TURUN SEUDUN PÄÄSTÖJEN LEVIÄMISMALLISELVITYS

ENERGIANTUOTANNON, TEOLLISUUDEN, LAIVALIIKENTEEN JA AUTOLIIKENTEEN TYPENOKSIDI-, RIKKIDIOKSIDI- JA HIUKKASPÄÄSTÖJEN LEVIÄMISLASKELMAT

Jatta Salmi

Sari Lappi

Timo Rasila

Katja Lovén

Hanna Hannuniemi

ILMATIETEEN LAITOS
FINNISH METEOROLOGICAL INSTITUTE

TURUN SEUDUN PÄÄSTÖJEN LEVIÄMISMALLISELVITYS

ENERGIANTUOTANNON, TEOLLISUUDEN, LAIVALIIKENTEEN JA AUTOLIIKENTEEN TYPENOKSIDI-, RIKKIDIOKSIDI- JA HIUKKASPÄÄSTÖJEN LEVIÄMISLASKELMAT

Jatta Salmi
Sari Lappi
Timo Rasila
Katja Lovén
Hanna Hannuniemi

ILMATIETEEN LAITOS – ILMANLAADUN ASIANTUNTIJAPALVELUT
Helsinki 22.12.2009

TURUN SEUDUN PÄÄSTÖJEN LEVIÄMISMALLISELVITYS

Energiantuotannon, teollisuuden, laivaliikenteen ja autoliikenteen typenoksidi-, rikkidioksidi- ja hiukkaspäästöjen leviämislaskelmat

TIIVISTELMÄ

Tutkimuksessa arvioitiin Turun seudun energiantuotannon, teollisuuden, laivaliikenteen ja autoliikenteen typenoksidi-, rikkidioksidi- ja hiukkaspäästöjen aiheuttamia vaikutuksia ilmanlaatuun. Tutkimuksessa käytettiin Ilmatieteen laitoksella kehitettyjä leviämismalleja ja mallilaskelmien tuloksia verrattiin ilmanlaadun ohje- ja raja-arvoihin sekä Turun seudun ilmansuojelun yhteistyöryhmän tekemien ilmanlaadun mittausten tuloksiin. Tutkimuksen tarkoituksena oli hankkia tietoa Turun seudun ilmanlaadusta ja sen alueellisesta vaihtelusta sekä eri päästölähteiden vaikutusosuudesta ilmanlaatuun vuoden 2007 päästöjä kuvaavassa tilanteessa.

Leviämismallien lähtötietoina käytetyt päästöt kattavat suurimman osan Turun seudulla syntyvistä typenoksidien, rikkidioksidin ja hengitettävien hiukkasten päästöistä. Tutkimusalueen teollisuuden ja energiantuotannon rikkidioksidipäästöt olivat vuonna 2007 yhteensä 3 317 t/a, typenoksidipäästöt 5 393 t/a ja hiukkaspäästöt 405 t/a. Laivaliikenteen rikkidioksidipäästöt olivat 261 t/a, typenoksidipäästöt 1 793 t/a ja hiukkaspäästöt 64 t/a. Tutkimusalueen teiden ja katujen autoliikenteen rikkidioksidipäästöt olivat 2,7 t/a, typenoksidipäästöt 1 615 t/a ja suorat pienhiukkaspäästöt 116 t/a. Autoliikenne aiheutti lisäksi epäsuorasti tienpinnasta mekaanisesti irtoavia hiukkasia ja hiekoitushiekasta peräisin olevia hiukkasia noin 450−720 t/a vuodesta riippuen. Näiden päästöjen lisäksi mallinnuksessa otettiin huomioon myös alueelliset taustapitoisuudet, jotka arvioitiin Ilmatieteen laitoksen Utön ilmanlaadun mittausaseman tuloksista. Mallilaskelmien meteorologisina tietoina käytettiin Turun seudun ilmastollisia olosuhteita edustavaa vuosien 2005−2007 säähavainnoista muodostettua aineistoa.

Tutkimuksen tulosten mukaan Turun seudun päästöjen aiheuttamat rikkidioksidipitoisuudet ovat pieniä ja alittavat raja- ja ohjearvot selvästi. Merkittävimmät vaikuttajat rikkidioksidipitoisuuksien muodostumiseen ovat energiantuotannon, teollisuuden ja laivaliikenteen päästöt. Korkeimmat typpidioksidin ja hengitettävien hiukkasten pitoisuudet aiheutuvat autoliikenteen päästöjen ja kaukokulkeuman vaikutuksesta. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöt aiheuttavat vain vähäisen lisän Turun seudun typpidioksidin ja hengitettävien hiukkasten pitoisuuksiin. Energiantuotannon, teollisuuden, laivaliikenteen ja autoliikenteen päästöjen sekä alueellisen taustapitoisuuden yhdessä aiheuttamat typpidioksidin ja hengitettävien hiukkasten kokonaispitoisuudet ylittävät paikoittain Suomessa voimassa olevat raja- ja ohjearvot. Typpidioksidin raja-arvot ja hengitettävien hiukkasten vuorokausiraja-arvo ylittyvät yksittäisissä pisteissä Turun keskustan läheisyydessä vilkkaalla risteysalueella, jossa raja-arvot eivät kuitenkaan ole voimassa. Typpidioksidin ohjearvot ylittyvät laajemmalla alueella Turun keskustassa ja vilkkaimpien liikenneväylien varsilla. Huomattava on, että pitoisuudet laimenevat nopeasti keskusta-alueiden ja vilkkaimpien väylien ulkopuolella ja suurimmassa osassa tutkimusaluetta pitoisuudet ovat selvästi ohjearvotasoa pienempiä.

MODELLUTREDNING ÖVER EMISSIONER OCH SPRIDNING AV UTSLÄPP I ÅBOREGIONEN.

Spridningsberäkningar över utsläpp av kvävedioxid, svaveldioxid och partiklar från energiproduktion, industri, fartygstrafik och biltrafik.

SAMMANDRAG

I utredningen har man värderat hur luftkvaliteten påverkas av kvävedioxid-, svaveldioxid- och partikelutsläpp från energiproduktionen, industrin, fartygstrafiken och biltrafiken i Åboregionen. I utredningen användes spridningsmodeller som Meteorologiska Institutet har utvecklat. Resultaten från modellberäkningarna jämfördes med givna rikt- och gränsvärden för luftkvaliteten samt mätresultat utförda av samarbetsorganet för luftvård i Åboregionen. Avsikten med utredningen var att skaffa information om luftkvaliteten i Åboregionen och dess regionella variationer samt den inverkan som olika utsläppskällor har på luftkvaliteten. I utredningen användes utsläppsdata från år 2007.

Utgångsdata som användes i spridningsmodellerna representerar till stor del de kvävedioxid, svaveldioxid och inandningsbara partiklar som genereras i Åboregionen. De totala utsläppen år 2007 från industrin och energiproduktionen i området var följande: svaveldioxid 3 317 t/a, kvävedioxid 5 393 t/a och partiklar 405 t/a. Utsläpp från fartygstrafiken: svaveldioxid 261 t/a, kvävedioxid 1 793 t/a och partiklar 64 t/a. Utsläpp från biltrafiken på vägar och gator: svaveldioxid 2,7 t/a, kvävedioxid 1 615 t/a och direkta småpartiklar 116 t/a. Biltrafiken orsakade dessutom indirekt partiklar som mekaniskt slits från vägbanan och partiklar som härrör sej från sand som använts vid sandning vintertid. Denna mängd utgör 450–720 t/a och varierar från år till år. Förutom dessa utsläppsdata användes i modellberäkningarna även regionala bakgrundsdata som beräknades utgående från luftkvalitetsdata från Meteorologiska Institutets mätstation på Utö. I modellberäkningarna användes även data och information från Åboregionens meteorologiska mätningar från åren 2005–2007, som representerar de klimatologiska förhållandena i regionen.

På basen av de utförda beräkningarna är svaveldioxidhalterna orsakade av emissioner i Åboregionen små och underskrider klart givna gräns- och riktvärden. De märkbaraste största källorna för svaveldioxidhalterna är utsläpp från energiproduktionen, industrin och fartygstrafiken. De största halterna av kvävedioxid och inandningsbara partiklar orsakas som följd av biltrafiken och fjärrtransport av luftföroreningar. Utsläppen från energiproduktionen och industrin orsakar endast en mindre ökning av kvävedioxid- och partikelhalterna i Åboregionen. De totala halterna av kvävedioxid och inandningsbara partiklar orsakade av energiproduktionen, industrin, fartygstrafiken, biltrafiken samt de regionala bakgrundshalterna överskrider ställvis de gräns- och riktvärden som är i kraft i Finland. Gränsvärdena för kvävedioxid och dygnsgränsvärdena för partiklar överskrids på enskilda punkter i närheten av livligt trafikerade korsningar av Åbo centrum, där givna gränsvärden emellertid inte är gällande. Gränsvärden för kvävedioxid överskrids på ett vidare område i Åbo centrum och vid livligt trafikerade leder. Det bör observeras att halterna snabbt avtar på områden utanför centrum och livligt trafikerade leder och i större delen av utredningsområdet är halterna klart lägre än givna riktvärden.

TURKU REGION EMISSION DISPERSION MODELLING STUDY

Dispersion modelling calculations of nitrogen oxide, sulphur dioxide and particle emissions from energy production, industry, ship traffic ad road traffic

SUMMARY

The dispersion modelling calculations were carried out to assess the air quality impact of nitrogen oxide, sulphur dioxide and particle emissions from energy production, industry, ship traffic and road traffic in Turku region. The dispersion models used in the calculations were developed in the Finnish Meteorological Institute and the results were compared to the air quality guideline and limit values valid in Finland and to the air quality measurements carried out by the Turku region air protection working group. The aim of the study was to obtain information of the air quality and its regional variation and of the impact of different emission categories to overall air quality. The emission used in the calculations represented the situation in Turku Region in 2007.

The emissions used as the input data in the calculations covered most of the nitrogen oxide, sulphur dioxide and particle emissions created in the Turku Region. In the year 2007 energy production and industry produced 3 317 t/a of sulphur dioxide emissions, 5 393 t/a of nitrogen oxide emissions and 405 t/a of particle emissions. Ship traffic produced 261 t/a of sulphur dioxide emissions, 1 793 t/a of nitrogen oxide emissions and 64 t/a of particle emissions. The road traffic generated 2.7 t/a of sulphur dioxide emissions, 1 615 t/a of nitrogen oxide emissions and 116 t/a of direct fine particle emissions. In addition road traffic produced 450−720 t/a of indirect respirable particles that were generated mechanically from the road surface or due to winter sanding. The regional background concentrations used in the calculations were taken from the data measured in the Utö air quality measurement station. The meteorological data used in the calculations represented the climatical conditions in Turku region during the years 2005−2007.

According to the result of the dispersion modelling calculations, the sulphur dioxide concentrations in Turku region are low and clearly below the limit and guideline values. Emissions from energy production, industry and ship traffic have the biggest impact to the sulphur dioxide concentrations. The highest nitrogen dioxide and particle concentrations are caused by the road traffic emissions and the long-range transportation of pollutants. The emissions from energy production and industry have very small impact to the nitrogen dioxide and particle concentration levels. The highest nitrogen dioxide and particle concentrations caused by the energy production, industry, ship traffic and road traffic emissions and the regional background concentrations exceed the limit and guideline values valid in Finland. The limit values for annual nitrogen dioxide concentrations and 24-hour respirable particle concentrations are exceeded in a busy intersection in the Turku city centre. The limit values are however not valid in traffic routes. The national guideline values for nitrogen dioxide are exceeded in larger areas in the city centre and along busy traffic routes. The concentrations are significantly lower outside the city centre and busy traffic routes and are clearly below the limit and guideline values in most parts of the Turku region.

SISÄLLYSLUETTELO

1 JOHDANTO ... 6

2 TAUSTATIETOA ILMANSAASTEISTA ... 6

2.1 Ilmanlaatuun vaikuttavat tekijät ... 6

2.2 Typpidioksidi ... 7

2.3 Rikkidioksidi ... 8

2.4 Hiukkaset ... 8

2.5 Ilmanlaadun raja- ja ohjearvot ... 9

3 MENETELMÄT ... 11

3.1 Leviämismallilaskelmien kuvaus ... 11

3.2 Leviämismallilaskelmien lähtötiedot ... 14

3.2.1 Energiantuotannon ja teollisuuden lähtötiedot ... 15

3.2.2 Laivaliikenteen lähtötiedot ... 15

3.2.3 Autoliikenteen lähtötiedot ... 16

3.2.4 Kaikkien lähteiden päästöt ... 17

3.2.5 Meteorologiset tiedot ja taustapitoisuustiedot ... 18

4 TULOKSET ... 20

4.1 Typpidioksidipitoisuudet (NO_2) ... 20

4.2 Rikkidioksidipitoisuudet (SO_2) ... 21

4.3 Hengitettävien hiukkasten (PM_{10}) pitoisuudet ... 22

4.4 Typpi- ja rikkilaskeuma ... 24

4.5 Mallilaskelmien tulosten vertailu ilmanlaadun mittauksiin ... 25

4.6 Mallilaskelmien tulosten vertailu edellisen tutkimuksen tuloksiin ... 30

4.7 Ilmanlaadun seuranta alueella ... 31

5 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET ... 32

VIITELUETTELO ... 34

LIITEKUVAT

1 JOHDANTO

Tässä tutkimuksessa selvitettiin leviämismallilaskelmilla Turun seudun kuntien energiantuotannosta, teollisuudesta, laivaliikenteestä ja autoliikenteestä vapautuvien päästöjen ilmanlaatuvaikutuksia. Tutkimus kattoi Kaarinan, Länsi-Turunmaan, Naantalin, Raision ja Turun alueet. Tarkastelun kohteena olivat typenoksidien, rikkidioksidin ja hiukkasten päästöt vuodelta 2007. Mallilaskelmat tehtiin kolmen vuoden (2005–2007) mittaiselle jaksolle. Laskelmien tuloksina saatuja pitoisuuksia verrattiin ilmanlaadun ohje- ja rajaarvoihin

Työn tilasi Turun seudun ilmansuojelun yhteistyöryhmän valtuuttamana Fortum Power and Heat Oy. Rahoittajana toimivaan Turun seudun ilmansuojelun yhteistyöryhmään kuuluvat Turun, Raision, Naantalin ja Kaarinan kaupunkien lisäksi Fortum Power and Heat Oy, Neste Oil Oyj, Turku Energia Oy, Varissuon Lämpö Oy, Turun Satama ja STX Finland. Lisäksi tutkimukseen ja sen kustannuksiin osallistuivat Länsi-Turunmaan kaupunki, Finnsementti Oy, Paroc Oy ja Nordkalk Oyj. Laskelmat tehtiin Ilmatieteen laitoksella, Ilmanlaadun asiantuntijapalvelut -yksikössä.

2 TAUSTATIETOA ILMANSAASTEISTA

2.1 Ilmanlaatuun vaikuttavat tekijät

Ilmanlaatua heikentävien ilmansaasteiden suurimpia päästölähteitä Suomessa ovat liikenne, energiantuotanto, teollisuus ja puun pienpoltto. Ilmansaasteita kulkeutuu Suomeen myös kaukokulkeumana maamme rajojen ulkopuolelta. Ilmansaasteiden päästöistä suurin osa vapautuu ilmakehän alimpaan kerrokseen, jota kutsutaan 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.

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, jonka vuoksi ilmansaasteet laimenevat huonosti. Inversiotilanteissa pitoisuudet kohoavat taajamissa etenkin liikenneruuhkien aikana, koska ilmansaasteet kerääntyvät matalaan ilmakerrokseen päästölähteiden lähelle.

2.2 Typpidioksidi

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

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

Typpidioksidille herkimpiä väestöryhmiä ovat lapset ja astmaatikot, joiden hengitysoireita kohonneet pitoisuudet voivat lisätä suhteellisen nopeasti. Pakkaskaudella tapahtuva typpidioksidipitoisuuden kohoaminen on erityisen haitallista astmaatikoille, koska jo puhtaan kylmän ilman hengittäminen rasituksessa aiheuttaa useimmille astmaatikoille keuhkoputkien supistusta ja typpidioksidi pahentaa tästä aiheutuvia oireita kuten hengenahdistusta ja yskää.

Ilmatieteen laitoksella tehdyn ilmanlaadun alustavan arvioinnin (*Pietarila ym., 2001*) tulosten mukaan typpidioksidipitoisuuden raja-arvot voivat nykyisin ylittyä etenkin suurimpien kaupunkien vilkkaasti liikennöidyillä keskusta-alueilla lähinnä liikenneväylien ja risteyksien läheisyydessä. Korkeimmillaan vuosikeskiarvot ovat olleet ilmanlaadun mittausten mukaan Helsingin vilkasliikenteisimmillä alueilla noin 40−50 $\mu g/m^3$. Yleensä Suomen kaupungeissa vuosikeskiarvot ovat noin 20−30 $\mu g/m^3$. Puhtailla tausta-alueilla tehtyjen ilmanlaatumittausten mukaan typpidioksidin vuosikeskiarvot ovat olleet Etelä-Suomessa noin 2–8 $\mu g/m^3$ ja Pohjois-Suomessa noin 1 $\mu g/m^3$.

2.3 Rikkidioksidi

Ulkoilman rikkidioksidipitoisuudet ovat nykyisin alhaisella tasolla Suomessa. Rikkidioksidipäästöjen voimakkaan vähenemisen seurauksena taajama-alueiden 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 häiriöpäästötilanteissa. Puhtailla tausta-alueilla rikkidioksidipitoisuuden vuosikeskiarvot ovat olleet noin 1−2 $\mu g/m^3$.

2.4 Hiukkaset

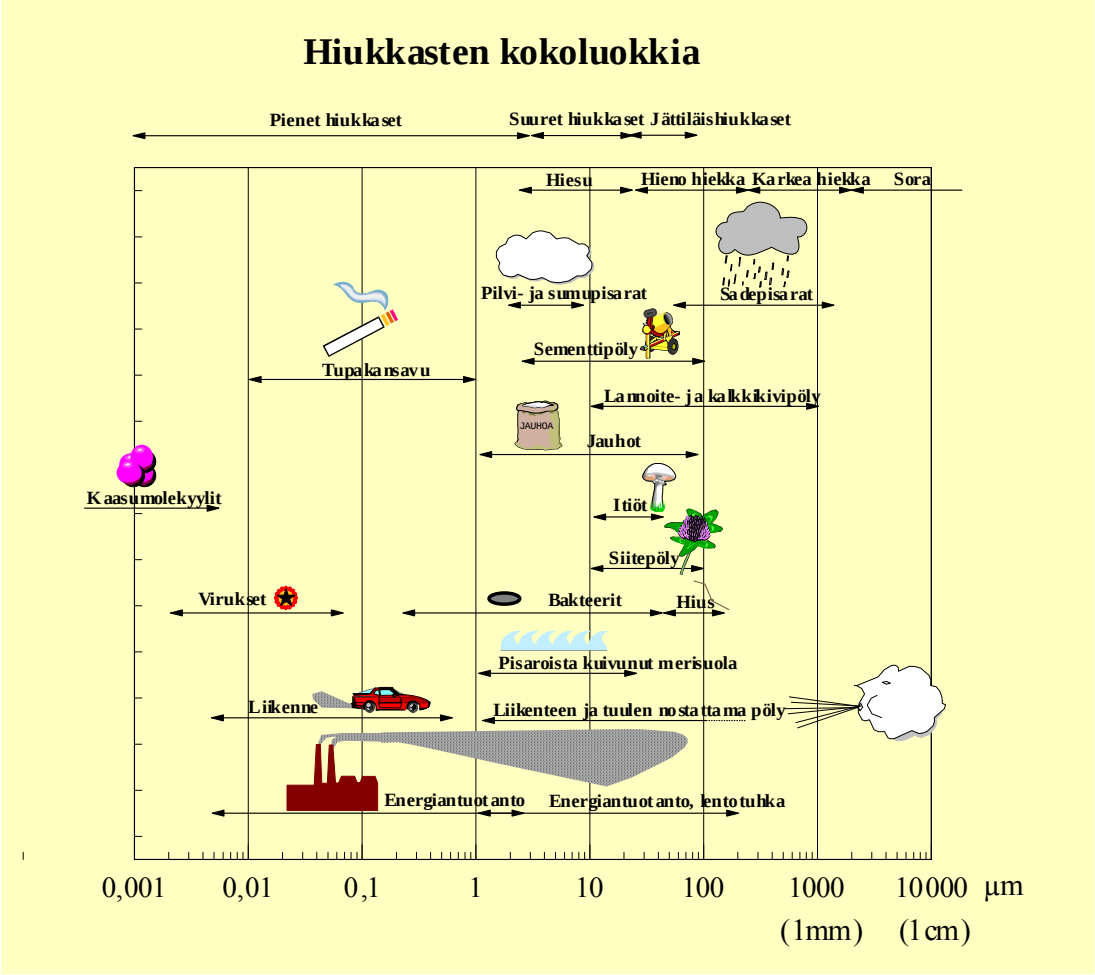
Ulkoilman hiukkaset ovat nykyisin merkittävimpiä ilmanlaatuun vaikuttavia tekijöitä Suomen kaupungeissa. Pienhiukkasia pidetään länsimaissa haitallisimpana ympäristötekijänä ihmisten terveydelle. Ulkoilman hiukkaset ovat taajamissa suurelta osin peräisin liikenteen ja tuulen nostattamasta katupölystä (ns. resuspensio) eli epäsuorista päästöistä. Hiukkaspitoisuuksia kohottavat myös nk. suorat hiukkaspäästöt, jotka ovat peräisin energiantuotannon ja teollisuuden prosesseista, autojen pakokaasuista ja puun pienpoltosta. Suorat hiukkaspäästöt ovat pääasiassa pieniä hiukkasia. Hiukkasiin on sitoutunut myös erilaisia haitallisia yhdisteitä kuten hiilivetyjä ja raskasmetalleja.

Ulkoilman hiukkasten koko on yhteydessä niiden aiheuttamiin erilaisiin vaikutuksiin. Suurempien hiukkasten korkeat pitoisuudet vaikuttavat merkittävimmin viihtyvyyteen ja aiheuttavat likaantumista. Terveysvaikutuksiltaan haitallisempia ovat ns. hengitettävät hiukkaset ja pienhiukkaset, jotka kykenevät tunkeutumaan syvälle ihmisten hengitysteihin. Hengitettäville hiukkasille, joiden halkaisija on alle 10 mikrometriä (PM_{10}), on annettu ilmanlaadun ohje- ja raja-arvot. Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet kohoavat erityisesti keväällä, jolloin jauhautunut hiekoitushiekka ja asfalttipöly nousevat ilmaan kuivilta kaduilta liikenteen nostattamana. Pienhiukkaset, joiden halkaisija on alle 2,5 mikrometriä ($PM_{2,5}$), ovat pääasiassa peräisin suorista autoliikenteen ja teollisuuden päästöistä ja kaukokulkeumasta, jonka lähde voi olla esimerkiksi metsä- ja maastopalot. Hiukkasten kokoluokkia on havainnollistettu kuvassa A.

Suurimmat hiukkaspitoisuudet esiintyvät vilkkaasti liikennöidyissä kaupunkikeskustoissa. Suomessa hiukkaspitoisuudet kohoavat yleensä voimakkaasti keväällä maalis–huhtikuussa, kun maanpinnan kuivuessa tuuli ja liikenne nostattavat katupölyä ilmaan. Liikenteen vaikutukset korostuvat matalan päästökorkeuden vuoksi. Hengitettäville hiukkasille annettu vuorokausiohjearvo ylittyy keväisin yleisesti Suomen kaupungeissa. Hengitettävien hiukkasten vuorokausipitoisuudelle annettu raja-arvo on sen sijaan ylittynyt viime vuosina vain Helsingin keskustassa.

Maamme suurimpien kaupunkien keskusta-alueilla on mitattu useina vuosina yli 25 $\mu g/m^3$:n hengitettävien hiukkasten pitoisuuden vuosikeskiarvoja. Hengitettävien hiukkasten vuosipitoisuudelle annettu raja-arvo 40 $\mu g/m^3$ on kuitenkin alittunut Suomessa. Pienempien kaupunkien keskusta-alueilla hengitettävien hiukkasten pitoisuuden vuosikeskiarvot voivat ylittää 20 $\mu g/m^3$ ja kaupunkien keskusta-alueiden ulkopuolella pitoisuudet ovat olleet yli 10 $\mu g/m^3$ (*Pietarila ym., 2001*). Puhtailla tausta-alueilla

vuosikeskiarvopitoisuudet ovat olleet Etelä-Suomessa noin 10−12 µg/m³ ja Pohjois-Suomessa noin 3 µg/m³.



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

2.5 Ilmanlaadun raja- ja ohjearvot

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

Raja-arvot määrittelevät ilmansaasteille sallitut korkeimmat pitoisuudet. Raja-arvoilla pyritään vähentämään tai ehkäisemään terveydelle ja ympäristölle haitallisia vaikutuksia. Raja-arvon ylittyessä kunnan tai alueellisen ympäristökeskuksen 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. Ilmansaasteiden aiheuttamien terveyshaittojen ehkäisemiseksi ulkoilman typpidioksidin, rikkidioksidin ja hengitettävien hiukkasten pitoisuudet eivät saisi ylittää taulukon 1 raja-arvoja alueilla, joilla ihmiset saattavat altistua ilmansaasteille.

Taulukko 1. Terveyshaittojen ehkäisemiseksi annetut ulkoilman typpidioksidin, rikkidioksidin ja hengitettävien hiukkasten pitoisuuksia koskevat raja-arvot (*Vna 711/2001*).

Aine	Keskiarvon laskenta-aika	Raja-arvo µg/m^3 (293 K, 101,3 kPa)	Sallittujen ylitysten määrä kalenteri-vuodessa (vertailujakso)	Ajankohta, jolloin pitoisuuksien viimeistään tulee olla raja-arvoa pienemmät
Typpidioksidi (NO_2)	1 tunti	200	18	1.1.2010
	kalenterivuosi	40	–	1.1.2010
Rikkidioksidi (SO_2)	1 tunti	350	24	1.1.2005
	24 tuntia	125	3	1.1.2005
Hengitettävät hiukkaset (PM_{10})	24 tuntia	50 [1)]	35	1.1.2005
	kalenterivuosi	40 [1)]	–	1.1.2005

1) Tulokset ilmaistaan ulkoilman lämpötilassa ja paineessa.

Typen oksidien (NO_x) vuosiraja-arvo 30 µg/m^3 ja rikkidioksidin vuosiraja-arvo 20 µg/m^3 on annettu kasvillisuuden ja ekosysteemien suojelemiseksi ja ne ovat voimassa laajoilla maa- ja metsätalousalueilla ja luonnonsuojelun kannalta merkityksellisillä alueilla.

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, rikkidioksidin ja hengitettävien hiukkasten pitoisuuksia koskevat ilmanlaadun ohjearvot on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Ulkoilman typpidioksidin, rikkidioksidin ja hengitettävien hiukkasten pitoisuuksia koskevat ilmanlaadun ohjearvot (*Vnp 480/1996*).

Ilmansaaste	Ohjearvo (20 °C, 1 atm)	Tilastollinen määrittely
Typpidioksidi (NO_2)	150 µg/m³	Kuukauden tuntiarvojen 99. prosenttipiste
	70 µg/m³	Kuukauden toiseksi suurin vuorokausiarvo
Rikkidioksidi (SO_2)	250 µg/m³	Kuukauden tuntiarvojen 99. prosenttipiste
	80 µg/m³	Kuukauden toiseksi suurin vuorokausiarvo
Hengitettävät hiukkaset (PM_{10})	70 µg/m³	Kuukauden toiseksi suurin vuorokausiarvo

3 MENETELMÄT

3.1 Leviämismallilaskelmien kuvaus

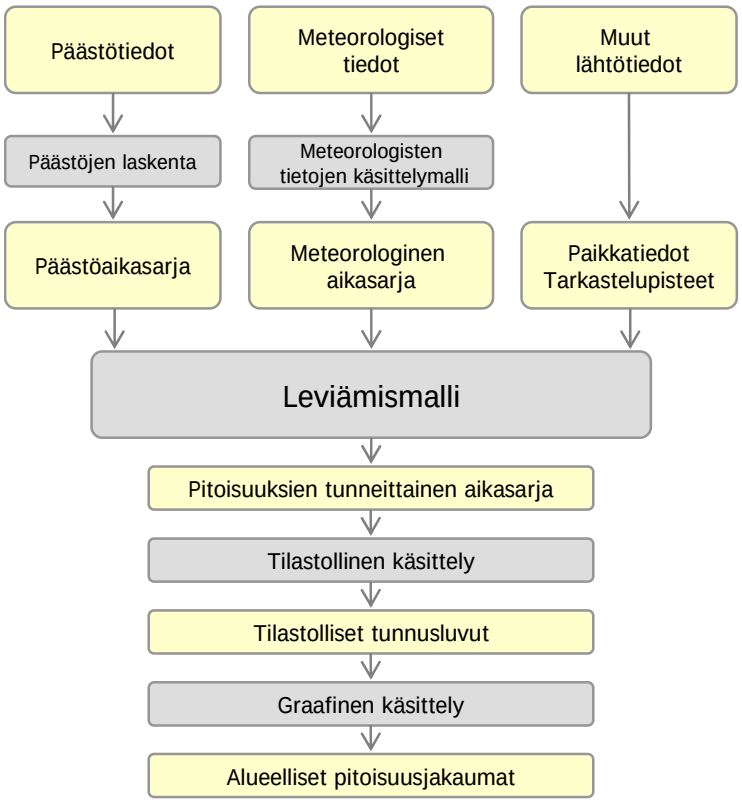
Ilmansaasteiden leviämismalleilla tutkitaan eri ilmansaasteiden kulkeutumista ilmakehässä ja ilmansaasteiden pitoisuuksien muodostumista tutkimusalueelle. Malleihin sisältyy usein myös laskentamenetelmiä, joiden avulla voidaan kulkeutumisen lisäksi tarkastella ilmansaasteiden muuntumista ja kemiallisia reaktioita ilmakehässä sekä poistumista ilmakehästä laskeumana. Tässä tutkimuksessa käytettiin Ilmatieteen laitoksella kehitettyjä leviämismalleja energiantuotannon, teollisuuden, tieliikenteen ja laivaliikenteen päästöjen leviämisen kuvaamiseen ja niiden ilmanlaatuvaikutusten arvioimiseen.

Ilmatieteen laitoksen leviämismalleja on kehitetty pitkäjänteisesti tavoitteena tuottaa luotettavaa tietoa ilmanlaadusta mm. kaupunki- ja liikennesuunnittelun ja ilmansuojelutoimenpiteiden suunnittelun tueksi sekä pitoisuuksien ja väestön altistumisen arvioimiseksi. Mallien toimintaa on kehitetty lukuisissa tutkimusprojekteissa, ja verifiointitutkimusten mukaan mallinnusten tulokset on todettu hyvin yhteensopiviksi Suomen taajamien ja teollisuusympäristöjen ilmanlaadun mittaustulosten kanssa. Nykyisissä Ilmatieteen laitoksen leviämismalleissa kuvataan tarkasti päästökohdassa tapahtuvaa mekaanista ja lämpötilaeroista johtuvaa nousulisää, lähimpien esteiden aiheuttamaa savupainumaa, ilmassa tapahtuvia päästöaineiden kemiallisia prosesseja sekä ilmansaasteiden poistumamekanismeja ilmakehästä. Malleihin sisältyy laskentamenetelmä typenoksidien kemialliselle muutunnalle. Liikenteen ja energiantuotannon typenoksidipäästöt koostuvat typpidioksidista sekä typpimonoksidista, jota on valtaosa päästöistä. Osa typpimonoksidista hapettuu ilmassa terveydelle haitallisemmaksi typpidioksidiksi.

Tässä selvityksessä käytetyillä leviämismalleilla voidaan arvioida ilmansaasteiden pitoisuuksia ja laskeumaa päästölähteiden lähialueilla. Autoliikenteen ja laivaliikenteen päästöjen aiheuttamia ilmanlaatuvaikutuksia arvioitiin viivalähdemallilla CAR-FMI (Contaminants in the Air from a Road; *Karppinen, 2001; Härkönen ym., 1996*) ja

pistemäisten päästölähteiden (esim. piippujen) ilmanlaatuvaikutuksia kaupunkimallilla UDM-FMI (Urban Dispersion Modelling system; *Karppinen, 2001*). Typpi- ja rikkilaskeuman mallintamiseen käytettiin rikki- ja typpilaskeumalleja, jotka ovat kaupunkimallin erikoissovelluksia. Lisäksi hengitettävien hiukkasten pitoisuuksien laskelmissa käytettiin suspensiopäästömallia, jolla kuvattiin liikenteen epäsuoria vaikutuksia hiukkaspitoisuuksiin. Tämä malli perustuu *Omstedtin ym., (2005)* kehittämään hiukkaspäästömalliin.

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. Kaaviokuva leviämismallin toiminnasta on esitetty kuvassa B.



Kuva B. Kaaviokuva Ilmatieteen laitoksella kehitettyjen leviämismallien, viivalähdemallin (CAR-FMI) ja kaupunkimallin (UDM-FMI), toiminnasta.

Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen laskennassa huomioidaan lähdekohtaiset päästöt, savukaasujen ominaisuudet ja laitosten tekniset tiedot. Laivaliikenteen päästölaskentaan otetaan mukaan laivaväylillä liikkuvien laivojen päästöt, satamissa paikoillaan seisovien laivojen päästöt sekä laivan liikkeelle lähtiessä ja satamaan saapuessa syntyvät manoveerauksen päästöt. Laskennassa huomioidaan laivakäyntien määrät satamissa ja erityyppisten alusten osuudet, aluskohtaiset konetehot, aluskohtaiset päästökorkeudet ja päästömäärät sekä alusten nopeudet laivaväylillä. Lisäksi huomioi-

daan aluksissa mahdollisesti olevat katalysaattorit sekä aluksen käyttämän polttoaineen rikkipitoisuus. Laivakäyntitietoja käytetään mallinnuksessa tarvittavaan päästöjen tunneittaisen aikavaihtelun tekemiseen. Autoliikenteen päästölaskennassa huomioidaan liikennemäärät ja niiden tunneittainen vaihtelu liikennelaskentatietojen perusteella, erityyppisten ajoneuvojen osuudet liikennemääristä, liikennevirtojen nopeudet nopeusrajoitustietojen perusteella sekä ajoneuvokohtaiset päästökertoimet. Leviämislaskelmia varten muodostetaan kaikille eri päästölähteille päästöaikasarjat, joissa on jokaiselle tarkastelujakson tunnille (1–3 vuotta, 8760–26304 tuntia) laskettu päästömäärä erikseen eri ilmansaasteille.

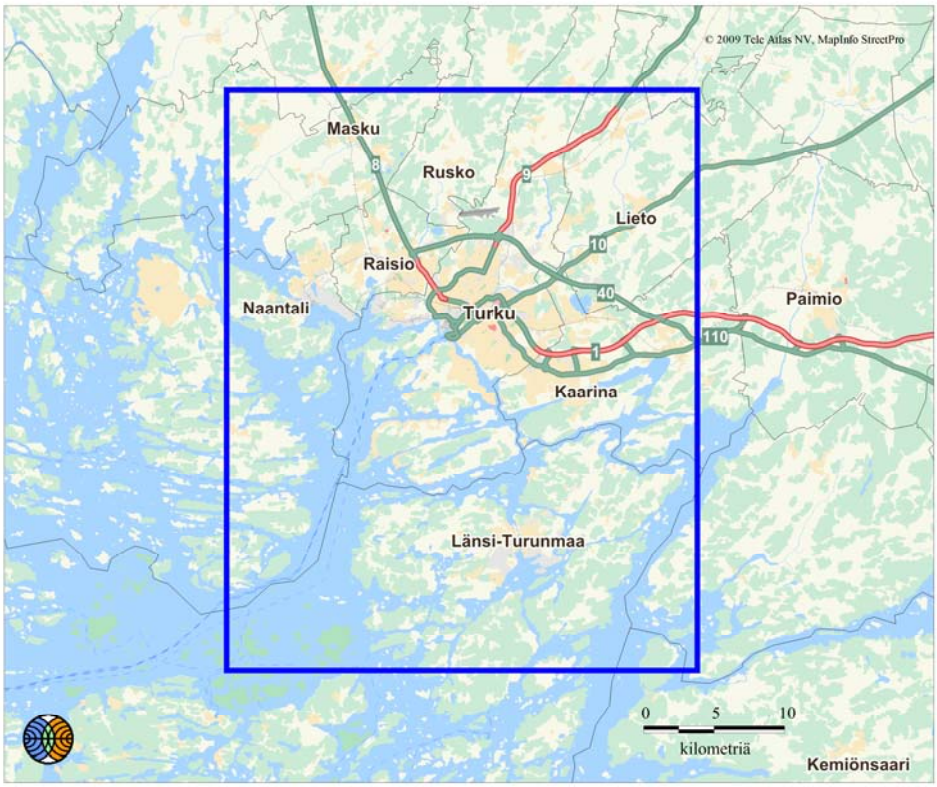
Leviämismallin tarvitseman meteorologisen aikasarjan muodostuksessa käytetään Ilmatieteen laitoksella kehitettyä meteorologisten tietojen käsittelymallia, joka perustuu ilmakehän rajakerroksen parametrisointimenetelmään (*Rantakrans, 1990; Karppinen, 2001*). Menetelmän avulla voidaan meteorologisten rutiinihavaintojen ja fysiikan perusyhtälöiden avulla arvioida rajakerroksen tilaan vaikuttavat muuttujat, joita tarvitaan ilmansaasteiden leviämismallilaskelmissa. Tarvittavat mittaustiedot saadaan Ilmatieteen laitoksen havaintotietokantaan tallennetuista sää-, auringonpaiste- ja radioluotaushavainnoista. Menetelmässä huomioidaan tutkimusalueen paikalliset tekijät, kuten leviämisalustan rosoisuus ja vuodenaikaiset albedoarvot (maanpinnan kyky heijastaa auringon säteilyä) eri maanpinnan laaduille. Laskelmissa käytetään yleensä 1–3 vuoden pituista tutkimusalueen sääolosuhteita edustavaa meteorologista aineistoa. Laskelmissa käytettäviksi sääasemiksi valitaan tutkimusaluetta lähimpänä sijaitsevat sääasemat, joilla mitataan kaikkia mallin tarvitsemia suureita. Tuulen suunta- ja nopeustiedot muodostetaan kahden tai useamman sääaseman havaintojen etäisyyspainotettuna tilastollisena yhdistelmänä. Lopputuloksena saadaan leviämismalleissa tarvittavien meteorologisten tietojen tunneittaiset aikasarjat.

Laskeumalla tarkoitetaan yhdisteiden poistumista ilmasta maahan, kasvillisuuteen ja veteen. Poistuminen voi tapahtua joko sateen mukana märkälaskeumana tai kuivalaskeumana suoraan erilaisille pinnoille. Laskeuman suuruuteen ja laskeumanopeuteen vaikuttavat mm. rajakerroksen turbulenttisuus, tuulen nopeus, ulkoilman lämpötila, vuoden- ja vuorokaudenaika sekä maanpinnan rosoisuus ja leviämisalustan laatu. Alustan laadulla on merkittävä vaikutus laskeumanopeuteen. Kaupunkiympäristön rakennuspinnat ja asfaltti sekä vesistö tuottavat laskeumanopeudeksi hyvin pienen arvon, kun taas kasvillisuusalustoilla (pelto, metsät) lähinnä kesäkaudella laskeumanopeus on suurimmillaan. Rikkilaskeumamallissa otetaan huomioon sekä rikkidioksidin märkä- että kuivalaskeuma. Typpilaskeumamallissa laskeuma muodostuu yksinomaan typpidioksidin (NO_2) kuivalaskeumasta, sillä typpimonoksidin (NO) laskeumanopeuden on mallissa oletettu olevan nolla ja typpidioksidin märkälaskeuman on todettu olevan suuruudeltaan merkityksetön.

Leviämismallit laskevat ilmansaasteiden pitoisuuksia tarkastelujakson jokaiselle tunnille laskentapisteikköön, joka muodostetaan kullekin tutkimusalueelle sopivaksi. Laskentapisteitä on yleensä useita tuhansia, ja niiden etäisyys toisistaan vaihtelee muutamasta kymmenestä metristä satoihin metreihin riippuen tutkimusalueen koosta ja tarkasteltavista kohteista. Mallin tuottamasta pitoisuusaikasarjasta lasketaan ilmanlaadun raja- ja ohjearvoihin verrannollisia tilastollisia suureita, jotka esitetään raportissa mm. pitoisuuksien aluejakaumakuvina ja taulukkoina.

3.2 Leviämismallilaskelmien lähtötiedot

Tässä tutkimuksessa laskettiin teollisuuden, energiantuotannon, laivaliikenteen ja autoliikenteen vuoden 2007 päästöjen aiheuttamat typpidioksidi-, rikkidioksidi- ja hiukkaspitoisuudet kuvassa C esitetylle tutkimusalueelle. Koko tutkimusalueen laajuus oli 33 × 41 km ja se käsitti Kaarinan, Länsi-Turunmaan, Naantalin, Raision ja Turun alueet. Päästöjen aiheuttamat pitoisuudet laskettiin maanpintatasolle laskentapisteikköön, jossa oli 36 799 laskentapistettä. Laskentapisteikössä pisteiden välisiä etäisyyksiä oli tihennetty pitoisuuksien muodostumisen kannalta merkittävimmissä kohteissa eli pistemäisten päästölähteiden lähiympäristössä sekä laivaväylien ja teiden läheisyydessä. Laskentapisteikön pisteet olivat tiheimmillään 25 metrin etäisyydellä toisistaan ja harvimmillaan 500 metrin etäisyydellä toisistaan. Typpi- ja rikkilaskeumamallia varten laskentapisteille annettiin lisäksi leviämisalustan laatua kuvaavat laskeumanopeuden arvot. Vesistöjen kohdalla ja tasaisilla alueilla (pellot) laskeumanopeus oli hyvin pieni ja lehti- ja havumetsissä laskeumanopeus oli suurempi. Tutkimusalueen maanpinnan korkeuserot huomioitiin laskentapisteissä Maanmittauslaitoksen maastonkorkeusmallin mukaisesti. Raportin karttakuvissa tutkimusalue on esitetty kahdessa osassa (pohjoisosa ja eteläosa) ja lisäksi Turun keskusta-alueelta on esitetty joitakin tarkempia lähikuvia.



Kuva C. Tutkimusalue käsitti Kaarinan, Länsi-Turunmaan, Naantalin, Raision ja Turun kunnat noin 33 × 41 km:n kokoiselta alueelta.

3.2.1 Energiantuotannon ja teollisuuden lähtötiedot

Leviämislaskelmiin mukaan otetut energiatuotanto- ja teollisuuslaitosten kuntakohtaiset päästöt on esitetty taulukossa 3 ja laitoskohtaiset päästöt liitetaulukossa 1. Laskennassa huomioitiin laitosten toiminta-ajat, päästövaihtelut ja laitosten tekniset tiedot, kuten esimerkiksi piipun korkeus, savukaasuvirtaama ja savukaasun lämpötila. Laskelmissa käytetyt päästötiedot olivat vuodelta 2007. Laitosten päästövaihtelun ja vuosittaisen päästömäärän oletettiin olevan sama jokaisena laskentavuotena (2005–2007). Laskelmissa ei huomioitu laitosten mahdollisia häiriöpäästöjä. Lämpökeskusten oletettiin toimivan käyntituntien mukaisesti kunkin vuoden kylmimpinä tunteina. Lähtötiedot kerättiin päästökartoituslomakkeella, jonka energiatuotanto- ja teollisuuslaitosten edustajat täyttivät. Toimitettuja päästötietoja verrattiin Ympäristönsuojelun tietojärjestelmän VAHTI-tietokannan tietoihin.

Taulukko 3. Leviämislaskelmissa huomioidut energiatuotannon ja teollisuuden päästöt kunnittain vuodelta 2007.

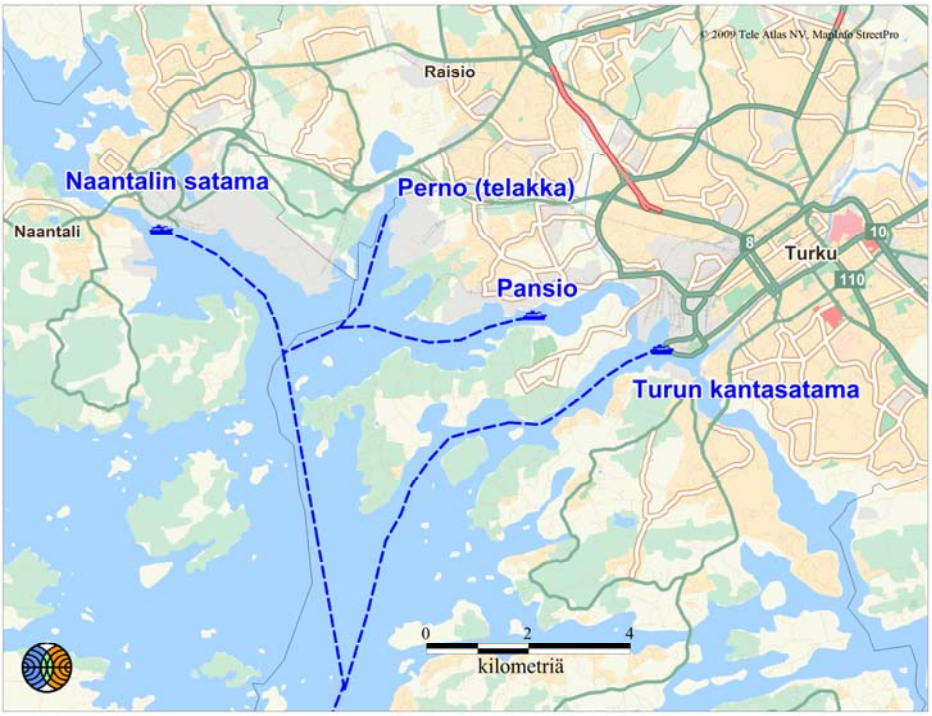
Energiantuotannon ja teollisuuden päästöt (t/a)	Typenoksidit (NO_x)	Rikkidioksidi (SO_2)	Hengitettävät hiukkaset (PM_{10})
Kaarina	0,2	0,0002	0,002
Länsi-Turunmaa	1864	192	133
Naantali	3035	2682	237
Raisio	1,8	11	1,5
Turku	492	432	33
Kaikki kunnat yhteensä	**5 393**	**3 317**	**405**

3.2.2 Laivaliikenteen lähtötiedot

Laivaliikenteen päästöt on laskettu Naantalin, Turun kantasataman ja Pansion satamissa sekä Pernon telakalla liikennöivien laivojen todellisten satamakäyntitietojen perusteella (kuva D). Päästöt on mallinnettu erikseen laivaväylillä liikkuville laivoille, laiturissa paikoillaan seisoville laivoille sekä manoveerauksille laivan liikkeelle lähtiessä ja satamaan saapuessa. Väyläpäästöt mallinnettiin viivalähteinä. Jokaisesta laivaväylää kuvaavasta peräkkäisestä lyhyestä viivasta vapautuu ympäristöönsä erikseen laskettavan suuruinen päästö. Viivalähteitä oli noin 20 km:n matkalla tutkimusalueen rajalta satamiin yhteensä 595 kappaletta. Laivojen nopeuden oletettiin koko 20 km:n matkalla olevan 10 km/h ja päästöt mallinnettiin viivalähteille laivojen tunneittaisten päästöjen mukaan. Päästölaskennassa huomioitiin erityyppisten alusten osuudet, aluskohtaiset konetehot, aluskohtaiset päästökorkeudet ja päästömäärät. Laivojen päästökorkeudet vaihtelivat 10–40 m välillä. Satamassa olon aikaiset päästöt ja manoveerauksen päästöt mallinnettiin pistemäisinä päästölähteinä. Satamassa olon aikaiset päästöt ja manovee-

rauksen päästöt määritettiin jokaiselle laivalle sen satamakäyntitietojen perusteella. Satamakäyntitiedoista saatiin laivan koneiden käyttöaika laivan seisoessa laiturissa. Laivan seisoessa laiturissa sen oletettiin käyttävän koneitaan vähintään yhden tunnin ajan, minkä aikana päästön suuruus on vakio. Manoveerauksen päästölaskennassa satamaan saapumisen oletettiin kestävän 30 minuuttia ja satamasta poistumisen 15 minuuttia. Leviämislaskelmissa oletettiin satamien työkoneiden aiheuttamien päästöjen olevan niin vähäisiä muihin päästölähderyhmiin verrattuna, että niitä ei laskelmissa huomioitu.

