisuus NO₂ vuorokausiohjeearvo Porin keskusta
15. Energiantuotanto ja teollisuus NO₂ vuorokausiohjeearvo Meri-Pori
16. Laivaliikenne ja satamatoiminta NO₂ vuorokausiohjeearvo Meri-Pori
17. Kiinteistökohtainen lämmitys NO₂ vuorokausiohjeearvo koko Pori
18. Kiinteistökohtainen lämmitys NO₂ vuorokausiohjeearvo Porin keskusta

19. Kaikki päästölähteet + taustapitoisuus NO_x vuosikeskiarvo koko Pori
20. Kaikki päästölähteet + taustapitoisuus NO_x vuosikeskiarvo Porin keskusta

21. Kaikki päästölähteet + taustapitoisuus PM_{2,5} vuosikeskiarvo koko Pori
22. Kaikki päästölähteet + taustapitoisuus PM_{2,5} vuosikeskiarvo Porin keskusta
23. Autoliikenne PM_{2,5} vuosikeskiarvo Porin keskusta
24. Energiantuotanto ja teollisuus PM_{2,5} vuosikeskiarvo koko Pori
25. Energiantuotanto ja teollisuus PM_{2,5} vuosikeskiarvo Porin keskusta
26. Energiantuotanto ja teollisuus PM_{2,5} vuosikeskiarvo Meri-Pori
27. Laivaliikenne ja satamatoiminta PM_{2,5} vuosikeskiarvo Meri-Pori
28. Kiinteistökohtainen lämmitys PM_{2,5} vuosikeskiarvo koko Pori
29. Kiinteistökohtainen lämmitys PM_{2,5} vuosikeskiarvo Porin keskusta
30. Kaikki päästölähteet + taustapitoisuus PM_{2,5} WHO-vuorokausiohjeearvo koko Pori
31. Kaikki päästölähteet + taustapitoisuus PM_{2,5} WHO-vuorokausiohjeearvo Porin keskusta
32. Autoliikenne PM_{2,5} WHO-vuorokausiohjeearvo Porin keskusta
33. Energiantuotanto ja teollisuus PM_{2,5} WHO-vuorokausiohjeearvo koko Pori
34. Energiantuotanto ja teollisuus PM_{2,5} WHO-vuorokausiohjeearvo Porin keskusta
35. Energiantuotanto ja teollisuus PM_{2,5} WHO-vuorokausiohjeearvo Meri-Pori
36. Laivaliikenne ja satamatoiminta PM_{2,5} WHO-vuorokausiohjeearvo Meri-Pori
37. Kiinteistökohtainen lämmitys PM_{2,5} WHO-vuorokausiohjeearvo koko Pori
38. Kiinteistökohtainen lämmitys PM_{2,5} WHO-vuorokausiohjeearvo Porin keskusta

39. Kaikki päästölähteet + taustapitoisuus PM₁₀ vuosikeskiarvo koko Pori
40. Kaikki päästölähteet + taustapitoisuus PM₁₀ vuosikeskiarvo Porin keskusta
41. Autoliikenne PM₁₀ vuosikeskiarvo Porin keskusta
42. Kiinteistökohtainen lämmitys PM₁₀ vuosikeskiarvo koko Pori
43. Kiinteistökohtainen lämmitys PM₁₀ vuosikeskiarvo Porin keskusta
44. Kaikki päästölähteet + taustapitoisuus PM₁₀ vuorokausiraja-arvo koko Pori
45. Kaikki päästölähteet + taustapitoisuus PM₁₀ vuorokausiraja-arvo Porin keskusta
46. Autoliikenne PM₁₀ vuorokausiraja-arvo Porin keskusta
47. Kiinteistökohtainen lämmitys PM₁₀ vuorokausiraja-arvo koko Pori
48. Kiinteistökohtainen lämmitys PM₁₀ vuorokausiraja-arvo Porin keskusta
49. Kaikki päästölähteet + taustapitoisuus PM₁₀ vuorokausiohjeearvo koko Pori
50. Kaikki päästölähteet + taustapitoisuus PM₁₀ vuorokausiohjeearvo Porin keskusta

51. Kaikki päästölähteet + taustapitoisuus SO₂ vuosikeskiarvo koko Pori
52. Kaikki päästölähteet + taustapitoisuus SO₂ vuosikeskiarvo Porin keskusta
53. Energiantuotanto ja teollisuus SO₂ vuosikeskiarvo koko Pori
54. Energiantuotanto ja teollisuus SO₂ vuosikeskiarvo Porin keskusta
55. Energiantuotanto ja teollisuus SO₂ vuosikeskiarvo Meri-Pori
56. Laivaliikenne ja satamatoiminta SO₂ vuosikeskiarvo Meri-Pori
57. Kiinteistökohtainen lämmitys SO₂ vuosikeskiarvo koko Pori
58. Kiinteistökohtainen lämmitys SO₂ vuosikeskiarvo Porin keskusta
59. Kaikki päästölähteet + taustapitoisuus SO₂ vuorokausiraja-arvo koko Pori
60. Kaikki päästölähteet + taustapitoisuus SO₂ vuorokausiraja-arvo Porin keskusta
61. Energiantuotanto ja teollisuus SO₂ vuorokausiraja-arvo koko Pori
62. Energiantuotanto ja teollisuus SO₂ vuorokausiraja-arvo Porin keskusta
63. Energiantuotanto ja teollisuus SO₂ vuorokausiraja-arvo Meri-Pori
64. Laivaliikenne ja satamatoiminta SO₂ vuorokausiraja-arvo Meri-Pori
65. Kiinteistökohtainen lämmitys SO₂ vuorokausiraja-arvo koko Pori
66. Kiinteistökohtainen lämmitys SO₂ vuorokausiraja-arvo Porin keskusta

67. Kiinteistökohtainen lämmitys B(a)P vuosikeskiarvo koko Pori
68. Kiinteistökohtainen lämmitys B(a)P vuosikeskiarvo Porin keskusta
69. Kiinteistökohtainen lämmitys B(a)P vuosikeskiarvo Meri-Pori

70. Energiantuotanto ja teollisuus As vuosikeskiarvo koko Pori
71. Energiantuotanto ja teollisuus As vuosikeskiarvo Porin keskusta
72. Energiantuotanto ja teollisuus As vuosikeskiarvo Meri-Pori
73. Energiantuotanto ja teollisuus Cd vuosikeskiarvo koko Pori
74. Energiantuotanto ja teollisuus Cd vuosikeskiarvo Porin keskusta
75. Energiantuotanto ja teollisuus Cd vuosikeskiarvo Meri-Pori
76. Energiantuotanto ja teollisuus Ni vuosikeskiarvo koko Pori
77. Energiantuotanto ja teollisuus Ni vuosikeskiarvo Porin keskusta
78. Energiantuotanto ja teollisuus Ni vuosikeskiarvo Meri-Pori
79. Energiantuotanto ja teollisuus Pb vuosikeskiarvo koko Pori
80. Energiantuotanto ja teollisuus Pb vuosikeskiarvo Porin keskusta
81. Energiantuotanto ja teollisuus Pb vuosikeskiarvo Meri-Pori

Päästöt

82. Autoliikenteen NO_x-päästöt ja KVL koko Pori
83. Autoliikenteen NO_x -päästöt ja KVL Porin keskusta
84. Autoliikenteen PM_{2,5}-päästöt koko Pori
85. Autoliikenteen PM_{2,5}-päästöt Porin keskusta
86. Autoliikenteen PM₁₀-päästöt koko Pori
87. Autoliikenteen PM₁₀-päästöt Porin keskusta
88. Energiantuotannon ja teollisuuden NO_x-päästöt
89. Energiantuotannon ja teollisuuden PM-päästöt
90. Energiantuotannon ja teollisuuden SO₂-päästöt
91. Laivaliikenteen NO_x-päästöt Meri-Pori
92. Laivaliikenteen PM-päästöt Meri-Pori
93. Laivaliikenteen SO₂-päästöt Meri-Pori
94. Kiinteistökohtaisen lämmityksen NO_x-päästöt koko Pori
95. Kiinteistökohtaisen lämmityksen NO_x-päästöt Porin keskusta
96. Kiinteistökohtaisen lämmityksen PM_{2,5}-päästöt koko Pori
97. Kiinteistökohtaisen lämmityksen PM_{2,5}-päästöt Porin keskusta
98. Kiinteistökohtaisen lämmityksen PM₁₀-päästöt koko Pori
99. Kiinteistökohtaisen lämmityksen PM₁₀-päästöt Porin keskusta
100. Kiinteistökohtaisen lämmityksen SO₂-päästöt koko Pori
101. Kiinteistökohtaisen lämmityksen SO₂-päästöt Porin keskusta
102. Kiinteistökohtaisen lämmityksen B(a)P-päästöt koko Pori
103. Kiinteistökohtaisen lämmityksen B(a)P-päästöt Porin keskusta

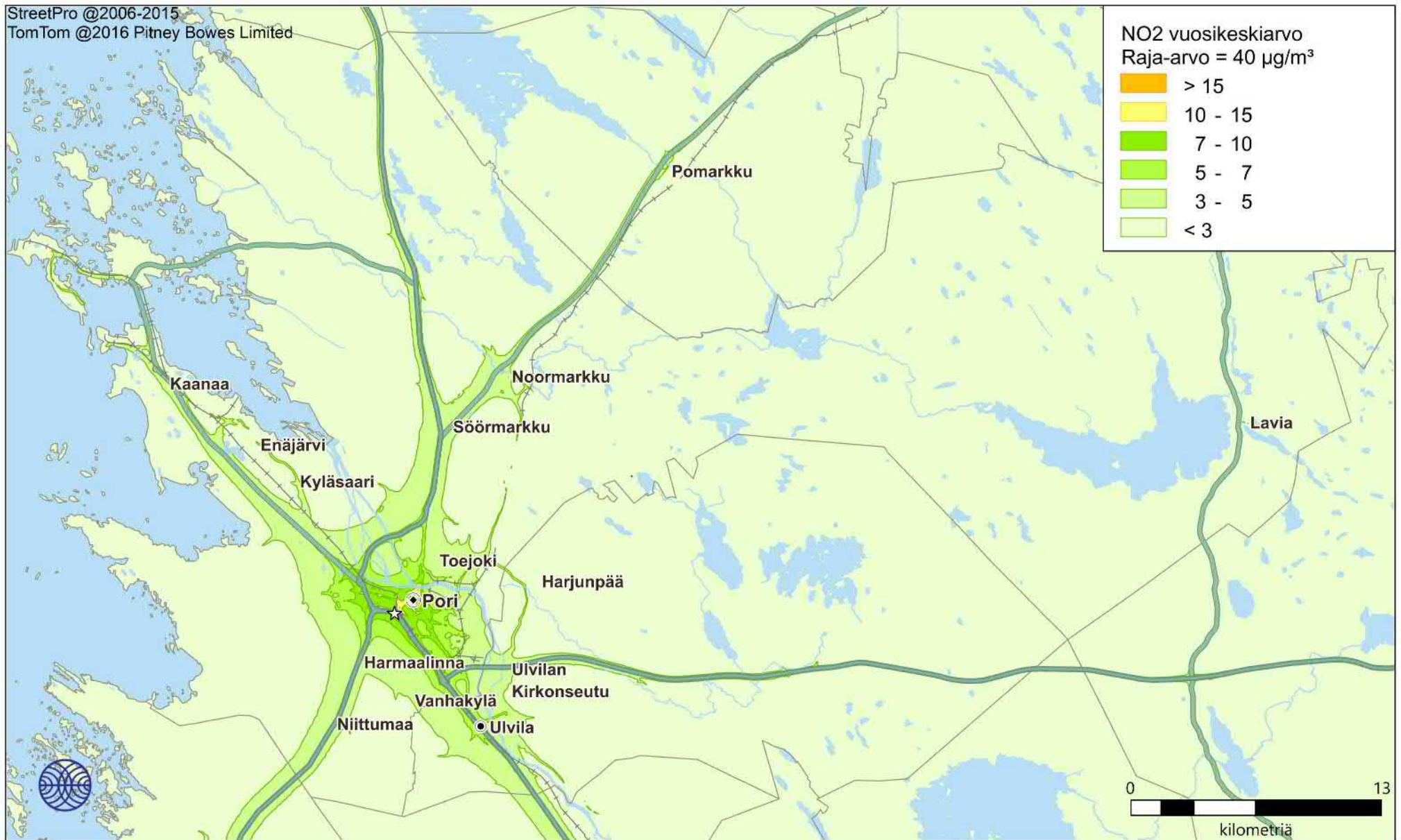
Liitekuvat

Leviämismallilaskelmien tuloksina saadut typpidioksidin, typen oksidien, pienhiukkasten, hengitettävien hiukkasten, rikkidioksidin, bentso(a)pyreenin, arseenin ja raskasmetallien pitoisuudet on esitetty seuraavassa karttakuvina, joissa ilman epäpuhtauksia verrataan ilmanlaatulainsäädännössä annettuihin raja-, ohje- ja tavoitearvoihin, kriittisiin tasoihin ja WHO:n ohjearvoihin. Karttakuvissa esitetyt pitoisuusjakaumat kuvaavat enimmäispitoisuustasoa ulkoilmassa ihmisten hengityskorkeudella (2 m). Kuvissa on esitetty peräkkäin koko tarkastelualueen (85 × 45 km) kattavat pitoisuuksien tuloskartat ja lähikuvat Porin keskustan ja Meri-Porin alueista.

Karttakuvissa on esitetty värillisinä jakaumina alueet, joilla tietyn pitoisuuden ylittyminen on pitkän havaintojakson aikana todennäköistä. Vihreän eri sävyillä kuvataan kartoissa hyvää ilmanlaatua ja asteikko jatkuu pitoisuuksien kasvaessa keltaisen ja oranssin sävyjen kautta punaiseen. Kirkkaalla punaisella kuvataan raja- tai ohjearvon ylittymistä. Kartoissa esitetyt pitoisuuksien aluejakaumat eivät edusta koko tutkimusalueella yhtäaikaista vallitsevaa pitoisuustilannetta, vaan ne kuvaavat kuhunkin laskentapisteeseen mallilaskelmissa saatua korkeinta pitoisuutta. Korkeimmat pitoisuudet voivat esiintyä eri laskentapisteissä eri ajanhetkinä.

Vuosikeskiarvopitoisuus kuvaa alueen keskimääräistä ja vallitsevaa ilman epäpuhtauspitoisuustasoa parhaiten. Karttakuvissa esitetyt vuosikeskiarvopitoisuudet kuvaavat kolmen vuoden tarkastelujakson (vuodet 2018–2020) korkeinta vuosikeskiarvoa kussakin laskentapisteessä. Hetkelliset pitoisuudet voivat nousta vuosikeskiarvopitoisuuksia huomattavasti korkeammiksi. Mallinnettuihin lyhytaikaispitoisuuksiin sisältyy enemmän epävarmuutta kuin vuosikeskiarvopitoisuuksiin ja lyhytaikaispitoisuuksien aluejakaumaan vaikuttavat voimakkaammin yksittäiset meteorologiset tilanteet. Karttakuvissa esitetyt vuorokausiohjearvoon verrannolliset pitoisuudet kuvaavat kolmen vuoden tarkastelujakson (vuodet 2018–2020) korkeinta vuorokausiohje- tai raja-arvoon verrannollista pitoisuutta kussakin laskentapisteessä.

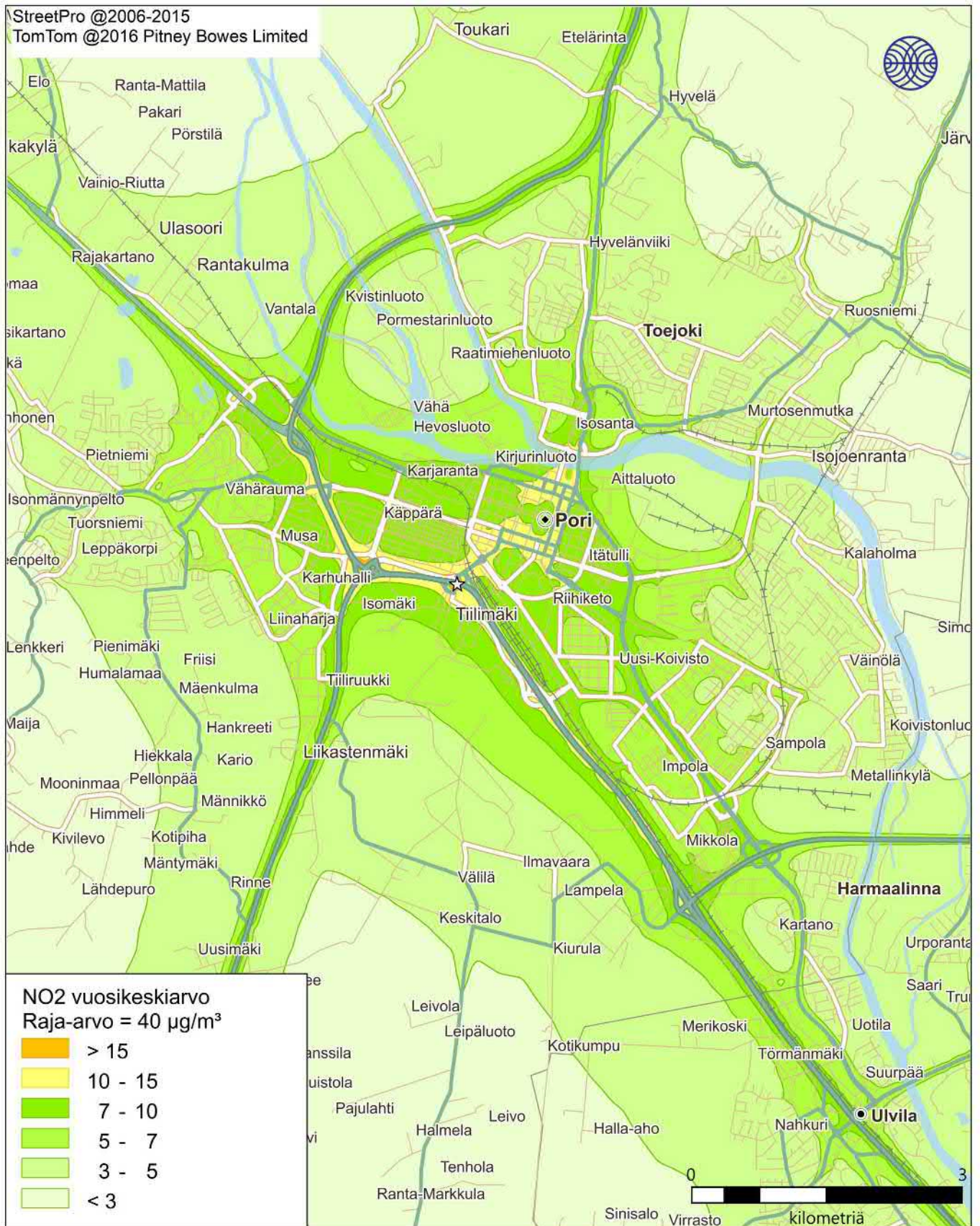
Taustapitoisuutena käytettiin Ilmatieteen laitoksen Paraisten Utössä ja Helsingin yliopiston Juupajoen Hyytiälässä sijaitsevien taustailmanlaadun mittausasemien tuloksia. Tarkastelujaksolla 2018–2020 typen oksidien taustapitoisuuden vuosikeskiarvo oli $2,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, rikkidioksidin $0,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$, pienhiukkasten $5,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja otsonin $66 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Ilmatieteen laitos, 2021).



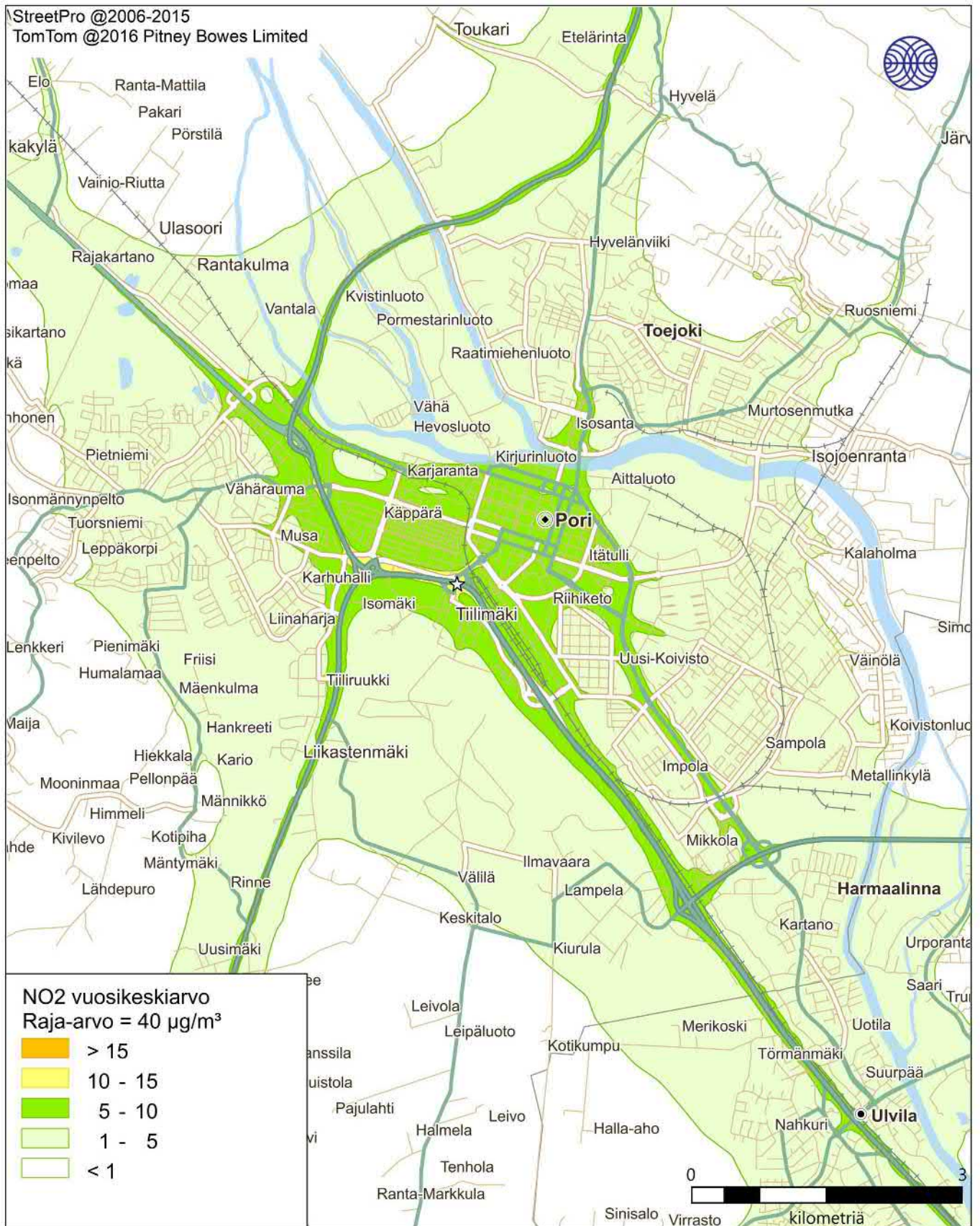
Ilmatieteen laitos 2022

☆ = maksimi = 23 µg/m³

Kuva 1. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden aiheuttama typpidioksidin vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³).

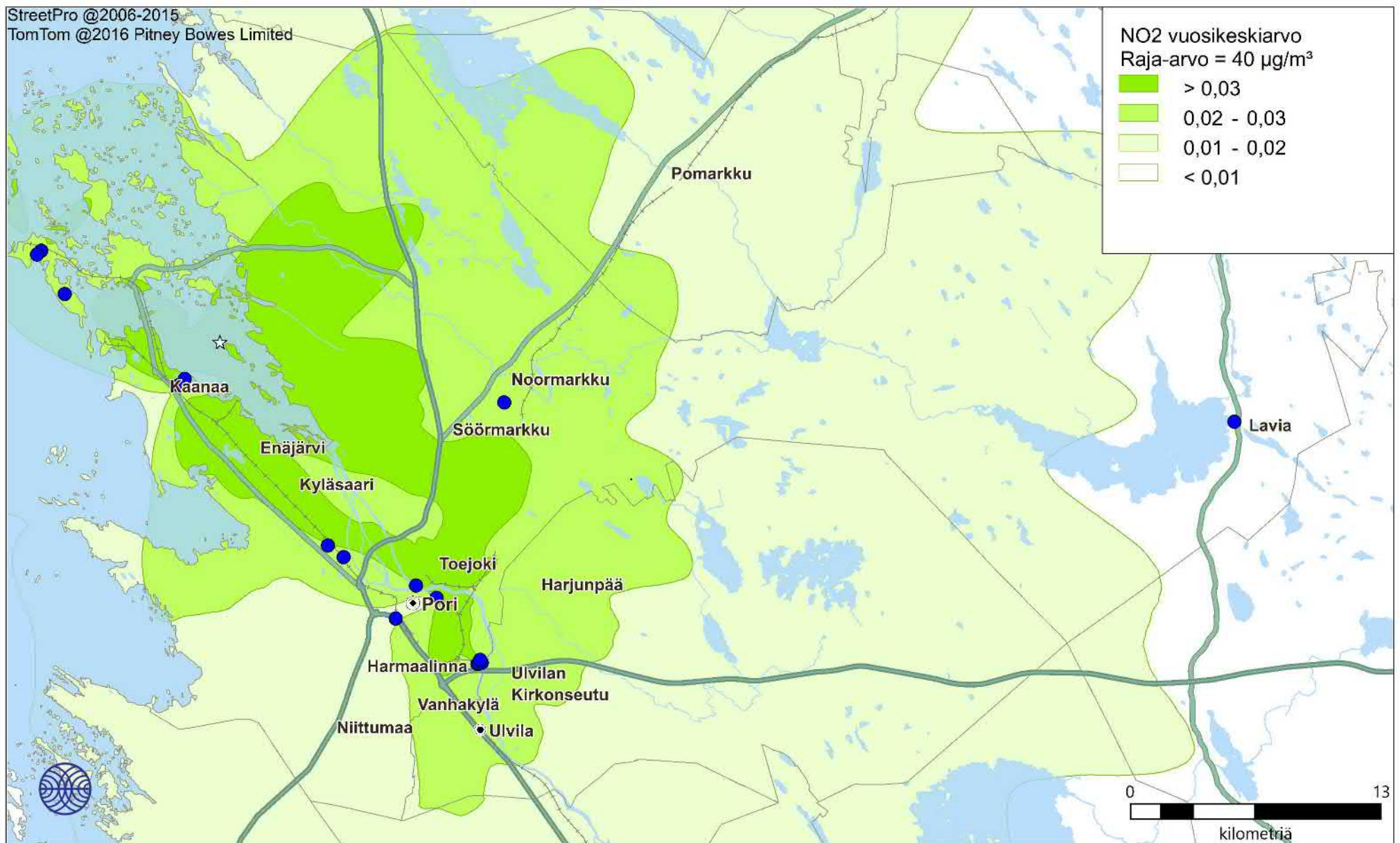


Kuva 2. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden aiheuttama typpidioksidin vuosikeskiarvopitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).



Ilmatieteen laitos 2022

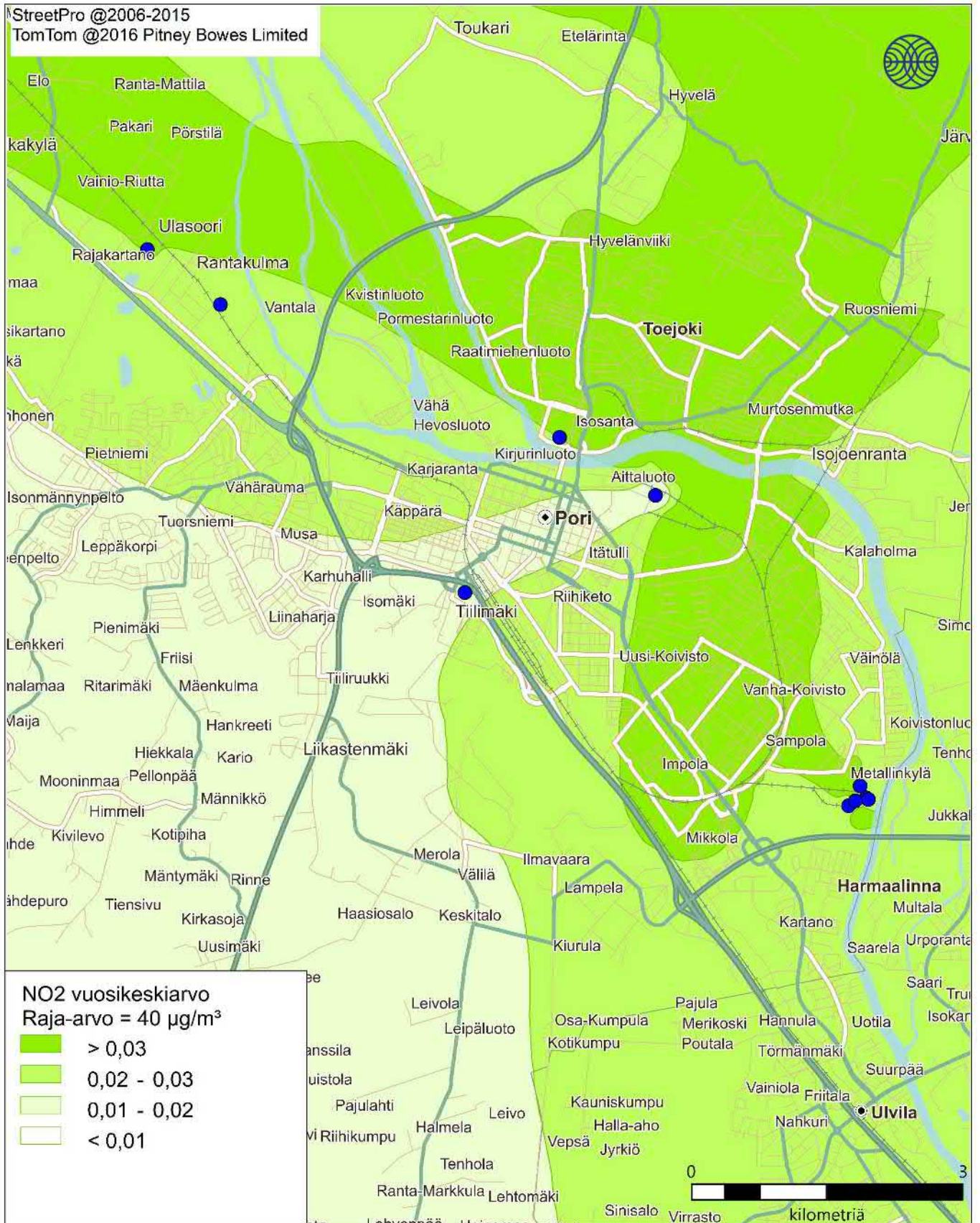
Kuva 3. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama typpidioksidin vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³).



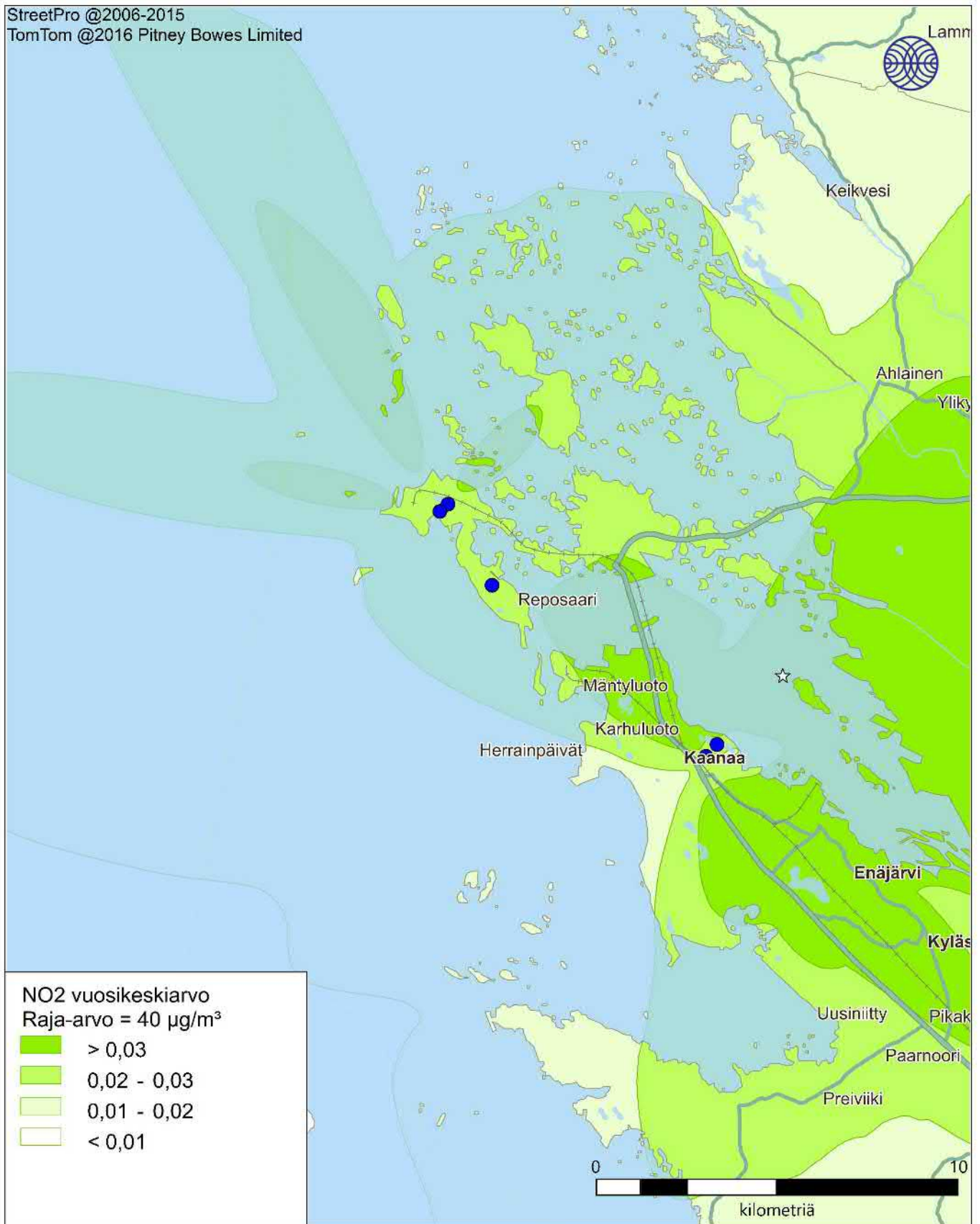
Ilmatieteen laitos 2022

☆ = maksimi = 0,054 µg/m³

Kuva 4. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttama typpidioksidin vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³).

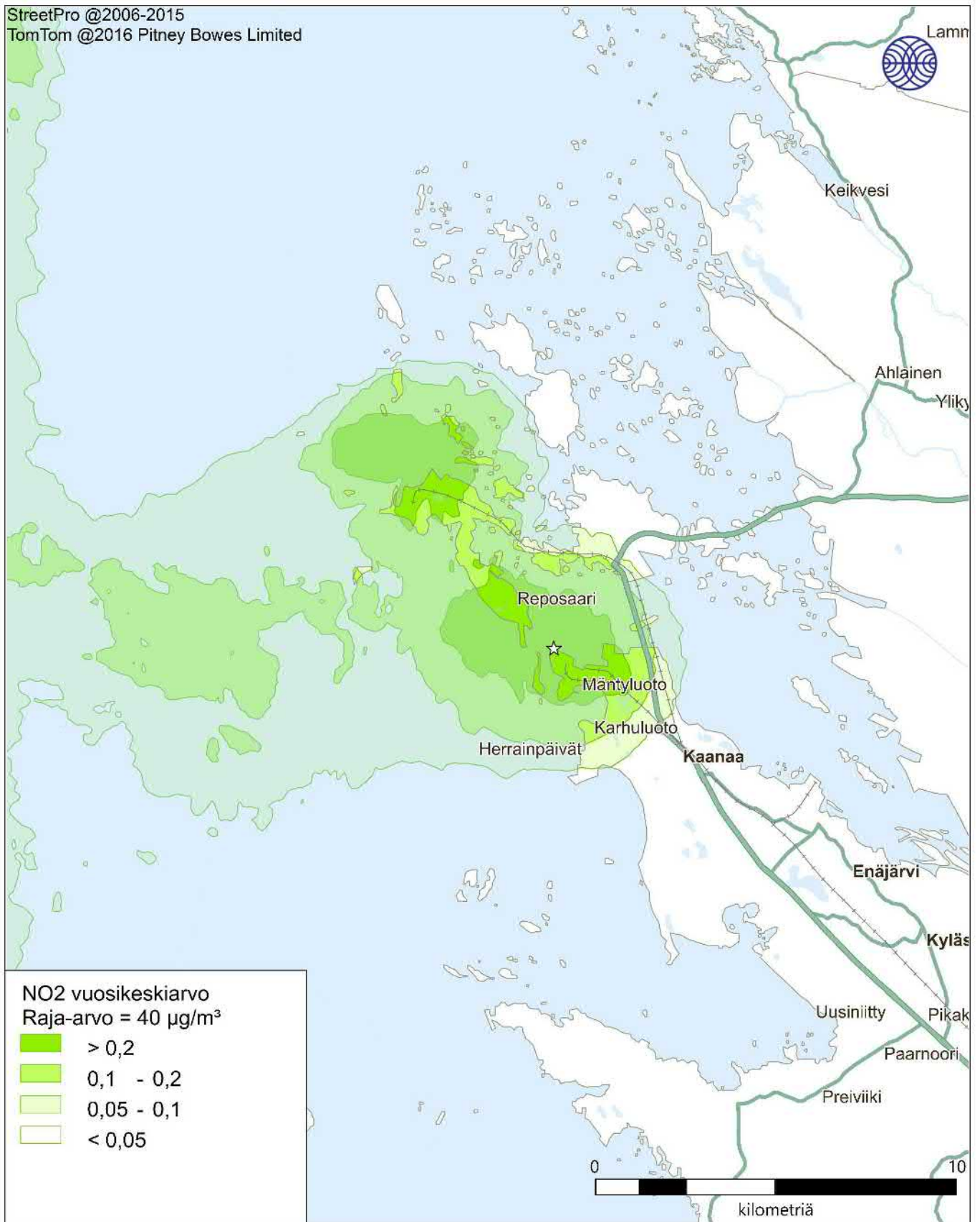


Kuva 5. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttama typpidioksidin vuosikeskiarvopitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).



Ilmatieteen laitos 2022

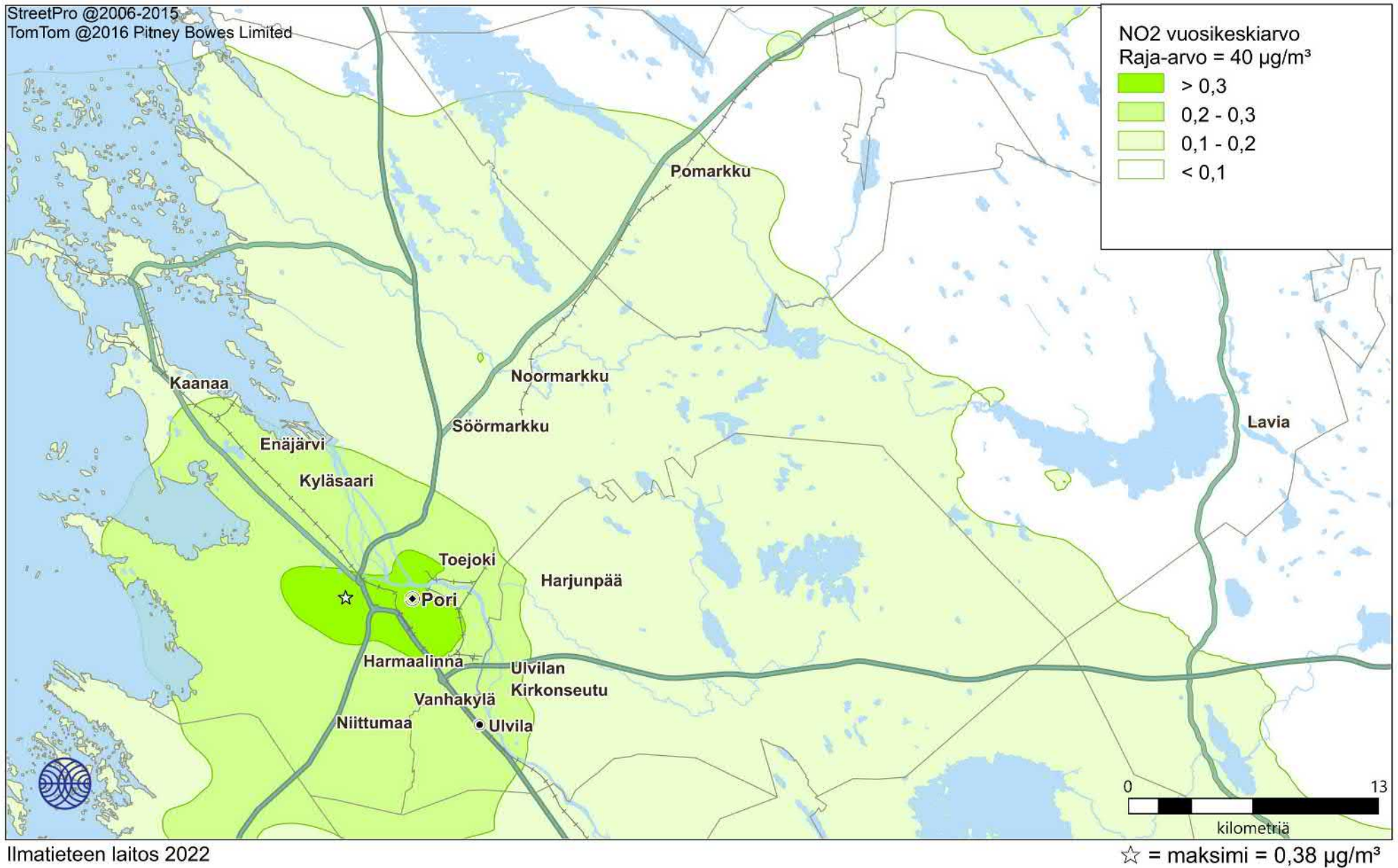
Kuva 6. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttama typpidioksidin vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³).



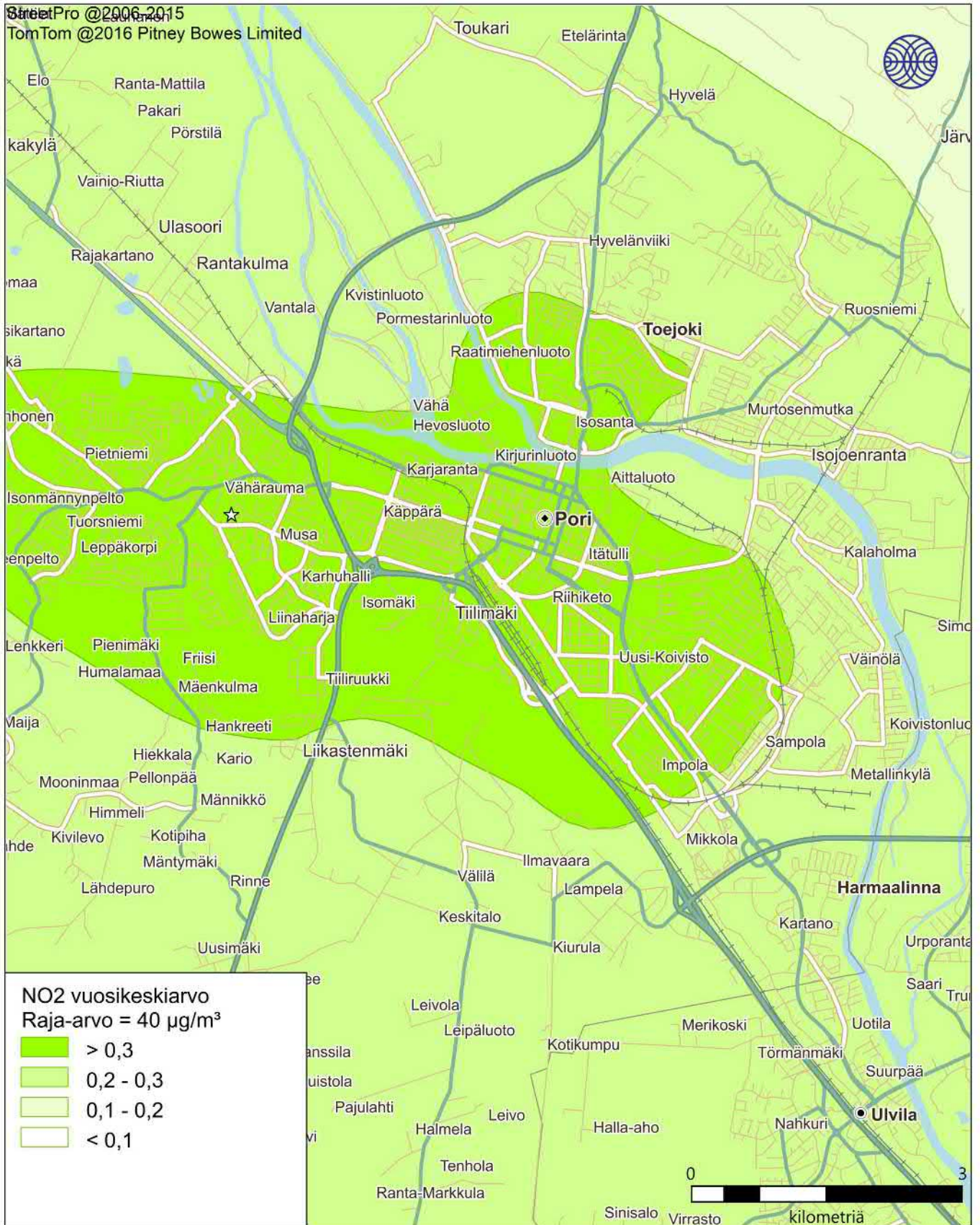
Ilmatieteen laitos 2022

☆ = maksimi = 0,63 µg/m³

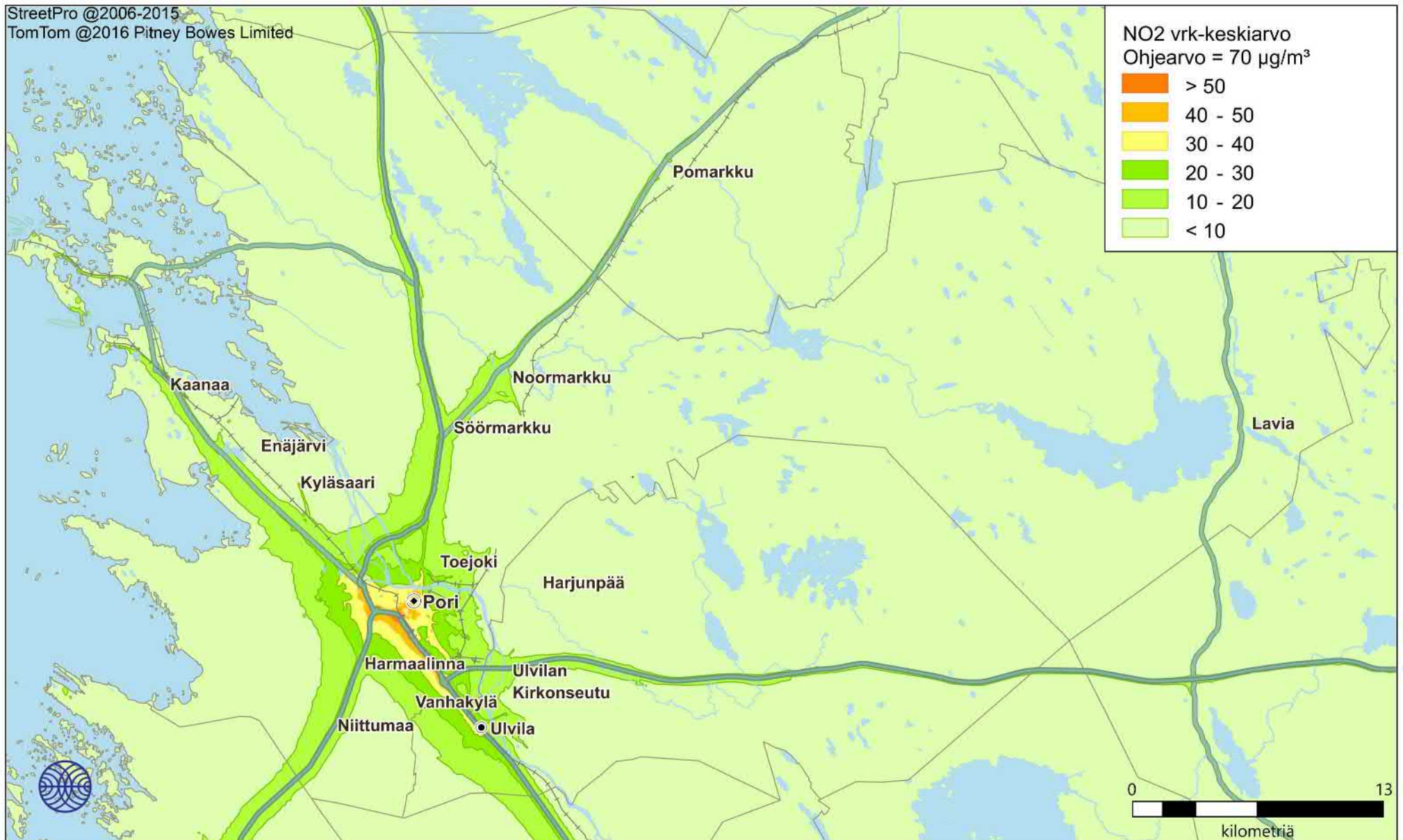
Kuva 7. Laivaliikenteen ja satamatoiminnan päästöjen aiheuttama typpidioksidin vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³).



