



ILMANLAATUSELVITYS

KOTITALOUKSIEN PUUN PIENPOLTON PÄÄSTÖJEN AIHEUTTAMAT BENTSO(A)PYREENIN JA PIENHIUKKASTEN PITOISUUDET KUOPION SEUDULLA



ILMANLAATUSELVITYS

**KOTITALOUKSIEN PUUN PIENPOLTON PÄÄSTÖJEN AIHEUTTAMAT
BENTSO(A)PYREENIN JA PIENHIUKKASTEN
PITOISUUDET KUOPION SEUDULLA**

**Timo Rasila
Jatta Salmi
Jenni Latikka**

**ILMATIETEEN LAITOS – ILMANLAATU JA ENERGIA
ASiantuntijapalvelut
Helsinki 26.01.2018**

SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO	3
2	TAUSTATietoA ILMANLAADUSTA	4
2.1	Ilmanlaatuun vaikuttavat tekijät.....	4
2.2	Hiukkaset.....	4
2.3	Bentso(a)pyreeni ja muut PAH-yhdisteet.....	6
2.4	Ilmanlaadun raja- ja tavoitearvot.....	7
3	MENETELMÄT.....	8
3.1	Leviämismallilaskelmien kuvaus.....	8
3.2	Tutkimusalue ja leviämismallilaskelmien päästötiedot	10
4	TULOKSET	14
4.1	Bentso(a)pyreenipitoisuus (BaP)	14
4.2	Pienhiukkaspitoisuus (PM _{2,5})	15
4.3	Vertailut mitattuihin pitoisuuksiin.....	17
5	YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET	19
	VIITELUETTELO.....	21
	LIITEKUVAT	

1 JOHDANTO

Tässä tutkimuksessa arvioitiin leviämismallilaskelmin Kuopion seudun kotitalouksien puun pienpolton päästöjen vaikutusta alueen ilmanlaatuun. Tarkastelukohteena olivat kotitalouksien puun pienpolton päästöjen aiheuttamat bentso(a)pyreenin (BaP) ja pienhiukkasten ($PM_{2,5}$) pitoisuudet ulkoilmassa. Mallinnusta varten oli Kuopion seudulta käytettävissä Suomen ympäristökeskuksen (Syke) tuottama bentso(a)pyreenin ja pienhiukkasten päästöaineisto, joka kattoi Kuopion seudun lähikunnat ja -kaupungit noin $110 \text{ km} \times 110 \text{ km}$ suuruiselta tukimusalueelta. Päästöaineistossa kotitalouksien rakennuskannan päästölähteet oli eritelty kolmeen eri ryhmään: pientalojen puulämmiteisiin kiukaisiin sekä vapaa-ajanrakennusten ja muun rakennuskannan tulisijojen aiheuttamiin päästöihin. Näiden kaikkien päästölähteiden yhdessä aiheuttamat bentso(a)pyreenin ja pienhiukkasten pitoisuudet arvioitiin leviämislaskelmin koko tutkimusalueelle. Tutkimuksessa tarkasteltiin saatuja pitoisuuksia lähemmin myös Kuopion ja Suonenjoen keskustaajamissa sekä Kurkimäen, Karttulan, Maaningan, Vehmersalmen, Riistaveden, Nilsiän ja Juankosken taajamissa.

Kotitalouksien puun pienpolton päästöjen aiheuttamat bentso(a)pyreenin ja pienhiukkasten pitoisuudet laskettiin Ilmatieteen laitoksella päästöjen leviämisen mallintamiseen kehitetyllä leviämismallilla UDM-FMI. Päästöjen leviämismallilaskelmat tehtiin Ilmatieteen laitoksen Asiantuntijapalvelut -yksikössä.

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, jossa 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 (märkälaskema), kuivalaskemaan erilaisille pinnoille tai kemiallisen muutoksen kautta.

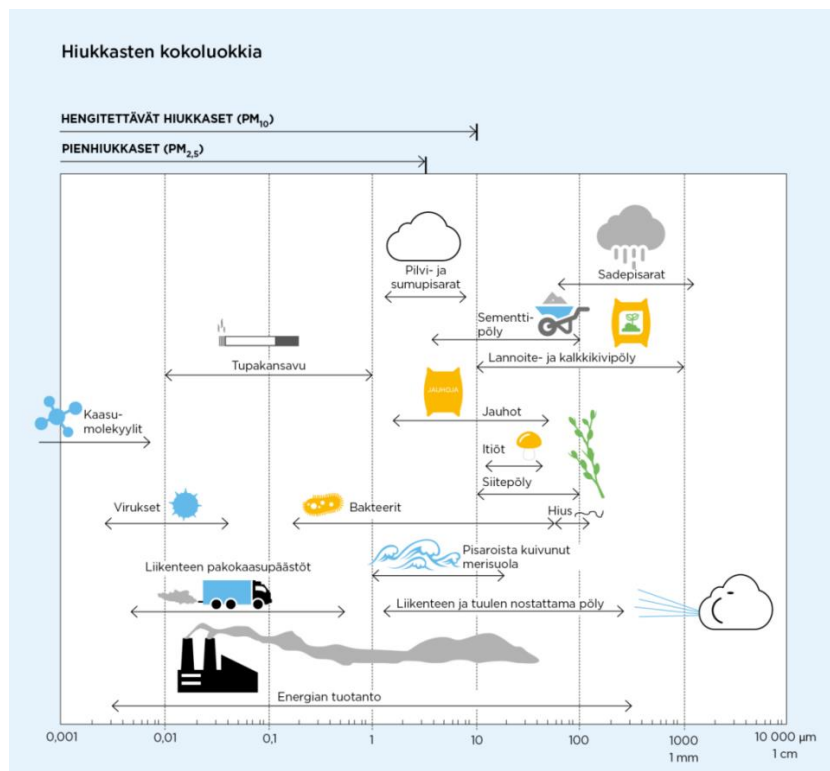
Päästöjen leviäminen tapahtuu pääosin ilmakehän alimmassa osassa, rajakerroksessa. Sen korkeus on Suomessa tyypillisesti alle kilometri, mutta varsinkin kesällä se voi nousta yli kahteen kilometriin. Matalimmat rajakerroksen korkeudet havaitaan yleensä talvella kovilla pakkasilla. Rajakerroksen korkeus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

2.2 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 sekä puun pienpoltosta. Suorat hiukkaspäästöt ovat pääasiassa pienhiukkasia. Hiukkasiin on sitoutunut myös erilaisia haitallisia yhdisteitä kuten bentso(a)pyreeniä ja muita hiilivetyjä sekä 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. Hengitettävillä hiukkasilla, 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.