Laivaliikenteen kokonaispäästöiksi vuonna 2007 saatiin 1 760 t/a typen oksideja, 78 t/a hiukkasia ja 324 t/a rikkidioksidia. Turun kantasataman, Pansion sataman ja Naantalin sataman laivaliikenteen typenoksidipäästöiksi saatiin 724 tonnia, 94 tonnia ja 942 tonnia vuodessa. Hiukkaspäästöt eri satamien laivapäästöille olivat vastaavasti 43 t/a, 4 t/a ja 30 t/a sekä rikkidioksidipäästöt 164 t/a, 16 t/a ja 144 t/a. Väyläpäästöjen osuus typenoksidien kokonaispäästöistä oli noin 40−50 %, hiukkaspäästöjen osuus noin 50−60 % ja rikkidioksidipäästöjen osuus noin 70 % kokonaispäästöistä. Väyläpäästöjen osuuteen kokonaispäästöstä vaikuttaa merkittävästi päästölaskelmissa huomioitu kokonaismatka tutkimusalueella. Liitteessä 2 on esitetty satama-alueilta Rajakarille ja satama-alueilla syntyvät laivaliikenteen päästöt päästölähderyhmittäin vuodelta 2007.



Kuva D. Leviämislaskelmissa mukana olevat satamat, telakat ja laivareitit.

3.2.3 Autoliikenteen lähtötiedot

Tutkimusalueen suurimpien katujen ja teiden autoliikenteen päästöt laskettiin ja mallinnettiin tiekohtaisina viivalähteinä. Liikenneväylää kuvattiin peräkkäisinä lyhyinä viivoina, joista jokaisesta vapautuu ympäristöönsä erikseen laskettavan suuruinen

päästö. Viivalähteitä oli koko tutkimusalueella yhteensä 1 786 kappaletta. Yleisten teiden liikennemäärät saatiin Tiehallinnon tierekisteristä ja muiden teiden liikennemäärät toimittivat Turun, Raision, Naantalin ja Kaarinan kaupungit. Liikenteen päästöjen mallinnuksessa huomioitiin liikenteen päivittäinen ja tunneittainen vaihtelu. Tutkimusalueen teiden ja katujen autoliikenteen rikkidioksidipäästöt olivat 2,7 t/a, typenoksidipäästöt 1 615 t/a ja suorat pienhiukkaspäästöt 116 t/a. Autoliikenne aiheutti lisäksi epäsuorasti tienpinnasta mekaanisesti irtoavia hiukkasia ja hiekoitushiekasta peräisin olevia hiukkasia noin 722 t/a vuonna 2005, 646 t/a vuonna 2006 ja 453 t/a vuonna 2007. Erot vuosien välisissä epäsuorissa päästömäärissä johtuvat erilaisista meteorologisista olosuhteista vuosien aikana. Liikenteen päästöjen laskelmissa käytetyt keskimääräiset vuorokausiliikennemäärät on esitetty raportin liitekuvissa 1–3 ja liikenteen aiheuttamat tiekohtaiset typenoksidipäästöt liitekuvissa 4–6.

Eri autotyyppien ajon aikaiset päästökertoimet perustuvat Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen (VTT) päästölaskelmiin ja CAR-FMI mallia varten kehitettyihin nopeusriippuviin päästökerroinfunktioihin. Päästön ja nopeuden suhde perustuu ajoneuvojen päästöjen laboratoriomittauksiin (*Laurikko, 1998*). Leviämismallilaskelmissa on oletettu autoliikenteen typenoksidipäästöistä olevan typpidioksidia keskimäärin 19 %.

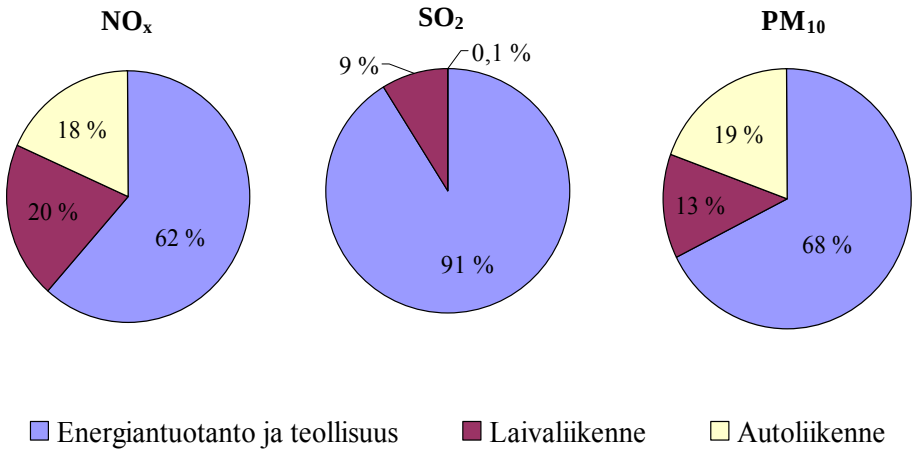
Liikenteen suorien hiukkaspäästöjen lisäksi laskelmissa huomioitiin liikenteen epäsuora vaikutus hengitettävien hiukkasten pitoisuuksiin. Suspensiopäästömalli laskee päästökertoimen tiepölyhiukkasten suspensiolle. Suspensiopäästökerroin muodostuu referenssikertoimesta sekä tien pölymäärään vaikuttavista tekijöistä. Referenssikerroin on yksi kriittisistä parametreista, joka asettaa mallin lähtökohdan. Se eroaa vuodenajan (kesä/talvi), hiukkastyypin ($PM_{10}/PM_{2,5}$) ja liikenneympäristön suhteen. Tässä työssä on käytetty *Omstedtin ym. (2005)* Tukholmaan määrittämiä PM_{10}-referenssikertoimia (kesä: 200 µg/ajoneuvo/m, ja talvi: 1 200 µg/ajoneuvo/m). Tienpinnan kosteus säätelee hiukkasten nousemista tienpinnalta ilmaan. Se lasketaan tunneittain yhtälöllä, joka ottaa huomioon sademäärän, haihtumisen ja valuman. Tien hiekoituksesta aiheutuva pölykerros määräytyy mallissa meteorologisten muuttujien mukaan. Pölykerrosta kasvatetaan päivinä, jolloin oletetaan olevan liukkaat olosuhteet. Liukkaiden olosuhteiden laskennassa huomioidaan lämpötilan ja kastepistelämpötilan vuorokausikeskiarvot sekä tunnittainen sademäärä. Lopullinen suspensiosta aiheutuva viivalähdekohtainen hiukkaspäästö saadaan kertomalla suspensiopäästökerroin liikennemäärällä. Viivalähdekohtaiset PM_{10}-suspensiopäästöt (µg/m/s) on laskettu CAR-FMI päästömallilla (*Härkönen, 2002*).

3.2.4 Kaikkien lähteiden päästöt

Kaikkien leviämislaskelmissa huomioitujen päästölähteiden kokonaispäästöt on esitetty taulukossa 4 ja eri päästölähteiden suhteelliset osuudet kokonaispäästöstä kuvassa E. Leviämislaskelmissa ei ole huomioitu lento- ja junaliikenteen, puun pienpolton ja työkoneiden päästöjä.

Taulukko 4. Leviämismallilaskelmien lähtötietoina käytetyt koko tutkimusalueen päästöt vuodelta 2007.

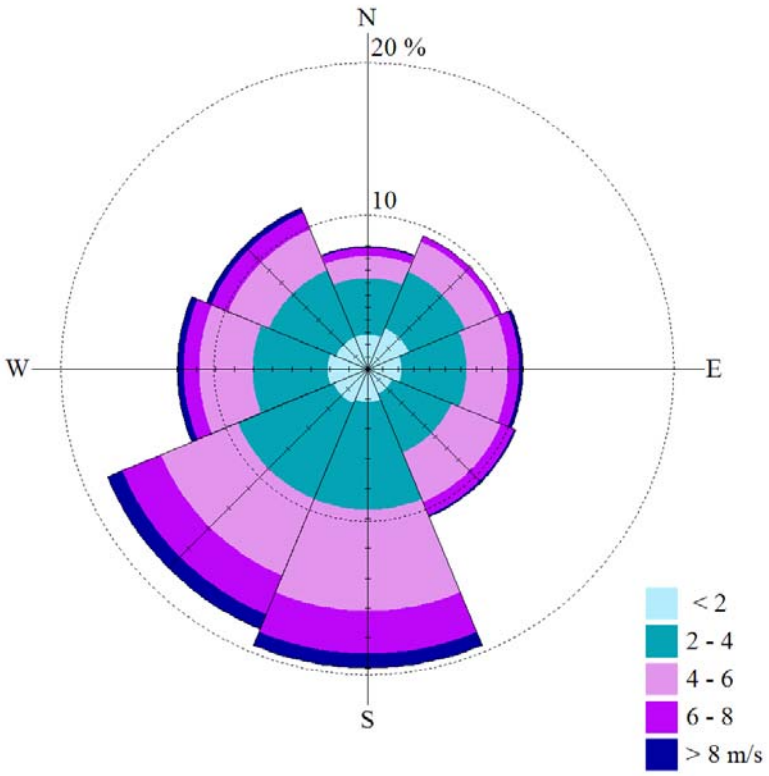
Päästöt (t/a)	Typenoksidit (NO_x)	Rikkidioksidi (SO_2)	Hengitettävät hiukkaset (PM_{10})
Energiantuotanto ja teollisuus	5 393	3 317	405
Laivaliikenne	1 760	324	78
Autoliikenne	1 615	2,7	116
Kaikki päästölähteet yhteensä	**8 801**	**3 581**	**585**



Kuva E. Eri päästölähteiden osuudet kokonaispäästöstä vuonna 2007.

3.2.5 Meteorologiset tiedot ja taustapitoisuustiedot

Tutkimusalueen ilmastollisia olosuhteita edustava meteorologinen aikasarja muodostettiin Turun lentoaseman ja Turun Rajakarin sääasemien havaintotiedoista vuosilta 2005–2007. Sekoituskorkeuden määrittämiseen käytettiin Jokioisten observatorion radioluotaushavaintoja vuosilta 2005–2007. Kuvassa F on esitetty tuulen suunta- ja nopeusjakauma tutkimusalueella tuuliruusun muodossa.



Kuva F. Tuulen suunta- ja nopeusjakauma tutkimusalueella vuosina 2005–2007. tehdyn tilastollisen tarkastelun mukaan etelä- ja lounaistuulet ovat tutkimusalueella vallitsevia. Vähiten esiintyi pohjoisen puoleisia tuulia. Lasketut tuulitiedot kuvaavat olosuhteita 10 metrin korkeudella maanpinnasta.

Leviämismallilaskelman tuloksena saatuihin pitoisuuksiin lisätään taustapitoisuus, joka kuvaa tutkimusalueelle muualta kulkeutuneiden yhdisteiden pitoisuutta ilmassa. Tutkimusalueen typpidioksidin, rikkidioksidin ja otsonin taustapitoisuudet saatiin Utössä sijaitsevalta taustailmanlaadun mittausasemalta (*Ilmanlaatuportaali, 2009*). Utön mittausasemilla ei mitata hengitettävien hiukkasten pitoisuutta vaan ainoastaan pienhiukkasten ($PM_{2,5}$) pitoisuutta. Hengitettävien hiukkasten taustapitoisuus saatiin kertomalla Utön mittausaseman pienhiukkaspitoisuudet luvulla 1,5. Tämä vastaa hengitettävien hiukkasten ja pienhiukkasten pitoisuuksien suhdetta Luukin ja Virolahden taustamittausasemilla, joissa mitataan näitä molempia hiukkasfraktioita yhtä aikaa. Tutkimusalueen taustapitoisuuksina käytettiin leviämismallissa pitoisuuksien kuukausittain laskettuja tunneittaisia keskiarvoja, joilla pyrittiin kuvaamaan taustapitoisuuksien vuorokauden sisäistä vaihtelua. Typpidioksidin taustapitoisuus tutkimusalueella on vuosikeskiarvona noin 6 µg/m³, rikkidioksidin noin 1 µg/m³, hengitettävien hiukkasten noin 9 µg/m³ ja otsonin noin 69 µg/m³.

4 TULOKSET

4.1 Typpidioksidipitoisuudet (NO_2)

Leviämismallilaskelmien tuloksina saadut ulkoilman typpidioksidipitoisuuksien maksimiarvot Turun seudulla on esitetty taulukossa 5. Taulukossa on esitetty erikseen energiantuotannon ja teollisuuden päästölähteistä, laivaliikenteestä, autoliikenteestä ja kaikista päästölähteistä yhdessä aiheutuvat pitoisuudet. Leviämislaskelmien tuloksena saatu typpidioksidipitoisuuksien alueellinen vaihtelu on esitetty raportin lopussa olevissa aluejakaumakuvissa. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttama typpidioksidipitoisuuksien alueellinen vaihtelu käy ilmi liitekuvista 7–10, laivaliikenteen päästöjen aiheuttama liitekuvista 11–14, autoliikenteen päästöjen aiheuttama liitekuvista 15–18 sekä kaikkien lähteiden yhdessä aiheuttama typpidioksidipitoisuuksien alueellinen vaihtelu liitekuvista 19–26. Kaikissa laskelmissa on huomioitu typenoksidipäästöjen ilmakemiallinen muutunta kulkeutumisen aikana. Kaikkien päästölähteiden kokonaispäästöistä aiheutuneissa typpidioksidipitoisuuksissa on lisäksi huomioitu typpidioksidin alueellinen taustapitoisuus tutkimusalueella (vuosikeskiarvona noin 6 µg/m^3).

Taulukko 5. Leviämismallilaskelmilla saadut energiantuotannon ja teollisuuden päästölähteiden, laivaliikenteen, autoliikenteen ja kaikkien päästölähteiden yhdessä aiheuttamat ulkoilman typpidioksidipitoisuuksien maksimiarvot vuosina 2005–2007 Turun seudulla. Kaikkien päästölähteiden sarakkeessa on huomioitu typpidioksidin alueellinen taustapitoisuus.

Typpidioksidipitoisuus (µg/m³)	Raja- tai ohjearvo	Energiantuotanto ja teollisuus	Laivaliikenne	Autoliikenne	Kaikki päästölähteet
Vuosikeskiarvo	40 (*	0,4	5,6	41	48
Korkein vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus	70 (**	4,0	25	99	111
Korkein tuntiohjearvoon verrannollinen pitoisuus	150 (**	13	93	195	218
Korkein tuntiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus	200 (*	12	94	194	216

(* raja-arvo
(** ohjearvo

Leviämislaskelmien perusteella energiantuotannon ja teollisuuden päästöt aiheuttavat typpidioksidipitoisuuksia, jotka korkeimmillaankin alittavat selvästi raja- ja ohjearvot. Korkeimmillaan näiden lähteiden aiheuttamat typpidioksidipitoisuudet ovat alle 9 % ohjearvoista ja alle 6 % raja-arvoista. Korkeimmat energiatuotannon ja teollisuuden aiheuttamat typpidioksidipitoisuudet muodostuvat Länsi-Turunmaan päästökorkeudeltaan matalien päästölähteiden sekä Naantalin voimalaitoksen ja öljynjalostamon päästöjen vaikutuksesta. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttamat suurimmatkin typpidioksidipitoisuudet ovat kuitenkin koko tutkimusalueella hyvin pieniä verrattuna esimerkiksi ohje- ja raja-arvoihin tai autoliikenteen päästöjen aiheuttamiin pitoisuuksiin.

Laivaliikenteestä aiheutuvat päästöt tuottavat laskelmien mukaan tutkimusalueelle typpidioksidipitoisuuksia, jotka korkeimmillaankin alittavat raja- ja ohjearvot. Korkeimmillaan laivaliikenteen aiheuttamat typpidioksidipitoisuudet ovat noin 60 % ohjearvoista ja alle 50 % raja-arvoista. Suurimmat laivaliikenteen aiheuttamat typpidioksidipitoisuudet muodostuvat laivareittien varsille ja satama-alueiden läheisyyteen.

Autoliikenteen päästöt aiheuttavat tutkimusalueelle typpidioksidipitoisuuksia, jotka korkeimmillaan ylittävät ilmanlaadun ohje- ja raja-arvot. Kaikkien päästölähteiden sekä alueellisen taustapitoisuuden aiheuttamiin typpidioksidipitoisuuksiin autoliikenteellä on kaikista päästölähteistä merkittävin vaikutus. Leviämismallilaskelmien mukaan kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden vaikutuksesta typpidioksidin raja- ja ohjearvot ylittyvät Turun keskusta-alueella vilkkaimpien liikenneväylien ja risteyksien alueilla. Raja-arvot ylittyvät yksittäisissä pisteissä Tampereentien ja Satakunnantien risteysalueella. Raja-arvot eivät kuitenkaan ole voimassa liikenneväylillä. Typpidioksidipitoisuuksille määritellyt ohjearvot ylittyvät laajemmalla alueella suuressa osassa Turun keskustan ruutukaava-aluetta ja vilkkaimpien keskusta-alueen katujen varsilla.

4.2 Rikkidioksidipitoisuudet (SO_2)

Leviämismallilaskelmien tuloksina saadut ulkoilman rikkidioksidipitoisuuksien maksimiarvot Turun seudulla on esitetty taulukossa 6. Taulukossa on esitetty erikseen energiantuotannon ja teollisuuden päästölähteistä, laivaliikenteestä, autoliikenteestä ja kaikista päästölähteistä yhdessä aiheutuvat pitoisuudet. Leviämislaskelmien tuloksena saatu rikkidioksidipitoisuuksien alueellinen vaihtelu on esitetty raportin lopussa olevissa aluejakaumakuvissa. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttama rikkidioksidipitoisuuksien alueellinen vaihtelu käy ilmi liitekuvista 27–30, laivaliikenteen päästöjen aiheuttama liitekuvista 31–34, autoliikenteen päästöjen aiheuttama liitekuvista 35–38 sekä kaikkien lähteiden yhdessä aiheuttama rikkidioksidipitoisuuksien alueellinen vaihtelu liitekuvista 39–42. Kaikkien päästölähteiden kokonaispäästöistä aiheutuneissa rikkidioksidipitoisuuksissa on lisäksi huomioitu rikkidioksidin alueellinen taustapitoisuus tutkimusalueella (vuosikeskiarvona noin 1 $\mu g/m^3$).

Taulukko 6. Leviämismallilaskelmilla saadut energiantuotannon ja teollisuuden päästölähteiden, laivaliikenteen, autoliikenteen ja kaikkien päästölähteiden yhdessä aiheuttamat ulkoilman rikkidioksidipitoisuuksien maksimiarvot vuosina 2005–2007 Turun seudulla. Kaikkien päästölähteiden sarakkeessa on huomioitu rikkidioksidin alueellinen taustapitoisuus.

Rikkidioksidipitoisuus (µg/m³)	Raja- tai ohjearvo	Energian-tuotanto ja teollisuus	Laiva-liikenne	Auto-liikenne	Kaikki päästölähteet
Vuosikeskiarvo	20 (*	5,0	1,5	0,3	6,4
Korkein vuorokausiohjear-voon verrannollinen pitoisuus	80 (**	43	8,8	1,6	45
Korkein vuorokausiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus	125 (*	32	7,5	1,5	33
Korkein tuntiohjearvoon verrannollinen pitoisuus	250 (**	66	38	4,0	68
Korkein tuntiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus	350 (*	57	39	3,5	59

(* raja-arvo
(** ohjearvo

Leviämislaskelmien perusteella energiantuotannon ja teollisuuden päästöt aiheuttavat rikkidioksidipitoisuuksia, jotka alittavat raja- ja ohjearvot. Korkeimmillaan näiden lähteiden aiheuttamat rikkidioksidipitoisuudet ovat noin 50 % ohjearvoista ja noin 25 % raja-arvoista. Korkeimmat energiatuotannon ja teollisuuden aiheuttamat pitoisuudet aiheutuvat Länsi-Turunmaan päästökorkeudeltaan matalien päästölähteiden sekä Naantalin voimalaitoksen ja öljynjalostamon päästöjen vaikutuksesta. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöt ovat laivaliikenteen ohella merkittävin rikkidioksidipitoisuuksien aiheuttaja Turun seudulla. Laivaliikenteen päästöjen aiheuttamat rikkidioksidipitoisuudet ovat korkeimmillaankin noin 15 % ohjearvoista ja noin 10 % raja-arvoista. Suurimmat laivaliikenteen aiheuttamat rikkidioksidipitoisuudet muodostuvat laivareittien varsille ja satama-alueiden läheisyyteen. Autoliikenteen rikkidioksidipäästöillä on vain vähäinen vaikutus rikkidioksidin pitoisuuksiin, korkeimpien pitoisuuksien ollessa alle 2 % ohje- ja raja-arvoista. Kaikkien päästölähteiden ja alueellisen taustapitoisuuden vaikutuksesta tutkimusalueella esiintyy rikkidioksidipitoisuuksia, jotka ovat korkeimmillaan alle 60 % ohjearvoista ja noin 30 % raja-arvoista. Suurimmassa osassa tutkimusaluetta rikkidioksidipitoisuudet ovat huomattavasti näitä pienempiä.

4.3 Hengitettävien hiukkasten (PM_{10}) pitoisuudet

Leviämismallilaskelmien tuloksina saadut ulkoilman hengitettävien hiukkasten pitoisuuksien maksimiarvot Turun seudulla on esitetty taulukossa 7. Taulukossa on esitetty erikseen energiantuotannon ja teollisuuden päästölähteistä, laivaliikenteestä, autoliikenteestä ja kaikista päästölähteistä yhdessä aiheutuvat pitoisuudet. Leviämislaskelmien tuloksena saatu hengitettävien hiukkasten pitoisuuksien alueellinen vaihtelu on esitetty raportin lopussa olevissa aluejakaumakuvissa. Energiantuotannon ja teollisuuden

päästöjen aiheuttama hengitettävien hiukkasten pitoisuuksien alueellinen vaihtelu käy ilmi liitekuvista 43–46, laivaliikenteen päästöjen aiheuttama liitekuvista 47–50, autoliikenteen päästöjen aiheuttama liitekuvista 51–54 sekä kaikkien lähteiden yhdessä aiheuttama hengitettävien hiukkasten pitoisuuksien alueellinen vaihtelu liitekuvista 55–60. Kaikkien päästölähteiden kokonaispäästöistä aiheutuneissa hengitettävien hiukkasten pitoisuuksissa on lisäksi huomioitu hengitettävien hiukkasten alueellinen taustapitoisuus tutkimusalueella (vuosikeskiarvona noin 9 µg/m^3).

Taulukko 7. Leviämismallilaskelmilla saadut energiantuotannon ja teollisuuden päästölähteiden, laivaliikenteen, autoliikenteen ja kaikkien päästölähteiden yhdessä aiheuttamat ulkoilman hengitettävien hiukkasten pitoisuuksien maksimiarvot vuosina 2005–2007 Turun seudulla. Kaikkien päästölähteiden sarakkeessa on huomioitu hengitettävien hiukkasten alueellinen taustapitoisuus.

Hengitettävien hiukkasten pitoisuus (µg/m³)	Raja- tai ohjearvo	Energian-tuotanto ja teollisuus	Laiva-liikenne	Auto-liikenne	Kaikki päästölähteet
Vuosikeskiarvo	40 (*	0,5	0,5	30	39
Korkein vuorokausiohjear-voon verrannollinen pitoisuus	70 (**	7,9	8,8	230	241
Korkein vuorokausiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus	50 (*	1,3	1,4	70	78

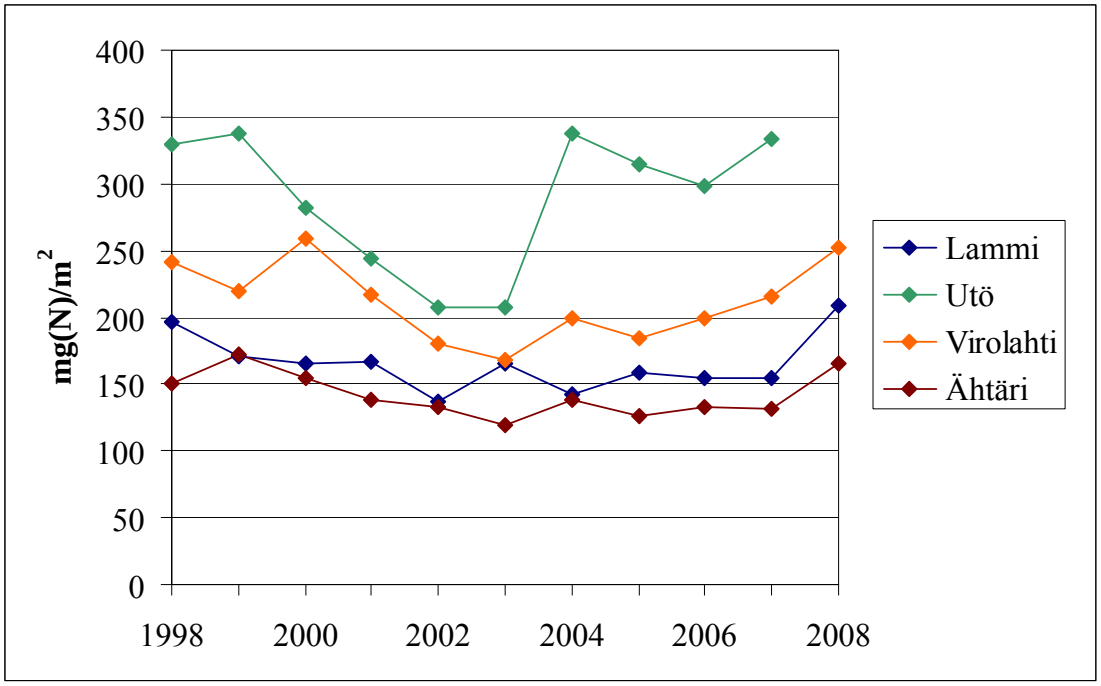
(* raja-arvo
(** ohjearvo

Leviämislaskelmien perusteella energiantuotannon, teollisuuden ja laivaliikenteen päästöt aiheuttavat hengitettävien hiukkasten pitoisuuksia, jotka korkeimmillaankin alittavat selvästi raja- ja ohjearvot. Korkeimmillaan näiden lähteiden aiheuttamat hengitettävien hiukkasten pitoisuudet ovat alle 13 % ohjearvoista ja alle 3 % raja-arvoista.

Autoliikenteen päästöt pelkästään sekä kaikkien päästölähteiden ja alueellisen taustapitoisuuden yhteisvaikutus aiheuttavat tutkimusalueelle hengitettävien hiukkasten pitoisuuksia, jotka korkeimmillaan ylittävät hengitettävien hiukkasten vuorokausipitoisuudelle asetetut ohje- ja raja-arvot. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden vaikutuksesta hengitettävien hiukkasten vuorokausiraja-arvo ylittyy yksittäisissä pisteissä Tampereentien ja Satakunnantien risteysalueella, missä raja-arvo ei kuitenkaan ole voimassa. Hengitettävien hiukkasten vuorokausiohjearvo ylittyy laajalla alueella sekä Turun keskustassa että vilkkaimpien väylien varsilla. Vuorokausipitoisuuksiin vaikuttaa merkittävästi autoliikenteen tienpinnasta mekaanisesti nostattama pöly, jonka määrään vaikuttaa liikennemäärien ja etenkin raskaan liikenteen määrien lisäksi meteorologiset olosuhteet, tienpinnan laatu ja teiden hiekoitus ja puhdistaminen.

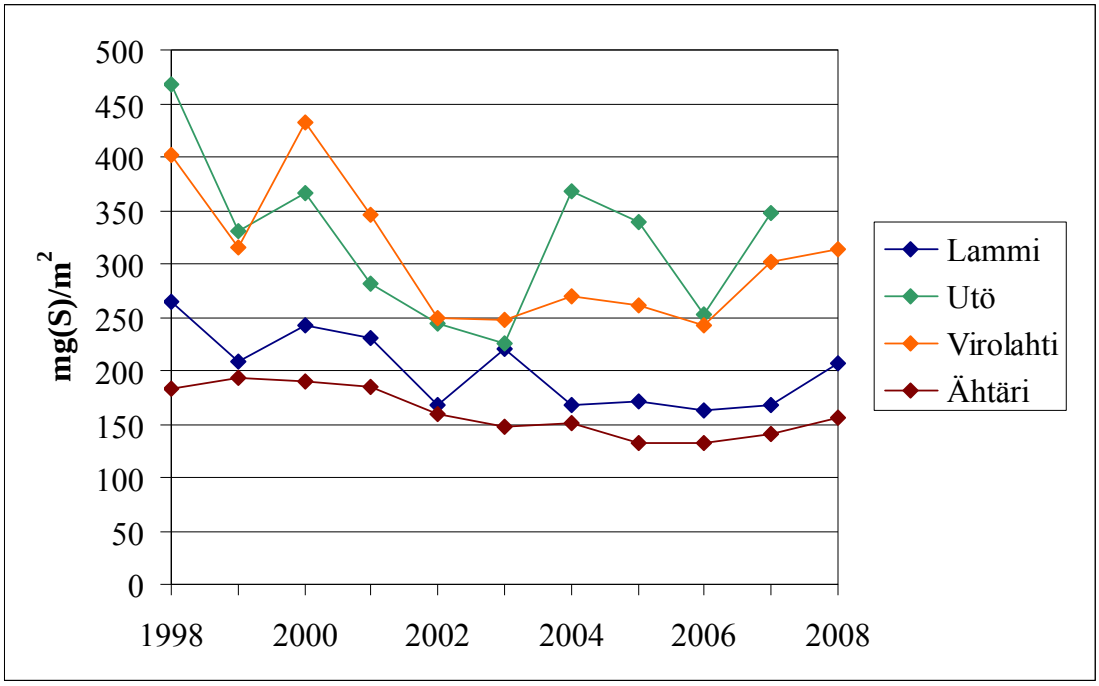
4.4 Typpi- ja rikkilaskeuma

Leviämislaskelmien tuloksena saatu typpilaskeuman alueellinen vaihtelu on esitetty raportin lopussa olevissa liitekuvissa 61–62. Typpilaskeumamallissa nitraattitypen laskeuma muodostuu yksinomaan typpidioksidin (NO_2) kuivalaskeumasta, sillä typpimonoksidin (NO) laskeumanopeuden on mallissa oletettu olevan nolla ja typpidioksidin märkälaskeuman on todettu olevan suuruudeltaan hyvin pieni. Aluejakaumakuvat esittävät nitraattityppilaskeumaa kasvillisuuteen ilman alueellista taustalaskeumaa. Laskelmien mukaan nitraattityppilaskeuma on tutkimusalueella korkeimmillaan noin 397 mg(N)/m^2 vuodessa ja autoliikenteen vaikutuspiirissä yli 120 mg(N)/m^2 vuodessa. Tutkimusalueen laitamilla Turun seudun päästölähteiden aiheuttama nitraattitypen laskeuma on alle 30 mg(N)/m^2/a. Kuvassa G on vertailun vuoksi esitetty Ilmatieteen laitoksen Etelä-Suomen tausta-asemilla mitattuja nitraattitypen laskeumia vuosina 1998–2008.



Kuva G. Nitraattitypen vuosilaskeuma (mg(N)/m^2) Ilmatieteen laitoksen ilmanlaadun tausta-asemilla vuosina 1998–2008 (*Ilmatieteen laitos 2009*).

Rikkilaskeumamallissa sulfaatin laskeuma muodostuu rikkidioksidin märkä- ja kuivalaskeumasta. Aluejakaumakuvat 63–64 esittävät sulfaattilaskeumaa ilman alueellista taustalaskeumaa. Laskelmien mukaan sulfaattilaskeuma on tutkimusalueella korkeimmillaan noin 397 mg(S)/m^2 vuodessa ja laivaliikenteen sekä energiantuotannon ja teollisuuden vaikutuspiirissä yli 150 mg(S)/m^2 vuodessa. Tutkimusalueen laitamilla Turun seudun päästölähteiden aiheuttama sulfaattilaskeuma on alle 20 mg(S)/m^2/a. Kuvassa H on vertailun vuoksi esitetty Ilmatieteen laitoksen Etelä-Suomen tausta-asemilla mitattuja sulfaattilaskeumia vuosina 1998–2008.



Kuva H. Sulfaatin vuosilaskeuma (mg(S)/m^2) Ilmatieteen laitoksen ilmanlaadun tausta-asemilla vuosina 1998–2008 (*Ilmatieteen laitos 2009*).

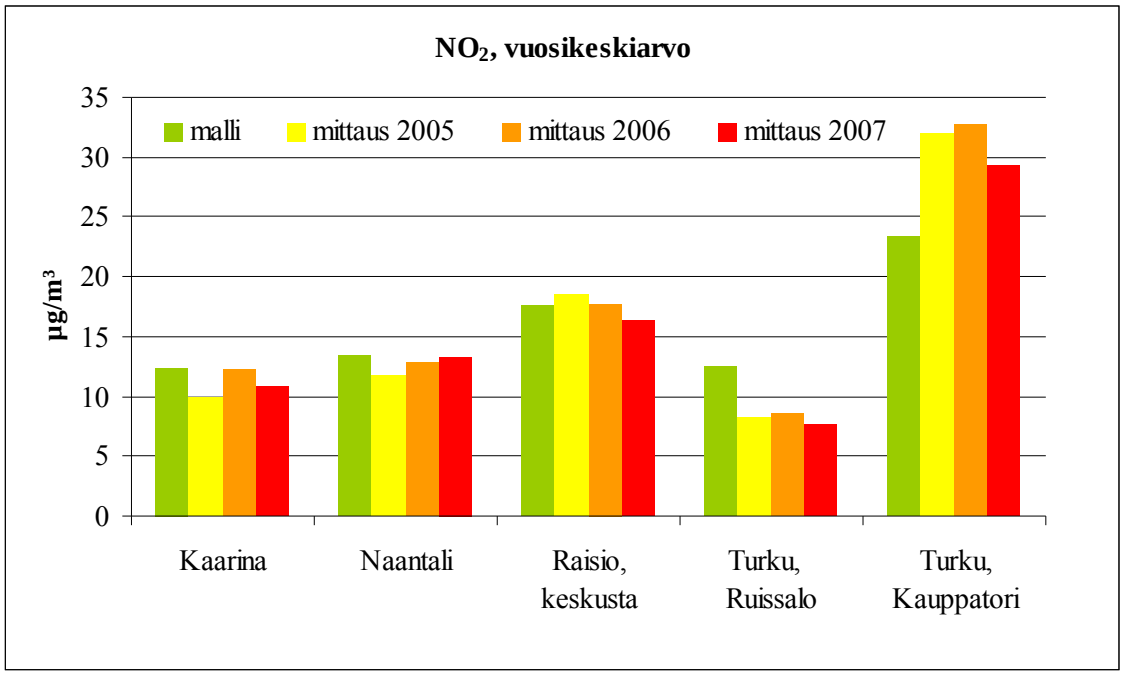
4.5 Mallilaskelmien tulosten vertailu ilmanlaadun mittauksiin

Turun seudun ilmanlaadun mittauksista huolehtii keskitetysti kuntien ja teollisuuden muodostama ilmansuojelun yhteistyöryhmä. Vuosina 2005−2007 ilmanlaadun mittauksia suoritettiin kuudella pysyvällä mittausasemalla. Typpidioksidipitoisuuksia mitattiin Turun kauppatorilla, Ruissalossa, Raision keskustassa, Naantalissa ja Kaarinassa. Rikkidioksidia mitattiin Naantalissa, Ruissalossa ja Raision Kaanaan koululla ja hengitettäviä hiukkasia Turun kauppatorilla, Raision keskustassa, Naantalissa ja Kaarinassa.

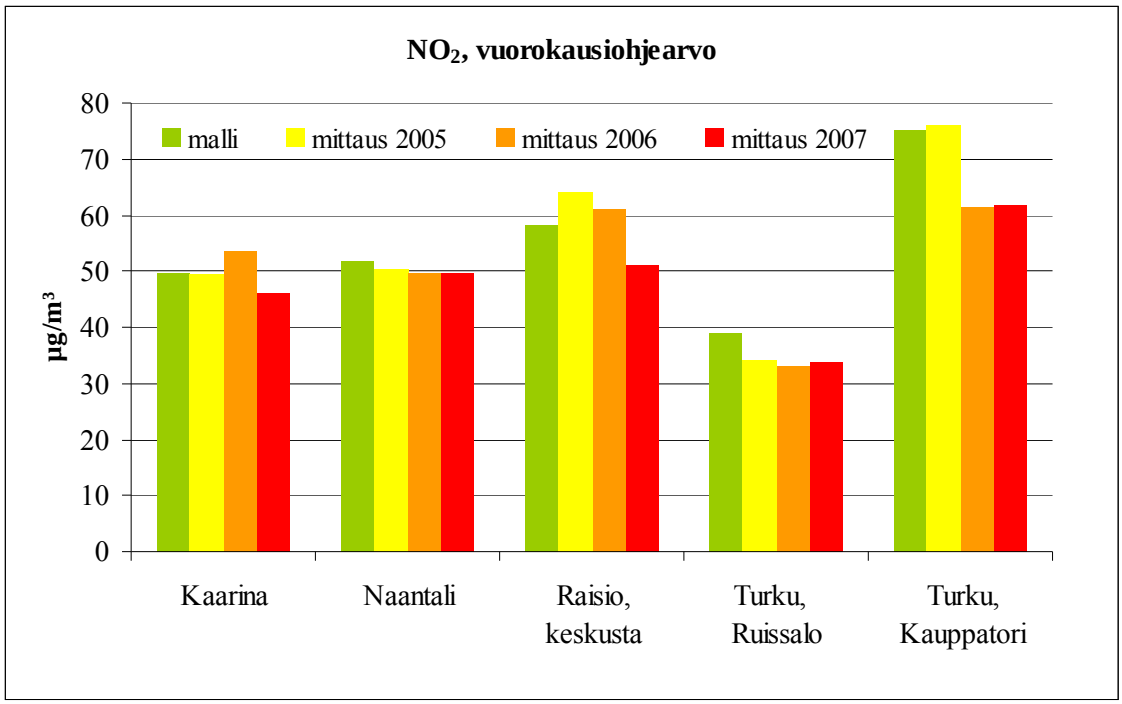
Leviämismallilaskelmilla epäpuhtauspitoisuuksia arvioitiin myös näihin mittauspisteisiin. Valtioneuvoston ilmanlaatuasetuksen (*Vna 711/2001*) mukainen laatutavoite mallintamisen epävarmuudelle on typpi- ja rikkidioksidipitoisuuksien tunti- ja vuorokausikeskiarvolle 50–60 % ja vuosikeskiarvolle 30 % sekä hiukkasten vuosikeskiarvolle 50 %. Epävarmuus määritetään enimmäispoikkeamana mitatuista ja mallinnetuista rajaarvoihin verrannollisista pitoisuuksista ottamatta huomioon tapahtumien ajoitusta.

Leviämismallilaskelmilla saatuja typpidioksidin vuosikeskiarvopitoisuuksia ja vuorokausiohjearvoon verrannollisia pitoisuuksia on verrattu kuvissa I ja J mittausasemilta saatuihin vuosien 2005−2007 korkeimpiin pitoisuuksiin. Mallinnetut typpidioksidin vuosipitoisuudet täyttävät laatutavoitteen (ero alle 30 %) Kaarinan, Naantalin, Raision keskustan ja Turun kauppatorin mittauspisteissä. Turun kauppatorin mittauspisteessä mitattu vuosikeskiarvopitoisuus on selvästi mallinnettua korkeampi. Tämän voidaan arvioida johtuvan kyseisestä mittauspistettä ympäröivien katujen liikenteen päästölaskennan epävarmuudesta. Kauppatorin viereisten katujen liikennemäärissä ja liikennejärjestelyissä on viime vuosina ollut merkittäviä poikkeuksia torin viereisen rakentamisen vuoksi. Turun Ruissalon mittauspisteessä ero mitattujen ja mallinnettujen vuosikeskiar-

vopitoisuuksien ero on yli 30 %. Vuorokausiohjearvoon verrannollisissa pitoisuuksissa mallintamisen laatutavoite täyttyy kaikilla mittausasemilla, sillä eroa mallinnettujen ja mitattujen pitoisuuksien välillä on korkeimmillaan 22 %.

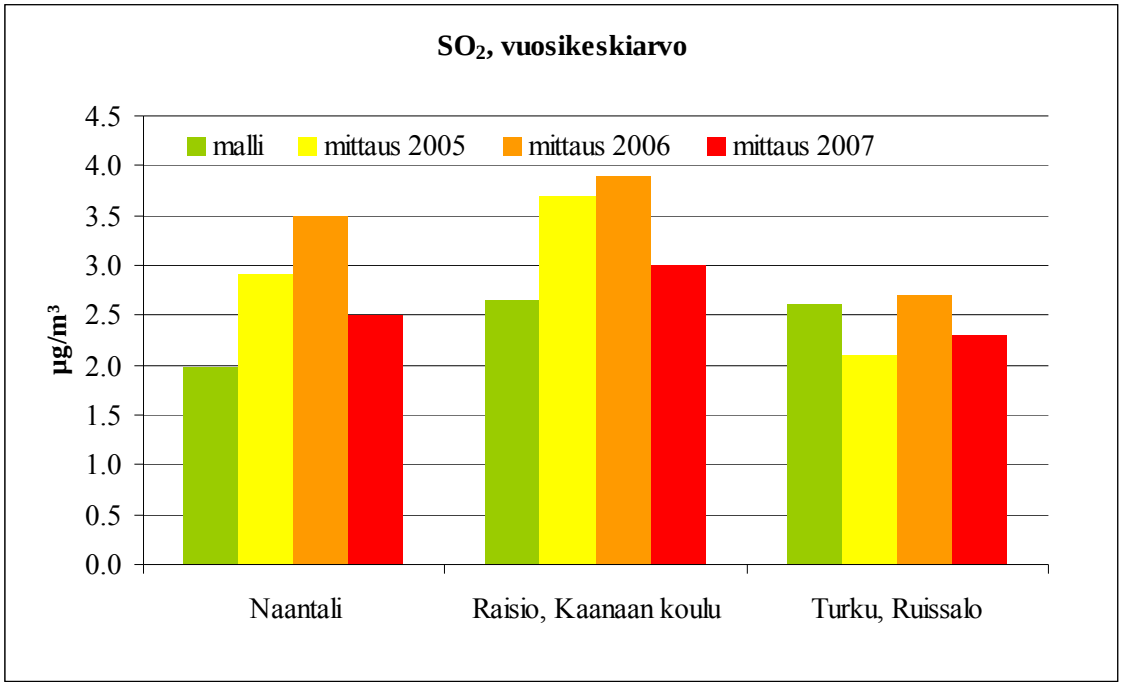


Kuva I. Leviämislaskelmilla saadut energiantuotannon ja teollisuuden päästölähteiden, laivaliikenteen ja autoliikenteen yhdessä aiheuttamien typpidioksidin vuosikeskiarvopitoisuuksien vertailu ilmanlaadun mittaustuloksiin.



Kuva J. Leviämislaskelmilla saadut energiantuotannon ja teollisuuden päästölähteiden, laivaliikenteen ja autoliikenteen yhdessä aiheuttamien typpidioksidin vuorokausiohjearvoon verrannollisten pitoisuuksien vertailu ilmanlaadun mittaustuloksiin.

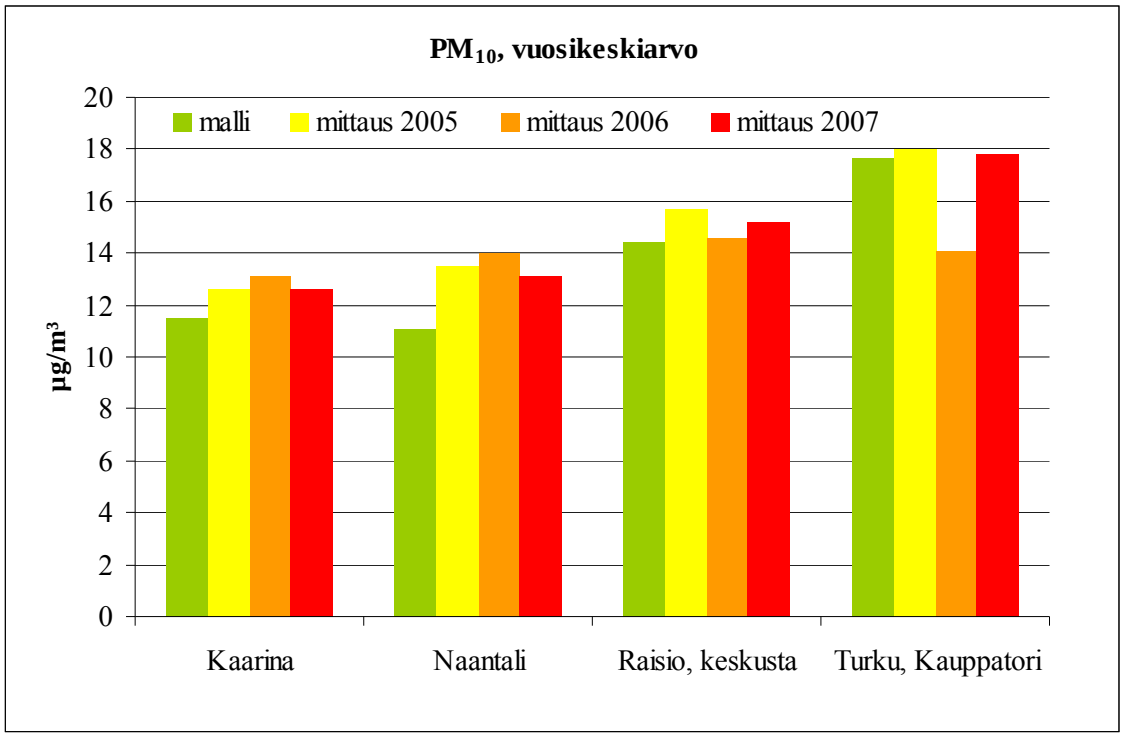
Leviämismallilaskelmilla saatuja rikkidioksidin vuosikeskiarvopitoisuuksia on verrattu kuvassa K mittausasemilta saatuihin vuosien 2005−2007 korkeimpiin pitoisuuksiin. Vuosien 2005−2007 mallinnettujen ja mitattujen korkeimpien vuosipitoisuuksien ero on mittauspisteestä ja vuodesta riippuen 3−43 %. Mitatuissa vuosikeskiarvopitoisuuksissa on selkeää eroa vuosien välillä. Mikäli mallinnettuja tuloksia verrattaisiin tarkastelujaksona mitattuihin matalimpiin pitoisuuksiin, olisi ero korkeimmillaan noin 20 % ja rikkidioksidin vuosipitoisuuksille asetettu laatutavoite (ero alle 30 %) täyttyisi. Lyhytaikaisissa pitoisuuksissa on merkittävää eroa mallinnettujen ja mitattujen pitoisuuksien välillä kaikissa mittauspisteissä. Mitatuissa vuorokausi- ja tuntiohjearvoihin verrannollisissa rikkidioksidipitoisuuksissa on vuosien 2005−2007 välillä hyvin suuria eroja, mikä oletettavasti johtuu päästöjen erilaisesta lyhytaikaisesta vaihtelusta eri vuosina esimerkiksi häiriöpäästöjen vuoksi. Tällaisia poikkeavia päästöjä ei leviämismallilaskennassa ole otettu huomioon. Lisäksi on otettava huomioon se, että rikkidioksidin pitoisuustasot ovat matalia ja mittausten epävarmuus kasvaa pienempiä pitoisuuksia mitattaessa.