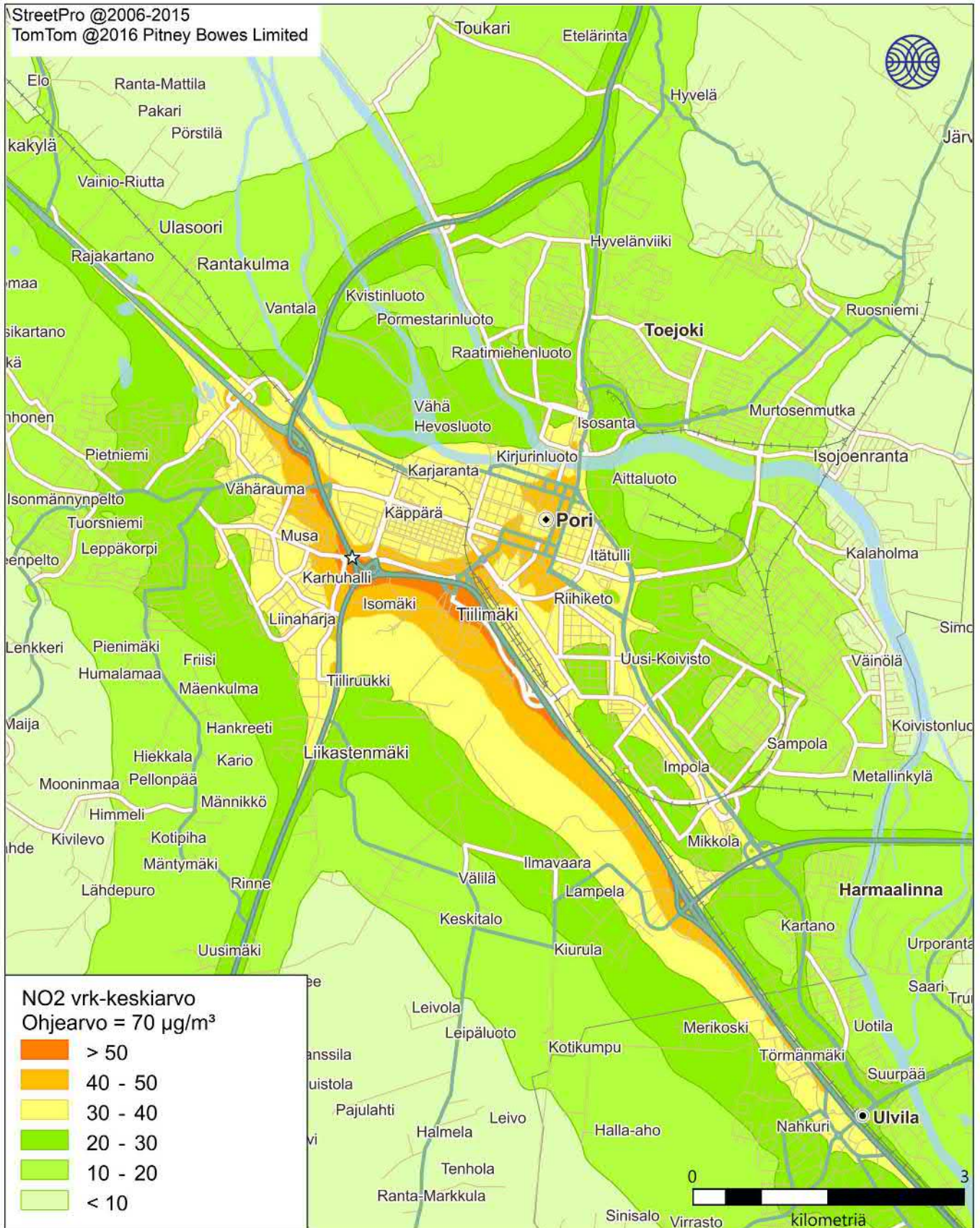
Kuva 8. Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttama typpidioksidin vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³).



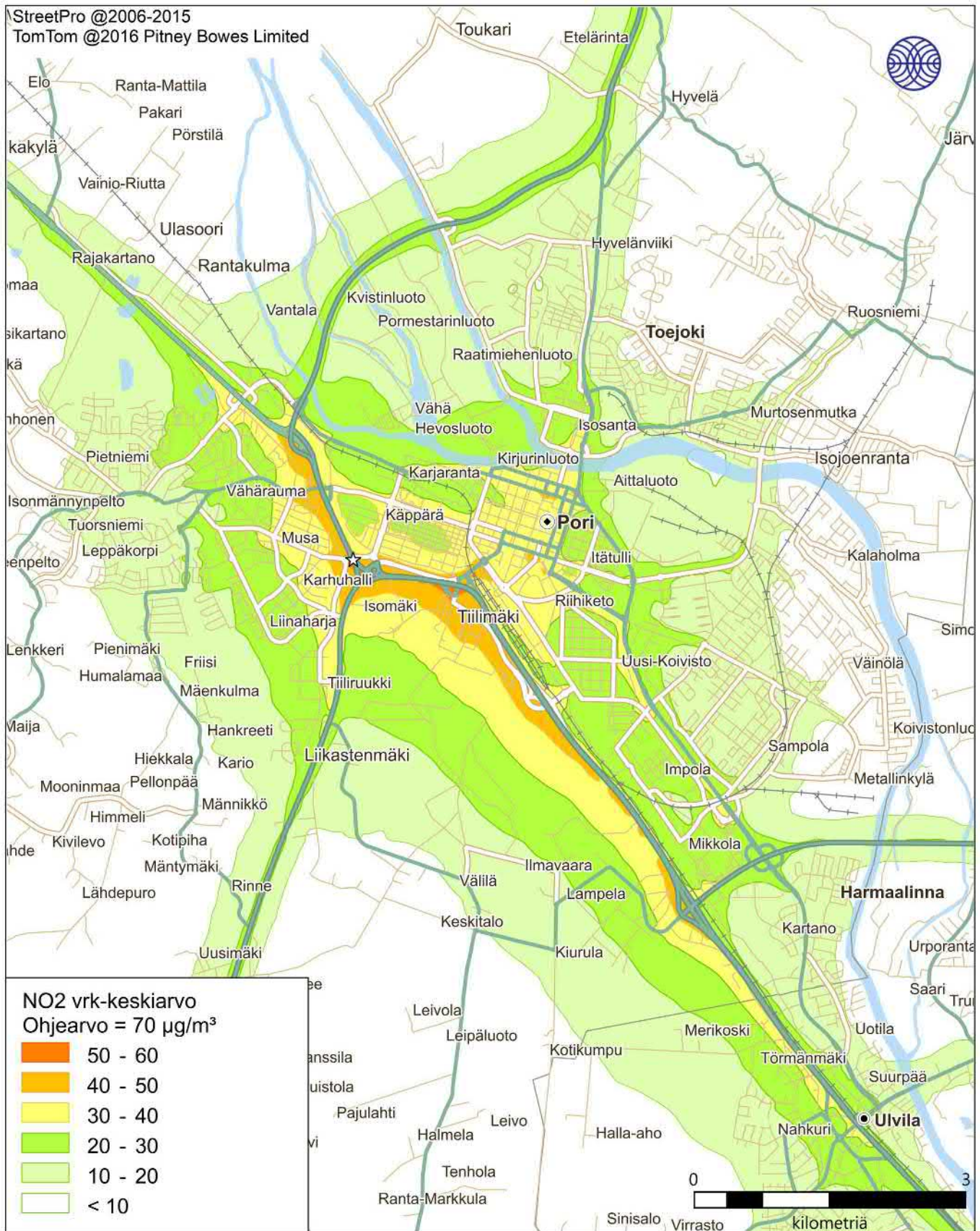
Kuva 9. Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttama typpidioksidin vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³).



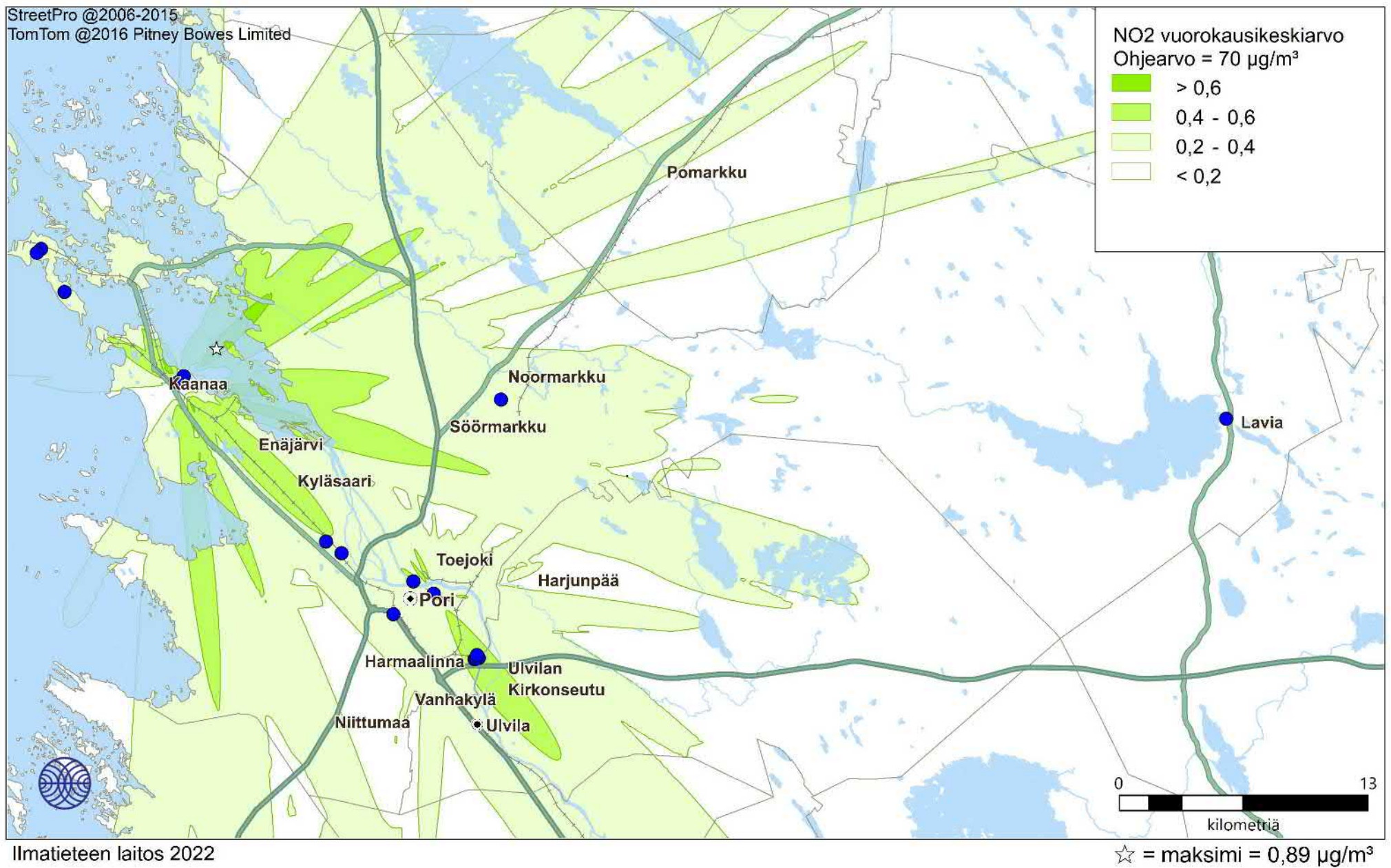
Kuva 10. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden aiheuttama typpidioksidin vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).



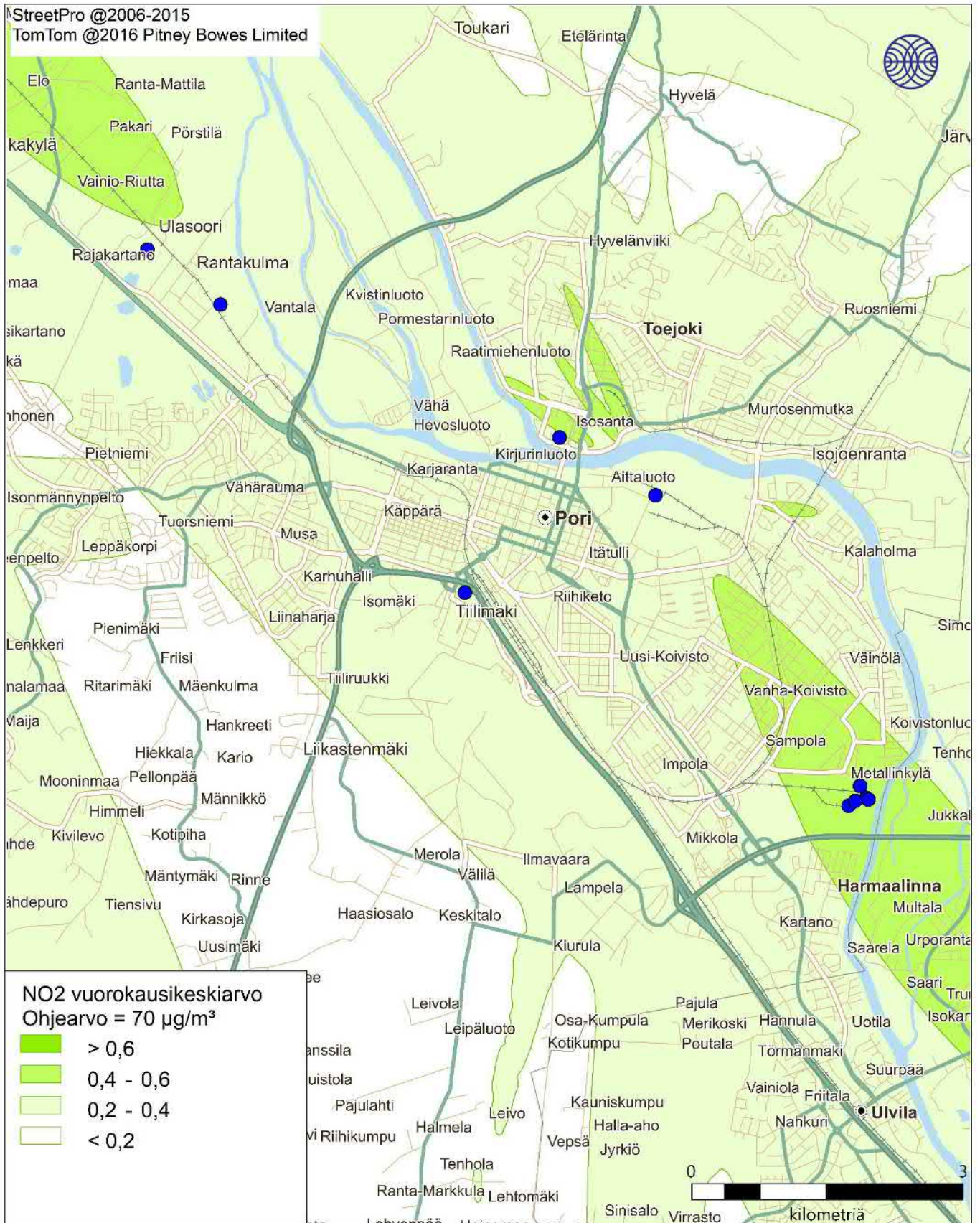
Kuva 11. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden aiheuttama typpidioksidin vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).



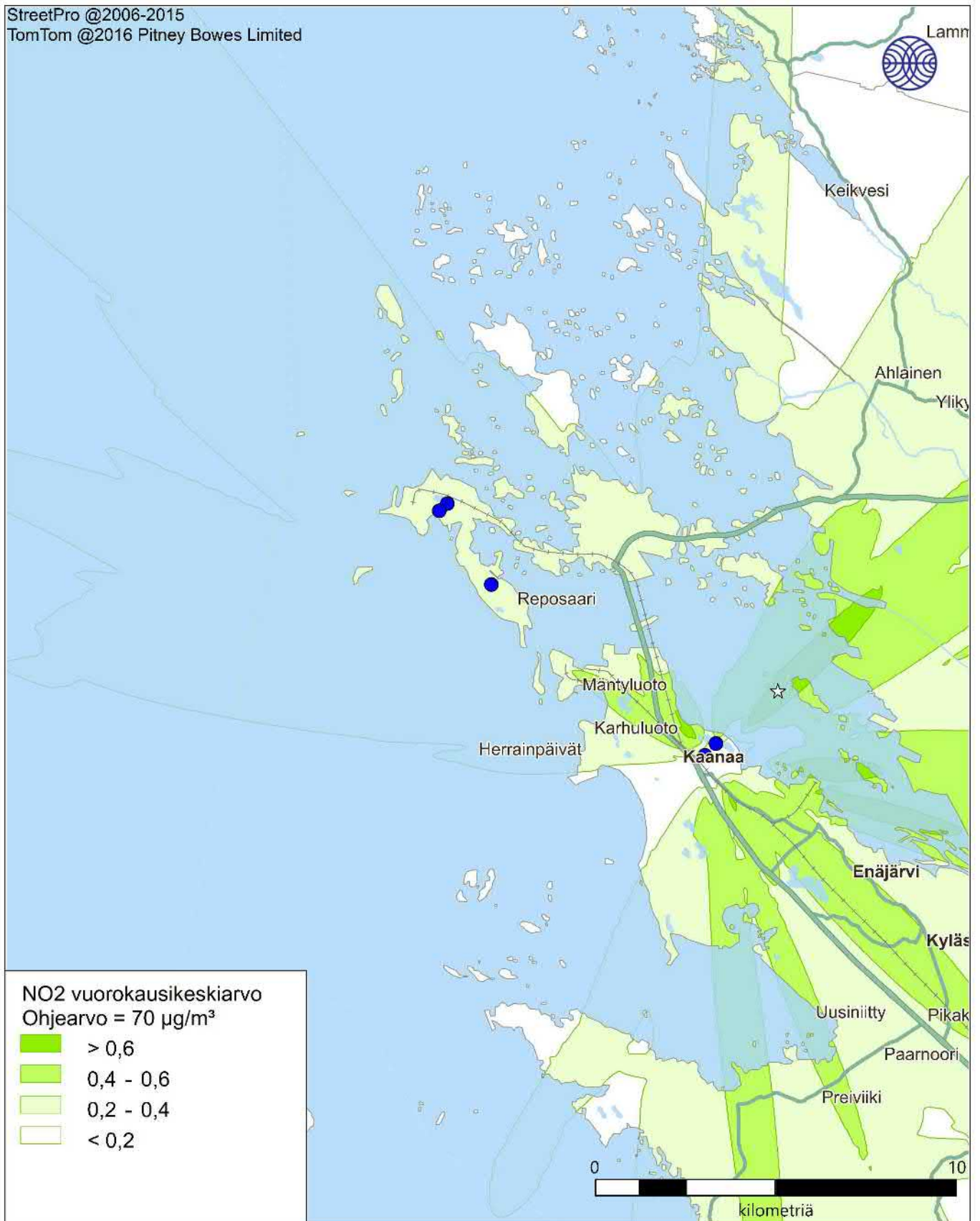
Kuva 12. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama typpidioksidin vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).



Kuva 13. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttama typpidioksidin vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).



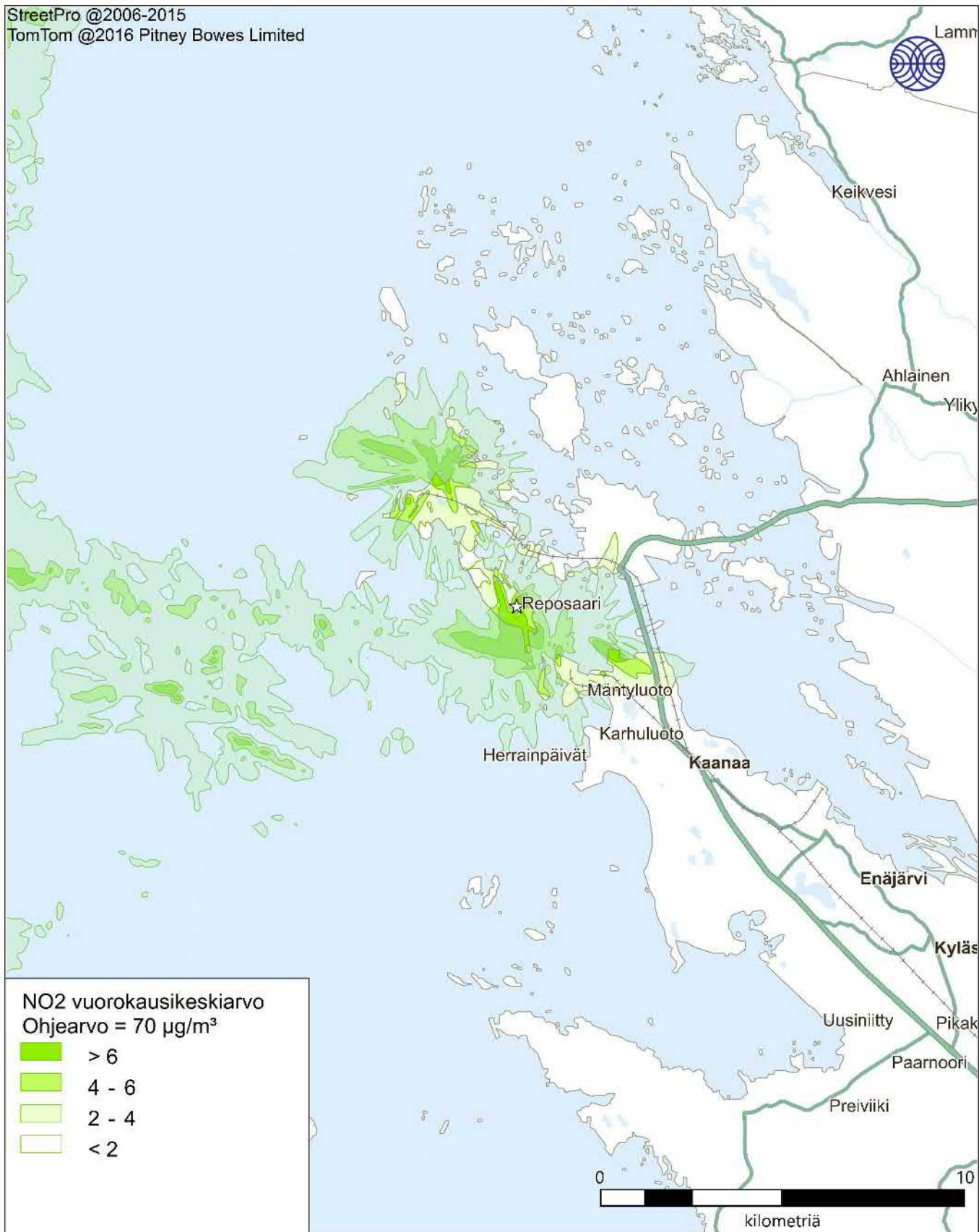
Kuva 14. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttama typpidioksidin vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).



Ilmatieteen laitos 2022

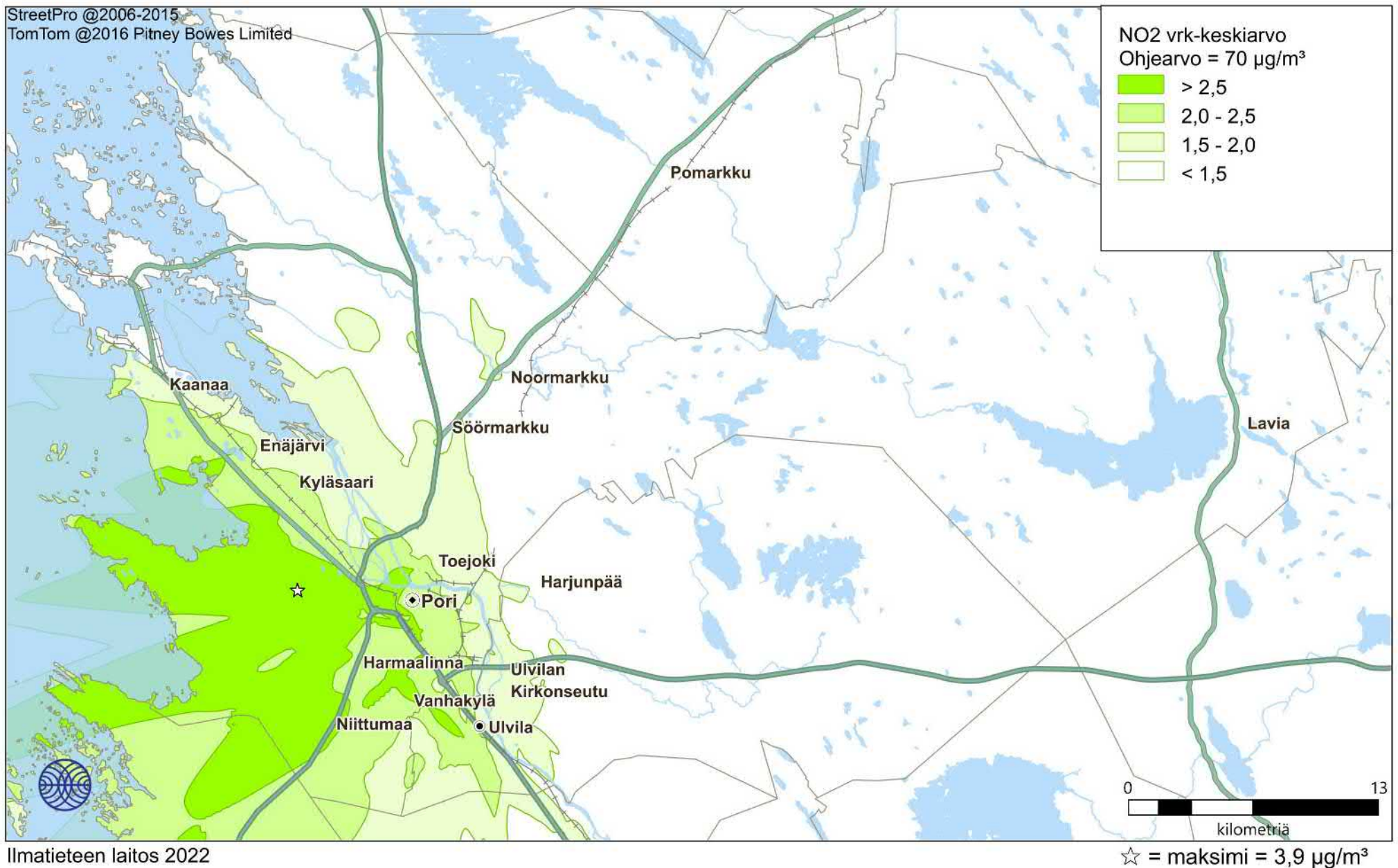
☆ = maksimi = 0,89 µg/m³

Kuva 15. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttama typpidioksidin vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

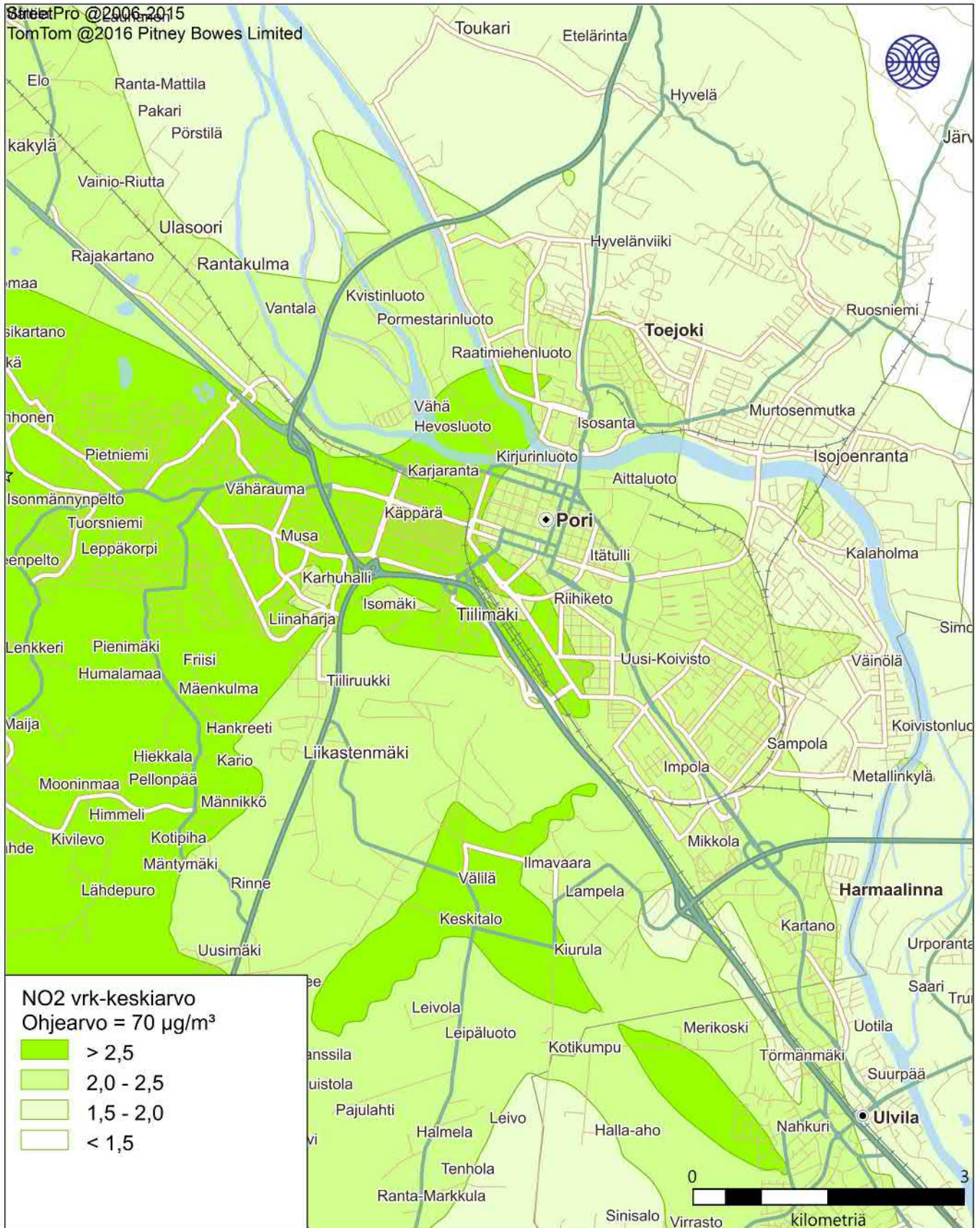


Ilmatieteen laitos 2022

Kuva 16. Laivaliikenteen ja satamatoiminnan päästöjen aiheuttama typpidioksidin vuorokausiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

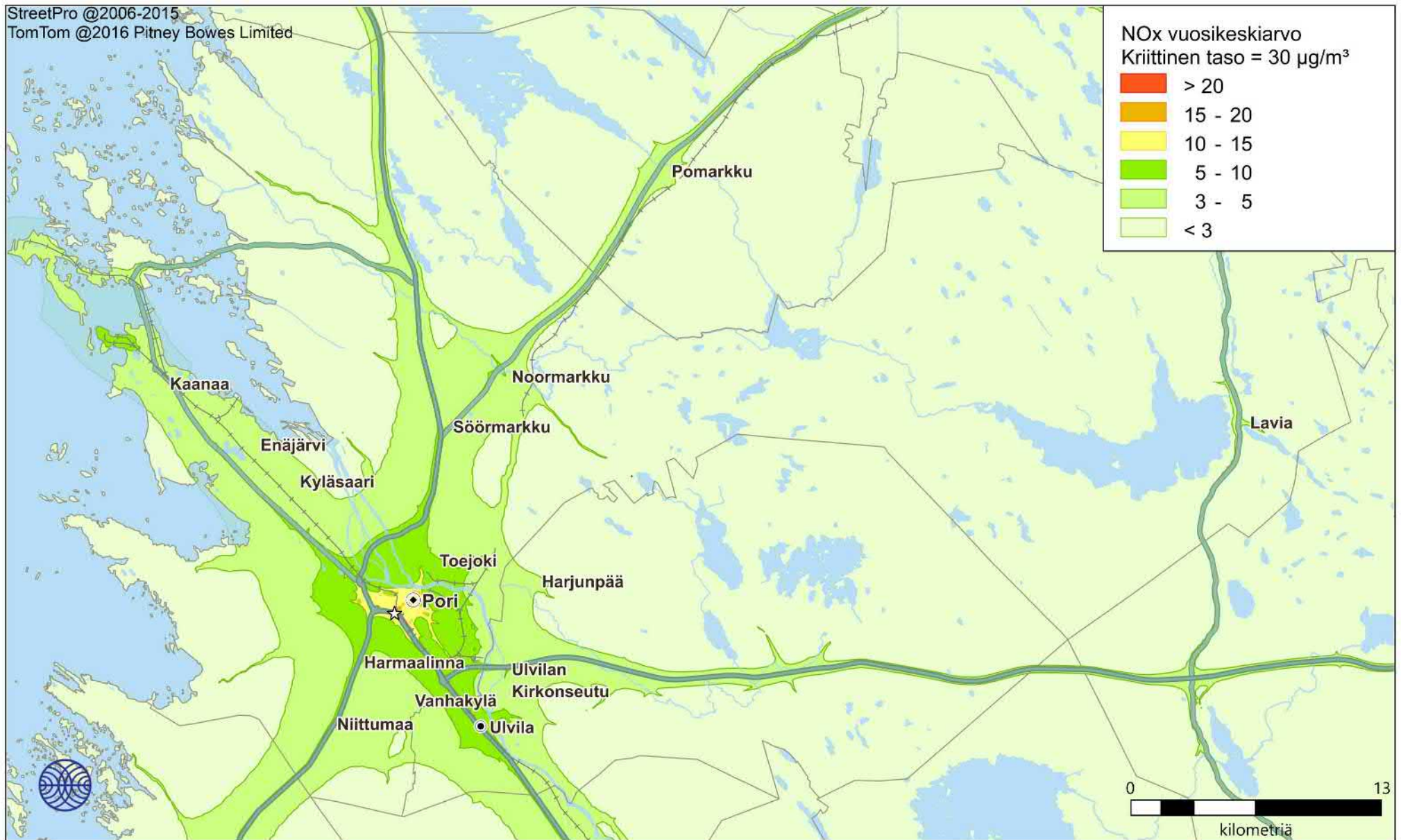


Kuva 17. Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttama typpidioksidin vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).



Ilmatieteen laitos 2022

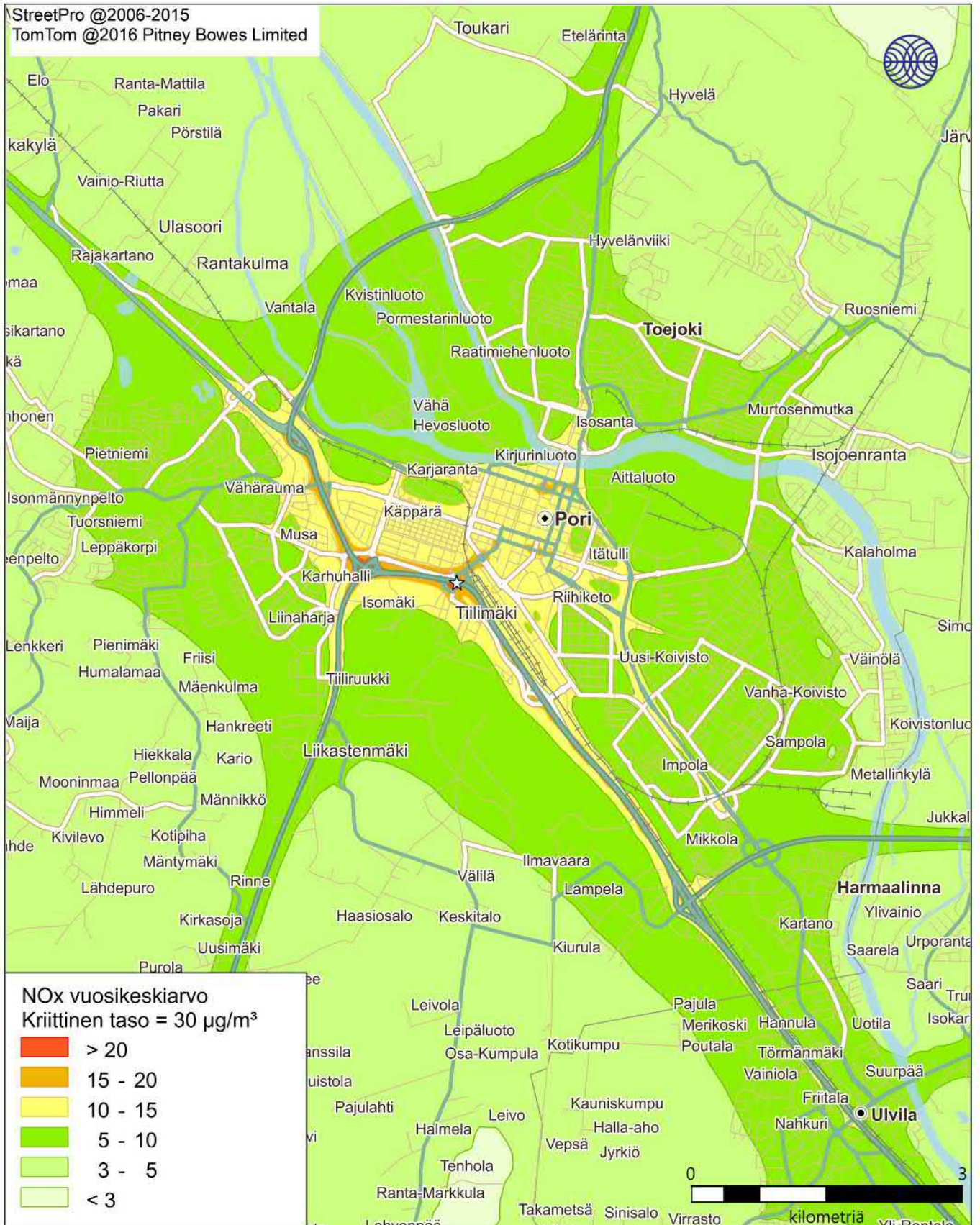
Kuva 18. Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttama typpidioksidin vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).



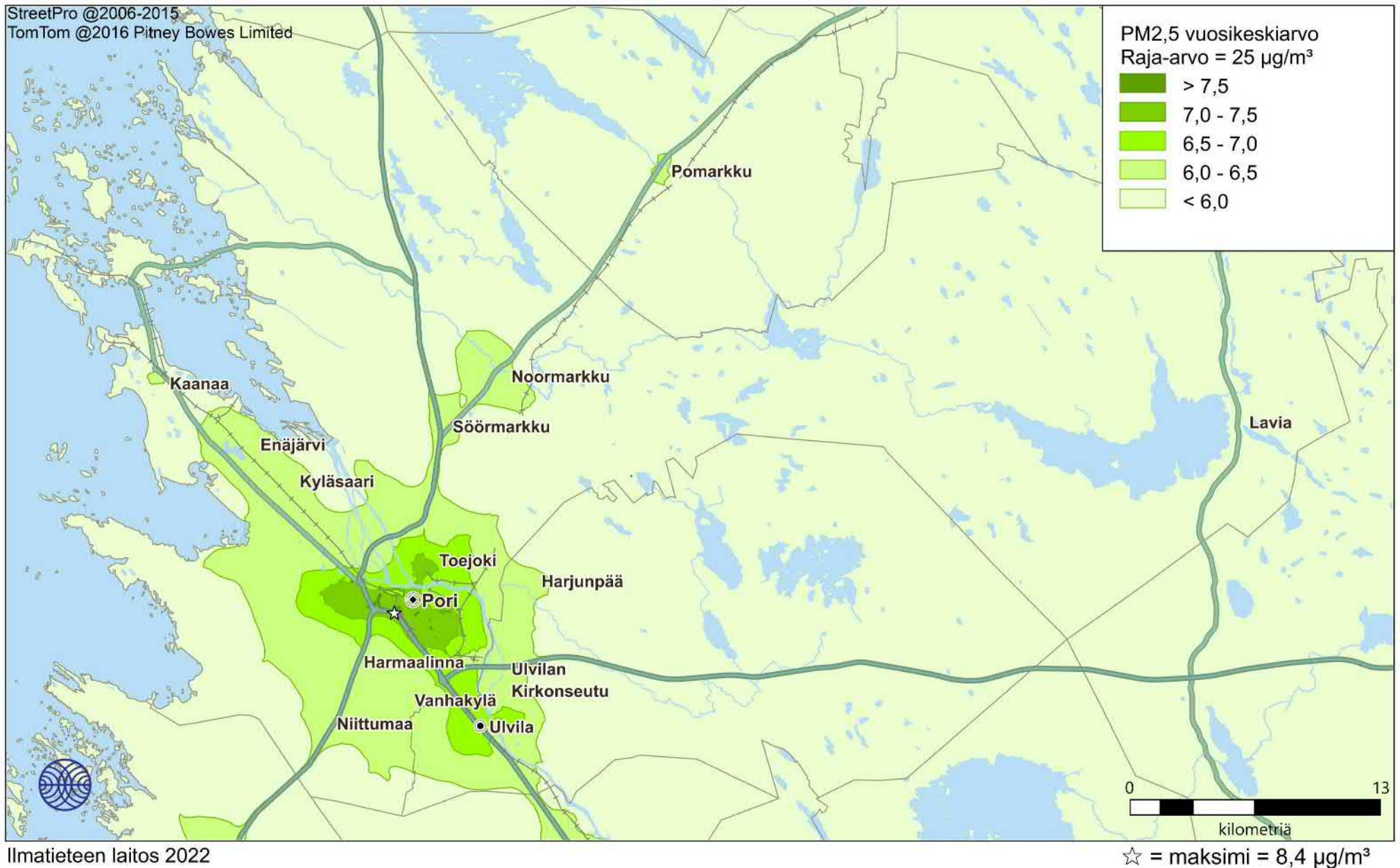
Ilmatieteen laitos 2022

☆ = maksimi = 32 µg/m³

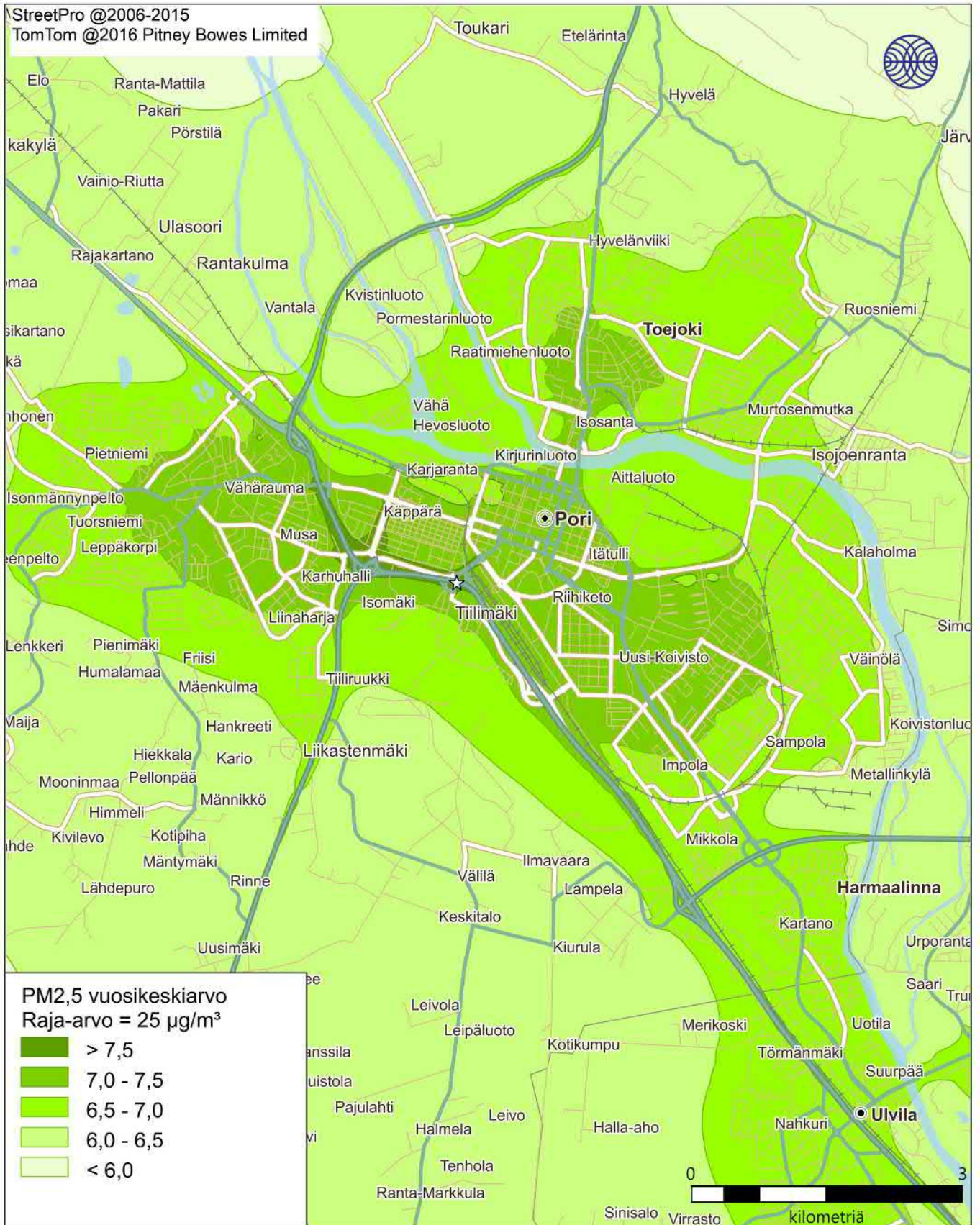
Kuva 19. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden aiheuttama typen oksidien vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³).



Kuva 20. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden aiheuttama typen oksidien vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³).

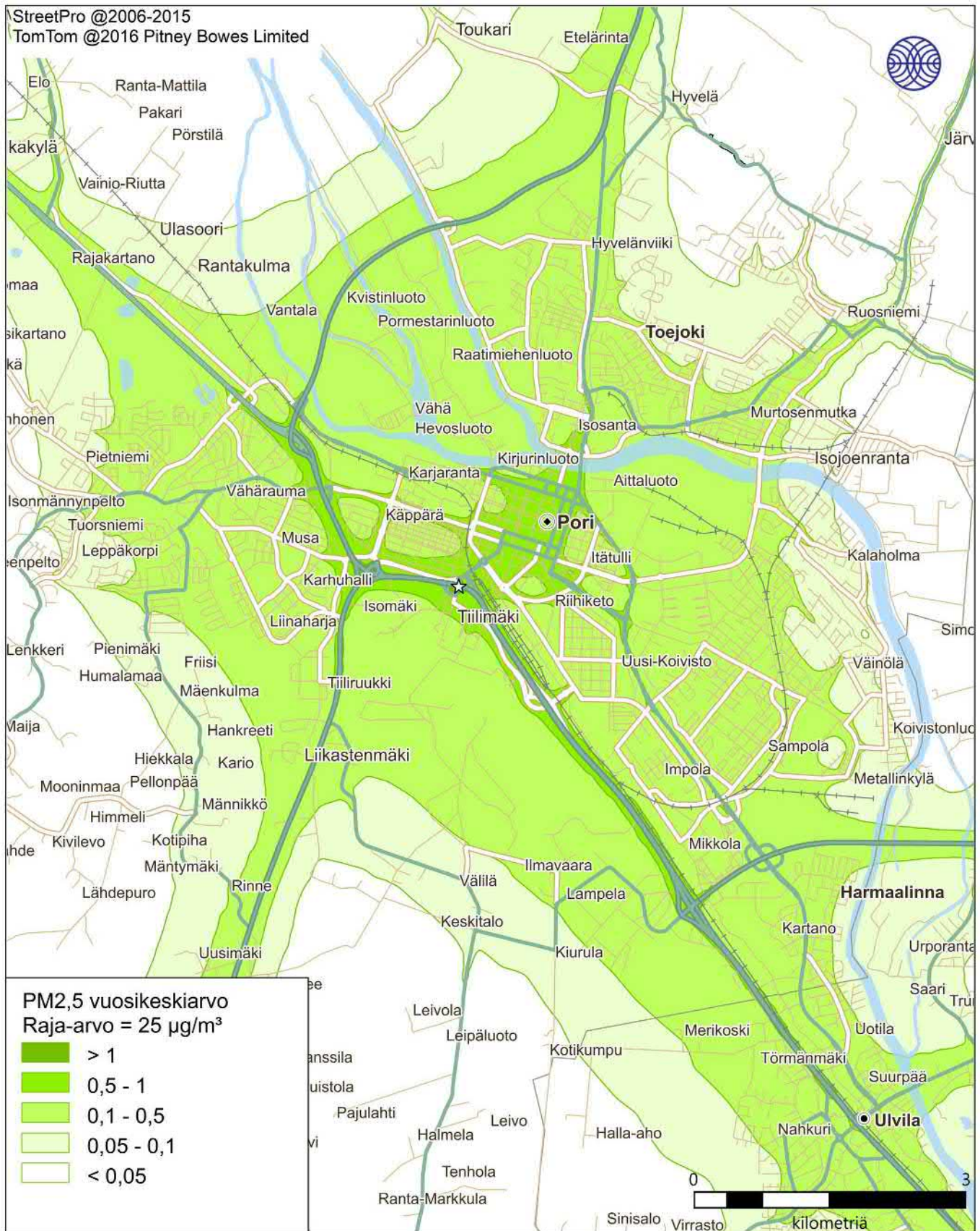


Kuva 21. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden aiheuttama pienhiukkasten vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³).

