ILMATIETEEN LAITOS

ILMANLAATU JA ENERGIA
2020

TURUN SEUDUN ILMANLAATUSELVITYS

Autoliikenteen, energiantuotannon ja teollisuuden, laivaliikenteen ja asuinrakennusten puunpolton vuoden 2018 päästöjen leviämismallilaskelmat

TURUN SEUDUN ILMANLAATUSELVITYS

AUTOLIIKENTEEN, ENERGIANTUOTANNON JA TEOLLISUUDEN, LAIVALIIKENTEEN JA ASUINRAKENNUSTEN PUUNPOLTON VUODEN 2018 PÄÄSTÖJEN LEVIÄMISMALLILASKELMAT

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

Ilmatieteen laitos
Asiantuntijapalvelut – Ilmanlaatu ja energia
Helsinki 27.3.2020

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ **5**

OSA I **7**

1 JOHDANTO 7

2 LEVIÄMISMALLILASKELMIEN TULOKSET 8

2.1 Typpidioksidi- (NO_2) ja typenoksidipitoisuudet (NO_x) 9

2.1.1 Kaikki päästölähteet 9

2.1.2 Autoliikenne 12

2.1.3 Energiantuotanto ja teollisuus 13

2.1.4 Laivaliikenne 14

2.2 Pienhiukkaspitoisuudet ($PM_{2,5}$) 15

2.2.1 Kaikki päästölähteet 15

2.2.2 Autoliikenne 18

2.2.3 Energiantuotanto ja teollisuus 19

2.2.4 Laivaliikenne 20

2.2.5 Asuinrakennusten puunpoltto 21

2.3 Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet (PM_{10}) 22

2.3.1 Kaikki päästölähteet 22

2.3.2 Autoliikenne 25

2.4 Rikkidioksidipitoisuudet (SO_2) 26

2.4.1 Kaikki päästölähteet 26

2.4.2 Energiantuotanto ja teollisuus 28

2.4.3 Laivaliikenne 29

2.5 Bentso(a)pyreenipitoisuudet 30

2.6 Mallilaskelmien tulosten arviointi 31

2.6.1 Mallinnettujen pitoisuuksien vertailu ilmanlaadun mittaustuloksiin 31

2.6.2 Eri päästölähteiden vaikutus ilmanlaatuun 39

2.6.3 Mallinnettujen pitoisuuksien vertailu aikaisempiin mallituloksiin ... 43

3 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET 47

OSA II **50**

4 TAUSTATIETOA ILMANLAADUSTA 50

4.1 Ilmanlaatuun vaikuttavat tekijät 50

4.2 Typpidioksidi 50

4.3 Rikkidioksidi 51

4.4 Hiukkaset 51

4.5 Bentso(a)pyreeni 53

4.6 Ilman epäpuhtauksien terveysvaikutukset 54

4.7 Ulkoilmanlaadun vertailuarvot 54

5 LEVIÄMISMALLILASKELMIEN LÄHTÖTIEDOT 57

5.1 Mallilaskelmissa huomioidut päästöt 57

5.1.1 Turun seudun kokonaispäästöt 57
5.1.2 Autoliikenteen päästöt 59
5.1.3 Energiantuotannon ja teollisuuden päästöt 62
5.1.4 Laivaliikenteen päästötiedot 65
5.1.5 Asuinrakennusten puunpolton päästöt 66
5.2 Meteorologiset tiedot 70
5.3 Taustapitoisuudet 71
5.4 Laskentapisteikkö 71
6 LEVIÄMISMALLILASKELMISSA KÄYTETYT MENETELMÄT 72
6.1 Pitoisuuslaskenta päästöjen leviämismalleilla 72
6.2 Piste- ja pintapäästölähteiden leviämismalli (UDM-FMI) 73
6.3 Liikenteen päästöjen leviämismalli (CAR-FMI) 74
6.4 Liikenteen suspensiopäästömalli katupölyn mallintamiseen 74
6.5 Laivaliikenteen päästöjen STEAM-malli 75
6.6 Typenoksidipäästöjen ilmakemiamalli 76
6.7 Meteorologisten tietojen käsittelymalli (MPP-FMI) 76

VIITELUETTELO 78

LIITTEET 81
Liitekuvaluettelo 81
Liitekuvat 83

Kansikuva: Antti Wemberg

TIIVISTELMÄ

Ilmanlaatuselvityksessä arvioitiin Turun seudun autoliikenteen, energiantuotannon, teollisuuden, laivaliikenteen ja asuinrakennusten puunpolton päästöjen ilmanlaatuvaikutuksia. Leviämismallilaskelmien avulla tarkasteltiin ulkoilman typpidioksidin, typen oksidien, pienhiukkasten, hengitettävien hiukkasten, rikkidioksidin ja bentso(a)pyreenin pitoisuuksia sekä niiden alueellista jakautumista. Mallinnustulosten perusteella arvioitiin myös eri päästölähteiden vaikutusta ilmanlaatuun. Tuloksina saatuja ulkoilman pitoisuuksia verrattiin lainsäädännössä määriteltyihin ilmanlaadun vertailuarvoihin.

Päästöjen leviämismallilaskelmissa käytettiin Ilmatieteen laitoksella kehitettyjä leviämis- ja laskentamalleja: piste- ja pintapäästölähteiden leviämismallia UDM-FMI, liikennepäästöjen viivalähdemallia CAR-FMI, katujen pölyämistä kuvaavaa suspensiopäästömallia ja STEAM-laivapäästömallia. Pitoisuudet laskettiin Turun seudun viiden kunnan, eli Kaarinan, Naantalin, Paraisten, Raision ja Turun alueelle. Tarkastelualueen koko oli 60 × 50 km. Mallilaskelmat tehtiin käyttäen vuoden 2018 päästötietoja ja alueen ilmastollisia olosuhteita edustavaa vuosien 2016–2018 meteorologista aineistoa.

Leviämismallin lähtötietoina käytetyt päästötiedot sisältävät suurimman osan Turun seudulla syntyvistä typen oksidien, hiukkasten ja rikkidioksidin sekä bentso(a)pyreenin kokonaispäästöistä. Mallilaskelmissa olivat taustapitoisuuksien lisäksi mukana autoliikenteen pakokaasu- ja katupölypäästöt, energiantuotannon ja teollisuuden päästöt, laivaliikenteen päästöt sekä asuinrakennusten puunpolton päästöt. Autoliikenteen pakokaasupäästöt laskettiin käyttäen Euroopan ympäristöviraston määrittämiä nopeudesta ja ajoneuvojen EURO-päästöluokista riippuvia ajoneuvotyyppikohtaisia päästökertoimia sekä tillajatahojen toimittamia liikennemäärätietoja ja aikavaihtelutietoja alueelta. Energiantuotannon ja teollisuuden lähtötiedot kerättiin suoraan toiminnanharjoittajilta. Laivaliikenteen päästöt laskettiin STEAM-laivapäästömallilla, joka hyödyntää mm. laivojen automaattisesta kulunvalvonnasta saatuja paikkatietoja päästöjen laskennassa. Puunpolton päästölaskelmat pohjautuivat Turun seudun pientalojen asukkaille vuonna 2019 teetettyyn kyselyaineistoon puun käytöstä lämmityksessä sekä Suomen ympäristökeskuksen ja Helsingin seudun ympäristöpalvelut HSY:n tuottamiin tulisijakohtaisiin päästökertoimiin.

Leviämismallilaskelmien tulosten mukaan typpidioksidin kokonaispitoisuudet voivat ylittää ilmanlaadun raja-arvot vilkkaimmilla risteysalueilla ja ohjearvot Turun keskustan vilkkaimpien teiden varsilla. Typpidioksidipitoisuudet ovat lähellä vuorokausiohjearvotasoa koko Turun ydinkeskustan alueella, Raision keskustan alueella ja suurimpien väylien varsilla, esim. Turun kehätien varrella. Autoliikenteen päästöillä on merkittävin vaikutus typpidioksidin ja typen oksidien pitoisuustasoihin.

Pienhiukkasten vuosikeskiarvopitoisuudet alittavat raja-arvon selvästi koko Turun seudulla. Pienhiukkaspitoisuudet ovat suurimmillaan vilkkaimpien liikenneväylien varrella. Hetkelliset pienhiukkaspitoisuudet ovat leviämismallilaskelmien mukaan korkeimmillaan hyvin lähellä WHO:n ohjearvotasoa Turun keskustan vilkkaimpien väylien varressa ja risteysalueilla ja ylittävät ohjearvon yksittäisissä laskentapisteissä risteysalueella. Suurin vaikutus pienhiukkaspitoisuustasoihin on taustapitoisuudella, mistä merkittävä osa koostuu kaukokulkeutuneista pienhiukkasista.

Hengitettävien hiukkasten vuosikeskiarvopitoisuudet alittavat Turun seudulla vuosiraja-arvon selvästi. Vuorokausipitoisuudet ylittävät hengitettäville hiukkasille annetun ohjearvon ja raja-arvon Turun keskustan vilkkaimpien risteyksien alueella. Naantalin, Raision, Kaarinan ja Paraisten keskustojen alueella hengitettävien hiukkasten vuorokausiraja-arvo ei mallilaskelmien mukaan ylity, mutta vuorokausipitoisuudet voivat kaikkien keskustojen alueella ylittää raja-arvotason 50 µg/m³ yhden tai useamman kerran vuoden aikana. 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 vuosikeskiarvon kriittisen tason. Suurin paikallinen vaikutus rikkidioksidipitoisuuksiin on energiantuotannolla ja teollisuudella ja korkeimmat pitoisuudet havaitaan lähellä laitoksia.

Bentso(a)pyreenin mallilaskelmissa on huomioitu ainoastaan asuinrakennusten puunpolton aiheuttamat päästöt ja alueellista taustapitoisuutta ei ole huomioitu. Bentso(a)pyreenin vuosikeskiarvo ylittää sille asetetun tavoitearvon tiheään asutuilla pientaloalueilla Turun keskustan ruutukaava-alueen ulkopuolella sekä Paraisten keskustan alueella. Bentso(a)pyreenin ylempi arviointikynnys ylittyy kaikkien Turun seudun kaupunkien keskusta-alueilla.

Leviämismallilaskelmien tuloksia verrattiin Turun seudun ilmanlaadun mittausasemien vuosien 2016–2018 mittaustuloksiin. Mallinnuksen ja mittausten epävarmuudet huomioiden voidaan arvioida typpidioksidin, pienhiukkasten ja hengitettävien hiukkasten sekä rikkidioksidin malli- ja mittaustulosten vastaavan pääosin hyvin toisiaan ja mallitulosten täyttävän mallintamisen epävarmuudelle asetetut laatutavoitteet. Mallitulokset edustavat siten hyvin tarkastelualueen alueellista ilmanlaatua. Turun seudulla ei mitata bentso(a)pyreenin pitoisuuksia.

Mallilaskelmien tulosten perusteella voidaan arvoida, että ilmanlaatu Turun seudulla on pääsääntöisesti hyvää. Pitoisuudet pienentyvät nopeasti etäisyyden kasvaessa vilkkaimmista liikenneväylistä, energiantuotanto- ja teollisuuslaitoksista ja satama-alueilta. Alueen ilmanlaatuun vaikuttavat merkittävimmin autoliikenteen typenoksidi- ja pienhiukkaspäästöt, katupöly, asuinrakennusten puunpoltto sekä pienhiukkasten kaukokulkeuma. Energiantuotantolaitosten ja teollisuuden päästöjen vaikutus ilmanlaatuun on pieni. Laitosten päästöt vapautuvat pääsääntöisesti korkeista piipuista, jolloin ne leviävät ja laimenevat tehokkaasti eivätkä heikennä ilmanlaatua hengityskorkeudella.

Kuva: Jatta Salmi

OSA I

1 JOHDANTO

Ilmanlaatuselvityksen tarkoituksena oli hankkia leviämismallilaskelmien avulla tietoa Turun seudun ilmanlaadusta, sen alueellisesta vaihtelusta ja eri päästölähteiden vaikutuksesta ilmanlaatuun. Selvityksessä arvioitiin autoliikenteen, energiantuotannon ja teollisuuden, laivaliikenteen ja asuinrakennusten puunpolton ilmanlaatuvaikutuksia Turun seudun viiden kunnan eli Kaarinan, Naantalin, Paraisten, Raision ja Turun alueilla. Edellinen koko Turun seudun kattava leviämismallilaskelma on tehty vuonna 2009 (*Salmi ym,. 2009*).

Ilmanlaatuvaikutuksia arvioitiin laskennallisesti leviämismallien avulla vuoden 2018 päästöjä kuvaavassa tilanteessa. Mallinnuksessa käytettiin Ilmatieteen laitoksella kehitetettyjä leviämis- ja laskentamalleja: piste- ja pintapäästölähteiden leviämismallia (UDM-FMI), liikennepäästöjen viivalähdemallia (CAR-FMI), katupölypäästöjen suspensiopäästömallia ja STEAM-laivapäästömallia. Leviämismallilaskelmien avulla tarkasteltiin Turun seudun typpidioksidin, typen oksidien, pienhiukkasten, hengitettävien hiukkasten, rikkidioksidin ja bentso(a)pyreenin pitoisuuksia ja niiden alueellista jakautumista. Tutkimuksen tuloksena saatuja pitoisuuksia verrattiin ilmanlaadun vertailuarvoihin sekä soveltuvin osin ilmanlaadun mittausten tuloksiin.

Raportin rakenne on kaksiosainen. Ensimmäisessä osassa esitetään leviämismallinnuksen keskeisimmät pitoisuustulokset, 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 Turun seudun ilmansuojelun yhteistyöryhmä, johon kuuluvat kaikki seudun kaupungit sekä alueen suurimmat energiantuotannon ja teollisuuden laitokset sekä satamat. Yhteistyöryhmän jäsenet osallistuivat selvityksen kustannuksiin päästöjensä suhteessa. Päästöjen leviämismallilaskelmat, tulosten tarkastelu ja raportointi tehtiin Ilmatieteen laitoksen Asiantuntijapalvelut -yksikössä vuosina 2019 ja 2020.

Kuva: Jatta Salmi

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 ilmansaasteiden taustapitoisuus. Mallilaskelmissa käytettyjen lähtötietojen oikeellisuutta ja mallitulosten edustavuutta on arvioitu vertaamalla mallilaskelmin saatuja tuloksia ilmanlaadun mittaustuloksiin. Tässä työssä pitoisuuksien muodostumista on arvioitu Turun seudun kunnat kattavalle alueelle (60 × 50 km). Laajalle alueelle tehdyn leviämismallinnuksen tuloksia voidaan käyttää alueellisten ilmanlaatuvaikutusten arvioinnissa.

Leviämismallilaskelmien tuloksina saadut typpidioksidin, typenoksidien, pienhiukkasten, hengitettävien hiukkasten, rikkidioksidin ja bentso(a)pyreenin 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 koko tarkastelualueen kattavat pitoisuuksien tuloskartat ja raportin liitekuvissa on esitetty lähikuvat noin 25 × 20 km alueesta Turun, Naantalin, Raision ja Kaarinan 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- tai ohjearvon ylittymistä. Kartoissa esitetyt pitoisuuksien aluejakaumat eivät edusta koko tutkimusalueella yhtäaikaa vallitsevaa pitoisuustilannetta, vaan ne kuvaavat kuhunkin laskentapisteeseen mallilaskelmissa saatua korkeinta pitoisuutta. Korkeimmat pitoisuudet voivat esiintyä eri laskentapisteissä eri ajanhetkinä.

Vuosikeskiarvopitoisuus kuvaa alueen keskimääräistä ja vallitsevaa ilman epäpuhtaus-pitoisuustasoa parhaiten. Karttakuvissa esitetyt vuosikeskiarvopitoisuudet kuvaavat kolmen vuoden tarkastelujakson (vuodet 2016–2018) korkeinta vuosikeskiarvoa kussakin laskentapisteessä. Hetkelliset pitoisuudet voivat nousta 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 2016–2018) korkeinta vuorokausiohjearvoon verrannollista pitoisuutta kussakin laskentapisteessä.

Taustapitoisuutena käytettiin Ilmatieteen laitoksen Paraisten Utössä sijaitsevan taustailmanlaadun mittausaseman tuloksia. Tarkastelujaksolla 2016–2018 typen oksidien taustapitoisuuden vuosikeskiarvo oli 3,7 µg/m³, rikkidioksidin 0,4 µg/m³, pienhiukkasten 4,4 µg/m³ ja otsonin 66,7 µg/m³ (*Ilmatieteen laitos, 2020*). Kaupunkialueilla tai taajamissa paikalliset päästölähteet nostavat pitoisuudet taustapitoisuustasoa korkeammiksi.

2.1 Typpidioksidi- (NO_2) ja typenoksidipitoisuudet (NO_x)

Korkeimmat typpidioksidipitoisuudet esiintyvät Turun keskustassa ja keskustan sisääntuloväylien varsilla ja risteysalueilla sekä Turun kehätien (E18) varrella. Autoliikenteen päästöillä on merkittävin vaikutus typpidioksidin pitoisuustasoihin. Pitoisuudet pienenevät selvästi, kun etäisyys liikenneväylistä kasvaa. Hetkelliset typpidioksidipitoisuudet ovat korkeimmillaan ruuhka-aikaan liikennemäärien olleessa suurimmillaan ja erityisesti tyyninä ja kylminä talvipäivinä, jolloin ilman sekoittuminen on heikkoa. Pitoisuudet pienentyvät nopeasti etäisyyden kasvaessa liikenneväylistä. Paraisten ja Naantalin saaristossa typpidioksidipitoisuudet ovat enää vain hiukan taustapitoisuutta suurempia.

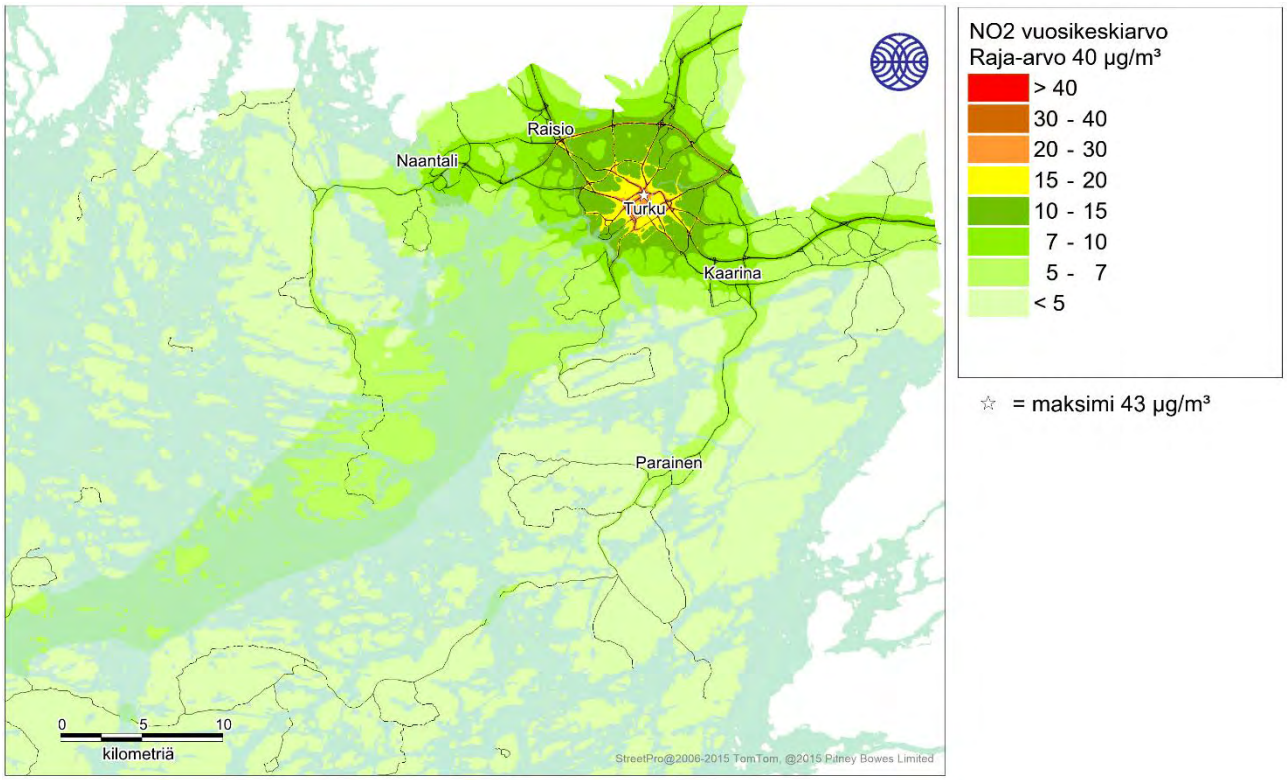
2.1.1 Kaikki päästölähteet

Taulukossa 1 on esitetty leviämismallilaskelmien tuloksena saadut korkeimmat typpidioksidin raja- ja ohjearvoihin verrannolliset pitoisuudet Turun seudulla vuonna 2018. Korkeimmat pitoisuudet on esitetty päästölähteittäin ja kaikkien päästölähteiden yhteisvaikutuksena. Turun seudun autoliikenteen, energiantuotannon, teollisuuden ja laivaliikenteen vuoden 2018 päästöjen sekä alueellisen taustapitoisuuden yhdessä aiheuttama typpidioksidin vuosikeskiarvopitoisuus on esitetty kuvassa 1. Typpidioksidin kokonaispitoisuudet on esitetty lisäksi raportin lopussa liitekuvissa 1–4.

Typpidioksidipitoisuuden vuosiraja-arvo (40 µg/m^3) ja tuntiraja-arvo (200 µg/m^3) ylittyvät Turun keskustan vilkkaimmalla ristysalueella, jossa Tampereentie (Valtatie 9), Helsinginkatu (Valtatie 1), Satakunnantie ja Ratapihankatu risteävät, mutta pitoisuudet ovat lähellä raja-arvotasoa myös Turun keskusta-alueen muilla vilkkailla risteysalueilla. Raja-arvot eivät ole voimassa risteysalueilla tai liikenneväylillä. Typpidioksidipitoisuuden vuosikeskiarvo on vilkkaasti liikennöidyillä alueilla ja suurimpien teiden varsilla yli 15 µg/m^3. Keskustojen ulkopuolisilla asuinalueilla ja koko saariston alueella vuosipitoisuustaso on alle 10 µg/m^3.

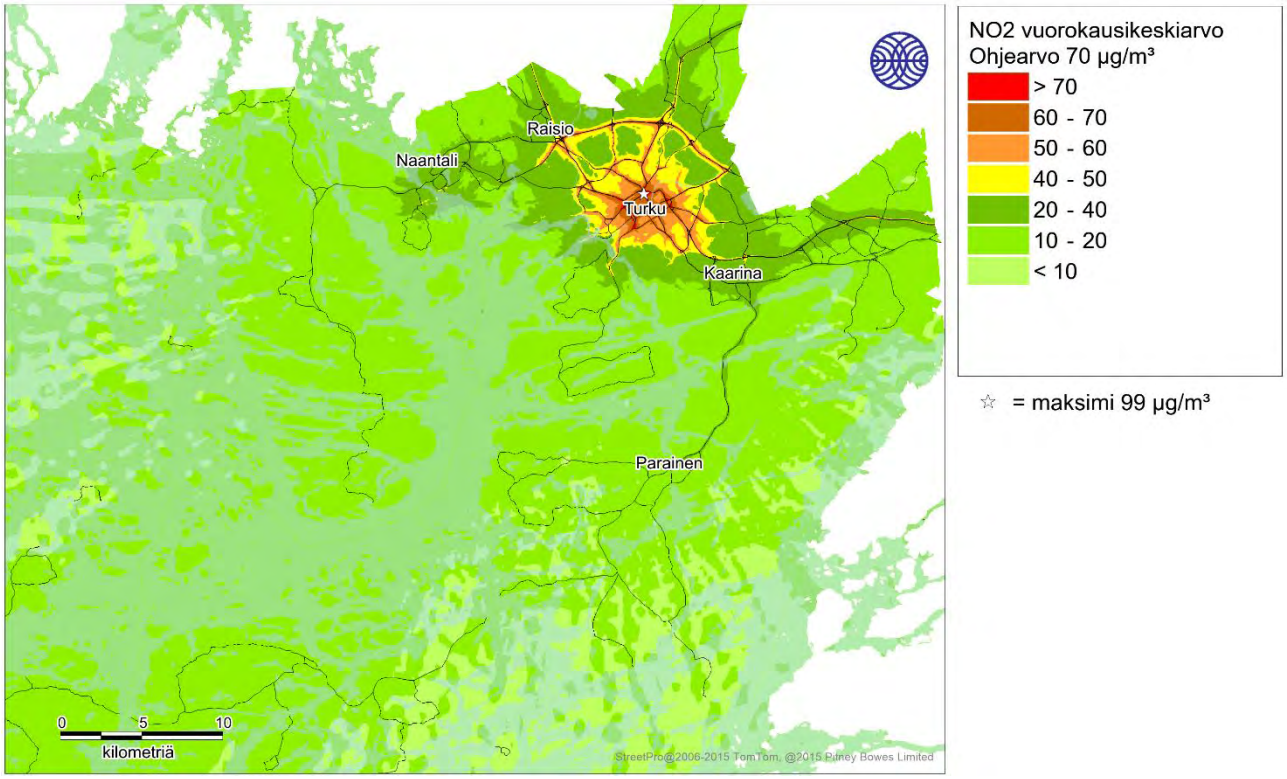
Taulukko 1. Eri päästölähteiden aiheuttamat korkeimmat mallinnetut typpidioksidipitoisuudet (µg/m^3) Turun seudulla vuonna 2018. Korkeimmat arvot esiintyvät eri laskentapisteissä eri puolilla tutkimus-aluetta. Raja- ja ohjearvon ylitykset on lihavoitu.

NO_2 2018 (µg/m^3)	Ohje- tai raja-arvo	Auto-liikenne	Energian-tuotanto ja teollisuus	Laiva-liikenne	Tausta-pitoisuus	Kaikki yhteensä
Vuosikeskiarvo	40	37	0,3	11	3,7	**43**
Vuorokausiohjearvo	70	**96**	2,3	59	3,0	**99**
Tuntiraja-arvo	200	191	5,5	139	3,5	**212**
Tuntiohjearvo	150	**196**	5,4	**157**	3,1	**214**



Kuva 1. Autoliikenteen, energiantuotannon, teollisuuden ja laivaliikenteen päästöjen sekä alueellisen taustapitoisuuden (vuosikeskiarvona 3,7 µg/m³) yhdessä aiheuttama typpidioksidin (NO_2) korkein vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) Turun seudulla vuonna 2018.

Turun seudun vuoden 2018 kaikkien päästölähteiden ja alueellisen taustapitoisuuden yhdessä aiheuttamat korkein typpidioksidin vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus on esitetty kuvassa 2 (ja liitekuvissa 3–4). Hetkelliset typpidioksidipitoisuudet voivat nousta vuosikeskiarvopitoisuuksia huomattavasti korkeammiksi. Leviämismallilaskelmien mukaan typpidioksidin vuorokausiohjearvoon (70 µg/m^3) ja tuntiohjearvoon (150 µg/m^3) verrannolliset pitoisuudet ylittävät epäedullisissa meteorologisissa olosuhteissa ohjearvotason Turun keskustan vilkkaimpien väylien varressa ja risteysalueilla. Typpidioksidipitoisuudet ovat lähellä vuorokausiohjearvotasoa koko Turun ydinkeskustan alueella, Raision keskustan alueella ja suurimpien väylien varsilla, esim. Turun kehätien varrella. Naantalin ja Kaarinan keskustojen alueella pitoisuudet ovat noin 20–40 µg/m³ ja Paraisten keskustassa alle 20 µg/m³. Pitoisuudet pienentyvät nopeasti etäisyyden kasvaessa vilkkaimmista liikenneväylistä.

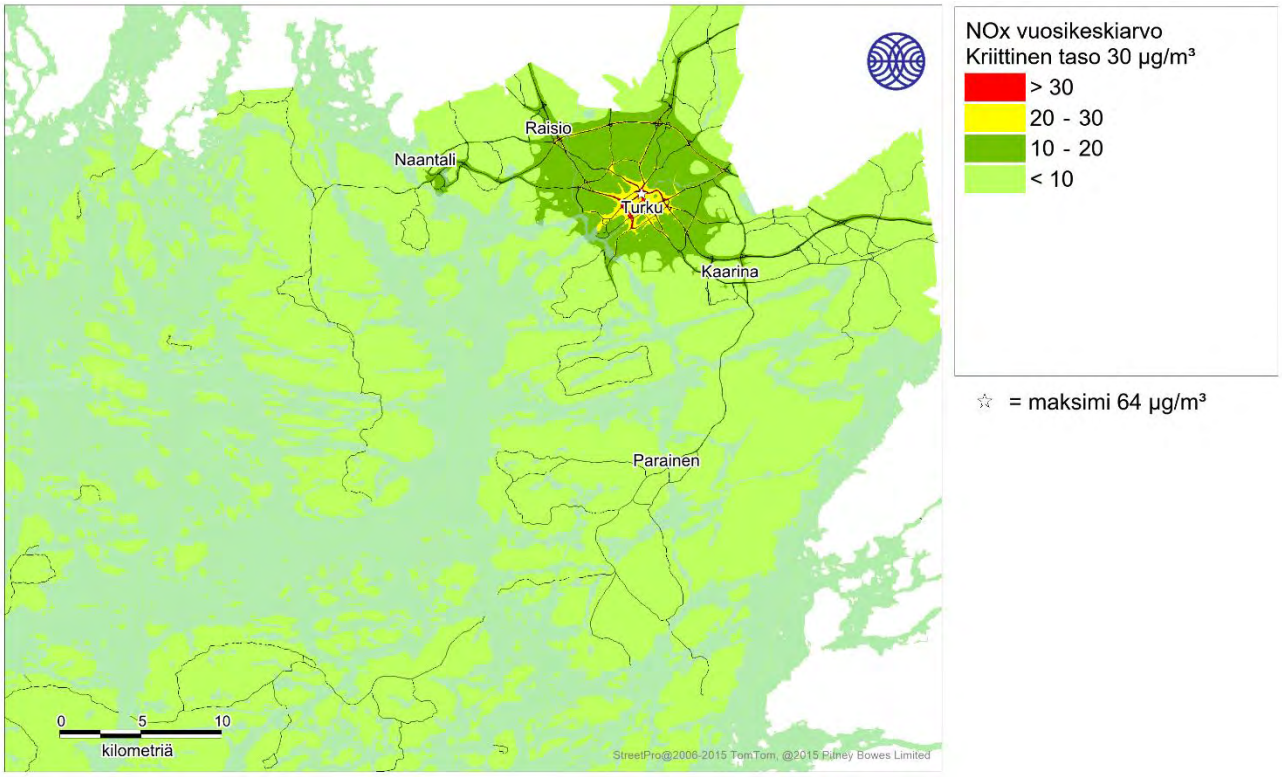


Kuva 2. Autoliikenteen, energiantuotannon, teollisuuden ja laivaliikenteen päästöjen sekä alueellisen taustapitoisuuden (vuosikeskiarvona 3,7 µg/m³) yhdessä aiheuttama typpidioksidin vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³) Turun seudulla vuonna 2018.

Taulukossa 2 on esitetty leviämismallilaskelmien tuloksena saadut korkeimmat typen oksidien kriittiseen tasoon (30 µg/m³) verrannolliset pitoisuudet Turun seudulla vuonna 2018. Korkeimmat pitoisuudet on esitetty päästölähteittäin ja kaikkien päästölähteiden yhteisvaikutuksena. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden aiheuttama typen oksidien vuosikeskiarvopitoisuus Turun seudulla on esitetty kuvassa 3 ja liitekuvissa 17–18. Typenoksidipitoisuuksille annettua kriittistä arvoa sovelletaan rakennetun ympäristön ulkopuolella olevilla laajoilla maa- ja metsätalousalueilla sekä luonnonsuojelun kannalta merkityksellisillä alueilla. Typen oksidien pitoisuudet alittavat kriittisen tason Turun keskusta-alueen liikenneväylien ulkopuolella. Rakennetun ympäristön ulkopuolella typen oksidien vuosikeskiarvopitoisuudet ovat alle 10 µg/m³.

Taulukko 2. Eri päästölähteiden aiheuttamat korkeimmat mallinnetut typen oksidien pitoisuudet (µg/m³) Turun seudulla vuonna 2018. Korkeimmat arvot esiintyvät eri laskentapisteissä eri puolilla tutkimusaluetta. Kriittisen tason ylitykset on lihavoitu.

NO_x 2018 (µg/m³)	Ohje- tai raja-arvo	Auto-liikenne	Energian-tuotanto ja teollisuus	Laiva-liikenne	Tausta-pitoisuus	Kaikki yhteensä
Vuosikeskiarvo	30	**58**	4,3	21	3,7	**64**



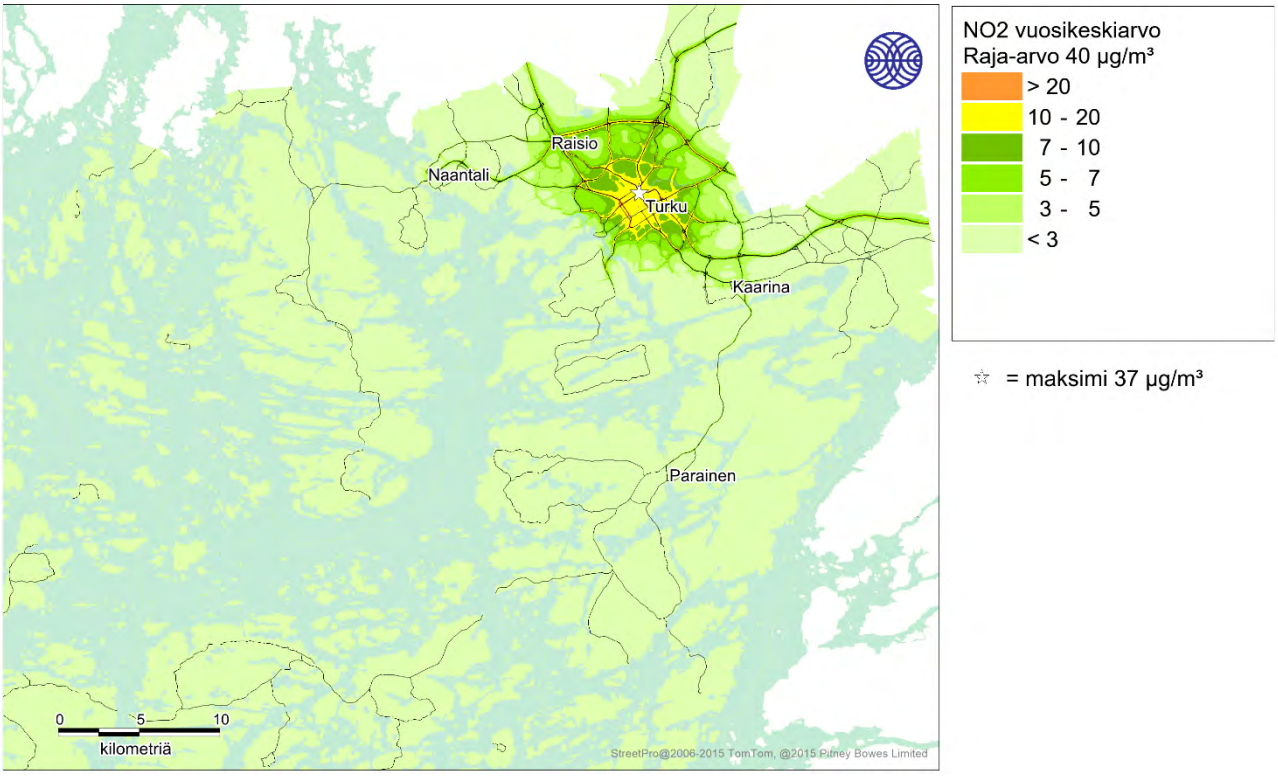
Kuva 3. Autoliikenteen, energiantuotannon, teollisuuden ja laivaliikenteen päästöjen sekä alueellisen taustatapitoisuuden (vuosikeskiarvona 3,7 µg/m³) yhdessä aiheuttama typen oksidien (NO_x) korkein vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) Turun seudulla vuonna 2018.

2.1.2 Autoliikenne

Leviämismallilaskelmien tuloksena saadut autoliikenteen vuoden 2018 päästöjen aiheuttamat korkeimmat typpidioksidipitoisuudet Turun seudulla on esitetty kuvassa 4 sekä liitekuvissa 5–8.

Typpidioksidipitoisuuden vuosiraja-arvo (40 µg/m^3) ja tuntiraja-arvo (200 µg/m³) alittuvat koko tarkastelualueella (kuva 4). Pitoisuudet ovat korkeimmillaan lähellä raja-arvotasoa Turun keskustan vilkkaimmalla ristysalueella, jossa Tampereentie (Valtatie 9), Helsinginkatu (Valtatie 1), Satakunnantie ja Ratapihankatu risteävät. Autoliikenteen päästöjen yksinään aiheuttama typpidioksidipitoisuuden vuosikeskiarvo on Turun ja Raision keskusta-alueilla ja vilkkaimpien teiden varsilla yli 10 µg/m^3. Naantalin ja Kaarinan keskustojen alueella autoliikenteen aiheuttama typpidioksidipitoisuus on 5–10 µg/m^3 ja Paraisten keskustan alueella vielä tätäkin pienempi.

Autoliikenteen vuoden 2018 päästöjen aiheuttamat korkeimmat vuorokausiohjearvoon verrannolliset typpidioksidipitoisuudet ylittävät vuorokausiohjearvon ja tuntiohjearvon Turun keskustan vilkkaimpien väylien varsilla ja risteysalueilla (liitekuvat 7–8). Ohjearvon ylitysalueet ovat vain hieman pienempiä kuin kaikkien päästölähteiden yhdessä aiheuttamien typpidioksidipitoisuuksien ylitysalueet.



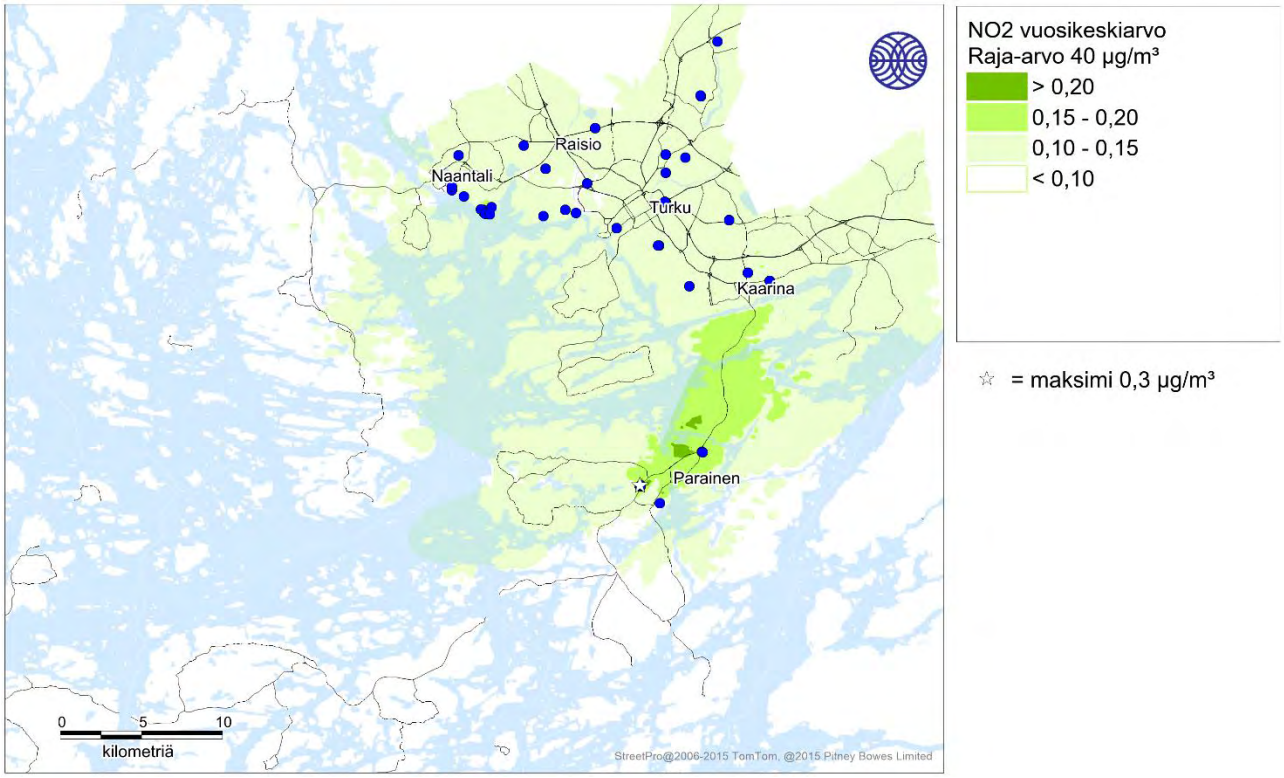
Kuva 4. Autoliikenteen päästöjen yksinään aiheuttama typpidioksidin korkein vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) Turun seudulla vuonna 2018 ilman alueellista taustapitoisuutta.

2.1.3 Energiantuotanto ja teollisuus

Leviämismallilaskelmien tuloksena saatu energiantuotannon ja teollisuuden vuoden 2018 päästöjen yksinään aiheuttamat korkeimmat typpidioksidipitoisuudet Turun seudulla on esitetty kuvassa 5 sekä liitekuvissa 9–12. Tulosten mukaan laitosten yhdessä aiheuttama typpidioksidin vuosipitoisuus on korkeimmillaan 0,3 µg/m^3. Typpidioksidipitoisuudet ovat suurimmillaan Paraisten alueella. Pitoisuuksien muodostumiseen vaikuttavat eniten Paraisten alueen teollisuuden päästöt. Muiden energiantuotanto- ja teollisuuslaitosten vaikutus typpidioksidipitoisuuksiin on vähäistä.

Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttamat korkeimmat vuorokausiohjearvoon verrannolliset typpidioksidipitoisuudet ovat korkeimmillaan hieman yli 2 µg/m^3 (liitekuvat 11–12).

Teollisuuden ja energiantuotannon päästöjen vaikutus ilmanlaatuun on pieni, vaikka päästömäärät ovat huomattavia. Teollisuuden ja energiantuotannon päästöt vapautuvat pääasiassa korkeista piipuista, jolloin ne leviävät ja laimenevat tehokkaasti eivätkä heikennä ilmanlaatua hengityskorkeudella.



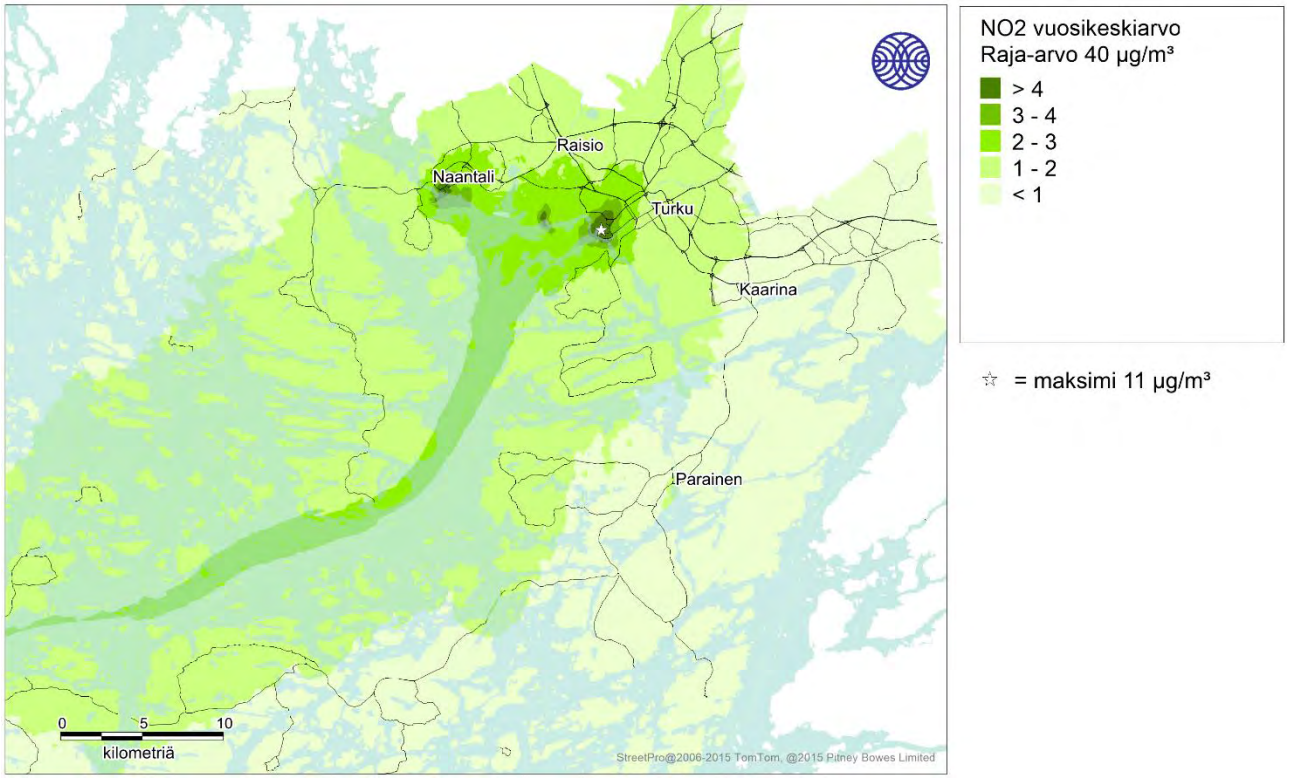
Kuva 5. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen yksinään aiheuttama typpidioksidin korkein vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) Turun seudulla vuonna 2018 ilman alueellista taustapitoisuutta. Siniset pisteet kuvaavat mallinnuksessa mukana olleita energiantuotanto- tai teollisuuslaitoksia.

2.1.4 Laivaliikenne

Leviämismallilaskelmien tuloksena saadut laivaliikenteen vuoden 2018 päästöjen yksinään aiheuttamat korkeimmat typpidioksidipitoisuudet Turun seudulla on esitetty kuvassa 6 sekä liitekuvissa 13–16.

Laivaliikenteen päästöjen aiheuttamat typpidioksidipitoisuudet ovat suurimmillaan Turun ja Naantalin satamien läheisyydessä (kuva 6). Korkeimmillaan vuosikeskiarvopitoisuudet ovat noin 11 µg/m^3 (raja-arvo 40 µg/m^3). Laivapäästöt kohottavat pitoisuuksia vuositasolla noin 2–3 µg/m³ melko laajalla alueella satamien ulkopuolella Turun ja Naantalin keskustojen alueella.

Laivaliikenteen ja satamatoiminnan päästöillä on merkittävä vaikutus typpidioksidin lyhytaikaispitoisuuksiin paikallisesti satama-alueilla ja niiden läheisyydessä. Leviämislaskelmien mukaan typpidioksidipitoisuuksien vuorokausiohjearvoon verrannolliset pitoisuudet ovat satama-alueilla yli 30 µg/m^3 ollen korkeimmillaan 59 µg/m^3 (vuorokausiohjearvo 70 µg/m^3) (liitekuvat 15 ja 16).



Kuva 6. Laivaliikenteen päästöjen yksinään aiheuttama typpidioksidin korkein vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) Turun seudulla vuonna 2018 ilman alueellista taustapitoisuutta.

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

Kaukokulkeumalla eli alueelle muualta kulkeutuneilla hiukkasilla on merkittävä vaikutus pienhiukkasten pitoisuustasoihin Suomessa ja korkeimmat pienhiukkaspitoisuudet havaitaankin yleensä kaukokulkeumaepisodien aikana. Suurin vaikutus Turun seudun pienhiukkaspitoisuustasoihin on taustapitoisuudella, joka on alueella vuositasolla noin 4 µg/m^3. Paikalliset päästölähteet aiheuttavat vuositasolla muutamien mikrogrammojen suuruisen lisän taustapitoisuuksiin. Korkeimmat pienhiukkaspitoisuudet esiintyvät Turun keskustassa. Vilkkaimpien teiden varsilla liikenteen päästöillä on huomattava vaikutus pienhiukkasten pitoisuustasoihin. Asuinalueilla asuinrakennusten puunpoltolla on paikallisesti liikennepäästöjäkin merkittävämpi vaikutus pienhiukkaspitoisuuksiin. Paraisten ja Naantalin saaristossa 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 ohjearvoihin verrannolliset pitoisuudet Turun seudulla vuonna 2018. Korkeimmat pitoisuudet on esitetty päästölähteittäin ja kaikkien päästölähteiden yhteisvaikutuksena. Turun seudun autoliikenteen, energiantuotannon, teollisuuden, laivaliikenteen ja asuinrakennusten puunpolton vuoden 2018 päästöjen sekä alueellisen taustapitoisuuden yhdessä aiheuttama pienhiukkasten vuosikeskiarvopitoisuus on esitetty kuvassa 7. Pienhiukkasten kokonaispitoisuudet on esitetty lisäksi raportin lopussa liitekuvissa 19–22. Pienhiukkasten pitoisuustuloksia

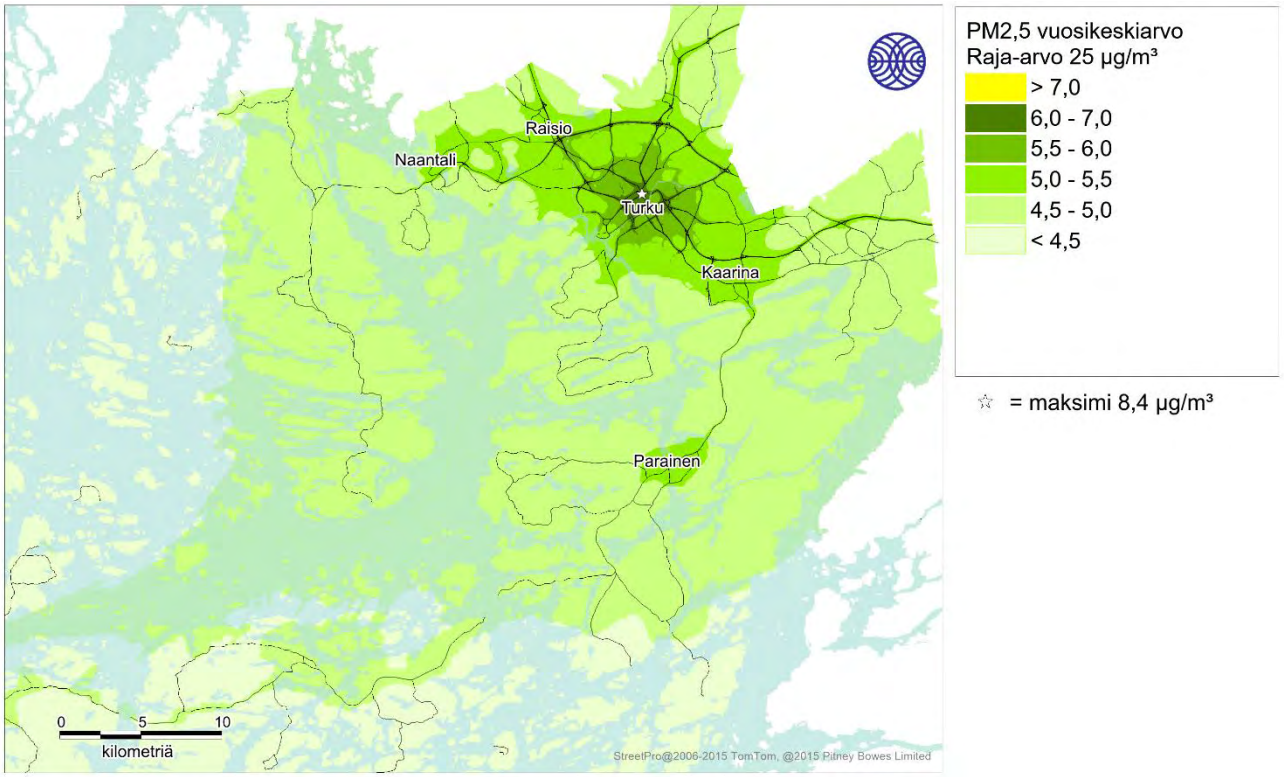
tarkasteltaessa on huomioitava, että mallilaskelmissa ei ole otettu lainkaan huomioon satama-alueiden työkoneiden päästöjä eikä mahdollisia pölyäviä lastauksia ja lastien purkamisia. Teollisuuden ja energiantuotannon osalta mallilaskelmissa on otettu huomioon ainoastaan piipuista ja poistohormeista vapautuvat päästöt, eikä laskelmissa ole otettu mitenkään huomioon erilaisista hajapäästölähteistä vapautuvia hiukkaspäästöjä tai erilaisia pölyäviä toimintoja

Mallinnetut pienhiukkasten vuosikeskiarvopitoisuudet alittavat selvästi vuosiraja-arvon 25 µg/m³ ja WHO:n vuosiohjearvon 10 µg/m³ koko Turun seudulla. Taustapitoisuus vaikuttaa eniten mallinnettuihin pienhiukkasten kokonaispitoisuuksiin. Pienhiukkaspitoisuuksien alueellinen vaihtelu on vähäistä, koska suurin osa (noin 4 µg/m^3) kokonaispitoisuudesta on taustapitoisuutta. Autoliikenne, energiantuotanto ja teollisuus, laivaliikenne ja puupoltto vaikuttavat pitoisuuksiin paikallisesti ja kunkin vaikutus on suurimmillaan lähellä päästölähteitä. Pienhiukkaspitoisuuden vuosikeskiarvo on vilkkaimmin liikennöidyillä alueilla ja suurimpien teiden varsilla yli 6 µg/m^3. Keskustojen ulkopuolisilla asuinalueilla vuosipitoisuustaso on noin 5–6 µg/m^3. Naantalin ja Paraisten saariston alueella, etäällä päästölähteistä, pitoisuus on 4–5 µg/m^3. Korkeimmillaan pienhiukkasten vuosikeskiarvopitoisuus on 8,4 µg/m^3, alittaen kansallisen altistuksen vähentämistavoitteen 8,5 µg/m^3.

Taulukko 3. Eri päästölähteiden aiheuttamat korkeimmat mallinnetut pienhiukkaspitoisuudet (µg/m³) Turun seudulla vuonna 2018. Korkeimmat arvot esiintyvät eri laskentapisteissä eri puolilla tutkimus-aluetta. WHO:n ohjearvon ylitykset on lihavoitu.

$PM_{2,5}$ 2018	Ohje- tai raja-arvo	Auto-liikenne	Energian-tuotanto ja teolli-suus	Laiva-liikenne	Puun-poltto	Tausta-pitoisuus	Kaikki yhteensä
Vuosikeskiarvo	25/10*	3,3	0,6	0,8	0,8	4,4	8,4
Vuorokausiohjearvo	25*	19	9,3	13	9,1	4,8	**26**

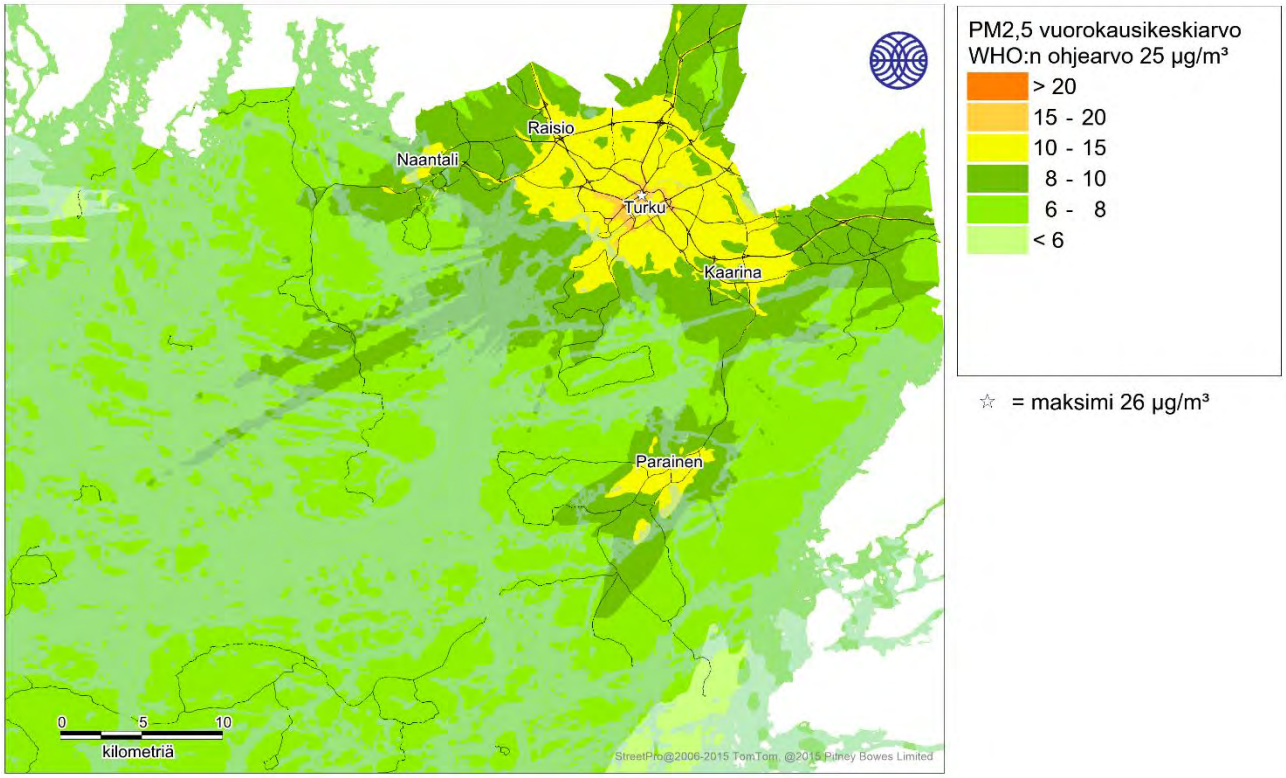
* WHO:n ohjearvo



Kuva 7. Autoliikenteen, energiantuotannon, teollisuuden, laivaliikenteen ja puunpolton päästöjen sekä alueellisen taustapitoisuuden (vuosikeskiarvona 4,4 µg/m³) yhdessä aiheuttama pienhiukkasten ($PM_{2,5}$) korkein vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) Turun seudulla vuonna 2018.

Turun seudun vuoden 2018 kaikkien päästölähteiden ja alueellisen taustapitoisuuden yhdessä aiheuttama korkein pienhiukkasten WHO:n vuorokausiohjearvoon 25 µg/m³ verrannollinen pitoisuus on esitetty kuvassa 8 (ja liitekuvissa 21–22). Hetkelliset pienhiukkaspitoisuudet voivat epäedullisissa meteorologisissa olosuhteissa nousta vuosikeskiarvopitoisuuksia huomattavasti korkeammiksi. Leviämismallilaskelmien mukaan pienhiukkaspitoisuudet ovat korkeimmillaan hyvin lähellä WHO:n ohjearvotasoa Turun keskustan vilkkaimpien väylien varressa ja risteysalueilla ja ylittävät ohjearvon yksittäisissä laskentapisteissä risteysalueella. Pitoisuudet ovat noin 10–15 µg/m³ kaikkien kaupunkien keskustojen alueella ja suurimpien väylien varsilla, esim. Turun kehätien, Rauman valtatien (E8), Tampereentien (Valtatie 9) ja Turku-Paimio moottoritien varrella. Pitoisuudet pienentyvät nopeasti etäisyyden kasvaessa vilkkaimmista liikenneväylistä, energiantuotanto- ja teollisuuslaitoksista ja satama-alueilta.

Kaukokulkeumalla on merkittävä vaikutus pienhiukkasten pitoisuuksiin Suomessa ja korkeimmat mitatut pienhiukkasten lyhytaikaispitoisuudet havaitaankin 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).



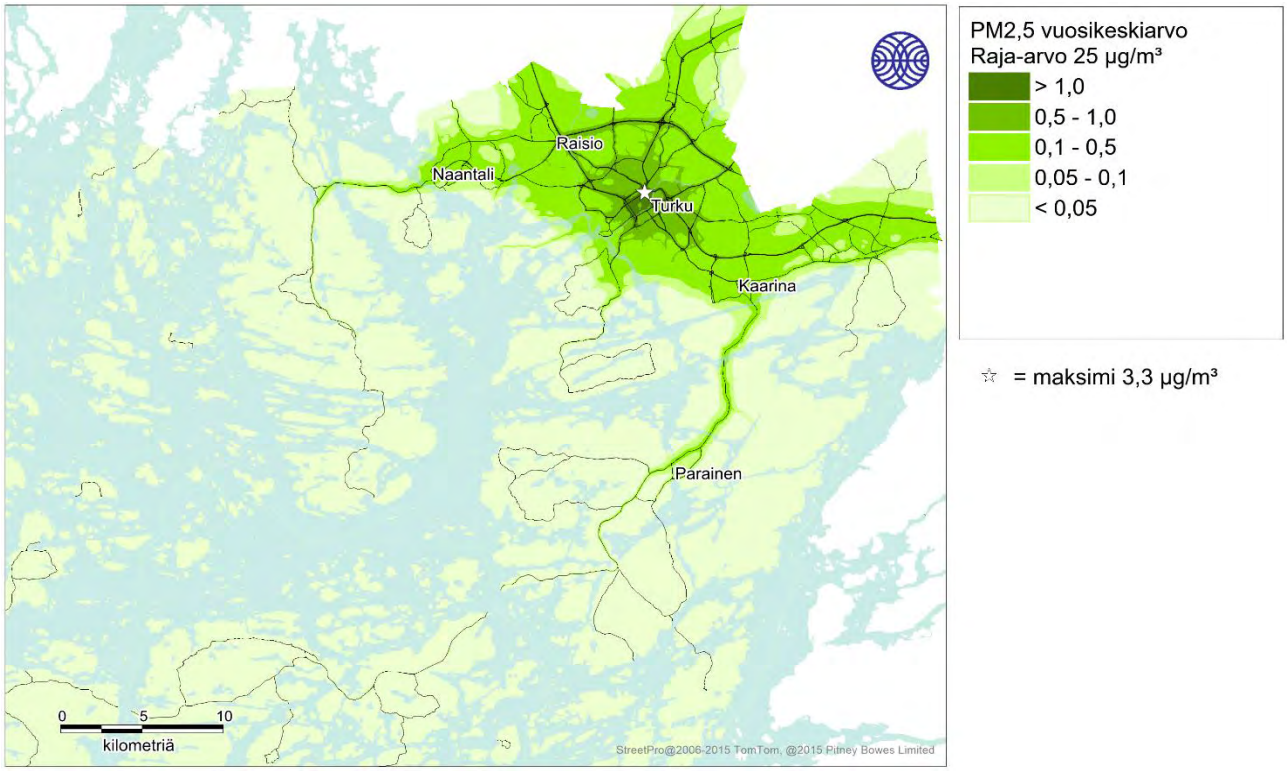
Kuva 8. Autoliikenteen, energiantuotannon, teollisuuden ja puunpolton päästöjen sekä alueellisen taustapitoisuuden (vuosikeskiarvona 4,4 µg/m³) yhdessä aiheuttama pienhiukkasten ($PM_{2,5}$) korkein WHO:n vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³) Turun seudulla vuonna 2018.

2.2.2 Autoliikenne

Leviämismallilaskelmien tuloksena saadut autoliikenteen vuoden 2018 päästöjen aiheuttamat korkeimmat pienhiukkaspitoisuudet Turun seudulla on esitetty kuvassa 9 sekä liitekuvissa 23–26.

Autoliikenteen päästöjen yksinään aiheuttamat pienhiukkaspitoisuudet ovat korkeimmillaan Turun keskustan ruutukaava-alueella ja vilkkaimmilla ristysalueilla sekä Turun kehätien (E18) varrella. Pienhiukkaspitoisuuden vuosikeskiarvo on korkeimmillaan Turun ja Raision keskusta-alueiden vilkkaimpien teiden varsilla noin 2 µg/m³. Muiden liikenneväylien varsilla autoliikenteen aiheuttama pienhiukkaspitoisuus on tyypillisesti 0,5–1 µg/m³ (kuva 9). Pitoisuudet pienentyvät nopeasti etäisyyden kasvaessa liikenneväylistä.

Autoliikenteen vuoden 2018 päästöjen aiheuttamat korkeimmat WHO:n vuorokausiohjearvoon (25 µg/m³) verrannolliset pienhiukkaspitoisuudet ovat vilkasliikenteisillä risteysalueilla Turun ja Raision keskustassa korkeimmillaan 10 µg/m³ (ohjearvo 25 µg/m³) ja muiden teiden varsilla 4–8 µg/m³ (liitekuvat 25–26).



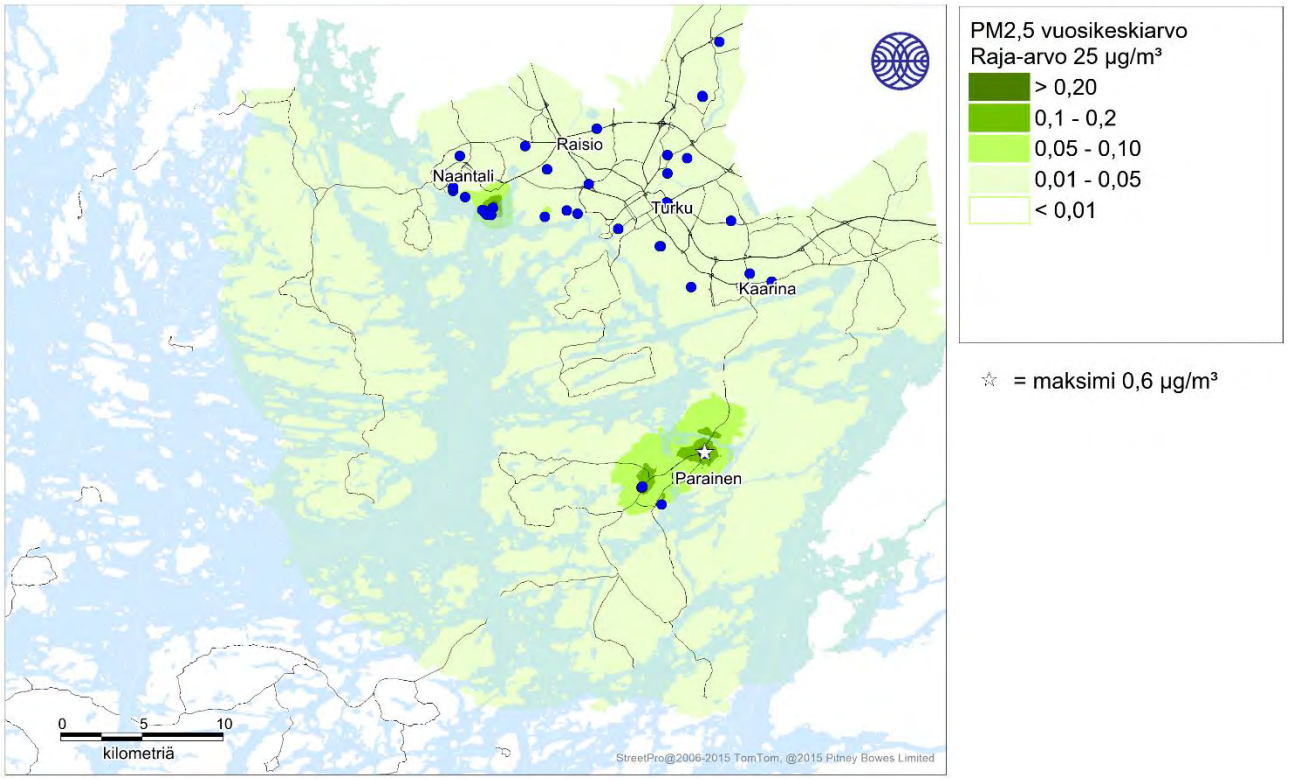
Kuva 9. Autoliikenteen päästöjen yksinään aiheuttama pienhiukkasten korkein vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) Turun seudulla vuonna 2018 ilman alueellista taustapitoisuutta.

2.2.3 Energiantuotanto ja teollisuus

Leviämismallilaskelmien tuloksena saadut energiantuotannon ja teollisuuden laitosten vuoden 2018 päästöjen aiheuttamat korkeimmat pienhiukkasten vuosikeskiarvopitoisuudet Turun seudulla on esitetty kuvassa 10 sekä liitekuvissa 27–30. Tulosten mukaan laitosten aiheuttamat korkeimmat pienhiukkasten vuosipitoisuudet ovat hyvin pieniä ja jäävät koko tarkastelualueella alle 1 µg/m^3. Pienhiukkaspitoisuudet ovat suurimmillaan Naantalissa Nesteen jalostamon päästölähteiden ympäristössä ja Paraisilla Paroc Oy:n ja Paraisten Kaukolämpö Oy:n laitosten ympäristössä.

Energiantuotannon ja teollisuuden vuoden 2018 päästöjen aiheuttamat korkeimmat WHO:n vuorokausiohjearvoon verrannolliset pienhiukkaspitoisuudet ovat pääsääntöisesti enimmillään noin 3 µg/m^3 sekä Naantalissa Nesteen jalostamon päästölähteiden ympäristössä että Paraisilla Paraisten Kaukolämpö Oy:n laitoksen päästölähteiden ympäristössä (liitekuvat 29–30). Korkein vuorokausikeskiarvopitoisuus 9 µg/m^3 (WHO:n ohjearvo 25 µg/m^3) havaitaan Paraisilla muutamassa yksittäisessä laskentapisteessä laitosasalueella, koska hiukkaspäästöt eivät Lehtiniemen lämpökeskuksen matalan piipunkorkeuden (30 m ja 35 m) vuoksi leviä kovin kauas. Pääsääntöisesti teollisuuden ja energiantuotannon päästöjen vaikutus pienhiukkaspitoisuuksiin on hyvin pieni, vaikka päästömäärät ovat huomattavia (ks. kpl 5.1). Teollisuuden ja energiantuotannon päästöt vapautuvat useimmiten korkeista piipuista, jolloin ne leviävät ja laimenevat tehokkaasti eivätkä heikennä ilmanlaatua hengityskorkeudella.

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 pölyäviä lastauksia ja lastien purkamisia tai kasojen ja aumojen pölyämistä.



Kuva 10. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen yksinään aiheuttama pienhiukkasten korkein vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) Turun seudulla vuonna 2018 ilman alueellista taustapitoisuutta. Siniset pisteet kuvaavat tarkastelussa mukana olleita energiantuotanto- tai teollisuuslaitoksia.

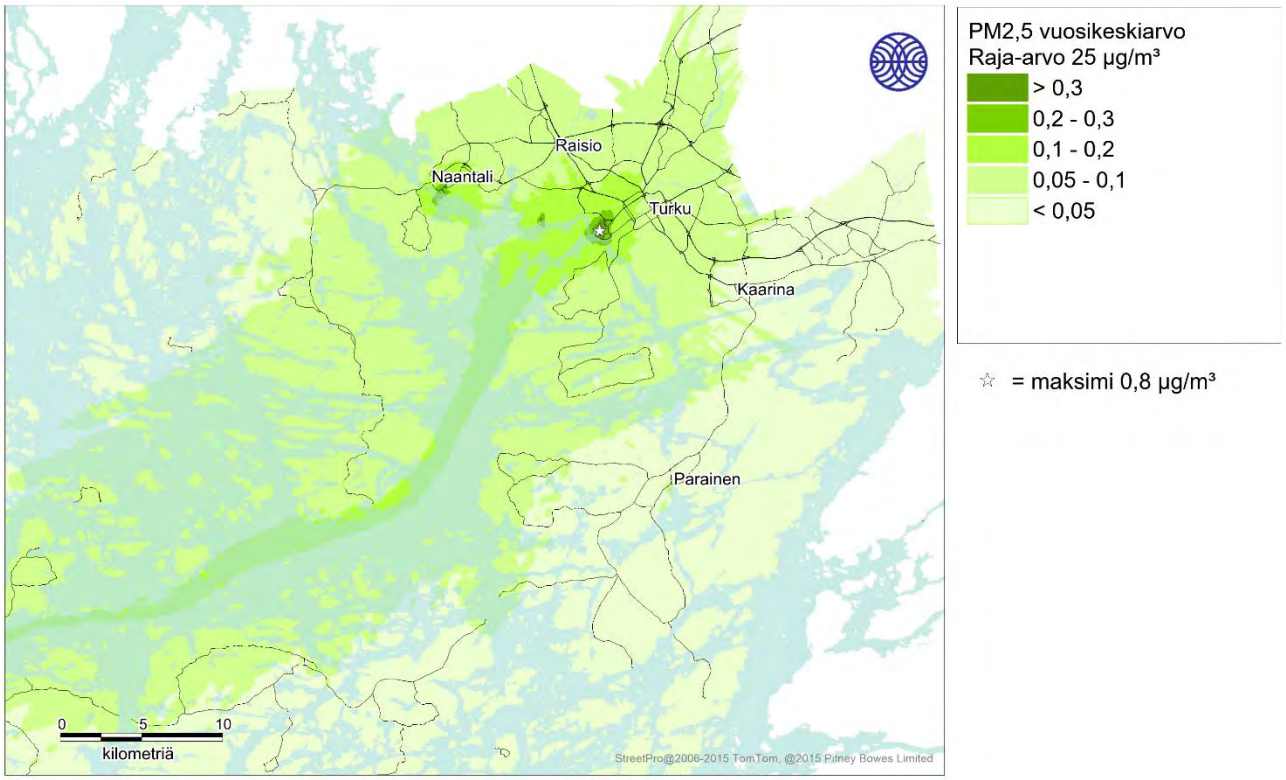
2.2.4 Laivaliikenne

Leviämismallilaskelmien tuloksena saadut laivaliikenteen vuoden 2018 päästöjen yksinään aiheuttamat korkeimmat pienhiukkaspitoisuudet Turun seudulla on esitetty kuvassa 11 sekä liitekuvissa 31–34.