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

Suurimmat hiukkaspitoisuudet esiintyvät vilkkaasti liikennöidyissä kaupunkikeskus- toissa. Suomessa hiukkaspitoisuudet kohoavat yleensä voimakkaasti keväällä maaliskuuhuhtikuussa, kun maanpinnan kuivuessa tuuli ja liikenne nostattavat katupölyä ilmaan. Liikenteen vaikutukset korostuvat matalan päästökorkeuden vuoksi. Hengitettävillä hiukkasilla annettu vuorokausiohje- ja raja-arvo ylittyy keväisin yleisesti Suomen kaupungeissa. Hengitettävien hiukkasten vuorokausipitoisuudelle annettu raja-arvo on sen sijaan ylittynyt viime vuosina vain Helsingin keskustassa.

Maamme suurimpien kaupunkien keskusta-alueilla on mitattu useina vuosina yli $25 \mu g/m^3$:n hengitettävien hiukkasten pitoisuuden vuosikeskiarvoja. Hengitettävien hiukkasten vuosikeskiarvopitoisuudelle annettu raja-arvo $40 \mu g/m^3$ on kuitenkin alittunut

Suomessa. Pääkaupunkiseudulla mitatut hengitettävät hiukkasten vuosikeskiarvopitoisuudet ovat olleet suurimmillaan tasoa $25\text{--}30\ \mu\text{g}/\text{m}^3$. Pienempienkin kaupunkien keskusta-alueilla hengitettävien hiukkasten pitoisuuden vuosikeskiarvot voivat ylittää $20\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Komppula ym., 2014). Puhtailla tausta-alueilla vuosikeskiarvopitoisuudet ovat olleet Etelä-Suomessa noin $9\text{--}12\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja Pohjois-Suomessa noin $3\text{--}6\ \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Pienhiukkaspitoisuuden ($\text{PM}_{2.5}$) vuosikeskiarvolle määritetty raja-arvo $25\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ alittuu ilmanlaadun mittauksien mukaan kaikkialla Suomessa. Korkeimmillaan vuosipitoisuus on ollut Helsingin vilkkaasti liikennöidyillä keskusta-alueilla noin $12\text{--}14\ \mu\text{g}/\text{m}^3$. Maaseututausta-alueilla pitoisuustaso on Etelä-Suomessa noin $7\text{--}10\ \mu\text{g}/\text{m}^3$, Keski-Suomessa noin $4\text{--}7\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja Pohjois-Suomessa noin $3\ \mu\text{g}/\text{m}^3$. Pitoisuuserot erityyppisten mittausympäristöjen välillä ovat melko pieniä: kaupunkiympäristön päästölähteet kohottavat vuositasolla pitoisuuksia liikenneympäristöissä noin $3\text{--}4\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja kaupunkitausta-alueilla noin $1\text{--}2\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ taustapitoisuuksista. Pienhiukkasten taustapitoisuudesta valtaosa on kaukokulkeutunutta hiukkasainesta. Kaukokulkeuma muodostaa huomattavan osan myös kaupunki-ilman pienhiukkaspitoisuuksista (Alaviippola ja Pietarila, 2011).

2.3 Bentso(a)pyreeni ja muut PAH-yhdisteet

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

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

Bentso(a)pyreenin pitoisuudet ja vuodenaikaisvaihtelu kuvaavat hyvin muidenkin PAH-yhdisteiden ominaisuuksia. Talvella PAH-yhdisteiden pitoisuudet ovat suurempia kuin kesällä, koska mm. energiantuotannon ja puunpolton takia PAH-yhdisteiden päästöt ovat talvikaudella suuremmat. Toisin kuin monet muun ilmansaasteen päästöt, bentso(a)py-

reenin päästöt ilmaan ovat kasvaneet Euroopassa viime vuosina. Tämä johtuu suurimmaksi osaksi lisääntyneestä biomassan poltosta. Noin neljäsosa Euroopan kaupunkien väestöstä altistui EU:n tavoitearvon 1 ng/m^3 ylittävälle BaP-pitoisuuksille (EEA, 2017).

Suomessa BaP on tyypillisesti pientaloalueiden ongelma. Näillä alueilla poltetaan paljon puuta ja mitatut pitoisuuksien vuosikeskiarvot ovat usein tavoitearvon tuntumassa. Korkeita pitoisuuksia esiintyy erityisesti talvisin. Virallisesti EU:n BaP tavoitearvon 1 ng/m^3 ylityksiä ($1,5 \text{ ng/m}^3$ tai sen yli) ei Suomessa mitattu vuonna 2016. Suomen korkein vuosikeskiarvo $1,0 \text{ ng/m}^3$ mitattiin Raahessa. BaP-mittauksia on Suomessa melko harvassa, mutta mallilaskelmien mukaan tavoitearvoa lähellä olevia tai jopa sen ylittäviä pitoisuuksia esiintyisi melko tasaisesti ympäri Suomea asutuskeskuksissa alueilla, joissa on paljon puunpolttoa (Ilmatieteen laitos, 2017).