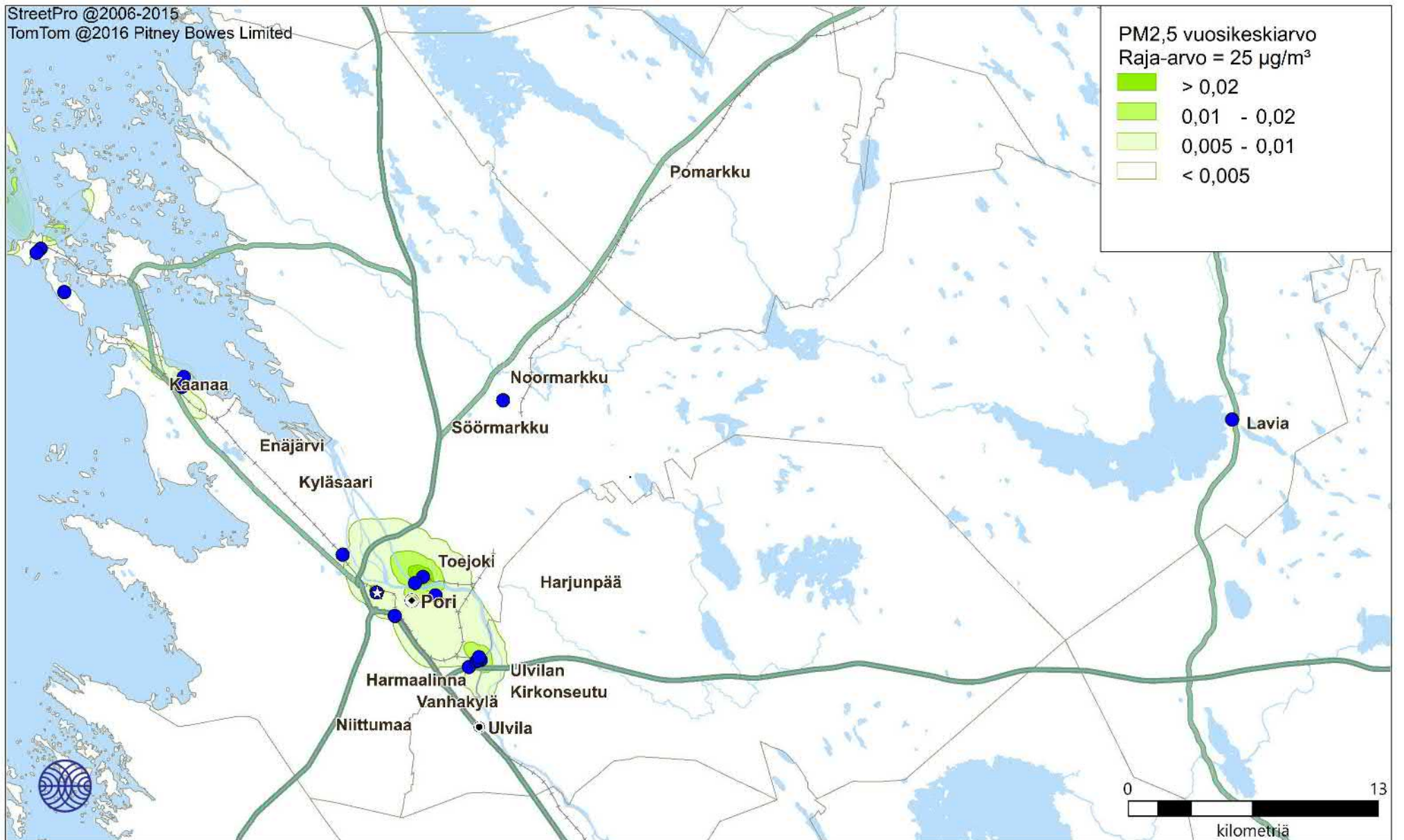


Ilmatieteen laitos 2022

Kuva 22. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden aiheuttama pienhiukkasten vuosikeskiarvopitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).



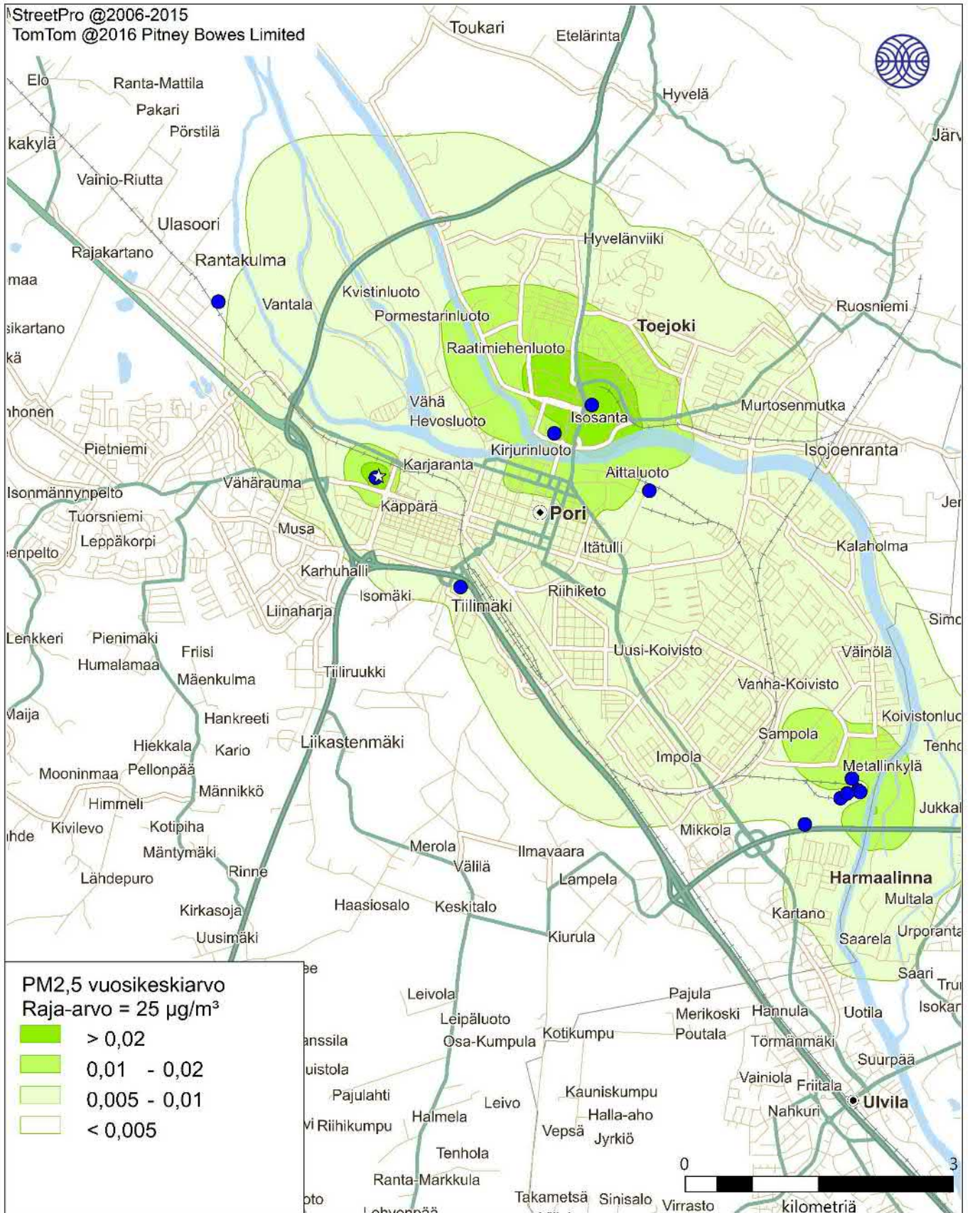
Kuva 23. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama pienhiukkasten vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³).



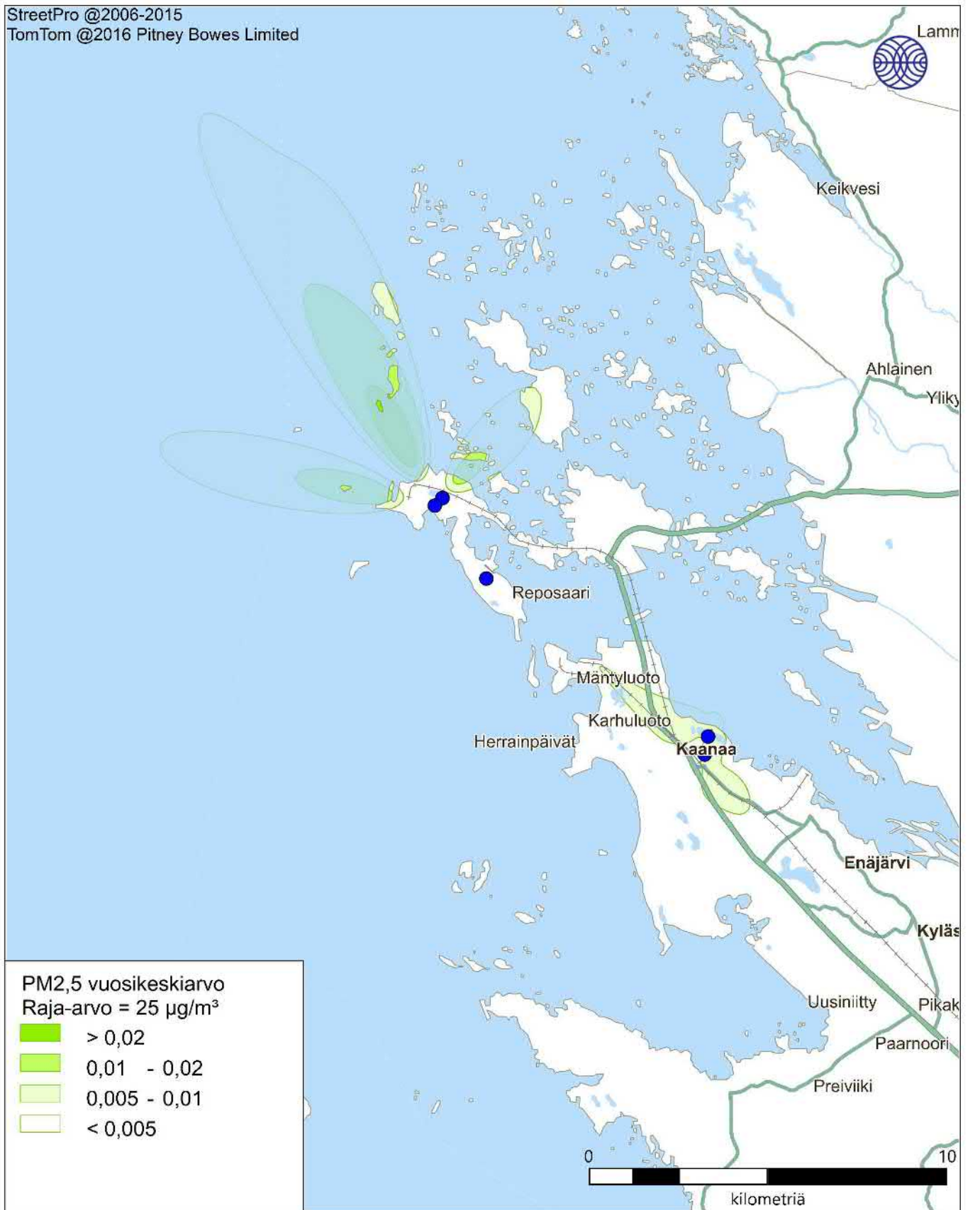
Ilmatieteen laitos 2022

☆ = maksimi = 0,096 µg/m³

Kuva 24. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttama pienhiukkasten vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³).

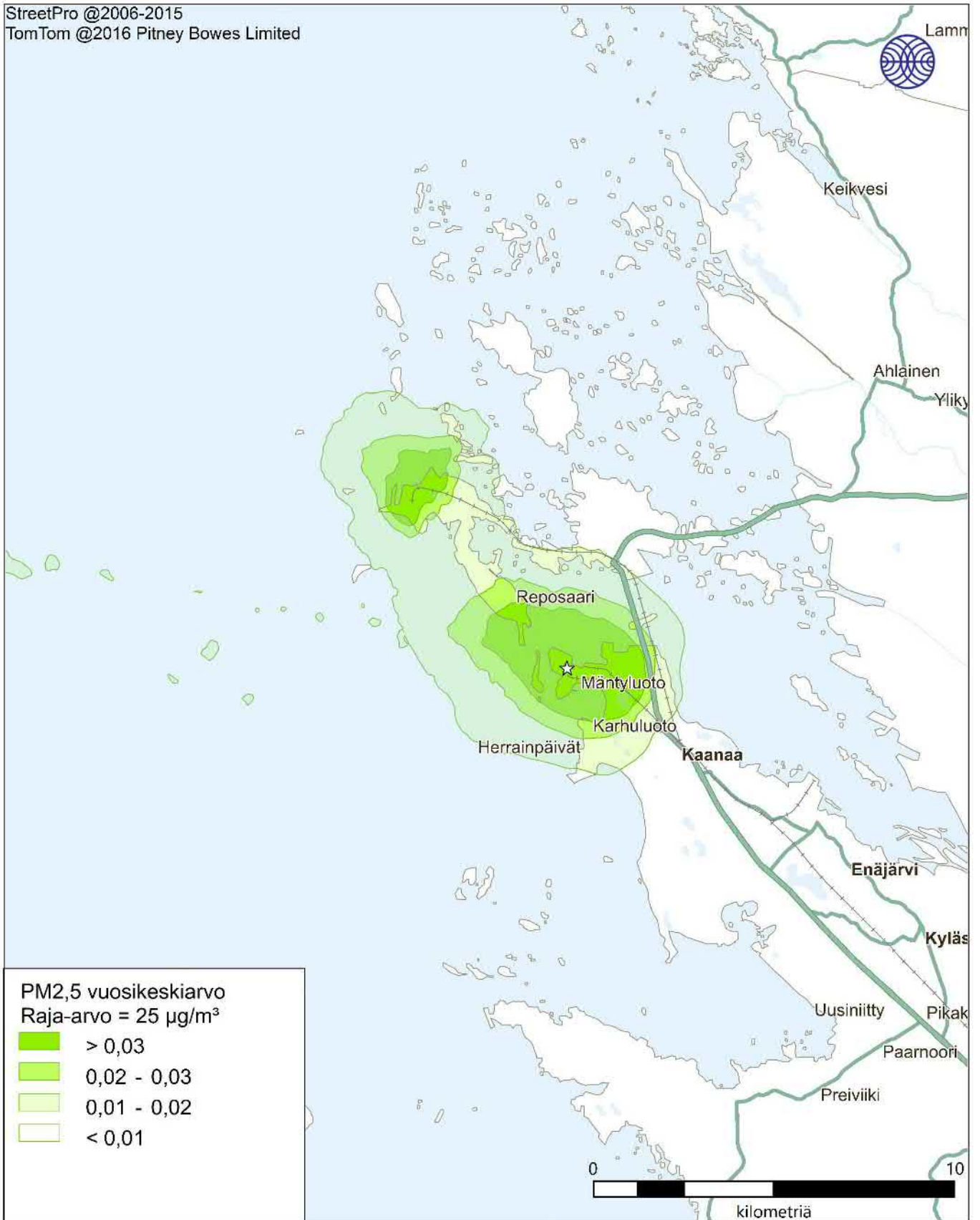


Kuva 25. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttama pienhiukkasten vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³).



Ilmatieteen laitos 2022

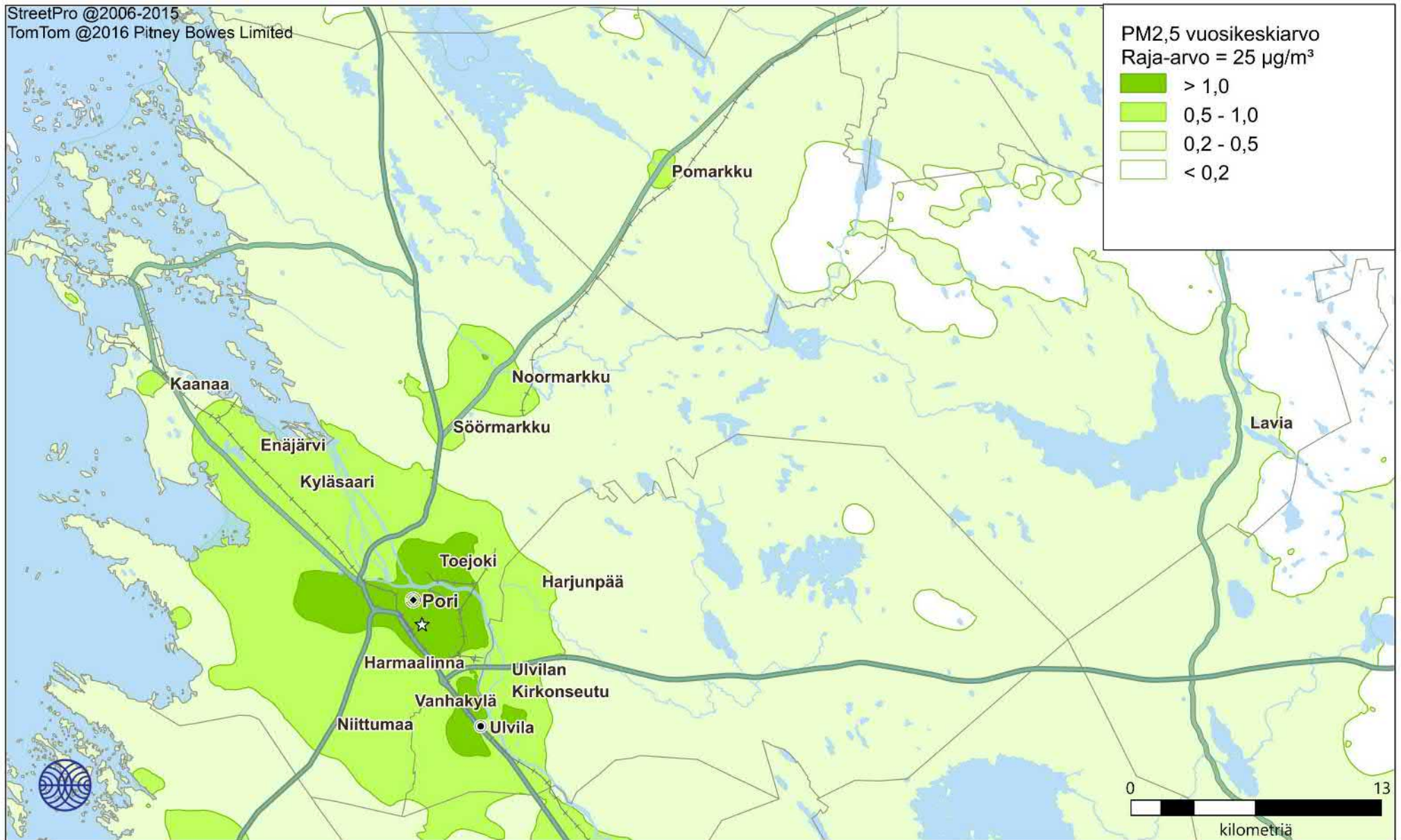
Kuva 26. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttama pienhiukkasten vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³).



Ilmatieteen laitos 2022

☆ = maksimi = 0,20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

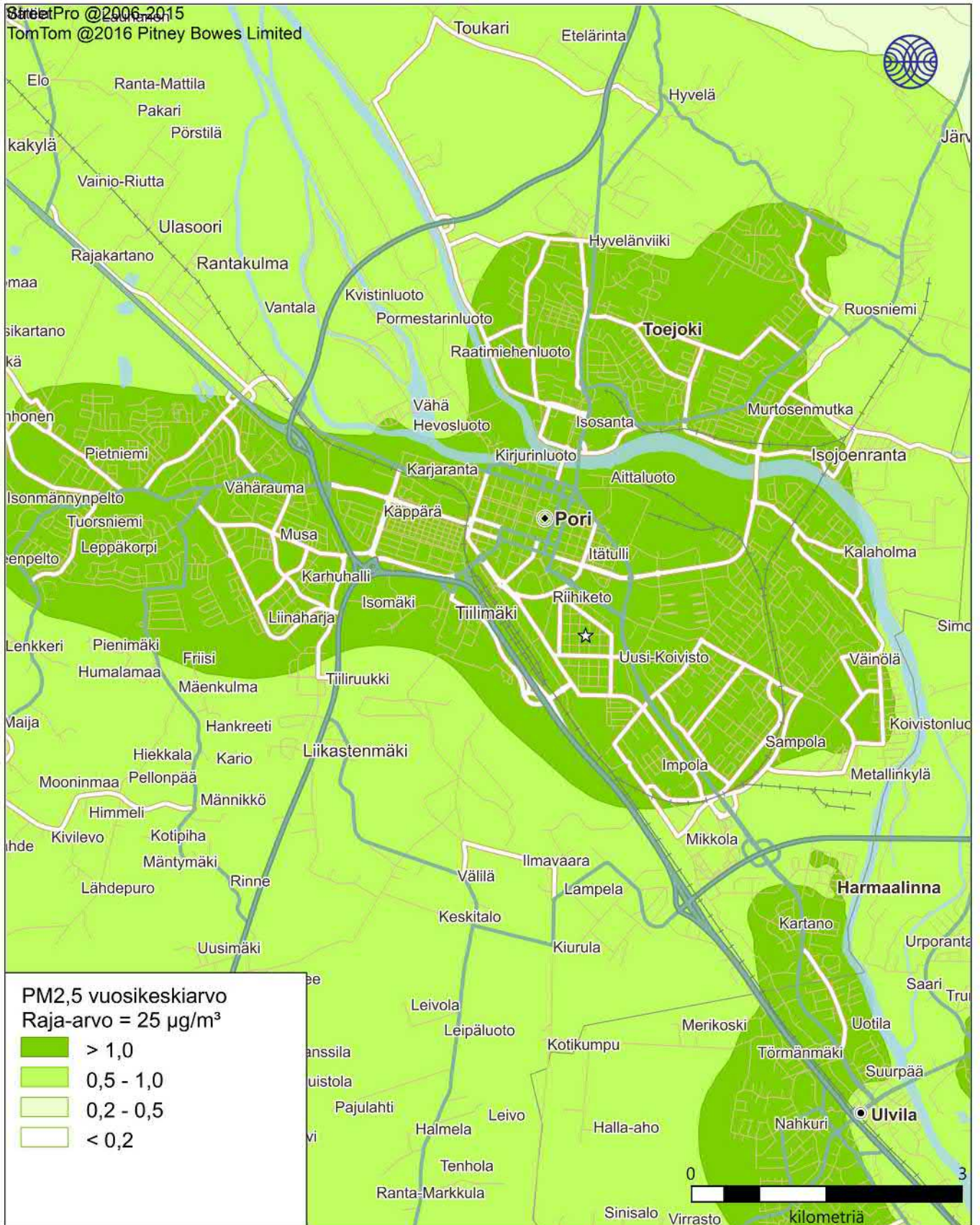
Kuva 27. Laivaliikenteen ja satamatoiminnan päästöjen aiheuttama pienhiukkasten vuosikeskiarvopitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).



Ilmatieteen laitos 2022

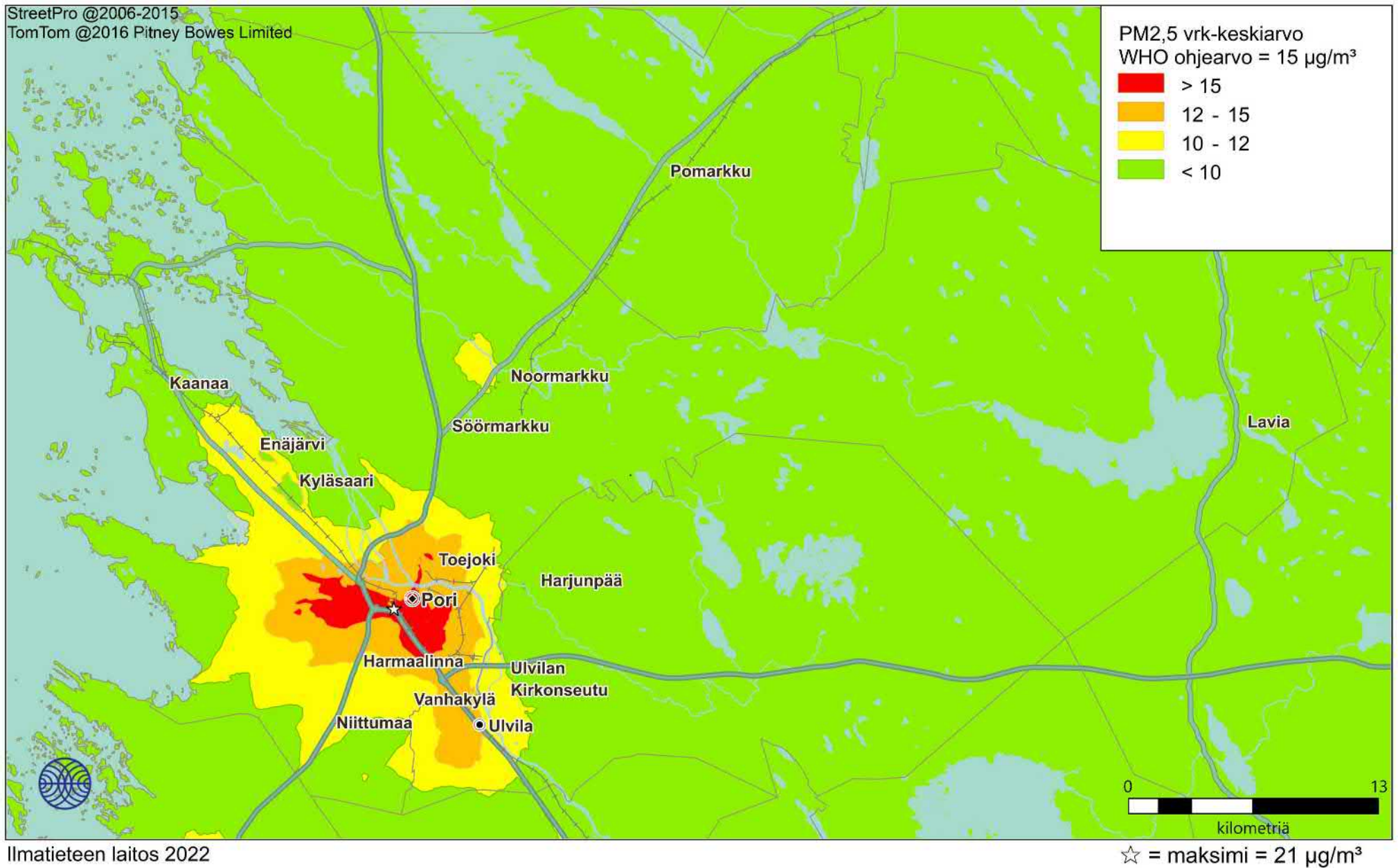
☆ = maksimi = 1,7 µg/m³

Kuva 28. Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttama pienhiukkasten vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³).

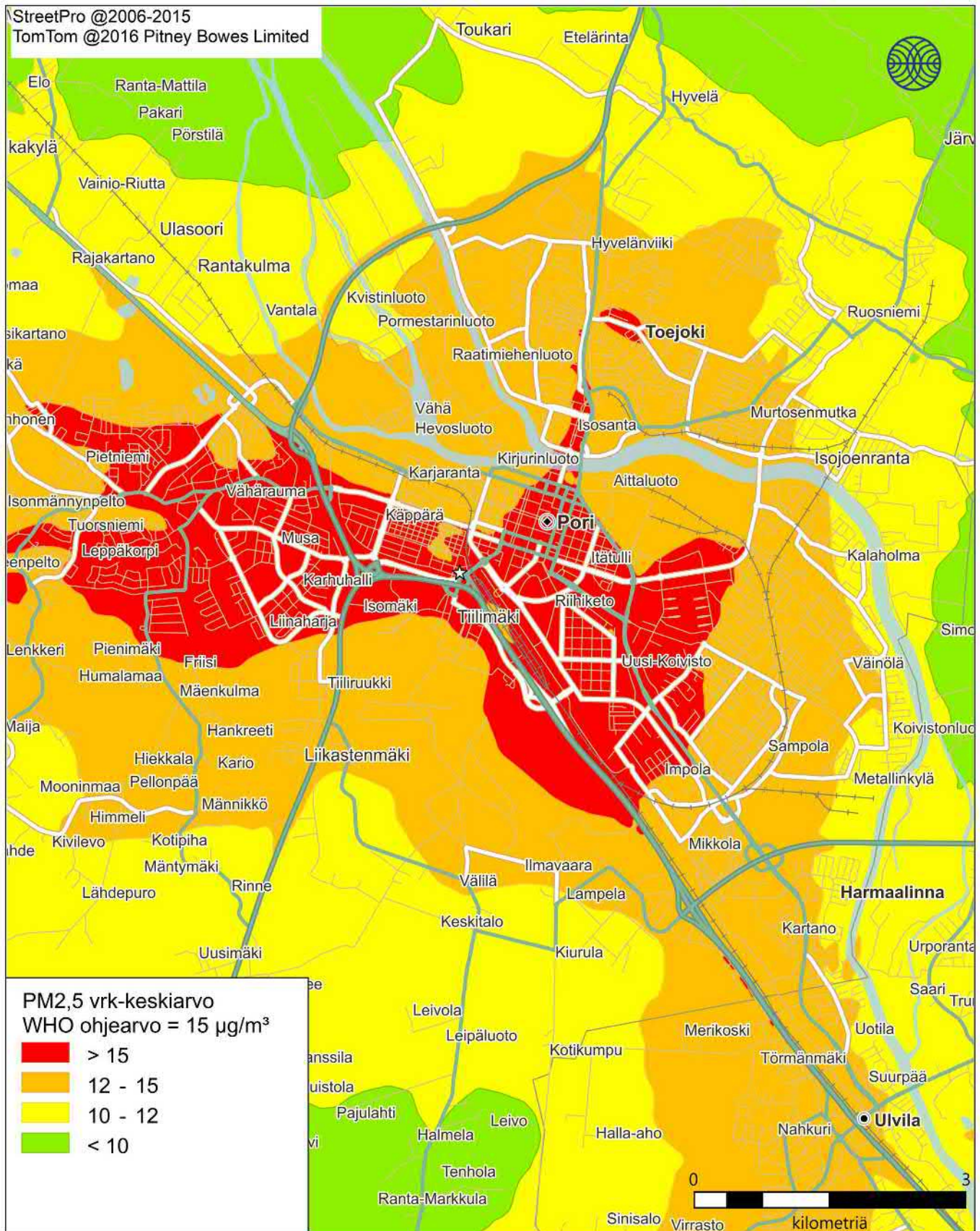


Ilmatieteen laitos 2022

Kuva 29. Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttama pienhiukkasten vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³).

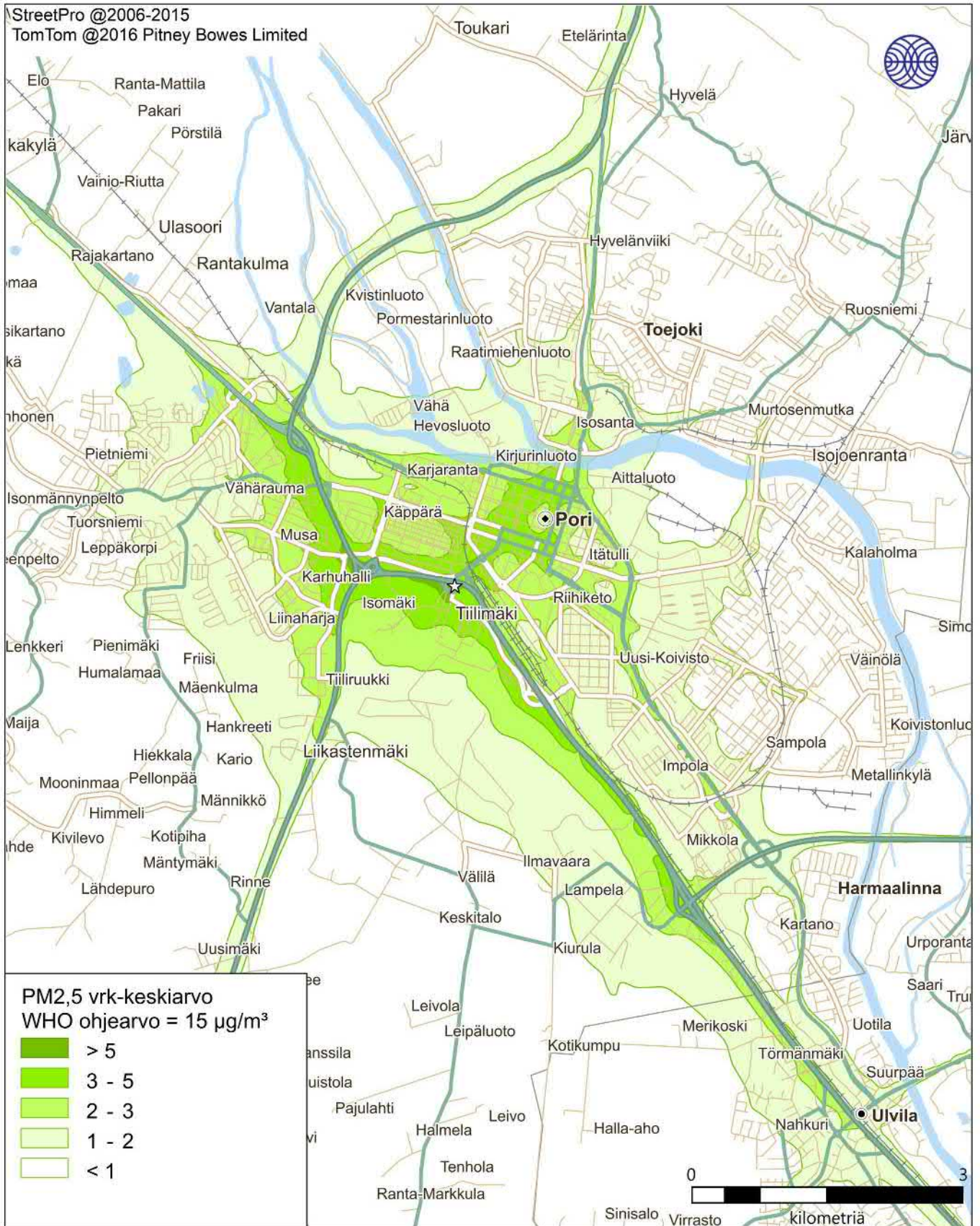


Kuva 30. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden aiheuttama pienhiukkasten WHO:n vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

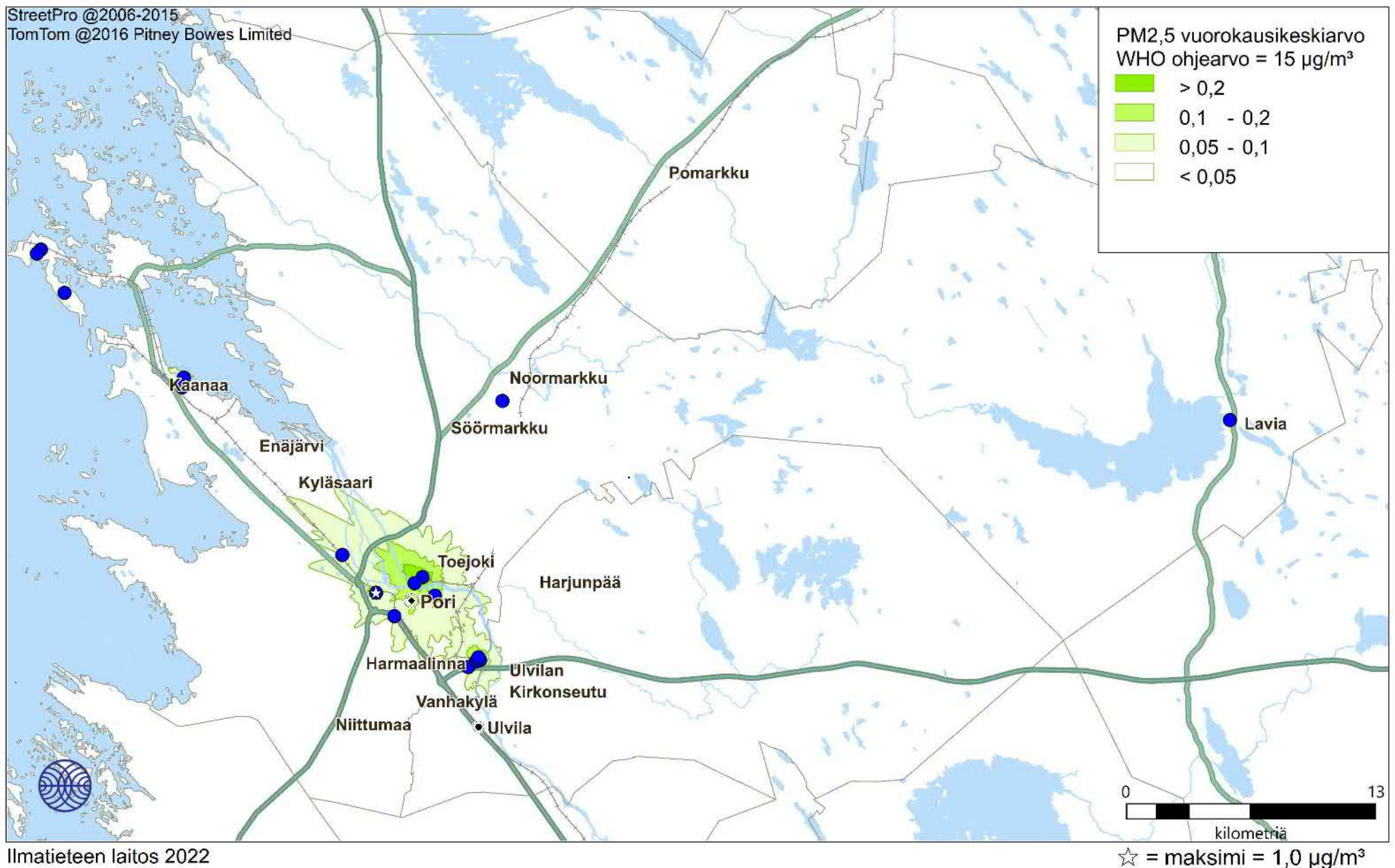


Ilmatieteen laitos 2022

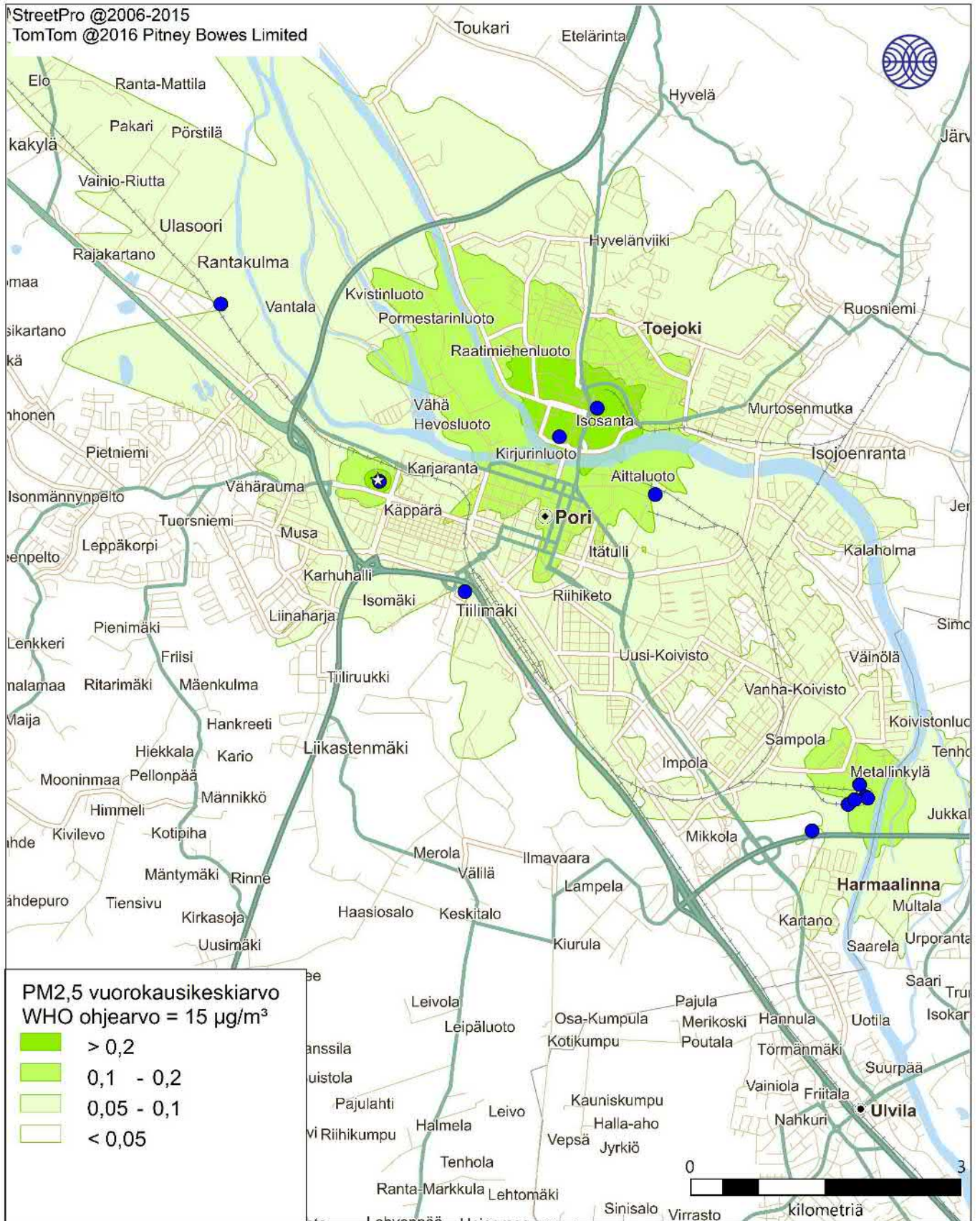
Kuva 31. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden aiheuttama pienhiukkasten WHO:n vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).



Kuva 32. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama pienhiukkasten WHO:n vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

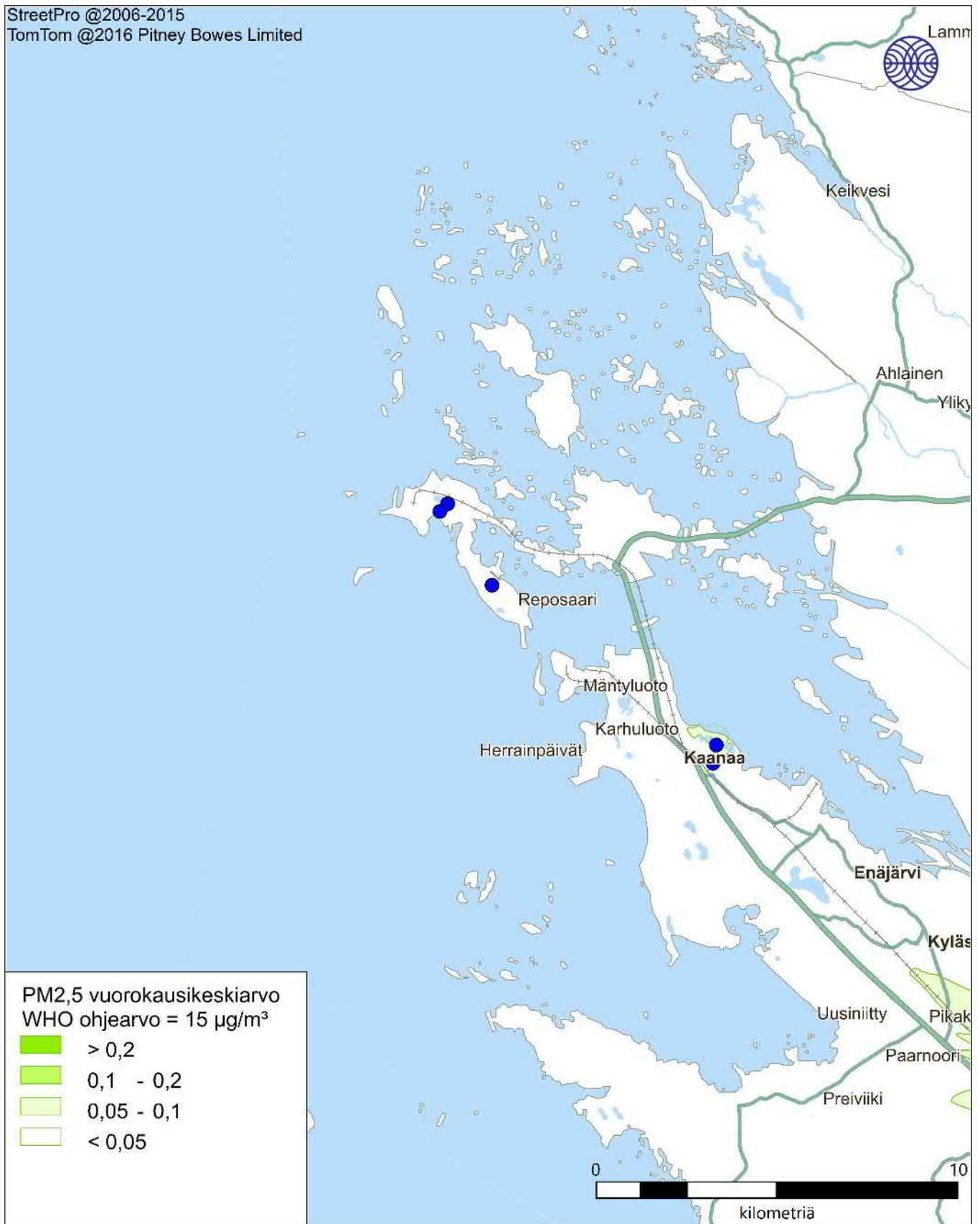


Kuva 33. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttama pienhiukkasten vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).



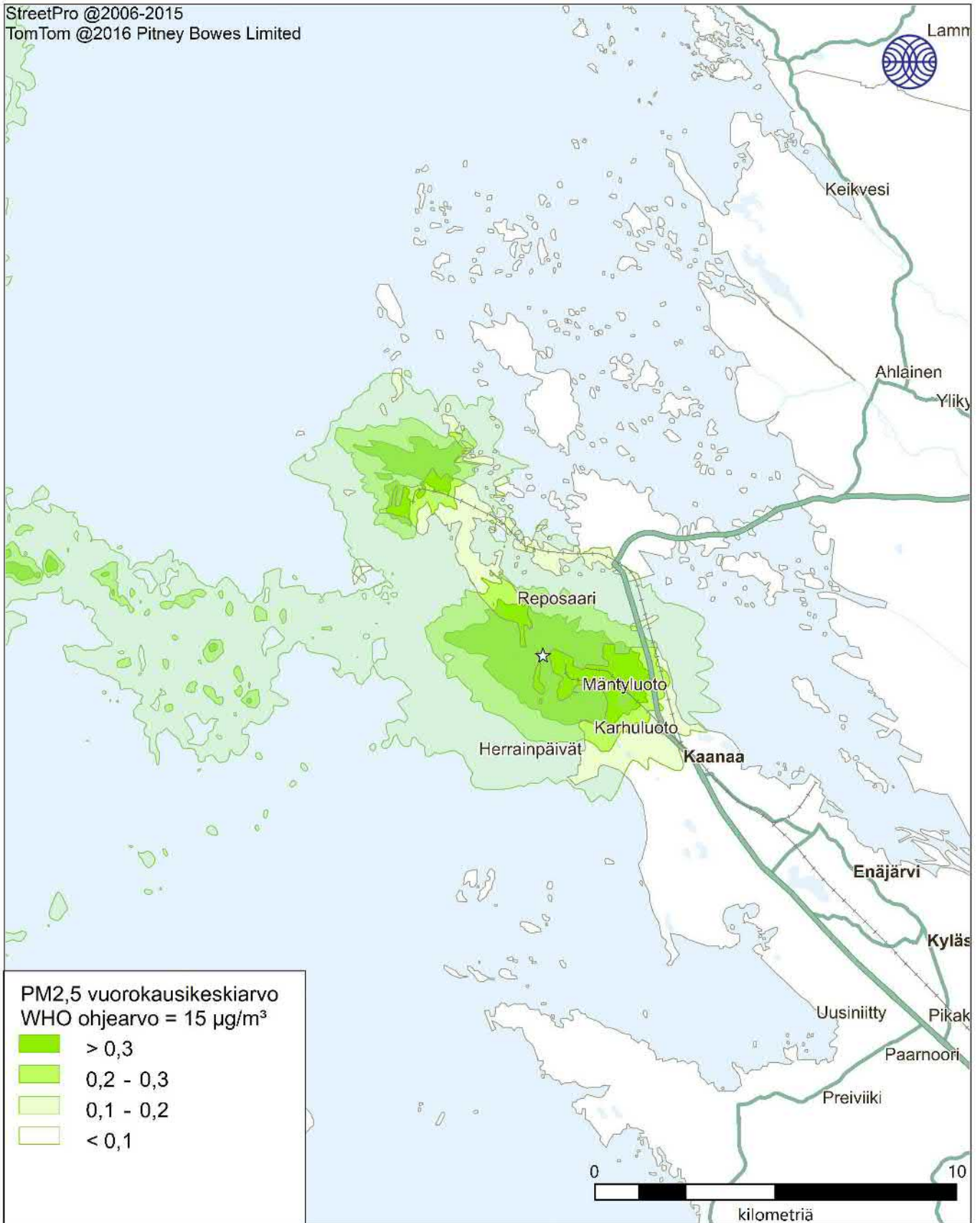
Ilmatieteen laitos 2022

Kuva 34. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttama pienhiukkasten vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).