Laivaliikenteen päästöjen yksinään aiheuttamat pienhiukkaspitoisuudet ovat suurimmillaan Turun ja Naantalin satamien sekä Turun korjaustelakan läheisyydessä. Turun, Naantalin ja Paraisten saariston laivareittien varrella voidaan havaita vain hyvin vähäinen laivaliikenteen vaikutus pienhiukkaspitoisuuksiin (kuva 11). Tulosten mukaan laivaliikenteen aiheuttamat pienhiukkasten vuosikeskiarvopitoisuudet ovat kauttaaltaan hyvin pieniä ja jäävät koko tarkastelualueella alle 1 µg/m^3.

Laivaliikenteen vuoden 2018 päästöjen aiheuttamat pienhiukkasten vuorokausikeskiarvot (WHO:n vuorokausiohjearvo 25 µg/m^3) ovat korkeimmillaan Turun sataman ja Turun korjaustelakan alueilla yli 5 µg/m^3 . Korkein vuorokausikeskiarvopitoisuus 13 µg/m^3 havaitaan Turun satama-alueella yksittäisessä laskentapisteessä (liitekuvat 33–34).

Laivaliikenteen pienhiukkasten pitoisuustuloksia tarkasteltaessa on huomioitava, että mallilaskelmissa on otettu huomioon ainoastaan laivojen moottoreista vapautuvat päästöt. Mallilaskelmissa ei ole otettu lainkaan huomioon satama-alueen työkoneiden päästöjä eikä mahdollisia pölyäviä lastauksia ja lastien purkamisia.

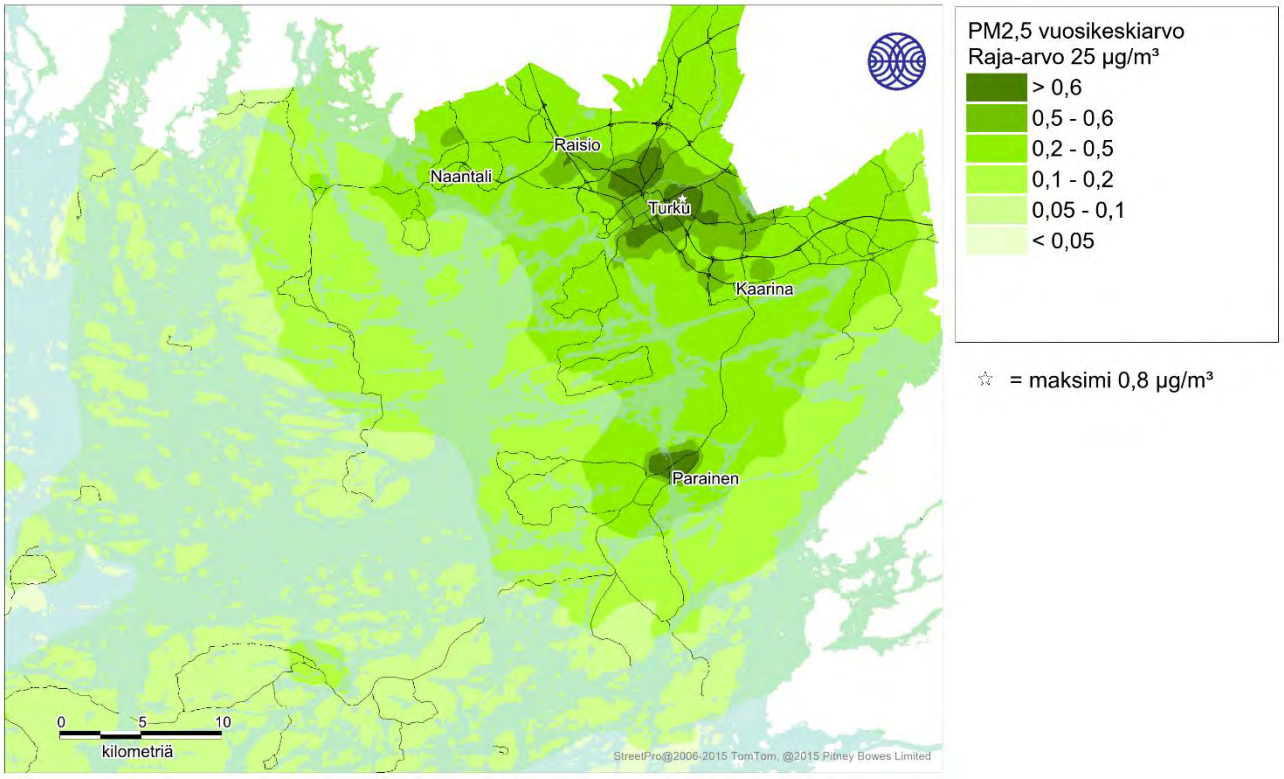


Kuva 11. Laivaliikenteen päästöjen yksinään aiheuttama pienhiukkasten korkein vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) Turun seudulla vuonna 2018 ilman alueellista taustapitoisuutta.

2.2.5 Asuinrakennusten puunpoltto

Leviämismallilaskelmien tuloksena saadut pientalojen ja vapaa-ajanrakennusten puunpolton päästöjen aiheuttamat korkeimmat pienhiukkasten vuosikeskiarvopitoisuudet Turun seudulla on esitetty kuvassa 12 ja liitekuvissa 35–38. Tulosten mukaan pienhiukkasten vuosipitoisuudet ovat suurimmillaan Turun keskustassa ruutukaava-alueen ulkopuolella sekä Paraisten keskustan alueella. Pienhiukkaspitoisuuksien vuosikeskiarvot ovat korkeimmillaan alle 1 µg/m^3.

Puunpolton päästöjen aiheuttamat korkeimmat WHO:n vuorokausiohjearvoon verrannolliset pienhiukkaspitoisuudet ovat Paraisilla korkeimmillaan 9,1 µg/m^3 (WHO:n ohjearvo 25 µg/m^3) (liitekuva 37).



Kuva 12. Asuinrakennusten puunpolton päästöjen yksinään aiheuttama pienhiukkasten korkein vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) Turun seudulla vuonna 2018 ilman alueellista taustapitoisuutta.

2.3 Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet (PM_{10})

Turun seudun alueella merkittävin ilmanlaatua heikentävä tekijä on katupöly. Katupölykaudella hengitettävien hiukkasten pitoisuudet kohoavat etenkin vilkkaasti liikennöityjen väylien läheisyydessä. Katupölyä esiintyy keväällä maalis-toukokuussa lumien sulettua ja katujen kuivuttua sekä loppusyksystä talvirengaskauden alkaessa ennen lumipeitteen tuloa. 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 Turun seudulla vuonna 2018. 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 puunpolton osuudet on mallinnettu pienhiukkasina ja ainoastaan autoliikenteen hiukkaset on mallinnettu PM_{10}-hiukkasina. Turun seudun kaikkien päästölähteiden vuoden 2018 päästöjen sekä alueellisen taustapitoisuuden yhdessä aiheuttama hengitettävien hiukkasten vuosikeskiarvopitoisuus on esitetty kuvassa 13. Hengitettävien hiukkasten kokonaispitoisuudet on

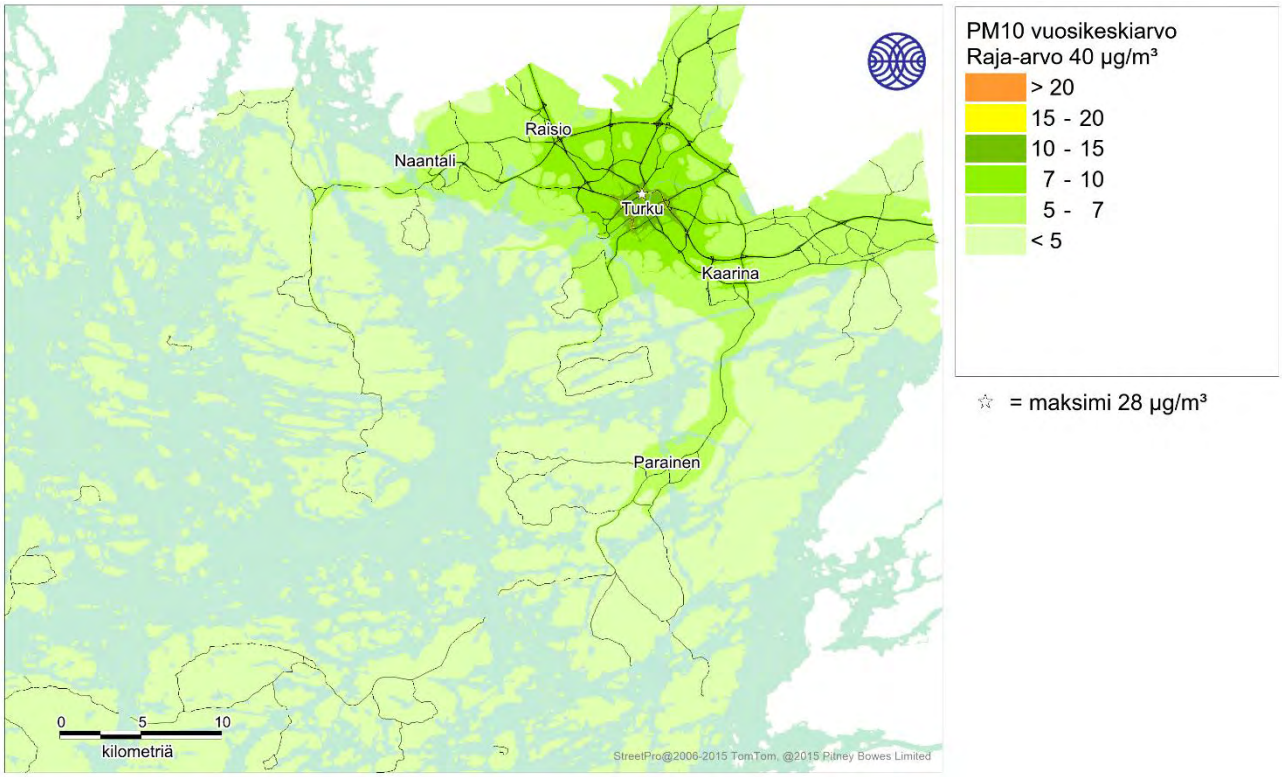
esitetty lisäksi raportin lopussa liitekuvissa 39–42. Hengitettävien hiukkasten pitoisuustuloksia tarkasteltaessa on huomioitava, että mallilaskelmissa ei ole otettu huomioon satama-alueiden työkoneiden pakokaasuäästöjä tai niiden ilmaan nostattamaa katupölyä eikä mahdollisia pölyäviä lastauksia ja lastien purkamisia. Teollisuuden ja energiantuotannon osalta mallilaskelmissa on otettu huomioon ainoastaan piipuista ja poistohormeista vapautuvat päästöt, eikä laskelmissa ole otettu mitenkään huomioon erilaisista hajapäästölähteistä vapautuvia hiukkaspäästöjä tai erilaisia pölyäviä toimintoja.

Mallinnetut hengitettävien hiukkasten vuosikeskiarvopitoisuudet alittavat vuosiraja-arvon 40 µg/m^3 selvästi koko Turun seudulla. Vuosikeskiarvopitoisuus on Turun ja Raision keskustojen alueella noin 10 µg/m^3. Korkeimmillaan Turun keskustan vilkkaimmilla risteysalueilla ja Turun kehätien varrella hengitettävien hiukkasten vuosikeskiarvopitoisuus voi kohota yli 15 µg/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.

Taulukko 4. Eri päästölähteiden aiheuttamat korkeimmat mallinnetut hengitettävien hiukkasten pitoisuudet (µg/m³) Turun seudulla vuonna 2018. Korkeimmat arvot esiintyvät eri laskentapisteissä eri puolilla tutkimusaluetta. Raja- ja ohjearvon ylitykset on lihavoitu.

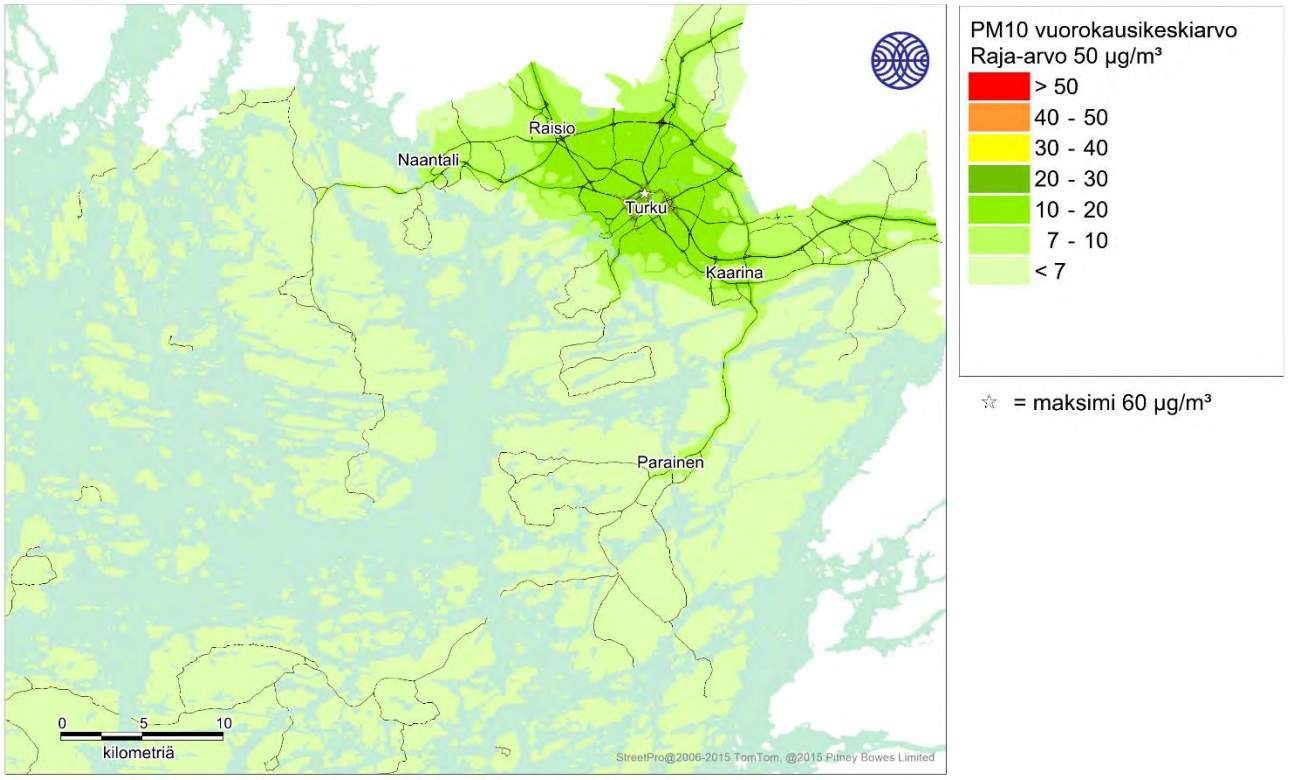
PM_{10} 2018 (µg/m³)	Ohje- tai raja-arvo	Auto-liikenne	Energian-tuotanto ja teolli-suus	Laiva-liikenne	Puun-poltto	Tausta-pitoisuus	Kaikki yhteensä
Vuosikeskiarvo	40	24	0,6 *	0,8 *	0,8 *	4,4	28
Vuorokausiohjearvo	70	**231**	7,3 *	7,2 *	5,5 *	4,8	**240**
Vuorokausiraja-arvo	50	**60**	2,1 *	2,6 *	1,9 *	3,8	**60**

* = Pitoisuus on mallinnettu pienhiukkasina



Kuva 13. Autoliikenteen, energiantuotannon, teollisuuden ja puun polton päästöjen sekä pienhiukkasten alueellisen taustapitoisuuden (vuosikeskiarvona 4,4 µg/m³) aiheuttama hengitettävien hiukkasten (PM_{10}) korkein vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) Turun seudulla vuonna 2018.

Hengitettävien hiukkasten vuorokausipitoisuuksille annetut raja- ja ohjearvot kuitenkin ylittyvät alueella. Turun seudun vuoden 2018 kaikkien päästölähteiden ja alueellisen taustapitoisuuden yhdessä aiheuttama hengitettävien hiukkasten vuorokausiraja-arvoon (50 µg/m³, sallitaan 35 ylitystä) verrannollinen pitoisuus on esitetty kuvassa 14. Hengitettävien hiukkasten pitoisuuden vuorokausiraja-arvo ylittyy Turun keskustan vilkkaimmalla ristysalueella, jossa Tampereentie (Valtatie 9), Helsinginkatu (Valtatie 1), Satakunnantie ja Ratapihankatu risteävät, mutta pitoisuudet ovat lähellä raja-arvotasoa myös Turun keskusta-alueen muilla vilkkailla risteysalueilla. Risteysalueiden ulkopuolella raja-arvo kuitenkin alittuu. Naantalin, Raision, Kaarinan ja Paraisten keskustojen alueella hengitettävien hiukkasten vuorokausiraja-arvo ei mallilaskelmien mukaan ylity, vaikka vuorokausipitoisuudet voivat kaikkien keskustojen alueella ylittää raja-arvotason 50 µg/m³ yhden tai useamman kerran vuoden aikana. Katupölypäästöihin ja korkeisiin hetkellisiin hengitettävien hiukkasten pitoisuuksiin voidaan vaikuttaa paikallisesti tehokkaalla katujen kunnossapidolla ja oikea-aikaisella hiekanpoistolla sekä pölynsidonnalla.

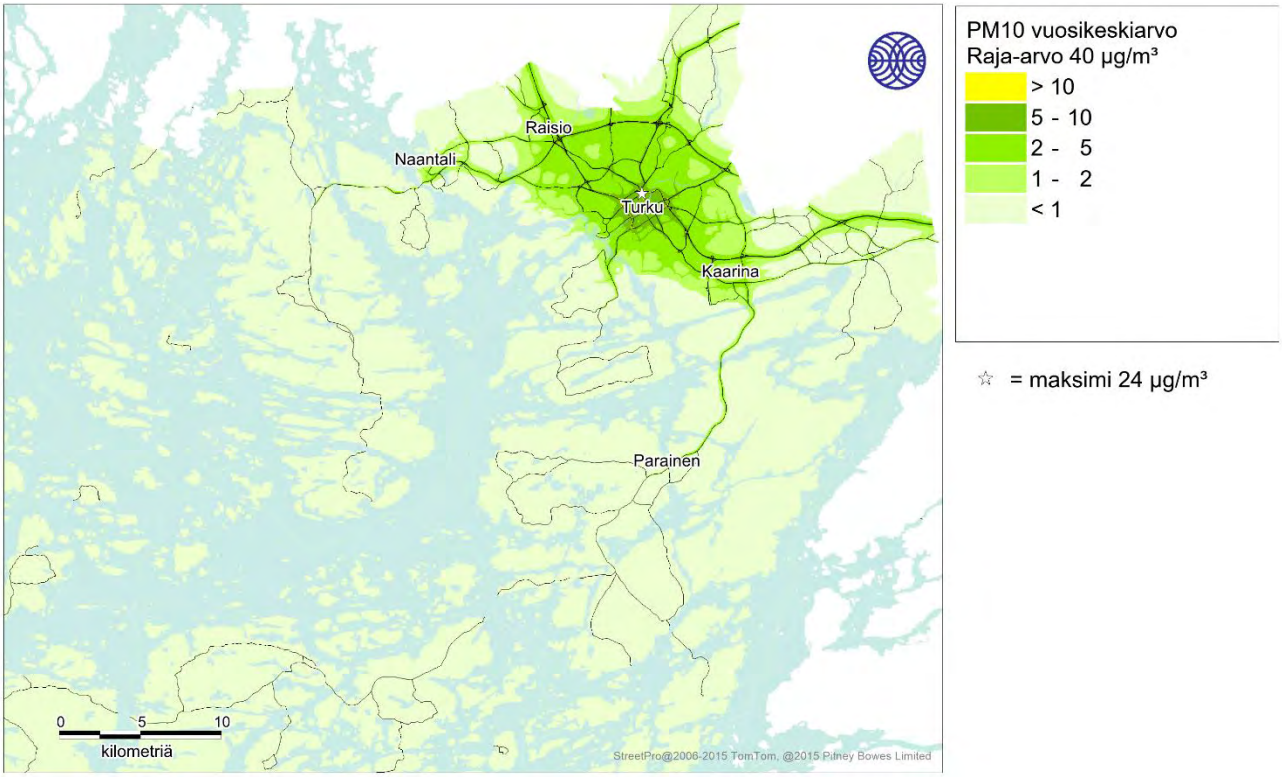


Kuva 14. Autoliikenteen, energiantuotannon, teollisuuden, laivaliikenteen ja asuinrakennusten puunpolton päästöjen sekä pienhiukkasten alueellisen taustapitoisuuden (vuosikeskiarvona 4,4 µg/m³) aiheuttama hengitettävien hiukkasten vuorokausiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³) Turun seudulla vuonna 2018.

2.3.2 Autoliikenne

Leviämismallilaskelmien tuloksena saadut autoliikenteen vuoden 2018 päästöjen yksinään aiheuttamat korkeimmat hengitettävien hiukkasten vuosikeskiarvopitoisuudet Turun seudulla on esitetty kuvassa 15 sekä liitekuvissa 43–46. Tulosten mukaan hengitettävien hiukkasten vuosipitoisuudet ovat suurimmillaan Turun keskustan vilkkaimpien teiden varsilla ja niiden ristysalueilla, jossa pitoisuus on yli 10 µg/m³. Turun keskustan ruutukaava-alueella ja seudun kaikkien suurimpien teiden varsilla pitoisuus on 5–10 µg/m³. Naantalin ja Kaarinan keskustojen alueella autoliikenteen aiheuttama typpidioksidipitoisuus on 1–5 µg/m³ ja Paraisten keskustan alueella vielä tätäkin pienempi.

Autoliikenteen päästöjen yksinään aiheuttama hengitettävien hiukkasten pitoisuuden vuorokausiraja-arvo ylittyy Turun keskustan vilkkaimmalla ristysalueella yksittäisissä laskentapisteissä. Turun keskustan muilla vilkkailla teillä ja niiden risteysalueilla vuorokausiraja-arvoon verrannolliset pitoisuudet ovat 30–50 µg/m³ ja Raision keskustassa ja Turun kehätien varrella 10–30 µg/m³. Pitoisuudet pienentyvät nopeasti etäisyyden kasvaessa vilkkaimmista teistä. Naantalin, Kaarinan ja Paraisten alueella pitoisuudet ovat pääsääntöisesti alle 10 µg/m³ (liitekuvat 45–46).



Kuva 15. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama hengitettävien hiukkasten korkein vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) Turun seudulla vuonna 2018 ilman alueellista taustapitoisuutta.

2.4 Rikkidioksidipitoisuudet (SO_2)

Rikkidioksidipitoisuudet ovat Turun seudulla pääsääntöisesti pieniä. Satama-alueiden läheisyydessä laivaliikenteen päästöt vaikuttavat rikkidioksidin pitoisuustasoihin eniten. Energiantuotanto- ja teollisuuslaitosten päästöillä on paikallinen vaikutus rikkidioksidin pitoisuuksiin lähialueillaan.

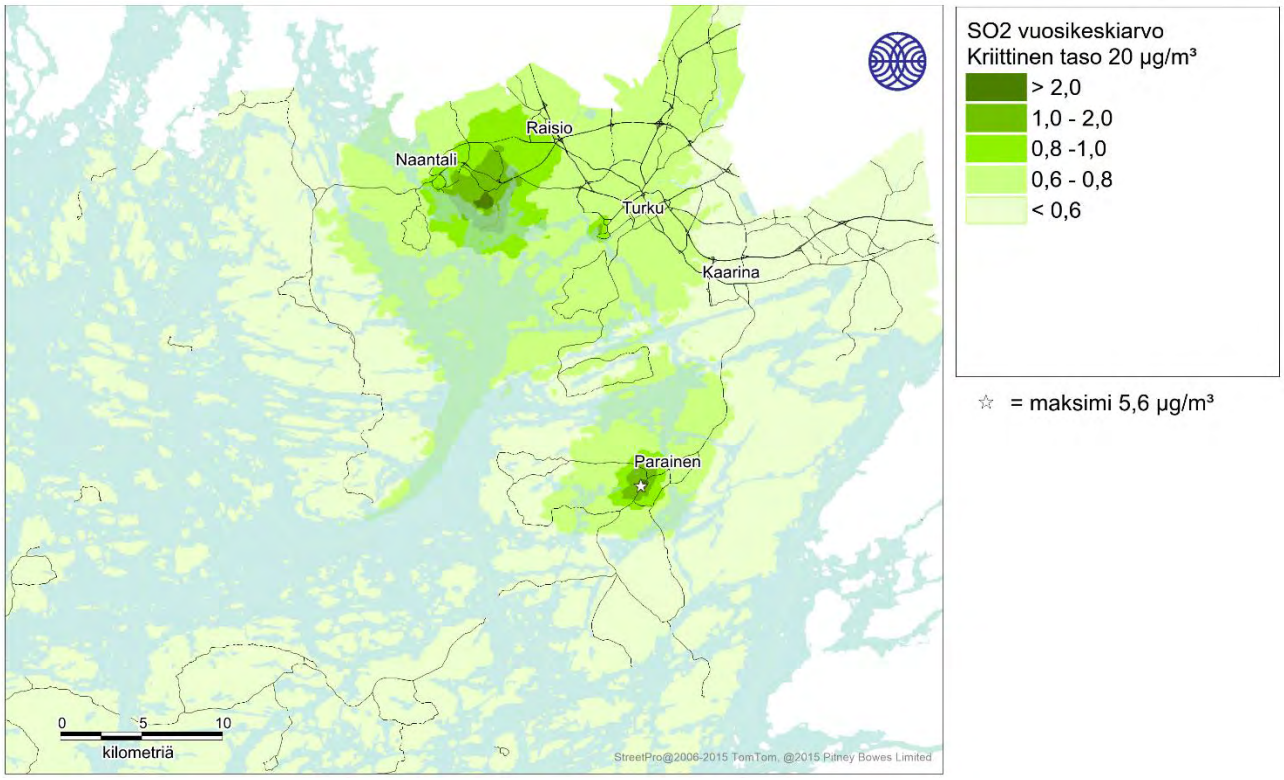
2.4.1 Kaikki päästölähteet

Taulukossa 5 on esitetty leviämismallilaskelmien tuloksena saadut korkeimmat rikkidioksidin raja- ja ohjearvoihin verrannolliset pitoisuudet Turun seudulla vuonna 2018. Korkeimmat pitoisuudet on esitetty päästölähteittäin ja kaikkien päästölähteiden yhteisvaikutuksena. Turun seudun laivaliikenteen, energiantuotannon, teollisuuden ja laivaliikenteen vuoden 2018 päästöjen sekä alueellisen taustapitoisuuden yhdessä aiheuttamat korkeimmat rikkidioksidin vuosikeskiarvopitoisuudet on esitetty kuvassa 16 ja liitekuvissa 47–50.

Mallinnetut rikkidioksidipitoisuudet alittavat kaikki ilmanlaadun raja- ja ohjearvot Turun seudulla. Rikkidioksidipitoisuuksien vuosikeskiarvolle annettu kriittinen taso (20 µg/m³) alittuu koko Turun seudun alueella erittäin selvästi, korkeimpien pitoisuuksien ollessa 6 µg/m³. Korkeimmat pitoisuudet esiintyvät Naantalissa Nesteen jalostamon päästölähteiden ja Paraisilla Paroc Oy:n päästölähteiden ympäristössä. Rikkidioksidipitoisuuksille annettua kriittistä tasoa sovelletaan rakennetun ympäristön ulkopuolella olevilla maa- ja metsätalousalueilla sekä luonnonsuojelun kannalta merkityksellisillä alueilla.

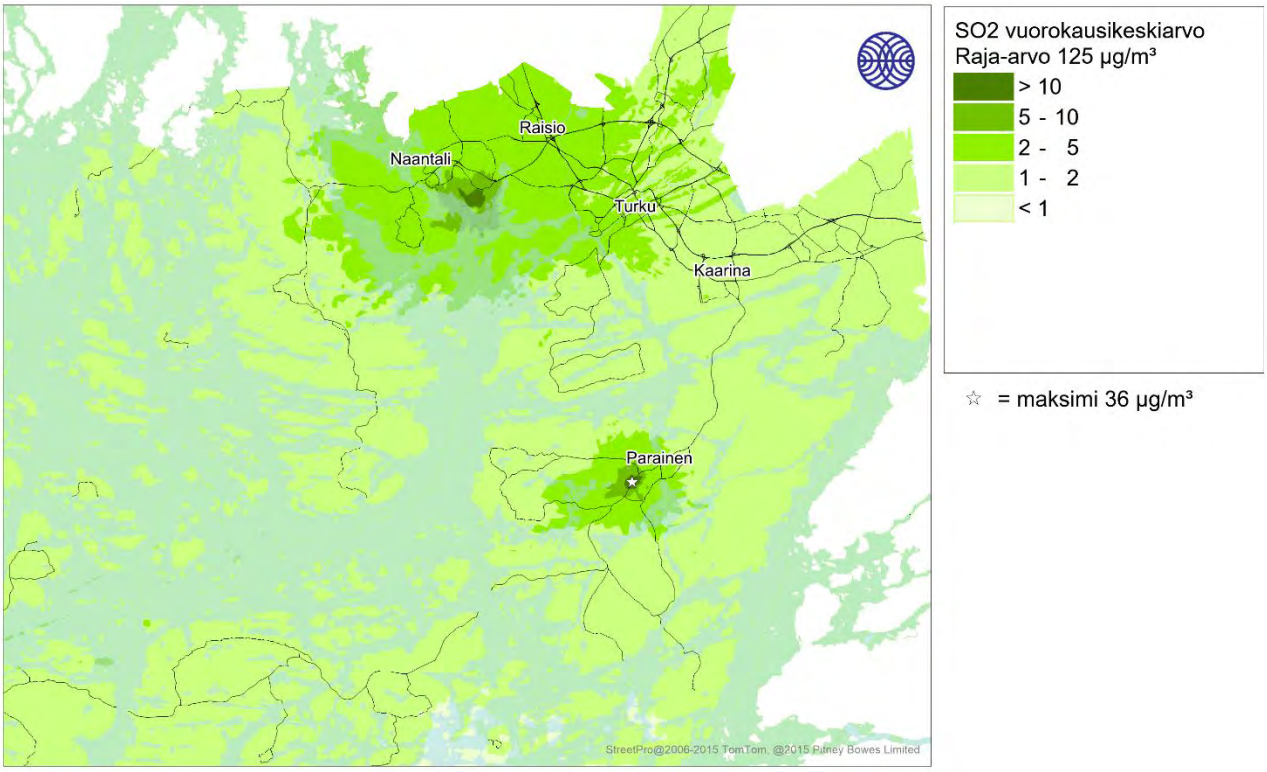
Taulukko 5. Korkeimmat mallinnetut rikkidioksidipitoisuudet (µg/m³) Turun seudulla vuonna 2018.

SO_2 2018	Ohje- tai raja-arvo	Energiantuotanto ja teollisuus	Laivaliikenne	Taustapitoisuus	Kaikki yhteensä
Vuosikeskiarvo	20	5,2	0,9	0,4	5,6
Vuorokausiohjearvo	80	42	6,9	0,4	42
Vuorokausiraja-arvo	125	35	6,0	0,4	36
Tuntiohjearvo	250	72	35	0,4	72
Tuntiraja-arvo	350	71	22	0,4	72



Kuva 16. Laivaliikenteen, energiantuotannon ja teollisuuden sekä alueellisen taustapitoisuuden (vuosikeskiarvona 0,4 µg/m³) aiheuttama rikkidioksidin (SO_2) korkein vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) Turun seudulla vuonna 2018.

Turun seudun vuoden 2018 kaikkien päästölähteiden ja alueellisen taustapitoisuuden yhdessä aiheuttamat korkeimmat rikkidioksidin vuorokausiraja-arvoon verrannolliset pitoisuudet on esitetty kuvassa 17.

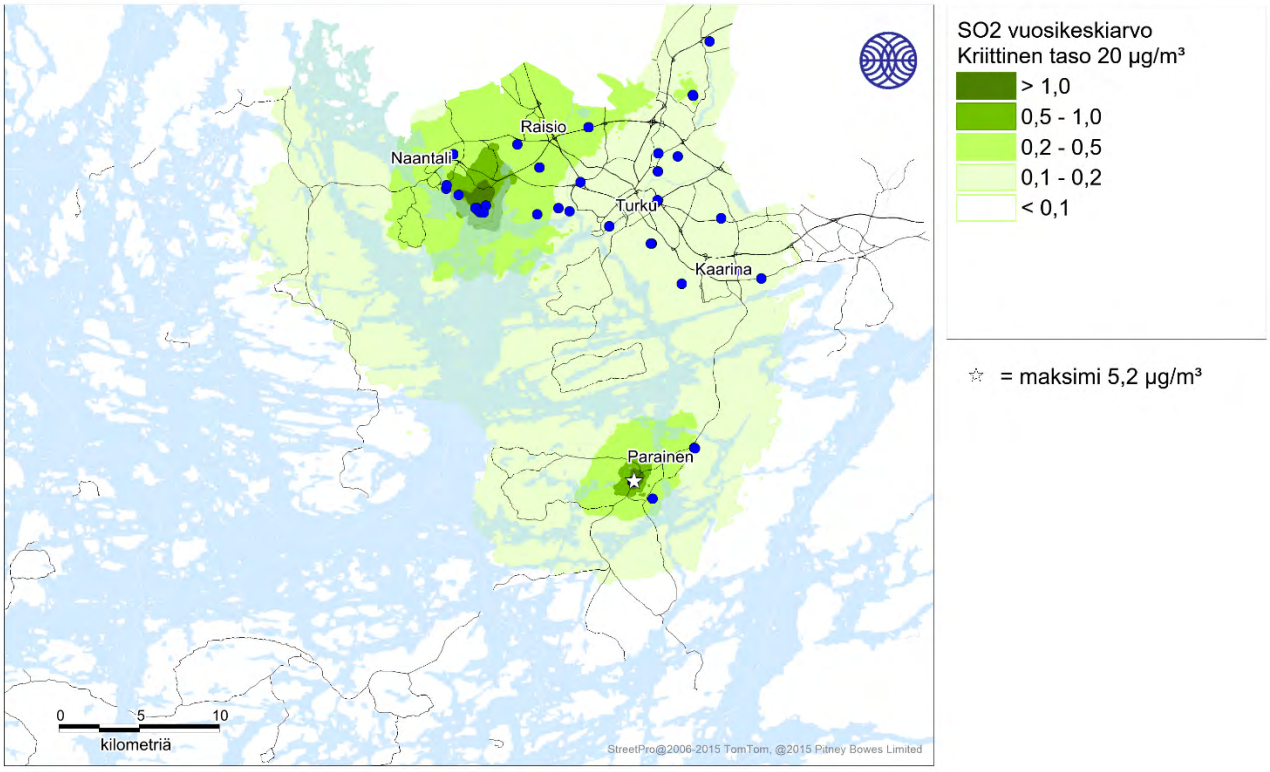


Kuva 17. Laivaliikenteen, energiantuotannon ja teollisuuden sekä alueellisen taustapitoisuuden (vuosikeskiarvona 0,4 µg/³) aiheuttama rikkidioksidin vuorokausiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³) Turun seudulla vuonna 2018.

2.4.2 Energiantuotanto ja teollisuus

Leviämismallilaskelmien tuloksena saadut energiantuotannon ja teollisuuden vuoden 2018 päästöjen aiheuttamat korkeimmat rikkidioksidin vuosikeskiarvopitoisuudet Turun seudulla on esitetty kuvassa 18 sekä liitekuvissa 51 ja 52. Tulosten mukaan laitosten yhdessä aiheuttamat korkeimmat rikkidioksidin vuosipitoisuudet ovat korkeimmillaan noin 5,2 µg/m^3. Rikkidioksidipitoisuudet ovat suurimmillaan Naantalissa ja Paraisilla. Pitoisuuksien muodostumiseen vaikuttavat eniten Naantalin Neste Oy:n ja Turun seudun energiantuotanto Oy:n Naantalin voimalaitoksen sekä Paraisten Paroc Oy:n päästöt. Muiden energiantuotanto- ja teollisuuslaitosten vaikutus rikkidioksidipitoisuuksiin on vähäistä.

Energiantuotannon ja teollisuuden vuoden 2018 päästöjen aiheuttamat korkeimmat vuorokausiraja-arvoon verrannolliset rikkidioksidipitoisuudet ovat korkeimmillaan hieman yli 35 µg/m^3 (liitekuvat 53 ja 54).



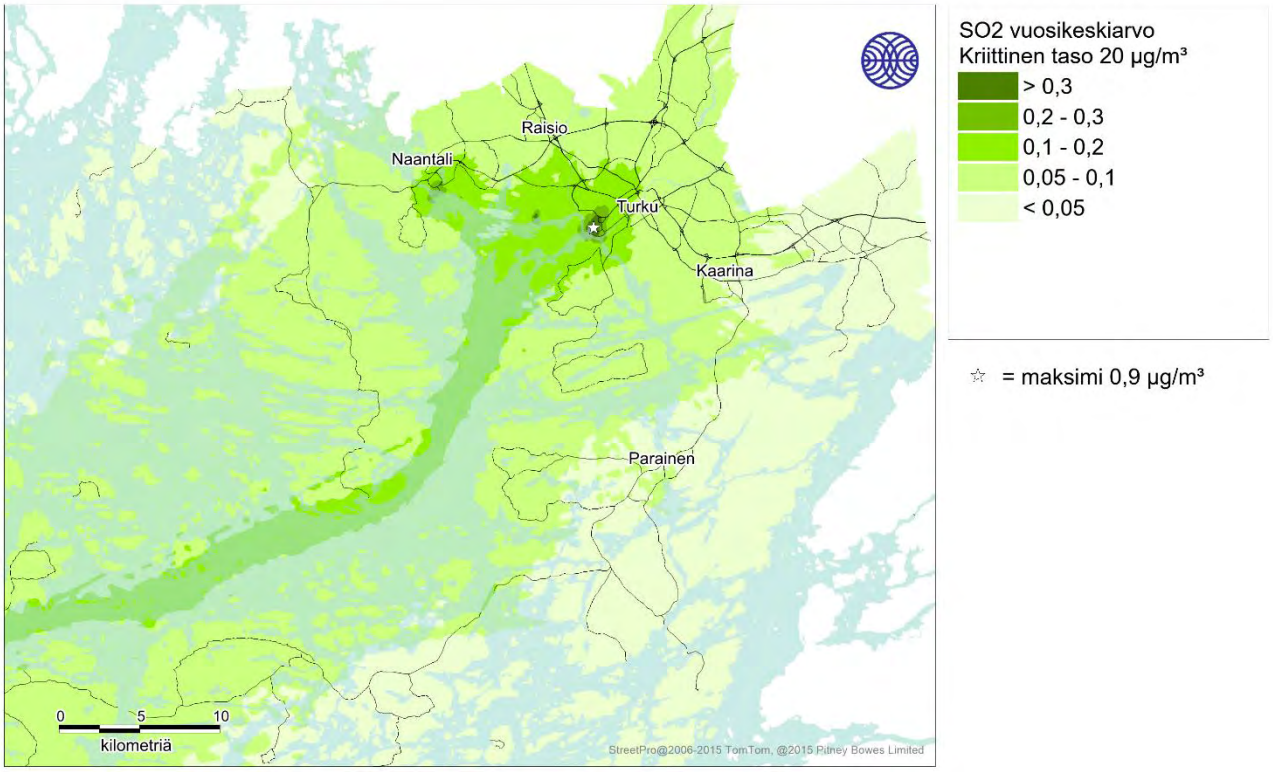
Kuva 18. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttama rikkidioksidin korkein vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) Turun seudulla vuonna 2018 ilman alueellista taustapitoisuutta. Siniset pisteet kuvaavat mallinnuksessa mukana olleita energiantuotanto- tai teollisuuslaitoksia.

2.4.3 Laivaliikenne

Leviämismallilaskelmien tuloksena saadut laivaliikenteen vuoden 2018 päästöjen yksinään aiheuttamat korkeimmat rikkidioksidipitoisuudet Turun seudulla on esitetty kuvassa 19 sekä liitekuvissa 55–58.

Laivaliikenteen päästöjen yksinään aiheuttamat rikkidioksidipitoisuudet ovat suurimmillaan Turun, Naantalin ja Pansion satamien sekä Turun korjaustelakan läheisyydessä. Vuosikeskiarvopitoisuudet ovat kuitenkin hyvin pieniä ja korkeimmillaan ne ovat alle 5 % rikkidioksidin kriittisestä arvosta (20 µg/m³). Laivapäästöt kohottavat pitoisuuksia satama-alueiden lisäksi myös Turun, Naantalin ja Paraisten saariston laivaväylien aluella, mutta siellä pitoisuudet ovat vuositasolla vain 0,1–0,2 µg/m³.

Laivaliikenteen päästöillä on paikallinen vaikutus rikkidioksidin lyhytaikaispitoisuuksiin satama-alueilla ja niiden läheisyydessä. Laivaliikenteen vuoden 2018 päästöjen aiheuttamat rikkidioksidin vuorokausiraja-arvoon verrannolliset pitoisuudet ovat korkeimmillaan Turun sataman ja Turun korjaustelakan alueilla enimmillään 6 µg/m³ (raja-arvo 125 µg/m³) . Korkein vuorokausiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus 6 µg/m³ havaitaan Turun satama-alueella yksittäisessä laskentapisteessä (liitekuvat 57–58).

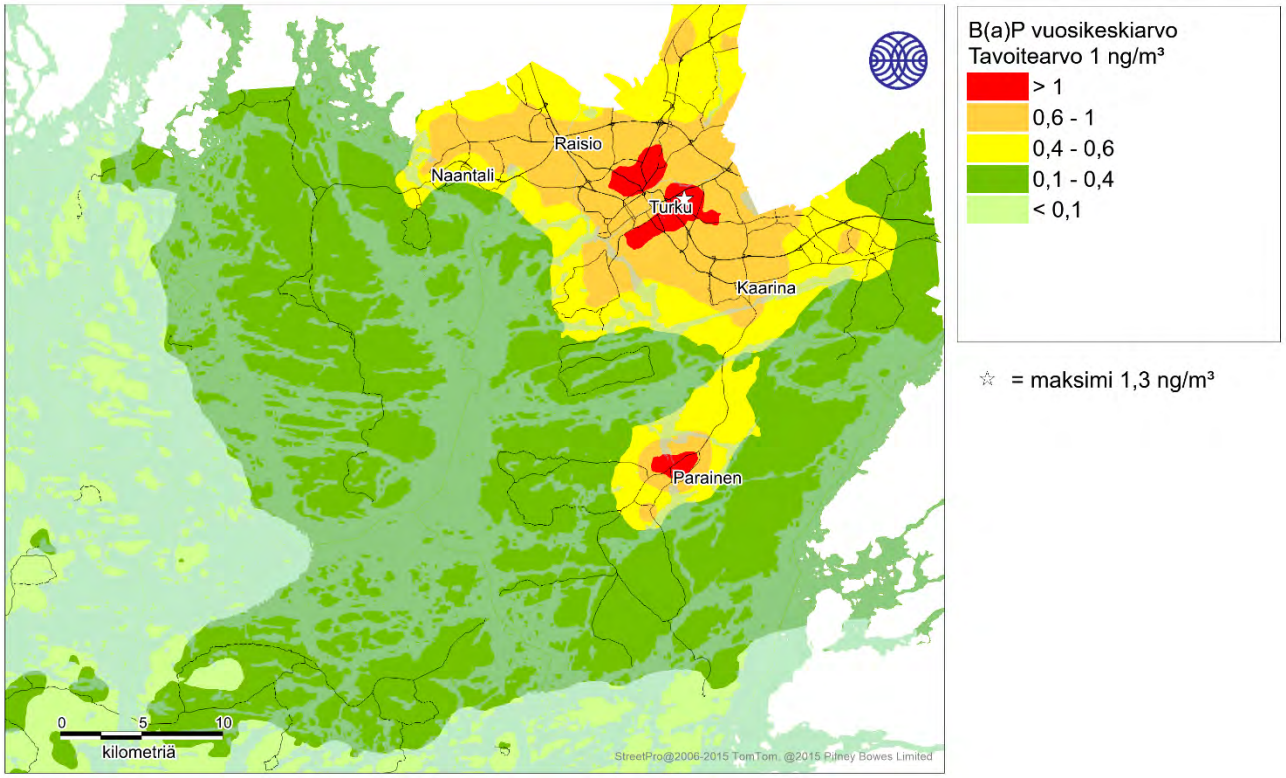


Kuva 19. Laivaliikenteen päästöjen aiheuttama rikkidioksidin korkein vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) Turun seudulla vuonna 2018 ilman alueellista taustapitoisuutta.

2.5 Bentso(a)pyreenipitoisuudet

Leviämismallilaskelmien tuloksena saadut pientalojen ja vapaa-ajanrakennusten puunpolton päästöjen aiheuttamat korkeimmat bentso(a)pyreenin vuosikeskiarvopitoisuudet Turun seudulla on esitetty kuvassa 20 ja liitekuvissa 59–60. Bentso(a)pyreenin pitoisuustuloksissa on huomioitu vain asuinrakennusten aiheuttamat puunpolton päästöt ilman alueellista taustapitoisuutta. Hyytiälän maaseututausta-aseman mittaustuloksista vuosilta 2016–2018 laskettu taustapitoisuuden keskiarvo oli 0,11 ng/m³ (*Ilmatieteen laitos, 2020*). Leviämismallilaskelmien mukaan asuinrakennusten puunpolton päästöjen aiheuttamat suurimmat bentso(a)pyreenipitoisuudet syntyvät Turun keskustan pientaloalueiden kohdalle sekä Paraisten keskustan kohdalle. Näillä alueilla bentso(a)pyreenin vuosikeskiarvo ylittää tavoitearvon 1 ng/m³. Ylempi arviointikynnys 0,6 ng/m³ ylittyy kaikkien seudun kaupunkien alueilla. Alempi arviointikynnys 0,4 ng/m³ ylittyy lähes kaikkialla mantereella, mutta saaristossa bentso(a)pyreenin vuosipitoisuudet ovat tasolla 0,1–0,4 ng/m³.

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.

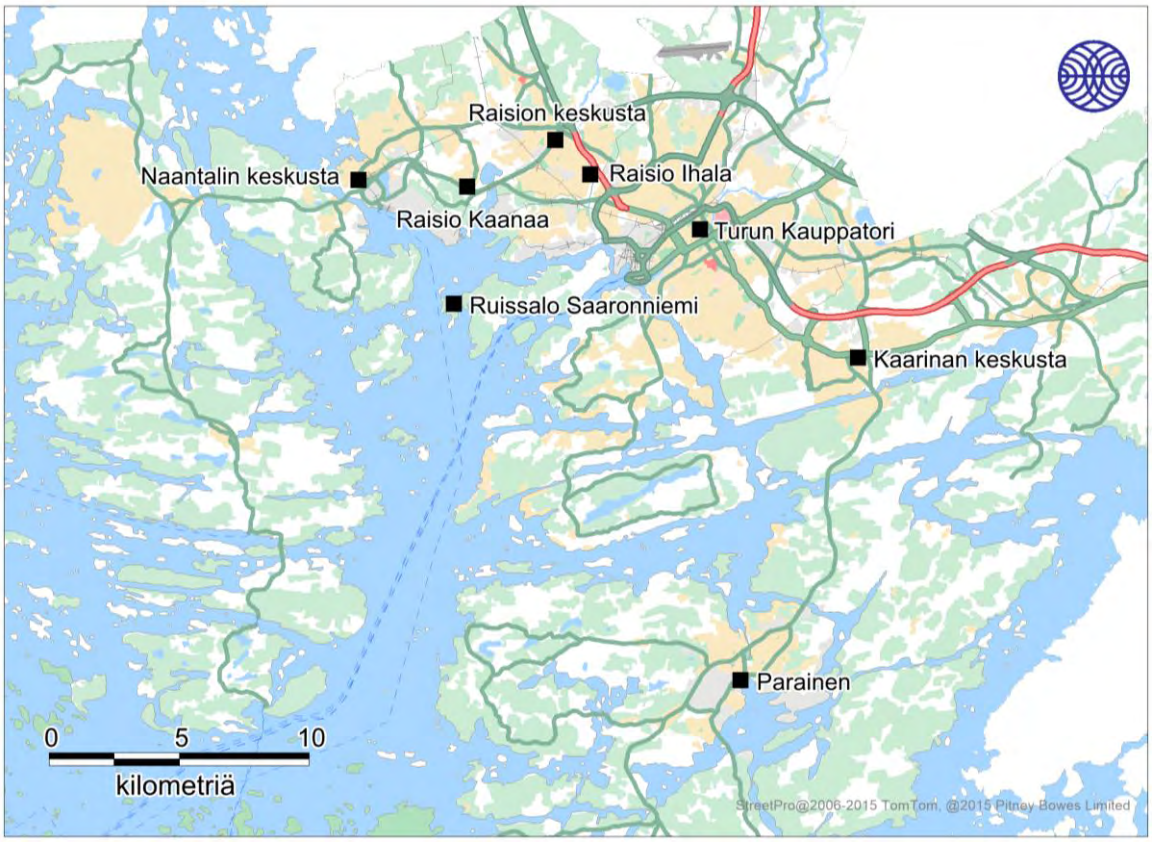


Kuva 20. Puun polton päästöjen aiheuttama bentso(a)pyreenin korkein vuosikeskiarvopitoisuus (ng/m³) Turun seudulla vuonna 2018 ilman alueellista taustapitoisuutta.

2.6 Mallilaskelmien tulosten arviointi

2.6.1 Mallinnettujen pitoisuuksien vertailu ilmanlaadun mittaustuloksiin

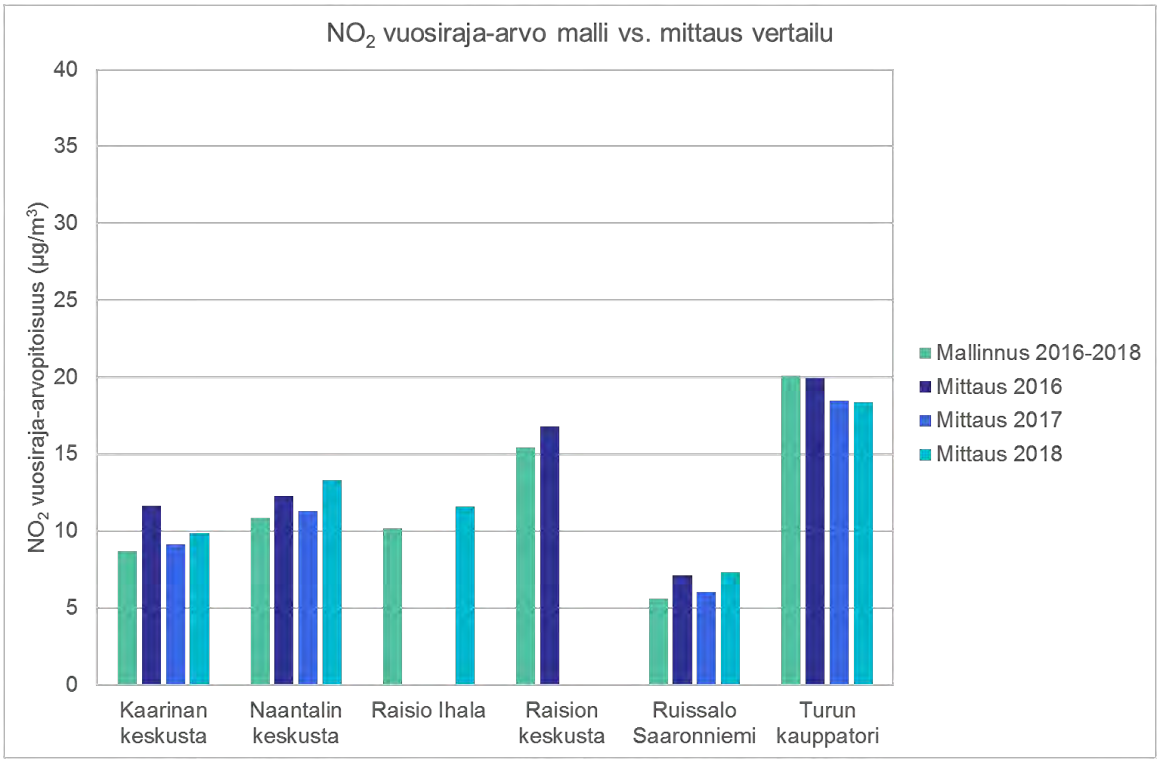
Mallituloksia ja mallilaskelmissa käytettyjen lähtötietojen oikeellisuutta arvioidaan vertaamalla mallinnettuja pitoisuuksia ilmanlaadun mittausasemilla samana vuonna mitattuihin pitoisuuksiin. Turun seudulla on mitattu typen oksidien, hiukkasten ja rikkidioksidin pitoisuuksia vuosina 2016–2018 yhteensä kahdeksalla mittausasemalla (kuva 21). Kaupunkien keskustojen ilmanlaadun mittausasemilla (Turun kauppatori sekä Naantalin, Kaarinan ja Raision keskustat) seurattiin pääasiassa liikenteen päästöjen vaikutuksia ilmanlaatuun. Paraisten ja Raision Kaanaan mittausasemilla pyrittiin selvittämään erityisesti teollisuuden päästöjen vaikutuksia ilmanlaatuun. Raision Ihalan ja Ruissalon Saaronniemen mittausasemat edustavat kaupunkitaustapitoisuuksia keskustojen ulkopuolella. Turun Kauppatorin mittausasema purettiin toriparkkityömaan tieltä syyskuussa 2018 ja siirrettiin rakennustöiden ajaksi väliaikaiseen sijaintiin Kauppatorin pohjoislaidalle. Seuraavissa vertailuissa on Turun Kauppatorilta käytetty vuonna 2018 kahden mittausaseman yhdistelmäaineistoa. Raision keskustan mittausasemalta on tuloksia vain vuodelta 2016, Kaanaan mittausasemalta vuosilta 2017–2018 ja Ihalan mittausasemalta vain vuodelta vuodelta 2018. Eri mittausasemilla mitataan eri ilmansaastekomponentteja. Pienhiukkasia on mitattu tarkastelujaksolla ainoastaan Raision Ihalan mittausasemalla. Bentso(a)pyreenin pitoisuuksia Turun seudulla ei ole mitattu. Mittausasemilla pitoisuuksia mitataan 3–3,5 metrin korkeudella maanpinnasta, mihin myös mittausasemien kohdille mallinnetut pitoisuudet on laskettu (*Turun seudun ilmansuojelun yhteistyöryhmä, 2017, 2018 ja 2019*).



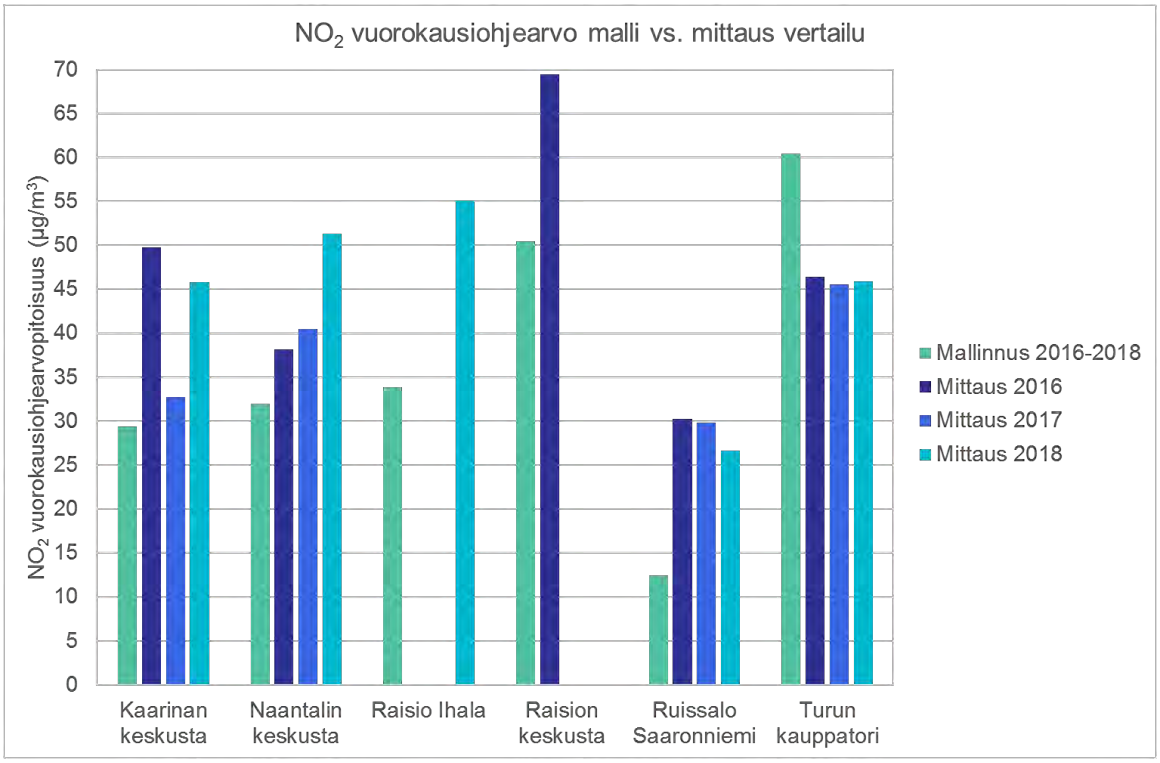
Kuva 21. Ilmanlaadun mittausasemat Turun seudulla vuosina 2016–2018.

Mallinnettuja pitoisuustuloksia on verrattu vuosina 2016–2018 ilmanlaadun mittausasemilla mitattuihin pitoisuuksiin. Mallinnus on tehty vuoden 2018 päästötiedoilla, joten mallitulosten tulisi parhaiten vertautua juuri vuoden 2018 mittauksiin. Mallinnetuisssa pitoisuuksissa oli mukana autoliikenteen, energiantuotannon ja teollisuuden, laivaliikenteen ja asuinrakennusten puunpolton päästöjen aiheuttamat pitoisuudet sekä alueelliset taustapitoisuudet. Ilmanlaatuasetuksen (*79/2017*) mukainen laatutavoite mallintamisen epävarmuudelle on typpi- ja rikkidioksidipitoisuuksien vuosikeskiarvolle 30 % ja vuorokausiarvoille 50 % sekä hiukkaspitoisuuksien vuosikeskiarvolle 50 %. Epävarmuus määritetään enimmäispoikkeamana mitatuista ja mallinnetuista raja-arvoihin verrannollisista pitoisuuksista ottamatta huomioon tapahtumien ajoitusta.

Typpidioksidipitoisuuksien malli-mittausvertailut on esitetty kuvassa 22 ja 23. Mallinnetut typpidioksidin vuosipitoisuudet vastasivat hyvin mitattuja pitoisuuksia mutta vuorokausiohjearvoon verrannollisten pitoisuuksien ero mitattuihin oli suurempi. Mallinnettujen ja mitattujen typpidioksidin vuosikeskiarvopitoisuuksien ero vaihteli välillä 1–25 % ja ohjearvoon verrannollisten vuorokausipitoisuuksien välillä 16–59 %. Parhaiten mallinnetut pitoisuudet vastasivat mitattuja typpidioksidipitoisuuksia Turun kauppatorilla. Laatutavoiteet mallintamisen epävarmuudelle täyttyivät selvästi suurimmalla osalla asemista ja tarkasteluvuosista. Malli yliarvioi hieman vuosipitoisuuksia Turun kauppatorilla mutta aliarvioi pitoisuuksia kaikilla muilla mittauasemilla.

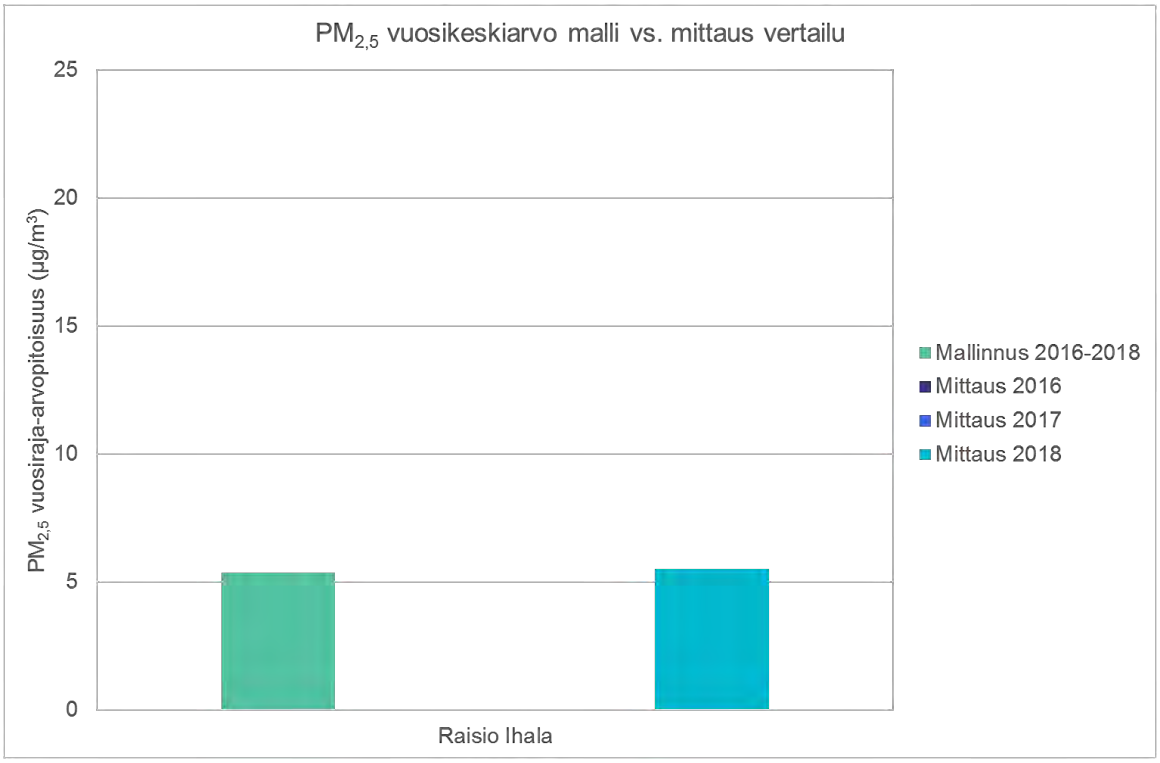


Kuva 22. Mallinnettujen ja mitattujen typpidioksidin vuosiraja-arvoon (40 µg/m³) verrannollisten pitoisuuksien vertailu Turun seudun ilmanlaadun mittausasemilla.

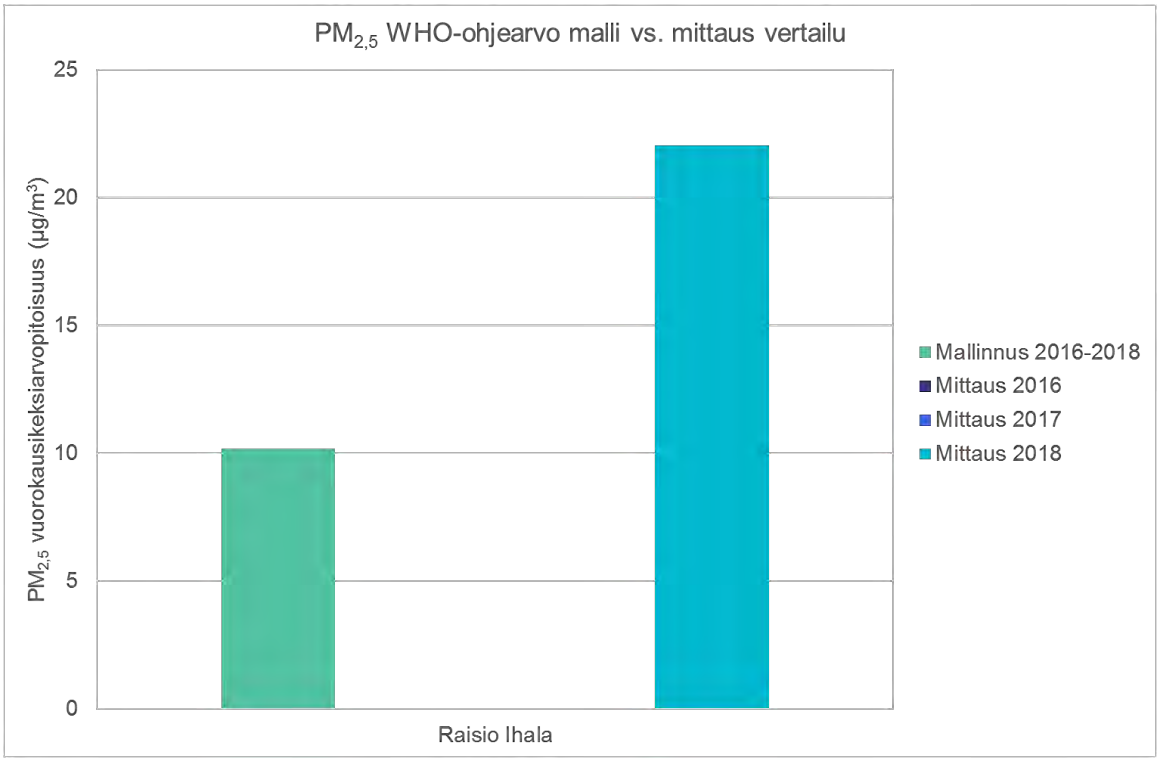


Kuva 23. Mallinnettujen ja mitattujen typpidioksidin vuorokausiohjearvoon (70 µg/m³) verrannollisten pitoisuuksien vertailu Turun seudun ilmanlaadun mittausasemilla.

Pienhiukkaspitoisuuksien malli-mittausvertailu Raision Ihalan vuoden 2018 mittaustuloksiin on esitetty kuvissa 24–25. Mallinnettu vuosikeskiarvopitoisuus vastasi hyvin mitattua pienhiukkaspitoisuutta, eroten mitatusta vain 2 %. Mallinnettu WHO:n vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus jäi vain noin puoleen mitatusta korkeimmasta vuorokausipitoisuudesta. Leviämismalli aliarvioi korkeimpia lyhytaikaisia kaukokulkeumasta johtuvia hiukkaspitoisuuksia, koska taustapitoisuus kuvataan malliin kuukausikohtaisina tuntikeskiarvoina, jolloin kaukokulkeumaepisodien aiheuttamat korkeat hetkelliset pienhiukkaspitosuudet 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 Raision Ihalassa mitattiin pienhiukkasten vuorokausipitoisuudeksi 22 µg/m³.



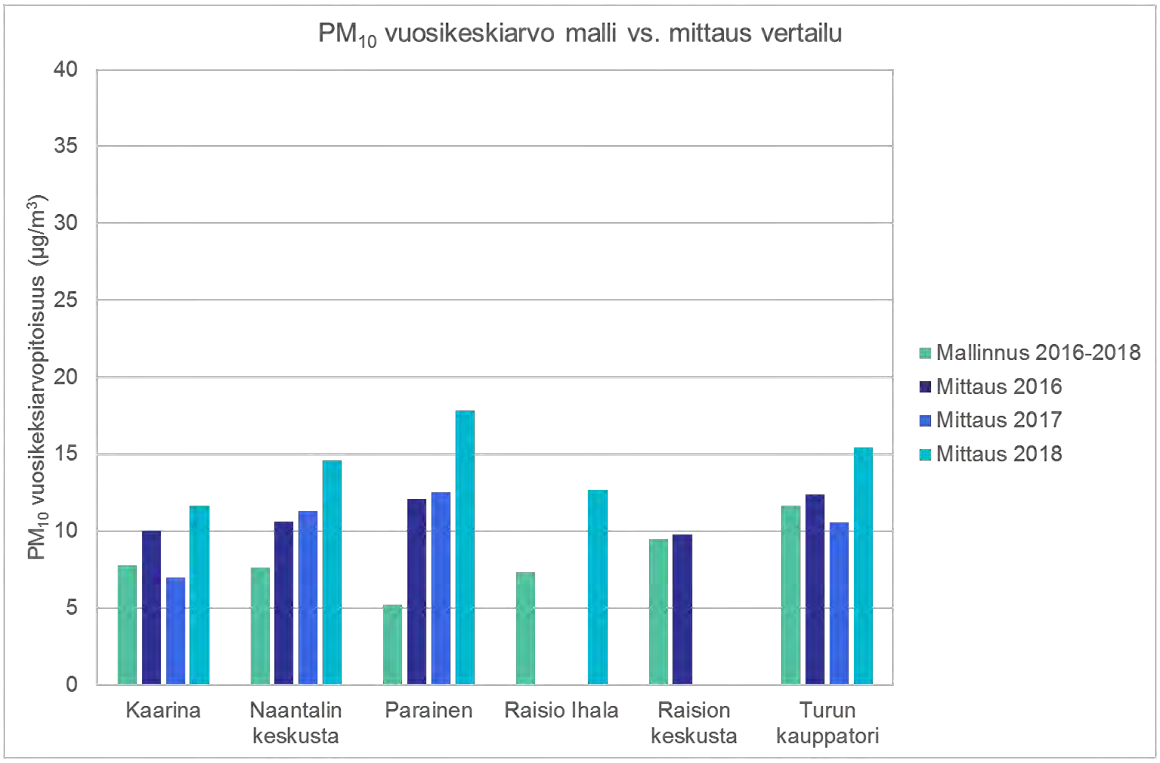
Kuva 24. Mallinnettujen ja mitattujen pienhiukkasten vuosiraja-arvoon (25 µg/m³) verrannollisten pitoisuuksien vertailu Raision Ihalan ilmanlaadun mittausasemalla.



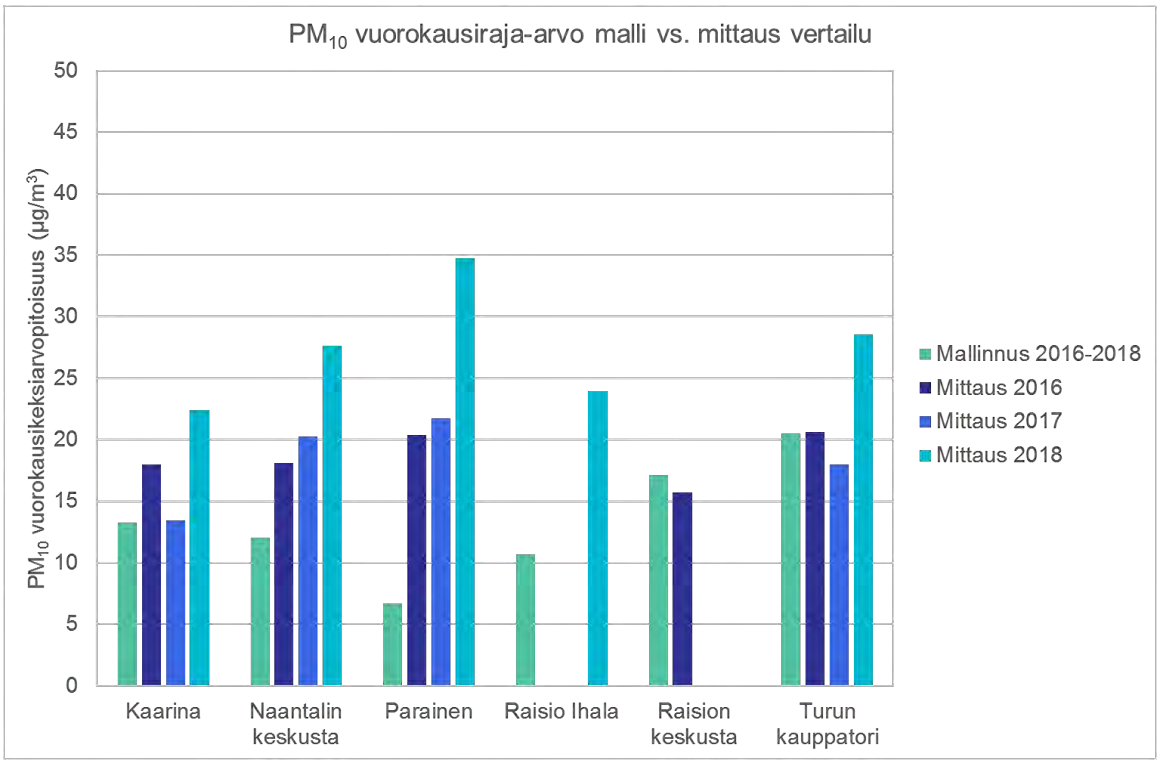
Kuva 25. Mallinnettujen ja mitattujen pienhiukkasten WHO:n ohjearvoon (25 µg/m³) verrannollisten pitoisuuksien vertailu Raision Ihalan ilmanlaadun mittausasemalla.

