ILMATIETEEN LAITOS

BIOPOLTTOAINEIDEN KÄYTÖN LISÄYKSEN VAIKUTUS KUOPION ILMANLAATUUN VUONNA 2020

Kuva: Pauli Araneva

Autoliikenteen, Haapaniemen voimalaitoksen ja kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen leviämismallinnus

ILMANLAADUN ASIANTUNTIJAPALVELUT 2013

BIOPOLTTOAINEIDEN KÄYTÖN LISÄYKSEN VAIKUTUS KUOPION ILMANLAATUUN VUONNA 2020

Autoliikenteen, Haapaniemen voimalaitoksen ja kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen leviämismallinnus

Birgitta Komppula
Jatta Salmi
Timo Rasila
Mari Kauhaniemi
Katja Lovén

ILMATIETEEN LAITOS – ILMANLAADUN ASIANTUNTIJAPALVELUT
Helsinki 31.12.2013

Tämä raportti on painettu 100 % uusiomassasta valmistetulle Cocoon-paperille.

BIOPOLTTOAINEIDEN KÄYTÖN LISÄYKSEN VAIKUTUS KUOPION ILMANLAATUUN VUONNA 2020
Autoliikenteen, Haapaniemen voimalaitoksen ja kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen leviämismallinnus

TIIVISTELMÄ

Tutkimuksen tarkoituksena oli arvioida lisääntyvän biopolttoaineiden käytön vaikutuksia Kuopion ilmanlaatuun ja sen alueelliseen vaihteluun. Tarkastelukohteena oli vuoden 2020 ilmanlaatu, jota verrattiin nykytilanteeseen, jota edusti vuosi 2010. Tutkimuksessa arvioitiin Kuopion kaupunkialueen liikenteen, Kuopion Energia Oy:n Haapaniemen voimalaitoksen ja kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttamia pienhiukkasten ja hengitettävien hiukkasten pitoisuuksia leviämismallien avulla. Lisäksi mallinnettiin autoliikenteen typenoksidipäästöjen ja kiinteistökohtaisen lämmityksen alkuainehiilipäästöjen leviämistä. Tutkimuksessa käytettiin Ilmatieteen laitoksella kehitettyjä leviämismalleja. Mallilaskelmien tuloksia verrattiin ilmanlaadun raja- ja ohjearvoihin ja Kuopiossa mitattuihin pitoisuuksiin. Lisäksi tarkasteltiin eri päästölähteiden vaikutusosuuksia ulkoilman hiukkaspitoisuuksiin.

Leviämismallilaskelmien lähtötietoina käytetyt hiukkaspäästöt kattavat Kuopion merkittävimmät päästölähteet. Autoliikenteen päästöistä huomioitiin sekä pakokaasupäästöt että liikenteen ilmaan nostamat katupölypäästöt. Tulevan tilanteen pakokaasupäästöjä arvioitiin Euro 4- ja Euro 5 -päästönormien avulla. Haapaniemen voimalaitoksen ja kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen leviämismallilaskelmissa huomioitiin biopolttoaineiden käytön lisääntyminen tulevassa tilanteessa.

Tutkimuksen tulosten mukaan korkeimmat pienhiukkasten ja hengitettävien hiukkasten pitoisuudet Kuopiossa aiheutuvat autoliikenteen päästöjen ja kaukokulkeuman vaikutuksesta. Energiantuotannon ja kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöt aiheuttavat vain vähäisen lisän tutkimusalueen hiukkaspitoisuuksiin. Leviämislaskelmien mukaan pienhiukkaspitoisuuden raja-arvo alittuu Kuopiossa selvästi. Hengitettävien hiukkasten pitoisuudelle määritetyt ilmanlaadun ohje- ja raja-arvot voivat epäedullisissa meteorologisissa olosuhteissa ylittyä paikoitellen. Tulevassa tilanteessa liikennemäärien kasvaessa erityisesti katupölypäästöt voivat lisääntyä, vaikka pakokaasupäästöjen oletetaankin vähenevän moottoritekniikoiden ja polttoaineiden kehittyessä puhtaammiksi. Myös typpidioksidin vuorokausiohjearvo voi ylittyä tulevassa tilanteessa, mutta raja-arvot alittuvat. Lisääntyvä biopolttoaineiden käyttö lisää tulevassa tilanteessa vähän kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttamia hiukkas- ja alkuainehiilipitoisuuksia. Haapaniemen voimalaitoksen päästöjen aiheuttamat hiukkaspitoisuudet alenevat tiukentuvien päästörajojen vuoksi, vaikka biopolttoaineiden käytön oletetaan kasvavan 50 %:iin.

Pienhiukkasten, hengitettävien hiukkasten ja typpidioksidin pitoisuudet ovat koholla vilkkaimpien liikenneväylien varsilla ja näiden teiden risteysalueilla sekä Kuopion keskustan alueella. Pitoisuudet ovat korkeimmillaan Kuopion läpi kulkevan Valtatie 5:n, Savilahdentien, Tasavallankadun ja muiden keskustan sisääntuloväylien varsilla. Pitoisuudet pienenevät keskusta-alueen ulkopuolella ja etäisyyden kasvaessa vilkkaimmista väylistä. Suurimmassa osassa tutkimusaluetta pitoisuudet ovat selvästi ohje- ja raja-arvotasoa pienempiä. Leviämislaskelmien mukaan ilmanlaatu on hyvää suurimmassa osassa Kuopiota, mutta voi paikallisesti ja hetkellisesti huonontua vilkkaimpien liikenneväylien varsilla.

SISÄLLYSLUETTELO

1 JOHDANTO 7

2 TAUSTATIETOA ILMANLAADUSTA 9
2.1 Ilmanlaatuun vaikuttavat tekijät 9
2.2 Typpidioksidi 9
2.3 Hiukkaset 10
2.4 Alkuainehiili, musta hiili, orgaaninen hiili 12
2.5 Ilmanlaadun raja- ja ohjearvot 13

3 MENETELMÄT 14
3.1 Leviämismallilaskelmien kuvaus 14
3.1.1 UDM-FMI ja CAR-FMI 14
3.1.2 Suspensiopäästömalli 16
3.2 Leviämismallilaskelmien lähtötiedot 17
3.2.1 Autoliikenteen lähtötiedot 18
3.2.2 Haapaniemen voimalaitoksen lähtötiedot 20
3.2.3 Kiinteistökohtaisen lämmityksen lähtötiedot 22
3.2.4 Kaikkien hiukkaspäästölähteiden päästöt 25
3.2.5 Meteorologiset tiedot ja taustapitoisuustiedot 27

4 TULOKSET 28
4.1 Autoliikenne 28
4.1.1 Hiukkaspitoisuudet ($PM_{2,5}$ ja PM_{10}) 28
4.1.2 Typpidioksidipitoisuudet (NO_2) 32
4.2 Haapaniemen voimalaitos 34
4.2.1 Hiukkaspitoisuudet ($PM_{2,5}$ ja PM_{10}) 34
4.3 Kiinteistökohtainen lämmitys 36
4.3.1 Hiukkaspitoisuudet ($PM_{2,5}$ ja PM_{10}) 36
4.3.2 Alkuainehiilen (EC) pitoisuudet 37
4.4 Mallilaskelmien tulosten vertailu ilmanlaadun mittauksiin 38
4.5 Eri päästölähteiden osuus hiukkasten kokonaispitoisuuksista 44

5 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET 46

VIITELUETTELO 49

LIITEKUVAT

1 JOHDANTO

Tässä tutkimuksessa arvioitiin leviämismallilaskelmien avulla biopolttoaineiden käytön lisäyksen vaikutusta Kuopion ilmanlaatuun tulevassa tilanteessa vuonna 2020. Vertailukohtana käytettiin nykyistä ilmanlaatua edustavaa vuotta 2010. Leviämismallien avulla tarkasteltiin Kuopion autoliikenteestä, Kuopion Energia Oy:n Haapaniemen voimalaitoksesta ja Kuopion kaupunkialueen kiinteistökohtaisesta lämmityksestä vapautuvien päästöjen ilmanlaatuvaikutuksia. Ilmanlaatuselvityksen tilasi Kuopion kaupunki.

Tutkimuksen lähtötietoina käytettiin mahdollisimman paljon hyväksi Ilmatieteen laitoksen Kuopion kaupungille aikaisemmin tekemiä leviämismallinnuksia. Aikaisemmin on leviämismallien avulla laskettu Kuopion alueen typenoksidi-, hiukkas- ja hiilimonoksidipäästöjen leviämistä vuosille 2005/2006 ja 2020 (*Rasila ym., 2008; Rasila ym., 2007*). Vuosille 2005/2006 lasketut autoliikenteen päästöjen ilmanlaatuvaikutukset edustavat tässä tutkimuksessa vuotta 2010 eli nykytilannetta.

Ilmanlaatuarvioinnin tuloksia käytetään Euroopan Komission rahoittamassa URGENCHE-hankkeessa (Urban Reduction of Green House Gas Emission in China and Europe), johon Kuopion kaupunki osallistuu vuosina 2011−2014. Hankkeessa selvitetään kasvihuonekaasupäästöjen vähentämistoimenpiteiden vaikutuksia eri ympäristöaltisteille altistumiseen ja ihmisten terveyteen ja hyvinvointiin. Tarkasteltavat päästövähennyspolitiikat on valittu niin, että ne myötäilevät olemassa olevia päästövähennyssuunnitelmia ja ovat realistisesti toteutettavissa. Kuopiossa tutkimuskohteina ovat biopolttoaineiden käytön lisäys energiantuotannossa ja tieliikenteessä sekä muutokset kiinteistökohtaisessa energiantuotannossa ja talojen energiatehokkuudessa. Koska hiilidioksidi ei aiheuta suoria terveysvaikutuksia, käytetään terveysvaikutusten arviointiin toissijaisia ilman epäpuhtauksia. Tätä varten mallilaskelmin selvitettiin päästövähennystoimien vaikutusta paikalliseen ilmanlaatuun, mitä tietoa käytetään edelleen varsinaisten terveys- ja hyvinvointivaikutusten arviointiin (*Pöyhönen ja Pärjälä, 2013; Asikainen, 2013*).

URGENCHE-hankkeessa on kolme pääskenaariota:

1. **Baseline 2010**. Kuvaa nykytilannetta, jossa energiantuotannon, erillislämmityksen ja liikenteen päästöt kuvataan mahdollisimman todenmukaisesti.
   - Leviämismallilaskelmissa liikenteen päästöt vastaavat vuosien 2005/2006 tilannetta
   - Haapaniemen voimalaitoksen ja erillislämmityksen päästöt kuvaavat vuoden 2010 tilannetta.

2. **BAU 2020**. Business-as-usual skenaario on ennuste vuodelle 2020 siten, että päästövähennyspolitiikkoja ei toteuteta. Muutokset vuoteen 2010 verrattuna muodostuvat ennustetuista muutoksista väestömäärässä, asuntokannassa, liikennevirroissa, autojen tekniikassa, asuntojen energiankulutuksessa (matalaenergiatalot) ja siitä seuraavassa energiantuotannon muutoksessa.
   - Liikenteen mallilaskelmissa tarkasteltiin vuoden 2020 liikenneennusteen ja Euro 4-päästöstandardin mukaisia päästöjä.

- Haapaniemen voimalaitoksen ja erillislämmityksen osalta skenaariossa hyödynnetään vuodelle 2010 tehtyjä leviämismallinnuksia energiantuotanto- ja lämmitysenergiamäärillä modifioituna.

3. **CO_2 2020**. Skenaario sisältää seuraavat päästövähennystoimenpiteet**:** biopolttoaineiden 30 % lisäys liikenteessä, biopolttoaineiden lisäys Haapaniemen voimalaitoksessa, puunpolton lisääminen kaukolämpöalueella, uusien rakennusten lämmitysvalinnat (maalämpö, tuulivoima, aurinkoenergia), uudet ja korjattavat rakennukset oletetaan passiivitaloiksi.
   - Liikenteen mallilaskelmissa tarkasteltiin vuoden 2020 liikenneennusteen ja Euro 5-päästöstandardin mukaisia päästöjä. Skenaarion mukaista biopolttoaineiden lisäystä kuvattiin tällä tavoin epäsuorasti, koska liikenteen biopolttoaineille ei ole luotettavasti saatavilla päästökertoimia.
   - Haapaniemen voimalaitoksella oletettiin käytettävän 50 % biopolttoaineita vuoden 2020 tilanteessa. Mallinnettu tilanne kuvaa todellista tapahtuvaa ja osin jo tapahtunuttakin kehitystä Haapaniemen voimalaitoksella.
   - Kiinteistökohtaisessa lämmityksessä biopolttoaineiden lisäys oletettiin tapahtuvan niin, että kaikki öljylämmitteiset asuintalot siirtyisivät puunpolttoon vuoteen 2020 mennessä. Lisäksi oletettiin, että omakotitalojen lisälämmityksen puunpolttomäärät kaksinkertaistuisivat vuodesta 2010 vuoteen 2020 mennessä. Eli mallinnettu biopolttoaineiden lisäys kiinteistökohtaisessa lämmityksessä on teoreettinen tarkastelu.

2 TAUSTATIETOA ILMANLAADUSTA

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. Päästöistä suurin osa vapautuu ilmakehän alimpaan kerrokseen, jota kutsutaan rajakerrokseksi. Rajakerroksessa päästöt sekoittuvat ympäröivään ilmaan ja niiden pitoisuudet ilmassa 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.

Päästöjen 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). Näistä yhdisteistä terveysvaikutuksiltaan haitallisempaa on typpidioksidi, jonka pitoisuuksia ulkoilmassa säädellään ilmanlaadun ohje- ja raja-arvoilla. Typpidioksidin määrään ilmassa vaikuttavat 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 µg/m^3. Yleensä Suomen kaupungeissa typpidioksidipitoisuuden vuosikeskiarvot ovat noin 20−30 µg/m^3. Puhtailla tausta-alueilla tehtyjen ilmanlaatumittausten mukaan typpidioksidipitoisuuden vuosikeskiarvot ovat olleet Etelä-Suomessa noin 2–8 µg/m³ ja Pohjois-Suomessa noin 1 µg/m³.

2.3 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 eli autoliikenteen epäsuorista päästöistä. Hiukkaspitoisuuksia kohottavat myös suorat hiukkaspäästöt, jotka ovat peräisin autojen pakokaasuista, energiantuotannon ja teollisuuden prosesseista ja puun pienpoltosta. Suorat hiukkaspäästöt ovat pääasiassa pieniä hiukkasia. Hiukkasiin on sitoutunut myös erilaisia haitallisia yhdisteitä kuten hiilivetyjä ja raskasmetalleja.

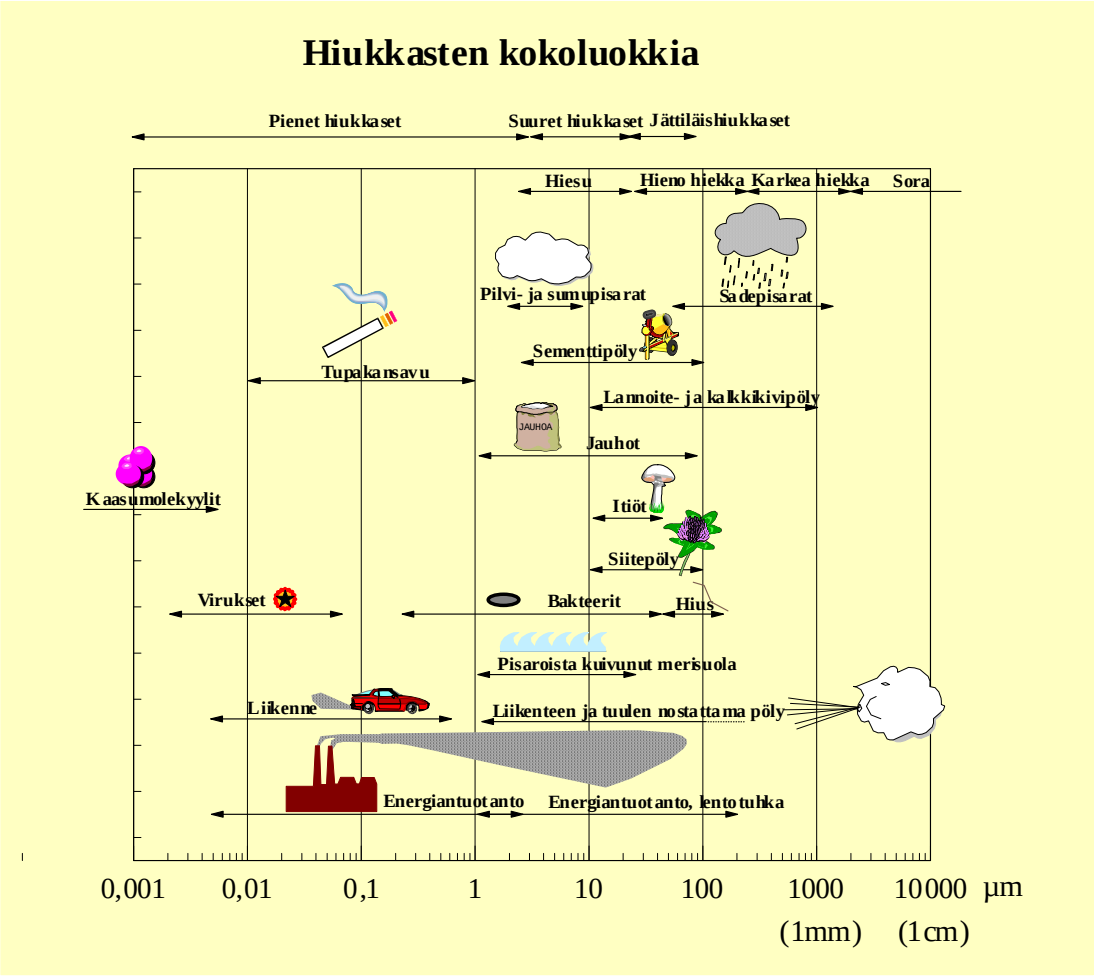
Ulkoilman hiukkasten koko on yhteydessä niiden aiheuttamiin erilaisiin vaikutuksiin. Suurempien hiukkasten korkeat pitoisuudet vaikuttavat merkittävimmin viihtyvyyteen ja aiheuttavat likaantumista. Terveysvaikutuksiltaan haitallisempia ovat ns. hengitettävät hiukkaset ja pienhiukkaset, jotka kykenevät 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 µg/m^3:n hengitettävien hiukkasten pitoisuuden vuosikeskiarvoja. Hengitettävien hiukkasten vuosikeskiarvopitoisuudelle annettu raja-arvo 40 µg/m^3 on kuitenkin alittunut Suomessa. Pienempien kaupunkien keskusta-alueilla hengitettävien hiukkasten pitoisuuden vuosikeskiarvot voivat ylittää 20 µg/m^3 ja kaupunkien keskusta-alueiden ulkopuolella pitoisuudet ovat olleet yli 10 µg/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.

Pienhiukkaspitoisuuden ($PM_{2,5}$) vuosikeskiarvolle määritetty raja-arvo 25 µg/m^3 alittuu ilmanlaadun mittauksien mukaan kaikkialla Suomessa. Pienhiukkaspitoisuudet ovat Suomessa suurimmillaan pääkaupunkiseudun vilkasliikenteisillä alueilla, joilla vuosikeskiarvopitoisuudet ovat yli 10 µg/m^3. Keskisuurissa kaupungeissa ja Etelä-Suomen tausta-alueilla pienhiukkaspitoisuudet ovat noin 6−10 µg/m^3. Pienhiukkaspitoisuuksista valtaosa on kaukokulkeutunutta hiukkasainesta ja paikalliset päästölähteet tuovat taustapitoisuuksiin vain pienen lisän. Siten kaukokulkeuma muodostaa huomattavan osan myös kaupunki-ilman pienhiukkaspitoisuuksista (*Alaviippola ja Pietarila, 2011*).



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

2.4 Alkuainehiili, musta hiili, orgaaninen hiili

Alkuainehiili (EC, elemental carbon) on liukenematon ja kemiallisesti inertti aine. Alkuainehiiltä vapautuu ilmakehään pääasiassa polttoprosesseissa. Poltossa ilmaan vapautuu käytännössä aina hiilihiukkasia, joita kutsutaan usein yleisnimellä musta hiili (BC, black carbon). Musta hiili ei ole tietty kemiallinen yhdiste vaan termi tulee hiukkasen kyvystä imeä valoa. Mustan hiilen hiukkasissa epäorgaanisen hiilen pitoisuus on korkea. Mustan hiilen hiukkaset ja halkaisijaltaan alle 1 µm:n kokoiset alkuainehiilen hiukkaset ovatkin usein samoja hiukkasia (*Kuenen ym., 2011*). Mustaa hiiltä syntyy, kun polttoaine palaa epätäydellisesti. Merkittävimmät päästölähteet kaupunkialueilla ovat dieselajoneuvot, puun pienpoltto ja laivaliikenne. Epäorgaaninen hiili ei sellaisenaan ole erityisen haitallista, mutta polttoprosesseissa vapautuvaan hiileen on aina sitoutuneena terveydelle haitallisia metalleja ja orgaanisia yhdisteitä (esim. PAH). Mustan hiilen pitoisuus on hyvä polttoperäisten pienhiukkasten pitoisuuden mitta (*HSY, 2013*). Mustan hiilen osuus pienhiukkaspitoisuudesta on Suomen tausta-alueilla noin 5−10 %. Etelä- ja Keski-Suomen tausta-

alueilla mustan hiilen pitoisuudet ovat olleet noin 0,2−0,5 µg/m^3 ja Pohjois-Suomen tausta-alueilla alle 0,1 µg/m^3 (*Hyvärinen ym., 2011*). Mustan hiilen lisäksi hiukkasissa on paljon myös orgaanista hiiltä (OC, organic carbon). Alkuainehiilen, orgaanisen hiilen tai mustan hiilen ulkoilmapitoisuuksia ei Suomessa säädellä ohje- tai raja-arvoin.

2.5 Ilmanlaadun raja- ja ohjearvot

Leviämismallilaskelmilla tai ilmanlaadun mittauksilla saatuja 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 kaupunkisuunnittelun tukena ja apuna ilman pilaantumisen vaaraa aiheuttavien toimintojen sijoittamisessa. Tavoitteena on ennalta ehkäistä ohjearvojen ylittyminen sekä taata hyvän ilmanlaadun säilyminen.

Raja-arvot määrittelevät ilman epäpuhtauksille sallitut korkeimmat pitoisuudet. Raja-arvoilla pyritään vähentämään tai ehkäisemään terveydelle ja ympäristölle haitallisia vaikutuksia. Raja-arvon numeroarvon ylittyessä on siitä viipymättä tiedotettava väestölle. Jos raja-arvo ylittyy tai uhkaa ylittyä, on kunnan tehtävä ohjelmia tai suunnitelmia ilmanlaadun parantamiseksi ja raja-arvon ylitysten estämiseksi. Tällaisia toimia voivat olla esimerkiksi määräykset liikenteen tai päästöjen rajoittamisesta. Terveyshaittojen ehkäisemiseksi ja vähentämiseksi ulkoilman typpidioksidin, hengitettävien hiukkasten ja pienhiukkasten pitoisuudet eivät saa ylittää taulukon 1 raja-arvoja alueilla, joilla ihmiset saattavat altistua ilman epäpuhtauksille.

Taulukko 1. Terveyshaittojen ehkäisemiseksi annetut ulkoilman typpidioksidin, hengitettävien hiukkasten ja pienhiukkasten pitoisuuksia koskevat raja-arvot (*Vna 38/2011*).

Ilman epäpuhtaus	Keskiarvon laskenta-aika	Raja-arvo	Sallittujen ylitysten määrä kalenterivuodessa (vertailujakso)
Typpidioksidi (NO_2)	1 tunti	200 µg/m^3 [1)]	18
	kalenterivuosi	40 µg/m^3 [1)]	–
Hengitettävät hiukkaset (PM_{10})	24 tuntia	50 µg/m^3 [2)]	35
	kalenterivuosi	40 µg/m^3 [2)]	–
Pienhiukkaset ($PM_{2,5}$)	kalenterivuosi	25 µg/m^3 [2)]	–

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

Typen oksidien (NO_x) vuosikeskiarvopitoisuuden kriittinen taso 30 µg/m^3 on annettu kasvillisuuden ja ekosysteemien suojelemiseksi. Tätä tasoa sovelletaan rakennetun

ympäristön ulkopuolella olevilla alueilla, kuten luonnonsuojelun kannalta merkityksellisillä alueilla ja laajoilla maa- ja metsätalousalueilla.

Ilmanlaadun ohjearvot on otettava huomioon suunnittelussa ja niitä sovelletaan mm. alueiden käytön, kaavoituksen, rakentamisen ja liikenteen suunnittelussa ja ympäristölupaharkinnassa. Ohjearvojen soveltamisen avulla pyritään ehkäisemään ilman epäpuhtauksien aiheuttamia terveysvaikutuksia. Suomessa voimassa olevat ulkoilman typpidioksidin ja hengitettävien hiukkasten pitoisuuksia koskevat ilmanlaadun ohjearvot on esitetty taulukossa 2.

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

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

3 MENETELMÄT

3.1 Leviämismallilaskelmien kuvaus

Leviämismalleilla tutkitaan ilman epäpuhtauksien kulkeutumista ilmakehässä ja niiden 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 ja tieliikenteen päästöjen leviämisen kuvaamiseen ja niiden ilmanlaatuvaikutusten arvioimiseen.

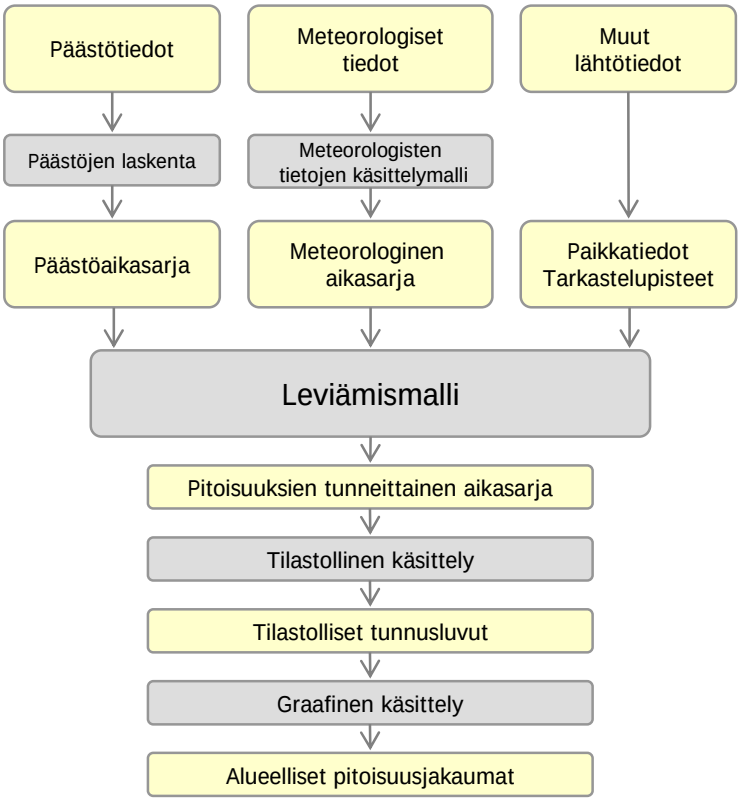
3.1.1 UDM-FMI ja CAR-FMI

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. Mallilaskelmien tulokset ovat näissä tutkimuksissa täyttäneet hyvin ilmanlaatuasetuksessa (*Vna 38/2011*) asetetut laatutavoitteet eri yhdisteiden mallintamiselle.

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 typen oksidien 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 päästölähteiden lähialueilla. Energiantuotannon ja teollisuuden pistemäisten päästölähteiden (lähinnä piippujen) ilmanlaatuvaikutuksia arvioitiin kaupunkimallilla UDM-FMI (Urban Dispersion Modelling system; *Karppinen, 2001*). Autoliikenteen päästöjen aiheuttamia ilmanlaatuvaikutuksia arvioitiin viivalähdemallilla CAR-FMI (Contaminants in the Air from a Road; *Karppinen, 2001; Härkönen ym., 1996, Härkönen, 2002*).

Leviämismallien lähtötiedoiksi tarvitaan tietoja päästöistä ja niiden lähteistä, mittaamalla ja mallittamalla saatuja tietoja ilmakehän tilasta sekä tietoja tutkimusalueen taustapitoisuudesta. Lisäksi lähtötiedoiksi tarvitaan erilaisia paikkatietoja, kuten tietoja maanpinnan muodoista ja tietoa päästölähteiden sijainnista. Kaaviokuva leviämismallien 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, laitosten tekniset tiedot ja käyntiajat. 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 arvioida rajakerroksen tilaan vaikuttavat muuttujat, joita tarvitaan leviämismallilaskelmissa. Laskelmissa käytetään 1–3 vuoden mittaista tutkimusalueen sääolosuhteita edustavaa meteorologista aineistoa. Tarvittavat mittaustiedot saadaan Ilmatieteen laitoksen havaintotietokantaan tallennetuista sää-, auringonpaiste- ja radioluotaushavainnoista. 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. Menetelmässä huomioidaan tutkimusalueen paikalliset tekijät, kuten leviämisalustan rosoisuus ja vuodenaikaiset albedoarvot (maanpinnan kyky heijastaa auringon säteilyä) eri maanpinnan laaduille. Lopputuloksena saadaan leviämismalleissa tarvittavien meteorologisten tietojen tunneittaiset aikasarjat.

Leviämismalleilla lasketaan 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. Mallien tuottamista tunneittaisista pitoisuusaikasarjoista lasketaan ilmanlaadun raja- ja ohjearvoihin verrannollisia tilastollisia suureita, jotka esitetään raportissa mm. pitoisuuksien aluejakaumakuvina ja taulukkoina.

3.1.2 Suspensiopäästömalli

Hengitettävien hiukkasten pitoisuuksien laskelmissa käytettiin suspensiopäästömallia, jolla kuvataan katujen pölyämisen vaikutusta hiukkaspäästöön (*Kauhaniemi ym., 2011*). Suspensiopäästömalli perustuu Ruotsin Ilmatieteen laitoksen (SMHI) kehittämään hiukkaspäästömalliin (*Omstedt ym., 2005)*. Alkuperäistä mallia on kehitetty soveltumaan myös ennusteiden laskemiseen.

Katujen pölyämisestä ilmaan vapautuvan päästön määrää arvioidaan tiepölyhiukkasten suspensiopäästökertoimien ja liikennemäärien avulla. Suspensiopäästökerroin muodostuu referenssikertoimesta sekä tien pölymäärään vaikuttavista tekijöistä. Referenssikerroin on erilainen eri vuodenajoille (kesä/talvi), eri hiukkastyypeille (PM_{10}/$PM_{2,5}$) ja eri liikenneympäristöille. Tässä työssä on käytetty *Omstedtin ym. (2005)* Tukholmaan määrittämiä PM_{10}-referenssikertoimia (kesä: 200 µg/ajoneuvo/m; talvi: 1 200 µg/ajoneuvo/m).

Tienpinnan kosteus säätelee hiukkasten nousemista tienpinnalta ilmaan. Malli arvioi tien pinnan kosteutta sademäärän, haihdunnan ja valunnan avulla. Mallissa kuvitteellinen tien pölykerros kasvaa kosteissa olosuhteissa nastarenkaiden aiheuttaman tien kulumisen ja hiekoituksen vuoksi, sillä pöly ei pääse vapautumaan ilmaan sateisina aikoina. Kuivana kautena liikenteen ja tuulen aiheuttama turbulenssi nostaa hiukkaset ilmaan pienentäen näin pölykerrosta. Tien pölykerros pienenee myös sateen aiheuttaman huuhtoutumisen seurauksena. Tien kulumisesta aiheutuvan pölykerroksen paksuus riippuu nastarenkaiden käytön määrästä. Suomessa nastarenkaiden osuus talvirenkaista on arvioitu olevan noin 80 % marras-huhtikuussa (*Kupiainen, 2007*). Suspensiopäästömallissa nastarenkaiden osuuden oletetaan kasvavan lineaarisesti nollasta maksimiin loka-marraskuun aikana ja vähenevän kohti nollaa huhtikuun aikana. Tien hiekoituksesta aiheutuva pölykerros määräytyy mallissa meteorologisten muuttujien mukaan. Pölykerros kasvaa päivinä, jolloin on liukkaat olosuhteet. Liukkaat olosuhteet määritetään mitatun lämpötilan, kastepistelämpötilan ja sademäärän avulla.

Lopullinen suspensiosta aiheutuva tieosakohtainen hiukkaspäästö (µg/m/s) saadaan kertomalla suspensiopäästökerroin liikennemäärällä. PM_{10}-päästön leviäminen ympäristöönsä lasketaan edelleen CAR-FMI -viivalähdemallilla. Tuloksia tarkasteltaessa on huomioitava, että suspensiopäästömalli ei huomioi teiden suolausta, puhdistamista eikä pölyn sidontaa.

3.2 Leviämismallilaskelmien lähtötiedot

Tässä tutkimuksessa laskettiin autoliikenteen, Kuopion Energian Haapaniemen voimalaitoksen ja kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttamat pienhiukkasten ja hengitettävien hiukkasten pitoisuudet. Lisäksi mallinnettiin autoliikenteen typenoksidipäästöjen ja kiinteistökohtaisen lämmityksen alkuainehiilipäästöjen aiheuttamat pitoisuudet. Mallilaskelmat suoritettiin kuvassa C esitetylle tutkimusalueelle Kuopion kaupunkialueelle. Tutkimusalueen laajuus oli 22 × 27 km ja se ulottui pohjoisessa Sorsasaloon ja etelässä Hiltulanlahteen. Alueen päästölähteiden aiheuttamat pitoisuudet laskettiin maanpintatasolle laskentapisteikköön, jossa oli 7 453 laskentapistettä. Laskentapisteikössä pisteiden välisiä etäisyyksiä oli tihennetty pitoisuuksien muodostumisen kannalta merkittävimmissä kohteissa eli päästölähteiden lähiympäristössä ja teiden läheisyydessä. Laskentapisteikön pisteet olivat tiheimmillään 50 metrin ja harvimmillaan 500 metrin etäisyydellä toisistaan. Tutkimusalueen maanpinnan korkeuserot huomioitiin laskentapisteissä Maanmittauslaitoksen maastonkorkeusmallin mukaisesti. Käytetty laskentapisteikkö on sama, jota käytettiin Kuopion hiukkaspäästöjen leviämismallinnuksessa vuonna 2007 (*Rasila ym., 2007*).

Kuva C. Tutkimusalue (musta rajaus) käsitti Kuopion kaupungin taajama-alueen väliltä Sorsasalo – Hiltulanlahti.

3.2.1 Autoliikenteen lähtötiedot

Autoliikenteen päästöt mallinnettiin aikaisempien leviämismallinnusten mukaisesti vuosille 2005 (hiukkaset) / 2006 (NO_x) sekä skenaariovuodelle 2020. Tulevan tilanteen mallinnuksessa biopolttoaineiden käytön lisäystä kuvattiin epäsuorasti

käyttämällä autokannalle Euro 4- ja Euro 5 -päästöstandardien mukaisia päästöjä, koska liikenteen biopolttoaineille ei ole vielä luotettavasti saatavilla päästökertoimia. URGENCHE-projektin skenaariossa BAU 2020 (ks. kpl 1) käytettiin Euro 4 -päästötasoa ja skenaariossa CO_2 2020 Euro 5 -päästötasoa kuvaamaan biopolttoaineiden lisääntyvää käyttöä. Euro 4 -päästölaskennassa oletettiin, että koko autokanta on vuosimallia 2006−2009. Vastaavasti Euro 5 -päästönormin mukaisessa mallinnuksessa oletetaan, että kaikki ajoneuvot on valmistettu vuonna 2010 tai sen jälkeen. Tarkasteluvuoden ollessa 2020 lähestymistapa voi olla optimistinen, sillä ei ole varmuutta siitä, kuinka nopeasti autokanta tulee uusiutumaan. Vuoden 2012 lopussa liikennekäytössä olevien henkilöautojen keski-ikä Suomessa oli TraFin (Liikenteen turvallisuusvirasto) tilastojen mukaan 10,9 vuotta.

Leviämislaskelmiin otettiin mukaan suurimpien katujen ja teiden autoliikenteen aiheuttamat päästöt koko tutkimusalueelta (kuva C). Katujen ja teiden autoliikenteen päästöt laskettiin ja mallinnettiin tiekohtaisina viivalähteinä. Liikenneväylää kuvattiin peräkkäisinä lyhyinä viivoina, joista jokaisesta vapautuu ympäristöönsä erikseen laskettavan suuruinen päästö. Näitä viivamaisia päästölähteitä oli koko tutkimusalueella yhteensä 2018 kappaletta.

Koko tutkimusalueen teiden ja katujen autoliikenteen pakokaasujen pienhiukkaspäästöt olivat vuonna 2005 yhteensä 49 t/a, vuonna 2020 Euro 4 -päästötasolla 33 t/a ja vuonna 2020 Euro 5 -päästötasolla 20 t/a (taulukko 3). Autoliikenne aiheutti lisäksi tienpinnasta mekaanisesti irtoavia hiukkasia ja hiekoitushiekasta peräisin olevia hiukkasia (=suspensiopäästöt) koko tutkimusalueella noin 131–163 t/a vuoden 2005 tilanteessa. Tulevassa tilanteessa vuonna 2020 suspensiopäästöt olivat suuremmista liikennemääristä johtuen 165−205 t/a. Vaihteluvälit johtuvat siitä, että suspensiopäästöjen määrä vaihtelee sääolojen mukaan ja päästöt lasketaan erikseen kolmelle tarkasteluvuodelle (2003−2005). Kuopion alueen autoliikenteen typenoksidipäästöt olivat vuonna 2006 yhteensä 783 t/a, vuonna 2020 Euro 4 -päästötasolla 482 t/a ja vuonna 2020 Euro 5 -päästötasolla 351 t/a.

Liikenteen päästöjen laskennassa käytetyt keskimääräiset vuorokausiliikennemäärät ja hengitettävien hiukkasten päästöt on esitetty raportin liitekuvissa 1–3. Hengitettävien hiukkasten päästökuvissa on jokaisessa viivalähteessä laskettu yhteen autoliikenteen aiheuttamat pakokaasupäästöt ja suspensiopäästöt. Liikenteen aiheuttamat tiekohtaiset typenoksidipäästöt ja keskimääräiset vuorokausiliikennemäärät on esitetty raportin liitekuvissa 4–6.

Liikenteen päästöt laskettiin Ilmatieteen laitoksella keskimääräisten vuorokausiliikennemäärien, ajonopeuksien, raskaan liikenteen osuuksien ja liikenteen tunneittaisen, päivittäisen ja kuukausittaisen vaihtelun perusteella. Kaupunkialueen liikennemäärät ja muut liikennetiedot saatiin pääosin Strafica Oy:n toimittamasta aineistosta. Lisäksi yleisten teiden osalta hyödynnettiin Liikenneviraston tierekisterin tietoja. Liikenteen aikavaihtelutiedot saatiin Kuopion kaupungin toimittamasta liikennelaskenta-aineistosta. Liikenteen päästöt laskettiin ajoneuvolajeittaisten päästökertoimien avulla, jotka perustuvat Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen (VTT) päästölaskelmiin *(Laurikko, 1998; LIPASTO, 2013)* ja CAR-FMI -mallia varten kehitettyihin nopeusriippuvaisiin päästökerroinfunktioihin. Tulevan tilanteen leviämismallilaskelmissa käytettiin LIPASTO:n yksikköpäästöjä Euro 4- ja Euro 5 -päästöjen määrittämisessä.

Taulukko 3. Leviämislaskelmissa käytetyt liikenteen pakokaasuista ja teiden pölyämisestä aiheutuvat hiukkaspäästöt eri skenaarioissa Kuopion kaupungin taajama-alueella.

Hiukkaspäästöt (t/a)	2005	2020 - Euro 4	2020 - Euro 5
Pakokaasut ($PM_{2,5}$)	49	33	20
Suspensiopäästöt (PM_{10})			
2003 meteorologia	131	165	165
2004 meteorologia	126	158	158
2005 meteorologia	163	205	205

Taulukko 4. Leviämislaskelmissa käytetyt liikenteen pakokaasuista aiheutuvat typenoksidipäästöt eri skenaarioissa Kuopion kaupungin taajama-alueella.

Typenoksidipäästöt (t/a)	2005	2020 - Euro 4	2020 - Euro 5
Pakokaasut (NO_x)	783	482	351

Laskelmissa huomioitiin dieselkatalysaattoriajoneuvojen yleistymisen myötä lisääntyvä typpidioksidin (NO_2) osuus typenoksidipäästöistä (NO_x). Nykytilanteen leviämismallilaskelmissa on oletettu autoliikenteen typenoksidipäästöistä olevan keskimäärin 8 % typpidioksidia ja vuoteen 2020 mennessä typpidioksidin osuuden on arvioitu kohoavan 20 %:iin. Ko. arvoja käytettiin myös aiemmissa mallinnuksissa.

3.2.2 Haapaniemen voimalaitoksen lähtötiedot

Kuopion Energia Oy:n Haapaniemen voimalaitos tuottaa kaukolämpöä Kuopion kaupungin kaukolämpöverkkoon ja sähköä valtakunnan sähköverkkoon. Haapaniemen voimalaitoksen päästöjen aiheuttamat hiukkaspitoisuudet laskettiin vuosille 2010 ja 2020. Voimalaitosalueella toimivat vuonna 2010 voimalaitosyksiköt Haapaniemi 1 (HP1, 131 MW) ja Haapaniemi 2 (HP2, 245 MW). HP1 korvattiin vuonna 2012 voimalaitosyksiköllä Haapaniemi 3 (HP3, 159 MW), joten vuoden 2020 skenaariossa mukana olivat HP2 ja HP3. Kaikki kattilat ovat leijukerroskattiloita, jotka voivat käyttää useita erilaisia polttoaineita ja niissä on kaikissa sähkösuodattimet.

Vuoden 2010 skenaariossa HP1 käytti polttoaineenaan turvetta, kivihiiltä ja kevyttä polttoöljyä ja HP2 turvetta (84 %), biopolttoaineita (4 %) ja kevyttä polttoöljyä (12 %). Vuoden 2020 mukaisessa skenaariossa sekä HP2 että HP3 käyttävät polttoaineinaan 50 % turvetta ja 50 % biopolttoaineita.

Mallilaskennassa huomioitiin voimalaitosyksiköiden toiminta-ajat, päästövaihtelut ja laitosten tekniset tiedot, kuten esimerkiksi piipun korkeus, savukaasuvirtaama ja

savukaasun lämpötila (taulukko 5). Vuoden 2010 käyttötunnit ja päästöt perustuvat todellisiin päästömittaustietoihin ja vuoden 2020 käyntitunnit perustuvat vuoden 2010 käyntiaikoihin sillä oletuksella, että HP1 on korvattu HP3:lla. Ennustetilanteessa otetaan huomioon vuonna 2016 voimaan tulevat tiukentuvat päästörajat (*Vna 96/2013)*. Voimalaitoksesta ulkoilmaan vapautuvat päästöt eivät saa ylittää asetuksen päästörajoja millään polttoaineiden seossuhteella.

Kuva D. Kuopion Energia Oy:n Haapaniemen voimalaitos (kuva: Birgitta Komppula).

Taulukko 5. Leviämislaskelmissa käytetyt Haapaniemen voimalaitoksen päästöt ja muut tekniset tiedot tarkasteluvuosina 2010 ja 2020.

	2010		2020	
	HP1	HP2	HP2	HP3
Polttoaineteho (MW)	131	245	245	159
Käyntiaika (h/a)	5 530	6 304	6 304	5 530
Piipun korkeus maanpinnasta (m)	100	124	124	100
Hormin halkaisija (m)	2,3	2,8	2,8	2,4
Savukaasujen lämpötila (°C)	150	140	140	150
Savukaasujen tilavuusvirtaus (Nm^3/h)	100 080	253 800	253 800	205 200
$PM_{2,5}$ päästöt (t/a)	8,1	34,3	5,0	1,2
PM_{10} päästöt (t/a)	16,1	44,1	9,1	1,7

Päästömittaustietojen perusteella on arvioitu Haapaniemen voimalaitoksen hiukkaspäästöjen jakautuminen $PM_{2,5}$- ja PM_{10}-kokoluokkiin (taulukko 6). HP3:n alhainen PM_{10} päästöjen osuus (61 %) on seurausta mittaushetken alhaisesta pitoisuustasosta, mikä on aiheuttanut mittausvirhettä kokojakaumaan. Todellisuudessa sähkösuodatin ei juurikaan päästä läpi >10 µm hiukkasia.

Taulukko 6. Arvio alle 2,5 µm ja alle 10 µm kokoisten hiukkaspäästöjen osuudesta (%) Haapaniemen voimalaitoksen kokonaishiukkaspäästöistä.

	2010		2020	
	HP1	HP2	HP2	HP3
$PM_{2,5}$ päästöjen osuus (%)	45	70	50	44
PM_{10} päästöjen osuus (%)	90	90	91	61

3.2.3 Kiinteistökohtaisen lämmityksen lähtötiedot

Kuopion kiinteistöjen lämmityksen päästöt vuosille 2010 ja 2020 arvioitiin Kuopion kaupungin alueellisten ympäristönsuojelupalveluiden toimittamista rakennuskanta-aineistoista vuosille 2010 ja 2013. Päästöt laskettiin rakennuskohtaisesti perustuen rakennuskanta-aineistosta saatuihin pien- ja rivitalojen pinta-aloihin sekä vapaa-ajan rakennusten ja saunojen lukumääriin. Päästöt arvioitiin pinta-alakohtaisesti kaikille pientaloille ja rivitaloille, joiden lämmityspolttoaineeksi oli rakennuskanta-aineistossa ilmoitettu kevyt polttoöljy tai puu. Lisäksi arvioitiin omakotitaloille lisälämmönlähteiksi luettavien takkojen ja saunojen puulämmityksen päästöt vuotuisina puunkäyttömäärinä tulisijaa kohden.

Lämmitystavan muutokset eivät päivity rakennuskanta-aineistoon automaattisesti, joten nykytilanteen (2010) laskelmia varten Kuopion kaupungin alueelliset ympäristönsuojelupalvelut päivitti aineistoa niiden öljy- ja puulämmitteisten rakennusten osalta, joiden tiedettiin liittyneen kaukolämpöverkkoon. Tulevan tilanteen laskelmissa oletettiin kaikkien öljylämmitteisten rakennusten vaihtuvan puulämmitteisiksi. Laskelmissa huomioitiin öljylämmitteisistä rakennuksista vain omakoti- ja rivitalot. Lisäksi tulevan tilanteen rakennuskanta-aineisto sisälsi jo valmistuneet uudet rakennukset vuosilta 2011−2013. Vuodesta 2013 lähtien rakennettavaksi suunniteltuja rakennuksia ei otettu päästölaskennassa huomioon.