2.4 Ilmanlaadun raja- ja tavoitearvot

Leviämismallilaskelmilla tai ilmanlaadun mittauksilla saatuja pitoisuuksia voidaan arvioida vertaamalla niitä ilmanlaadun raja-, tavoite- tai ohjearvoihin. EU-maissa voimassa olevat *raja-arvot* ovat sitovia ja ne eivät saa ylittyä alueilla, joissa asuu tai oleskelee ihmisiä. Raja-arvot (Vna 79/2017) 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. Terveystaittojen ehkäisemiseksi ja vähentämiseksi ulkoilman pienhiukkaspitoisuus ei saa ylittää taulukon 1 raja-arvoa alueilla, joilla ihmiset saattavat altistua ilman epäpuhtauksille.

Taulukko 1. Terveystaittojen ehkäisemiseksi annettu ulkoilman pienhiukkaspitoisuutta koskeva raja-arvo (Vna 79/2017).

Ilman epäpuhtaus	Keskiarvon laskenta-aika	Raja-arvo *) [$\mu\text{g/m}^3$]	Sallittujen ylitysten määrä kalenterivuodessa (vertailujakso)
Pienhiukkaset (PM _{2,5})	kalenterivuosi	25	–

*) Tulokset ilmoitetaan ulkoilman lämpötilassa ja paineessa.

Tavoitearvolla tarkoitetaan ilmassa olevaa pitoisuutta, joka on mahdollisuuksien mukaan alitettava määrääjassa ja jolla pyritään välttämään, ehkäisemään tai vähentämään ihmisten terveyteen ja ympäristöön kohdistuvia haitallisia vaikutuksia. Pitoisuuksien alittessa säädetyn tavoitearvon, pitoisuudet on pyrittävä pitämään tavoitearvojen alapuolella ja mahdollisuuksien mukaan estämään pitoisuuksien nouseminen. Tavoitearvon ylittyminen on pyrittävä estämään käyttämällä parasta käyttökelpoista tekniikkaa ja noudattamalla ympäristön kannalta parhaan käytännön periaatetta (Vna 113/2017). Bentso(a)pyreenin pitoisuutta ulkoilmassa koskeva ilmanlaadun tavoitearvo sekä pitoisuuksien seurantaan liittyvät ylempi ja alempi arviointikynnys on esitetty taulukossa 2.

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

Taulukko 2. Bentso(a)pyreenin (BaP) tavoitearvot ja arviointikynnykset pitoisuuksien vuosikeskiarvoille (Vna 113/2017).

Aine	Keskiarvon laskenta-aika	Tavoitearvo *) ng/m ³	Alempi arviointikynnys ng/m ³	Ylempi arviointikynnys ng/m ³
BaP	kalenterivuosi	1,0	0,4	0,6

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

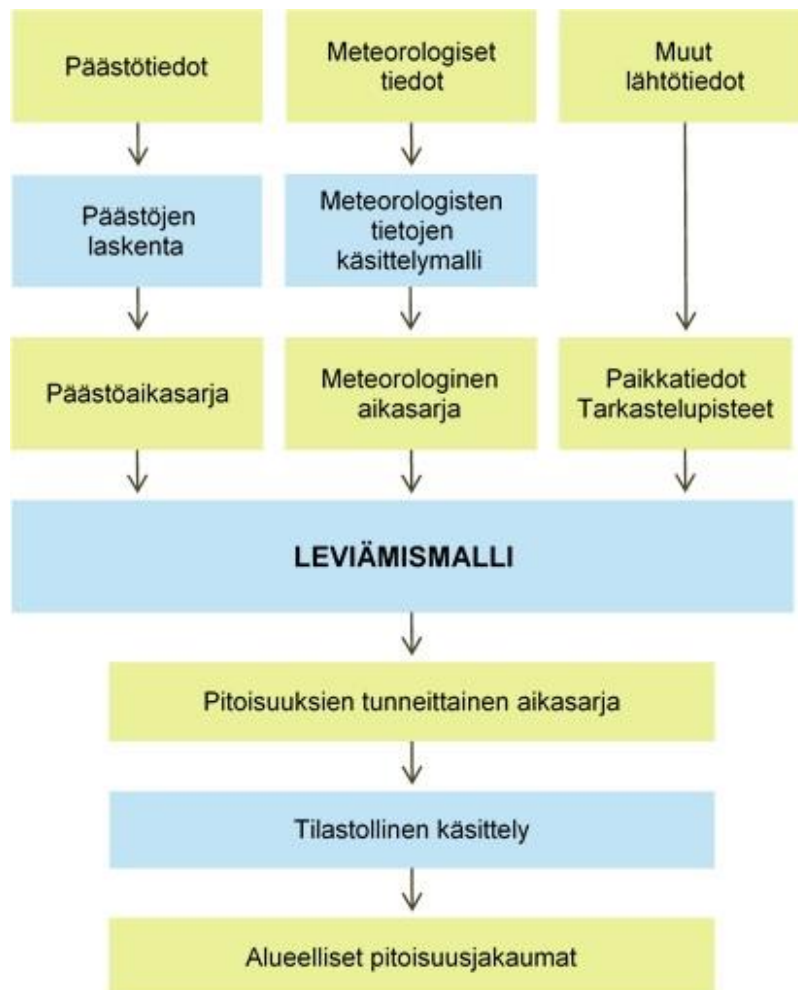
3 MENETELMÄT

3.1 Leviämismallilaskelmien kuvaus

Leviämismalleilla tutkitaan päästöjen kulkeutumista ilmakehässä ja niiden aiheuttamia ilman epäpuhtauksien pitoisuuksia maanpinnan tasolla. Malleihin sisältyy usein laskentamenetelmiä, joiden avulla voidaan tarkastella epäpuhtauksien muuntumista, kemiallisia reaktioita ja poistumista ilmakehästä laskeutumaan sekä ilman epäpuhtauspitoisuuksien muodostumista. Tässä tutkimuksessa käytettiin Ilmatieteen laitoksella kehitettyjä leviämismalleja laitoksen päästöjen leviämisen kuvaamiseen ja niiden ilmanlaatuvaikutusten arvioimiseen.