Kuva K Leviämislaskelmilla saadut energiantuotannon ja teollisuuden päästölähteiden, laivaliikenteen ja autoliikenteen yhdessä aiheuttamien rikkidioksidin vuosikeskiarvopitoisuuksien vertailu ilmanlaadun mittaustuloksiin.

Leviämismallilaskelmilla saatuja hengitettävien hiukkasten vuosikeskiarvopitoisuuksia on verrattu kuvassa L mittausasemilta saatuihin vuosien 2005−2007 korkeimpiin pitoisuuksiin. Mallinnettujen ja mitattujen vuosipitoisuuksien ero on mittauspisteissä korkeimmillaan noin 25 %, joten mallinnuksen laatutavoite täyttyisi kaikissa mittauspisteissä. Lyhytaikaisissa pitoisuuksissa eroa mallinnettujen ja mitattujen pitoisuuksien välillä on enemmän, pääsääntöisesti kuitenkin alle 50 %. Lyhytaikaisiin pitoisuuksiin vaikuttaa merkittävästi liikenteen vaikutuksesta tienpinnasta irtoava pöly, jota on tässä tutkimuksessa kuvattu suspensiopäästömallin avulla. Lyhytaikaisten hengitettävien

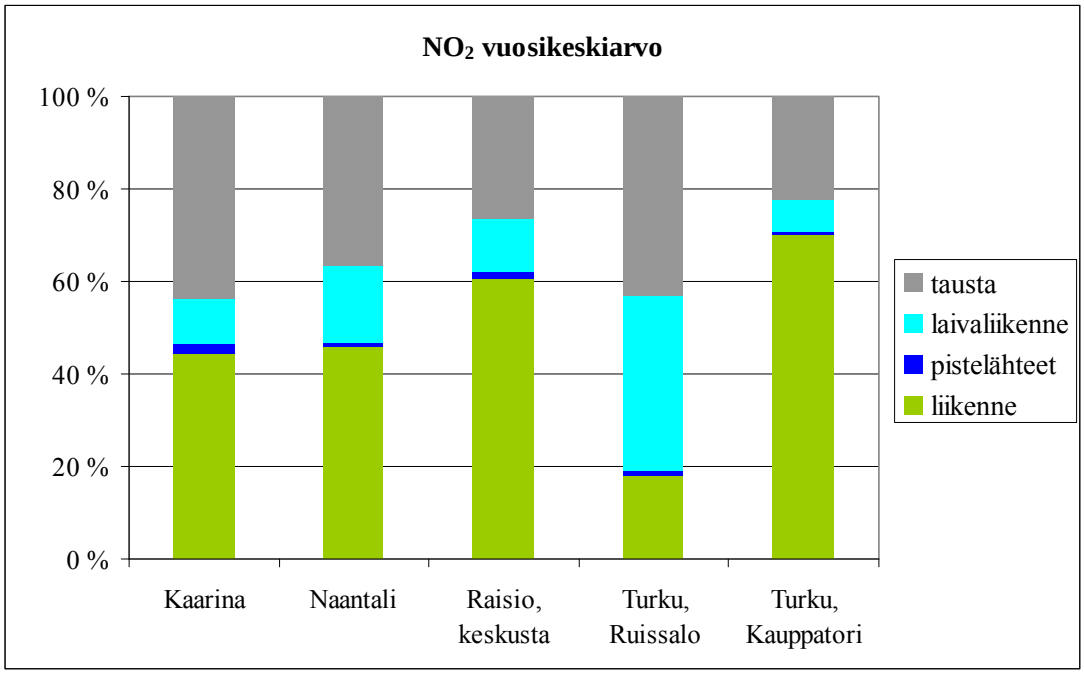
hiukkasten arvioiminen on malleilla hankalaa, koska kaikkia pölyämiseen vaikuttavia tekijöitä ei pystytä mallissa huomioimaan luotettavasti.



Kuva L. Leviämislaskelmilla saadut energiantuotannon ja teollisuuden päästölähteiden, laivaliikenteen ja autoliikenteen yhdessä aiheuttamien hengitettävien hiukkasten vuosikeskiarvopitoisuuksien vertailu ilmanlaadun mittaustuloksiin.

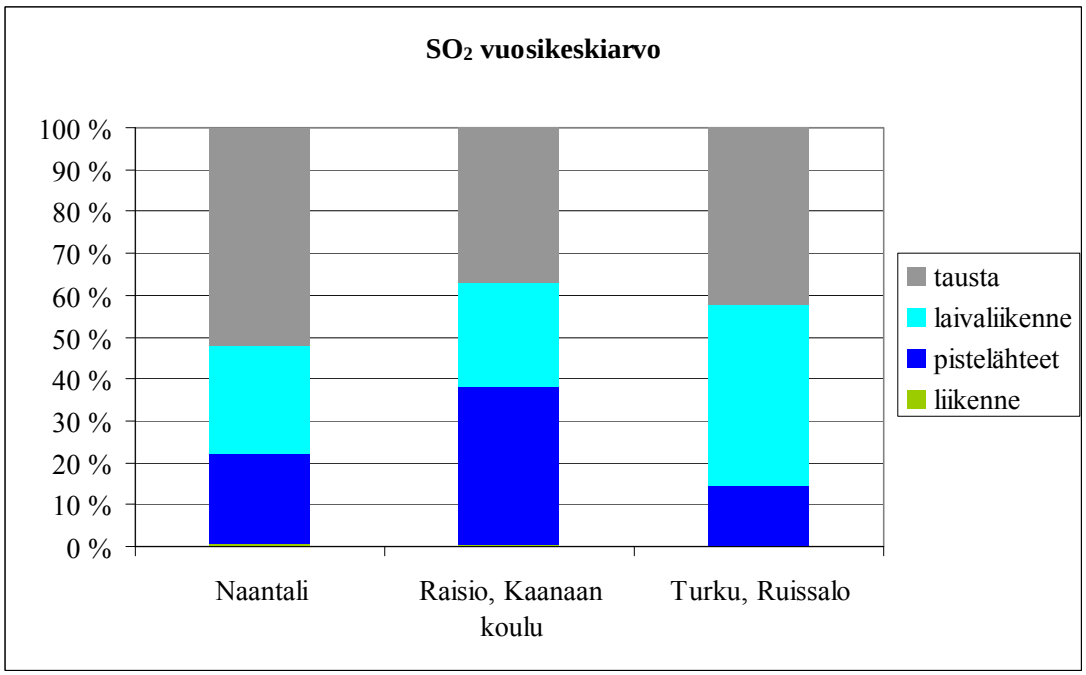
Edellä esitettyjen vertailujen mukaan tässä tutkimuksessa tehdyt leviämislaskelmat täyttäisivät pääsääntöisesti Valtioneuvoston ilmanlaatuasetuksen (*Vna 711/2001*) mukaisen laatutavoitteen mallintamisen epävarmuudelle.

Kuvassa M on esitetty eri päästölähteiden ja taustapitoisuuden osuus mallinnetuista typpidioksidin vuosikeskiarvopitoisuuksista mittauspisteissä. Autoliikenteellä on selkeästi suurin vaikutus pitoisuuksiin Kaarinan, Naantalin, Raision keskustan ja Turun kauppatorin mittauspisteissä. Alueellisella taustapitoisuudella on myös suuri vaikutus kaikkien mittauspisteiden pitoisuuksiin. Turun Ruissalossa laivaliikenteen päästöt vaikuttavat pitoisuuksiin huomattavasti muita mittauspisteitä enemmän. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöillä on vain vähäinen vaikutus pitoisuuksiin.



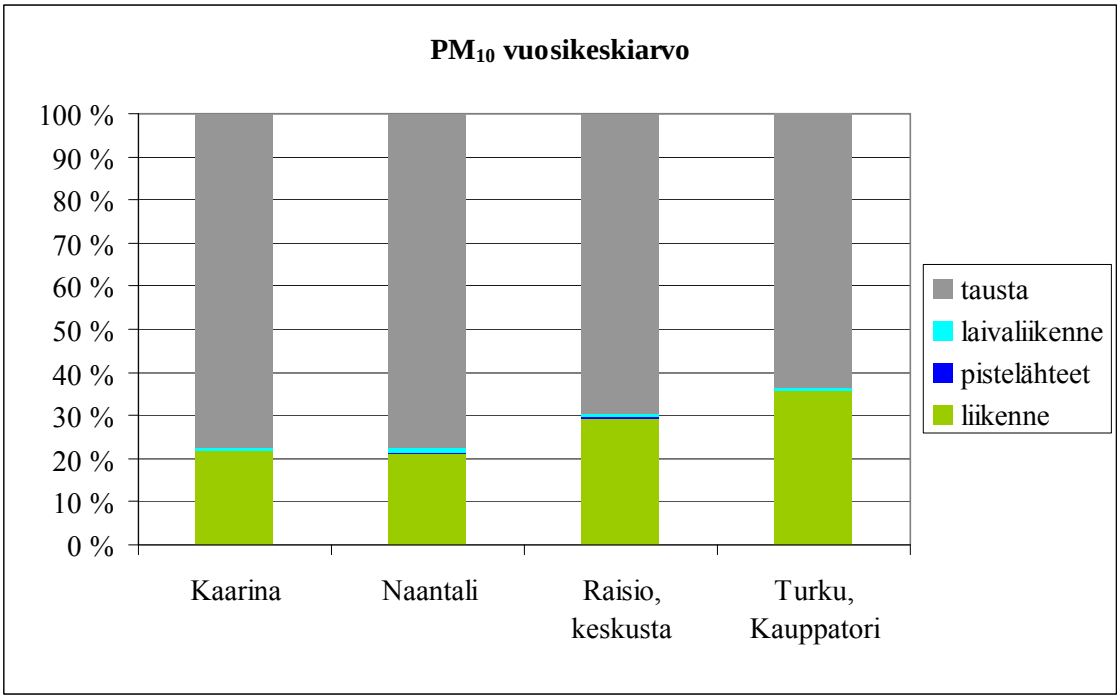
Kuva M. Eri päästölähteiden ja taustapitoisuuden osuus typpidioksidin vuosikeskiarvopitoisuuksiin mittauspisteissä.

Kuvassa N on esitetty eri päästölähteiden ja taustapitoisuuden osuus mallinnetuista rikkidioksidin vuosikeskiarvopitoisuuksista mittauspisteissä. Rikkidioksidin vuosipitoisuudet ovat mittauspisteissä pieniä ja niihin vaikuttaa melko tasavertaisesti alueellinen taustapitoisuus sekä laivaliikenteen, teollisuuden ja energiantuotannon päästöt. Autoliikenne ei juuri rikkidioksidipitoisuuksiin vaikuta.



Kuva N. Eri päästölähteiden ja taustapitoisuuden osuus rikkidioksidin vuosikeskiarvopitoisuuksiin mittauspisteissä.

Kuvassa O on esitetty eri päästölähteiden ja taustapitoisuuden osuus mallinnetuista hengitettävien hiukkasten vuosikeskiarvopitoisuuksista mittauspisteissä. Taustapitoisuudella on merkittävin vaikutus hengitettävien hiukkasten vuosikeskiarvopitoisuuksiin kaikissa mittauspisteissä. Autoliikenne aiheuttaa noin 20−30 % pitoisuuksista ja laivaliikenne, teollisuus ja energiantuotanto vain hyvin pienen osan. Autoliikenteellä ja etenkin autoliikenteen epäsuorilla päästöillä voidaan arvioida olevan suurempi vaikutus lyhytaikaisiin pitoisuuksiin.



Kuva O. Eri päästölähteiden ja taustapitoisuuden osuus hengitettävien hiukkasten vuosikeskiarvopitoisuuksiin mittauspisteissä.

4.6 Mallilaskelmien tulosten vertailu edellisen tutkimuksen tuloksiin

Ilmatieteen laitos on tehnyt Turun seudulle edellisen ilmanlaatuselvityksen vuonna 1997 (*Pietarila, ym. 1997*). Tässä selvityksessä olivat mukana Turun, Raision, Naantalin ja Kaarinan energiantuotannon, teollisuuden, kiinteistöjen erillislämmityksen sekä auto-, laiva- ja junaliikenteen typenoksidi- ja rikkidioksidipäästöt vuodelta 1994. Selvityksessä laskettiin leviämismalleilla näiden päästöjen aiheuttamat pitoisuudet sekä typpi- ja rikkilaskeuma tutkimusalueelle, jonka koko oli 28 × 17 km. Nyt tehdyn tutkimuksen tulosten vertailu vuonna 1997 tehtyyn tutkimukseen on vaikeaa, koska tutkimusalueet eivät ole yhteneväisiä ja päästöt on otettu huomioon eri tavalla.

Vuoden 1997 tutkimuksessa oli mukana 76 erillistä energiantuotannon ja teollisuuden päästölähdettä, joista kaikki eivät ole enää mukana nyt tehdyssä tutkimuksessa. Länsi-

Turunmaan päästölähteitä ei vuoden 1997 tutkimuksessa ollut mukana lainkaan. Vuoden 1997 tutkimuksessa energiantuotannon ja teollisuuden typenoksidipäästöt olivat 4 930 tonnia ja rikkidioksidipäästöt 6 960 tonnia. Nyt tehdyssä tutkimuksessa energiantuotannon ja teollisuuden päästöt vastaavalle alueelle (Turku, Raisio, Naantali ja Kaarina) olivat 3 529 tonnia typenoksideja ja 3 125 tonnia rikkidioksidia. Energiantuotannon ja teollisuuden aiheuttamat typenoksidien kokonaispäästöt ovat siis pienentyneet noin kolmasosan ja rikkidioksidin kokonaispäästöt noin puolet.

Laivaliikenteen osalta vuoden 1997 tutkimus ja nykyinen tutkimus eivät ole vertailukelpoisia, koska edellisessä tutkimuksessa oli huomioitu ainoastaan Naantalin ja Turun kantasataman päästöt. Karkeasti voidaan arvioida, että alueen laivakäynnit ja siten päästöt ovat kasvaneet selvästi vuoden 1997 tutkimuksen jälkeen.

Autoliikenteen typenoksidipäästöt ovat vähentyneet selvästi edellisen selvityksen jälkeen. Edellisessä selvityksessä Turun, Raision, Naantalin ja Kaarinan liikenteen typenoksidipäästöt olivat 3 337 t/a, kun tässä selvityksessä Turun, Raision, Naantalin, Kaarinan ja Länsi-Turunmaan autoliikenteen typenoksidipäästöt olivat 1 615 t/a. Alueen typpidioksidipitoisuudet ovat mallilaskelmien mukaan laskeneet vuonna 1997 tehdyn selvityksen jälkeen, joka johtuu pääsääntöisesti autoliikenteen päästöjen vähenemisestä. Ajoneuvotekniikoiden uudistuessa ajoneuvokohtaiset typenoksidien kokonaispäästöt ovat vähentyneet selvästi, mutta suoran typpidioksidipäästön osuus on tietyntyyppisissä katalysaattoriautoissa kasvanut. Tämä vaikuttaa siihen, etteivät typpidioksidipitoisuudet ole laskeneet samassa suhteessa päästöjen kanssa.

Rikkidioksidin pitoisuustasot ovat pienentyneet selvästi vuoteen 1997 verrattuna. Tähän on vaikuttanut sekä teollisuuden ja energiantuotannon että autoliikenteen päästöjen väheneminen.

4.7 Ilmanlaadun seuranta alueella

Leviämismallilaskelmien mukaan liikenteen hiukkasten ja typenoksidien päästöt aiheuttavat Turun seudulla merkittävimpiä ilmanlaatuvaikutuksia, joten näiden ilman epäpuhtauksien pitoisuuksien mittauksia on syytä edelleen jatkaa usealla liikenneasemalla.

Nykyisten pysyvien liikenneasemien lisäksi on suositeltavaa tehdä kampanjamittauksia alueilla, joilla ilmanlaatu on liikenteen johdosta huonoa, etenkin jos tämän tyyppisiä alueita suunnitellaan kaavoitettavaksi asuinkäyttöön. Rikkidioksidipitoisuudet ovat mallilaskelmien mukaan pieniä, mutta mittauksia on syytä jatkaa teollisuuden velvoitetarkkailun ja häiriöpäästöjen vaikutusten arvioinnin vuoksi.

Pienhiukkaspitoisuuksien mittaamista suositellaan aloitettavaksi pysyvällä kaupunkitausta-asemalla väestön yleisen altistumisen arvioimiseksi. Pienhiukkasten pitoisuusmittausten yhteydessä suositellaan tehtäväksi kampanjaluonteisia PAH-yhdisteiden ja bentseenin mittauksia raja-arvoihin verrannollisten pitoisuustasojen arvioimiseksi. Näiden yhdisteiden pitoisuuksiin vaikuttavat puun pienpoltto, liikenteen ja teollisuuden päästöt. Lisäksi esitetään harkittavaksi VOC-pitoisuuksien kampanjamittauksia Naantalin öljynjalostamon ja muiden VOC-päästöjä aiheuttavien teollisuuskohteiden lähialueil-

la. Kampanjamittauksia suositellaan seuraavien vuosien aikana tehtäväksi myös satamien ja ratapihojen ilmanlaatuvaikutusten arvioimiseksi sekä hajujen osalta jätehuollon kohteissa tai niiden ympäristössä.

Ilmanlaadun mittauksien lisäksi on suositeltavaa uusia Turun seudun päästöjen leviämismallilaskelmia säännöllisin välein, esimerkiksi joka viides vuosi. Lisäksi leviämismallilaskelmia suositellaan tehtävän yksittäisille laitoksille esimerkiksi prosessimuutoksia suunniteltaessa tai uusien merkittävien laitosten ilmanlaatuvaikutuksia arvioitaessa sekä suunniteltaessa asuinrakentamista alueille, joilla tulevaisuudessa voi olla esimerkiksi liikenteen lisääntymisen vuoksi merkittäviä ilmanlaatuongelmia.

5 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä tutkimuksessa arvioitiin leviämismallilaskelmilla Turun seudun kuntien energiantuotannon, teollisuuden, laivaliikenteen ja autoliikenteen typenoksidi-, rikkidioksidi- ja hiukkaspäästöjen aiheuttamia ilmanlaatuvaikutuksia. Tutkimus kattoi Kaarinan, Länsi-Turunmaan, Naantalin, Raision ja Turun alueet. Tutkimuksen tarkoituksena oli hankkia leviämismalleilla tietoa Turun seudun ilmanlaadusta ja sen alueellisesta vaihtelusta ja eri päästölähteiden vaikutusosuudesta ilmanlaatuun vuoden 2007 päästöjä kuvaavassa tilanteessa. Tutkimuksen tuloksina saatuja rikkidioksidin, typpidioksidin ja hengitettävien hiukkasten pitoisuuksia verrattiin ilmanlaadun raja- ja ohjearvoihin.

Leviämismalliin lähtötietoina käytetyt päästöt kattavat suurimman osan Turun seudulla syntyvistä typenoksidien, rikkidioksidin ja hengitettävien hiukkasten päästöistä. Laskelmissa ei huomioitu lentoliikenteen, junaliikenteen, puun pienpolton ja työkoneiden päästöjä. Energiantuotannon, teollisuuden ja laivaliikenteen osalta laskelmissa tarvittavat tiedot saatiin alueen ympäristölupavelvollisilta toiminnanharjoittajilta. Tutkimusalueen teiden ja katujen päästöt perustuvat Turun seudun kuntien ja tiehallinnon toimittamiin tietoihin tieosuuskohtaisista liikennemääristä ja VTT:n arvioihin ajoneuvokohtaisista päästökertoimista. Tutkimusalueen teollisuuden ja energiantuotannon rikkidioksidipäästöt olivat vuonna 2007 yhteensä 3 317 t/a, typenoksidipäästöt 5 393 t/a ja hiukkaspäästöt 405 t/a. Laivaliikenteen rikkidioksidipäästöt olivat 324 t/a, typenoksidipäästöt 1 760 t/a ja hiukkaspäästöt 78 t/a. Tutkimusalueen teiden ja katujen autoliikenteen rikkidioksidipäästöt olivat 2,7 t/a, typenoksidipäästöt 1 615 t/a ja suorat pienhiukkaspäästöt 116 t/a. Autoliikenne aiheutti lisäksi epäsuorasti tienpinnasta mekaanisesti irtoavia hiukkasia ja hiekoitushiekasta peräisin olevia hiukkasia noin 450−720 t/a vuodesta riippuen.

Tutkimuksen tulosten mukaan energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttamat rikkidioksidi-, typenoksidi- ja hiukkaspitoisuudet alittavat selvästi kyseisille yhdisteille määritetyt ohje- ja raja-arvot. Suurimmat pitoisuudet muodostuvat pääsääntöisesti lähelle Länsi-Turunmaan päästökorkeudeltaan matalia päästölähteitä sekä Naantalin voimalaitosta ja öljynjalostamoa, joilla on alueellisesti suuret päästöt. Energiatuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttamat korkeimmat rikkidioksidipitoisuudet ovat noin 50 % rikkidioksidipitoisuuksien ohjearvoista ja 25 % raja-arvoista. Suurimmassa osassa tutkimusaluetta rikkidioksidipitoisuudet ovat kuitenkin huomattavasti näitä korkeimpia

pitoisuuksia pienempiä. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttamat typpidioksidi- ja hiukkaspitoisuudet ovat pieniä verrattuna ohje- ja raja-arvoihin tai liikenteen päästöjen aiheuttamiin kyseisten yhdisteiden pitoisuuksiin. Nykyisillä energiantuotannon ja teollisuuden päästöillä voidaankin sanoa olevan vain pieni vaikutus Turun seudun ilmanlaatuun.

Laivaliikenteen päästöjen aiheuttamat rikkidioksidi-, typpidioksidi- ja hiukkaspitoisuudet alittavat selvästi terveysvaikutusperäiset ohje- ja raja-arvot. Laivaliikenteen päästöt aiheuttavat korkeimmillaan rikkidioksidipitoisuuksia, jotka ovat noin 15 % rikkidioksidille asetetuista raja-arvoista. Laivaliikenteen päästöjen aiheuttamat korkeimmat typpidioksidipitoisuudet ovat noin 60 % raja-arvoista. Hiukkaspäästöt aiheuttavat vain hyvin pienen lisän Turun seudulla esiintyviin hiukkaspitoisuuksiin. Laivaliikenteen päästöjen aiheuttamat suurimmat pitoisuudet muodostuvat satama-alueille ja niiden välittömään läheisyyteen sekä laivareittien varsille.

Autoliikenteelle päästöt aiheuttavat typpidioksidin ja hengitettävien hiukkasten pitoisuuksia, jotka korkeimmillaan ylittävät kyseisille yhdisteille määritellyt ohje- ja raja-arvot. Typpidioksidin ja hengitettävien hiukkasten raja-arvojen ylityksiä esiintyy laskelmien mukaan yksittäisissä pisteissä tutkimusalueen vilkkaimmalla risteysalueella. Autoliikenteen päästöjen vaikutuksesta typpidioksidin ohjearvo ylittyy suuressa osassa Turun keskustaa ja keskustan lähellä olevia vilkkaimpia teitä. Hengittävien hiukkasten pitoisuudet ylittävät vuorokausipitoisuudelle määritellyn ohjearvon vielä tätä laajemmalla alueella. Autoliikenteen päästöjen aiheuttamat rikkidioksidipitoisuudet alittavat raja- ja ohjearvot selvästi ja ovat huomattavasti energiantuotannon, teollisuuden ja laivaliikenteen päästöjen aiheuttamia rikkidioksidipitoisuuksia pienempiä.

Kaikkien tässä tutkimuksessa huomioitujen päästöjen sekä alueellisen taustapitoisuuden yhdessä aiheuttamat typpidioksidin ja hengitettävien hiukkasten kokonaispitoisuudet ylittävät paikoittain Suomessa voimassa olevat raja- ja ohjearvot. Typpidioksidin raja-arvojen ylityksiä esiintyy laskelmien mukaan yksittäisissä pisteissä Tampereentien ja Satakunnantien risteysalueella. Hengitettävien hiukkasten vuorokausiraja-arvo ylittyy myös kyseisellä risteysalueella. Huomattava on kuitenkin, että raja-arvot eivät ole voimassa liikenneväylillä, joten paikoilla, jossa asuu tai oleskelee ihmisiä ei esiinny raja-arvojen ylityksiä. Typpidioksidin ja hengitettävien hiukkasten ohjearvot ylittyvät laajemmalla alueella Turun keskustassa ja vilkkaimpien liikenneväylien varsilla. Huomattava on, että pitoisuudet laimenevat nopeasti keskusta-alueiden ja vilkkaimpien väylien ulkopuolella ja suurimmassa osassa tutkimusaluetta pitoisuudet ovat selvästi ohjearvotasoa pienempiä.

Mallilaskelmien tulosten perusteella voidaan arvioida, että Turun seudun ilmanlaatuun vaikuttavat merkittävimmin autoliikenteen typenoksidi- ja hiukkaspäästöt sekä kaukokulkeuma. Tämän leviämismallinnuksen tulokset tukevat ilmanlaadun mittauksilla ja muilla leviämismallilaskelmilla saatua tietoa Turun seudun ilmanlaadusta ja siihen vaikuttavista tekijöistä. Ilmanlaatu on suurimmassa osassa Turun seutua laskelmien mukaan hyvää, mutta Turun keskusta-alueella ja vilkkaimpien liikenneväylien varsilla voivat pitoisuudet ylittää ilmanlaadun ohjearvot. Mittausten ja mallilaskelmien tuloksien pohjalta saatua tietoa ilmanlaadusta tulisikin ottaa huomioon laajemmin esimerkiksi liikennesuunnittelussa tai kaavoitettaessa vilkkaiden liikenneväylien läheisyyteen.

VIITELUETTELO

Härkönen, J., Valkonen, E., Kukkonen, J., Rantakrans, E., Lehtinen, K., Karppinen, A., Jalkanen, L., 1996. A model for the dispersion of pollution from a road network. Finnish Meteorological Institute. Publications on air quality No. 23, Helsinki, Yliopistopaino, 34 s.

Härkönen, J., 2002. Regulatory dispersion modelling of traffic-originated pollution, Finnish Meteorological Institute Contributions 38, Helsinki, Yliopistopaino, ISBN 951-697-564-X.

Ilmanlaatuportaali, 2009. www.ilmanlaatu.fi

Ilmatieteen laitos, 2009. Ilmanlaadun seurannan tietojärjestelmä (ILSE)

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, ISBN 951-697-552-6.

Laurikko, J. 1998. On exhaust from petrol-fuelled passenger cars at low ambient temperatures. VTT julkaisu 348. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Espoo.

Mäkelä, K., Laurikko, J. & Kanner, H., 2008. Suomen tieliikenteen pakokaasupäästöt. LIISA 2007 laskentajärjestelmä. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Tutkimusraportti VTT-R-05607-08.

Pietarila, H., Salmi, T., Saari H. & Pesonen, R., 2001. Ilmanlaadun alustava arviointi Suomessa. Rikkidioksidi, typen oksidit, PM_{10} ja lyijy. The preliminary assessment under the EC air quality directives in Finland. SO_2, NO_2/NO_x PM_{10}, lead. Ilmatieteen laitos, Ilmanlaadun tutkimus.

Omstedt, G., Bringrelt, B., Johansson, C., 2005. A model for vehicle-induced non-tailpipe emissions of particles along Swedish roads. Atmospheric Environment, Vol. 39, 6088–60

Pietarila, H., Pesonen, R., Rasila, T., Rantakrans, E., Haarala, S. & Lesojeff, K., 1997. Turku, Raisio, Naantali, Kaarina. Turun seudun ilmanlaatututkimus. Ilmatieteen laitos, Ilmanlaatu, Helsinki. ISBN 951-697-468-6

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

Vnp 480/96. Valtioneuvoston päätös ilmanlaadun ohjearvoista ja rikkilaskeuman tavoitearvoista.

Vna 711/2001. Valtioneuvoston asetus ilmanlaadusta.

Liite1. Leviämislaskelmissa huomioidut energiantuotannon ja teollisuuden päästöt laitoksittain vuodelta 2007.

Kunta	Laitos	Päästö (t/a)		
		NO_x	SO_2	PM_{10}
Kaarina	Nummenniityn lämpökeskus	0,008	–	0,0003
	Voivalan lämpökeskus	0,2	–	0,001
	Rauvolan lämpökeskus	0,009	0,0002	0,0008
Länsi-Turunmaa	Kalkkirannan lämpökeskus	5,3	13	2,4
	Finnsementti Oy, sementtitehdas	1688	14	79
	Paroc Oy, vuorivillatehdas	70	95	23
	Nordkalk Oy, kalkkiuuni	98	70	12
	Nordkalk Oy, parfill-laitos	3,2	0,04	8,7
	Nordkalk Oy, Paraisten kaivos	–	–	7,0
Naantali	Karvetin lämpökeskus	1,2	0,4	0,05
	Naantalin voimalaitos	2791	1551	117
	Naantalin öljynjalostamo	243	1131	120
Raisio	Haunisten lämpökeskus	1,2	3,8	0,3
	Kemppilän lämpökeskus	0,3	1,0	0,08
	Raisionkaaren teollisuuspuisto Oy, voimalaitos	0,3	6,0	1,1
Turku	Orikedon lämpökeskus	156	14	5,4
	Härkämäen lämpökeskus	11	23	0,6
	Linnankadun lämpökeskus	28	56	1,7
	Jalostajan lämpökeskus	24	13	3,2
	Kaupunginsairaalan lämpökeskus	4,7	2,4	0,6
	Koroisten lämpökeskus	7,6	15	0,8
	Luolavuoren lämpökeskus	29	59	3,7
	TYKS lämpökeskus	25	45	1,6
	Orionin lämpökeskus	3,4	1,8	0,5
	Jäkärlän lämpökeskus	11	5,3	1,4
	Runosmäen lämpökeskus (LK 137)	27	64	2,9
	Varissuon lämpökeskus	21	50	0,8
	Huiskulan puutarha Oy	15	46	1,7
	Lepolan puutarha Oy	4,3	10	4,3
	Orikedon jätteenpolttolaitos	101	1,5	0,2
	Late-rakenteet Oy	2,5	0,05	3,5
	Turun rehutehdas	11	27	0,6
	Hansaprint Oy	10	–	–
Yhteensä		**5 393**	**3 317**	**405**

Liite2. Laivaliikenteen eri päästölähderyhmien satamakohtaiset päästömäärät vuodelta 2007. Reittipäästöissä on esitetty päästöt satamista Rajakarille.

NO_x [t/a]	Satamassa	Reitillä	Yhteensä
Turku, kantasatama	340	384	724
Turku, Pansio	60	34	94
Naantali	564	379	942
Yhteensä	964	796	1760

PM_{10} [t/a]	Satamassa	Reitillä	Yhteensä
Turku, kantasatama	16	27	43
Turku, Pansio	2	2	4
Naantali	15	15	30
Yhteensä	34	44	78

SO_2 [t/a]	Satamassa	Reitillä	Yhteensä
Turku, kantasatama	47	117	164
Turku, Pansio	5	11	16
Naantali	41	104	144
Yhteensä	93	232	324

LIITEKUVAT

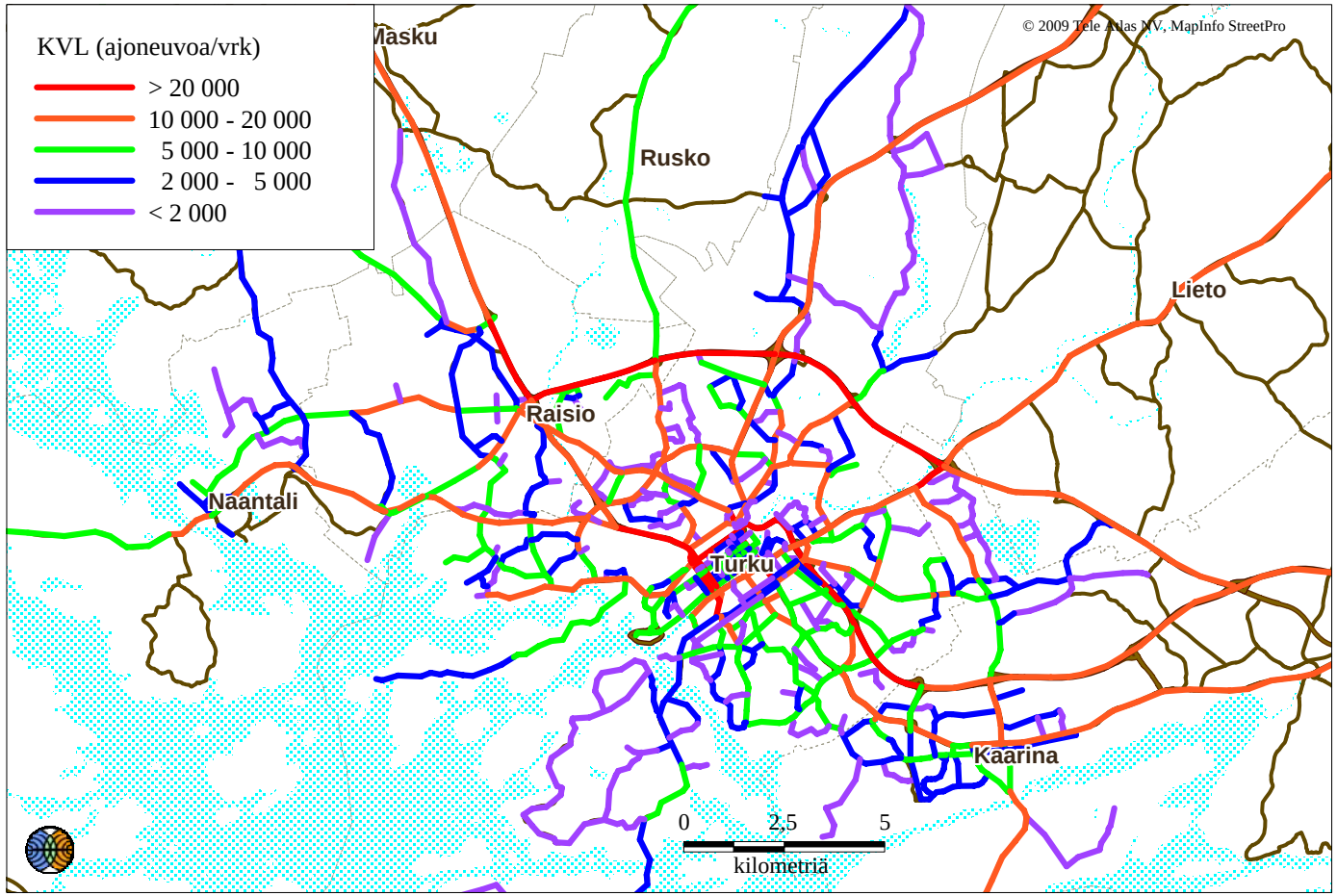
Seuraavissa karttakuvissa on esitetty laskentapisteittäisistä keskiarvoista samanarvonviivoin muodostetut korkeimpien pitoisuuksien alueet, joilla tietyn pitoisuuden ylittyminen on pitkän havaintojakson aikana todennäköistä. Laskentapiste, johon muodostui koko tutkimusalueen suurin pitoisuus, on esitetty kuvassa valkoisella tähdellä.

Pitoisuuksien aluejakaumat eivät edusta koko tulostusalueella yhtä aikaa vallitsevaa pitoisuustilannetta vaan ne kuvaavat eri päivinä ja eri tunteina esiintyvien, raja- ja ohjearvoihin verrannollisten pitoisuuksien maksimitasoa tutkimusalueen eri osissa. Suurimman osan ajasta pitoisuudet ovat kaikissa laskentapisteissä selvästi pienempiä kuin aluejakaumakuvissa esitetyt korkeimmat arvot. Lisäksi suurimmassa osassa tutkimusaluetta pitoisuudet ovat jatkuvasti merkittävästi pienempiä kuin niissä kohteissa, joissa maksimiarvot esiintyvät.

Pitoisuuksien aluejakaumissa esiintyy kohonneiden pitoisuuksien kielekkeitä, joiden sijaintiin vaikuttaa varsinkin tuulen pysyvyys pitkällä tarkastelujaksolla tietyssä ilmansuunnassa. Maanpinnan muodot voivat aiheuttaa aluejakaumiin erillisiä suppeita alueita, joissa pitoisuudet ovat joko korkeampia tai matalampia kuin lähiympäristössään.

Pistemäisten päästölähteiden välittömään läheisyyteen muodostuu usein ns. katvealue, jolla pitoisuudet ovat minimissään ja kasvavat lyhyellä etäisyydellä nopeasti. Tällaisten aivan päästölähteen ympärille muodostuvien, muita arvoja matalampien pitoisuuksien alueiden laajuuteen vaikuttavat piipun korkeus ja poistokaasujen nousulisä. Nousulisää aiheuttavat poistokaasujen nousunopeus piipussa sekä ulkolämpötilan ja poistokaasujen lämpötilan välinen ero.

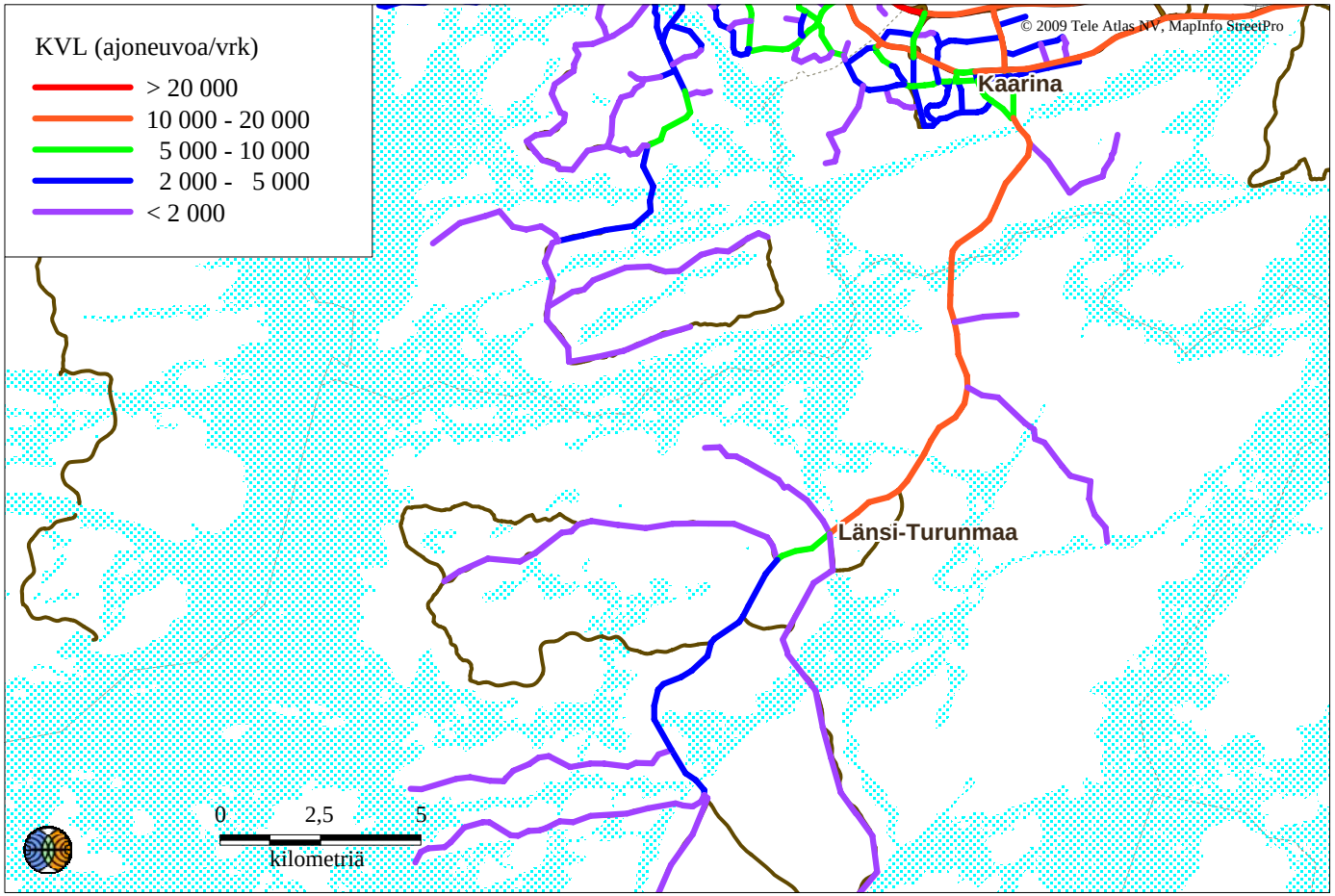
TURUN SEUTU, TUTKIMUSALUEEN POHJOISOSA



Ilmatieteen laitos 2009

Kuva 1. Keskimääräinen vuorokausiliikenne (ajoneuvoa/vrk).

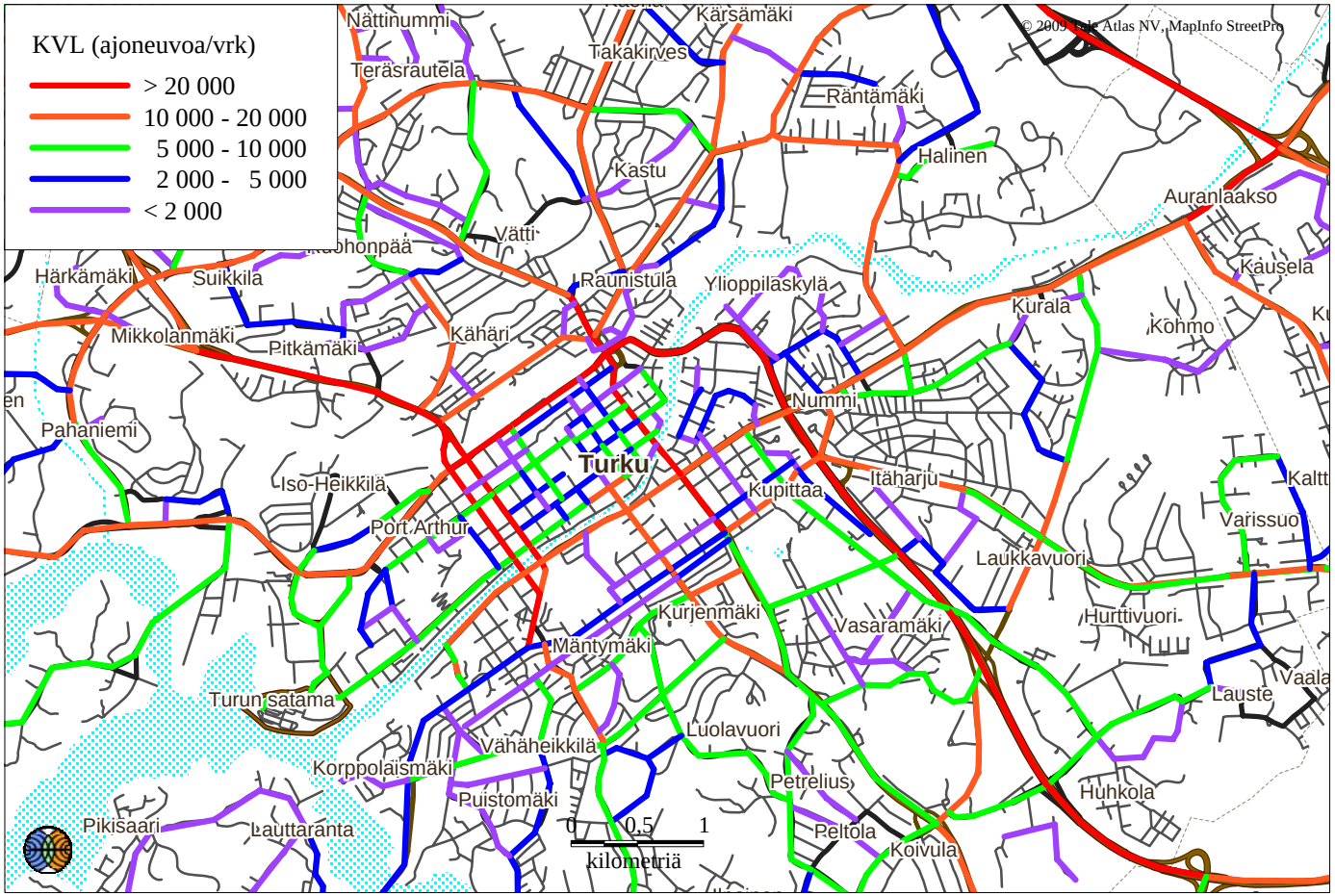
TURUN SEUTU, TUTKIMUSALUEEN ETELÄOSA



Ilmatieteen laitos 2009

Kuva 2. Keskimääräinen vuorokausiliikenne (ajoneuvoa/vrk).

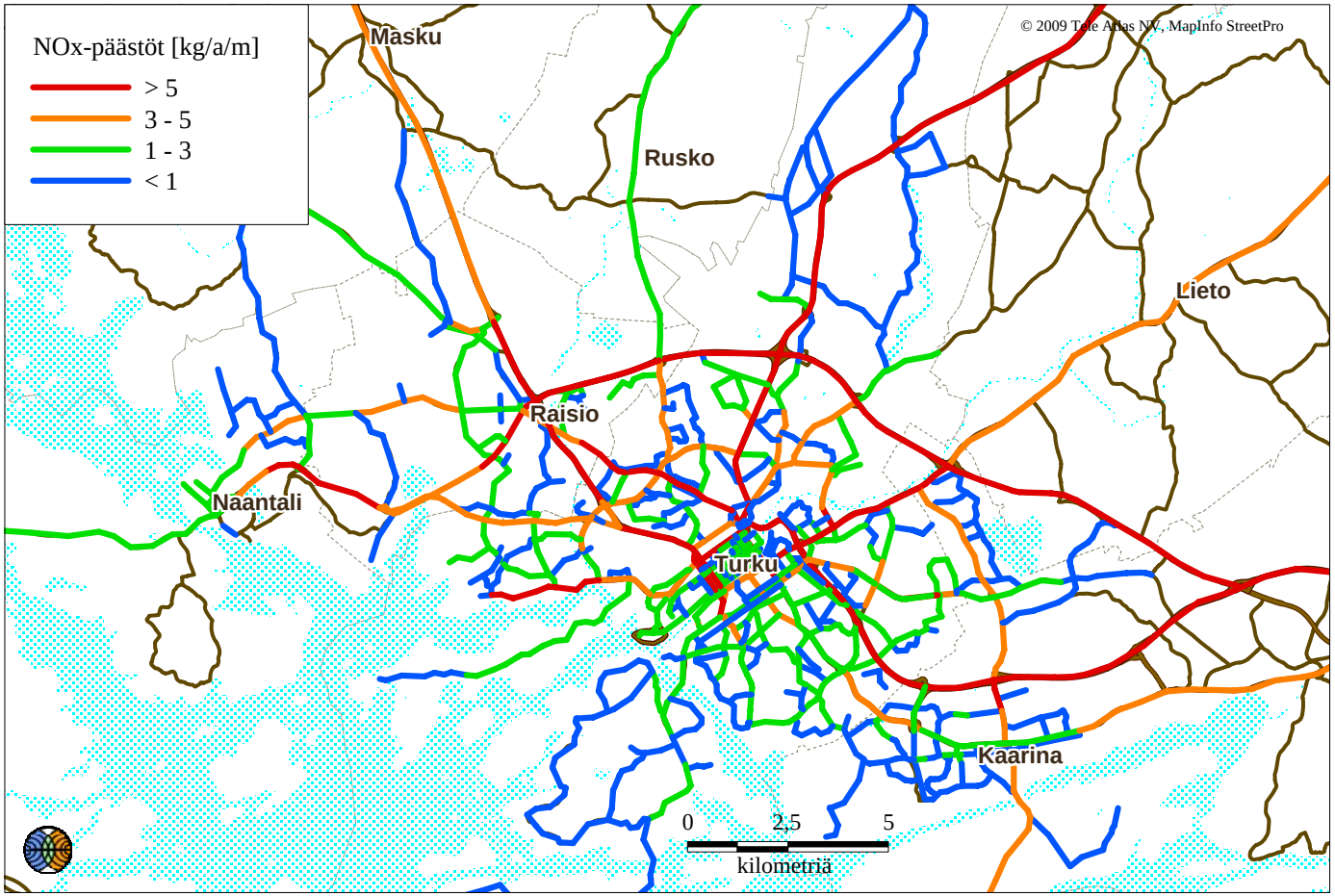
TURUN KESKUSTA



Ilmatieteen laitos 2009

Kuva 3. Keskimääräinen vuorokausiliikenne (ajoneuvoa/vrk).