Omakotitalojen lisälämmitykseen sekä vapaa-ajan asuntojen ja saunojen kiukaiden lämmitykseen käytetyt polttopuumäärät vuosille 2010 ja 2020 on esitetty taulukossa 7. Lisälämmitykseen tarvittavat puumäärät on arvioitu Kuopion aikaisemmn leviämismallinnuksen (*Rasila ym., 2007)* sekä HSY:n (*Gröndahl, ym., 2011*) ja VTT:n (*Alakangas, ym., 2008*) julkaisuissa annettujen tietojen perusteella. Lisäksi oletettiin, että omakotitalojen lisälämmityksen puunpolttomäärät kaksinkertaistuisivat vuodesta 2010 vuoteen 2020 mennessä, mutta saunojen ja vapaa-ajanasuntojen puunpoltto säilyisi ennallaan.

Taulukko 7. Omakotitalojen lisälämmitykseen käytettävien takkojen vuosittaiset puunkulutukset (kiinto-m^3/vuosi) lämmitysmuodoittain sekä vapaa-ajan asuntojen takkojen ja saunojen kiukaiden vuosittaiset puunkulutukset vuosina 2010 ja 2020.

Puun käyttö (k-m^3/vuosi)	Omakotitalojen pääasiallinen lämmitysmuoto				
	Kauko-lämpö	Kevyt polttoöljy	Maalämpö	Sähkö	Vapaa-ajan rakennukset ja saunat
2010	1,2	1,8	1,2	2,8	1,2
2020	2,4	3,6	2,4	5,6	1,2

Leviämismallilaskelmissa keskimääräiset puulämmitteisten omakotitalojen lämmitykseen tarvittavat polttopuun määrät asuinpinta-alan neliömetriä kohden olivat 0,084 kiinto-m^3/m^2/vuosi ja 0,064 kiinto-m^3/m^2/vuosi vuosina 2010 ja 2020, kun tulisijoille oletettiin 80 % hyötysuhde. Asuinpinta-alakohtaiset puunkäyttömäärät perustuivat Öljyalan Palvelukeskus Oy:n tietoihin (*Öljyalan Palvelukeskus, 2010*) ja Kuopion kaupungilta saatuun arvoon Kuopion alueellisesta lämmitysenergiantarpeesta omakotitaloille.

Puulämmitteisistä omakotitaloista 64 %:ssa oletettiin olevan puukiuas. Kaukolämpöä, maalämpöä, kevyttä polttoöljyä tai sähköä pääapolttoaineenaan käyttävistä omakotitaloista 80 %:ssa oletetettiin olevan takka ja 36 %:ssa puukiuas. Rivitalojen lämmitykseen tarvittavan puunpolton osuudeksi arvioitiin 60 % omakotitalojen lämmityksestä. Kaikissa vapaa-ajan asunnoissa tai erillisissä saunarakennuksissa oletettiin olevan puulla lämmitettävä takka tai kiuas. Omakotitalojen lisälämmityksen tulisijaksi on oletettu takka. Edellä mainittuja osuuksia käytettiin molemmille laskentavuosille 2010 ja 2020 tehdyissä päästölaskelmissa.

Puulämmitteisten kiinteistöjen hiukkaspäästöjen arvioinnissa käytettiin päästökertoimia, jotka perustuvat Itä-Suomen Yliopiston tutkimukseen (*Tissari ym., 2011*). Tutkimuksen hiukkaspäästökertoimet edustavat PM_1-kokoluokkaa (hiukkasten halkaisija alle 1 µm). Tässä työssä kiinnostuksen kohteena olivat pienhiukkaset ja hengitettävät hiukkaset, joten niiden päästökertoimet on arvioitu karkeasti seuraavasti (taulukko 8):

$PM_{2,5}$-päästökerroin = PM_1-päästökerroin + 5 %
PM_{10}-päästökerroin = PM_1-päästökerroin + 15 %.

Taulukko 8. Leviämislaskelmissa eri tulisijoille käytetyt hiukkasten (PM_{10} ja $PM_{2,5}$) ja alkuainehiilen (EC) ominaispäästökertoimet puukiloa kohden.

	PM_{10} g/kg	$PM_{2,5}$ g/kg	EC g/kg
Uuni	1,00	0,91	0,30
Takka	1,40	1,28	0,77
Kiuas	3,24	2,96	1,78

Rakennuskanta-aineistosta saatua tietoa rakennusten tulisijasta sovellettiin *Tissari ym. (2011)* tutkimuksen tulisija- ja polttoainekohtaisiin ominaispäästökertoimiin siten, että pelletin hyvän palamisen ja panospolton sekä takan kaikista kertoimista arvioitiin keskiarvoina ominaispäästökertoimet uunilämmitykselle (58 mg/MJ) ja takoille (82 mg/MJ). Saunan kiukaan tulipesän huonolle palamiselle oli raportissa annettu päästökerroin 257 mg/MJ. Huonon palamisen osuutena kiukaille käytettiin ns. yleistä arvoa 10,5 % (*Savolahti, 2013*) ja kiukaan muun palamisen osalle (89,5 %) Kuopion aikaisemmassa leviämismallinnuksessa (*Rasila ym., 2007)* käytettyä päästökerrointa 182 mg/MJ (2,7 g/kg). Lopulliseksi tutkimuksessa käytetyksi puukiukaan päästökertoimeksi saatiin näin laskien 190 mg/MJ. Puun energia- ja massatiheytenä kiintokuutiota kohden käytettiin arvoja 9 000 MJ/k-m^3 ja 606 kg/k-m^3 (*Alakangas ym., 2008*). Öljylämmitteisille rakennuksille keskimääräisenä rakennusten lämmitysenergiantarpeena asuinpinta-alan neliömetriä kohden käytettiin 586 MJ/m^2/vuosi ja polttoöljyn hiukkaspäästökertoimena 1,7 mg/MJ (*Öljyalan Palvelukeskus Oy, 2010*).

Alkuainehiilen päästökertoimet saatiin TNO:lta (Netherlands Organisation for Applied Scientific Research) ja ne perustuvat GAINS-malliin. Alkuainehiilen päästökerroin takoille ja saunoille oli 55 % PM_{10}-päästökertoimesta ja uuneille 30 % PM_{10}-päästökertoimesta. Kiinteistöjen öljylämmityksen aiheuttamasta alkuainehiilen päästöstä ei ollut saatavissa yksityiskohtaista tietoa. Öljylämmitteisten omakotitalojen alkuainehiilen osuus päästöistä arvioitiin siten polttoöljyä käyttävien laivojen päästölaskentaan käytetyn uuden ns. STEAM-laskentamallin tuloksista (*Jalkanen ym., 2009*). Olettamalla pienpolttokattiloiden ja dieselmoottoreiden polttotekniikan vastaavan jossain määrin toisiaan käytettiin laskelmissa omakotitalojen öljylämmityksestä syntyvänä alkuainehiilen osuutena vastaavaa laskentamallin tulosten mukaista 11 % osuutta laivamoottoreille saaduista mustan hiilen päästöistä.

Ominaispäästökertoimien perusteella laskettiin lopulliset rakennuskohtaiset vuosittaiset kokonaispäästöt. Hiukkaspäästöjen ajallinen vaihtelu huomioitiin mallilaskelmissa ulkolämpötilaan suhteutettuna: alhaisissa lämpötiloissa rakennuksia oletettiin lämmitettävän enemmän ja korkeammissa lämpötiloissa vähemmän. Saadut kiinteistöjen erillislämmityksen rakennuskohtaiset päästöt summattiin leviämismallilaskelmia varten 1 km × 1 km pintalähderuutuihuin, joita muodostettiin Kuopion alueelle yhteensä 192 kpl. Leviämismallilaskelmissa käytetyt kiinteistöjen puu- ja öljylämmityksen aiheuttamat hiukkasten ja alkuainehiilen päästöt on esitetty taulukossa 9.

Taulukko 9. Leviämislaskelmissa käytetyt kiinteistöjen puu- ja öljylämmityksestä vapautuvat hiukkasten ja alkuainehiilen päästöt vuosina 2010 ja 2020.

	2010	2020
Pienhiukkaspäästöt (t/a)	12	19
Hengitettävien hiukkasten päästöt (t/a)	13	21
Alkuainehiilen päästöt (t/a)	4,4	7,5

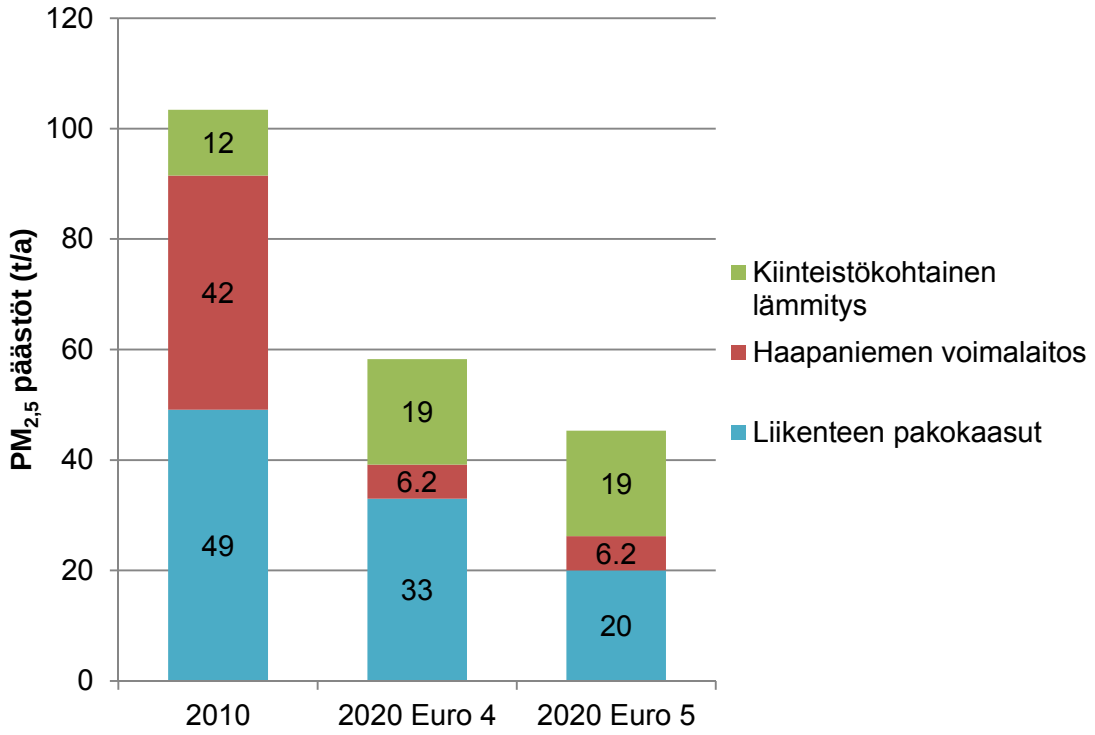
Valtaosa päästöistä tulee puulämmityksestä. Vuonna 2010 öljylämmityksen aiheuttamat hiukkaspäästöt ovat vain noin 1 % kokonaispäästöistä. Vuoteen 2020 mennessä kaikkien öljylämmitteisten omakotitalojen on oletettu siirtyneen käyttämään puuta. Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöt kohoavat tulevassa tilanteessa biopolttoaineiden käytön ja tukipolton polttopuumäärien kasvaessa, sillä puun polton hiukkaspäästöt ovat suuremmat kuin kevyen polttoöljyn hiukkaspäästöt. Päästöjen alueellinen vaihtelu on esitetty 1 km × 1 km ruuduissa liitekuvissa 7−12.

3.2.4 Kaikkien hiukkaspäästölähteiden päästöt

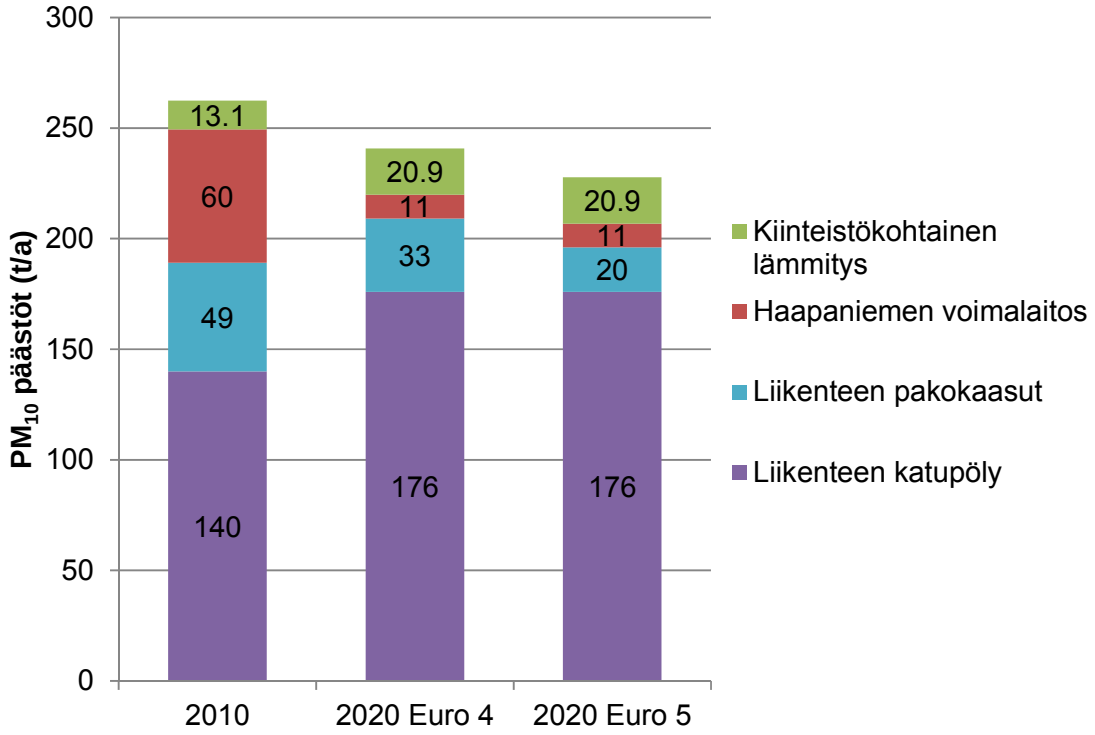
Leviämislaskelmissa huomioidut pienhiukkasten ($PM_{2,5}$) kokonaispäästöt olivat nykytilanteessa (vuosi 2010) 103 t/a ja tulevassa tilanteessa (vuosi 2020) 45−58 t/a arvioinnissa käytettävästä liikenteen Euro-päästötasosta riippuen (kuva E). Nykytilanteessa valtaosa (47 %) pienhiukkaspäästöistä tulee autoliikenteen pakokaasuista. Haapaniemen voimalaitoksen pienhiukkaspäästöjen osuus on 41 % ja kiinteistökohtaisen lämmityksen osuus on 12 % kokonaispäästöistä. Tulevassa tilanteessa Haapaniemen voimalaitoksen päästöt tulevat vähenemään alle viidennekseen nykyisestä päästötasosta. Liikenteen pakokaasupäästöt vähenevät myös merkittävästi siirryttäessä tiukempiin Euro-päästönormeihin. Lämmityksen päästöt sen sijaan nousevat biopolttoaineiden käytön lisääntyessä.

Leviämislaskelmissa huomioidut hengitettävien hiukkasten (PM_{10}) kokonaispäästöt olivat nykytilanteessa 262 t/a ja tulevassa tilanteessa 228–241 t/a (kuva F). Katupölyn osuus on nykytilanteessa 53 % kokonaishiukkaspäästöistä. Tienpinnasta irronneen katupölyn vuosittainen määrä vaihtelee (vrt. taulukko 3), joten kuvassa F on käytetty suspensiopäästöjen osalta tarkasteluvuosien keskiarvoja. Nykytilanteessa liikenteen pakokaasupäästöjen osuus on 19 % ja Haapaniemen voimalaitoksen osuus on 23 % PM_{10} kokonaispäästöistä. Kiinteistökohtaisen lämmityksen osuus on 5 %. Tulevassa tilanteessa katupölyn määrän arvioidaan lisääntyvän liikennemäärien kasvaessa ja siten katupölypäästöjen osuus kasvaisi noin 70−80 %:iin kokonaispäästöistä. Myös lämmityksen päästöt tulevat kasvamaan, mutta muiden tarkasteltujen päästölähteiden päästöt vähenevät.

On huomioitava, että edellä mainitut vuoden 2020 päästöjakaumat toteutuvat vain, jos biopolttoaineiden lisäys on tarkasteltujen skenaarioiden mukainen. Varsinkin kiinteistökohtaisen lämmityksen ja osin myös liikenteen päästöjen mallinnuksessa on biopolttoaineiden lisäystä tarkasteltu varsin teoreettisesti, sillä ei ole tietoa, kuinka nopeasti biopolttoaineiden käyttö tulee yleistymään. Haapaniemen voimalaitoksen osalta arvioitu kehitys on todenmukainen ja osittain jo toteutunutkin.



Kuva E. Eri päästölähteiden osuudet (t/a) leviämislaskelmissa huomioiduista pienhiukkasten kokonaispäästöistä Kuopion alueella. Autoliikenteen vuoden 2005 pienhiukkaspäästöt edustavat tässä tarkastelussa vuotta 2010.

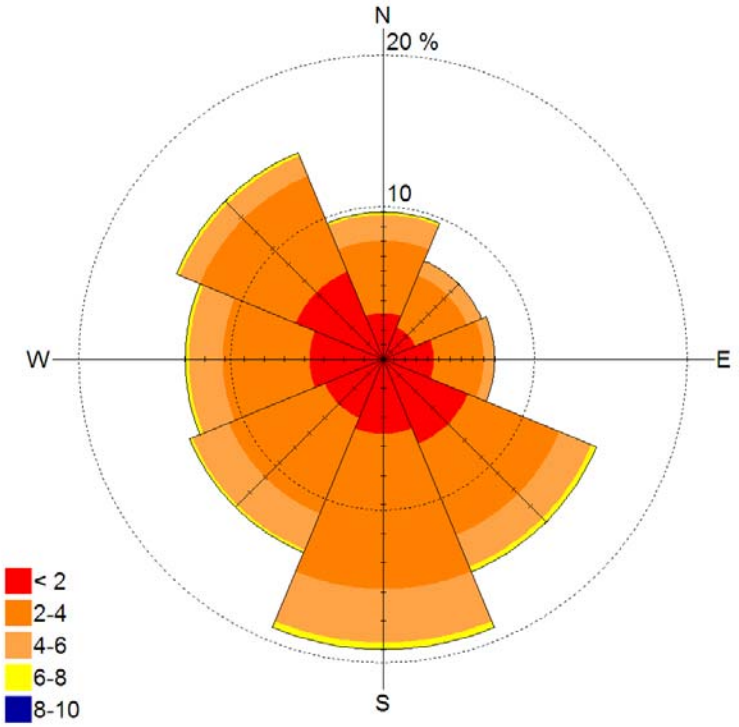


Kuva F. Eri päästölähteiden osuudet (t/a) leviämislaskelmissa huomioiduista hengitettävien hiukkasten kokonaispäästöistä Kuopion alueella. Autoliikenteen pienhiukkaspäästöt vuodelta 2005 edustavat tässä tarkastelussa vuotta 2010.

3.2.5 Meteorologiset tiedot ja taustapitoisuustiedot

Tutkimusalueen ilmastollisia olosuhteita edustava meteorologinen aikasarja ja käytetyt taustapitoisuudet ovat samoja aineistoja, joita on käytetty aikaisemmissa Kuopion alueen leviämismallinnuksissa (*Rasila ym., 2008; Rasila ym., 2007*). Meteorologinen aikasarja muodostettiin Kuopion, Joensuun ja Jyväskylän lentosääasemien havaintotiedoista vuosilta 2003–2005. Sekoituskorkeuden määrittämiseen käytettiin Jokioisten observatorion radioluotaushavaintoja vuosilta 2003–2005. Kuvassa G on esitetty tuulen suunta- ja nopeusjakauma tutkimusalueella.

Typenoksidipäästöjen ilmakemiamallissa käytetyt taustaa edustavat otsonin ja typen oksidien pitoisuustiedot ja niiden vaihtelu saatiin Ilmatieteen laitoksen Ähtärissä sijaitsevalta taustailmanlaadun mittausasemalta. Taustapitoisuudet kuvaavat tutkimusalueelle muualta kulkeutuneiden yhdisteiden pitoisuutta ilmassa. Typen oksidien taustapitoisuuksina käytettiin vuosien 2002−2004 pitoisuuksien kuukausittain laskettuja tunneittaisia keskiarvoja, joilla pyrittiin kuvaamaan taustapitoisuuksien vuorokauden sisäistä vaihtelua. Typenoksidin taustapitoisuus Ähtärissä on vuosikeskiarvona noin 4 µg/m³. Pienhiukkasten taustapitoisuutena käytettiin Ilmatieteen laitoksen Virolahden tausta-aseman vuoden 2005 pitoisuuksia. Pienhiukkasten taustapitoisuus on Virolahdella noin 9 µg/m³. Virolahden pitoisuustaso on yliarvio Kuopion taustapitoisuudesta (kaupunkitausta-alueella noin 7 µg/m^3), mutta muita tausta-alueilla mitattuja pienhiukkaspitoisuuksia ei Itä-Suomen alueelta ole käytettävissä. Edellä mainittuja taustapitoisuuksia käytettiin myös ennustevuoden 2020 laskelmissa.



Kuva G. Tuulen suunta- ja nopeusjakauma tutkimusalueella vuosina 2003–2005. Alueella esiintyi eniten etelänpuoleisia tuulia ja vähiten koillisen ja idän puoleisia tuulia. Tuulitiedot kuvaavat olosuhteita 10 metrin korkeudella maanpinnasta.

4 TULOKSET

4.1 Autoliikenne

4.1.1 Hiukkaspitoisuudet ($PM_{2,5}$ ja PM_{10})

Leviämismallilaskelmien tuloksina saadut autoliikenteen hiukkaspäästöjen aiheuttamat hiukkaspitoisuuksien maksimiarvot on esitetty taulukoissa 10−12. Taulukossa 10 on esitetty nykytilanteen (2005) mallilaskelmien tulokset ja taulukoissa 11−12 vuoden 2020 ennustetilanteen tulokset Euro 4- ja Euro 5 -päästötasoilla arvioituna. Euro 4 ja 5 -päästötasot kuvaavat epäsuorasti biopolttoaineiden käytön lisääntymistä tulevaisuudessa, sillä liikenteen biopolttoaineille ei ole vielä luotettavasti saatavilla päästökertoimia. Taulukoissa on esitetty erikseen pakokaasuista aiheutuvat pienhiukkaspitoisuudet ($PM_{2,5}$), katujen pölyämisestä (=suspensio) aiheutuvat hengitettävien hiukkasten pitoisuudet (PM_{10}) ja kaikista autoliikenteen päästöistä ja taustapitoisuudesta yhdessä aiheutuvat hengitettävien hiukkasten pitoisuudet. Taustapitoisuutena käytetty Virolahden taustapitoisuus 9 µg/m^3 on yliarvio Kuopion taustapitoisuudesta, mutta pienhiukkasia ei ole muualla Itä-Suomessa mitattu tausta-alueilla.

Leviämislaskelmien tuloksena saatu hiukkaspitoisuuksien alueellinen vaihtelu on esitetty raportin lopussa olevissa aluejakaumakuvissa. Pakokaasupäästöjen aiheuttama pienhiukkaspitoisuuksien alueellinen vaihtelu käy ilmi liitekuvista 13–15, katupölypäästöjen aiheuttama hengitettävien hiukkasten pitoisuuksien aluejakauma liitekuvista 16–21 sekä edellä mainittujen yhdessä taustapitoisuuden kanssa aiheuttama hengitettävien hiukkasten pitoisuuden alueellinen vaihtelu liitekuvista 22–30.

Taulukko 10. Leviämismallilaskelmilla saadut Kuopion autoliikenteen pakokaasupäästöjen ja katupölypäästöjen aiheuttamat ulkoilman pienhiukkasten ja hengitettävien hiukkasten pitoisuuksien maksimiarvot vuonna 2005. Kokonaispäästöjen laskelmissa on huomioitu pienhiukkasten alueellinen taustapitoisuus, joka on vuosikeskiarvona noin 9 µg/m^3.

Hiukkaspitoisuus (µg/m³) 2005	Raja- tai ohjearvo	$PM_{2,5}$ pakokaasut	PM_{10} katupöly	PM_{10} pakokaasut +katupöly +tausta
Vuosikeskiarvo	25 ($PM_{2,5}$) (* 40 (PM_{10}) (*	4,0	12	24
Korkein vuorokausioh-jearvoon verrannollinen pitoisuus	70 (PM_{10}) (**		118	139
Korkein tuntiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus	50 (PM_{10}) (*		35	49

(* raja-arvo
(** ohjearvo

Taulukko 11. Leviämismallilaskelmilla saadut Kuopion autoliikenteen Euro 4 -pakokaasupäästöjen ja katupölypäästöjen aiheuttamat ulkoilman pienhiukkasten ja hengitettävien hiukkasten pitoisuuksien maksimiarvot vuonna 2020. Kokonaispäästöjen laskelmissa on huomioitu pienhiukkasten alueellinen taustapitoisuus, joka on vuosikeskiarvona noin 9 µg/m^3.

Hiukkaspitoisuus (µg/m³) 2020	Raja- tai ohjearvo	$PM_{2,5}$ pakokaasut (Euro 4)	PM_{10} katupöly	PM_{10} pakokaasut +katupöly +tausta
Vuosikeskiarvo	25 ($PM_{2.5}$) (* 40 (PM_{10}) (*	2,9	15	27
Korkein vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus	70 (PM_{10}) (**		146	160
Korkein tuntiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus	50 (PM_{10}) (*		45	57

(* raja-arvo
(** ohjearvo

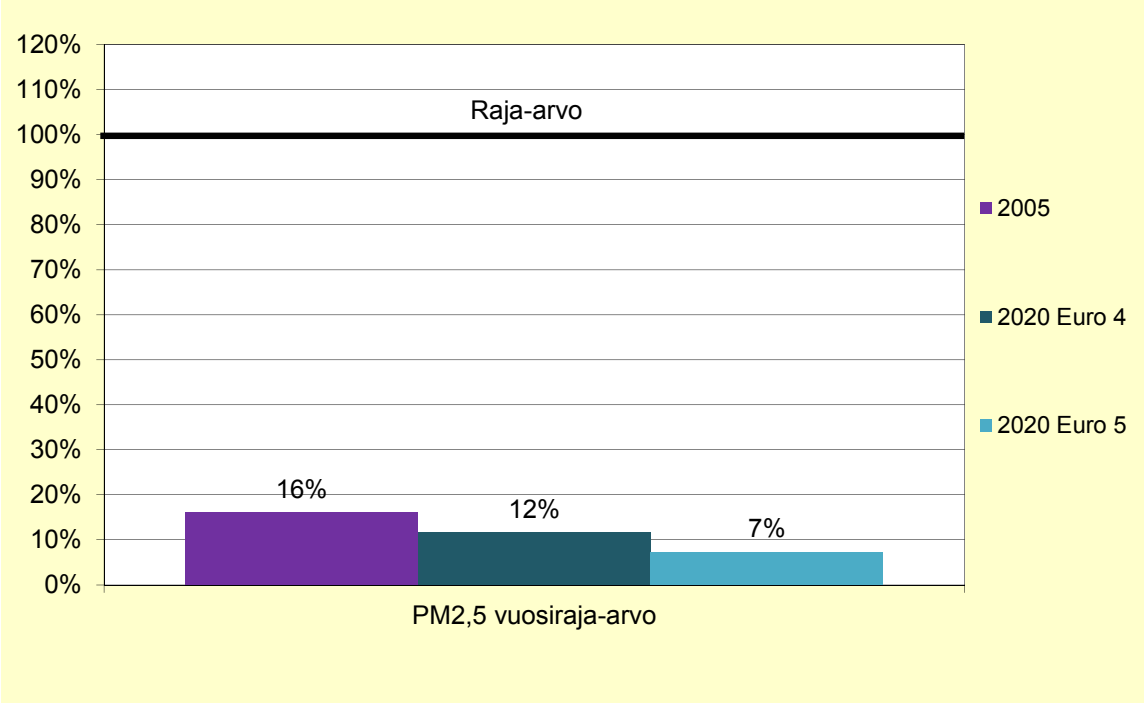
Taulukko 12. Leviämismallilaskelmilla saadut Kuopion autoliikenteen Euro 5 -pakokaasupäästöjen ja katupölypäästöjen aiheuttamat ulkoilman pienhiukkasten ja hengitettävien hiukkasten pitoisuuksien maksimiarvot vuonna 2020. Kokonaispäästöjen laskelmissa on huomioitu pienhiukkasten alueellinen taustapitoisuus, joka on vuosikeskiarvona noin 9 µg/m^3.

Hiukkaspitoisuus (µg/m³) 2020	Raja- tai ohjearvo	$PM_{2,5}$ pakokaasut (Euro 5)	PM_{10} katupöly	PM_{10} pakokaasut +katupöly +tausta
Vuosikeskiarvo	25 ($PM_{2,5}$) (* 40 (PM_{10}) (*	1,8	15	26
Korkein vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus	70 (PM_{10}) (**		146	159
Korkein tuntiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus	50 (PM_{10}) (*		45	56

(* raja-arvo
(** ohjearvo

Leviämislaskelmien perusteella autoliikenteen pakokaasupäästöjen aiheuttamat pienhiukkaspitoisuudet ovat melko alhaisia ja ne tulevat pienenemään jatkossa edelleen siirryttäessä vähäpäästöisempiin ajoneuvoihin (Euro 4- ja Euro 5 -päästöstandardit). Suurimmat pitoisuudet muodostuvat vilkkaimmin liikennöityjen teiden varsille kuten Valtatie 5:lle ja Tasavallankadulle (liitekuvat 13−15). Pakokaasupäästöt aiheuttavat pienhiukkaspitoisuuksia, jotka korkeimmillaankin alittavat selvästi pienhiukkaspitoisuuden raja-arvon. Pakokaasupäästöjen aiheuttamat

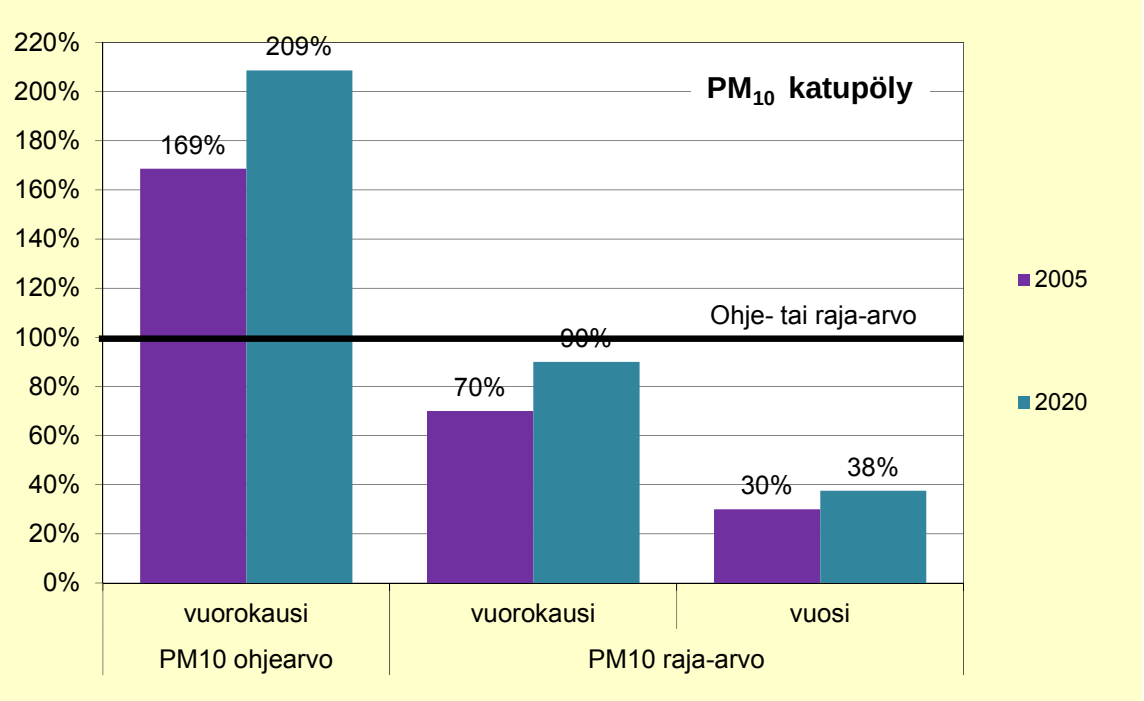
pienhiukkaspitoisuudet ovat nykytilanteessa noin 16 % vuosiraja-arvosta ja tulevassa tilanteessa 7−12 % vuosiraja-arvosta (kuva H).



Kuva H. Leviämismallilaskelmilla saatujen autoliikenteen pakokaasupäästöjen aiheuttamien suurimpien pienhiukkaspitoisuuksien ($PM_{2,5}$) suhde voimassa olevaan ilmanlaadun raja-arvoon.

Katujen pölyämisestä aiheutuvat hengitettävien hiukkasten pitoisuudet voivat Kuopiossa olla ajoittain olla kohtalaisia vilkkaimpien teiden varsilla. Leviämismallilaskelmien mukaan katupölypäästöt tulevat hieman kohoamaan tulevassa tilanteessa nykytilanteeseen verrattuna, mikä johtuu ennustetusta liikennemäärien kasvusta. Katupölypäästöjen aiheuttamat hengitettävien hiukkasten pitoisuudet kuitenkin alittavat ilmanlaadun raja-arvot, ollen 30−38 % vuosiraja-arvosta ja 70−90 % vuorokausiraja-arvosta (kuva I).

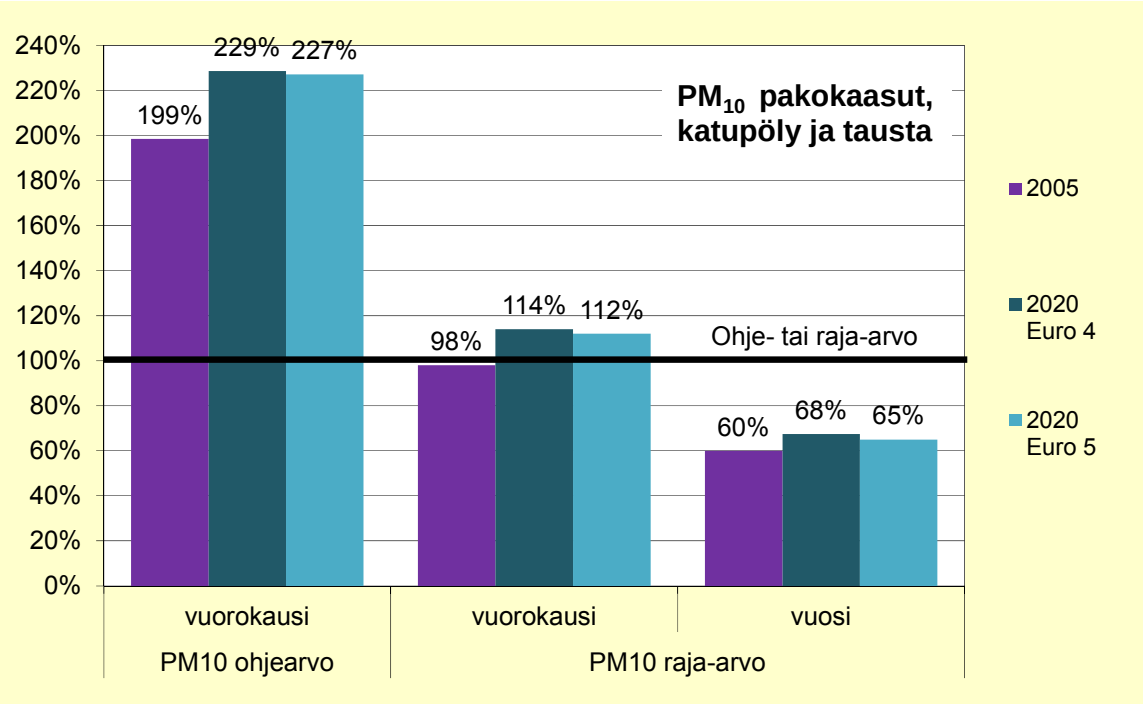
Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet voivat kuitenkin korkeimmillaan ylittää vuorokausiohjearvon sekä nykytilanteessa että tulevassa tilanteessa. Leviämismallilaskelmien mukaan hengitettävien hiukkasten vuorokausiohjearvo voi nykytilanteessa ylittyä vilkkaimmin liikennöityjen teiden, kuten Valtatie 5:n, Tasavallankadun ja Savilahdentien, risteysalueilla. Suurimmillaan hengitettävien hiukkasten pitoisuudet ovat Tasavallankadun ja Leväsentien risteysalueella (liitekuva 20). Tulevassa tilanteessa vuorokausiohjearvon ylittäviä pitoisuuksia arvioidaan esiintyvän nykyistä laajemmalla alueella edellä mainittujen teiden ympäristöissä. Korkeimmillaan pitoisuudet olisivat Valtatie 5:n läheisyydessä Puijonlaakson kohdalla (liitekuva 21).



Kuva I. Leviämismallilaskelmilla saatujen autoliikenteen katupölypäästöjen aiheuttamien suurimpien hengitettävien hiukkasten pitoisuuksien (PM_{10}) suhde voimassa oleviin ilmanlaadun ohje- ja raja-arvoihin.

Autoliikenteen pakokaasupäästöjen, katupölyn sekä pienhiukkasten taustapitoisuuden yhteisvaikutuksesta aiheutuva hengitettävien hiukkasten kokonaispitoisuus on Kuopion keskustassa ja suurimpien teiden varsilla vuosikeskiarvona noin 14–20 µg/m^3. Tätä korkeampia pitoisuuksia esiintyy lähinnä yksittäisissä laskentapisteissä vilkkaimmilla risteysalueilla (liitekuvat 22−24). Korkeimmillaan vuosikeskiarvopitoisuudet ovat 60−68 % raja-arvosta (kuva J). Hengitettävien hiukkasten vuorokausipitoisuuksille asetettu raja-arvo alittuu nykytilanteessa niukasti koko tutkimusalueella (liitekuva 25). Tulevassa tilanteessa vuorokausiraja-arvo voi ylittyä Kuopion moottoritiellä (Vt 5). Mallilaskelmien arvion mukaan raja-arvo ylittyisi pienellä alueella kohdassa, jossa Valtatie 5 ylittää Niiralankadun (liitekuvat 26−27). Tulee kuitenkin huomioida, että raja-arvot eivät ole voimassa liikenneväylillä.

Leviämismallilaskelmien mukaan hengitettävien hiukkasten vuorokausiohjearvotaso ylittyy sekä nykyisessä että tulevassa tilanteessa laajalti pääväylien ympäristössä sekä osittain myös Kuopion keskustan alueella (liitekuvat 28−30). Tulevassa tilanteessa suurimpien hiukkaspitoisuuksien vyöhykkeet ulottuvat entistä etäämmälle väylistä. Vuorokausipitoisuuksiin vaikuttaa merkittävästi autoliikenteen tienpinnasta mekaanisesti nostattama pöly, jonka määrään vaikuttavat liikennemäärien ja etenkin raskaan liikenteen määrien lisäksi meteorologiset olosuhteet, tienpinnan laatu ja teiden hiekoitus ja puhdistaminen. Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet ovat usein koholla katupölyepisodien aikaan, jolloin ohjearvot tyypillisesti ylittyvät vilkkaasti liikennöityjen väylien läheisyydessä. Katupölyepisodeja esiintyy tyypillisesti keväällä maalis-huhtikuussa sekä loppusyksystä talvirengaskauden alettua. Korkeiden hiukkaspitoisuuksien muodostumiseen voidaan vaikuttaa paikallisilla toimenpiteillä katujen kunnossapidossa ja siivouksessa. Erilaisia katupölyn vähentämismenetelmiä on esitelty esim. julkaisussa *Komppula, ym. 2012*.



Kuva J. Leviämismallilaskelmilla saatujen autoliikenteen pakokaasu- ja katupölypäästöjen sekä pienhiukkasten taustapitoisuuden aiheuttamien suurimpien hengitettävien hiukkasten pitoisuuksien (PM_{10}) suhde voimassa oleviin ilmanlaadun ohje- ja raja-arvoihin.

4.1.2 Typpidioksidipitoisuudet (NO_2)

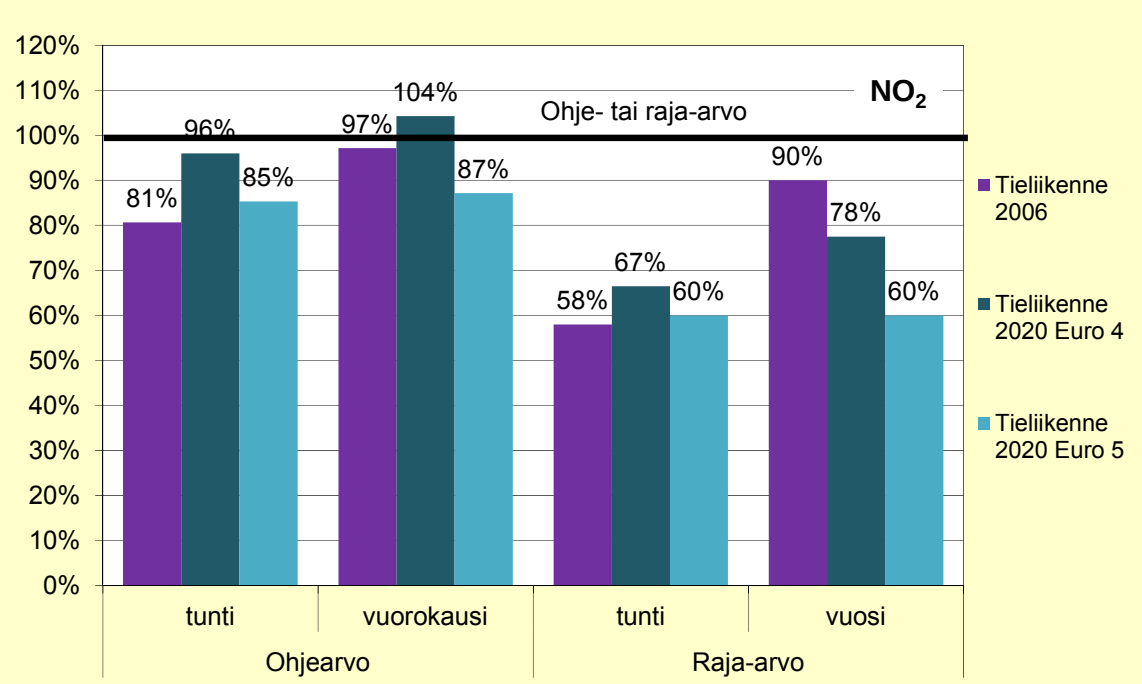
Leviämismallilaskelmien tuloksina saadut autoliikenteen typenoksidipäästöjen aiheuttamat typpidioksidipitoisuuksien maksimiarvot on esitetty taulukossa 13. Taulukossa on esitetty nykytilanteen (2006) mallilaskelmien tulokset ja vuoden 2020 ennustetilanteen tulokset Euro 4- ja Euro 5 -päästötasoilla arvioituna. Kaikissa leviämislaskelmissa on huomioitu typenoksidipäästöjen ilmakemiallinen muutunta kulkeutumisen aikana. Tulokset on esitetty ilman taustapitoisuutta.

Leviämislaskelmien tuloksena saatu typpidioksidipitoisuuksien alueellinen vaihtelu eri skenaarioissa on esitetty raportin lopussa olevissa aluejakaumakuvissa (liitekuvat 31−42). Typpidioksidipitoisuus on nykytilanteessa Kuopion keskustassa ja suurimpien teiden varsilla vuosikeskiarvona noin 10–20 µg/m^3. Tätä korkeampia pitoisuuksia esiintyy lähinnä yksittäisissä laskentapisteissä vilkkaimmilla risteysalueilla. Tulevassa tilanteessa keskimääräiset typpidioksidipitoisuudet tulevat laskemaan päästörajojen tiukentuessa, vaikka liikennemäärät kasvavatkin. Leviämismallilaskelmien mukaan vuonna 2020 typpidioksidipitoisuuden vuosikeskiarvo tulee Kuopion keskusta-alueilla olemaan noin 5−15 µg/m^3. Vuosikeskiarvopitoisuudet ovat nykytilanteessa korkeimmillaan 90 % ja tulevassa tilanteessa noin 60−80 % vuosiraja-arvosta. Typpidioksidin tuntiraja-arvoon verrannolliset pitoisuudet ovat Kuopiossa noin 60−70 % raja-arvosta (kuva K).

Taulukko 13. Leviämismallilaskelmilla saadut Kuopion autoliikenteen typenoksidipäästöjen aiheuttamat ulkoilman typpidioksidipitoisuuksien maksimiarvot vuosina 2006 ja 2020. Pitoisuudet on esitetty ilman taustapitoisuutta.

Typpidioksidipitoisuus (µg/m³)	Raja- tai ohjearvo	Autoliikenne 2006	Autoliikenne 2020 (Euro 4)	Autoliikenne 2020 (Euro 5)
Vuosikeskiarvo	40 (*	36	31	24
Korkein vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus	70 (**	68	73	61
Korkein tuntiohjearvoon verrannollinen pitoisuus	150 (**	121	144	128
Korkein tuntiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus	200 (*	116	133	120

(* raja-arvo
(** ohjearvo



Kuva K. Leviämismallilaskelmilla saatujen autoliikenteen typenoksidipäästöjen aiheuttamien suurimpien typpidioksidipitoisuuksien suhde voimassa oleviin ilmanlaadun ohje- ja raja-arvoihin.

Typpidioksidin ohjearvoihin verrannolliset pitoisuudet ovat nykytilanteessa 81−97 % ohjearvoista ja tulevassa tilanteessa 85−104 % ohjearvoista (kuva K). Suurimmillaan pitoisuudet ovat vilkkaimmin liikennöityjen teiden läheisyydessä. Tällaisia teitä ovat Kuopion läpi kulkeva Valtatie 5 ja siltä keskustaan johtavat sisääntuloväylät

kuten Tasavallankatu, Karjalankatu ja Puijonkatu. Nykytilanteessa korkeimpien pitoisuuksien vyöhykkeet ulottuvat melko etäälle liikenneväylistä. Tulevassa tilanteessa pitoisuuksien vyöhykkeet eivät alhaisemmista päästötasoista (Euro 4 ja 5) johtuen ulotu niin laajalle, mutta pitoisuudet ovat väylien välittömässä läheisyydessä korkeampia. Tähän vaikuttavat suuremmat liikennemäärät ja korkeampi typpidioksidin osuus typenoksidipäästöistä. Nykytilanteessa typpidioksidin osuuden on arvioitu olevan 8 % ja tulevassa tilanteessa 20 % typenoksidipäästöistä. Nykytilanteessa typpidioksidin vuorokausiohjearvo alittuu niukasti. Vuonna 2020 Euro 4 -päästöillä arvioituna typpidioksidipitoisuuden vuorokausiohjearvo ylittyisi Valtatie 5:n ja Tasavallankadun risteysalueella.