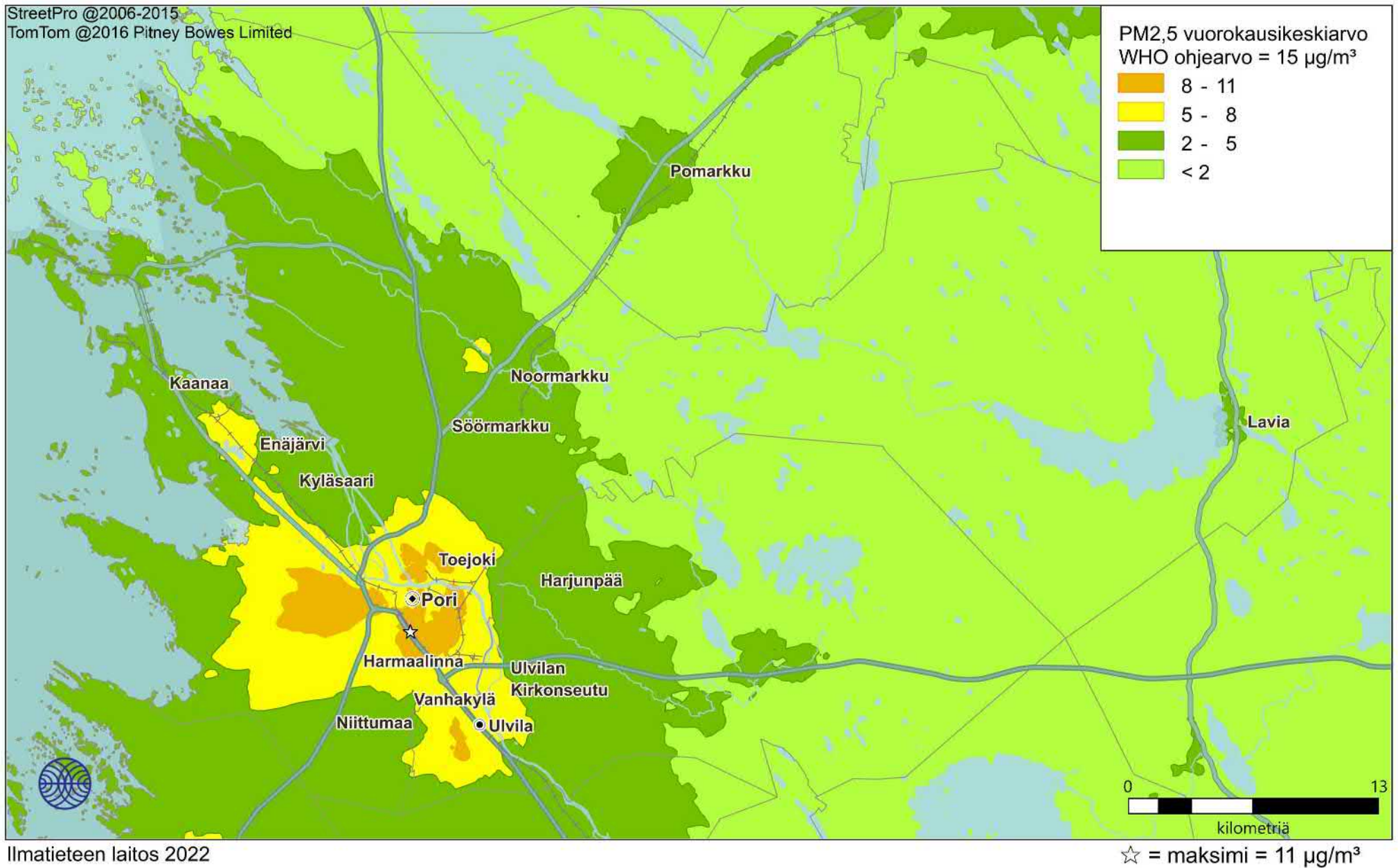
Ilmatieteen laitos 2022

Kuva 35. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttama pienhiukkasten vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

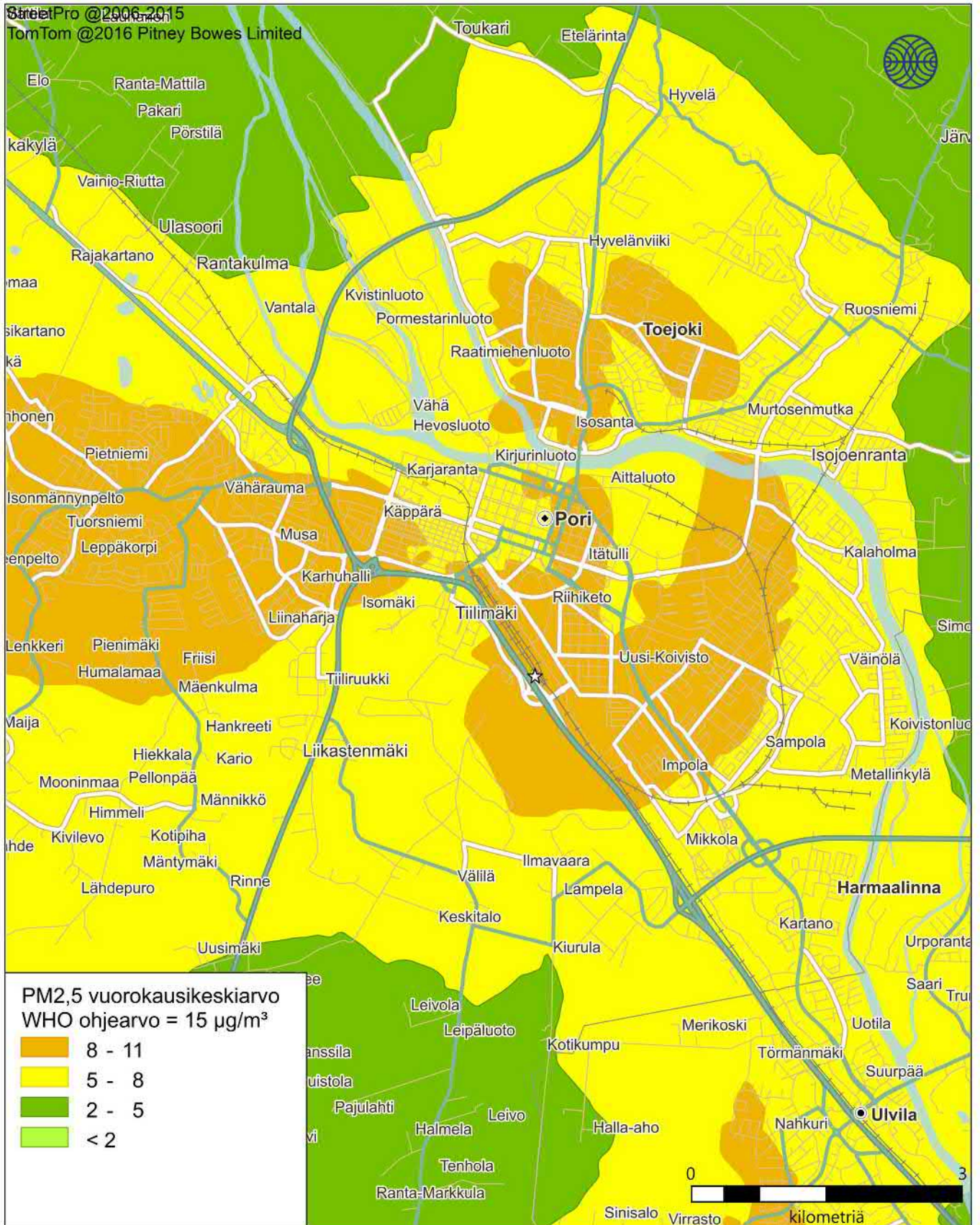


Ilmatieteen laitos 2022

Kuva 36. Laivaliikenteen ja satamatoiminnan päästöjen aiheuttama pienhiukkasten vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

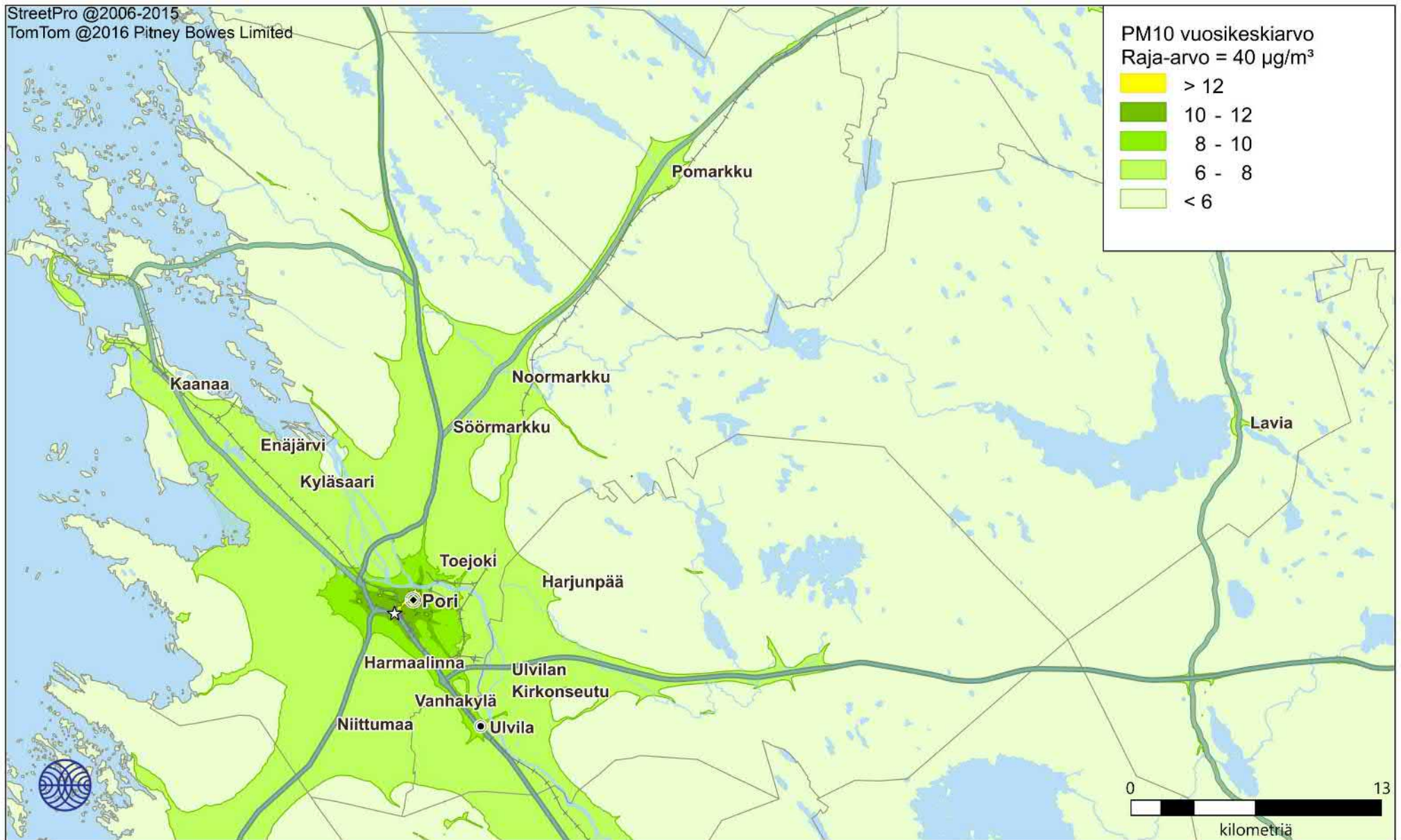


Kuva 37. Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttama pienhiukkasten WHO vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

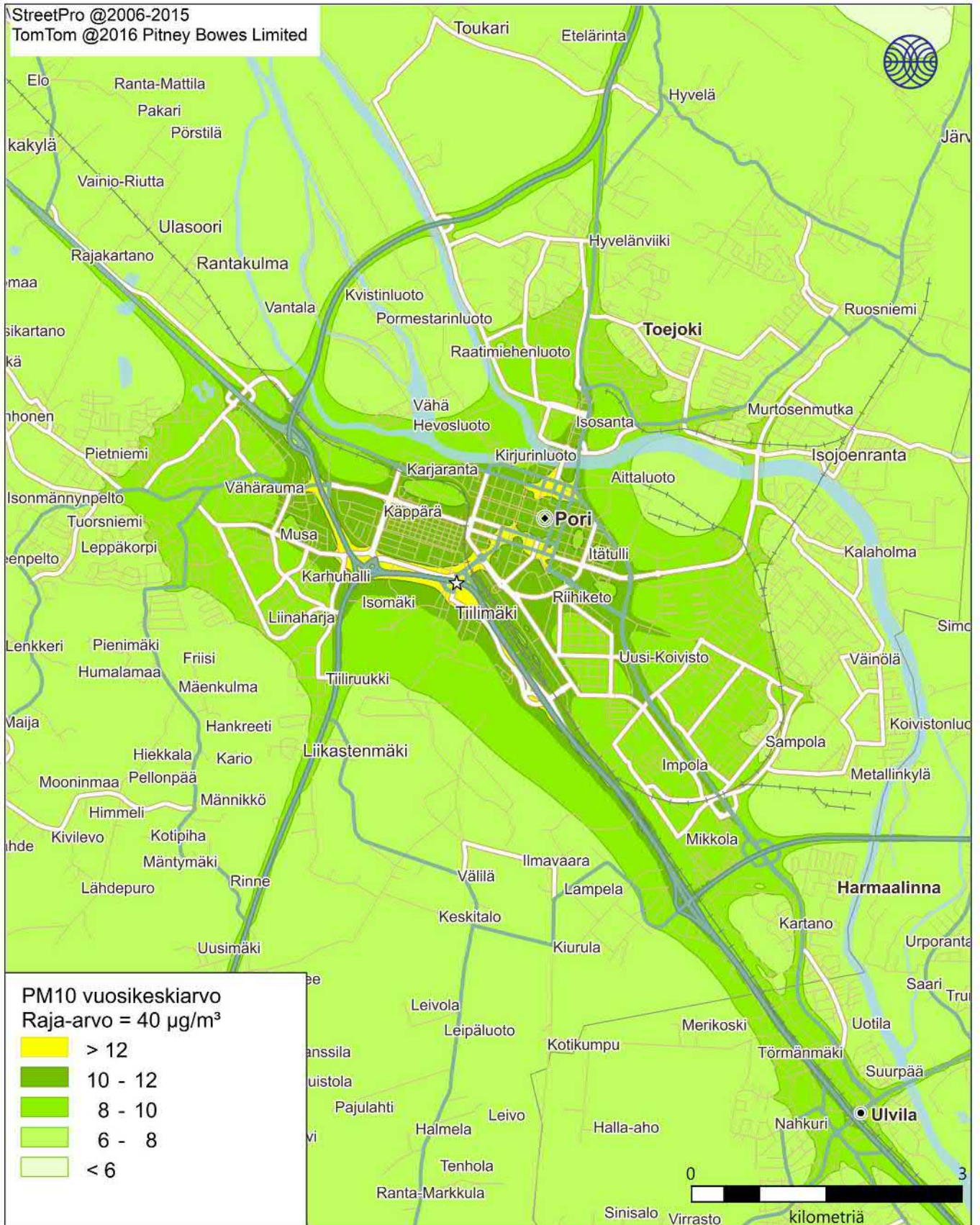


Ilmatieteen laitos 2022

Kuva 38. Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttama pienhiukkasten WHO vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

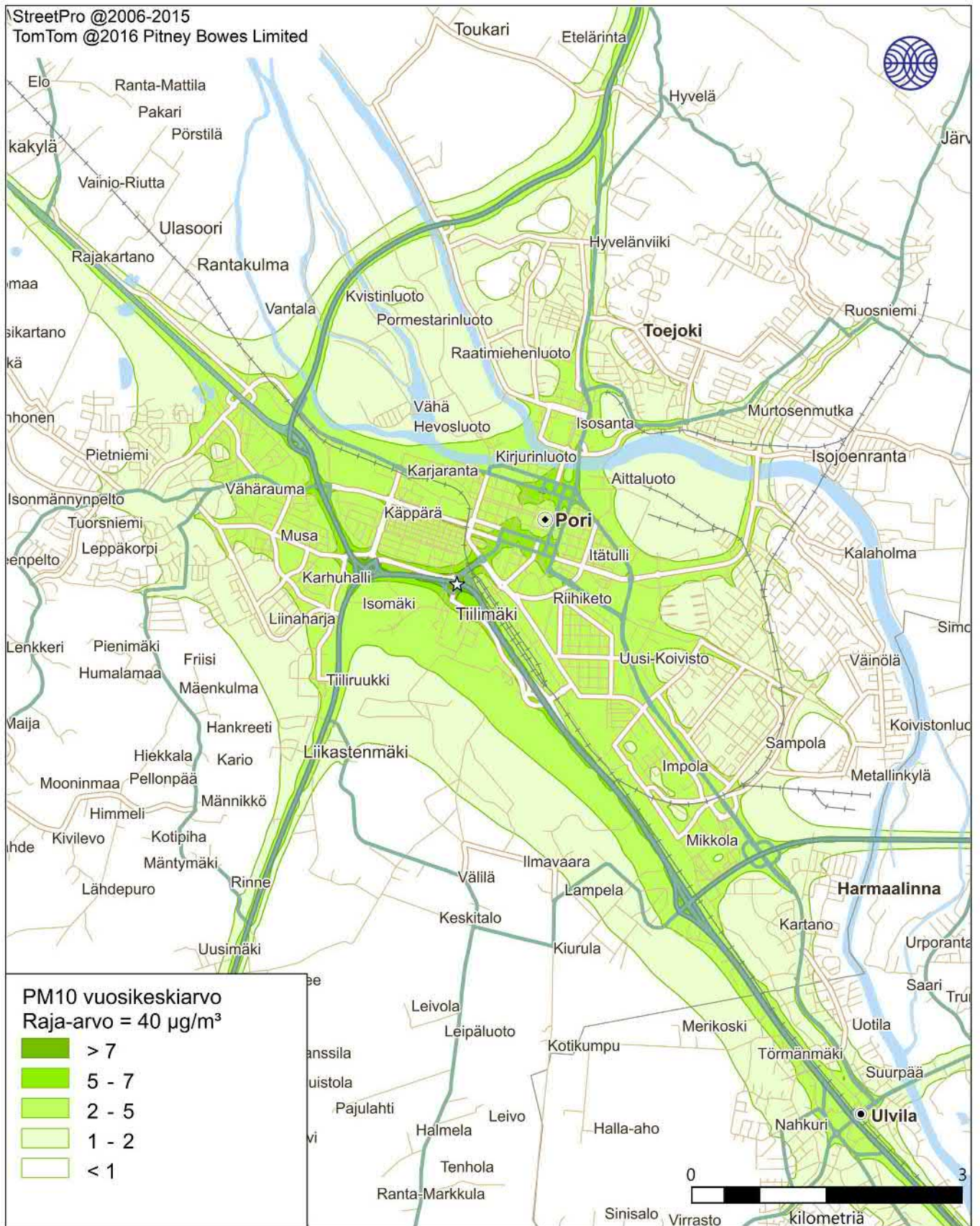


Kuva 39. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden aiheuttama hengitettävien hiukkasten vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³).

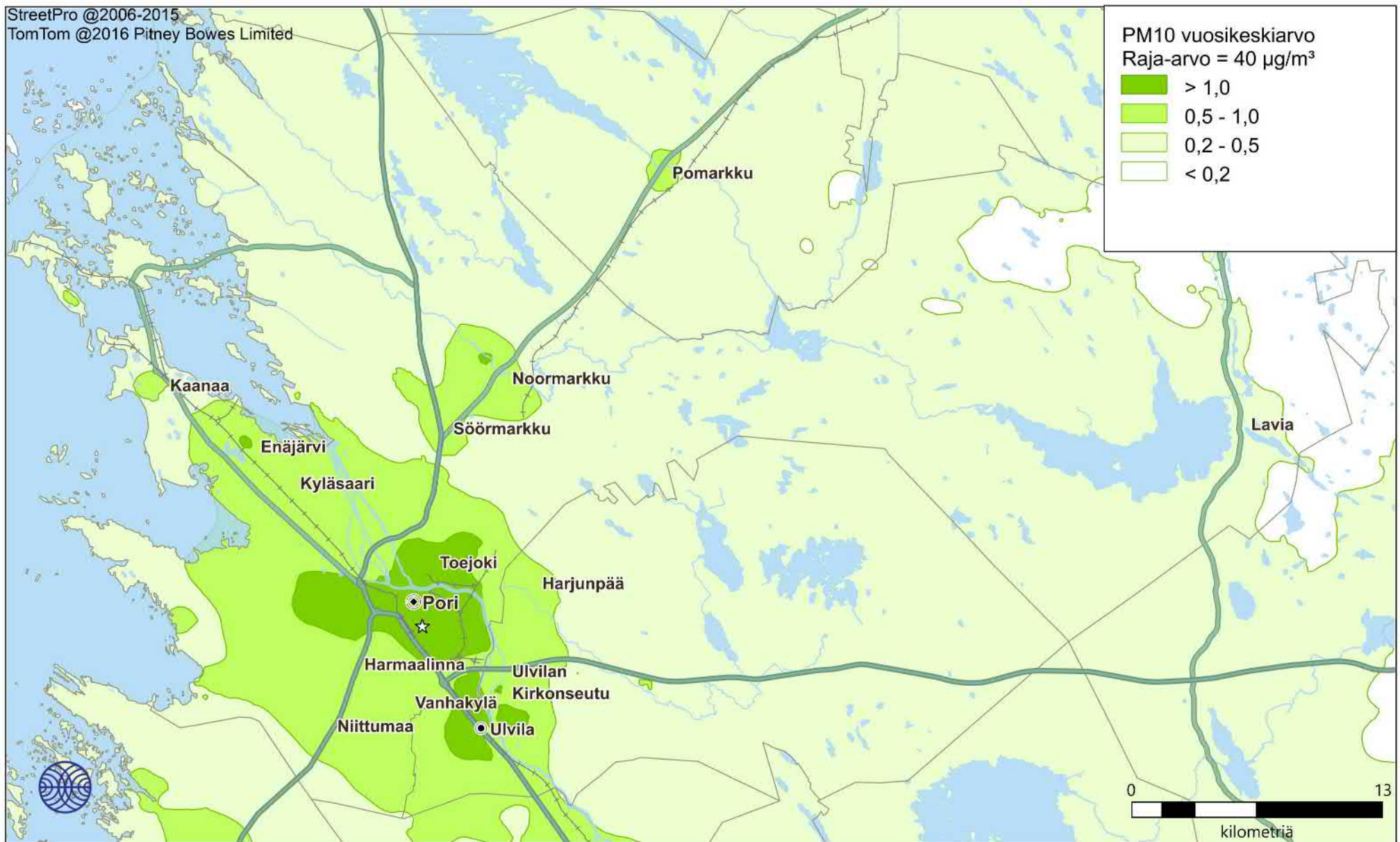


Ilmatieteen laitos 2022

Kuva 40. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden aiheuttama hengitettävien hiukkasten vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³).



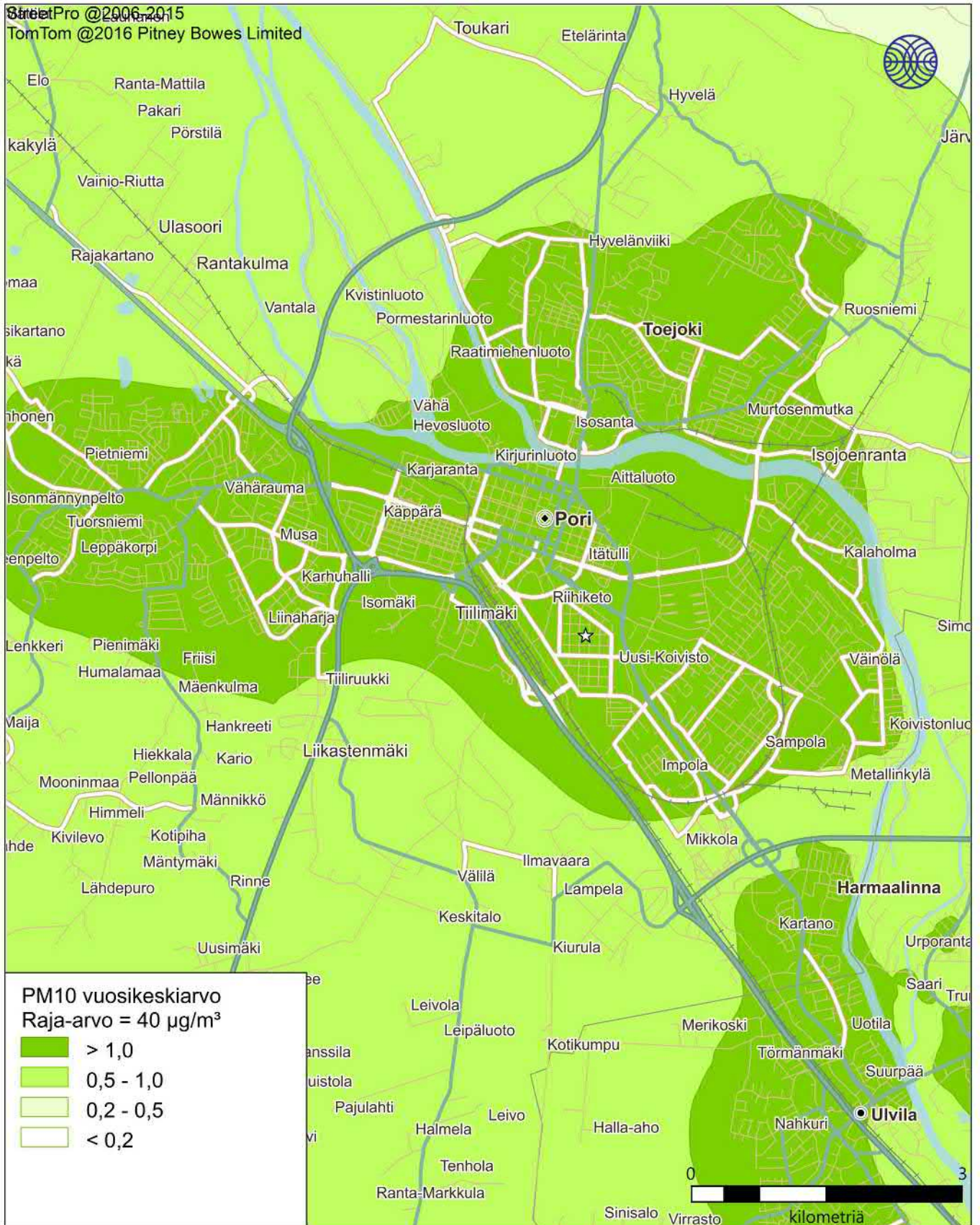
Kuva 41. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama hengitettävien hiukkasten vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³).



Ilmatieteen laitos 2022

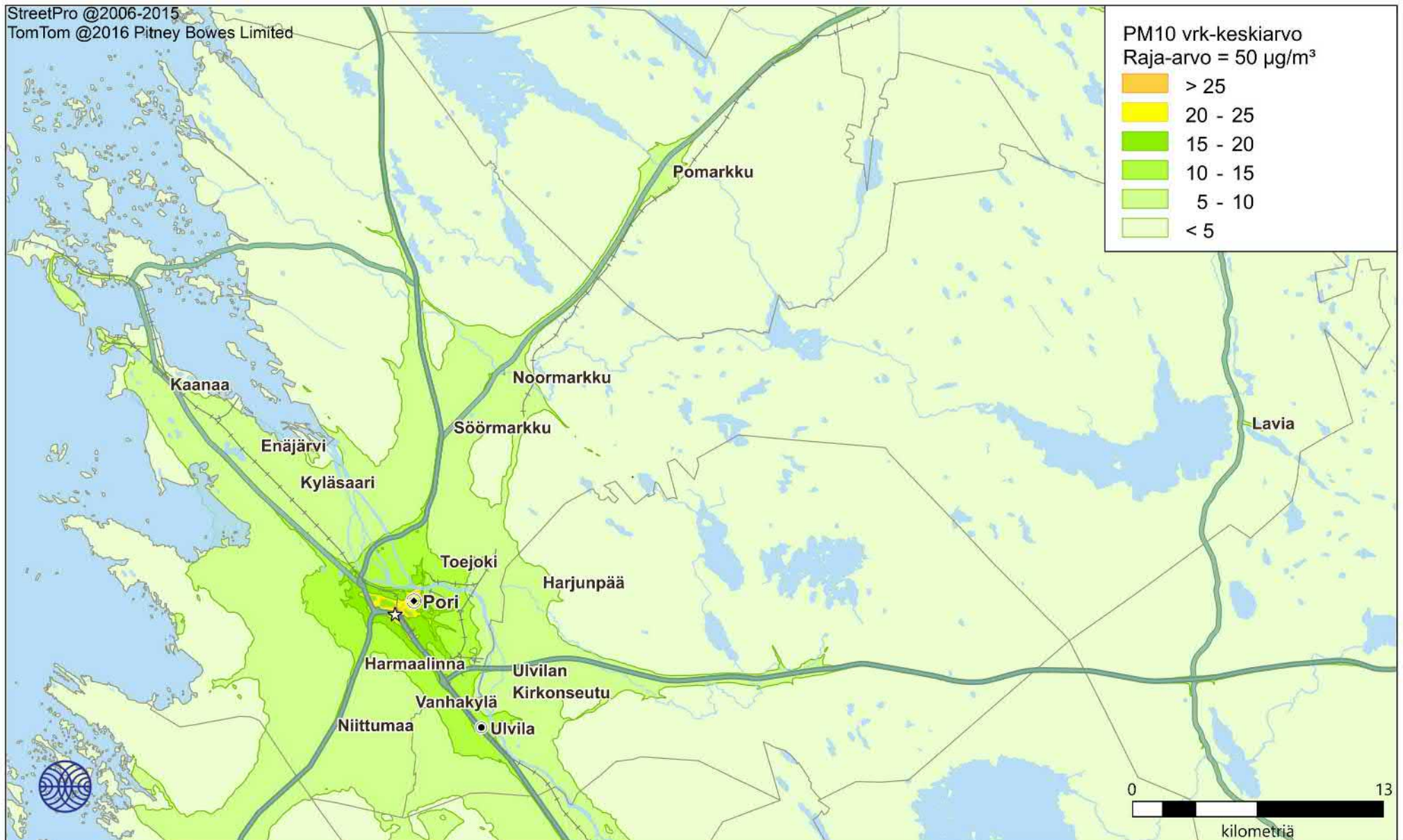
☆ = maksimi = 1,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Kuva 42. Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttama hengitettävien hiukkasten vuosikeskiarvopitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).



Ilmatieteen laitos 2022

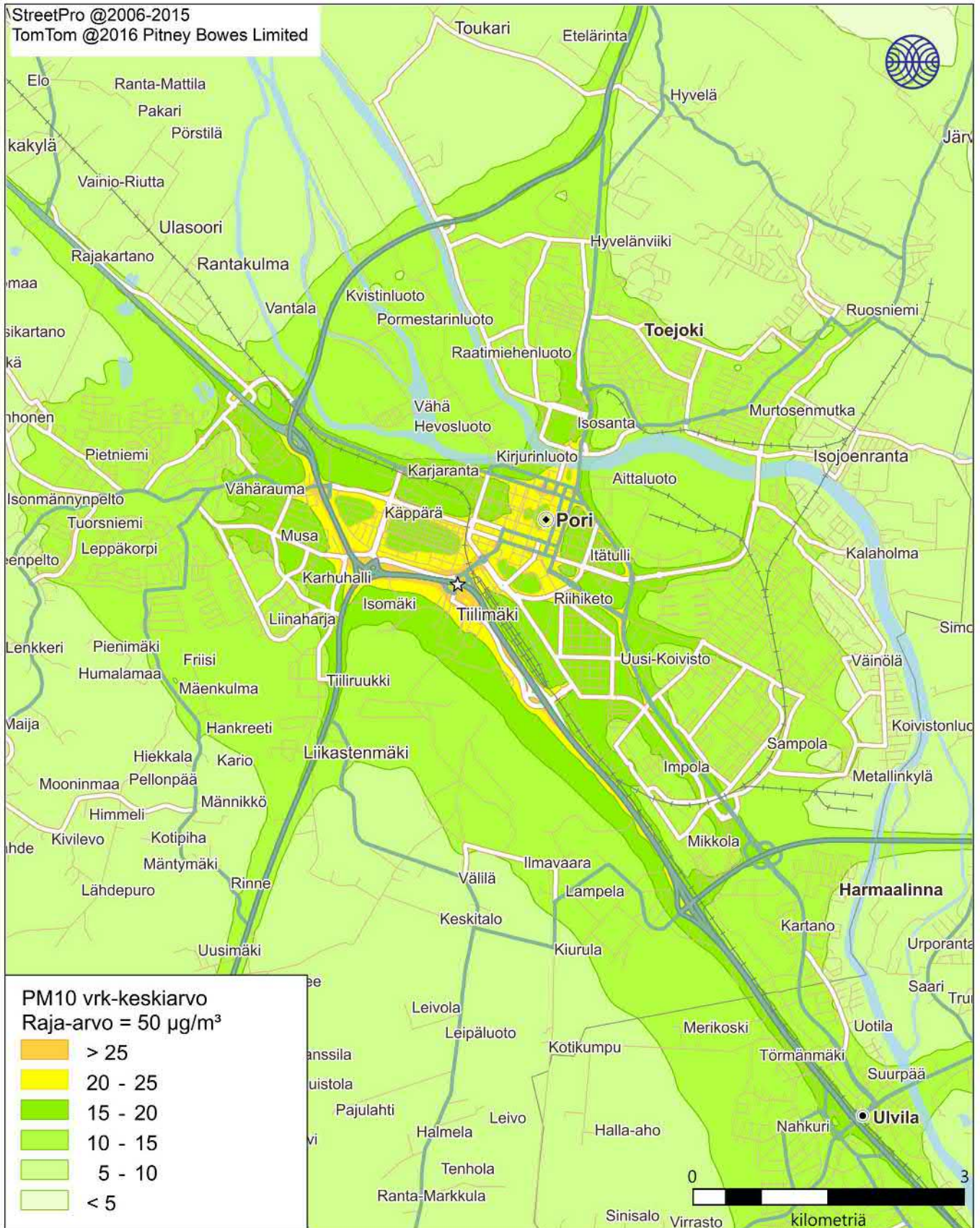
Kuva 43. Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttama hengitettävien hiukkasten vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³).



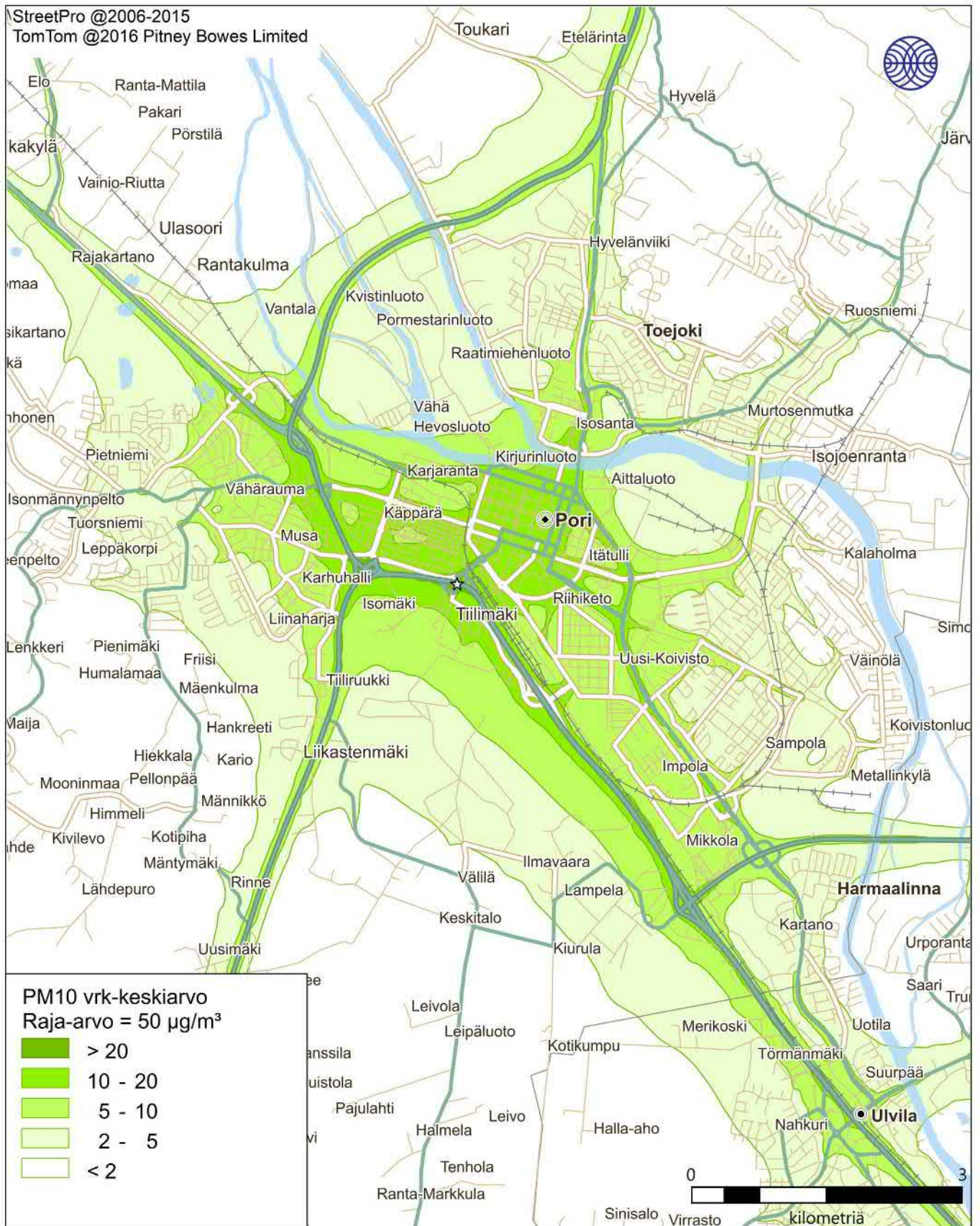
Ilmatieteen laitos 2022

☆ = maksimi = 48 µg/m³

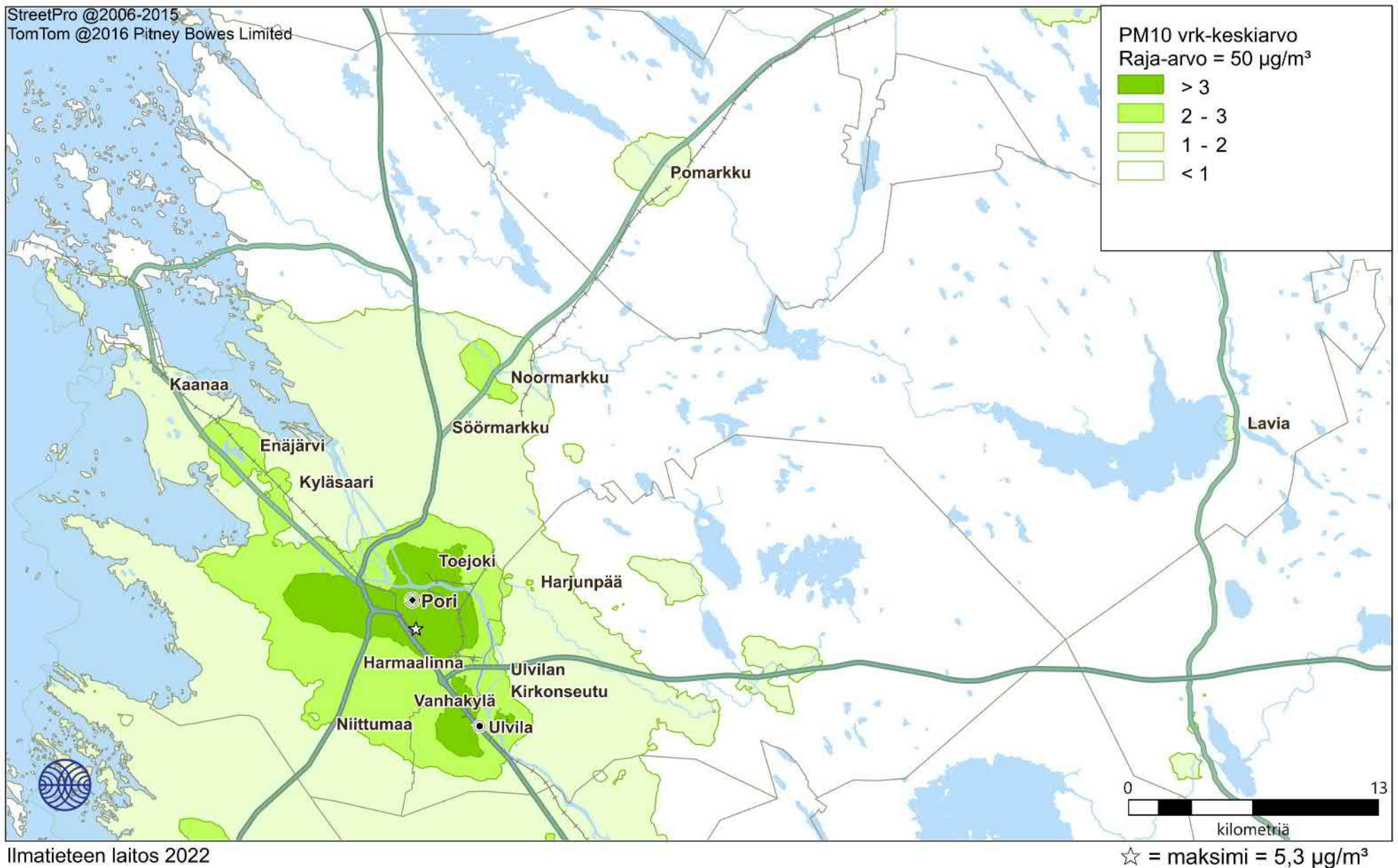
Kuva 44. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden aiheuttama hengitettävien hiukkasten vuorokausiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).



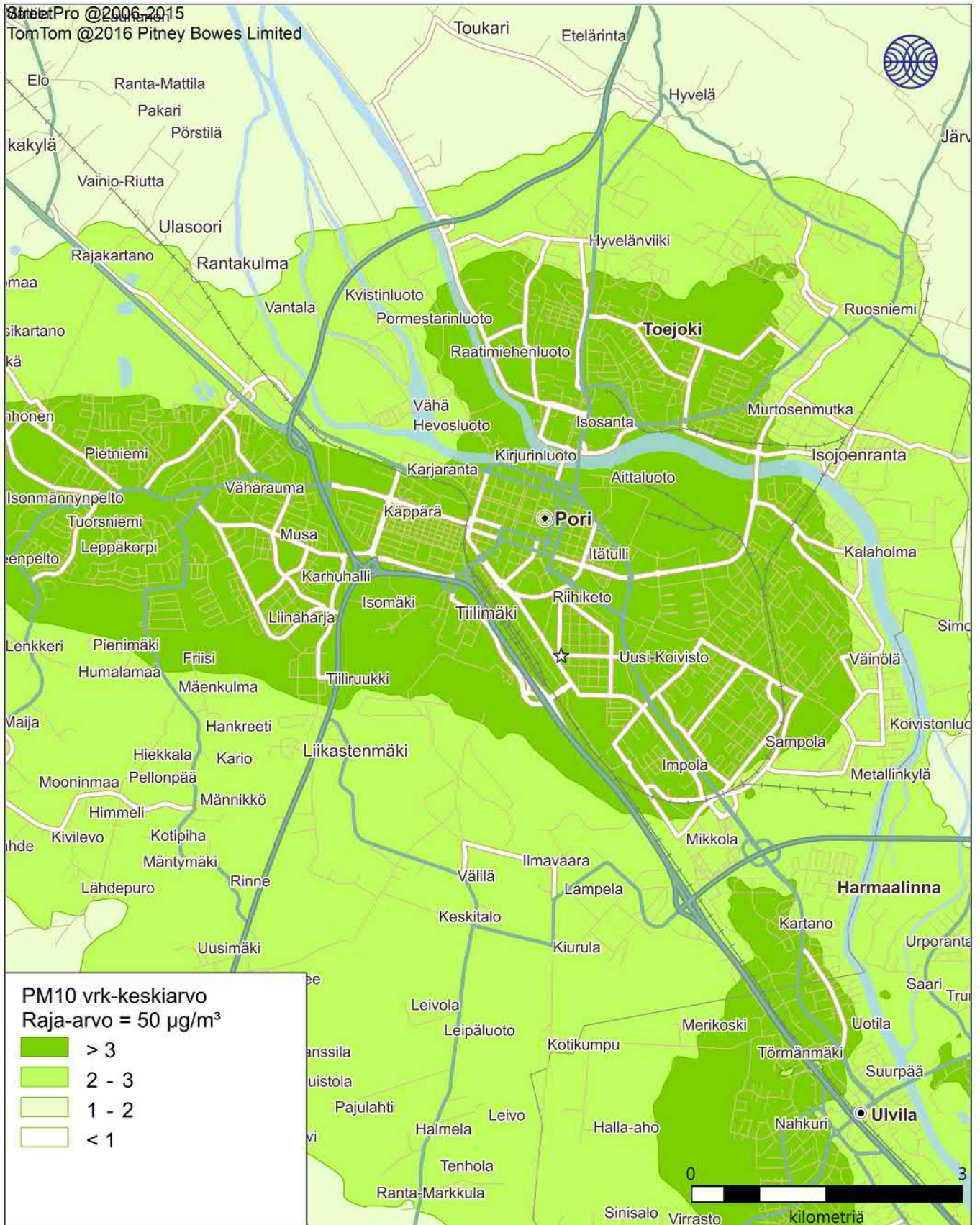
Kuva 45. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden aiheuttama hengitettävien hiukkasten vuorokausiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).



Kuva 46. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama hengitettävien hiukkasten vuorokausiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

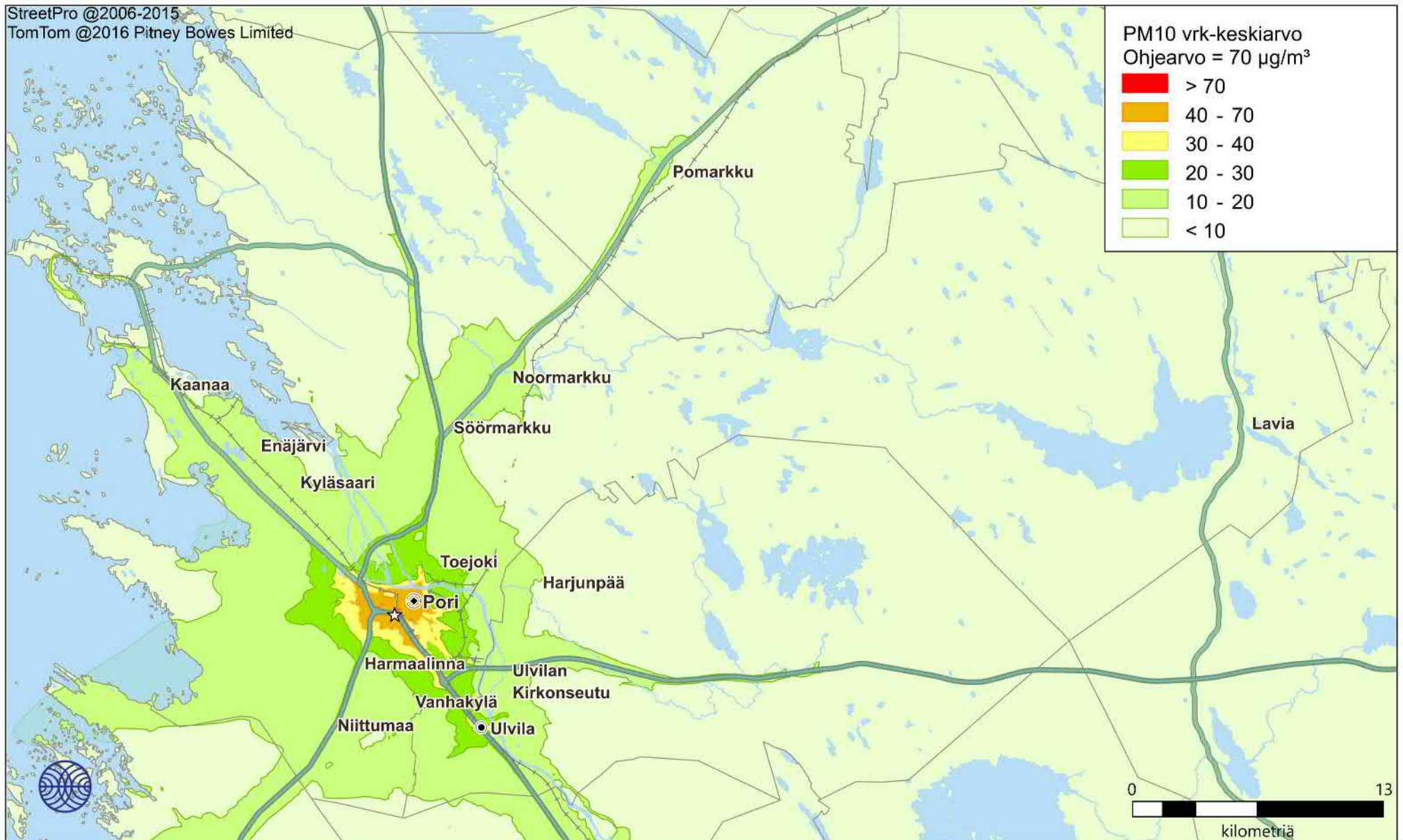


Kuva 47. Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttama hengitettävien hiukkasten vuorokausiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).