Hengitettävien hiukkasten malli-mittausvertailut on esitetty kuvassa 26–27. Leviämismalli pääsääntöisesti aliarvioi hengitettävien hiukkasten pitoisuuksia. Mallintamisen laatutavoite hiukkasten vuosikeskiarvopitoisuuksille täyttyi kaikkien muiden mittausasemien paitsi Paraisten mittausaseman kohdalla. Mallinnettujen hengitettävien hiukkasten vuosikeskiarvopitoisuuksien ero mitattuihin pitoisuuksiin vaihteli muilla asemilla välillä 6–48 % ja Paraisten mittausasemalla peräti välillä 57–71 %. Hengitettävien hiukkasten vuorkausiraja-arvon kohdalla erot vaihtelivat välillä 1–80 %. Eniten eroa mallinnettujen mitattujen pitoisuuksien välillä oli vuonna 2018.

Vuoden 2018 kevätpölykausi oli pitkä ja hankala, joten raja-arvon numeroarvon ylityksiä havaittiin kaikilla Turun seudun mittausasemilla ja myös vuorokausiraja-arvoon verrannolliset pitoisuudet (36. korkein vuorokausiarvo) olivat korkeampia kuin muina tarkasteluvuosina. Leviämismallilla ei saatu kuvattua todenmukaisesti näitä olosuhteita. Katupölypäästömallissa liikenteen PM_{10}-päästön määrä perustuu todellisiin havaittuihin sääolosuhteisiin ja sääolosuhteiden perusteella arvioituihin hiekoitusajankohtiin. Katupölypäästön määrässä ei siten ole otettu huomioon todellisia hiekoitusten ajakohtia, hiekoitusmääriä ja katujen puhdistamisen ja pölynsidonnan vaikutusta pölypäästöön. Leviämismallilla ei myöskään saada kuvattua hajapäästöjen aiheuttamia hiukkaspitoisuuksia, joita todennäköisesti havaitaan mittauksissa ainakin Paraisten mittausasemalla pölyävän teollisuuden lähistöllä. Vaikka teollisen toiminnan hiukkaspäästöt olisivatkin tasaisia ympäri vuoden, niin vaikutukset voivat siitä huolimatta korostua juuri kevätpölyaikaan ja näkyä kevätaikaisessa korkeissa hiukkaspitoisuuksissa, koska talvikauden aikana ympäristöön kerääntynyt pöly vapautuu keväällä ilmaan kun lumet sulavat ja pinnat kuivuvat. Vuonna 2018 Paraisten korkeimmat mitatut hengitettävien hiukkasten pitoisuudet aiheutuivat kevään katupölystä sekä kesällä laivan lastaukseen tai purkamiseen liittyvästä toiminnasta ja talvella inversiotilanteesta (*Turun seudun ilmansuojelun yhteistyöryhmä, 2019*).



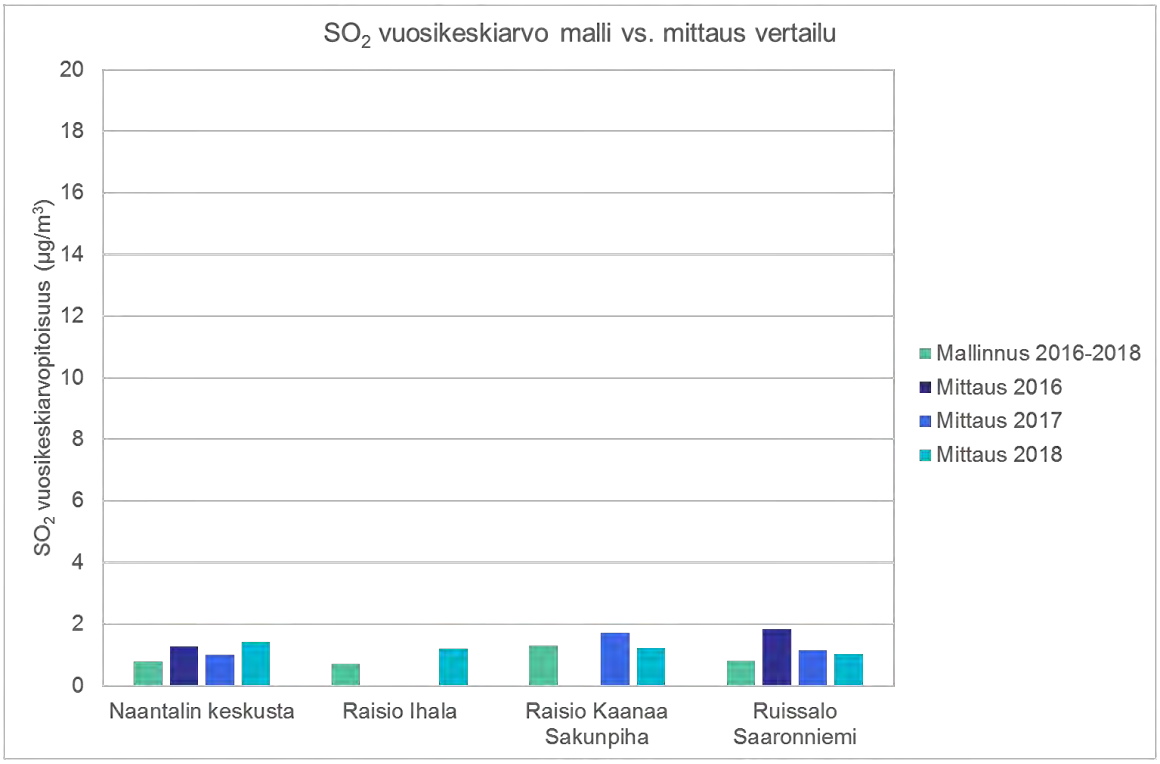
Kuva 26. Mallinnettujen ja mitattujen hengitettävien hiukkasten vuosiraja-arvoon (40 µg/m³) verrannollisten pitoisuuksien vertailu Turun seudun ilmanlaadun mittausasemilla.



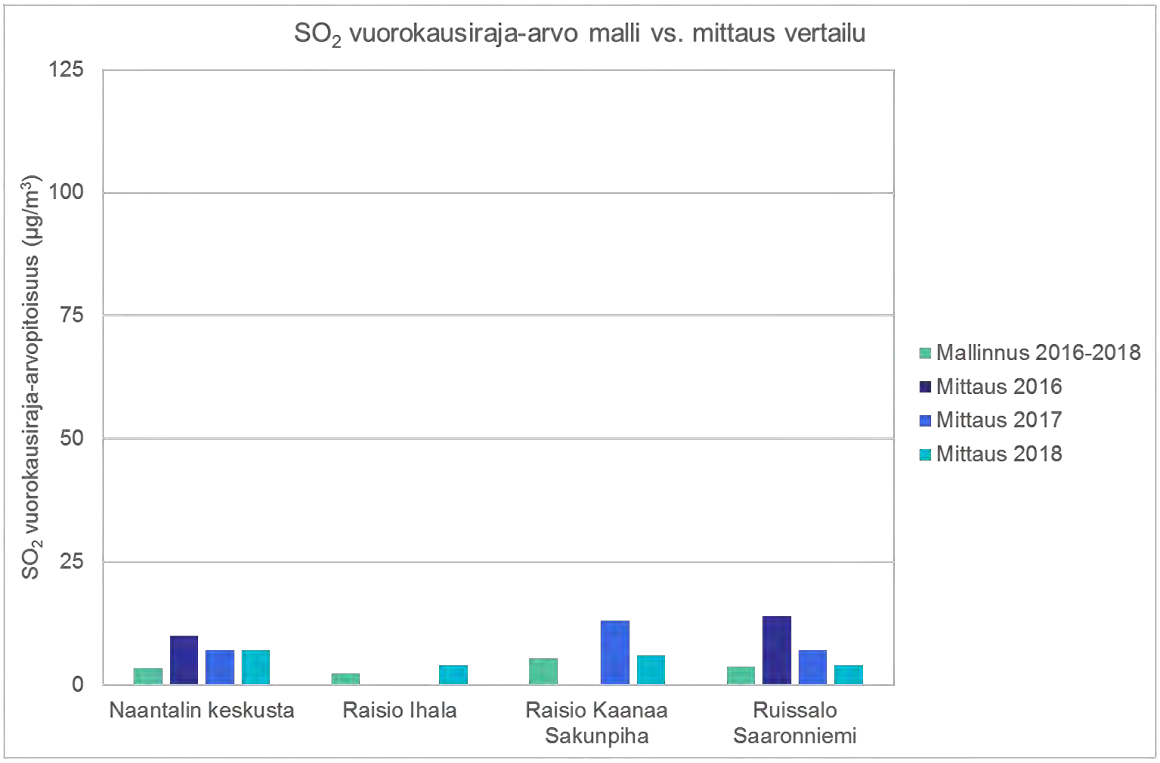
Kuva 27. Mallinnettujen ja mitattujen hengitettävien hiukkasten vuorokausiraja-arvoon (50 µg/m³) verrannollisten pitoisuuksien vertailu Turun seudun ilmanlaadun mittausasemilla.

Rikkidioksidipitoisuuksien malli-mittausvertailut on esitetty kuvissa 28–29. Mallinnetut rikkidioksidin vuosipitoisuudet vastasivat kohtalaisesti mitattuja pitoisuuksia mutta vuorokausiraja-arvoon verrannollisten pitoisuuksien ero mitattuihin oli suurempi. Mallinnettujen ja mitattujen rikkidioksidin vuosikeskiarvopitoisuuksien ero vaihteli välillä 7–44 % ja raja-arvoon verrannollisten vuorokausipitoisuuksien välillä 8–51 %. Laatutavoiteet mallintamisen epävarmuudelle eivät täyttyneet kaikilla asemilla kaikkina tarkasteluvuosina. Leviämismalli yliarvioi pitoisuuksia hiukan vuoden 2018 mittaustuloksiin verrattuna Raision Kaanaan mittausasemalla ja aliarvioi pitoisuuksia kaikilla muillla mittauasemilla ja muina vuosina. Paras vastaavuus mallinnetuilla ja mitatuilla pitoisuuksilla oli Raision Kaanaan mittausasemalla.

Rikkidioksidin kokonaispäästöt laskivat vuonna 2018 noin 36 % edelliseen vuoteen verrattuna, koska rikkidioksidipäästöt vähentyivät sekä Turun seudun energiantuotanto Oy:n Naantalin voimalaitoksella että Neste Oyj:n Naantalin jalostamolla (*Turun seudun ilmansuojelun yhteistyöryhmä, 2019*). Eri vuosien leviämismallilaskelmat tehtiin vuoden 2018 päästötiedoilla, joten mallitulosten tulisi parhaiten vertautua juuri vuoden 2018 mittauksiin. Rikkidioksidin päästövähennykset eivät kuitenkaan näkyneet Naantalissa mitatuissa rikkidioksidipitoisuuksissa, koska vuoden 2018 mitattu vuosikeskiarvopitoisuus oli korkeampi kuin vuoden 2017 pitoisuus. Ruissalon ja Raision Kaanaan mittausasemilla vuoden 2018 mitatut pitoisuudet olivat pienemmät kuin vuoden 2017 pitoisuudet. Näiden mittausasemien kohdalla mallinnetut rikkidioksidipitoisuudet vertautuivat hyvin vuoden 2018 mitattuihin pitoisuuksiin ja mallinnuksen laatuvaatimukset täyttyivät selvästi. 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 28. Mallinnettujen ja mitattujen rikkidioksidin kriittiseen tasoon (20 µg/m³) verrannollisten vuosikeskiarvopitoisuuksien vertailu Turun seudun ilmanlaadun mittausasemilla.

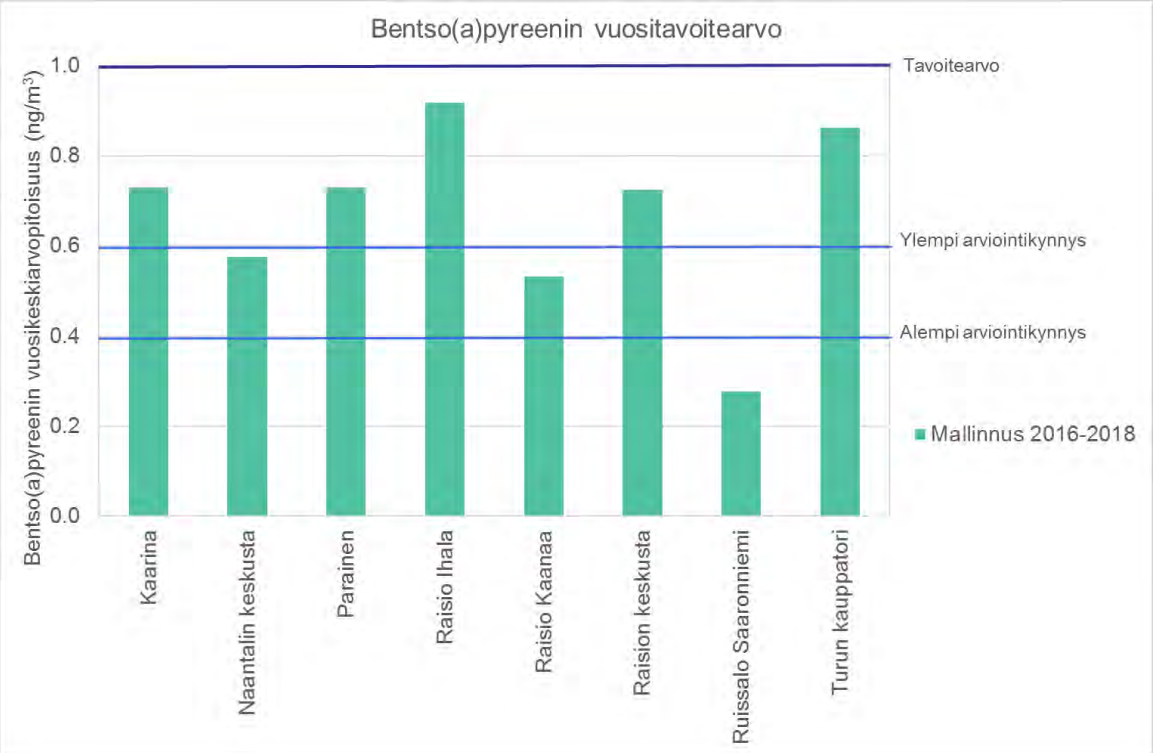


Kuva 29. Mallinnettujen ja mitattujen rikkidioksidin vuorokausiraja-arvoon (125 µg/m³) verrannollisten pitoisuuksien vertailu Turun seudun ilmanlaadun mittausasemilla.

Paraisten Nordkalk Oy:n kaivoksen päästöjä ei huomioitu selvityksessä, koska toiminnanharjoittajan tiedot olivat jääneet pois mallinnuksessa mukana olevien laitosten listasta. Kalkkikaivoksen alueella on useita pölyäviä toimintoja (esim. lastaukset satamassa) sekä pistemäisiä päästölähteitä (jauhatuslaitos ja kalkkiuuni), jotka vaikuttavat Paraisten alueen typpidioksidi, hiukkas- ja rikkidioksidipitoisuuksiin alueen muiden toimijoiden ja liikenteen päästöjen ohella. Mikäli Nordkalkin päästöt huomioitaisiin päästölaskennassa, hyvin todennäköisesti leviämismallilaskelmilla saatavat pitoisuudet Paraisilla olisivat korkeampia.

Bentso(a)pyreeniä ei ole mitattu Turun seudulla lainkaan vuosina 2016–2018, mutta sen pitoisuudet mallinnettiin samoihin ilmanlaadun mittauspisteisiin kuin muutkin epäpuhtaudet (kuva 30). Pitoisuudet jäävät kaikkien mittausasemien kohdalla bentso(a)pyreenin tavoitearvon (1 ng/m^3) alle, mutta ylittävät ylemmän arvioitinkynnyksen (0,6 ng/m^3). Tavoitearvon ylittyessä seuranta-alueella on tehtävä mittauksia. Arviointikynnys katsotaan ylittyvän vasta, kun kynnyksen lukuarvo on ylittynyt vähintään kolmena vuonna viiden vuoden aikana.

Mallivertailun tulosten perusteella voidaan todeta, että leviämismallitulokset edustavat suurimmaksi osaksi hyvin Turun seudun ilmanlaatutilannetta eri alueilla. Mallitulosten epävarmuus kuitenkin kasvaa lyhytaikaisissa pitoisuuksissa vuosikeskiarvopitoisuuksiin verrattuna. Yhtenä syynä epävarmuuten voi olla käytettyjen lähtötietojen (päästötiedot ja niiden ajallinen vaihtelu) tarkkuus.

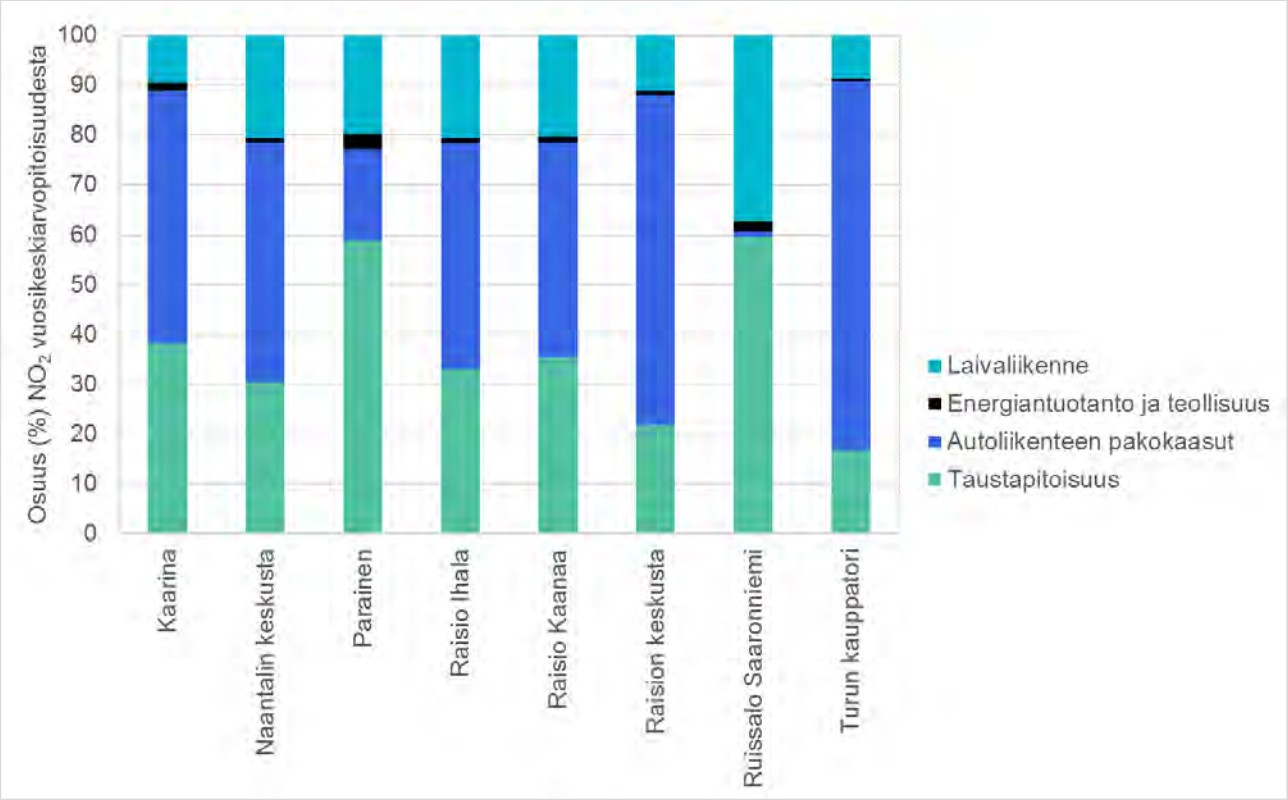


Kuva 30. Mallinnetut bentso(a)pyreenin tavoitearvoon (1 ng/m³) verrannolliset pitoisuudet Turun seudun ilmanlaadun mittausasemien kohdalla niiden mittauskorkeudelle mallinnettuna. Turun seudulla ei ole mitattu bentso(a)pyreeniä vuosina 2016–2018.

2.6.2 Eri päästölähteiden vaikutus ilmanlaatuun

Turun seudun ilmanlaadun mittauspisteisiin mallinnettujen pitoisuuksien avulla voitiin tarkastella eri päästölähdesektoreiden osuutta mallinnetuista epäpuhtauspitoisuuksista erityyppisissä ympäristöissä ja arvioida siten eri päästölähteiden vaikutusta ilmanlaatuun. Tarkastelussa ovat kaikki 8 ilmanlaadun mittausasemaa, riippumatta siitä, mitataanko kyseistä ilmansaaste–komponenttia tällä asemalla. Kuvissa 31–33 on esitetty eri päästölähdesektoreiden osuus mallinnetuista typpidioksidin, pienhiukkasten, hengitettävien hiukkasten ja rikkidioksidin vuosikeskiarvopitoisuuksista. Mallilaskelmissa on oletettu kaiken bentso(a)pyreenin olevan peräisin puunpoltosta, joten tämän yhdisteen pitoisuuksia ei esitetä seuraavissa kuvaajissa.

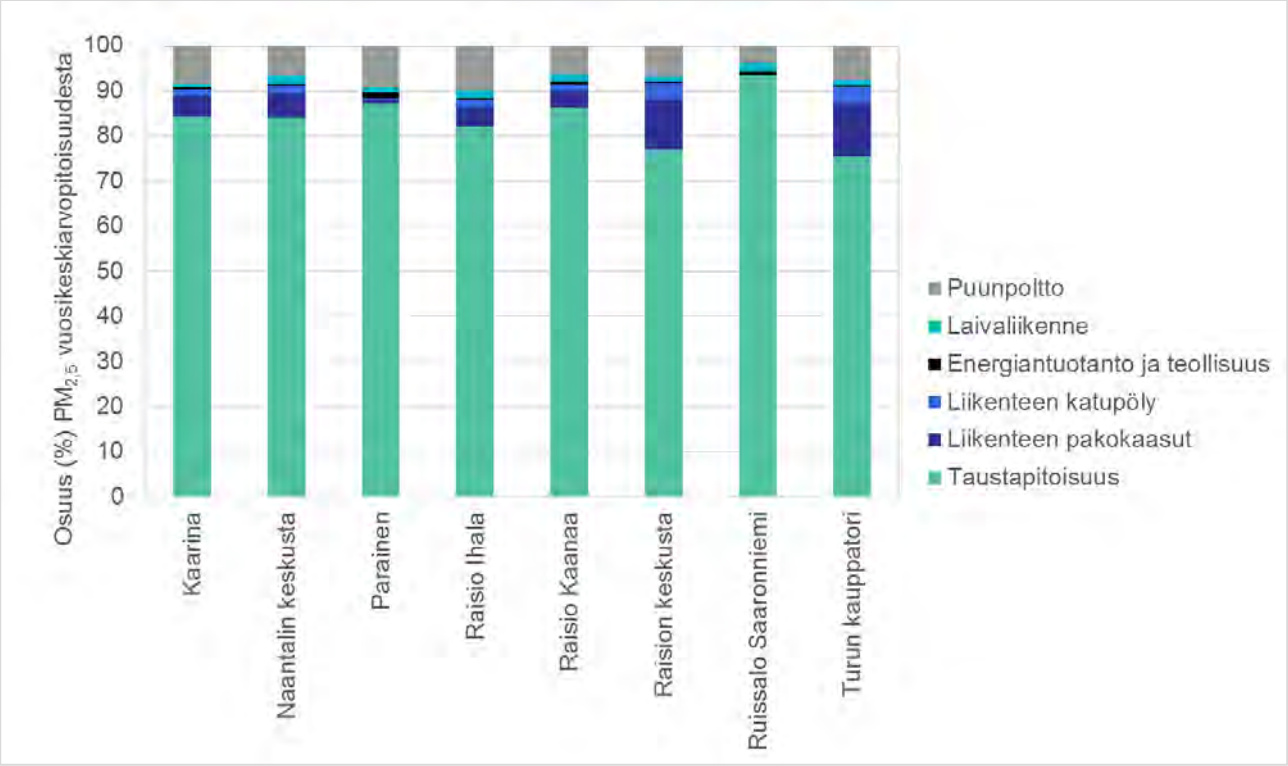
Autoliikenteen pakokaasupäästöt vaikuttavat eniten typpidioksidin pitoisuuksiin kaikilla muilla mittausasemilla paitsi Ruissalon Saaronniemessa ja Paraisilla. Näillä kahdella mittausasemalla taustapitoisuuden osuus on noin 60 % mallinnetusta typpidioksidipitoisuudesta. Mittausaseman ympäristöstä riippuen liikenteen päästöjen vaikutusosuus on muilla mittausasemilla noin 45–75 % typpidioksidipitoisuuksista. Suurimmillaan liikennepäästöjen vaikutusosuus on villkkaasti liikennöidyn Turun Kauppatorin ja Raision keskustan mittausasemien kohdalla. Energiantuotannon ja teollisuuden vaikutusosuus on alle 3 % ja laivaliikenteen 10–40 % typpidioksidipitoisuuksista.



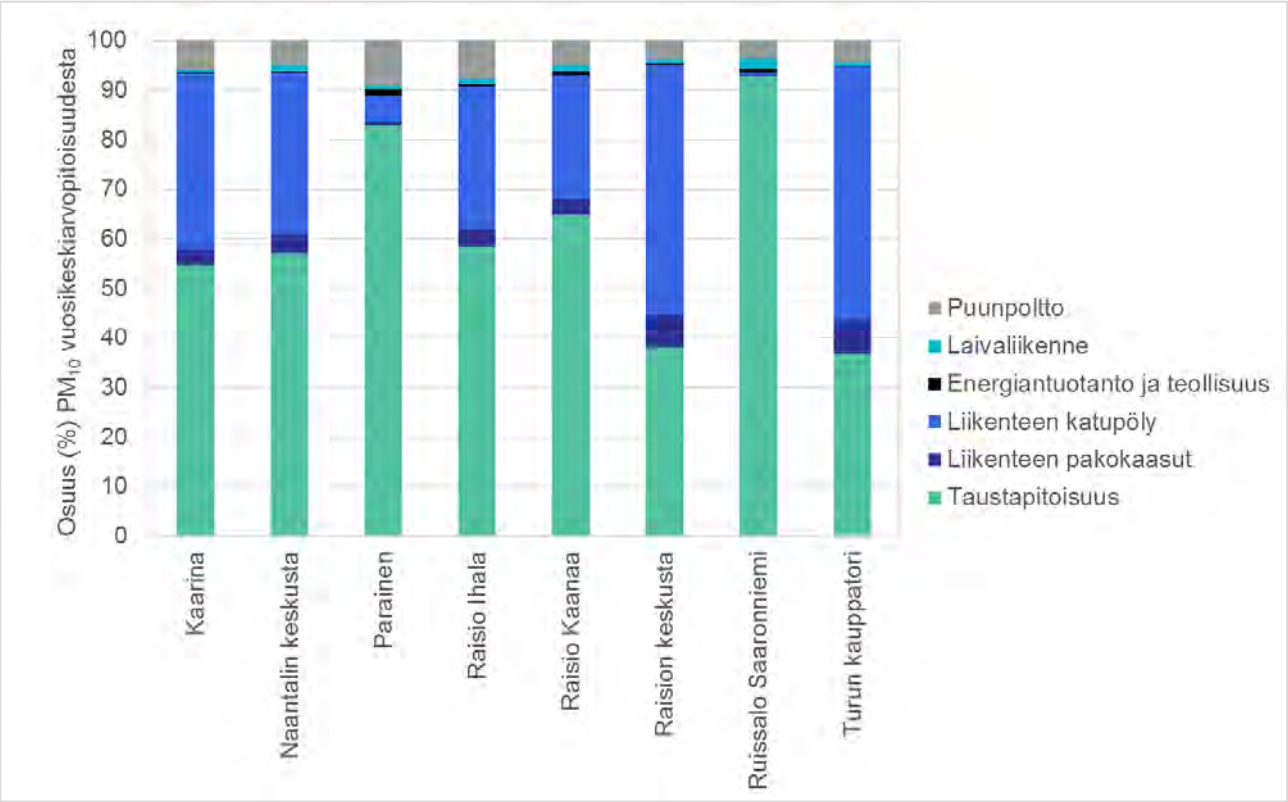
Kuva 31. Eri päästölähdesektoreiden osuus mallinnetuista typpidioksidin vuosikeskiarvopitoisuuksista ilmanlaadun mittauspisteissä vuonna 2018.

Taustapitoisuus eli alueelle muualta kulkeutuneet pienhiukkaset aiheuttavat suurimman osan, noin 75–95 %, pienhiukkaspitoisuuksista eri mittausasemilla. Suurin osa pienhiukkasten taustapitoisuudesta on kaukokulkeutunutta hiukkasmassaa, joka voi olla peräisin jopa tuhansien kilometrien päästä. Asuinrakennusten puunpoltto vaikuttaa useimmissa ympäristöissä liikennepäästöjä enemmän pienhiukkaspitoisuuksiin. Puunpolton osuus mallinnetuista pienhiukkaspitoisuuksista on noin 4–10 %. Liikenteen pakokaasupäästöjen vaikutusosuus on 1–12 % ja katupölyn 1–4 % pienhiukkasten kokonaispitoisuudesta. Ainoastaan Turun Kauppatorin ja Raision keskustan mittausasemilla liikennepäästöjen osuus on hieman puunpolton osuutta suurempi. Energiantuotannon ja teollisuuden vaikutusosuus on kaikilla mittausasemilla alle 2 % pienhiukkaspitoisuuksista.

Hengitettävien hiukkasten pitoisuudesta taustapitoisuuden osuus on ympäristöstä riippuen noin 40–90 %. Päästölähdesektoreista katupöly vaikuttaa eniten hengitettävien hiukkasten pitoisuuksiin (noin 5–50 %). Vilkkaasti liikennöityjen Turun Kauppatorin ja Raision keskustan mittausasemien kohdilla katupöly aiheuttaa 50 % hengitettävien hiukkasten pitoisuuksista. Liikenteen pakokaasupäästöjen vaikutusosuus on kaikkien mittauasemien kohdalla alle 7 %. Asuinrakennusten puunpolton osuus hiukkaspitoisuuksista on noin 4–10 % ollen korkeimmillaan Paraisilla. Energiantuotannon ja teollisuuden vaikutusosuus on alle 1,5 % hengitettävien hiukkasten pitoisuuksista.

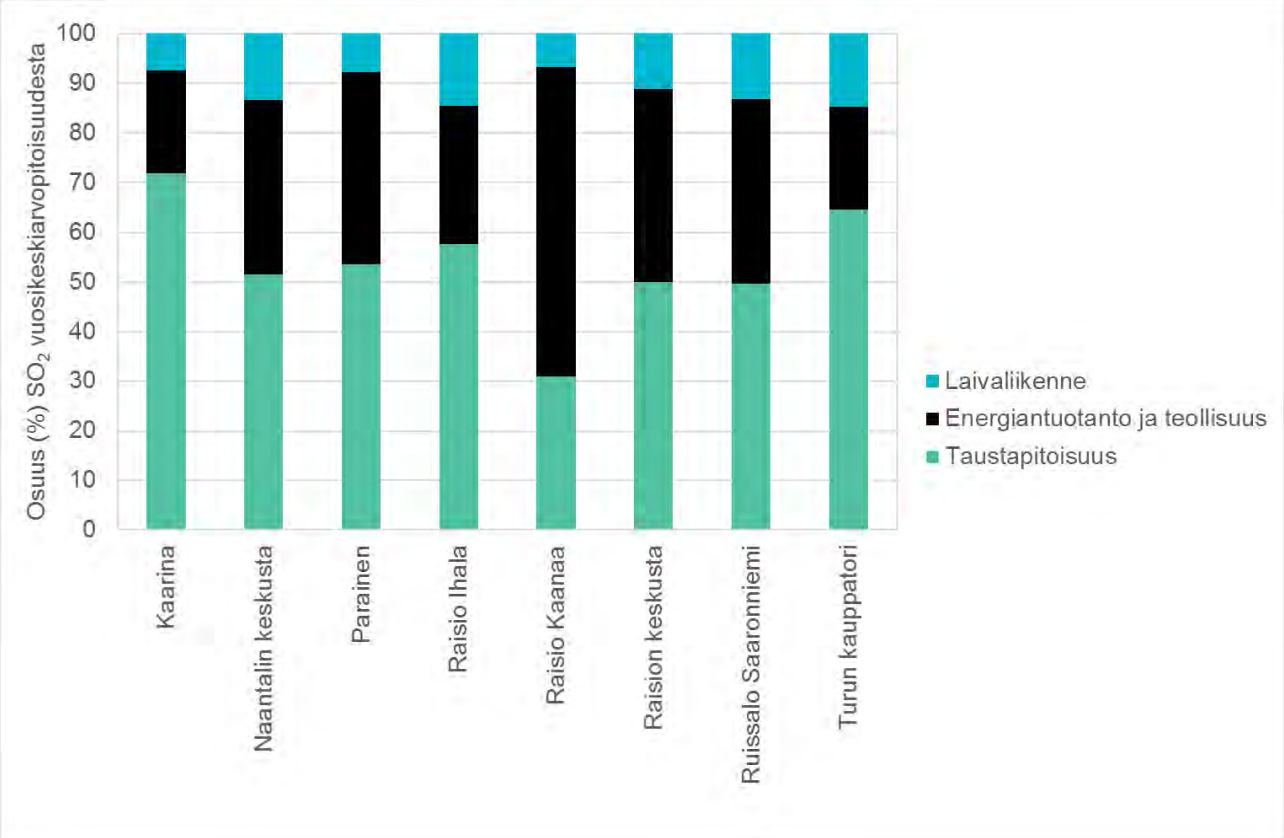


Kuva 32. Eri päästölähdesektoreiden osuus mallinnetuista pienhiukkasten vuosikeskiarvopitoisuuksista ilmanlaadun mittauspisteissä vuonna 2018.



Kuva 33. Eri päästölähdesektoreiden osuus mallinnetuista hengitettävien hiukkasten vuosikeskiarvopitoisuuksista ilmanlaadun mittauspisteissä vuonna 2018.

Rikkidioksidin taustapitoisuus vaikuttaa eniten rikkidioksidin kokonaispitoisuuksiin kaikilla muilla mittausasemilla paitsi Raision Kaanaan mittauspisteessä. Taustapitoisuuden vaikutusosuus on noin 30–70 %, energiantuotannon ja teollisuuden osuus 20–60 % ja laivaliikenteen osuus 7–15 % rikkidioksidin kokonaispitoisuuksista. Suurimmillaan (60 %) energiantuotannon ja teollisuuden vaikutusosuus on Raision Kaanaan Sakunpihan mittausaseman kohdalla, joka sijaitsee vallitsevan tuulensuunnan alapuolella suhteessa Naantalin jalostamon päästölähteisiin, alle 2 kilometrin etäisyydellä jalostamoalueesta.



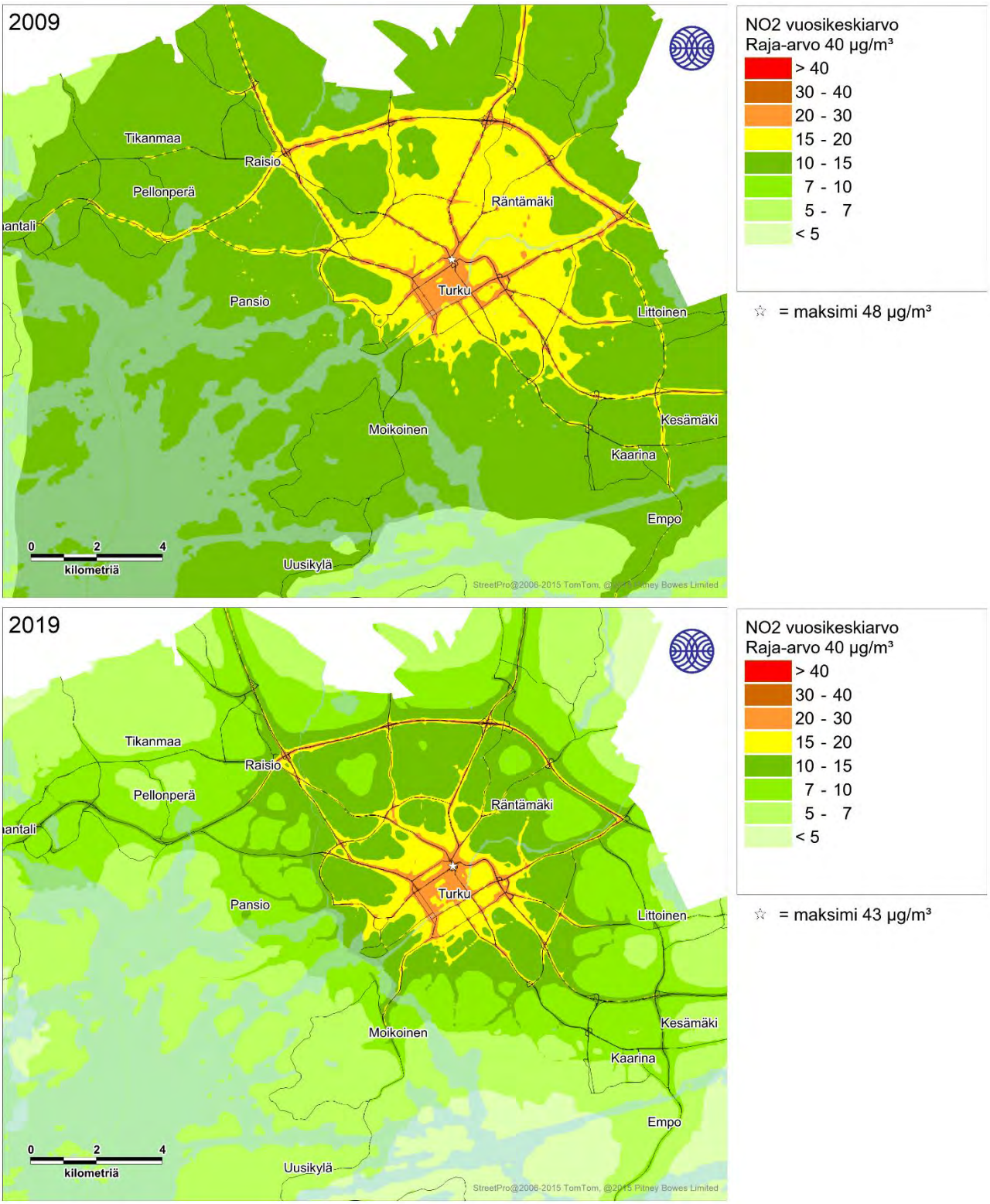
Kuva 34. Eri päästölähdesektoreiden osuus mallinnetuista rikkidioksidin vuosikeskiarvopitoisuuksista ilmanlaadun mittauspisteissä vuonna 2018.

2.6.3 Mallinnettujen pitoisuuksien vertailu aikaisempiin mallituloksiin

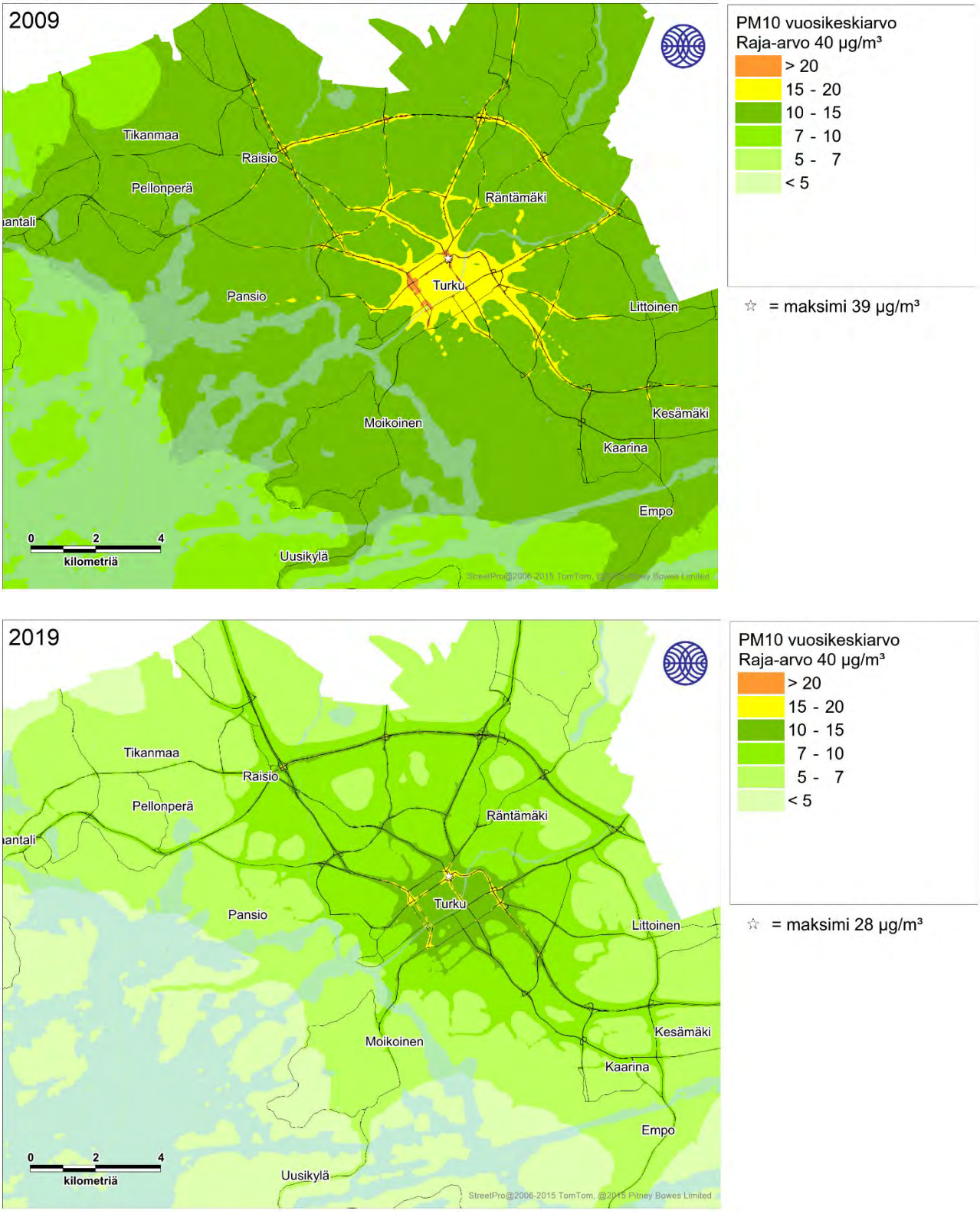
Edellinen koko Turun seudun kattava ilmanlaatumallinnus on tehty vuonna 2009 (*Salmi ym,. 2009*). Työssä arvioitiin autoliikenteen, energiantuotannon ja teollisuuden sekä laivaliikenteen ilmanlaatuvaikutuksia vuosien 2005–2007 tarkastelujaksolle, käyttäen vuoden 2007 päästötietoja. Aiemmassa leviämismallinnuksessa laskettiin typpidioksidin, hengitettävien hiukkasten ja rikkidioksidin pitoisuuksia, mutta pienhiukkasia ja bentso(a)pyreeniä ei silloin mallinnettu lainkaan. Puunpolton päästöt eivät olleet mukana vuoden 2009 mallilaskelmassa. Tutkimusalue oli vuonna 2009 pienempi, eikä pitoisuuksia silloin laskettu Naantalin ja Paraisten saariston alueelle.

Kuvissa 35–37 on esitetty mallinnetut typpidioksidin, hengitettävien hiukkasten ja rikkidioksidin vuosikeskiarvopitoisuudet vuosilta 2009 ja 2019 keskenään samoilla pitoisuuksien luokitteluilla ja samalta tarkastelualueelta. Kuvia vertailemalla voidaan huomata pitoisuuksien selvästi pienentyneen ja ilmanlaadun parantuneen eri mallinnusvuosien välillä. Eri päästösektoreiden päästövähennystoimenpiteet, tieliikenteen ajoneuvokannan uudistuminen ja laivaliikenteessä tapahtunut tekninen kehitys ovat vaikuttaneet typpidioksidin, hiukkasten ja rikkidioksidin pitoisuuksiin alentavasti. Samansuuntainen tulos on voitu havaita yleisesti Suomessa ilmanlaadun mittauksissa pienentyneinä pitoisuuksina (*Ilmatieteen laitos, 2020*).

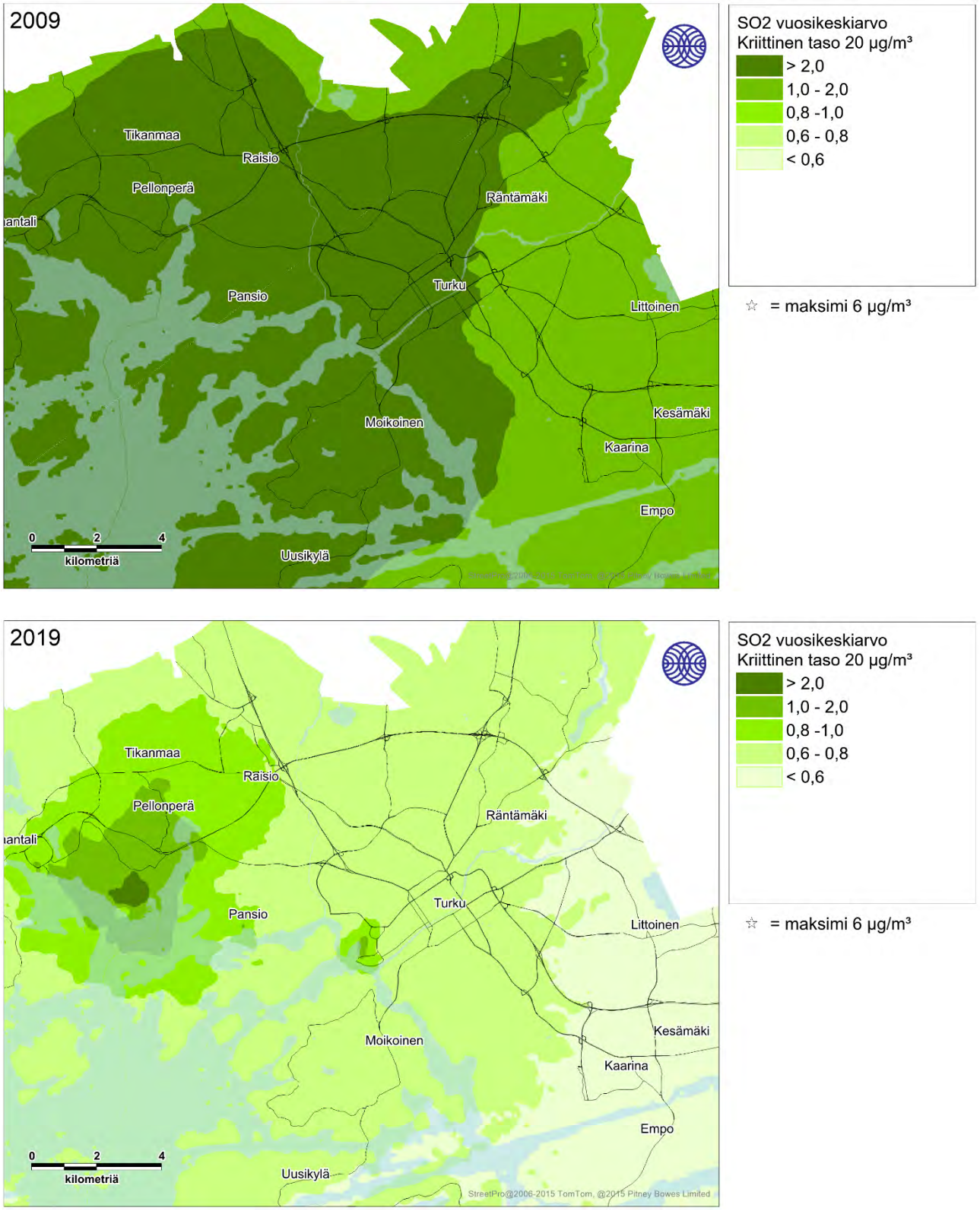
Typpidioksidipitoisuuksien mallilaskelmissa on eri vuosina mukana kaikki samat päästölähderyhmät, joten tuloskuvat ovat vertailukelpoisia keskenään. Typpidioksidipitoisuudet ovat paikoitellen pudonneet vuositasolla jopa useita mikrogrammoja. Korkeimpien typpidioksidipitoisuuksien alueet esiintyvät edelleen samojen vilkkaimpien väylien varsilla ja Turun keskustassa, jossa pitoisuustasot ovat lähes ennallaan. Hengitettävien hiukkasten pitoisuuksissa on vuonna 2019 mukana asuinrakennusten puunpolton aiheuttamat pienhiukkaspitoisuudet, joita ei vuonna 2009 ole huomioitu. Tästä huolimatta myös hengitettävien hiukkasten vuosikeskiarvopitoisuudet ovat nyt paikoitellen jopa useita mikrogrammoja pienempiä kuin vuonna 2009. Rikkidioksidipitoisuuksilla eri vuosien välinen muutos on kaikkein suurin. Laivaliikenteen rikkipäästöt ovat tarkasteluvuosien välillä vähentyneet merkittävästi polttoaineen rikkipitoisuuden rajoitusten ansiosta ja myös teollisuuden rikkipäästöt ovat vähentyneet. Rikkidioksidipitoisuudet ovatkin pienentyneet merkittävästi vuosien 2009 ja 2019 välillä.



Kuva 35. Vuonna 2009 ja 2019 mallinnettu typpidioksidin (NO_2) korkein vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) Turun seudulla.



Kuva 36. Vuonna 2009 ja 2019 mallinnettu aiheuttama hengitettävien hiukkasten (PM_{10}) korkein vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) Turun seudulla.



Kuva 37. Vuonna 2009 ja 2019 mallinnettu rikkidioksidin (SO_2) korkein vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) Turun seudulla.

3 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tämän ilmanlaatuselvityksen tarkoituksena oli hankkia leviämislaskelmien avulla tietoa Turun seudun ilmanlaadusta ja sen alueellisesta vaihtelusta sekä eri päästölähteiden vaikutusosuudesta ilmanlaatuun. Ilmanlaatuselvityksessä arvioitiin Turun seudun merkittävimpien päästölähteiden eli autoliikenteen, energiantuotannon ja teollisuuden, laivaliikenteen ja asuinrakennusten puunpolton päästöjen ilmanlaatuvaikutuksia vuonna 2018. Leviämismallilaskelmien avulla tarkasteltiin ulkoilman typpidioksidin, typen oksidien, pienhiukkasten, hengitettävien hiukkasten, rikkidioksidin ja bentso(a)pyreenin pitoisuuksia ulkoilmassa hengityskorkeudella. Ilmanlaatuselvityksen tuloksina saatuja pitoisuuksia verrattiin ilmanlaadun vertailuarvoihin sekä ilmanlaadun mittausten tuloksiin.

Tässä ilmanlaatuselvityksessä leviämismallilaskelmilla arvioitiin pitoisuuksien muodostumista Turun seudun kaupunkien alueille. 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 sekä STEAM-laivapäästömalli. Mallilaskelmissa otettiin huomioon päästölähteiden aiheuttamien pitoisuuksien lisäksi alueellinen taustapitoisuus. Mallinnuksessa käytettiin taustapitoisuutena Ilmatieteen laitoksen Paraisten Utön mittausaseman vuosien 2016–2018 havaintoja. Meteorologinen aineisto on koostettu Ilmatieteen laitoksen Turun Artukaisen ja Turun Rajakarin sääasemien vuosien 2016–2018 mittaushavainnoista.

Leviämismallin lähtötietoina käytetyt päästöt kattoivat suurimman osan Turun seudulla syntyvistä typen oksidien, hiukkasten, rikkidioksidin ja bentso(a)pyreenin päästöistä. Ilmatieteen laitos laski autoliikenteen päästöt kaupunkien toimittamien liikennemäärätietojen perusteella, käyttäen VTT:n LIPASTO:n kaupunkikohtaisia ajoneuvo- ja ajosuoritejakaumia sekä Euroopan ympäristöviraston (EEA) tieliikenteen ajoneuvotyyppikohtaisia 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. Asuinrakennusten puunpolton päästöt laskettiin käyttäen SYKE:n ja HSY:n arvioimia tulisijatyyppikohtaisia päästökertoimia ja vuonna 2019 Turun seudulla tehdyn puunkäyttökyselyn tuloksia 100 m × 100 m päästöruuduittain.

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.

Kaikkien tutkimuksessa huomioitujen päästöjen sekä alueellisen taustapitoisuuden yhdessä aiheuttamat typpidioksidin kokonaispitoisuudet ylittävät mallilaskelmien mukaan ilmanlaadun raja-arvot Turun keskustan vilkkaimmalla risteysalueella, jossa Tampereentie (Valtatie 9), Helsinginkatu (Valtatie 1), Satakunnantie ja Ratapihankatu risteävät, ja pitoisuudet ovat lähellä raja-arvotasoa myös Turun keskusta-alueen muilla vilkkailla risteysalueilla. Typpidioksidin vuorokausiohjearvoon verrannolinen pitoisuus voi ylittyä epäedullisissa meteorologisissa tilanteissa Turun keskustan vilkkaimpien väylien varressa ja risteysalueilla. Typpidioksidipitoisuudet ovat lähellä

vuorokausiohjearvotasoa koko Turun ydinkeskustan alueella, Raision keskustan alueella ja suurimpien väylien varsilla, esim. Turun kehätien varrella. Suurin vaikutus alueen typpidioksidin typpidioksidin ja typen oksidien pitoisuustasoihin on autoliikenteen päästöillä. Typen oksidien vuosikeskiarvo ylittää sille asetetun kriittisen tason ainoastaan liikenneväylien välittömässä läheisyydessä, muttei rakennetun ympäristön ulkopuolella.

Pienhiukkasten vuosikeskiarvopitoisuudet alittavat raja-arvon selvästi koko Turun seudun alueella. Pienhiukkaspitoisuudet ovat suurimmillaan vilkkaimpien liikenneväylien varrella. Taustapitoisuus vaikuttaa eniten mallinnettuihin pienhiukkasten kokonaispitoisuuksiin. Pienhiukkaspitoisuuksien alueellinen vaihtelu on vähäistä, koska suurin osa kokonaispitoisuudesta aiheutuu taustapitoisuudesta, joka koostuu pääosin kaukokulkeutuneista pienhiukkasista. Hetkelliset pienhiukkaspitoisuudet ovat leviämismallilaskelmien mukaan korkeimmillaan hyvin lähellä WHO:n ohjearvotasoa Turun keskustan vilkkaimpien väylien varressa ja risteysalueilla ja ylittävät ohjearvon yksittäisissä laskentapisteissä risteysalueella.

Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet kohoavat etenkin katupölykaudella vilkkaasti liikennöityjen väylien läheisyydessä. Mallilaskelmien mukaan hengitettävien hiukkasten vuosiraja-arvo alittuu, mutta vuorokausipitoisuuksille annetut raja- ja ohjearvot ylittyvät Turun keskustan vilkkaimmilla liikennealueilla. Naantalin, Raision, Kaarinan ja Paraisten keskustojen alueella hengitettävien hiukkasten vuorokausiraja-arvo ei mallilaskelmien mukaan ylity, mutta vuorokausipitoisuudet voivat kaikkien keskustojen alueella ylittää raja-arvotason 50 µg/m³ yhden tai useamman kerran vuoden aikana. Hengitettävien hiukkasten korkeiden pitoisuuksien muodostumiseen voidaan merkittävästi vaikuttaa katujen talvikunnossapidolla sekä oikea-aikaisella hiekanpoistolla ja pölynsidonnalla.

Rikkidioksidipitoisuudet ovat Turun seudulla pääsääntöisesti pieniä. Satama-alueiden läheisyydessä laivaliikenteen päästöt vaikuttavat rikkidioksidin pitoisuustasoihin eniten. Energiantuotanto- ja teollisuuslaitosten päästöillä on paikallinen vaikutus rikkidioksidin pitoisuuksiin lähialueillaan. Mallinnetut rikkidioksidipitoisuudet alittavat kaikki ilmanlaadun raja- ja ohjearvot koko Turun seudulla.

Bentso(a)pyreenin tavoitearvo 1 ng/m³ ylittyy Turun keskustan pientaloalueiden kohdalla sekä Paraisten keskustan kohdalla. Mallilaskelmien mukaan myös ylempi arviointikynnys 0,6 ng/m³ ylittyy kaikkien seudun kaupunkien alueilla. Ilmanlaadun jatkuvia mittauksia on tehtävä seuranta-alueilla, joilla ylempi arviointikynnys ylittyy.

Selvityksessä tarkasteltiin eri päästölähteiden vaikutusosuutta ilman epäpuhtauksien pitoisuuksista. Autoliikenne vaikuttaa selvästi eniten typpidioksidin pitoisuuksiin. Kaukokulkeuma ja taustapitoisuudet aiheuttavat suurimman osan pienhiukkaspitoisuuksista. Päästölähteistä asuinrakennusten puunpoltto ja liikenne aiheuttavat merkittävän lisän pienhiukkasten taustapitoisuuksiin pientaloalueilla ja liikenneväylien vaikutusalueella. Katupöly vaikuttaa eniten hengitettävien hiukkasten pitoisuuksiin. Energiantuotanto- ja teollisuuslaitosten päästöt vaikuttavat eniten rikkidioksidipitoisuuksiin.

Kun päästöt vapautuvat korkeista piipuista tai laitosten kattotasolta, 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 tutkimusalueella ovatkin etelästä ja lounaasta. Kaikkein korkeimmat pitoisuudet havaitaan todennäköisesti heikkotuulisissa 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 mallinnettuja tuloksia Turun seudun ilmanlaadun mittausasemien vuosien 2016–2018 mittaustuloksiin. Mallinnuksen ja mittausten epävarmuudet huomioiden voidaan typpidioksidin, pienhiukkasten ja hengitettävien hiukkasten sekä rikkidioksidin malli- ja mittaustulosten arvioida olevan pääosin hyvin yhteensopivia ja mallitulosten täyttävän mallintamisen epävarmuudelle asetetut laatutavoitteet.

Nyt tehtyjen leviämismallilaskelmien tulosten perusteella voidaan arvioida, että ilmanlaatu Turun seudun alueella on pääsääntöisesti hyvää. Pitoisuudet pienentyvät nopeasti etäisyyden kasvaessa vilkkaimmista liikenneväylistä, energiantuotanto- ja teollisuuslaitoksista ja satama-alueilta. Alueen ilmanlaatuun vaikuttavat merkittävimmin autoliikenteen typenoksidi- ja pienhiukkaspäästöt, katupöly, asuinrakennusten puunpoltto sekä pienhiukkasten kaukokulkeuma. Energiantuotantolaitosten ja teollisuuden päästöjen vaikutus ilmanlaatuun on pieni. Laitosten päästöt vapautuvat pääsääntöisesti korkeista piipuista, jolloin ne leviävät ja laimenevat tehokkaasti eivätkä heikennä ilmanlaatua hengityskorkeudella.

Edellinen koko Turun seudun kattava ilmanlaatumallinnus tehtiin vuonna 2009. Kymmenen vuoden välein tehtyjä mallituloksia vertailemalla voidaan todeta pitoisuuksien selvästi pienentyneen ja ilmanlaadun parantuneen Turun seudulla. Eri päästösektoreiden päästövähennystoimenpiteet, tieliikenteen ajoneuvokannan uudistuminen ja laivaliikenteessä tapahtunut tekninen kehitys ovat vaikuttaneet pitoisuuksia alentavasti. Typpidioksidin ja hengitettävien hiukkasten vuosikeskiarvopitoisuudet ovat paikoitellen pudonneet jopa useita mikrogrammoja. Laivaliikenteen ja teollisuuden rikkipäästöt ovat tarkasteluvuosien välillä vähentyneet merkittävästi, mikä havaitaan selvänä vähenemänä myös rikkidioksidipitoisuuksissa. Samansuuntainen tulos on voitu havaita yleisesti Suomessa ilmanlaadun mittauksissa pienentyneinä pitoisuuksina.

Kuva: Emmi Laukkanen

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 kulkeutumissuunnan, mutta rajakerroksen ilmavirtausten pyörteisyys ja kerroksen korkeus vaikuttavat merkittävästi ilmansaasteiden sekoittumiseen ja pitoisuuksien laimenemiseen kulkeutumisen aikana. Leviämisen kannalta keskeisiä meteorologisia tekijöitä ovat tuulen suunta ja nopeus, ilmakehän stabiilisuus ja sekoituskorkeus. Ilmakehän stabiilisuudella tarkoitetaan ilmakehän herkkyyttä pystysuuntaiseen sekoittumiseen. Stabiilisuuden määrää ilmakehän pystysuuntainen lämpötilarakenne sekä mekaaninen turbulenssi eli alustan kitkan synnyttämä ilman pyörteisyys.

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

4.2 Typpidioksidi

Typen yhdisteitä vapautuu päästölähteistä ilmaan typen oksideina eli typpimonoksidina (NO) ja typpidioksidina (NO_2). Näistä yhdisteistä terveysvaikutuksiltaan haitallisempaa on typpidioksidi, jonka pitoisuuksia ulkoilmassa säädellään ilmanlaadun ohje- ja raja-arvoilla. Typpidioksidin määrään ilmassa vaikuttavat myös ilmakemialliset muutuntareaktiot, joissa typpimonoksidi hapettuu typpidioksidiksi.

Ulkoilman typpidioksidipitoisuuksille altistuminen on suurinta kaupunkien keskustojen ja taajamien liikenneympäristöissä. Typpidioksidipitoisuudet kohoavat tyypillisesti ruuhka-aikoina. Korkeimmillaan typpidioksidipitoisuudet ovat erityisesti tyyninä ja kylminä talvipäivinä, jolloin myös energiantuotannon päästöt ovat suurimmillaan. Taajamien ja kaupunkien korkeimmat

typpidioksidipitoisuudet aiheuttaa pääasiassa ajoneuvoliikenne, vaikka energiantuotannon ja teollisuuden aiheuttamat päästöt (pistemäiset päästölähteet) olisivat määrällisesti jopa suurempia autoliikenteeseen verrattuna. Ihmiset altistuvat helposti liikenteen päästöille, sillä autojen pakokaasupäästöt vapautuvat hengityskorkeudelle.

Typpidioksidin vuosiraja-arvo 40 µg/m³ alittuu nykyisin Suomessa. Typpidioksidin vuosikeskiarvopitoisuudet ovat olleet viime vuosina suurimmissa kaupungeissa keskimäärin 15−25 µg/m³. Vilkkaimmilla teillä ja katukuiluosuuksilla vuosipitoisuudet voivat olla yli 30 µg/m³. Pienissä ja keskisuurissa kaupungeissa typpidioksidin vuosikeskiarvot ovat yleensä noin 5−20 µg/m³ mittausympäristöstä riippuen. Typpidioksidin tuntipitoisuudet voivat kohota yli raja-arvotason (200 µg/m³) yksittäisillä mittausasemilla muutamina tunteina vuodessa. Ylitystunteja saa olla vuodessa 18 kpl, ennen kuin raja-arvo katsotaan ylittyneeksi. Puhtailla tausta-alueilla typpidioksidin vuosikeskiarvot ovat olleet Etelä-Suomessa noin 1,5–4 µg/m³ ja Pohjois-Suomessa noin 1 µg/m³ (*Ilmatieteen laitos, 2020*).

4.3 Rikkidioksidi

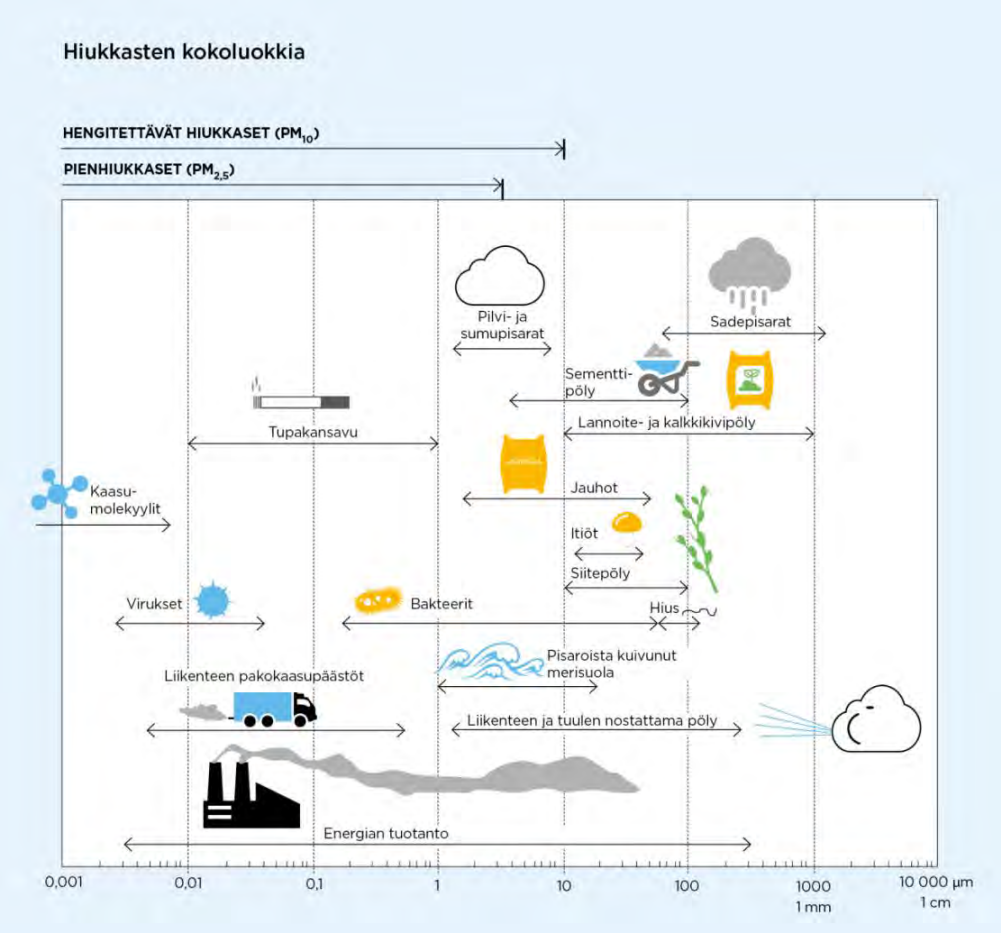
Ulkoilman rikkidioksidipitoisuudet ovat nykyisin alhaisella tasolla Suomessa. Rikkidioksidipäästöjen tehokkaan ja pitkäjänteisen rajoittamisen seurauksena kaupunkialueiden rikkidioksidipitoisuudet ovat laskeneet lähelle tausta-alueiden pitoisuuksia. Ulkoilmassa oleva rikkidioksidi on pääosin peräisin energiantuotannosta, teollisuudesta ja laivojen päästöistä. Teollisuuspaikkakunnilla rikkidioksidipitoisuudet voivat kohota lyhytaikaisesti ja paikallisesti epäedullisissa meteorologisissa tilanteissa ja häiriöpäästötilanteissa. Myös satamien ja huippulämpökeskusten 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 1−2 µg/m³ (*Ilmatieteen laitos, 2020*).

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 syvälle ihmisten hengitysteihin. Hengitettävien hiukkasten halkaisija on alle 10 mikrometriä (PM_{10}) ja pienhiukkasten halkaisija on alle 2,5 mikrometriä ($PM_{2,5}$). Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet kohoavat erityisesti keväällä, jolloin jauhautunut hiekoitushiekka ja asfalttipöly nousevat ilmaan kuivilta kaduilta liikenteen nostattamana. Katupölyä esiintyy myös syksyllä talvirengaskauden alussa, kun tiet ovat vielä lumettomia sekä rakennustyömaiden läheisyydessä. Pienhiukkaset ovat pääasiassa peräisin suorista autoliikenteen

ja teollisuuden päästöistä ja kaukokulkeumasta, jonka lähde voi olla esimerkiksi metsä- ja maastopalot. Pienhiukkaset voivat kulkeutua ilmavirtausten mukana jopa tuhansia kilometrejä. Hiukkasten kokoluokkia on havainnollistettu kuvassa 38.



Kuva 38. 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 maalis-huhtikuussa, kun maanpinnan kuivuessa tuuli ja liikenne nostattavat talven aikana kertynyttä katupölyä ilmaan. Hengitettävien hiukkasten vuorokausipitoisuuksille asetettu raja-arvotaso (50 µg/m^3) ylittyy mittausasemilla noin 0–25 kertaa vuoden aikana. Vuorokausiraja-arvotason ylityksiä saa olla mittausasemalla 35 kappaletta vuodessa, ennen kuin raja-arvo katsotaan ylittyneeksi. Hengitettävien hiukkasten vuorokausipitoisuudelle annettu raja-arvo on ylittynyt vain Helsingin keskustassa, viimeksi vuonna 2006. Katupölyn muodostumiseen voidaan merkittävästi vaikuttaa oikea-aikaisella katujen siivouksella ja kunnossapidolla sekä pölynsidonnalla.

Hengitettävien hiukkasten vuosikeskiarvopitoisuudelle annettu raja-arvo 40 µg/m^3 alittuu Suomessa. Hengitettävien hiukkasten pitoisuuden vuosikeskiarvot ovat olleet viime vuosina suurimmissa kaupungeissa noin 10–20 µg/m^3. Vilkkaimmilla teillä ja katukuiluosuuksilla vuosipitoisuudet voivat olla yli 20 µg/m^3. Pienissä ja keskisuurissa kaupungeissa vuosikeskiarvot ovat noin 6−15 µg/m^3

mittausympäristöstä riippuen. Puhtailla tausta-alueilla vuosikeskiarvopitoisuudet ovat olleet Etelä-Suomessa noin 9 µg/m³ ja Pohjois-Suomessa noin 3–5 µg/m³ (*Ilmatieteen laitos, 2020*).

Pienhiukkaspitoisuuden vuosikeskiarvolle määritetty raja-arvo 25 µg/m^3 alittuu selvästi kaikkialla Suomessa. Viime vuosina pienhiukkasten vuosikeskiarvopitoisuus on ollut pääkaupunkiseudun kaupunkialueilla noin 5–8 µg/m^3 ja muilla kaupunkialueilla noin 3−7 µg/m^3. Pitoisuuserot erityyppisten mittausympäristöjen välillä ovat muutamia mikrogrammoja. Puhtailla tausta-alueilla vuosikeskiarvopitoisuudet ovat olleet Etelä-Suomessa noin 4–6 µg/m³ ja Pohjois-Suomessa noin 2–3 µg/m³ (*Ilmatieteen laitos, 2020*). Pienhiukkasten taustapitoisuudesta valtaosa on muualta 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 koksin 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 2–3 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 keuhkosyöpään 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 puunpolton 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 ng/m³ ylittäville 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 ng/m³ hipovia ja jopa sen ylittäviä vuosipitoisuustasoja on mitattu paljon pientaloalueilla sekä Raahessa terästeollisuuslaitoksen tuntumassa. Vuonna 2018 Suomen korkein vuosikeskiarvo 1,7 ng/m³ 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, 2020*).

4.6 Ilman epäpuhtauksien terveysvaikutukset

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

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

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

4.7 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 ohjearvot (*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 ohjearvojen ylittyminen sekä taata hyvän ilmanlaadun säilyminen.

Raja-arvot määrittelevät ilmansaasteille sallitut korkeimmat pitoisuudet. Raja-arvoilla pyritään vähentämään tai ehkäisemään terveydelle ja ympäristölle haitallisia vaikutuksia. Raja-arvon ylittyessä kunnan on tiedotettava väestöä ja tehtävä ohjelmia ja suunnitelmia ilmanlaadun parantamiseksi ja raja-arvon ylitysten estämiseksi. Tällaisia toimia voivat olla esimerkiksi määräykset liikenteen tai päästöjen rajoittamisesta. Ilman epäpuhtauksien aiheuttamien terveyshaittojen ehkäisemiseksi ulkoilman typpidioksidin, pienhiukkasten ja hengitettävien hiukkasten pitoisuudet eivät saisi ylittää taulukon 6 raja-arvoja alueilla, joilla ihmiset saattavat altistua ilmansaasteille.