4.2 Haapaniemen voimalaitos

4.2.1 Hiukkaspitoisuudet ($PM_{2,5}$ ja PM_{10})

Leviämismallilaskelmien tuloksina saadut Haapaniemen voimalaitoksen päästöjen aiheuttamat ulkoilman pienhiukkasten ($PM_{2,5}$) ja hengitettävien hiukkasten (PM_{10}) pitoisuuksien maksimiarvot vuosina 2010 ja 2020 on esitetty taulukoissa 14 ja 15. Leviämislaskelmien tuloksena saatu pienhiukkaspitoisuuksien ja hengitettävien hiukkasten pitoisuuksien alueellinen vaihtelu on esitetty raportin lopussa olevissa aluejakaumakuvissa (liitekuvat 43−50).

Taulukko 14. Leviämismallilaskelmilla saadut Kuopion Energia Oy:n Haapaniemen voimalaitoksen arvioitujen pienhiukkaspäästöjen aiheuttamat ulkoilman pienhiukkaspitoisuuksien maksimiarvot vuosina 2010 ja 2020.

Pienhiukkaspitoisuus (µg/m³)	Raja-arvo	2010	2020
Vuosikeskiarvo	25 (*	0,014	0,0042

(* raja-arvo

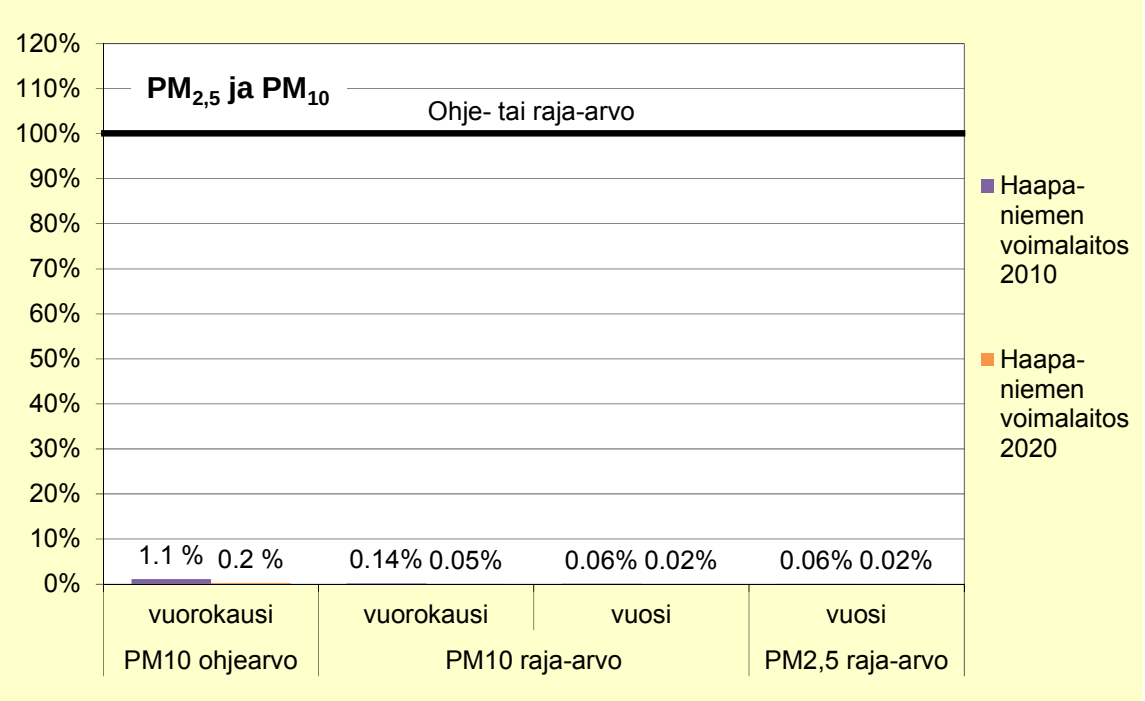
Taulukko 15. Leviämismallilaskelmilla saadut Kuopion Energia Oy:n Haapaniemen voimalaitoksen arvioitujen hengitettävien hiukkasten päästöjen aiheuttamat ulkoilman hengitettävien hiukkasten pitoisuuksien maksimiarvot vuosina 2010 ja 2020.

Hengitettävien hiukkasten pitoisuus (µg/m³)	Raja- tai ohjearvo	2010	2020
Vuosikeskiarvo	40 (*	0,024	0,0069
Korkein vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus	70 (**	0,79	0,17
Korkein vuorokausiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus	50 (*	0,072	0,025

(* raja-arvo
(** ohjearvo

Leviämislaskelmien perusteella Haapaniemen voimalaitoksen hiukkaspäästöjen aiheuttamat pienhiukkasten ja hengitettävien hiukkasten pitoisuudet ovat erittäin pieniä. Voimalaitoksen päästöt aiheuttavat pienhiukkasten ja hengitettävien hiukkasten pitoisuuksia, jotka korkeimmillaankin alittavat hyvin selvästi ohje- ja raja-arvot. Korkeimmillaan voimalaitoksen hiukkaspäästöjen aiheuttamat pienhiukkasten pitoisuudet ovat nykytilanteessa 0,06 % raja-arvosta ja hengitettävien hiukkasten pitoisuudet ovat noin 1 % ohjearvosta ja noin 0,1 % raja-arvoista (kuva L). Tulevassa tilanteessa hiukkaspitoisuudet tulevat vielä merkittävästi laskemaan, koska vuonna 2016 Haapaniemen voimalaitoksessa tulevat voimaan tiukentuvat päästörajat. Tiukentuvien päästörajojen vaikutus ulkoilman hiukkaspitoisuuksiin on merkittävämpi kuin lisääntyvän biopolttoaineiden käytön. Biopolttoaineiden käytön osuuden on arvioitu kohoavan tulevassa tilanteessa 50 %:iin.

Suurimmat Haapaniemen voimalaitoksen päästöjen aiheuttamat pienhiukkasten ja hengitettävien hiukkasten pitoisuudet muodostuvat Haapaniemen kaupunginosan pohjoispuolelle vallitsevien tuulensuuntien mukaisesti. Tällöin pitoisuudet ovat suurimmillaan Kuopion ruutukaava-alueen länsi- ja pohjoispuolilla.



Kuva L. Leviämismallilaskelmilla saatujen Haapaniemen voimalaitoksen hiukkaspäästöjen aiheuttamien suurimpien pienhiukkasten ($PM_{2,5}$) ja hengitettävien hiukkasten (PM_{10}) pitoisuuksien suhde voimassa oleviin ilmanlaadun raja- ja ohjearvoihin.

4.3 Kiinteistökohtainen lämmitys

4.3.1 Hiukkaspitoisuudet ($PM_{2,5}$ ja PM_{10})

Leviämismallilaskelmien tuloksina saadut kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttamat ulkoilman pienhiukkasten ($PM_{2,5}$) ja hengitettävien hiukkasten (PM_{10}) pitoisuuksien maksimiarvot vuosina 2010 ja 2020 on esitetty taulukoissa 16 ja 17. Leviämismallilaskelmien mukaan kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttamat hiukkaspitoisuudet ovat melko alhaisia ja hiukkaspitoisuuksille määritetyt ohje- ja raja-arvot alittuvat selvästi. Korkeimmillaan lämmityksen hiukkaspäästöjen aiheuttamat pienhiukkasten pitoisuudet ovat 4 % raja-arvosta ja hengitettävien hiukkasten pitoisuudet 16 % ohjearvosta ja 5 % raja-arvoista (kuva M). Tulevassa tilanteessa hiukkaspitoisuudet tulevat olemaan nykytilannetta suurempia johtuen lisääntyvästä biopolttoaineiden käytöstä ja puumääristä. Puun poltosta vapautuu enemmän hiukkaspäästöjä kuin kevyen polttoöljyn poltosta. Tuleva tilanne toteutuu kuitenkin vain, jos biopolttoaineiden käyttö lisääntyy skenaarioiden mukaisesti.

Leviämislaskelmien tuloksena saatu pienhiukkaspitoisuuksien ja hengitettävien hiukkasten pitoisuuksien alueellinen vaihtelu on esitetty raportin lopussa olevissa aluejakaumakuvissa (liitekuvat 51−58). Korkeimmat lämmityksen päästöjen aiheuttamat hiukkaspitoisuudet muodostuivat Niiralaan sekä Kuopion pohjoisosan kaupunginosiin Linnanpellon ja Päivärannan väliselle alueelle.

Taulukko 16. Leviämismallilaskelmilla saadut kiinteistökohtaisen lämmityksen pienhiukkaspäästöjen aiheuttamat ulkoilman pienhiukkaspitoisuuksien maksimiarvot vuosina 2010 ja 2020.

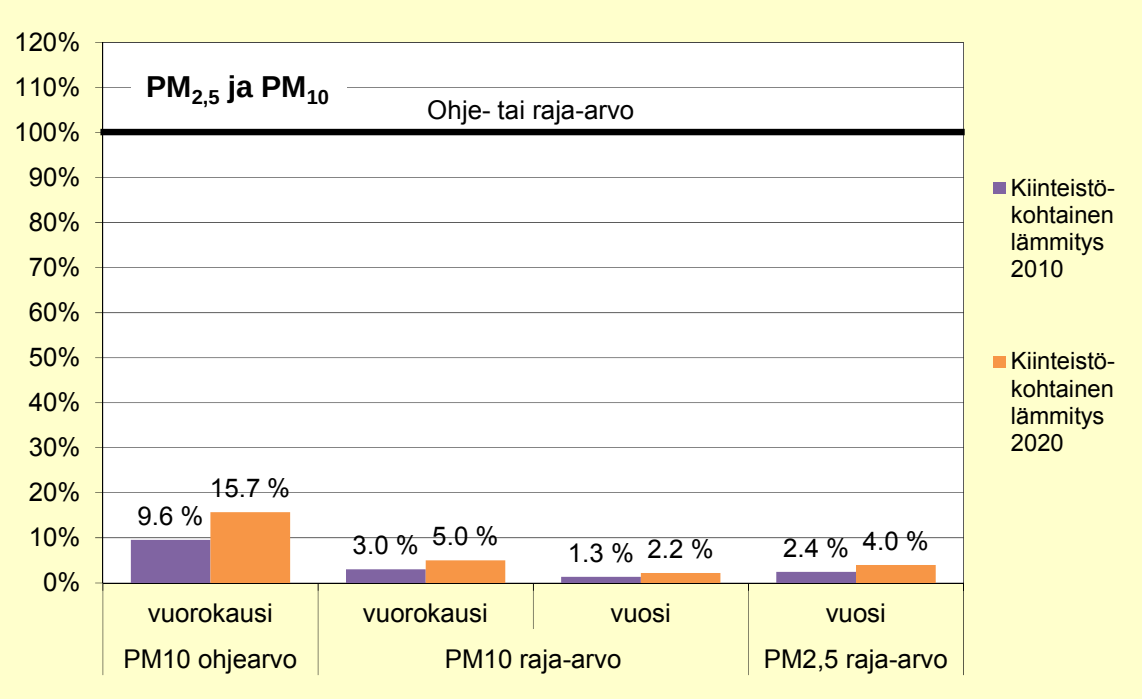
Pienhiukkaspitoisuus (µg/m³)	Raja-arvo	2010	2020
Vuosikeskiarvo	25 (*	0,61	1,0

(* raja-arvo

Taulukko 17. Leviämismallilaskelmilla saadut kiinteistökohtaisen lämmityksen hengitettävien hiukkasten päästöjen aiheuttamat ulkoilman hengitettävien hiukkasten pitoisuuksien maksimiarvot vuosina 2010 ja 2020.

Hengitettävien hiukkasten pitoisuus (µg/m³)	Raja- tai ohjearvo	2010	2020
Vuosikeskiarvo	40 (*	0,67	1,1
Korkein vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus	70 (**	6,7	11
Korkein vuorokausiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus	50 (*	1,5	2,5

(* raja-arvo
(** ohjearvo



Kuva M. Leviämismallilaskelmilla saatujen kiinteistökohtaisen lämmityksen hiukkaspäästöjen aiheuttamien suurimpien pienhiukkasten ($PM_{2,5}$) ja hengitettävien hiukkasten (PM_{10}) pitoisuuksien suhde voimassa oleviin ilmanlaadun raja- ja ohjearvoihin.

4.3.2 Alkuainehiilen (EC) pitoisuudet

Leviämismallilaskelmien tuloksina saadut kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttamat ulkoilman alkuainehiilipitoisuuksien (EC) maksimiarvot vuosina 2010 ja 2020 on esitetty taulukossa 18. Tulevassa tilanteessa pitoisuudet ovat korkeampia kuin nykytilanteessa. Alkuainehiilipitoisuuksien alueellinen vaihtelu on esitetty raportin lopussa olevissa aluejakaumakuvissa (liitekuvat 59−60). Korkeimmat lämmityksen päästöjen aiheuttamat alkuainehiilipitoisuudet muodostuvat Niiralaan. Alkuainehiilen pitoisuuksille ei ole määritetty ilmanlaadun ohje- ja raja-arvoja.

Taulukko 18. Leviämismallilaskelmilla saadut kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttamat ulkoilman alkuainehiilen pitoisuuksien maksimiarvot vuosina 2010 ja 2020.

Alkuainehiilipitoisuus (µg/m³)	2010	2020
Vuosikeskiarvo	0,23	0,41
Korkein vuorokausiarvo	2,5	4,5
Korkein tuntiarvo	6,3	10

4.4 Mallilaskelmien tulosten vertailu ilmanlaadun mittauksiin

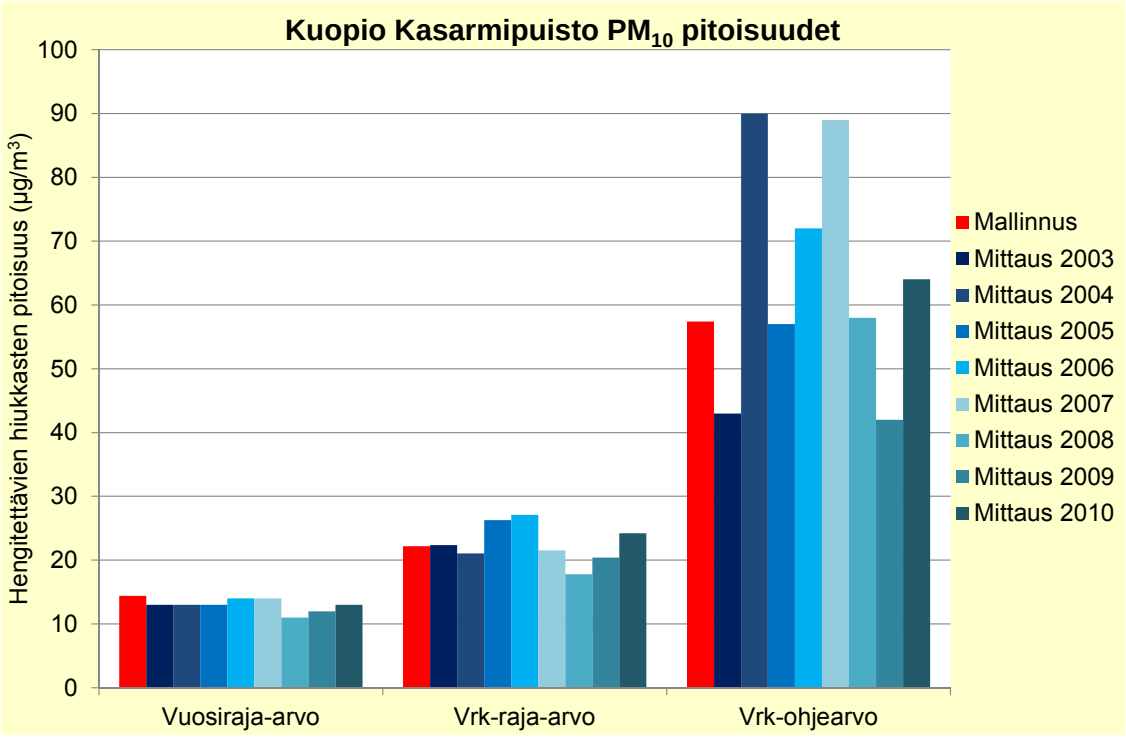
Kuopiossa seurataan ilmanlaatua useilla ilmanlaadun mittausasemilla, jotka sijaitsevat erilaisissa päästöympäristöissä (kuva N). Hengitettävien hiukkasten pitoisuuksia mitataan Kasarmipuiston mittausasemalla (ns. kaupunkitausta-asema), liikenneympäristöissä sijaitsevilla Maaherrankadun ja Tasavallankadun mittausasemilla sekä Valtatie 5:n rakennustyömaan läheisyydessä sijaitsevalla Sorsasalon mittausasemalla, joka on alun perin perustettu teollisuuspäästöjen seurantaa varten. Pienhiukkasten pitoisuuksia seurataan Kasarmipuistossa ja typpidioksidipitoisuuksia Kasarmipuistossa, Maaherrankadulla ja Tasavallankadulla.

Leviämismalleilla arvioitiin kaikkien tarkasteltujen päästölähteiden yhdessä aiheuttamia ilman epäpuhtauksien pitoisuuksia mittausasemien kohdilla. Leviämismalleilla laskettiin mittausasemien näytteenottokorkeuksille muodostuvat hengitettävien hiukkasten, pienhiukkasten ja typpidioksidin pitoisuudet. Mallilaskelmissa meteorologisena ajanjaksona olivat vuodet 2003−2005. Autoliikenteen hiukkaspäästöt edustivat vuotta 2005 ja typenoksidipäästöt vuotta 2006. Kiinteistökohtaisen lämmityksen ja Haapaniemen voimalaitoksen nykytilanteen hiukkaspäästöt edustivat vuotta 2010. Mallinnettuja tuloksia verrattiin vuonna 2010 mitattuihin pitoisuuksiin, mutta kuvissa O−T on esitetty vertailun vuoksi ilmanlaadun mittaustuloksia vuodesta 2003 lähtien. Kuviin Q ja T on lisätty myös vuodet 2011−2012, sillä Tasavallankadun mittaukset alkoivat vasta vuonna 2010. Vertailun mallinnustuloksissa on mukana taustapitoisuudet: pienhiukkasten pitoisuudet Virolahdelta (2005) ja typenoksidien pitoisuudet Ähtäristä (2002−2004). Koska mallinnuksen lähtötiedot eivät edusta yhtä tiettyä vuotta, on tässä esitetty malli-mittausvertailu vain suuntaa antava.

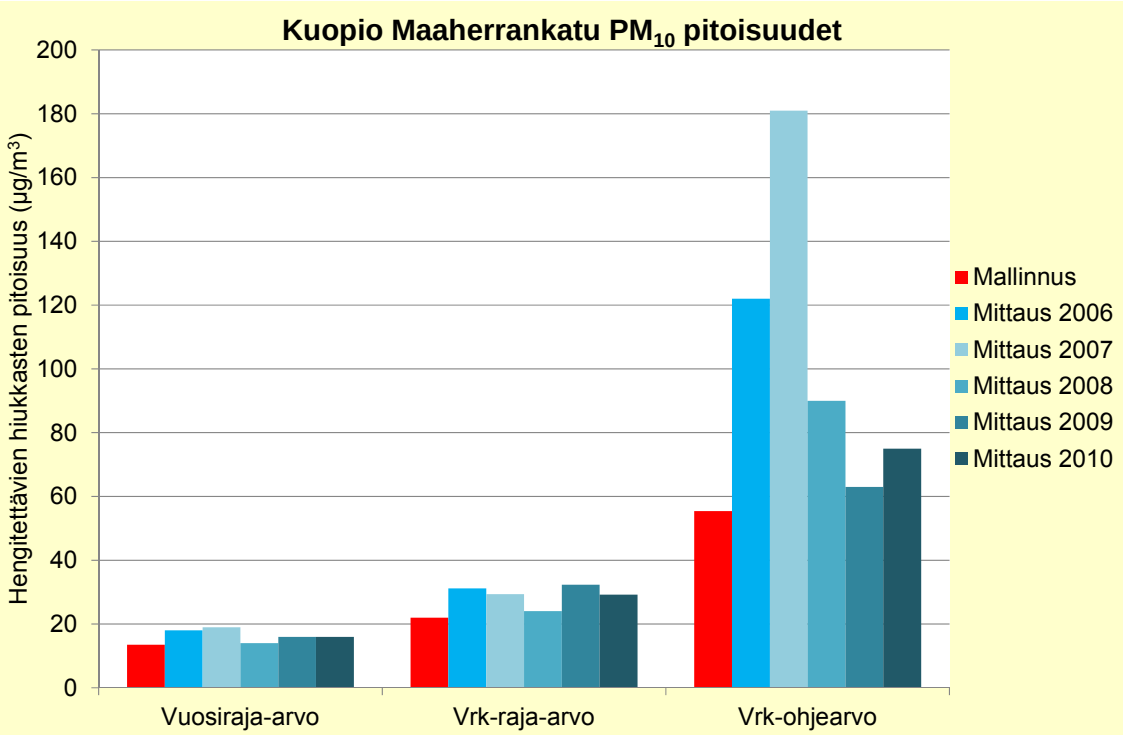
Leviämismallilaskelmilla saatuja hengitettävien hiukkasten raja- ja ohjearvoihin verrannollisia pitoisuuksia on kuvissa O−Q verrattu mittausasemilla mitattuihin pitoisuuksiin. Leviämismallilaskelmien antamat tulokset ovat säännönmukaisesti hiukan pienempiä kuin mitatut pitoisuudet. Kasarmipuistossa ja Maaherrankadulla mallin ennustamat raja-arvoihin verrannolliset pitoisuudet vastaavat melko hyvin mitattuja pitoisuuksia, mutta malli selvästi aliarvioi korkeimpia vuorokausiohjearvoon verrannollisia pitoisuuksia. Tasavallankadun ympäristössä on hiukkaspäästölähteitä, joita ei ole huomioitu mallilaskelmissa ja joiden vuoksi mallin arvioimat pitoisuudet ovat selvästi mitattuja pitoisuuksia pienempiä. Tasavallankadun mittausaseman ohi Haapaniemen voimalaitokselle kulkeva raskas liikenne vaikuttaa hiukkaspitoisuuksia kohottavasti. Turverekkojen mukana kulkeutuu uutta katupölymateriaalia tieympäristöön ja raskaat ajoneuvot kuluttavat tienpintaa ja nostavat katupölyä ilmaan (*Komppula ym. 2012*). Sorsasalon asema jätettiin pois malli-mittausvertailusta, sillä mittaustulokset edustavat lähinnä Valtatie 5:n rakentamisen vuoksi maanrakennustyömaan pölyämistä, mitä leviämismallilaskelmissa ei ole huomioitu.

Valtioneuvoston ilmanlaatuasetuksen (*Vna 38/2011*) mukainen laatutavoite mallintamisen epävarmuudelle on hiukkasten vuosikeskiarvopitoisuudelle 50 %. Epävarmuus määritetään enimmäispoikkeamana mitatuista ja mallinnetuista raja-arvoihin verrannollisista pitoisuuksista ottamatta huomioon tapahtumien ajoitusta. Vuoden 2010 mitattuihin pitoisuuksiin verrattaessa Kasarmipuistossa poikkeama oli noin 10 %, Maaherrankadulla noin 15 % ja Tasavallankadulla noin 30 %. Tämän vertailun mukaan hiukkaspäästöjen leviämismallilaskelmat täyttävät ilmanlaatuasetuksen mukaisen laatutavoitteen mallintamisen epävarmuudelle.

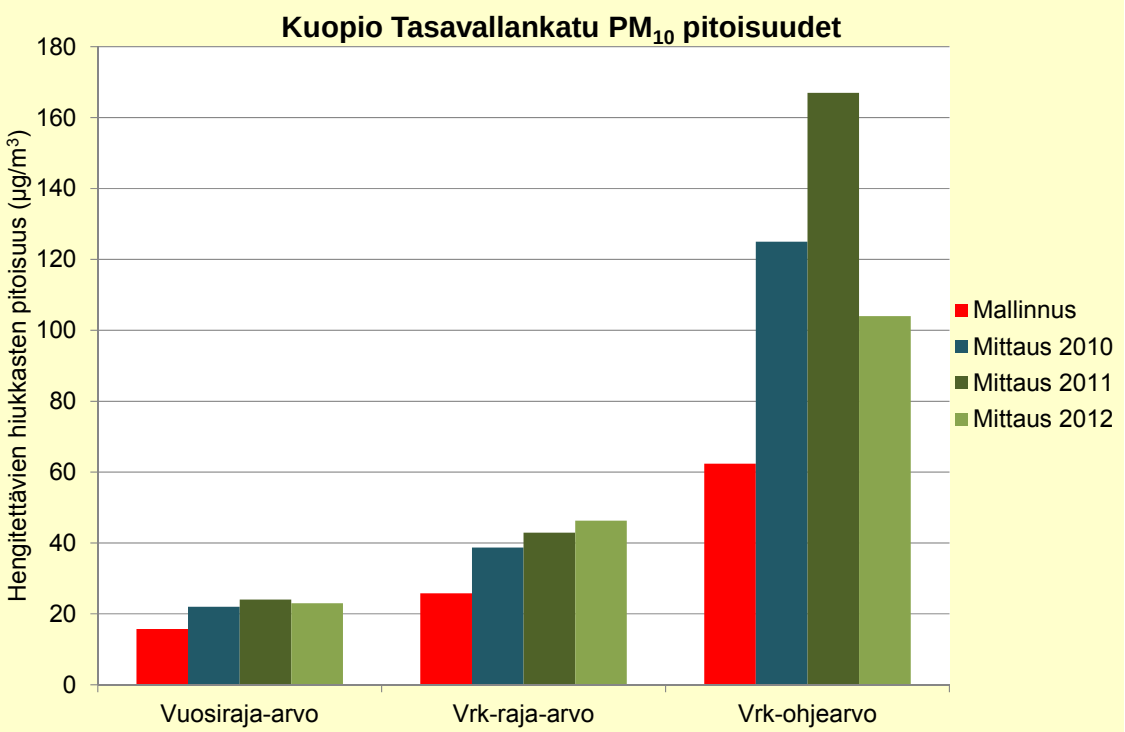
Kuva N. Kuopion ilmanlaadun mittausasemat.



Kuva O. Leviämismallilaskelmilla ja ilmanlaadun mittauksilla vuosina 2003−2010 saadut hengitettävien hiukkasten (PM_{10}) raja- ja ohjearvoihin verrannolliset pitoisuudet Kuopion Kasarmipuiston mittausaseman kohdalla.



Kuva P. Leviämismallilaskelmilla ja ilmanlaadun mittauksilla vuosina 2006−2010 saadut hengitettävien hiukkasten (PM_{10}) raja- ja ohjearvoihin verrannolliset pitoisuudet Kuopion Maaherrankadun mittausaseman kohdalla.



Kuva Q. Leviämismallilaskelmilla ja ilmanlaadun mittauksilla vuosina 2010−2012 saadut hengitettävien hiukkasten (PM_{10}) raja- ja ohjearvoihin verrannolliset pitoisuudet Kuopion Tasavallankadun mittausaseman kohdalla.

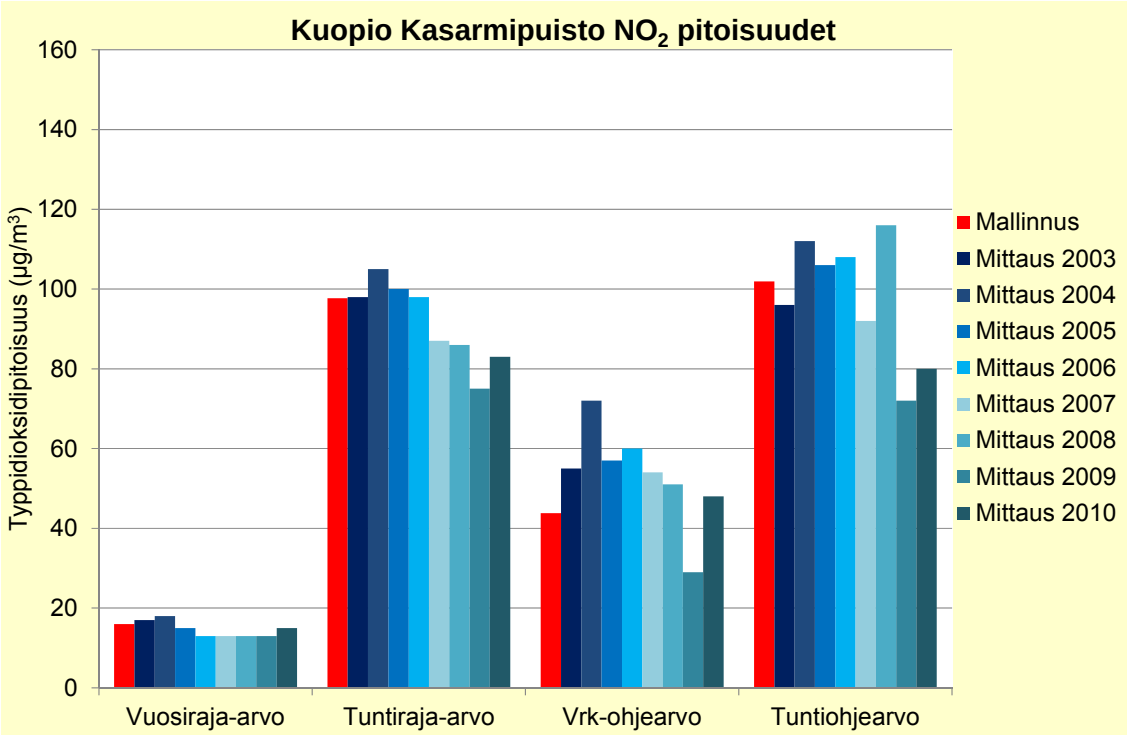
Leviämismalleilla ja mittauksilla saatujen pitoisuuksien eroon vaikuttavat malleissa käytettyjen lähtötietojen oikeellisuus, itse mallin toiminta ja mittausepävarmuudet. Hengitettävien hiukkasten pitoisuuksien arvioiminen on malleilla hankalaa, koska kaikkia pölyämiseen vaikuttavia tekijöitä ei pystytä mallissa huomioimaan luotettavasti. Hiukkasten lyhytaikaisiin pitoisuuksiin vaikuttaa merkittävästi liikenteen vaikutuksesta tienpinnasta ilmaan nouseva pöly, jota on tässä tutkimuksessa kuvattu suspensiopäästömallin avulla. Jotta suspensiopäästömallilla saataisiin vielä todenmukaisempi kuva ilmaan nousevista hiukkasmääristä, pitäisi mallin lähtötiedoiksi saada todelliset hiekoitusmäärät kullakin katuosuudella sekä tieto katujen puhdistuksen ajoittumisesta ja puhdistukseen käytetyistä menetelmistä. Tällaisia tietoja ei ole saatavilla, joten mallissa joudutaan käyttämään karkeita arvioita katupölyn määrästä eri katuosuuksilla sääolosuhteista riippuen.

Ilmatieteen laitoksella edelleen kehitettyä suspensiopäästömallia (*Kauhaniemi ym., 2011*; *Omstedt ym., 2005*) on käytetty aiemmin myös muissa kaupunkien ilmanlaatuselvityksissä, joissa mallin on todettu antavan ilmanlaatuasetuksen laatutavoitteet hyvin täyttäviä tuloksia. Turun seudun ilmanlaatuselvityksessä (*Salmi ym. 2009*) leviämismalleilla saatuja tuloksia voitiin verrata neljän mittausaseman tuloksiin ja Kouvolan ja Iitin seudun ilmanlaatuselvityksessä (*Salmi ym. 2010*) kahden mittausaseman tuloksiin. Mallinnettujen ja mitattujen vuosikeskiarvopitoisuuksien ero oli Turun seudun ilmanlaatuselvityksessä korkeimmillaan noin 25 % ja Kouvolan ja Iitin seudun ilmanlaatuselvityksessä noin 13 %. Lyhytaikaisissa pitoisuuksissa eroa oli enemmän, pääsääntöisesti kuitenkin alle 60 %. Lyhytaikaisten hengitettävien hiukkasten pitoisuuksien vaikea arvioiminen malleilla

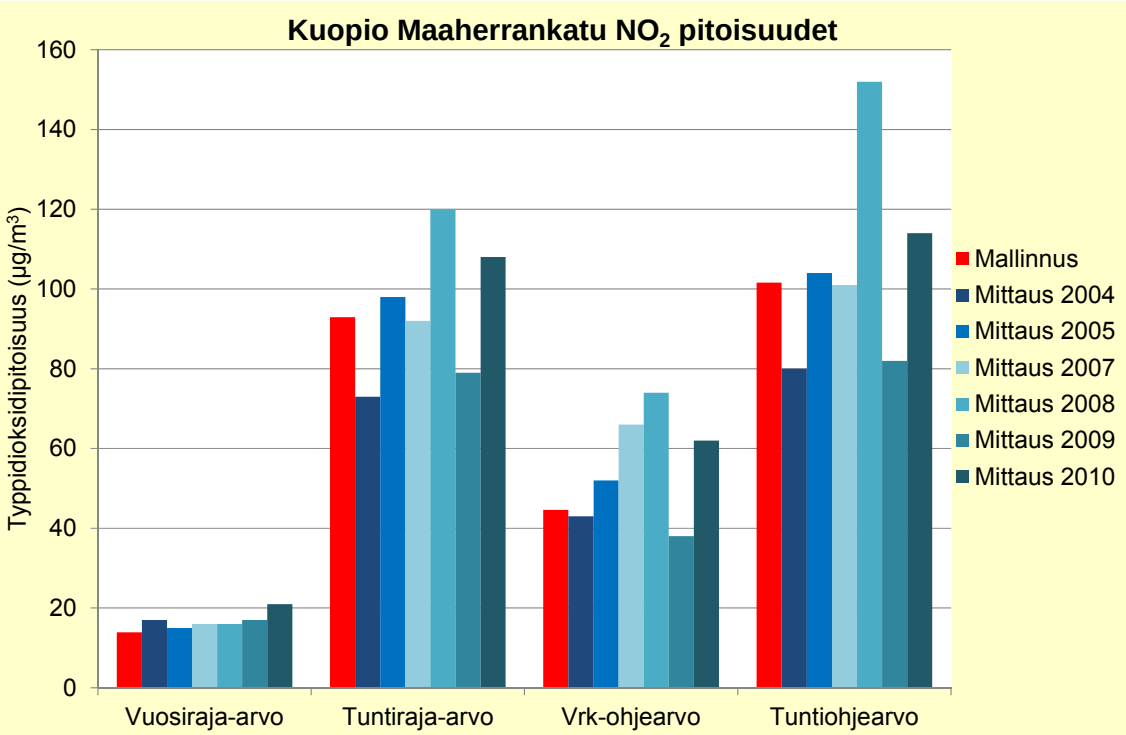
on huomioitu ilmanlaatuasetuksessa siten, että mallinnettujen hiukkaspitoisuuksien epävarmuudelle on määritelty laatutavoite ainoastaan vuosipitoisuuksille.

Leviämismallilaskelmilla saatuja typpidioksidin raja- ja ohjearvoihin verrannollisia pitoisuuksia on kuvissa R−T verrattu mittausasemilla mitattuihin pitoisuuksiin. Leviämismallilaskelmien antamat tulokset ovat pääsääntöisesti hiukan pienempiä kuin mitatut pitoisuudet. Kasarmipuistossa ja Maaherrankadulla mallinnetut raja-arvoihin verrannolliset pitoisuudet vastaavat melko hyvin mitattuja pitoisuuksia, mutta malli selvästi aliarvioi Tasavallankadun pitoisuuksia ainakin vuoden 2010 mittaustuloksiin verrattuna.

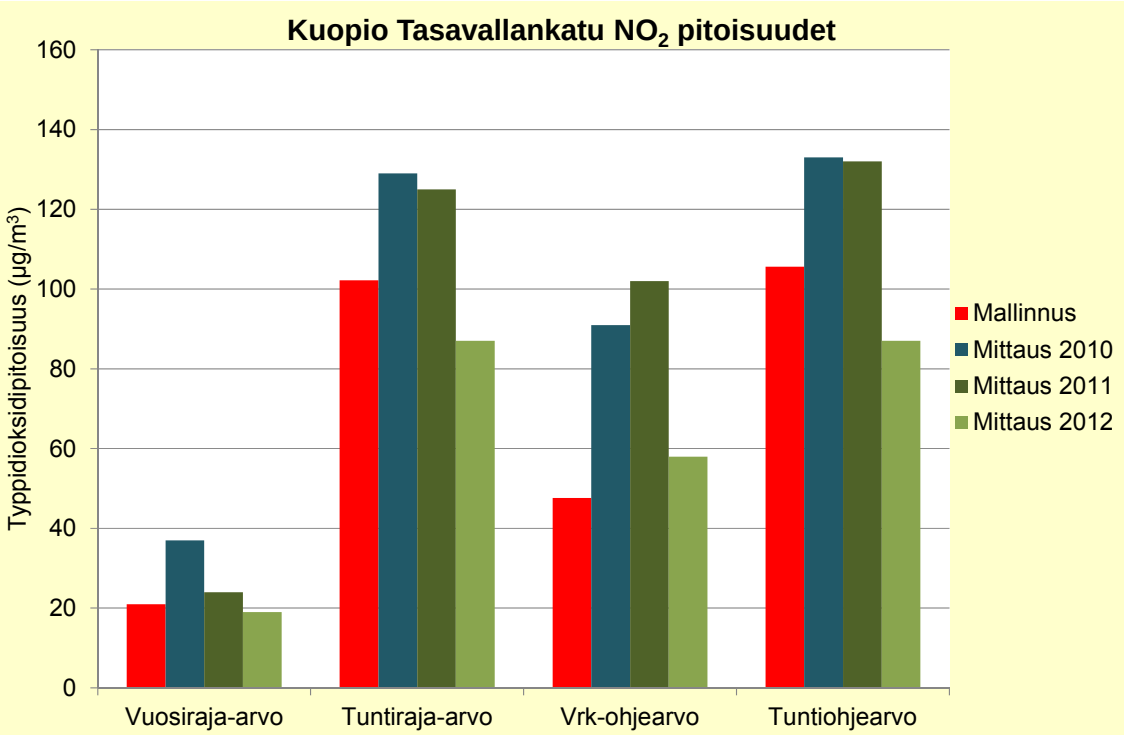
Valtioneuvoston ilmanlaatuasetuksen (*Vna 38/2011*) mukainen laatutavoite mallintamisen epävarmuudelle on typpidioksidipitoisuuden vuosikeskiarvolle 30 %, vuorokausiarvolle 50 % ja tuntiarvolle 50−60 %. Vuoden 2010 mittaustuloksiin verrattuna Kasarmipuistossa vuosikeskiarvojen poikkeama oli alle 10 %, Maaherrankadulla alle 35 % ja Tasavallankadulla alle 45 %. Tämän vertailun mukaan mallinnettu typpidioksidin vuosikeskiarvopitoisuus täyttää ilmanlaatuasetuksen mukaisen laatutavoitteen vain Kasarmipuistossa. Vuonna 2010 mitatut typpidioksidin vuosikeskiarvopitoisuudet olivat meteorologisista olosuhteista johtuen korkeampia kuin muina vuosina, millä on vaikutusta tulokseen erityisesti liikenneympäristöissä. Sen sijaan typpidioksidin vuorokausi- ja tuntiarvoille annetut laatutavoitteet mallinnuksen epävarmuudelle täyttyvät. Kasarmipuistossa lyhytaikaisten malli- ja mittaustulosten poikkeamat olivat 10−50 %, Maaherrankadulla 10−40 % ja Tasavallankadulla 20−50 %.



Kuva R. Leviämismallilaskelmilla ja ilmanlaadun mittauksilla vuosina 2003−2010 saadut typpidioksidin (NO_2) raja- ja ohjearvoihin verrannolliset pitoisuudet Kuopion Kasarmipuiston mittausaseman kohdalla.



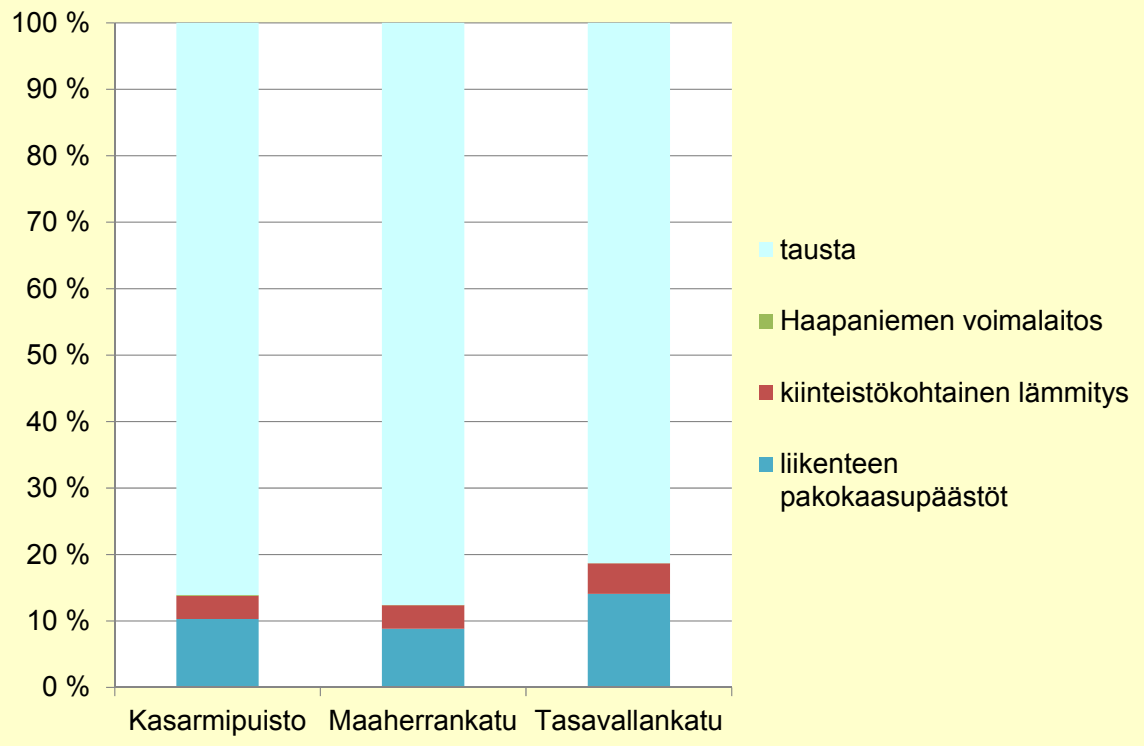
Kuva S. Leviämismallilaskelmilla ja ilmanlaadun mittauksilla vuosina 2003−2010 saadut typpidioksidin (NO_2) raja- ja ohjearvoihin verrannolliset pitoisuudet Kuopion Maaherrankadun mittausaseman kohdalla.



Kuva T. Leviämismallilaskelmilla ja ilmanlaadun mittauksilla vuosina 2003−2010 saadut typpidioksidin (NO_2) raja- ja ohjearvoihin verrannolliset pitoisuudet Kuopion Tasavallankadun mittausaseman kohdalla.

4.5 Eri päästölähteiden osuus hiukkasten kokonaispitoisuuksista

Leviämismallinnusten tulosten perusteella on tarkasteltu eri päästölähteiden osuutta mallinnetuista hiukkasten kokonaispitoisuuksista. Kuvassa U on esitetty eri päästölähteiden ja taustapitoisuuden suhteelliset osuudet mallinnetuista pienhiukkasten vuosikeskiarvopitoisuuksista kolmen ilmanlaadun mittausaseman kohdalla (Kasarmipuisto, Maaherrankatu, Tasavallankatu). Taustapitoisuudella eli alueelle muualta kulkeutuneilla pienhiukkasilla on suurin vaikutus kokonaispitoisuuksiin (80−90 % $PM_{2,5}$-vuosikeskiarvopitoisuudesta). Päästölähteistä merkittävin pienhiukkaspitoisuuksien aiheuttaja on autoliikenne (10−15 % kokonaispitoisuudesta). Autoliikenteen pakokaasupäästöjen vaikutus pienhiukkaspitoisuuksiin on suurin Tasavallankadulla, jossa liikennemäärä on korkea (22 000 ajoneuvoa/vrk) ja huomattava osa ajoneuvoista on raskasta liikennettä (*Komppula ym., 2012*). Kiinteistökohtaisen lämmityksen osuus on noin 3−5 % pienhiukkasten kokonaispitoisuudesta. Haapaniemen voimalaitoksen vaikutus alueen pienhiukkaspitoisuuksiin on vähäinen. Haapaniemen voimalaitoksen aiheuttama osuus on korkeimmillaan 0,1 % pienhiukkasten kokonaispitoisuudesta, minkä vuoksi osuus ei erotu pylväskuvaajissa.

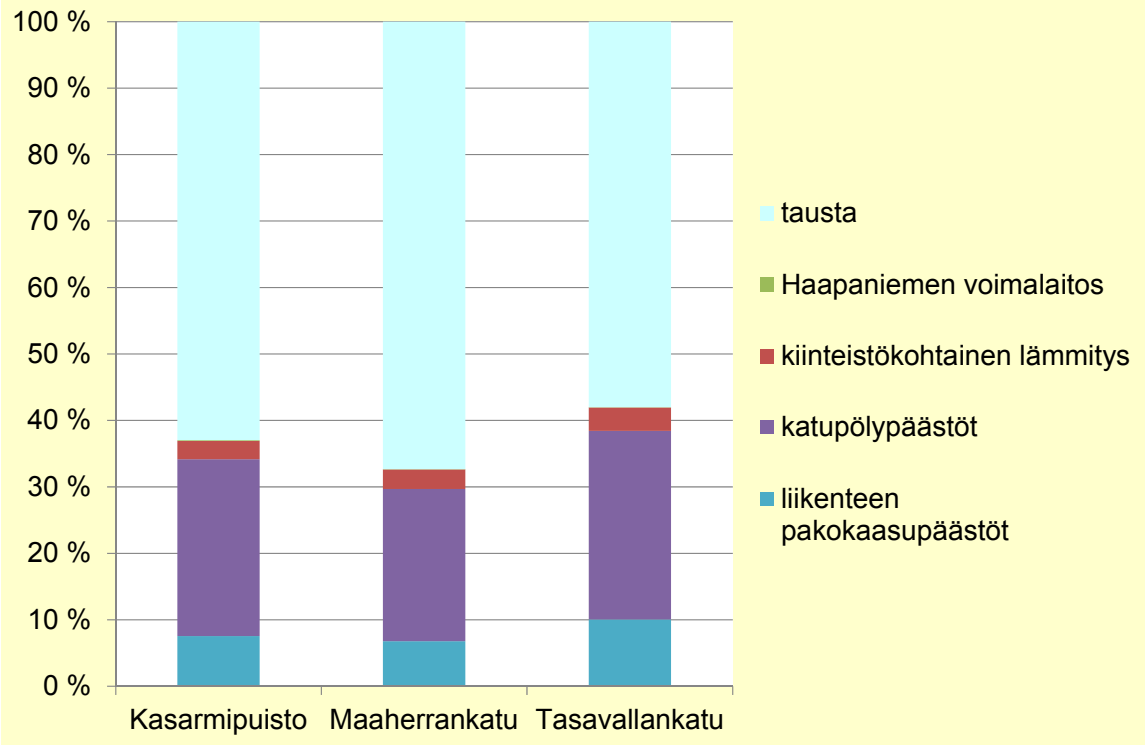


Kuva U. Eri päästölähteiden ja taustapitoisuuden suhteelliset osuudet leviämismalleilla lasketuista pienhiukkasten ($PM_{2,5}$) vuosikeskiarvopitoisuuksista kolmessa eri tarkastelupisteessä.