Ilmatieteen laitoksen leviämismalleja on kehitetty pitkäjänteisesti tavoitteena tuottaa luotettavaa tietoa ilmanlaadusta mm. kaupunki- ja liikennesuunnittelun, ilmansuojelutoimien suunnittelun tueksi sekä ilman epäpuhtauksista aiheutuvan väestön altistumisen arvioimiseksi. Mallien toimintaa on kehitetty lukuisissa tutkimusprojekteissa ja verifiointitutkimusten mukaan mallinnusten tulokset on todettu Suomen taajamien ja teollisuusympäristöjen ilmanlaadun mittaustulosten kanssa hyvin yhteensopiviksi. Leviämismalleilla saatujen tulosten on osoitettu täyttävän hyvin ilmanlaatuasetuksessa (Vna 79/2017) annetut laatutavoitteet mallintamiselle sallituista epävarmuuksista.

Tässä selvityksessä käytetyllä leviämismallilla voidaan arvioida ilman epäpuhtauksien pitoisuuksia päästölähteen lähialueilla. Leviämismallia UDM-FMI (Urban Dispersion Modelling system) käytetään pistemäisten päästölähteiden (esim. piippujen) ja pintalähteiden ilmanlaatuvaikutusten arviointiin. Kaavio leviämismallin toiminnasta on esitetty kuvassa B. Ilmatieteen laitoksen leviämismalleissa kuvataan tarkasti päästökohdassa tapahtuvaa mekaanista ja lämpötilaeroista johtuvaa nousulisää, lähimpien esteiden aiheuttamaa savupainumaa, ilmassa tapahtuvia päästöaineiden kemiallisia prosesseja sekä epäpuhtauksien poistumamekanismeja.



Kuva B. Kaaviokuva Ilmatieteen laitoksella kehitetyn leviämismallin UDM-FMI toiminnasta.

Leviämismallien lähtötiedoiksi tarvitaan tietoja päästöistä ja niiden lähteistä sekä mittaamalla ja mallittamalla saatuja tietoja ilmamekanismin tilasta. Lisäksi lähtötiedoiksi tarvitaan erilaisia paikkatietoja, kuten tietoja maanpinnan korkeudesta ja laadusta sekä päästölähteiden sijainnista. Pintalähteiden päästöjen leviämislaskennassa huomioidaan lähdekohtaiset päästöt, savukaasujen ominaisuudet ja pintalähteen koko, jolta alueelta eri päästölähteet (hajapäästöt) yhdistetään lähdekohtaisesti yhdeksi päästölähteeksi.

Leviämismallin tarvitseman meteorologisen aikasarjan muodostuksessa käytetään Ilmatieteen laitoksella kehitettyä meteorologisten tietojen käsittelymallia, joka perustuu ilmakehän rajakerroksen parametrisointimenetelmään (Karppinen, 2001). Menetelmän avulla voidaan meteorologisten rutiinihavaintojen ja fysiikan perusyhtälöiden avulla arvioida rajakerroksen tilaan vaikuttavat muuttujat, joita tarvitaan epäpuhtauksien leviämismallilaskelmissa. Menetelmässä huomioidaan tutkimusalueen paikalliset tekijät, kuten leviämisalustan rosoisuus ja vuodenaikaiset albedoarvot (maanpinnan kyky heijastaa auringon säteilyä) eri maanpinnan laaduilla. Laskelmissa käytetään yleensä 1–3 vuoden pituisia tutkimusalueen sääolosuhteita edustavaa meteorologista aineistoa. Laskelmissa käytettäväksi sääasemiksi valitaan tutkimusaluetta edustavimmat sääasemat, joilla mitataan kaikkia mallin tarvitsemia suureita. Säähavainto- ja luotausaineistot täyttävät Maailman ilmatieteen järjestön (WMO) ja Kansainvälisen siviili-ilmailujärjestön (ICAO) laatuvaatimukset. Tuulen suunta- ja nopeustiedot muodostetaan kahden tai useamman sääaseman havaintojen etäisyyspainotettuna tilastollisena yhdistelmänä. Lopputuloksena saadaan leviämismalleissa tarvittavien meteorologisten tietojen tunnitaiset aikasarjat.