Taulukko 6. Terveyshaittojen ehkäisemiseksi annetut ulkoilman typpidioksidin, rikkidioksidin pienhiukkasten ja hengitettävien hiukkasten pitoisuuksia koskevat raja-arvot (*Vna 79/2017*).

Ilman epäpuhtaus	Keskiarvon laskenta-aika	Raja-arvo µg/m^3 (293 K, 101,3 kPa)	Sallittujen ylitysten määrä kalenterivuodessa
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 ($PM_{2,5}$)	kalenterivuosi	25 [2)]	–

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

Ilmanlaadun ohjearvot on otettava huomioon suunnittelussa ja niitä sovelletaan mm. alueiden käytön, kaavoituksen, rakentamisen ja liikenteen suunnittelussa ja ympäristölupaharkinnassa. Ohjearvojen soveltamisen avulla pyritään ehkäisemään ilmansaasteiden aiheuttamia terveysvaikutuksia. Suomessa voimassa olevat ulkoilman typpidioksidin ja hengitettävien hiukkasten pitoisuuksia koskevat ilmanlaadun ohjearvot on esitetty taulukossa 7. Lisäksi taulukossa esitetään WHO:n suosituksenomaiset ohjearvot pienhiukkasten vuorokausipitoisuudelle ja vuosipitoisuudelle (*WHO, 2006*).

Taulukko 7. Ulkoilman typpidioksidin, hengitettävien hiukkasten ja pienhiukkasten pitoisuuksia koskevat ilmanlaadun ohjearvot (*Vnp 480/1996, WHO, 2006*).

Ilman epäpuhtaus	Ohjearvo µg/m³	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
Pienhiukkaset ($PM_{2.5}$)	25 [2)]	Suurin vuorokausikeskiarvo
	10 [2)]	Vuosikeskiarvo

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

Typenoksidi- ja rikkidioksidipitoisuuksien kriittisen tason ylittyessä pitoisuudet saattavat aiheuttaa haitallisia vaikutuksia kasvillisuudelle tai ekosysteemeille. Kriittisiä tasoja (taulukko 8) sovelletaan rakennetun ympäristön ulkopuolella olevilla laajoilla maa- ja metsätalousalueilla sekä luonnonsuojelun kannalta merkityksellisillä alueilla.

Taulukko 8. Ulkoilman typenoksidien ja rikkidioksidin pitoisuuksia koskevat ilmanlaadun kriittiset tasot (*Vna 79/2017*)

Ilman epäpuhtaus	Kriittinen taso µg/m³	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 pitoisuutta ulkoilmassa koskeva ilmanlaadun tavoitearvo sekä pitoisuuksien seurantaan liittyvät ylempi ja alempi arviointikynnys on esitetty taulukossa 9.

Bentso(a)pyreenin ylemmällä arviointikynnyksellä tarkoitetaan sellaista ilman epäpuhtauden pitoisuutta, jota korkeammissa 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 9. Bentso(a)pyreenin tavoitearvot ja arviointikynnykset pitoisuuksien vuosikeskiarvoille (Vna 113/2017).

Yhdiste	Keskiarvon laskenta-aika	Tavoitearvo *) ng/m³	Alempi arviointikynnys ng/m³	Ylempi arviointikynnys ng/m³
bentso(a)pyreeni	kalenterivuosi	1,0	0,4	0,6

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

5 LEVIÄMISMALLILASKELMIEN LÄHTÖTIEDOT

5.1 Mallilaskelmissa huomioidut päästöt

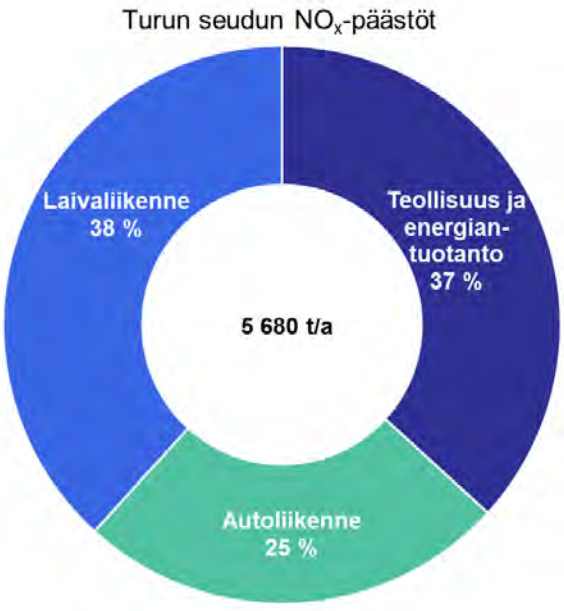
5.1.1 Turun seudun kokonaispäästöt

Leviämismallilaskelmissa huomioidut Turun seudun autoliikenteen, energiantuotannon ja teollisuuden, laivaliikenteen ja asuinrakennusten puunpolton kokonaispäästöt vuonna 2018 on esitetty kuvissa 39–41. Typen oksidien kokonaispäästöistä 37 % tulee energiantuotannosta ja teollisuudesta ja 38 % laivaliikenteestä. Autoliikenteestä tulee neljännes typenoksidien kokonaispäästöistä. Autoliikenteen päästöt vapautuvat mallilaskelmissa noin metrin korkeudelta, laivaliikenteen päästöt 30 metrin korkeudelta ja laitosten päästöt niiden todellisilta piipunkorkeuksilta.

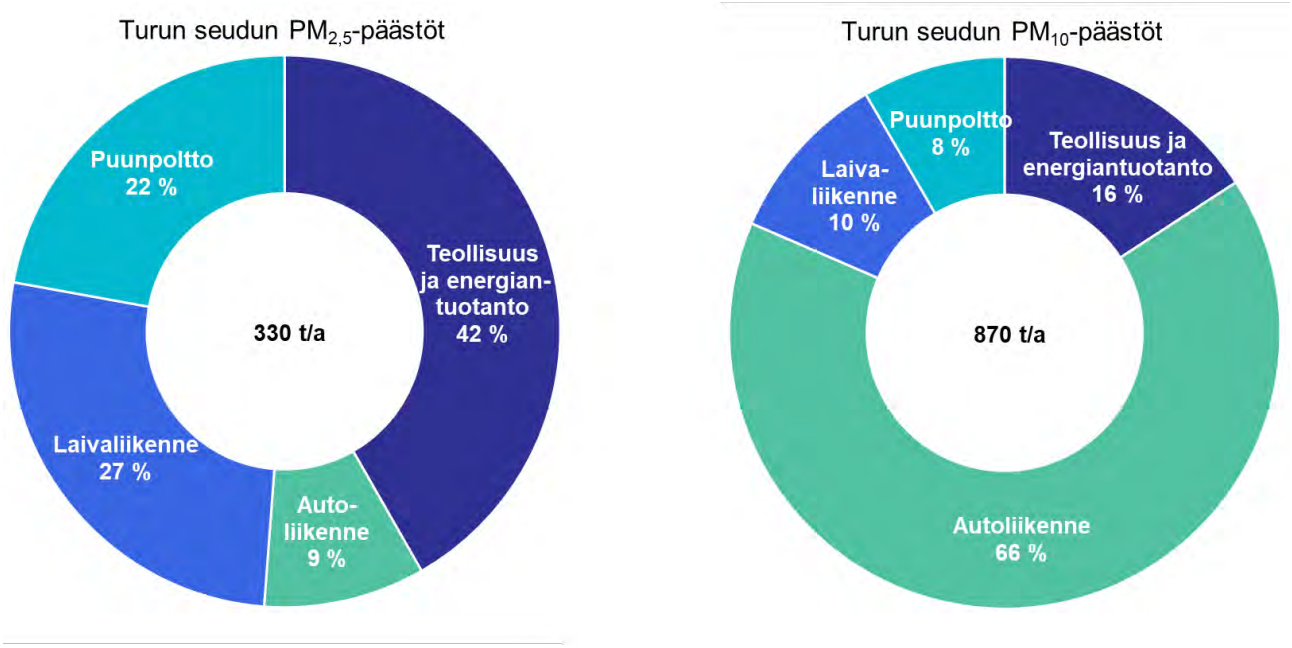
Pienhiukkasten kokonaispäästöstä noin 22 % tulee asuinrakennusten puunpoltosta ja 42 % energiantuotannosta ja teollisuudesta. Laivaliikenteen osuus on 27 % ja autoliikenteen osuus vain 9 % pienhiukkaspäästöistä. Autoliikenteen päästömäärässä on huomioitu suoraan moottoreiden pakokaasusta peräisin olevat pienhiukkaset ja katupölyn sisältämät pienhiukkaset.

Hengitettävien hiukkasten kokoluokan hiukkaspäästöistä 66 % on peräisin autoliikenteen päästöstä. Päästössä on huomioitu pakokaasusta peräisin olevat pienhiukkaset sekä katupölyn sisältämät PM_{10}-hiukkaset, jotka on laskettu erillisellä suspensiopäästömallilla (ks. kpl 6.4). Energiantuotannon ja teollisuuden, laivaliikenteen ja puunpolton hiukkaspäästö on otettu huomioon pienhiukkasina, koska niiden tarkemmasta kokojakaumasta ei ole olemassa tietoa.

Rikkidioksidipäästöistä 9 % on laivaliikenteestä johtuvaa ja loput 91 % peräisin energiantuotannosta ja teollisuudesta.



Kuva 39. Turun seudun typen oksidien kokonaispäästöt sekä eri päästölähteiden osuudet vuonna 2018.



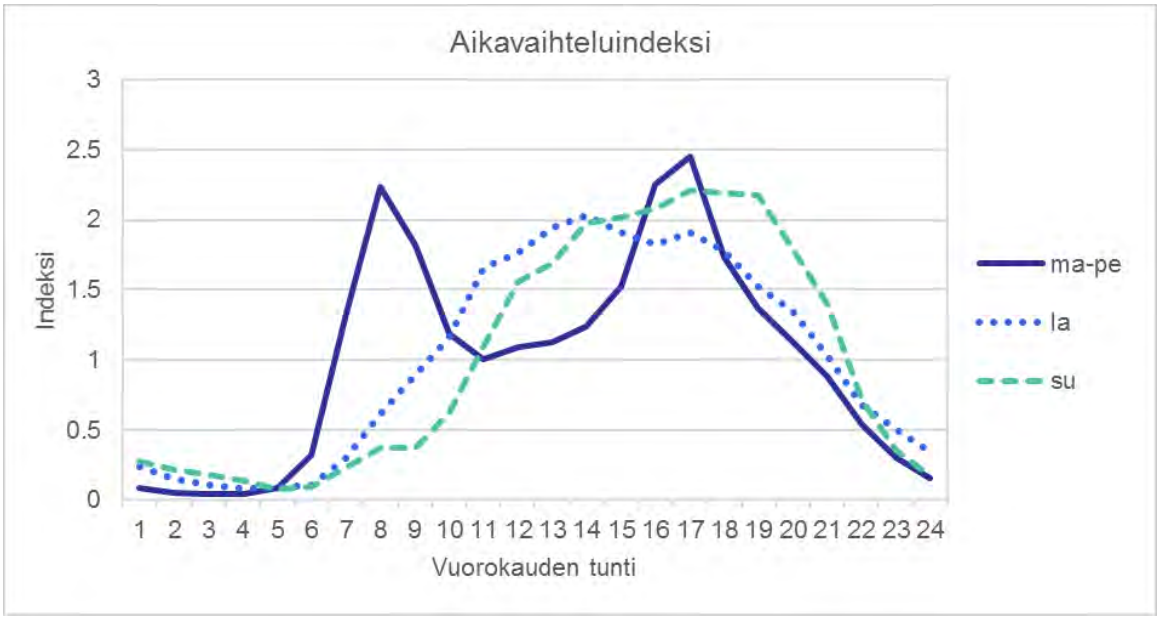
Kuva 40. Turun seudun pienhiukkasten ja hengitettävien hiukkasten kokonaispäästöt sekä eri päästölähteiden osuudet vuonna 2018.

Kuva 41. Turun seudun rikkidioksidin kokonaispäästöt sekä eri päästölähteiden osuudet vuonna 2018.

5.1.2 Autoliikenteen päästöt

Leviämismallilaskelmilla tarkasteltiin autoliikenteen päästöjä nykytilanteessa. Mallilaskelmien lähtötiedoissa nykytilannetta edustivat vuoden 2018 liikennemäärät. Liikennemäärätietoja toimitti kukin kaupunki omalta alueeltaan ja yleisten teiden osalta käytettiin Väylän Digiroad-aineistoa. Mallissa huomioitiin vain ne tiet ja kadut, joista saatiin lähtötietoaineistoja. Koko tutkimusalueen autoliikenteen typen oksidien ja hiukkasten päästöt laskettiin ja mallinnettiin tiekohtaisina viivalähteinä. Liikenneväyliä kuvattiin leviämismallilaskelmissa peräkkäisinä lyhyinä viivoina, joista jokaisesta vapautuu ympäristöönsä erikseen laskettavan suuruinen päästö. Mallilaskelmissa huomioitiin nykytilanteessa yhteensä 2 622 viivalähdettä Turun seudun kuntien alueelta.

Tieverkon liikenteen päästöt laskettiin Ilmatieteen laitoksella keskimääräisten vuorokausiliikennemäärien (KVL) tai arkivuorokausiliikennemäärien (KAVL), ajonopeuksien, raskaan liikenteen osuuksien ja liikenteen tuntikohtaisen vaihtelun perusteella. Päästöjen viikonpäivittäisten ja tunneittaisten aikavaihtelujen kuvaamisessa käytettiin LAM-pisteiden 227, 231, 233, 235 ja 239 liikennelaskenta-aineistoja sekä Turun, Naantalin, Paraisten ja Raision kaupunkien toimittamia paikallisia liikennelaskenta-aineistoja. Esimerkki liikenteen aikavaihtelusta LAM-pisteessä 239 (vt1 Kaarina) on esitetty kuvassa 42.

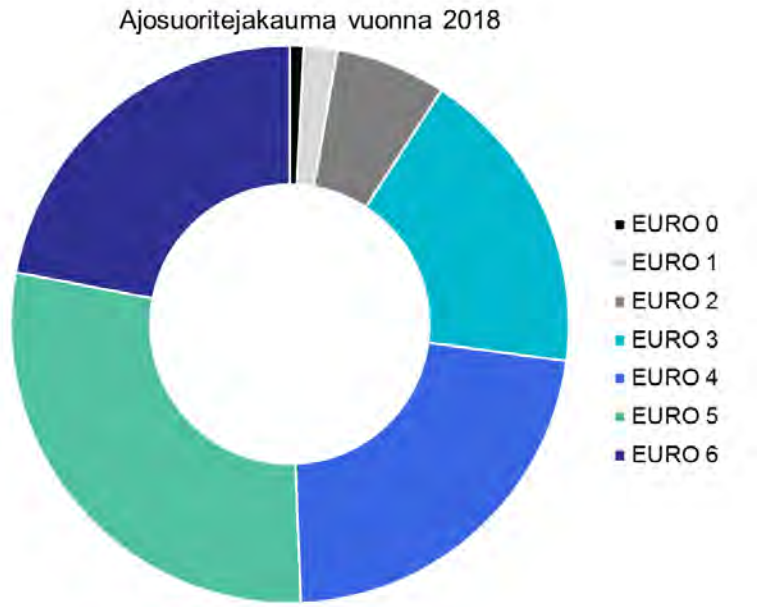


Kuva 42. Mallilaskelmissa käytetyt liikenteen tunneittaista vaihtelua kuvaavat aikavaihteluindeksit LAM-pisteessä 239 (vt1 Kaarina).

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

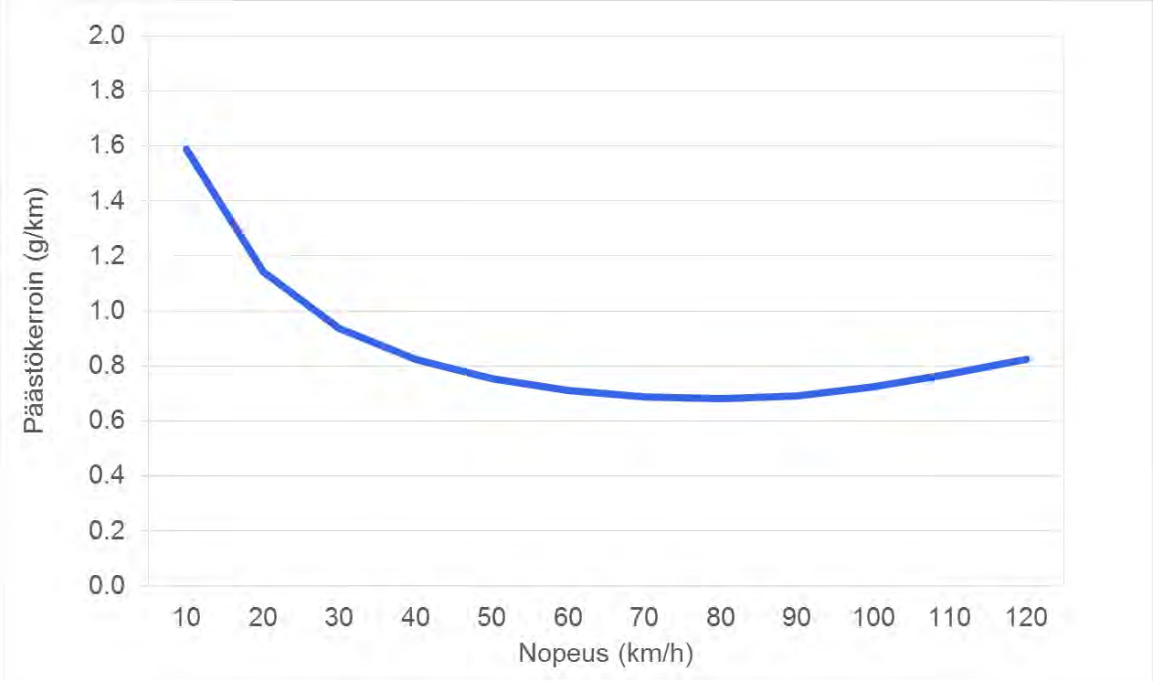
Suomen autokantaa edustavat EURO-päästöluokittaiset ajosuoriteosuudet on esitetty VTT:n julkaiseman liikenteen laskentajärjestelmä LIPASTO:n ALIISA-autokantamallissa (*VTT, 2019*).

Tämä malli tarjoaa vuosittain päivittyvät nykytilannetta edustavat arvot koko Suomen autokannan EURO-päästöluokkaisille ajosuoriteosuuksille (kuva 43). Luokittelu kertoo, miten paljon Suomessa vuodessa ajetaan kuhunkin eri päästöluokkaan kuuluvilla ajoneuvoilla.

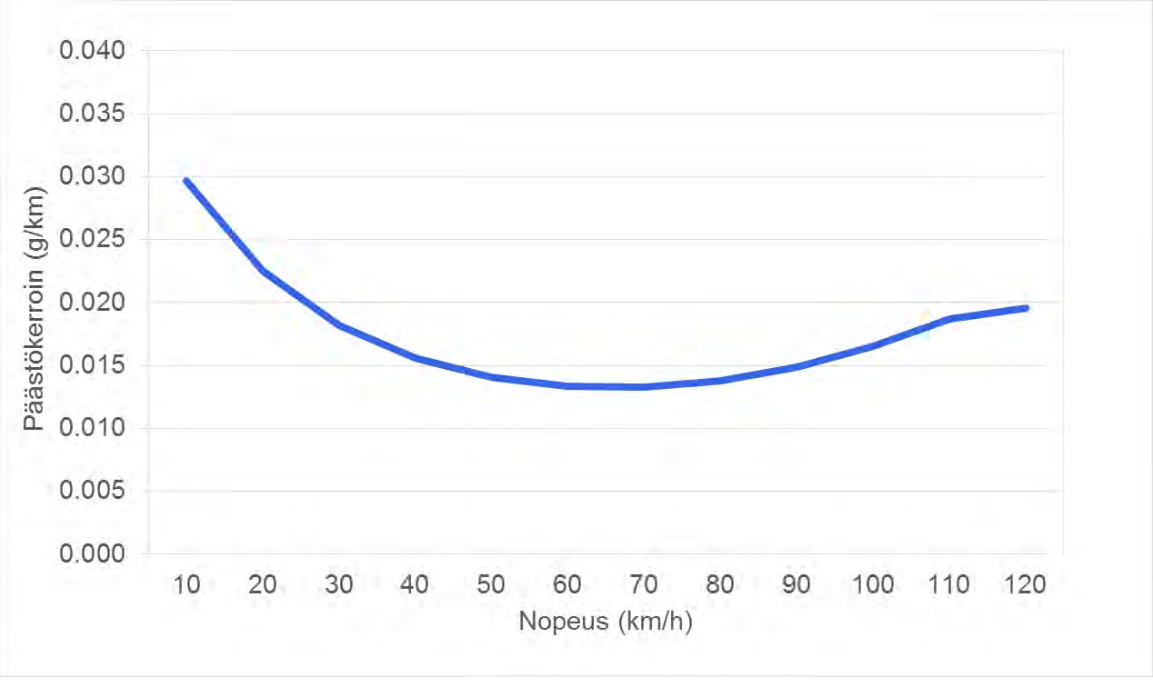


Kuva 43. ALIISA-autokantamallin kaikkien ajoneuvojen EURO-päästöluokittaiset suoritejakaumat Suomessa vuonna 2018 (*VTT, 2019*).

Ajoneuvojen jakaumana käytettiin Suomen vuoden 2018 ajoneuvojen EURO-päästöluokittaisia ajosuoriteosuuksia VTT:n liikenteen päästöjen laskentajärjestelmän mukaisesti. Kuvissa 44 ja 45 on esitetty päästölaskennassa käytetyt Suomen koko ajoneuvokannan keskimääräiset pakokaasujen typenoksidien ja pienhiukkasten päästökertoimet vuodelle 2018. Päästökertoimet ottavat huomioon ajoneuvotyyppien keskimääräiset suhteelliset osuudet Suomessa. Leviämismallilaskelmissa päästökertoimet on kohdennettu Turun seudun kunnille ajoneuvotyyppien suhteellisilla suoriteosuuksilla katu- tai tieosuuksien mukaan VTT:n LIISA-laskentajärjestelmän mukaisesti (taulukko 10).



Kuva 44. Mallilaskelmissa käytettävät ajoneuvojen keskimääräiset nopeusriippuvat typenoksidien (NO_x) päästökertoimet. Kertoimien pohjana ovat EEA:n päästökertoimet (*EEA, 2018*) painotettuna suoritteiden EURO-päästöluokkajakaumilla ja koko Suomen keskimääräisillä ajosuoriteosuuksilla vuonna 2018 (*VTT, 2019*).



Kuva 45. Mallilaskelmissa käytettävät ajoneuvojen keskimääräiset nopeusriippuvat pienhiukkasten ($PM_{2,5}$) päästökertoimet. Kertoimien pohjana ovat EEA:n päästökertoimet (*EEA, 2018*) painotettuna suoritteiden EURO-päästöluokkajakaumilla ja koko Suomen keskimääräisillä ajonsuoriteosuuksilla vuonna 2018 (*VTT, 2019*).

Taulukko 10. Turun seudun kuntakohtainen ajoneuvotyyppien jakauma vuonna 2016 (VTT/LIISA).

Kunta	Henkilöautot	Pakettiautot	Linja-autot	Kuorma-autot ilman perävaunua	Perävaunulliset kuorma-autot
Turku	76,8 %	14,6 %	2,5 %	4,1 %	2,1 %
Kaarina	82,2 %	10,7 %	0,9 %	3,7 %	2,5 %
Naantali	81,0 %	12,6 %	1,0 %	4,3 %	1,0 %
Parainen	81,5 %	11,4 %	1,1 %	4,6 %	1,5 %
Raisio	80,7 %	11,4 %	0,9 %	3,9 %	3,0 %

Taulukossa 11 on esitetty Turun seudun autoliikenteen typen oksidien, pienhiukkasten ja hengitettävien hiukkasten kokonaispäästöt vuonna 2018. Liitekuvassa 61 ja 62 on esitetty päästölaskennan pohjana käytetyt vuoden 2018 keskimääräiset arkivuorokausiliikennemäärät tarkastelualueella sekä typen oksidien päästöt viivalähteittäin. Leviämismallilaskelmissa oletettiin autoliikenteen typenoksidipäästöistä (NO_x) olevan keskimäärin 20 % typpidioksidia (NO_2) ennen ulkoilmassa tapahtuvaa kemiallista muutuntaa (*Anttila, ym., 2011*).

Liitekuvissa 63–66 on esitetty pienhiukkasten ja hengitettävien hiukkasten päästöt viivalähteittäin. Suspensiopäästöjen laskelmissa arvioitiin, että Turun seudulla nastarenkaiden osuus on 80 % kaikista käytössä olevista talvirenkaista. Suspensiopäästöjen määrä vaihteli vuosittain sääolosuhteiden takia välillä 520–574 t/a. Taulukossa 11 on esitetty kolmen tarkasteluvuoden PM_{10}-kokonaispäästöjen keskiarvo.

Taulukko 11. Turun seudun autoliikenteen kokonaispäästöt (t/a) vuonna 2018.

	Turun seudun autoliikenteen kokonaispäästöt
NOx	1 417 t/a
$PM_{2,5}$	31,2 t/a
PM_{10}	540 t/a

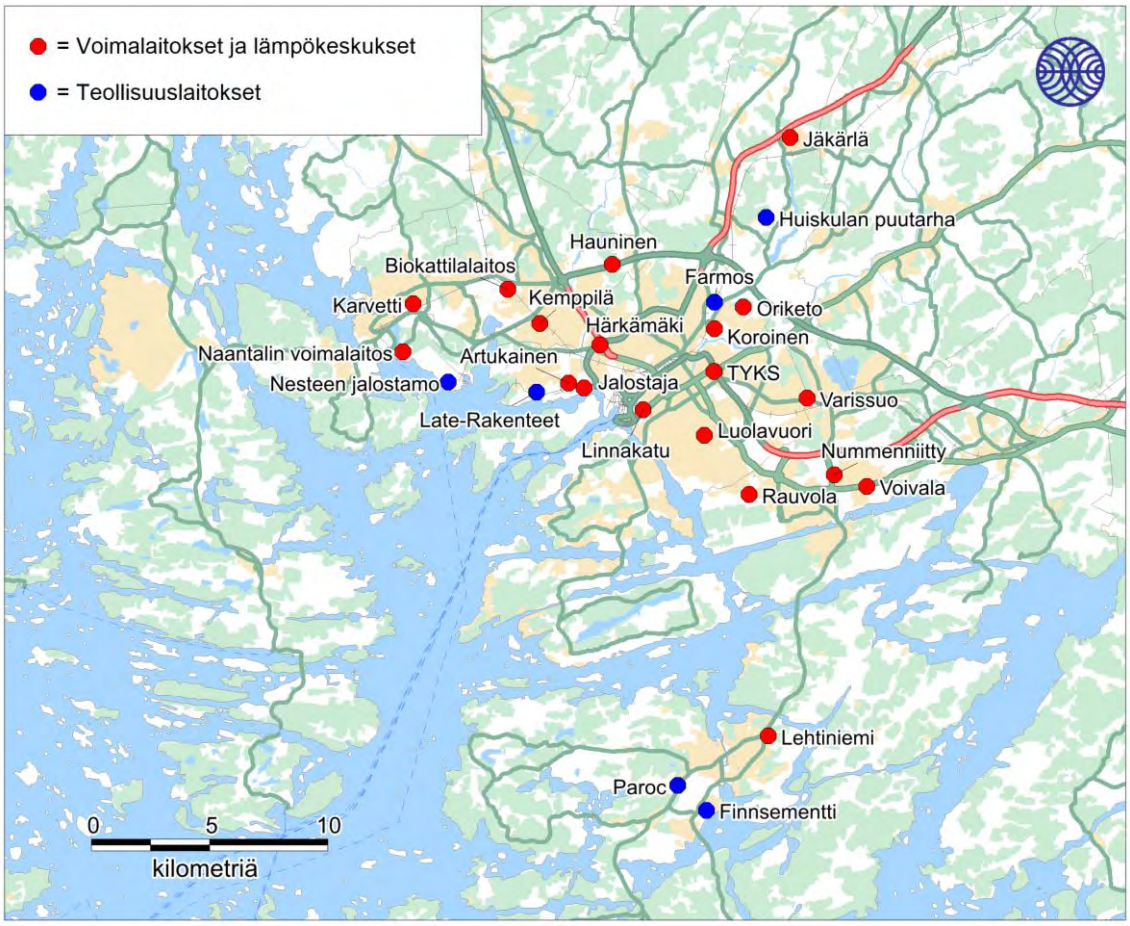
5.1.3 Energiantuotannon ja teollisuuden päästöt

Leviämismallilaskelmissa huomioitiin Turun seudun merkittävimmät energiantuotannon ja teollisuuden päästölähteiden vuoden 2018 mukaiset päästöt. Päästöt ja muut tekniset tiedot pyydettiin suoraan toiminnanharjoittajilta. 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 (PM_{10}) kokonaispitoisuuksiin.

Laskelmissa huomioitiin energiantuotantolaitoksista Kaarinasta Nummenniityn, Voivalan ja Rauvolan lämpökeskukset, Naantalista Naantalin voimalaitos ja Karvetin lämpökeskus, Paraisilta Lehtiniemen lämpökeskus, Raisiosta Biokattilalaitos sekä Haunisten ja Kemppilän lämpökeskukset. Turun energiantuotantolaitoksista laskelmissa huomitoitiin Orikedon, Härkämäen, Linnakadun, Jalostajan, Koroisten, Luolavuoren, TYKS:n, Jäkärlän, Artukaisen ja Varissuon lämpökeskukset ja Farmoksen höyrykeskus. 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 Naantalista Nesteen öljynjalostamo, Paraisilta Finnsementti Oy ja Paroc Oy. Turun teollisuuslaitoksista päästöissä huomioitiin Huiskulan puutarha ja Late-Rakenteet Oy. Paraisten Nordkalk Oy:n kaivoksen päästöjä ei huomioitu selvityksessä, koska toiminnanharjoittajan tiedot olivat jääneet pois mallinnuksessa mukana olevien laitosten listasta.

Energiantuotanto- ja teollisuuslaitosten sijainnit Turun seudulla vuonna 2018 on esitetty kuvassa 46. Liitekuvissa 64–66 on esitetty energiantuotanto- ja teollisuuslaitosten typenoksidi-, hiukkas- ja rikkidioksidipäästöjen alueellinen jakauma vuonna 2018. Laitosten kokonaisvuosipäästöt on esitetty taulukossa 12 ja liitekuvissa 67–69. Alueen merkittävimmät päästölähteet ovat Turun Seudun Energiantuotanto Oy:n Naantalin voimalaitos ja Neste Oyj:n jalostamo Naantalissa sekä Finnsementti Oy ja Paroc Oy Paraisilla.



Kuva 46. Voimalaitosten ja lämpökeskusten (punaisella) ja teollisuuslaitosten (sinisellä) sijainnit Turun seudun viiden kunnan alueella.

Taulukko 12. Turun seudun energiantuotanto- ja teollisuuslaitosten typenoksidi-, hiukkas- ja rikkidioksidipäästöt vuonna 2018. Leviämismallilaskelmissa kaikki energiantuotannon ja teollisuuden hiukkaspäästöt on oletettu pienhiukkasiksi niiden todellisesta koosta riippumatta, koska laitosten hiukkaskokojakaumasta ei ollut tarkempaa tietoa.

Kaupunki	Laitos	NO_x (t/a)	SO_2 (t/a)	PM (t/a)
Kaarina	Turku Energia, Nummenniityn lämpökeskus	0,6	0,0	0,08
Kaarina	Turku Energia, Voivalan lämpökeskus	0,1	0,0	0,00
Kaarina	Turku Energia, Rauvolan lämpökeskus	0,1	0,0	0,00
Naantali	Turun Seudun Energiantuotanto Oy, Naantalin voimalaitos	1000,0	460,0	53,50
Naantali	Neste Oyj, Naantalin jalostamo	81,7	516	8,36
Naantali	Turku Energia, Karvetin lämpökeskus	1,1	0,0	0,00
Parainen	Paraisten Kaukolämpö Oy, Lehtiniemen biolämpökeskus	9,3	1,6	9,56
Parainen	Finnsementti Oy	788,0	22,2	34,60
Parainen	Paroc Oy	70,0	94,9	23,47
Raisio	Raisionkaaren Teollisuuspuisto Oy, Biokattilalaitos	10,0	0,0	1,20
Raisio	Turku Energia, Haunisten lämpökeskus	0,7	0,0	0,02
Raisio	Turku Energia, Kemppilän lämpökeskus	0,0	0,0	0,04
Turku	Turku Energia, Orikedon lämpökeskus	50,4	2,2	0,69
Turku	Turku Energia, Härkämäen lämpökeskus	0,1	0,0	0,00
Turku	Turku Energia, Linnankadun lämpökeskus	3,5	0,0	0,02
Turku	Turku Energia, Jalostajan lämpökeskus	0,1	0,0	0,00
Turku	Turku Energia, Koroisten lämpökeskus	2,4	0,0	0,06
Turku	Turku Energia, Luolavuoren lämpökeskus	14,4	0,0	0,3
Turku	Turku Energia, TYKS:n lämpökeskus	13,7	0,1	0,25
Turku	Turku Energia, Farmoksen höyrykeskus	1,3	0,0	0,00
Turku	Turku Energia, Jäkärlän lämpökeskus	0,0	0,0	0,00
Turku	Turku Energia, Artukaisten höyrykeskus	8,3	0,2	0,09
Turku	Huiskulan puutarha Oy	14,7	17,3	1,69
Turku	Varissuon Lämpö Oy, lämpökeskus	15,8	0,0	0,1
Turku	Late-Rakenteet Oy	3,4	0,1	3,83
	Kokonaispäästöt	2089	1006	138

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 ± 20 % satunnaisvaihteluna. Lämpökeskusten oletettiin toimivan käyntitunti-määriensä mukaisesti vain vuoden kylmimpinä tunteina.

5.1.4 Laivaliikenteen päästötiedot

Leviämislaskelmissa 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 dieselmoottoreiden teknistä kehitystä ja typenoksidipäästöjen määrää säädellään Tier I–III-päästörajoilla (*IMO, 2008*). Standardeilla määritetään laivoille asennettujen dieselmoottoreiden typenoksidien päästötasot laivojen valmistumisajankohdan mukaan. Tier I vaatimukset typen oksidien enimmäismäärälle koskevat moottoreita, 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 2018 laivapäästöjen noudattavan standardeja Tier I tai II. Itämerellä astuu vuonna 2021 voimaan laivojen typenoksidipäästöjen vähentämiseen tähtäävä lainsäädäntö, joka merkittävästi leikkaa uusien (1.1.2021 jälkeen rakennettavien) laivojen NOx-päästöjä. Laivaliikenteen vuoden 2018 päästölaskelmissa on oletettu polttoaineen rikkipitoisuudeksi 0,1 paino-% (satamat + matka-ajo). Koko Itämeri on osa rikkivalvonta-aluetta, jolla kulkevien laivojen on käytettävä 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 Turun 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 typenoksideilla 35 kg, rikkidioksidilla 1,5 kg ja pienhiukkasilla 1,2 kg vuodessa. Kaikki viivalähteet olivat pohjois-eteläsuuntaisia ja pituudeltaan noin 114 metriä.

Laivaliikenteen päästöjen leviämislaskelmissa käytettiin kaikkien laivojen päästökorkeutena 30 metriä. Samaa päästökorkeutta on käytetty mm. vuonna 2011 ja 2013 valmistuneissa laivaliikenteen päästöjen ilmanlaatuvaikutuksia Suomen eteläarannikolla arvioineissa tutkimuksissa (*SNOOP, 2011* ja *BSR INNOSHIP, 2013*). Liitekuvissa 70–73 on esitetty STEAM-mallista leviämislaskelmia varten tuotettu laivaliikenteen typenoksi-, pienhiukkas- ja rikkidioksidipäästöjä merialueella kuvaava aineisto. Laskelmissa on oletettu laivaliikenteen päästöhiukkasten olevan kokonaisuudessaan pienhiukkasia. Laivaliikenteen päästöjen aiheuttamat pienhiukkaspitoisuudet on mallilaskelmissa otettu mukaan myös hengitettävien hiukkasten (PM_{10}) kokonaispitoisuuksiin. Laskelmissa käytetyt laivaliikenteen aiheuttamat kokonaispäästöt on esitetty taulukossa 13.

Taulukko 13. Mallilaskelmissa huomioidut Turun seudun laivaliikenteen kokonaispäästöt (t/a) vuonna 2018.

	Turun seudun laivaliikenteen kokonaispäästöt
NO_x	2 173 t/a
$PM_{2,5}$	88 t/a
SO_2	108 t/a

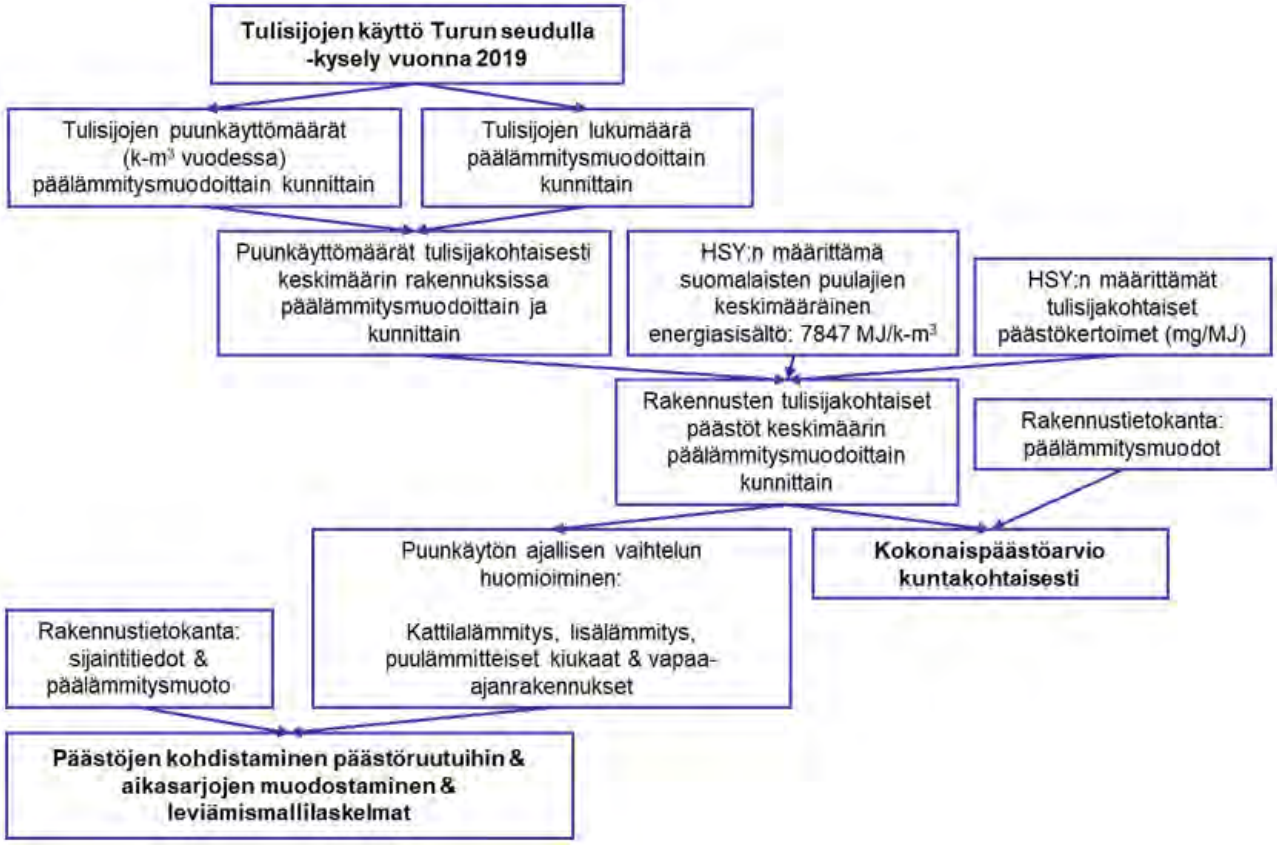
5.1.5 Asuinrakennusten puunpolton päästöt

Leviämismallinnuksessa käytetyt asuinrakennusten puunpolton päästöt laskettiin Turun seudulle teetetyn tulisijojen käyttötapoja kartoittavan asukaskyselyn ja Suomen ympäristökeskuksen (SYKE) ja Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymän (HSY) laskemien tulisijakohtaisten päästökertoimien (*HSY, 2020*) perusteella. Laskentamenetelmä noudattaa HSY:n tekemää puunpolton päästöarviota pääkaupunkiseudun alueelle (*HSY, 2020*) sekä SYKE:n tekemää koko Suomen puunpolton päästöarviota (*Savolahti, ym. 2019*). Päästölaskennassa ja leviämismallilaskennassa tarkasteltiin pienhiukkasten ja bentso(a)pyreenin päästöjä vuoden 2018 tilanteessa. Koska hengitettävien hiukkasten (hiukkaskokoluokka alle 10 µm) päästöt sisältävät myös pienhiukkaset (kokoluokka alle 2,5 µm), huomioitiin mallinnetut puunpolton aiheuttamat pienhiukkaspitoisuudet myös hengitettävien hiukkasten (PM_{10}) kokonaispitoisuuksissa. Turun seudun puunpolton aiheuttamien päästöjen laskelmamenetelmää on esitetty kaaviona kuvassa 47.

Tulisijojen käyttö Turun seudulla -kysely toteutettiin osana Kuivaa asiaa -hanketta vuonna 2019 ja se lähetettiin 2 600 asukkaalle Turun seudun viiden kunnan alueella. Vastauksia saatiin yhteensä 792 kappaletta, joista 712 oli omakotitalojen vastauksia. Aineistosta selvitettiin tulisijatyyppikohtaiset puunkäyttömäärät kiintokuutiometreinä (k-m^3) sekä tulisijojen keskimääräinen lukumäärä rakennustyyppikohtaisesti. Puunpoltosta vapautuva energiamäärä vaihtelee puulajeittain. HSY:n arvion mukaan suomalaisten käyttämällä puulajien jakaumalla puunpoltossa vapautuu energiaa keskimäärin 7 847 MJ/k-m^3 (*HSY, 2020*).

Tulisijakohtaisia puunkäyttömääriä tarkasteltiin rakennusten päälämmitysmuodon (viisi kategoriaa: vesikiertolämmitys, sähkölämmitys, ilmakiertolämmitys, uunilämmitys sekä keskimäärin kaikki lämmitysmuodot, jos lämmitysmuoto ei tiedossa) mukaan kaikkien viiden kunnan alueella erikseen Turussa, Naantalissa, Raisiossa, Kaarinassa ja Paraisilla sekä keskimäärin koko seudulla. Aineiston perusteella asuinrakennusten puunkäyttömäärät jaoteltiin kunkin päälämmitysmuodon alle kattilalämmitykseen, lisälämmityslähteisiin (esim. takat), puulämmitteisiin kiukaisiin ja vapaa-ajanrakennuksiin ja näille alakategorioille huomioitiin oma puunpolton ajallinen vaihtelu.

Vapaa-ajanrakennusten päästöarvio perustuu Tilastokeskuksen energiakulutustiedon arvioon, jonka mukaan vapaa-ajanrakennusten puulla tuotetun energian kulutus on 14 % asuinrakennusten puulämmityksen energiankulutuksesta. Laskennassa ei huomioitu rivitaloja tai asuinkerrostaloja, sillä energiankulutustiedon mukaan rivi- ja ketjutalojen sekä kerrostalojen puulla tuotetun energian kulutus on yhteensä vain noin 2 % asuinrakennusten puulla tuotetun energian kulutuksesta. (*Tilastokeskus, 2017*). Port Arthurin puutaloalueen pienkerrostalot huomioitiin päästöarviossa omakotitaloina.



Kuva 47. Turun seudun asuinrakennusten puunpolton päästölaskentamenetelmän kuvaus. Tarkasteltujen rakennusten päälämmitysmuodot ovat vesikiertolämmitys, sähkölämmitys, ilmakiertolämmitys ja uunilämmitys.

Leviämismallilaskelmia varten päästöt laskettiin asuinrakennusten keskimääräisten puunkäyttömäärien, tulisijatyyppikohtaisten päästökertoimien ja kunnittaisten rakennustietojen avulla vuosipäästöinä (g/a) 100 m × 100 m ruutuihin Turun seudun kuntien alueille. Kaikkien viiden kunnan alueelle kunkin ruudun päästöarvio tehtiin kuntien omien rakennustietojen (sijaintitieto ja lämmitysmuoto) avulla (taulukko 14). Leviämismallilaskelmissa päästöjen alueellista kattavuutta lisäämään aineistossa huomioitiin myös Turun seudun kuntia ympäröivien naapurikuntien rakennustietoja Väestörekisterikeskuksen rakennustietokantahaun avulla. Leviämismallilaskelmassa päästöruutujen korkeuden oletettiin olevan 7,5 m maanpinnasta, millä kuvattiin pientalojen keskimääräistä päästöjen vapautumiskorkeutta.

Leviämismallinnuksessa huomioitiin kattilalämmityksen, lisälämmityslähteiden (esim. takat), puulämmitteisiin kiukaiden erilainen aikavaihtelu Tulisijojen käyttö Turun seudulla -kyselyn perusteella. Vapaa-ajanrakennusten puunpolton aikavaihtelu huomioitiin SYKE:n tuottaman Suomen keskimääräisten vapaa-ajanrakennusten puunpolton aikavaihteluaineiston perusteella.

Taulukko 14. Mallilaskelmissa huomioidut Turun seudun pientalojen ja vapaa-ajan rakennusten lukumäärät kunnittain.

	Kaarina	Naantali	Parainen	Raisio	Turku	Turun seutu yhteensä
Pientalojen lukumäärä	7 463	4 592	6 347	4 472	13 545	36 419
Vapaa-ajan asuntojen lukumäärä	809	4 879	9 036	56	2 574	17 354

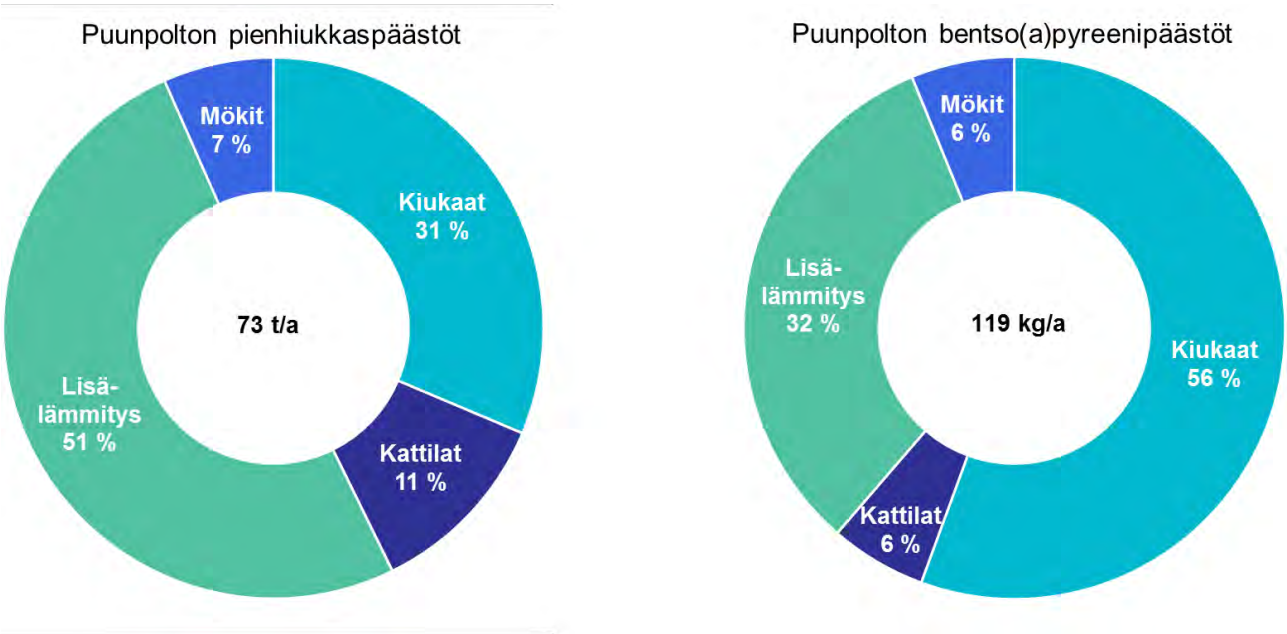
Taulukoissa 15 ja 16 sekä kuvassa 48 on esitetty lämmönlähteiden (kattilalämmityksen, lisälämmityslähteiden (esim. takat), puulämmitteisten kiukaiden ja vapaa-ajanasuntojen (mökkien)) aiheuttamat pienhiukkasten ja bentso(a)pyreenin kokonaispäästöt (t/a ja kg/a) Turun seudulla vuonna 2018. Omakotitalojen lisälämmitys eli takkojen ym. tulisijoiden päästöt ovat suurimpia päästölähteitä. Asuinrakennusten puunpolton aiheuttamat pienhiukkasten ja bentso(a)pyreenin ruuduittaiset päästöt (kg/a) vuonna 2018 esitetty liitekuvissa 73–74. Asuinrakennusten puunpolton päästöt ovat suurimmillaan tiheään asutuilla pientaloalueilla.

Taulukko 15. Mallilaskelmissa huomioidut Turun seudun puunpolton pienhiukkaspäästöt (t/a) vuonna 2018 kunnittain. Päästöt on laskettu asuinrakennusten keskimääräisten puunkäyttömäärien, tulisijatyyppikohtaisten päästökertoimien ja kunnittaisten rakennustietojen avulla.

Pienhiukkaspäästöt	Kaarina	Naantali	Parainen	Raisio	Turku	Turun seutu yhteensä
Pientalojen $PM_{2,5}$-päästöt (t/a)	12,8	7,9	19,9	6,6	21,2	68,3
Vapaa-ajan asuntojen $PM_{2,5}$-päästöt (t/a)	0.2	1,4	2,5	0,0	0,7	4,8
Kokonaispäästö $PM_{2,5}$ (t/a)	13,0	9,3	22,4	6,6	21,9	73,1

Taulukko 16. Mallilaskelmissa huomioidut Turun seudun puunpolton bentso(a)pyreenipäästöt (kg/a) vuonna 2018 kunnittain. Päästöt on laskettu asuinrakennusten keskimääräisten puunkäyttömäärien, tulisijatyyppikohtaisten päästökertoimien ja kunnittaisten rakennustietojen avulla.

Bentso(a)pyreeni	Kaarina	Naantali	Parainen	Raisio	Turku	Turun seutu yhteensä
Pientalojen B(a)P-päästöt (t/a)	19,2	12,4	31,4	11,0	37,6	111,6
Vapaa-ajan asuntojen B(a)P-päästöt (t/a)	0,3	2,1	3,8	0,0	1,1	7,3
Kokonaispäästö B(a)P (kg/a)	19,6	14,5	35,3	11,0	38,7	119,0



Kuva 48. Turun seudun asuinrakennusten puunpolton aiheuttamat pienhiukkasten päästöt (t/a) ja bentso(a)pyreenin päästöt (kg/a) lämmityslähteittäin vuonna 2018.

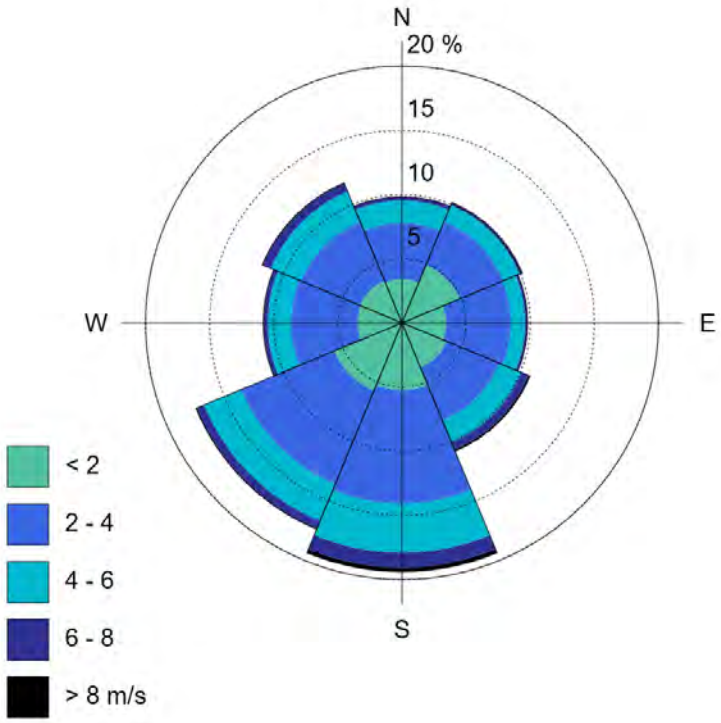
Kuva: Antti Wemberg

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 Turun seudun alueen mallinnusta varten. Laskelmissa käytettäviksi sääasemiksi valittiin tarkastelualuetta edustavat sääasemat, joilla mitataan kaikkia mallin tarvitsemia sääsuureita.

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

Kuvassa 49 on esitetty tuulen suunta- ja nopeusjakauma tarkastelualueella tuuliruusun muodossa. Turun seudun alueella etelä- ja lounaistuulet ovat vallitsevia, kun taas pohjoisen puoleisia tuulia esiintyy vähiten.



Kuva 49. Keskimääräinen tuulen suunta- ja nopeusjakauma Turun seudulla vuosina 2016–2018. Tuulitiedot kuvaavat olosuhteita 10 metrin korkeudella maan pinnasta.

5.3 Taustapitoisuudet

Leviämismallilaskelmissa huomioitiin autoliikenteen, energiantuotannon ja teollisuuden, laivaliikenteen ja asuinrakennusten puunpolton päästöjen aiheuttamien pitoisuuksien lisäksi alueellinen taustapitoisuus, jotta mallilaskelmin saadut pitoisuudet vastaisivat mahdollisimman hyvin todellisia epäpuhtauspitoisuustasoja. Tausta-asemalta saadaan myös typenoksidien muutunnan kuvaamista varten tarvittava otsonin ja typenoksidien pitoisuus kaupungin ulkopuolella ennen paikallisten päästöjen aiheuttamaa otsonin ja typenoksidien ilmakemiallista muutuntaa. Taustapitoisuutena käytettiin Ilmatieteen laitoksen Paraisten Utössä sijaitsevan taustailmanlaadun mittausaseman tuloksia. Tarkastelujaksolla 2016–2018 typen oksidien taustapitoisuuden keskiarvo oli 3,7 µg/m³, rikkidioksidin 0,4 µg/m³, pienhiukkasten 4,4 µg/m³ ja otsonin 66,7 µg/m³ (*Ilmatieteen laitos, 2020*). Taustapitoisuuksina käytettiin pitoisuuksien kuukausittain laskettuja tunneittaisia keskiarvoja, joilla pyrittiin kuvaamaan taustapitoisuuksien vuorokauden sisäistä ja vuodenajoittaista vaihtelua.

5.4 Laskentapisteikkö

Pitoisuudet laskettiin Turun seudun viiden kunnan alueet kattavalle 60 × 50 km kokoiselle alueelle. Tälle alueelle muodostettiin laskentapisteikkö, jossa oli yhteensä 83 000 laskentapistettä. Laskentapisteiden etäisyys toisistaan vaihteli 1–600 metrin välillä riippuen alueesta. Liikenneväylien ja laivaväylien varsilla käytettiin tihennettyä laskentapisteikköä. Laskentapisteet sijoitettiin liikenneväylille 1–50 m välein siten, että yksi piste sijaitsee väylällä ja väylän molemmin puolin sijaitsevat laskentapisteet 50 metrin etäisyydellä väylästä. Myös kaikkien kaupunkien keskusta-alueilla sekä teollisuus- ja energiantuotantolaitosten läheisyydessä käytettiin tihennettyä laskentapisteikköä, jossa laskentapisteiden etäisyys toisistaan oli 100 m.

Maapinnan 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 10 ilmanlaadun mittausaseman kohdalle niiden mittauskorkeudelle eli 3–3,5 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.

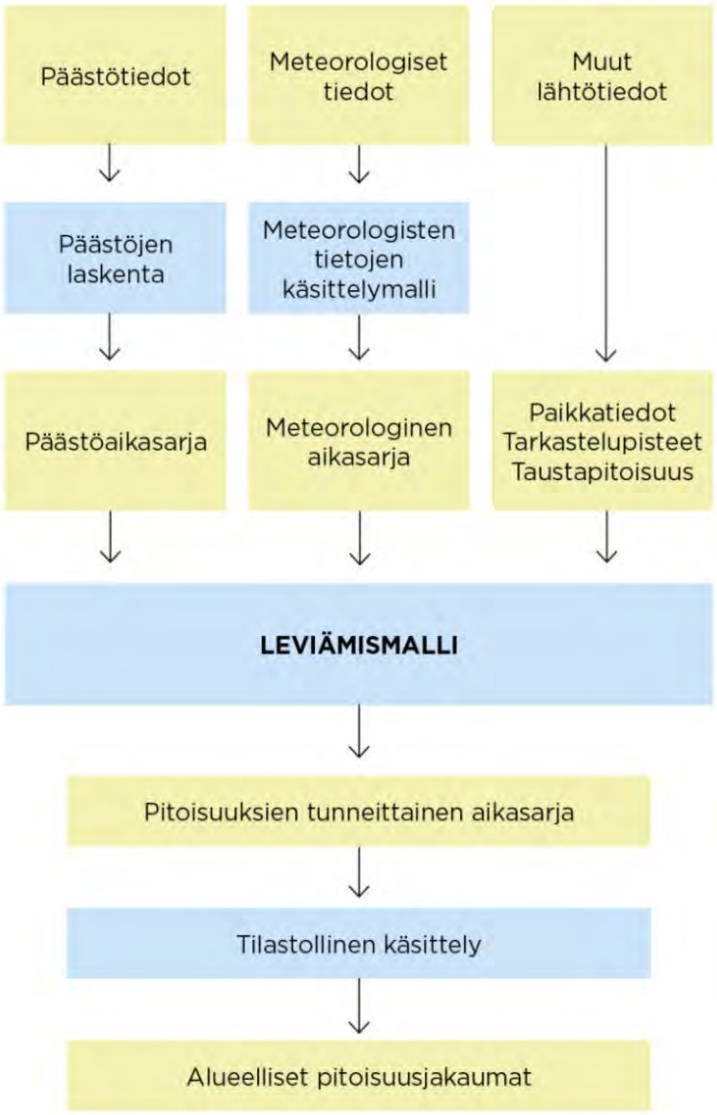
Kuva: Antti Wemberg

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 laskeumana. 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 päästömäärä 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 6 ja 7). Kaaviokuvassa 50 on esitetty Ilmatieteen laitoksen leviämismallien toimintaa. Eri leviämismalleja kuvataan tarkemmin seuraavissa kappaleissa.



Kuva 50. 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 (*Karppinen, 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 leviämisparametrien määritys. Näiden parametrien 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 päästökohteesta nousevat liikemäärästään ja lämpösisällöstään johtuen päästölähteen huippua korkeammalle. Päästöjen nousulisällä on huomattava vaikutus keskimääräiseen leviämiskorkeuteen ja muodostuviin epäpuhtauspitoisuuksiin. Päästöjen leviämiseen saattavat vaikuttaa ilmavirtauksia häiritsevät kohteet, kuten päästölähdettä ympäröivät rakennukset tai itse lähteen ominaisuudet. Tällöin leviämisessä voi esiintyä systemaattisesti alaspäin suuntautuvaa liikettä, josta käytetään nimitystä savupainuma. Näiden leviämiseen vaikuttavien tekijöiden käsittelymenetelmät pitoisuuksia laskettaessa sisältyvät 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 analyyttiseen ratkaisuun ja päästöjen kemiallisen muutunnan osalta ns. ’discrete parcel’ -menetelmään. Viivalähdemallin leviämislaskenta perustuu avoimen väylän oletukseen. Viivalähdemallilla voidaan laskea esimerkiksi typpimonoksidin, typpidioksidin ja typen oksidien (kokonais-NO_x) ja hiukkasten pitoisuuksia haluttuihin pisteisiin eri etäisyyksille liikenneväylästä. Viivalähdemalli on kehitetty alun perin autoliikenteen päästövaikutusten arviointiin, mutta siihen on muokattu menetelmät, joka soveltuvat myös juna-, laiva- ja lentoliikenteen päästöjen leviämislaskelmiin. Viivalähdemallin laskentatuloksista voidaan arvioida yksittäisen liikenneväylän vaikutus lähialueen pitoisuuksiin tai laajan tutkimusalueen liikenneverkon päästöjen kokonaisvaikutus epäpuhtauskomponenteittain. Viivalähdemallin eri sovellutuksilla saadut mallinnustulokset voidaan yhdistää UDM-FMI-mallilla tehtyihin tuloksiin.

6.4 Liikenteen suspensiopäästömalli katupölyn mallintamiseen

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

Tienpinnan kosteus säätelee hiukkasten nousemista tienpinnalta ilmaan. Suspensiopäästömalli arvioi tien pinnan kosteutta sademäärän, haihdunnan ja valunnan avulla. Mallissa kuvitteellinen tien pölykerros kasvaa kosteissa olosuhteissa nastarenkaiden aiheuttaman tien kulumisen ja

hiekoituksen vuoksi, sillä pöly ei pääse vapautumaan ilmaan sateisina aikoina. Kuivana kautena liikenteen ja tuulen aiheuttama turbulenssi nostaa hiukkaset ilmaan pienentäen näin pölykerrosta. Tien pölykerros pienenee myös sateen aiheuttaman huuhtoutumisen seurauksena. Tien kulumisesta aiheutuvan pölykerroksen paksuus riippuu nastarenkaiden käytön määrästä. Tien hiekoituksesta aiheutuva pölykerros määräytyy mallissa meteorologisten muuttujien mukaan tai kaupungin katujen kunnossapidosta saatujen hiekoitustietojen mukaan. Katujen pölyämisestä ilmaan vapautuvan päästön määrää arvioidaan tiepölyhiukkasten suspensiopäästökertoimien, liikennemäärien ja sääolosuhteiden avulla.

6.5 Laivaliikenteen päästöjen STEAM-malli

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. Itämerellä liikkuvista laivoista rikkipesureita käyttää 99 laivaa.

Päästöjen laskemiseksi STEAM-mallissa käytetään dynaamisia päästökertoimia, kuten esimerkiksi IMO:n (International Maritime Organisation) NO_x-päästöstandardikäyriä suhteessa moottorin kierrosnopeuteen (IMO Marine Engine Regulations). Hiukkas- 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 julkaisussa *(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 Lööv 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; Soares ym., 2014)* mallintamiseen.

6.6 Typenoksidipäästöjen ilmakemiamalli

Kiinteiden päästölähteiden polttoaineiden palamisessa muodostuvat ja liikenteen typenoksidipäästöt ovat pääasiassa typpimonoksidia (NO), kun taas terveysvaikutuksiltaan haitallisempaa typpidioksidia (NO_2) on päästöistä pienempi osa. Oksidit hapettuvat ilmassa kaasufaasireaktioissa hapen, otsonin, hydroksyyliradikaalin ja orgaanisten peroksiradikaalien toimiessa hapettimina. Reaktionopeudet riippuvat vuoden- ja vuorokaudenajasta, auringon säteilyn määrästä ja lämpötilasta. Valokemialliset reaktiot, joissa molekyylit hajoavat, ovat tärkeitä päivänvalossa. Myös päästöjen leviäminen ja niiden sekoittuminen ilmaan vaikuttavat typen oksidien muutunnan tehokkuuteen.

Jotta leviämismallilaskelmin voitaisiin kuvata erilaisten hapettuneiden typen yhdisteiden pitoisuudet ulkoilmassa, on mallisovellutuksissa otettava huomioon ilmakehässä tapahtuvat kemialliset reaktiot. Pistemäisten päästölähteiden typenoksidipäästöjen muutuntaa käsitellään menetelmällä, jossa UDM-FMI-malliin on yhdistetty erilaisten meteorologisten tilanteiden ja otsonin taustapitoisuuden mukaan parametrisoituja funktioita. Näillä funktioilla kuvataan typen oksidien hapettumista ja NO_2/NO-suhteen muuttumista poistokaasuvanassa eri etäisyyksillä päästölähteestä.

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

Kemiallisissa muutuntamalleissa tarvittavat auringon säteilytiedot muodostetaan yleensä tarkastelualuetta lähinnä sijaitsevan sääaseman mittaustuloksista ja otsonin ja typen oksidien taustapitoisuustiedot hankitaan lähimmältä 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 vääristä kuvaa leviämismallilaskelmin saatavista pitoisuuksien aluejakaumista ja esimerkiksi maksimiarvon sijainnista mallin tulostusalueella. Lopputuloksena saadaan leviämismalleissa tarvittavien meteorologisten parametrien tunneittaiset aikasarjat. Meteorologisen aikasarjan laatii meteorologi.

Kuva: Antti Wemberg

VIITELUETTELO

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

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, NOx 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 SO_2 and NO_2: 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

HSY, 2020. Tulisijojen käyttö ja päästöt pääkaupunkiseudulla vuonna 2018. Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä, HSY:n julkaisuja 1/2020. ISBN (pdf) 978-952-7146-47-7. https://julkaisu.hsy.fi/tulisijojen-kaytto-ja-paastot-paakaupunkiseudulla-vuonna-2018.html

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, 2020. 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 julkaisuja no. 28. Ilmatieteen laitos, Helsinki.

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

Ramacher, M. O. P., Karl, M., Bieser, J., Jalkanen, J. P. and Johansson, L., 2019. Urban population exposure to NOx 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., Lappi, S., Rasila, T., Lovén, K. ja Hannuniemi, H. 2009. Turun seudun päästöjen leviämismalliselvitys. Energiantuotannon, teollisuuden, laivaliikenteen ja autoliikenteen typenoksidi-, rikkidioksidi- ja hiukkaspäästöjen leviämislaskelmat. Ilmatieteen laitos, Ilmanlaadun asiantuntijapalvelut, Helsinki, 30 s. + 66 liites.
http://expo.fmi.fi/ages/public/Turun_seudun_leviamismallilaskelmat_2010.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: PM2.5 emissions and health impacts with and without abatement measures. Int. J. Environ. Res. Public Health 16, 2910. https://www.mdpi.com/1660-4601/16/16/2920

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.

Tilastokeskus, 2017. Energia 2017 taulukkopalvelu.
https://pxhopea2.stat.fi/sahkoiset_julkaisut/energia2017/

Turun seudun ilmansuojelun yhteistyöryhmä, 2017. Turun kaupunkiseudun ilmanlaatu vuonna 2016.
https://www.turku.fi/sites/default/files/atoms/files//ilmanlaatu_2016_yhdistetty.pdf

Turun seudun ilmansuojelun yhteistyöryhmä, 2018. Turun kaupunkiseudun ilmanlaatu vuonna 2017.
https://www.turku.fi/sites/default/files/atoms/files//ltk_vuosiraportti_2017.pdf

Turun seudun ilmansuojelun yhteistyöryhmä, 2019. Turun kaupunkiseudun ilmanlaatu vuonna 2018.
https://www.turku.fi/sites/default/files/atoms/files//ilmanlaatu_vuosiraportti_2018.pdf

VTT, 2019. 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, 2006. WHO Air quality guidelines. Particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulphur dioxide. Global update 2005. Copenhagen, WHO Regional Office for Europe.

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

Liitekuvaluettelo

Pitoisuuksien aluejakaumat

1. Kaikki päästölähteet + taustapitoisuus NO_2 vuosikeskiarvo
2. Kaikki päästölähteet+ taustapitoisuus NO_2 vuosikeskiarvo lähikuva
3. Kaikki päästölähteet+ taustapitoisuus NO_2 vuorokausiohjearvo
4. Kaikki päästölähteet+ taustapitoisuus NO_2 vuorokausiohjearvo lähikuva
5. Liikenne NO_2 vuosikeskiarvo
6. Liikenne NO_2 vuosikeskiarvo lähikuva
7. Liikenne NO_2 vuorokausiohjearvo
8. Liikenne NO_2 vuorokausiohjearvo lähikuva
9. Teollisuus ja energiantuotanto NO_2 vuosikeskiarvo
10. Teollisuus ja energiantuotanto NO_2 vuosikeskiarvo lähikuva
11. Teollisuus ja energiantuotanto NO_2 vuorokausiohjearvo
12. Teollisuus ja energiantuotanto NO_2 vuorokausiohjearvo lähikuva
13. Laivaliikenne NO_2 vuosikeskiarvo
14. Laivaliikenne NO_2 vuosikeskiarvo lähikuva
15. Laivaliikenne NO_2 vuorokausiohjearvo
16. Laivaliikenne NO_2 vuorokausiohjearvo lähikuva

17. Kaikki päästölähteet + taustapitoisuus NO_x vuosikeskiarvo
18. Kaikki päästölähteet + taustapitoisuus NO_x vuosikeskiarvo lähikuva

19. Kaikki päästölähteet + taustapitoisuus $PM_{2,5}$ vuosikeskiarvo
20. Kaikki päästölähteet + taustapitoisuus $PM_{2,5}$ vuosikeskiarvo lähikuva
21. Kaikki päästölähteet + taustapitoisuus $PM_{2,5}$ WHO-vuorokausiohjearvo
22. Kaikki päästölähteet + taustapitoisuus $PM_{2,5}$ WHO-vuorokausiohjearvo lähikuva
23. Liikenne $PM_{2,5}$ vuosikeskiarvo
24. Liikenne $PM_{2,5}$ vuosikeskiarvo lähikuva
25. Liikenne $PM_{2,5}$ WHO-vuorokausiohjearvo
26. Liikenne $PM_{2,5}$ WHO-vuorokausiohjearvo lähikuva
27. Teollisuus ja energiantuotanto $PM_{2,5}$ vuosikeskiarvo
28. Teollisuus ja energiantuotanto $PM_{2,5}$ vuosikeskiarvo lähikuva
29. Teollisuus ja energiantuotanto $PM_{2,5}$ WHO-vuorokausiohjearvo
30. Teollisuus ja energiantuotanto $PM_{2,5}$ WHO-vuorokausiohjearvo lähikuva
31. Laivaliikenne $PM_{2,5}$ vuosikeskiarvo
32. Laivaliikenne $PM_{2,5}$ vuosikeskiarvo lähikuva
33. Laivaliikenne $PM_{2,5}$ WHO-vuorokausiohjearvo
34. Laivaliikenne $PM_{2,5}$ WHO-vuorokausiohjearvo lähikuva
35. Asuinrakennusten puunpoltto $PM_{2,5}$ vuosikeskiarvo
36. Asuinrakennusten puunpoltto $PM_{2,5}$ vuosikeskiarvo lähikuva
37. Asuinrakennusten puunpoltto $PM_{2,5}$ WHO-vuorokausiohjearvo
38. Asuinrakennusten puunpoltto $PM_{2,5}$ WHO-vuorokausiohjearvo lähikuva

39. Kaikki päästölähteet + taustapitoisuus PM_{10} vuosikeskiarvo
40. Kaikki päästölähteet + taustapitoisuus PM_{10} vuosikeskiarvo lähikuva
41. Kaikki päästölähteet + taustapitoisuus PM_{10} vrk-raja-arvo
42. Kaikki päästölähteet + taustapitoisuus PM_{10} vrk-raja-arvo lähikuva
43. Liikenne PM_{10} vuosikeskiarvo
44. Liikenne PM_{10} vuosikeskiarvo lähikuva
45. Liikenne PM_{10} vrk
46. Liikenne PM_{10} vrk lähikuva

47. Kaikki päästölähteet + taustapitoisuus SO_2 vuosikeskiarvo
48. Kaikki päästölähteet + taustapitoisuus SO_2 vuosikeskiarvo lähikuva
49. Kaikki päästölähteet + taustapitoisuus SO_2 vuorokausiraja-arvo
50. Kaikki päästölähteet + taustapitoisuus SO_2 vuorokausiraja-arvo lähikuva
51. Teollisuus ja energiantuotanto SO_2 vuosikeskiarvo
52. Teollisuus ja energiantuotanto SO_2 vuosikeskiarvo lähikuva
53. Teollisuus ja energiantuotanto SO_2 vuorokausiraja-arvo
54. Teollisuus ja energiantuotanto SO_2 vuorokausiraja-arvo lähikuva
55. Laivaliikenne SO_2 vuosikeskiarvo
56. Laivaliikenne SO_2 vuosikeskiarvo lähikuva
57. Laivaliikenne SO_2 vuorokausiraja-arvo
58. Laivaliikenne SO_2 vuorokausiraja-arvo lähikuva

59. Asuinrakennusten puunpoltto B(a)P vuosikeskiarvo
60. Asuinrakennusten puunpoltto B(a)P vuosikeskiarvo lähikuva

Päästöt

61. Liikenteen NO_x-päästöt ja KVL
62. Liikenteen NO_x -päästöt ja KVL lähikuva
63. Liikenteen $PM_{2,5}$-päästöt
64. Liikenteen $PM_{2,5}$-päästöt lähikuva
65. Liikenteen PM_{10}-päästöt
66. Liikenteen PM_{10}-päästöt lähikuva
67. Teollisuuden ja energiantuotannon NO_x-päästöt
68. Teollisuuden ja energiantuotannon PM-päästöt
69. Teollisuuden ja energiantuotannon SO_2-päästöt
70. Laivaliikenteen NO_x-päästöt
71. Laivaliikenteen NO_x-päästöt lähikuva
72. Laivaliikenteen PM-päästöt
73. Laivaliikenteen SO_2-päästöt
74. Asuinrakennusten puunpolton $PM_{2,5}$-päästöt
75. Asuinrakennusten puunpolton B(a)P-päästöt

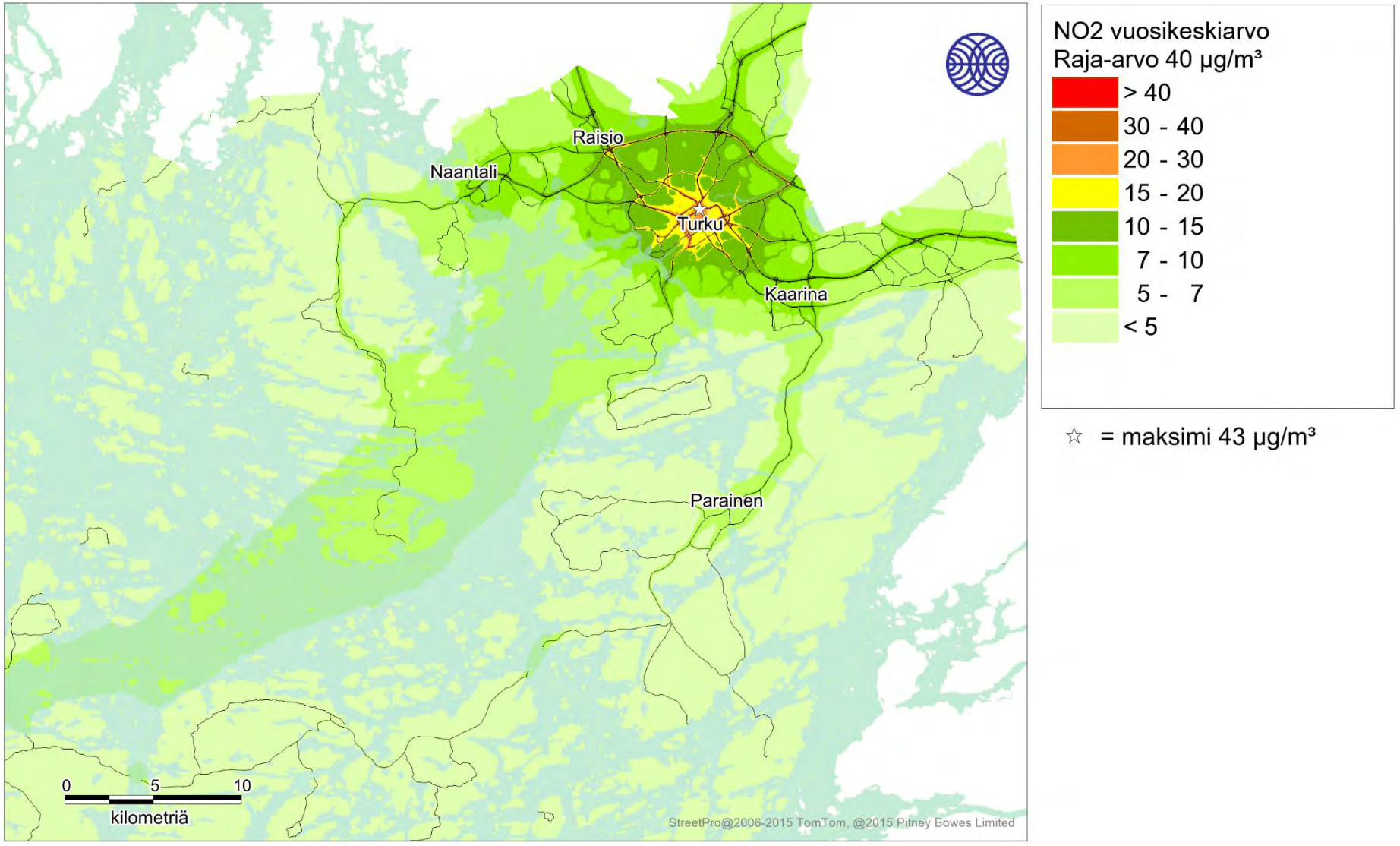
Liitekuvat

Leviämismallilaskelmien tuloksina saadut typpidioksidin, typenoksidien, pienhiukkasten, hengitettävien hiukkasten, rikkidioksidin ja bentso(a)pyreenin 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 (60 × 50 km) kattavat pitoisuuksien tuloskartat ja lähikuvat noin 25 × 20 km alueesta Turun, Naantalin, Raision ja Kaarinan alueelta.