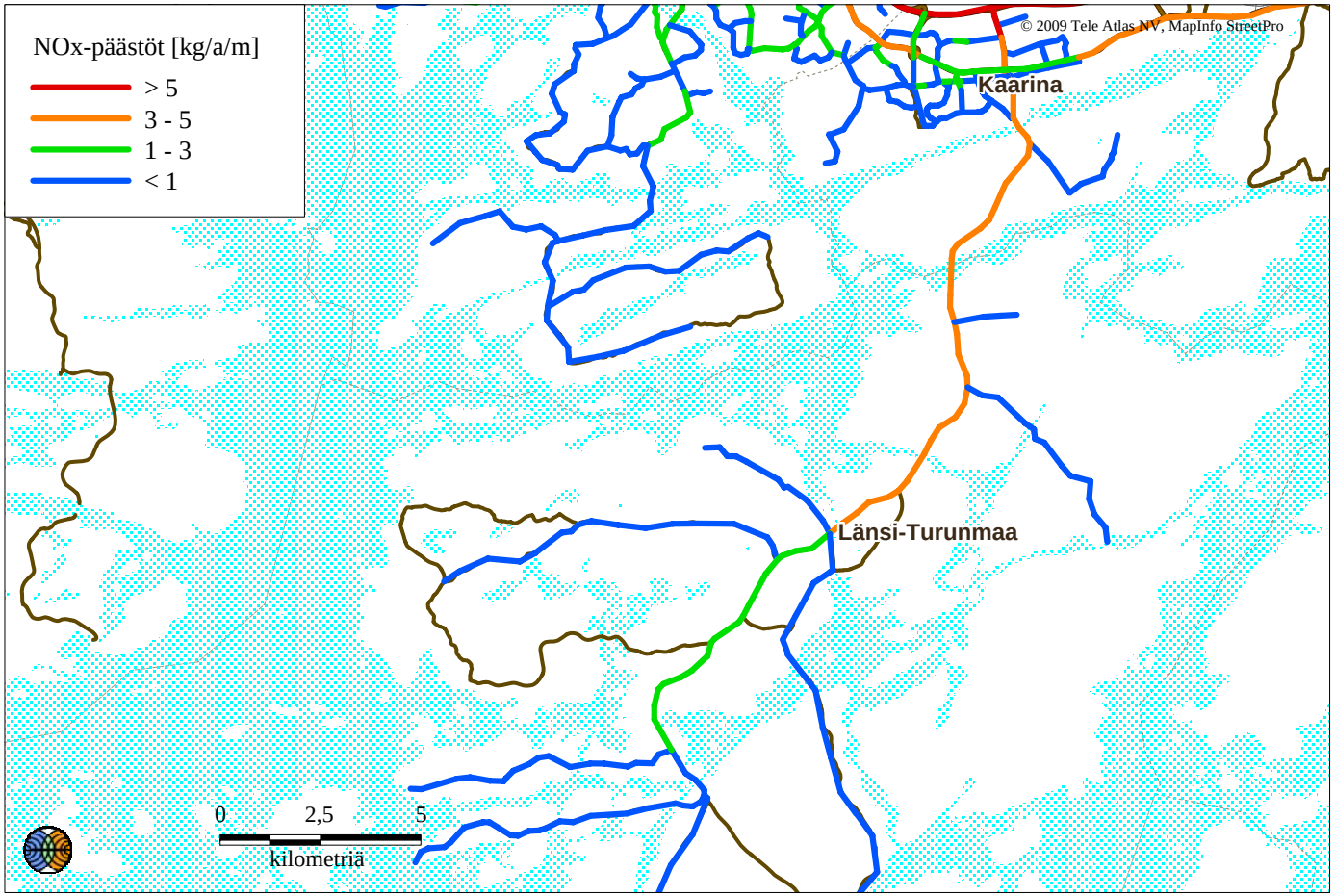
TURUN SEUTU, TUTKIMUSALUEEN POHJOISOSA



Ilmatieteen laitos 2009

Kuva 4. Autoliikenteen typenoksidipäästöt (kg/a/m).

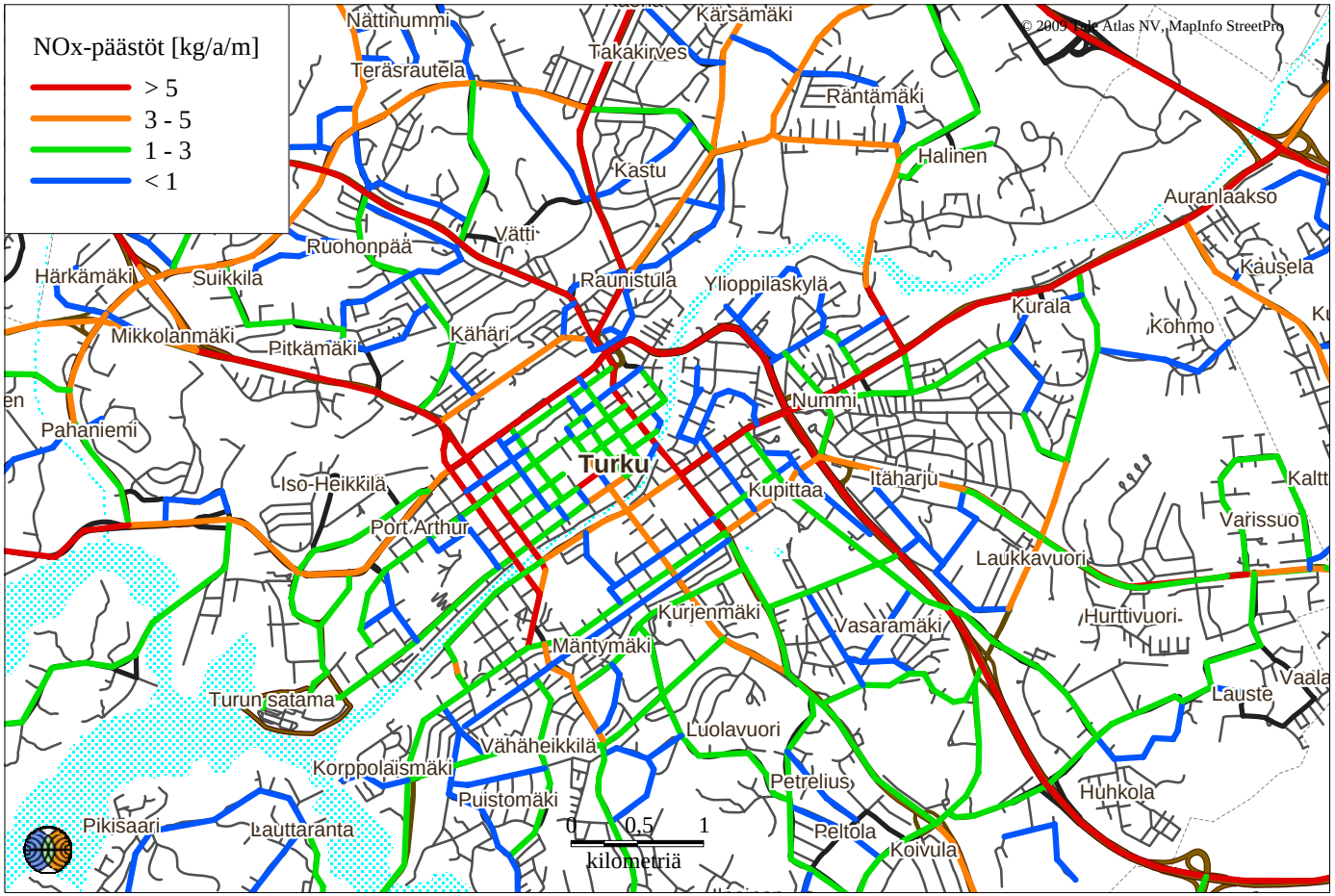
TURUN SEUTU, TUTKIMUSALUEEN ETELÄOSA



Ilmatieteen laitos 2009

Kuva 5. Autoliikenteen typenoksidipäästöt (kg/a/m).

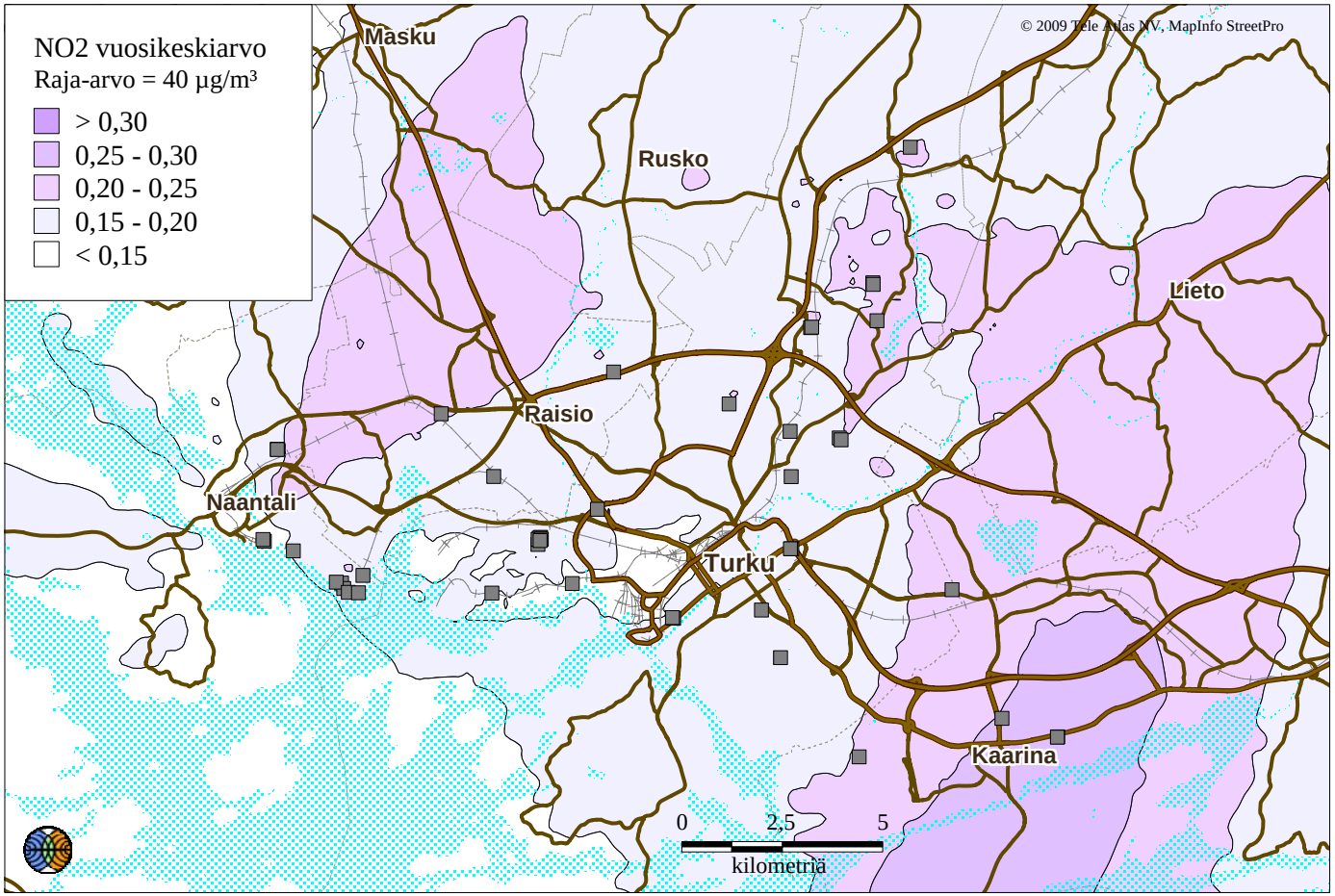
TURUN KESKUSTA



Ilmatieteen laitos 2009

Kuva 6. Autoliikenteen typenoksidipäästöt (kg/a/m).

TURUN SEUTU, TUTKIMUSALUEEN POHJOISOSA



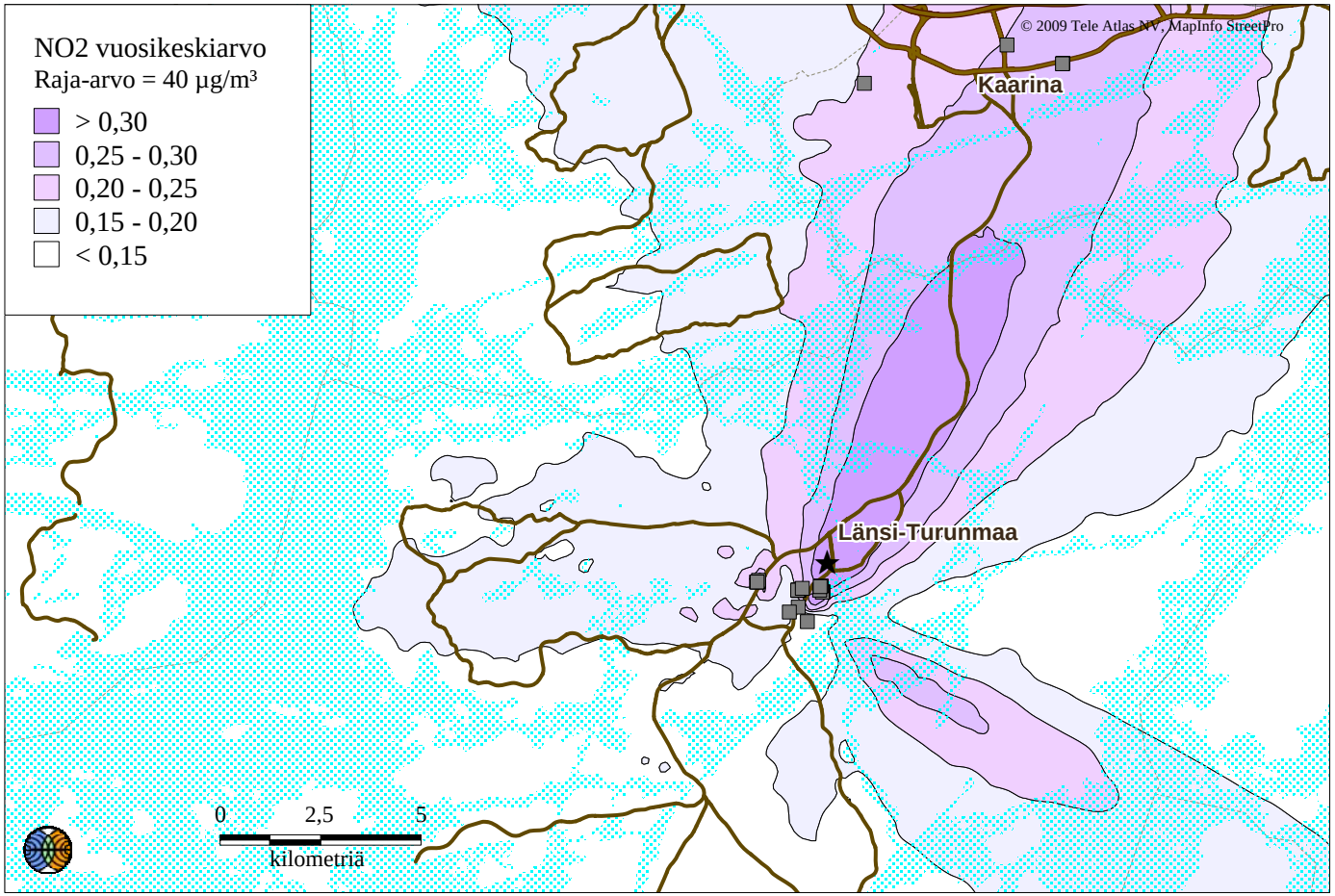
■ = Energiantuotanto- ja teollisuuslaitokset

★ = pitoisuusmaksimi = 0,4 µg/m³

Ilmatieteen laitos 2009

Kuva 7. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttama typpidioksidipitoisuuden korkein vuosikeskiarvo (µg/m³).

TURUN SEUTU, TUTKIMUSALUEEN ETELÄOSA



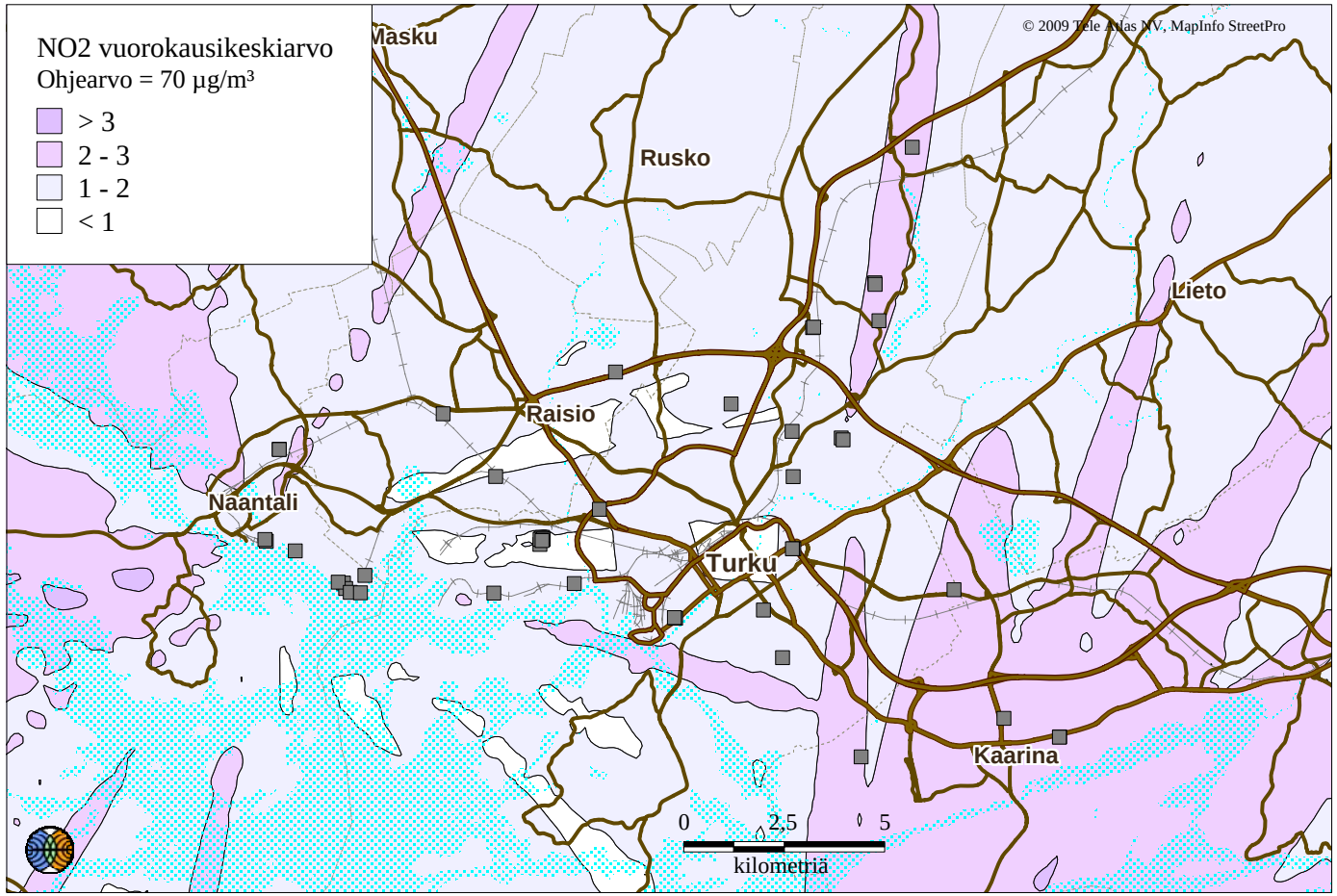
= Energiantuotanto- ja teollisuuslaitokset

★ = pitoisuusmaksimi = 0,4 µg/m³

Ilmatieteen laitos 2009

Kuva 8. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttama typpidioksidipitoisuuden korkein vuosikeskiarvo (µg/m³).

TURUN SEUTU, TUTKIMUSALUEEN POHJOISOSA



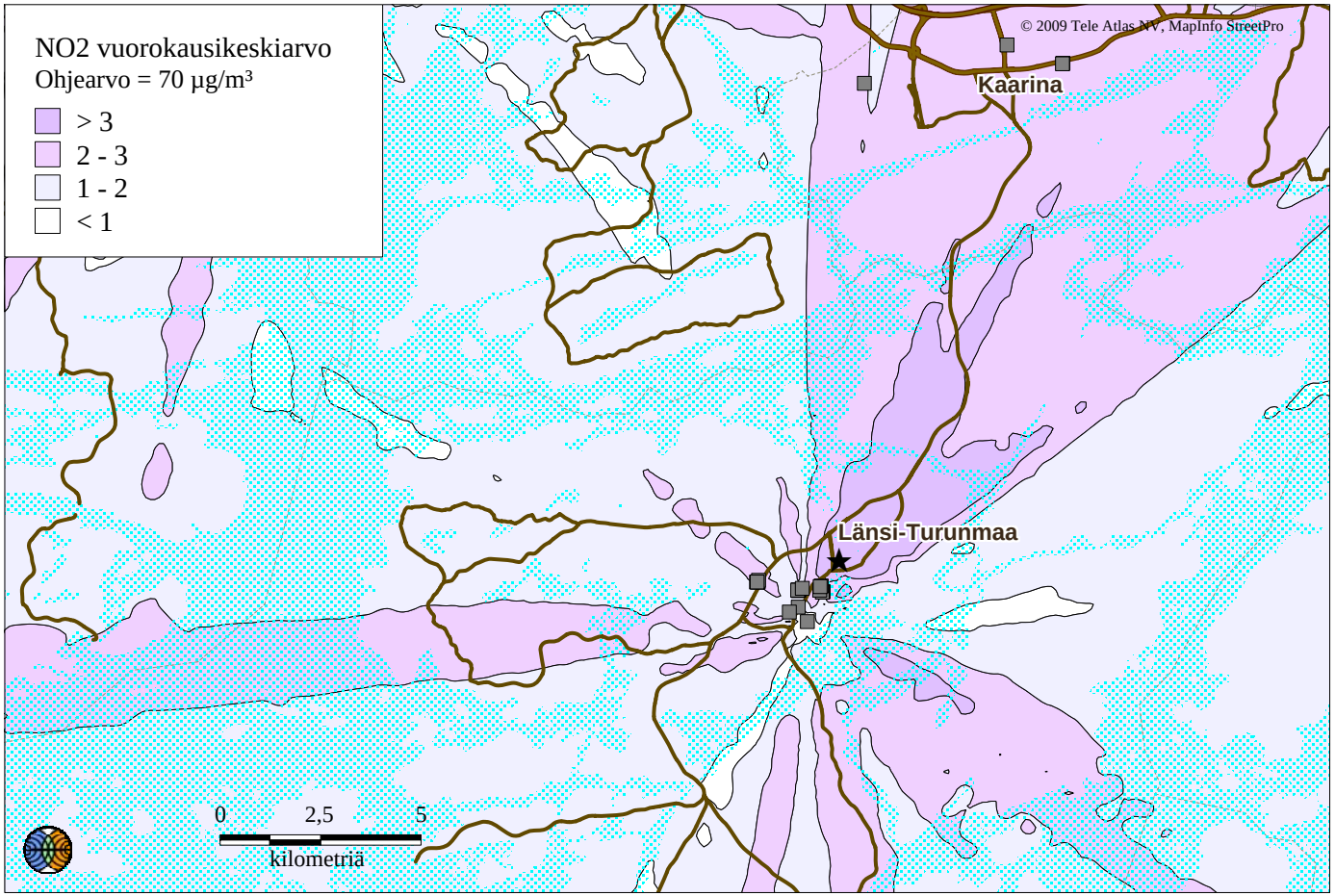
Ilmatieteen laitos 2009

■ = Energiantuotanto- ja teollisuuslaitokset

★ = pitoisuusmaksimi = 4,1 µg/m³

Kuva 9. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttama typpidioksidin korkein vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

TURUN SEUTU, TUTKIMUSALUEEN ETELÄOSA



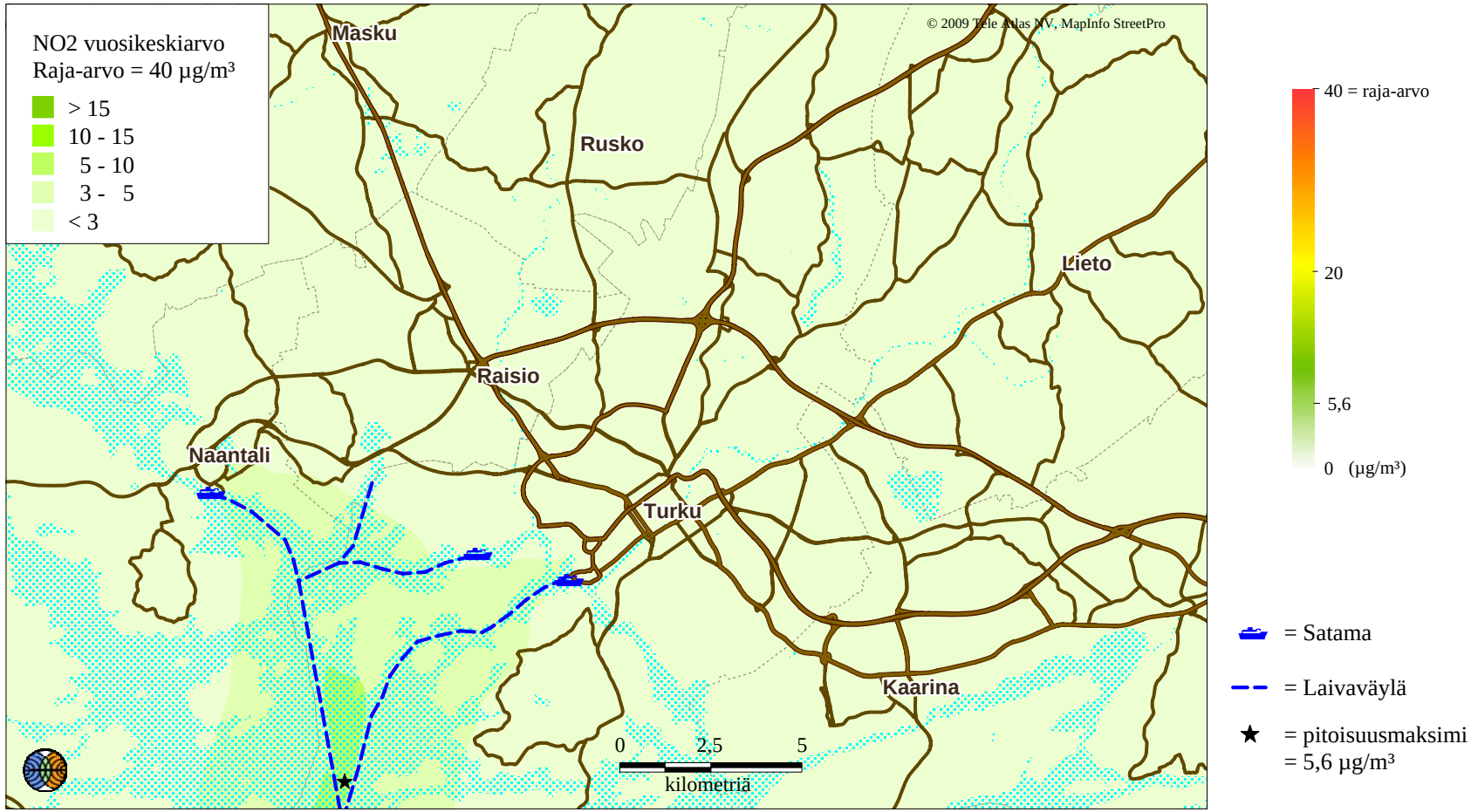
= Energiantuotanto- ja teollisuuslaitokset

★ = pitoisuusmaksimi = 4,1 µg/m³

Ilmatieteen laitos 2009

Kuva 10. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttama typpidioksidin korkein vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

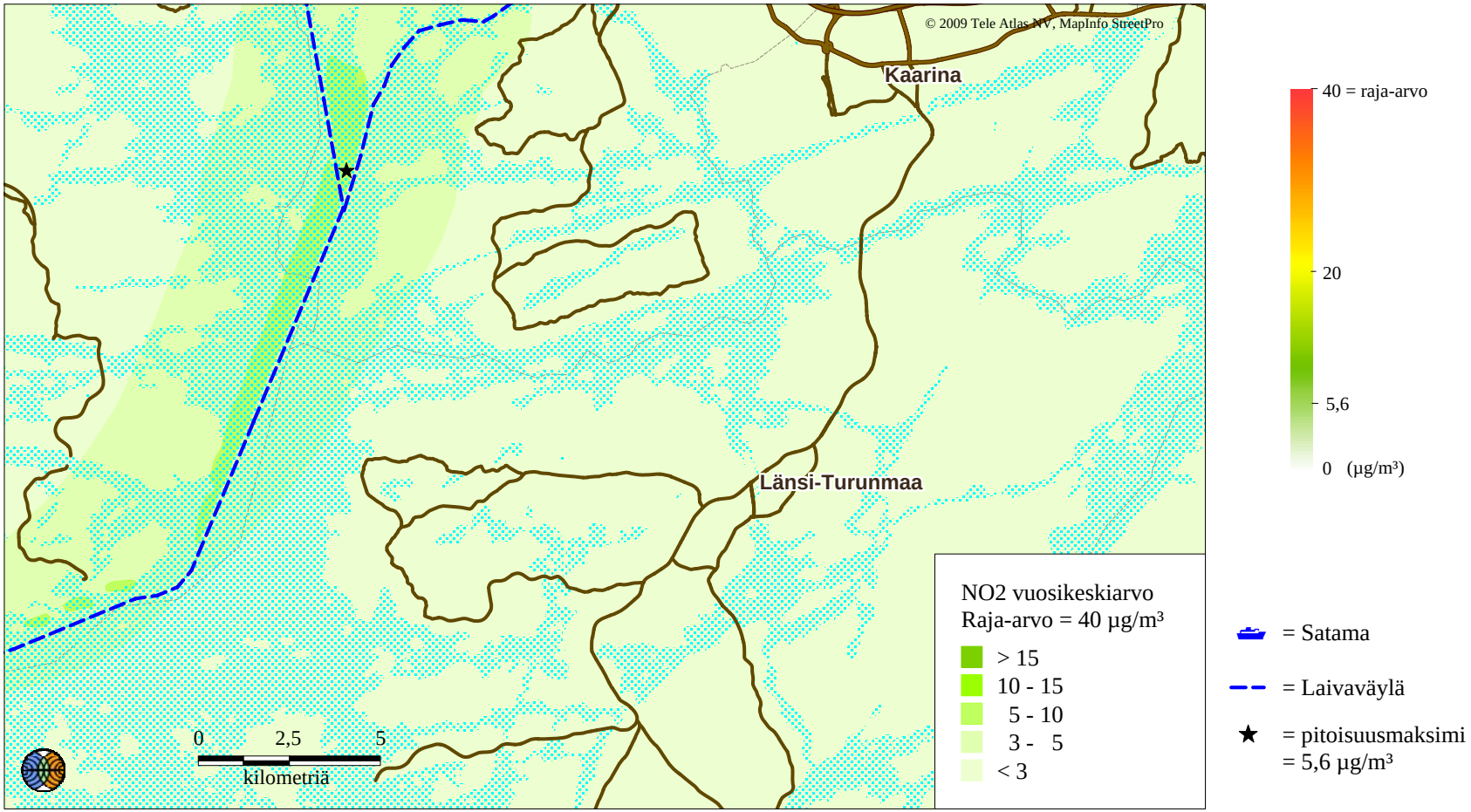
TURUN SEUTU, TUTKIMUSALUEEN POHJOISOSA



Ilmatieteen laitos 2009

Kuva 11. Laivaliikenteen päästöjen aiheuttama typpidioksidipitoisuuden korkein vuosikeskiarvo (µg/m³).

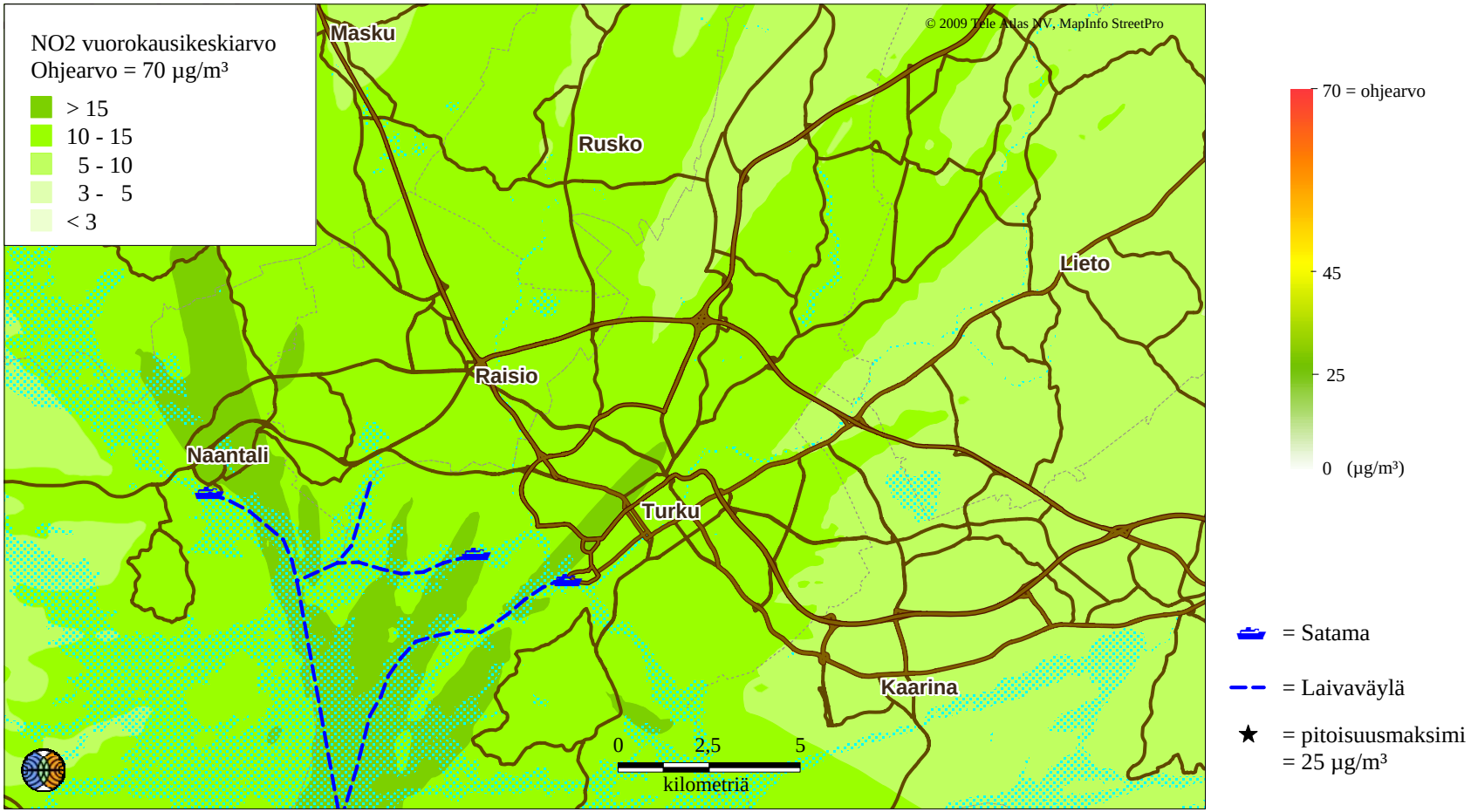
TURUN SEUTU, TUTKIMUSALUEEN ETELÄOSA



Ilmatieteen laitos 2009

Kuva 12. Laivaliikenteen päästöjen aiheuttama typpidioksidipitoisuuden korkein vuosikeskiarvo (µg/m³).

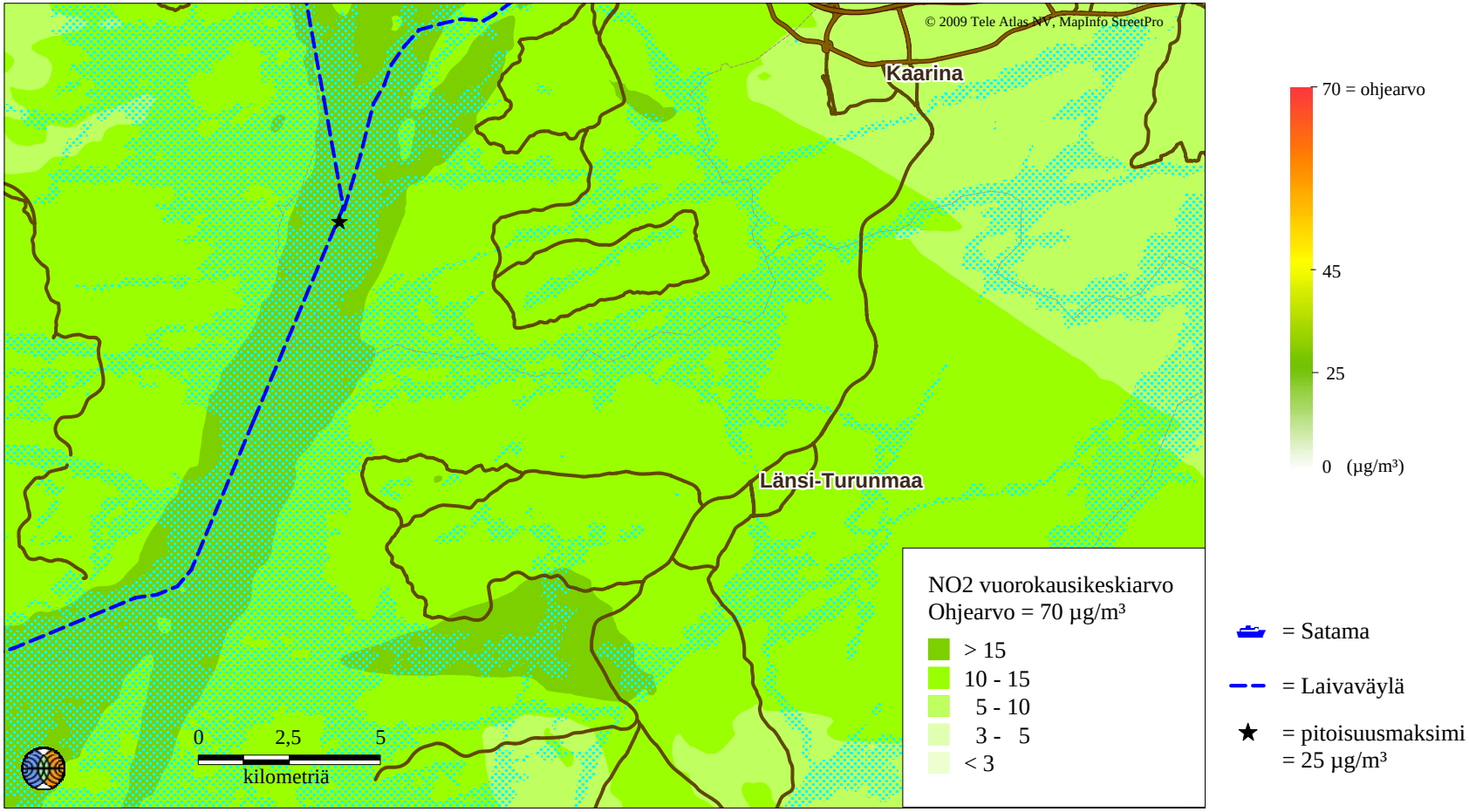
TURUN SEUTU, TUTKIMUSALUEEN POHJOISOSA



Ilmatieteen laitos 2009

Kuva 13. Laivaliikenteen päästöjen aiheuttama typpidioksidin korkein vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

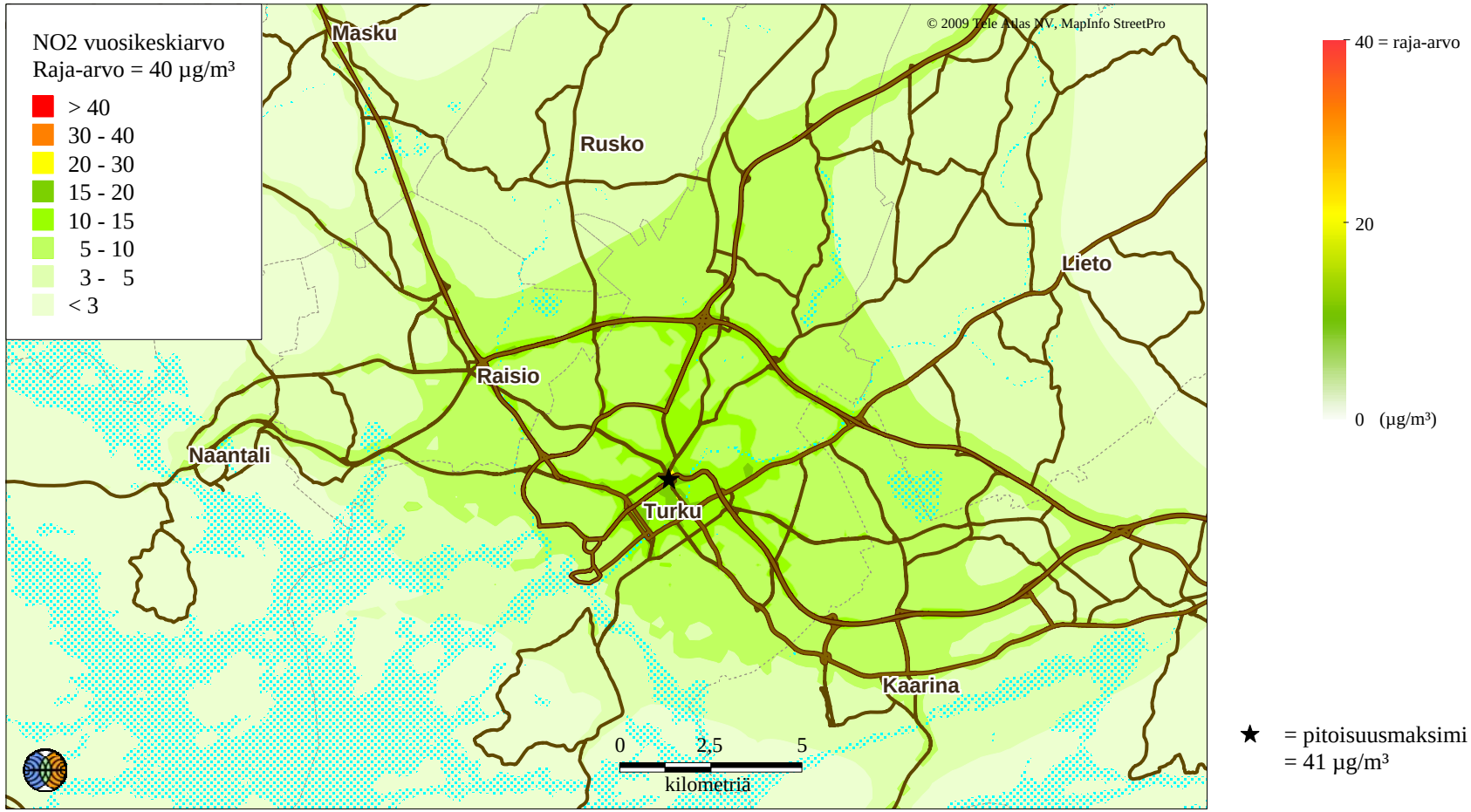
TURUN SEUTU, TUTKIMUSALUEEN ETELÄOSA



Ilmatieteen laitos 2009

Kuva 14. Laivaliikenteen päästöjen aiheuttama typpidioksidin korkein vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

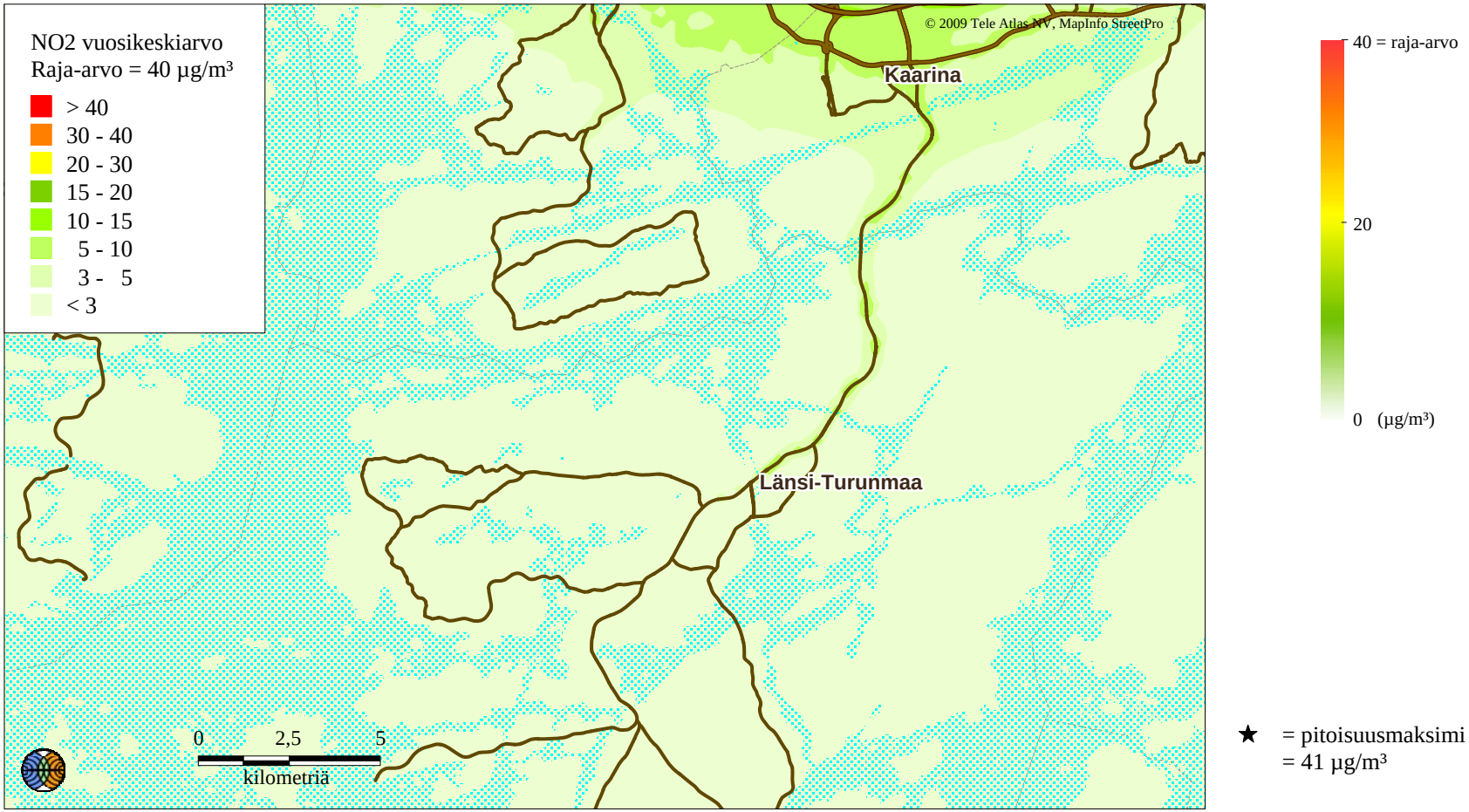
TURUN SEUTU, TUTKIMUSALUEEN POHJOISOSA



Ilmatieteen laitos 2009

Kuva 15. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama typpidioksidipitoisuuden korkein vuosikeskiarvo (µg/m³).