Ilmatieteen laitos 2022

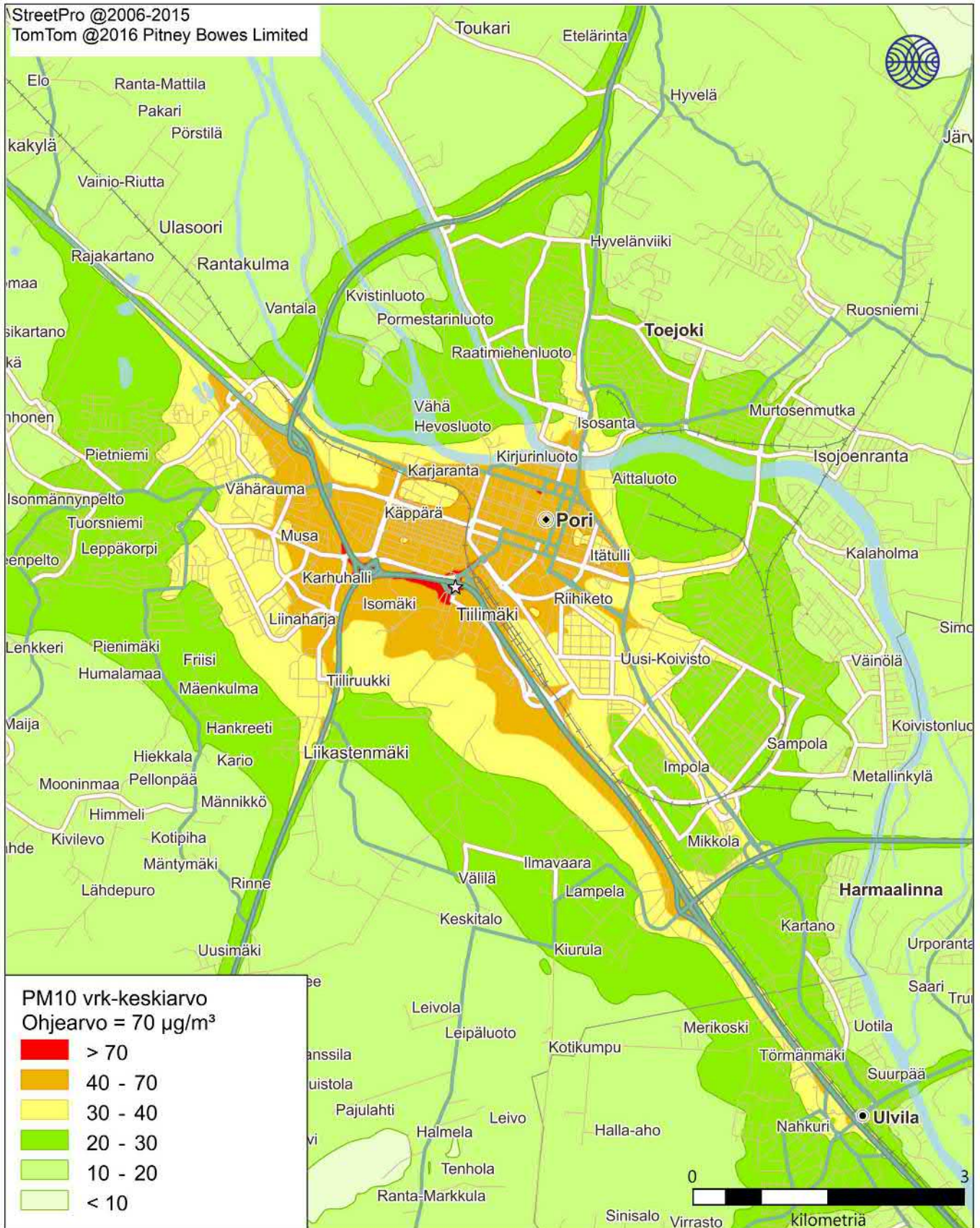
Kuva 48. Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttama hengitettävien hiukkasten vuorokausiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).



Ilmatieteen laitos 2022

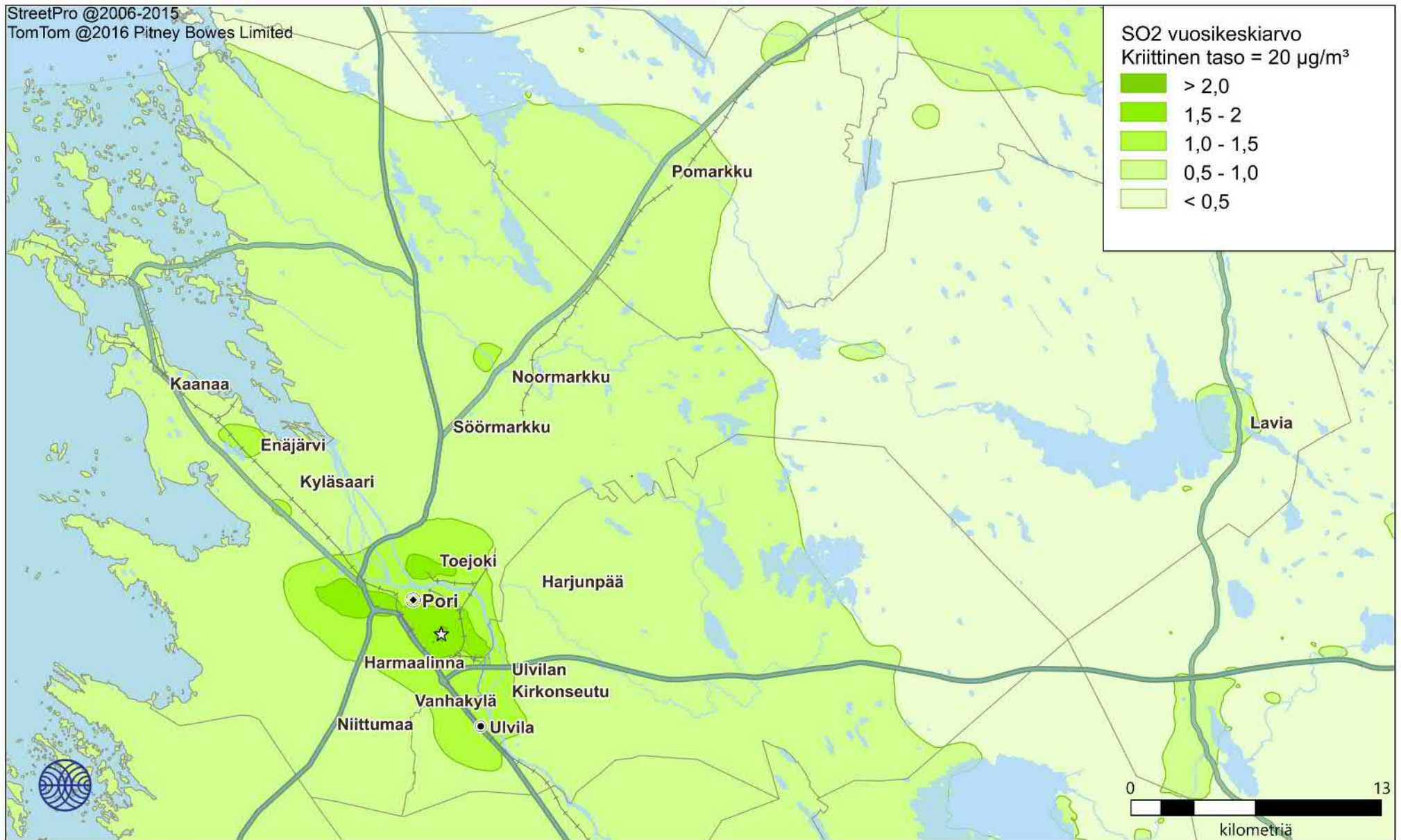
☆ = maksimi = 104 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Kuva 49. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden aiheuttama hengitettävien hiukkasten vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).



Ilmatieteen laitos 2022

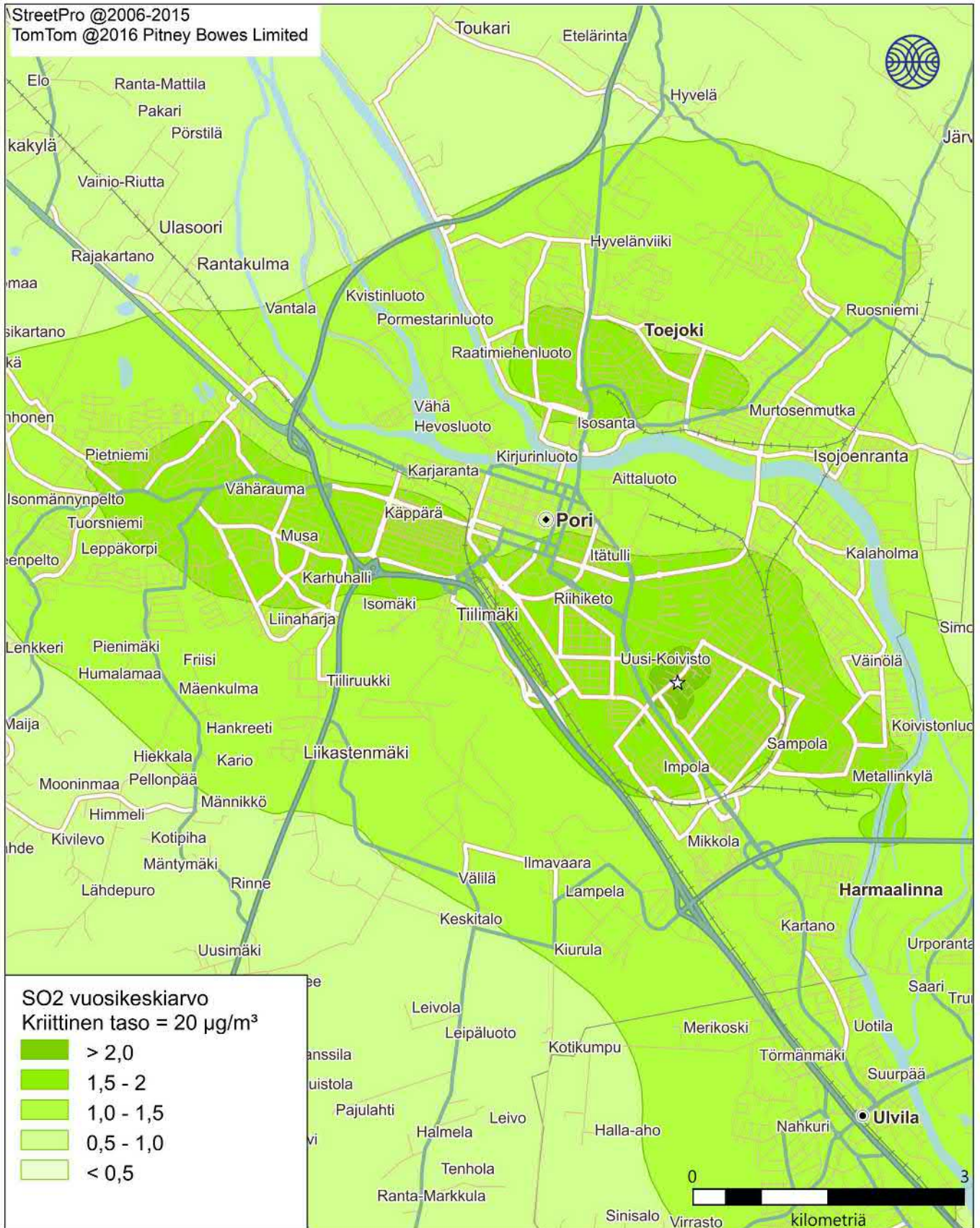
Kuva 50. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden aiheuttama hengitettävien hiukkasten vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).



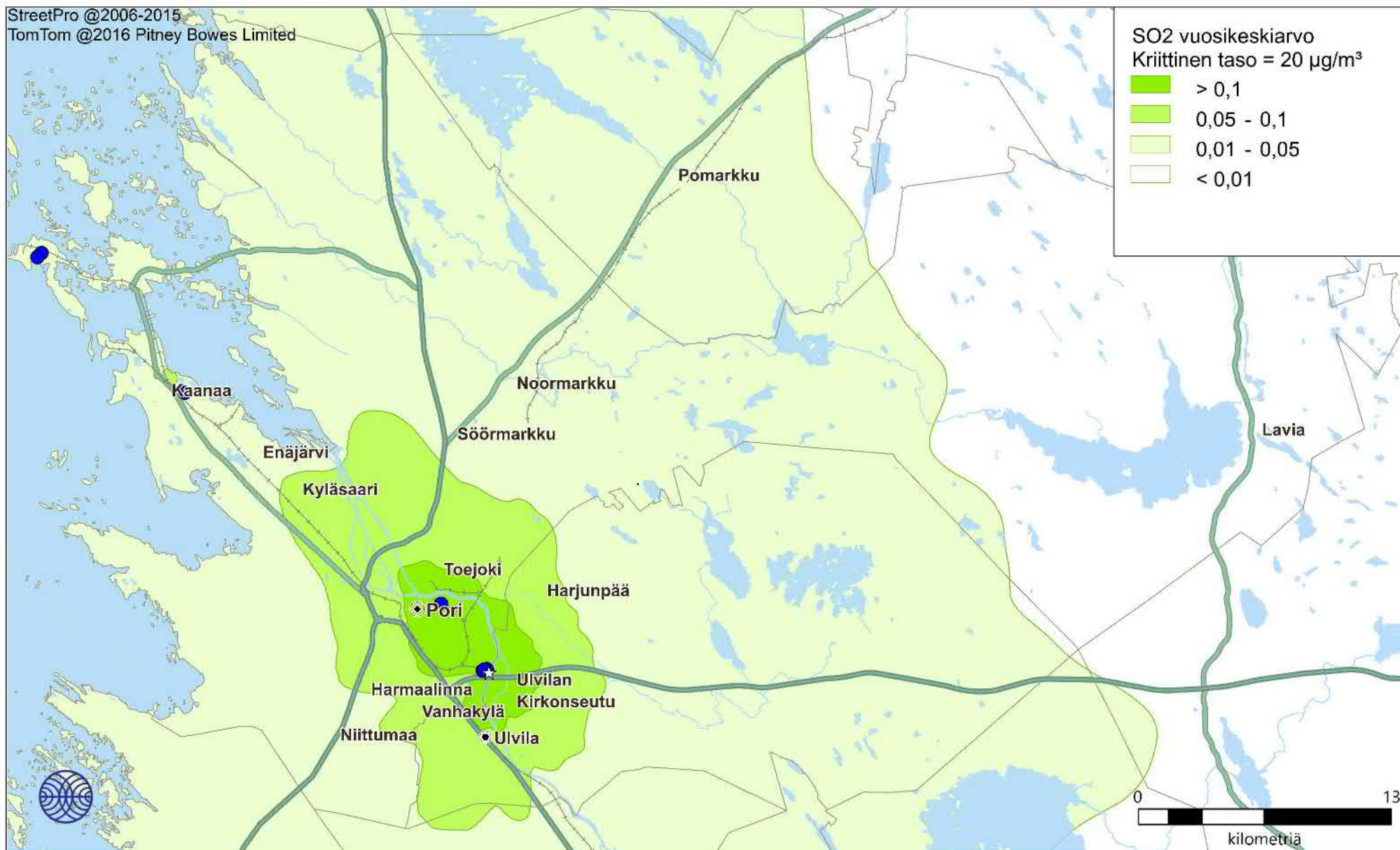
Ilmatieteen laitos 2022

☆ = maksimi = 2,1 µg/m³

Kuva 51. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden aiheuttama rikkidioksidin vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³).



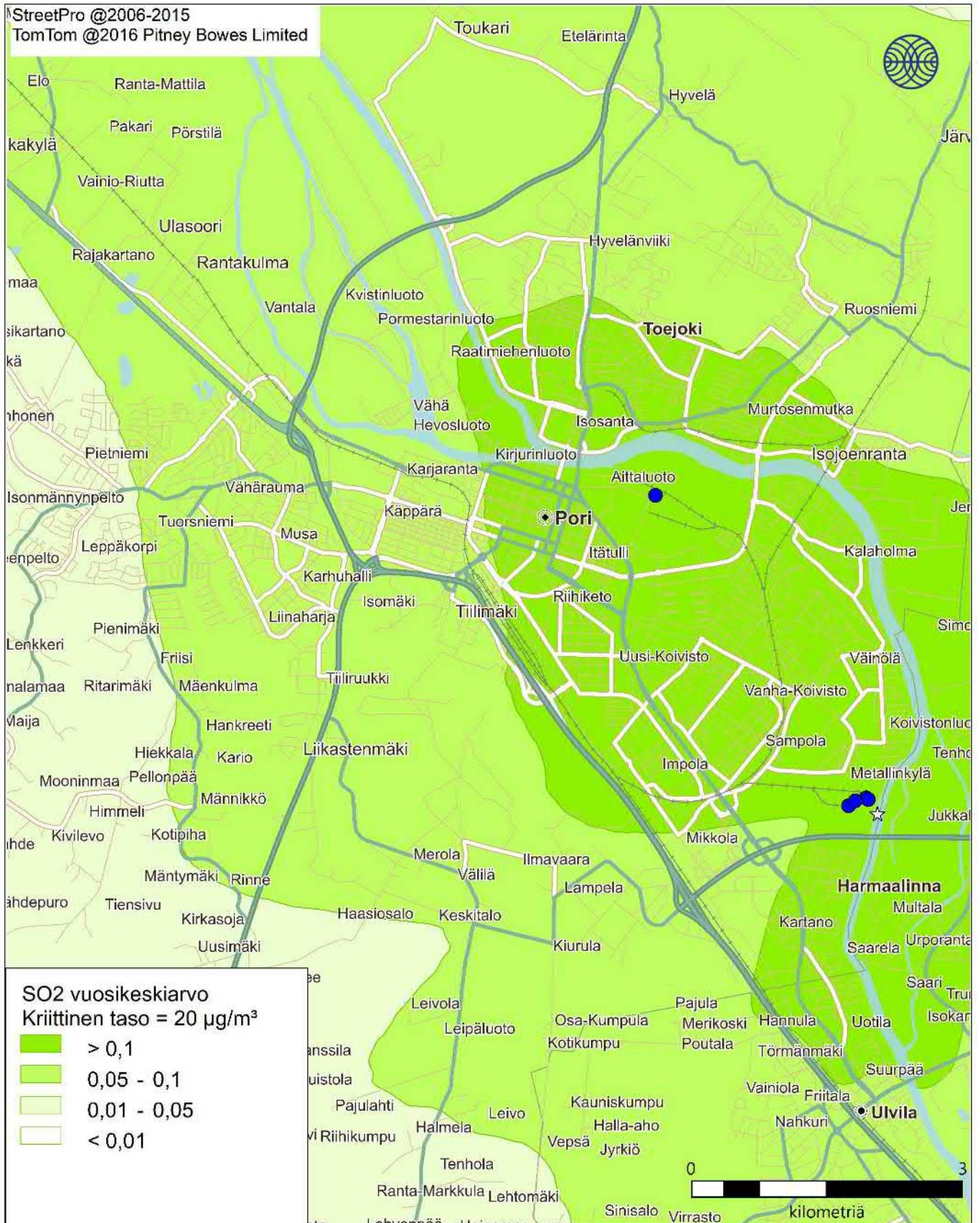
Kuva 52. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden aiheuttama rikkidioksidin vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³).



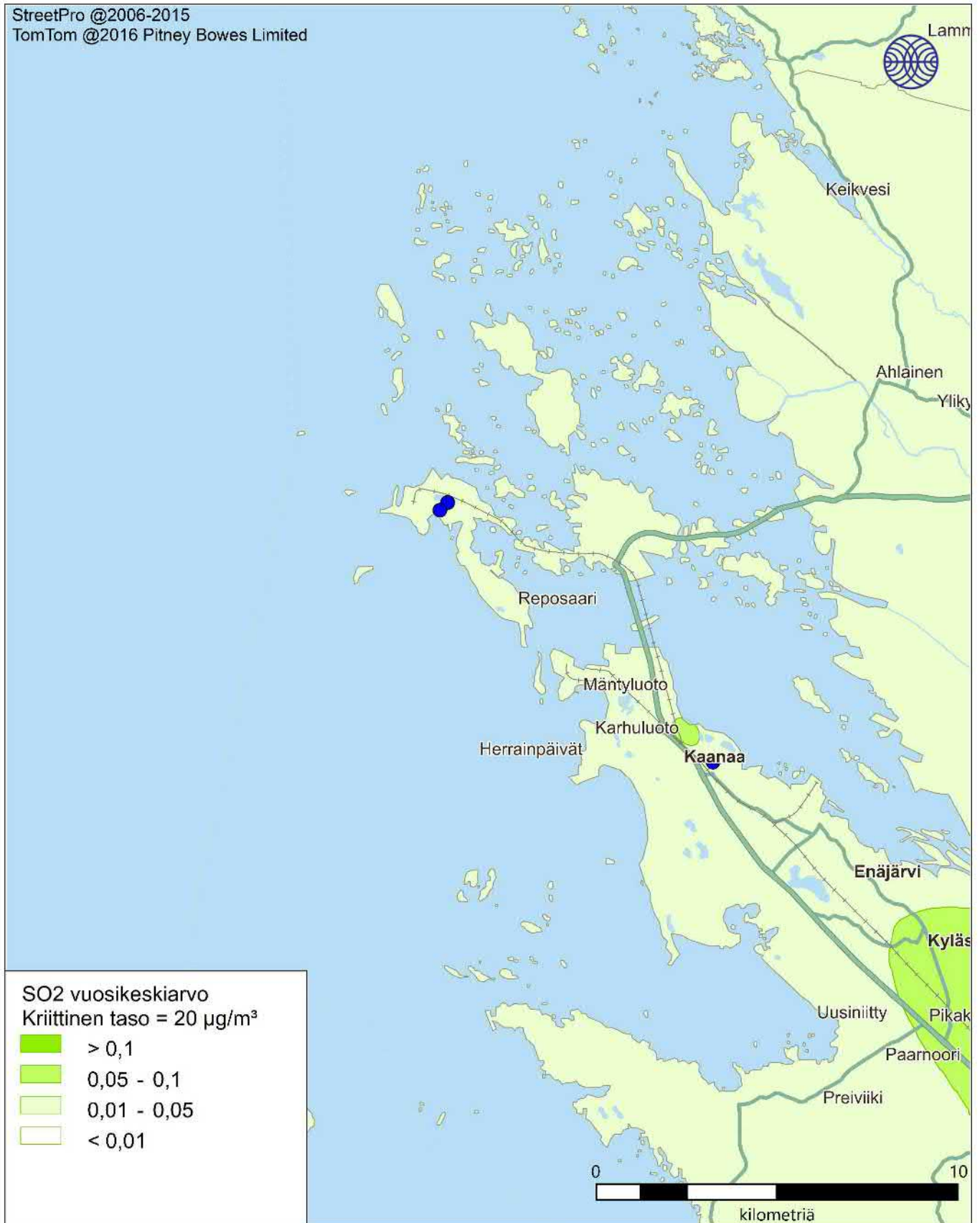
Ilmatieteen laitos 2022

☆ = maksimi = 1,2 µg/m³

Kuva 53. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttama rikkidioksidin vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³).

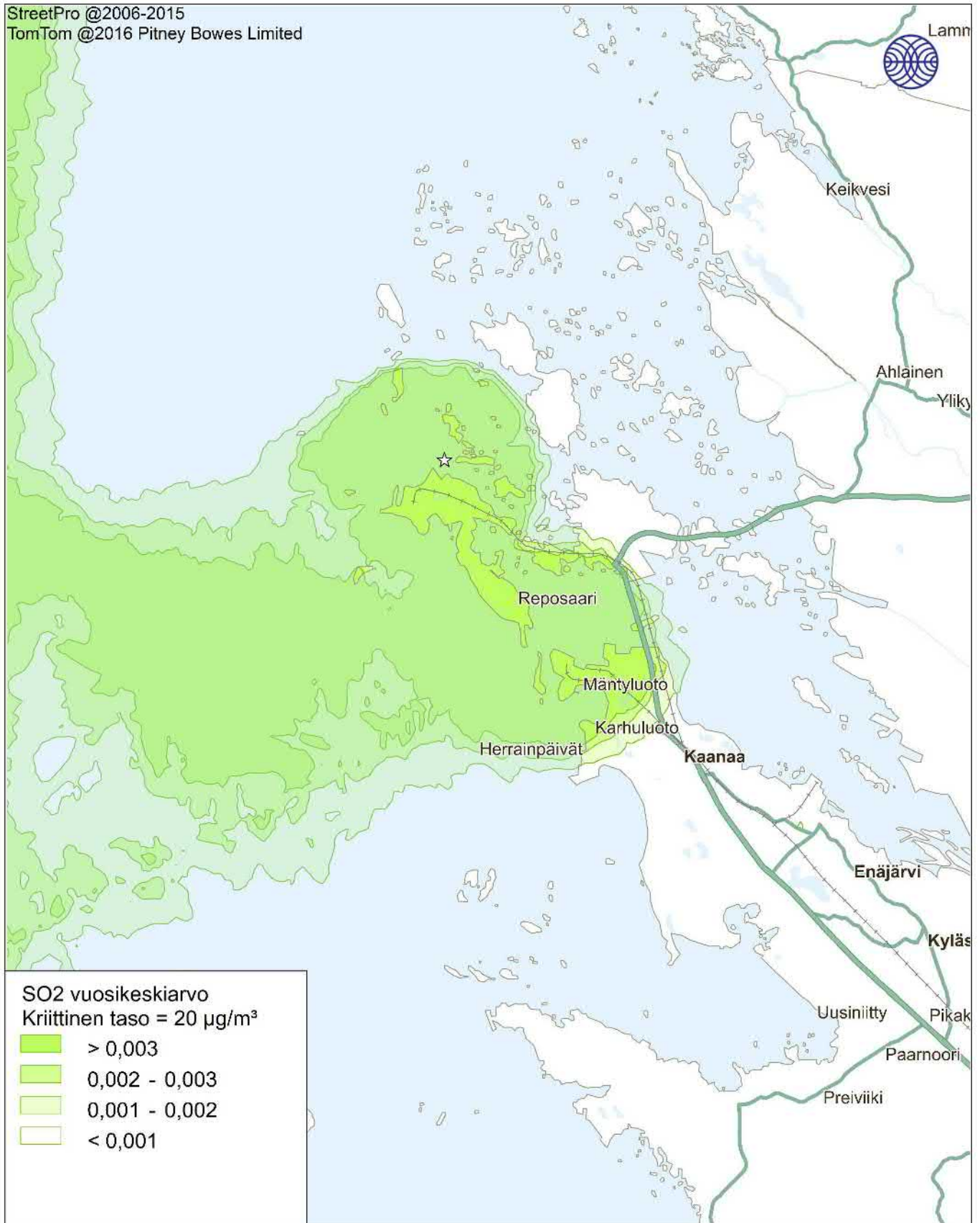


Kuva 54. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttama rikkidioksidin vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³).



Ilmatieteen laitos 2022

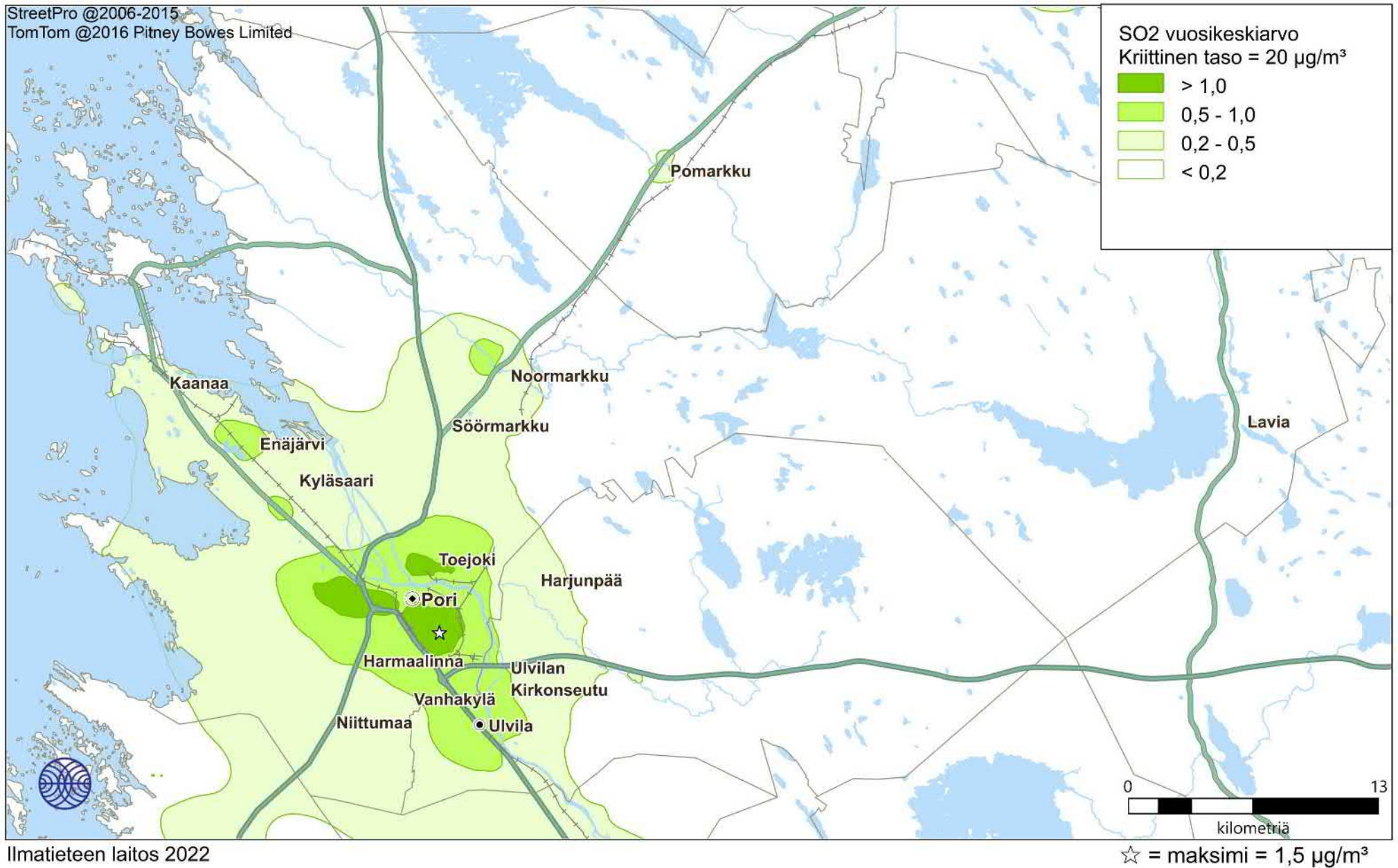
Kuva 55. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttama rikkidioksidin vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³).



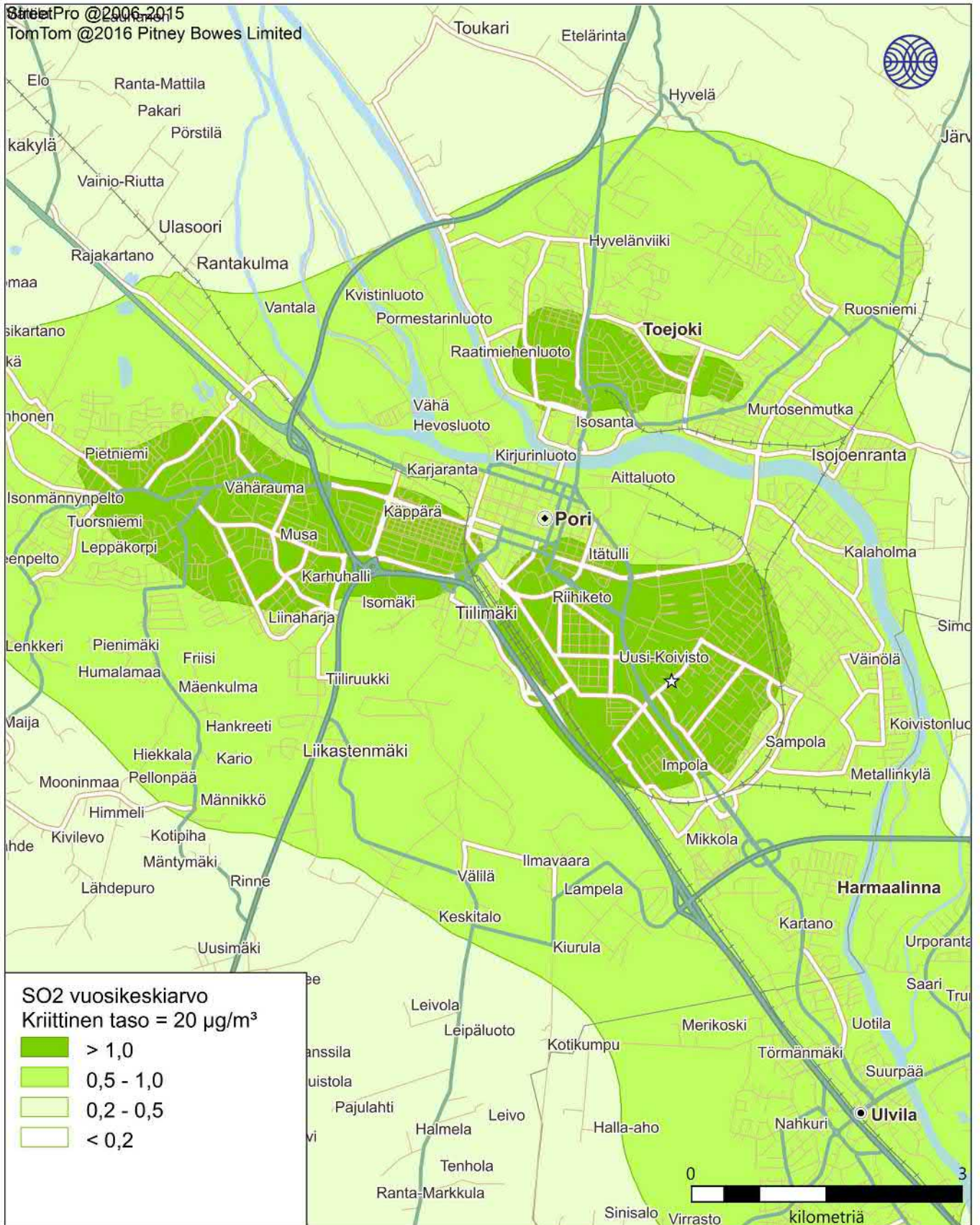
Ilmatieteen laitos 2022

☆ = maksimi = 0,034 µg/m³

Kuva 56. Laivaliikenteen ja satamatoiminnan päästöjen aiheuttama rikkidioksidin vuorokeskiarvopitoisuus (µg/m³).

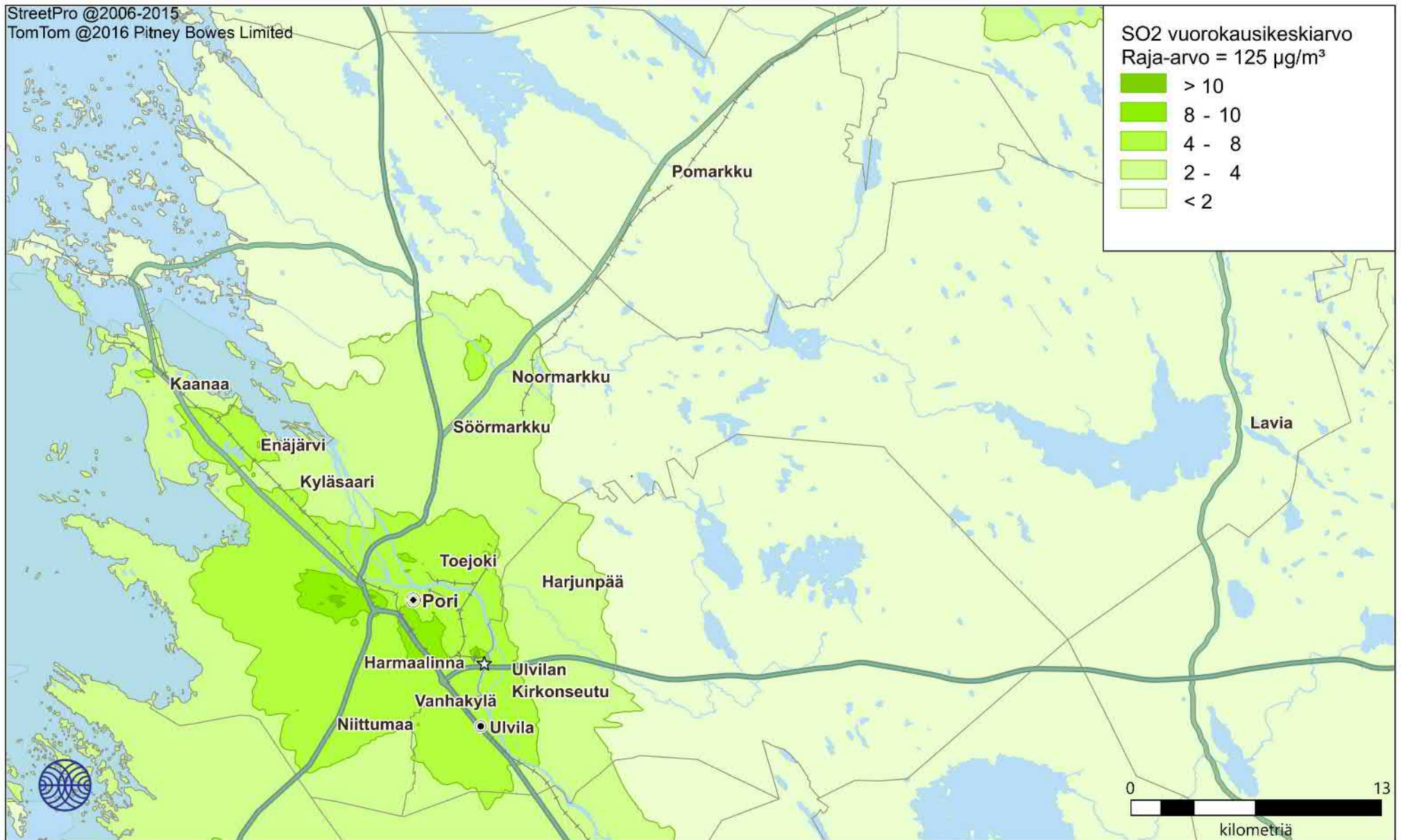


Kuva 57. Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttama rikkidioksidin vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³).



Ilmatieteen laitos 2022

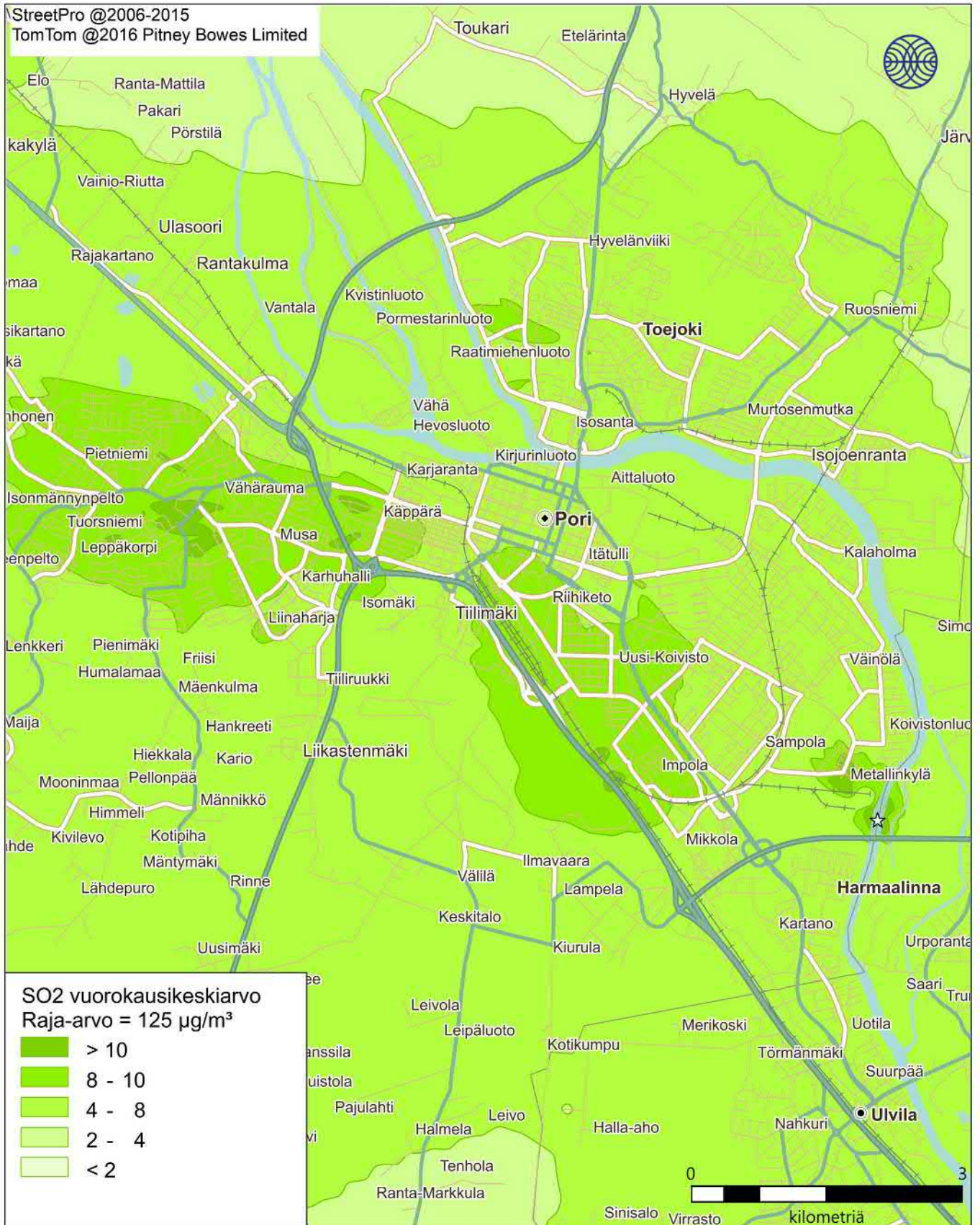
Kuva 58. Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttama rikkidioksidin vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³).



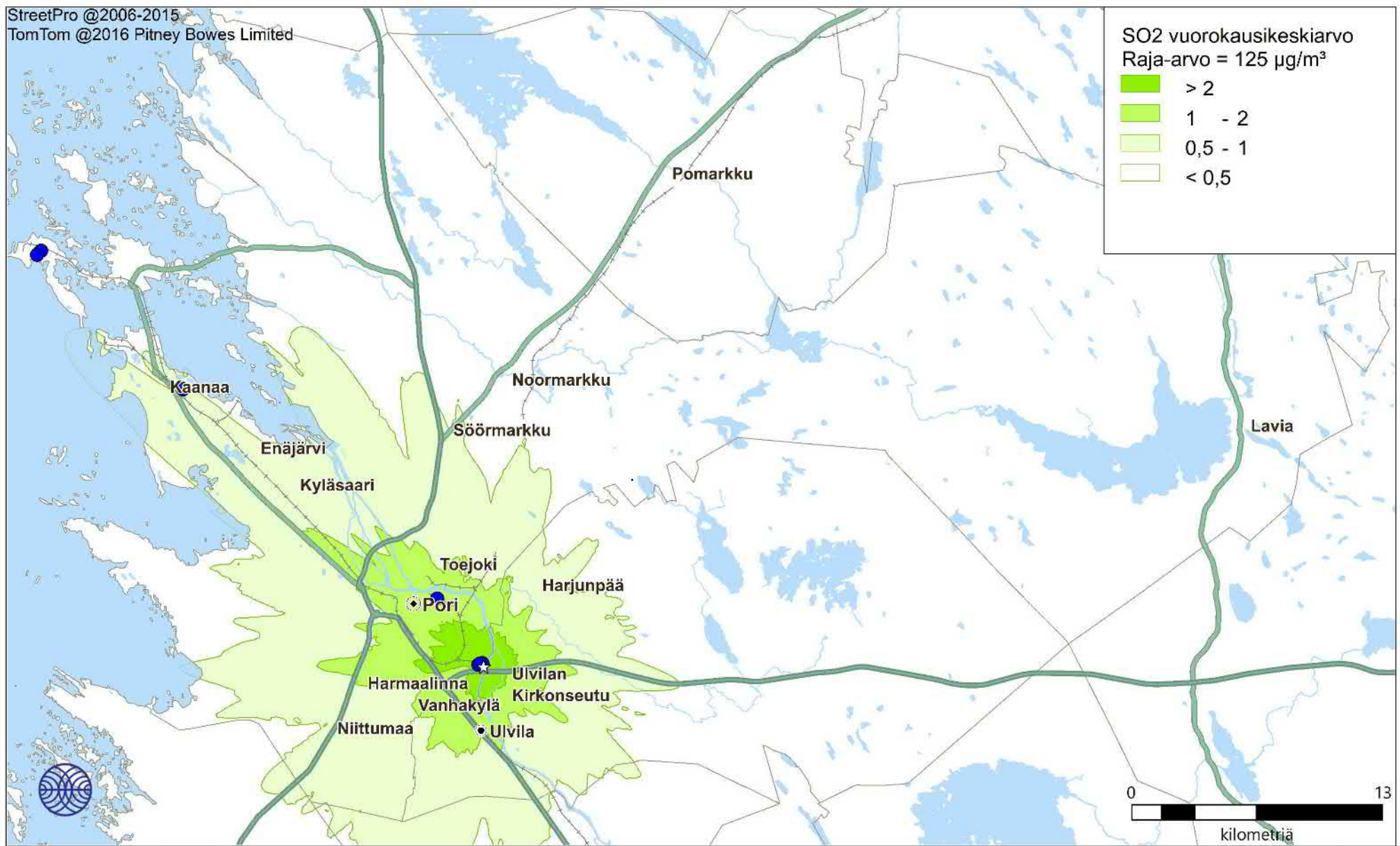
Ilmatieteen laitos 2022

☆ = maksimi = 14 µg/m³

Kuva 59. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden aiheuttama rikkidioksidin vuorokausiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).



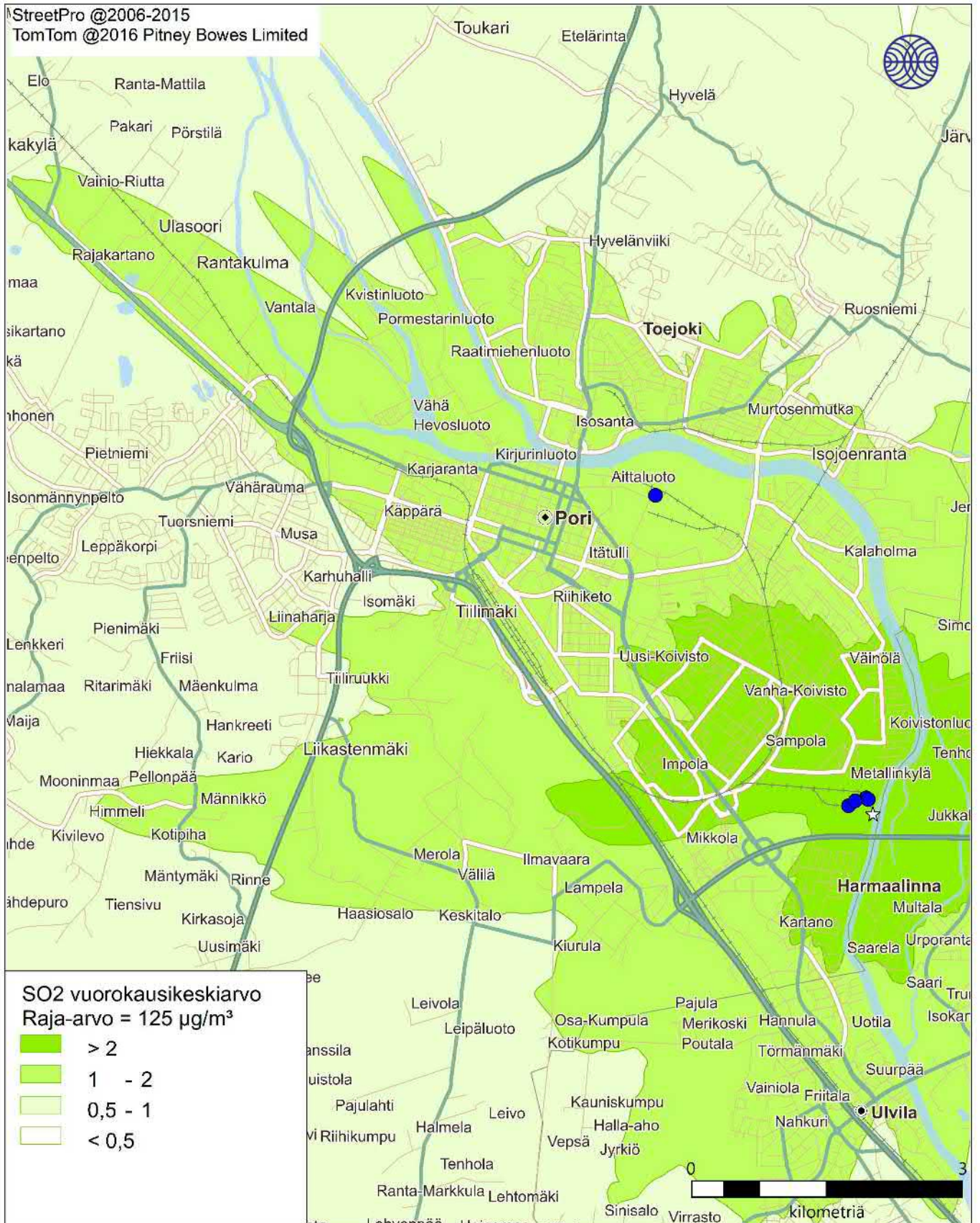
Kuva 60. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden aiheuttama rikkidioksidin vuorokausiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).