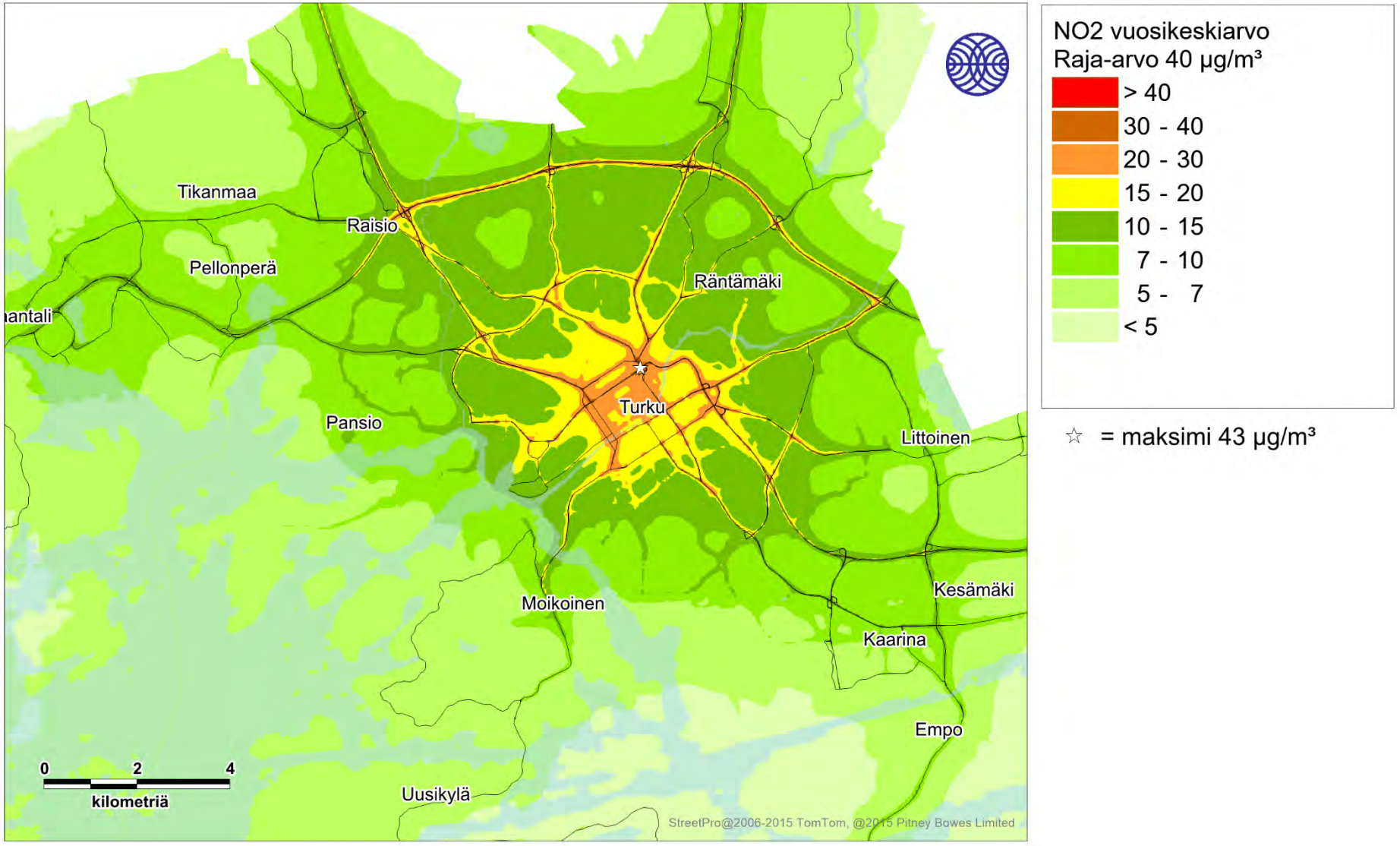
Karttakuvissa on esitetty värillisinä jakaumina alueet, joilla tietyn pitoisuuden ylittyminen on pitkän havaintojakson aikana todennäköistä. Vihreän eri sävyillä kuvataan kartoissa hyvää ilmanlaatua ja asteikko jatkuu pitoisuuksien kasvaessa keltaisen ja oranssin sävyjen kautta punaiseen. Kirkkaalla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

Vuosikeskiarvopitoisuus kuvaa alueen keskimääräistä ja vallitsevaa ilman epäpuhtaus-pitoisuustasoa parhaiten. Karttakuvissa esitetyt vuosikeskiarvopitoisuudet kuvaavat kolmen vuoden tarkastelujakson (vuodet 2016–2018) korkeinta vuosikeskiarvoa kussakin laskentapisteessä. Hetkelliset pitoisuudet voivat nousta vuosikeskiarvopitoisuuksia huomattavasti korkeammiksi. Mallinnettuihin lyhytaikaispitoisuuksiin sisältyy enemmän epävarmuutta kuin vuosikeskiarvo-pitoisuuksiin ja lyhytaikaispitoisuuksien aluejakaumaan vaikuttavat voimakkaammin yksittäiset meteorologiset tilanteet. Karttakuvissa esitetyt vuorokausiohjearvoon verrannolliset pitoisuudet kuvaavat kolmen vuoden tarkastelujakson (vuodet 2016–2018) korkeinta vuorokausiohjearvoon verrannollista pitoisuutta kussakin laskentapisteessä.

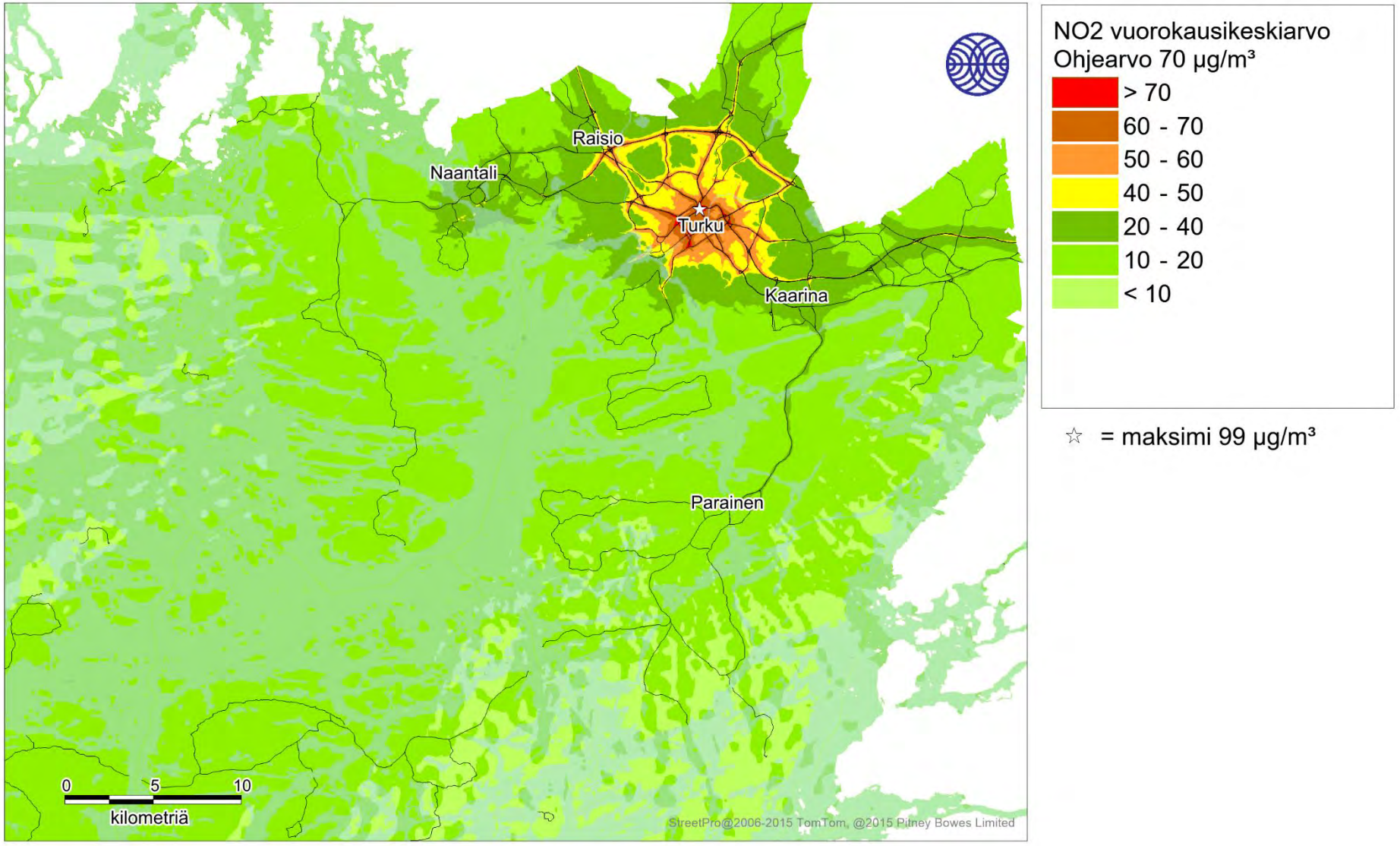
Taustapitoisuutena käytettiin Ilmatieteen laitoksen Paraisten Utössä sijaitsevan taustailmanlaadun mittausaseman tuloksia. Tarkastelujaksolla 2016–2018 typen oksidien taustapitoisuuden vuosikeskiarvo oli 3,7 µg/m³, rikkidioksidin 0,4 µg/m³, pienhiukkasten 4,4 µg/m³ ja otsonin 66,7 µg/m³ (*Ilmatieteen laitos, 2020*). Kaupunkialueilla tai taajamissa paikalliset päästölähteet nostavat pitoisuudet taustapitoisuustasoa korkeammiksi.



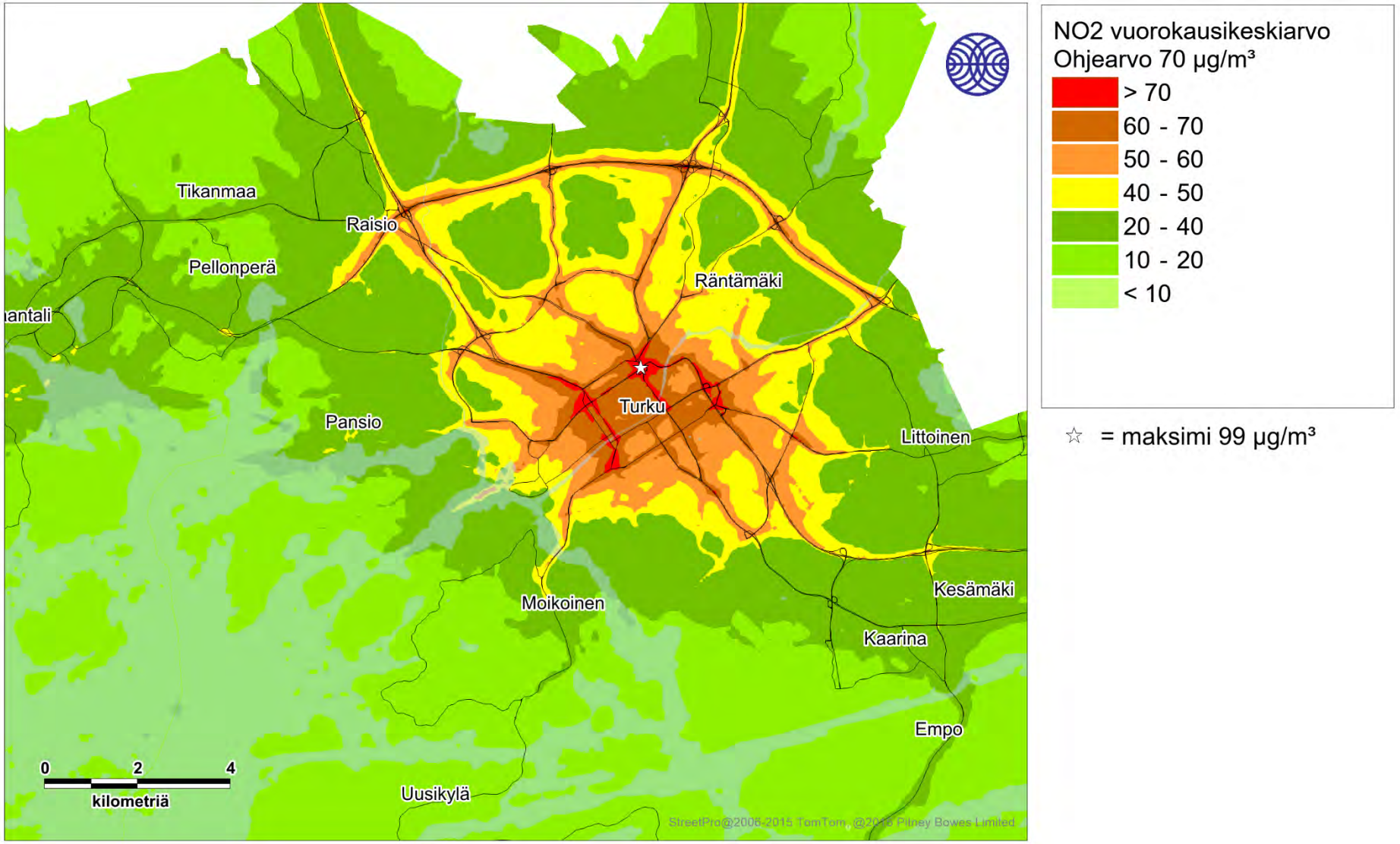
Kuva 1. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden yhdessä aiheuttama typpidioksidin korkein vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2016-2018.



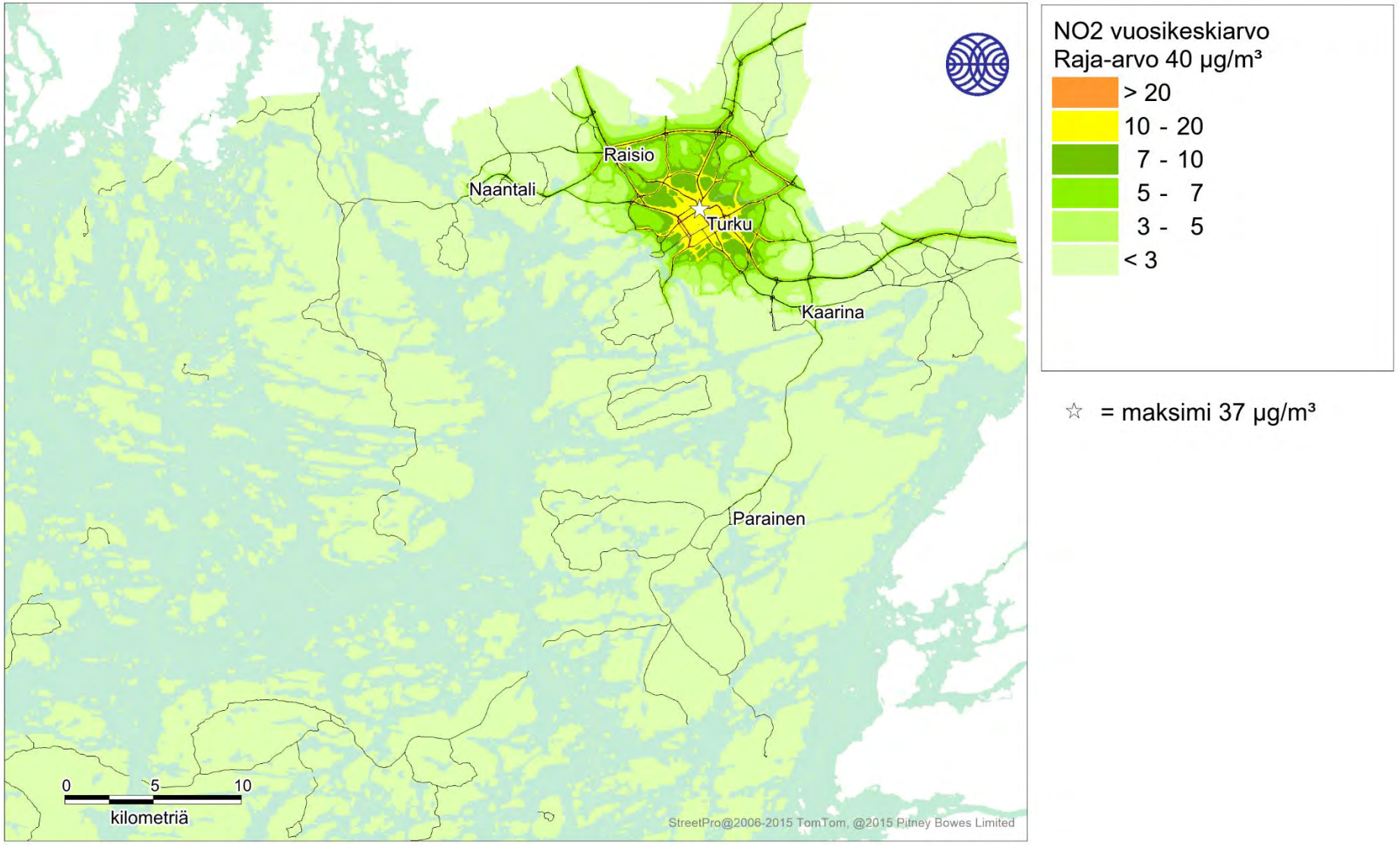
Kuva 2. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden yhdessä aiheuttama typpidioksidin korkein vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2016-2018.



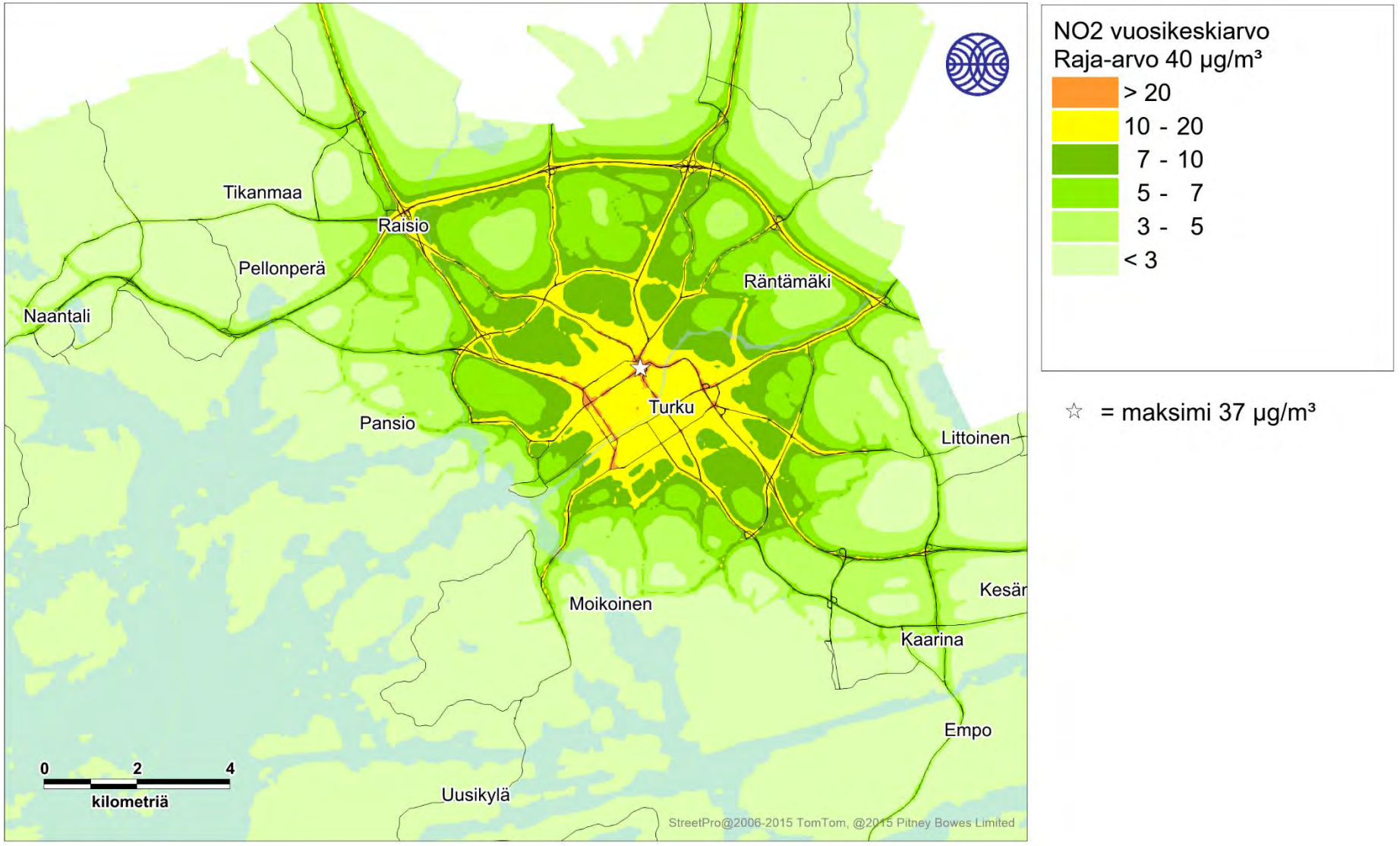
Kuva 3. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden yhdessä aiheuttama typpidioksidin korkein vuorokausiohjearvoon verrannollnen pitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2016-2018.



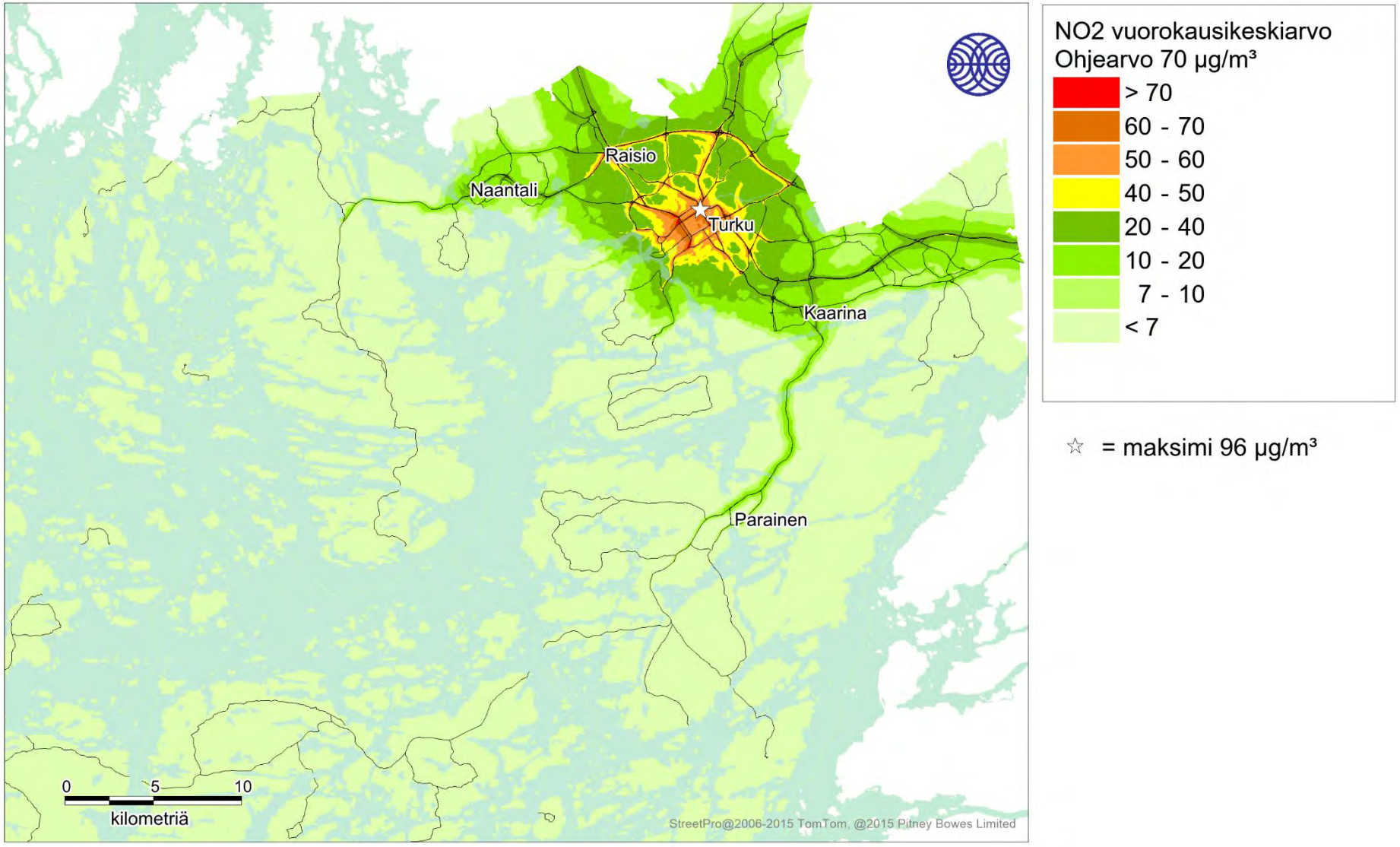
Kuva 4. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden yhdessä aiheuttama typpidioksidin korkein vuorokausiohjearvoon verrannollnen pitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2016-2018.



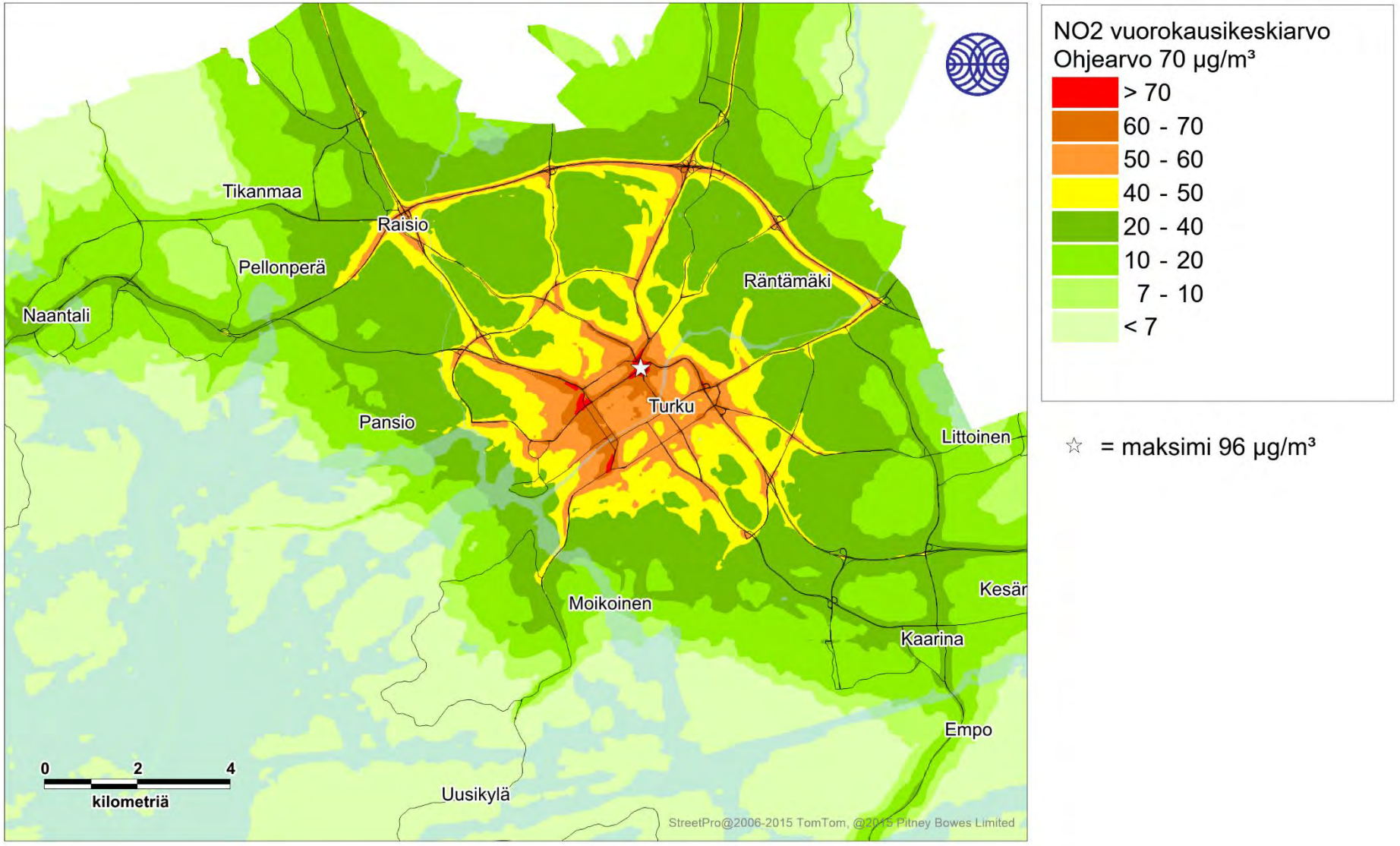
Kuva 5. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama typpidioksidin korkein vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2016-2018.



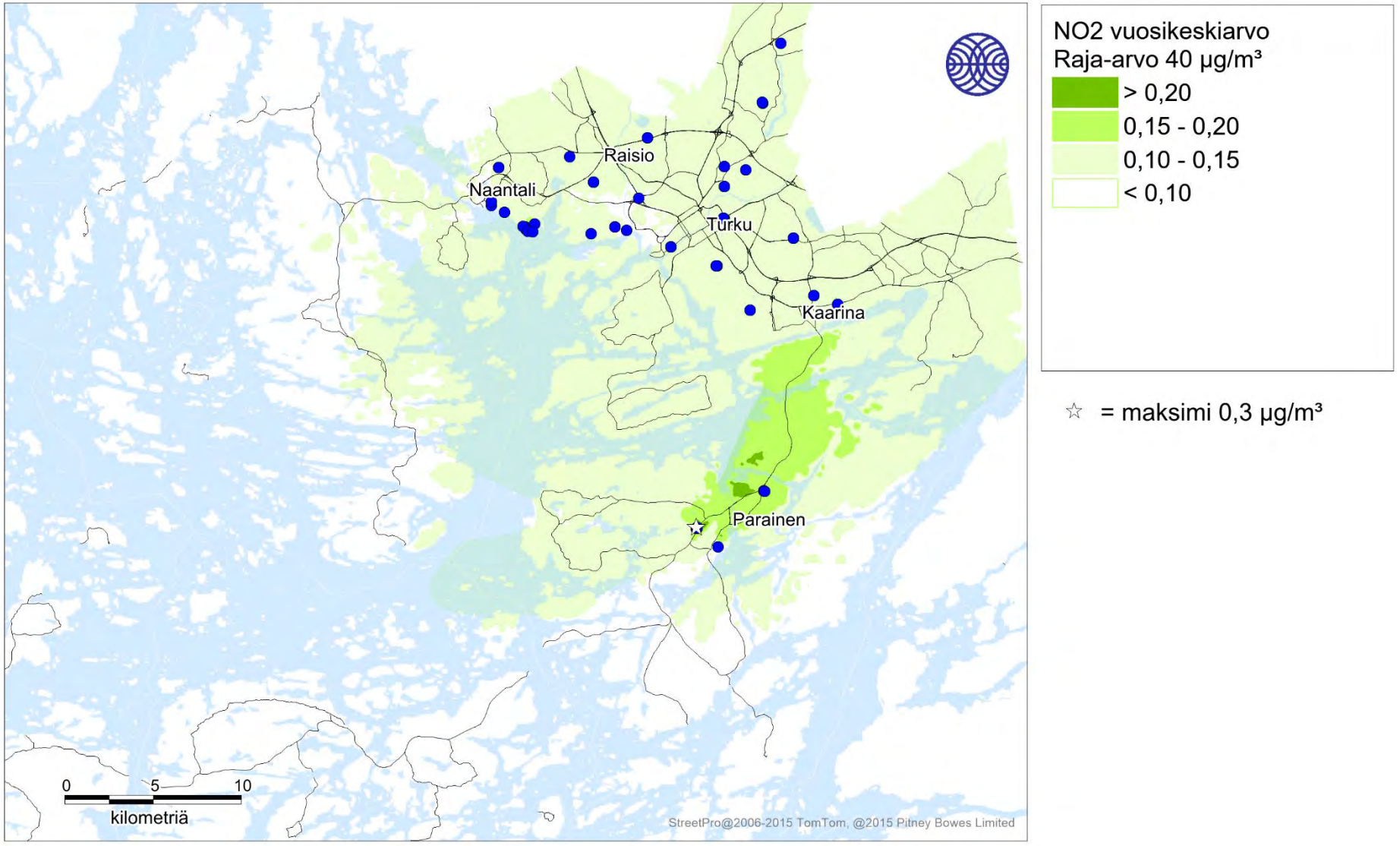
Kuva 6. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama typpidioksidin korkein vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2016-2018.



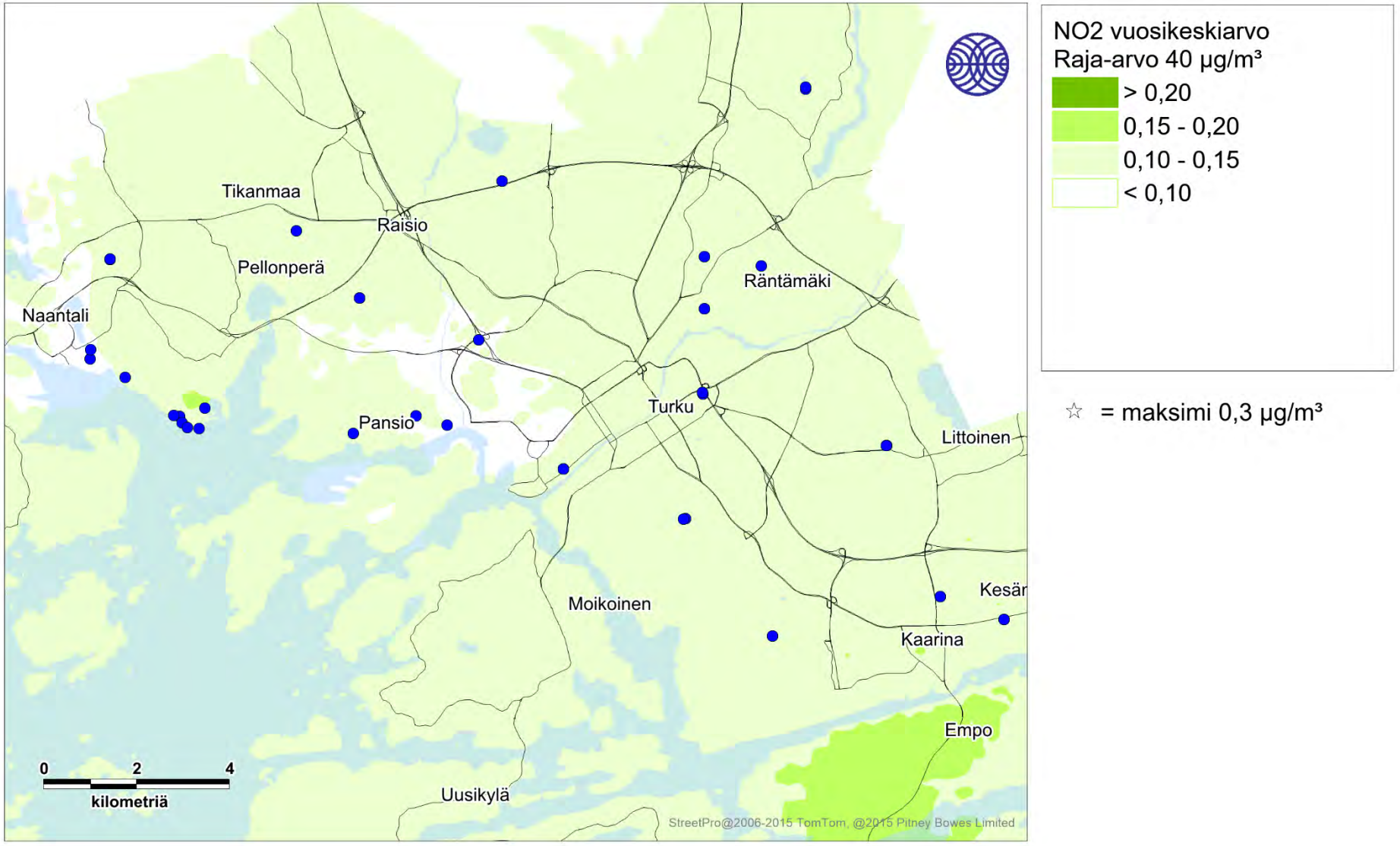
Kuva 7. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama typpidioksidin korkein vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2016-2018.



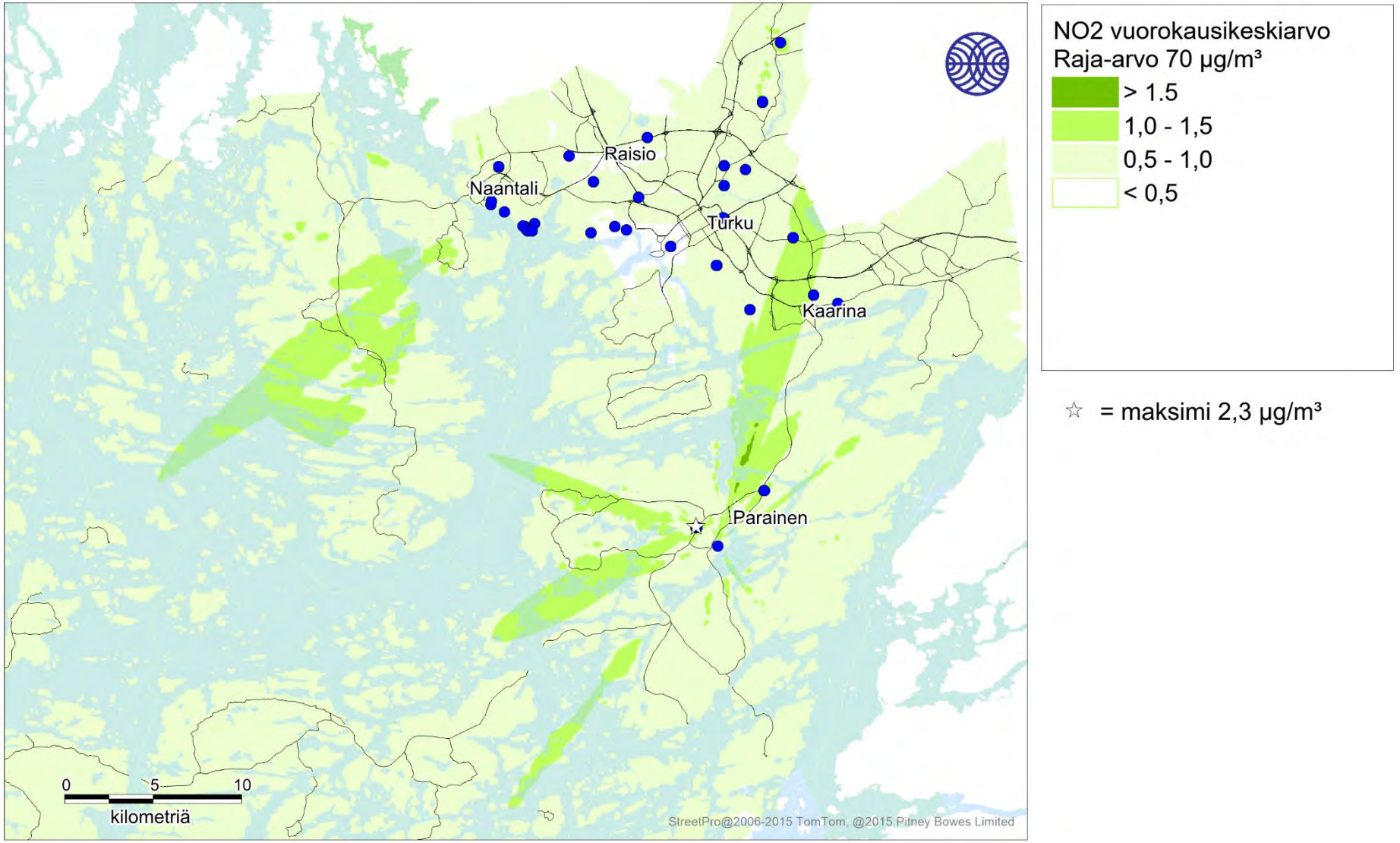
Kuva 8. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama typpidioksidin korkein vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2016-2018.



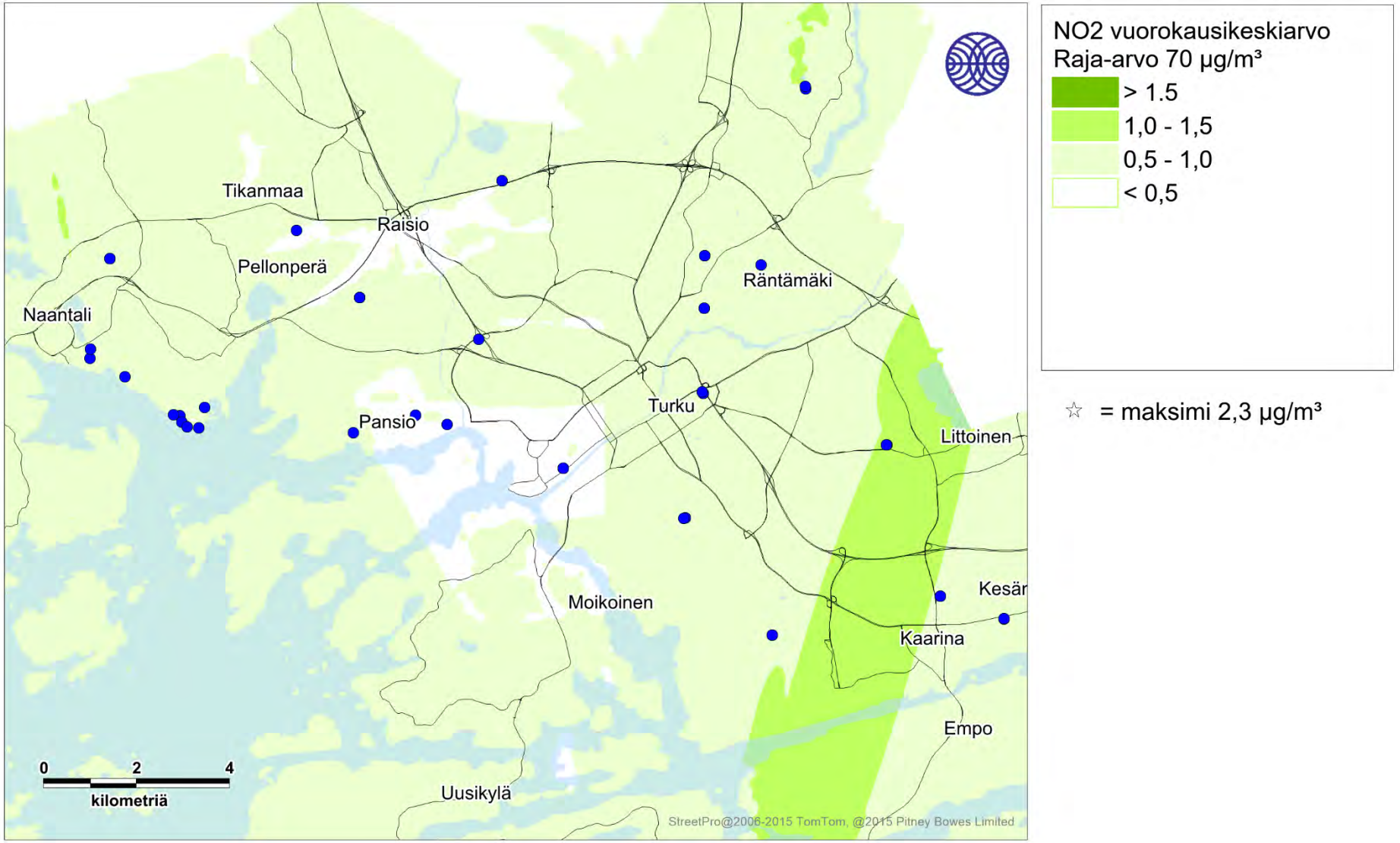
Kuva 9. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttama typpidioksidin korkein vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2016-2018.



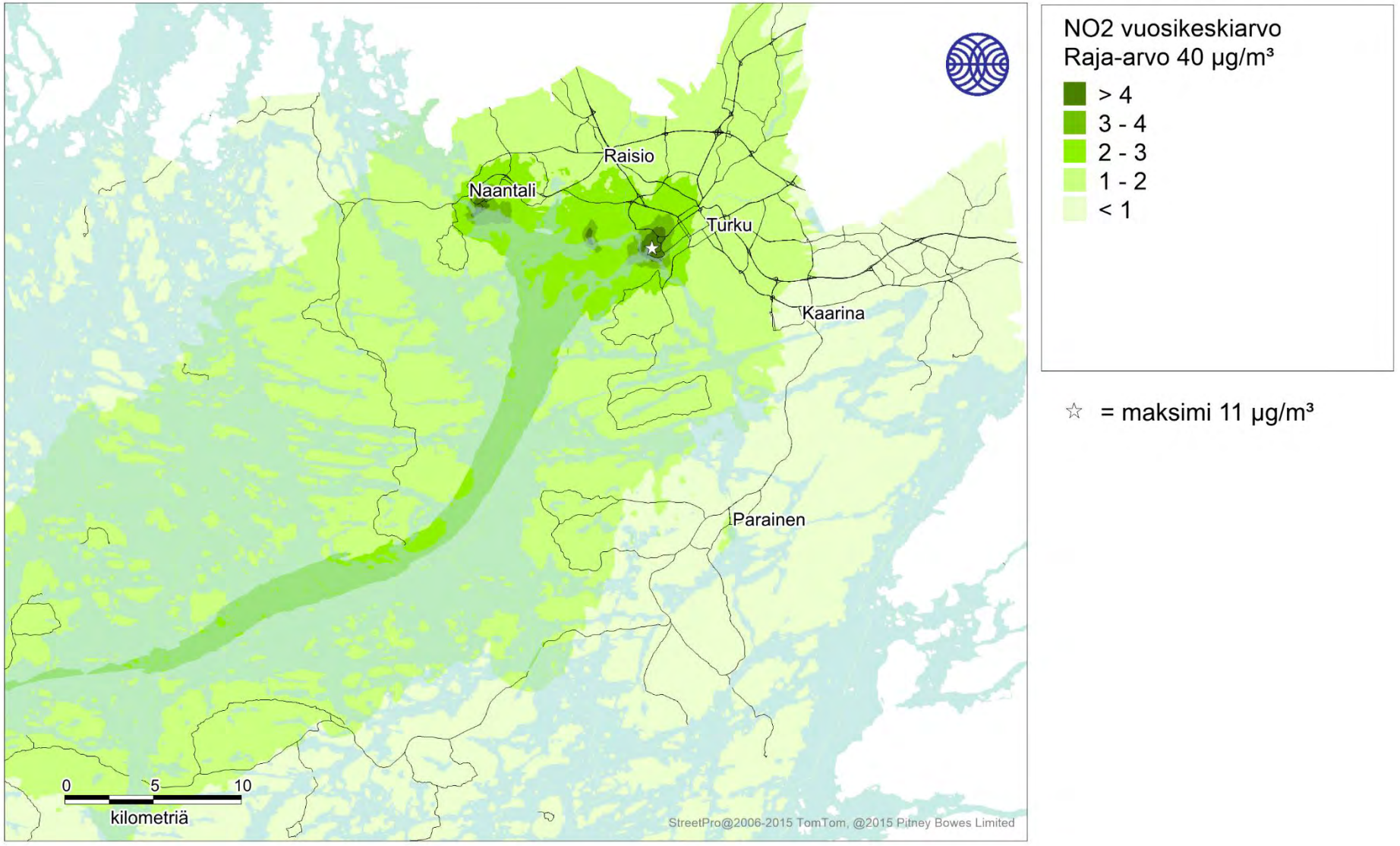
Kuva 10. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttama typpidioksidin korkein vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2016-2018.



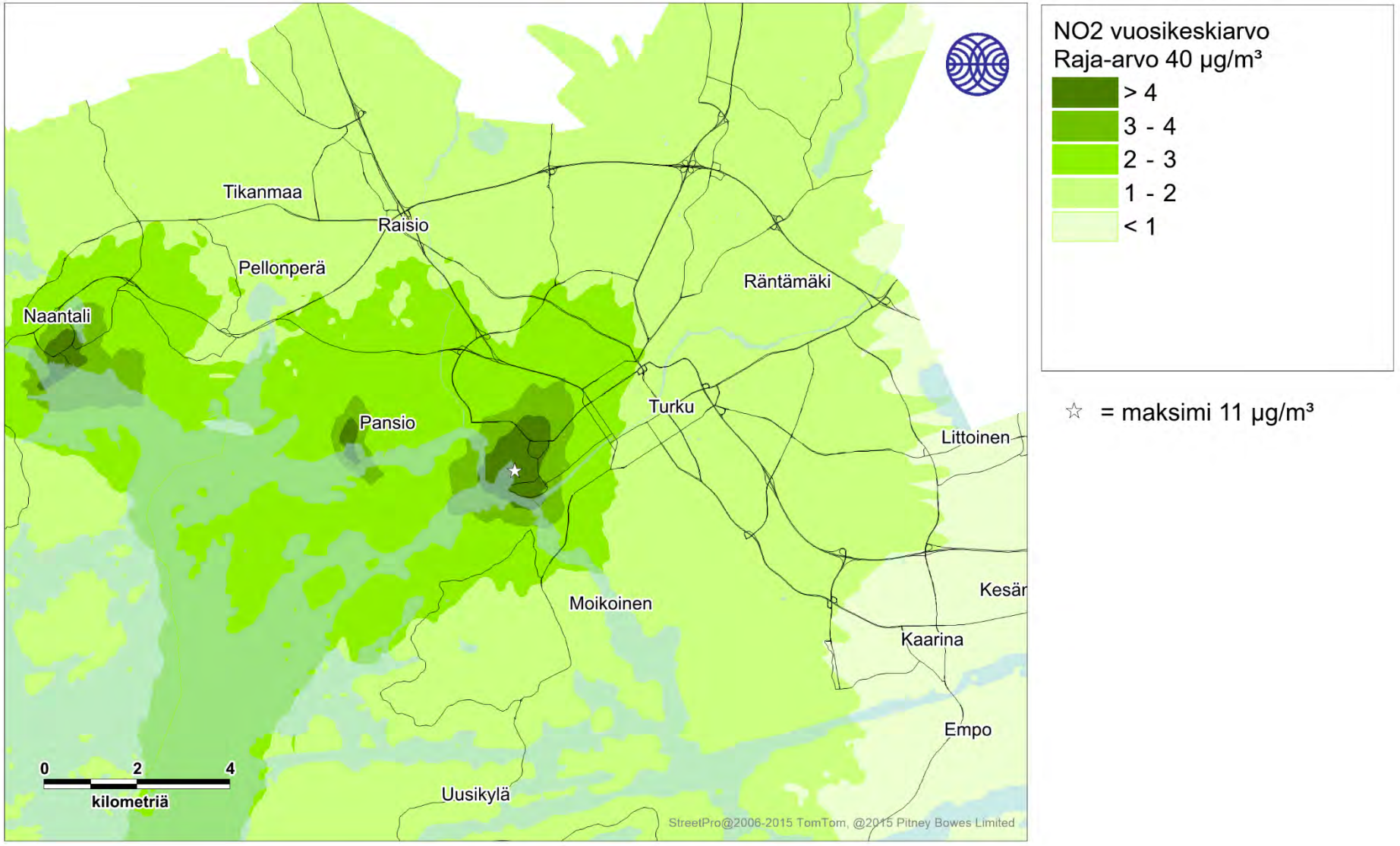
Kuva 11. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttama typpidioksidin korkein vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2016-2018.



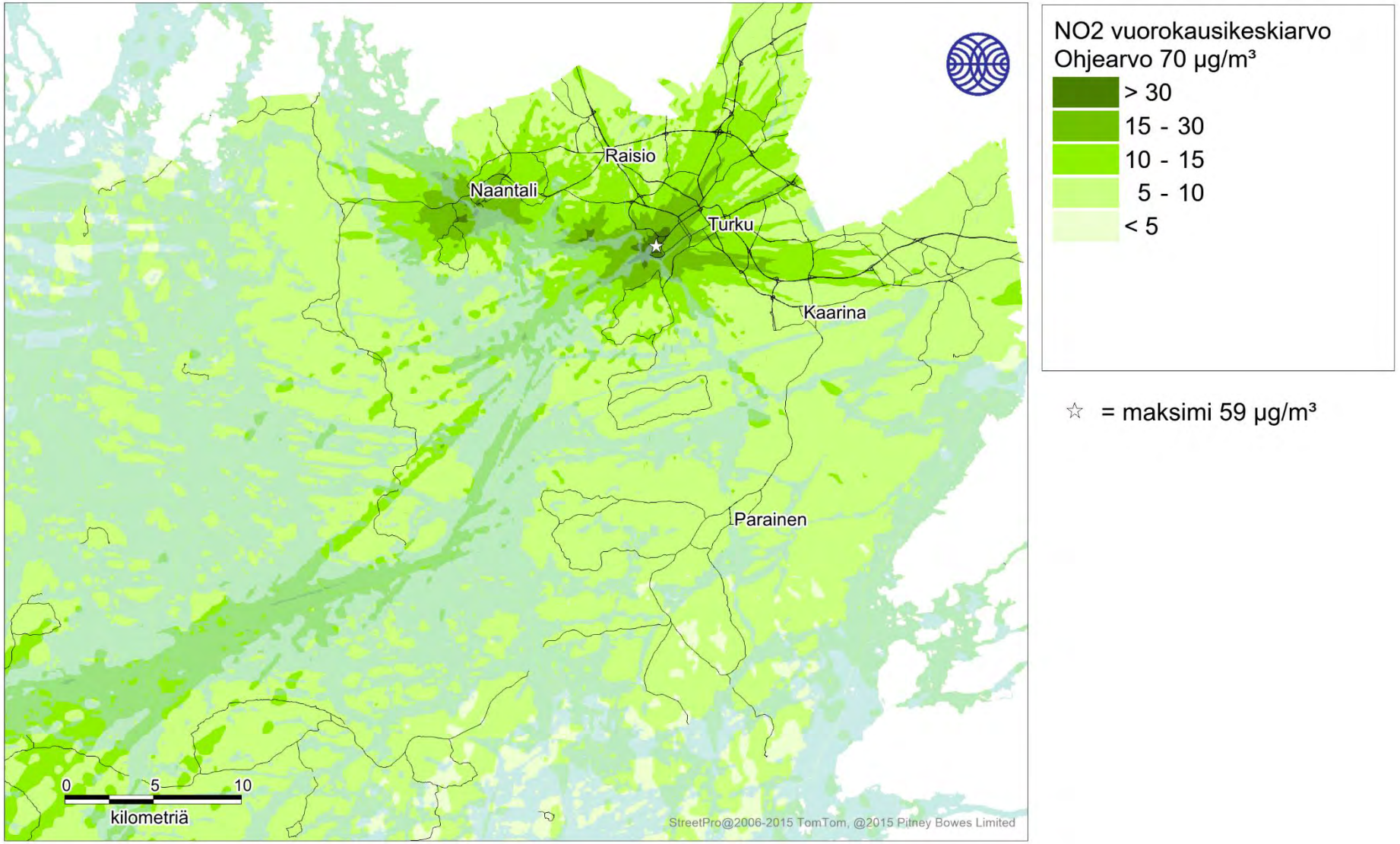
Kuva 12. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttama typpidioksidin korkein vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2016-2018.



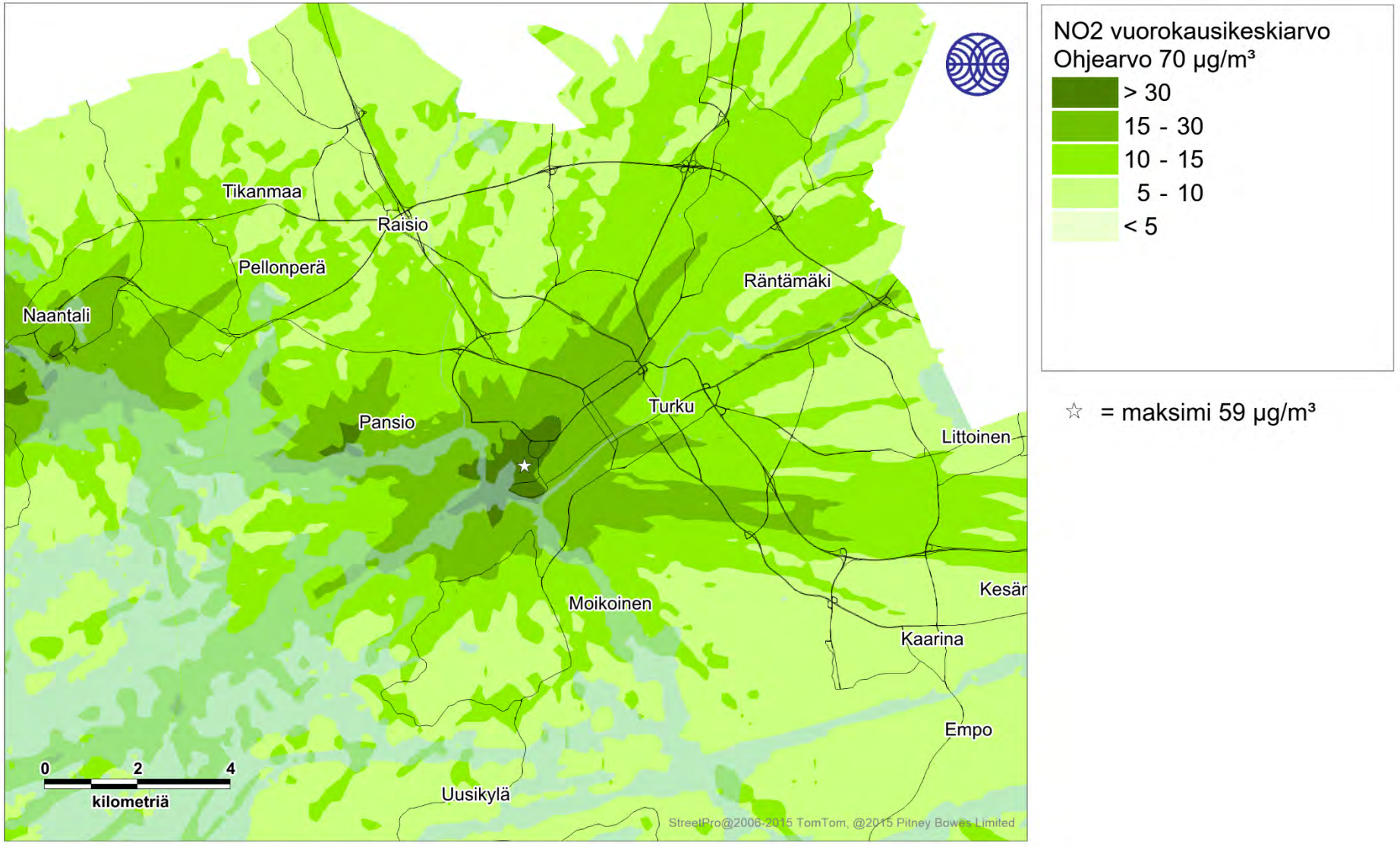
Kuva 13. Laivaliikenteen päästöjen aiheuttama typpidioksidin korkein vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2016-2018.



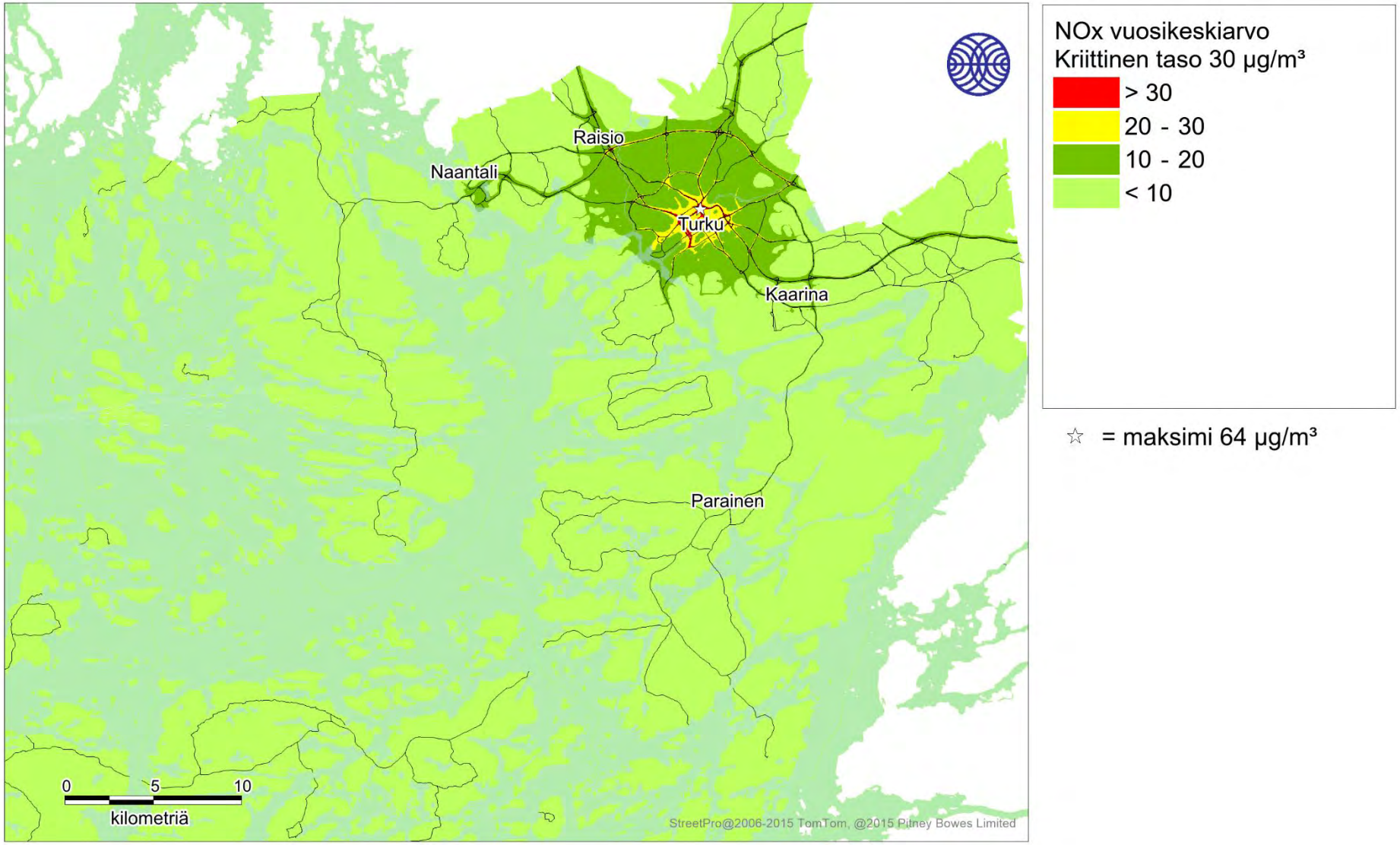
Kuva 14. Laivaliikenteen päästöjen aiheuttama typpidioksidin korkein vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2016-2018.



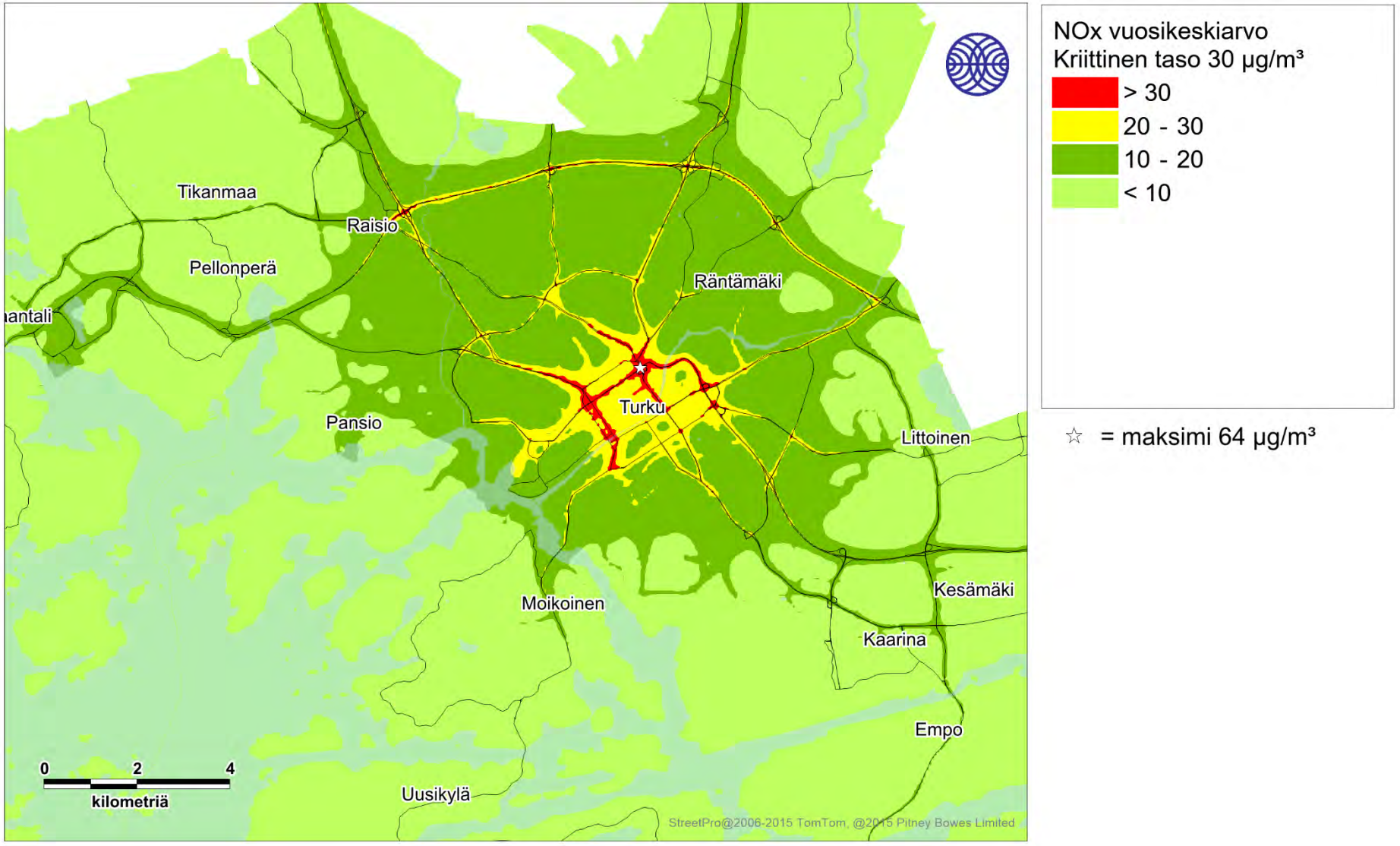
Kuva 15. Laivaliikenteen päästöjen aiheuttama typpidioksidin korkein vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2016-2018.