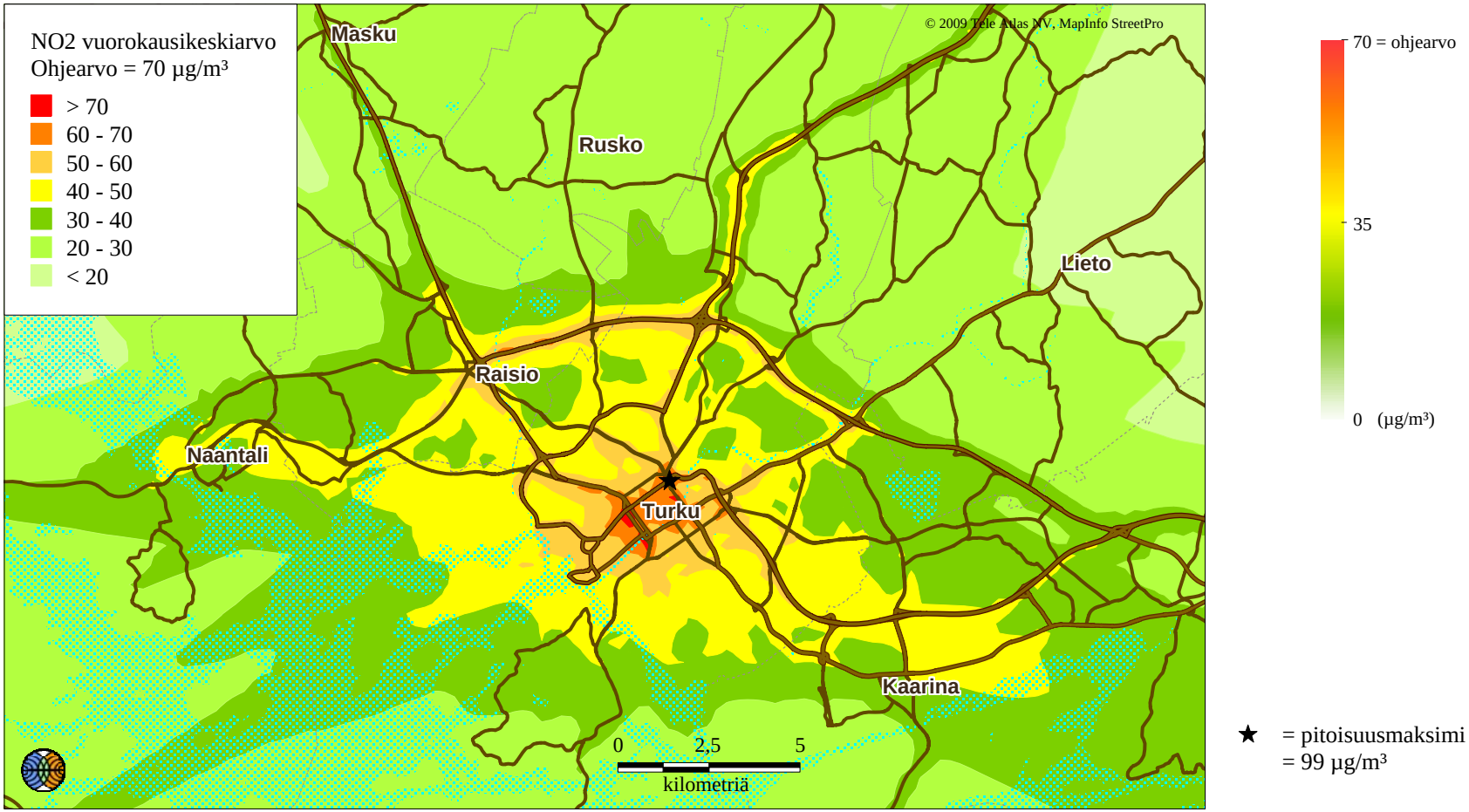
TURUN SEUTU, TUTKIMUSALUEEN ETELÄOSA



Ilmatieteen laitos 2009

Kuva 16. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama typpidioksidipitoisuuden korkein vuosikeskiarvo (µg/m³).

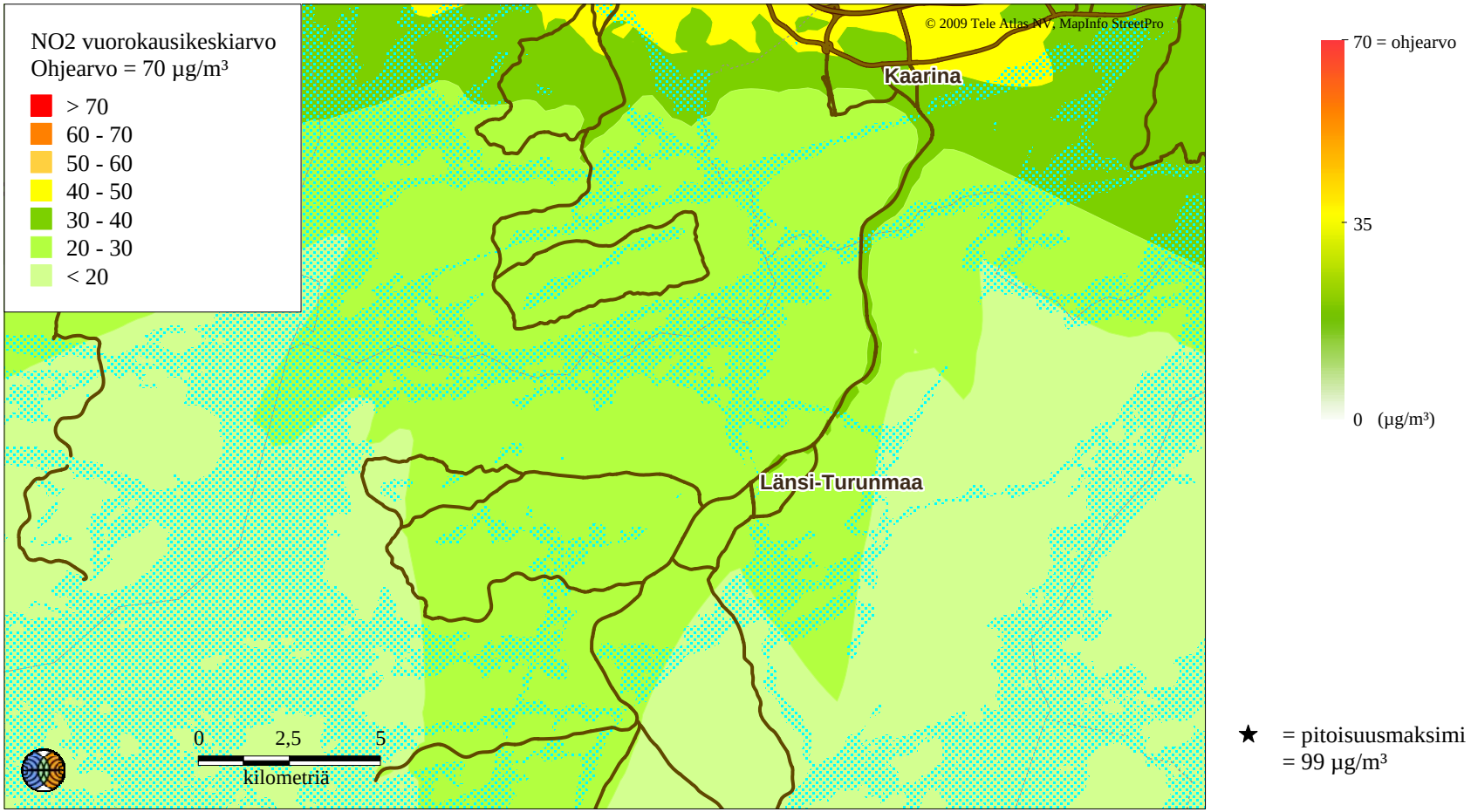
TURUN SEUTU, TUTKIMUSALUEEN POHJOISOSA



Ilmatieteen laitos 2009

Kuva 17. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama typpidioksidin korkein vuorokausi-ohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

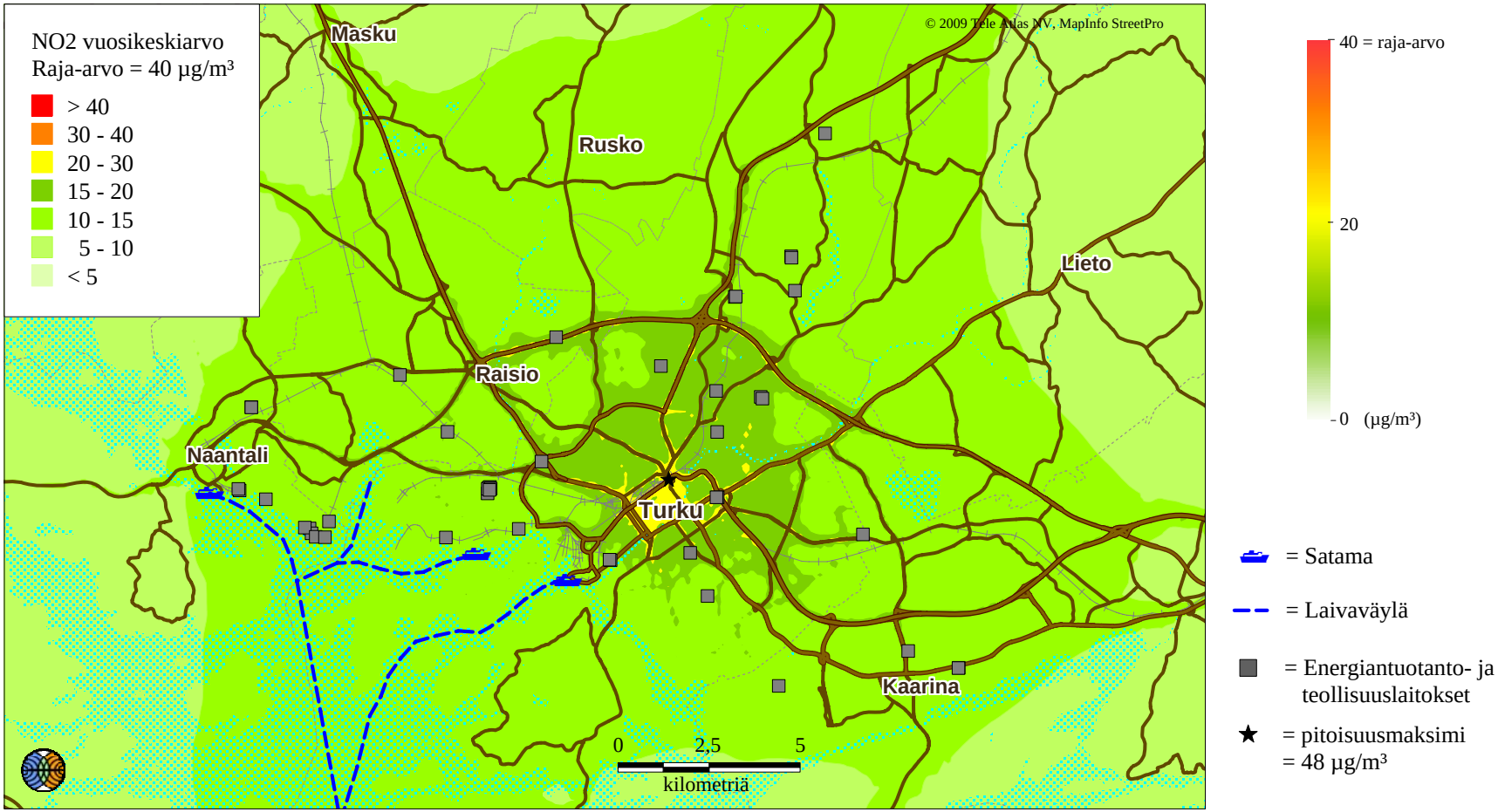
TURUN SEUTU, TUTKIMUSALUEEN ETELÄOSA



Ilmatieteen laitos 2009

Kuva 18. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama typpidioksidin korkein vuorokausi-ohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

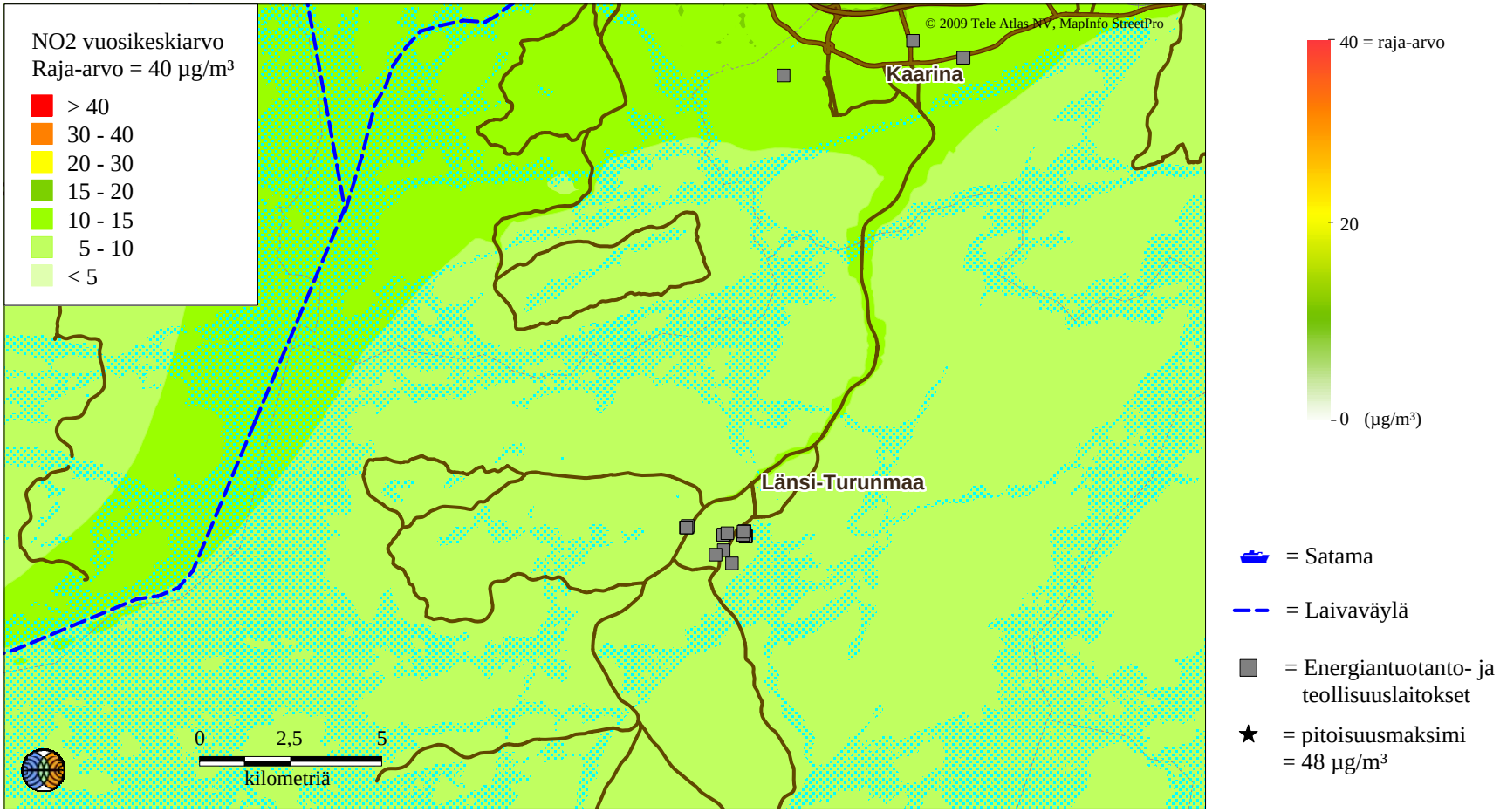
TURUN SEUTU, TUTKIMUSALUEEN POHJOISOSA



Ilmatieteen laitos 2009

Kuva 19. Kaikkien päästölähteiden yhdessä aiheuttama typpidioksidipitoisuuden korkein vuosikeskiarvo (µg/m³).

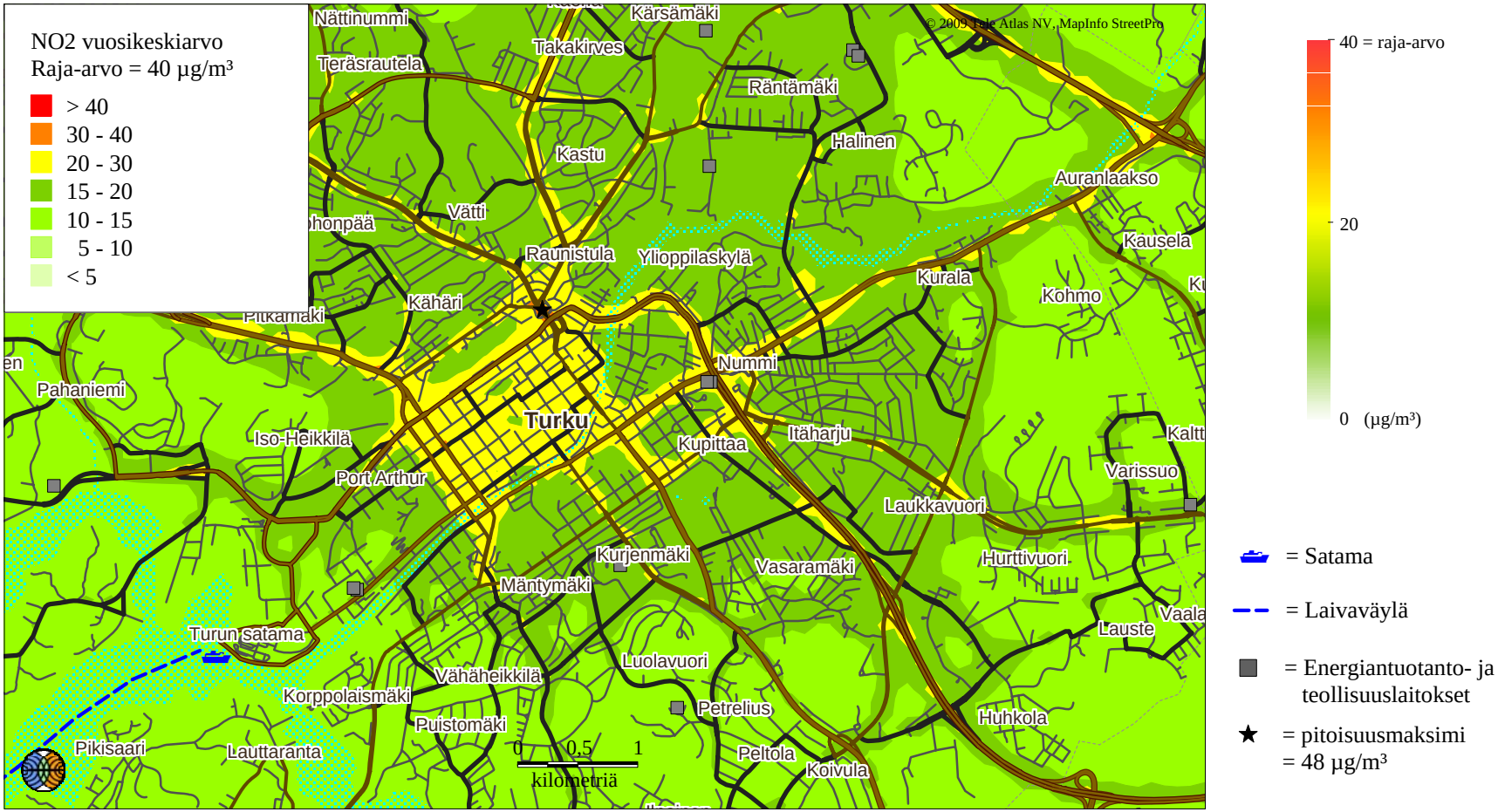
TURUN SEUTU, TUTKIMUSALUEEN ETELÄOSA



Ilmatieteen laitos 2009

Kuva 20. Kaikkien päästölähteiden yhdessä aiheuttama typpidioksidipitoisuuden korkein vuosikeskiarvo (µg/m³).

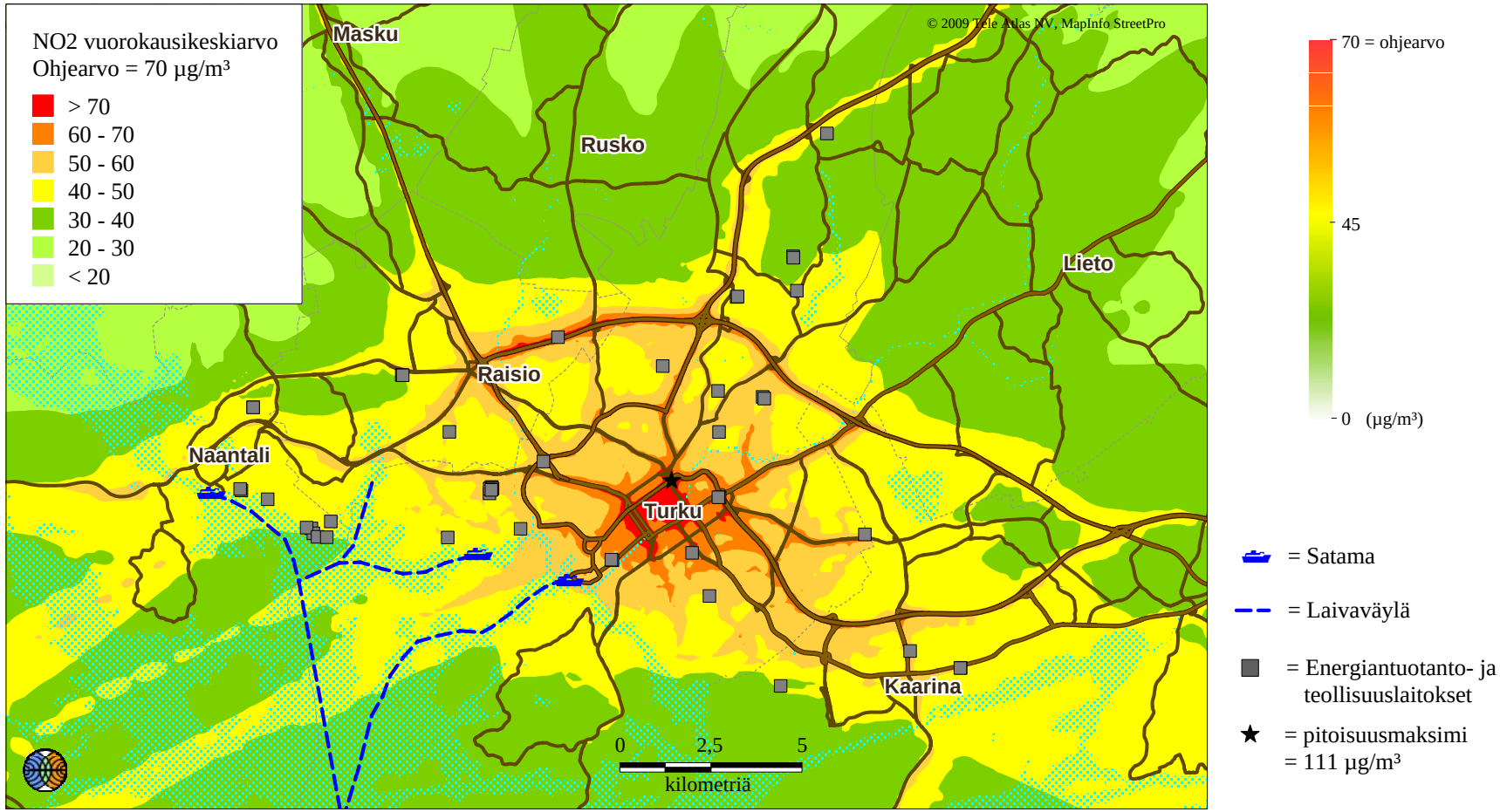
TURUN KESKUSTA



Ilmatieteen laitos 2009

Kuva 21. Kaikkien päästölähteiden yhdessä aiheuttama typpidioksidipitoisuuden korkein vuosikeskiarvo (µg/m³).

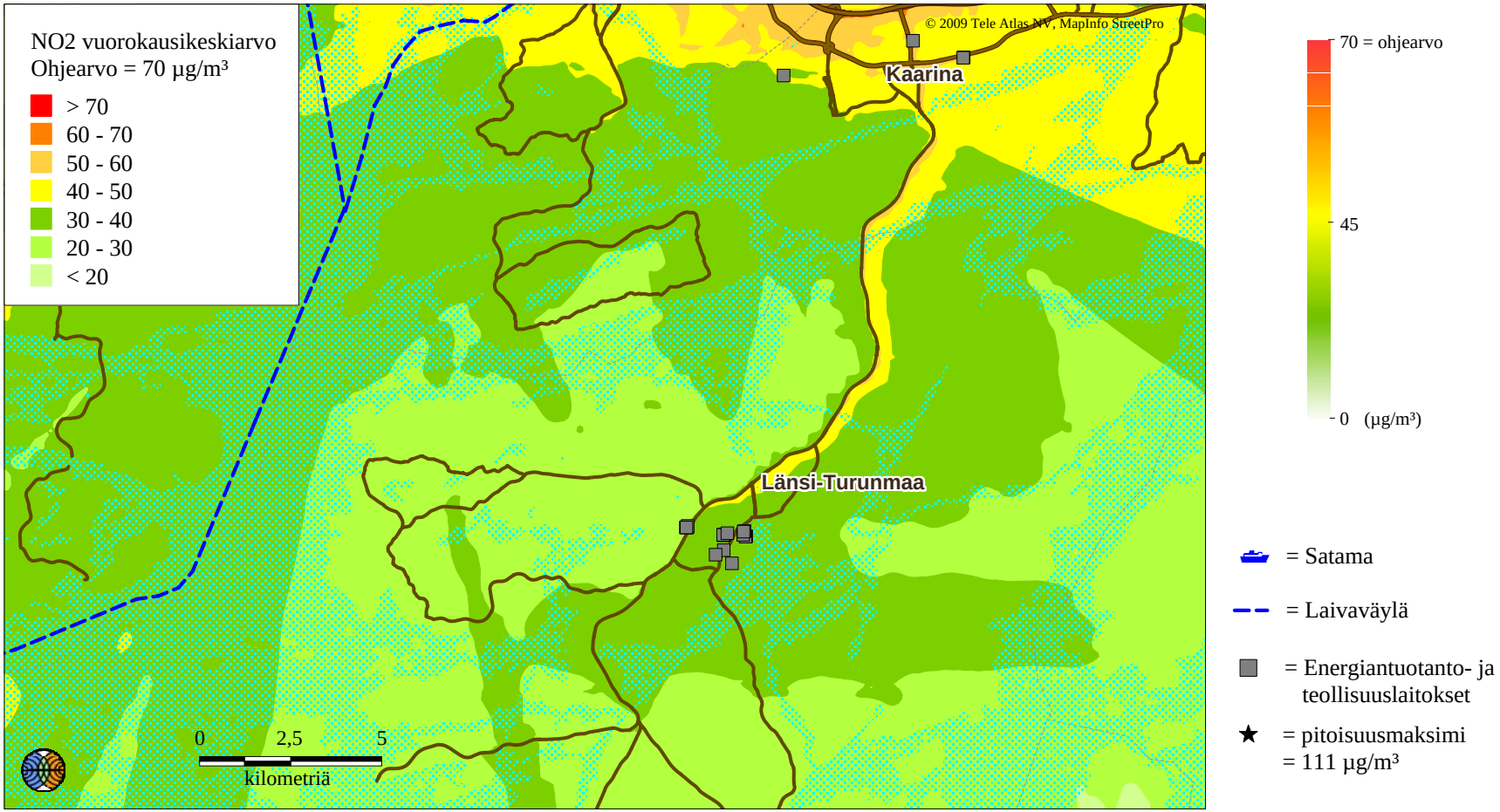
TURUN SEUTU, TUTKIMUSALUEEN POHJOISOSA



Ilmatieteen laitos 2009

Kuva 22. Kaikkien päästölähteiden yhdessä aiheuttama typpidioksidin korkein vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

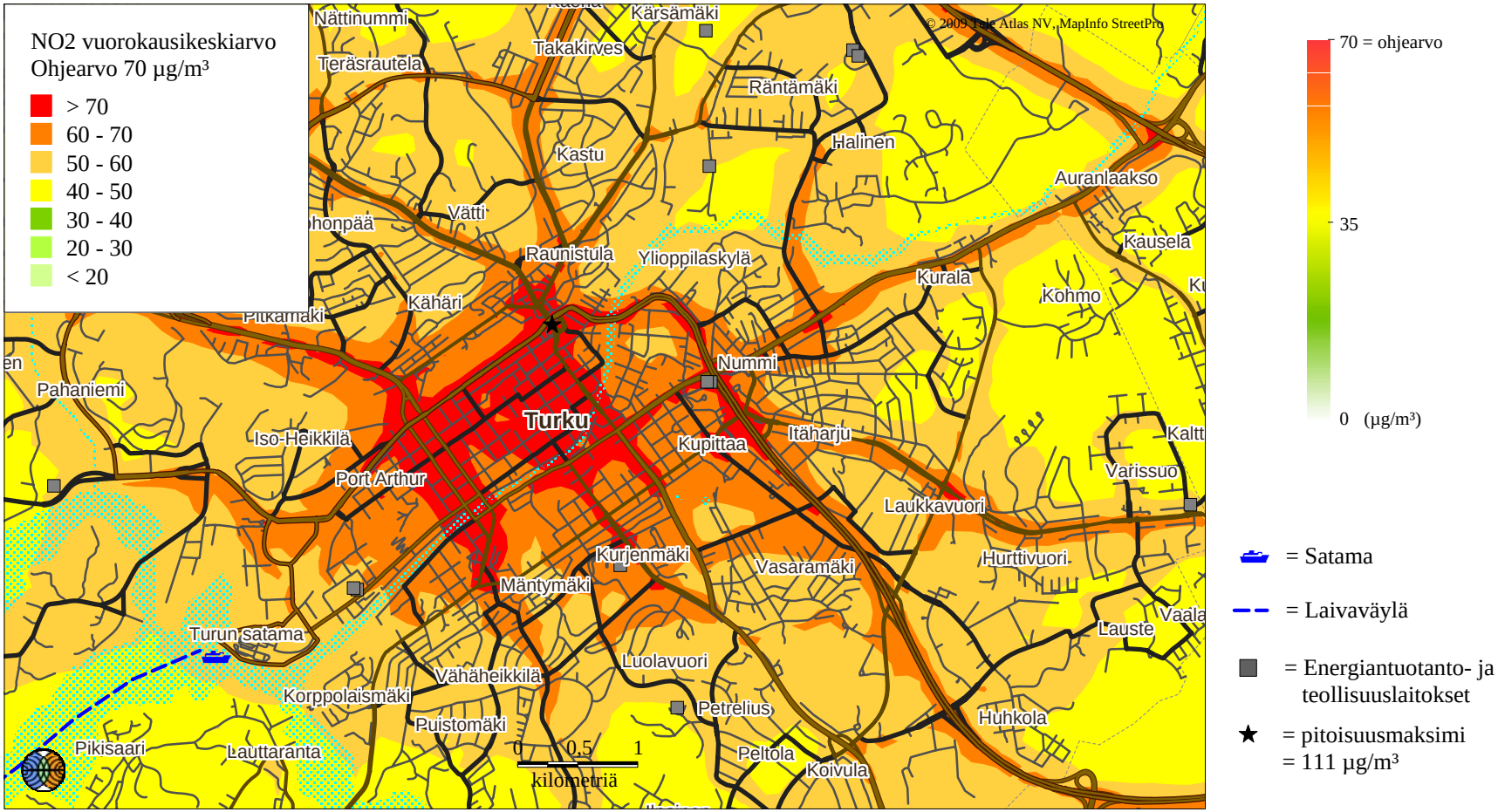
TURUN SEUTU, TUTKIMUSALUEEN ETELÄOSA



Ilmatieteen laitos 2009

Kuva 23. Kaikkien päästölähteiden yhdessä aiheuttama typpidioksidin korkein vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

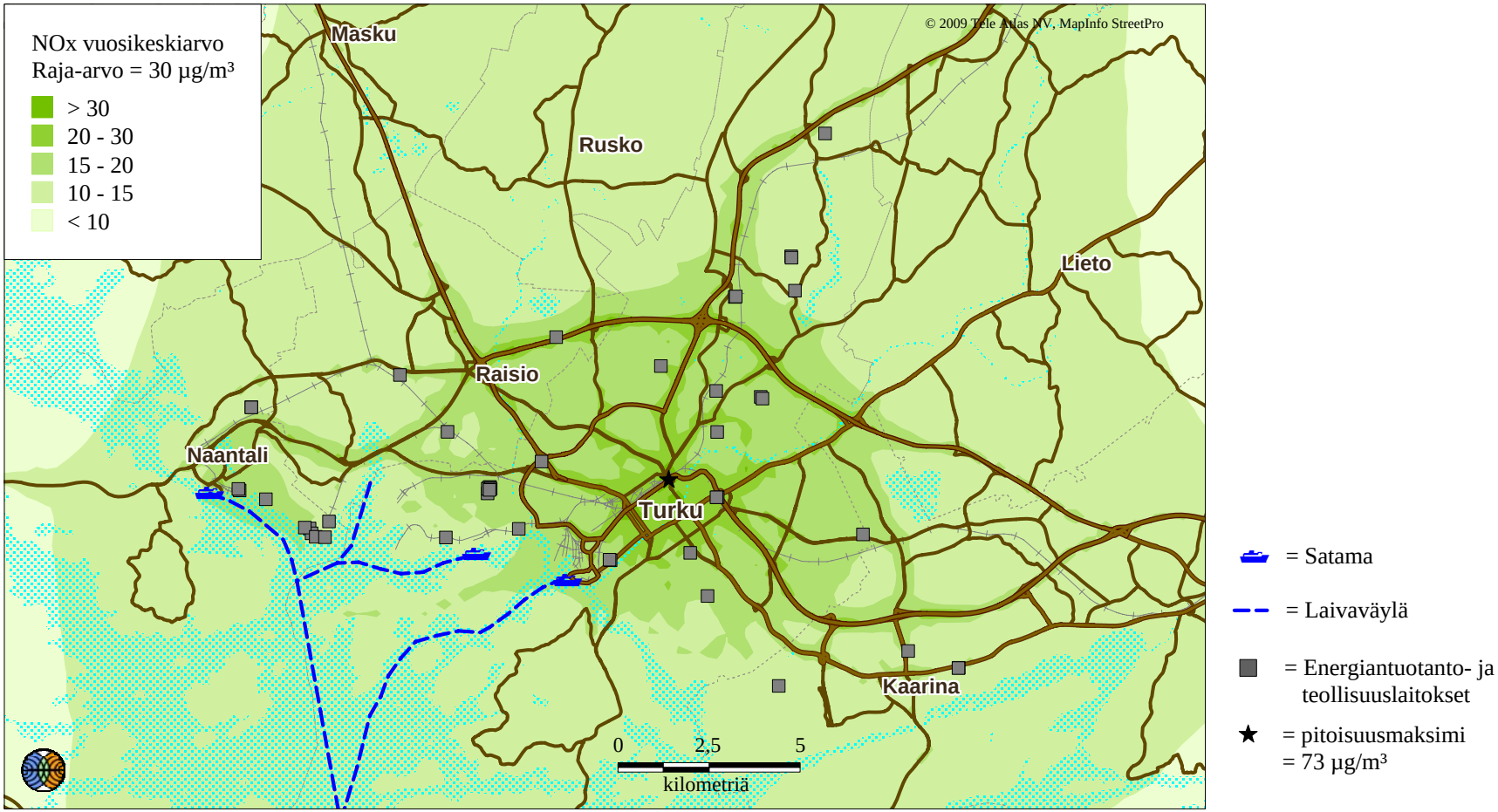
TURUN KESKUSTA



Ilmatieteen laitos 2009

Kuva 24. Kaikkien päästölähteiden yhdessä aiheuttama typpidioksidin korkein vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

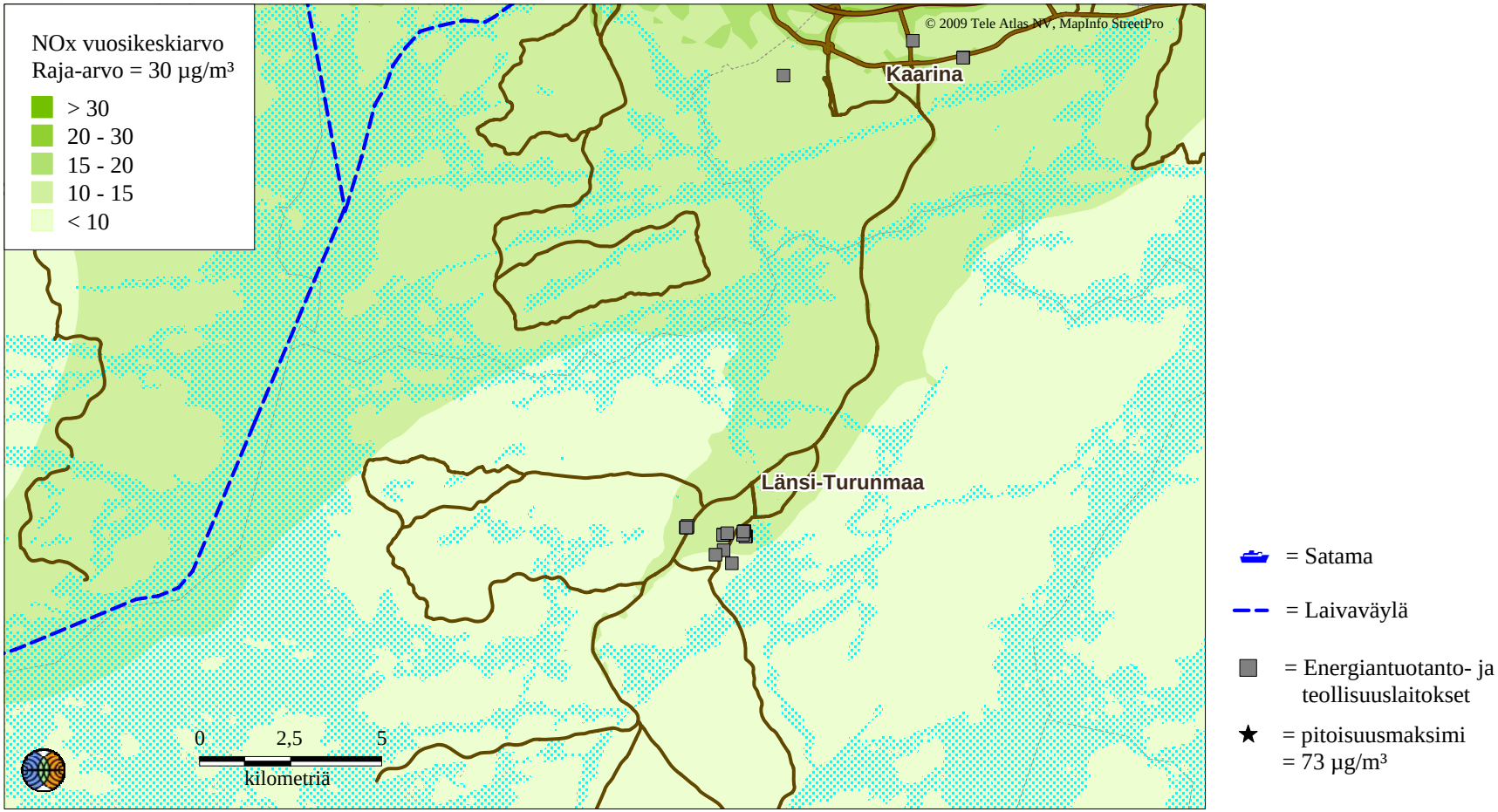
TURUN SEUTU, TUTKIMUSALUEEN POHJOISOSA



Ilmatieteen laitos 2009

Kuva 25. Kaikkien päästölähteiden yhdessä aiheuttama typenoksidipitoisuuden (NOx) korkein vuosikeskiarvo (µg/m³).

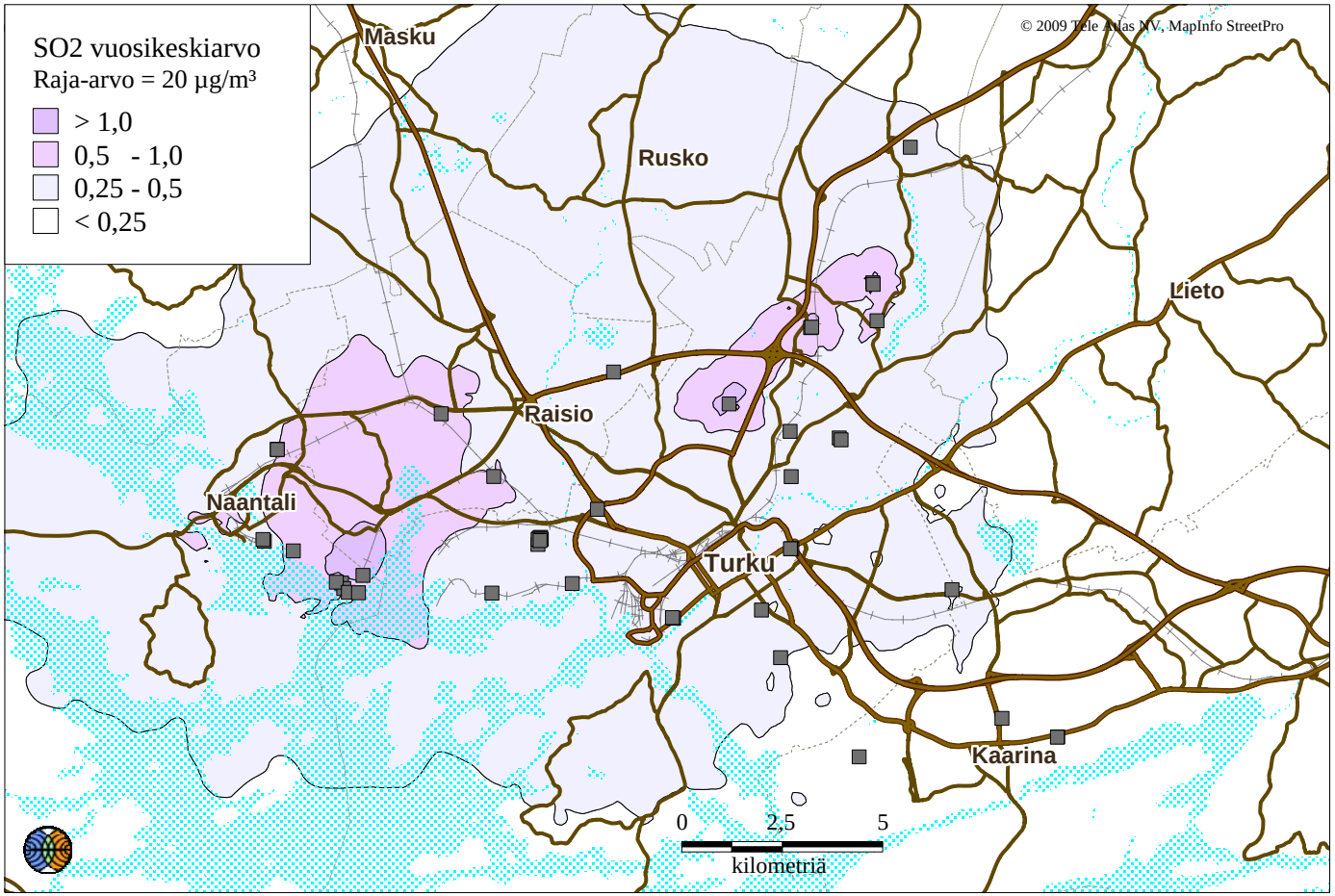
TURUN SEUTU, TUTKIMUSALUEEN ETELÄOSA



Ilmatieteen laitos 2009

Kuva 26. Kaikkien päästölähteiden yhdessä aiheuttama typenoksidipitoisuuden (NOx) korkein vuosikeskiarvo (µg/m³).

TURUN SEUTU, TUTKIMUSALUEEN POHJOISOSA



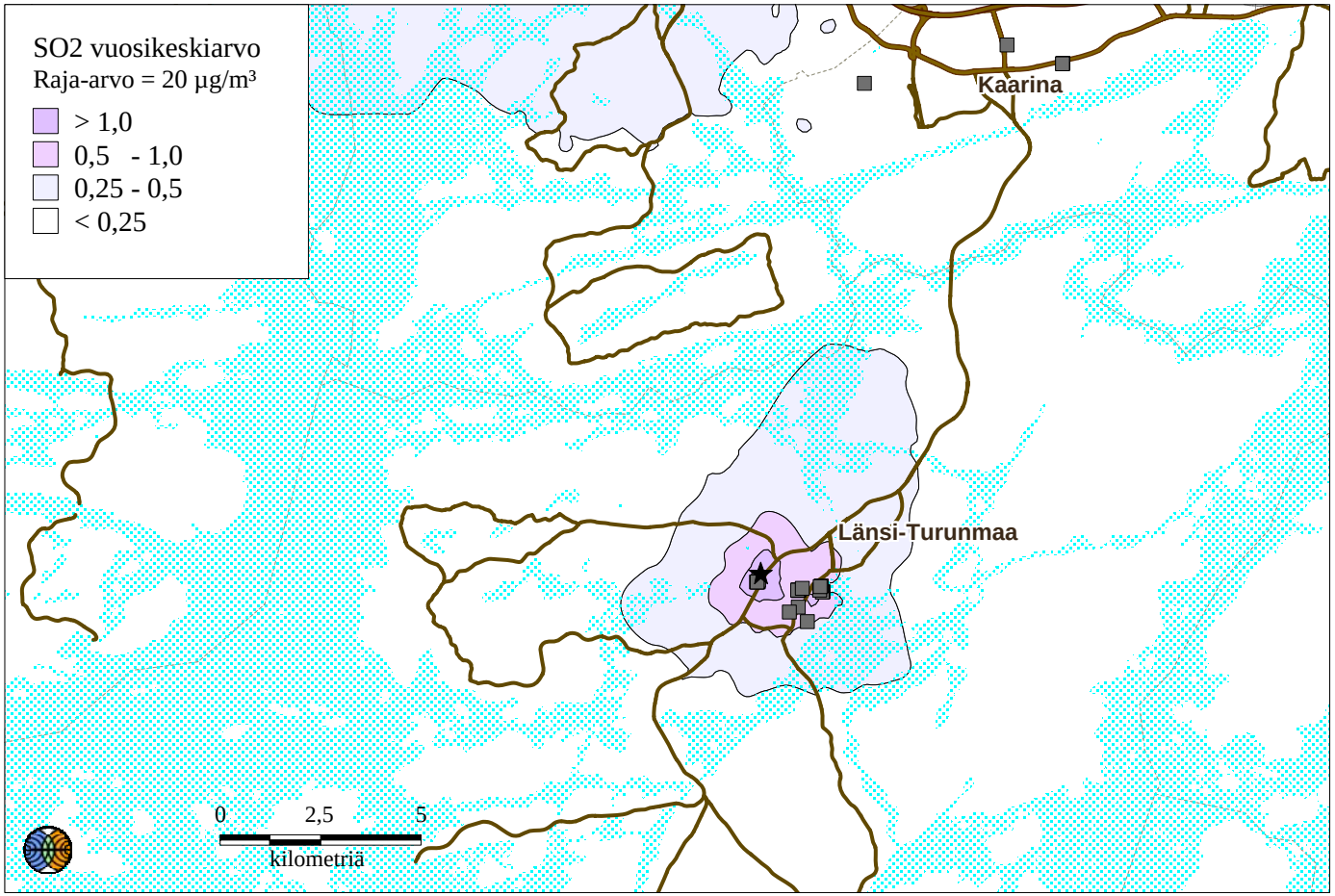
= Energiantuotanto- ja teollisuuslaitokset

★ = pitoisuusmaksimi = 5,0 µg/m³

Ilmatieteen laitos 2009

Kuva 27. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttama rikkidioksidipitoisuuden korkein vuosikeskiarvo (µg/m³).