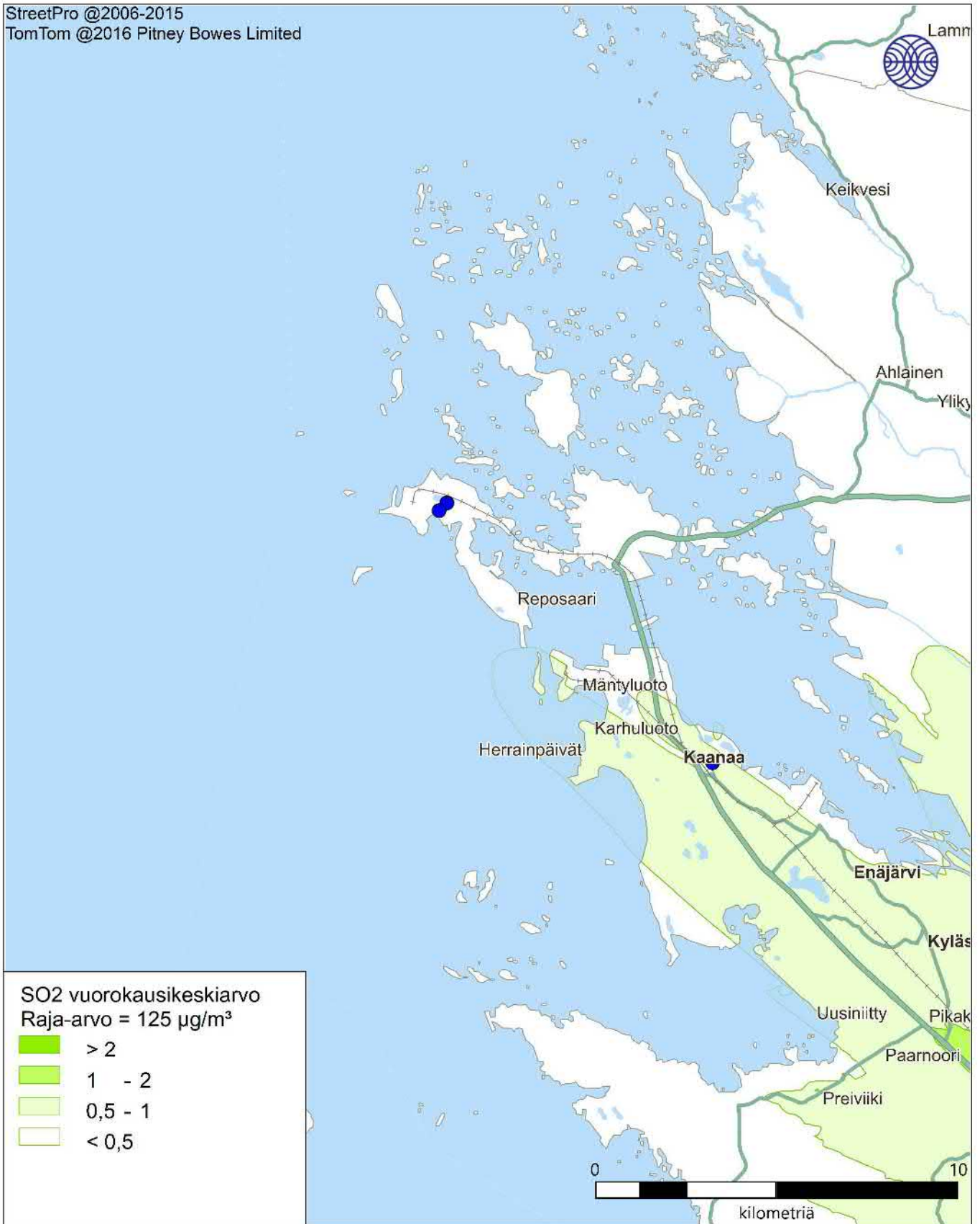
Ilmatieteen laitos 2022

☆ = maksimi = 13 µg/m³

Kuva 61. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttama rikkidioksidin vuorokausiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

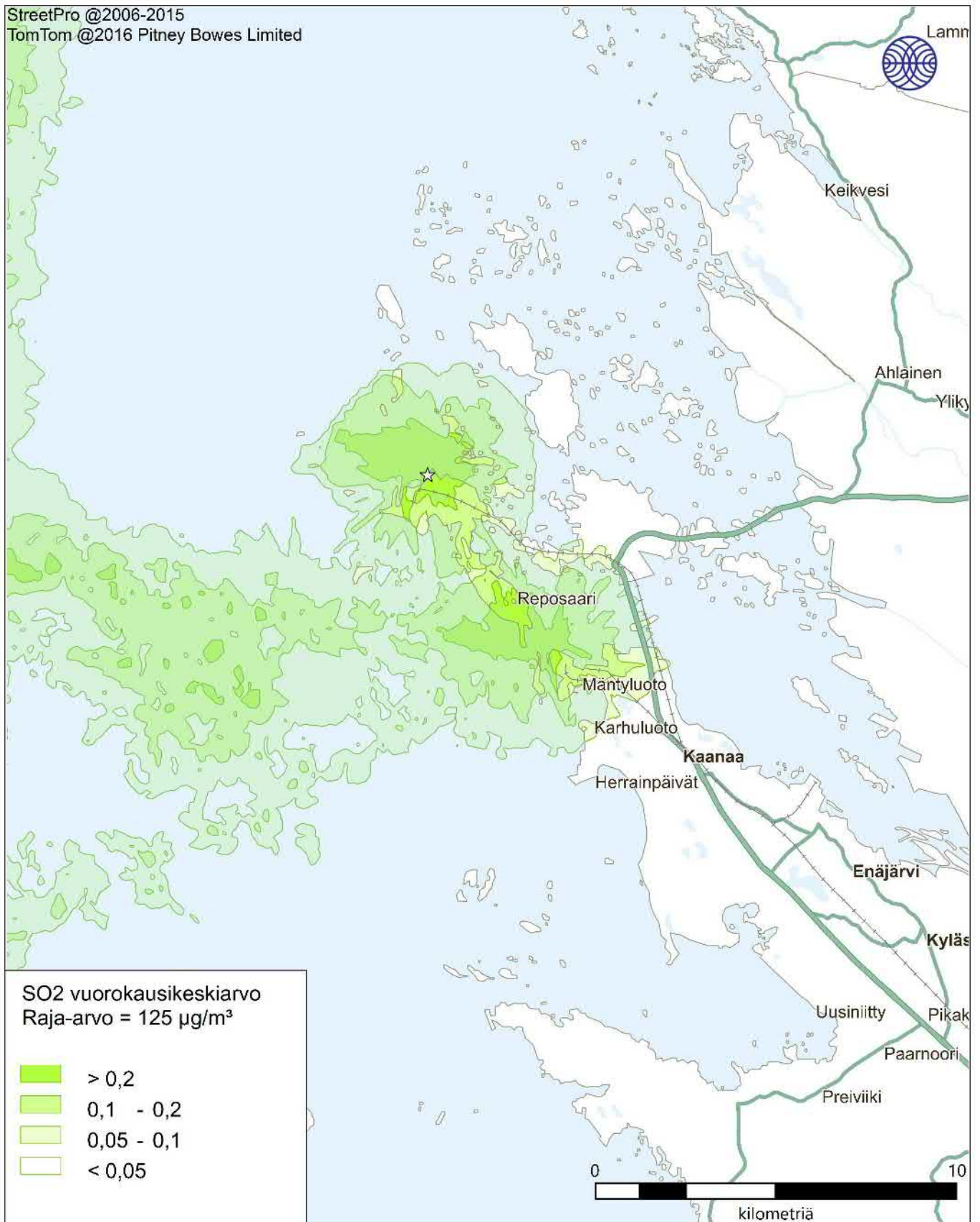


Kuva 62. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttama rikkidioksidin vuorokausiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).



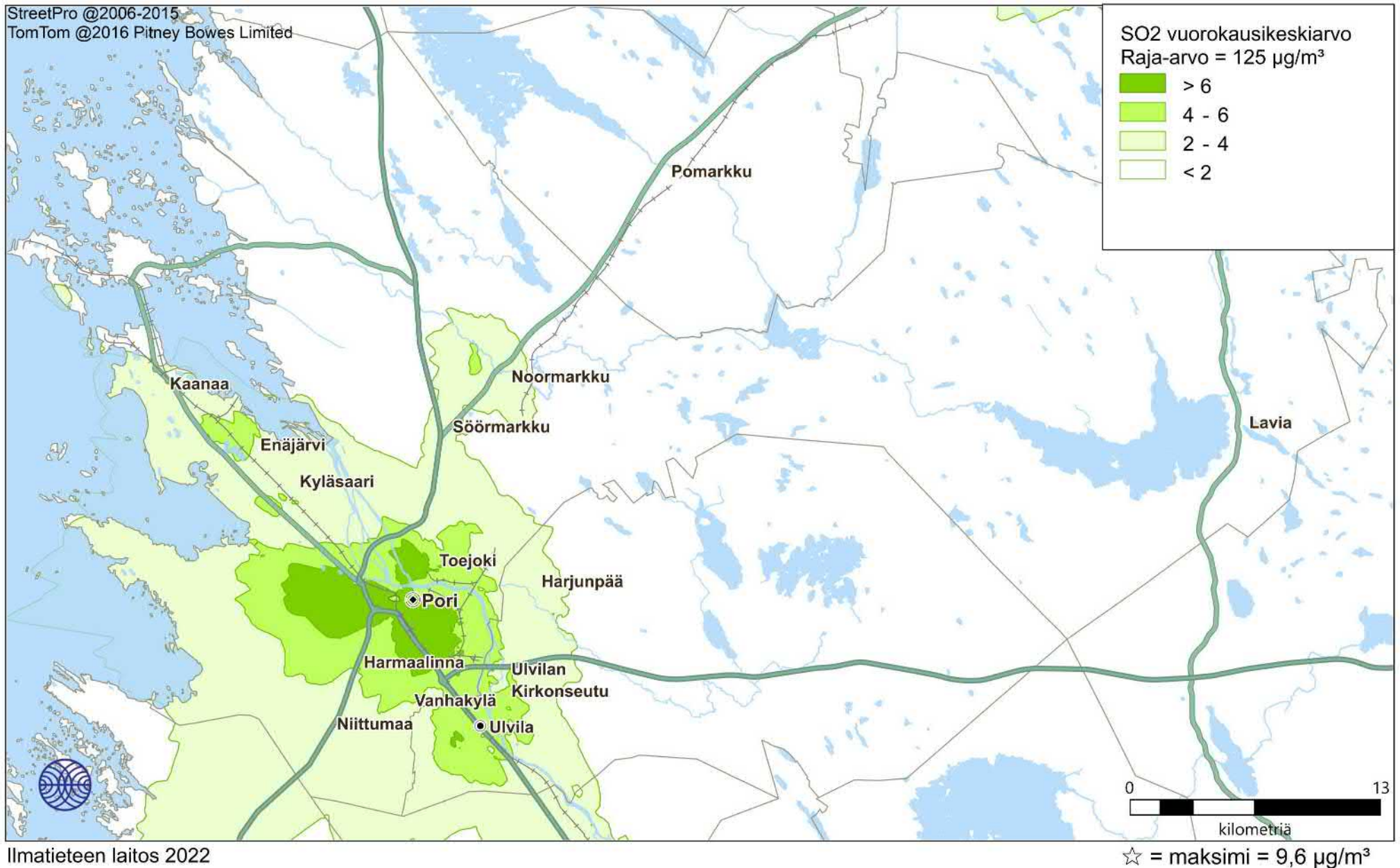
Ilmatieteen laitos 2022

Kuva 63. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttama rikkidioksidin vuorokausiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

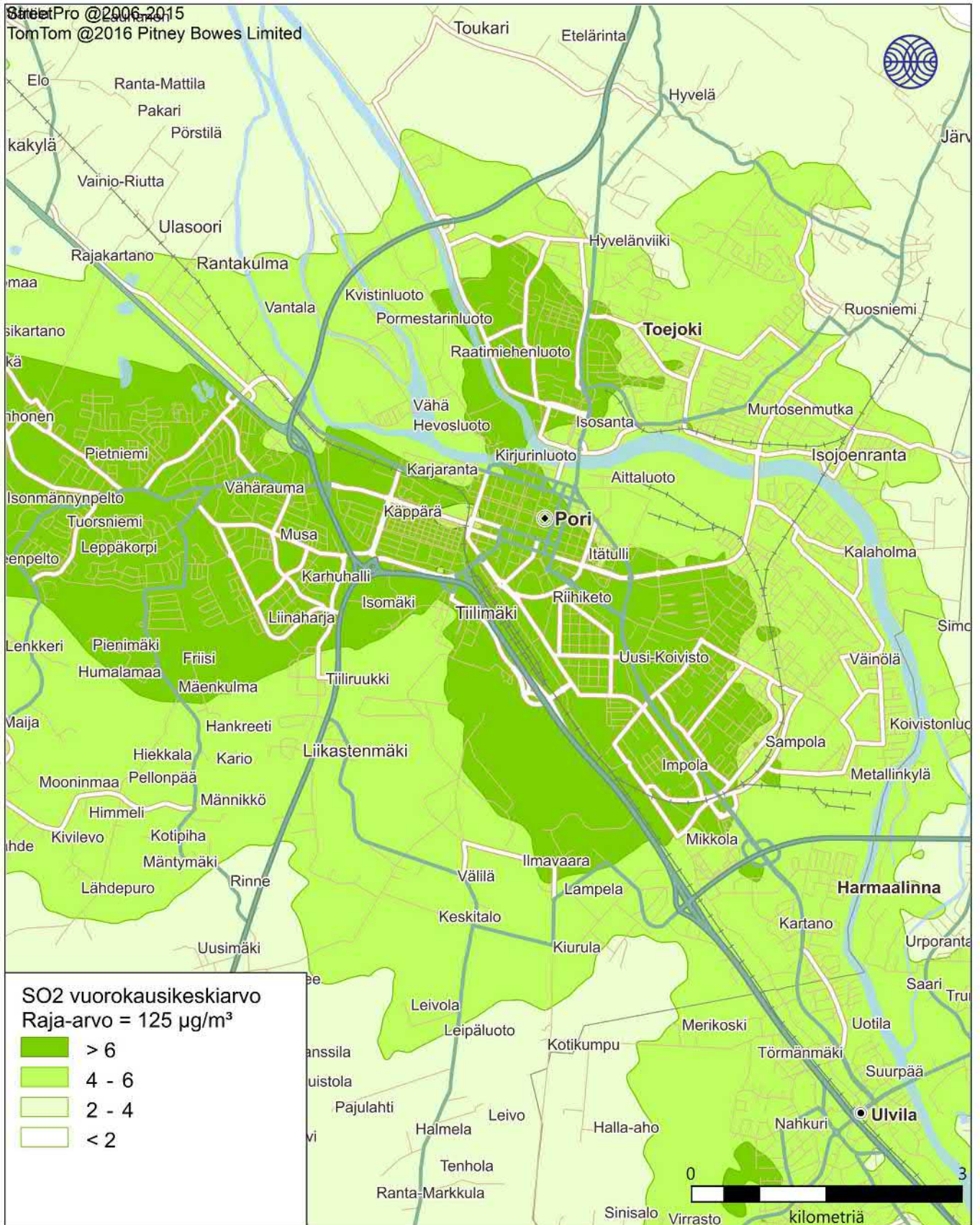


Ilmatieteen laitos 2022

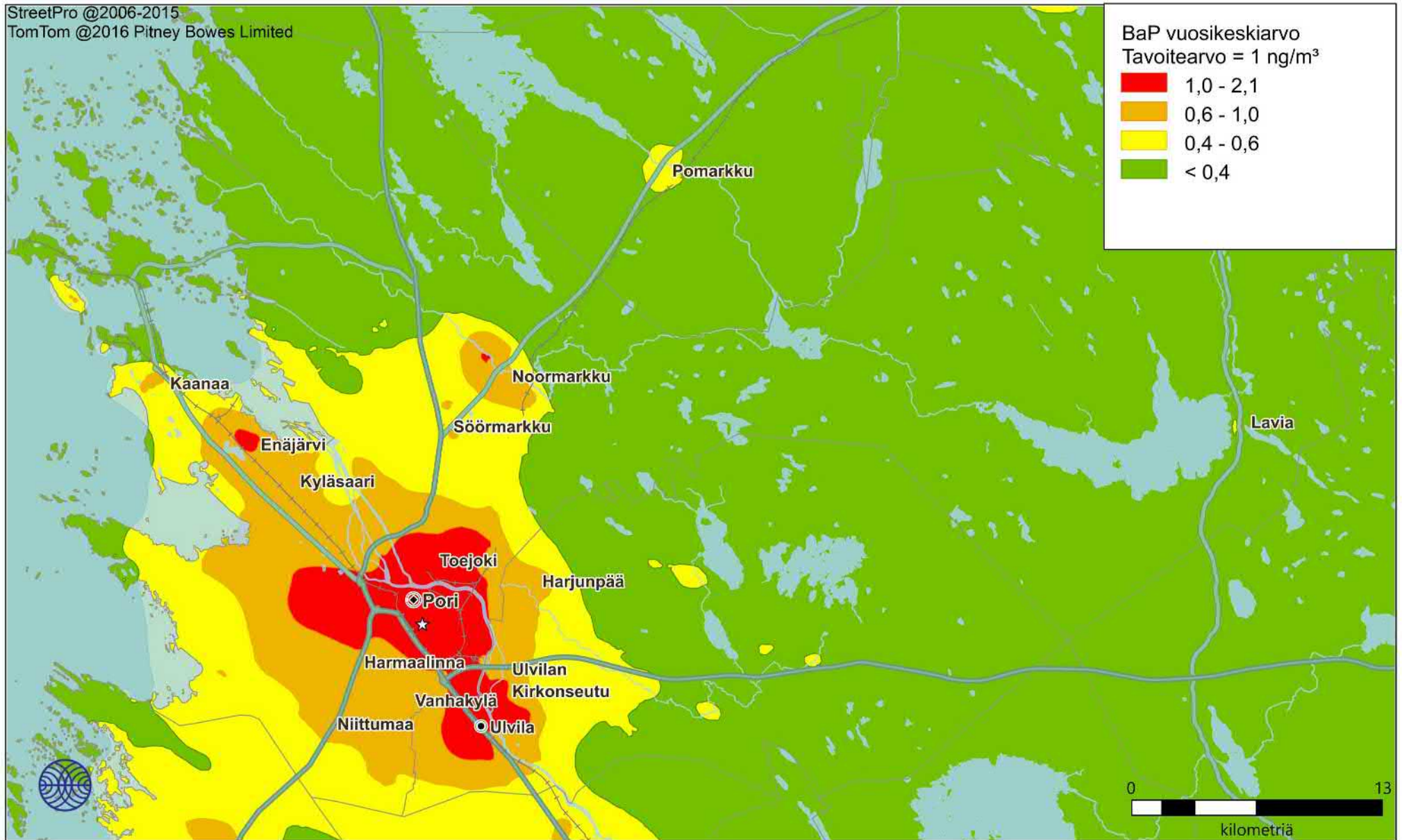
Kuva 64. Laivaliikenteen ja satamatoiminnan päästöjen aiheuttama rikkidioksidin vuorokausiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).



Kuva 65. Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttama rikkidioksidin vuorokausiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).



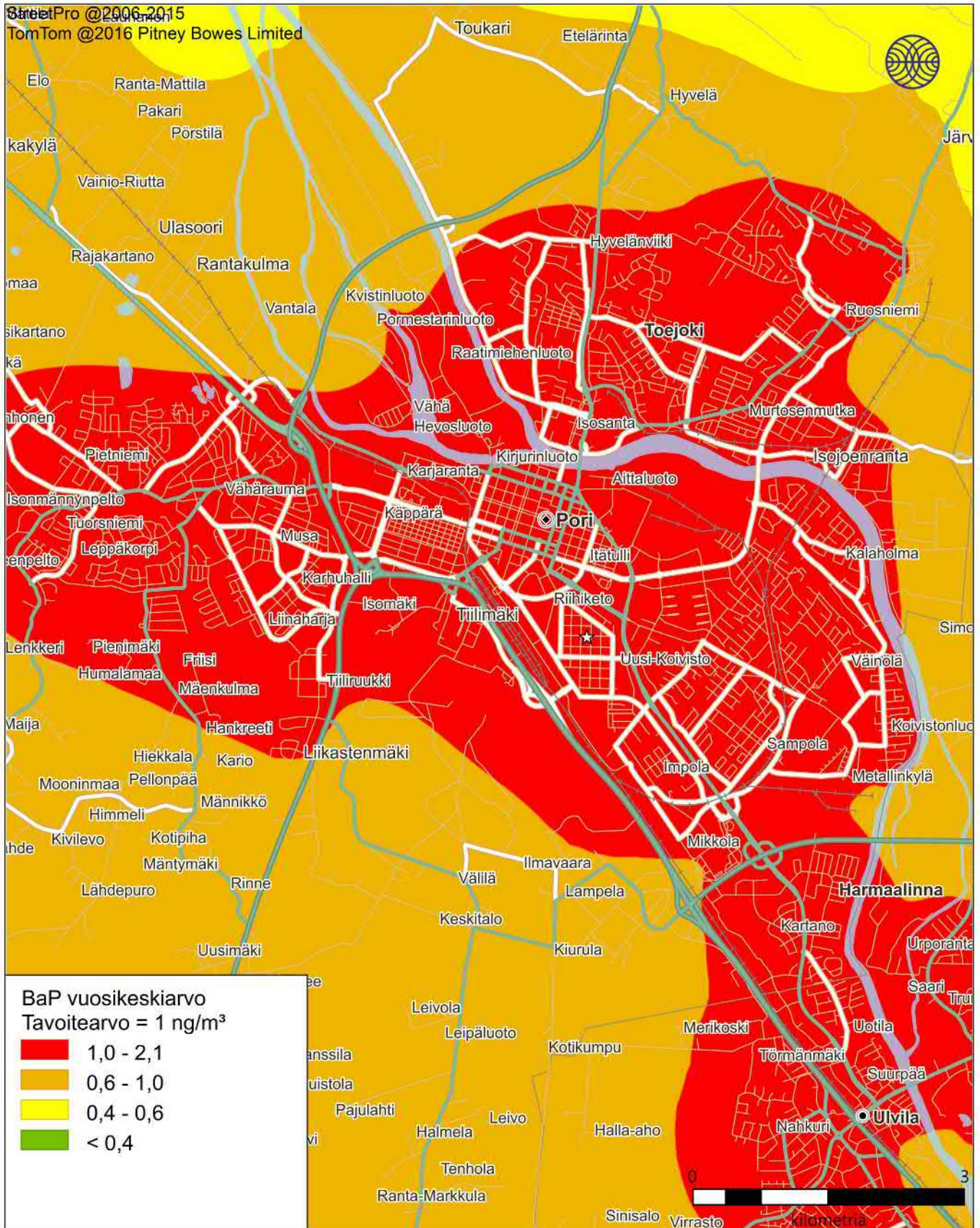
Kuva 66. Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttama rikkidioksidin vuorokausiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).



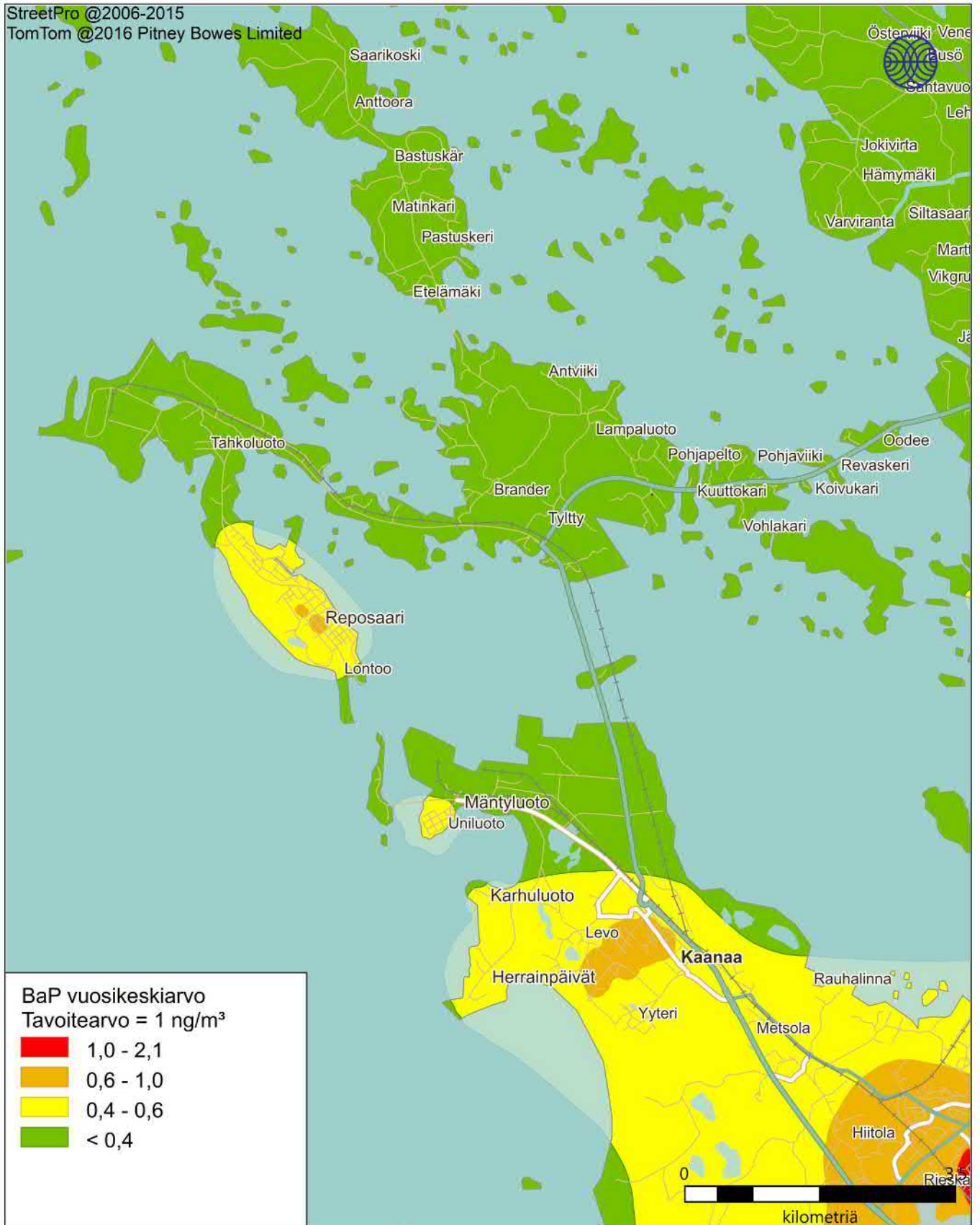
Ilmatieteen laitos 2022

☆ = maksimi = 2,1 ng/m³

Kuva 67. Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttama bentso(a)pyreenin vuosikeskiarvopitoisuus (ng/m³).

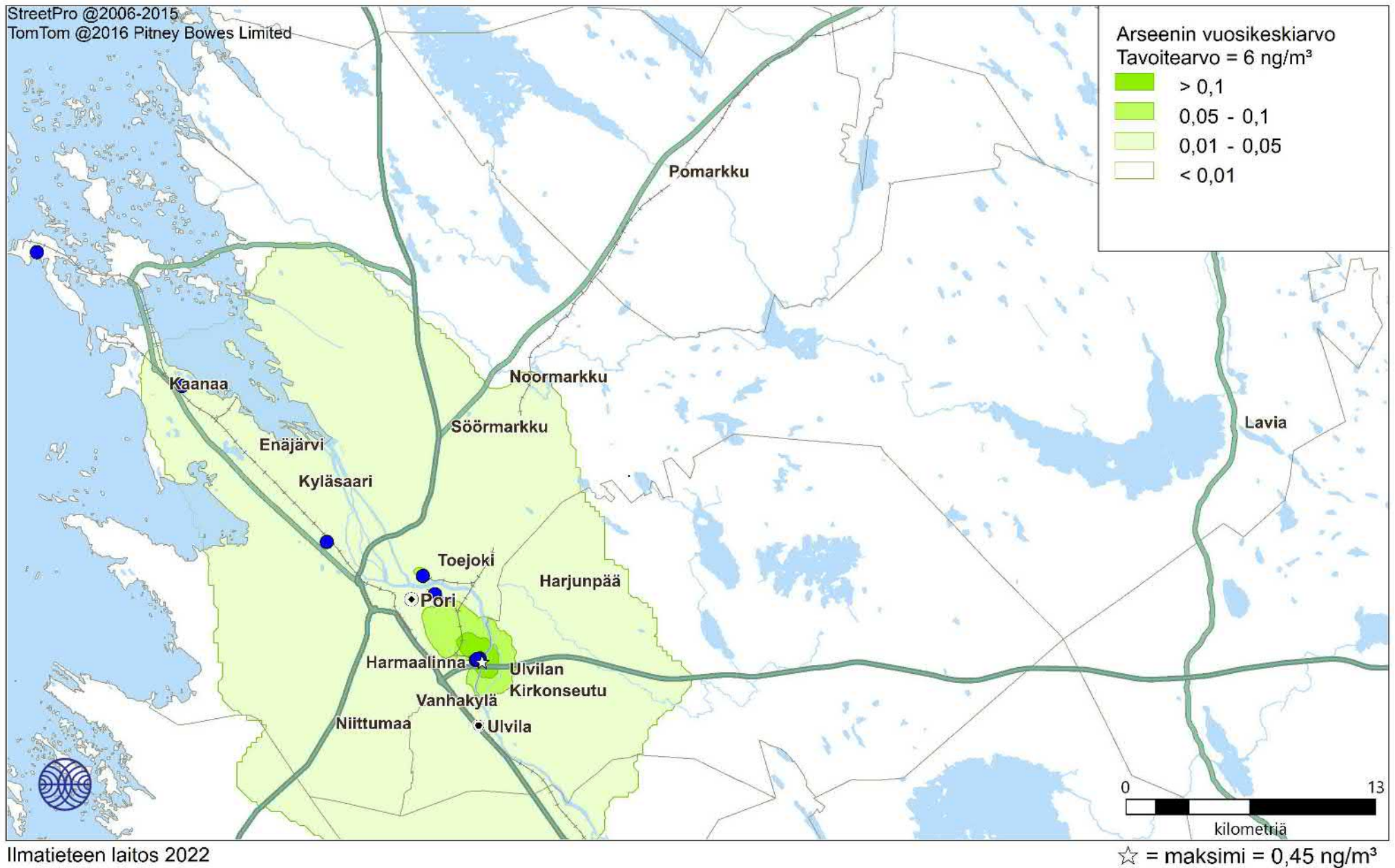


Kuva 68. Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttama bentso(a)pyreenin vuosikeskiarvopitoisuus (ng/m³).

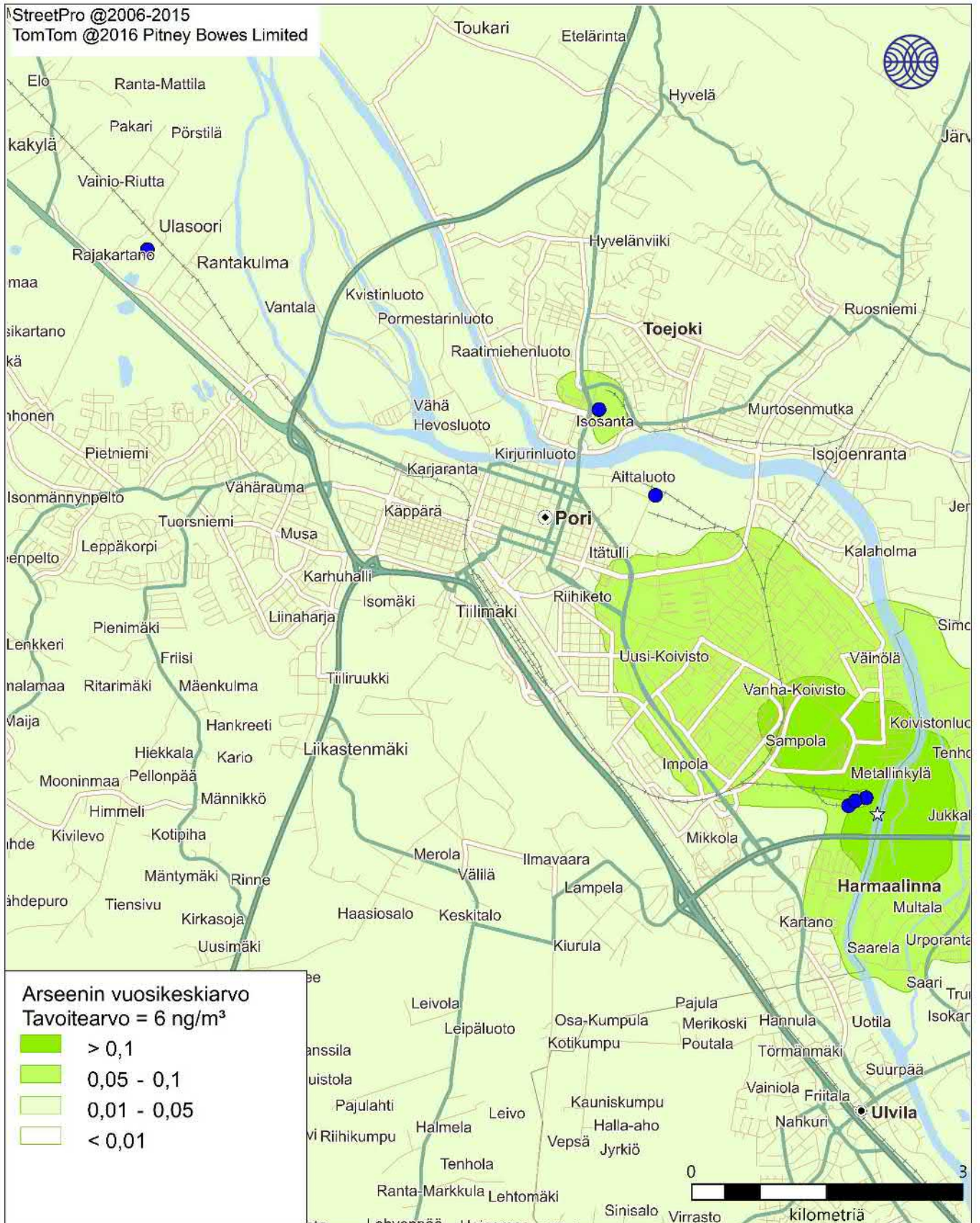


Ilmatieteen laitos 2022

Kuva 69. Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttama bentso(a)pyreenin vuosikeskiarvopitoisuus (ng/m³).



Kuva 70. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttama arseenin vuosikeskiarvopitoisuus (ng/m³).

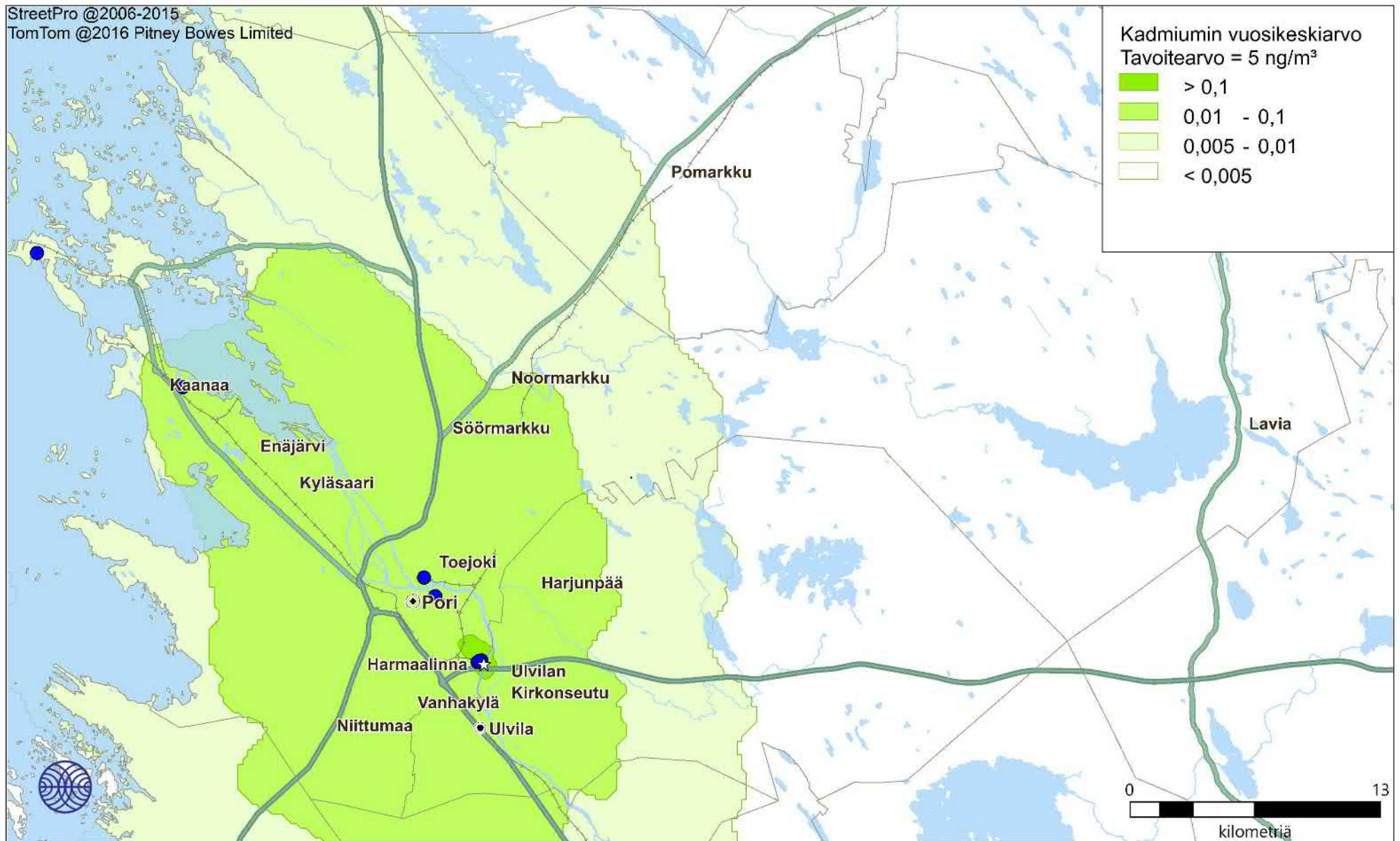


Kuva 71. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttama arseenin vuosikeskiarvopitoisuus (ng/m³).



Ilmatieteen laitos 2022

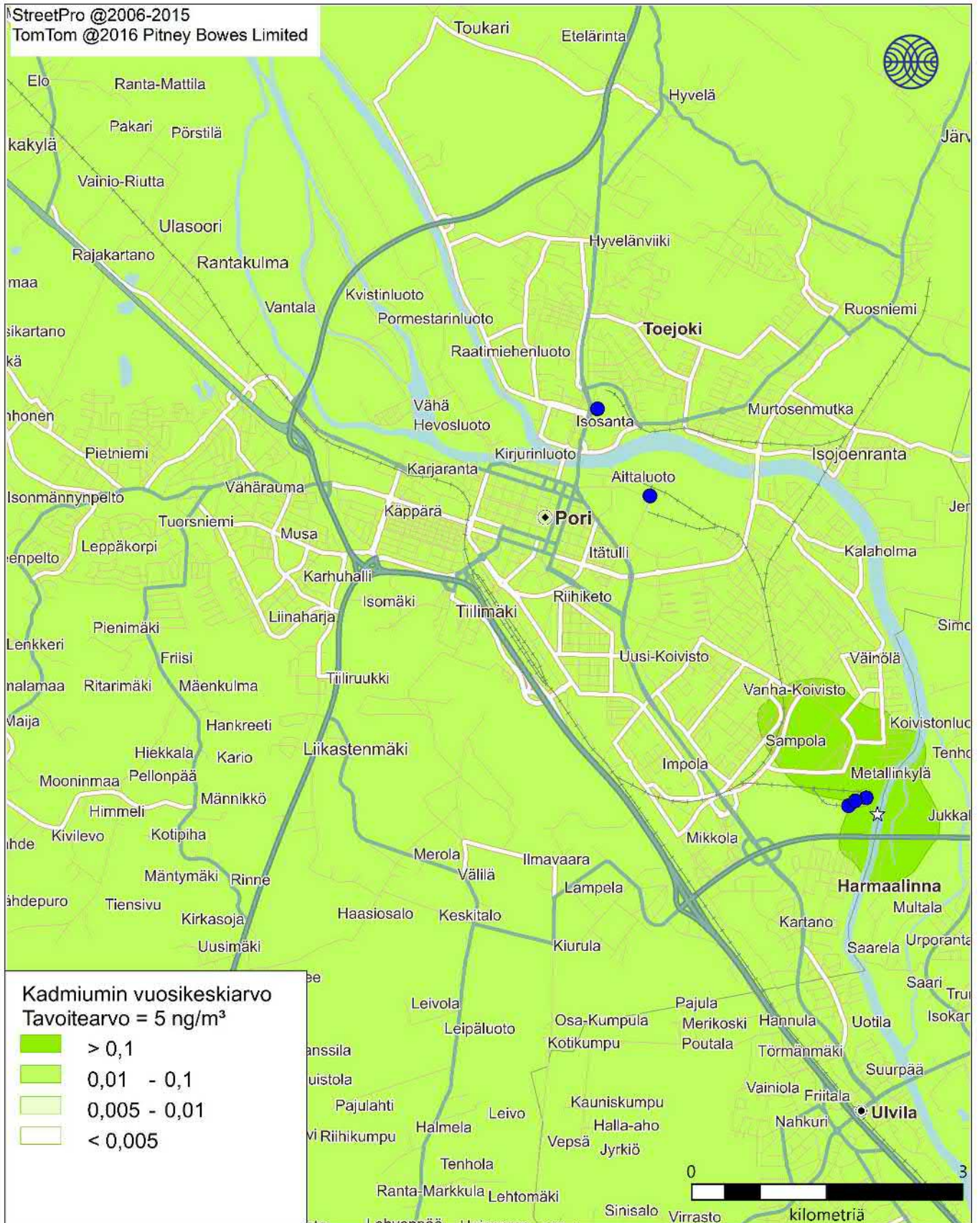
Kuva 72. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttama arseenin vuosikeskiarvopitoisuus (ng/m³).



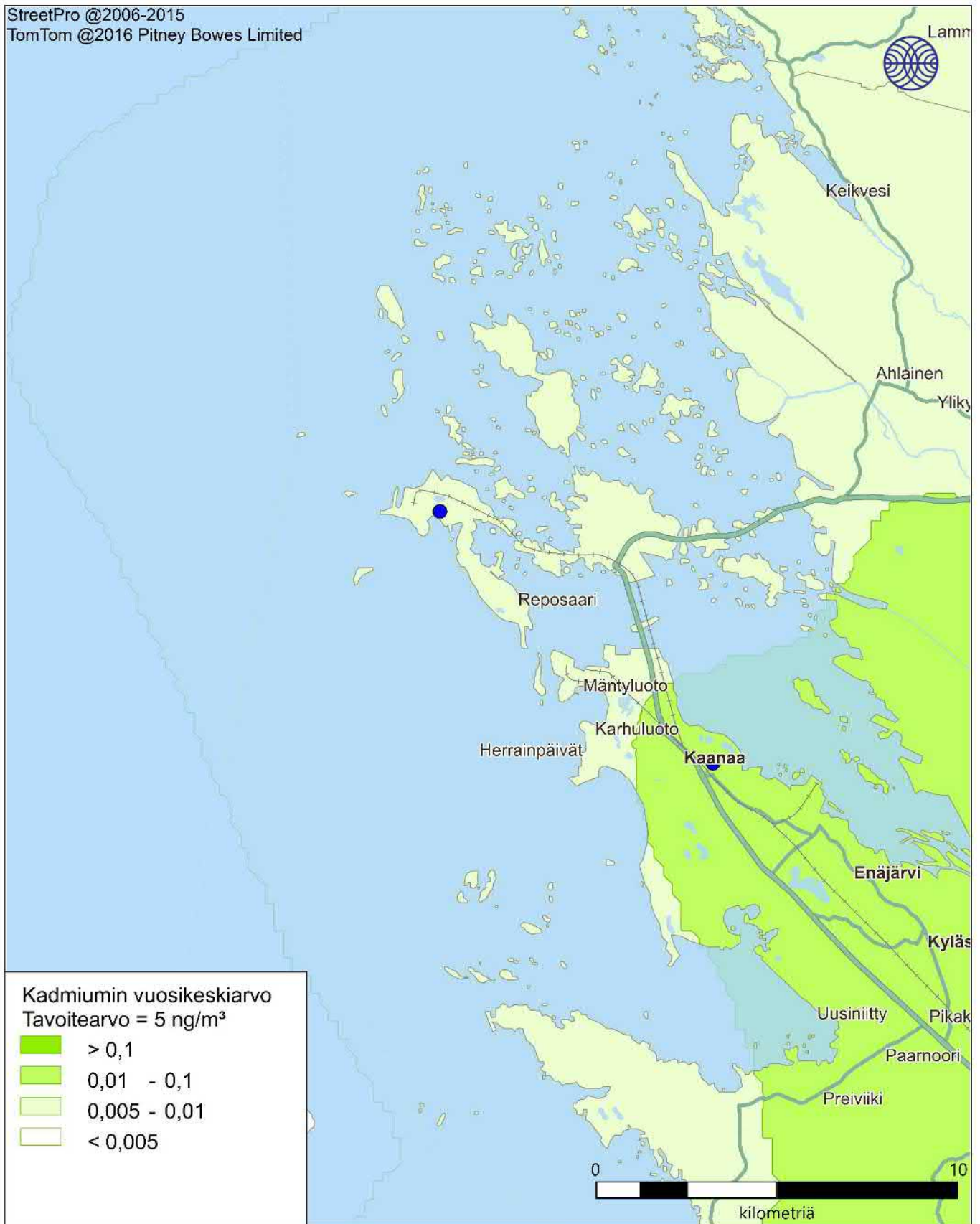
Ilmatieteen laitos 2022

☆ = maksimi = 0,36 ng/m³

Kuva 73. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttama kadmiumin vuosikeskiarvopitoisuus (ng/m³).

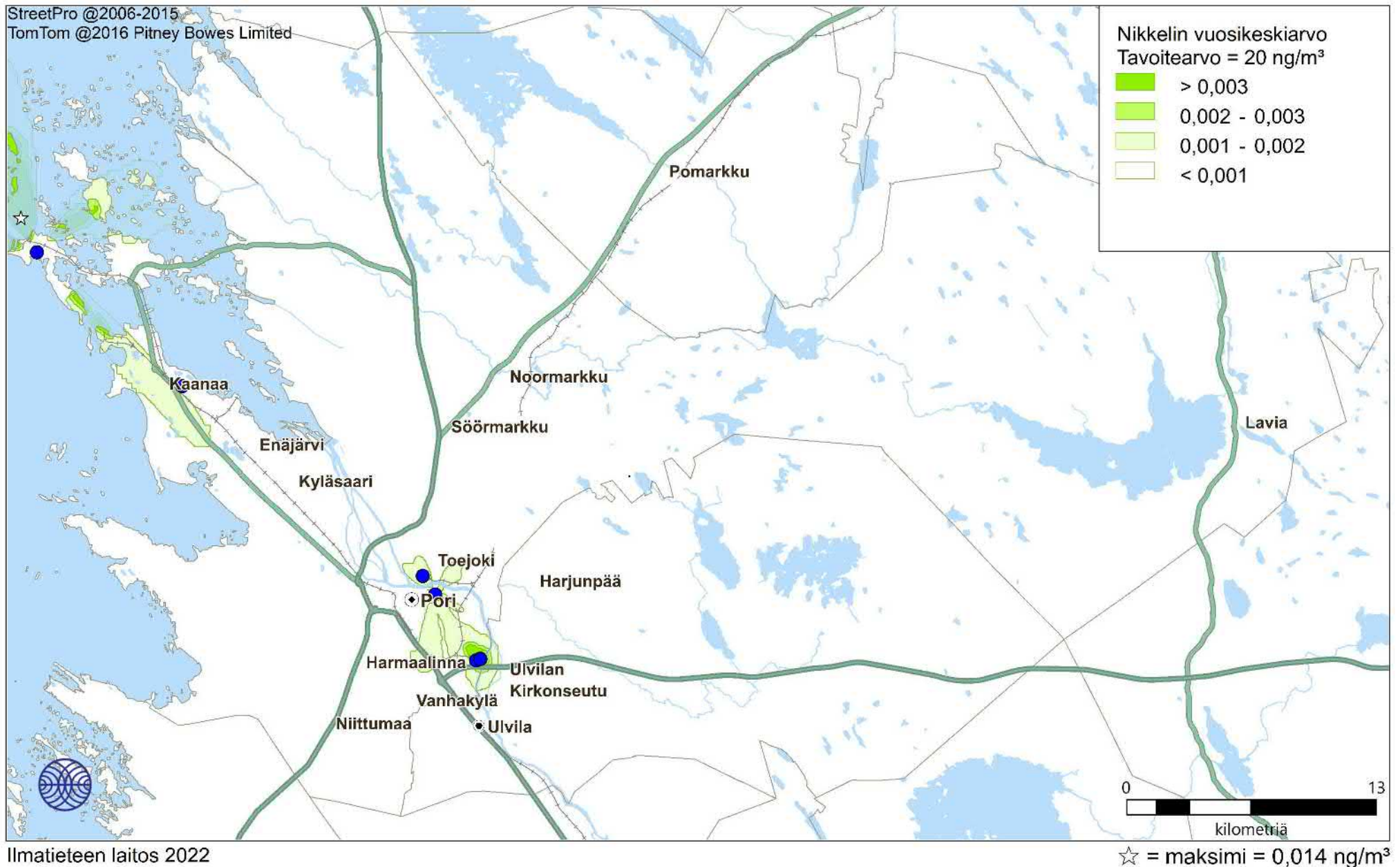


Kuva 74. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttama kadmiumin vuosikeskiarvopitoisuus (ng/m³).