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

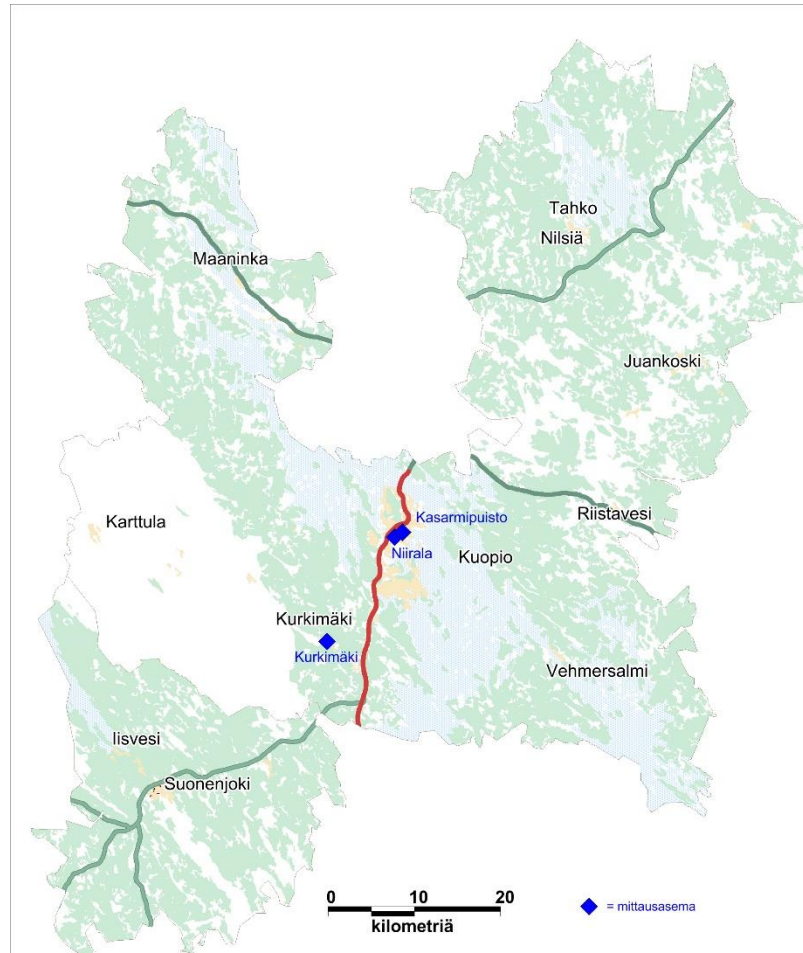
Leviämismallilaskelmilla saatavien tulosten luotettavuuteen vaikuttavat malliin syötettävät lähtötiedot sekä itse mallin toiminta. Mallilaskelmilla kuvataan ilmiöiden tavanomaista kehittymistä pitkällä aikavälillä yksinkertaistaen jossain määrin todellisuutta. Malliin sisältyy olettamuksia ja yksinkertaistuksia, jotka ovat välttämättömiä mallin toiminnan ja lähtötietojen puutteellisen saatavuuden vuoksi. Vuosikeskiarvo-pitoisuudet edustavat vallitsevaa pitoisuustilannetta pitkällä ajanjaksolla ja vuorokausi- ja tuntikeskiarvopitoisuudet edustavat lyhytkestoisempia episoditilanteita, jolloin meteorologinen tilanne on paikallisesti päästöjen laimenemisen ja sekoittumisen kannalta epäedullinen. Huomionarvoista on, että suurimman osan ajasta epäpuhtauspitoisuudet ovat pienempiä kuin korkeimmat hetkelliset pitoisuudet.

Yleensä leviämismallilaskelmien tuloksiin liittyy epävarmuutta sitä enemmän mitä lyhyemmän jakson pitoisuusarvoista on kyse. Mallitulosten epävarmuuden pienentämiseksi laskennassa tarkastellaan pitkää kolmen vuoden aikasarjaa (yli 26 000 tarkastelutuntia), jolloin tilastolliset raja- ja ohjearvoihin verrannolliset pitoisuudet ovat mahdollisimman edustavia.

3.2 Tutkimusalue ja leviämismallilaskelmien päästötiedot

Tässä tutkimuksessa arvioitiin leviämislaskelmin Kuopion seudun kotitalouksien puun pienpolton päästöjen aiheuttamia bentso(a)pyreenin (BaP) ja pienhiukkasten (PM_{2,5}) pitoisuuksia. Mallilaskelmat suoritettiin kuvassa C esitetyllä tutkimusalueella. Kuvassa C on esitetty lisäksi laskelmissa käsitellyt bentso(a)pyreenin ja pienhiukkasten pitoisuusmittausasemien sijaintikohdat. Tutkimusalue käsitti Kuopion ja Suonenjoen kaupunkien alueet. Kuopion alueen taajamien (Maaninka, Nilsia, Juankoski, Kurkimäki, Vehmer-

salmi, Riistavesi ja Karttula) kohdille saadut korkeimmat pitoisuusarvot esitetään tarkemmin eriteltyinä tutkimuksen taulukoissa ja aluejakaumakuvina. Tutkimusalue oli kokonaisuudessaan kooltaan noin 110 km × 110 km ja se ulottui Nilsin pohjoisosista Suonenjoen kaupungin eteläosiin asti.



Kuva C. Tutkimusalue, johon kuuluivat Kuopion ja Suonenjoen kaupunkien alueet. Karttaan on merkitty Suonenjoen kaupungin Iisveden taajaman alue sekä Kuopion kaupungin taajamat, joiden alueelle laskelmin saadut pitoisuudet on tutkimuksessa selvitetty tarkemmin (Maaninka, Nilsä ja Tahkon alue, Juankoski, Kurkimäki, Vehmersalmi, Riistavesi ja Karttula). Bentos(a)pyreenin ja pienhiukkasten pitoisuuksien mittausasemien sijaintikohdat on esitetty kartalla sinisillä neliöillä.

Mallilaskelmissa tarkasteltiin Kuopion seudun kotitalouksien puun pienpolton aiheuttamia bentso(a)pyreenin (BaP) ja pienhiukkasten (PM_{2,5}) ulkoilman pitoisuuksia. Mallituksen päästötietoina oli käytettävissä Suomen ympäristökeskuksen (Syke) tuottama aineisto pienhiukkasten ja bentso(a)pyreenin päästöistä. Päästöaineistossa kotitalouksien rakennuskannan päästölähteet oli eritelty kolmeen eri ryhmään: pientalojen puulämmitteisiin kiukaisiin sekä vapaa-ajanrakennusten ja muun rakennuskannan tulisijojen aiheuttamiin päästöihin. Suomen ympäristökeskuksen päästöaineisto käsitti koko tutkimusalueen 250 m × 250 m kokoisina neliön muotoisina päästöruutuina, jotka käsiteltiin

mallilaskelmissa yhteensä 12 752 pinalähteenä. Kukin päästörüutu sisälsi eri päästölähderyhmiä (vapaa-ajanrakennukset, pientalojen puulämmitteiset kiukaat ja muu kotitalouksien rakennuskanta) yhteensä aiheuttamat bentso(a)pyreenin ja pienhiukkasten kokonaispäästöt (t/a). Taulukossa 3 on esitetty mallilaskelmissa käytetyt Kuopion seudun eri osien (9 aluetta) bentso(a)pyreenin ja pienhiukkasten vuosipäästöt vuonna 2015. Taulukossa 4 on esitetty kotitalouksien puun pienpolton päästöt eriteltyinä päästölajeittain koko tarkastelualueella.