TURUN SEUTU, TUTKIMUSALUEEN ETELÄOSA



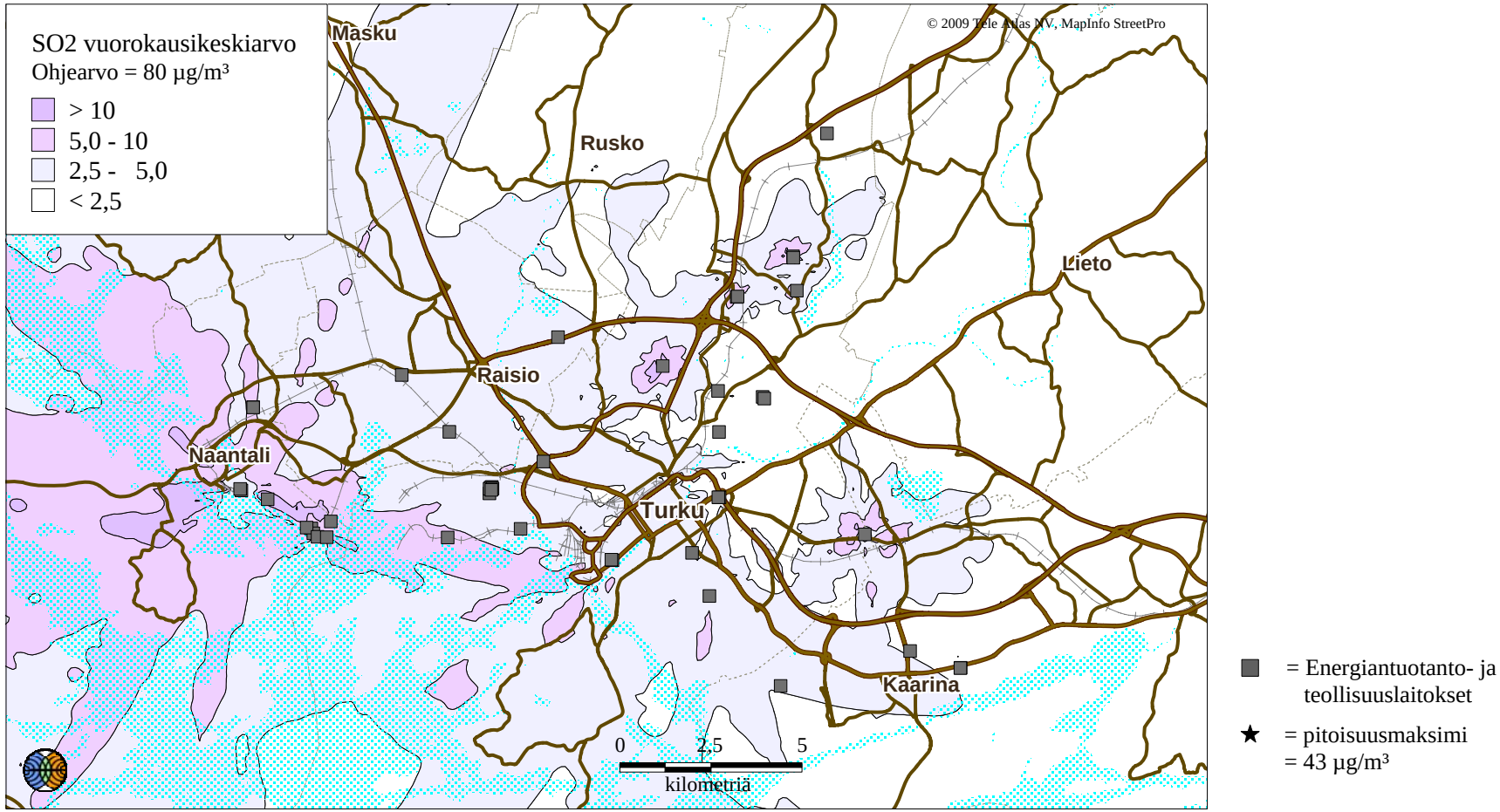
= Energiantuotanto- ja teollisuuslaitokset

★ = pitoisuusmaksimi = 5,0 µg/m³

Ilmatieteen laitos 2009

Kuva 28. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttama rikkidioksidipitoisuuden korkein vuosikeskiarvo (µg/m³).

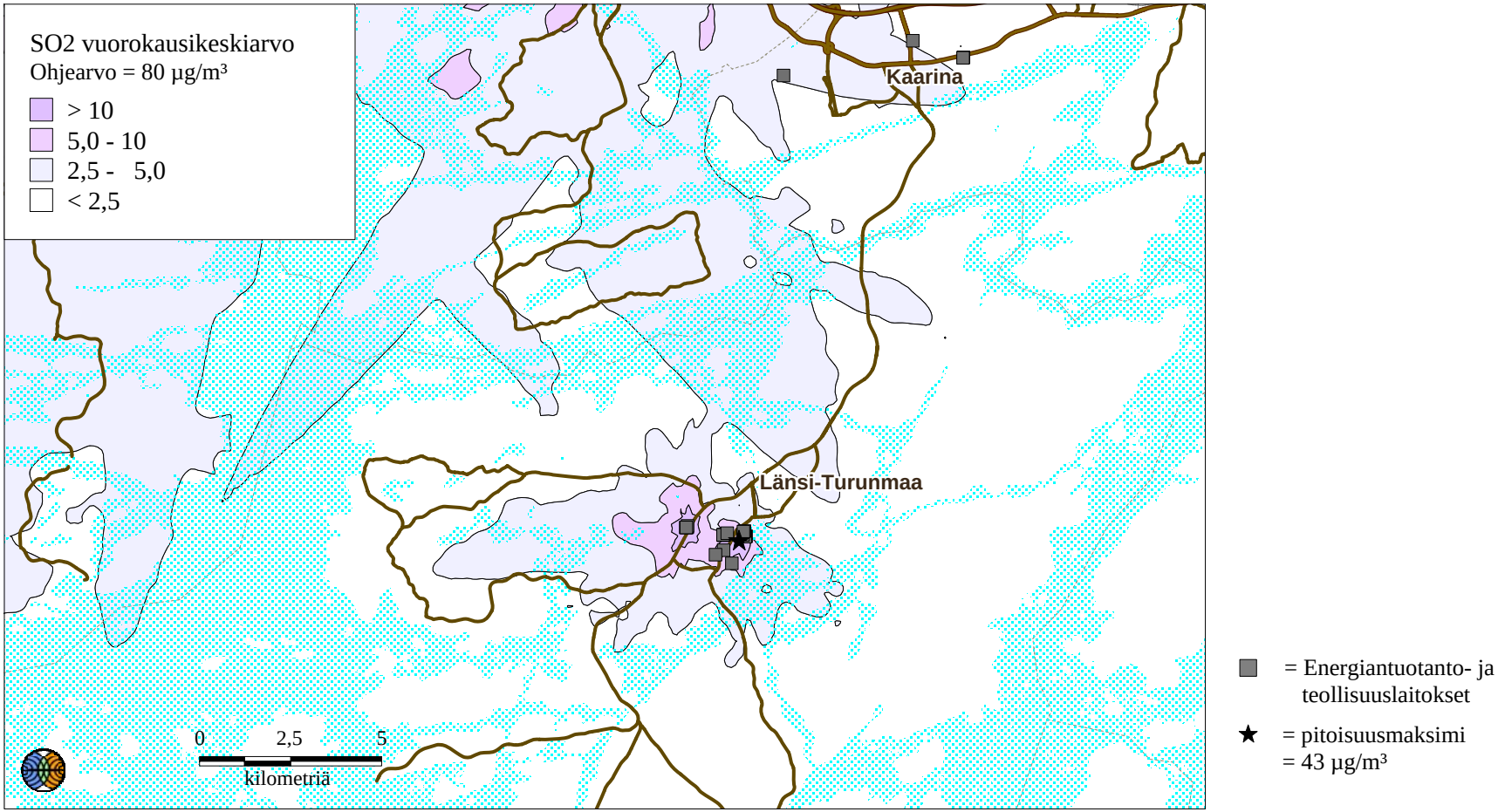
TURUN SEUTU, TUTKIMUSALUEEN POHJOISOSA



Ilmatieteen laitos 2009

Kuva 29. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttama rikkidioksidin korkein vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

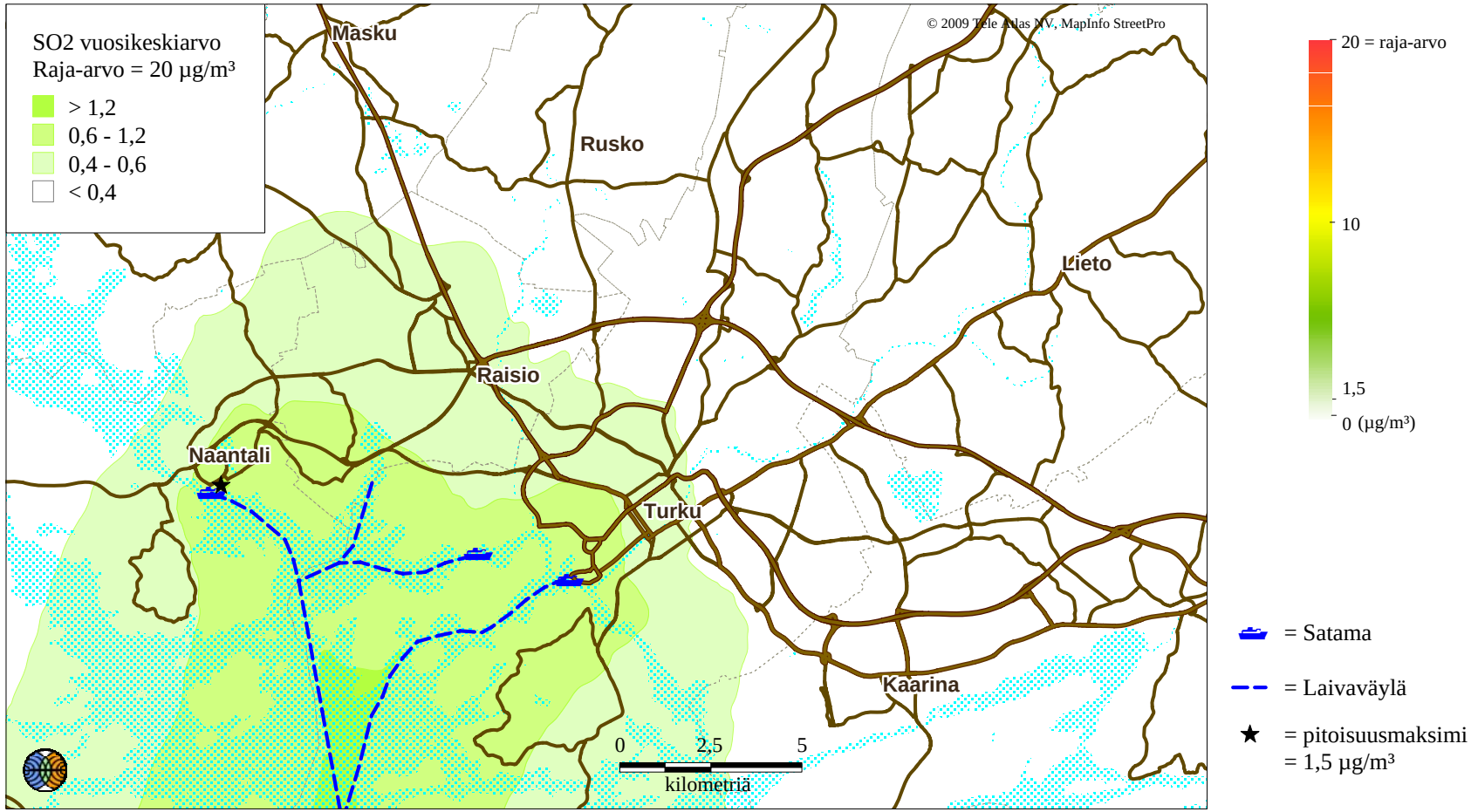
TURUN SEUTU, TUTKIMUSALUEEN ETELÄOSA



Ilmatieteen laitos 2009

Kuva 30. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttama rikkidioksidin korkein vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

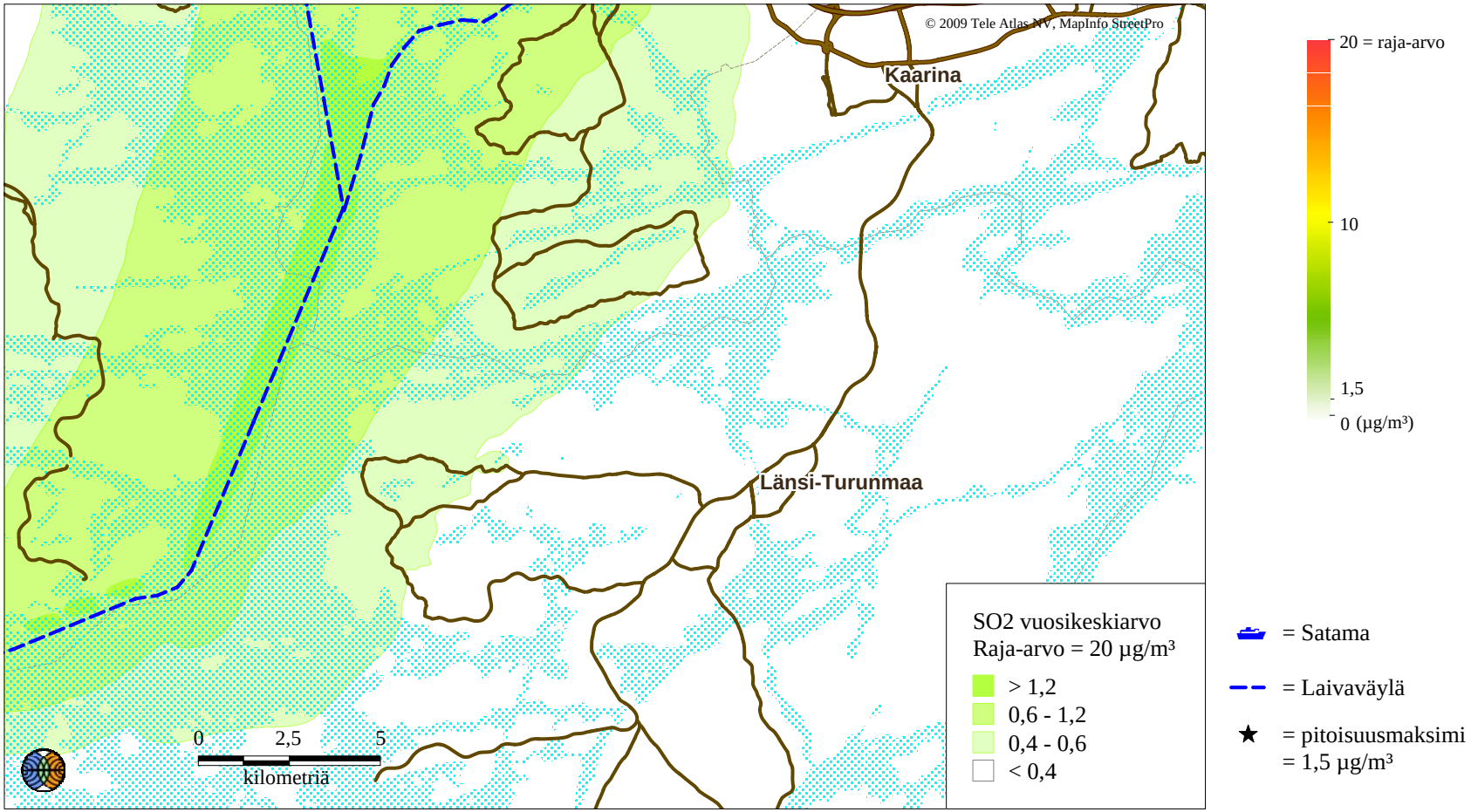
TURUN SEUTU, TUTKIMUSALUEEN POHJOISOSA



Ilmatieteen laitos 2009

Kuva 31. Laivaliikenteen päästöjen aiheuttama rikkidioksidipitoisuuden korkein vuosikeskiarvo (µg/m³).

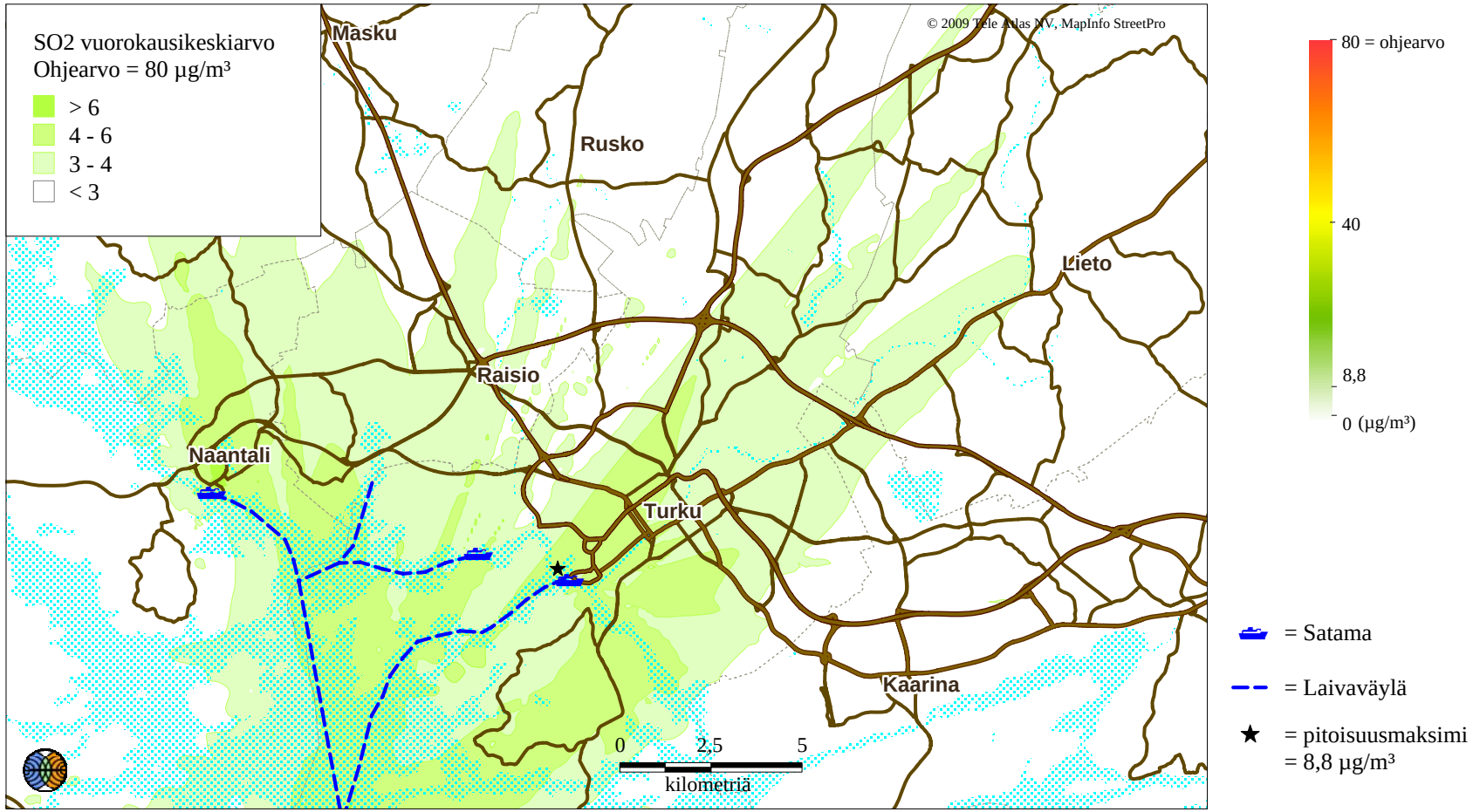
TURUN SEUTU, TUTKIMUSALUEEN ETELÄOSA



Ilmatieteen laitos 2009

Kuva 32. Laivakenteen päästöjen aiheuttama rikkidioksidipitoisuuden korkein vuosikeskiarvo (µg/m³).

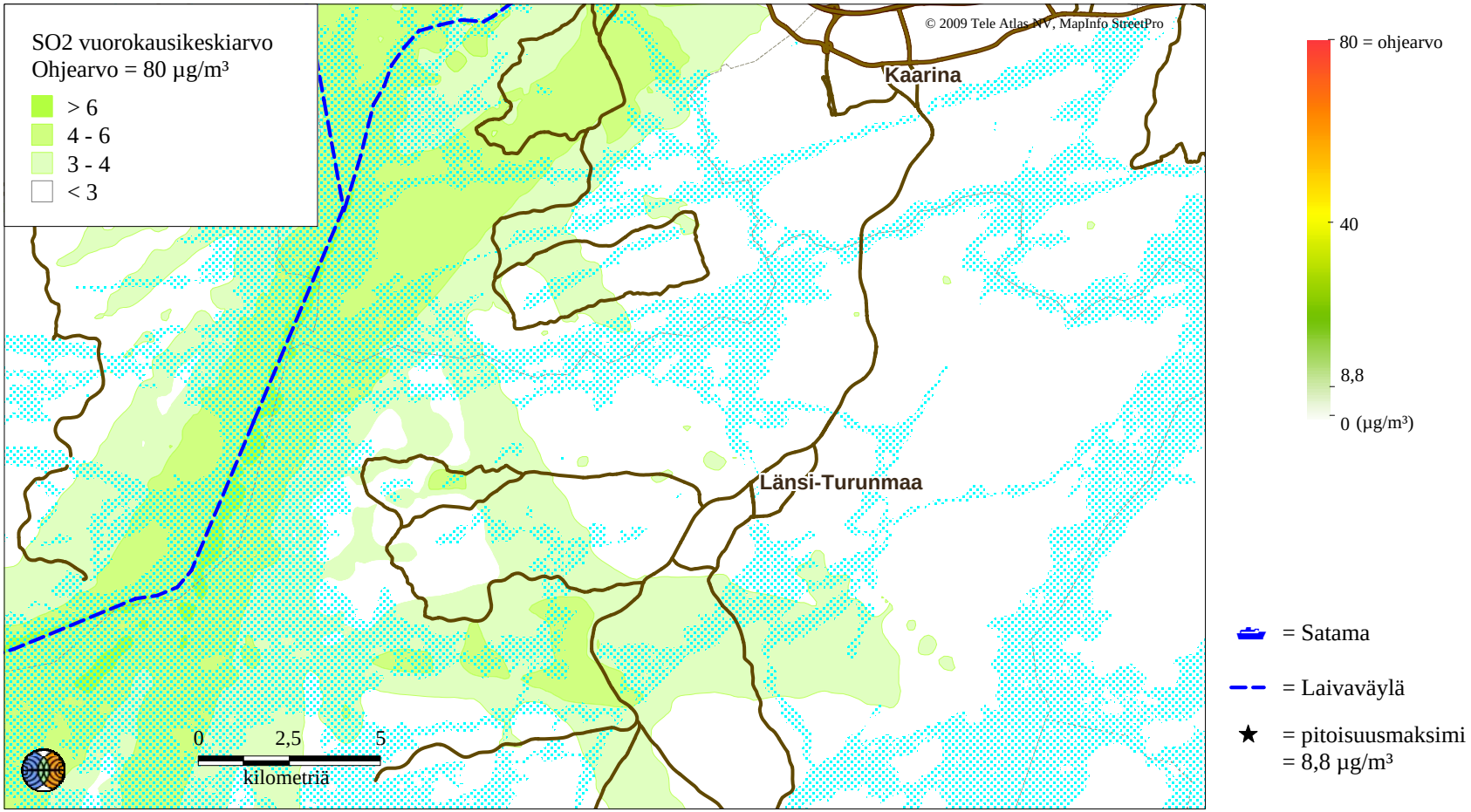
TURUN SEUTU, TUTKIMUSALUEEN POHJOISOSA



Ilmatieteen laitos 2009

Kuva 33. Laivaliikenteen päästöjen aiheuttama rikkidioksidin korkein vuorokausi-ohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

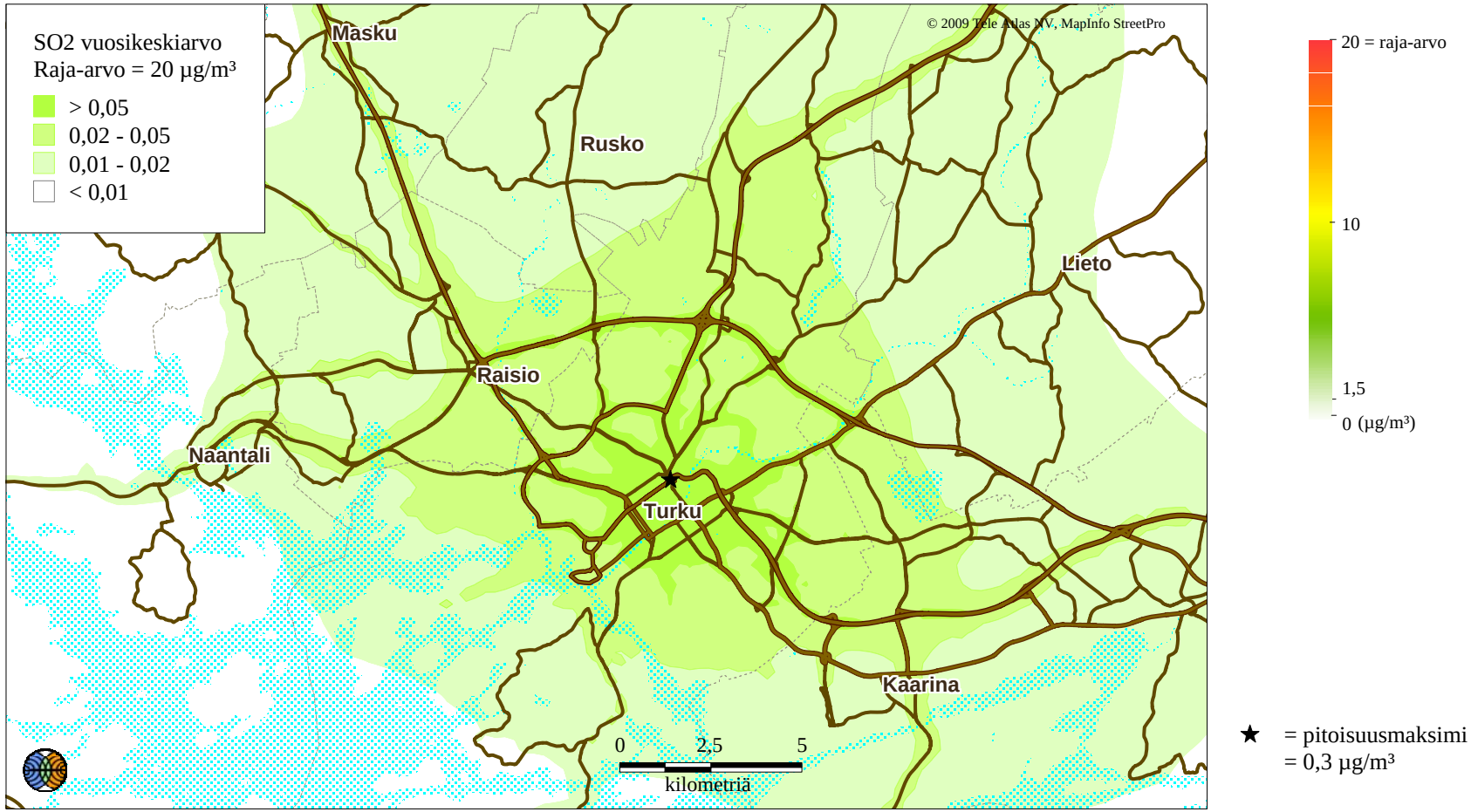
TURUN SEUTU, TUTKIMUSALUEEN ETELÄOSA



Ilmatieteen laitos 2009

Kuva 34. Laivaliikenteen päästöjen aiheuttama rikkidioksidin korkein vuorokausi-ohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

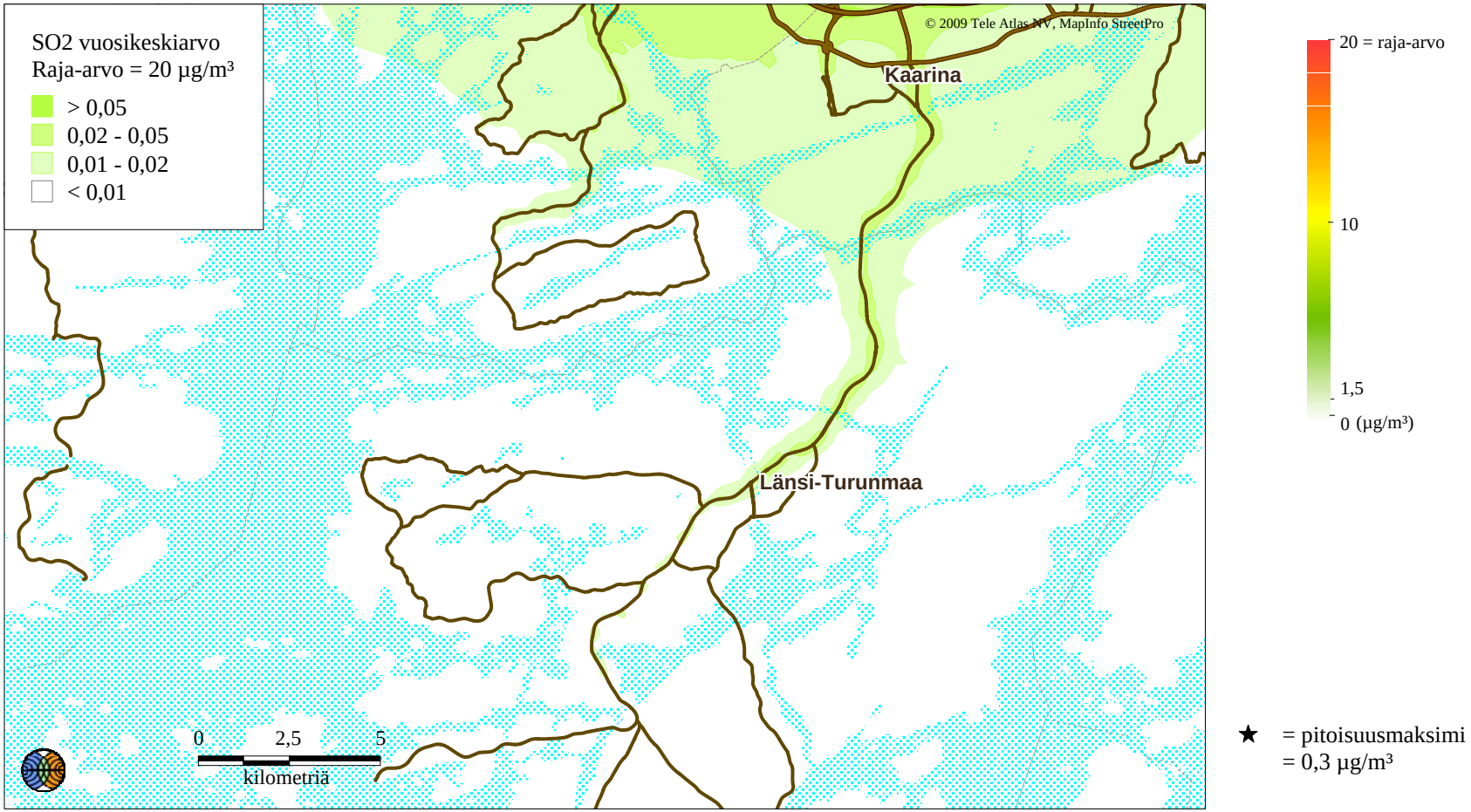
TURUN SEUTU, TUTKIMUSALUEEN POHJOISOSA



Ilmatieteen laitos 2009

Kuva 35. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama rikkidioksidipitoisuuden korkein vuosikeskiarvo (µg/m³).

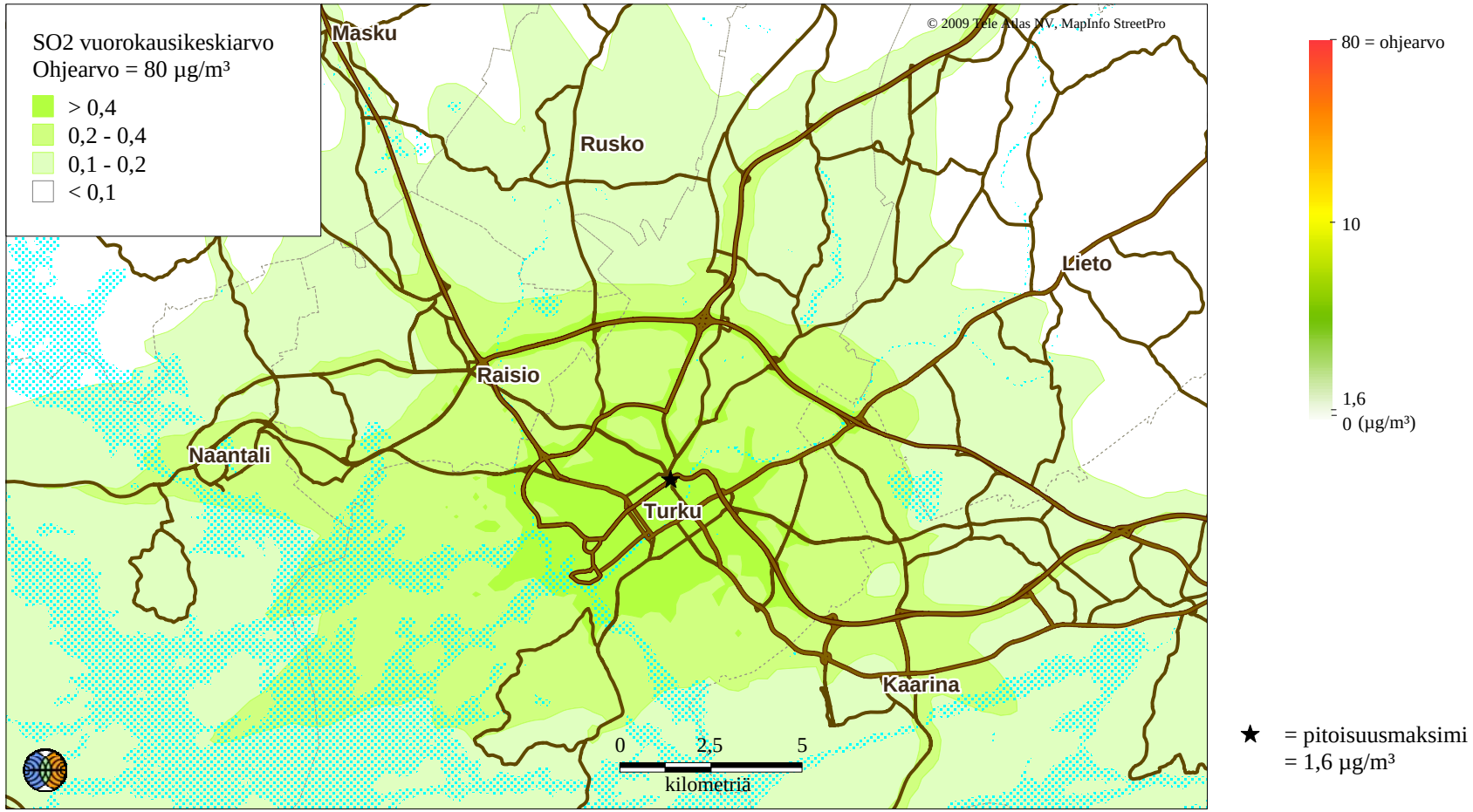
TURUN SEUTU, TUTKIMUSALUEEN ETELÄOSA



Ilmatieteen laitos 2009

Kuva 36. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama rikkidioksidipitoisuuden korkein vuosikeskiarvo (µg/m³).

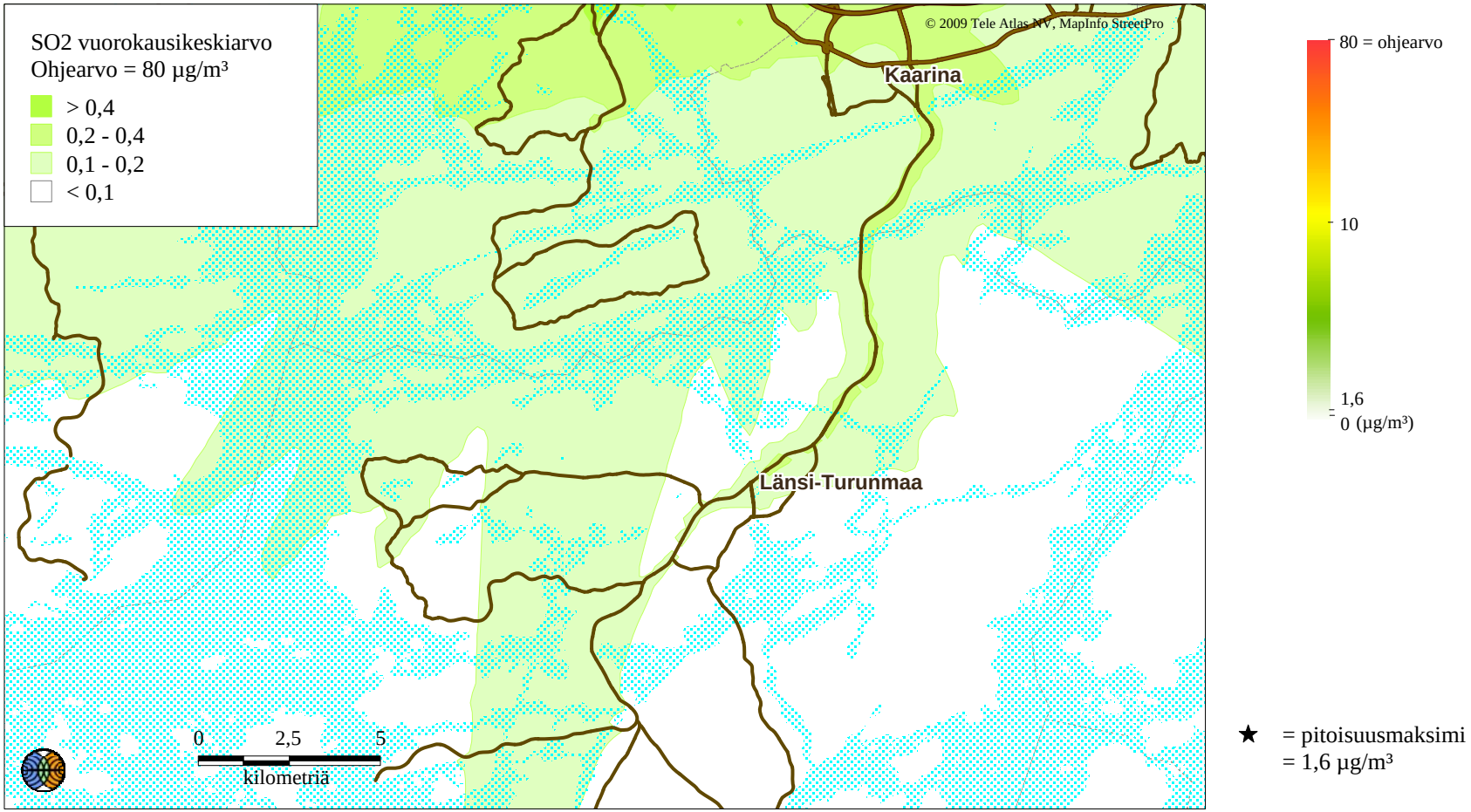
TURUN SEUTU, TUTKIMUSALUEEN POHJOISOSA



Ilmatieteen laitos 2009

Kuva 37. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama rikkidioksidin korkein vuorokausi-ohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

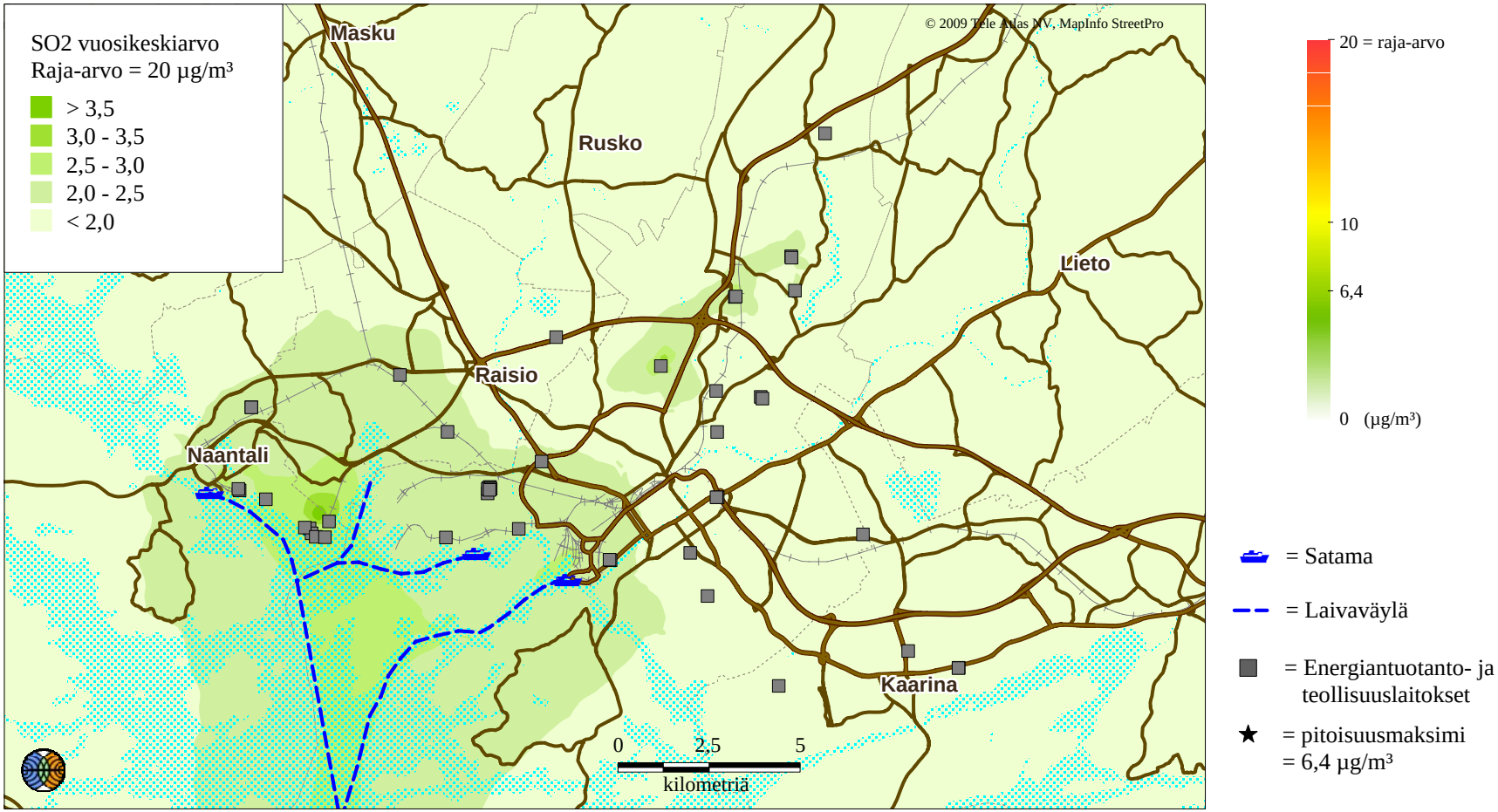
TURUN SEUTU, TUTKIMUSALUEEN ETELÄOSA



Ilmatieteen laitos 2009

Kuva 38. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama rikkidioksidin korkein vuorokausi-ohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

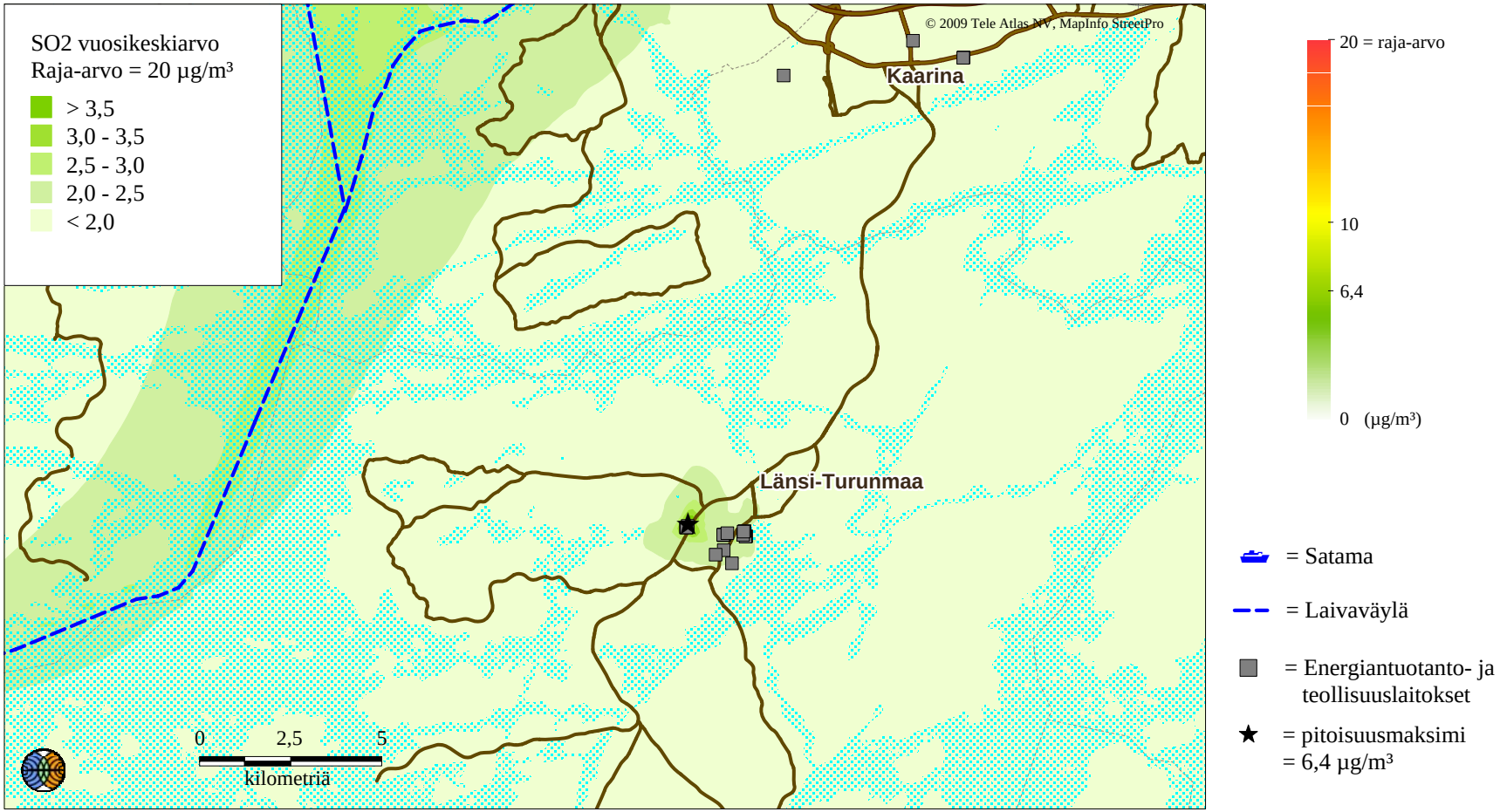
TURUN SEUTU, TUTKIMUSALUEEN POHJOISOSA



Ilmatieteen laitos 2009

Kuva 39. Kaikkien päästölähteiden yhdessä aiheuttama rikkidioksidipitoisuuden korkein vuosikeskiarvo (µg/m³).