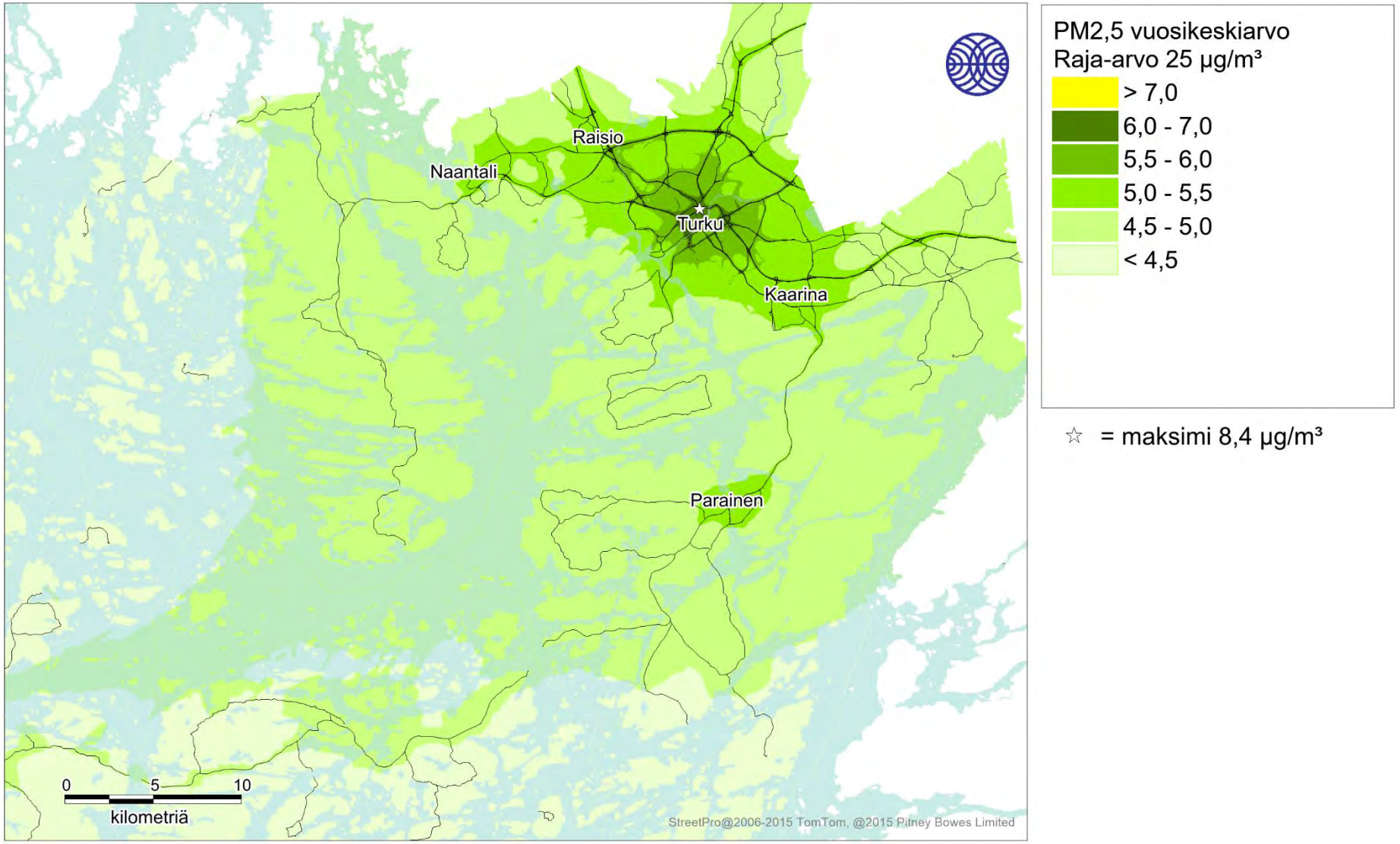
Kuva 16. Laivaliikenteen päästöjen aiheuttama typpidioksidin korkein vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2016-2018.



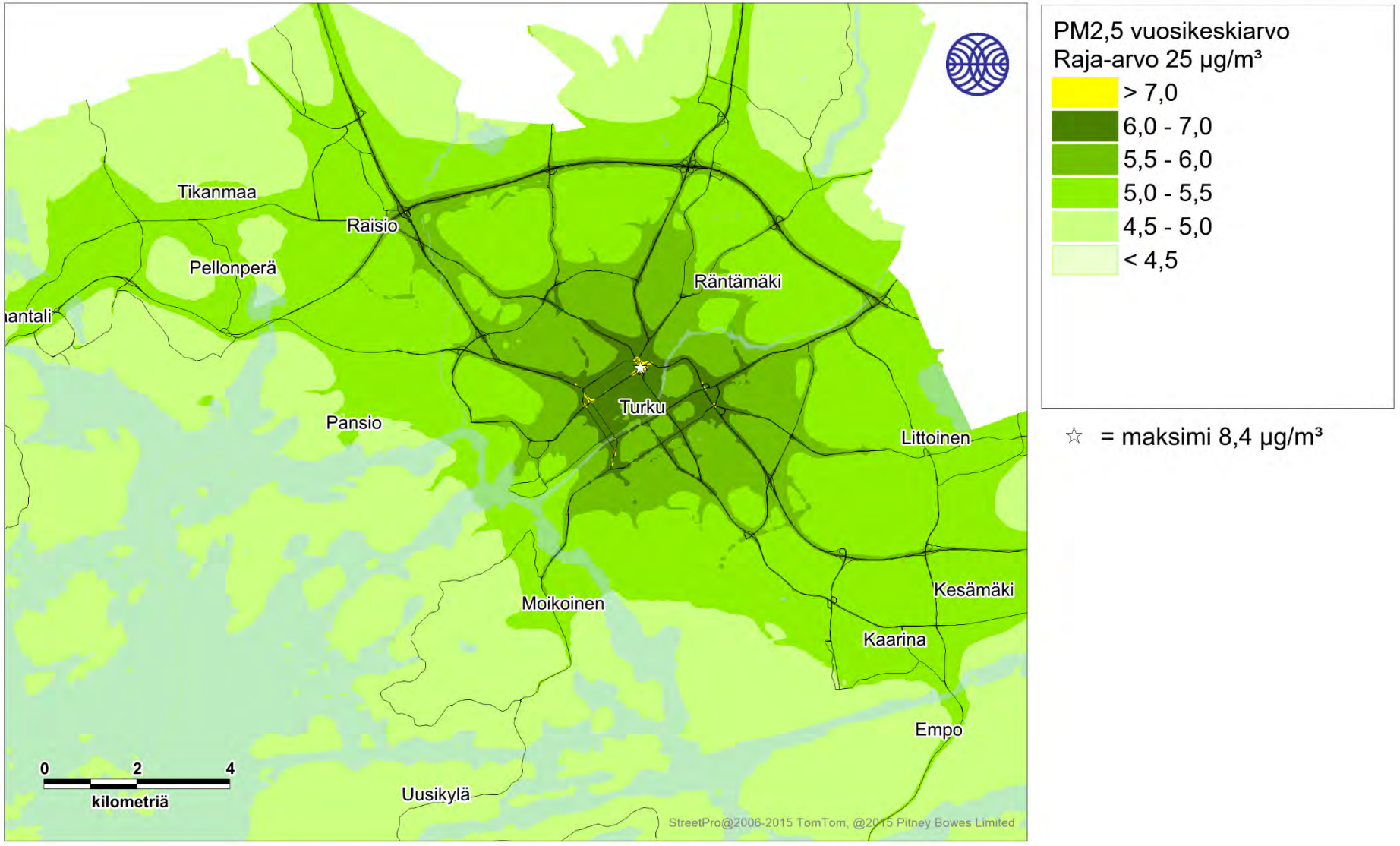
Kuva 17. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden yhdessä aiheuttama typenoksidien korkein vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2016-2018.



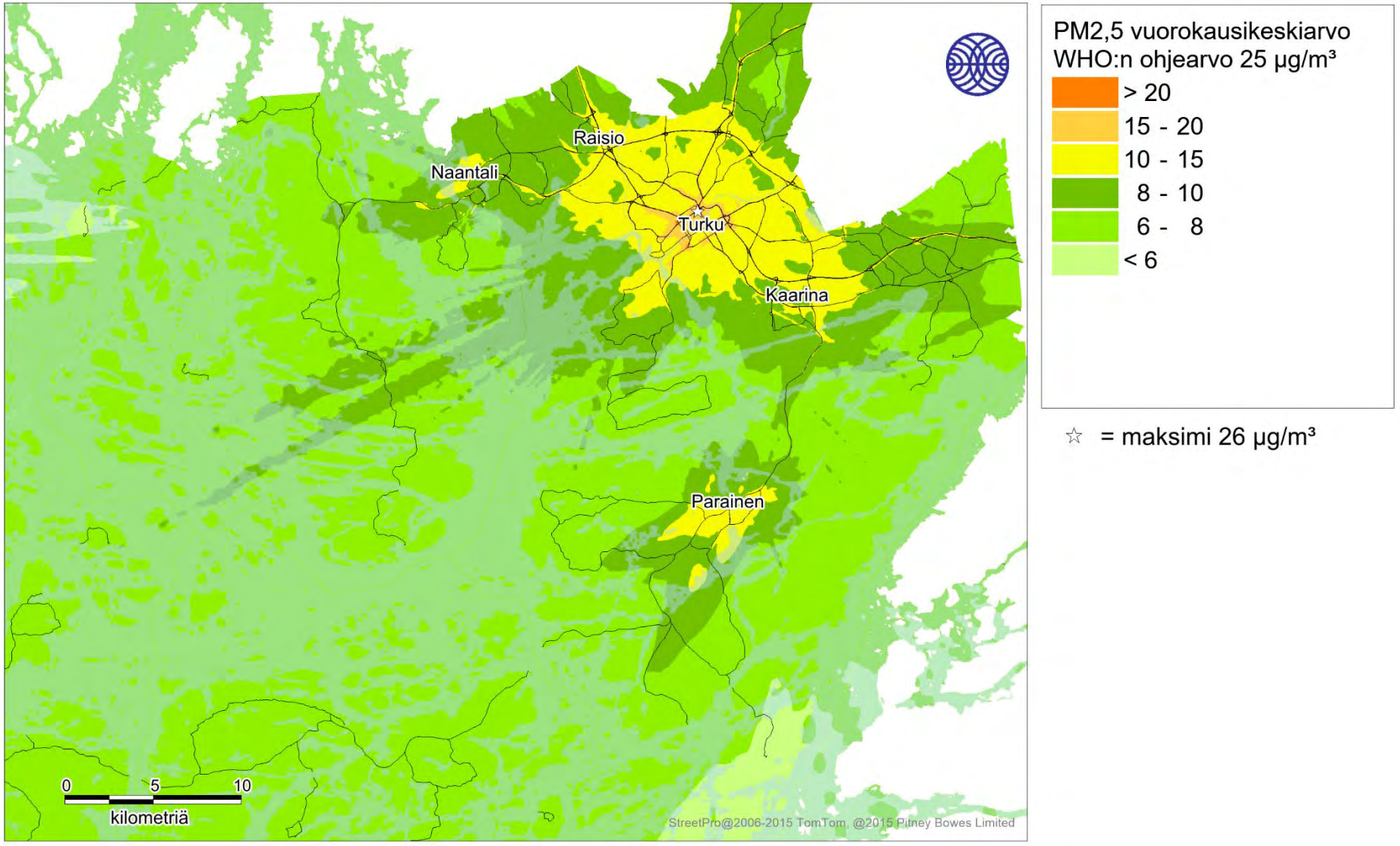
Kuva 18. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden yhdessä aiheuttama typenoksidien korkein vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2016-2018.



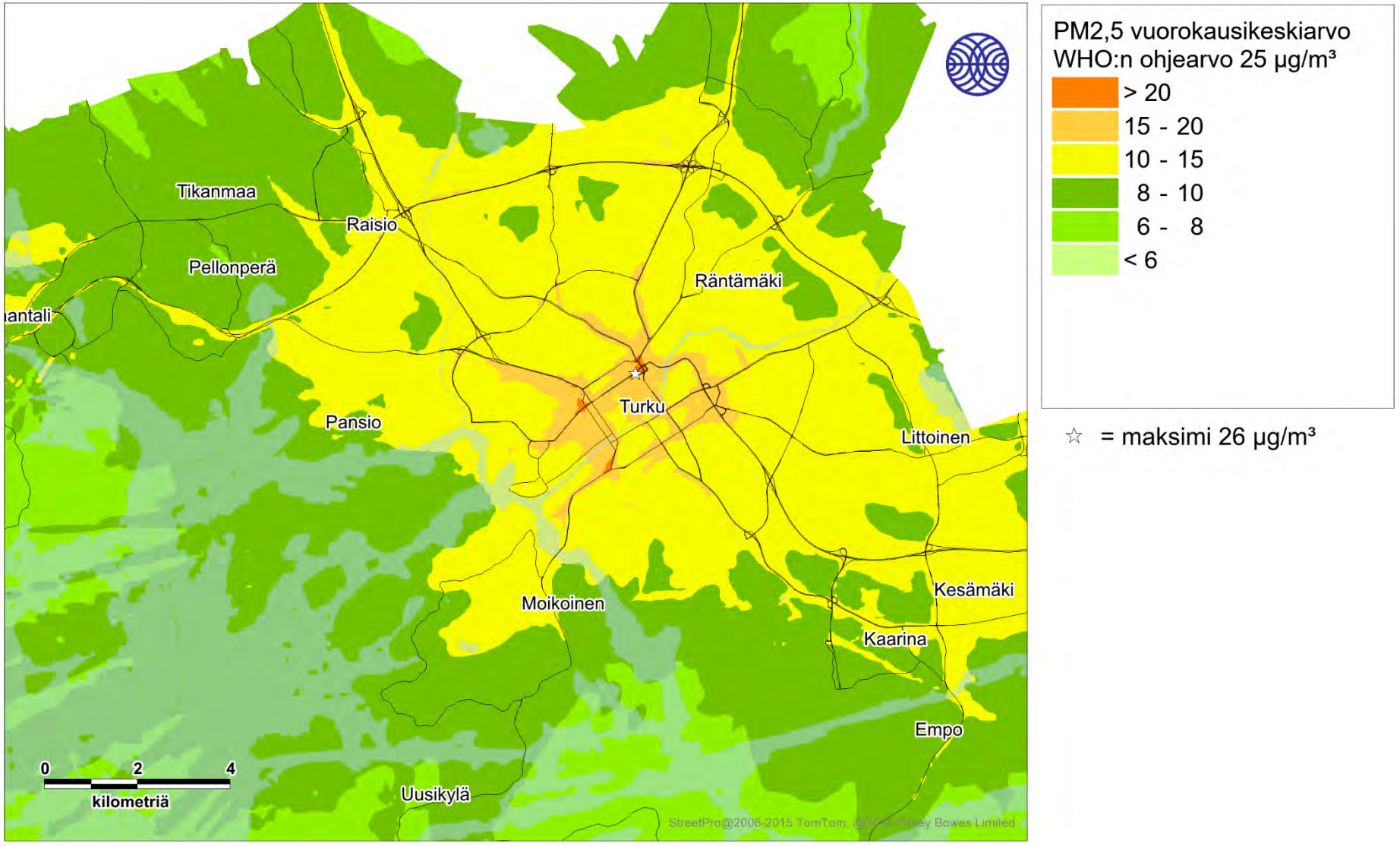
Kuva 19. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden yhdessä aiheuttama pienhiukkasten korkein vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2016-2018.



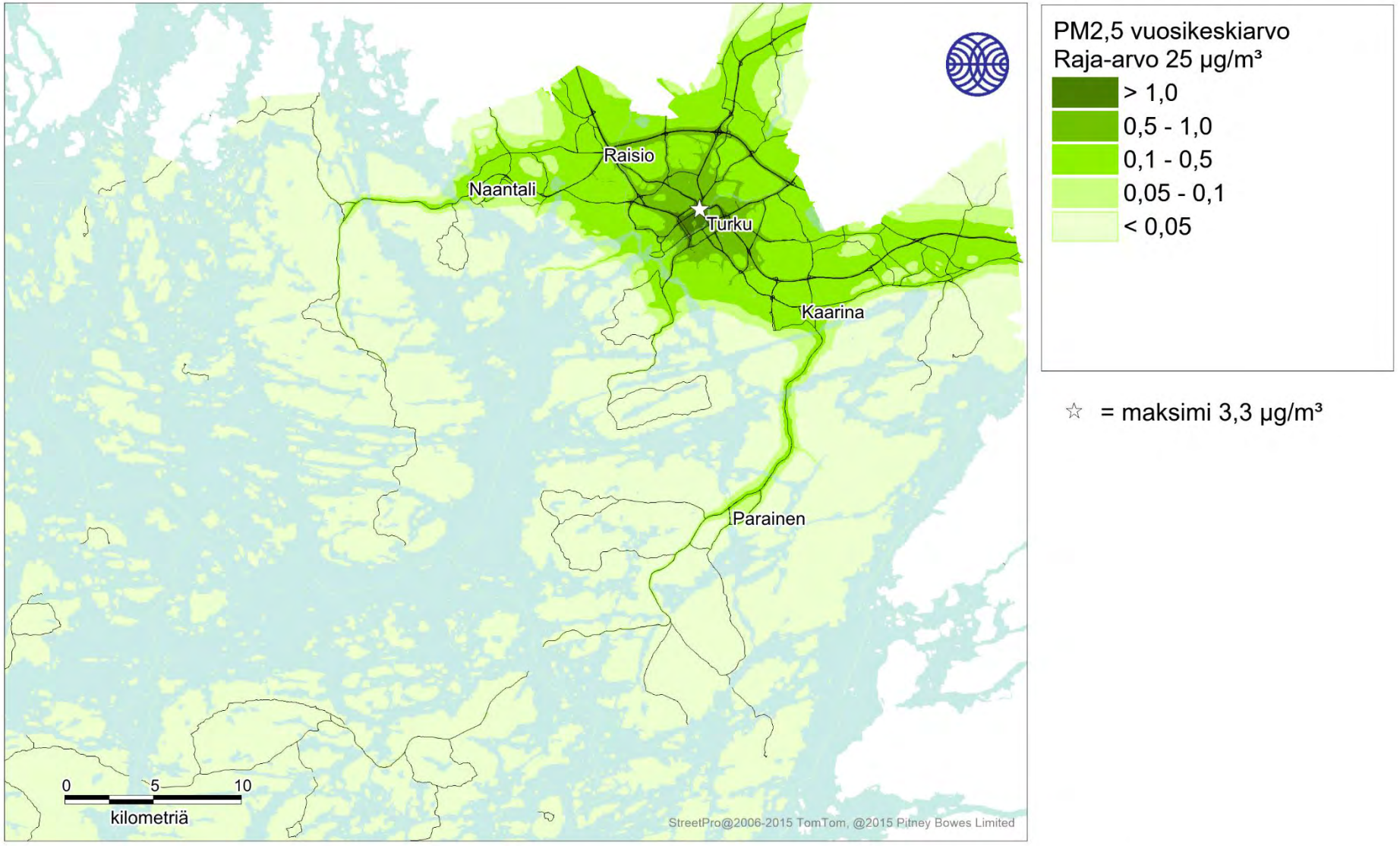
Kuva 20. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden yhdessä aiheuttama pienhiukkasten korkein vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2016-2018.



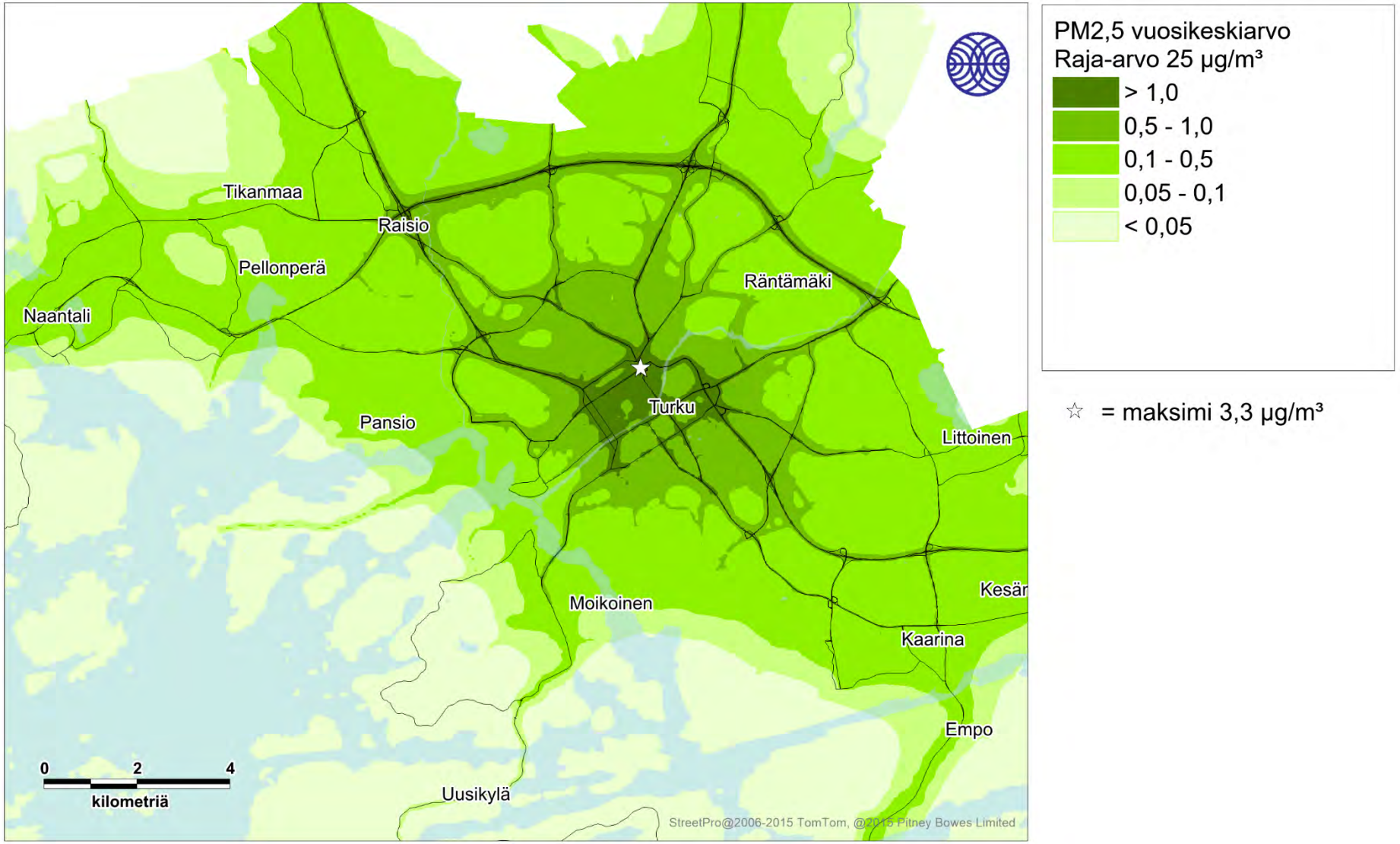
Kuva 21. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden aiheuttama pienhiukkasten korkein WHO:n vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2016-2018.



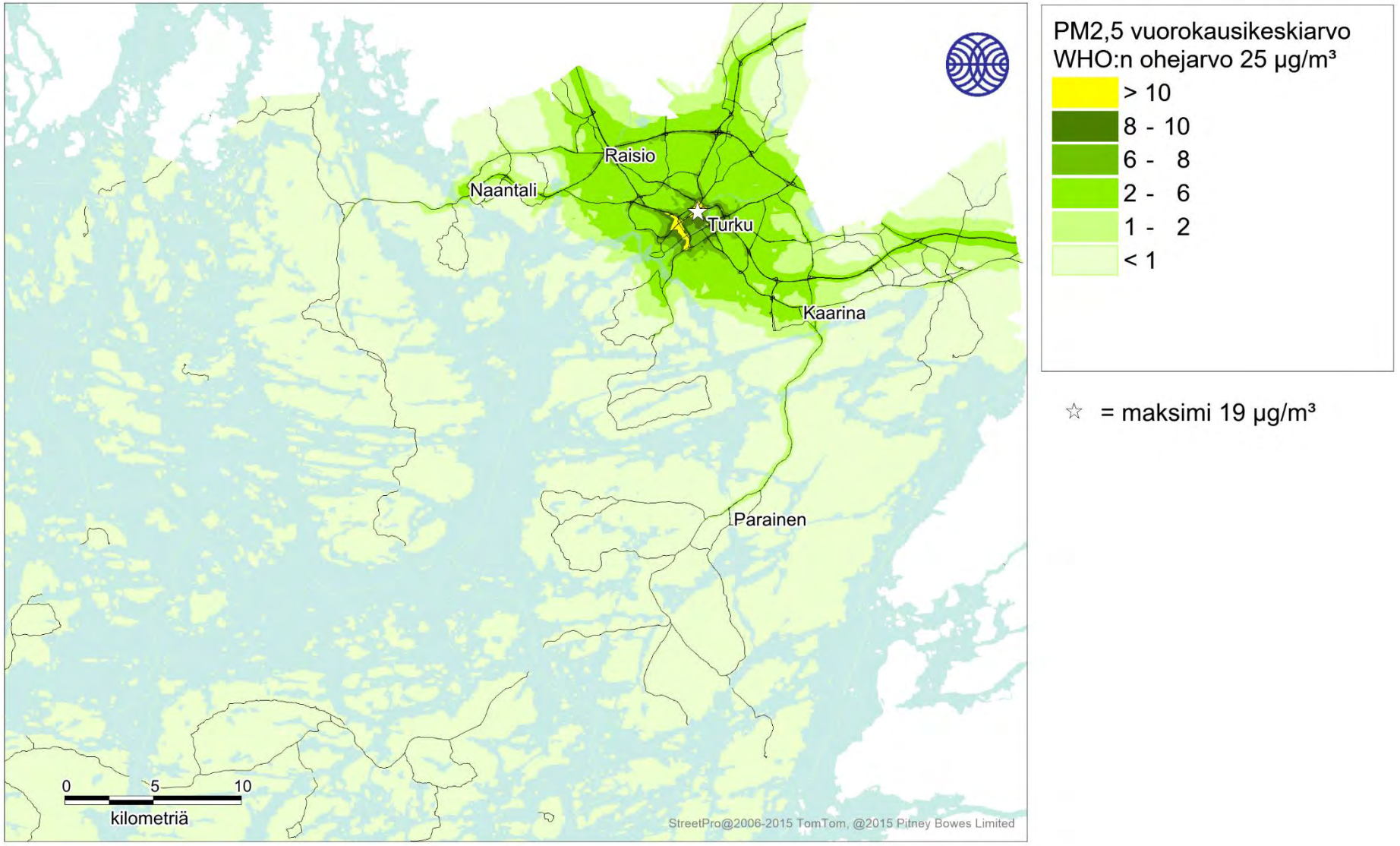
Kuva 22. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden aiheuttama pienhiukkasten korkein WHO:n vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2016-2018.



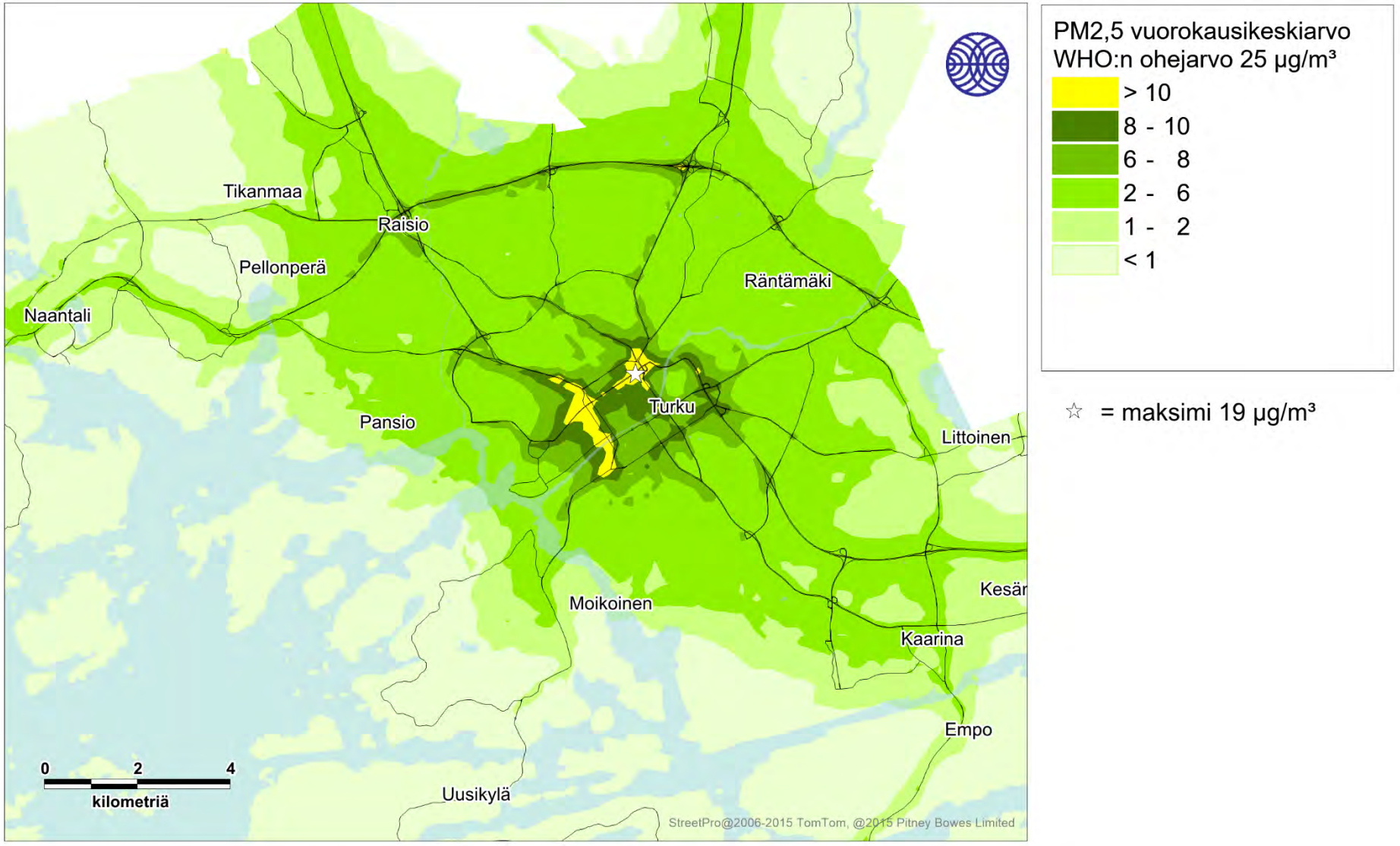
Kuva 23. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama pienhiukkasten korkein vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2016-2018.



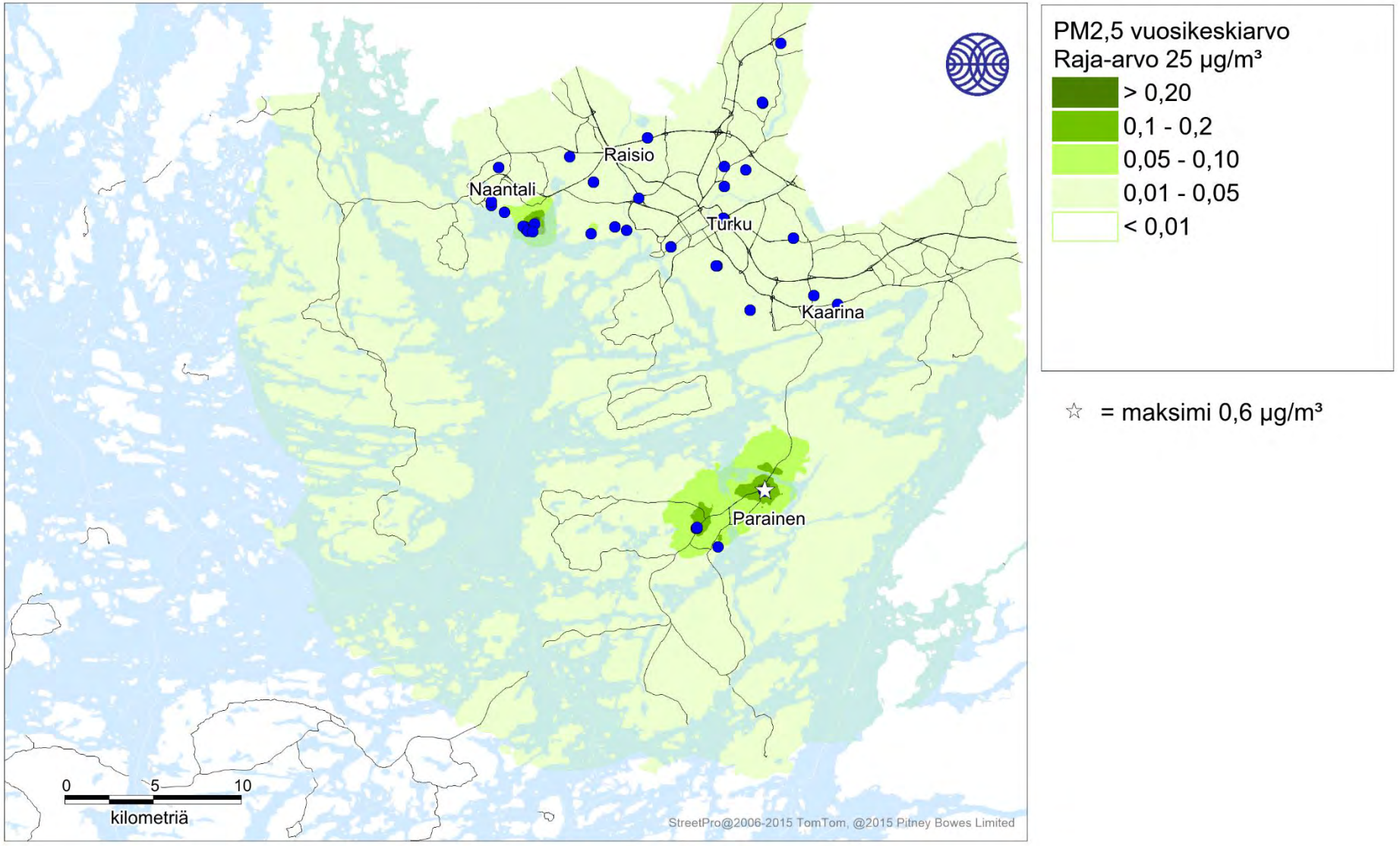
Kuva 24. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama pienhiukkasten korkein vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2016-2018.



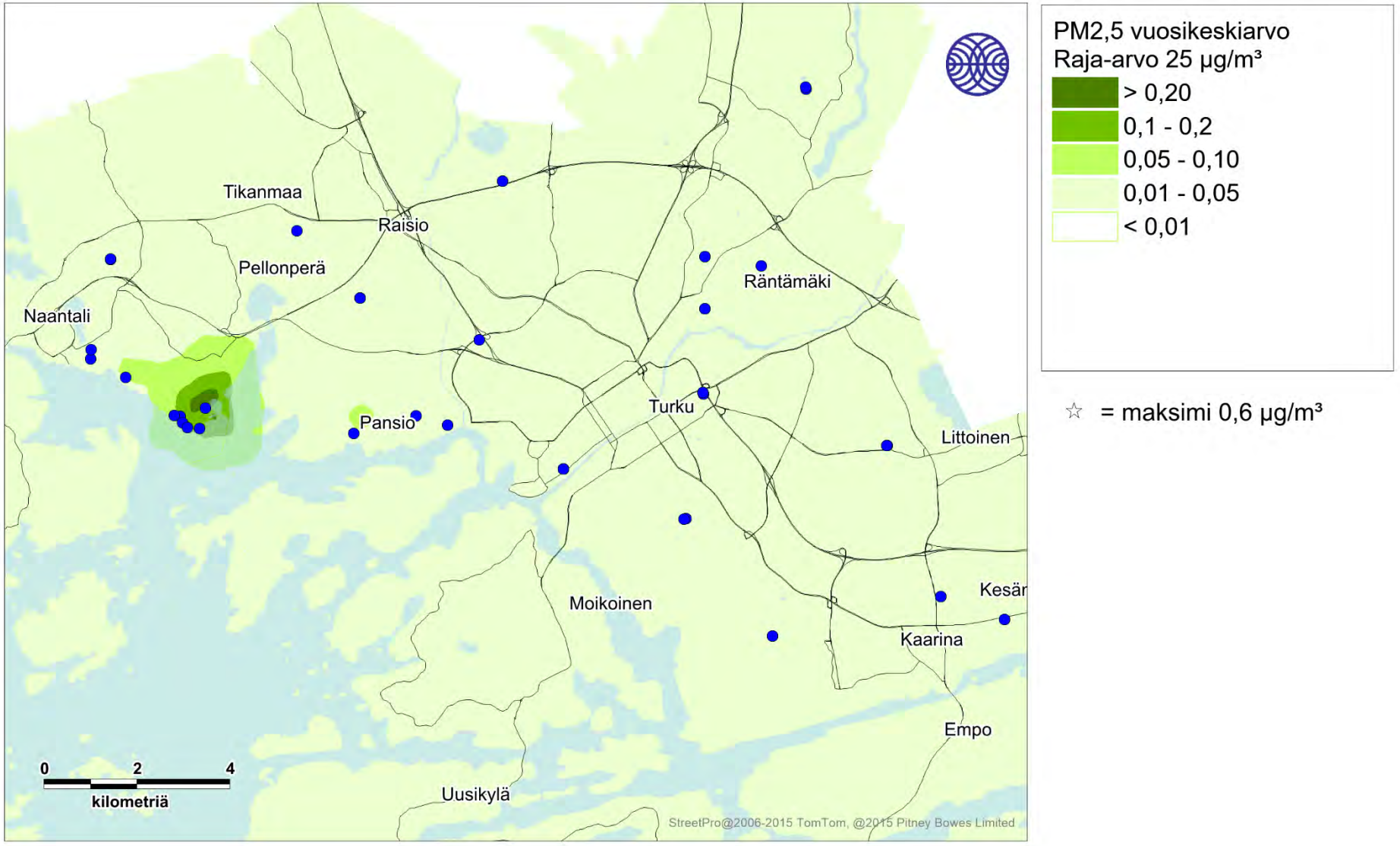
Kuva 25. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama pienhiukkasten korkein WHO:n vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2016-2018.



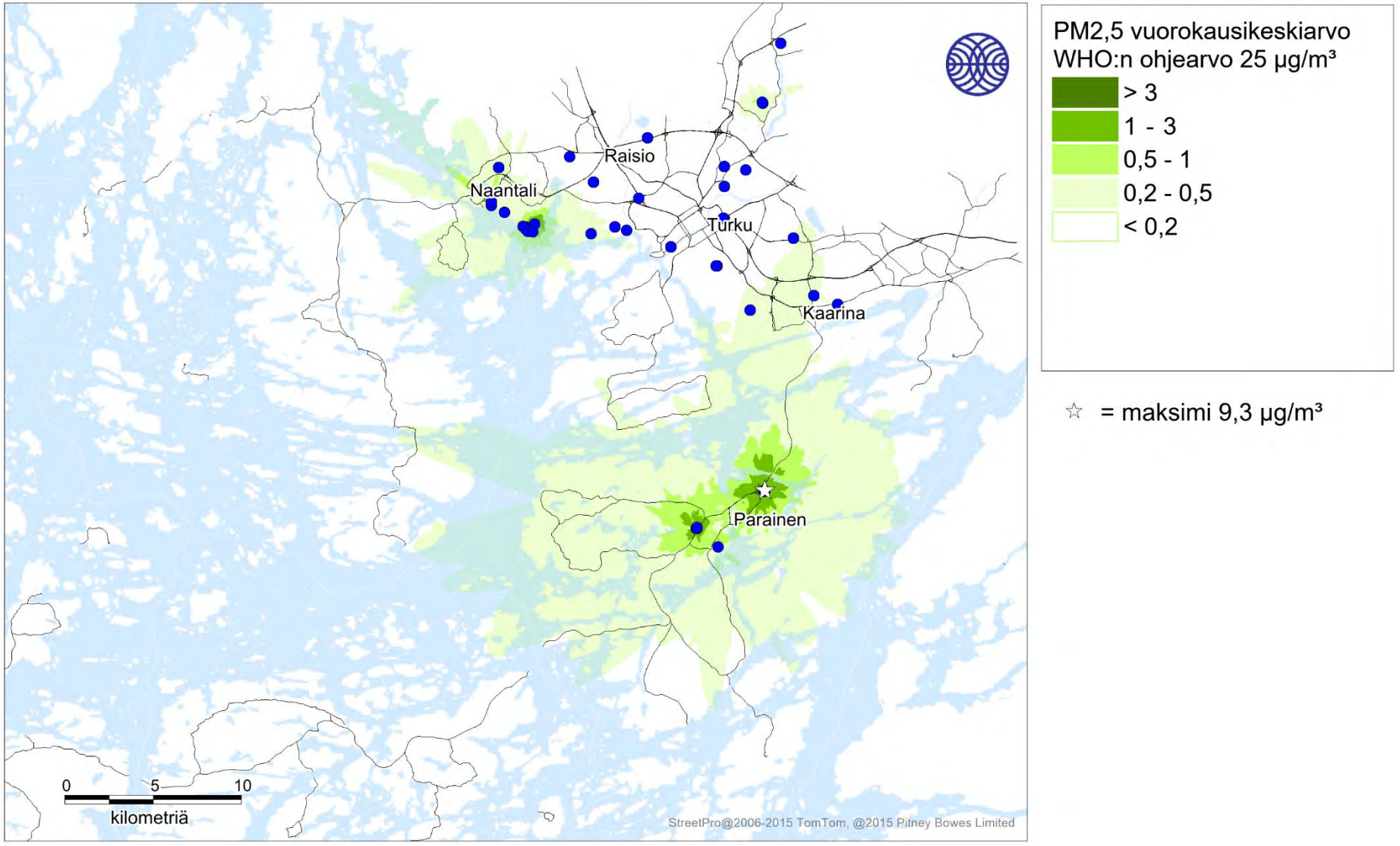
Kuva 26. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama pienhiukkasten korkein WHO:n vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2016-2018.



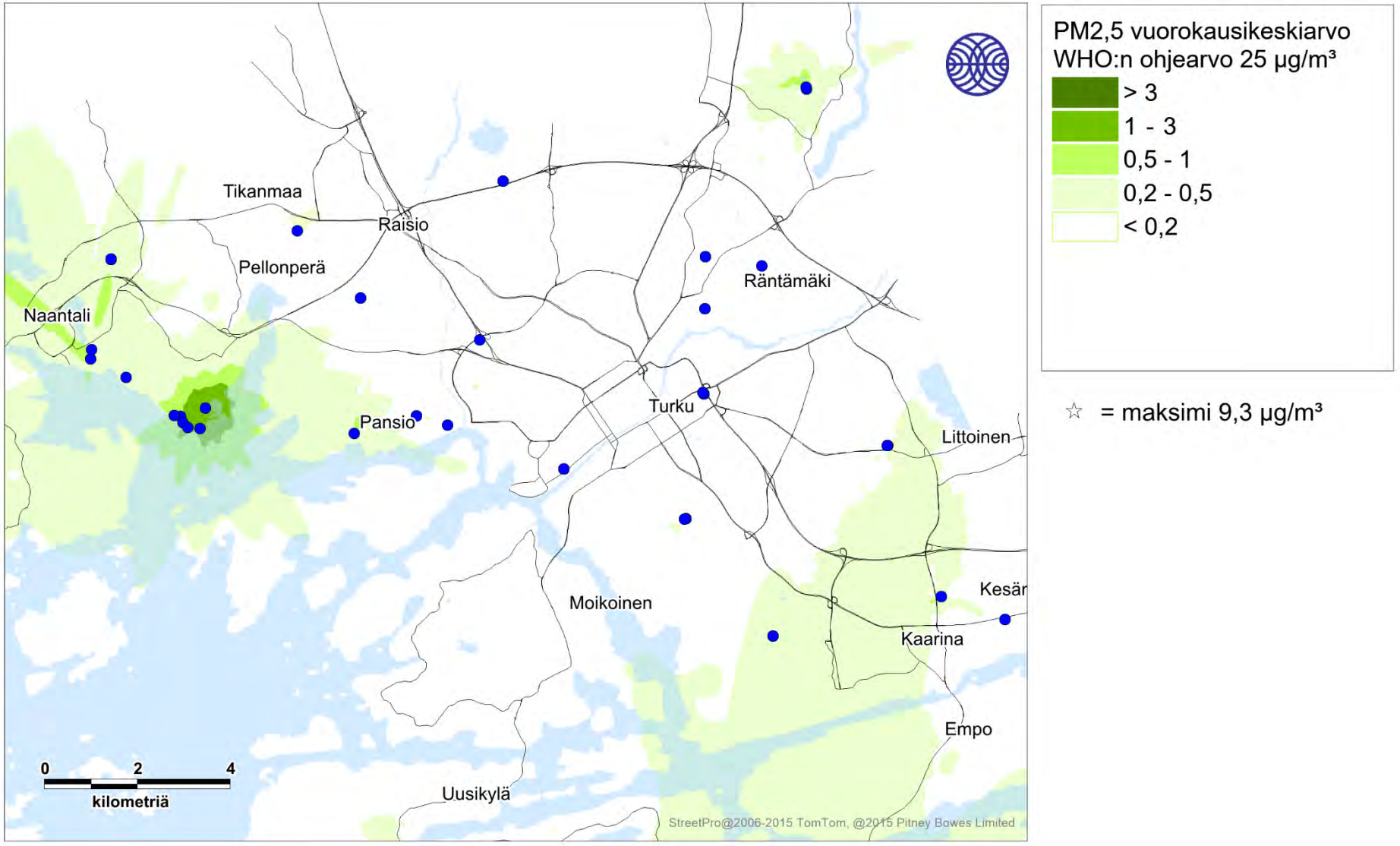
Kuva 27. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttama pienhiukkasten korkein vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2016-2018.



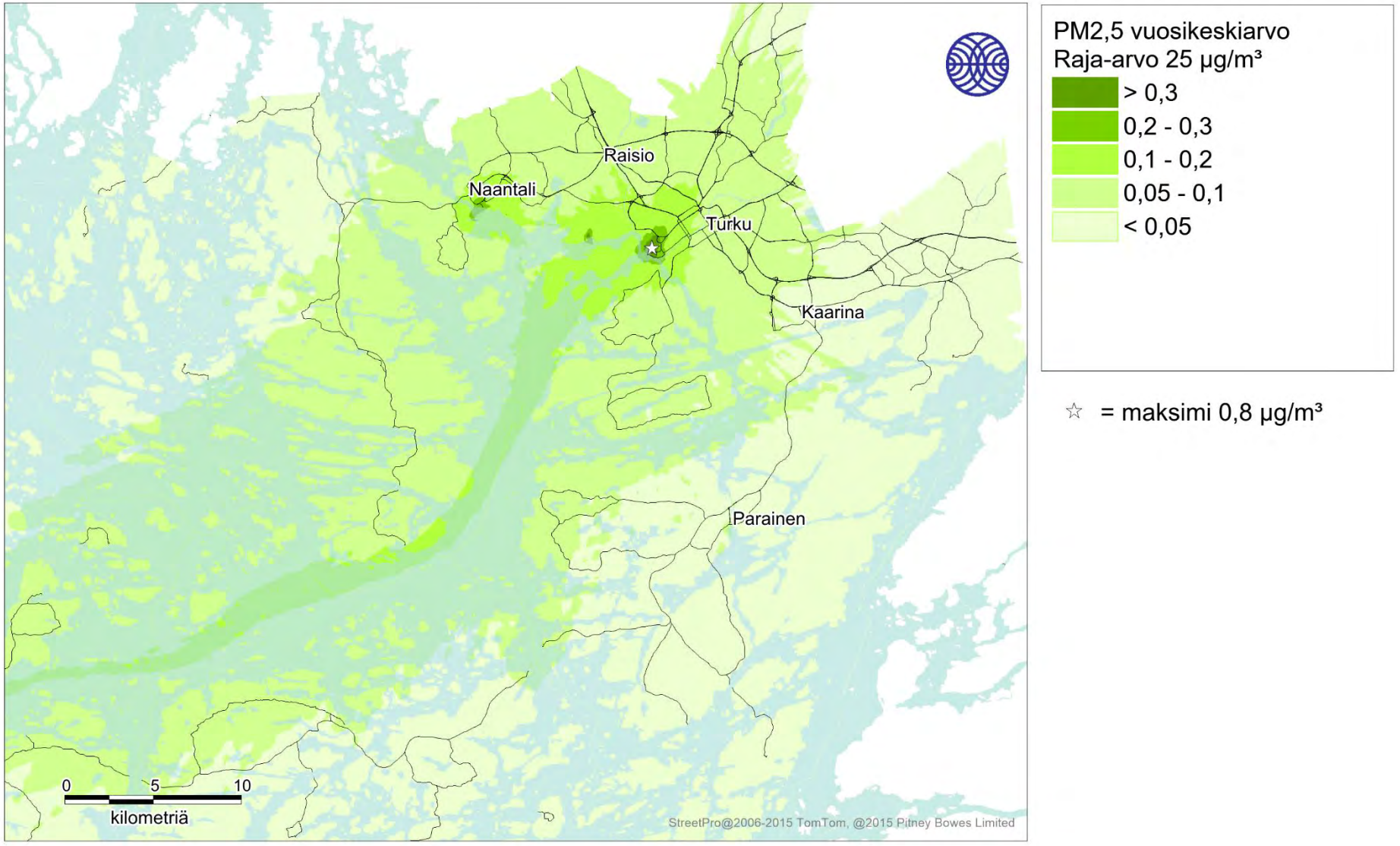
Kuva 28. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttama pienhiukkasten korkein vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2016-2018.



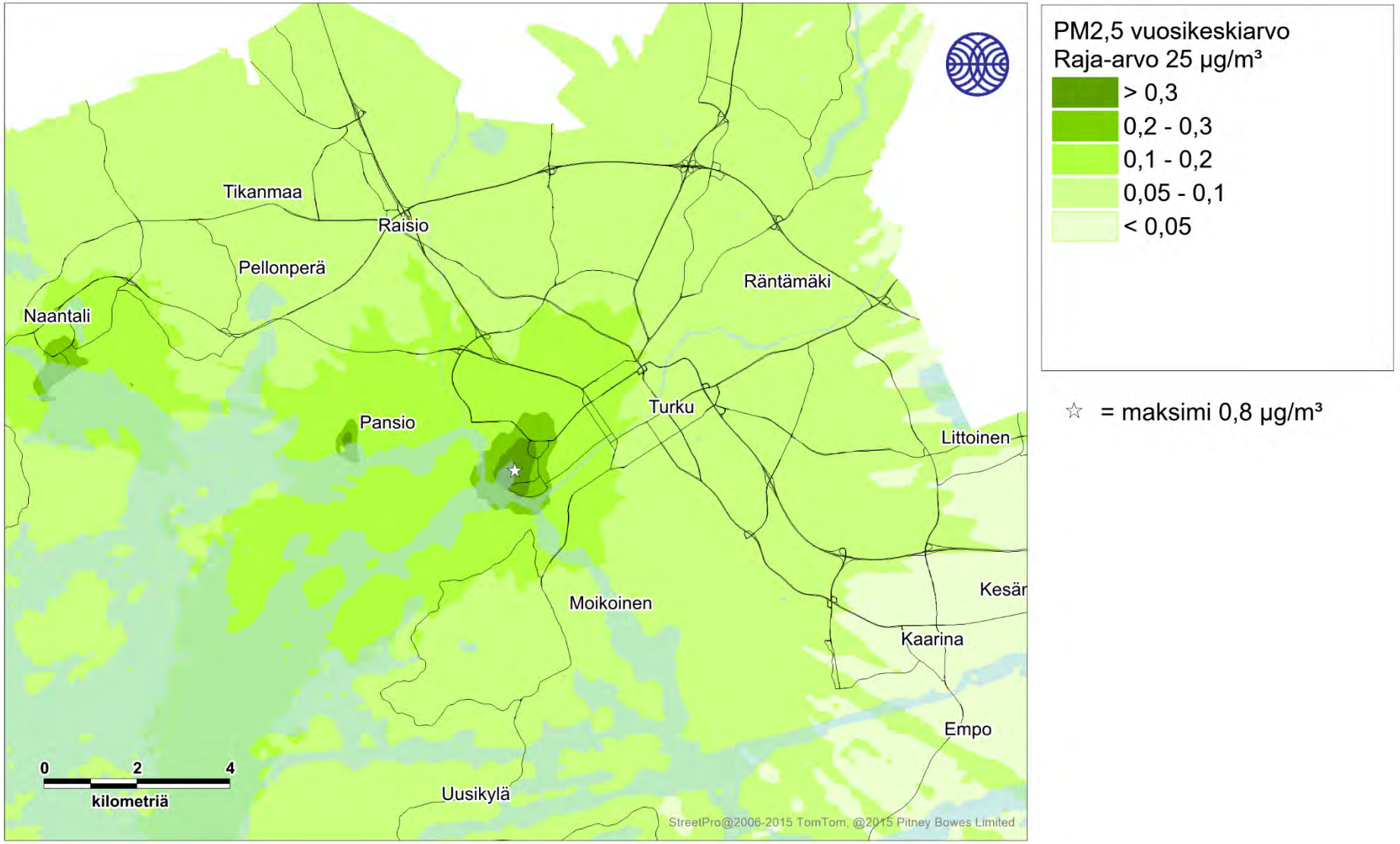
Kuva 29. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttama pienhiukkasten korkein WHO:n vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2016-2018.



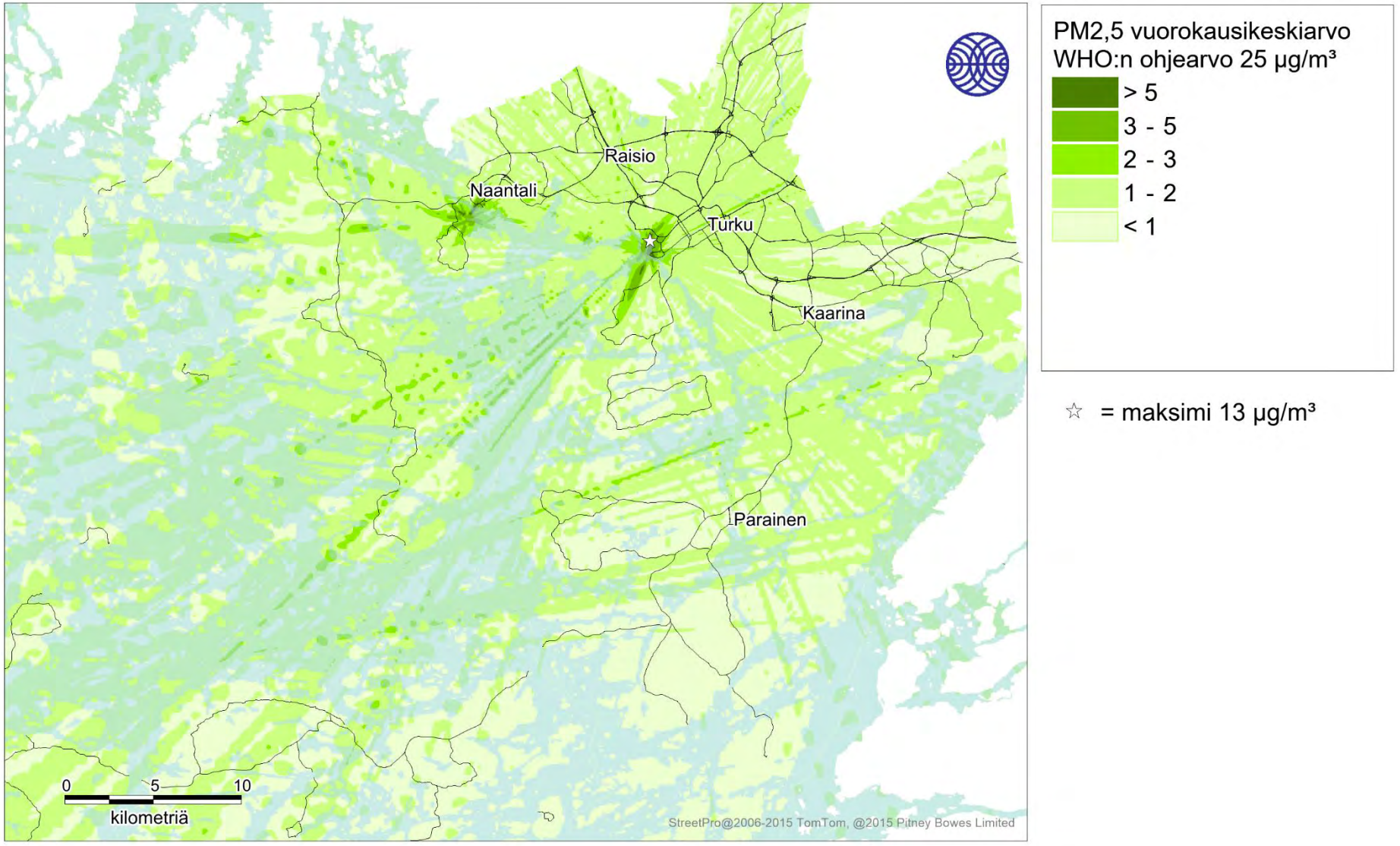
Kuva 30. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttama pienhiukkasten korkein WHO:n vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2016-2018.



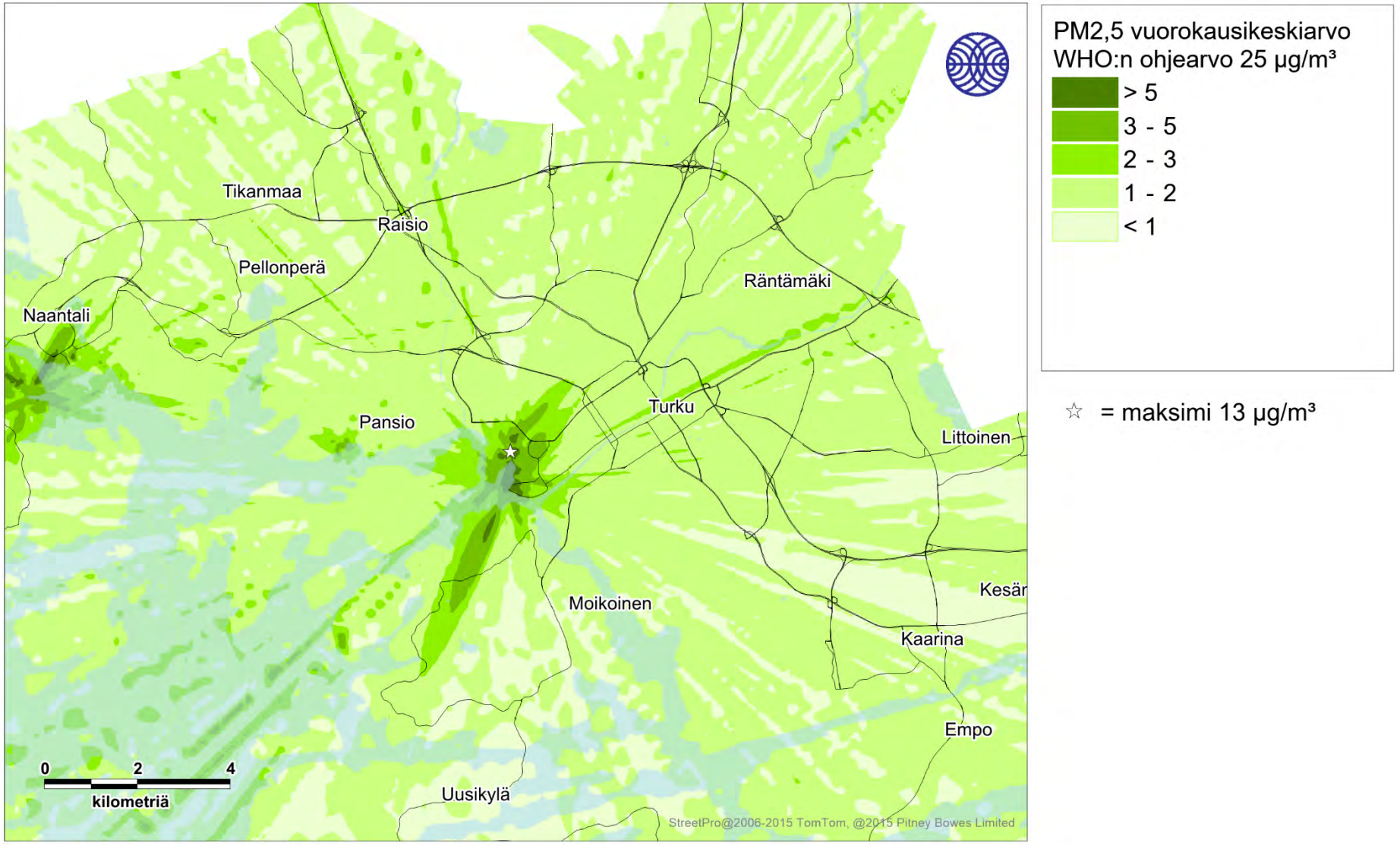
Kuva 31. Laivaliikenteen päästöjen aiheuttama pienhiukkasten korkein vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2016-2018.



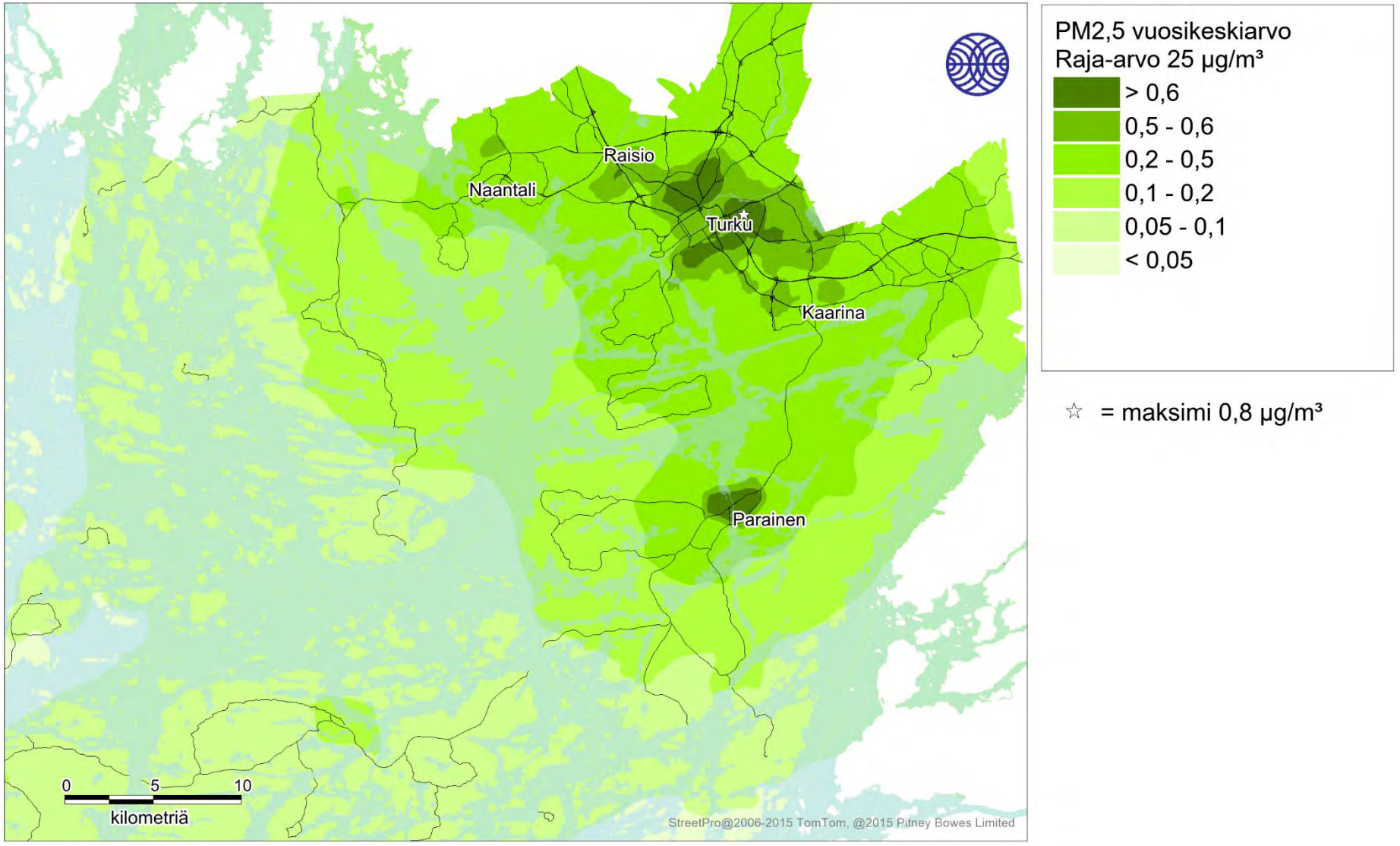
Kuva 32. Laivaliikenten päästöjen aiheuttama pienhiukkasten korkein vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2016-2018.



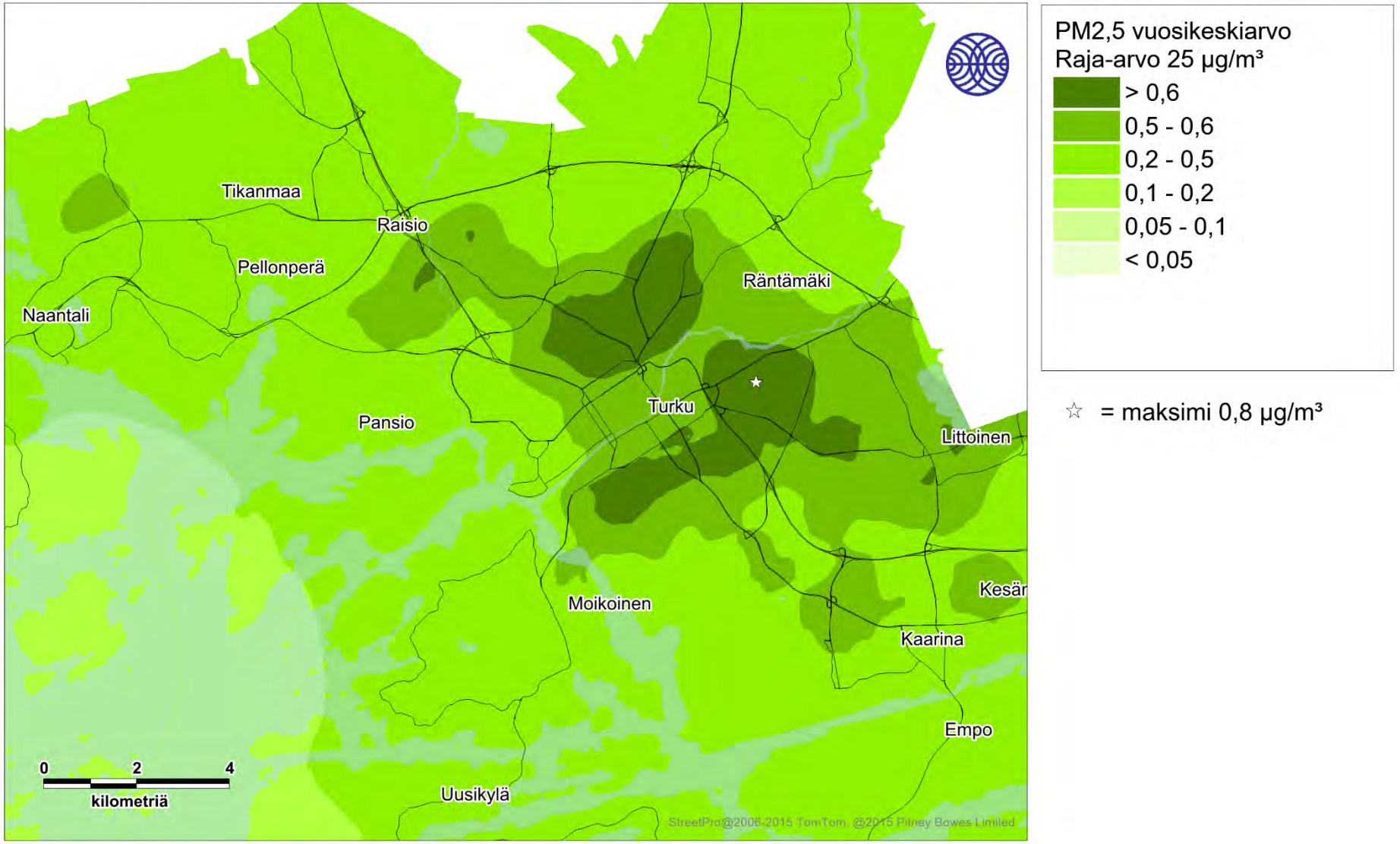
Kuva 33. Laivaliikenteen päästöjen aiheuttama pienhiukkasten korkein WHO:n vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2016-2018.



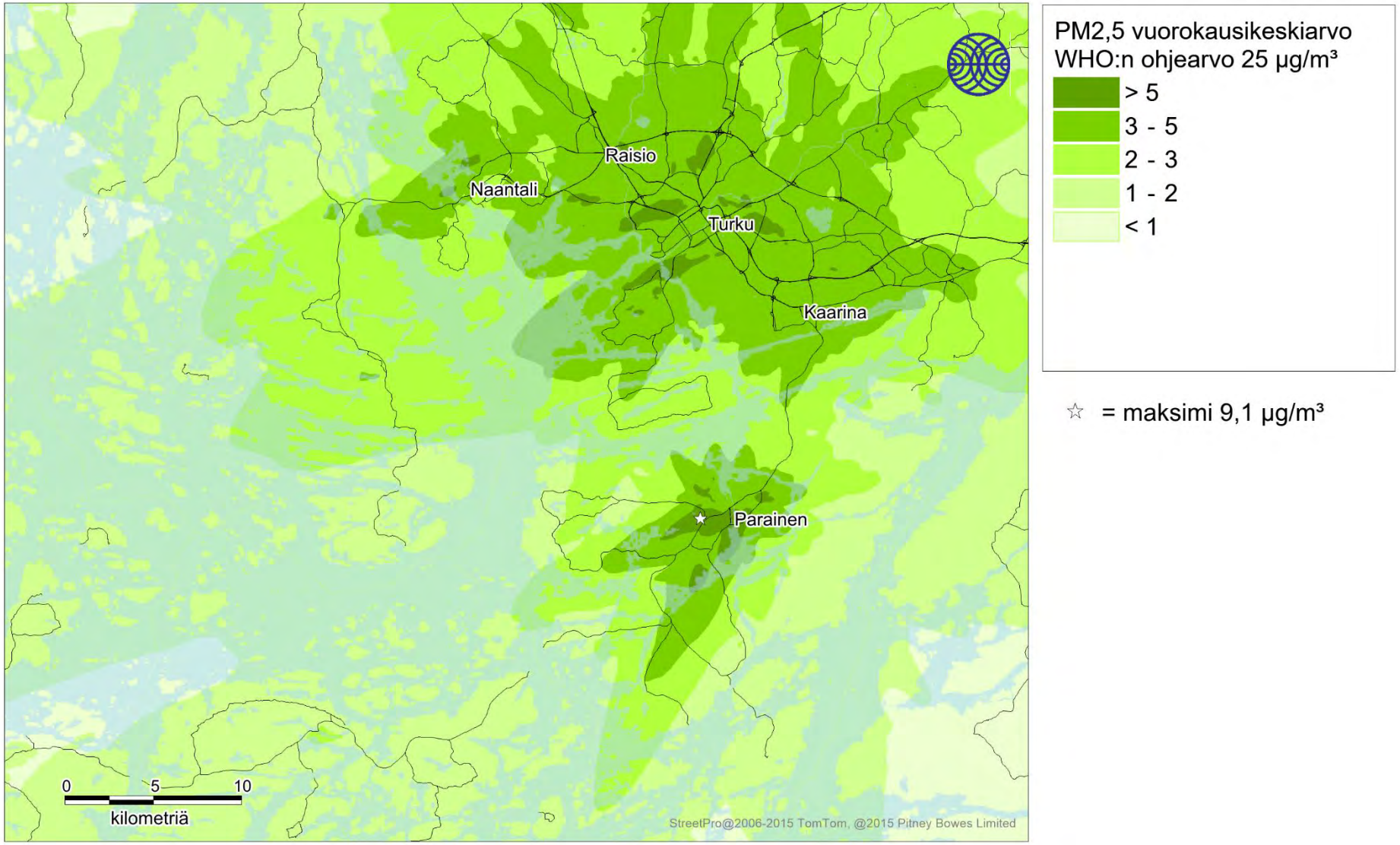
Kuva 34. Laivaliikenteen päästöjen aiheuttama pienhiukkasten korkein WHO:n vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2016-2018.