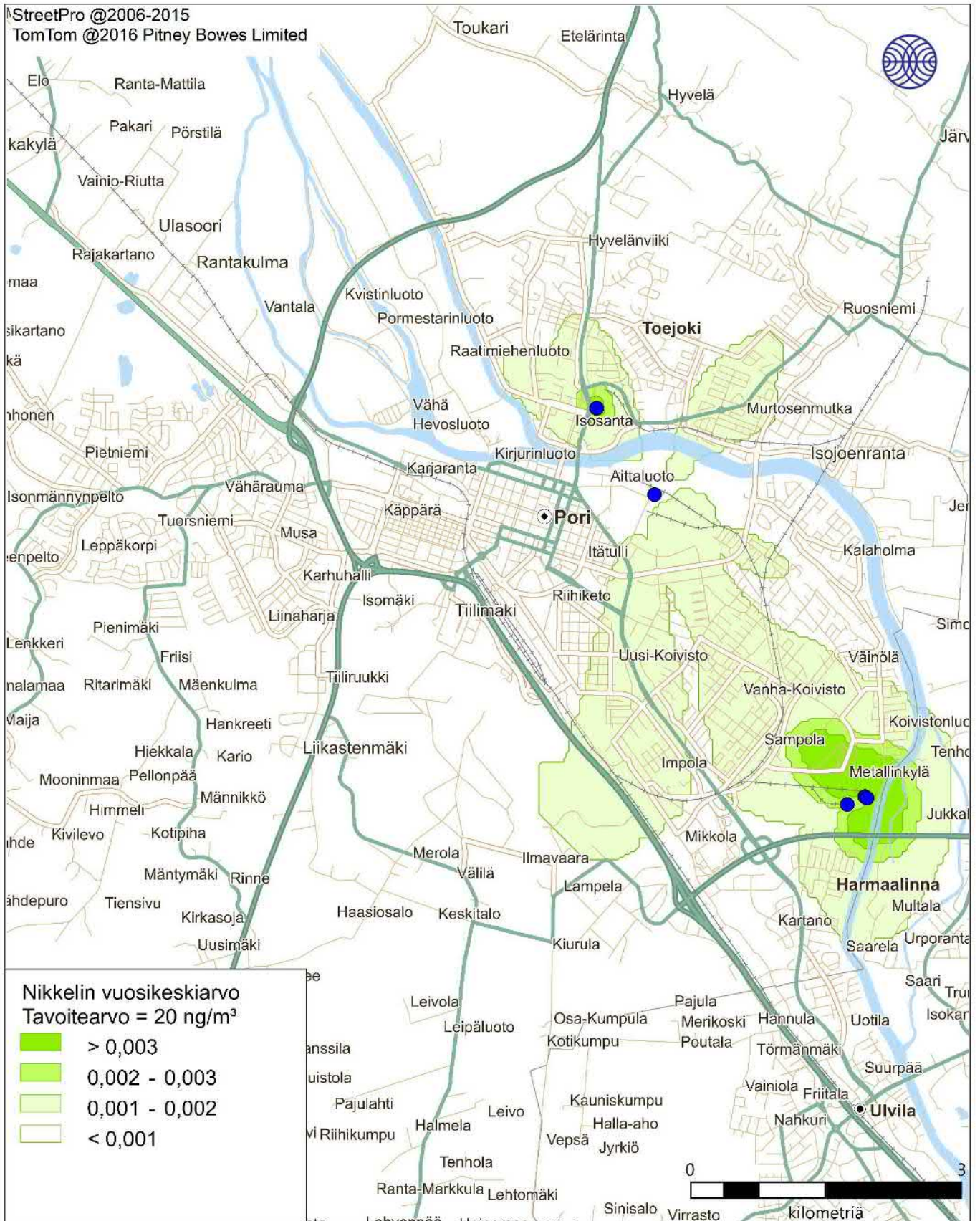


Ilmatieteen laitos 2022

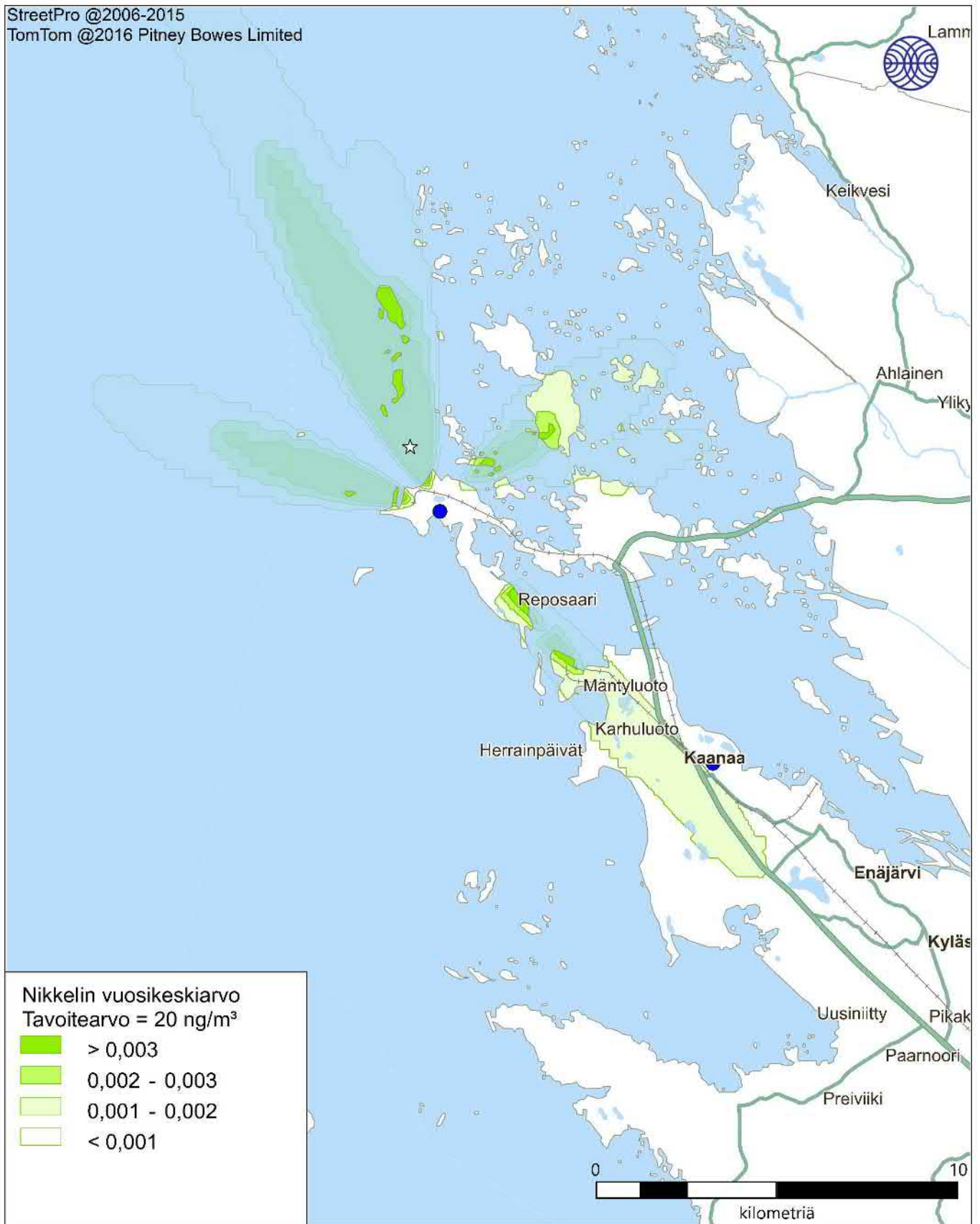
Kuva 75. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttama kadmiumin vuosikeskiarvopitoisuus (ng/m³).



Kuva 76. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttama nikkelin vuosikeskiarvopitoisuus (ng/m³).

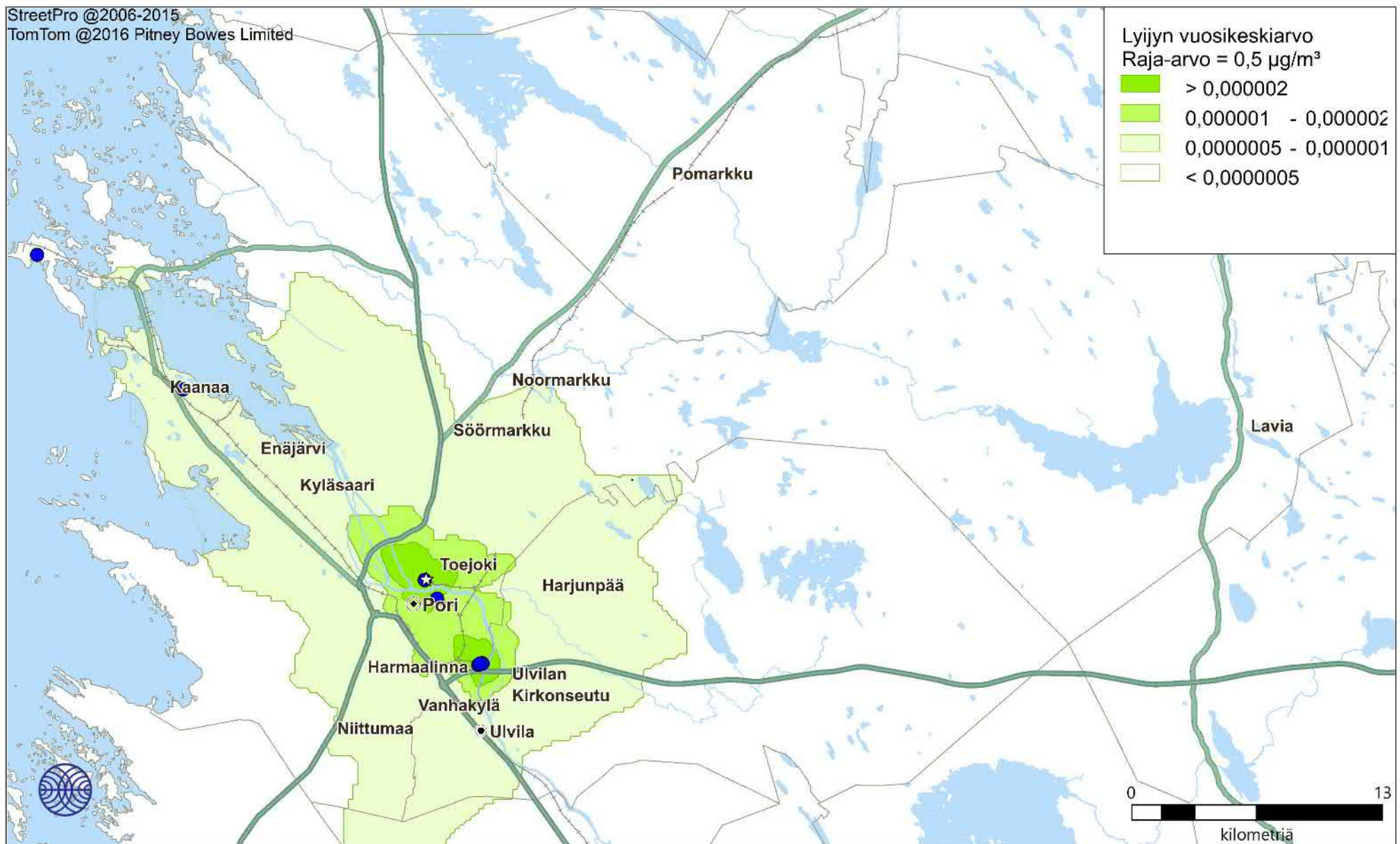


Kuva 77. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttama nikkelin vuosikeskiarvopitoisuus (ng/m³).

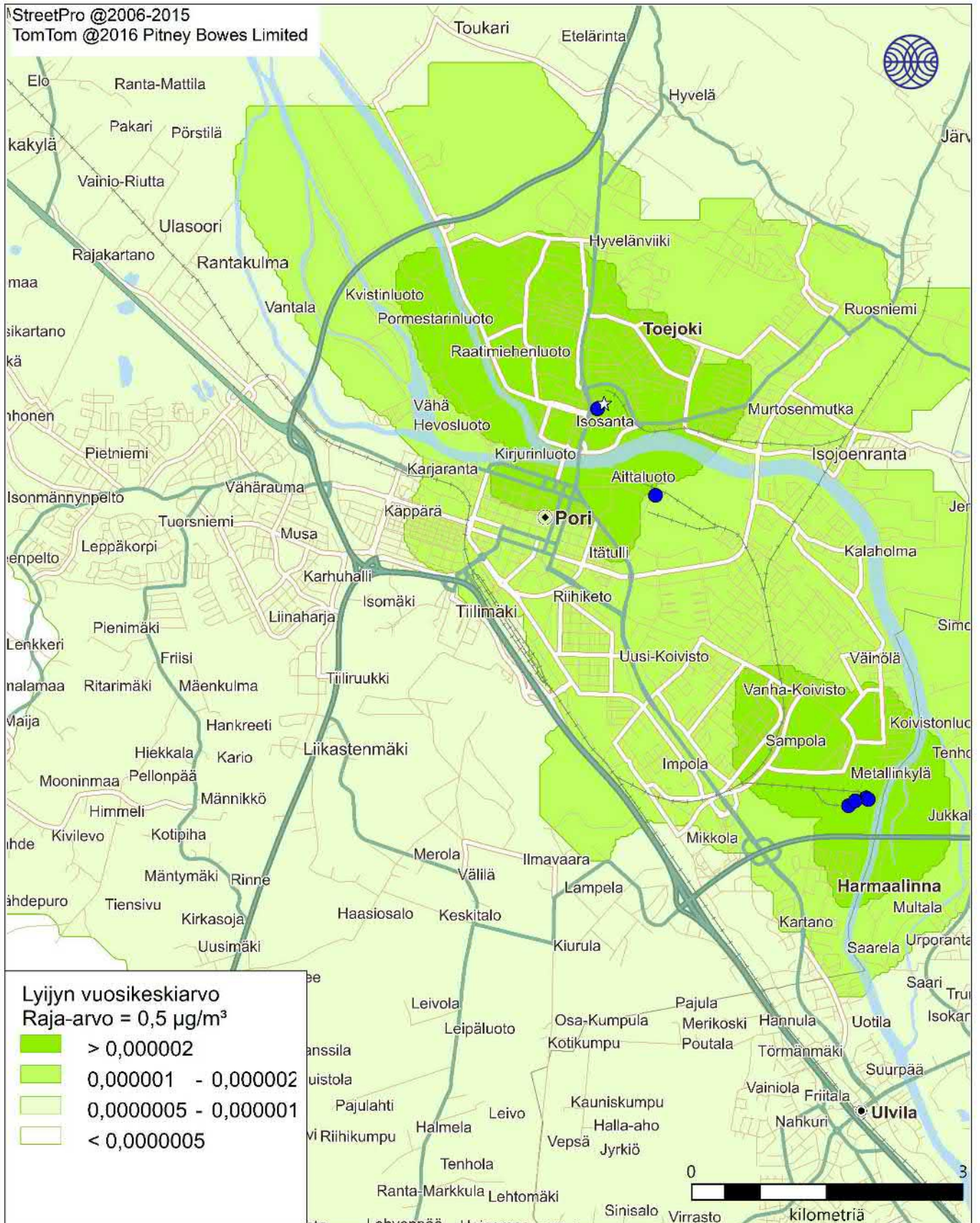


Ilmatieteen laitos 2022

Kuva 78. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttama nikkelin vuosikeskiarvopitoisuus (ng/m³).



Kuva 79. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttama lyijyn vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³).

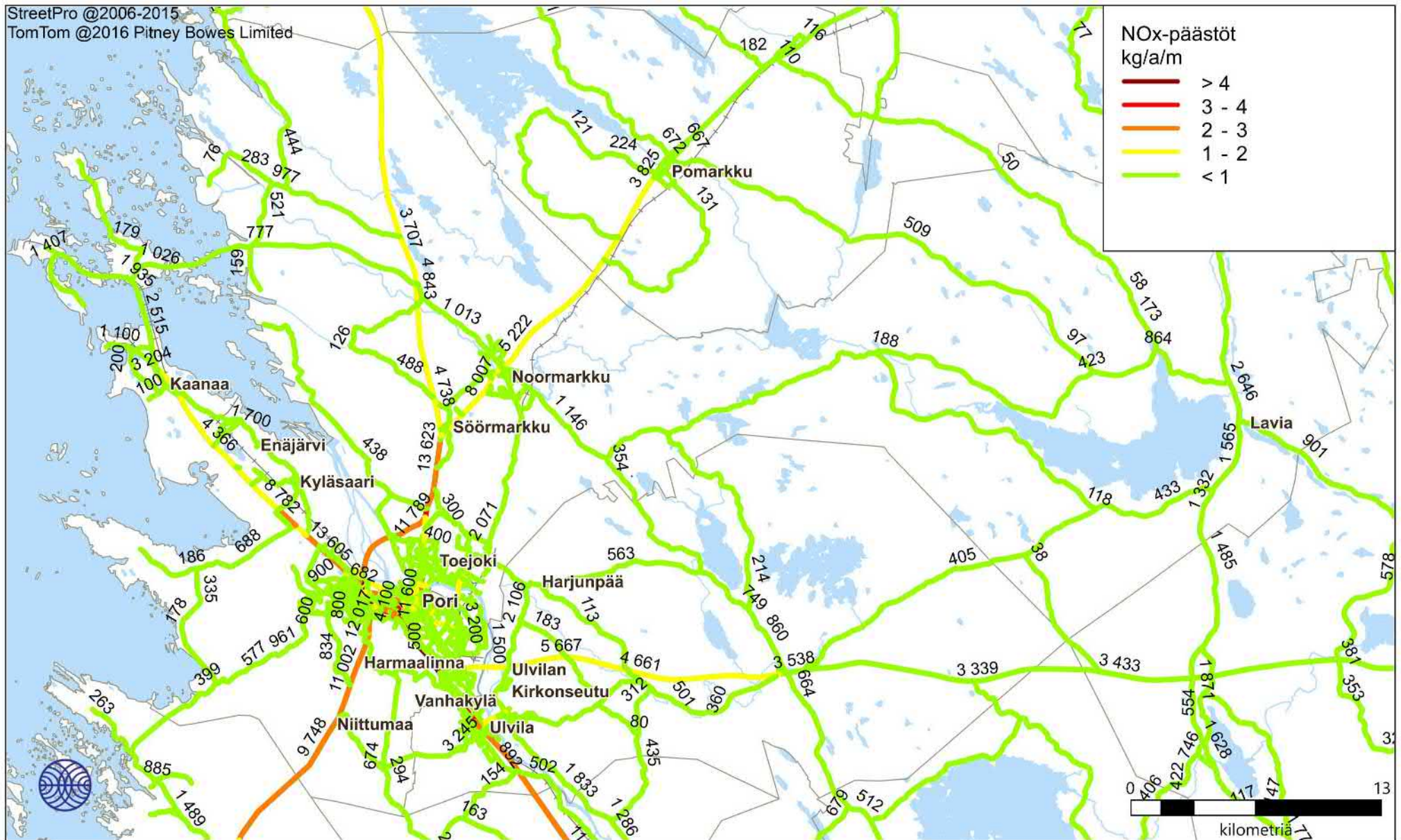


Kuva 80. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttama lyijyn vuosikeskiarvopitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

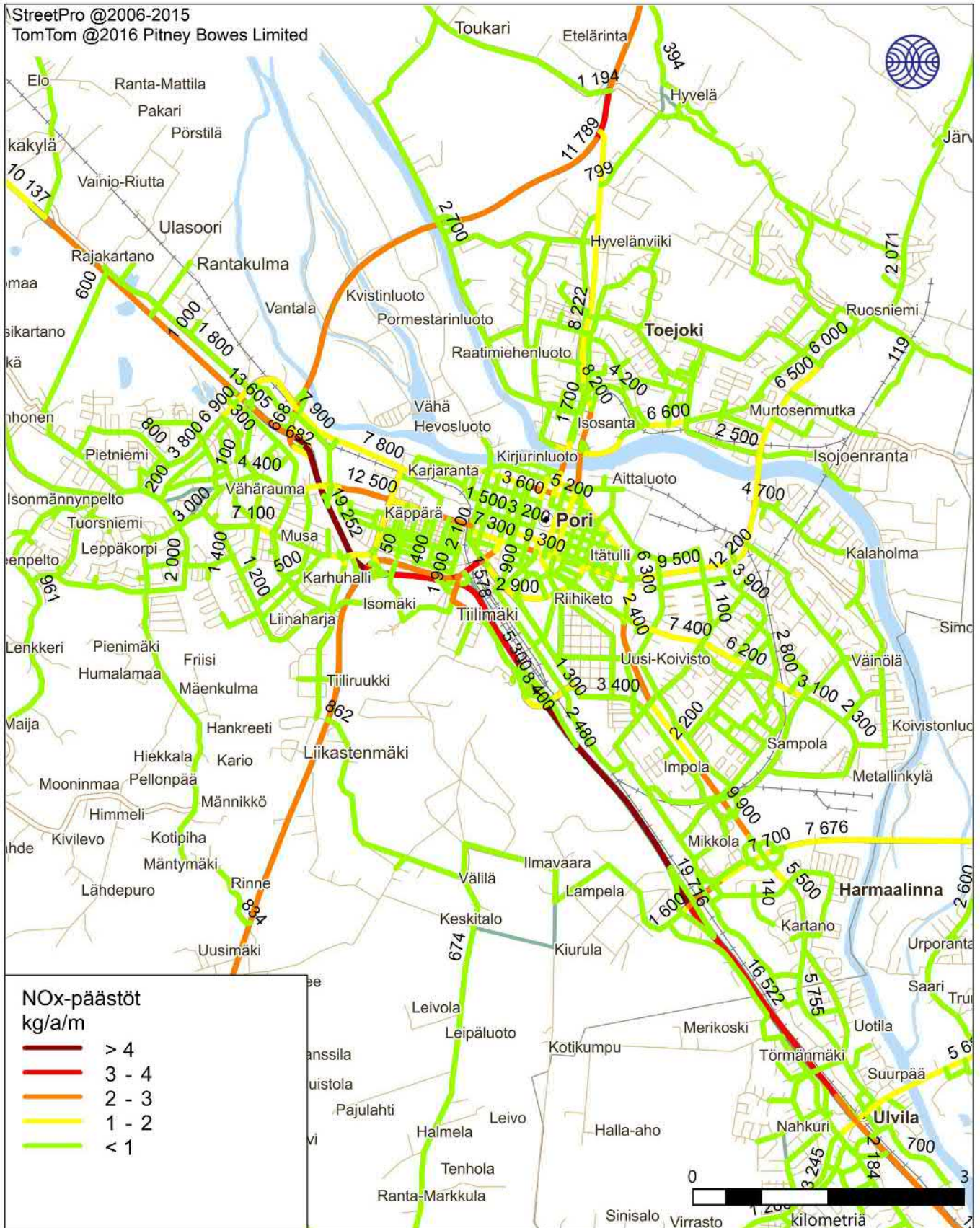


Ilmatieteen laitos 2022

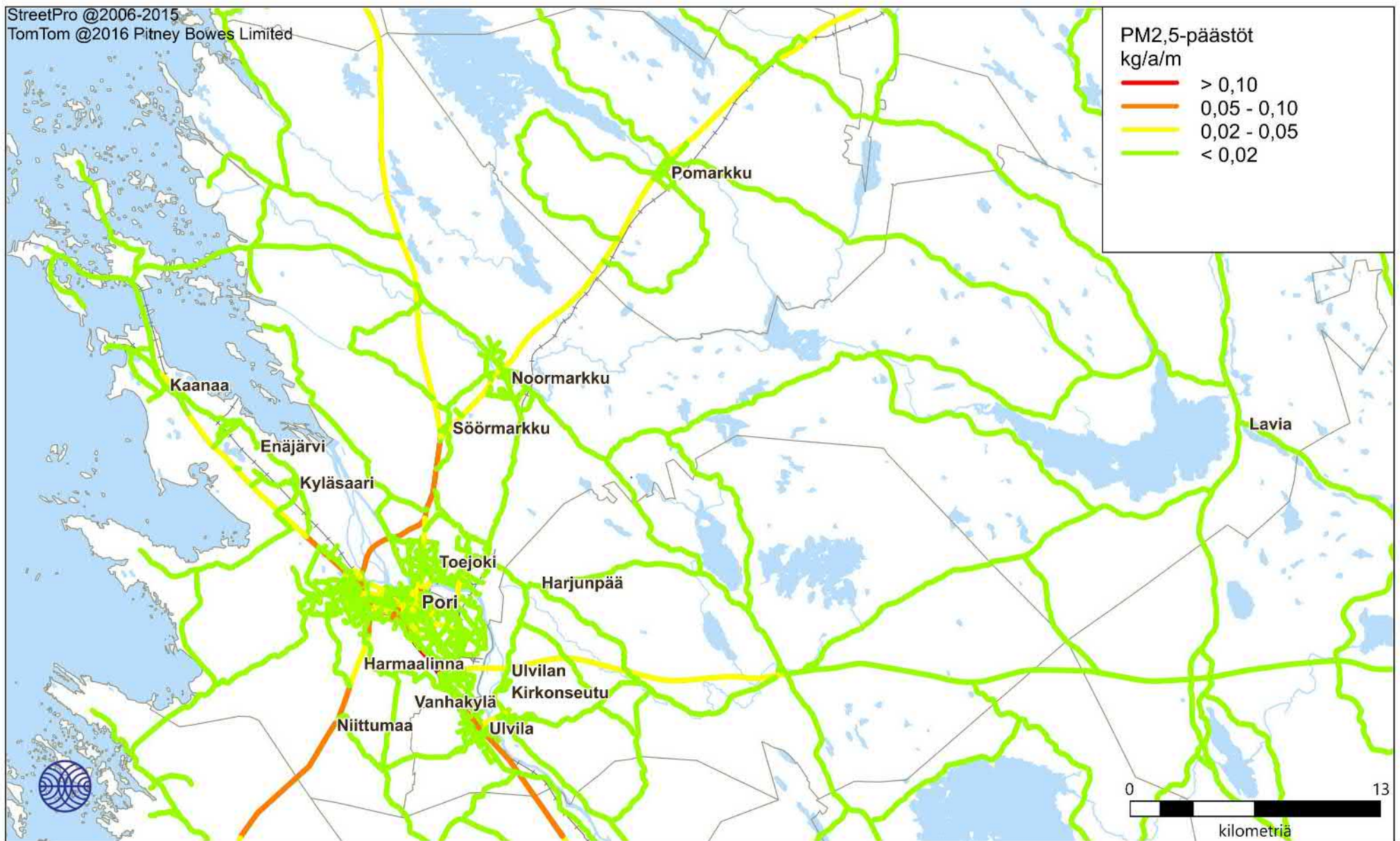
Kuva 81. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttama lyijyn vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³).



Kuva 82. Autoliikenteen pakokaasujen typenoksidipäästöt (kg/a/m) ja keskimääräinen vuorokausiliikenne (KVL) vuonna 2019.

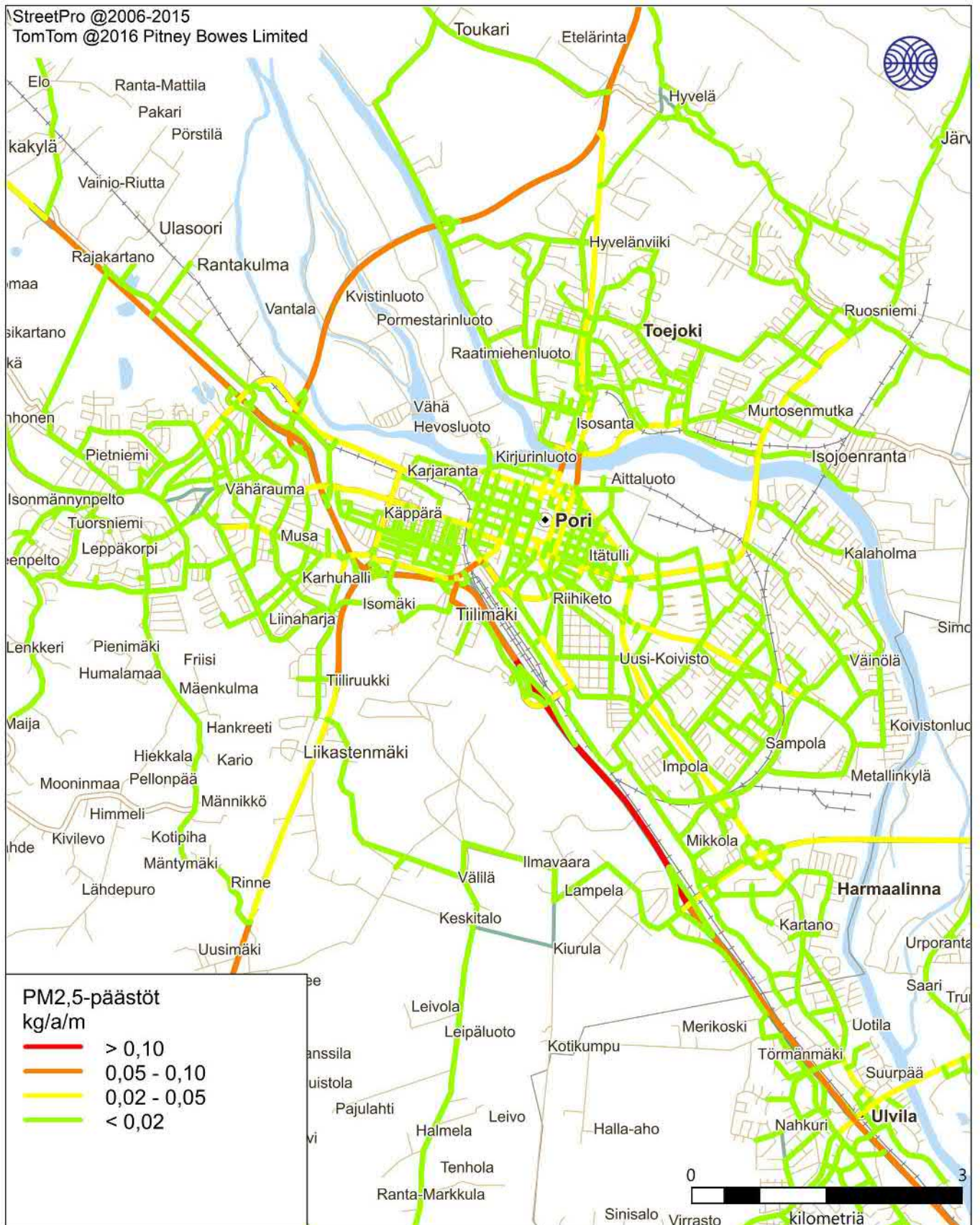


Kuva 83. Autoliikenteen pakokaasujen typenoksidipäästöt (kg/a/m) ja keskimääräinen vuorokausiliikenne (KVL) vuonna 2019.



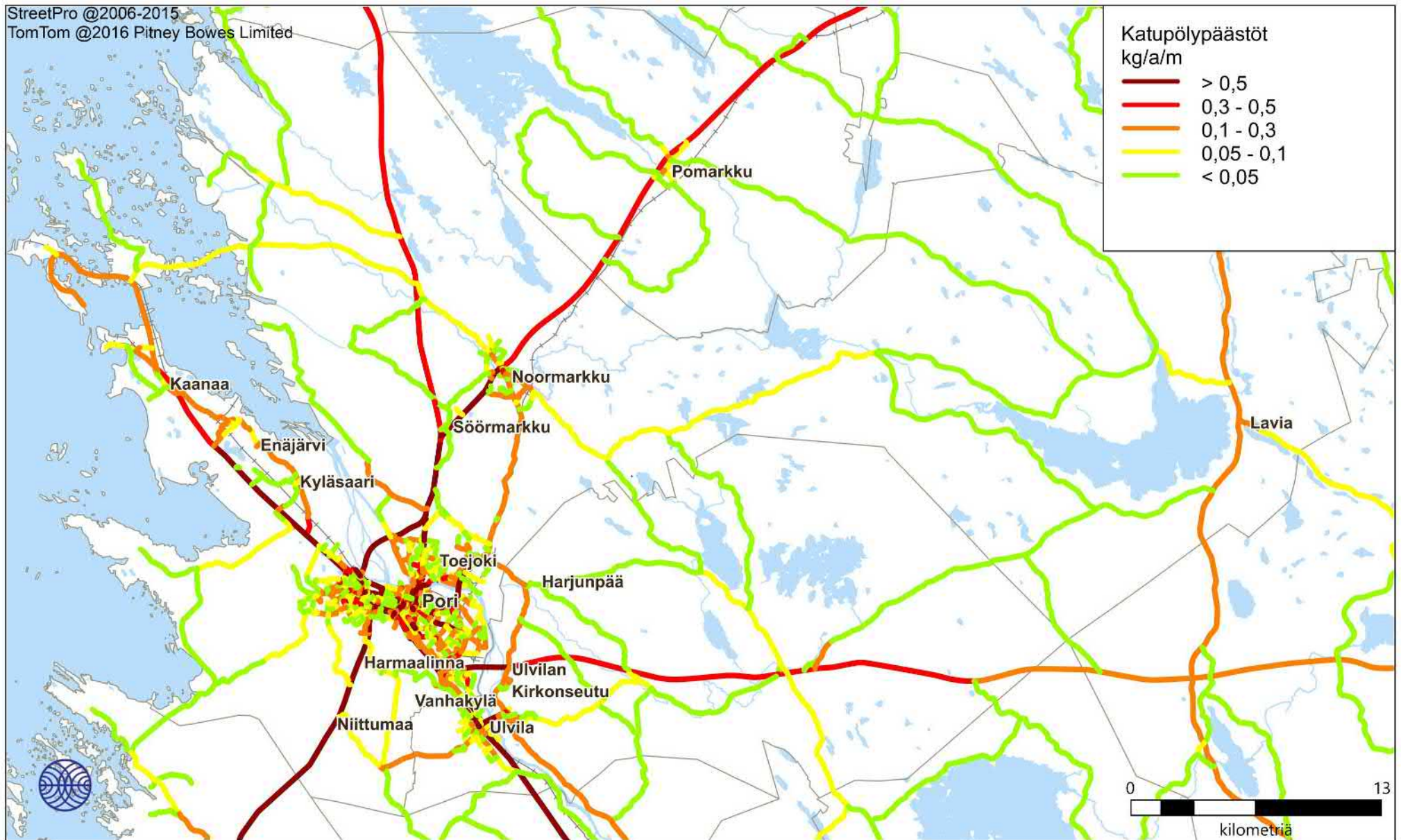
Ilmatieteen laitos 2022

Kuva 84. Autoliikenteen pakokaasujen pienhiukkaspäästöt (kg/a/m) vuonna 2019.



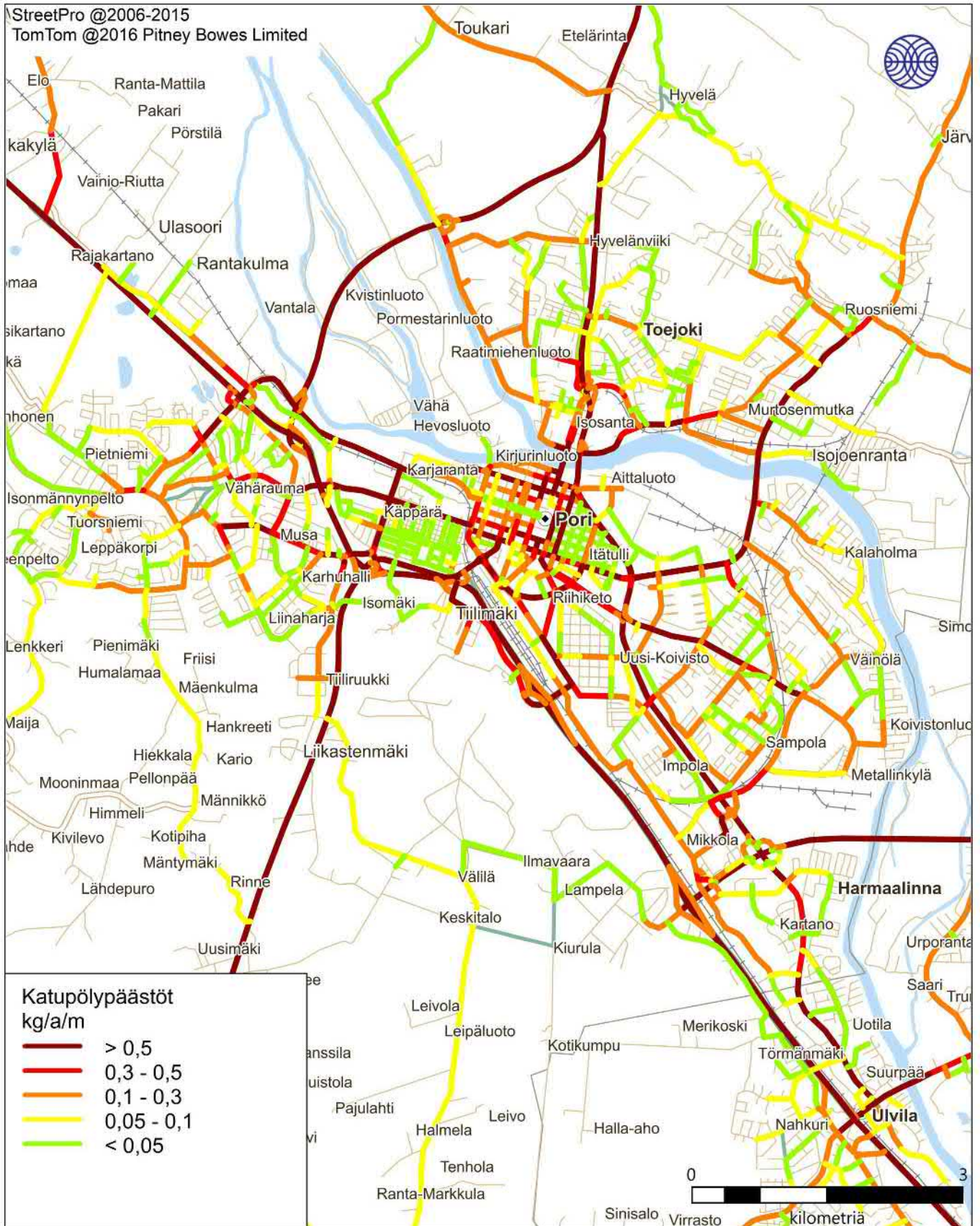
Ilmatieteen laitos 2022

Kuva 85. Autoliikenteen pakokaasujen pienhiukkaspäästöt (kg/a/m) vuonna 2019.

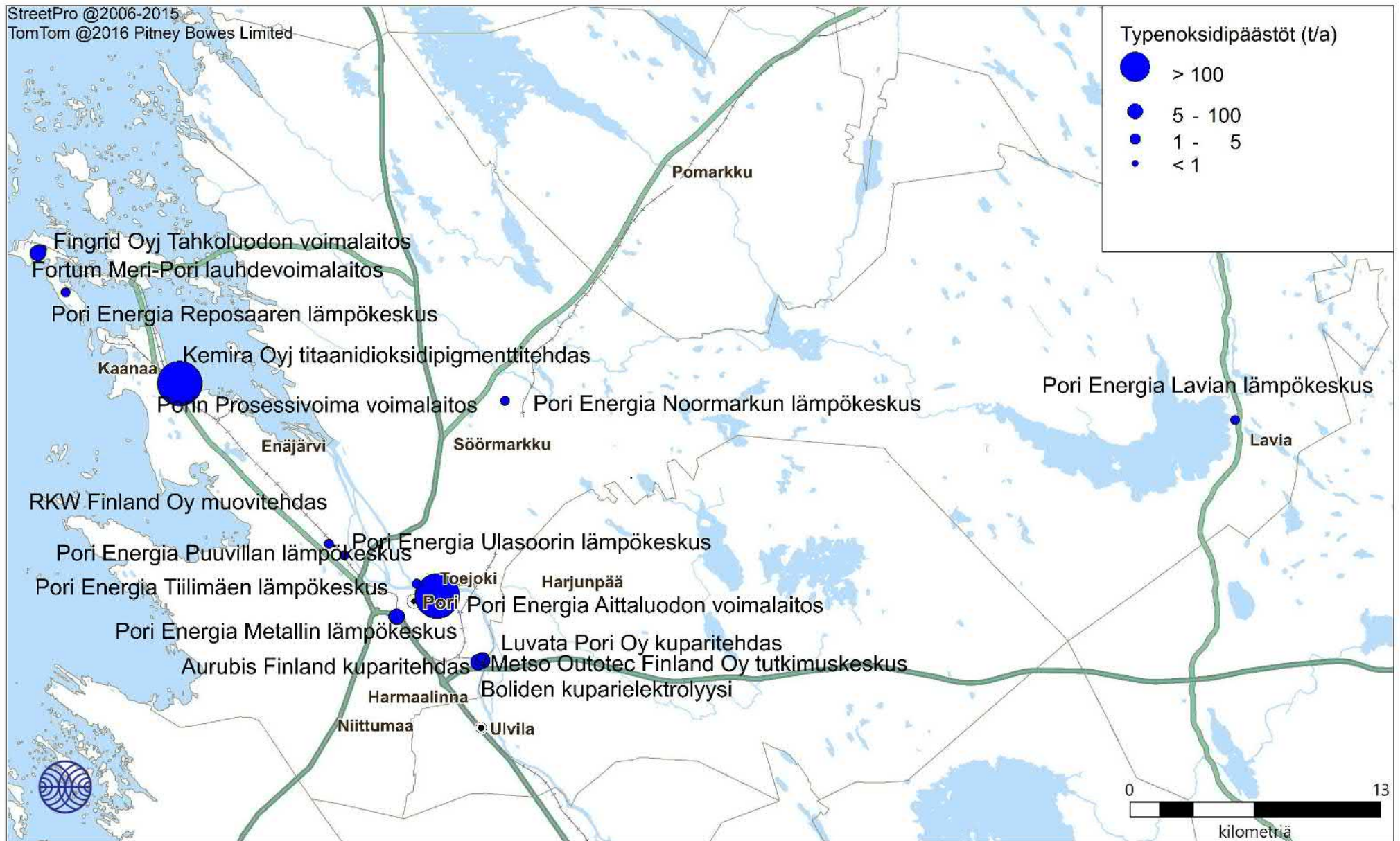


Ilmatieteen laitos 2022

Kuva 86. Autoliikenteen katupölypäästöt (kg/a/m) vuonna 2019.

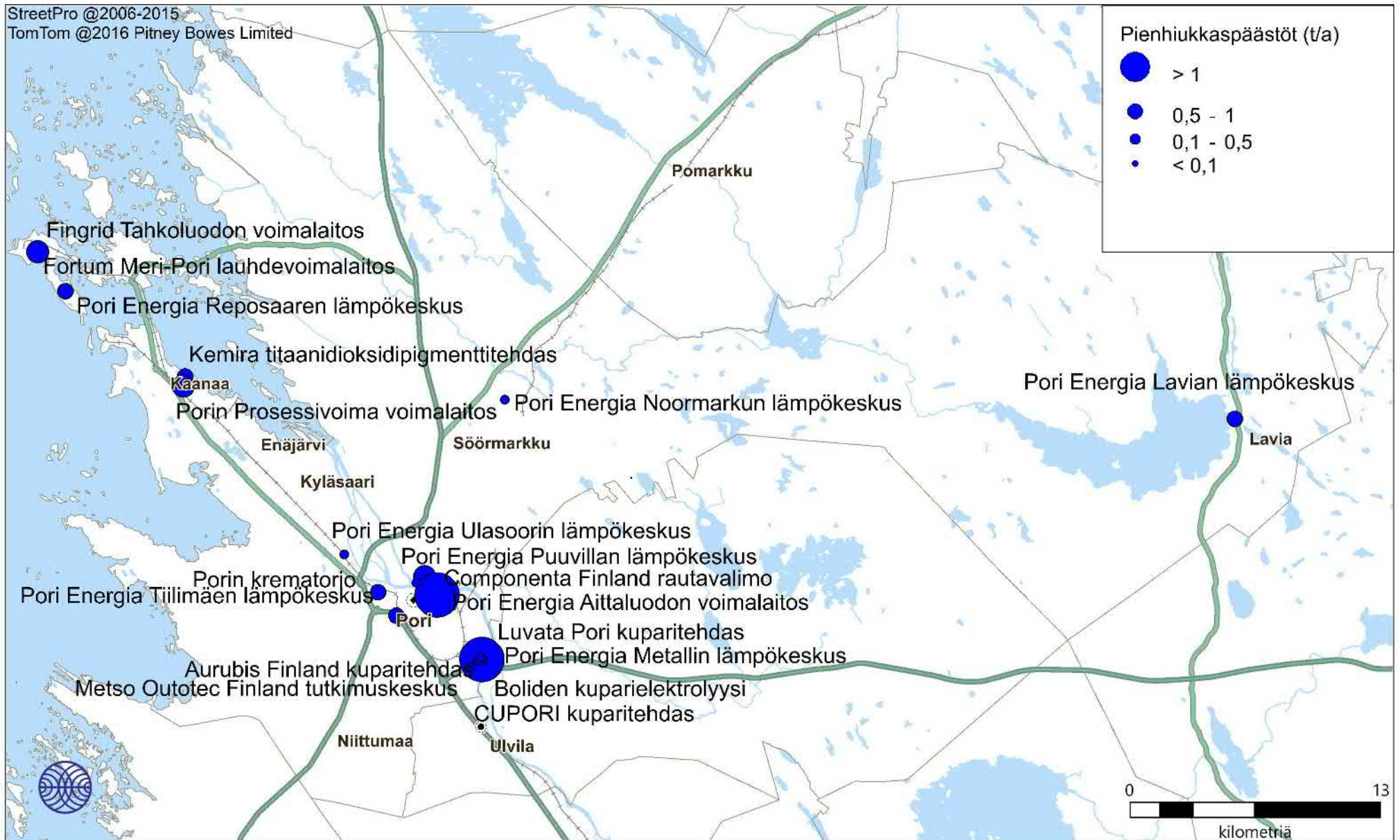


Kuva 87. Autoliikenteen katupölypäästöt (kg/a/m) vuonna 2019.



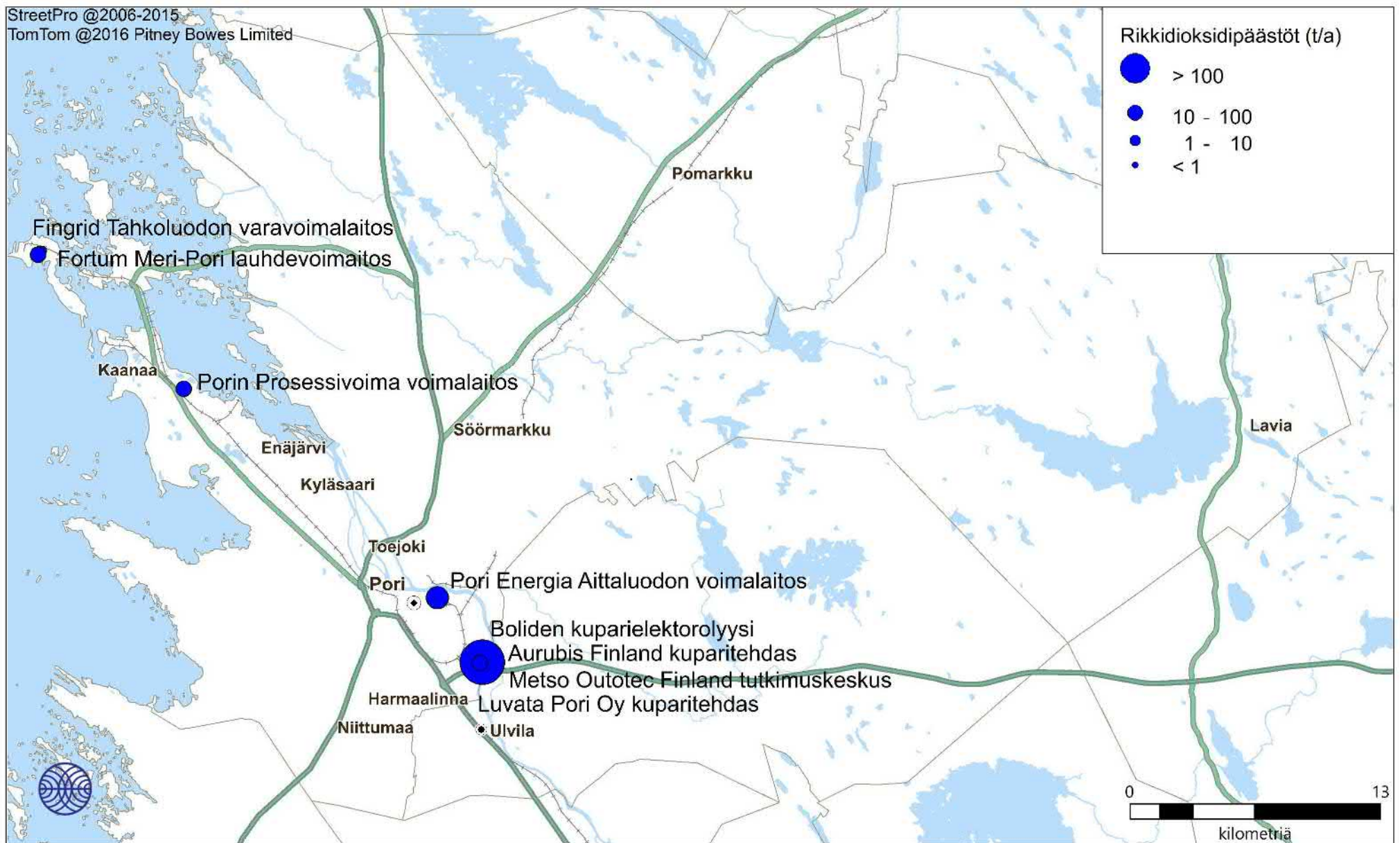
Ilmatieteen laitos 2022

Kuva 88. Energiantuotannon ja teollisuuden typenoksidipäästöt (t/a) vuonna 2020.