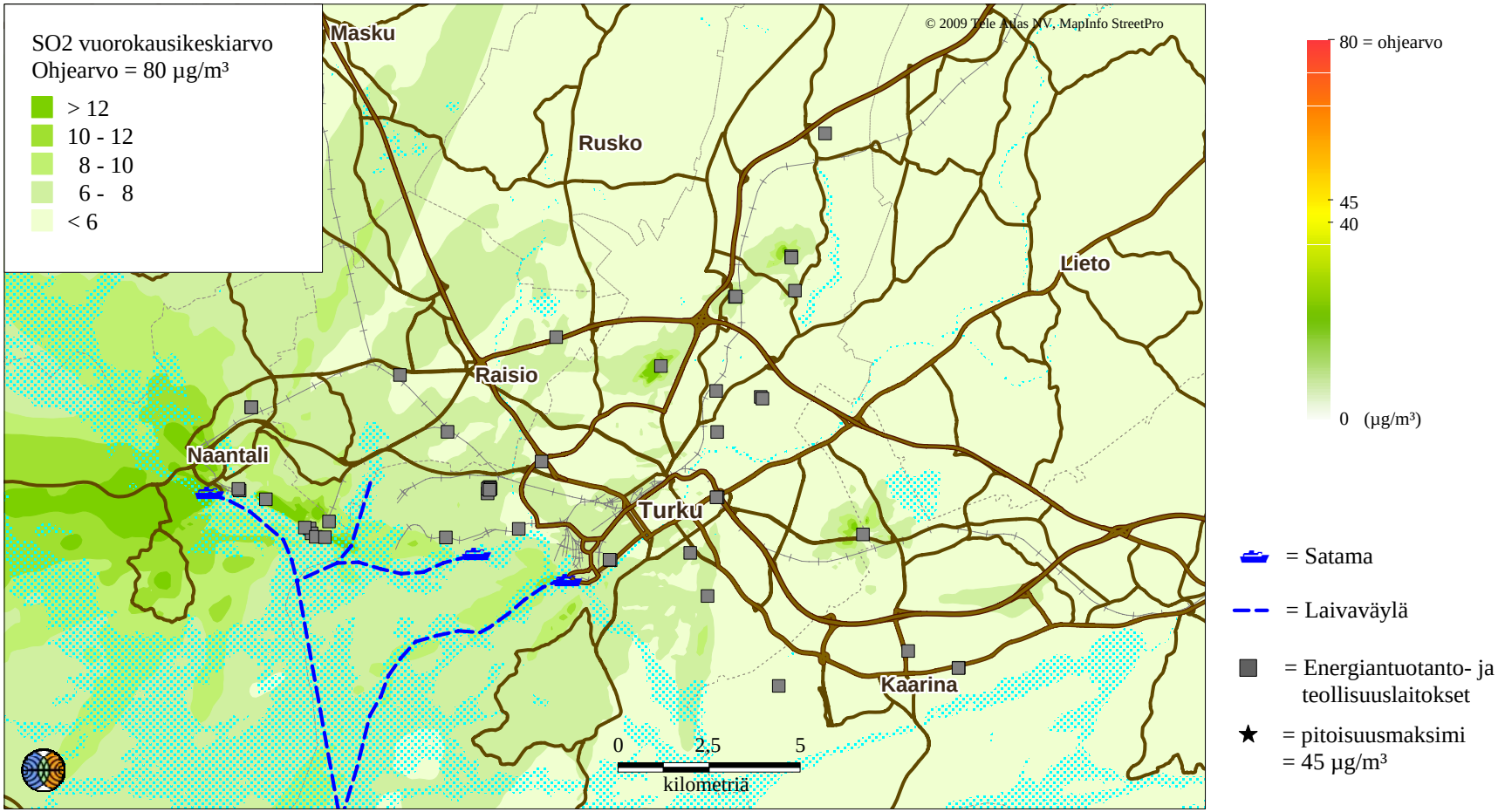
TURUN SEUTU, TUTKIMUSALUEEN ETELÄOSA



Ilmatieteen laitos 2009

Kuva 40. Kaikkien päästölähteiden yhdessä aiheuttama rikkidioksidipitoisuuden korkein vuosikeskiarvo (µg/m³).

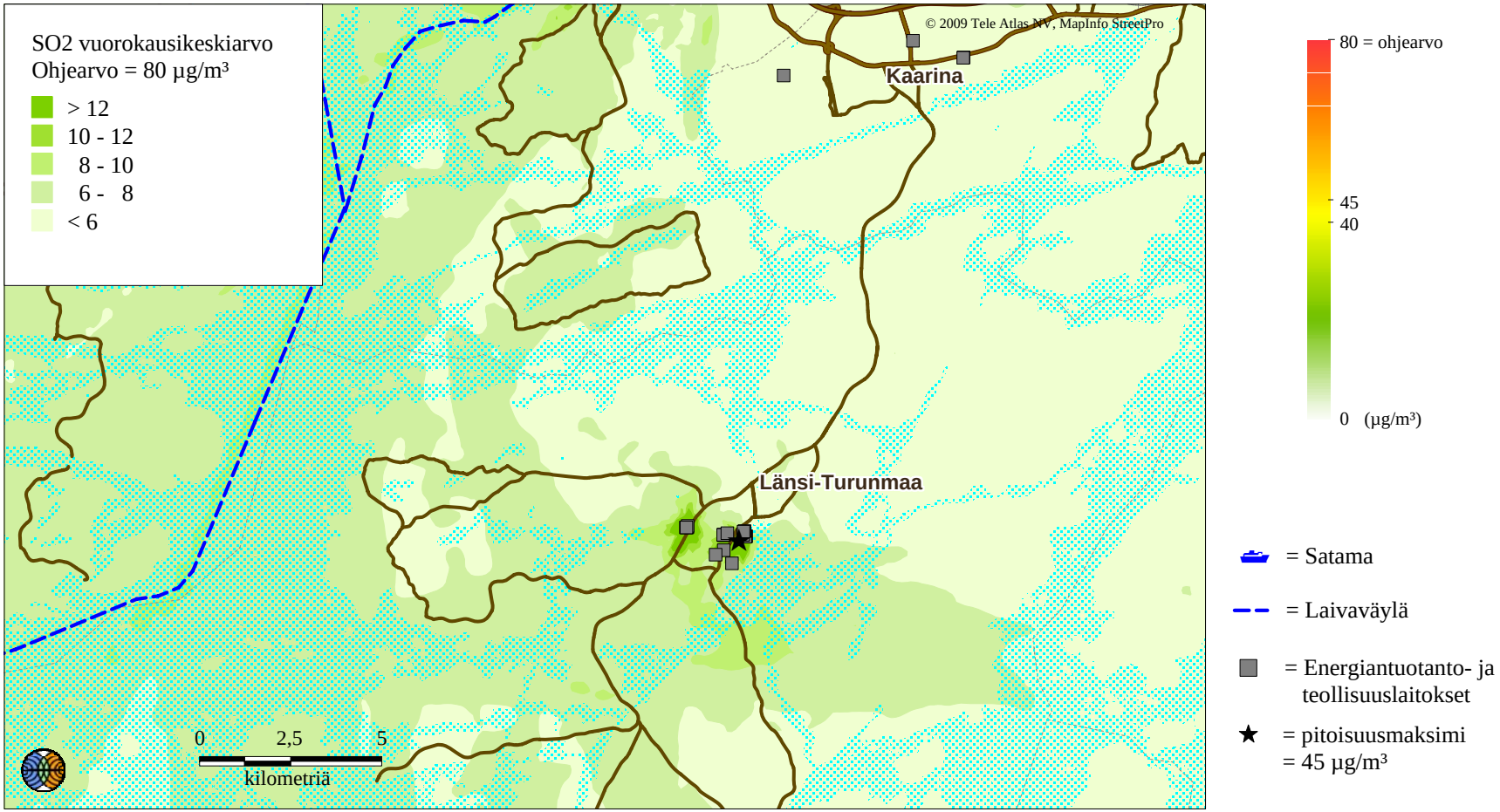
TURUN SEUTU, TUTKIMUSALUEEN POHJOISOSA



Ilmatieteen laitos 2009

Kuva 41. Kaikkien päästölähteiden yhdessä aiheuttama rikkidioksidin korkein vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

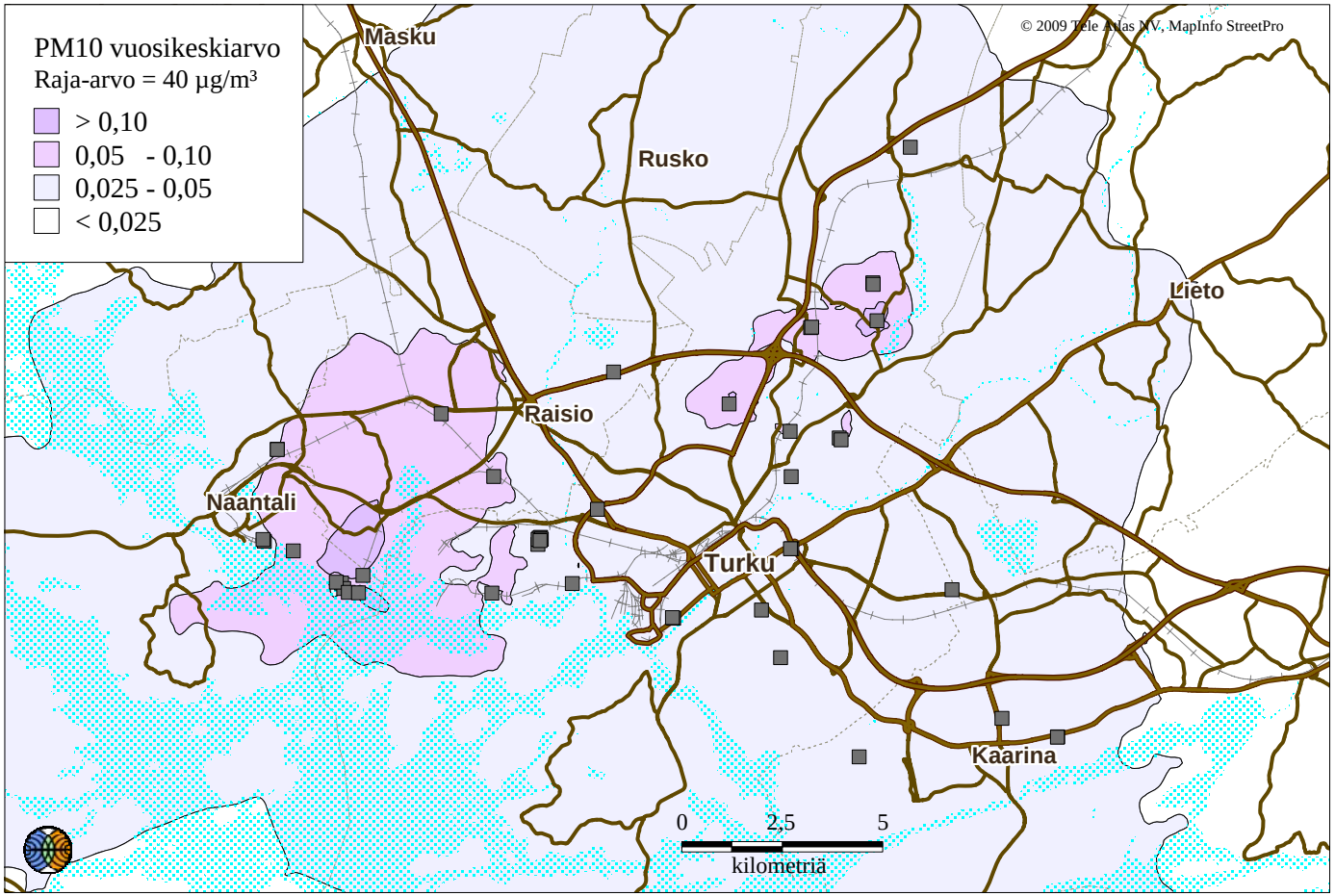
TURUN SEUTU, TUTKIMUSALUEEN ETELÄOSA



Ilmatieteen laitos 2009

Kuva 42. Kaikkien päästölähteiden yhdessä aiheuttama rikkidioksidin korkein vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

TURUN SEUTU, TUTKIMUSALUEEN POHJOISOSA



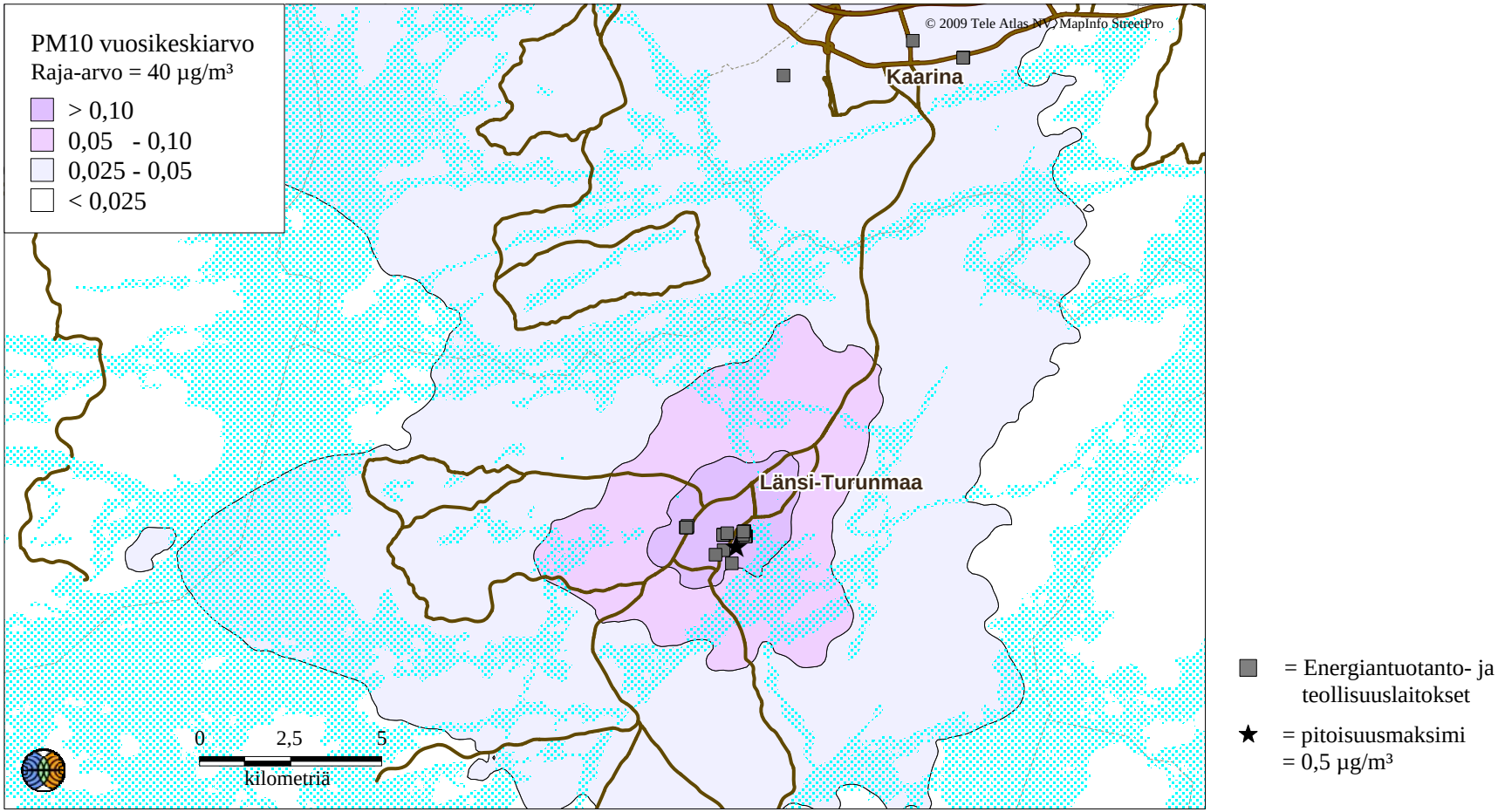
= Energiantuotanto- ja teollisuuslaitokset

★ = pitoisuusmaksimi = 0,5 µg/m³

Ilmatieteen laitos 2009

Kuva 43. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttama hengitettävien hiukkasten pitoisuuden korkein vuosikeskiarvo (µg/m³).

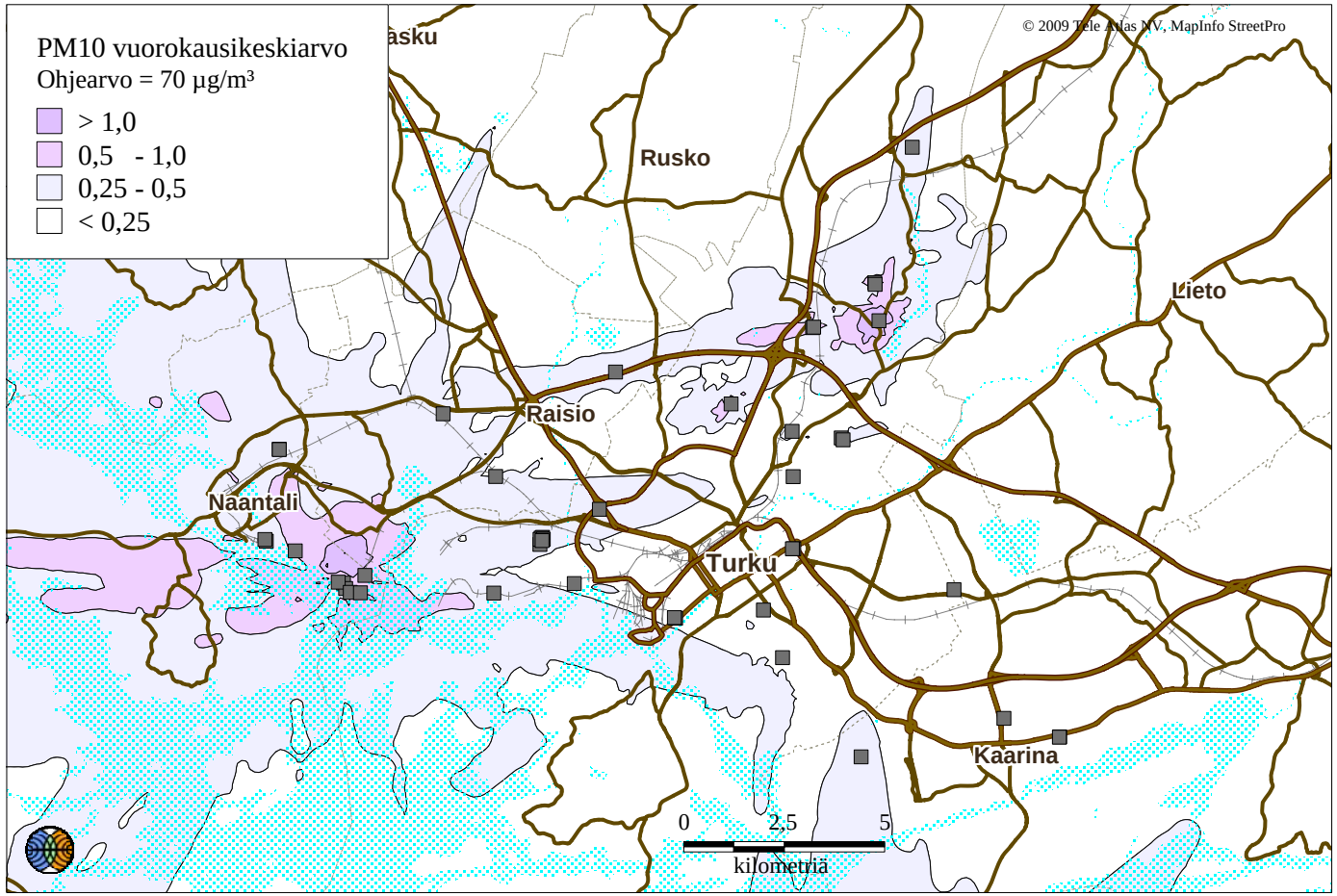
TURUN SEUTU, TUTKIMUSALUEEN ETELÄOSA



Ilmatieteen laitos 2009

Kuva 44. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttama hengitettävien hiukkasten pitoisuuden korkein vuosikeskiarvo (µg/m³).

TURUN SEUTU, TUTKIMUSALUEEN POHJOISOSA



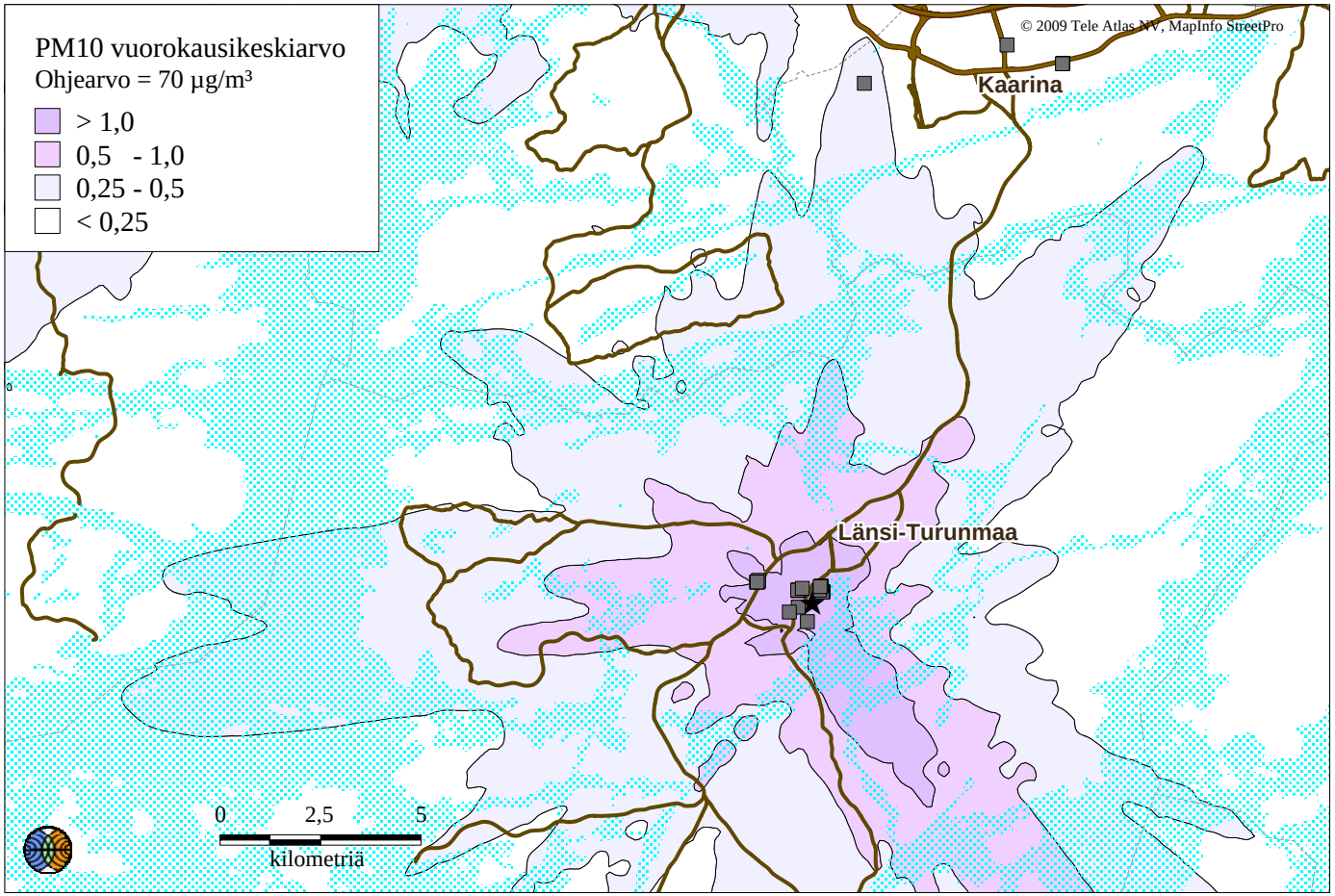
■ = Energiantuotanto- ja teollisuuslaitokset

★ = pitoisuusmaksimi = 7,9 µg/m³

Ilmatieteen laitos 2009

Kuva 45. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttama hengitettävien hiukkasten korkein vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

TURUN SEUTU, TUTKIMUSALUEEN ETELÄOSA



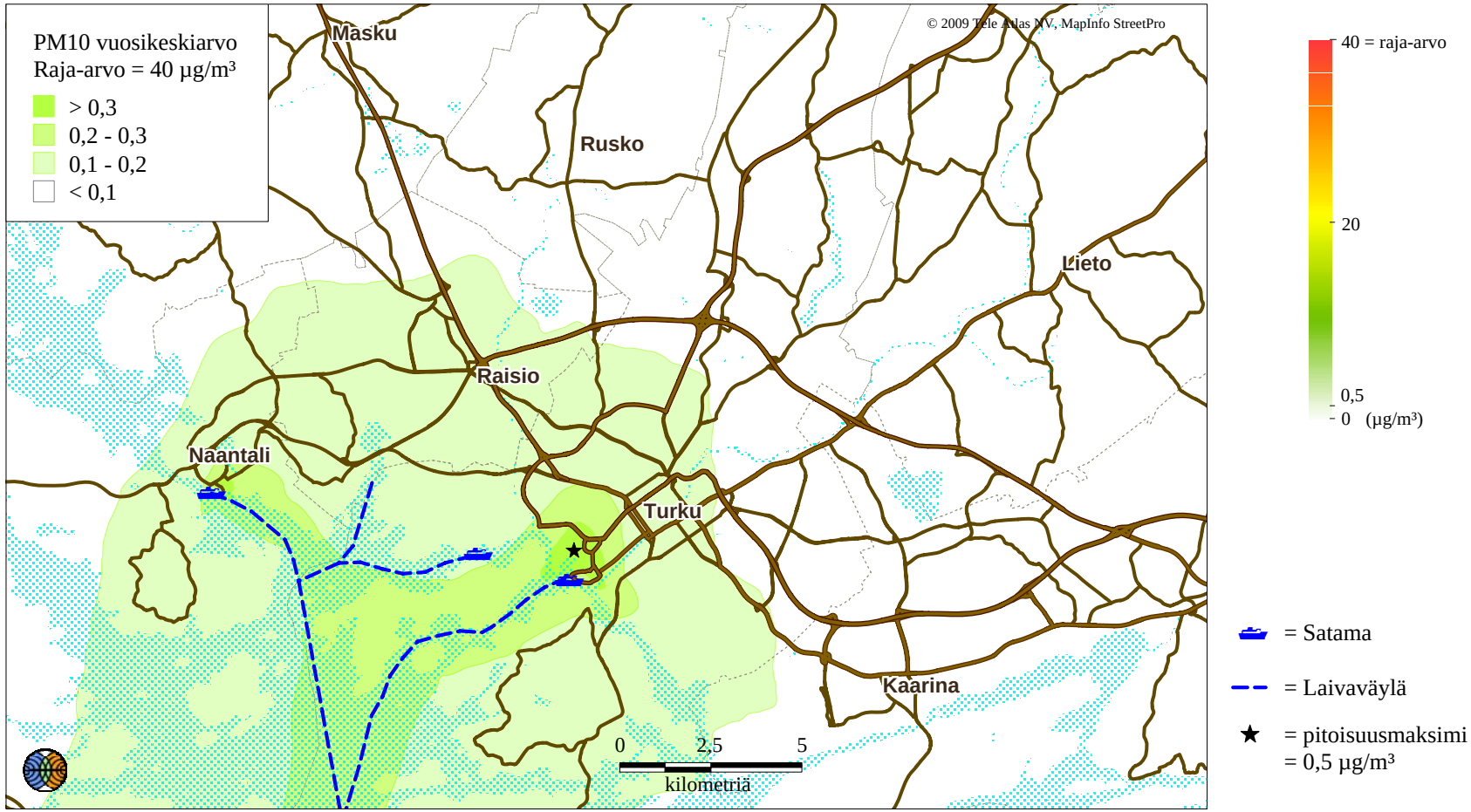
= Energiantuotanto- ja teollisuuslaitokset

★ = pitoisuusmaksimi = 7,9 µg/m³

Ilmatieteen laitos 2009

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

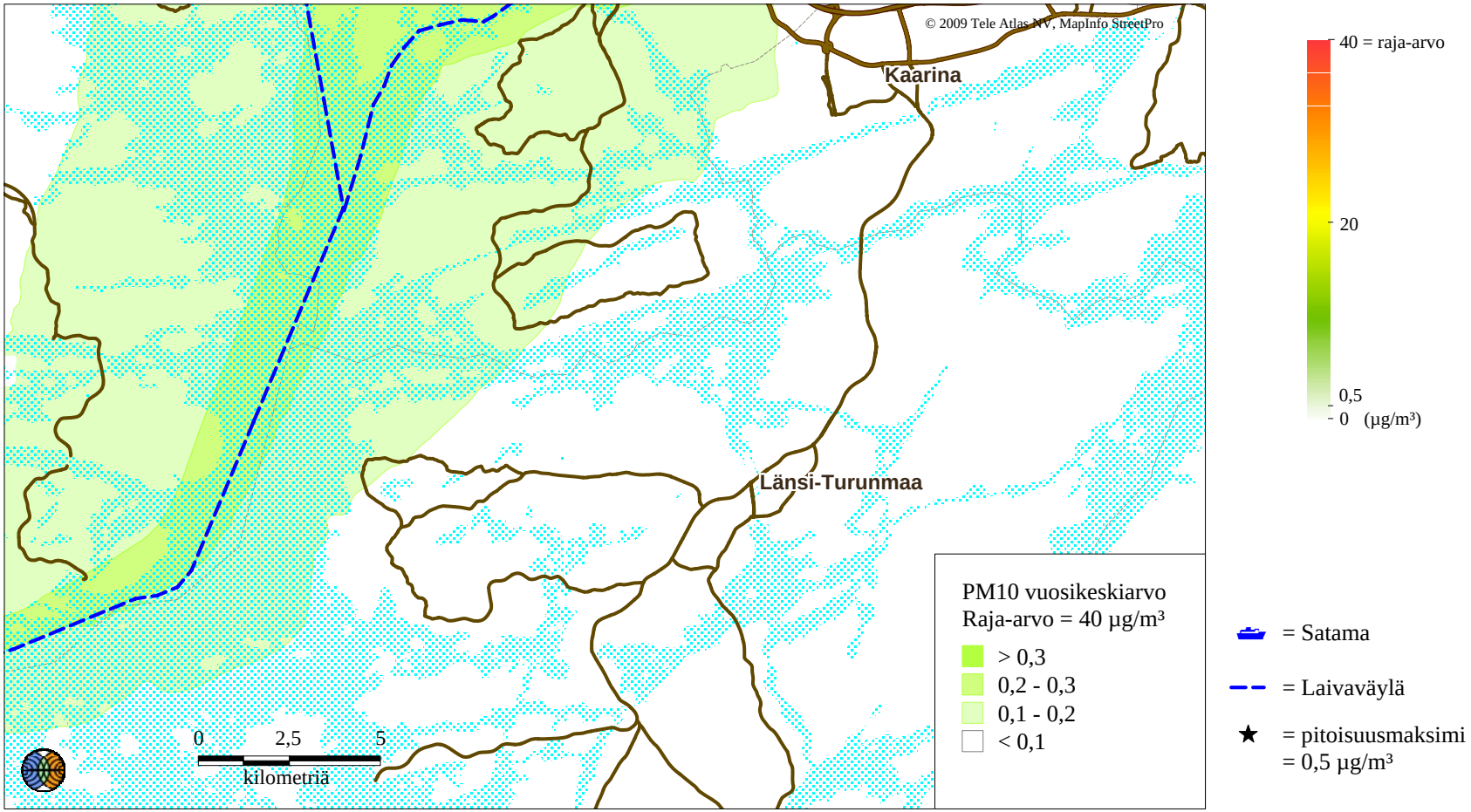
TURUN SEUTU, TUTKIMUSALUEEN POHJOISOSA



Ilmatieteen laitos 2009

Kuva 47. Laivaliikenteen päästöjen aiheuttama hengitettävien hiukkasten pitoisuuden korkein vuosikeskiarvo (µg/m³).

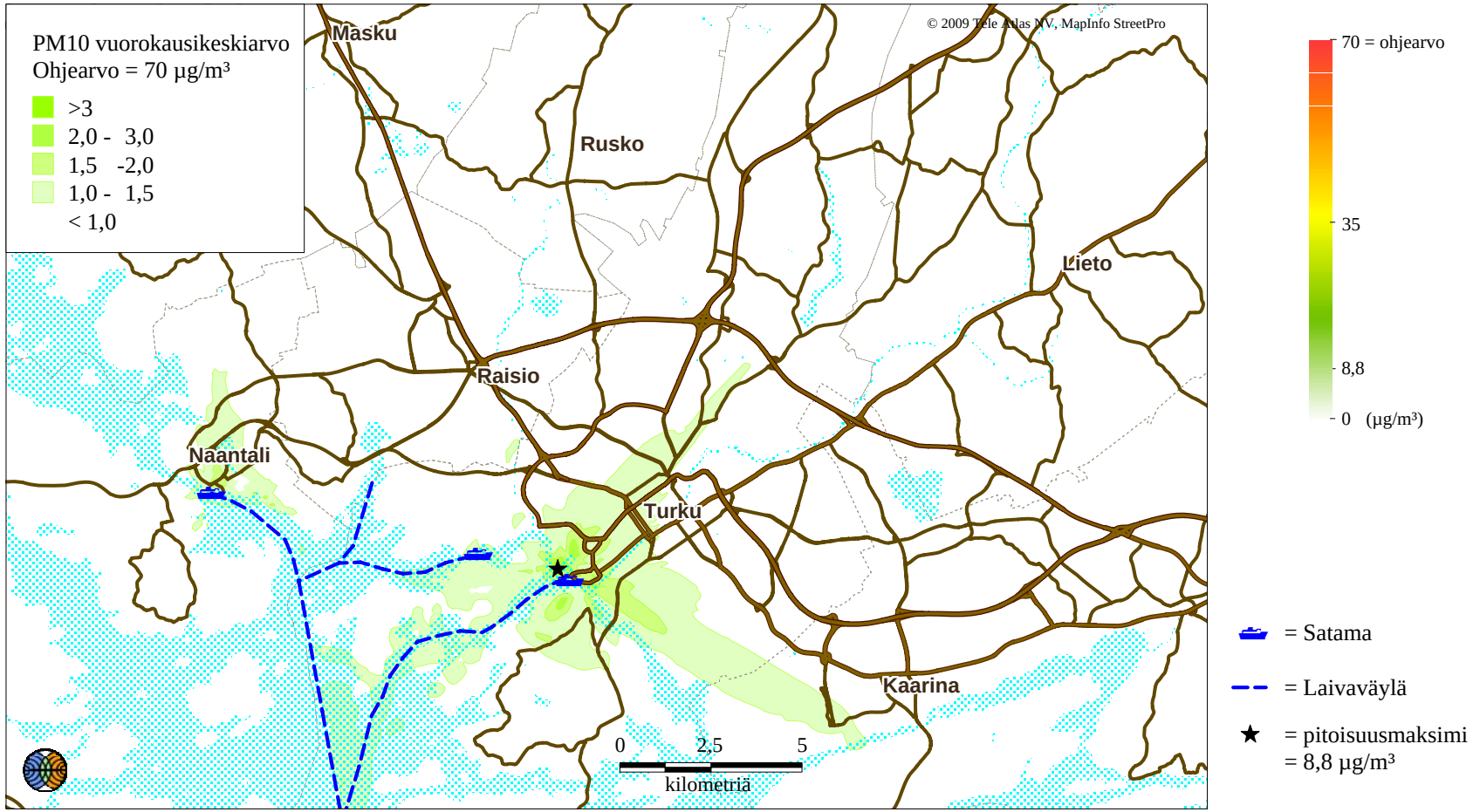
TURUN SEUTU, TUTKIMUSALUEEN ETELÄOSA



Ilmatieteen laitos 2009

Kuva 48. Laivaliikenteen päästöjen aiheuttama hengitettävien hiukkasten pitoisuuden korkein vuosikeskiarvo (µg/m³).

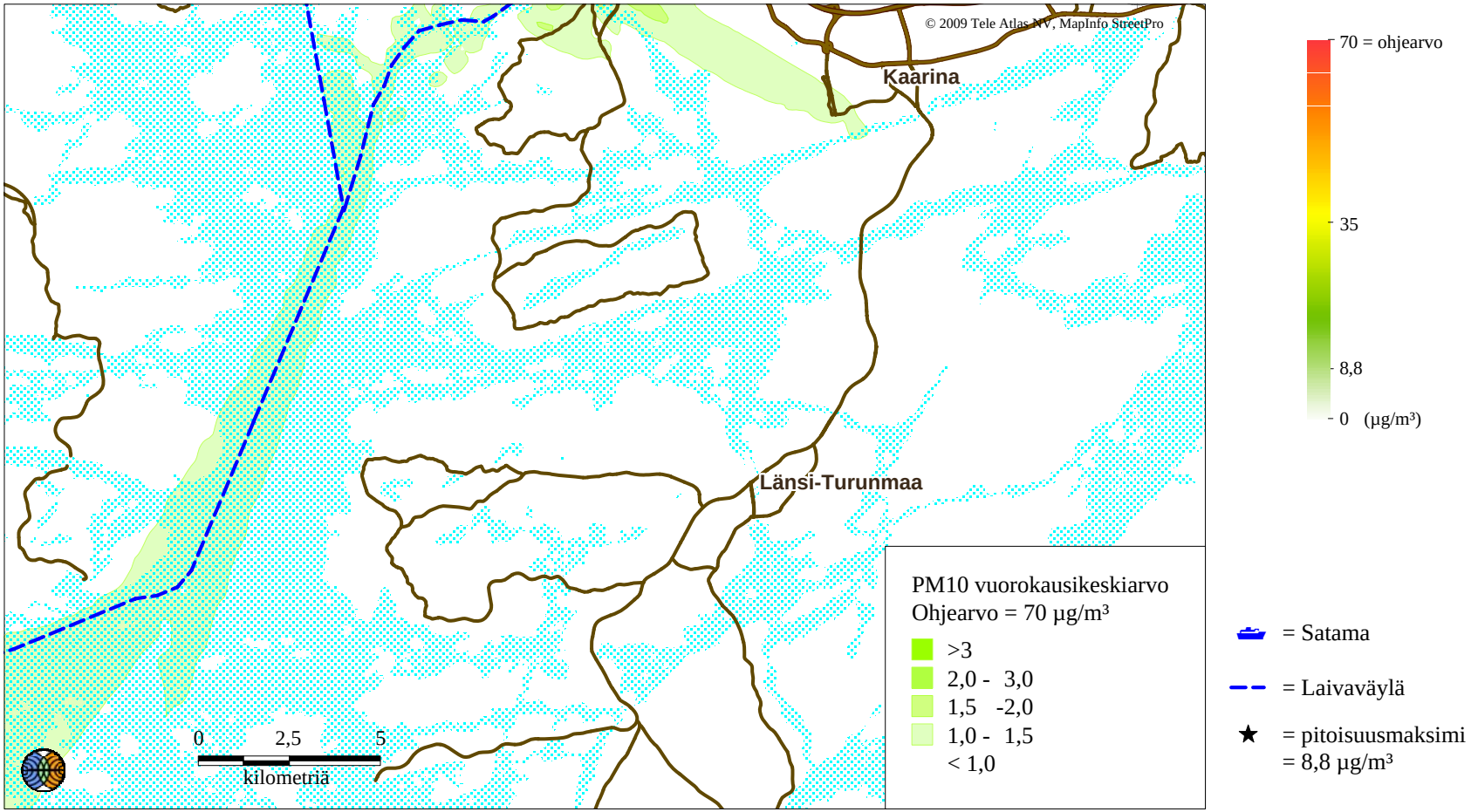
TURUN SEUTU, TUTKIMUSALUEEN POHJOISOSA



Ilmatieteen laitos 2009

Kuva 49. Laivaliikenteen päästöjen aiheuttama hengitettävien hiukkasten pitoisuuden korkein vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

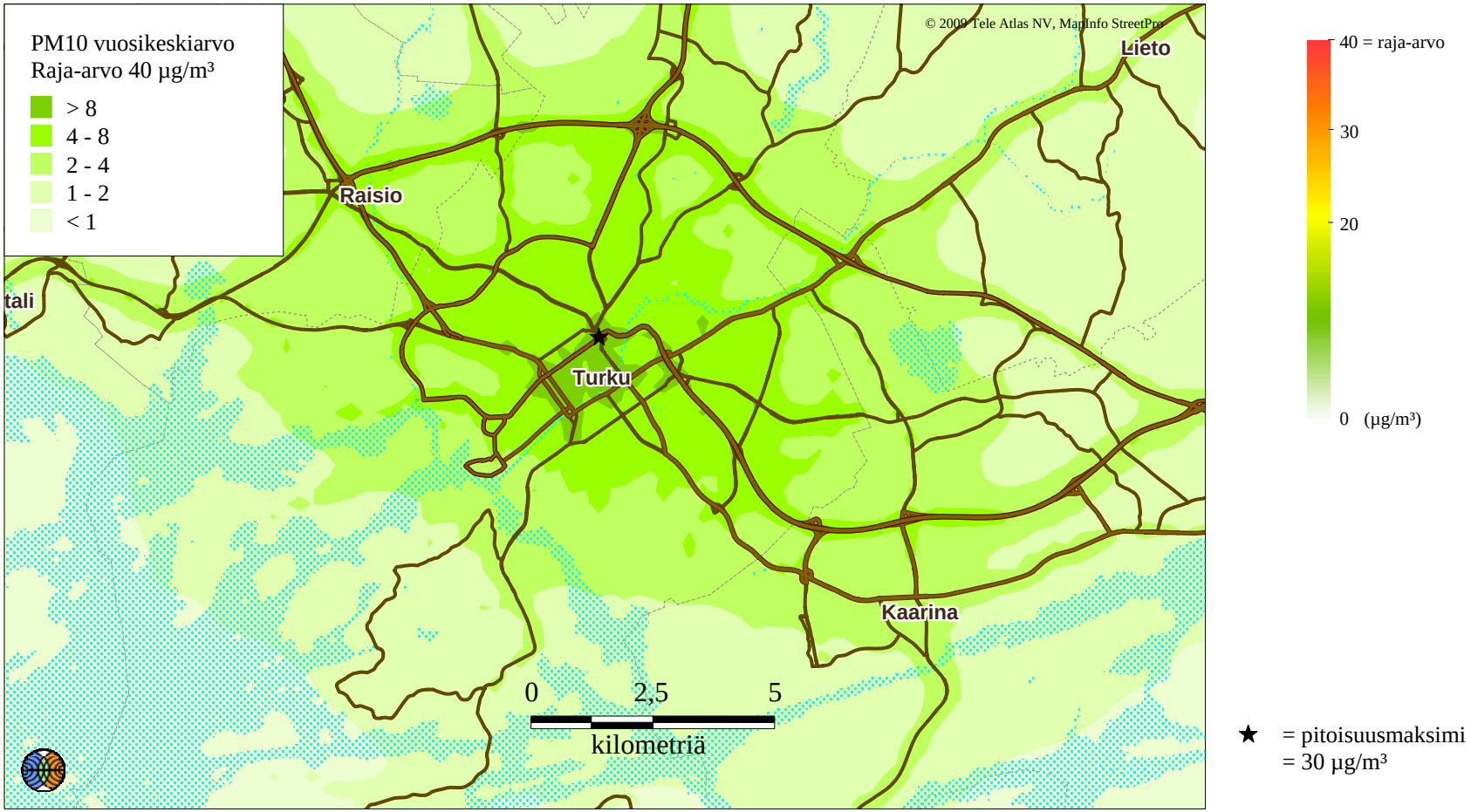
TURUN SEUTU, TUTKIMUSALUEEN ETELÄOSA



Ilmatieteen laitos 2009

Kuva 50. Laivaliikenteen päästöjen aiheuttama hengitettävien hiukkasten pitoisuuden korkein vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

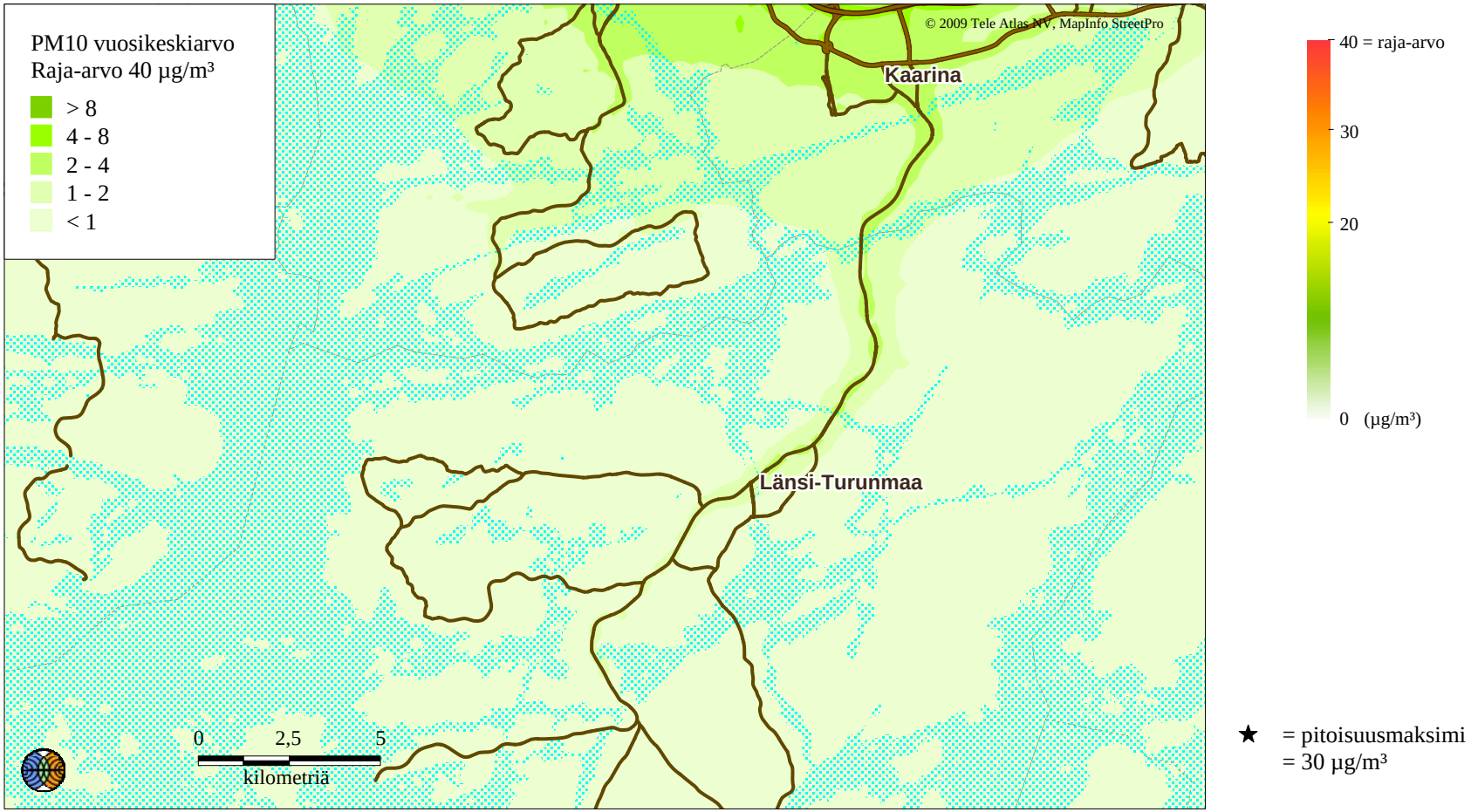
TURUN SEUTU, TUTKIMUSALUEEN POHJOISOSA



Ilmatieteen laitos 2009

Kuva 51. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama hengitettävien hiukkasten pitoisuuden korkein vuosikeskiarvo (µg/m³).