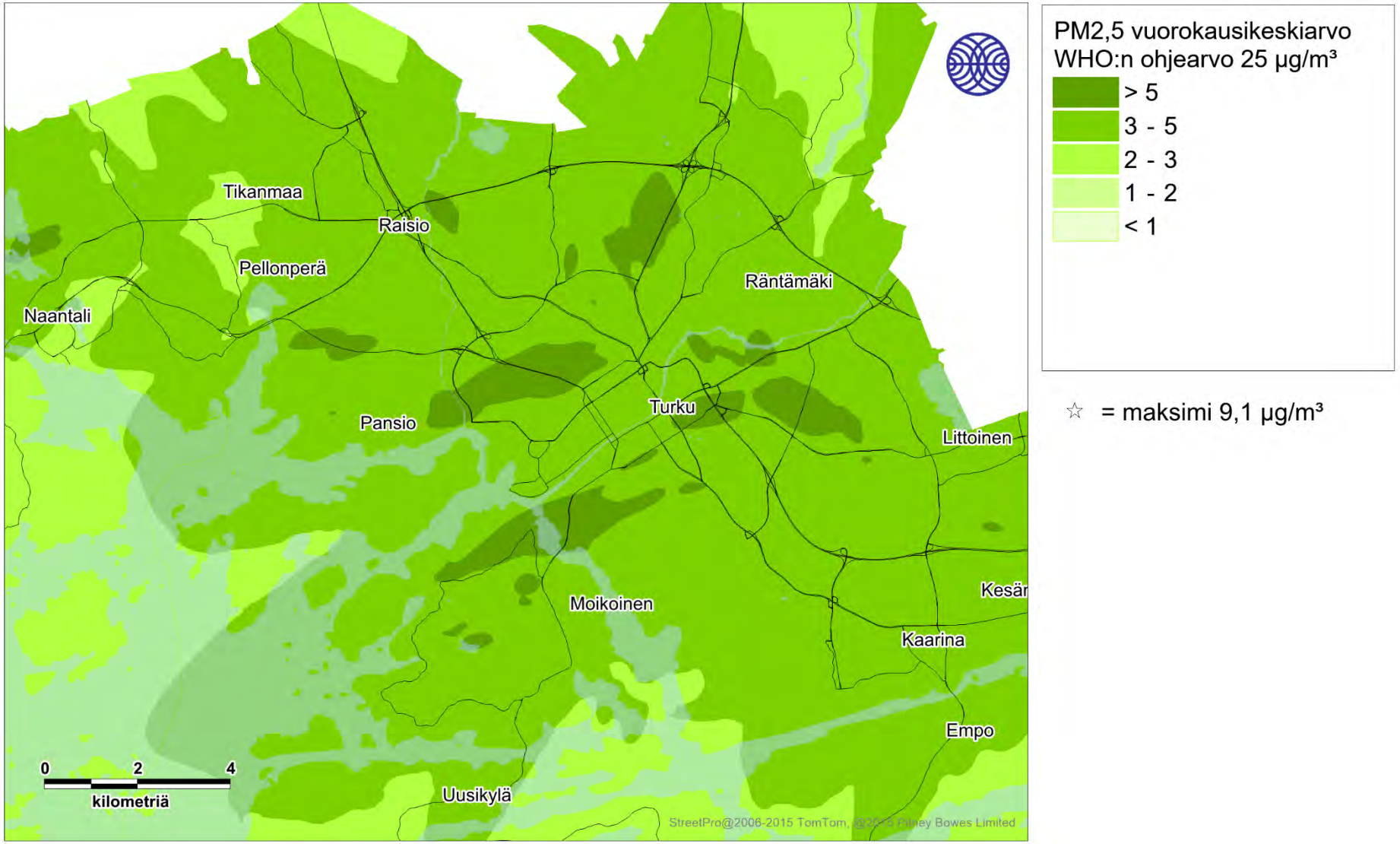
Kuva 35. Puunpolton päästöjen aiheuttama pienhiukkasten korkein vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2016-2018.



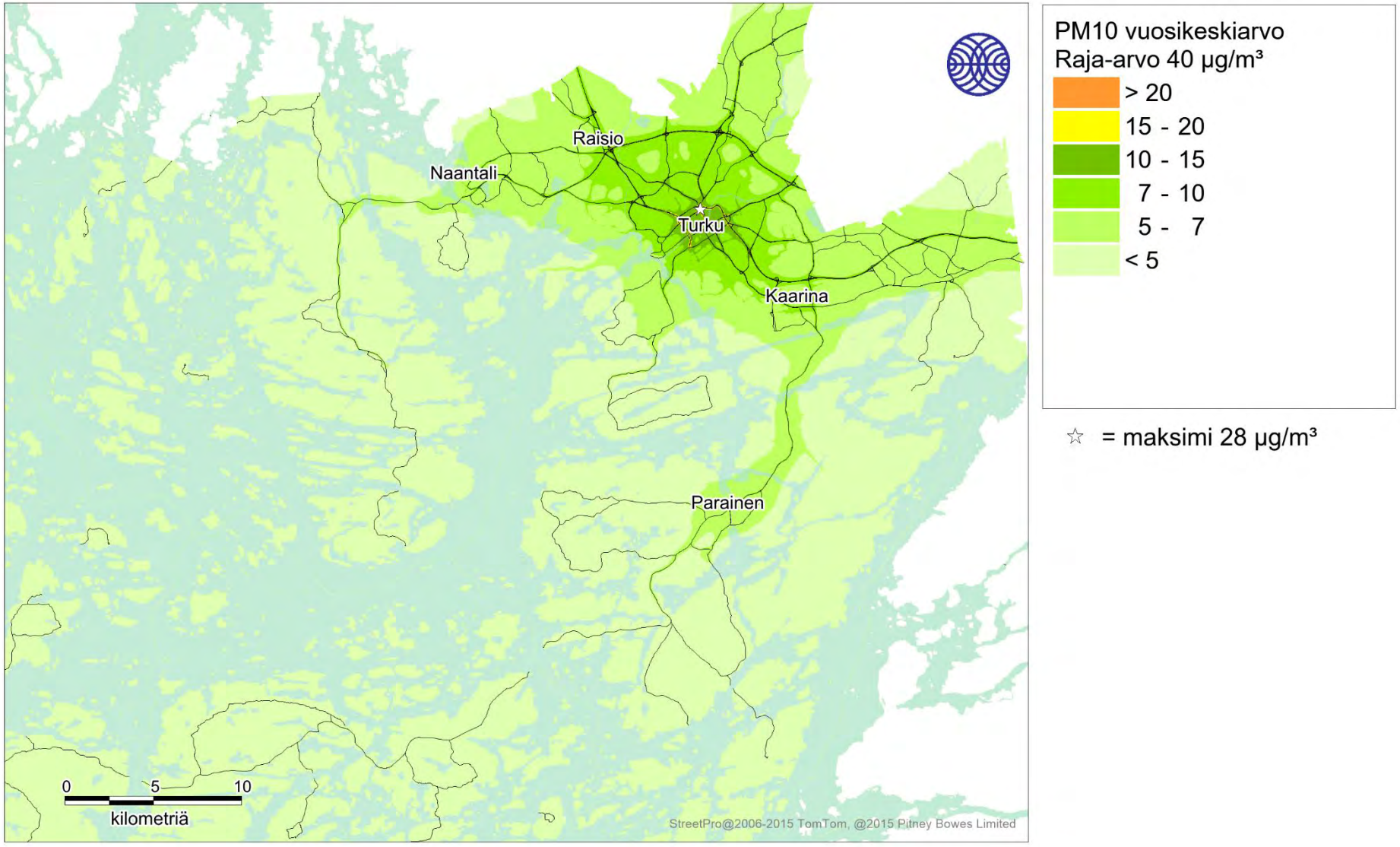
Kuva 36. Puunpolton päästöjen aiheuttama pienhiukkasten korkein vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2016-2018.



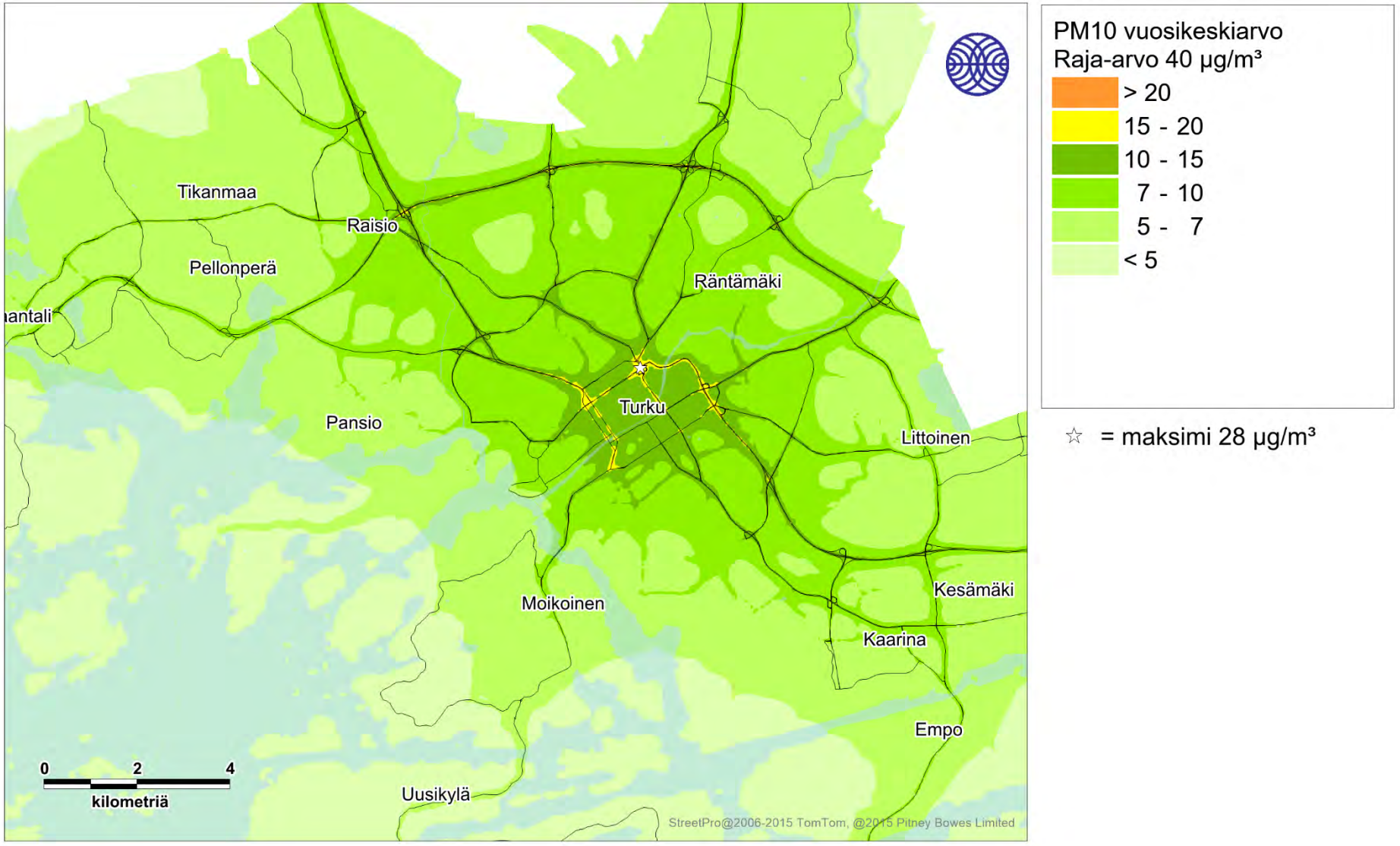
Kuva 37. Puunpolton päästöjen aiheuttama pienhiukkasten korkein WHO:n vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2016-2018.



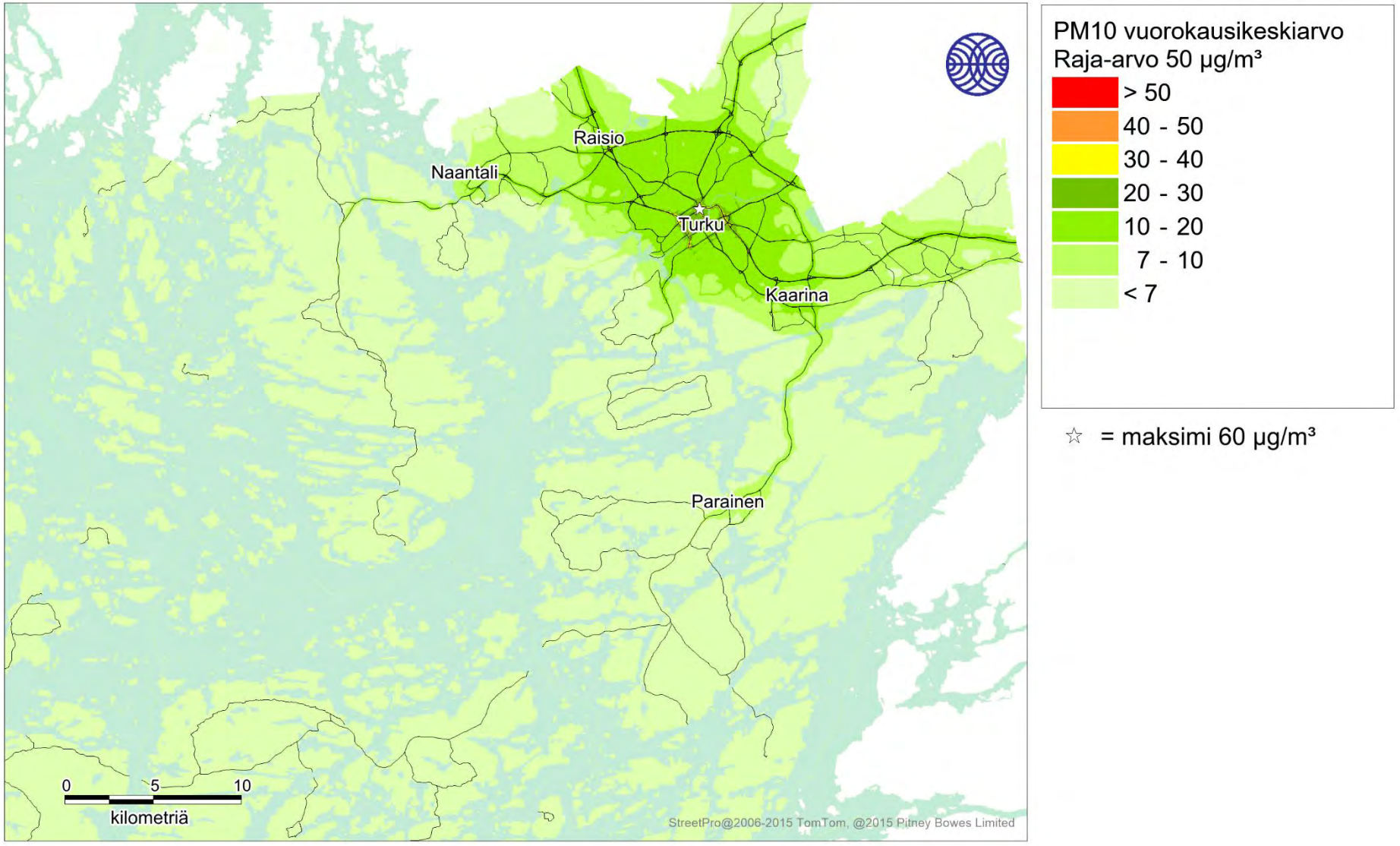
Kuva 38. Puunpolton päästöjen aiheuttama pienhiukkasten korkein WHO:n vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2016-2018.



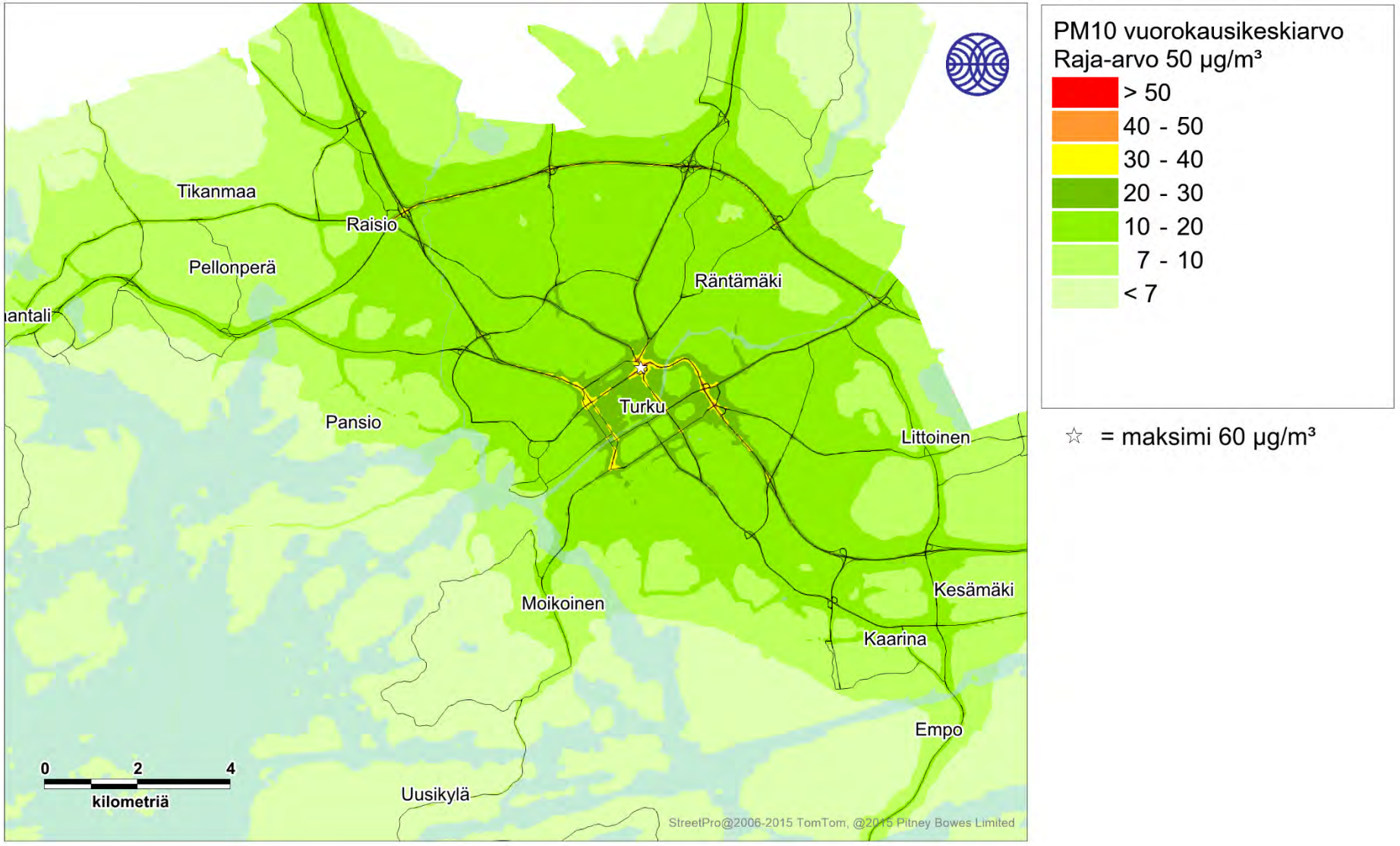
Kuva 39. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden yhdessä aiheuttama hengitettävien hiukkasten korkein vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2016-2018.



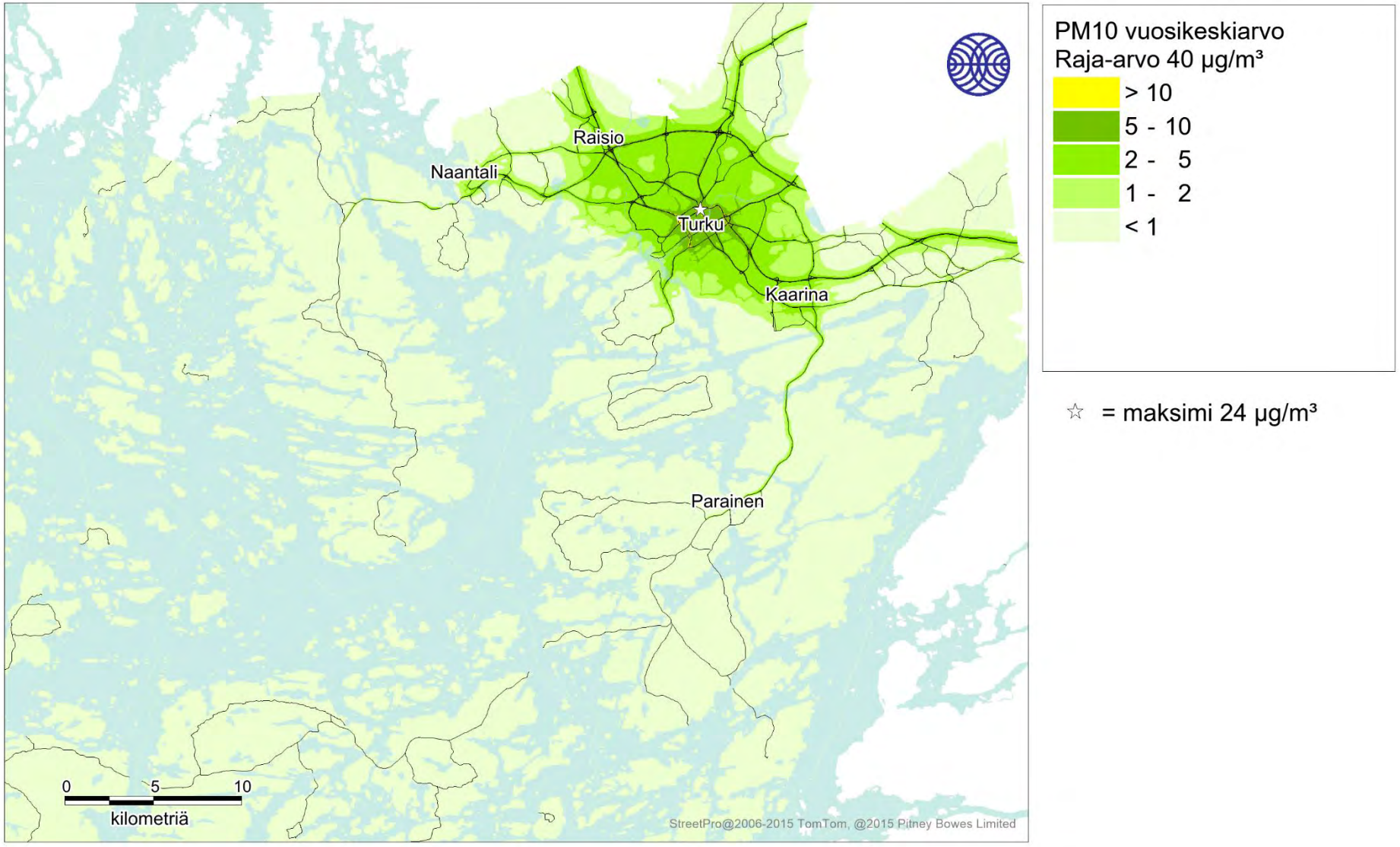
Kuva 40. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden yhdessä aiheuttama hengitettävien hiukkasten korkein vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2016-2018.



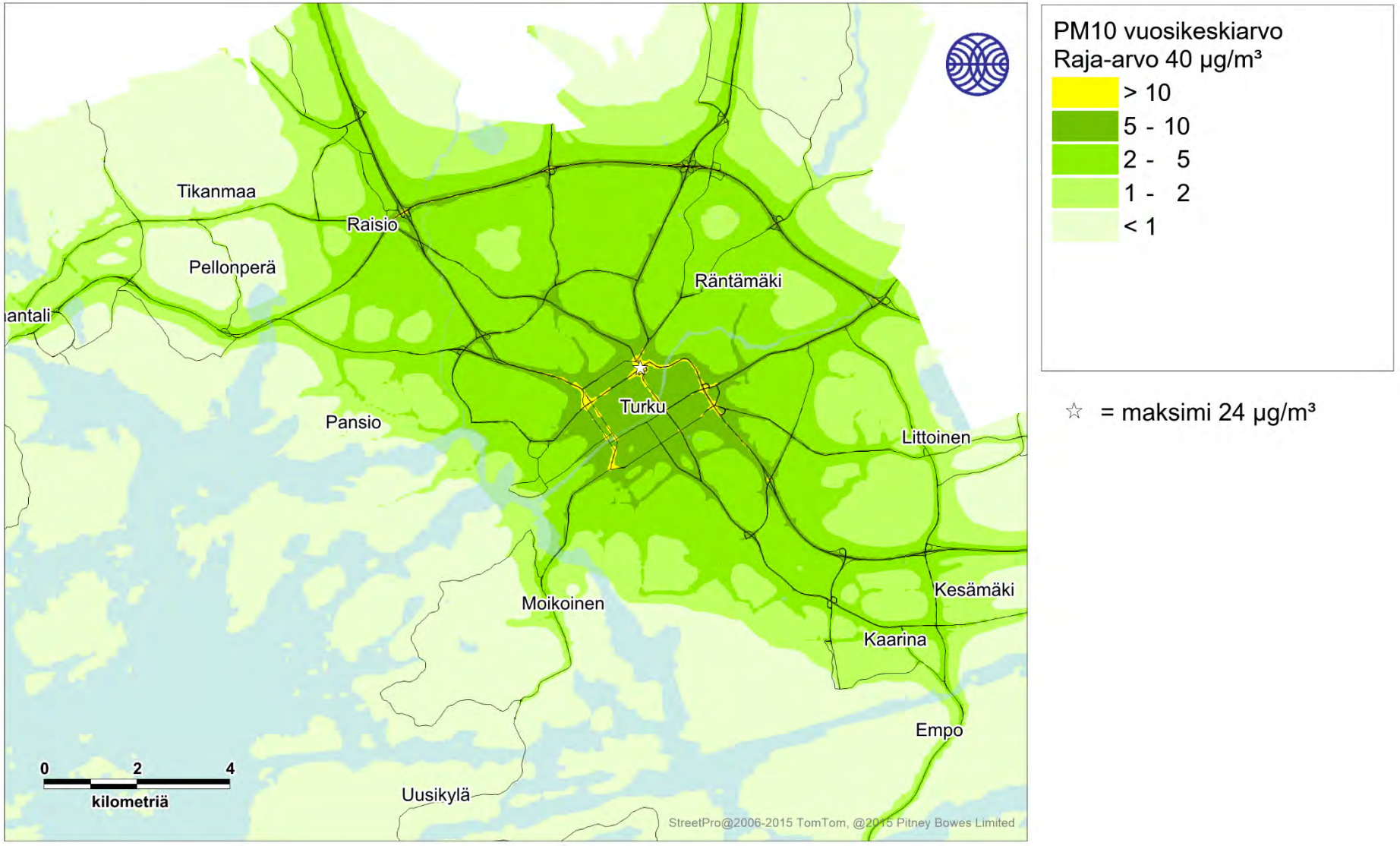
Kuva 41. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden aiheuttama hengitettävien hiukkasten korkein vuorokausiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2016-2018.



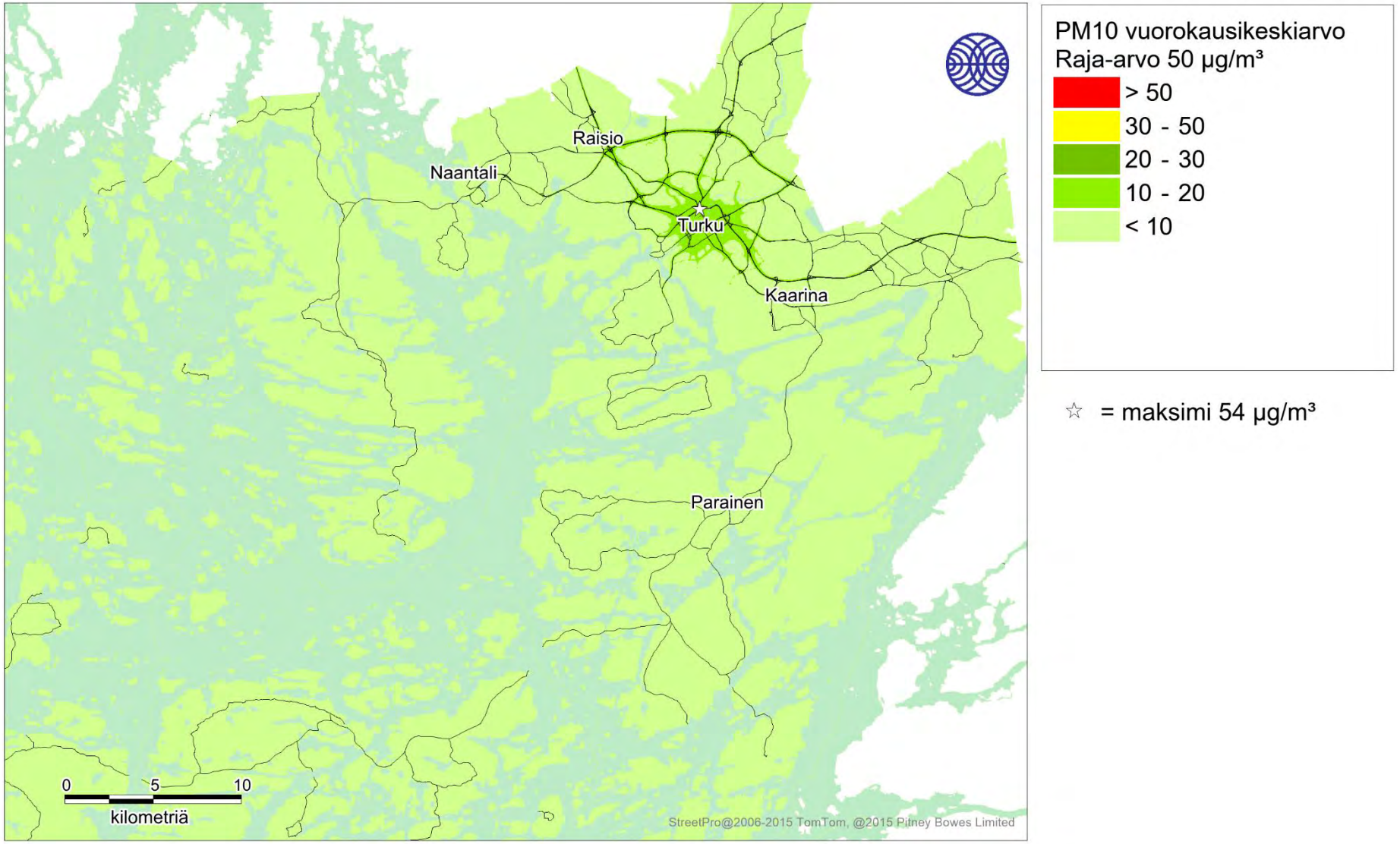
Kuva 42. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden aiheuttama hengitettävien hiukkasten korkein vuorokausiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2016-2018.



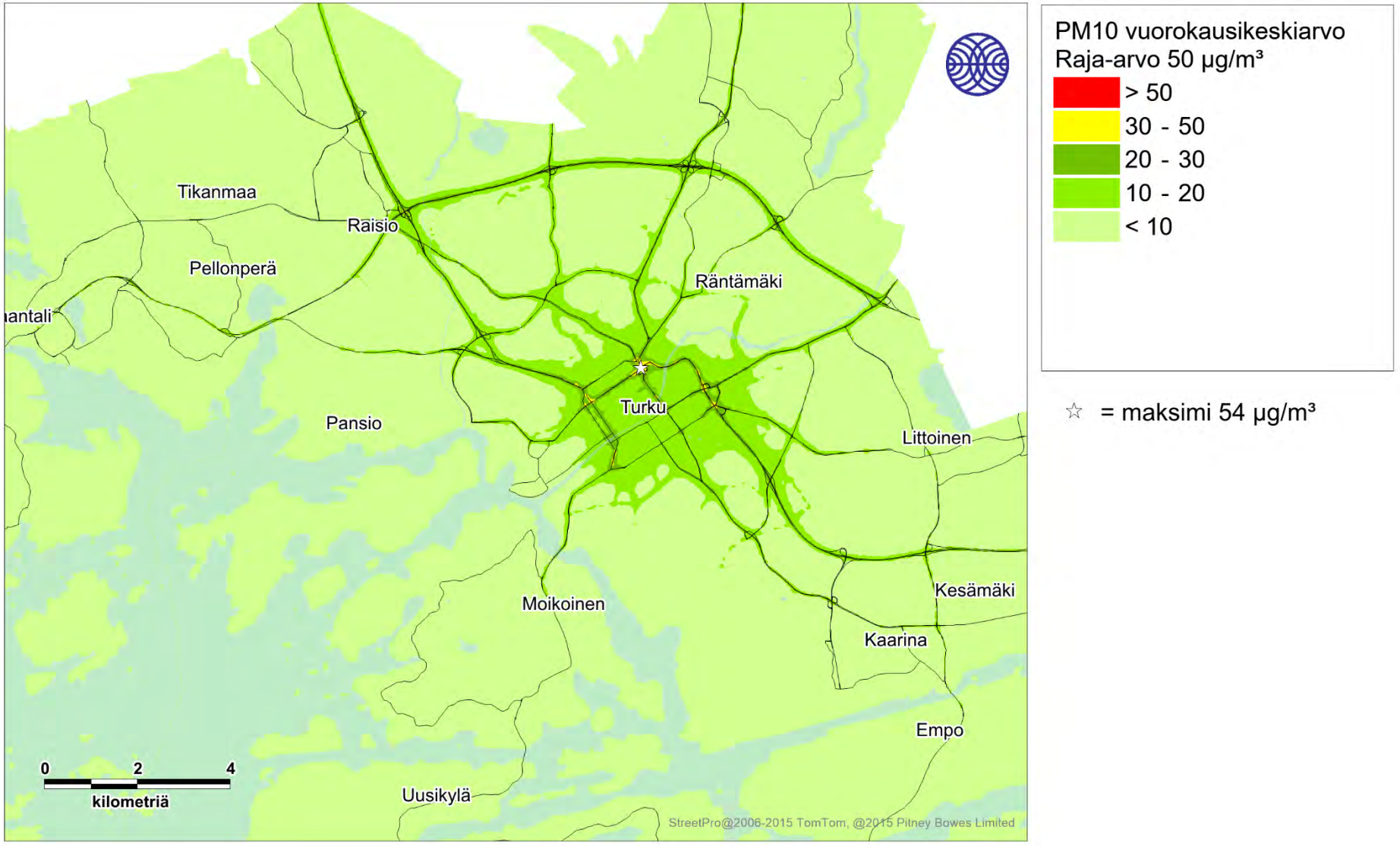
Kuva 43. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama hengitettävien hiukkasten korkein vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2016-2018.



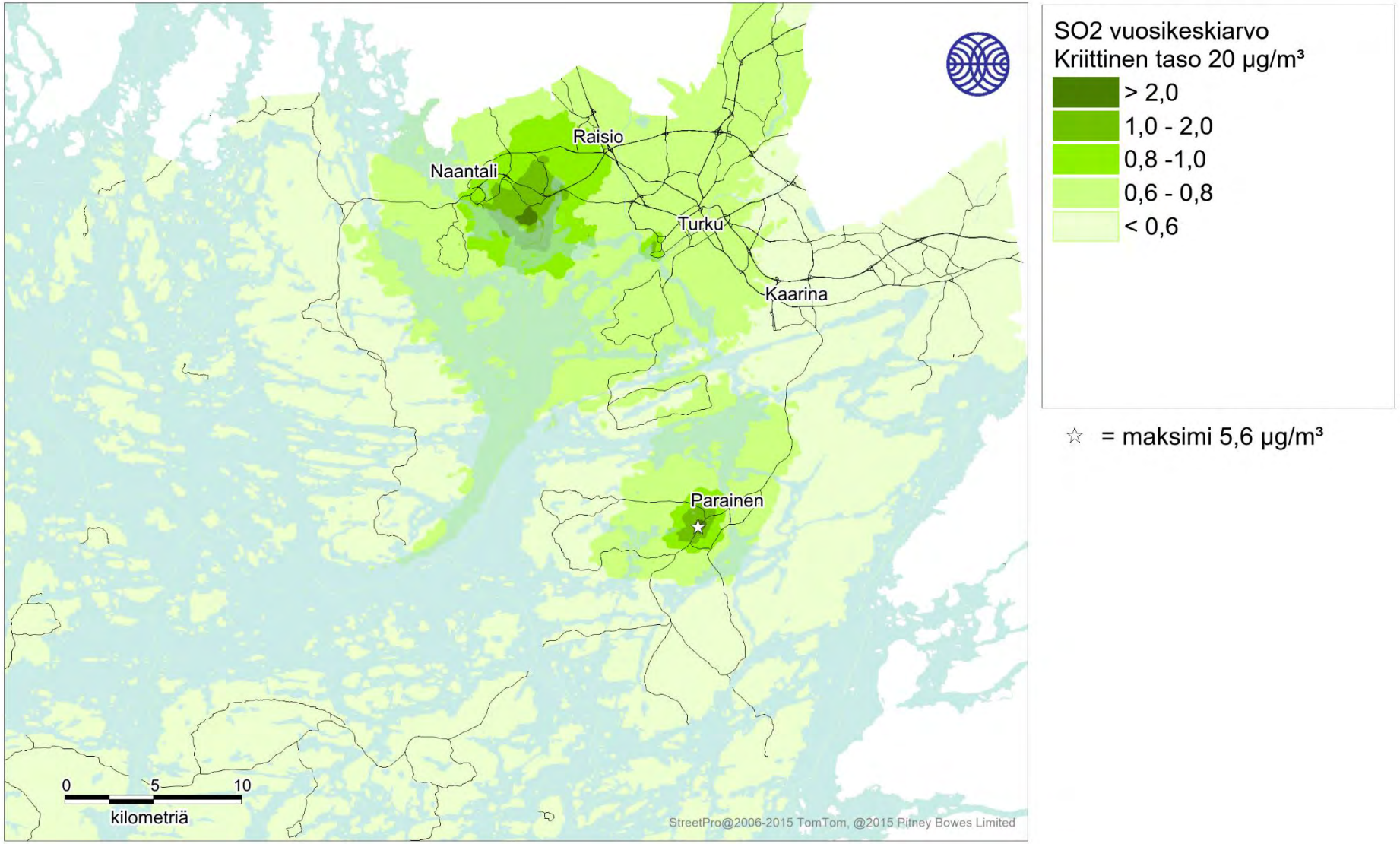
Kuva 44. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama hengitettävien hiukkasten korkein vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2016-2018.



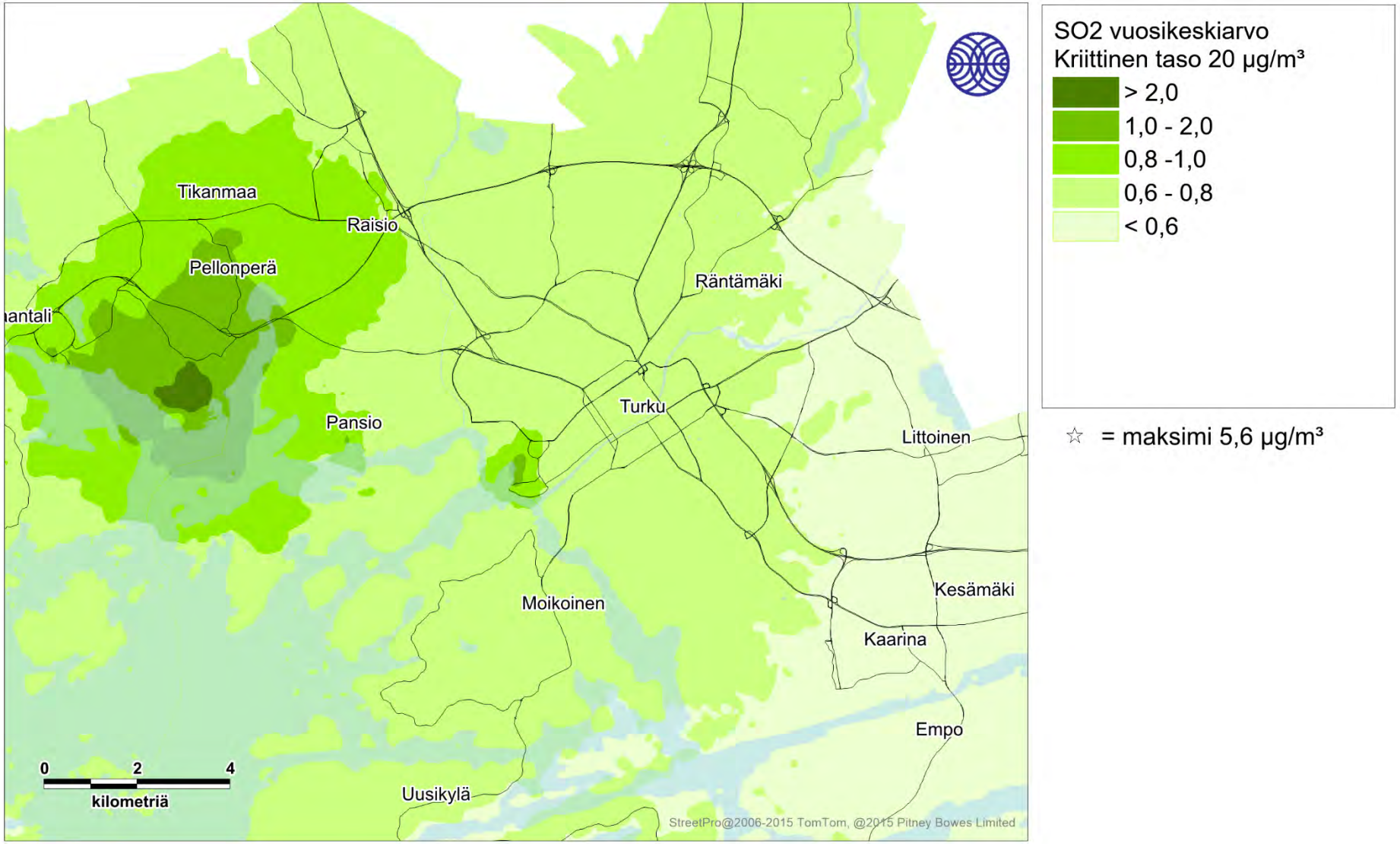
Kuva 45. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama hengitettävien hiukkasten korkein vuorokausiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2016-2018.



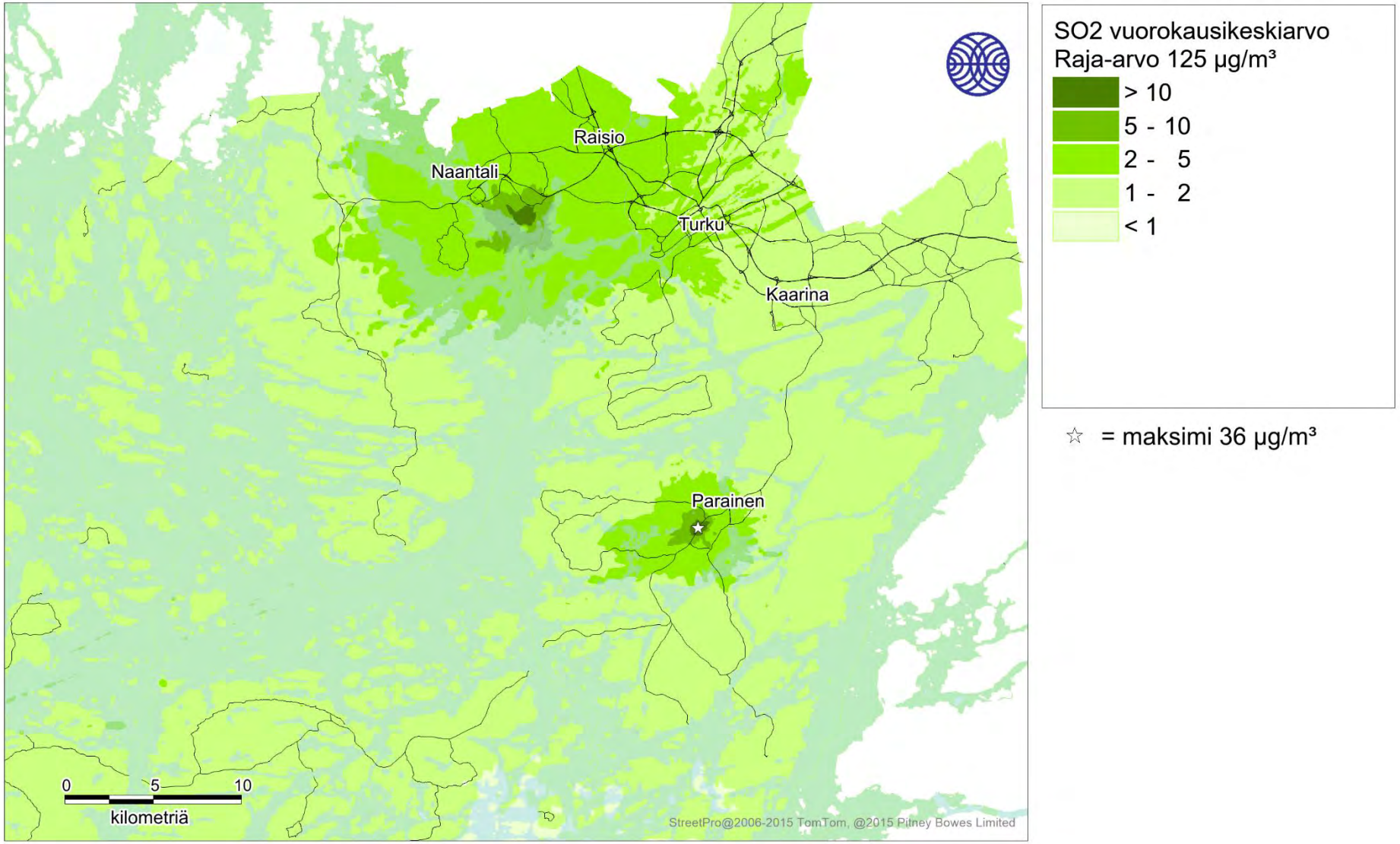
Kuva 46. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama hengitettävien hiukkasten korkein vuorokausiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2016-2018.



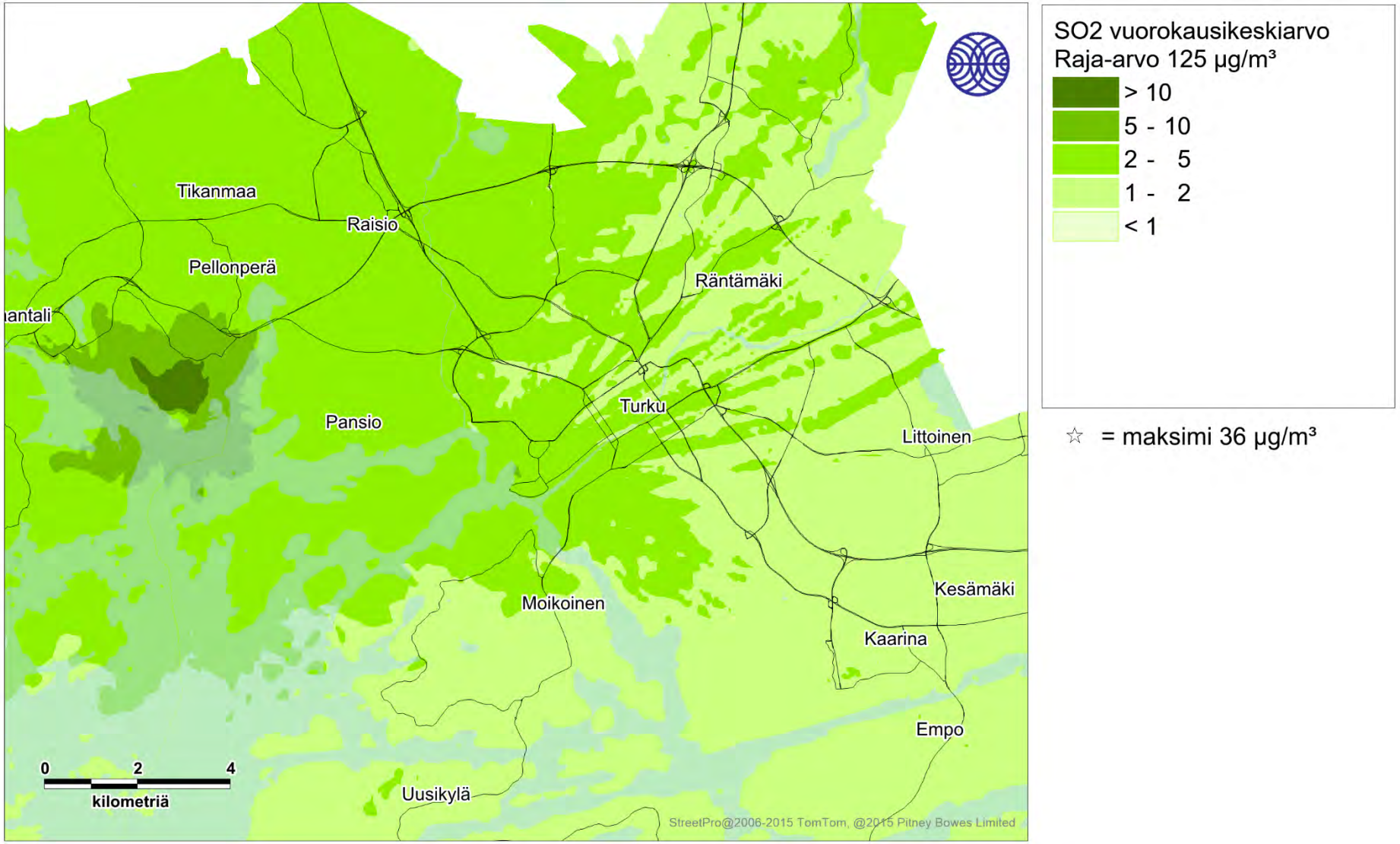
Kuva 47. Kaikkien päästölähteiden yhdessä aiheuttama rikkidioksidin korkein vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2016-2018.



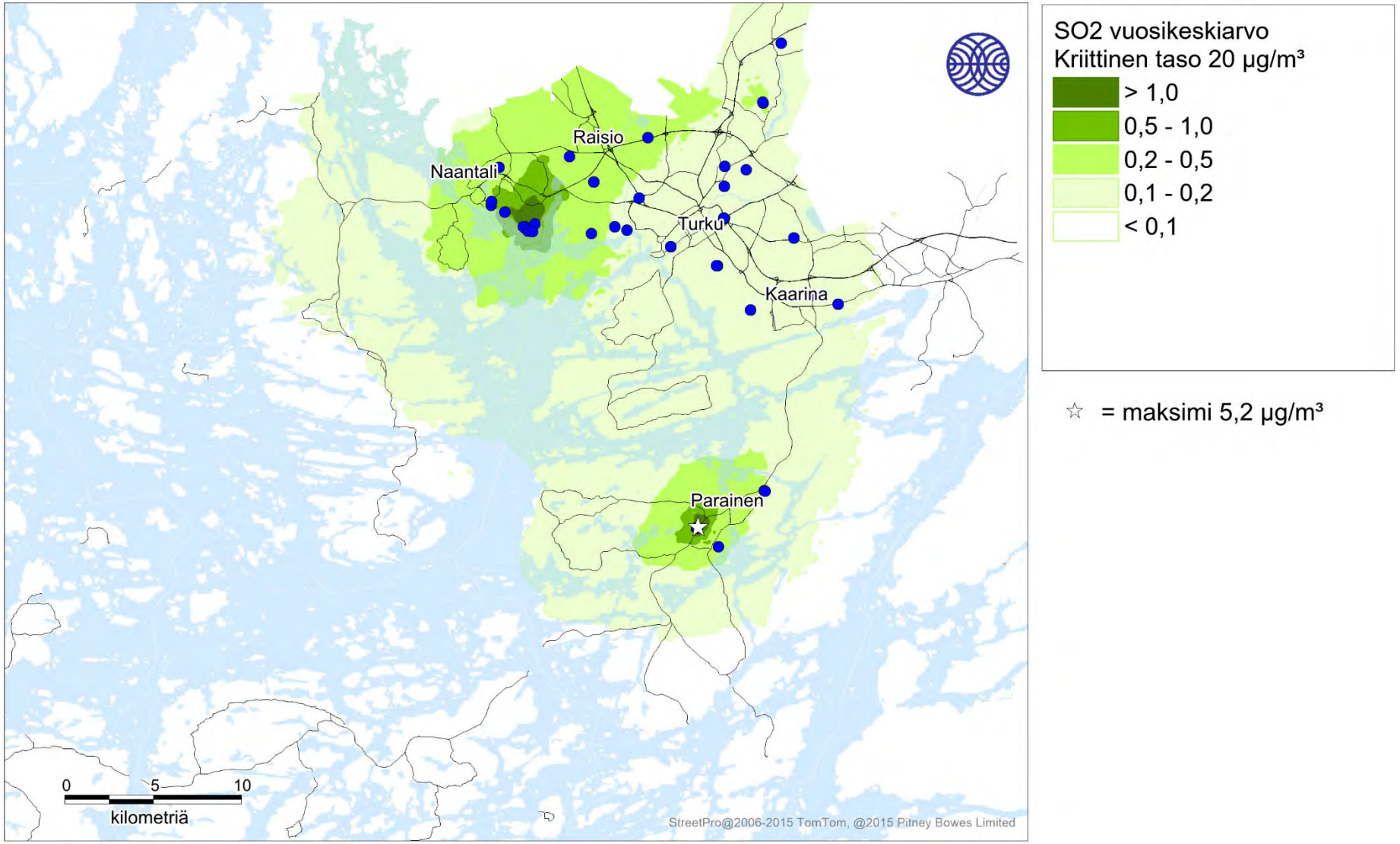
Kuva 48. Kaikkien päästölähteiden yhdessä aiheuttama rikkidioksidin korkein vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2016-2018.



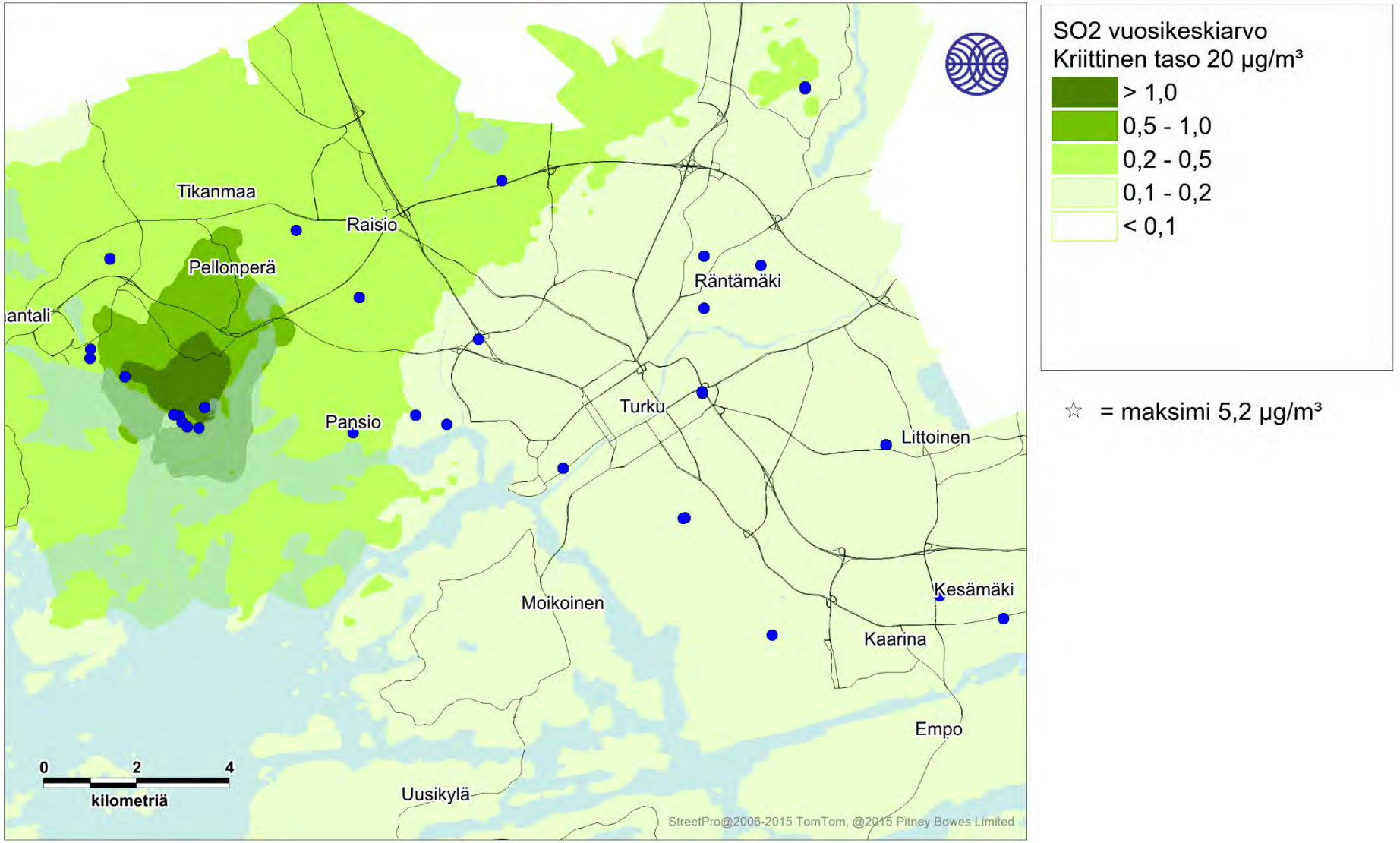
Kuva 49. Kaikkien päästölähteiden yhdessä aiheuttama rikkidioksidin korkein vuorokausiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2016-2018.



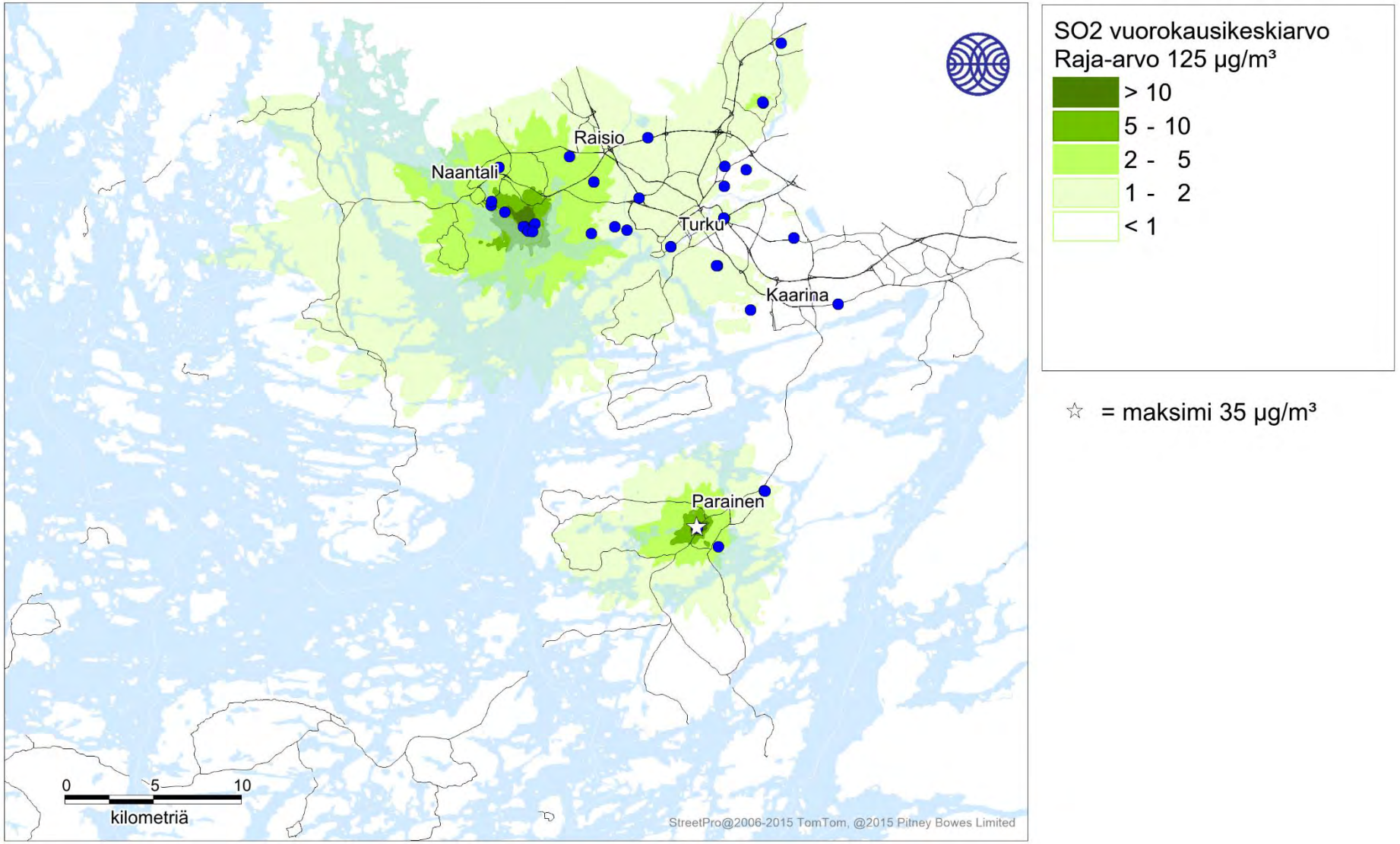
Kuva 50. Kaikkien päästölähteiden yhdessä aiheuttama rikkidioksidin korkein vuorokausiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2016-2018.



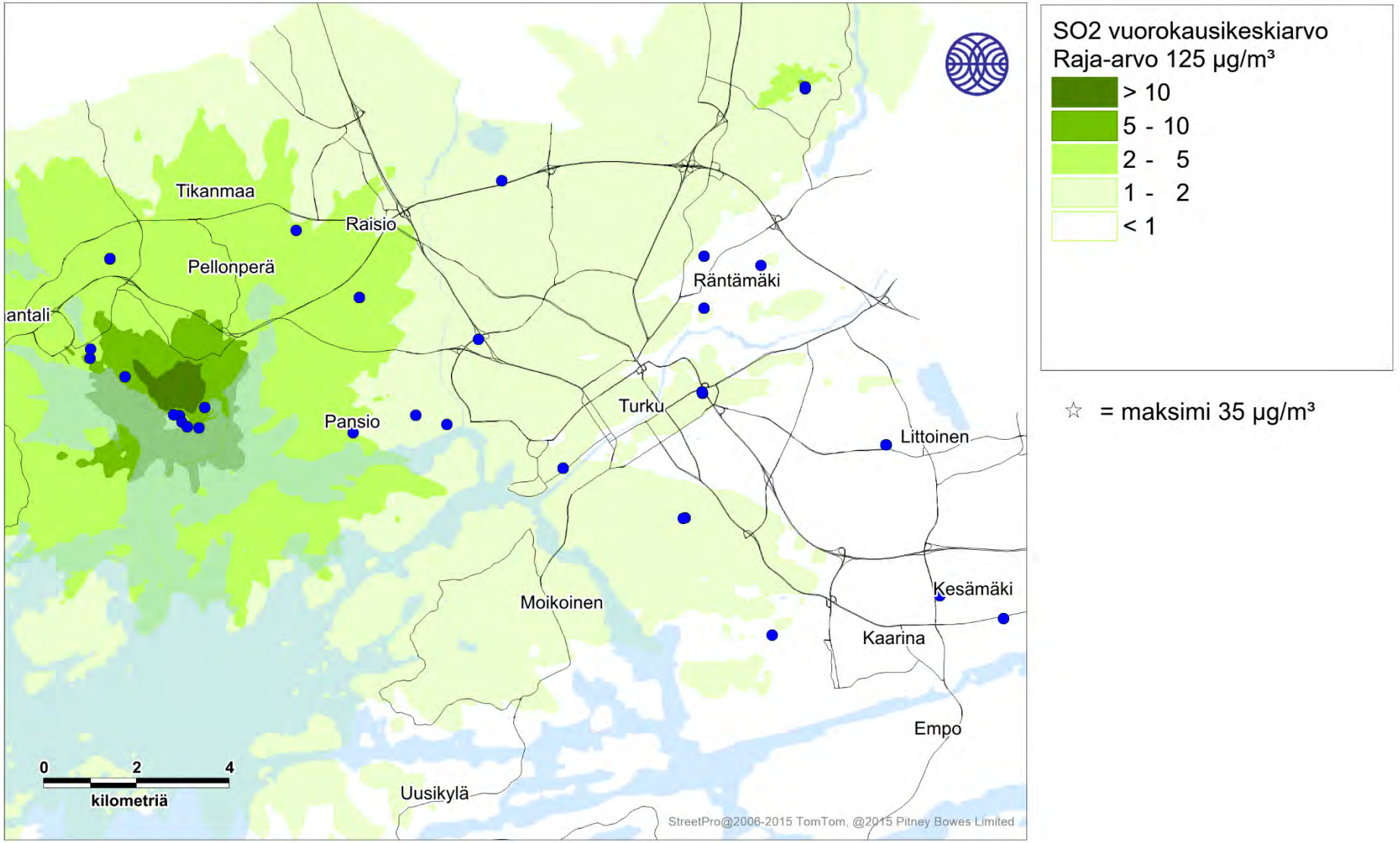
Kuva 51. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttama rikkidioksidin korkein vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2016-2018.



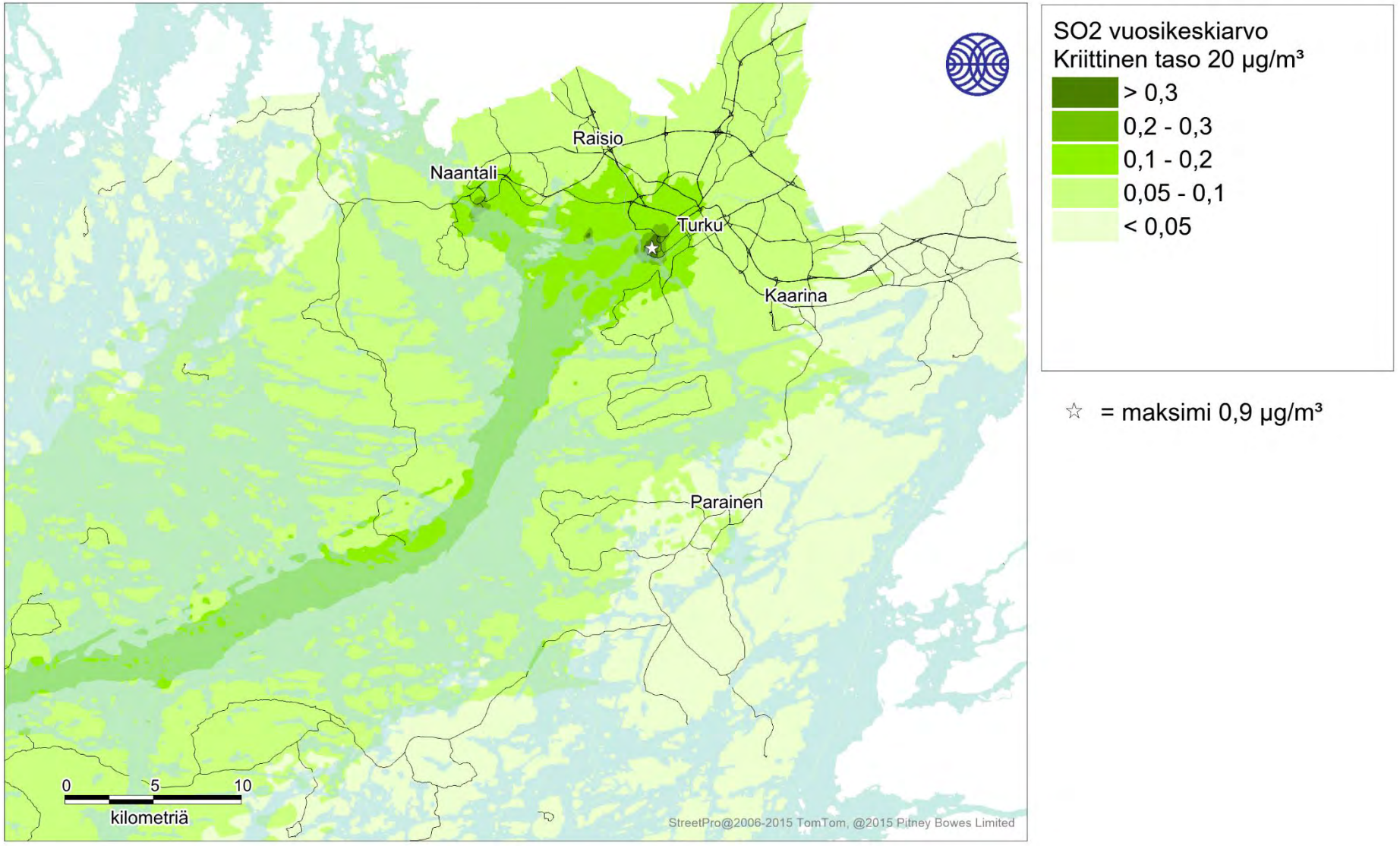
Kuva 52. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttama rikkidioksidin korkein vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2016-2018.



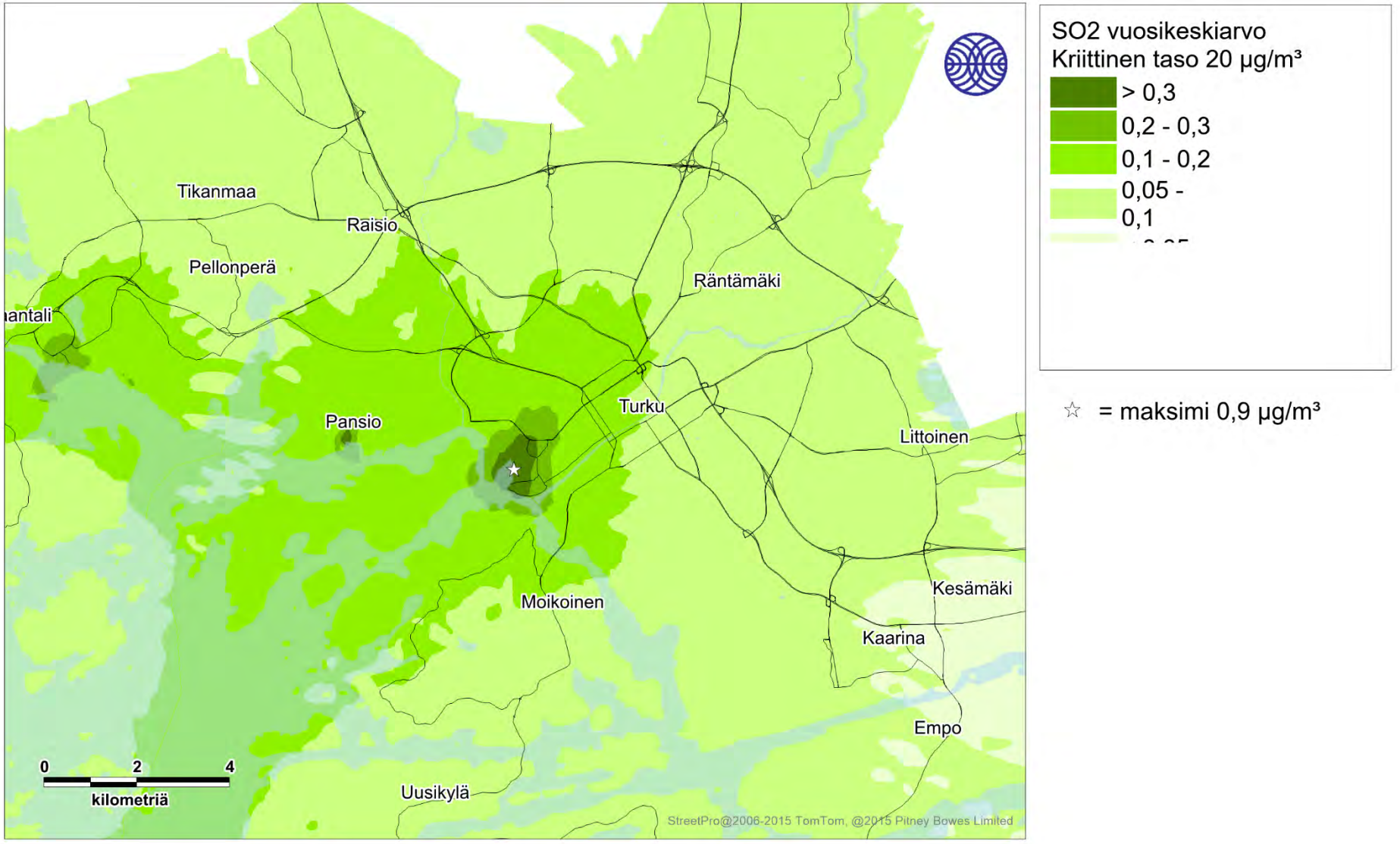
Kuva 53. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttama rikkidioksidin korkein vuorokausiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2016-2018.