Kuvassa V on esitetty eri päästölähteiden ja taustapitoisuuden suhteelliset osuudet mallinnetuista hengitettävien hiukkasten vuosikeskiarvopitoisuuksista ilmanlaadun mittausasemien kohdalla. Muualta kulkeutuneilla pienhiukkasilla on merkittävin

vaikutus hengitettävienkin hiukkasten kokonaispitoisuuksiin (60−70 % PM_{10}-vuosikeskiarvopitoisuudesta). Päästölähteistä huomattavin lähde on autoliikenteen nostattama katupöly (20−30 %). Suurimmillaan katupölyn osuus on Tasavallankadulla, jossa on ilmanlaadun mittaustuloksissakin havaittu korkeita pitoisuuksia katupölyaikaan keväällä sekä syksyllä nastarengas- ja hiekoituskauden alussa (*Komppula, ym., 2012*). Autoliikenteen pakokaasupäästöt aiheuttavat alle 10 % hengitettävien hiukkasten kokonaispitoisuudesta. Kiinteistökohtainen lämmitys aiheuttaa noin 3−4 % hengitettävien hiukkasten kokonaispitoisuudesta. Haapaniemen voimalaitoksen päästöjen vaikutus on hyvin vähäinen.

Lyhytaikaisiin pitoisuuksiin eli vuorokausi- ja tuntipitoisuuksiin autoliikenteellä ja etenkin autoliikenteen ilmaan nostattamalla katupölyllä voidaan kuitenkin arvioida olevan suurempi vaikutus kuin taustapitoisuudella. Samoin talojen lämmitys voi ajoittain tyynissä ja heikosti sekoittuvissa olosuhteissa heikentää ilmanlaatua asuinalueilla. On myös huomioitava, että selvityksessä käytettiin taustapitoisuutena Virolahdella mitattuja pienhiukkaspitoisuuksia. Pienhiukkaspitoisuuksien taustapitoisuus pienenee pohjoista kohti mentäessä ja Virolahden taustapitoisuus on yliarvio pitoisuustasosta Kuopion korkeuksilla.



Kuva V. Eri päästölähteiden ja taustapitoisuuden suhteelliset osuudet leviämismalleilla lasketuista hengitettävien hiukkasten (PM_{10}) vuosikeskiarvopitoisuuksista kolmessa eri tarkastelupisteessä.

5 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli arvioida leviämismallilaskelmien avulla biopolttoaineiden käytön lisäyksen vaikutuksia Kuopion ilmanlaatuun vuonna 2020. Tulevaa tilannetta verrattiin nykytilanteeseen (vuosi 2010), jossa biopolttoaineiden käyttö on vielä melko vähäistä. Biopolttoaineiden lisäystä kuvattiin liikenteen mallilaskelmissa epäsuorasti Euro 4- ja Euro 5-päästötasojen avulla, sillä liikenteen biopolttoaineille ei ole vielä luotettavasti saatavilla päästökertoimia. Haapaniemen voimalaitosella on suunnitelmissa nostaa biopolttoaineiden käyttöosuus 50 %:iin vuoteen 2020 mennessä. Kiinteistökohtaisessa lämmityksessä tapahtuva biopolttoaineiden käytön lisäys perustuu teoreettiseen arvioon, jonka mukaan kaikki öljylämmitteiset asuintalot siirtyisivät puunpolttoon ja omakotitalojen lisälämmityksen puunpolttomäärät kaksinkertaistuisivat vuodesta 2010 vuoteen 2020 mennessä. Vuoden 2020 leviämismallinnuksen tulokset edustavatkin tilannetta, jossa biopolttoaineiden käyttö yleistyisi oletetusti tarkasteltujen skenaarioiden mukaisesti.

Leviämismallilaskelmilla saatuja paikallisia ilmanlaatuarvioita käytetään URGENCHE-tutkimushankkeessa (Urban Reduction of Green House Gas Emission in China and Europe) altistuslaskelmien lähtötietoina ja terveysvaikutusten arvioinnissa. Hiilidioksidipäästöjen vähentämismenetelmillä, kuten esimerkiksi biopolttoaineiden käytön lisäämisellä, on globaalien vaikutusten lisäksi myös vaikutuksia paikalliseen ilmanlaatuun. Koska hiilidioksidi ei aiheuta suoria terveysvaikutuksia, käytetään tutkimushankkeessa terveysvaikutusten arviointiin toissijaisia ilman epäpuhtauksia. Tätä varten leviämismallilaskelmin selvitettiin päästövähennystoimien vaikutusta paikalliseen ilmanlaatuun, mitä tietoa käytetään edelleen varsinaisten terveys- ja hyvinvointivaikutusten arvioinnissa.

Tutkimuksessa arvioitiin leviämismallilaskelmilla Kuopion autoliikenteen, kaupunkialueen kiinteistökohtaisen lämmityksen ja Kuopion Energia Oy:n Haapaniemen voimalaitoksen hiukkaspäästöjen aiheuttamia ilmanlaatuvaikutuksia. Lisäksi mallinnettiin autoliikenteen typenoksidipäästöjen ja kiinteistökohtaisen lämmityksen alkuainehiilipäästöjen leviämistä. Leviämismallinnuksen tuloksina saatuja hengitettävien hiukkasten (PM_{10}), pienhiukkasten ($PM_{2,5}$) ja typpidioksidin (NO_2) pitoisuuksia verrattiin ilmanlaadun raja- ja ohjearvoihin ja Kuopion ilmanlaadun mittaustuloksiin. Lisäksi tutkimuksessa arvioitiin eri hiukkaspäästölähteiden osuutta ilman kokonaishiukkaspitoisuuksista.

Leviämismallilaskelmat suoritettiin Kuopion kaupungin taajama-alueelle, joka ulottui pohjoisessa Sorsasaloon ja etelässä Hiltulanlahteen. Leviämismallilaskelmien lähtötietoina käytetyt päästöt kattavat merkittävimmät Kuopion hiukkaspäästölähteet: autoliikenteen, kotitalouksien pienpolton sekä alueen suurimman pistepäästölähteen (Haapaniemen voimalaitos). Tarkasteltujen päästölähteiden hengitettävien hiukkasten päästöt olivat nykytilanteessa yhteensä 262 t/a. Tulevassa tilanteessa hengitettävien hiukkasten päästöt olivat 228−241 t/a riippuen arvioinnissa käytetystä liikenteen pakokaasupäästöjen Euro-päästötasosta (Euro 4 tai Euro 5). Liikenteen päästöjen osuus on nykytilanteessa yli 70 % ja tulevassa tilanteessa lähes 90 % hengitettävien hiukkasten kokonaispäästöistä. Liikenteen päästöt koostuvat pakokaasupäästöistä sekä tienpinnasta mekaanisesti irtoavista ja hiekoitushiekasta peräisin olevista hiukkasista (=katupöly). Haapaniemen voimalaitoksen päästöjen osuus on nykytilanteessa 23 % ja tulevassa tilanteessa 5 % hengitettävien hiukkasten kokonaispäästöistä. Kiinteistökohtaisen lämmityksen osuus on nykyisin 5 % ja

vuoden 2020 skenaariossa noin 9 % kokonaispäästöistä. Koko tutkimusalueen teiden ja katujen autoliikenteen typenoksidipäästöt olivat nykytilanteessa 783 t/a ja tulevassa tilanteessa 351−482 t/a pakokaasupäästöjen Euro-päästötasosta riippuen.

Leviämismallilaskelmien tulosten mukaan autoliikenteen päästöt aiheuttavat pienhiukkaspitoisuuksia ($PM_{2,5}$), jotka selvästi alittavat pienhiukkasten raja-arvon. Tulevassa tilanteessa pakokaasupäästöt tulevat vähenemään moottoritekniikoiden ja polttoaineiden kehittyessä puhtaammiksi ja biopolttoaineiden yleistyessä. Autoliikenteen päästöt aiheuttavat hengitettävien hiukkasten (PM_{10}) pitoisuuksia, jotka korkeimmillaan ylittävät hengitettävien hiukkasten pitoisuuden vuorokausiohjearvon ja -raja-arvon vilkkaimmilla liikenneväylillä. Hengitettävien hiukkasten pitoisuuden vuosiraja-arvo alittuu. Hengitettävien hiukkasten lyhytaikaispitoisuuksiin vaikuttaa merkittävästi autoliikenteen tienpinnasta mekaanisesti nostattama katupöly. Sen määrään vaikuttavat liikennemäärien ja meteorologisten olosuhteiden lisäksi voimakkaasti katujen kunnossapito- ja puhdistusmenetelmät sekä pölynsidonta. Liikenteen pölyämispäästöjen arvioidaan kasvavan jatkossa, kun liikennemäärät lisääntyvät.

Mallilaskelmien mukaan Kuopion autoliikenteen päästöt aiheuttavat typpidioksidipitoisuuksia, jotka voivat korkeimmillaan tulevassa tilanteessa ylittää typpidioksidin vuorokausiohjearvon, kun pitoisuudet tällä hetkellä niukasti alittavat ohjearvot. Typpidioksidin raja-arvojen arvioidaan alittuvan Kuopion alueella jatkossakin. Autoliikenteen aiheuttamat ilman epäpuhtauksien pitoisuudet ovat suurimmillaan Kuopion läpi kulkevan Valtatie 5:n sekä vilkkaimmin liikennöityjen kaupungin sisääntuloväylien kuten Tasavallankadun ja Savilahdentien varsilla ja niiden risteysalueilla. Ilmanlaadun ohjearvot eivät ylity asuinalueilla, mutta Kuopion keskustassa ohjearvot voivat ylittyä vilkkaimpien katujen varsilla.

Tulosten mukaan Haapaniemen voimalaitoksen päästöjen aiheuttamat hiukkaspitoisuudet olivat erittäin pieniä. Nykytilanteessa korkeimmat pienhiukkaspitoisuudet olivat vain 0,06 % raja-arvosta ja korkeimmat hengitettävien hiukkasten pitoisuudet noin 1 % ohjearvosta ja noin 0,1 % raja-arvoista. Tulevassa tilanteessa hiukkaspitoisuudet tulevat vielä merkittävästi laskemaan, vaikka biopolttoaineiden käytön osuus kasvaa 50 %:iin. Tämä johtuu siitä, että vuonna 2016 Haapaniemen voimalaitoksessa tulevat voimaan tiukentuvat päästörajat.

Leviämismallinnuksen mukaan Kuopion kiinteistökohtaisen lämmityksen aiheuttamat hiukkaspäästöt ovat melko alhaisia. Korkeimmillaan lämmityksen hiukkaspäästöjen aiheuttamat pienhiukkasten pitoisuudet olivat noin 4 % raja-arvosta ja hengitettävien hiukkasten pitoisuudet olivat noin 16 % ohjearvosta ja noin 5 % raja-arvoista. Tulevassa tilanteessa ohje- ja raja-arvoihin verrannolliset hiukkaspitoisuudet tulevat kohoamaan nykytilanteesta noin 60−70 %, mikäli puunkäyttö pää- ja lisälämmönlähteenä yleistyy skenaarioiden mukaisesti. Tarkastellussa skenaariossa kevyttä polttoöljyä käyttävien kiinteistöjen oletetaan luopuvan öljystä ja siirtyvän puunpolttoon. Puun poltosta vapautuu enemmän hiukkaspäästöjä kuin kevyen polttoöljyn poltosta. Lisäksi omakotitalojen lisälämmityksen puunkäytön oletettiin kaksinkertaistuvan vuoteen 2020 mennessä. Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttamat alkuainehiilen pitoisuudet kohoavat myös tulevassa tilanteessa, mikäli biopolttoaineiden käyttö lisääntyy oletetusti. Alkuainehiilen pitoisuuksille ei ole määritetty ilmanlaadun ohje- tai raja-arvoja.

Leviämismallinnusten tulosten perusteella on tarkasteltu eri päästölähteiden osuutta ulkoilman hiukkaspitoisuuksista. Taustapitoisuudella eli alueelle muualta kulkeutuneilla pienhiukkasilla on suurin vaikutus hengitettävien hiukkasten kokonaispitoisuuksiin (60−70 % vuosikeskiarvopitoisuuksista). Paikallisista päästölähteistä merkittävin on autoliikenne ja erityisesti sen nostattama katupöly. Katupölyn osuus on 20−30 % ja pakokaasupäästöjen osuus on alle 10 % hengitettävien hiukkasten kokonaispitoisuuksista. Kiinteistökohtaisen lämmityksen osuus on noin 3−4 %. Vaikka Haapaniemen voimalaitoksen päästöjen osuus kokonaishiukkaspäästöistä on lähes neljäsosa, on vaikutus ulkoilmapitoisuuksiin pieni, vain noin 0,1 % kokonaispitoisuudesta. Voimalaitoksen päästöt vapautuvat korkealta savupiipuista ja ne leviävät ja laimenevat tehokkaasti ennen laskeutumistaan maanpinnan tasolle.

Leviämismallinnuksen tuloksia verrattiin Kuopion ilmanlaadun mittaustuloksiin. Yleisesti ottaen mallinnetut pitoisuudet ovat hieman pienempiä kuin mitatut pitoisuudet. Mallinnetut pitoisuudet vastaavat mitattuja pitoisuuksia parhaiten Kasarmipuiston ja Maaherrankadun mittauspisteissä. Tasavallankadun ympäristössä mallinnetut pitoisuudet ovat selvästi pienempiä kuin mitatut pitoisuudet, sillä mallinnuksessa ei ole voitu huomioida mittausaseman lähialueen kaikkia hiukkaspäästölähteitä (mm. turverekkojen aiheuttama katupöly).

Mallilaskelmien tulosten perusteella voidaan arvioida, että Kuopion ilmanlaatua heikentävät merkittävimmin autoliikenteen pakokaasupäästöt, katupöly ja kaukokulkeuma. Energiantuotannon ja kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöillä on vain pieni vaikutus Kuopion ilmanlaatuun. Ilmanlaatu on suurimmassa osassa Kuopion kaupungin aluetta leviämislaskelmien mukaan hyvää, mutta vilkkaimpien liikenneväylien varsilla pitoisuudet voivat epäedullisissa meteorologisissa tilanteissa hetkellisesti ylittää ilmanlaadun ohjearvot.

VIITELUETTELO

Alakangas, E., Erkkilä, A. ja Oravainen, H., 2008. Tehokas ja ympäristöä säästävä tulisijalämmitys. Polttopuun tuotanto ja käyttö. Jyväskylä. VTT-R-10553-08.

Alaviippola, B. ja Pietarila, H., 2011. Ilmanlaadun arviointi Suomessa. Pienhiukkaset ($PM_{2,5}$). Ilmatieteen laitos, Ilmanlaadun asiantuntijapalvelut. 48 s. + 13 liites.

Asikainen, A., 2013. Tiivistelmä URGENCHE-projektista.

Gröndahl, T., Makkonen J., Myllynen M., Niemi J.,Tuomi S., 2011. Tulisijojen käyttö ja päästöt pääkaupunkiseudun pientaloista. Helsingin seudun ympäristöpalvelut – kuntayhtymä HSY.

HSY (Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä), 2013. Ilmanlaatu pääkaupunkiseudulla vuonna 2012. HSY:n julkaisuja 5/2013. 120 s.

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.

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

Kauhaniemi, M., Kukkonen, J., Härkönen, J., Nikmo, J., Kangas, L., Omstedt, G., Ketzel, M., Kousa, A., Haakana, M. and Karppinen, A., 2011. Evaluation of a road dust suspension model for predicting the concentrations of PM_{10} in street canyon in Helsinki. Atmospheric Environment, 45, 3646-3654.

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.

Komppula, B., Salmi, J., ja Lovén, K., 2012. Kuopion katupölytilanne. Hiukkaspitoisuuksien vertailu Suomen muiden kaupunkien pitoisuuksiin. Ilmatieteen laitos, Ilmanlaadun asiantuntijapalvelut. 41 s. + 28 liites.

Kuenen, J., Denier van der Gon, H., Visschedijk, A., Dröge, R., Mulder, M., Johansson, C., Klimont, Z., 2011. A high resolution emission inventory of particulate EC and OC for Europe. Presentation. Netherlands Organisation for Applied Scientific Research (TNO).

Kupiainen, K., 2007. Road dust from pavement wear and traction sanding, Finnish Environment Institute, Monographs of the Boreal Environment Research No. 26, ISBN 978-952-11-2555-3, ISBN 978-952-11-2556-0, 52 pp.

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

LIPASTO, 2013. LIPASTO – Suomen liikenteen pakokaasupäästöjen ja energiankulutuksen laskentajärjestelmä, VTT. http://lipasto.vtt.fi/index.htm

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, issue 33, 6088–6097.

Pöyhönen, L. ja Pärjälä, E., 2013. Hankintapäätös. URGENCHE-hankkeeseen tarvittavat ilmanlaatuarvioinnit. Ympäristöjohtajan päätös 22.4.2013/hankinnat § 17. Kuopion kaupunki, Kaupunkiympäristön palvelualue, Alueelliset ympäristönsuojelupalvelut.

Rasila, T., Pietarila, H., Lovén, K. ja Alaviippola, B., 2008. Kuopion ja Siilinjärven vuosien 2006 ja 2020 typenoksidipäästöjen leviämismallilaskelmat. Ilmatieteen laitos, Ilmanlaadun asiantuntijapalvelut, Helsinki, 55 s. + 57 liites.

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

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

Salmi, J., Alaviippola, B., Ranta, P., Lappi, S. ja Kauhaniemi, M., 2010. Kouvolan ja Iitin päästöjen leviämismalliselvitys. Energiantuotannon, teollisuuden ja autoliikenteen typenoksidi- ja hiukkaspäästöjen leviämislaskelmat. Ilmatieteen laitos, Ilmanlaadun asiantuntijapalvelut, Helsinki, 26 s. + 27 liites.

Salmi, J., Lappi, S., Rasila, T., Lovén, K. ja Hannuniemi, H. 2009. Turun seudun päästöjen leviämismalliselvitys. Energiantuotannon, teollisuuden, laivaliikenteen ja autoliikenteen typenoksidi-, rikkidioksidi- ja hiukkaspäästöjen leviämislaskelmat. Ilmatieteen laitos, Ilmanlaadun asiantuntijapalvelut, Helsinki, 30 s. + 66 liites.

Savolahti, M., 2013. Mikko Savolahden (SYKE) esitys: ”Keinoja puun pienpolton mustan hiilen päästöjen rajoittamiseen”. Mustan hiilen päästöjen ja päästövähennysten ilmasto- ja terveysvaikutukset –työpaja, Ilmatieteen laitos, Helsinki, 11.11.2013.

Tissari, J., 2011. Physicochemical and toxic properties of particulate emissions from different small-scale wood combustion appliances. Fine particle and aerosol technology laboratory. Department of environmental science, University of Eastern Finland. Kuopio, Finland. TEKES Project 40296/07, Final Report.

Tissari, J., Salonen, R.O., Vesterinen, R., Jokiniemi, J., (toim.) 2007., Puun pienpolton päästöt, ilmanlaatu ja terveys. Kuopion yliopiston ympäristötieteen laitoksen monistesarja 2/2007. 138s + 1 liites.

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

Vna 38/2011. Valtioneuvoston asetus ilmanlaadusta. Annettu Helsingissä 20.1.2011.

Vna 96/2013. Valtioneuvoston asetus polttoaineteholtaan vähintään 50 megawatin polttolaitosten päästöjen rajoittamisesta. Annettu Helsingissä 31.1.2013

Öljyalan Palvelukeskus Oy, 2010. Laskelma lämmityksen päästöistä. Pöyry Management Consulting Oy, 19.9.2010.

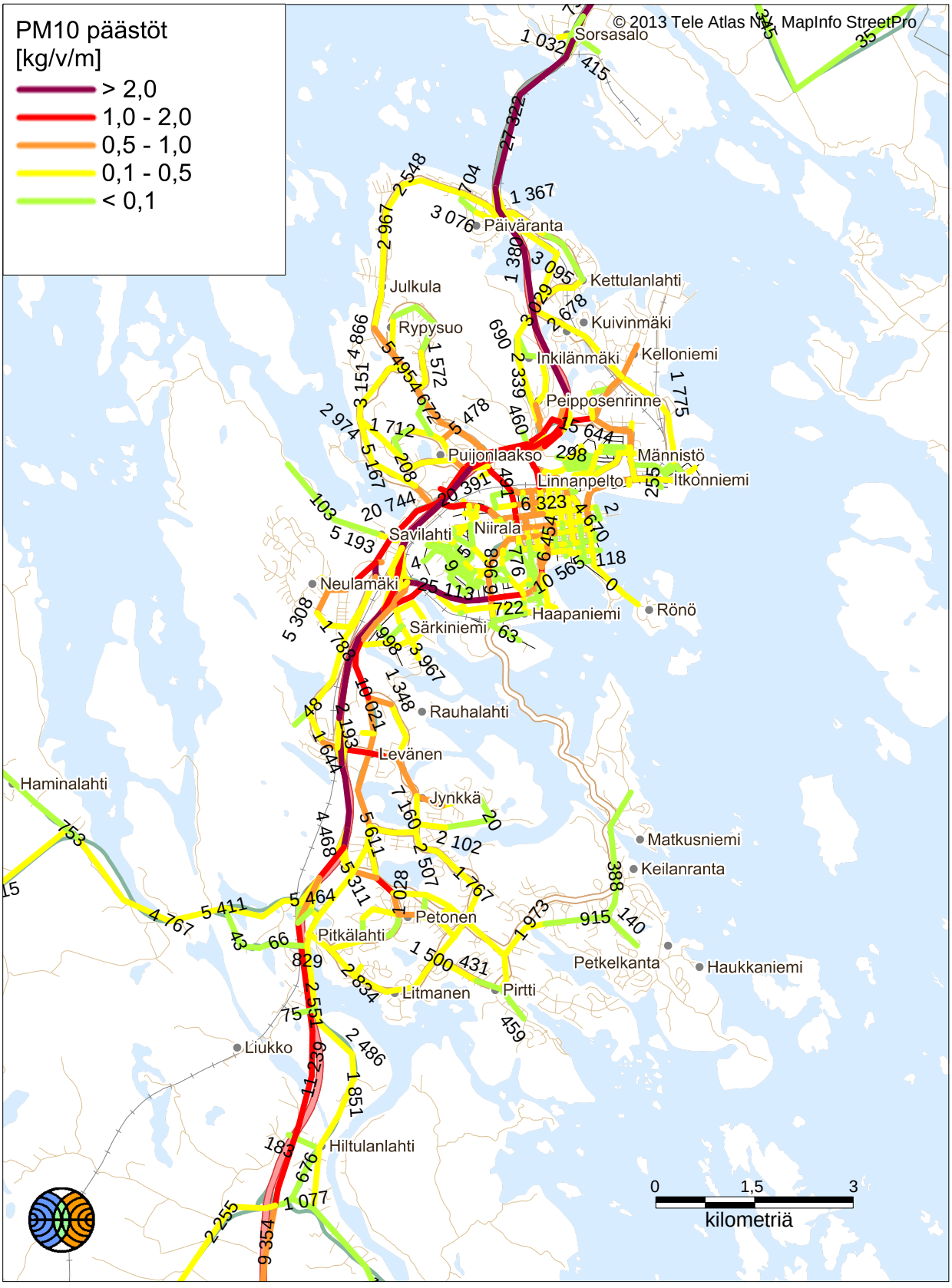
LIITEKUVAT

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.

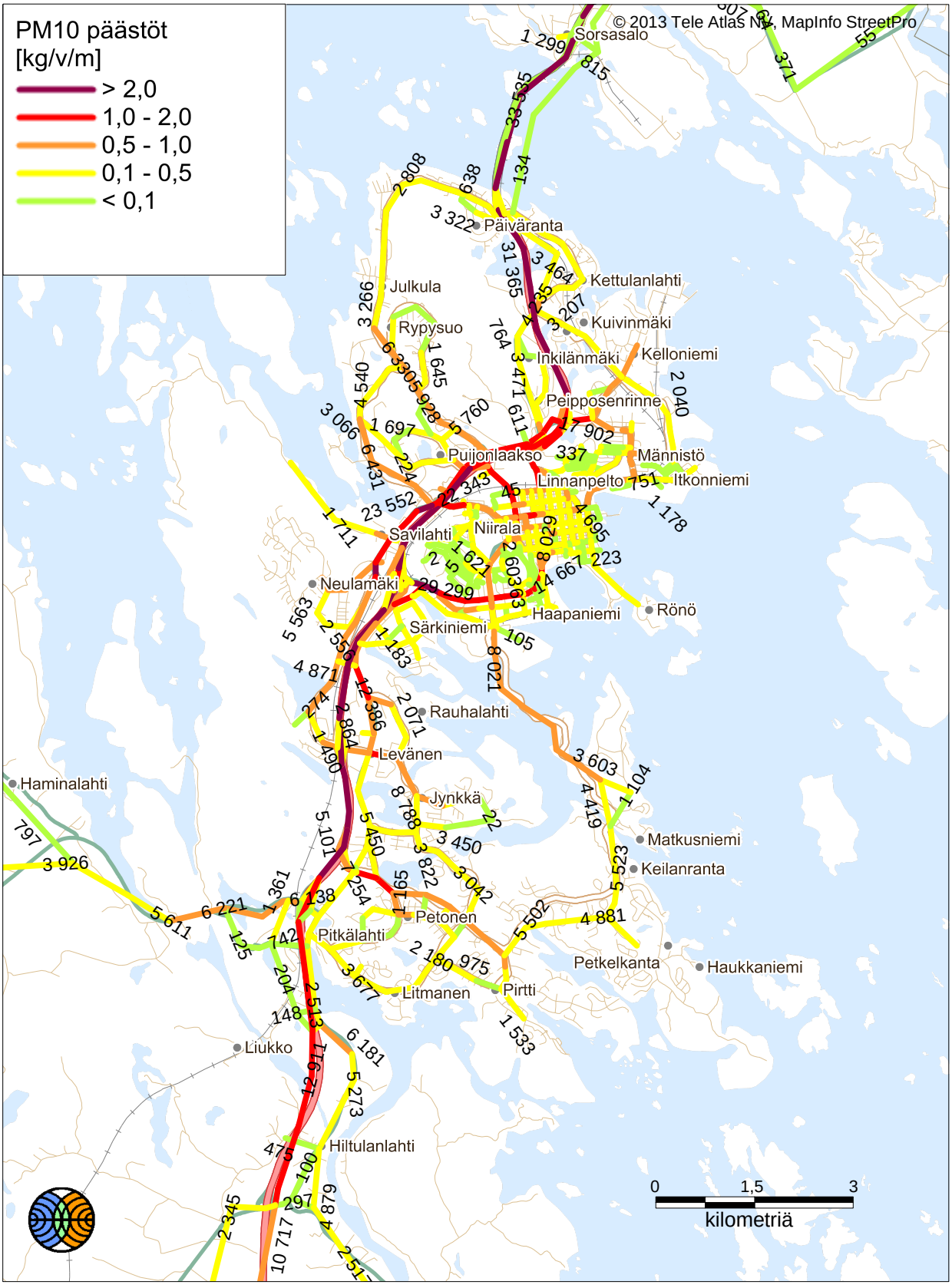
Pitoisuuksien aluejakaumissa esiintyy kohonneiden pitoisuuksien kielekkeitä, joiden sijaintiin vaikuttaa varsinkin tuulen pysyvyys pitkällä tarkastelujaksolla tietyssä ilmansuunnassa. Maanpinnan muodot voivat aiheuttaa aluejakaumiin erillisiä suppeita alueita, joissa pitoisuudet ovat joko korkeampia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

Energiantuotannon 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.



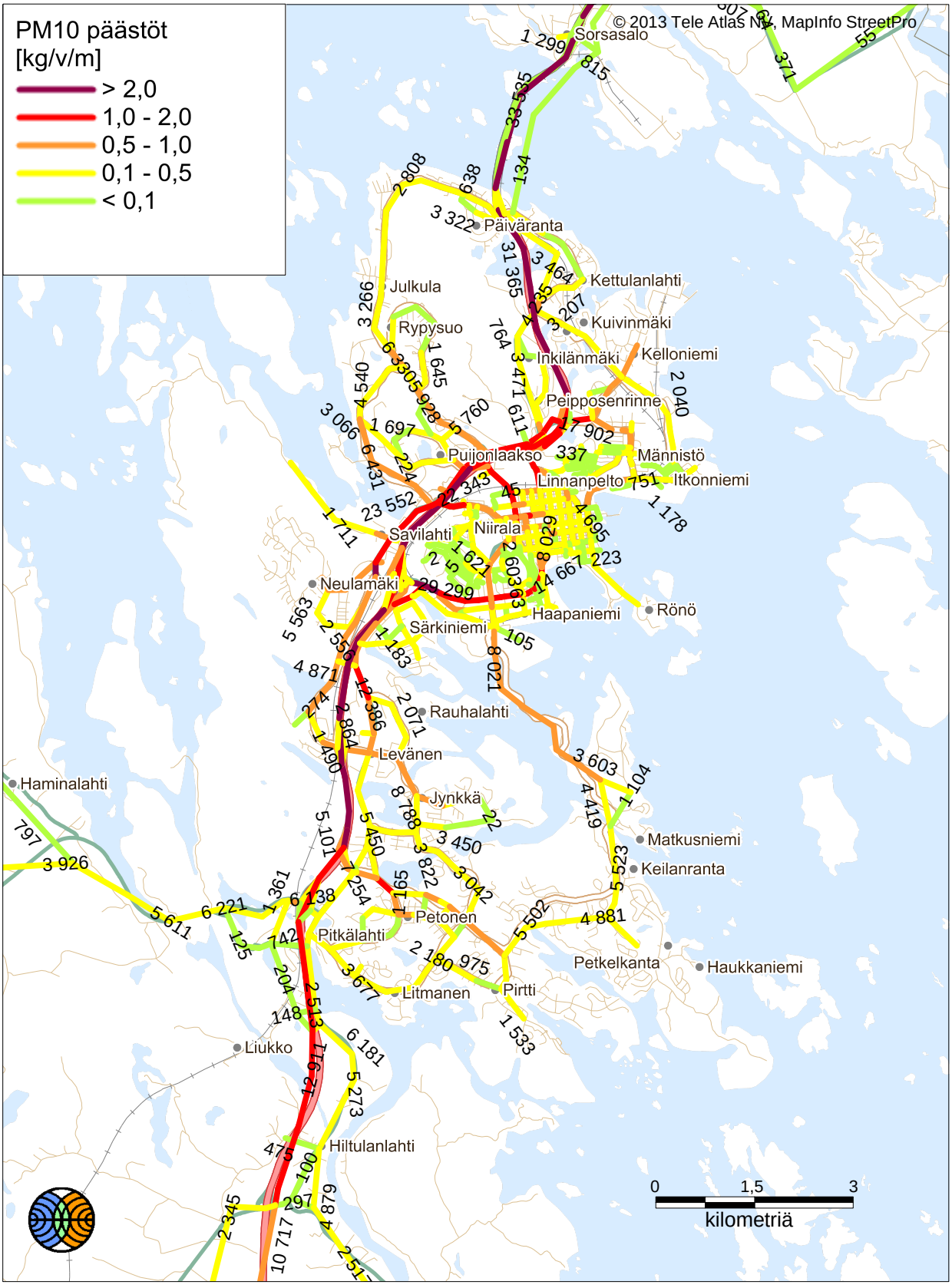
Ilmatieteen laitos 2013

Kuva 1. Liikenteen PM10-päästöt (kg/v/m) ja keskimääräiset vuorokausiliikennemäärät vuonna 2005.



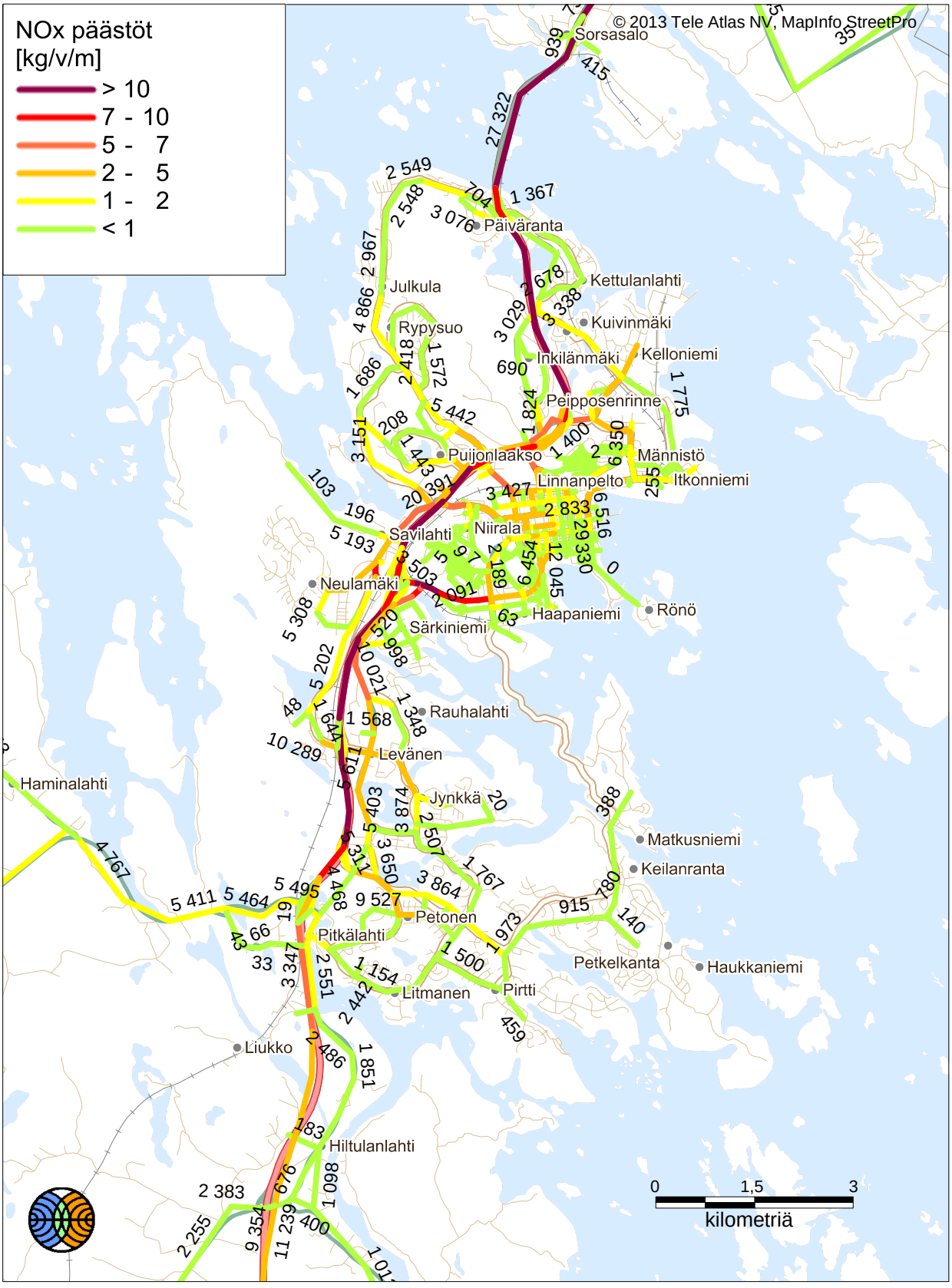
Ilmatieteen laitos 2013

Kuva 2. Liikenteen Euro4-standardin mukaiset PM10-päästöt (kg/v/m) ja keskimääräiset vuorokausiliikennemäärät vuonna 2020.



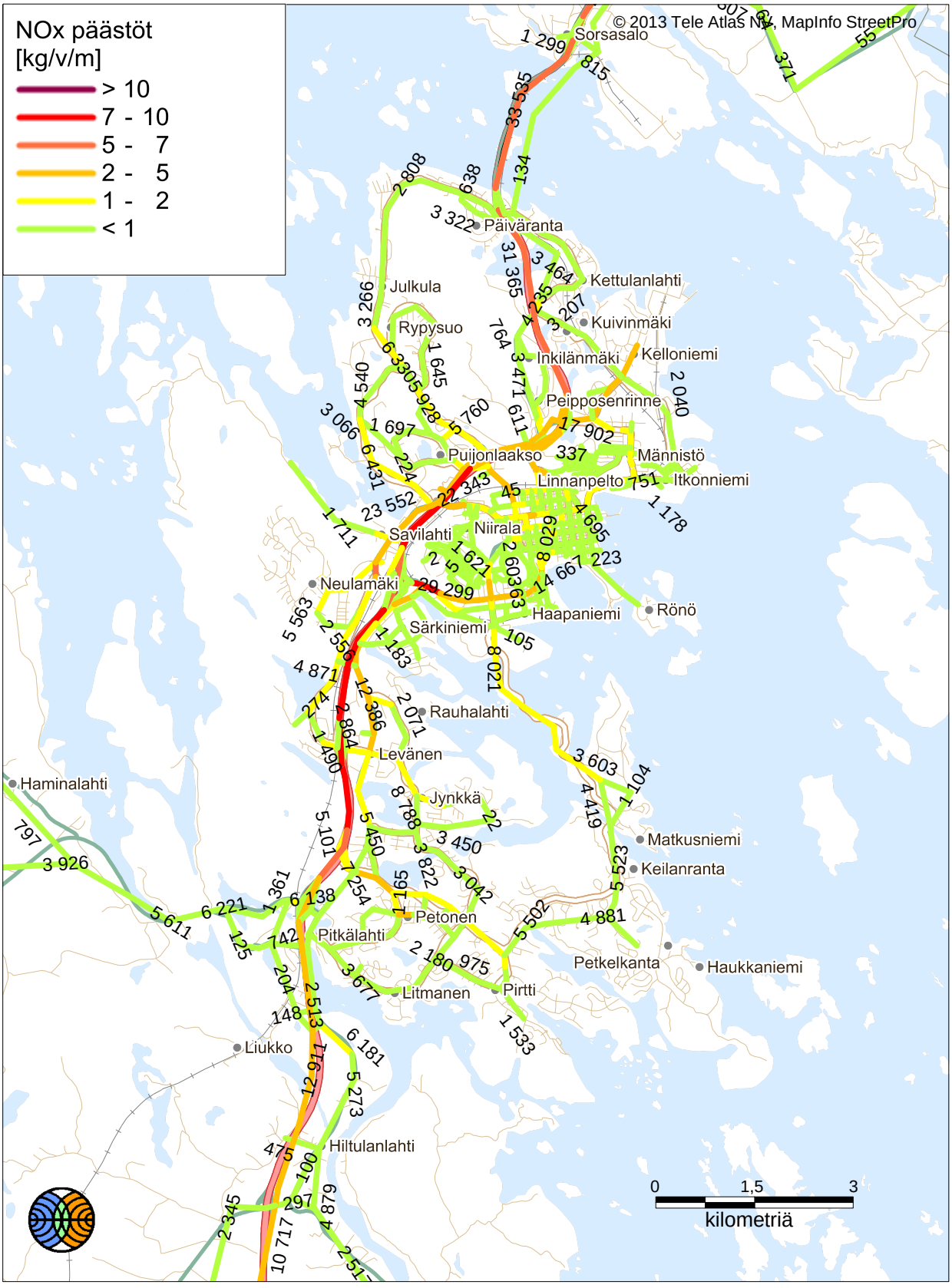
Ilmatieteen laitos 2013

Kuva 3. Liikenteen Euro5-standardin mukaiset PM10-päästöt (kg/v/m) ja keskimääräiset vuorokausiliikennemäärät vuonna 2020.



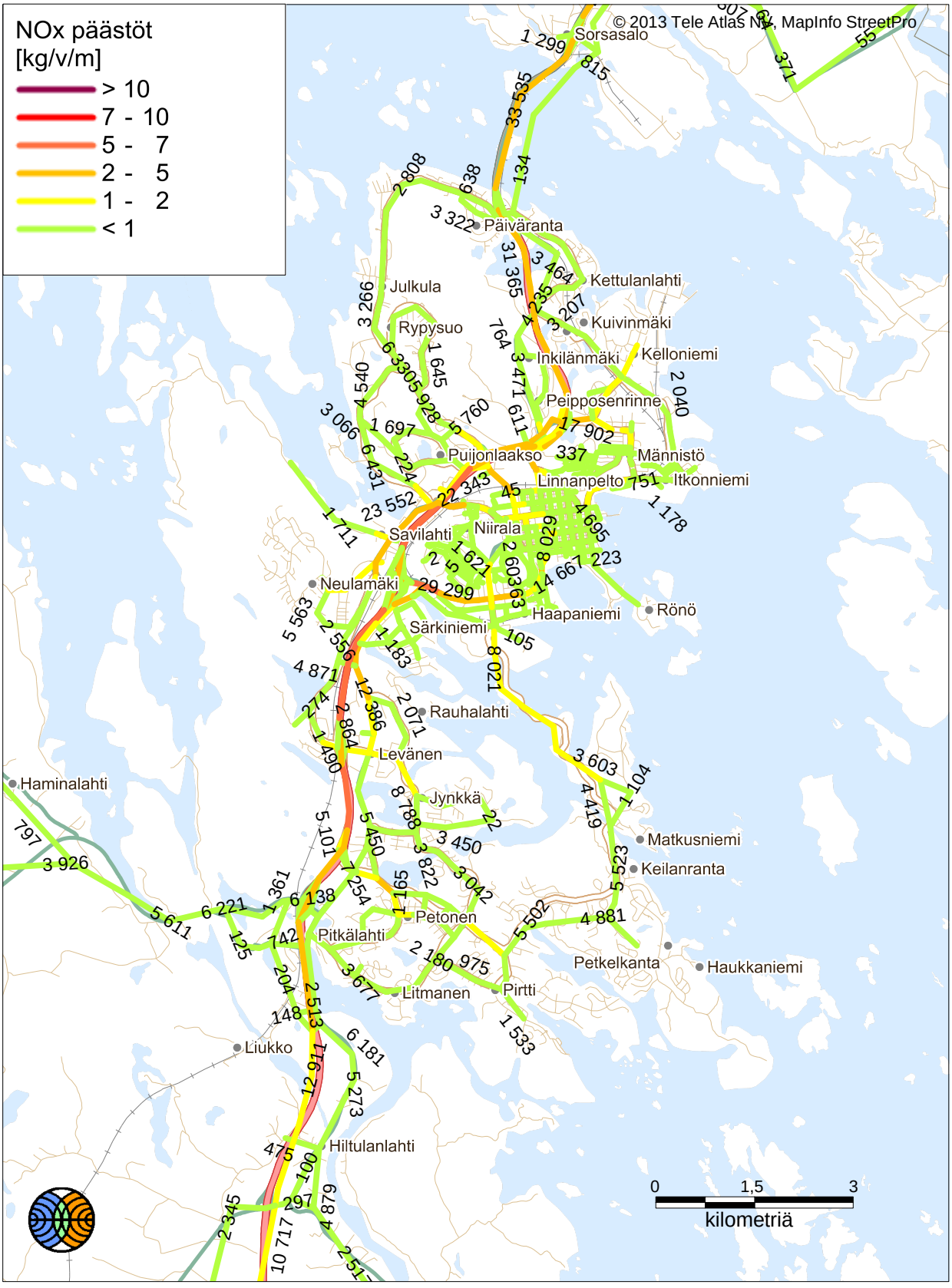
Ilmatieteen laitos 2013

Kuva 4. Liikenteen NOX-päästöt (kg/v/m) ja keskimääräiset vuorokausiliikennemäärät vuonna 2006.



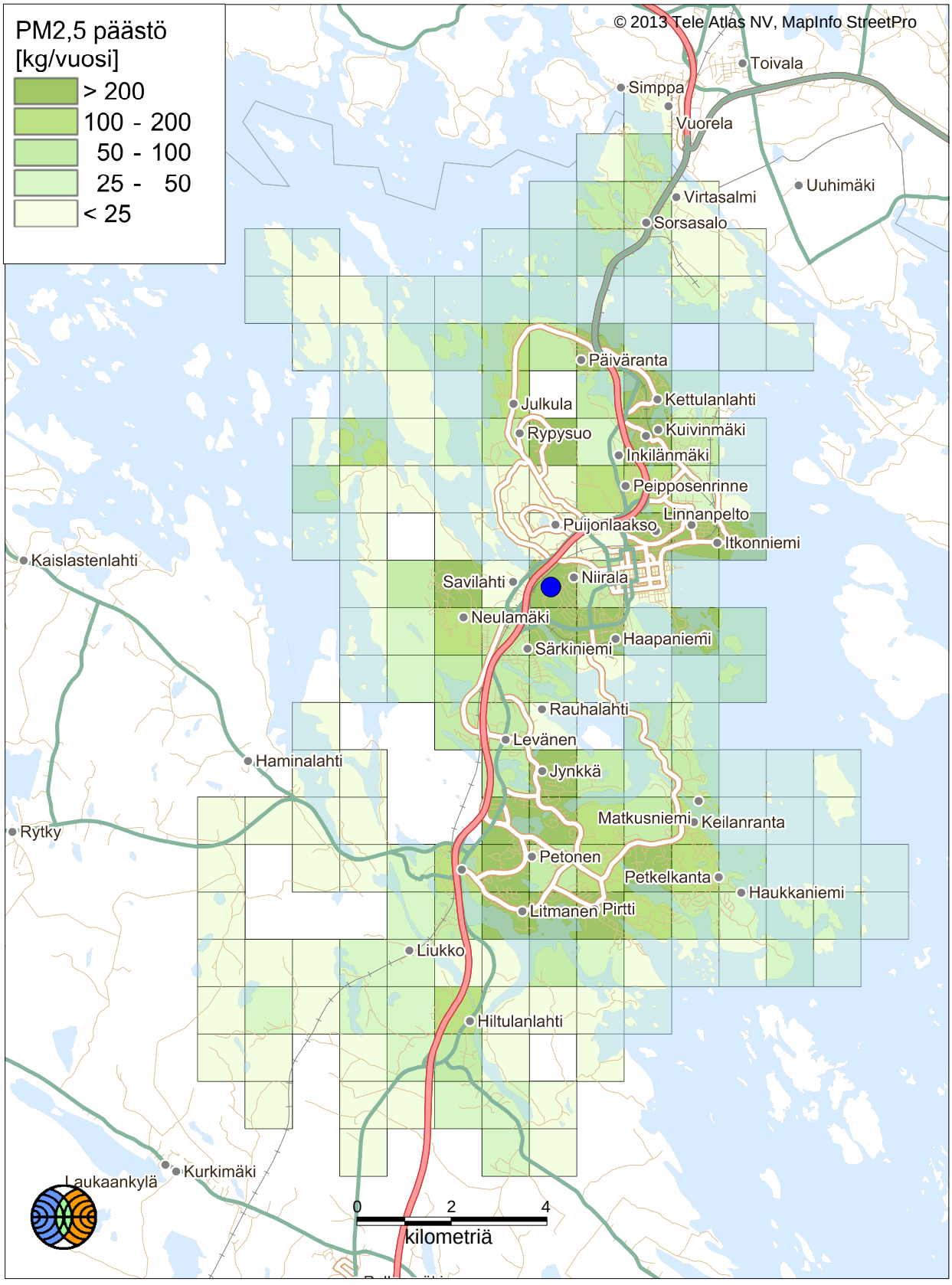
Ilmatieteen laitos 2013

Kuva 5. Liikenteen Euro4-standardin mukaiset NOX-päästöt (kg/v/m) ja keskimääräiset vuorokausiliikennemäärät vuonna 2020.