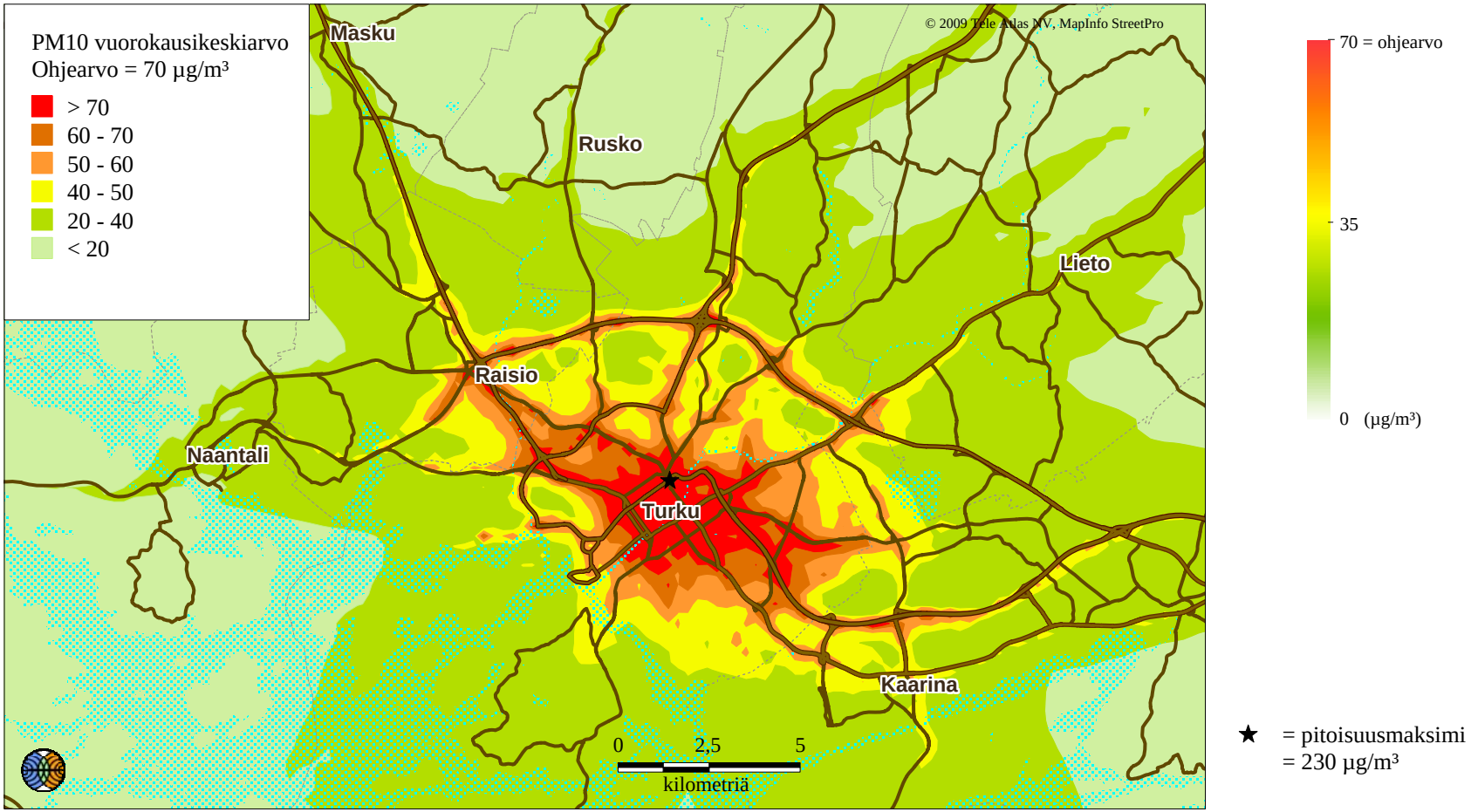
TURUN SEUTU, TUTKIMUSALUEEN ETELÄOSA



Ilmatieteen laitos 2009

Kuva 52. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama hengitettävien hiukkasten pitoisuuden korkein vuosikeskiarvo (µg/m³).

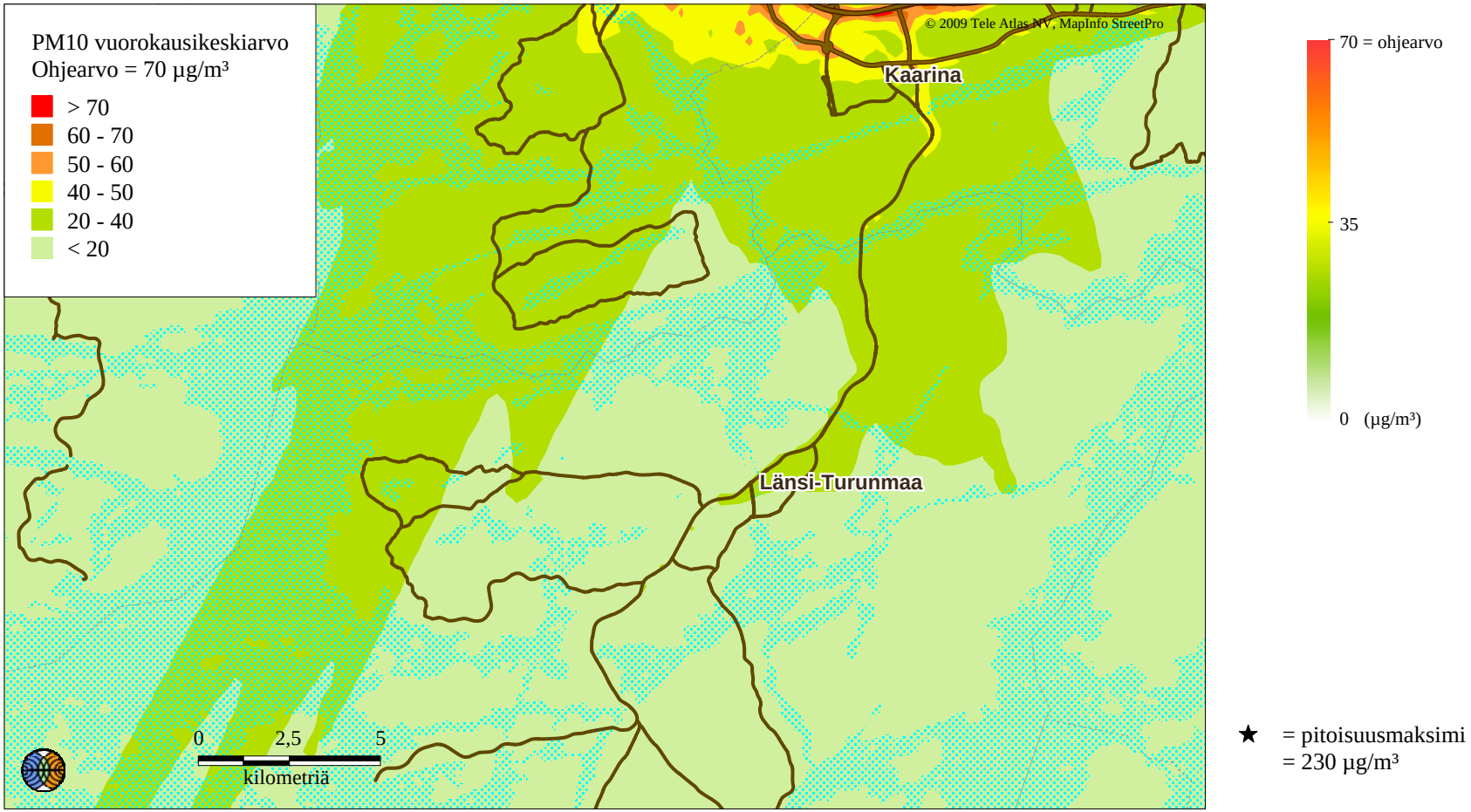
TURUN SEUTU, TUTKIMUSALUEEN POHJOISOSA



Ilmatieteen laitos 2009

Kuva 53. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama hengitettävien hiukkasten korkein vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

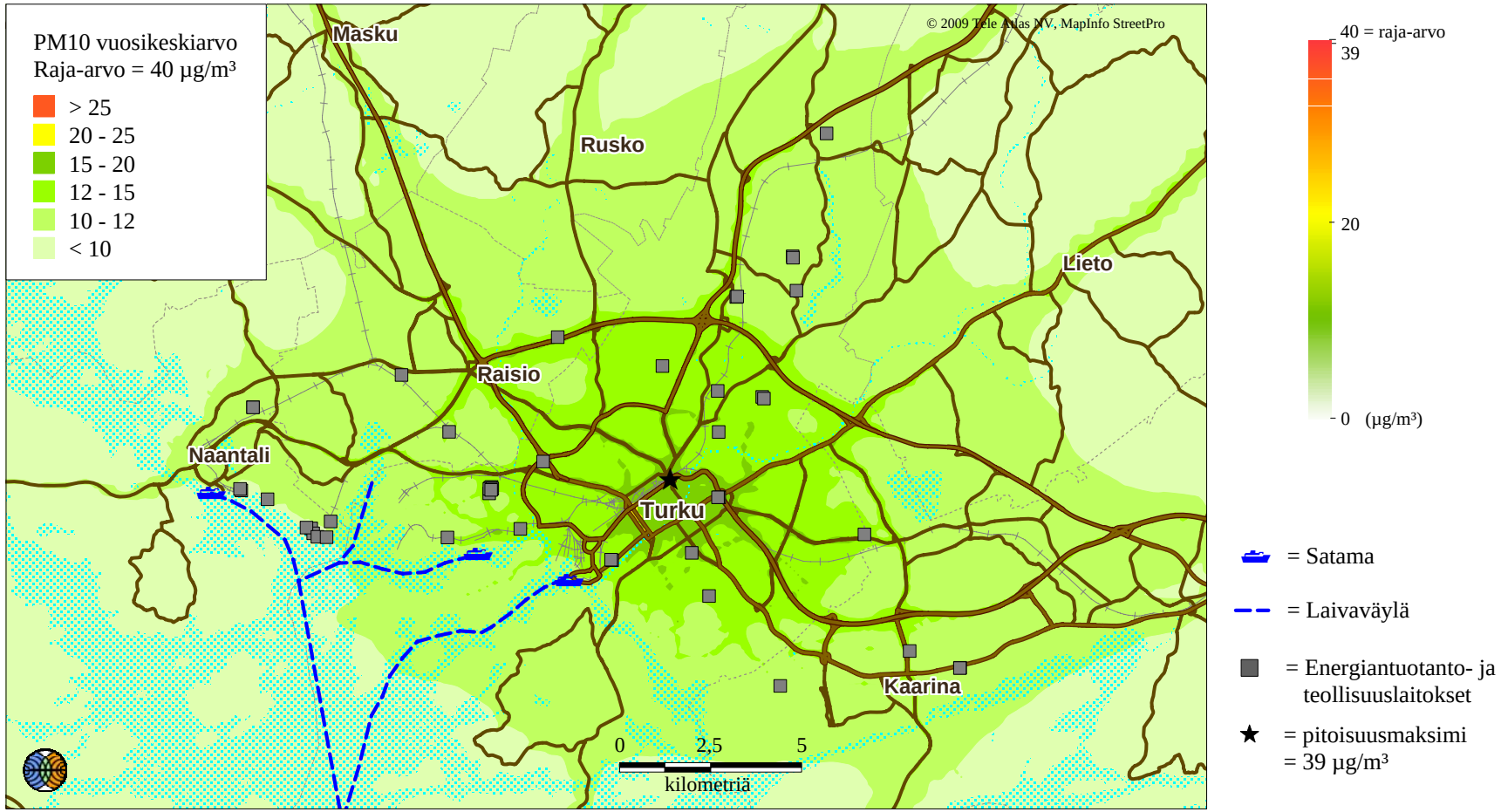
TURUN SEUTU, TUTKIMUSALUEEN ETELÄOSA



Ilmatieteen laitos 2009

Kuva 54. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama hengitettävien hiukkasten korkein vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

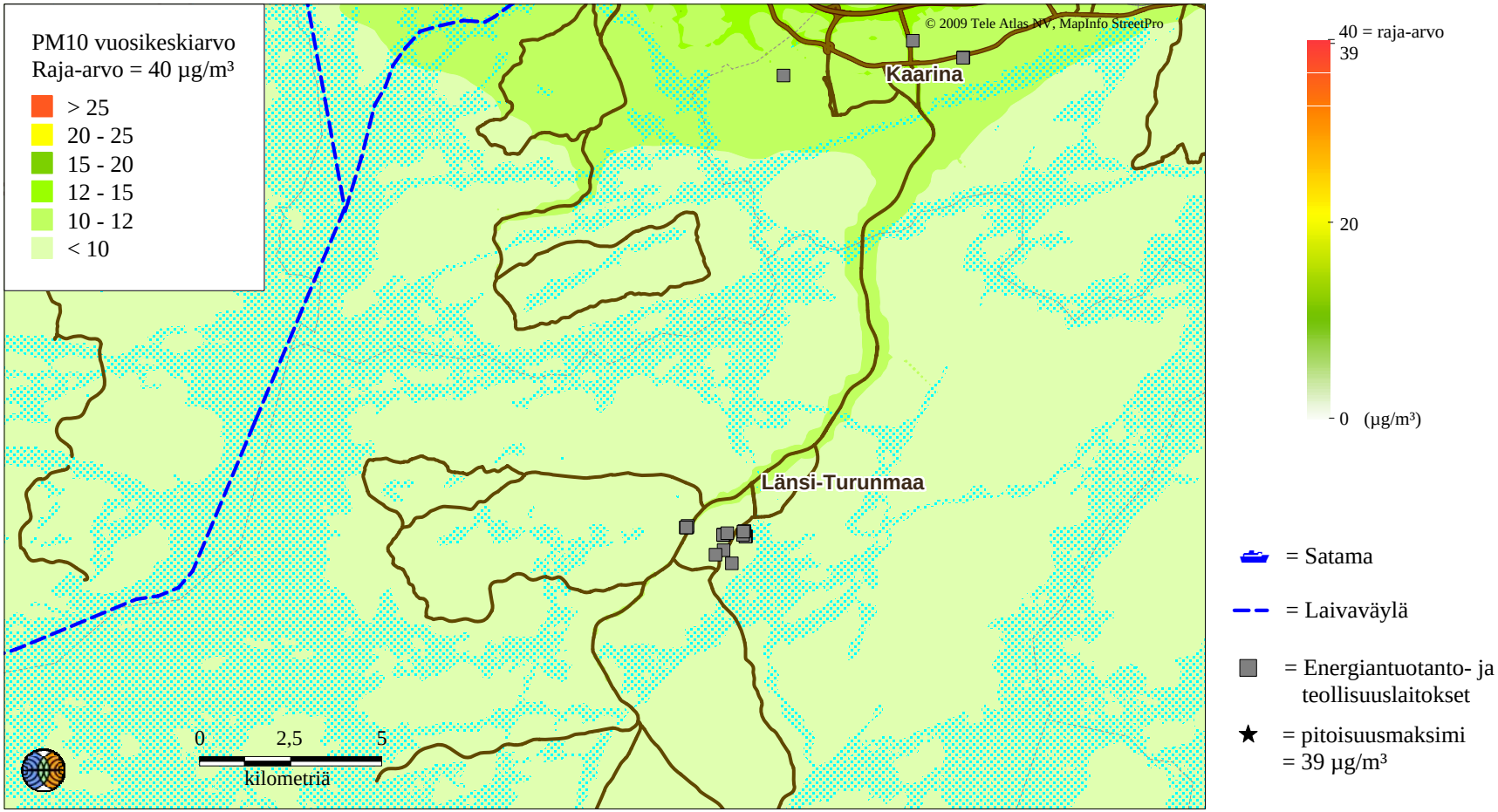
TURUN SEUTU, TUTKIMUSALUEEN POHJOISOSA



Ilmatieteen laitos 2009

Kuva 55. Kaikkien päästölähteiden yhdessä aiheuttama hengitettävien hiukkasten pitoisuuden korkein vuosikeskiarvo (µg/m³).

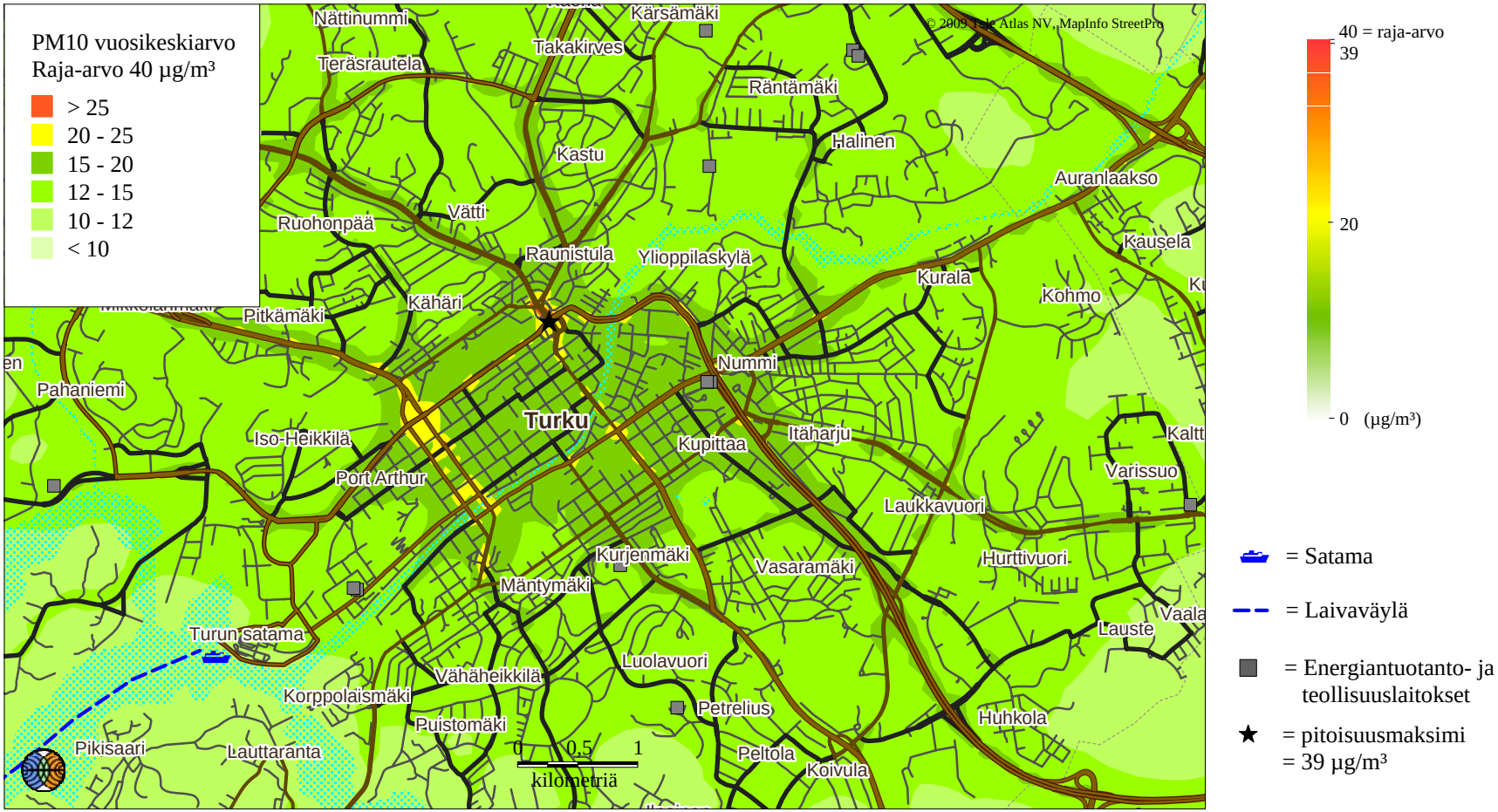
TURUN SEUTU, TUTKIMUSALUEEN ETELÄOSA



Ilmatieteen laitos 2009

Kuva 56. Kaikkien päästölähteiden yhdessä aiheuttama hengitettävien hiukkasten pitoisuuden korkein vuosikeskiarvo (µg/m³).

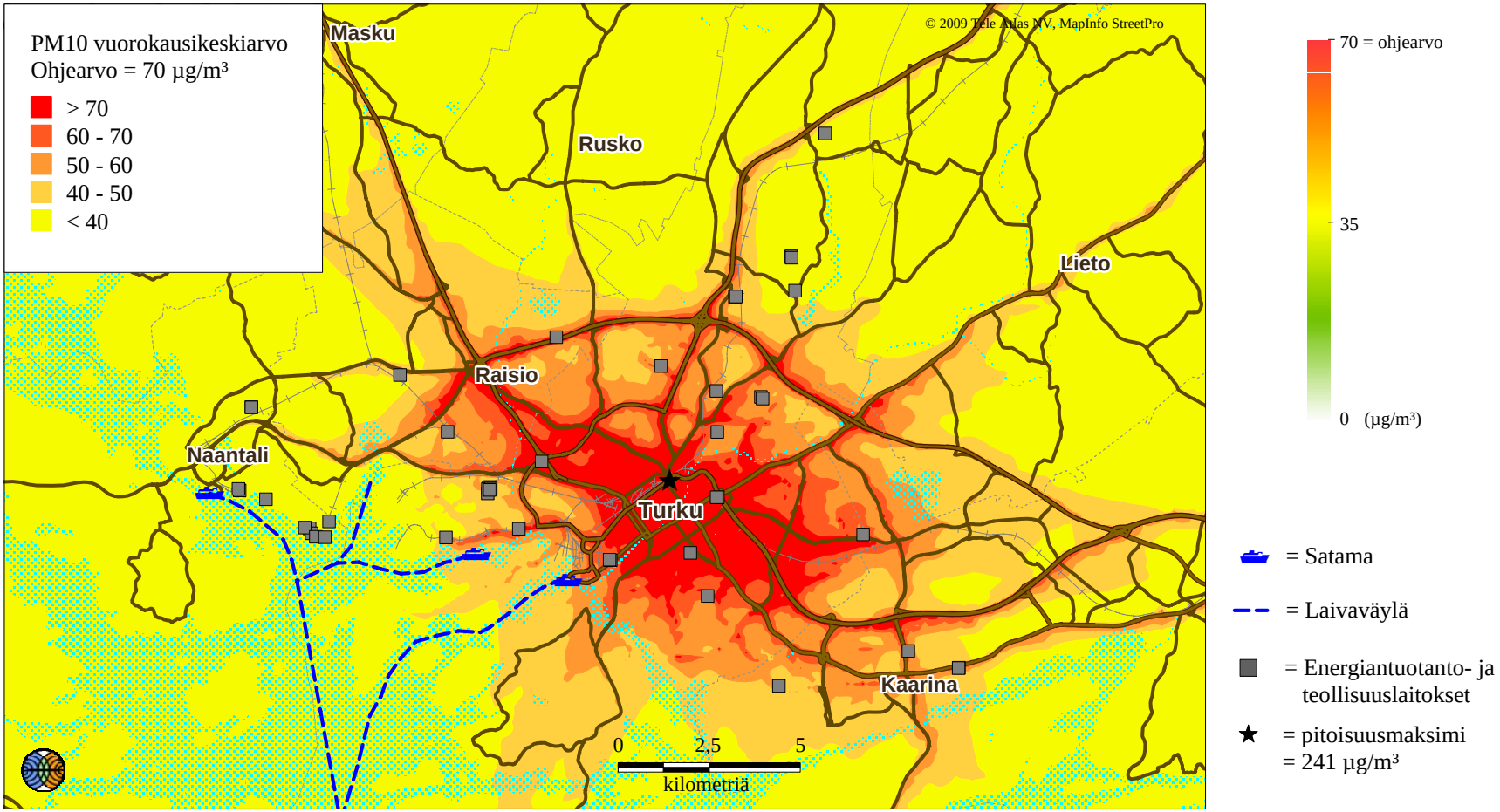
TURUN KESKUSTA



Ilmatieteen laitos 2009

Kuva 57. Kaikkien päästölähteiden yhdessä aiheuttama hengitettävien hiukkasten pitoisuuden korkein vuosikeskiarvo (µg/m³).

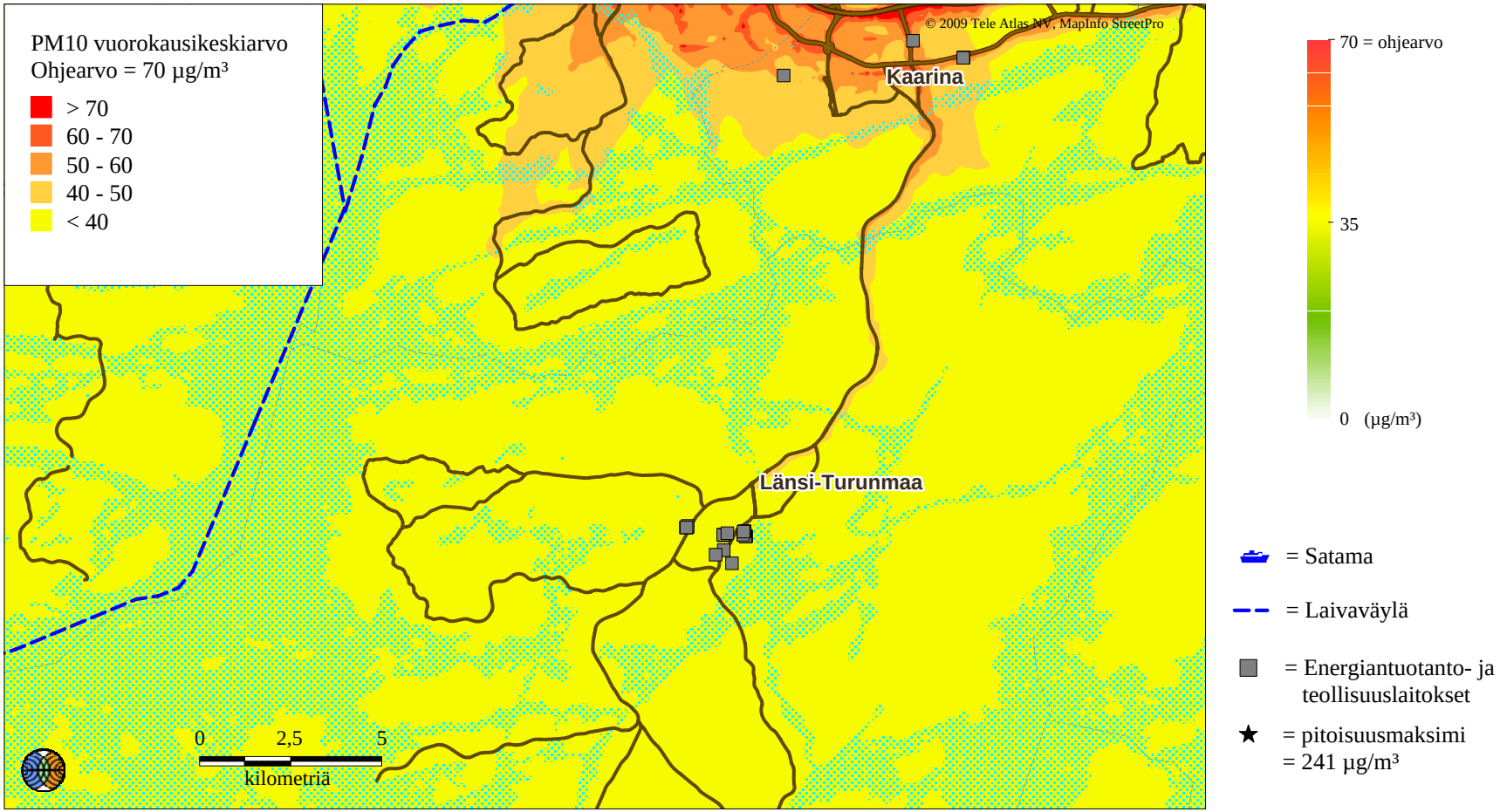
TURUN SEUTU, TUTKIMUSALUEEN POHJOISOSA



Ilmatieteen laitos 2009

Kuva 58. Kaikkien päästölähteiden yhdessä aiheuttama hengitettävien hiukkasten korkein vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

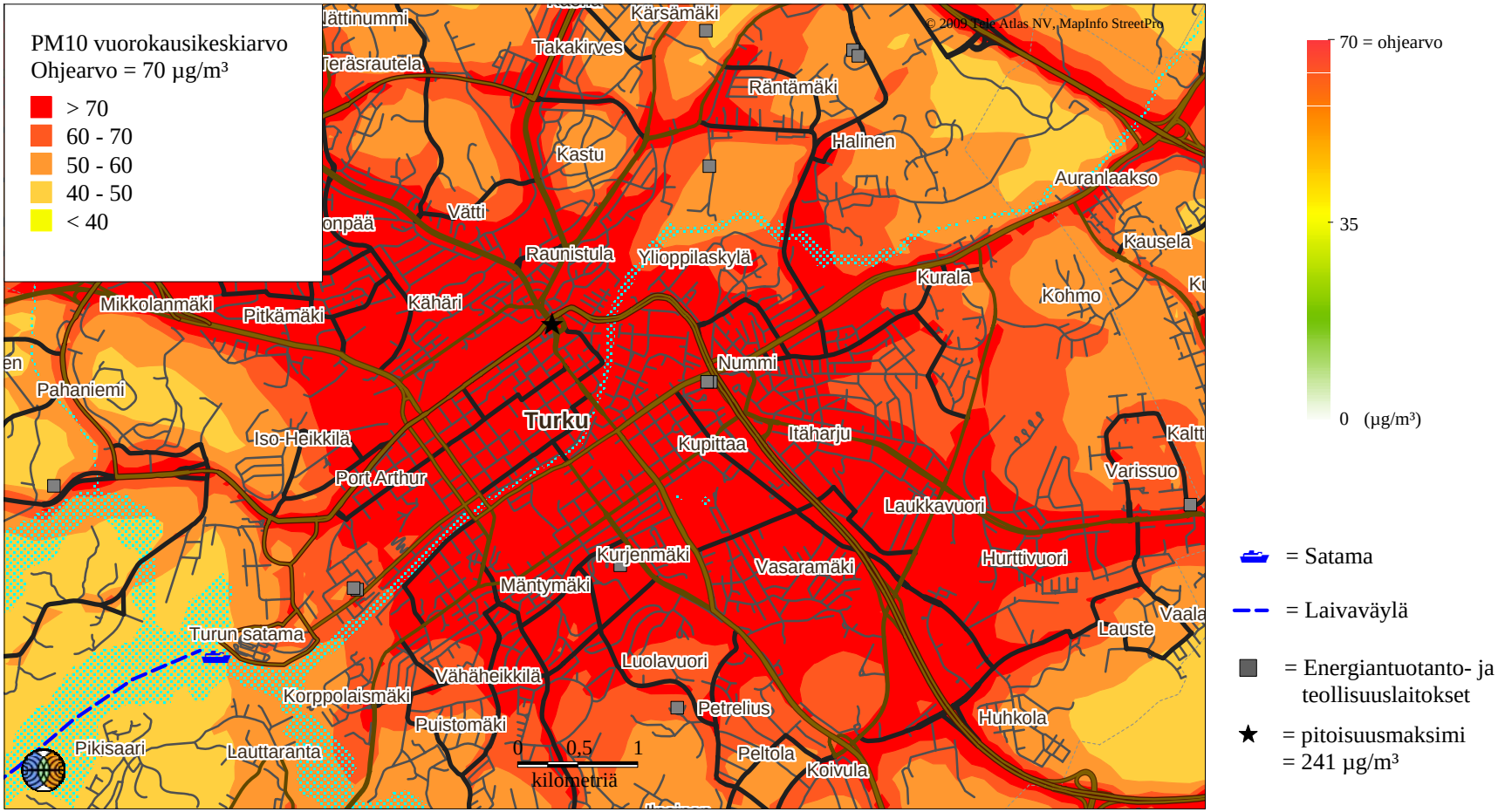
TURUN SEUTU, TUTKIMUSALUEEN ETELÄOSA



Ilmatieteen laitos 2009

Kuva 59. Kaikkien päästölähteiden yhdessä aiheuttama hengitettävien hiukkasten korkein vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

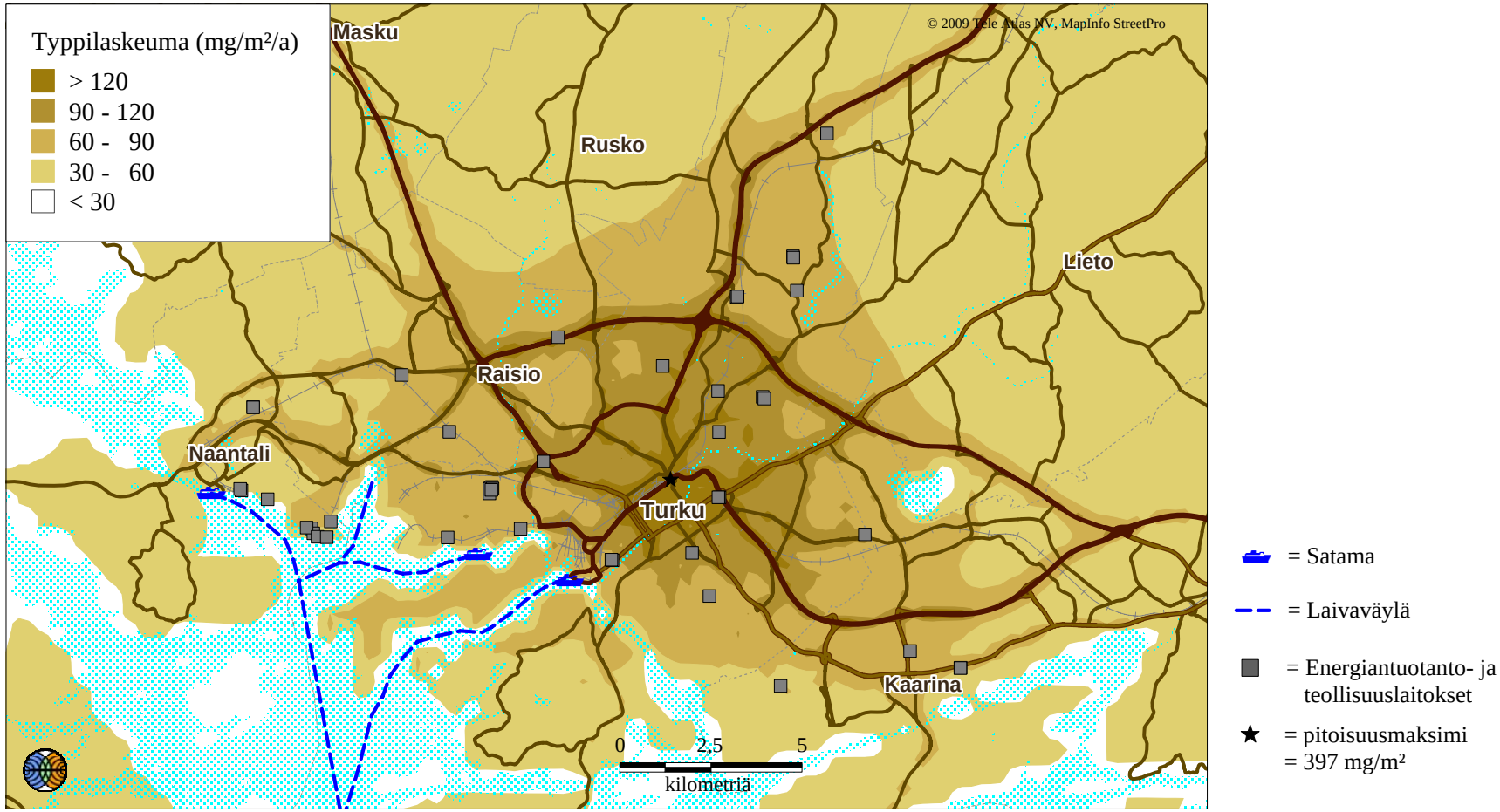
TURUN KESKUSTA



Ilmatieteen laitos 2009

Kuva 60. Kaikkien päästölähteiden yhdessä aiheuttama hengitettävien hiukkasten korkein vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

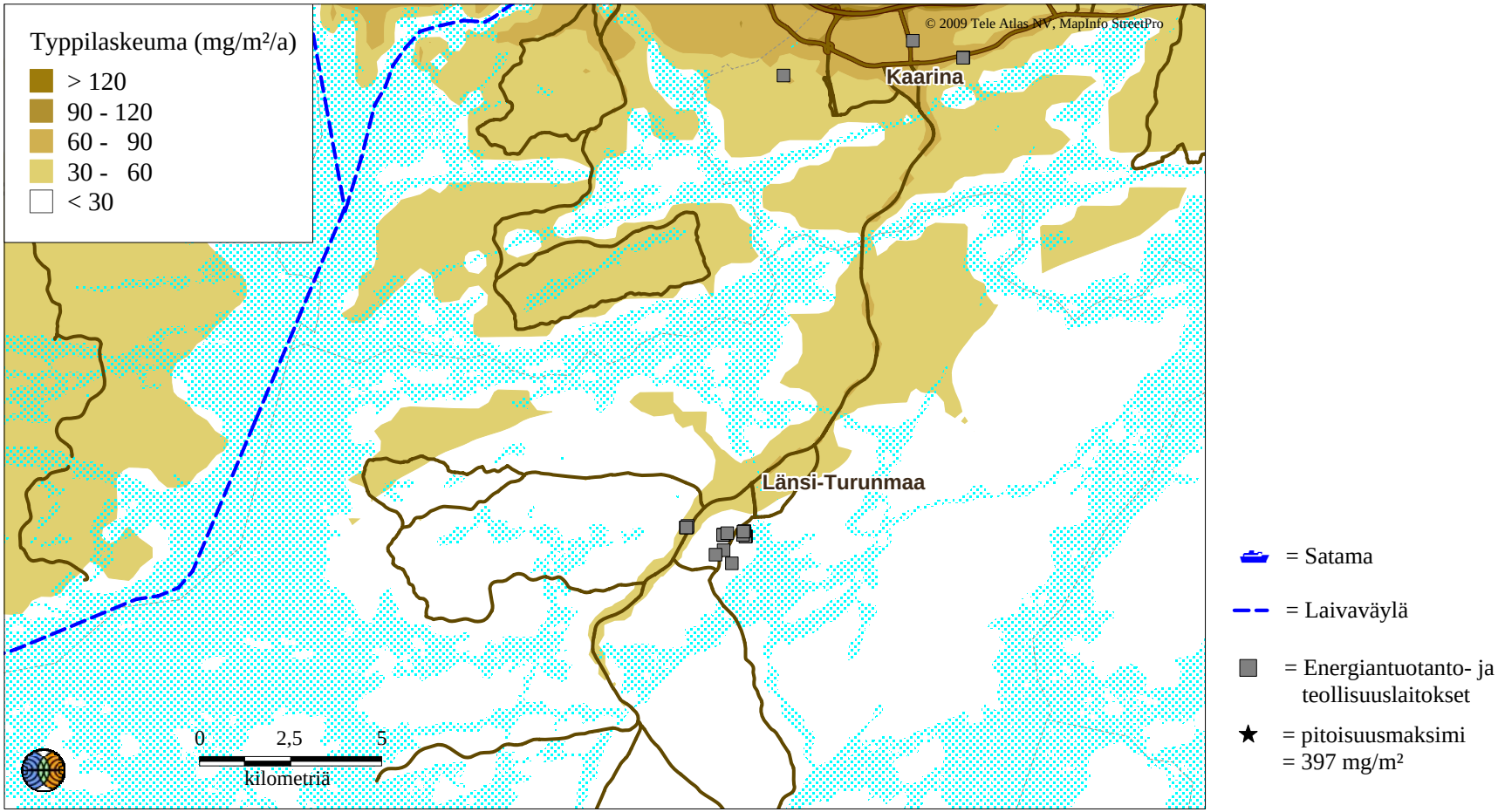
TURUN SEUTU, TUTKIMUSALUEEN POHJOISOSA



Ilmatieteen laitos 2009

Kuva 61. Kaikkien päästölähteiden yhdessä aiheuttama typen (nitraatin) vuosilaskeuma (mg(N)/m²) ilman alueellista taustalaskeumaa.

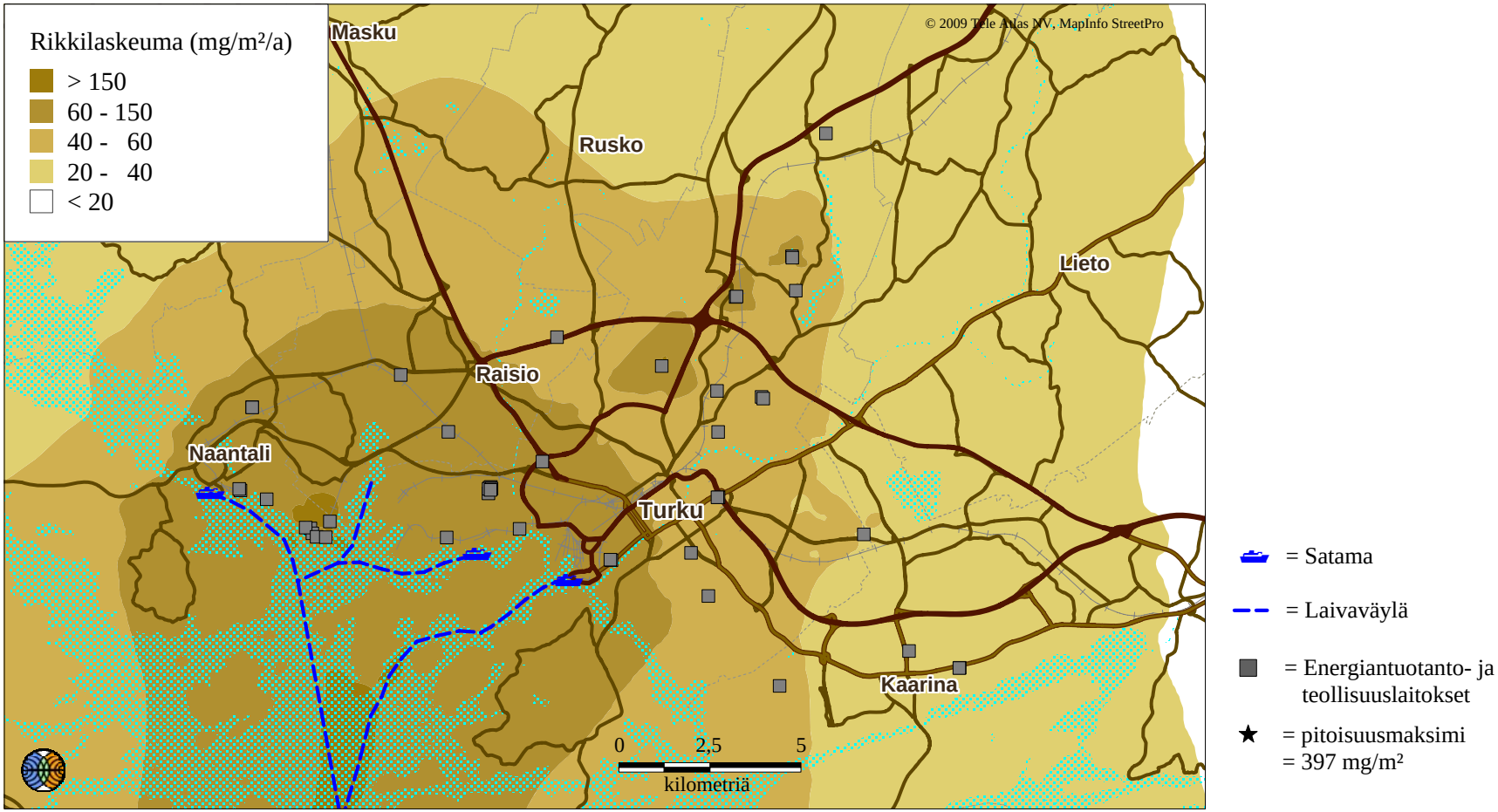
TURUN SEUTU, TUTKIMUSALUEEN ETELÄOSA



Ilmatieteen laitos 2009

Kuva 62. Kaikkien päästölähteiden yhdessä aiheuttama typen (nitraatin) vuosilaskeuma (mg(N)/m²) ilman alueellista taustalaskeumaa.

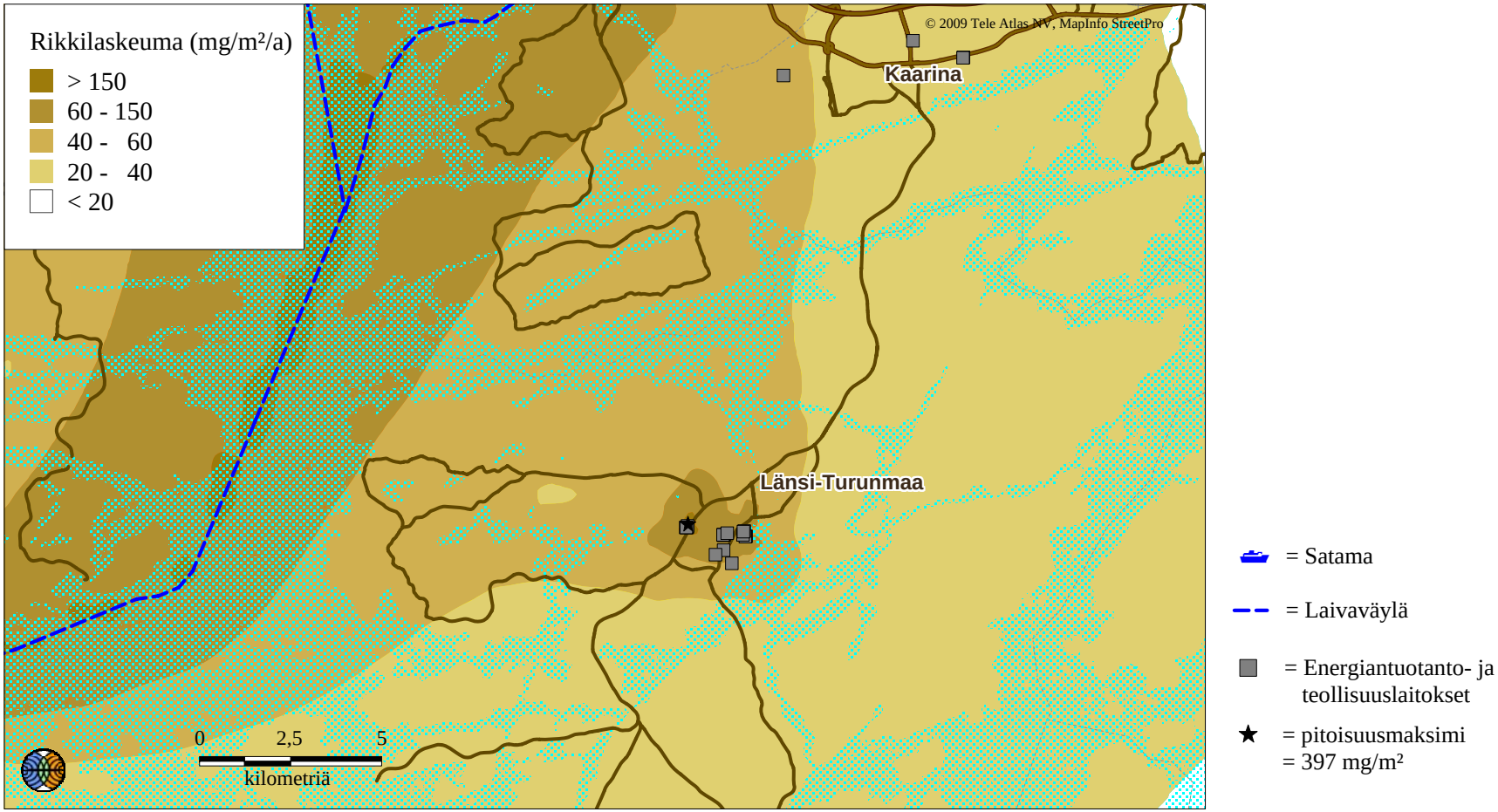
TURUN SEUTU, TUTKIMUSALUEEN POHJOISOSA



Ilmatieteen laitos 2009

Kuva 63. Kaikkien päästölähteiden yhdessä aiheuttama rikin (sulfaatin) vuosilaskeuma (mg(S)/m²) ilman alueellista taustalaskeumaa.

TURUN SEUTU, TUTKIMUSALUEEN ETELÄOSA



Ilmatieteen laitos 2009

Kuva 64. Kaikkien päästölähteiden yhdessä aiheuttama rikin (sulfaatin) vuosilaskeuma (mg(S)/m²) ilman alueellista taustalaskeumaa.

Ilmanlaadun asiantuntijapalvelut
PL 503
00101 HELSINKI
puh. (09) 19291
ilmanlaatupalvelut@fmi.fi

Air quality expert services
P.O.Box 503
FIN-000101 HELSINKI
tel. +358 9 19291
airquality.services@fmi.fi

www.fmi.fi

ILMATIETEEN LAITOS
FINNISH METEOROLOGICAL INSTITUTE