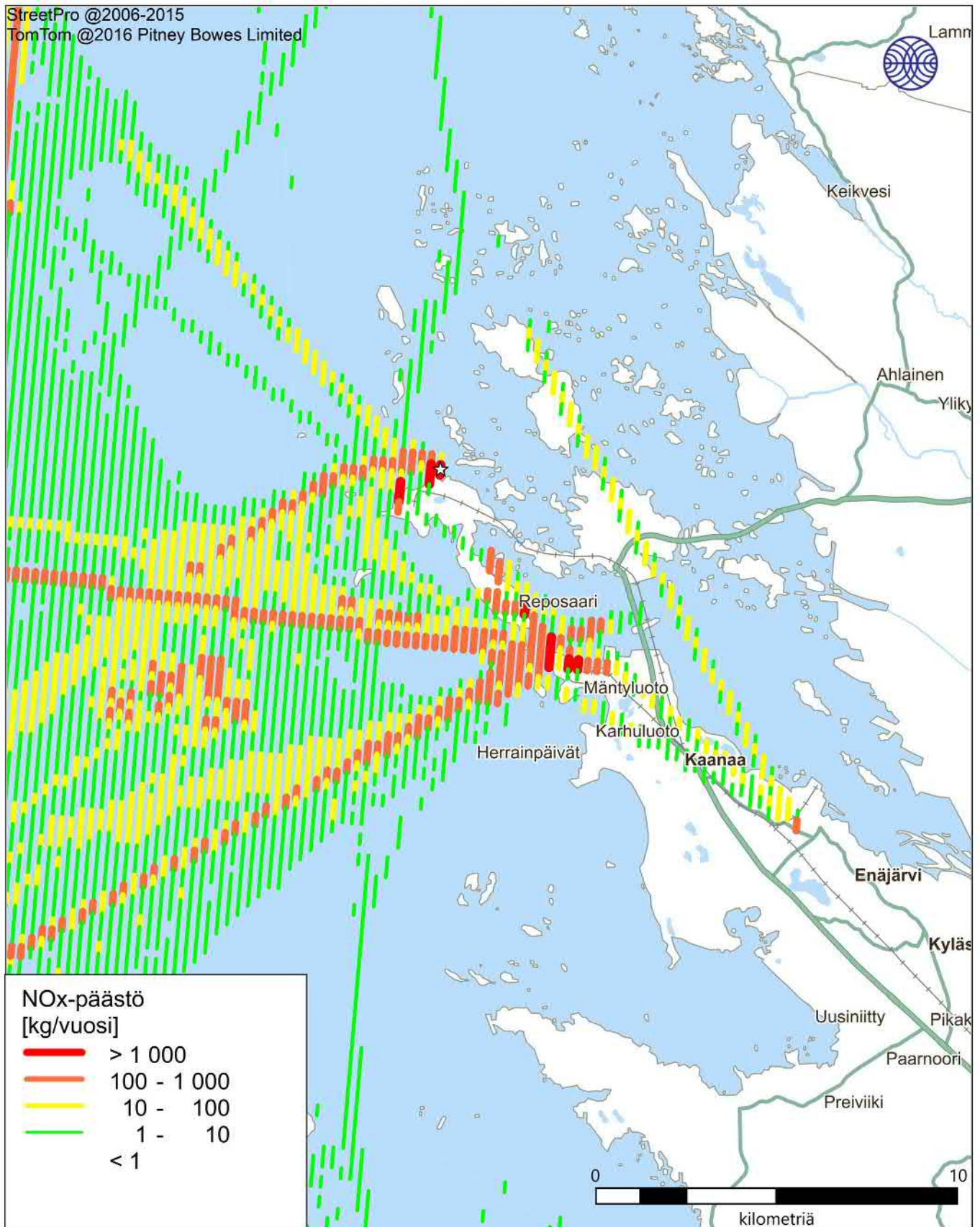
Ilmatieteen laitos 2022

Kuva 89. Energiantuotannon ja teollisuuden hiukkaspäästöt (t/a) vuonna 2020.



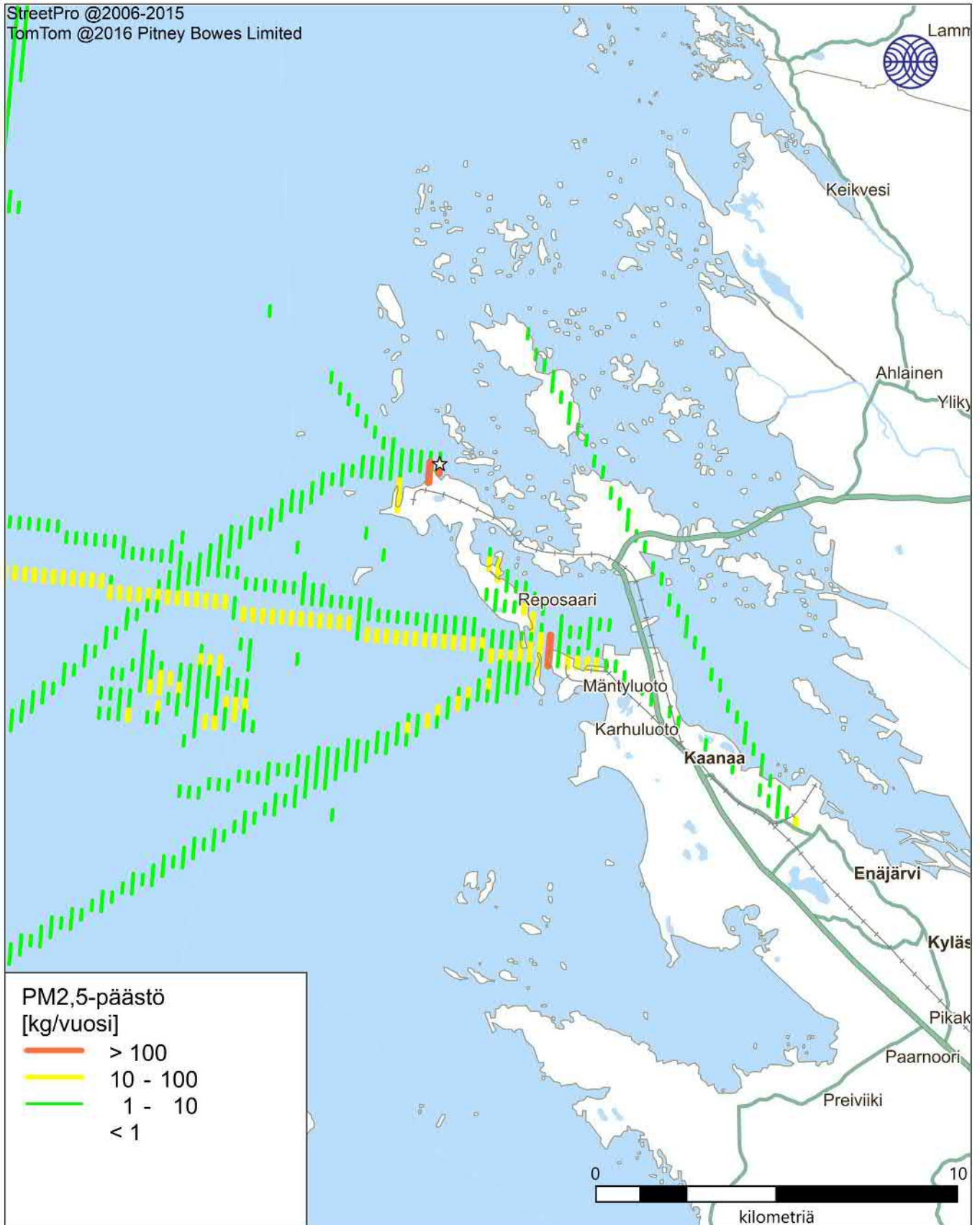
Ilmatieteen laitos 2022

Kuva 90. Energiantuotannon ja teollisuuden rikkidioksidipäästöt (t/a) vuonna 2020.



Ilmatieteen laitos 2022

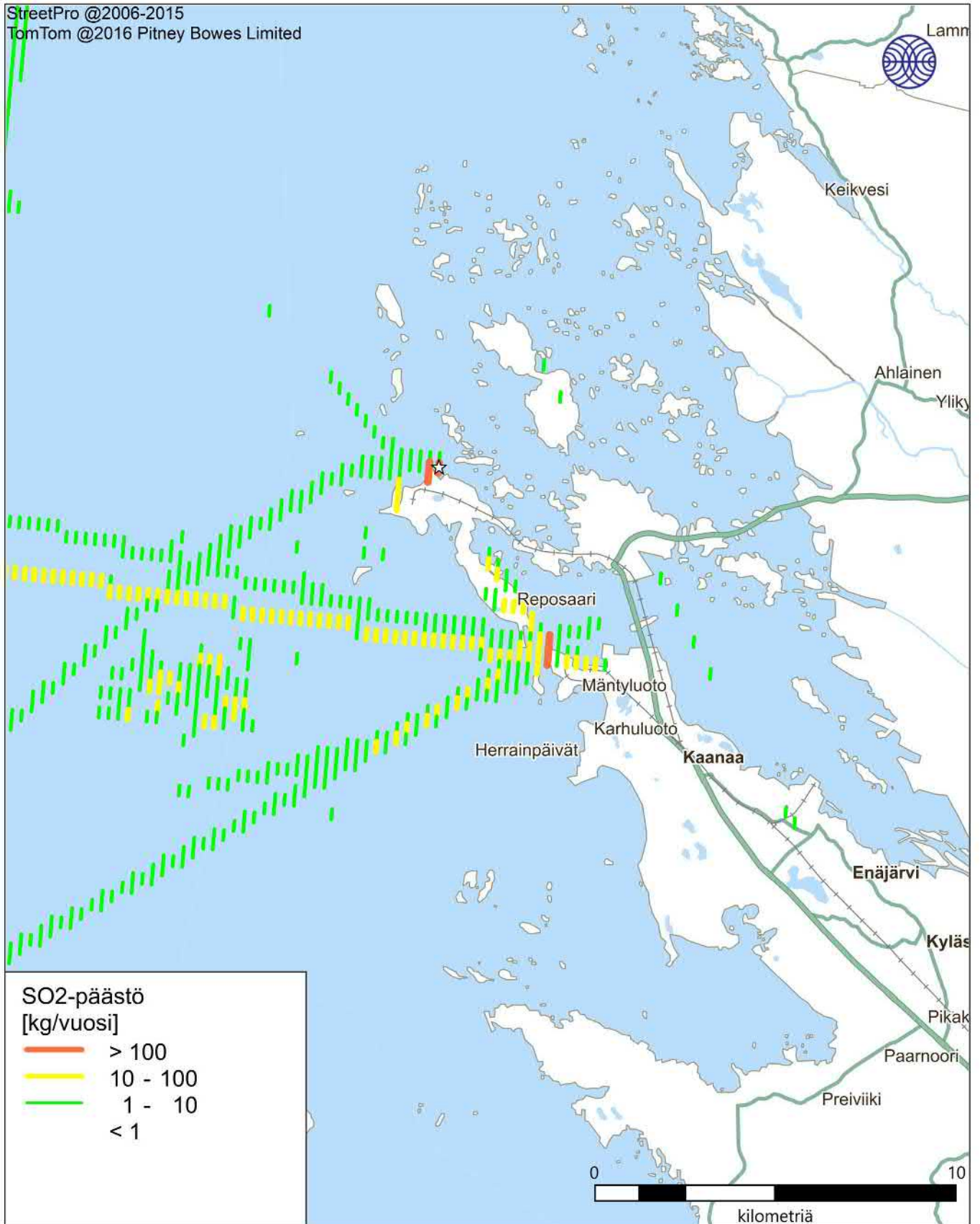
Kuva 91. Laivaliikenteen typenoksidipäästöt (kg/a) vuonna 2019.



Ilmatieteen laitos 2022

☆ = maksimi = 407 kg/vuosi

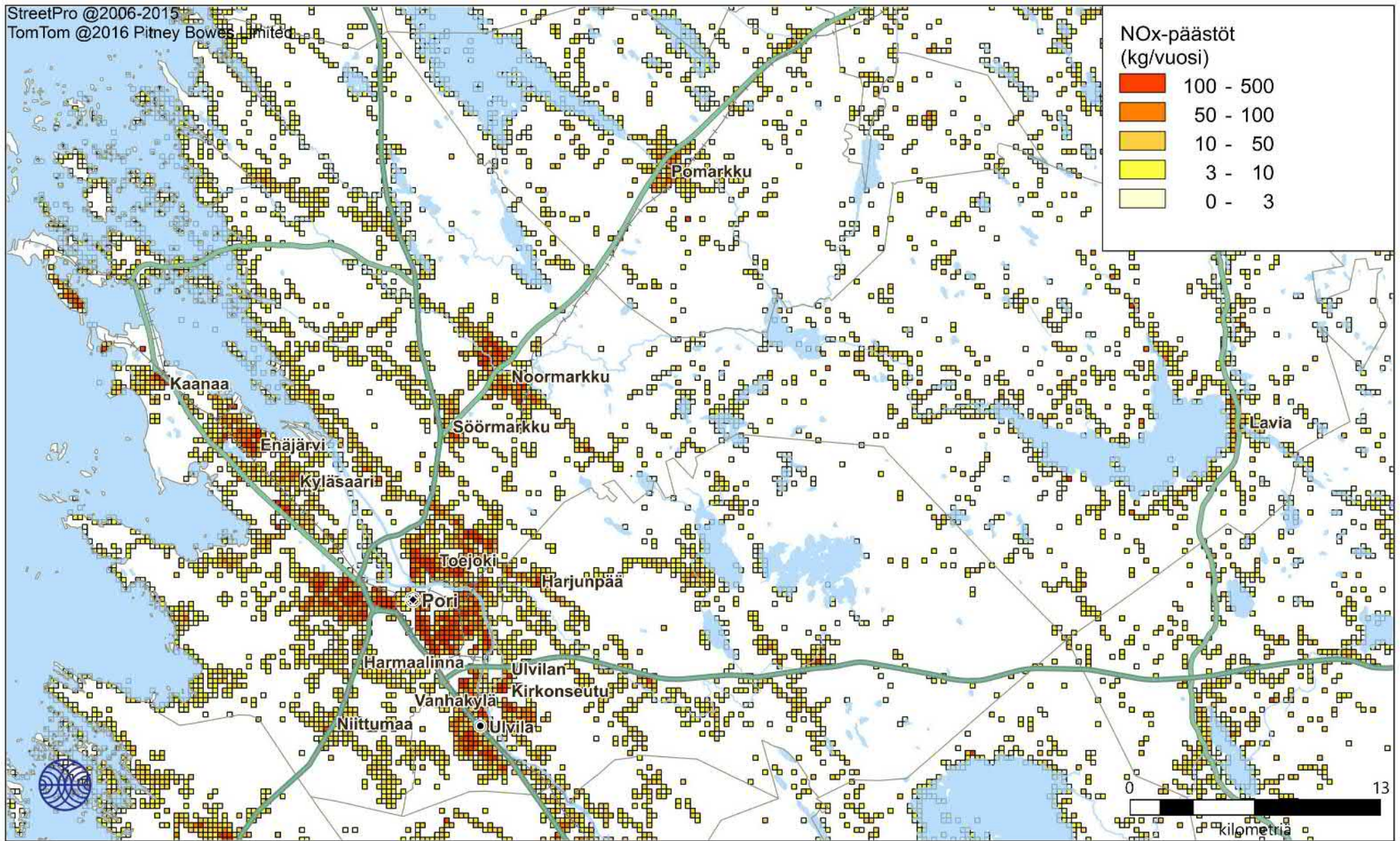
Kuva 92. Laivaliikenteen pienhiukkaspäästöt (kg/a) vuonna 2019.



Ilmatieteen laitos 2022

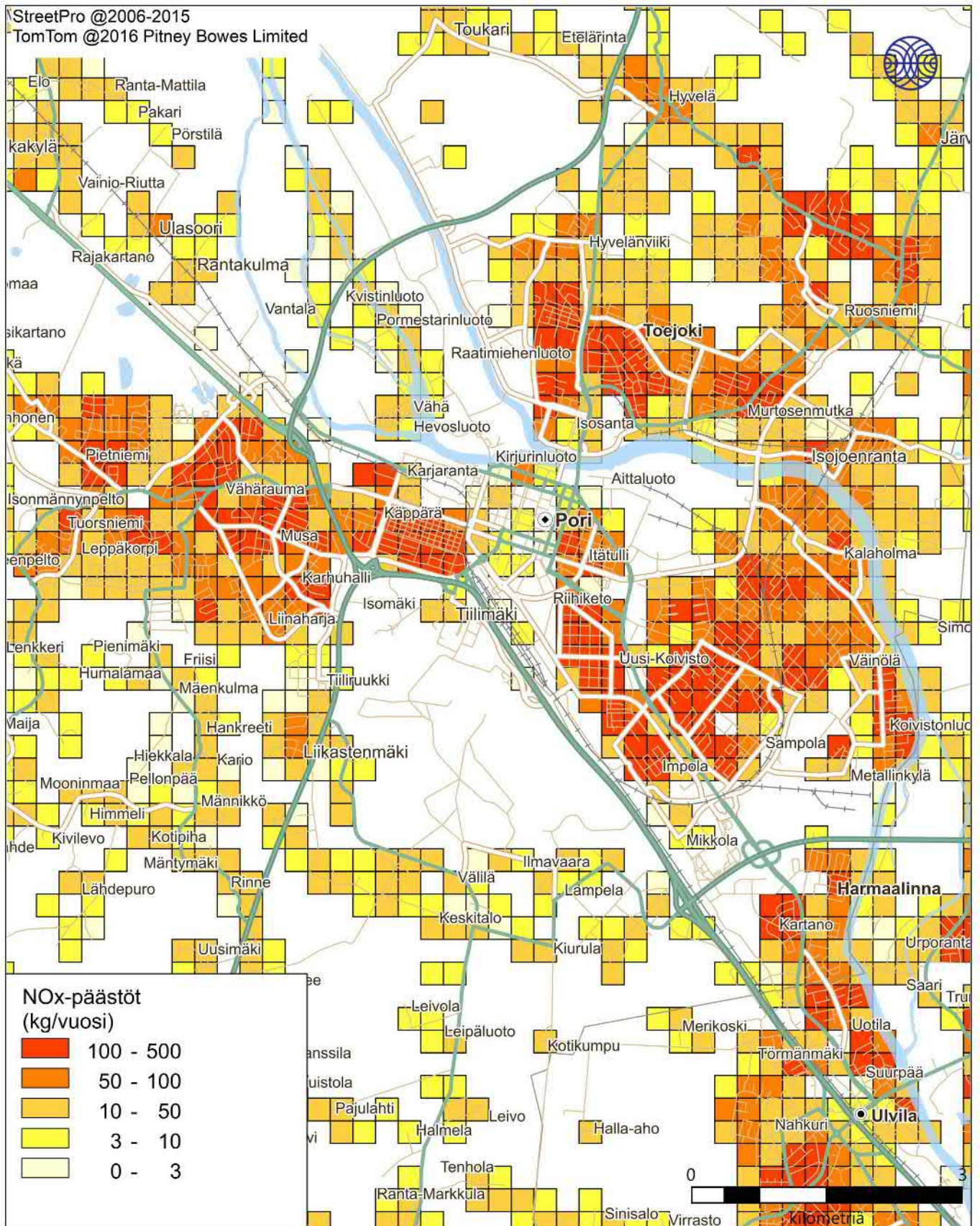
☆ = maksimi = 412 kg/vuosi

Kuva 93. Laivaliikenteen rikkidioksidipäästöt (kg/a) vuonna 2019.

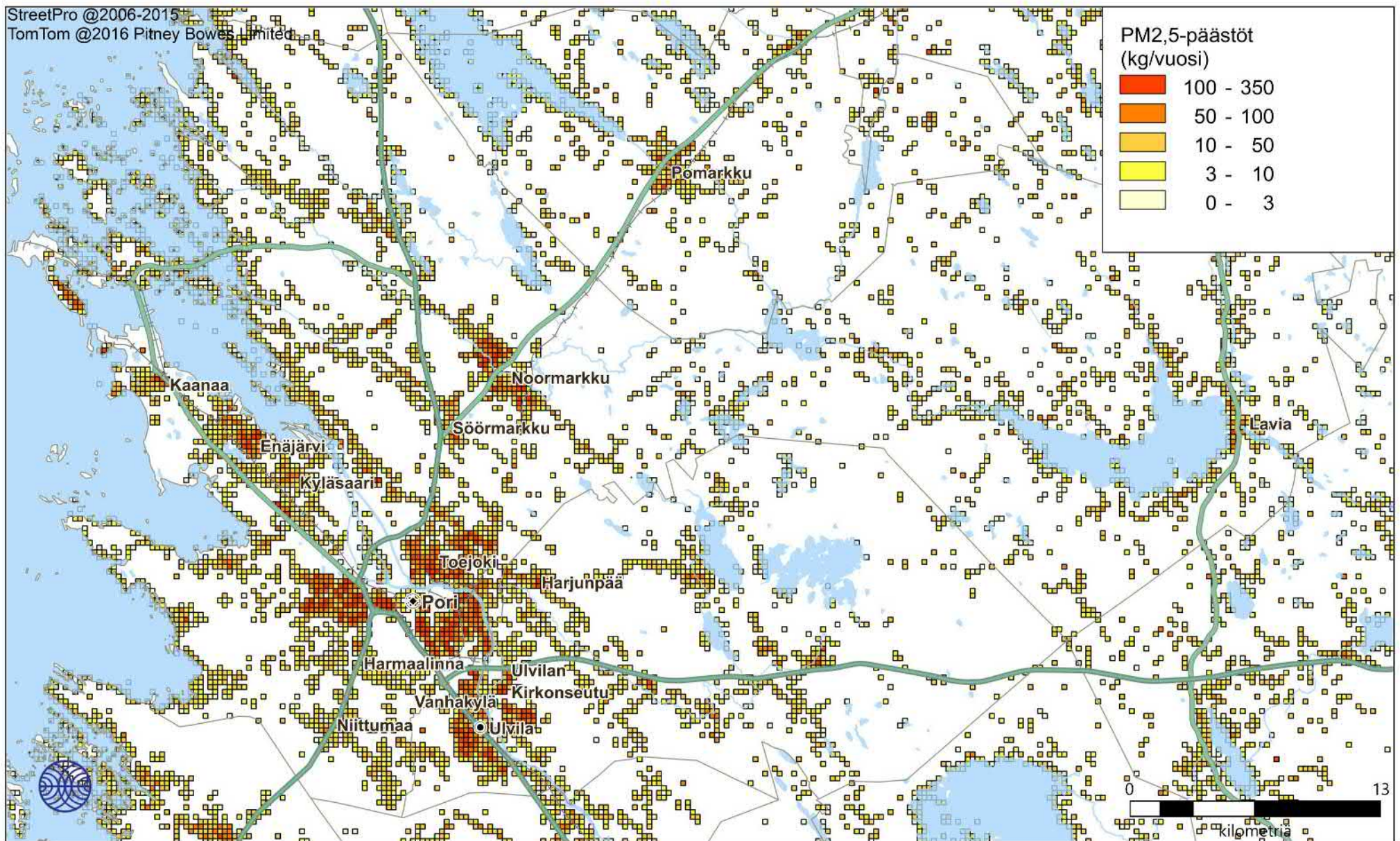


Ilmatieteen laitos 2022

Kuva 94. Kiinteistökohtaisen lämmityksen typenoksidipäästöt (kg/a) vuonna 2015.

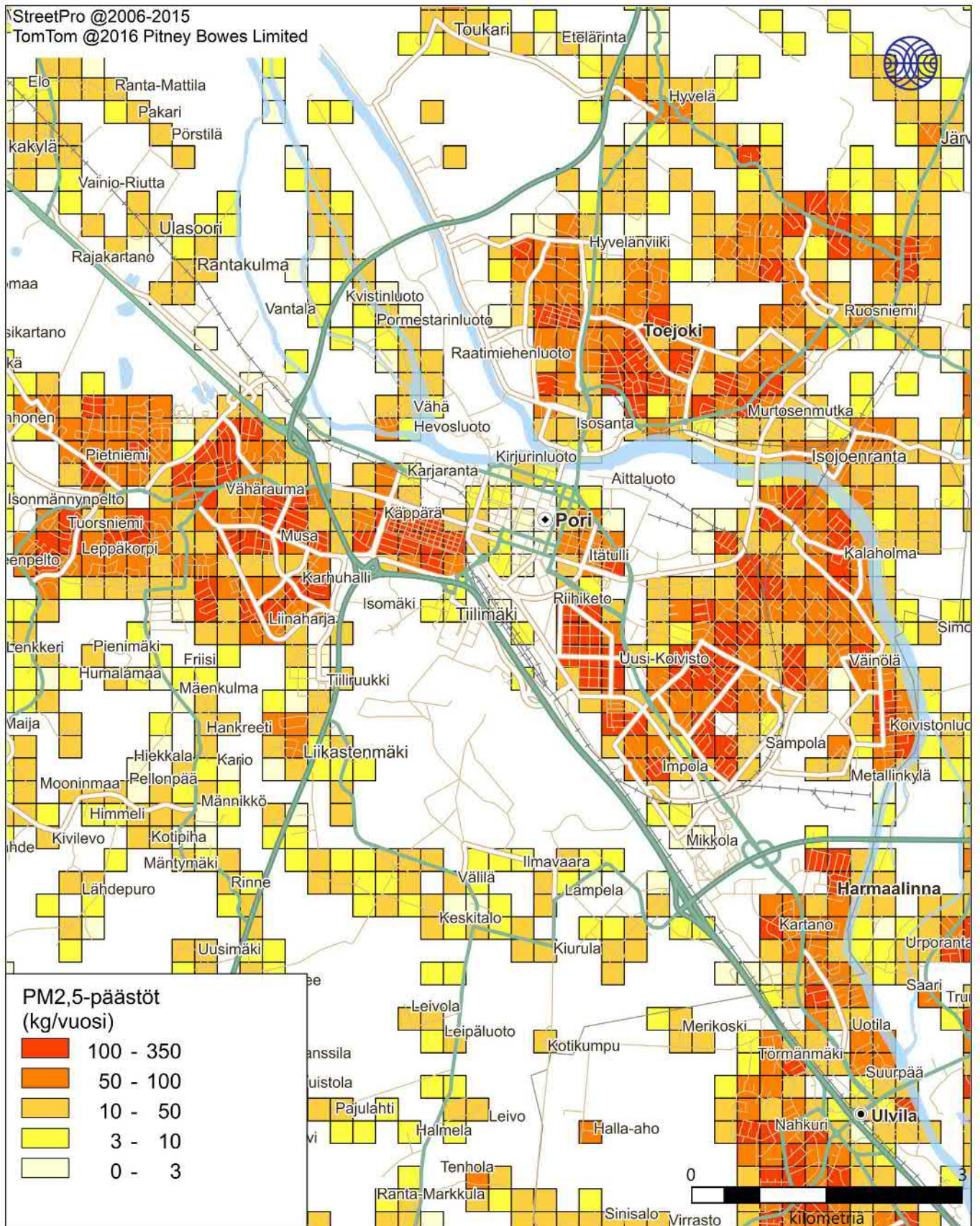


Kuva 95. Kiinteistökohtaisen lämmityksen typenoksidipäästöt (kg/a) vuonna 2015.



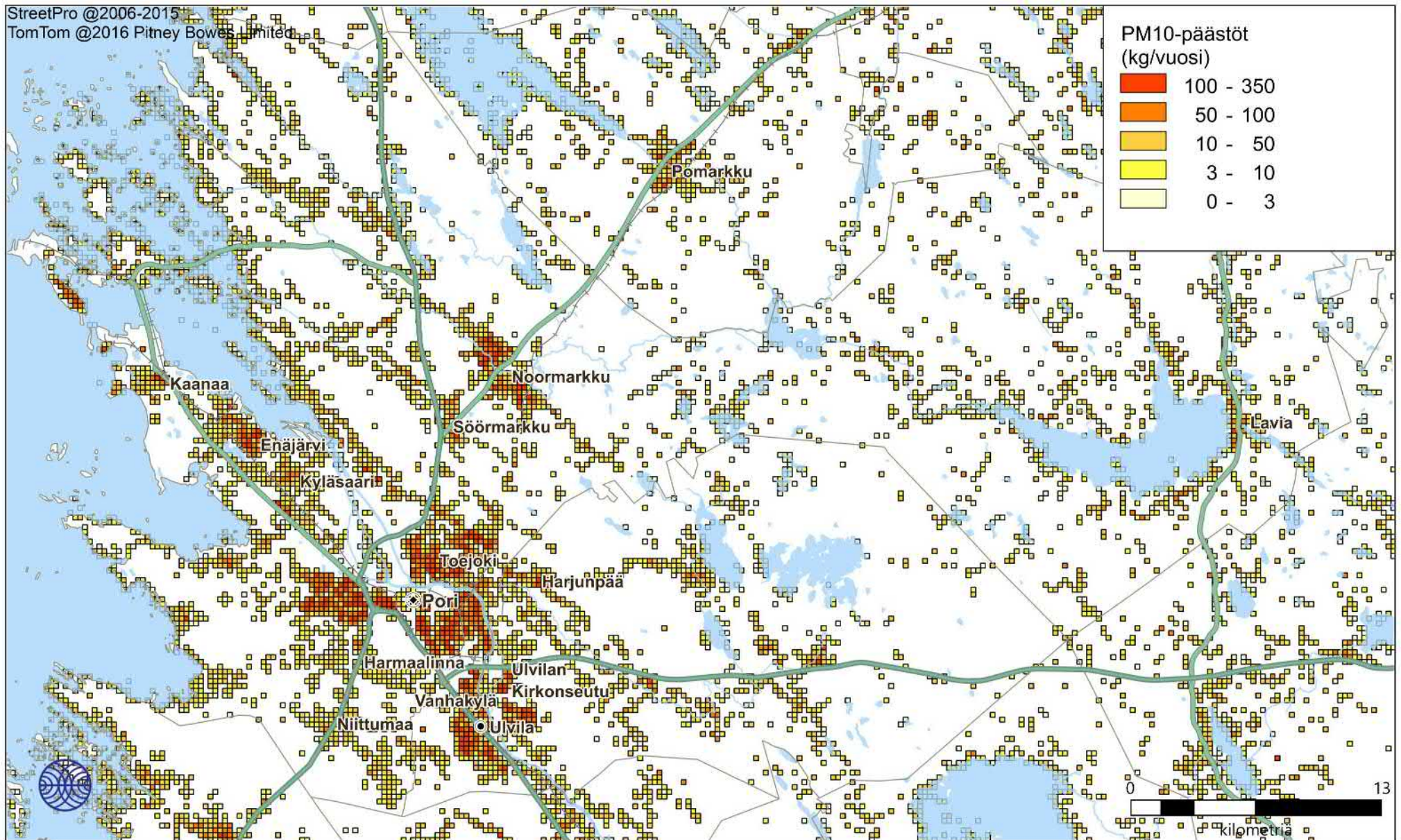
Ilmatieteen laitos 2022

Kuva 96. Kiinteistökohtaisen lämmityksen pienhiukkaspäästöt (kg/a) vuonna 2015.

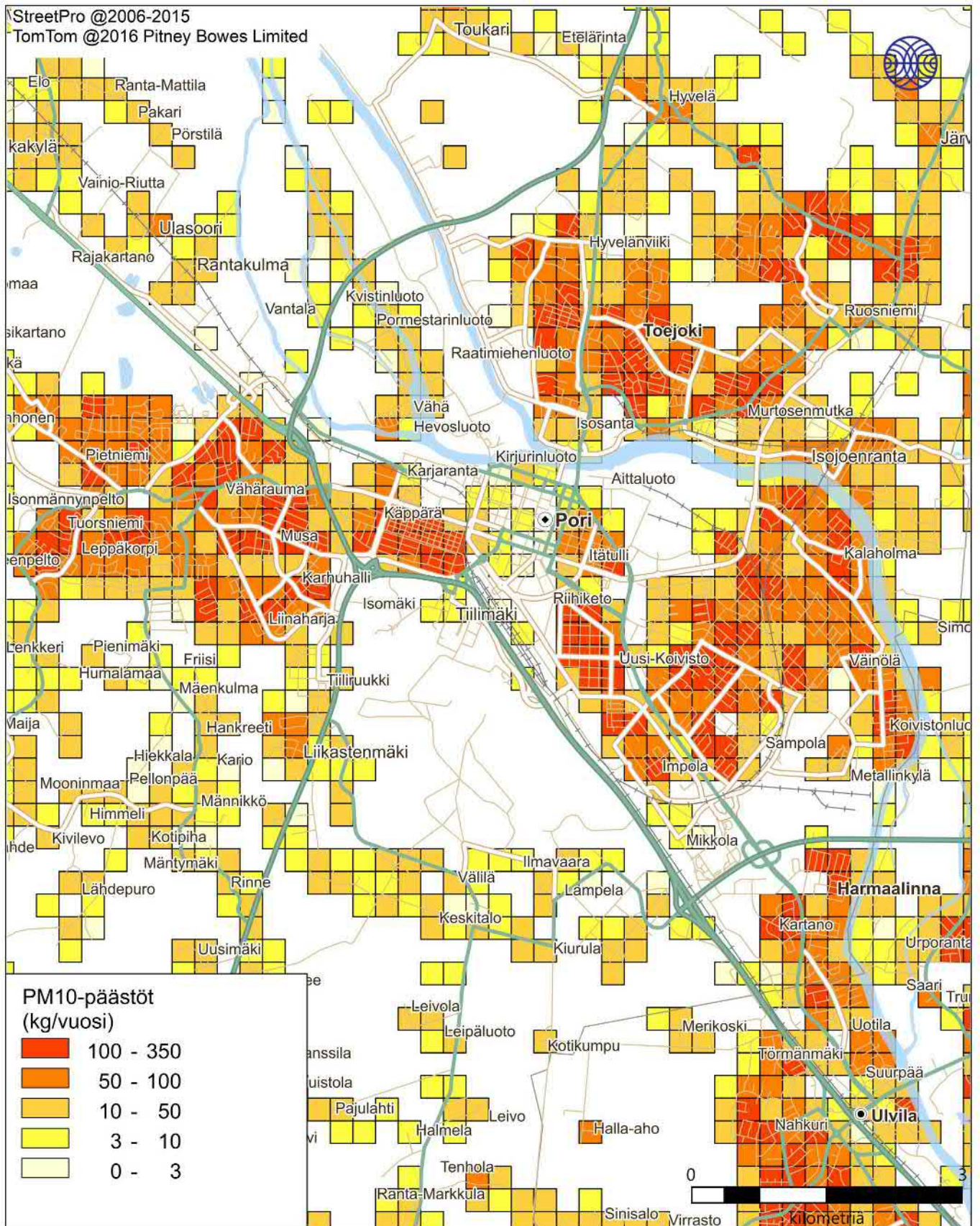


Ilmatieteen laitos 2022

Kuva 97. Kiinteistökohtaisen lämmityksen pienhiukkaspäästöt (kg/a) vuonna 2015.

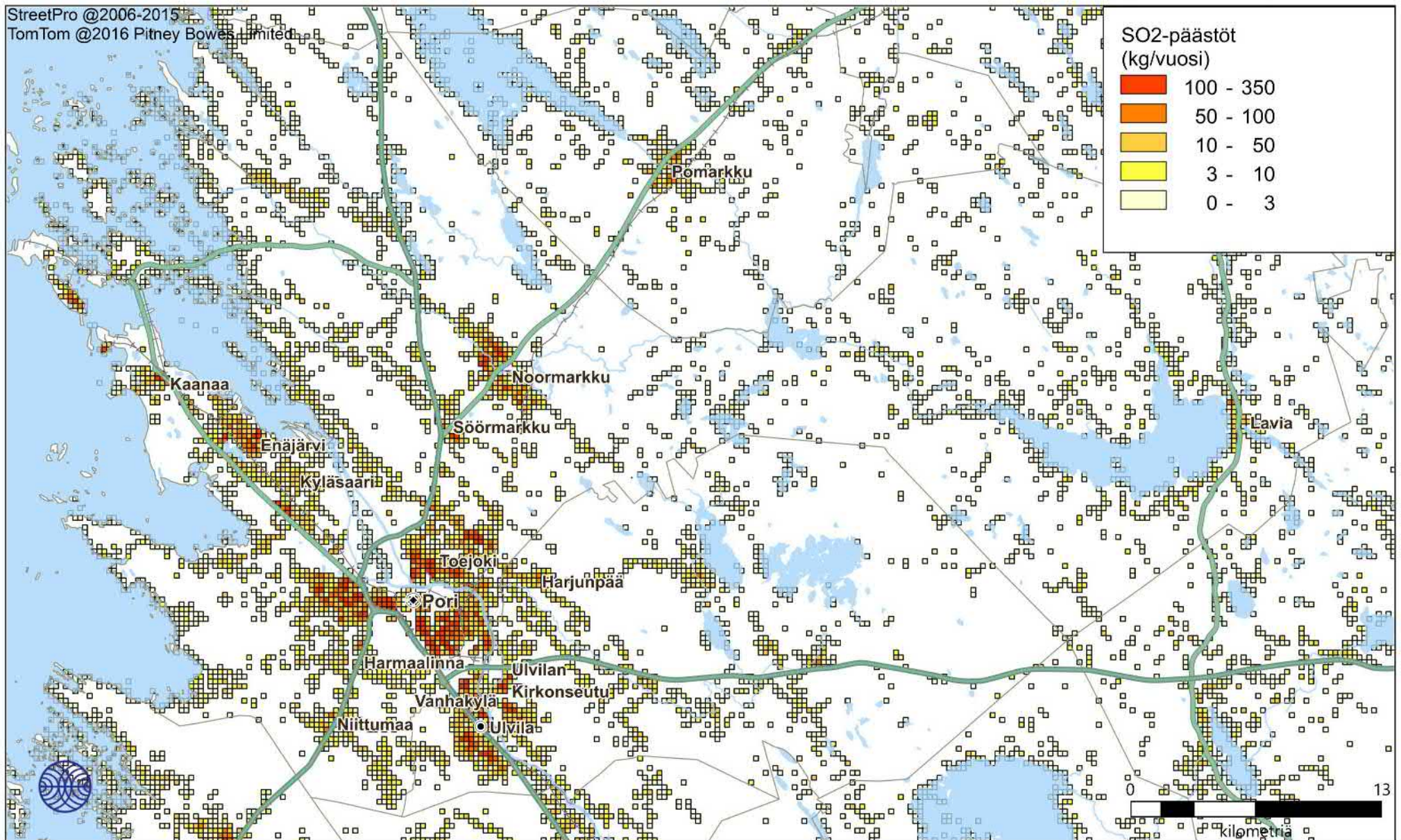


Kuva 98. Kiinteistökohtaisen lämmityksen hengitettävien hiukkasten päästöt (kg/a) vuonna 2015.



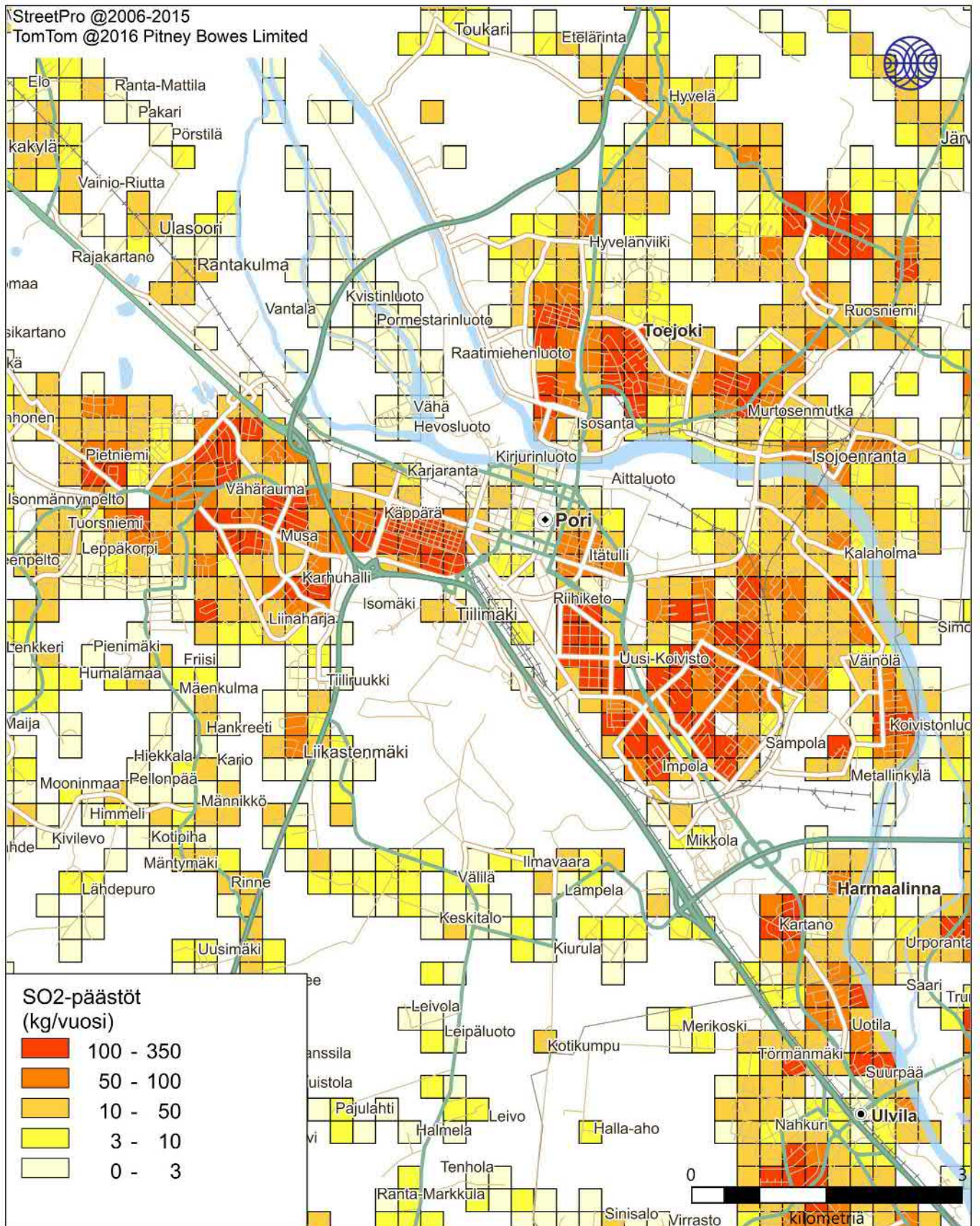
Ilmatieteen laitos 2022

Kuva 99. Kiinteistökohtaisen lämmityksen hengitettävien hiukkasten päästöt (kg/a) vuonna 2015.



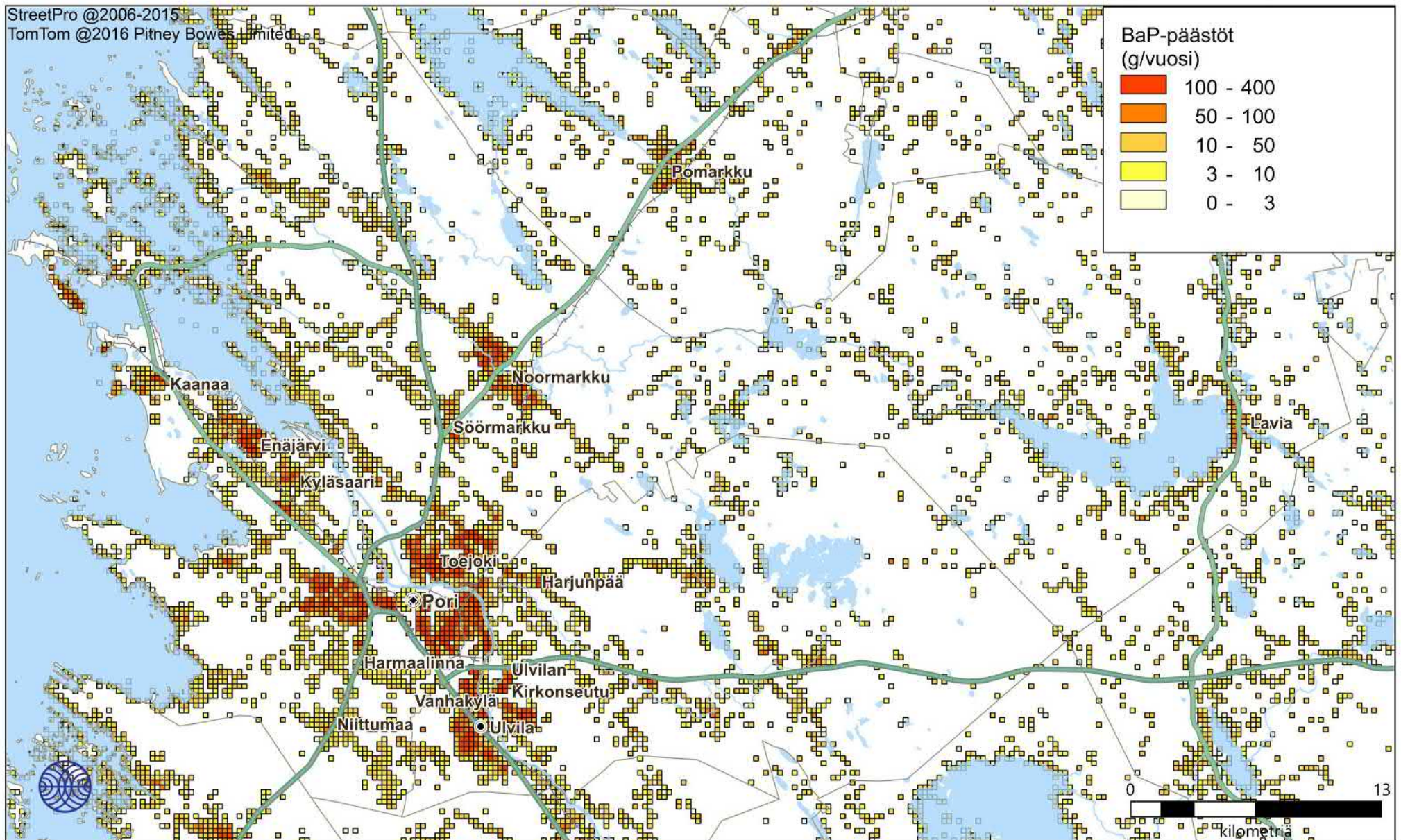
Ilmatieteen laitos 2022

Kuva 100. Kiinteistökohtaisen lämmityksen rikkidioksidipäästöt (kg/a) vuonna 2015.

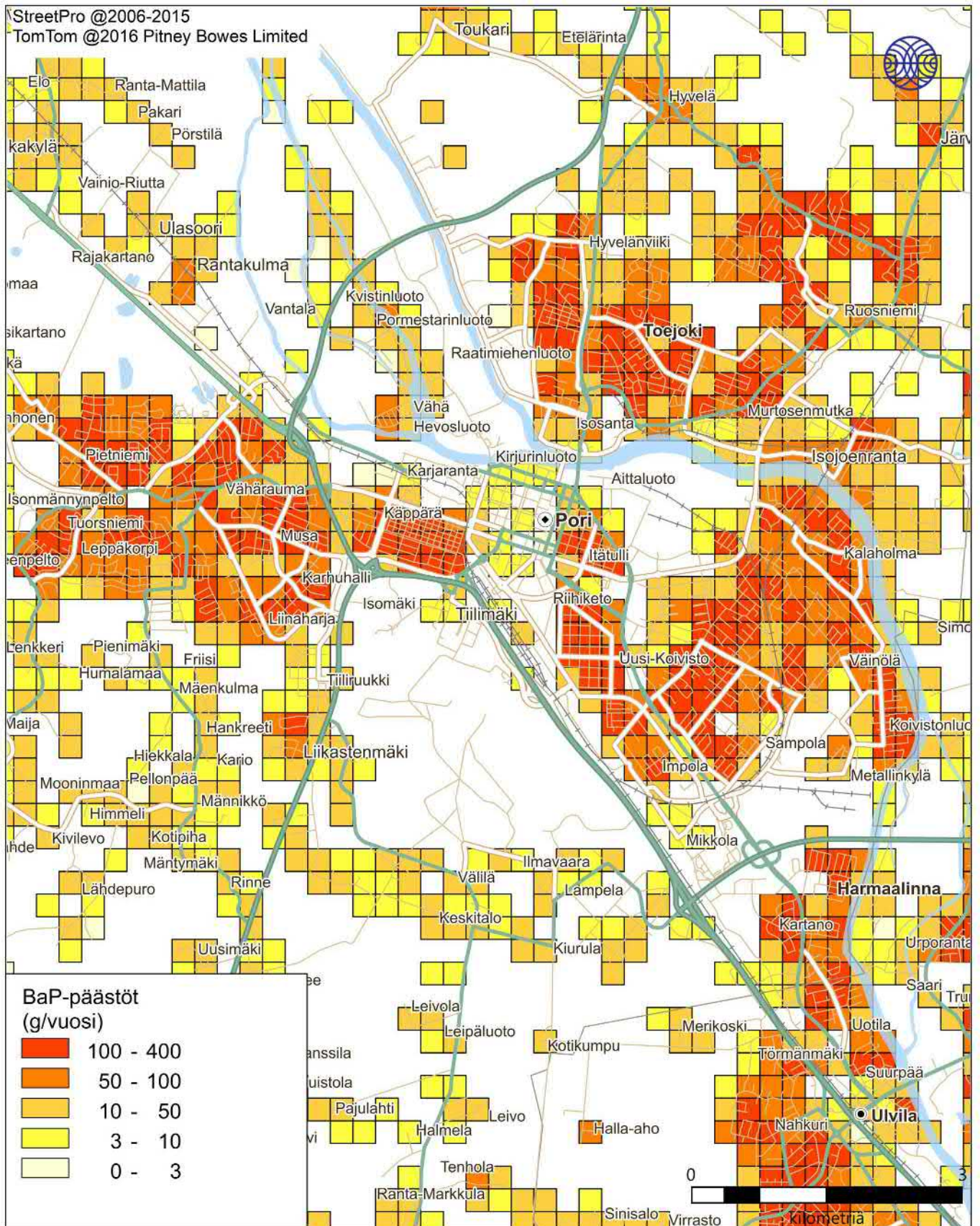


Ilmatieteen laitos 2022

Kuva 101. Kiinteistökohtaisen lämmityksen rikkidioksidipäästöt (kg/a) vuonna 2015.



Kuva 102. Kiinteistökohtaisen lämmityksen bentso(a)pyreenipäästöt (kg/a) vuonna 2015.



Ilmatieteen laitos 2022

Kuva 103. Kiinteistökohtaisen lämmityksen bentso(a)pyreenipäästöt (g/a) vuonna 2015.



ILMATIETEEN LAITOS

ILMATIETEEN LAITOS

puh. 029 539 1000

Ilmanlaatu ja energia

ilmanlaatupalvelut@fmi.fi

www.ilmatieteenlaitos.fi/ilmanlaatupalvelut

WWW.ILMATIETEENLAITOS.FI