Ilmatieteen laitos 2013

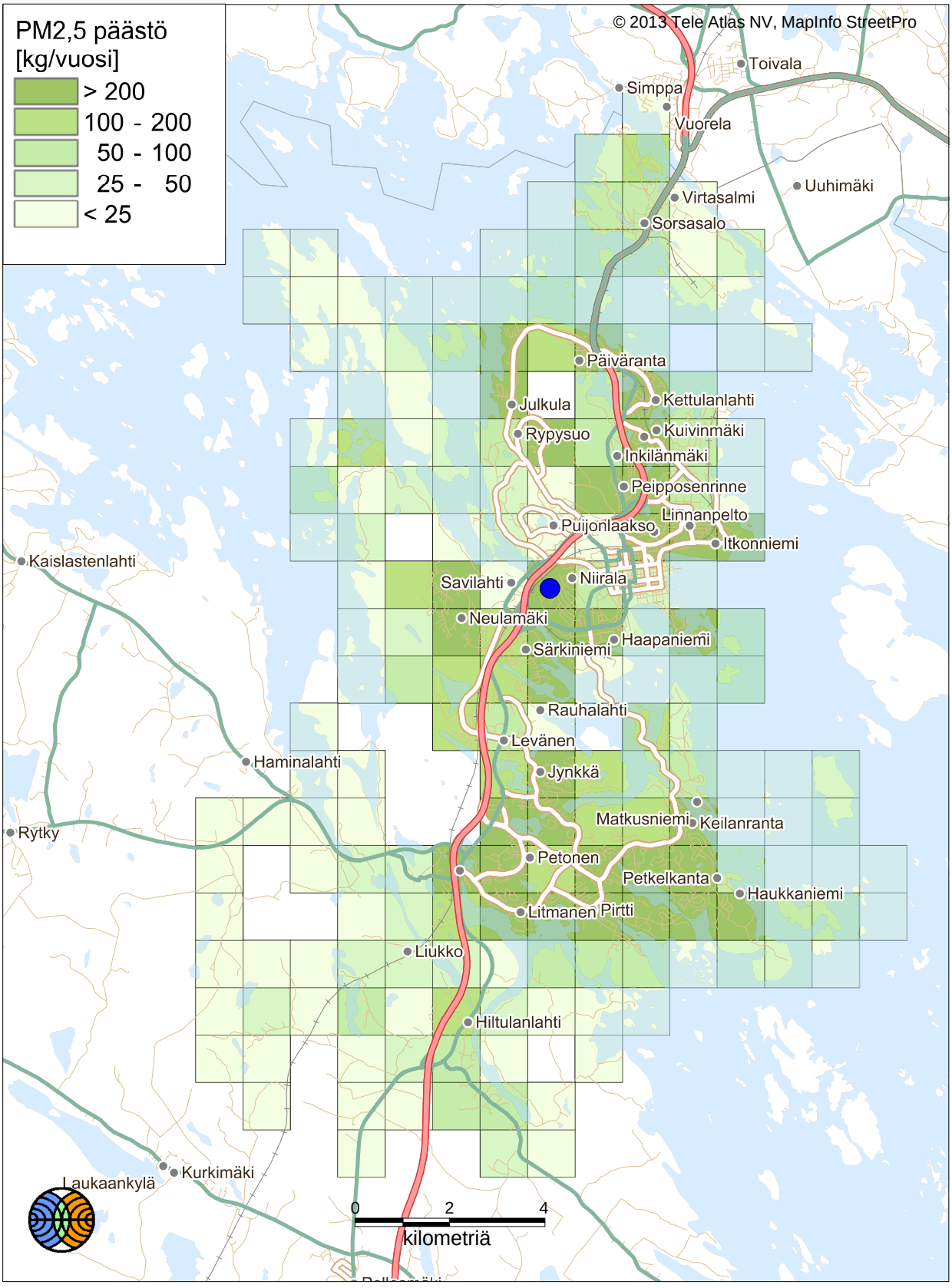
Kuva 6. Liikenteen Euro5-standardin mukaiset NOX-päästöt (kg/v/m) ja keskimääräiset vuorokausiliikennemäärät vuonna 2020.



Ilmatieteen laitos 2013

● = maksimi = 570 µg/m³

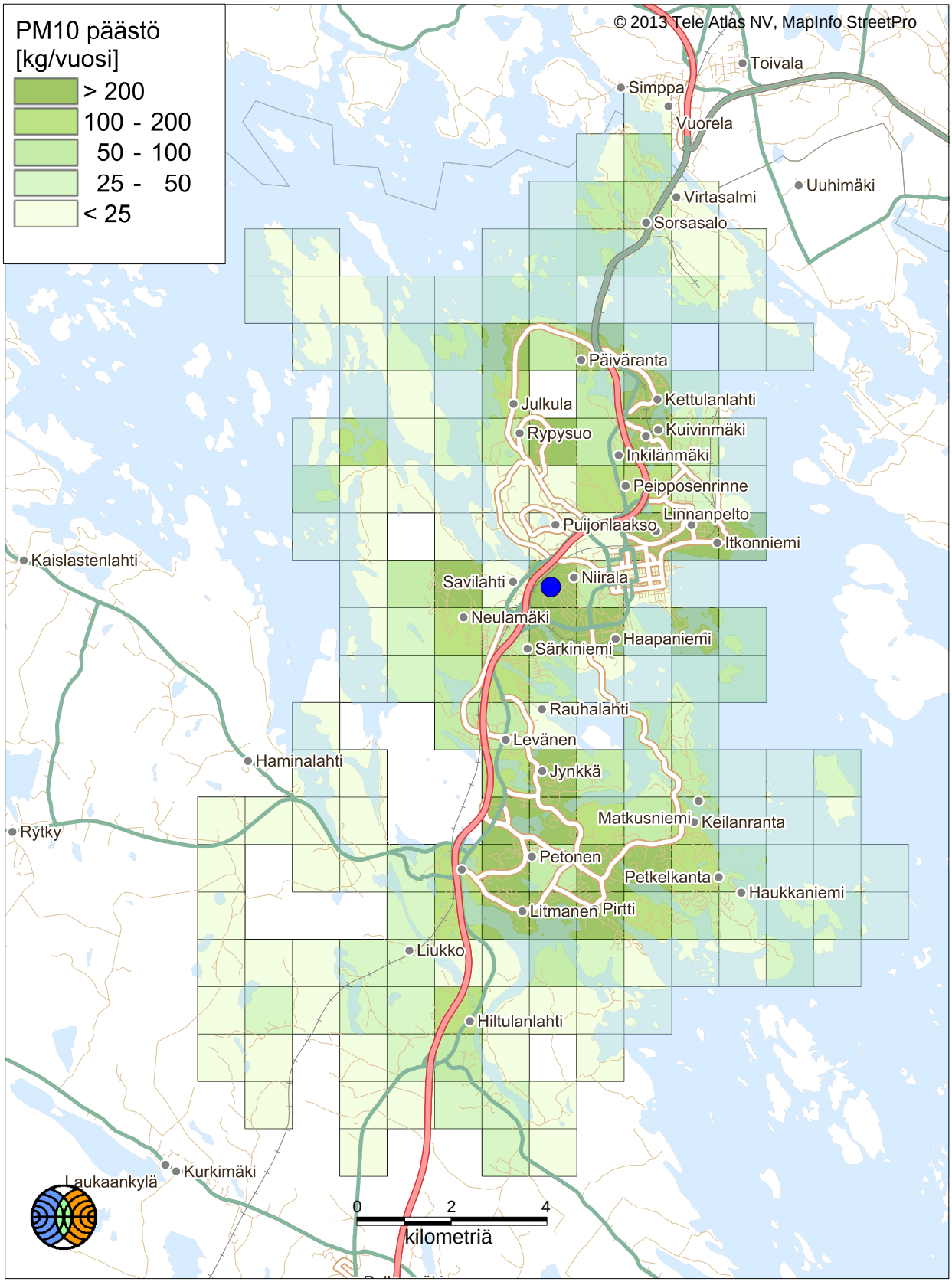
Kuva 7. Kiinteistökohtaisen lämmityksen pienhiukkaspäästöt (kg/vuosi) vuonna 2010.



Ilmatieteen laitos 2013

● = maksimi = 930 µg/m³

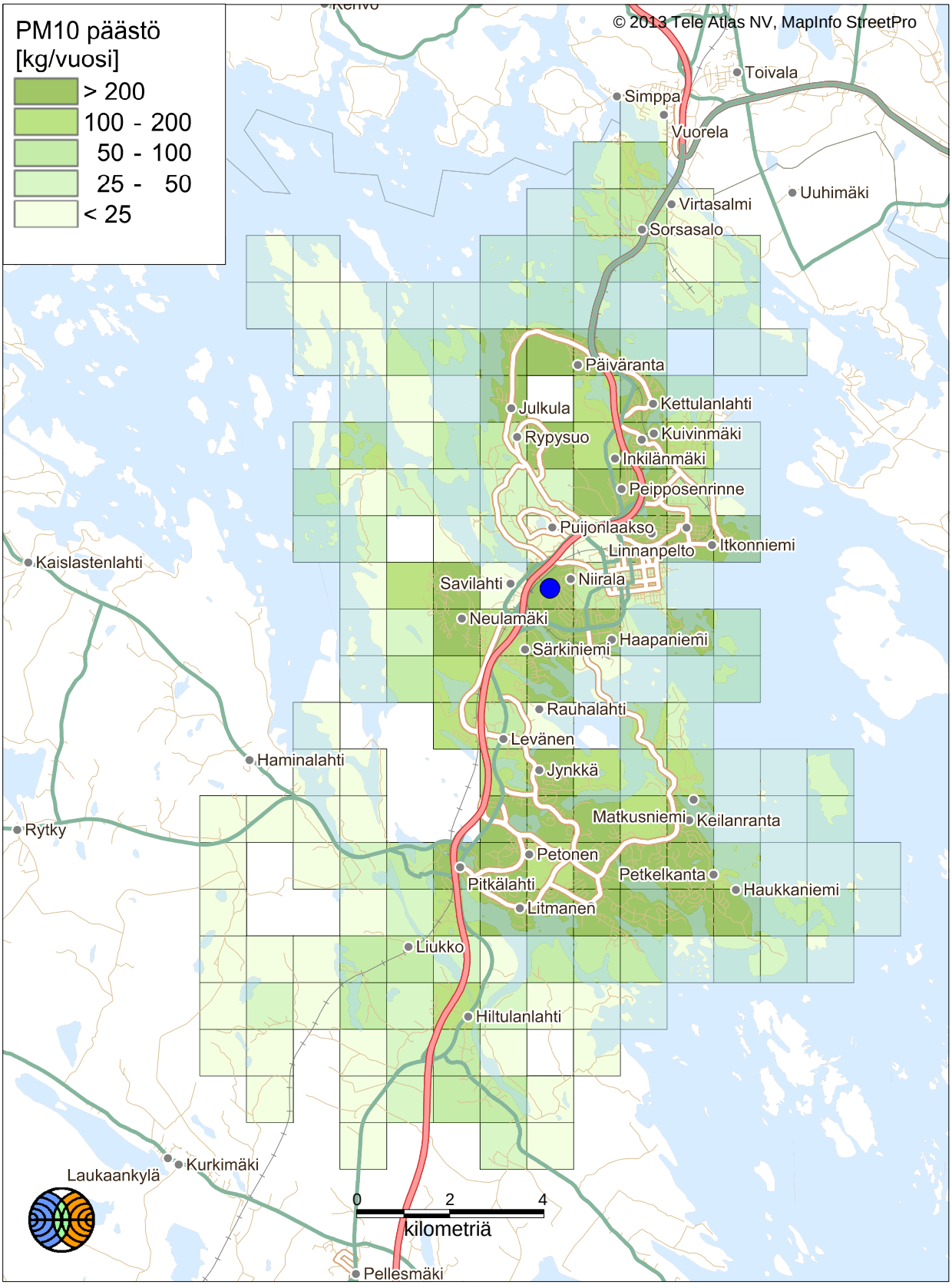
Kuva 8. Kiinteistökohtaisen lämmityksen pienhiukkaspäästöt (kg/vuosi) vuonna 2020.



Ilmatieteen laitos 2013

● = maksimi = 620 µg/m³

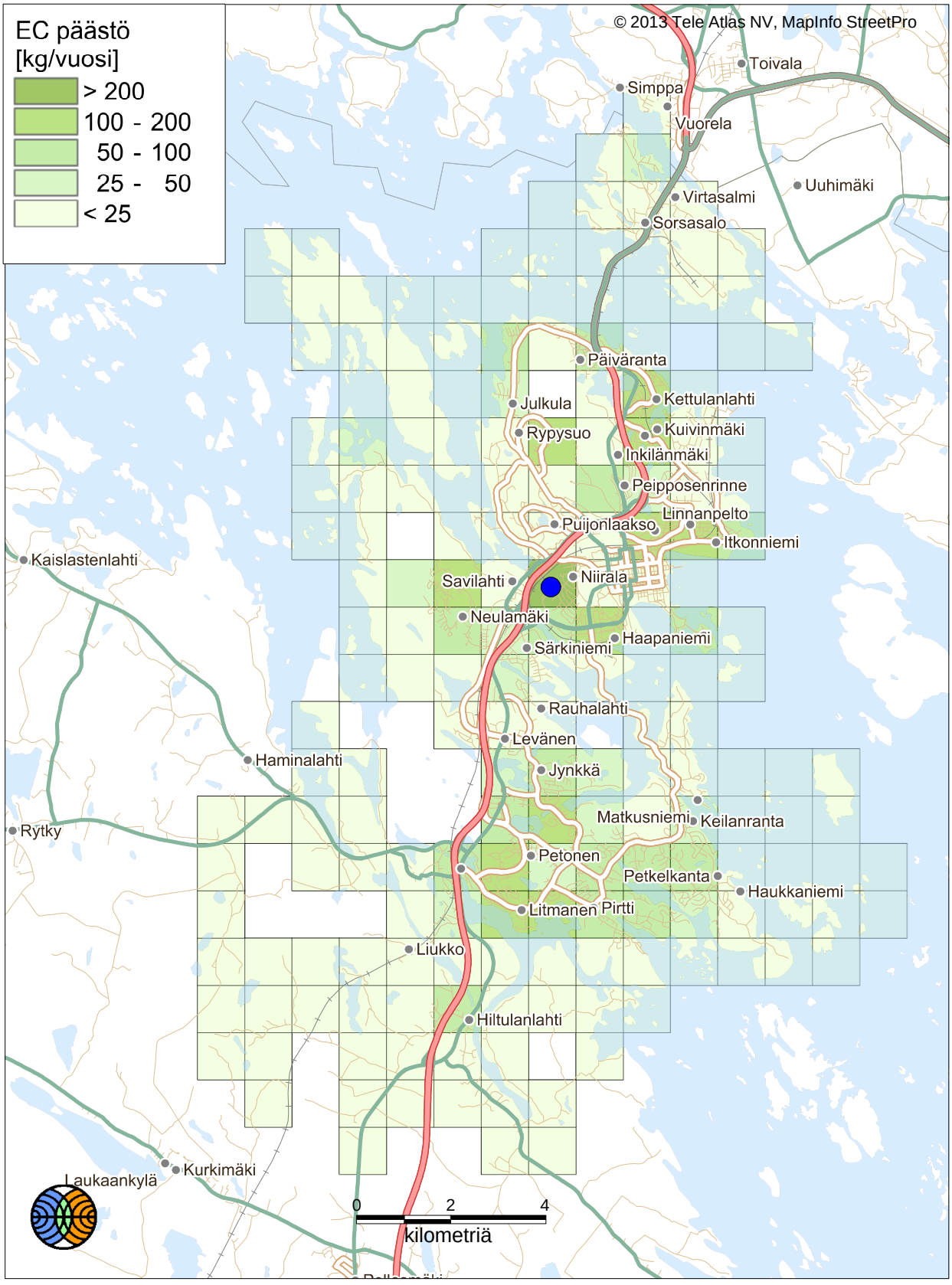
Kuva 9. Kiinteistökohtaisen lämmityksen hengitettävien hiukkasten päästöt (kg/vuosi) vuonna 2010.



Ilmatieteen laitos 2013

● = maksimi = 1 020 µg/m³

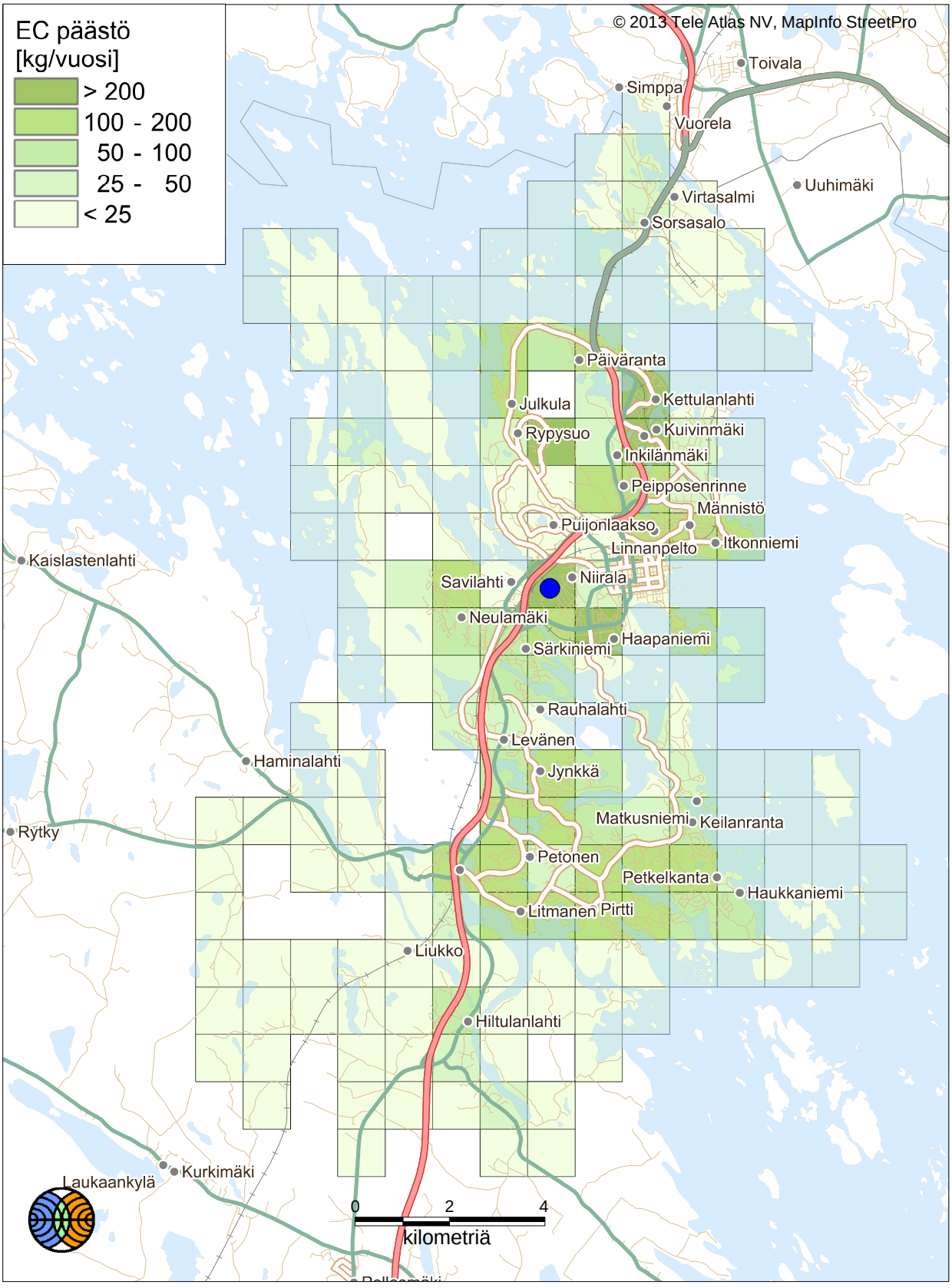
Kuva 10. Kiinteistökohtaisen lämmityksen hengitettävien hiukkasten päästöt (kg/vuosi) vuonna 2020.



Ilmatieteen laitos 2013

● = maksimi = 210 µg/m³

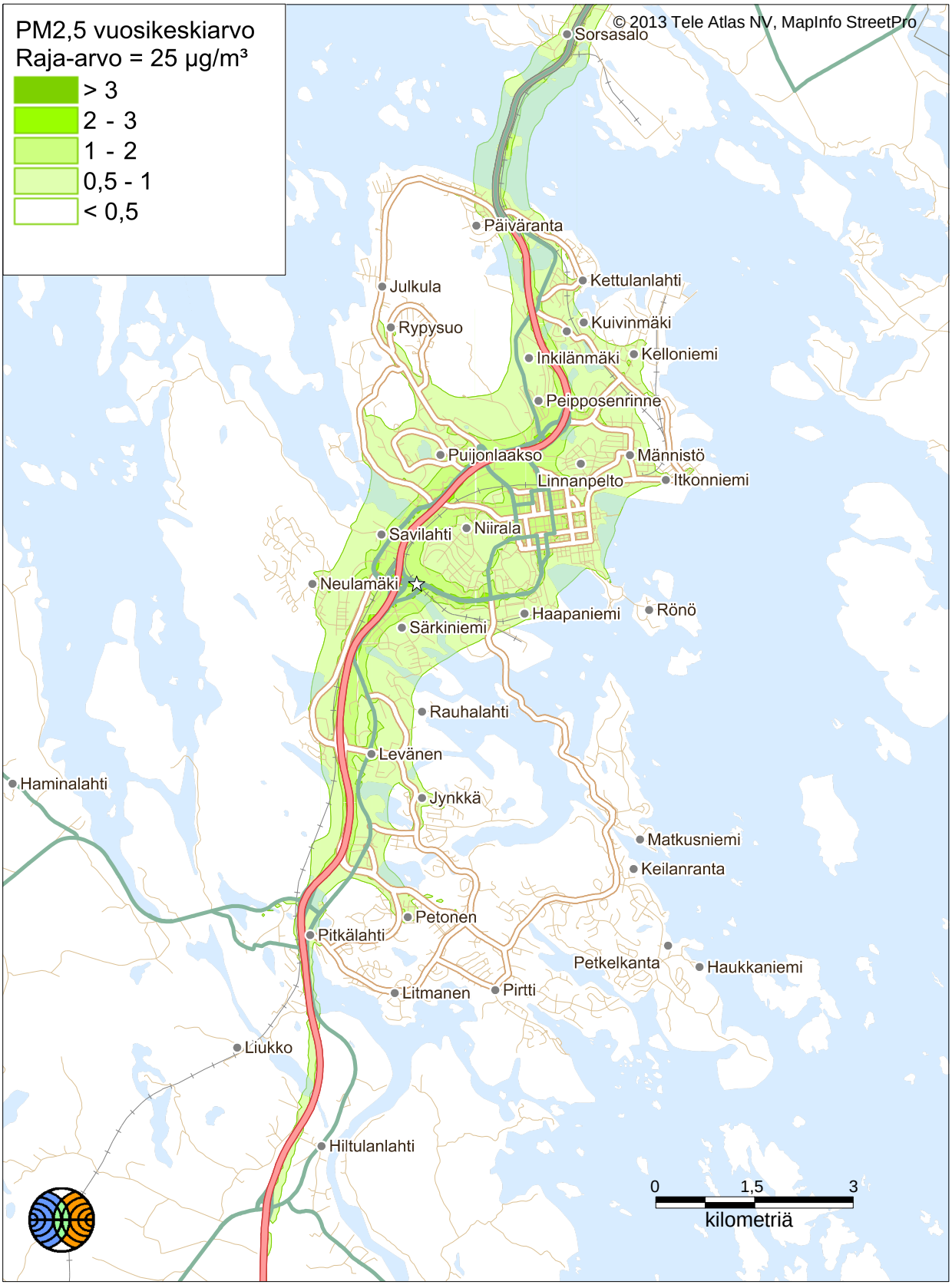
Kuva 11. Kiinteistökohtaisen lämmityksen alkuainehiilen päästöt (kg/vuosi) vuonna 2010.



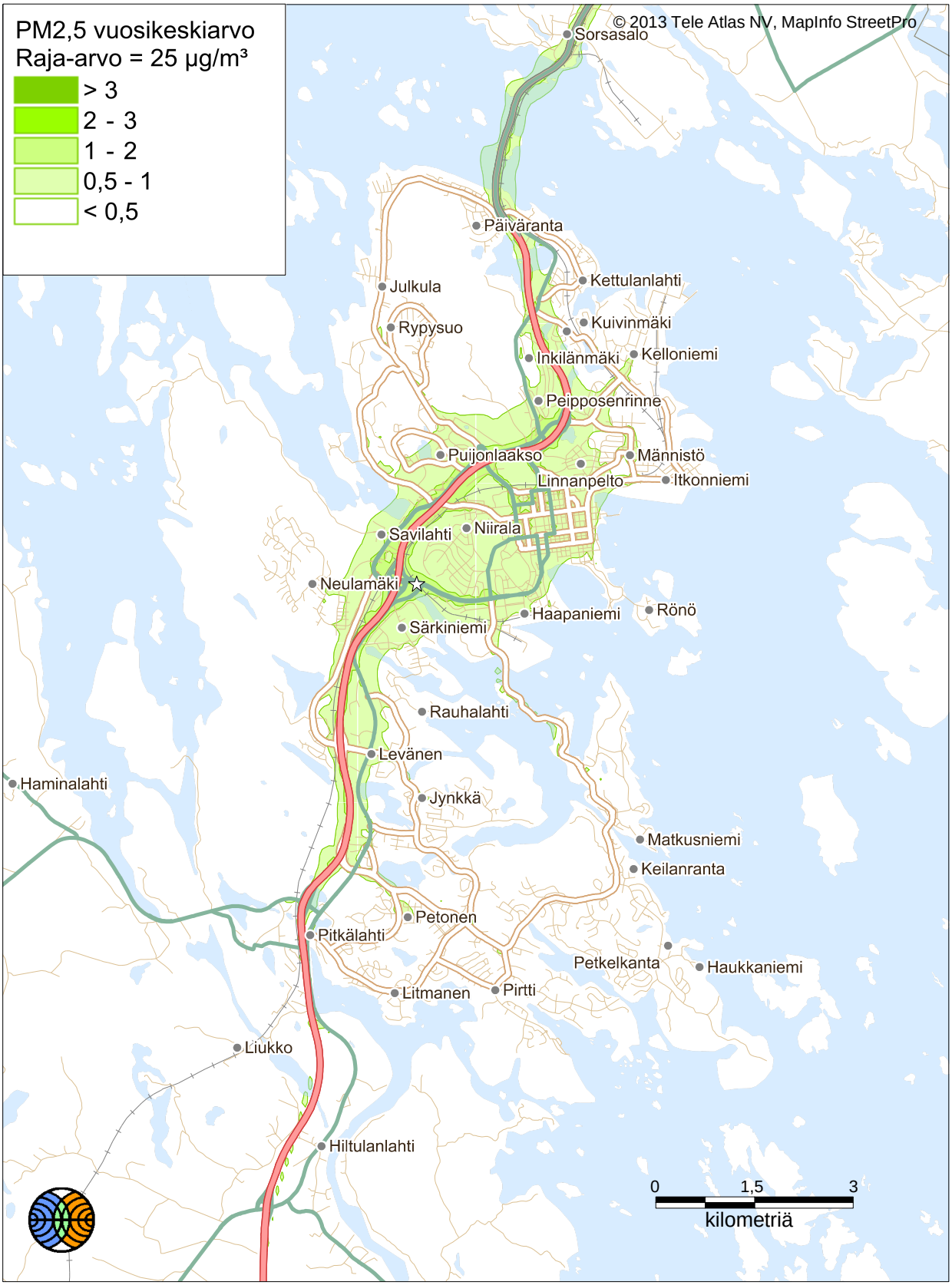
Ilmatieteen laitos 2013

● = maksimi = 380 µg/m³

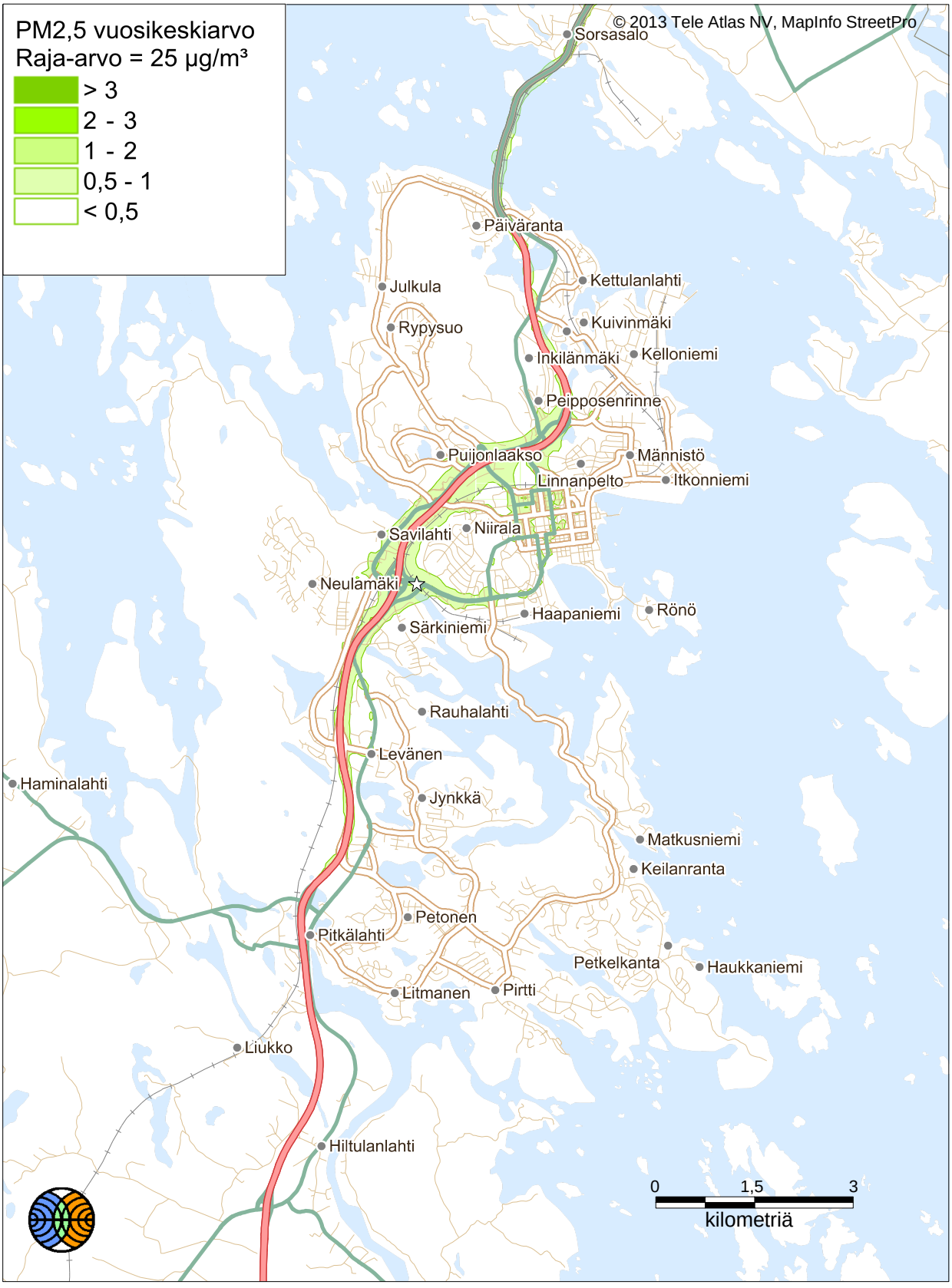
Kuva 12. Kiinteistökohtaisen lämmityksen alkuainehiilen päästöt (kg/vuosi) vuonna 2020.



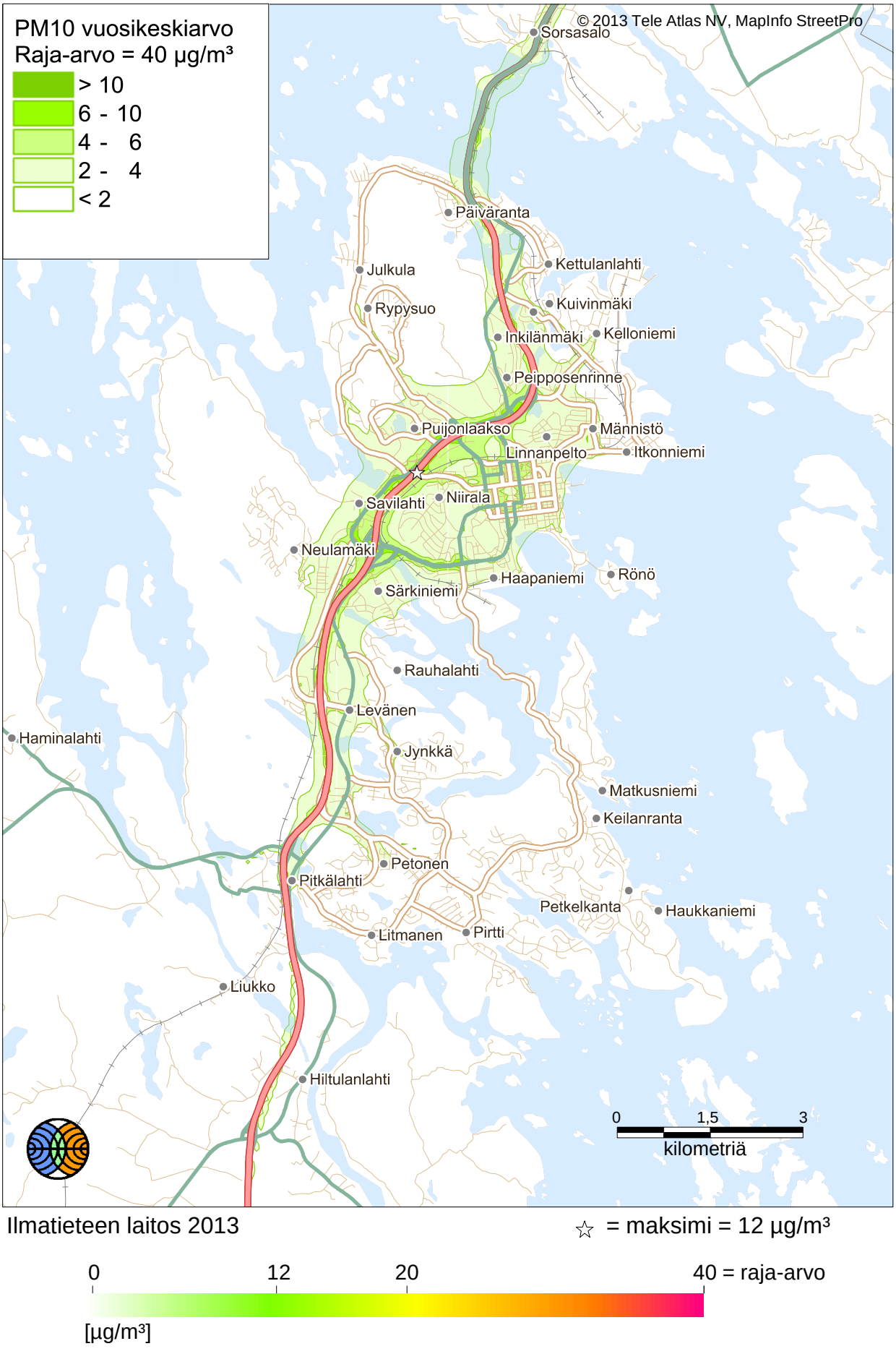
Kuva 13. Liikenteen päästöjen aiheuttama PM2,5 vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³) vuonna 2005.



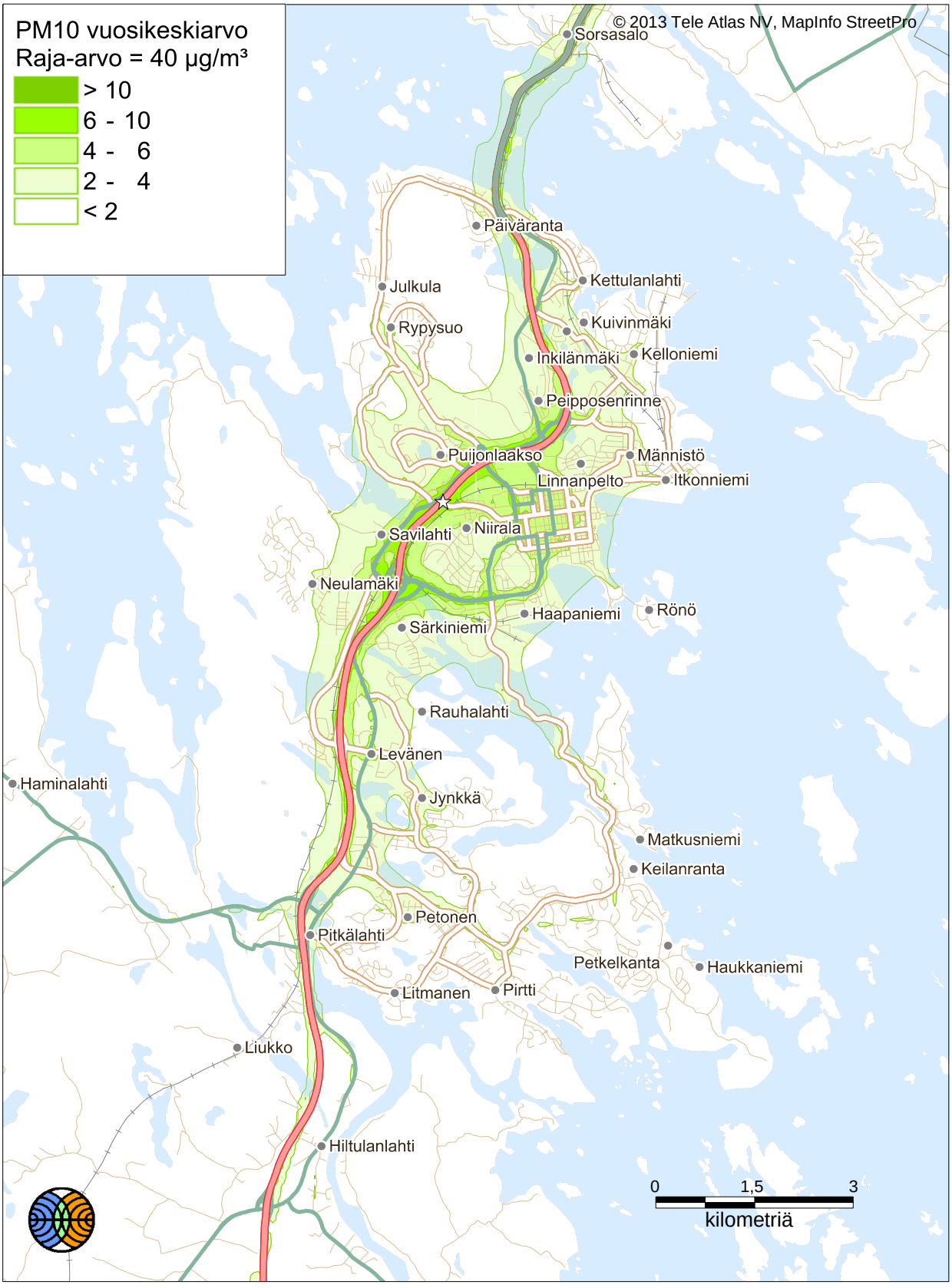
Kuva 14. Liikenteen Euro4-päästöjen aiheuttama PM2,5 vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³) vuonna 2020.



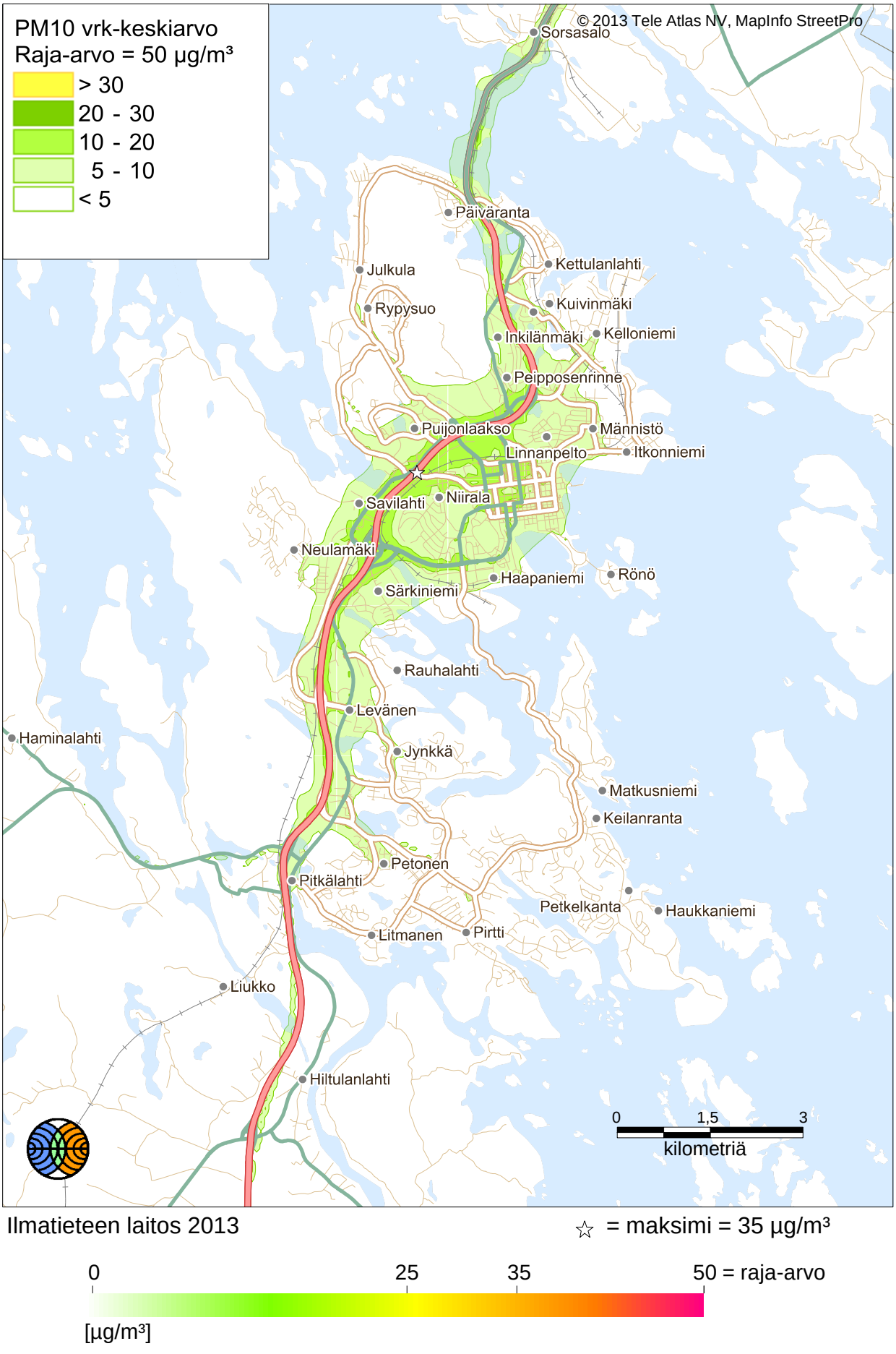
Kuva 15. Liikenteen Euro5-päästöjen aiheuttama PM2,5 vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³) vuonna 2020.



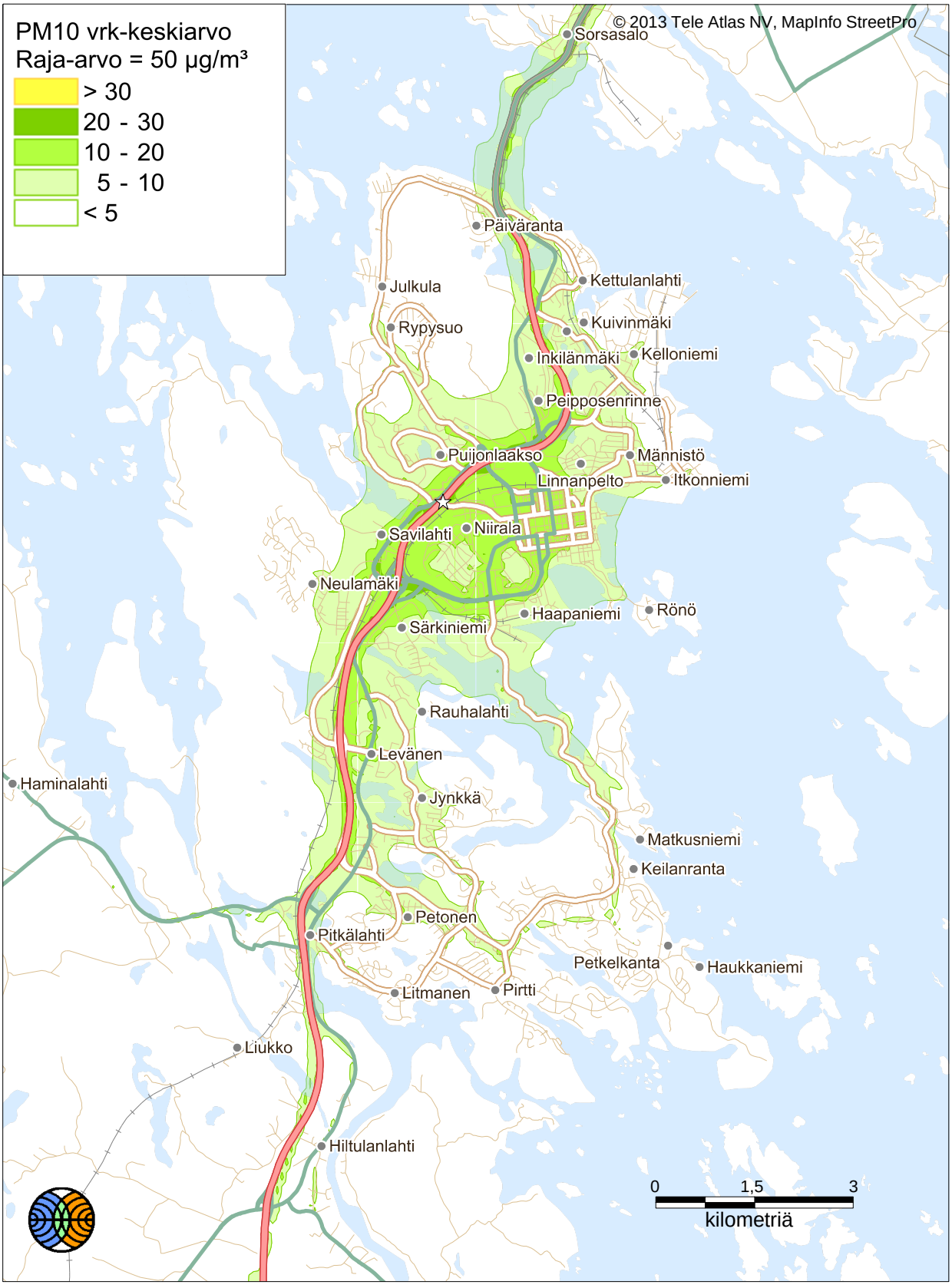
Kuva 16. Liikenteen suspensiopäästöjen aiheuttama PM10 vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³) vuonna 2005.