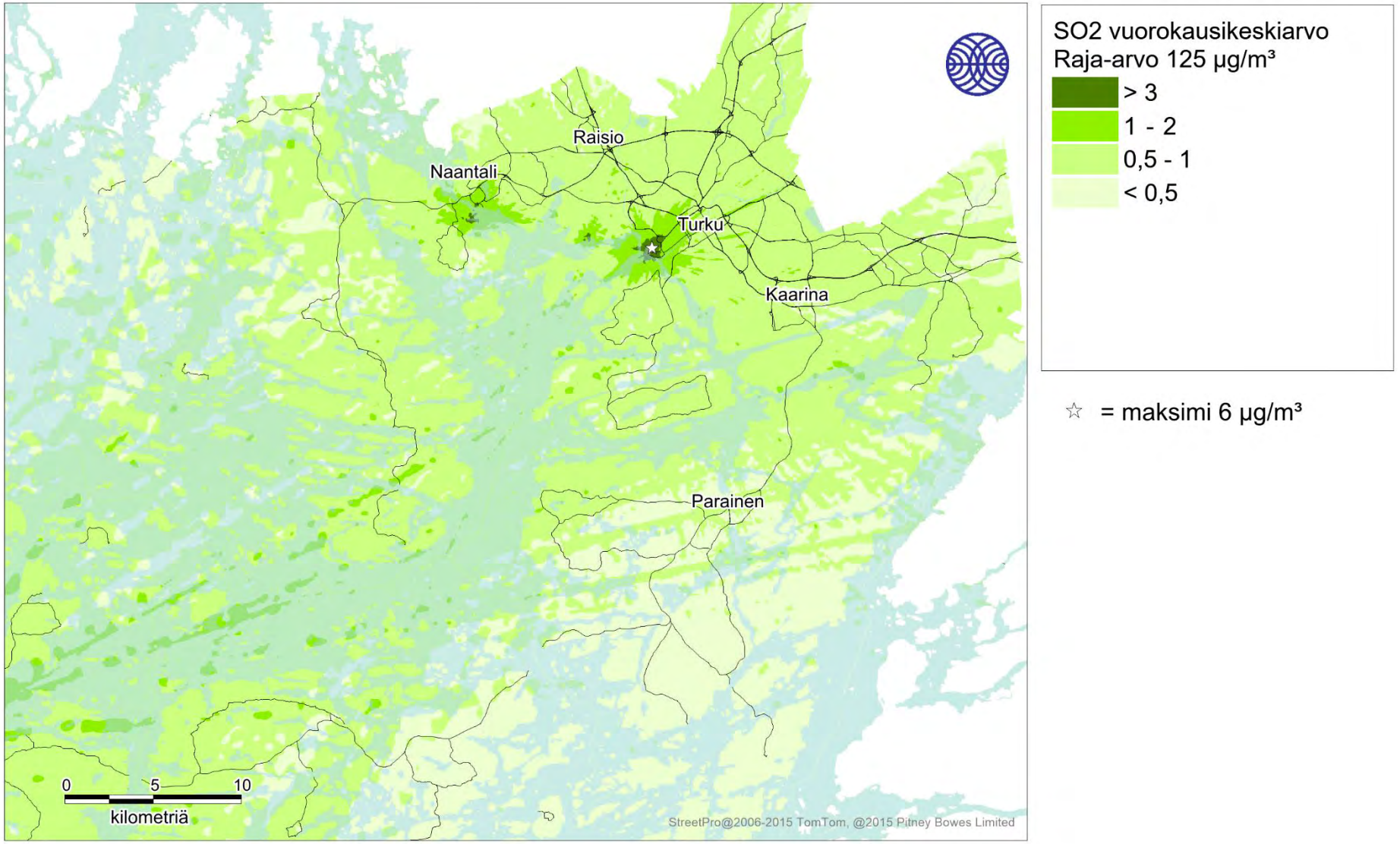
Kuva 54. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttama rikkidioksidin korkein vuorokausiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2016-2018.



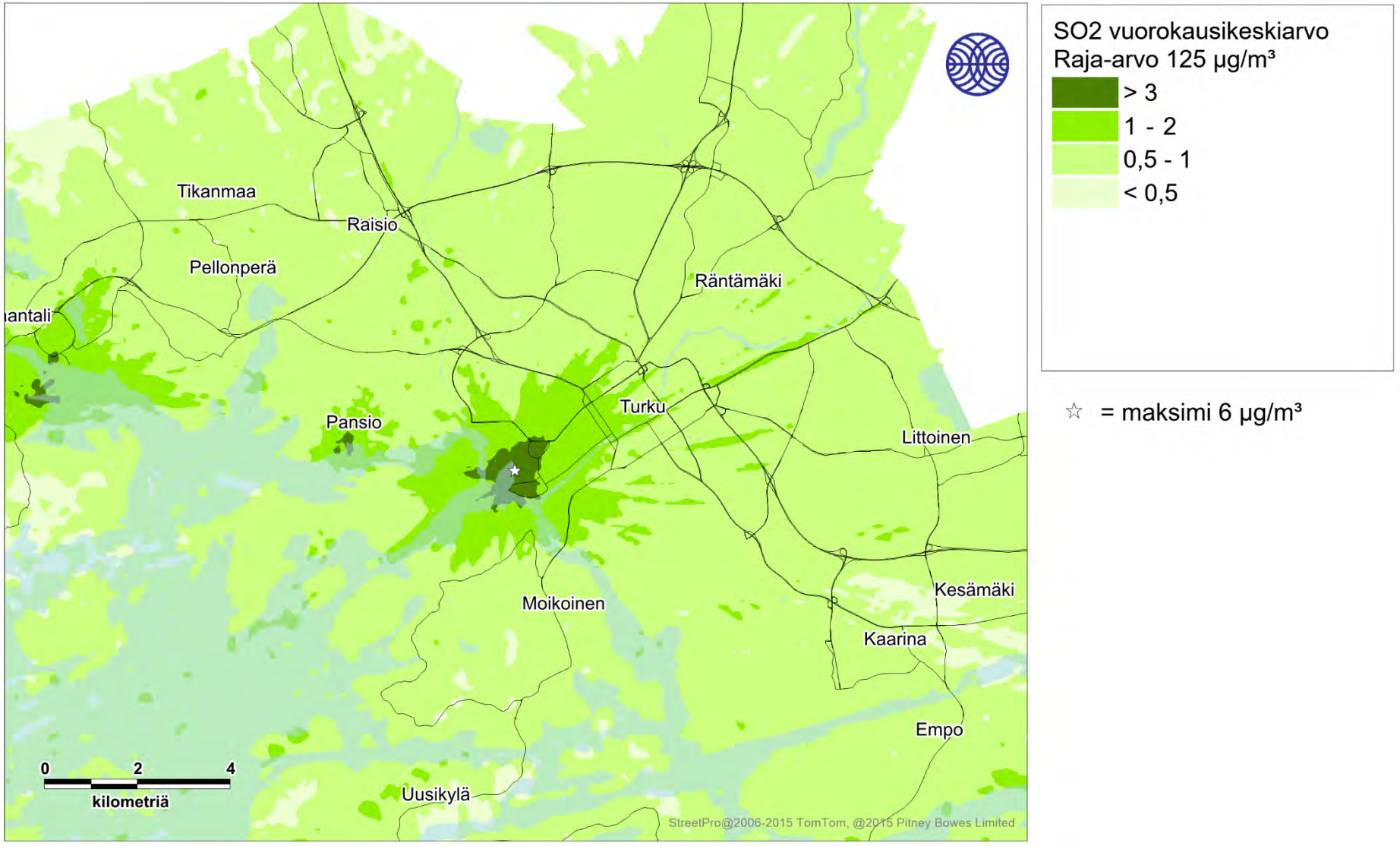
Kuva 55. Laivaliikenteen päästöjen aiheuttama rikkidioksidin korkein vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2016-2018.



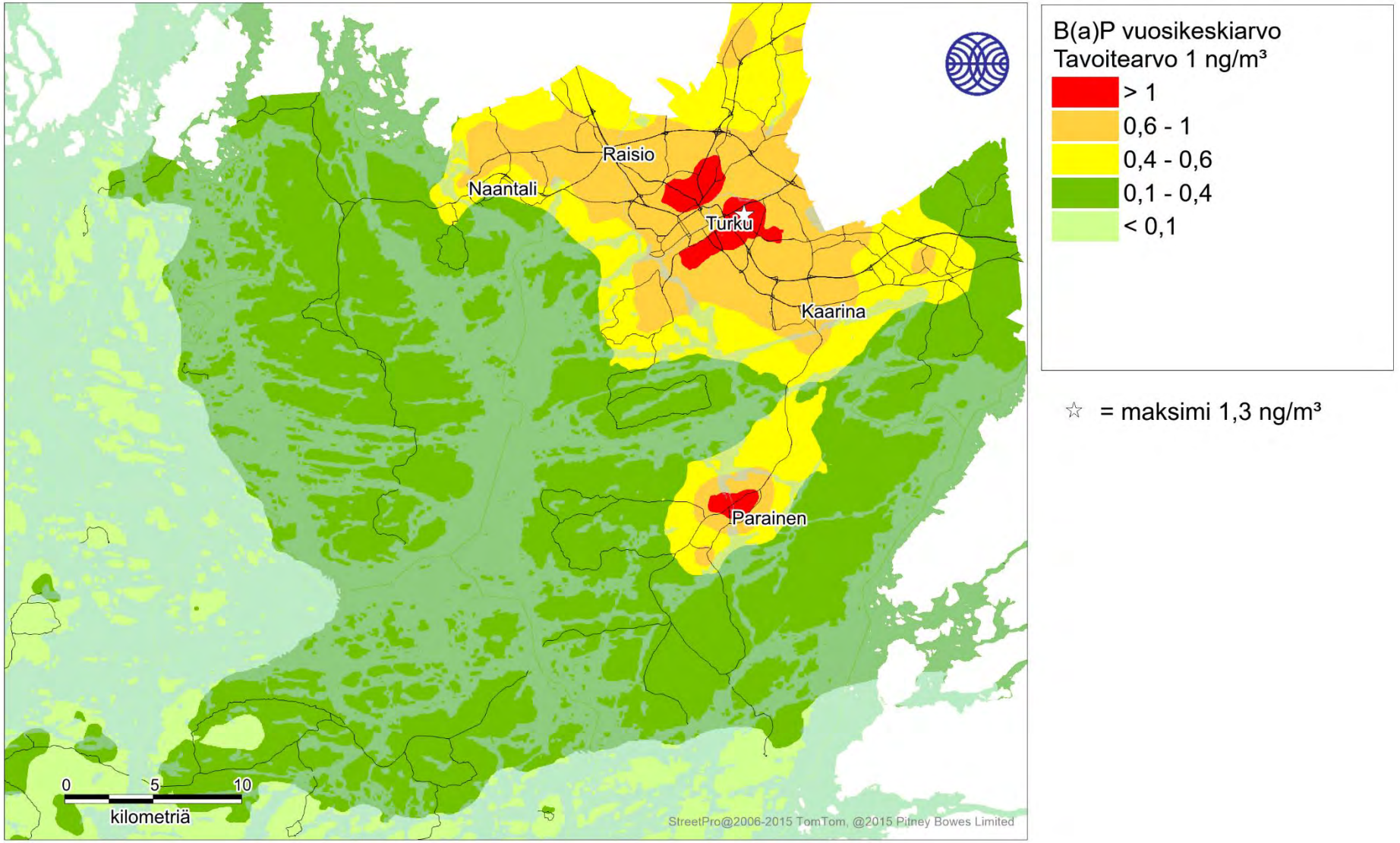
Kuva 56. Laivaliikenteen päästöjen aiheuttama rikkidioksidin korkein vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2016-2018.



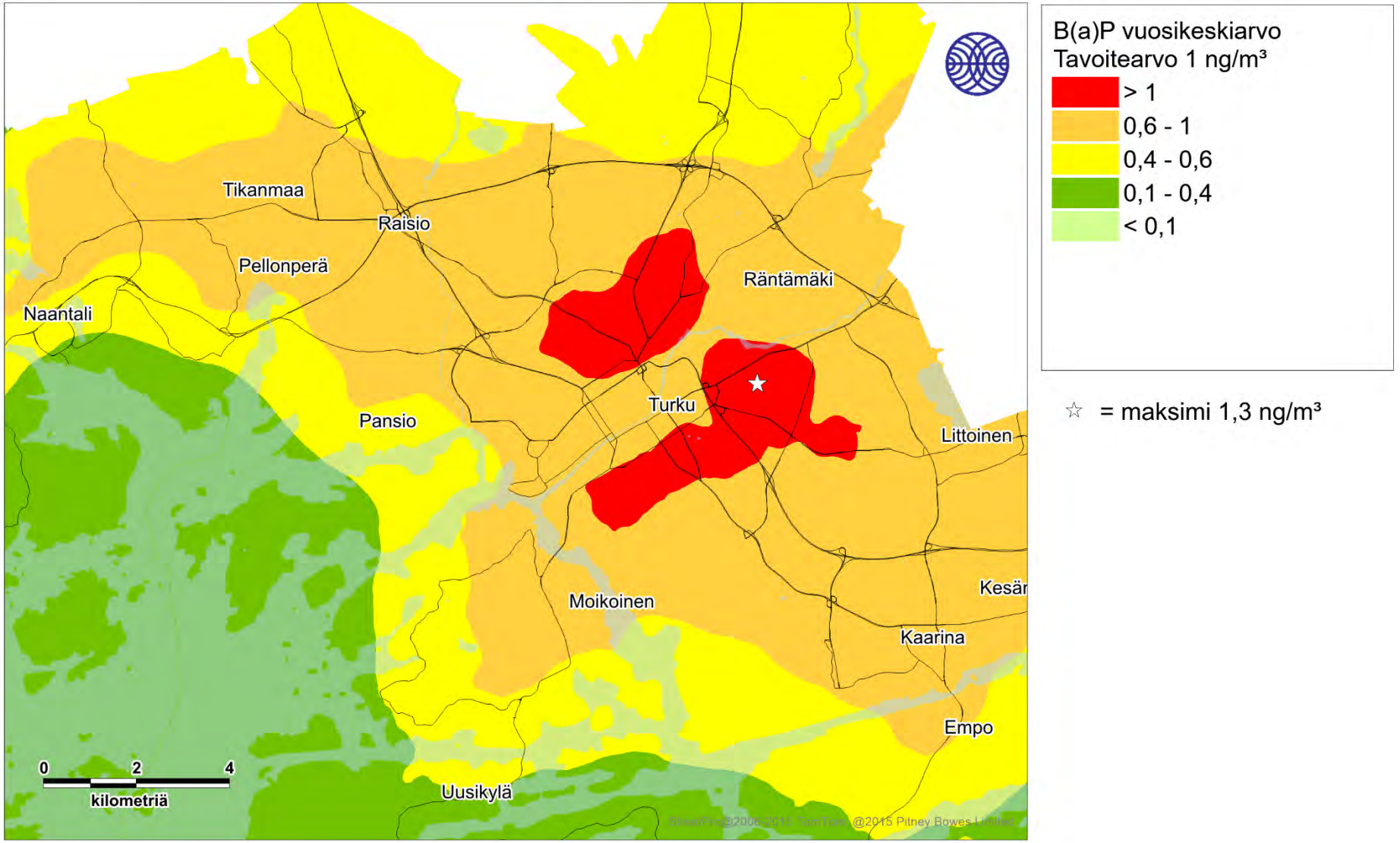
Kuva 57. Laivaliikenteen päästöjen aiheuttama rikkidioksidin korkein vuorokausiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2016-2018.



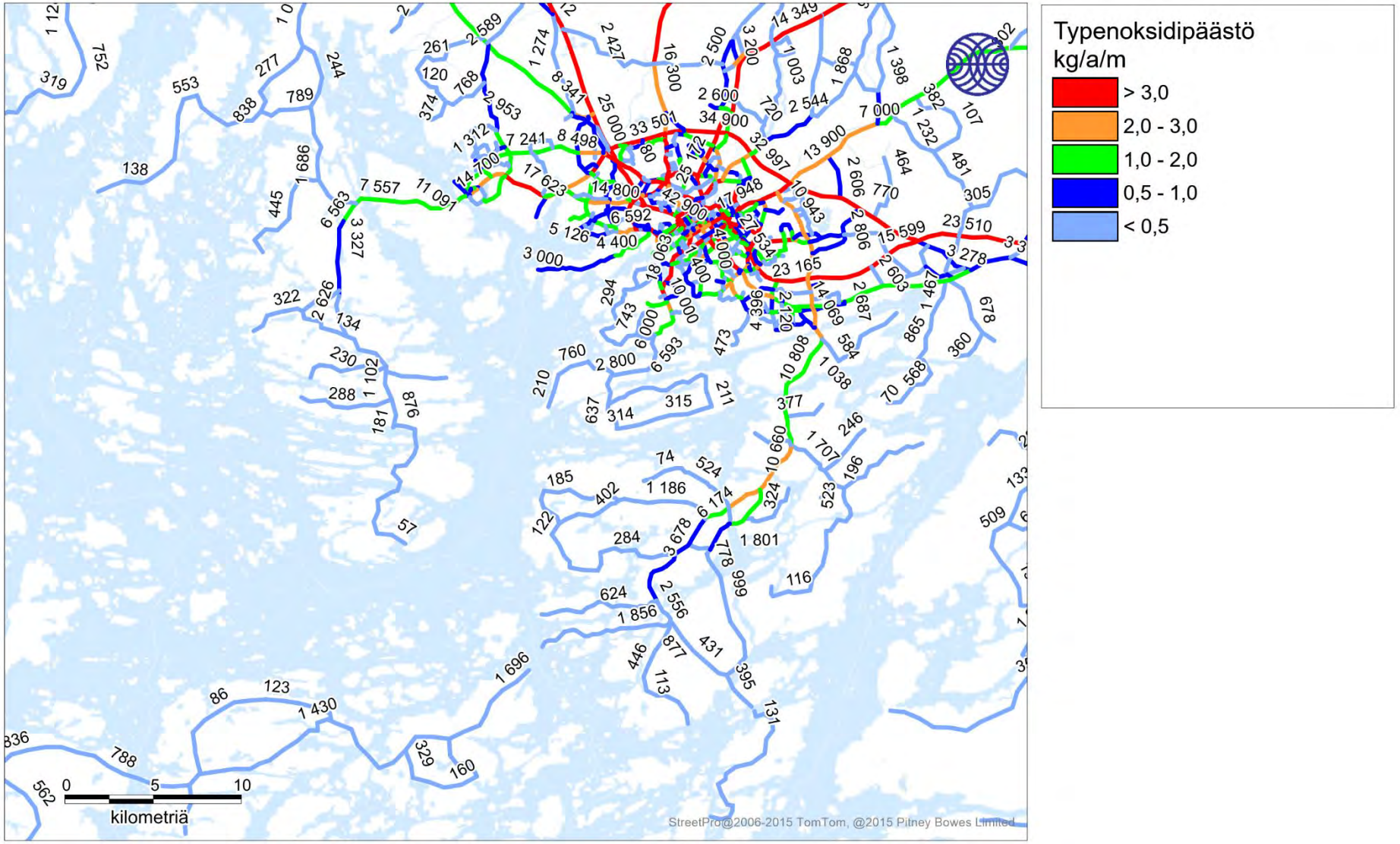
Kuva 58. Laivaliikenteen päästöjen aiheuttama rikkidioksidin korkein vuorokausiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2016-2018.



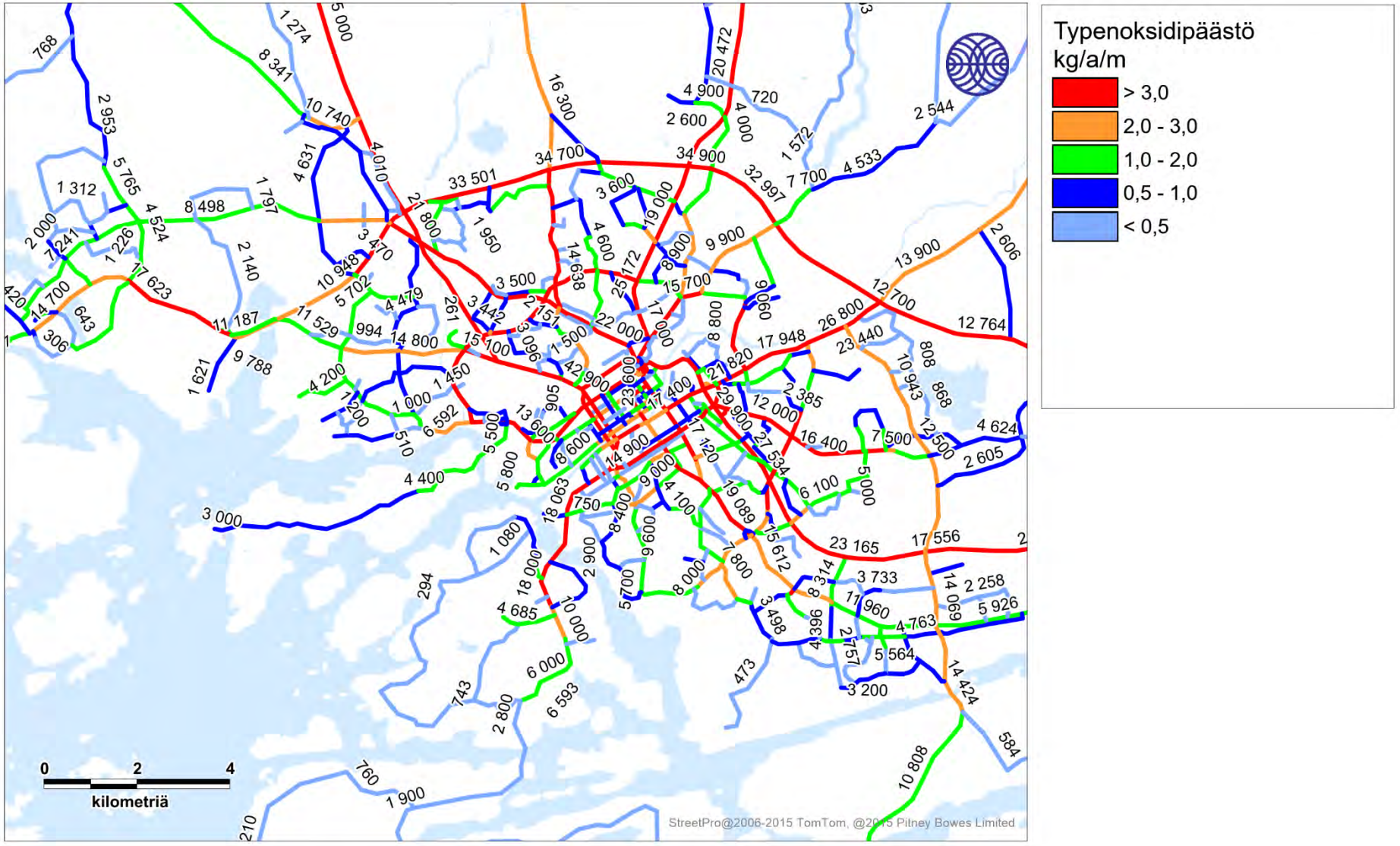
Kuva 59. Puunpolton päästöjen aiheuttama bentso(a)pyreenin korkein vuosikeskiarvopitoisuus (ng/m³) tarkastelujaksolla 2016-2018.



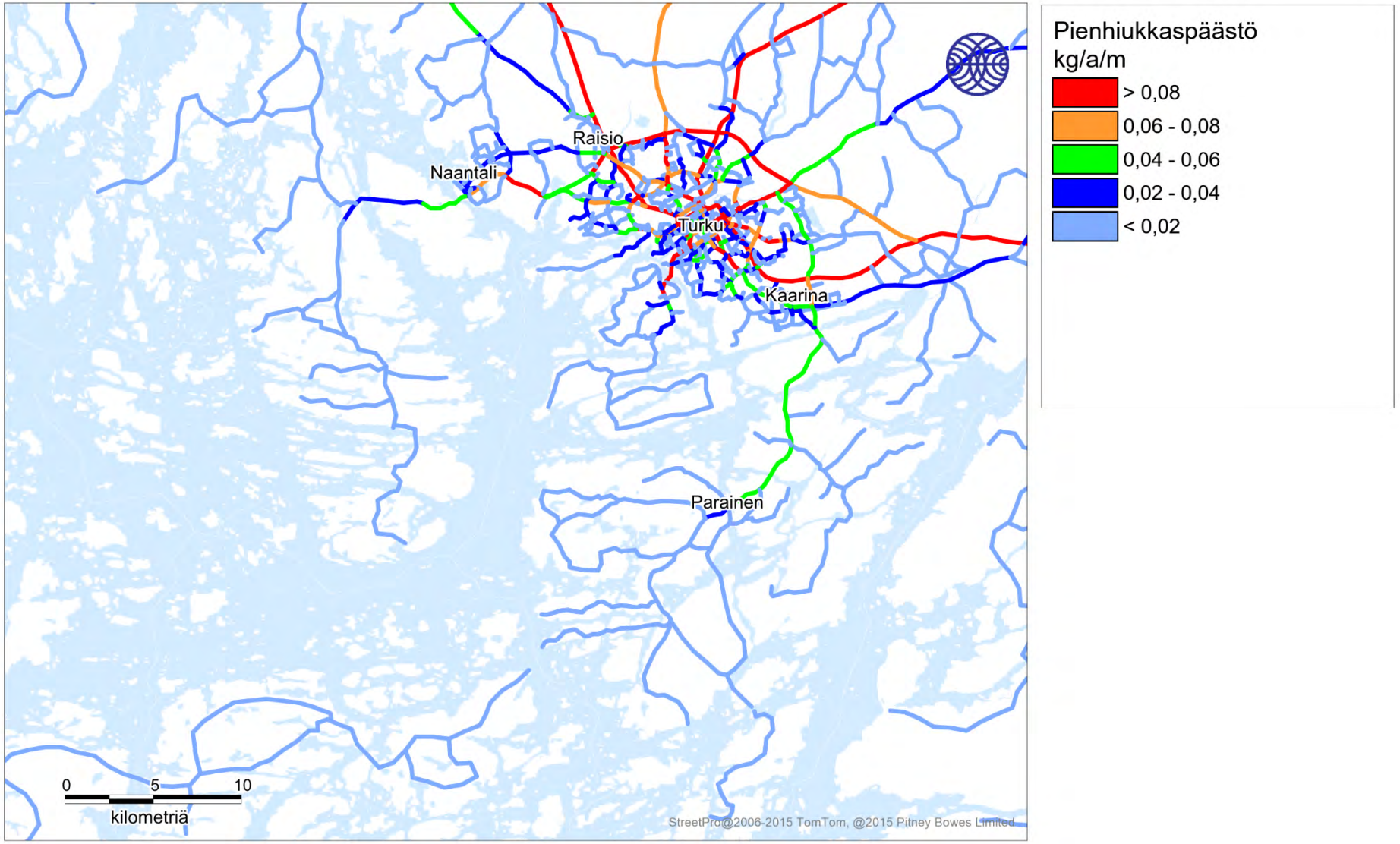
Kuva 60. Puunpolton päästöjen aiheuttama bentso(a)pyreenin korkein vuosikeskiarvopitoisuus (ng/m³) tarkastelujaksolla 2016-2018.



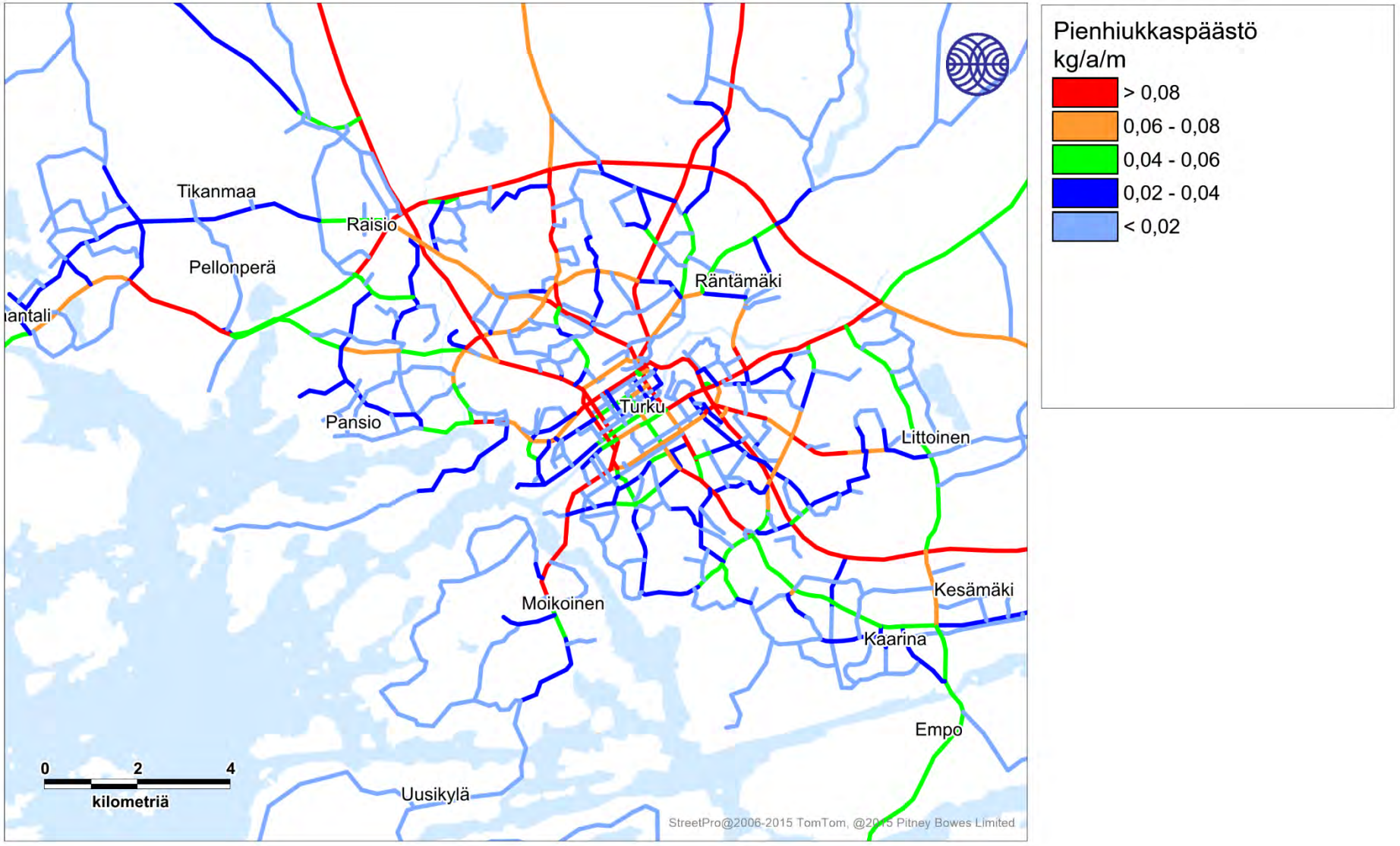
Kuva 61. Liikenteen NOx-päästöt (kg/a/m) ja keskimääräinen vuorokausiliikennemäärä (KVL/KAVL) vuonna 2018.



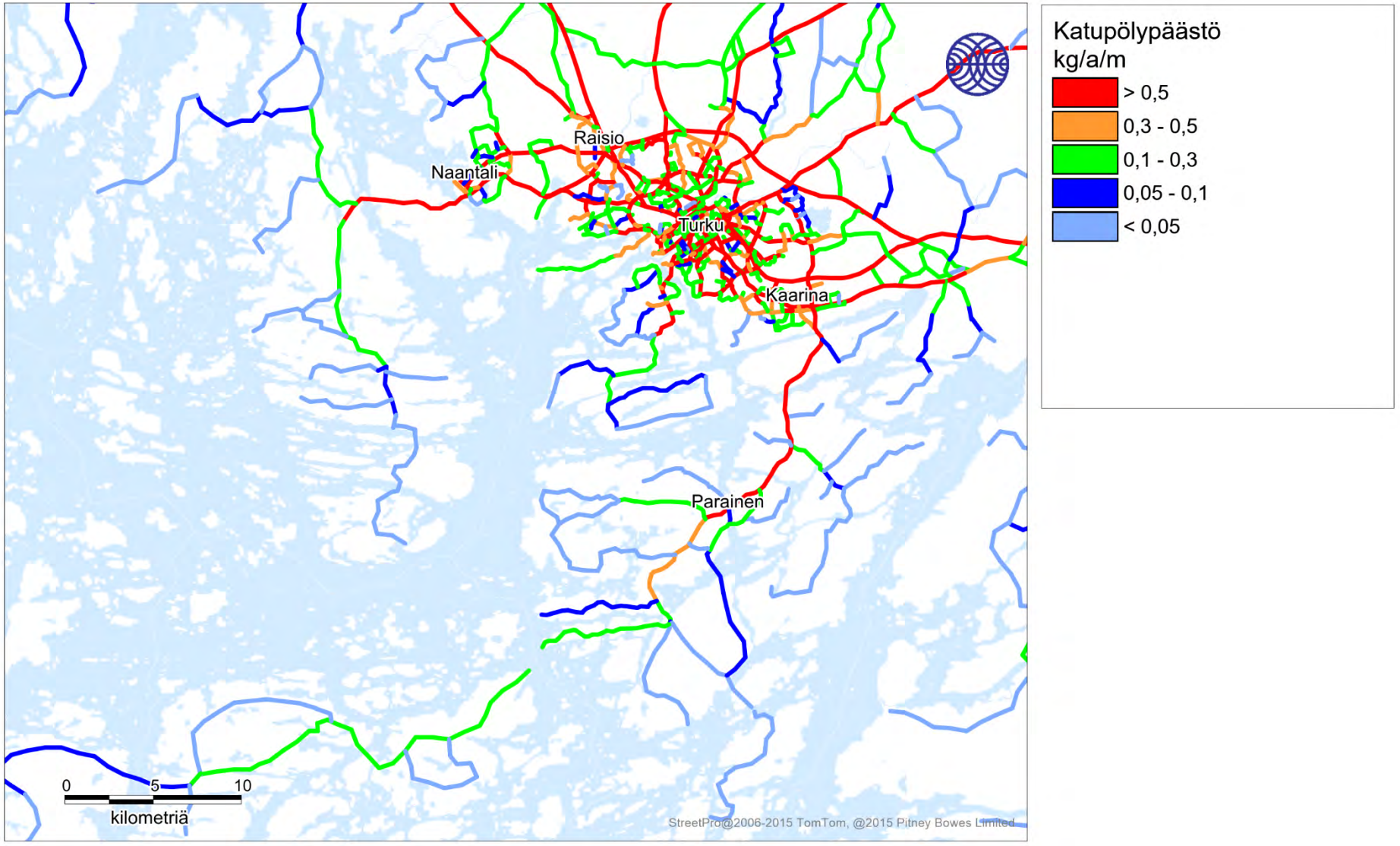
Kuva 62. Liikenteen NOx-päästöt (kg/a/m) ja keskimääräinen vuorokausiliikennemäärä (KVL/KAVL) vuonna 2018.



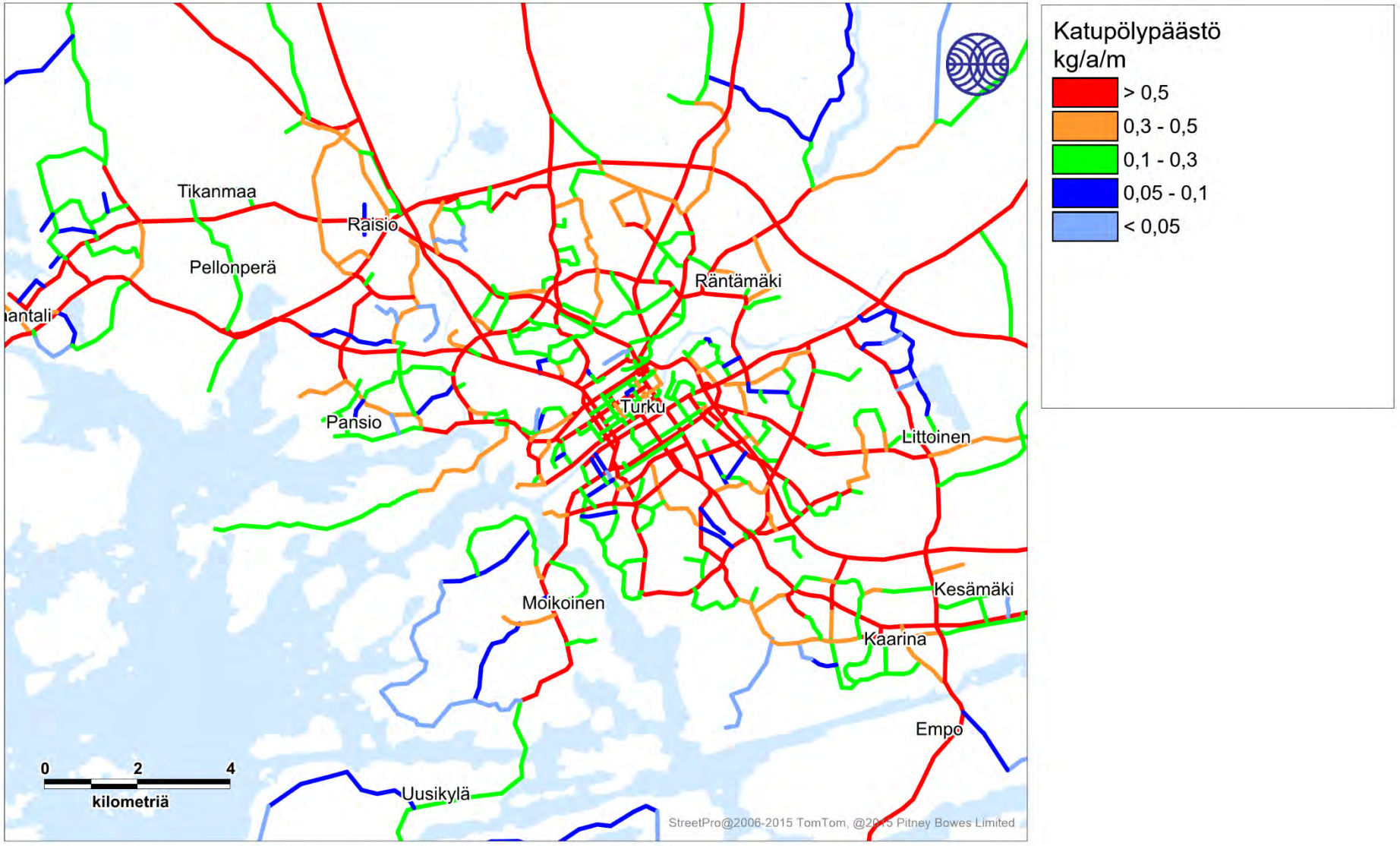
Kuva 63. Liikenteen pienhiukkaspäästöt (kg/a/m) vuonna 2018.



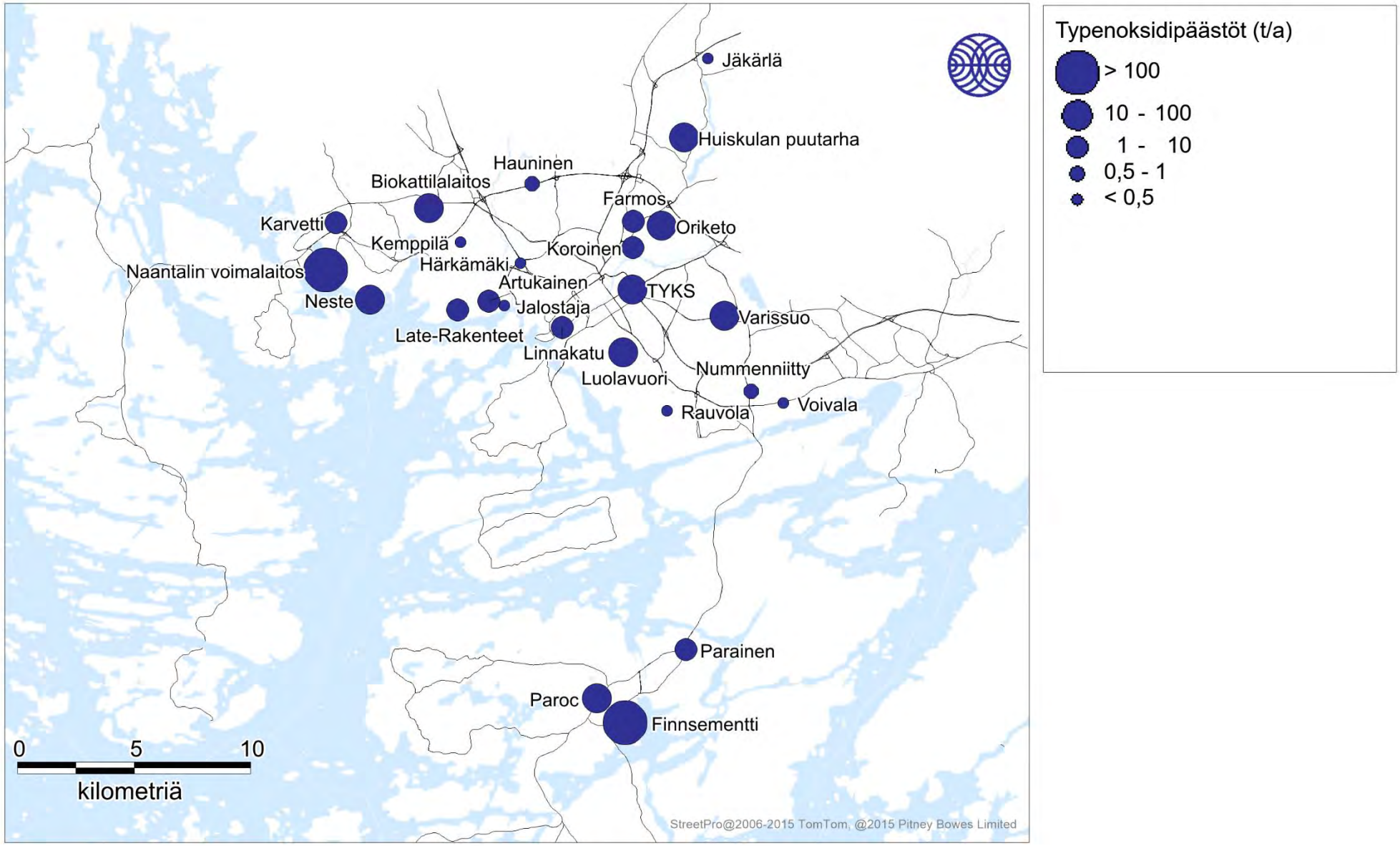
Kuva 64. Liikenteen pienhiukkaspäästöt (kg/a/m) vuonna 2018.



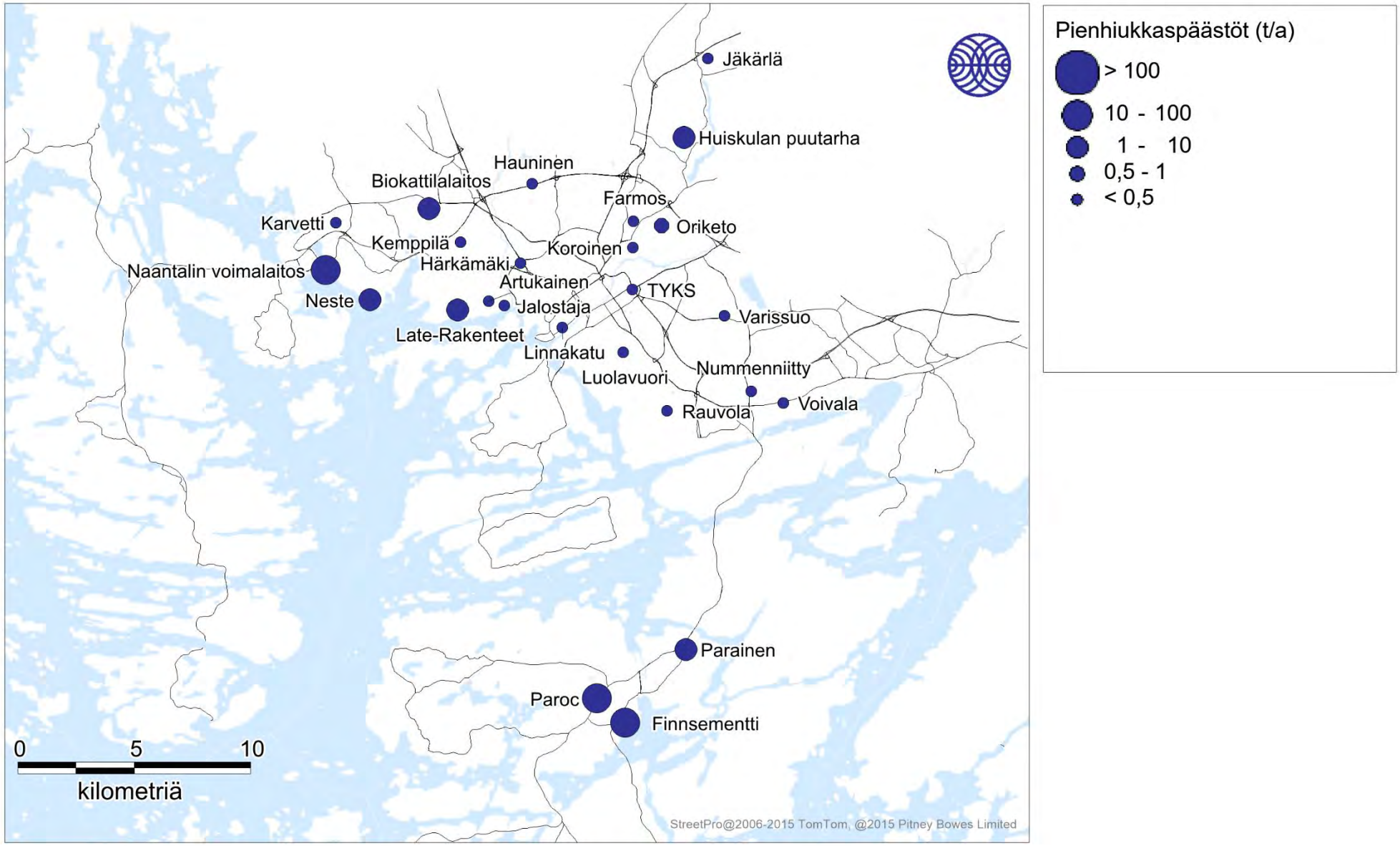
Kuva 65. Liikenteen katupölypäästöt eli PM10-suspensiopäästöt (kg/a/m) vuonna 2018.



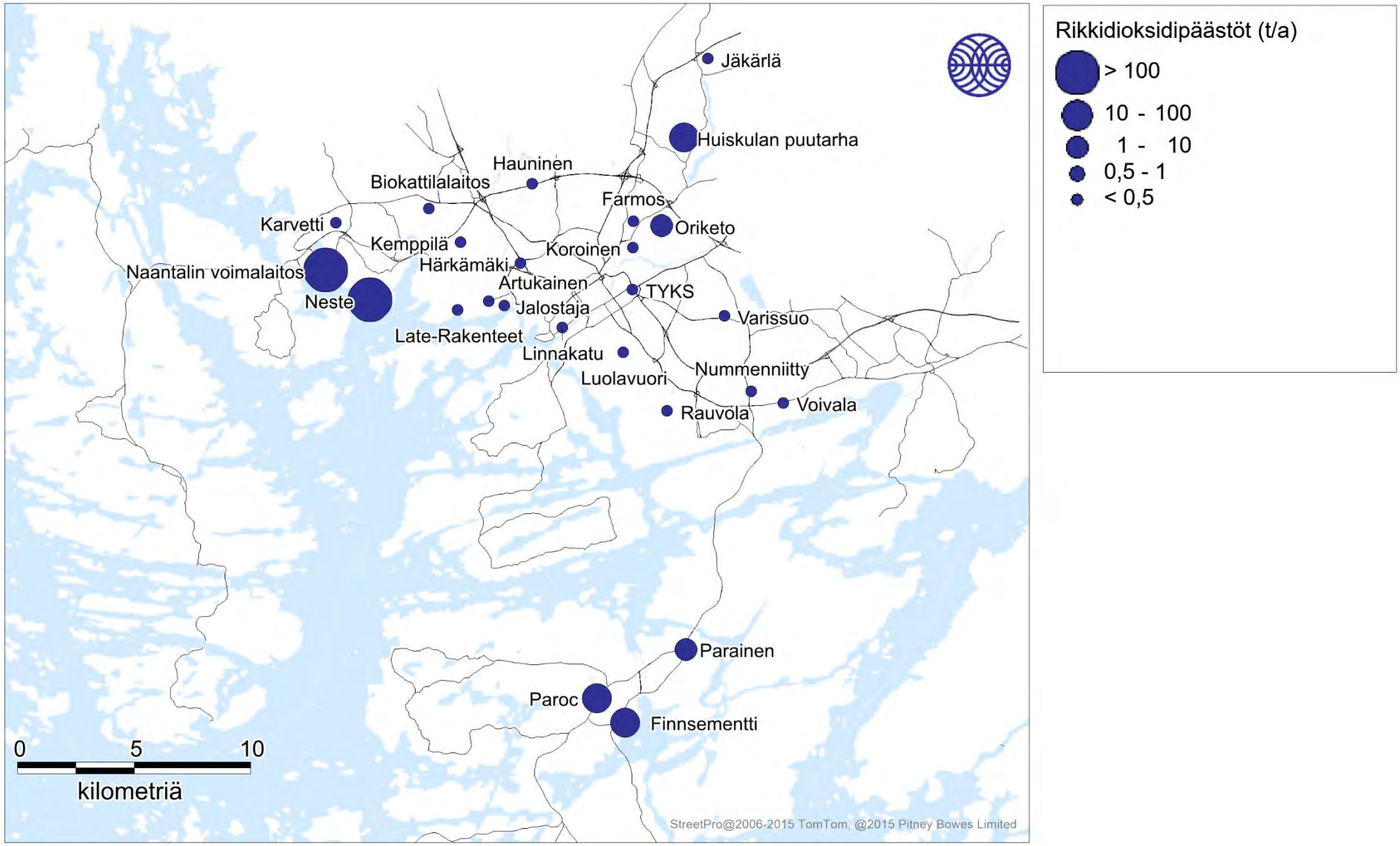
Kuva 66. Liikenteen katupölypäästöt eli PM10-suspensiopäästöt (kg/a/m) vuonna 2018.



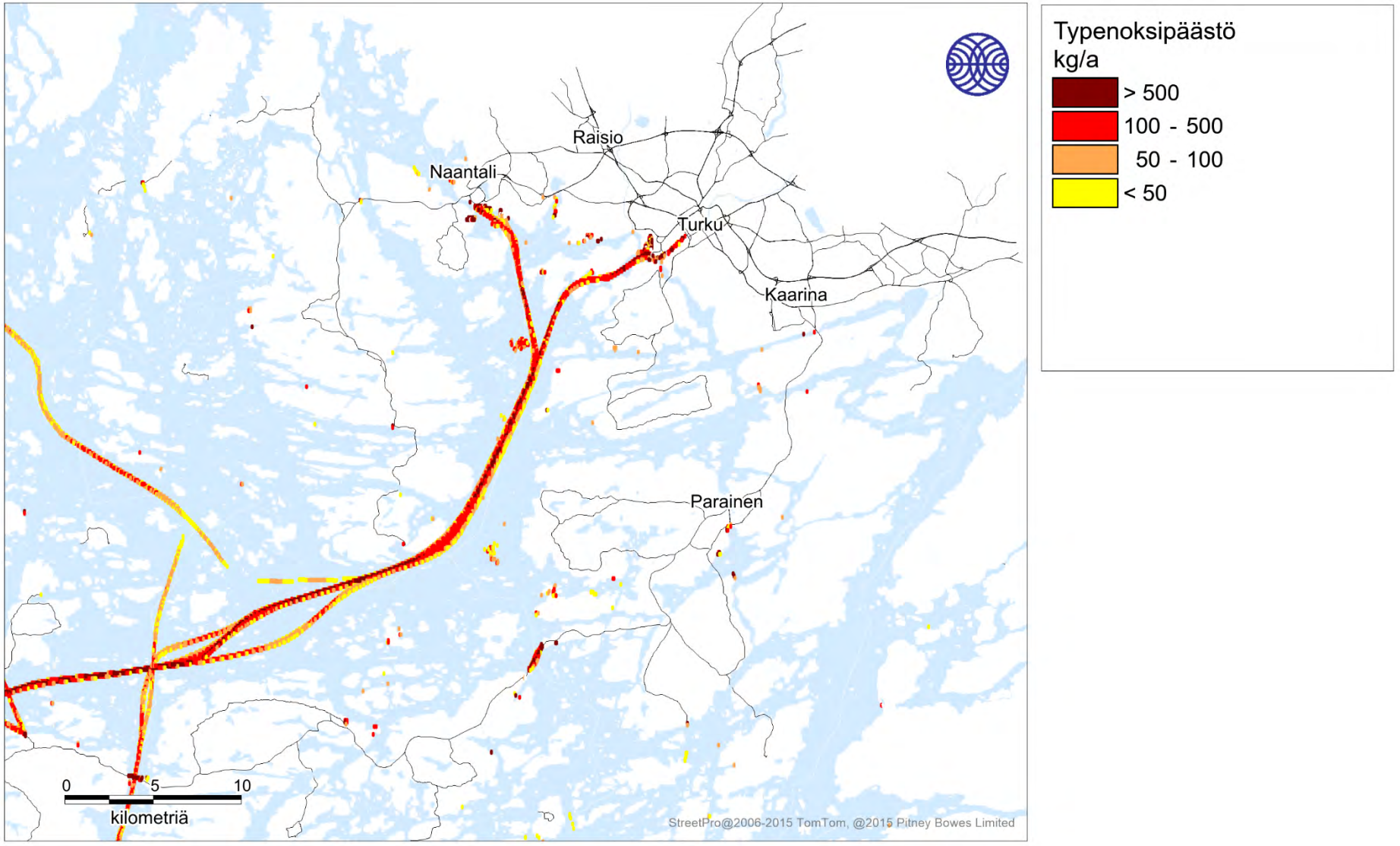
Kuva 67. Energiantuotannon ja teollisuuden NOx-päästöt (t/a) vuonna 2018.



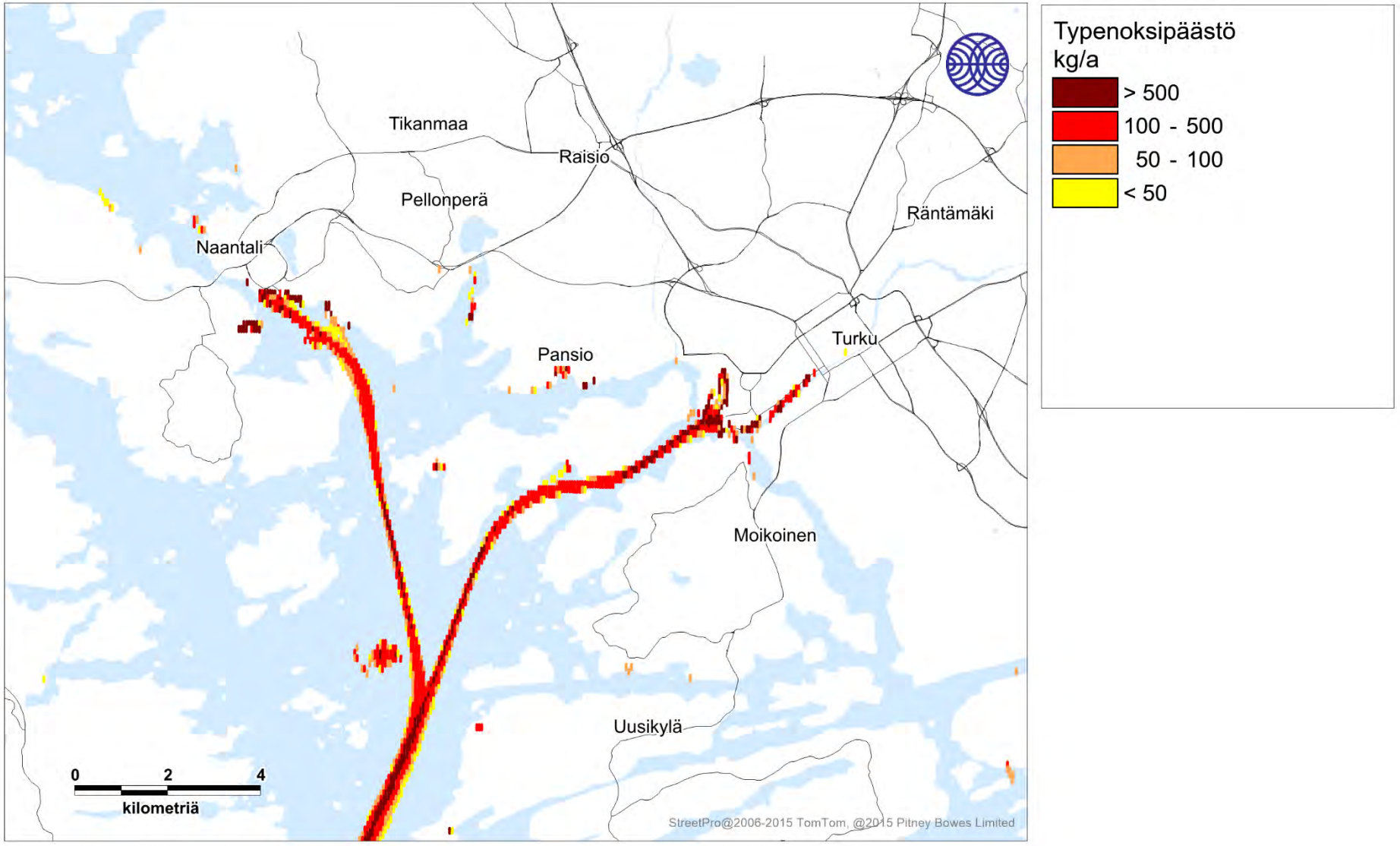
Kuva 68. Energiantuotannon ja teollisuuden pienhiukkaspäästöt (t/a) vuonna 2018.



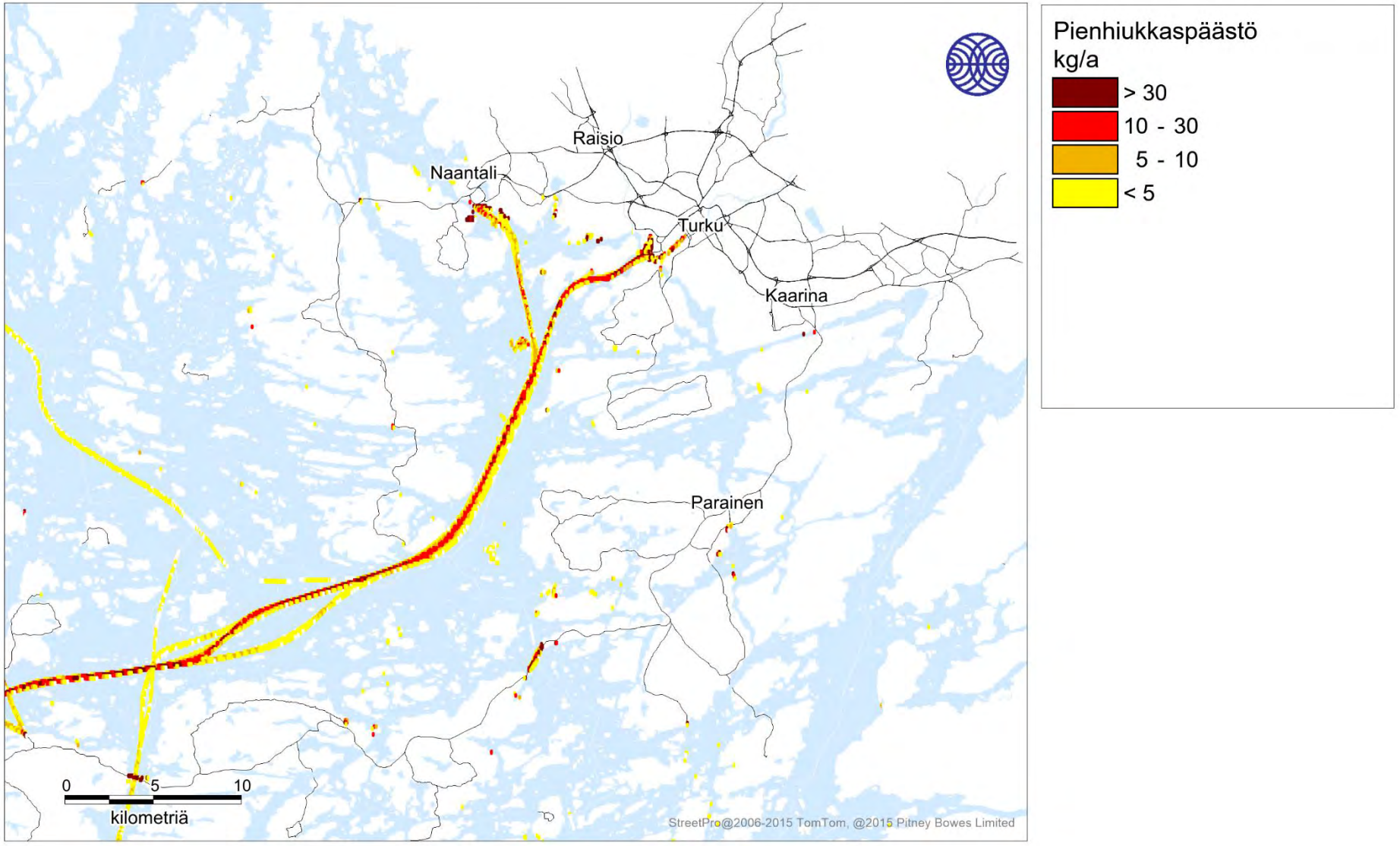
Kuva 69. Energiantuotannon ja teollisuuden rikkidioksidipäästöt (t/a) vuonna 2018.



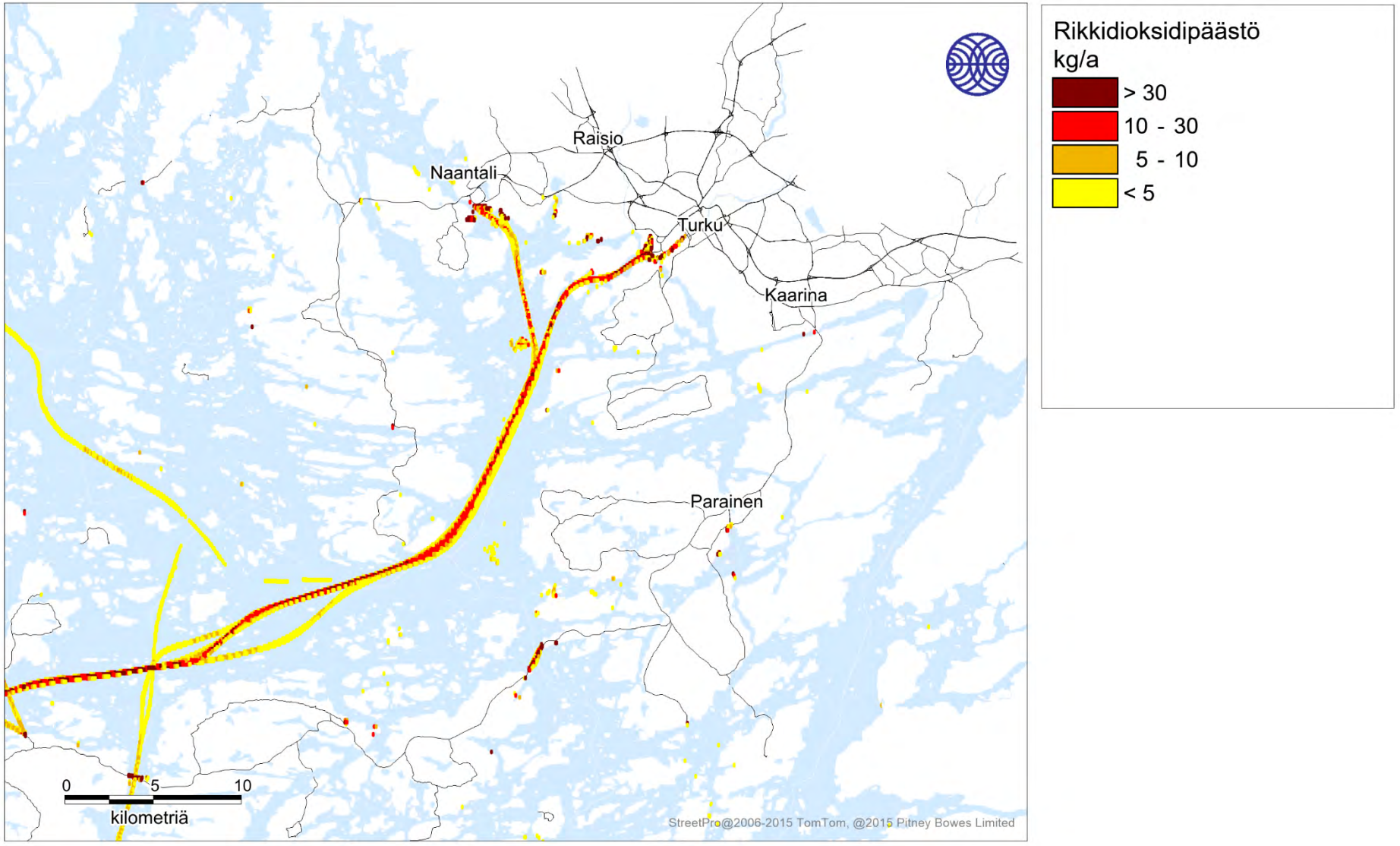
Kuva 70. Laivaliikenteen NOx-päästöt (kg/a/m) vuonna 2018.



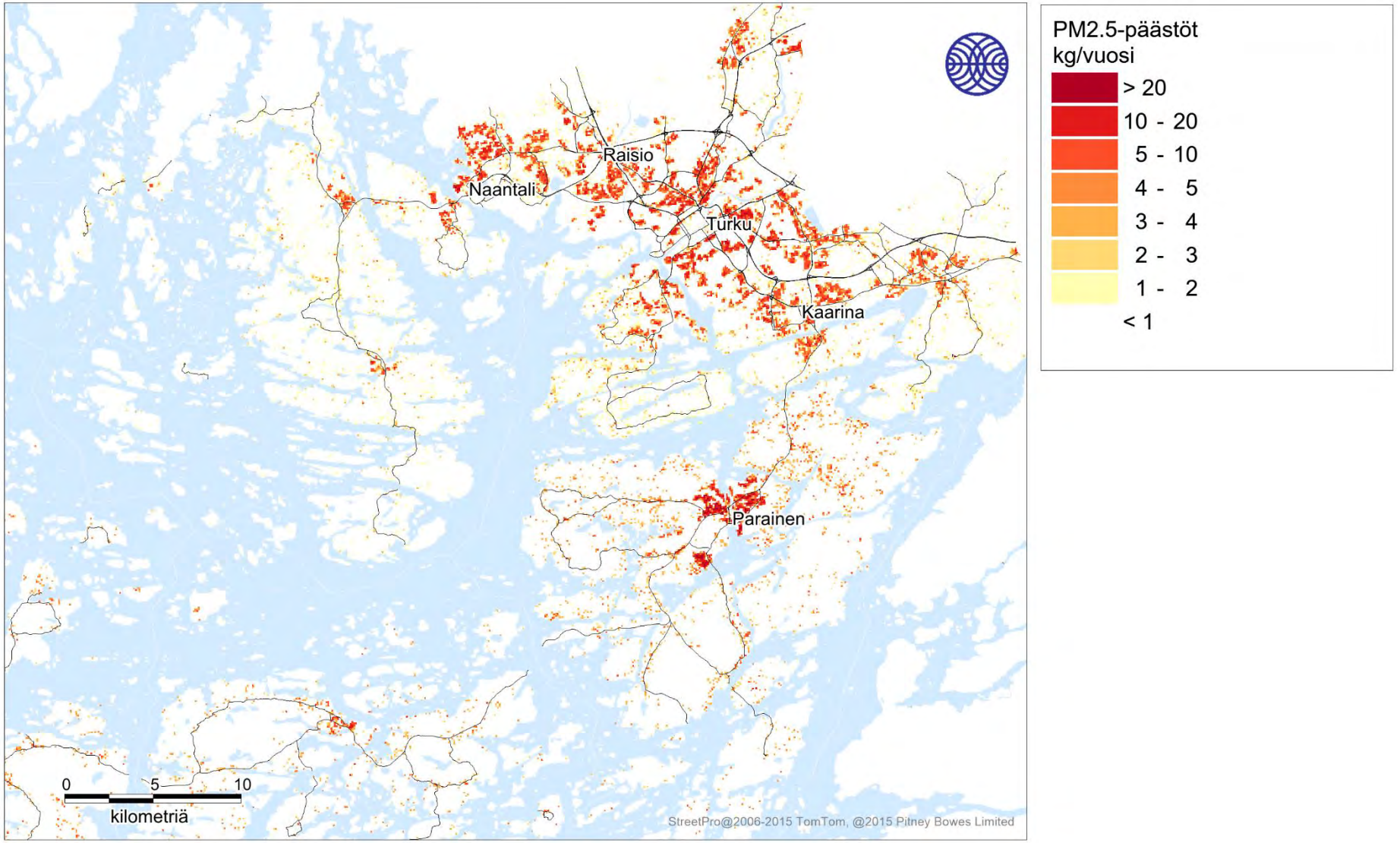
Kuva 71. Laivaliikenteen NOx-päästöt (kg/a/m) vuonna 2018.



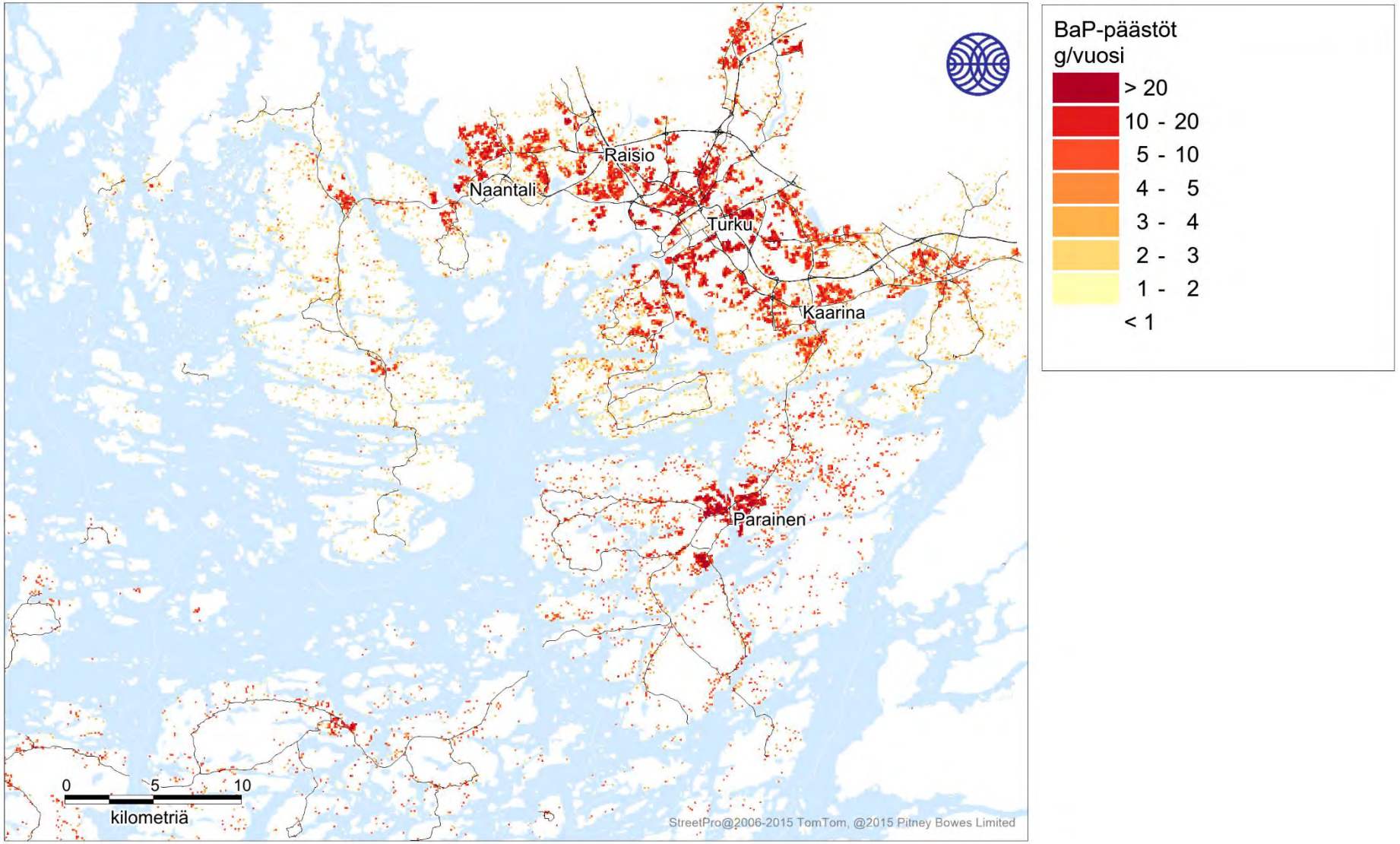
Kuva 72. Laivaliikenteen pienhiukkaspäästöt (kg/a/m) vuonna 2018.



Kuva 73. Laivaliikenteen SO2-päästöt (kg/a/m) vuonna 2018.



Kuva 74. Puunpolton pienhiukkaspäästöt (kg/a).



Kuva 75. Puunpolton bentso(a)pyreenipäästöt (g/a).

ILMATIETEEN LAITOS

ILMATIETEEN LAITOS
puh. 029 539 1000

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

WWW.ILMATIETEENLAITOS.FI