Taulukko 3. Kuopion seudun kotitalouksien puun pienpolton aiheuttamat ulkoilman bentso(a)pyreenin ja pienhiukkasten vuosipäästöt tutkimusalueen eri osissa (9 aluetta) vuonna 2015 (Kuopion, Kurkimäen ja Riistaveden päästöjä ei päästöaineistossa ollut erikseen eritelty).

Alue	Bentso(a)pyreeni [t/vuosi]	Pienhiukkaset [t/vuosi]
Juankoski	0,031	23
Karttula	0,022	15
Kuopio, Kurkimäki, Riistavesi	0,097	66
Maaninka	0,024	18
Nilsia	0,048	35
Suonenjoki	0,034	26
Vehmersalmi	0,019	14
YHTEENSÄ	0,280	196

Taulukko 4. Kuopion seudun kotitalouksien puun pienpolton aiheuttamat ulkoilman bentso(a)pyreenin ja pienhiukkasten vuosipäästöt eriteltyinä päästölajeittain (vapaa-ajanrakennukset, pientalojen puulämmitteiset kiukaat ja muu kotitalouksien rakennuskanta).

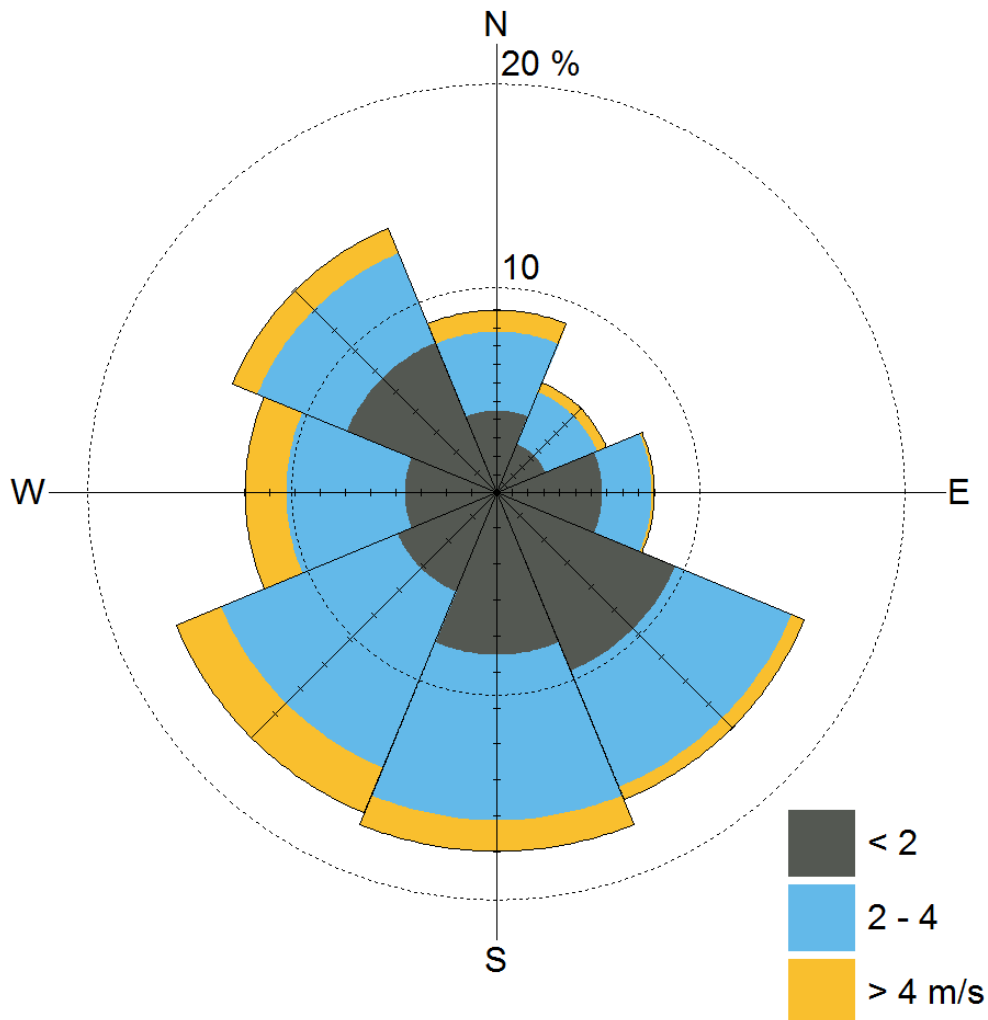
Päästölaji	Bentso(a)pyreeni [t/vuosi]	Pienhiukkaset [t/vuosi]
Vapaa-ajanrakennukset	0,046	27
Puulämmitteiset kiukaat	0,117	62
Muu rakennuskanta	0,112	107
YHTEENSÄ	0,280	196

Mallinnuksessa käytetyt bentso(a)pyreenin ja pienhiukkasten kokonaispäästöt olivat tutkimusalueella vuonna 2015 yhteensä noin 0,28 t/a (BaP) ja 200 t/a (PM_{2,5}). Suurimmat yksittäiset bentso(a)pyreenin ja pienhiukkasten ruutupäästöt sijoituivat Kuopion keskustajaman alueelle ja olivat suuruudeltaan 80 g/a/ha (BaP) ja 52 kg/a/ha (PM_{2,5}) (ks. liitekuvat 1a ja 2a).

Kaikkien ruutulähteiden korkeuden oletettiin olevan 7,5 m maanpinnasta. Päästökorkeus on sama mitä on käytetty vuonna 2017 pääkaupunkiseudulle tehdyssä tutkimuksessa, jossa pääkaupunkiseudun alueen puunpolton ilmanlaatuvaikutuksia arvioitiin mittauksin ja leviämislaskelmin (Hellén ym., 2017). Leviämismallilaskelmissa käytettiin Suomen ym-

päristökeskuksen päästöaineistossa annettua vuoden 2015 tunneittaista päästöjen aikavaihtelua. Kullakin eri päästölähderyhmällä oli käytävissä yksilöllinen aikavaihtelu Alueen päästölähteiden aiheuttamat pitoisuudet laskettiin hengityskorkeudelle (2 m maanpinnasta) laskentapisteikköön, jossa oli lähes 200 000 laskentapistettä. Laskentapistekö oli tasavälinen hila, jossa pisteet olivat 250 metrin etäisyydellä toisistaan, kunkin päästöruudun keskellä. Laskelmissa huomioitiin maastonkorkeudet jokaisessa laskentapisteessä Maanmittauslaitokselta (MML) saadun aineiston perusteella.