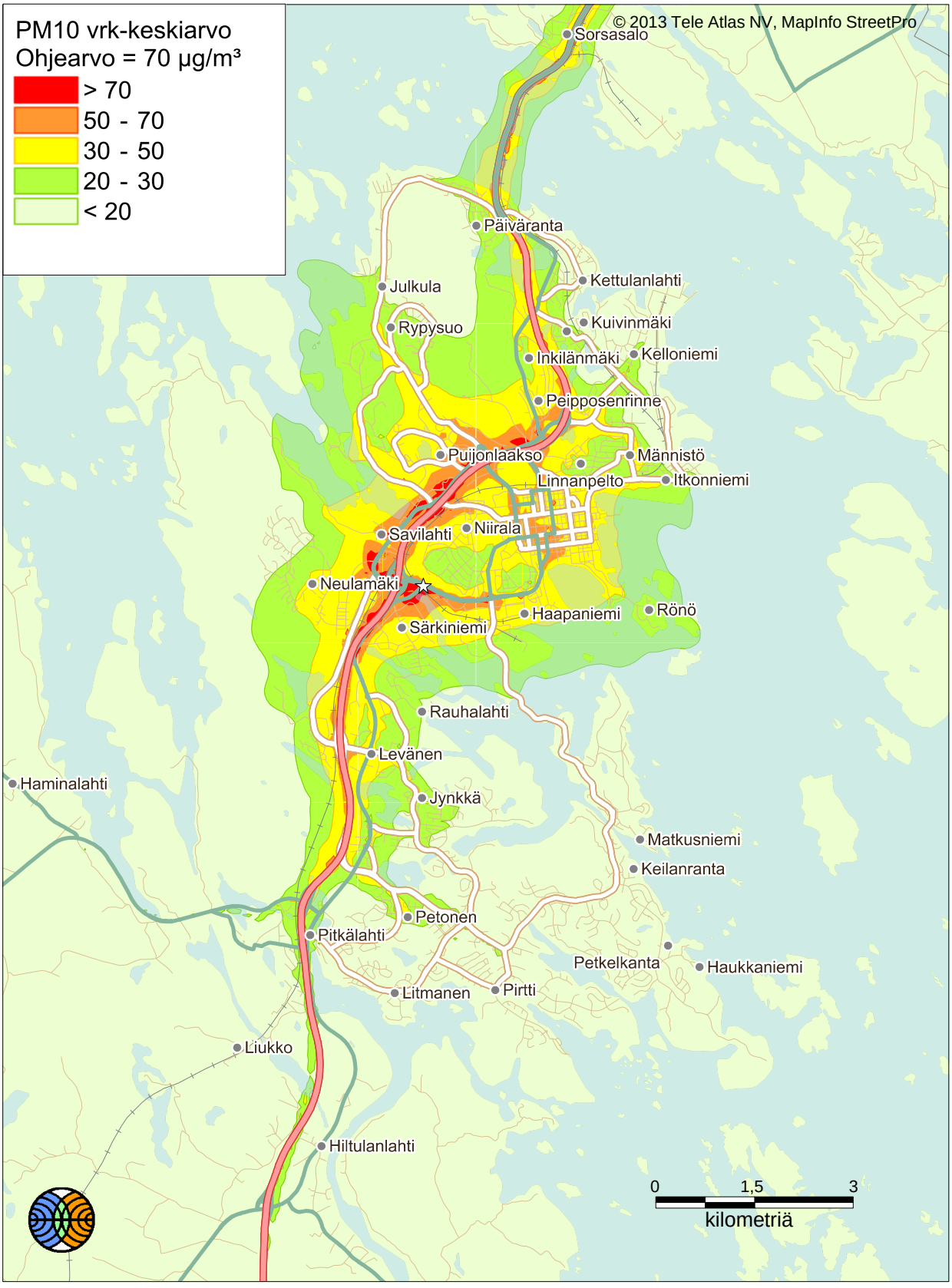
Kuva 17. Liikenteen suspensiopäästöjen aiheuttama PM10 vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³) vuonna 2020.



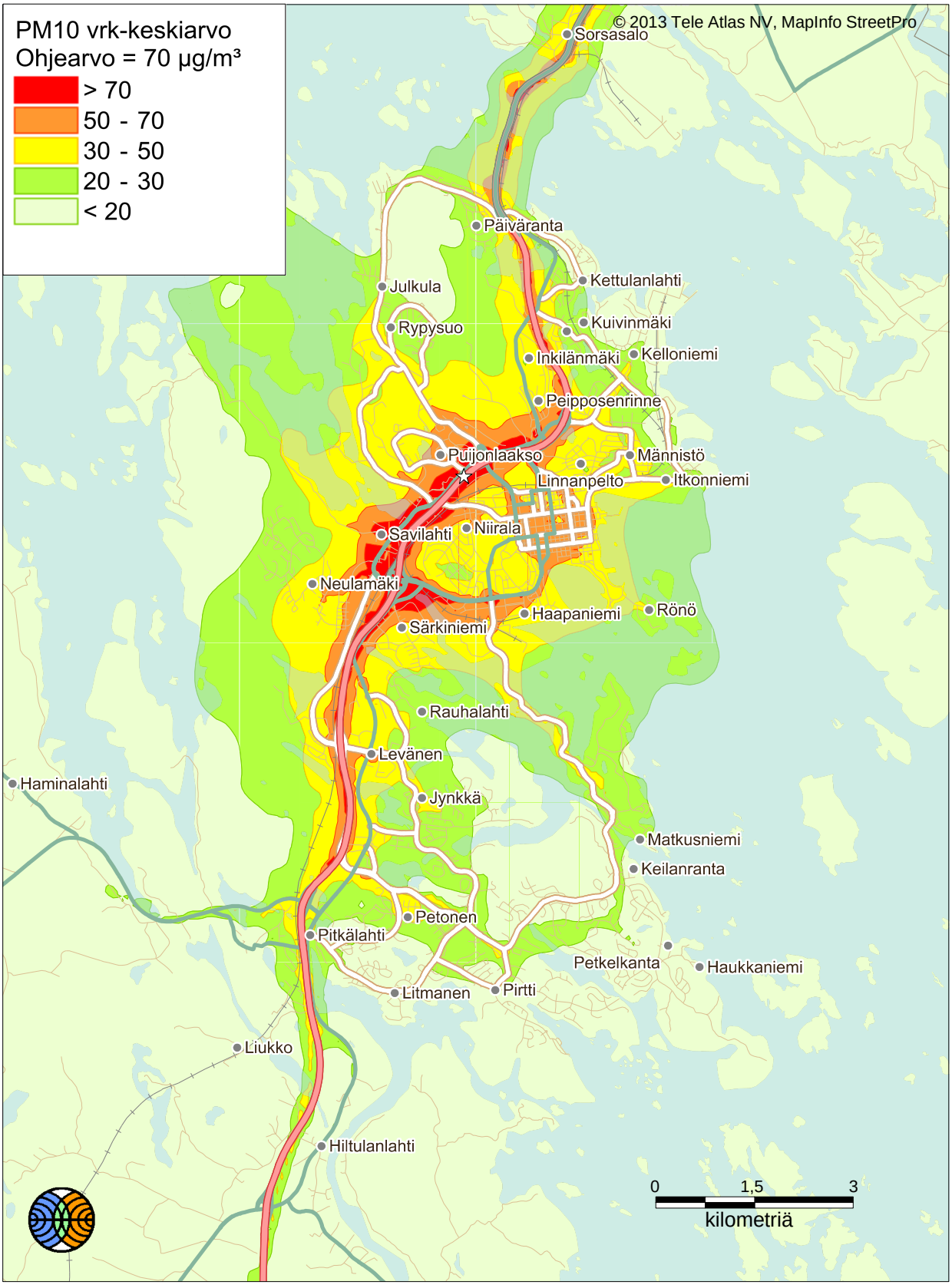
Kuva 18. Liikenteen suspensiopäästöjen aiheuttama PM10 vuorokausiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³) vuonna 2005.



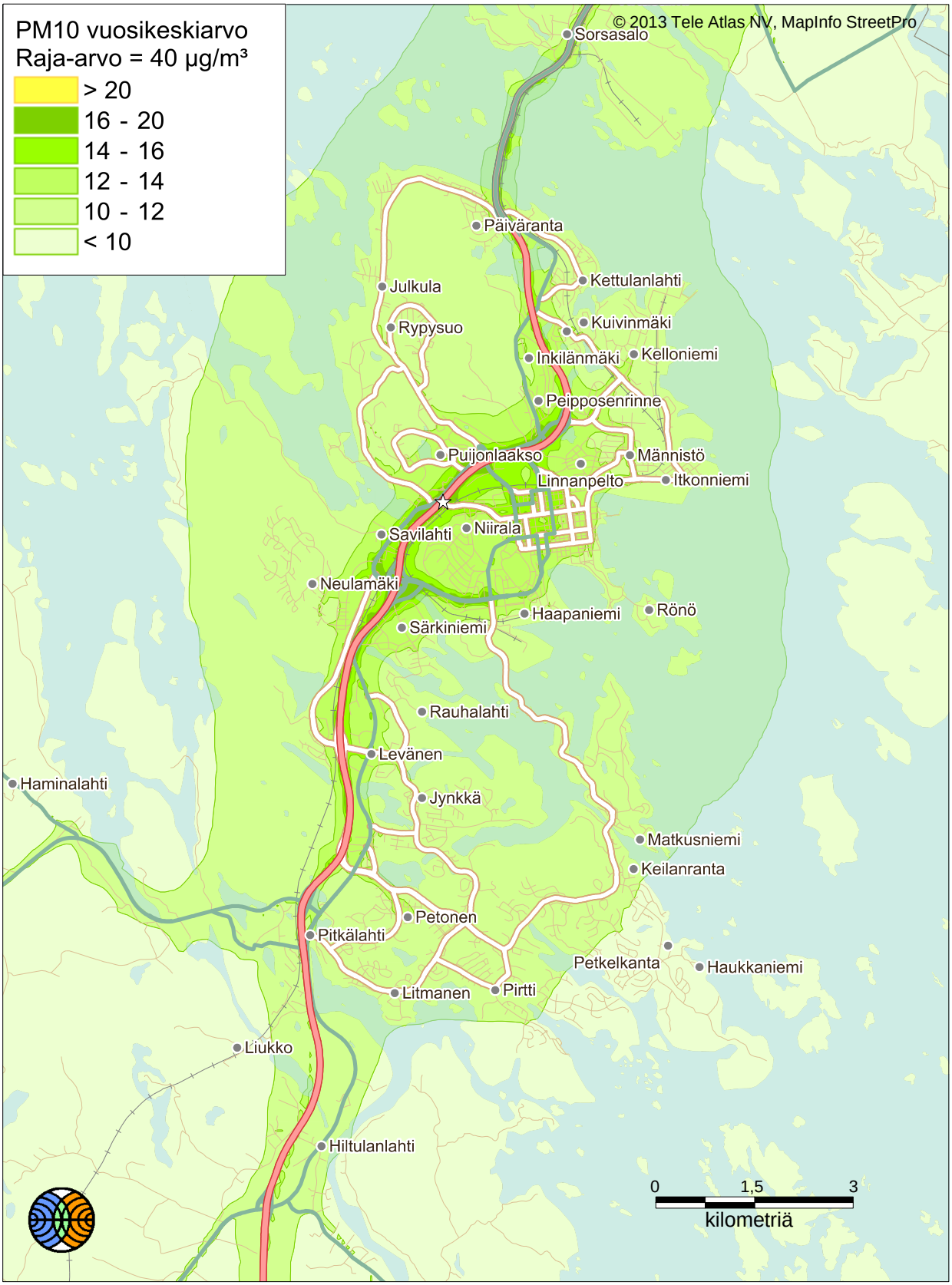
Kuva 19. Liikenteen suspensiopäästöjen aiheuttama PM10 vuorokausiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³) vuonna 2020.



Kuva 20. Liikenteen suspensiopäästöjen aiheuttama PM10 vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³) vuonna 2005.

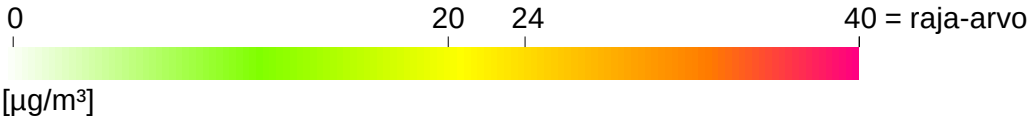


Kuva 21. Liikenteen suspensiopäästöjen aiheuttama PM10 vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³) vuonna 2020.



Ilmatieteen laitos 2013

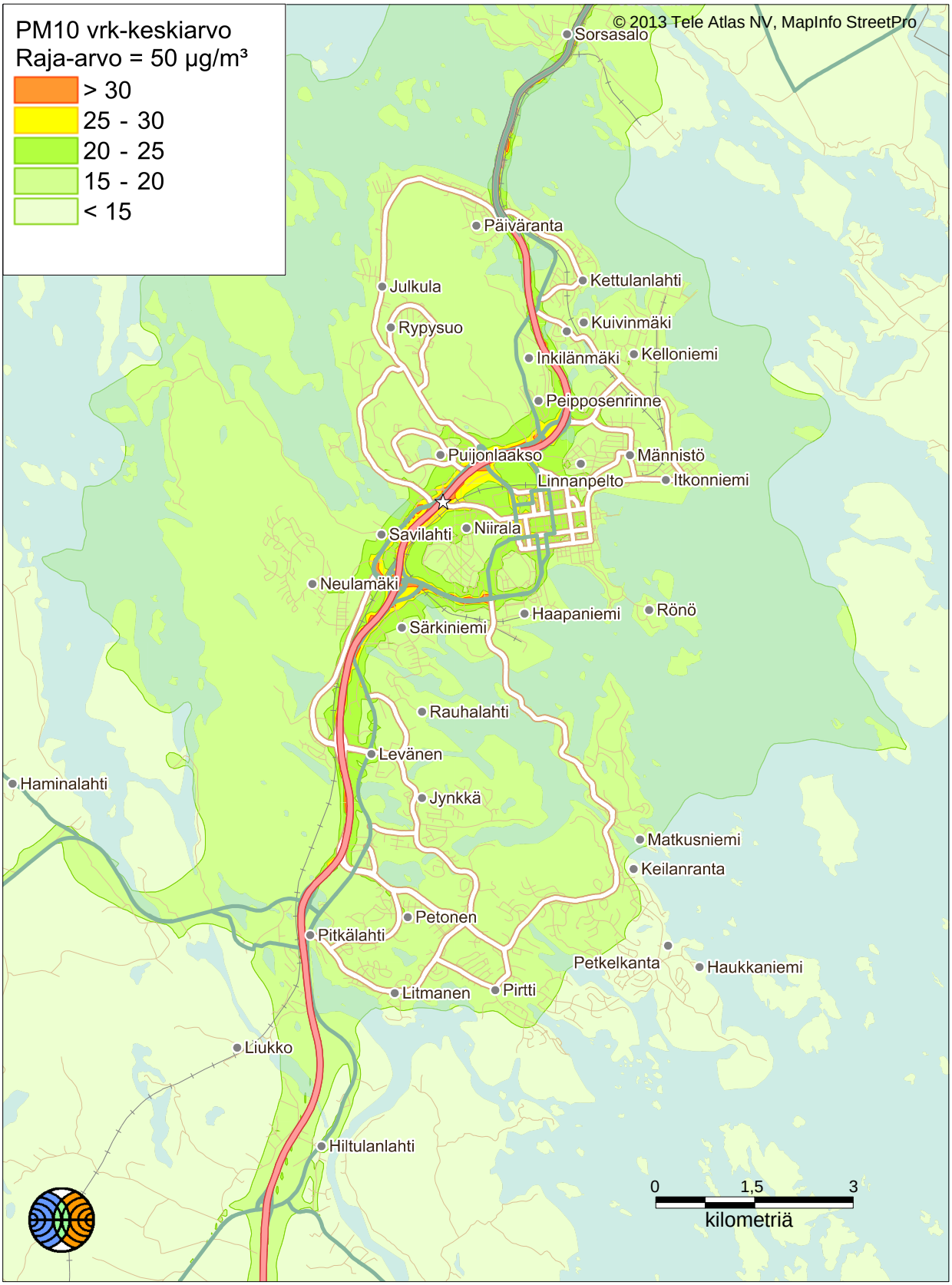
☆ = maksimi = 24 µg/m³



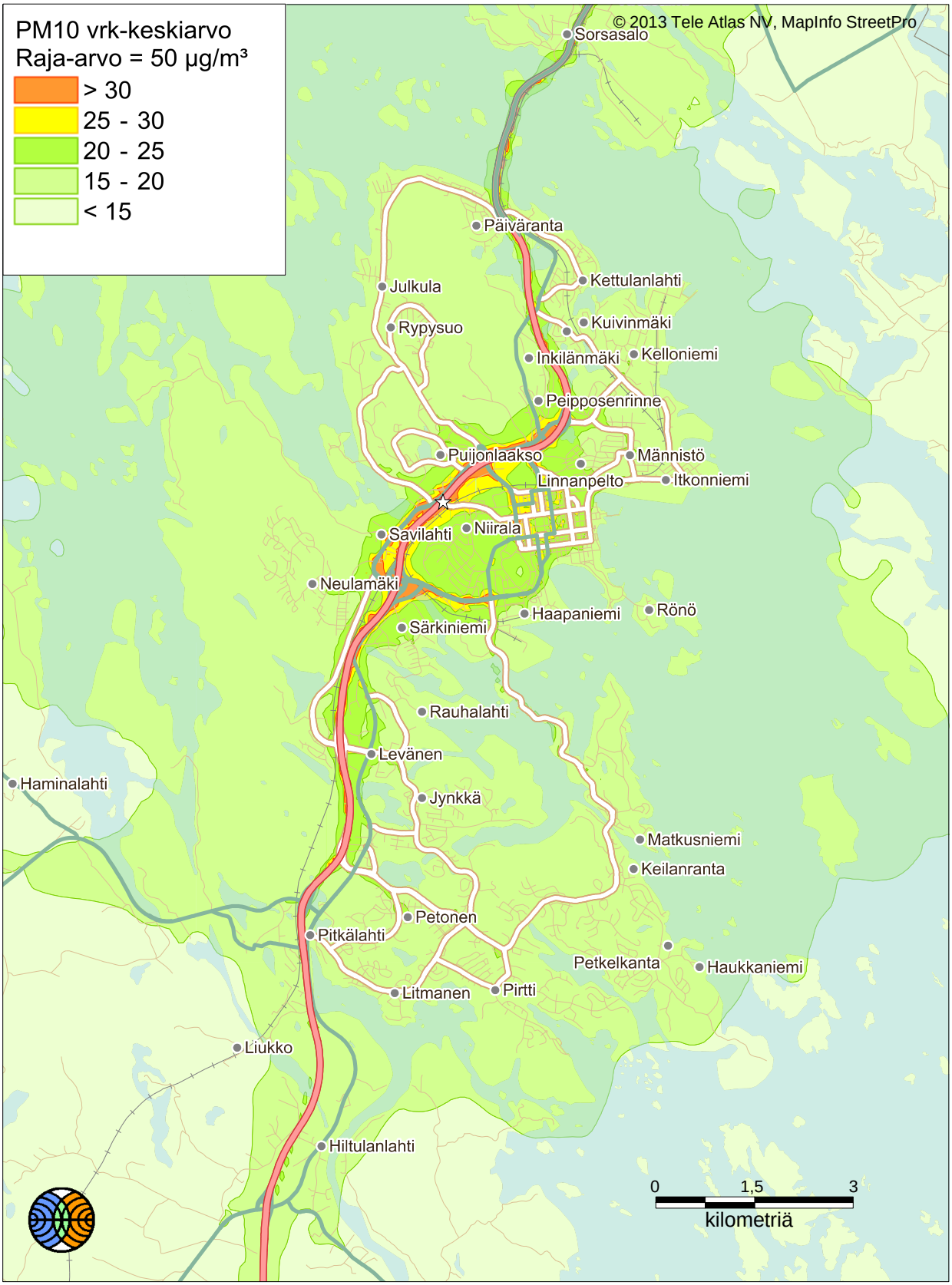
Kuva 22. Liikenteen päästöjen, suspensiopäästöjen ja taustapitoisuuden aiheuttama PM10 vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³) vuonna 2005.

Kuva 23. Liikenteen Euro4-päästöjen, suspensiopäästöjen ja taustapitoisuuden aiheuttama PM10 vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³) vuonna 2020.

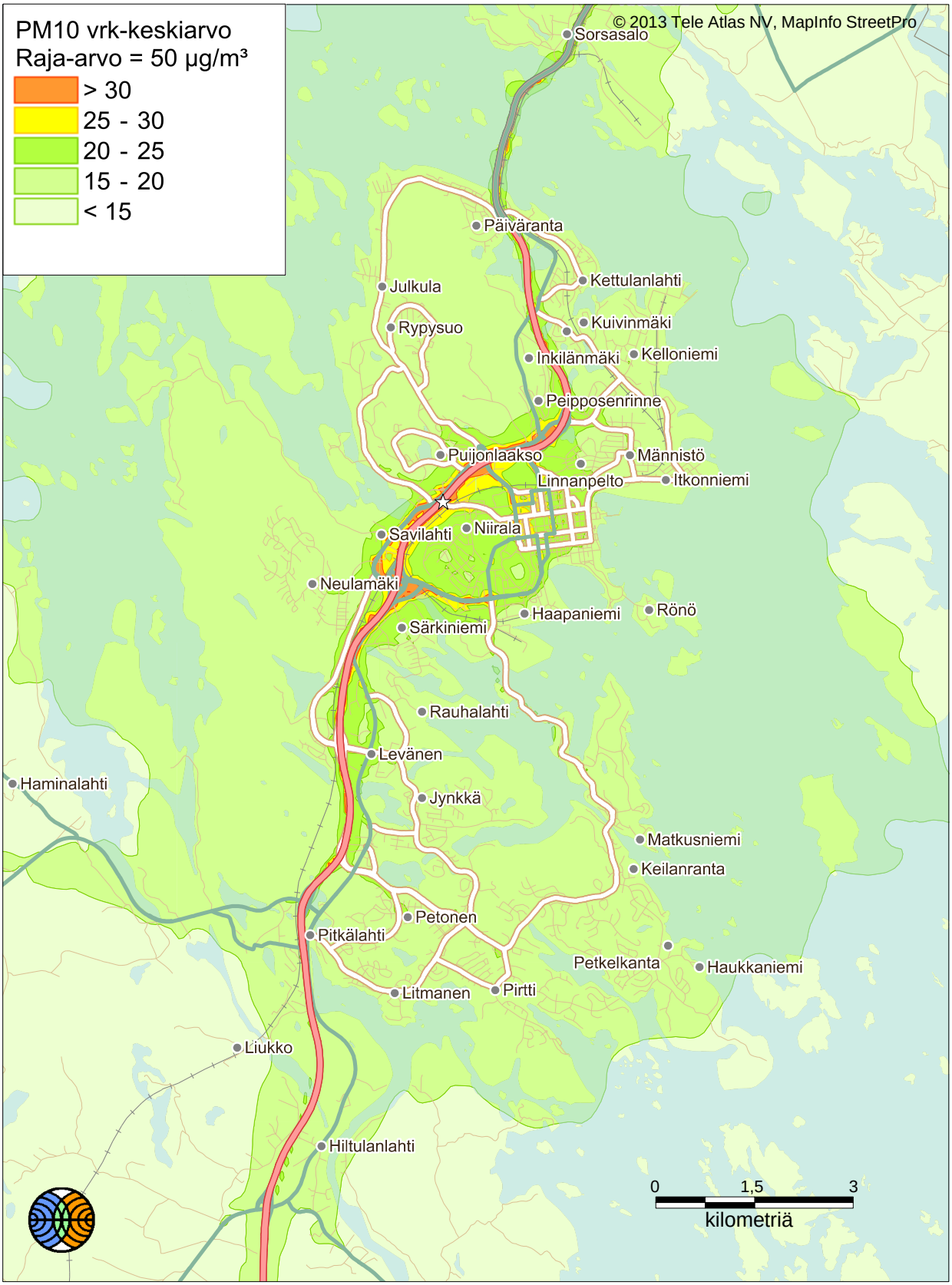
Kuva 24. Liikenteen Euro5-päästöjen, suspensiopäästöjen ja taustapitoisuuden aiheuttama PM10 vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³) vuonna 2020.



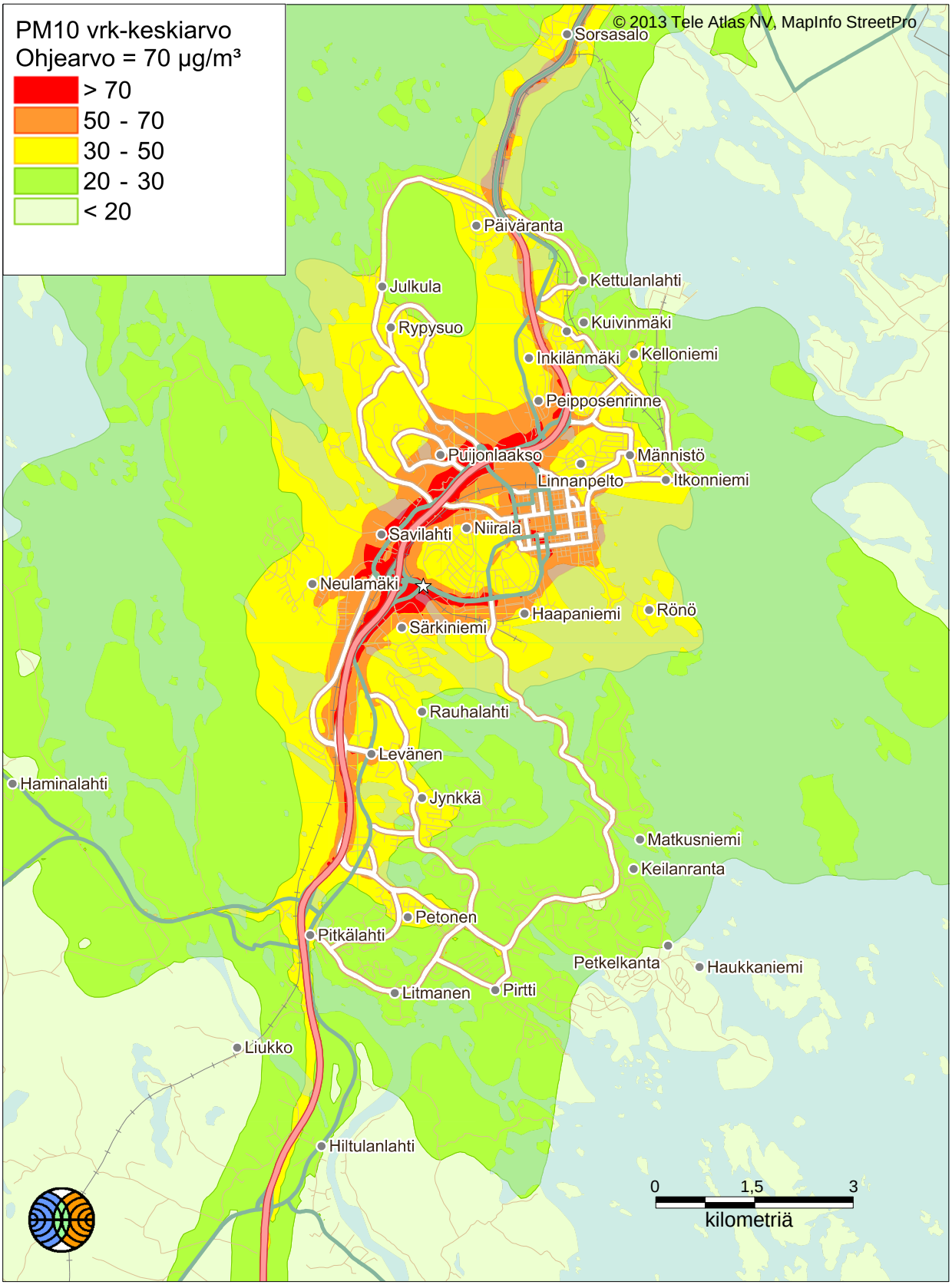
Kuva 25. Liikenteen päästöjen, suspensiopäästöjen ja taustapitoisuuden aiheuttama PM10 vrk-raja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³) vuonna 2005.



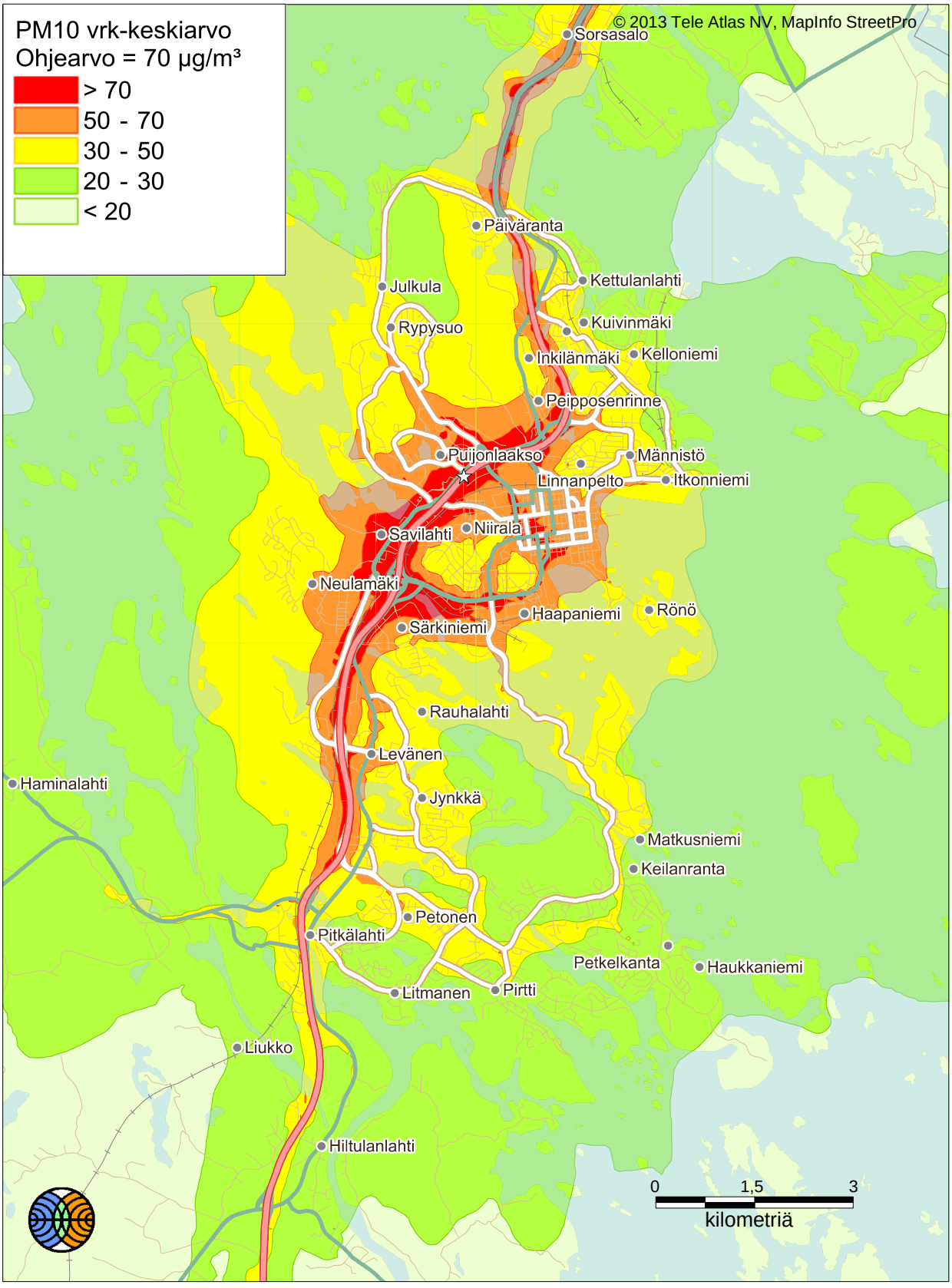
Kuva 26. Liikenteen Euro4-päästöjen, suspensiopäästöjen ja taustapitoisuuden aiheuttama PM10 vrk-raja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³) vuonna 2020.



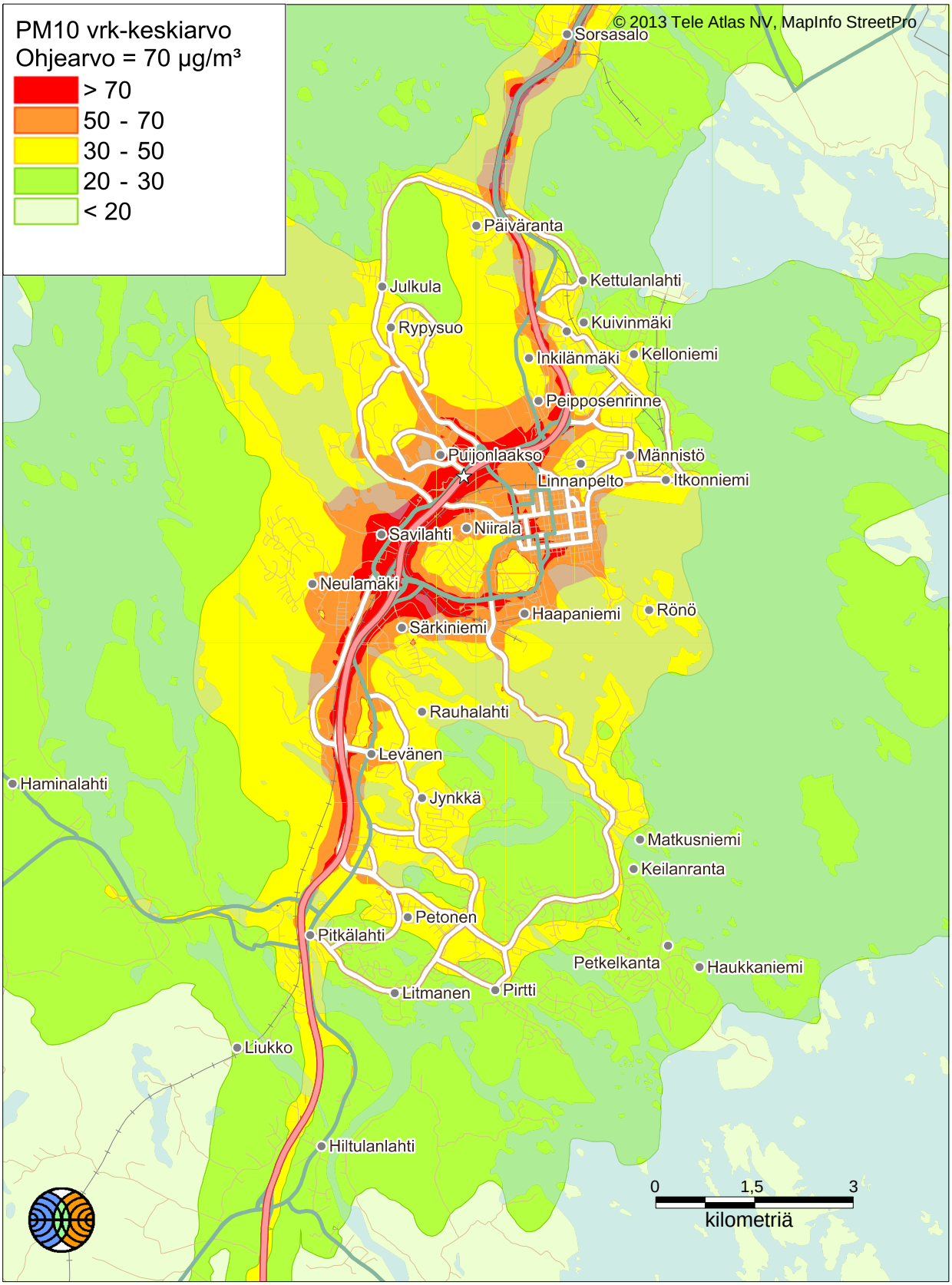
Kuva 27. Liikenteen Euro5-päästöjen, suspensiopäästöjen ja taustapitoisuuden aiheuttama PM10 vrk-raja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³) vuonna 2020.



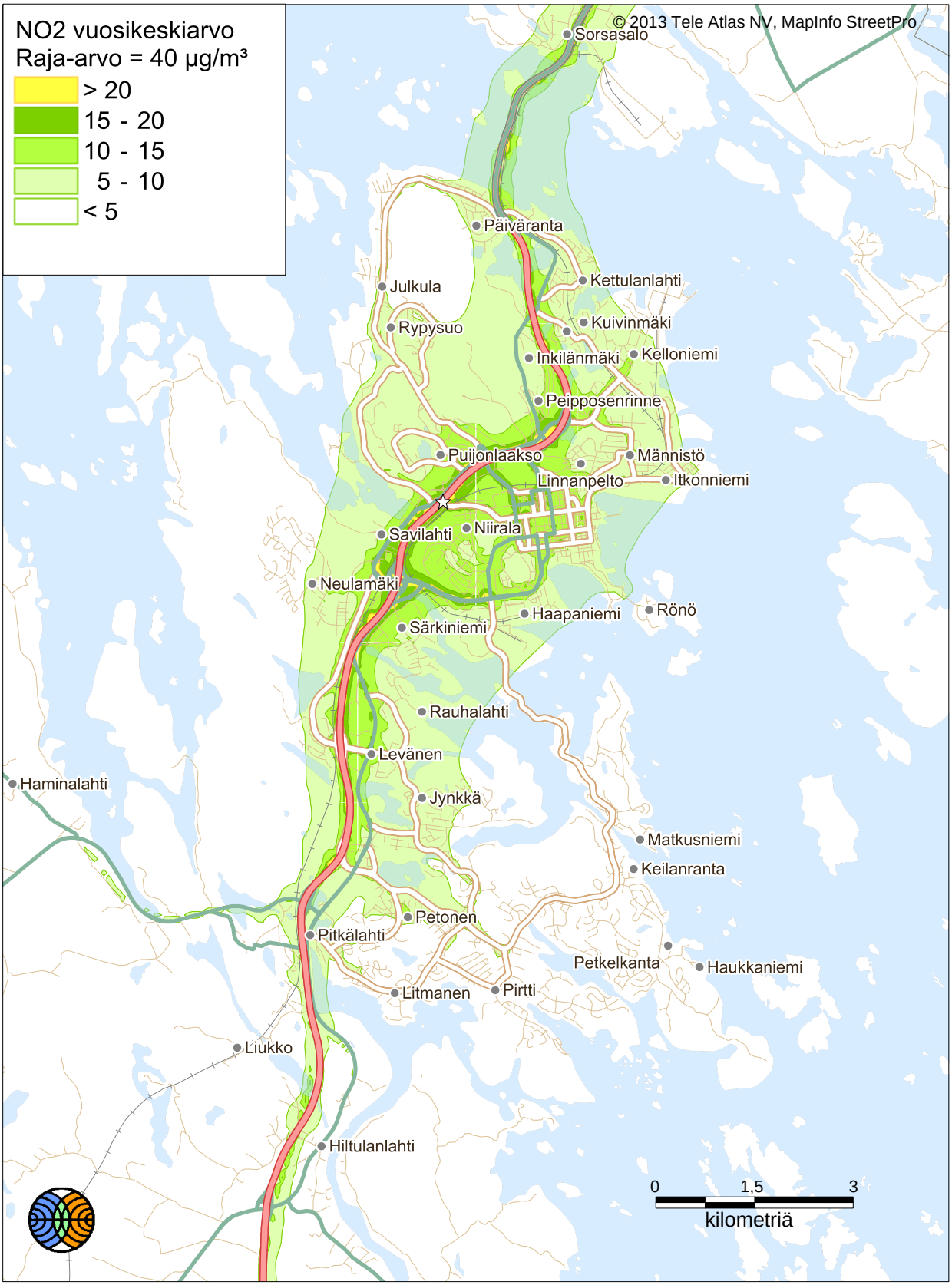
Kuva 28. Liikenteen päästöjen, suspensiopäästöjen ja taustapitoisuuden aiheuttama PM10 vrk-ohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³) vuonna 2005.



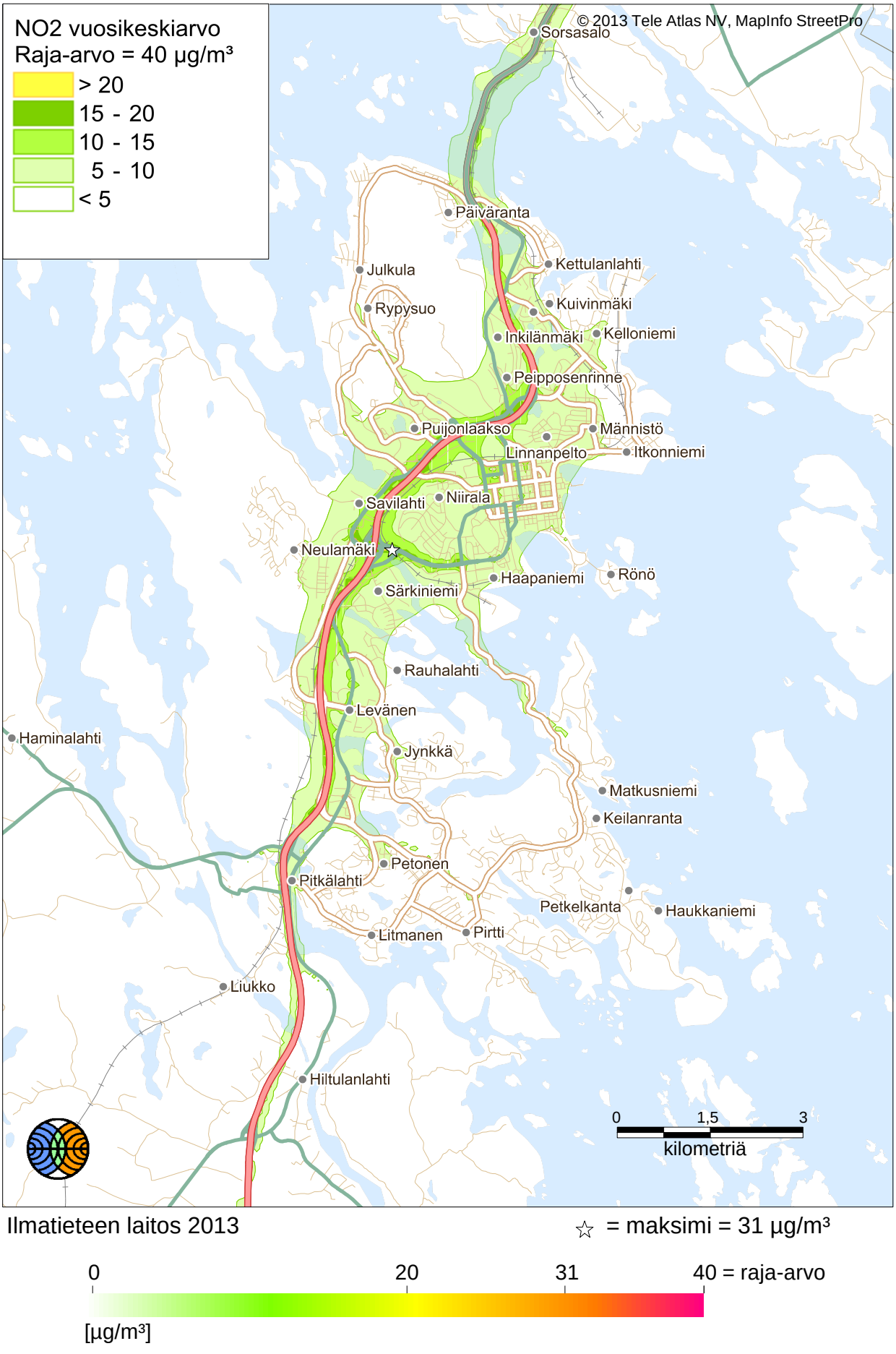
Kuva 29. Liikenteen Euro4-päästöjen, suspensiopäästöjen ja taustapitoisuuden aiheuttama PM10 vrk-ohje-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³) vuonna 2020.



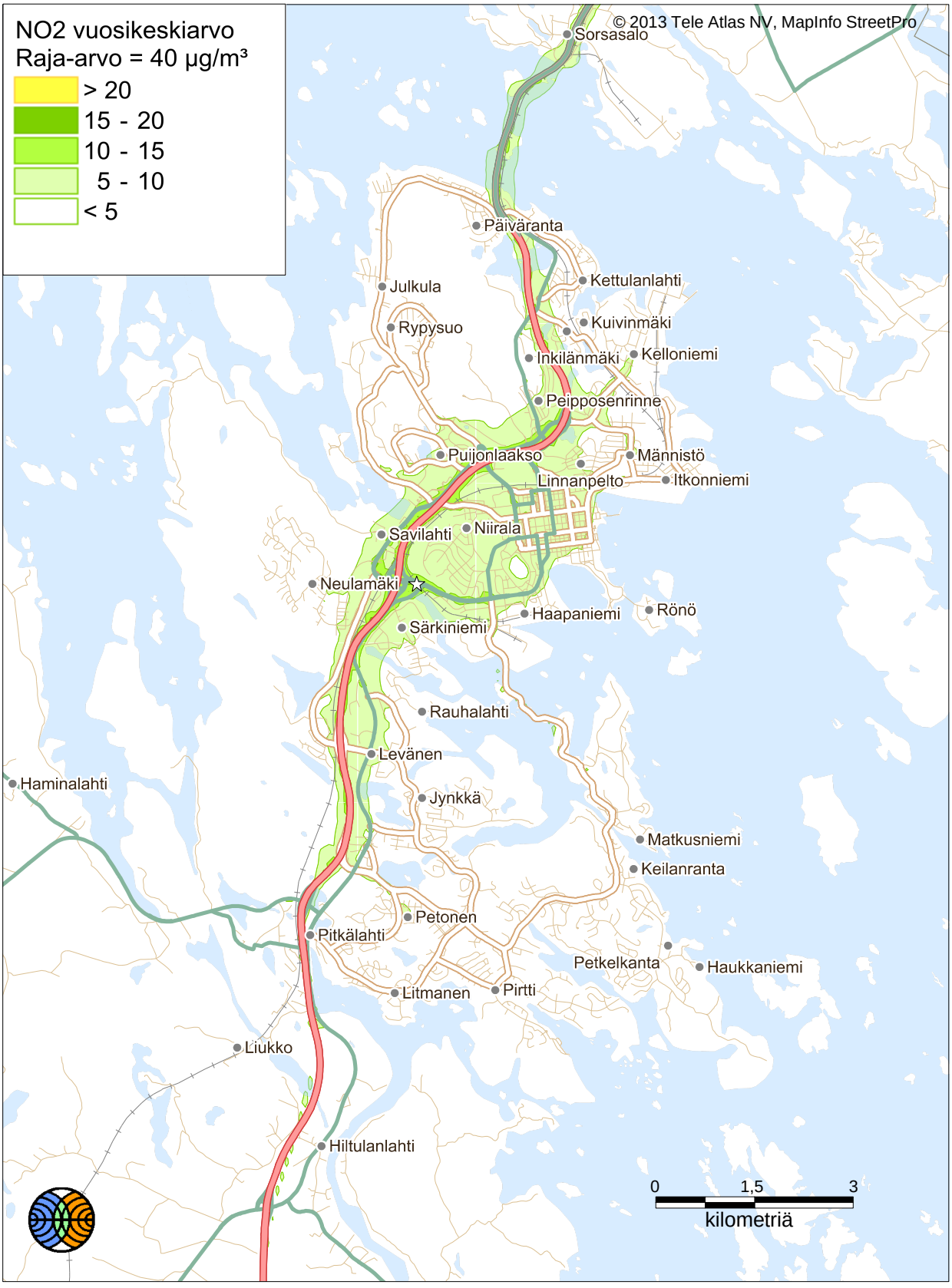
Kuva 30. Liikenteen Euro5-päästöjen, suspensiopäästöjen ja taustapitoisuuden aiheuttama PM10 vrk-ohje-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³) vuonna 2020.



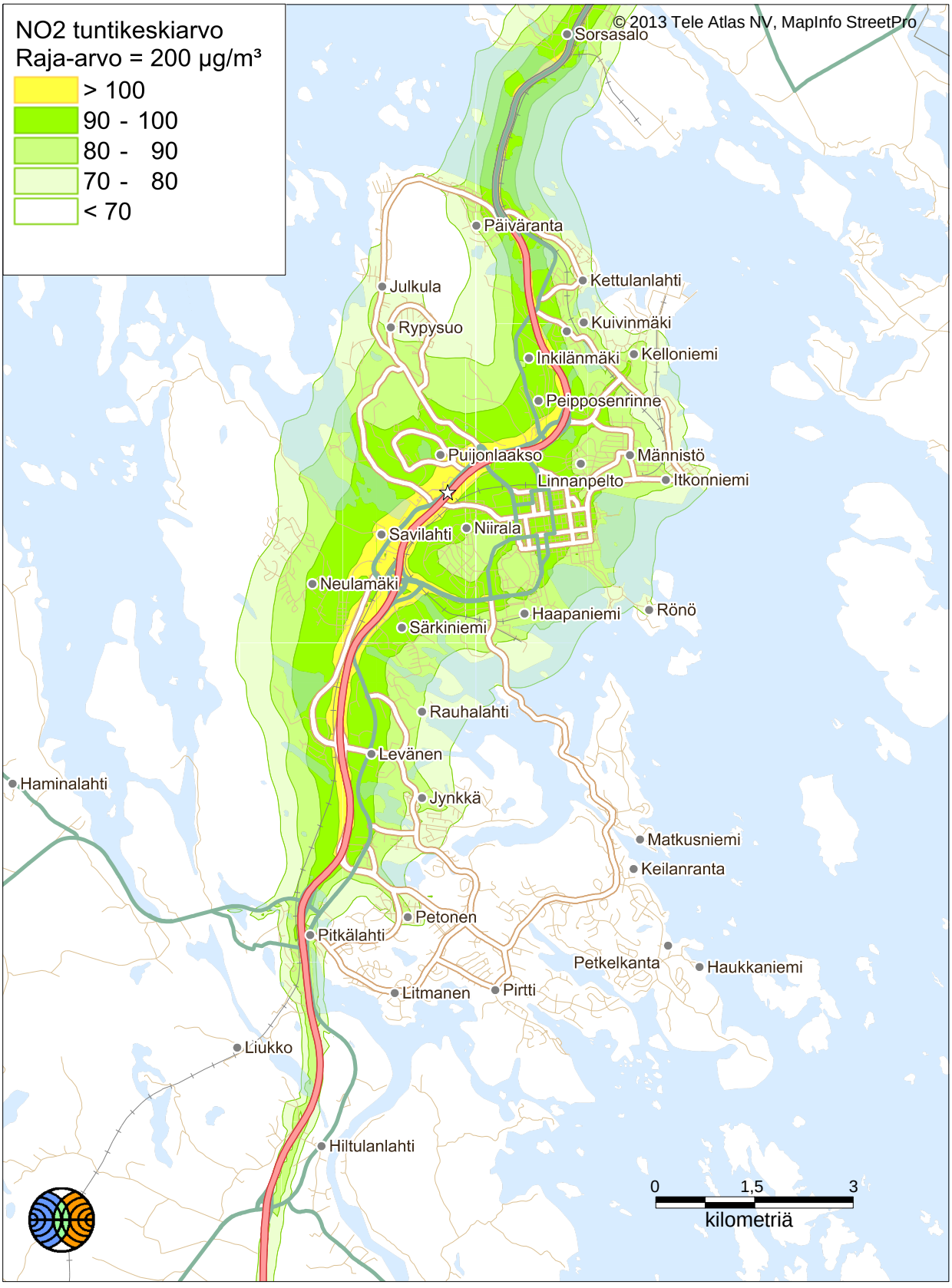
Kuva 31. Liikenteen päästöjen aiheuttama NO2 vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³) vuonna 2006.



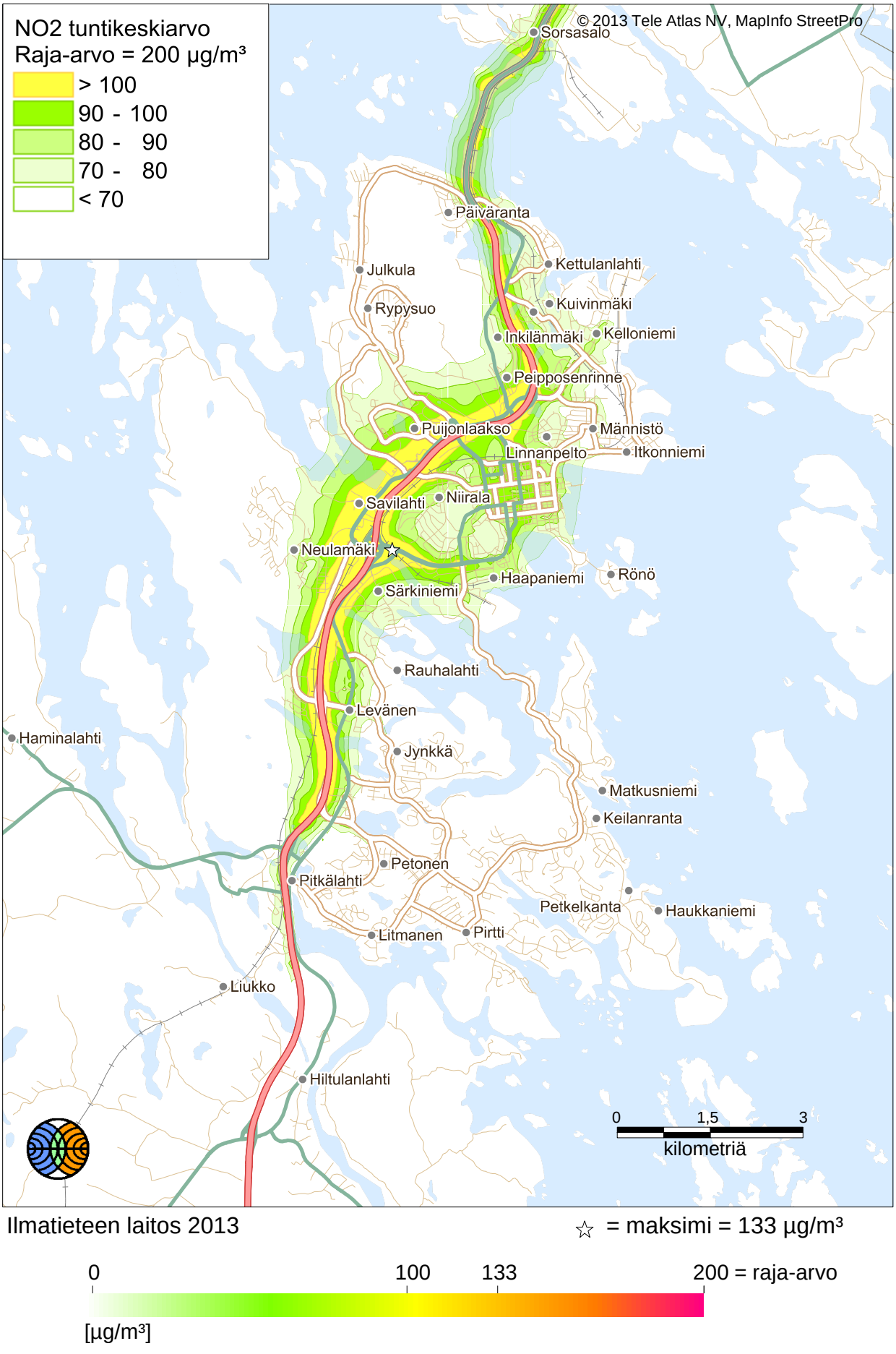
Kuva 32. Liikenteen Euro4-päästöjen aiheuttama NO2 vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³) vuonna 2020.



Kuva 33. Liikenteen Euro5-päästöjen aiheuttama NO2 vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³) vuonna 2020.



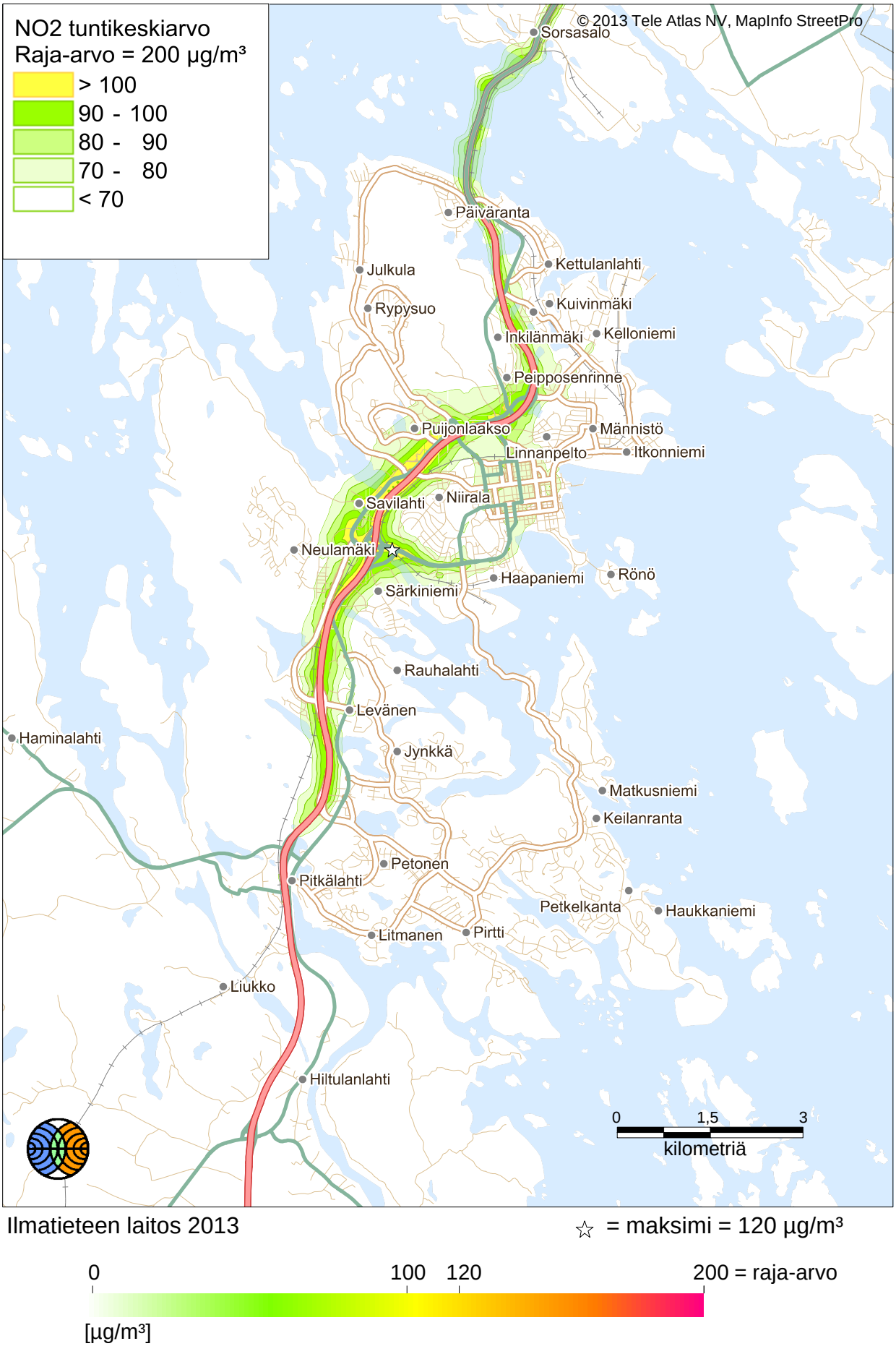
Kuva 34. Liikenteen päästöjen aiheuttama NO2 tuntiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³) vuonna 2006.



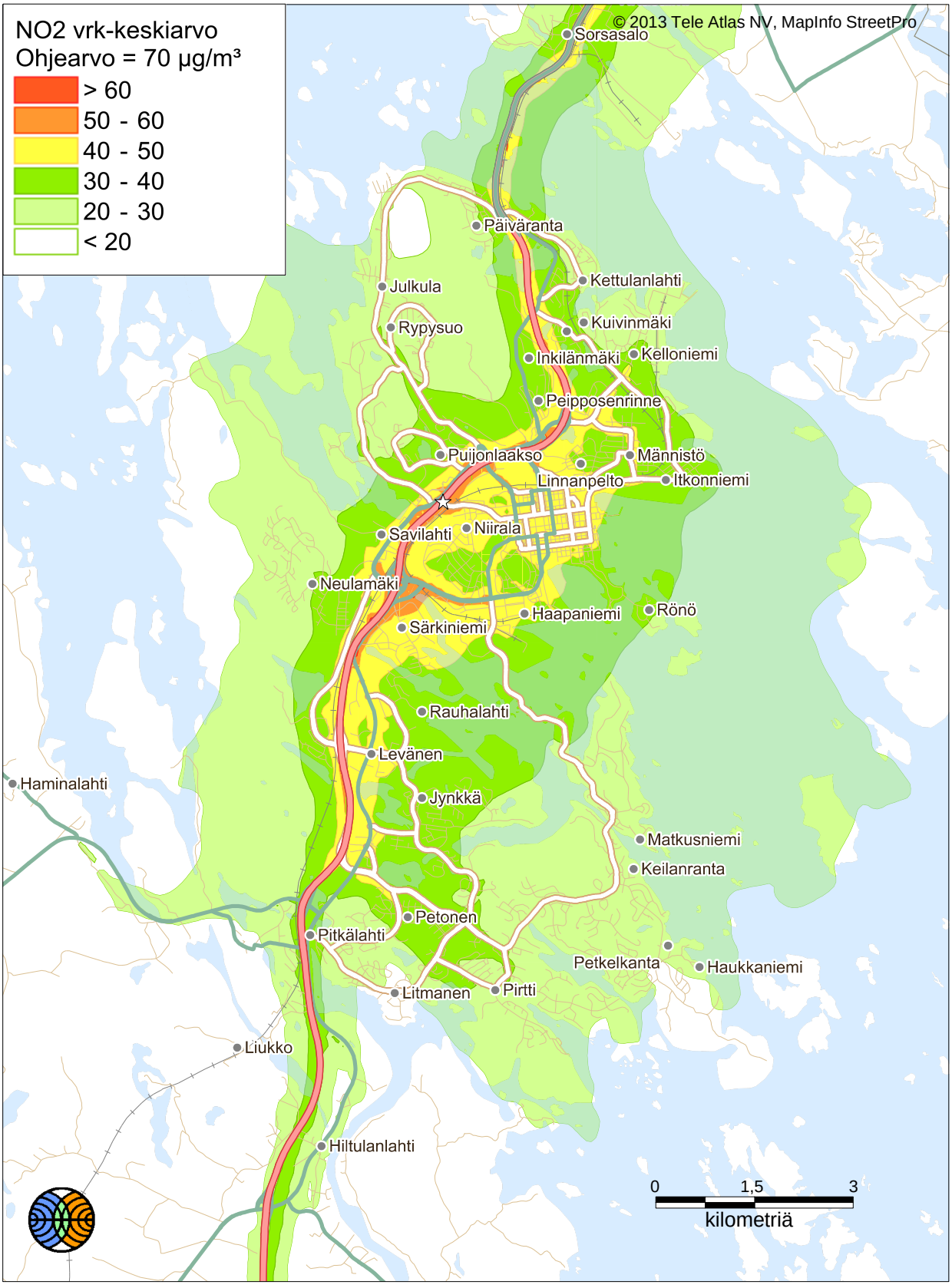
Ilmatieteen laitos 2013

☆ = maksimi = 133 µg/m³

Kuva 35. Liikenteen Euro4-päästöjen aiheuttama NO2 tuntiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³) vuonna 2020.

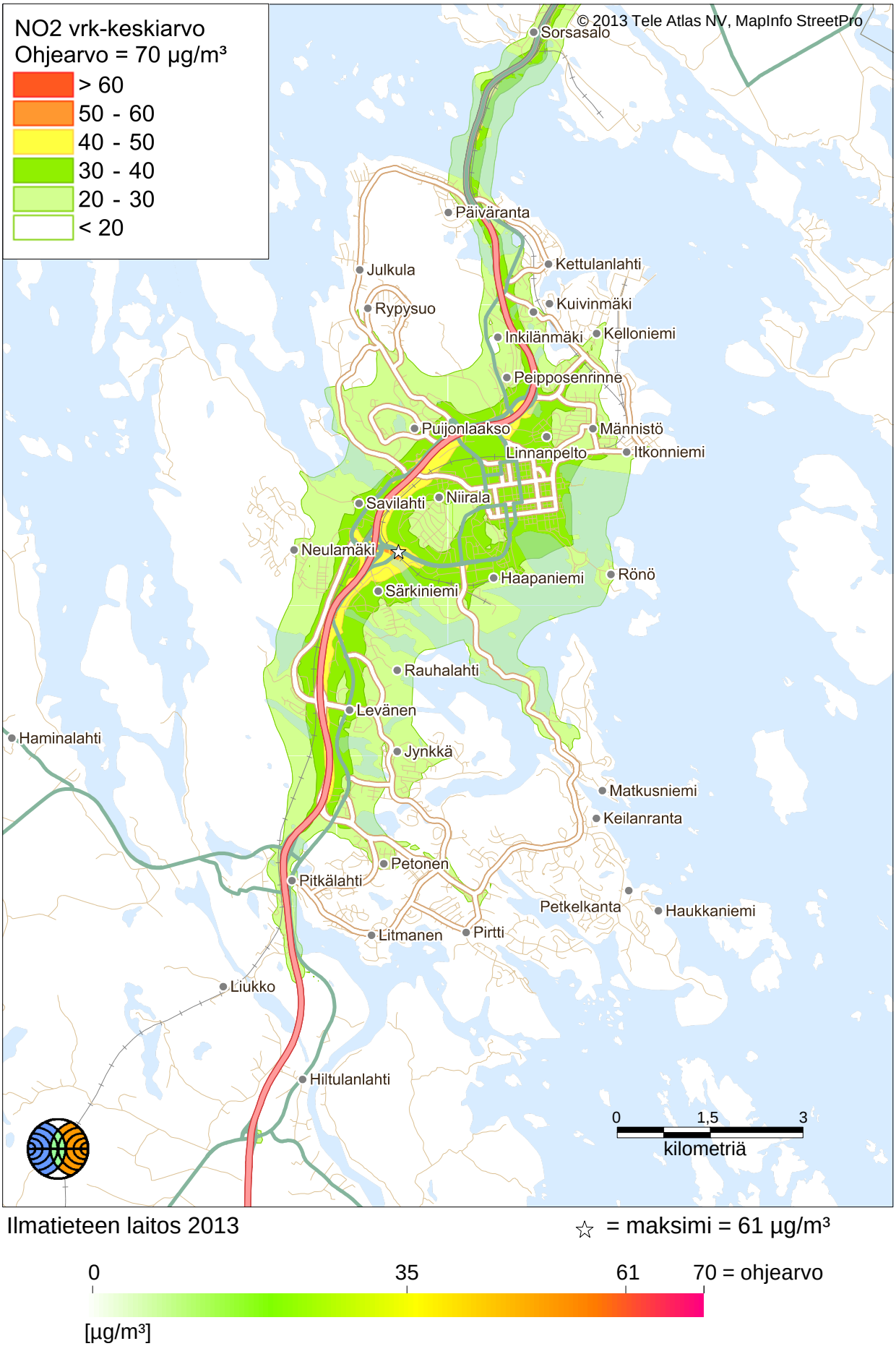


Kuva 36. Liikenteen Euro5-päästöjen aiheuttama NO2 tuntiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³) vuonna 2020.

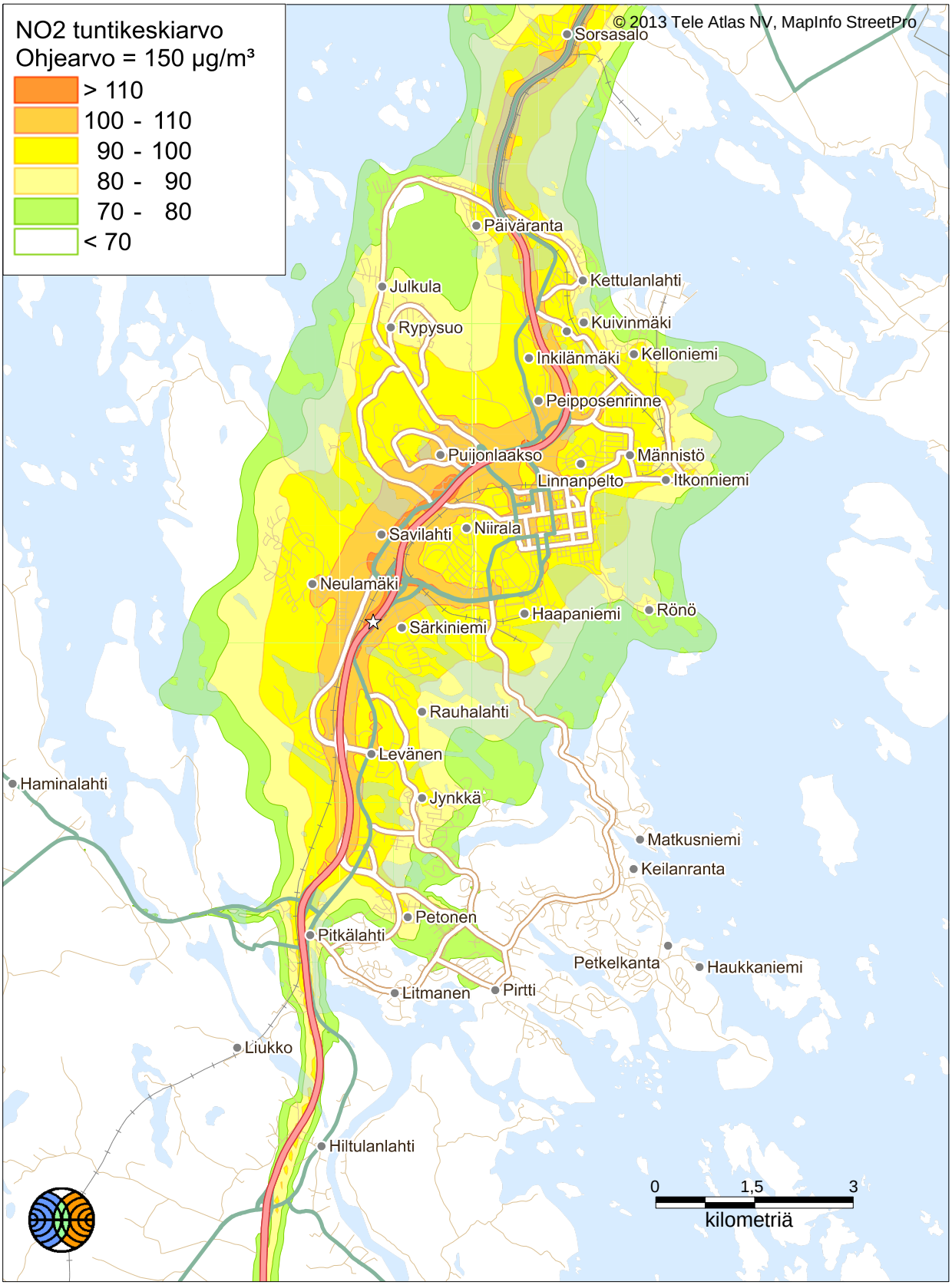


Kuva 37. Liikenteen päästöjen aiheuttama NO2 vrk-ohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³) vuonna 2006.

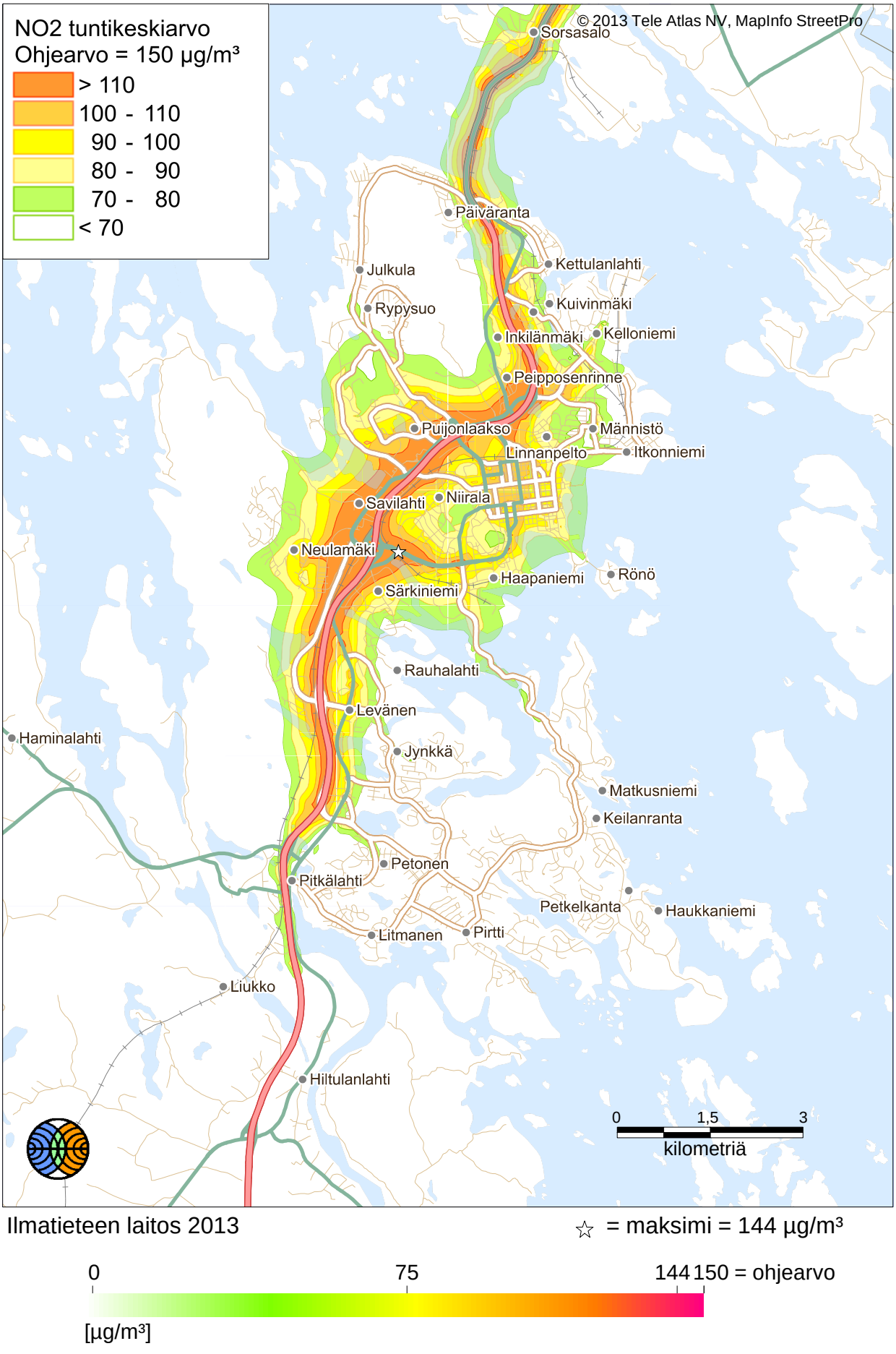
Kuva 38. Liikenteen Euro4-päästöjen aiheuttama NO2 vrk-ohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³) vuonna 2020.



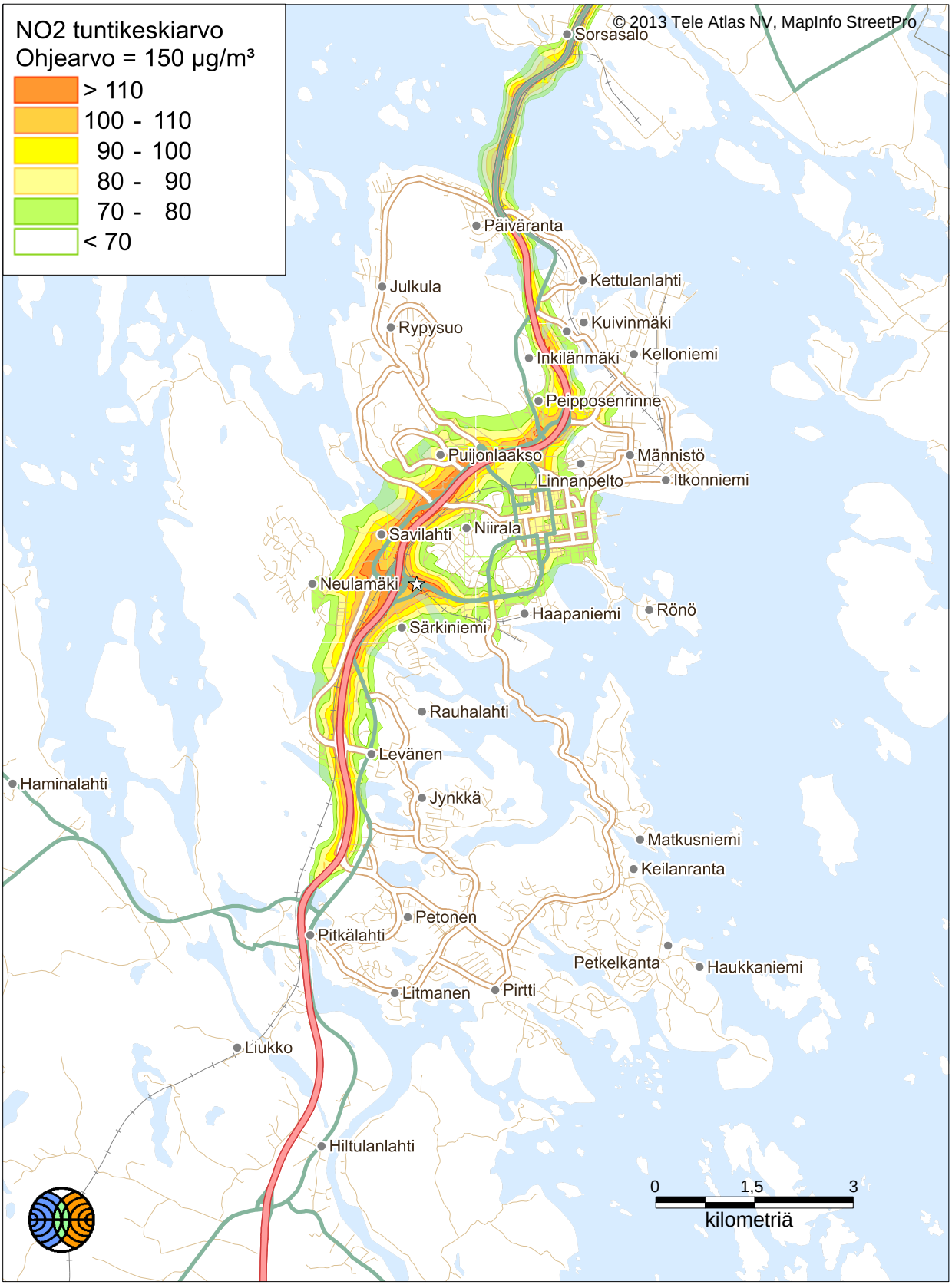
Kuva 39. Liikenteen Euro5-päästöjen aiheuttama NO2 vrk-ohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³) vuonna 2020.



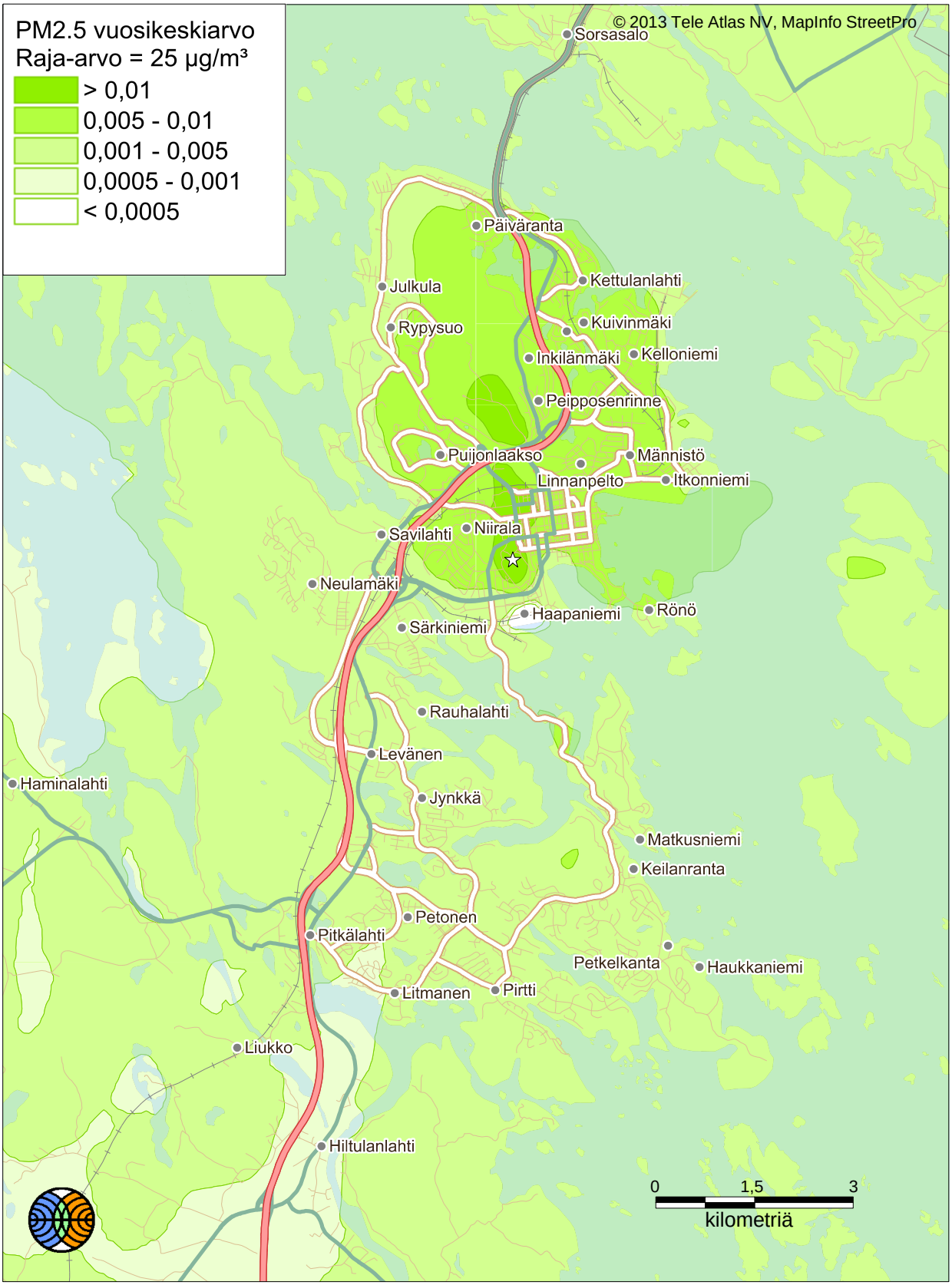
Kuva 40. Liikenteen päästöjen aiheuttama NO2 tuntiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³) vuonna 2006.



Kuva 41. Liikenteen Euro4-päästöjen aiheuttama NO2 tuntiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³) vuonna 2020.

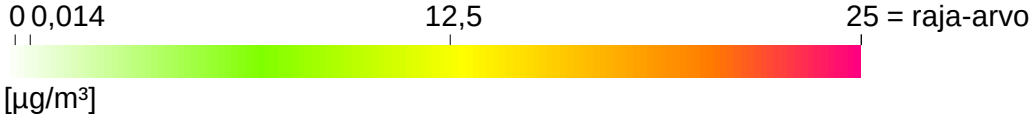


Kuva 42. Liikenteen Euro5-päästöjen aiheuttama NO2 tuntiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³) vuonna 2020.



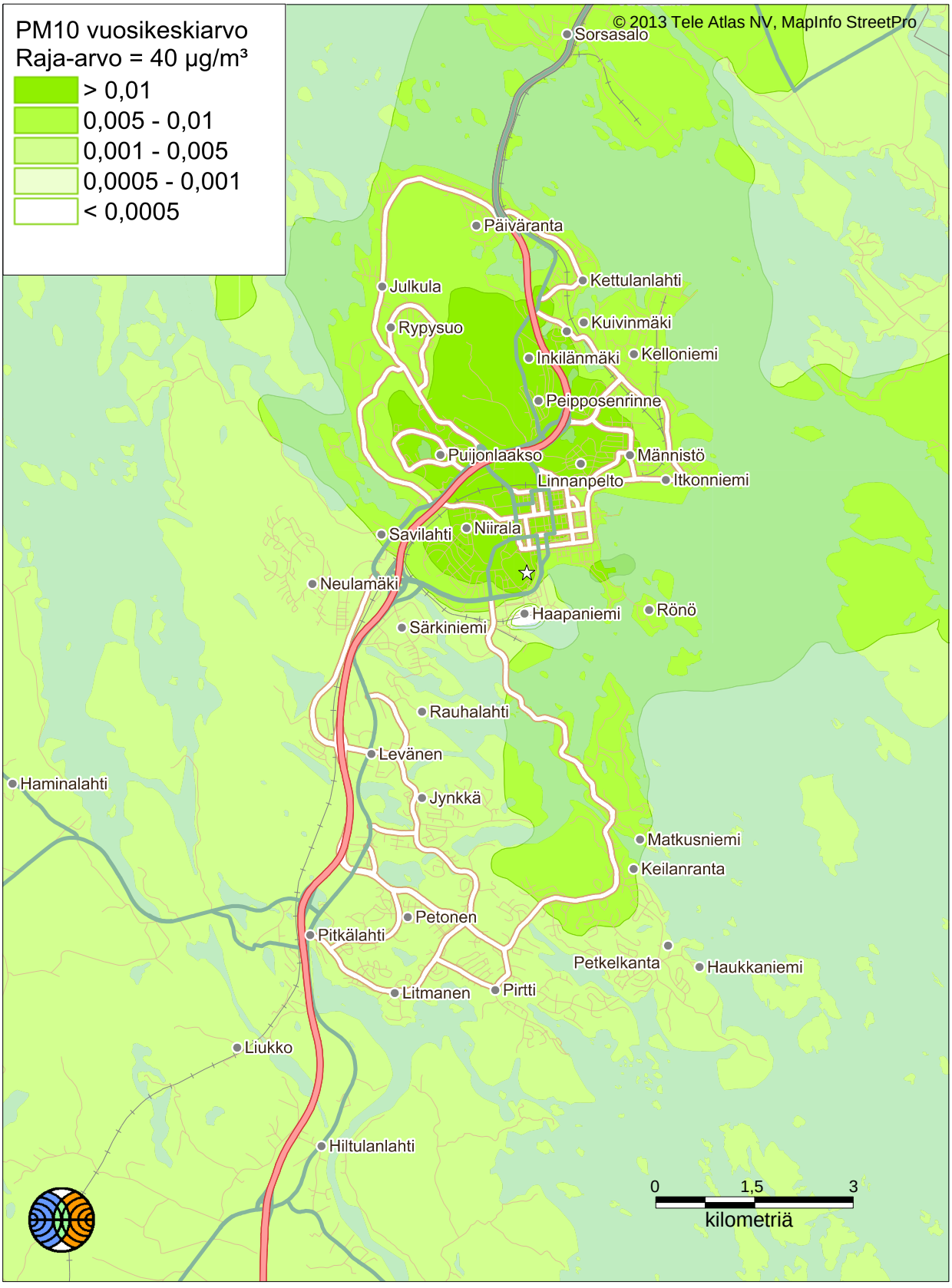
Ilmatieteen laitos 2013

☆ = maksimi = 0,014 µg/m³



Kuva 43. Haapaniemen voimalaitoksen päästöjen aiheuttama PM2,5 vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) vuonna 2010.

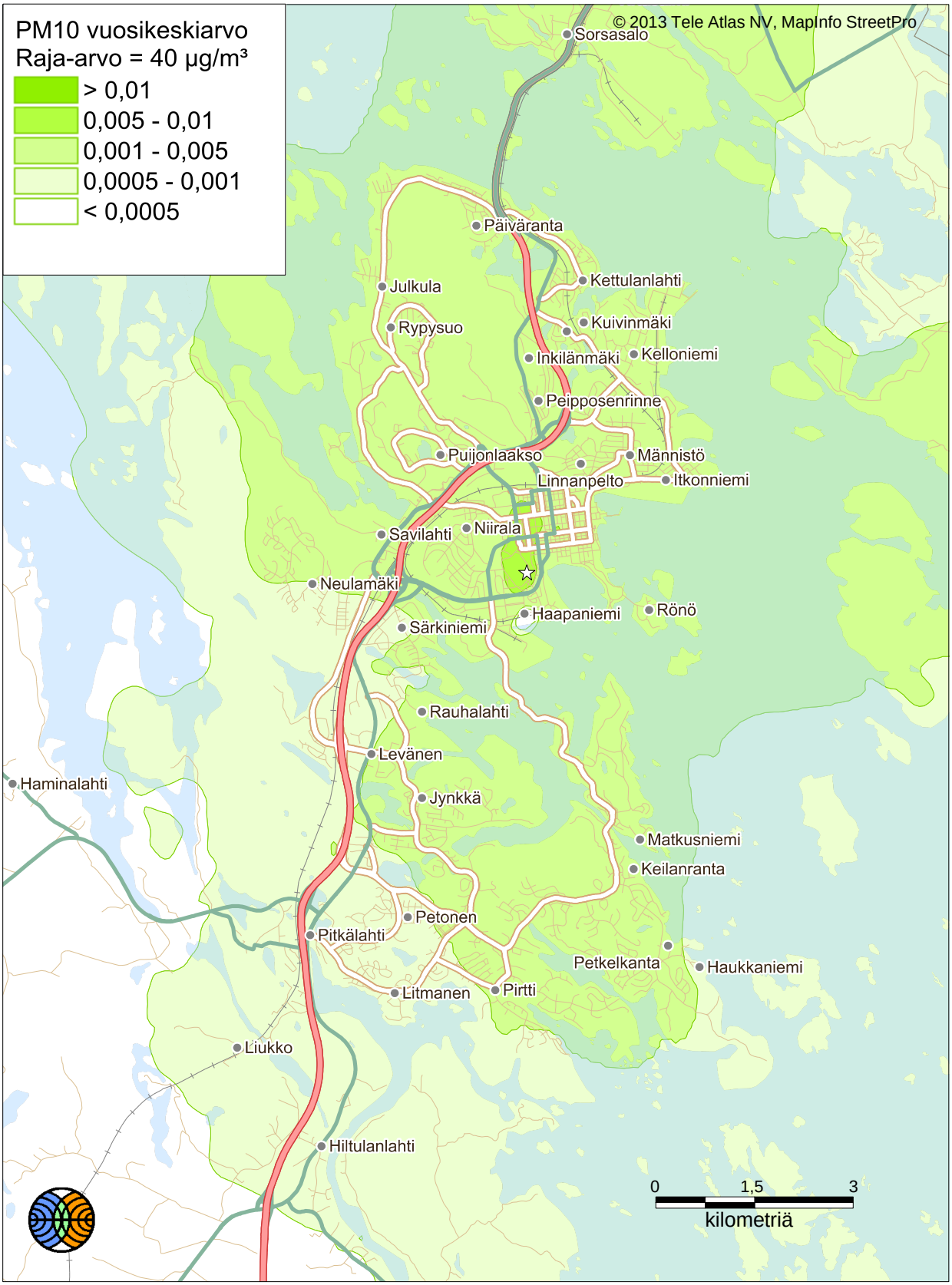
Kuva 44. Haapaniemen voimalaitoksen päästöjen aiheuttama PM2,5 vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) vuonna 2020.