Tutkimusalueen ilmastollisia olosuhteita edustava kolmen vuoden mittainen meteorologinen aikasarja muodostettiin Kuopion ja Jyväskylän lentosääasemien havaintotiedoista vuosilta 2013–2015. Sekoituskorkeuden määrittämiseen käytettiin Jokioisten observatorion radioluotaushavaintoja samoilta vuosilta 2013–2015. Kuvassa D on esitetty tuulen suunta- ja nopeusjakauma tutkimusalueella tuuliruusun muodossa. Tutkimusalueella ovat vallitsevia lounaan ja kaakon välisestä sektorista puhaltavat tuulet.



Kuva D. Tuulen suunta- ja nopeusjakauma tutkimusalueella vuosina 2013–2015. Alueella esiintyi eniten lounaan ja kaakon välisestä sektorista puhaltavia tuulia ja vähiten koillisen ja idän puoleisia tuulia. Tuulitiedot kuvaavat olosuhteita 10 metrin korkeudella maanpinnasta.

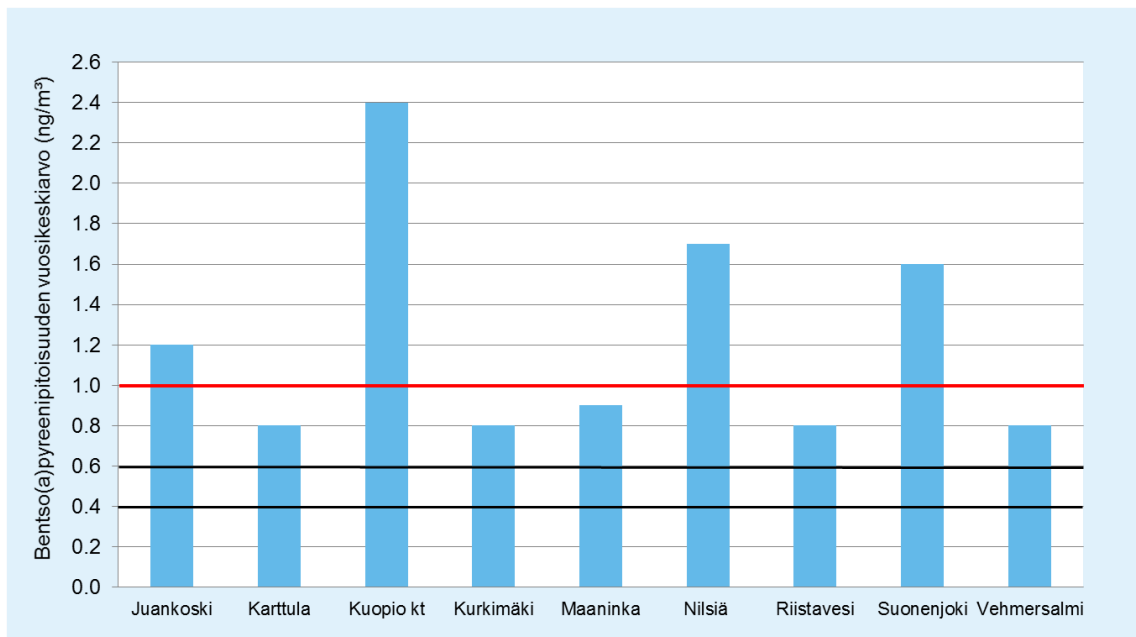
4 TULOKSET

4.1 Bentso(a)pyreenipitoisuus (BaP)

Leviämismallilaskelmien tuloksina saadut Kuopion seudun kotitalouksien puun pienpolton päästöjen aiheuttamat bentso(a)pyreenin vuosikeskiarvopitoisuuksien maksimiarvot tutkimusalueen eri osissa on esitetty taulukossa 5. Leviämislaskelmien tuloksena saatu BaP-pitoisuuden alueellinen vaihtelu koko tutkimusalueella on esitetty liitekuvasa 1b ja BaP-pitoisuus tutkimusalueen eri osissa on esitetty raportin lopussa olevissa liitekuvasa 3–11. Bentso(a)pyreenin pitoisuustuloksissa on huomioitu vain kotitalouksien aiheuttamat puun pienpolton päästöt ilman alueellista taustapitoisuutta. Vuonna 2017 pääkaupunkiseudulle tehdyssä selvityksessä taustapitoisuudeksi (Hyytiälän maaseututaustan mittausasema) oli mitattu vuosina 2009–2014 vuosikeskiarvoksi 0,135 ng/m³. Leviämismallilaskelmien mukaan suurimmat bentso(a)pyreenipitoisuudet syntyvät tutkimusalueelle tajaamien kohdille. Suurimmillaan bentso(a)pyreenin vuosikeskiarvopitoisuudet voivat ylittää tavoitearvon (1 ng/m³) Kuopiossa, Juankoskella, Nilsissä ja Suonenjoella, mutta muissa tutkituissa taajamissa pitoisuudet jäisivät laskelmien mukaan korkeimmillaankin alle tavoitearvon. Kuopiossa tavoitearvo ylittyisi lähes koko Kuopion keskustaa-jaman alueella, Siilinjärven rajalta Kuopion pohjoisosista Kuopion eteläosaan Petosen kaupunginosan kohdalle asti. Muissa tutkituissa Kuopion seudun taajamissa tavoitearvon ylitysalueet olivat selvästi pienempiä kooltaan (liite kuvat 3–11).