Ilmatieteen laitos 2013

☆ = maksimi = 0,024 µg/m³

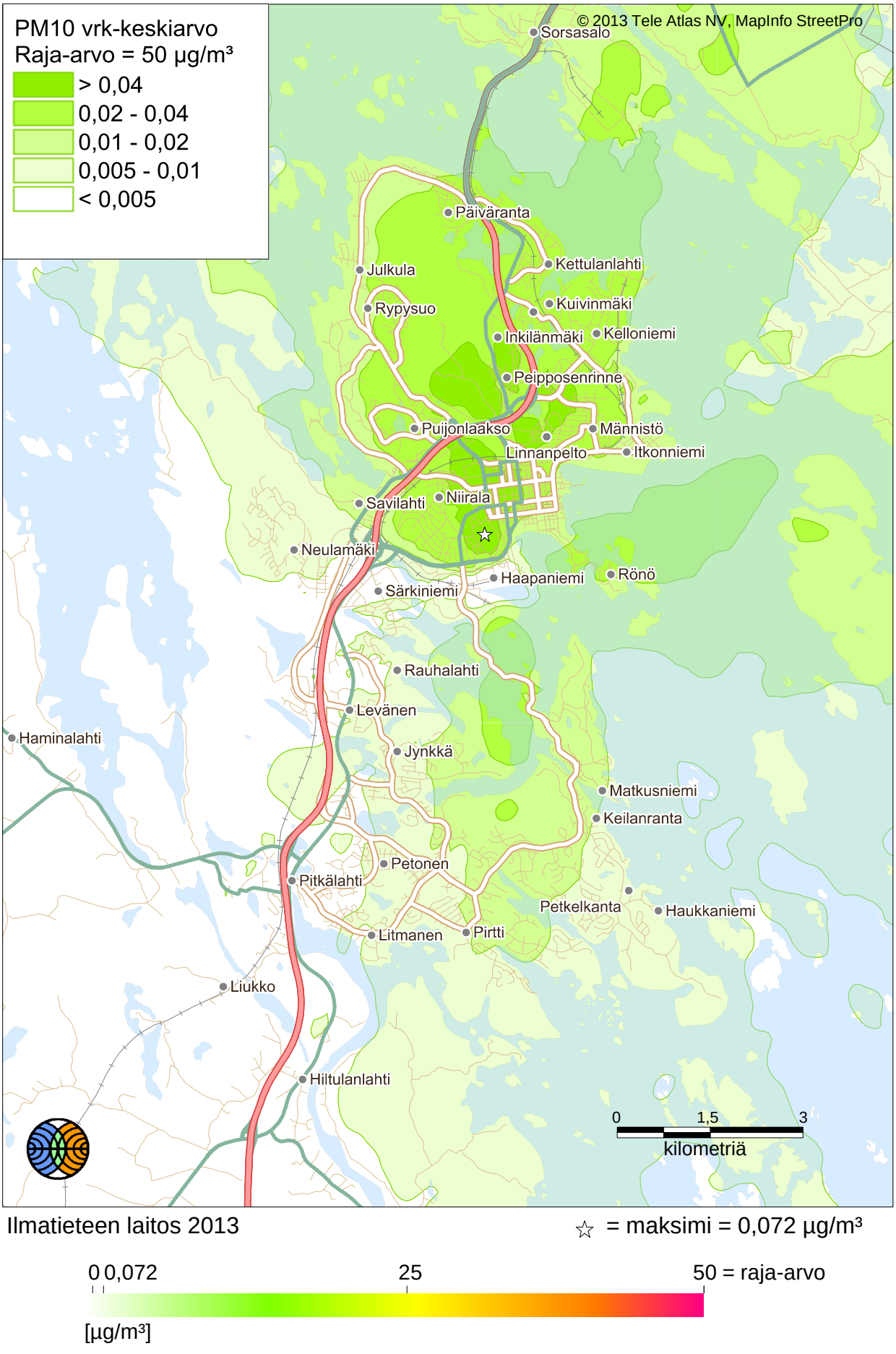
Kuva 45. Haapaniemen voimalaitoksen päästöjen aiheuttama PM10 vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) vuonna 2010.



Ilmatieteen laitos 2013

☆ = maksimi = 0,0069 µg/m³

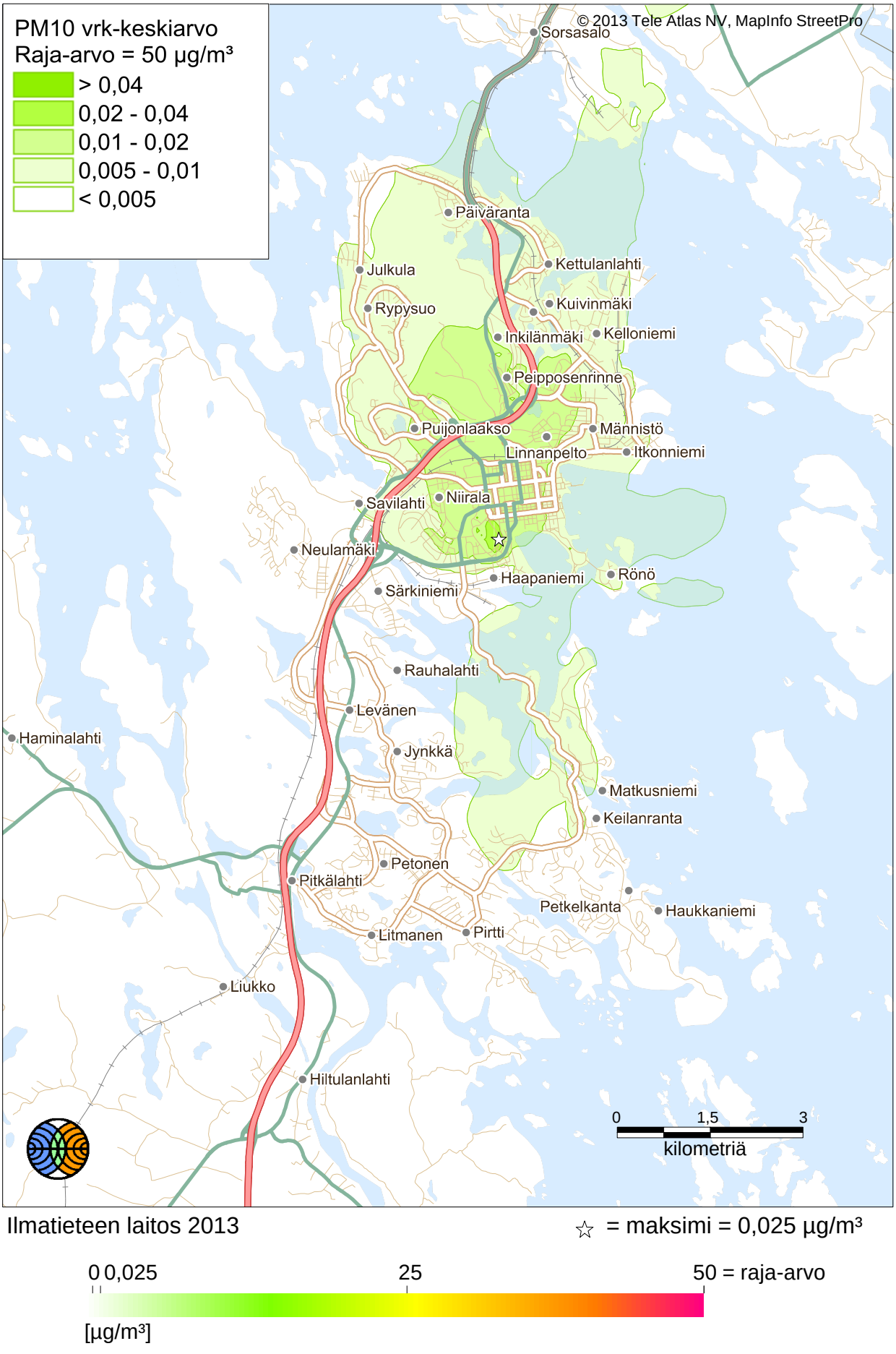
Kuva 46. Haapaniemen voimalaitoksen päästöjen aiheuttama PM10 vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) vuonna 2020.



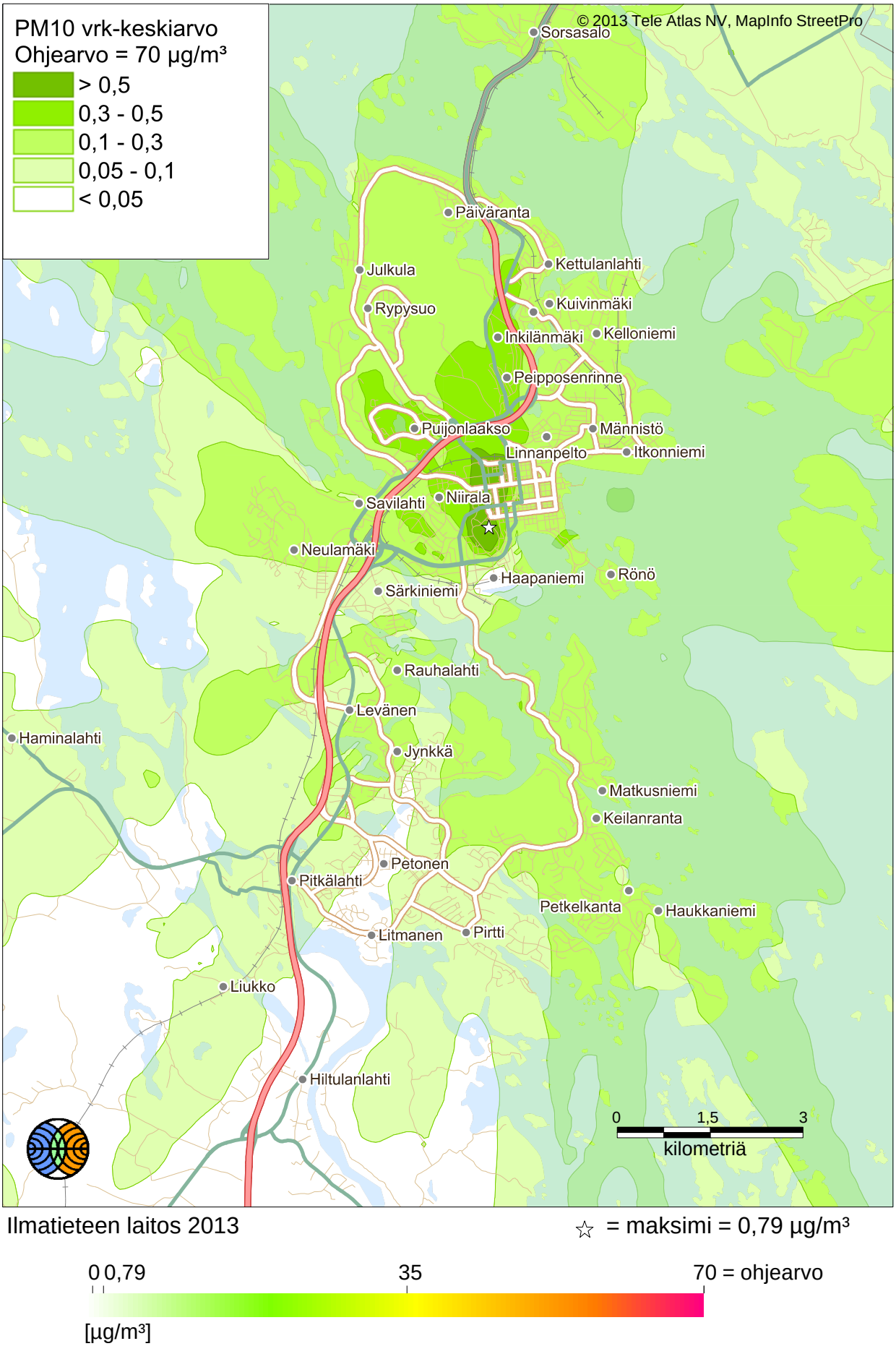
Ilmatieteen laitos 2013

☆ = maksimi = 0,072 µg/m³

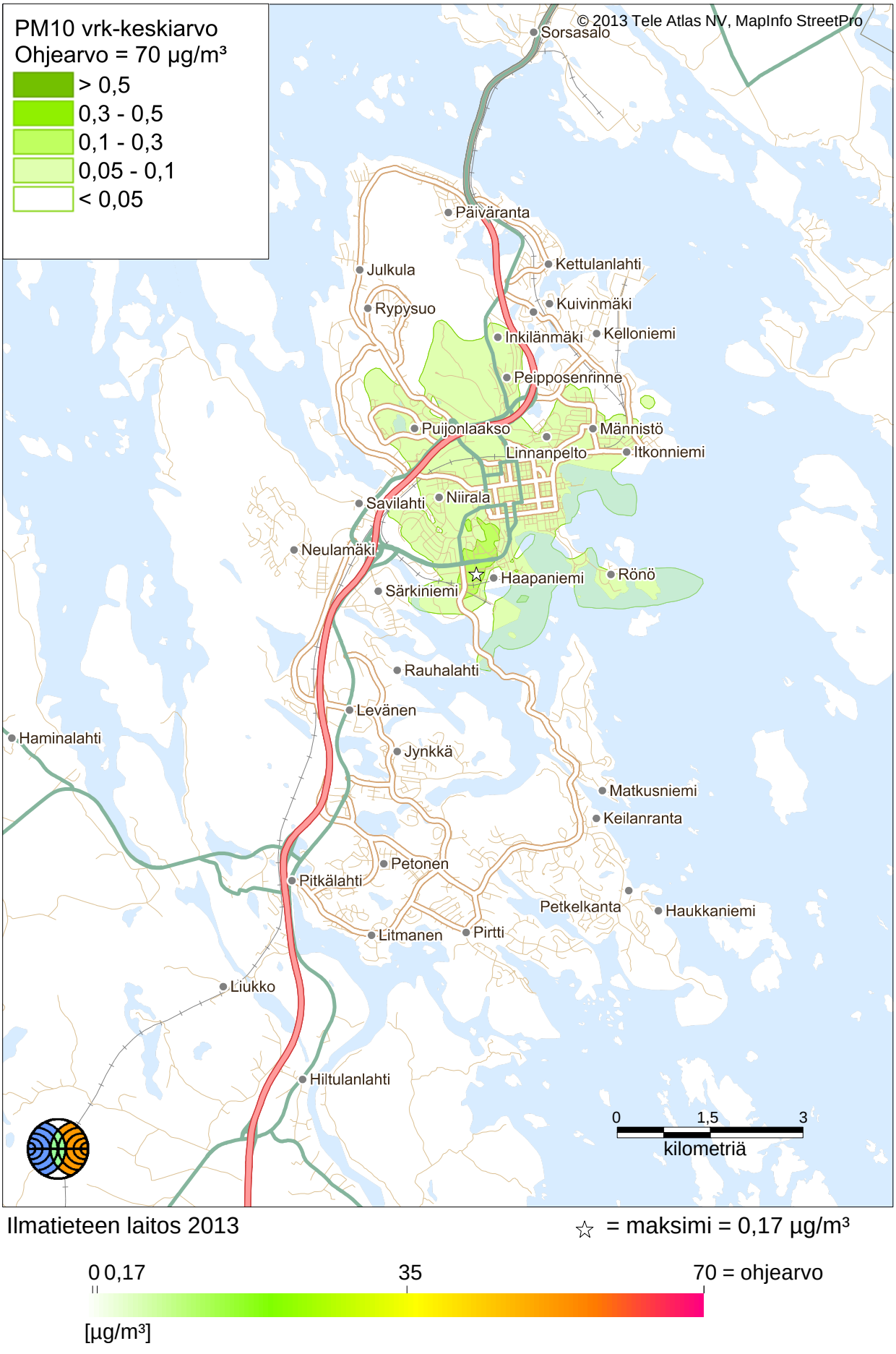
Kuva 47. Haapaniemen voimalaitoksen päästöjen aiheuttama PM10 vuorokausiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³) vuonna 2010.



Kuva 48. Haapaniemen voimalaitoksen päästöjen aiheuttama PM10 vuorokausiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³) vuonna 2020.



Kuva 49. Haapaniemen voimalaitoksen päästöjen aiheuttama PM10 vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³) vuonna 2010.

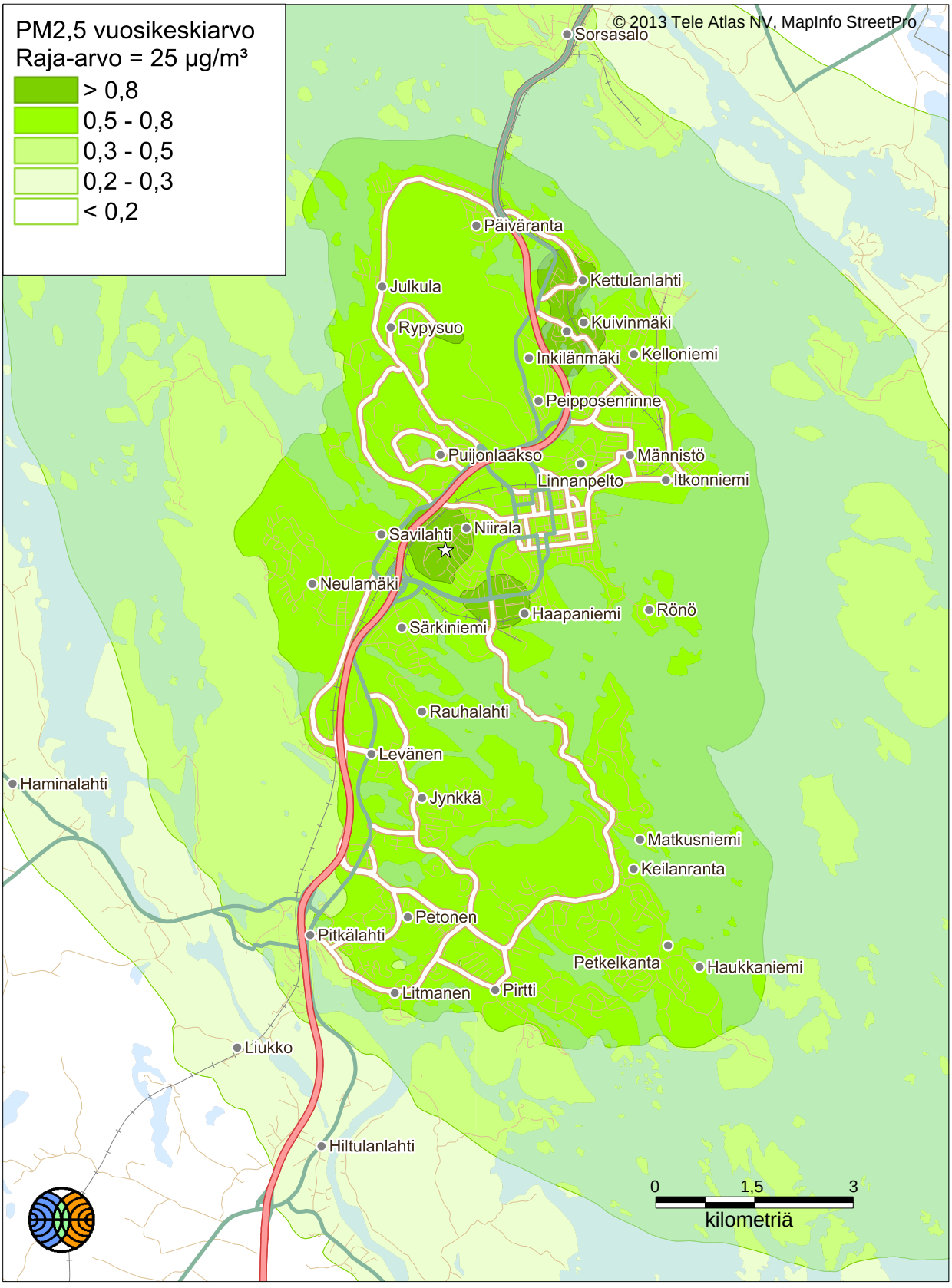


Kuva 50. Haapaniemen voimalaitoksen päästöjen aiheuttama PM10 vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³) vuonna 2020.

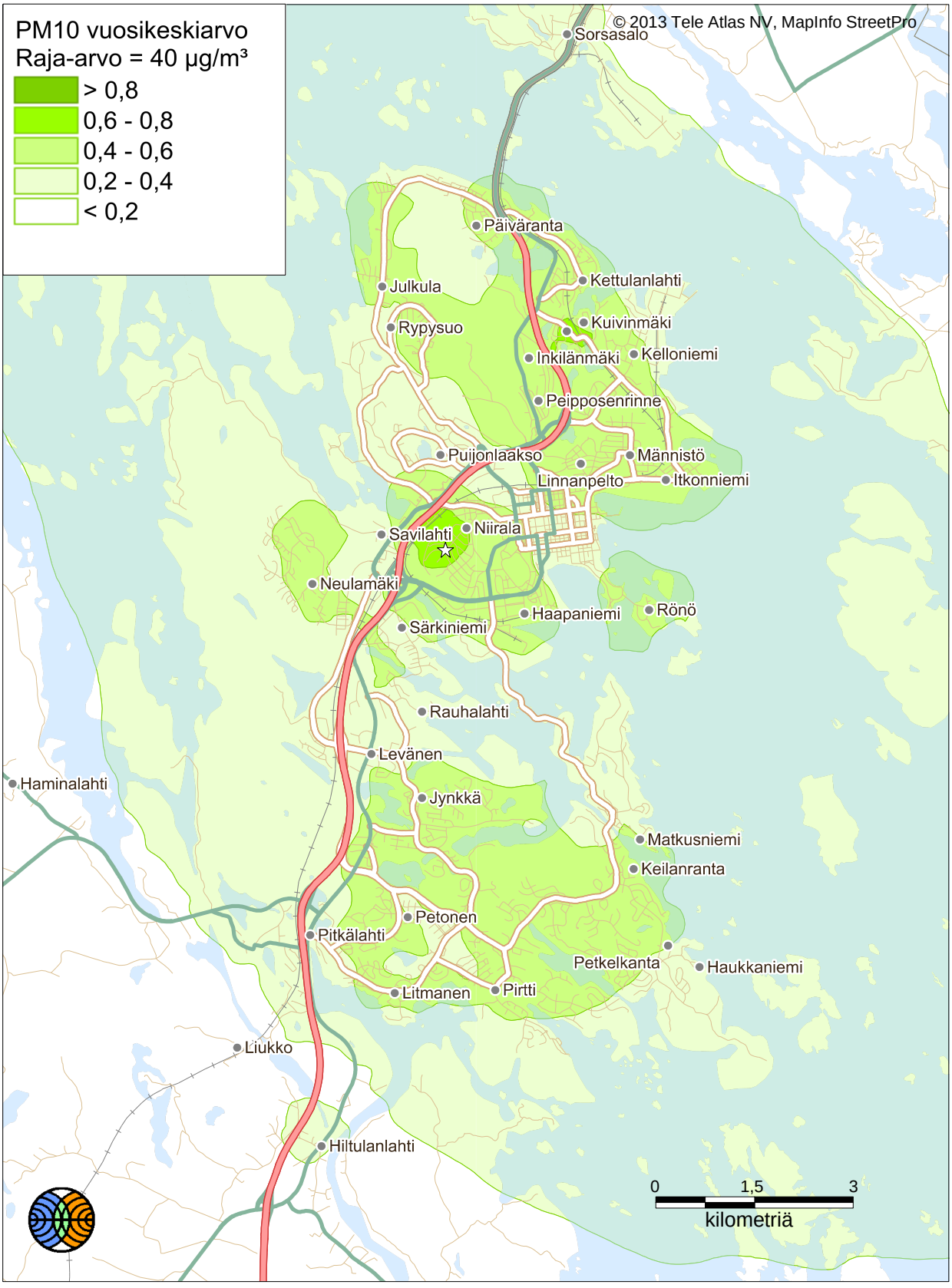
Ilmatieteen laitos 2013

☆ = maksimi = 0,61 µg/m³

Kuva 51. Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttama PM2,5 vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) vuonna 2010.



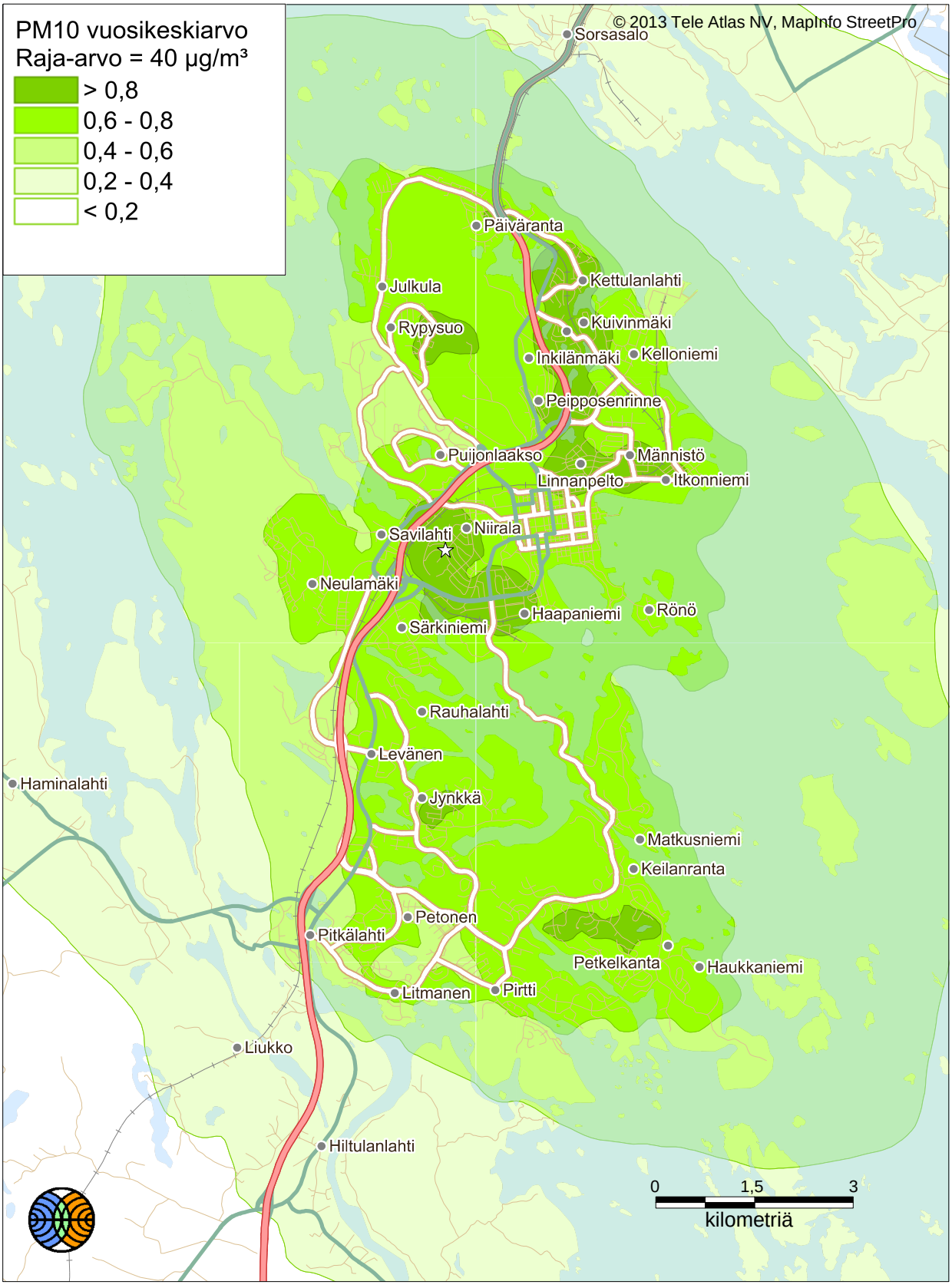
Kuva 52. Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttama PM2,5 vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) vuonna 2020.



Ilmatieteen laitos 2013

☆ = maksimi = 0,67 µg/m³

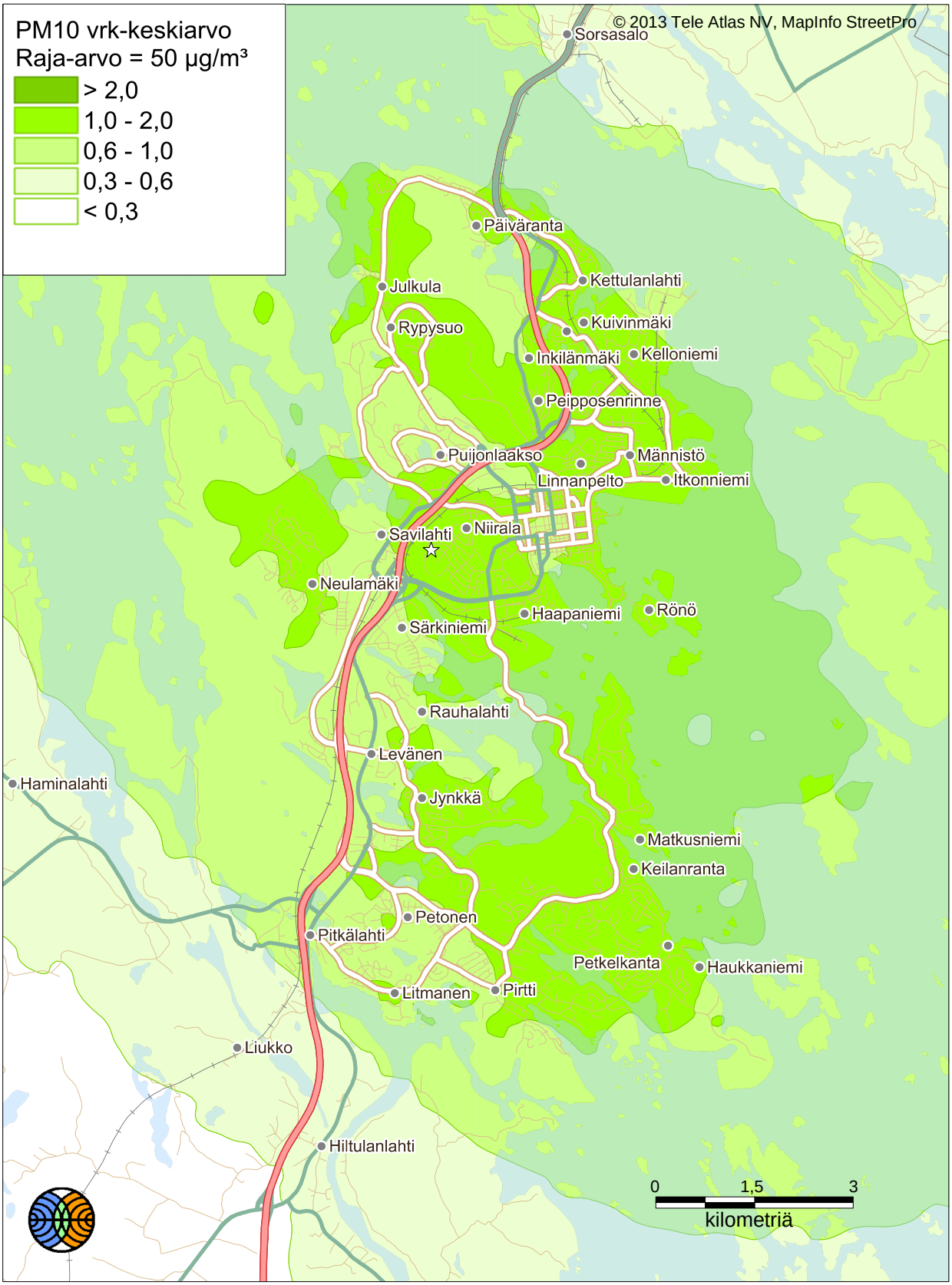
Kuva 53. Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttama PM10 vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) vuonna 2010.



Ilmatieteen laitos 2013

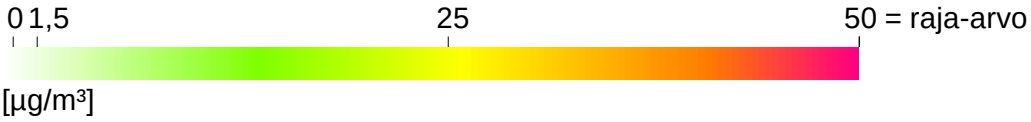
☆ = maksimi = 1,1 µg/m³

Kuva 54. Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttama PM10 vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) vuonna 2020.

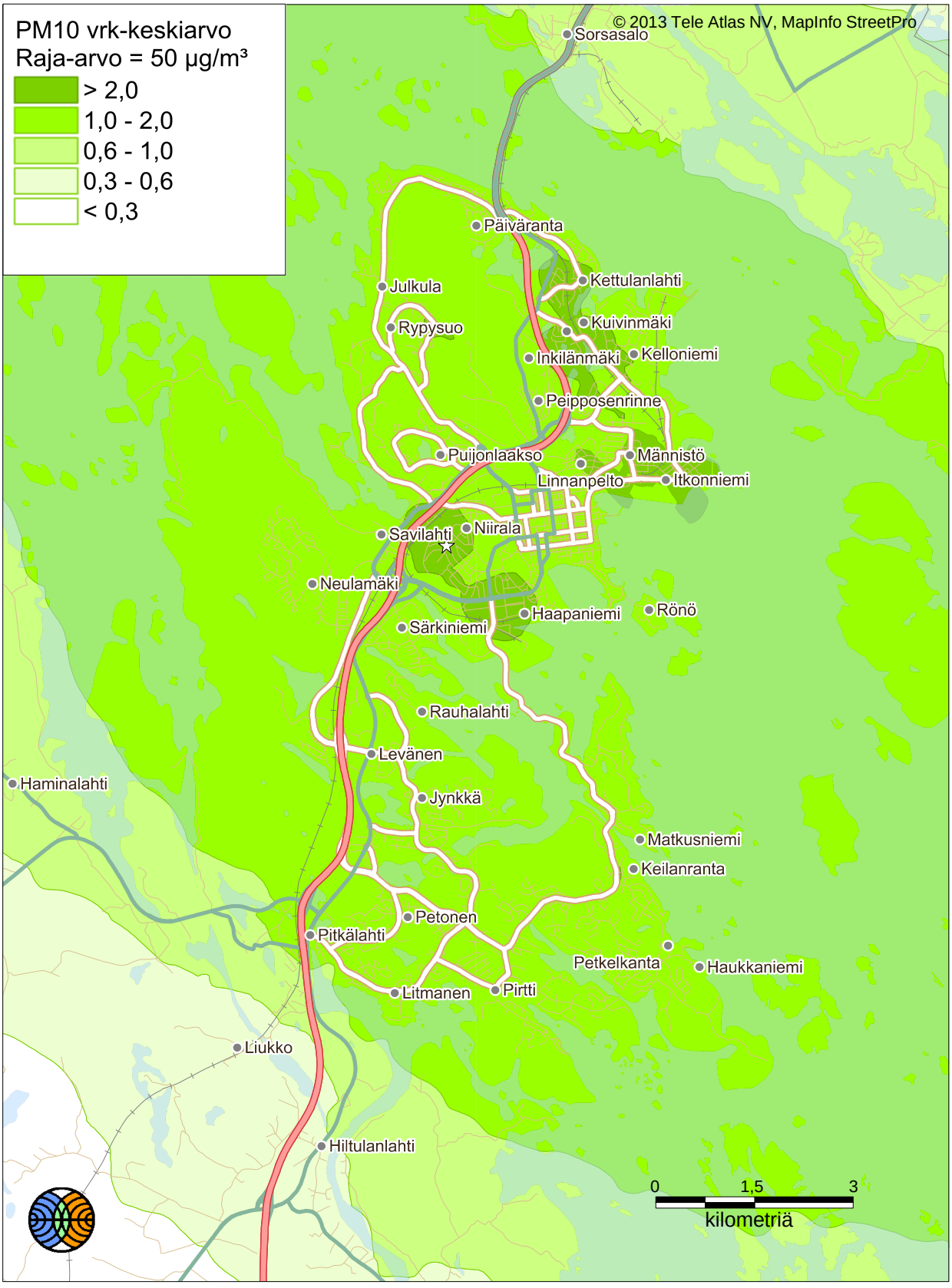


Ilmatieteen laitos 2013

☆ = maksimi = 1,5 µg/m³

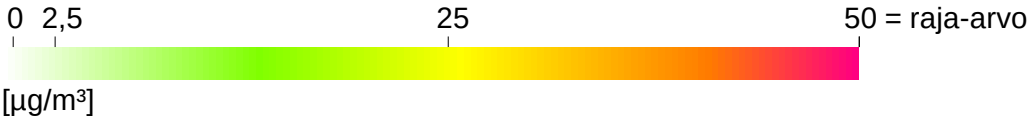


Kuva 55. Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttama PM10 vuorokausiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³) vuonna 2010.

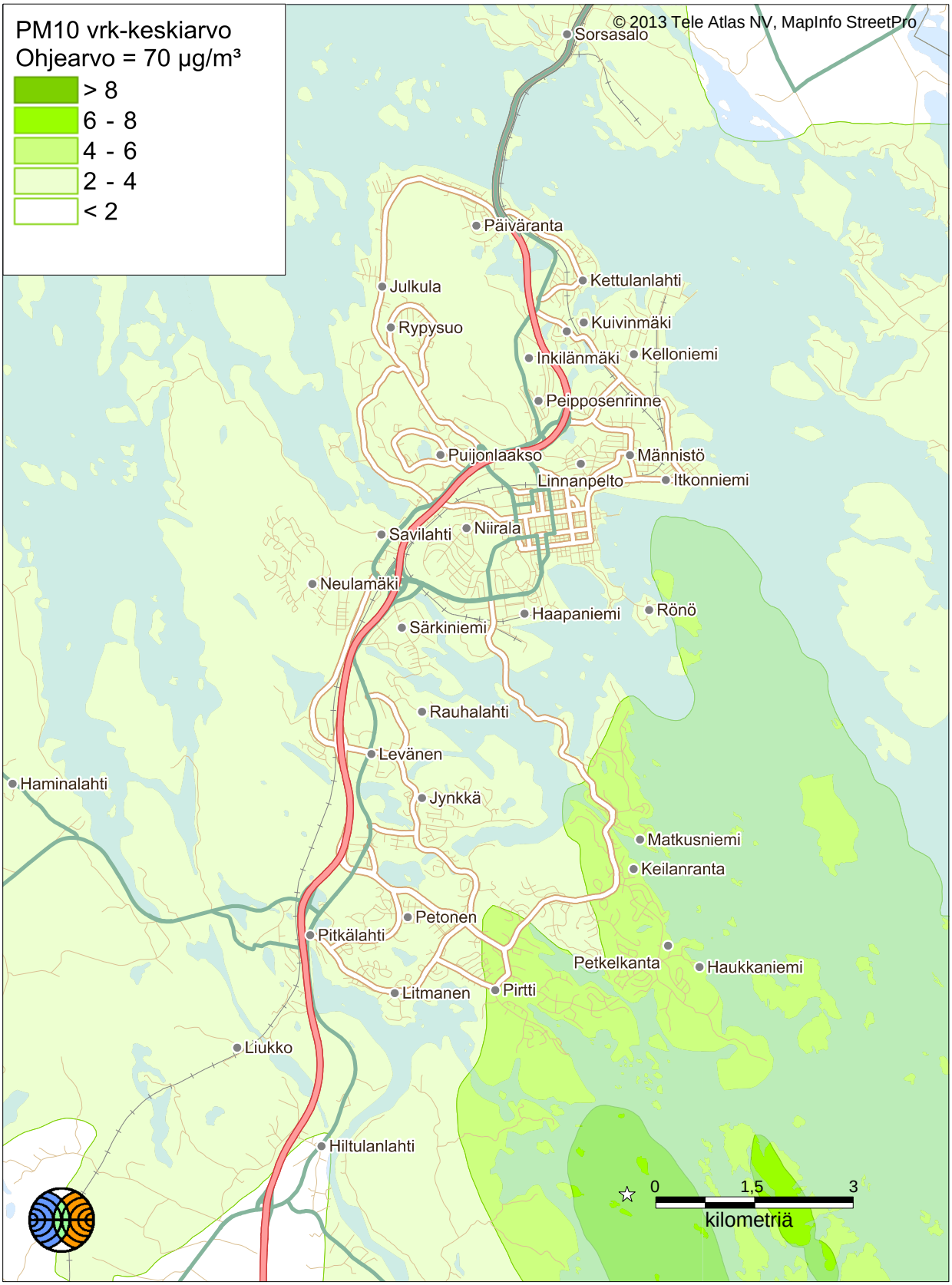


Ilmatieteen laitos 2013

☆ = maksimi = 2,5 µg/m³



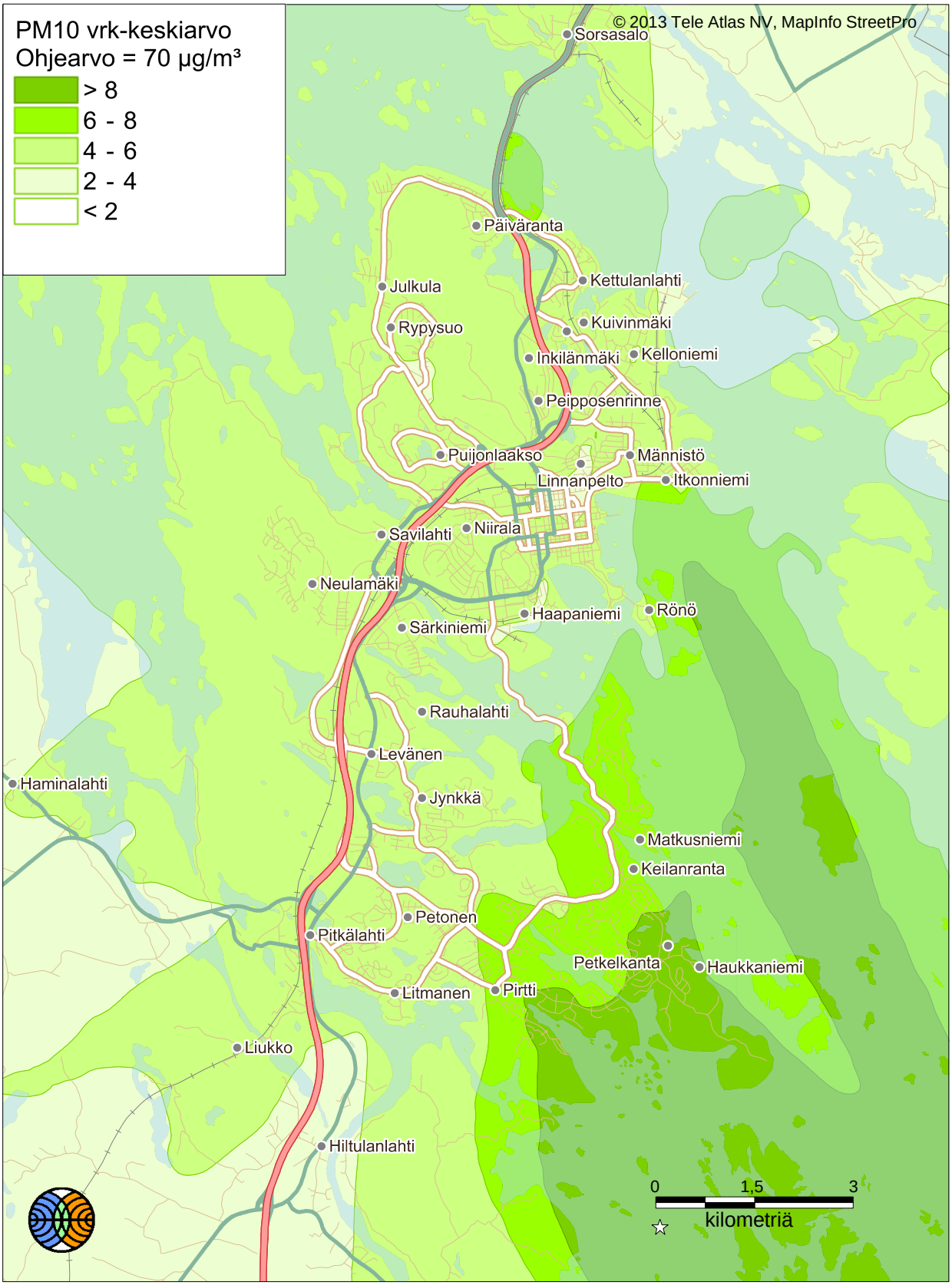
Kuva 56. Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttama PM10 vuorokausiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³) vuonna 2020.



Ilmatieteen laitos 2013

☆ = maksimi = 6,7 µg/m³

Kuva 57. Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttama PM10 vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³) vuonna 2010.

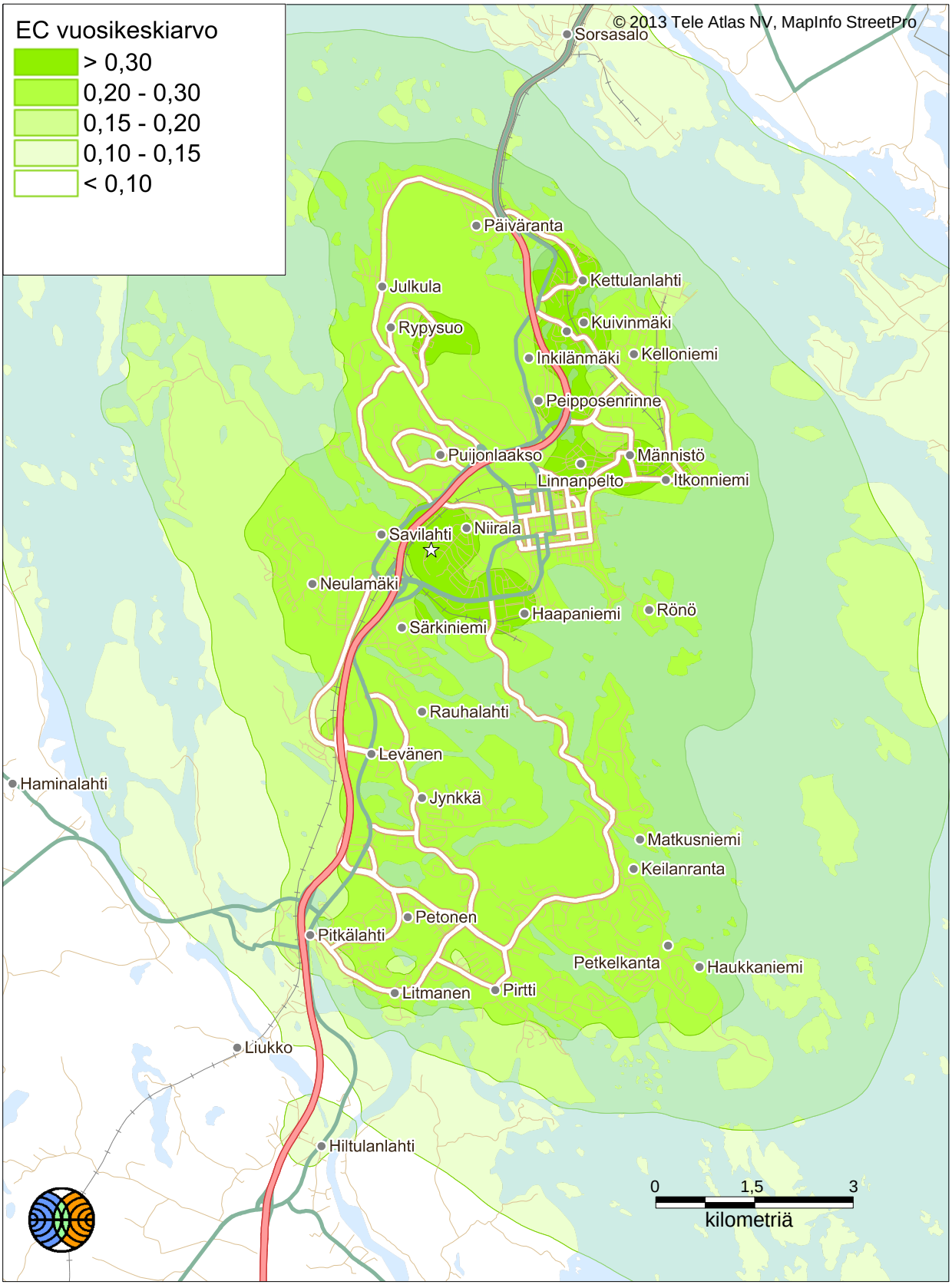


Kuva 58. Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttama PM10 vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³) vuonna 2020.

Ilmatieteen laitos 2013

☆ = maksimi = 0,23 µg/m³

Kuva 59. Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttama alkuainehiilen vuosikeskiarvo-pitoisuus (µg/m³) vuonna 2010.



Ilmatieteen laitos 2013

☆ = maksimi = 0,41 µg/m³

Kuva 60. Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttama alkuainehiilen vuosikeskiarvo-pitoisuus (µg/m³) vuonna 2020.

Ilmatieteen laitos
Erik Palménin aukio 1
PL 503, 00101 Helsinki
Puh. 029 539 1000
ilmatieteenlaitos.fi