Taulukko 5. Leviämismallilaskelmilla saatujen Kuopion seudun kotitalouksien puun pienpolton aiheuttamien ulkoilman bentso(a)pyreenipitoisuuksien suurimmat vuosikeskiarvot (ng/m³) tutkimusalueen eri osissa (9 aluetta).

Alue	Bentso(a)pyreenipitoisuuden vuosikeskiarvo [ng/m ³] Tavoitearvo 1 ng/m ³
Juankoski	1,2
Karttula	0,8
Kuopio	2,4
Kurkimäki	0,8
Maaninka	0,9
Nilsä	1,7
Riistavesi	0,8
Suonenjoki	1,6
Vehmersalmi	0,8



Kuva E. Leviämismallilaskelmilla saatujen Kuopion seudun kotitalouksien puun pienpolton päästöjen aiheuttamat suurimmat bentso(a)pyreenipitoisuudet tutkimusalueen eri osissa (9 aluetta). Kuvaajassa on esitetty punaisella viivalla bentso(a)pyreenin vuosikeskiarvopitoisuuden tavoitearvo 1 ng/m^3 sekä mustilla viivoilla ylempi ja alempi arviointikynnys.

Korkeimmillaan bentso(a)pyreenin vuosikeskiarvopitoisuudet ovat Kuopion keskustaajaman alueella noin 2,4-kertaisia tavoitearvoon verrattuna ja Nilsjässä, Suonenjoella sekä Juankoskella noin 1,2–1,7-kertaisia tavoitearvoon verrattuna (kuva E). Muissa tutkituissa taajamissa bentso(a)pyreenipitoisuus olisi korkeimmillaan noin 80–90 % tavoitearvosta (Karttula, Kurkimäki, Maaninka, Riistavesi ja Vehmersalmi). Leviämismallilaskelmien mukaan bentso(a)pyreenin vuosikeskiarvopitoisuudet ylittivät kaikissa tutkituissa taajamissa ylemmän arviointikynnyksen $0,6 \text{ ng/m}^3$.

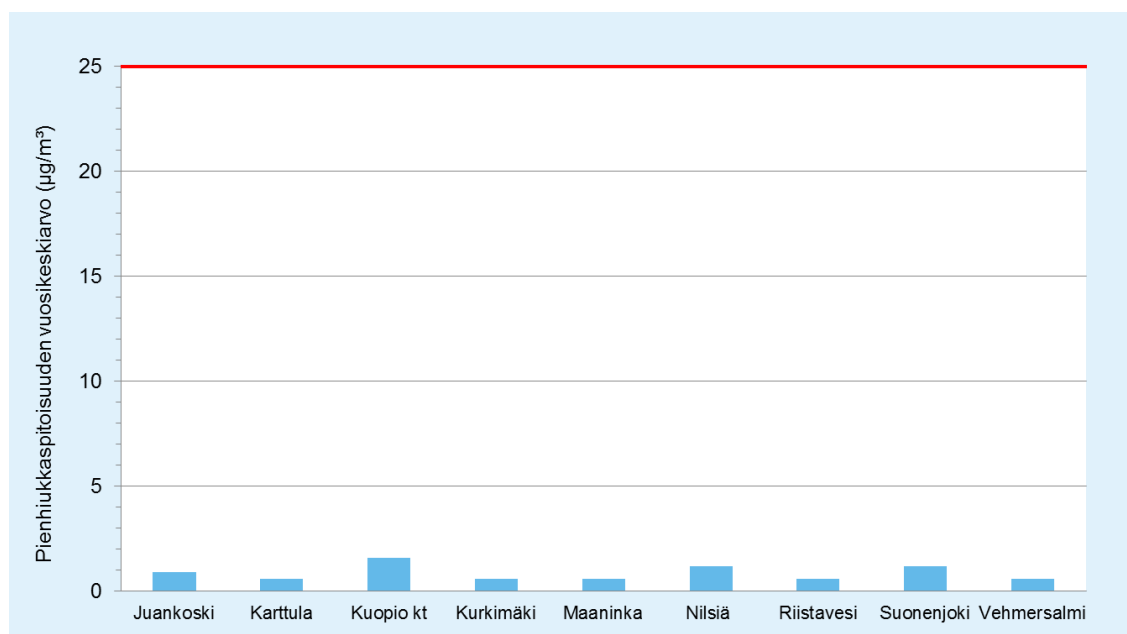
4.2 Pienhiukkaspitoisuus ($\text{PM}_{2,5}$)

Leviämismallilaskelmien tuloksina saadut Kuopion seudun kotitalouksien puun pienpolton päästöjen aiheuttamat pienhiukkasten vuosikeskiarvopitoisuuden maksimiarvot tutkimusalueen eri osissa (9 aluetta) on esitetty taulukossa 6. Leviäislaskelmien tuloksena saatu pienhiukkaspitoisuuden alueellinen vaihtelu koko tutkimusalueella on esitetty liitekuvassa 2b ja pienhiukkaspitoisuus tutkimusalueen eri osissa on esitetty raportin lopussa olevissa liitekuviissa 12–20. Pienhiukkaspitoisuuksien aluejakaumakuviissa on huomioitu vain kotitalouksien aiheuttamat puun pienpolton päästöt ilman alueellista taustapitoisuutta.

Taulukko 6. Leviämismallilaskelmilla saadut Kuopion seudun kotitalouksien puun pienpolton aiheuttamat ulkoilman pienhiukkaspitoisuuksien suurimmat vuosikeskiarvot ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) tutkimusalueen eri osissa (9 aluetta).

Alue	Pienhiukkaspitoisuuden vuosikeskiarvo [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] Raja-arvo $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$
Juankoski	0,9
Karttula	0,6
Kuopion keskustaajama	1,6
Kurkimäki	0,6
Maaninka	0,6
Nilsia	1,2
Riistavesi	0,6
Suonenjoki	1,2
Vehmersalmi	0,6

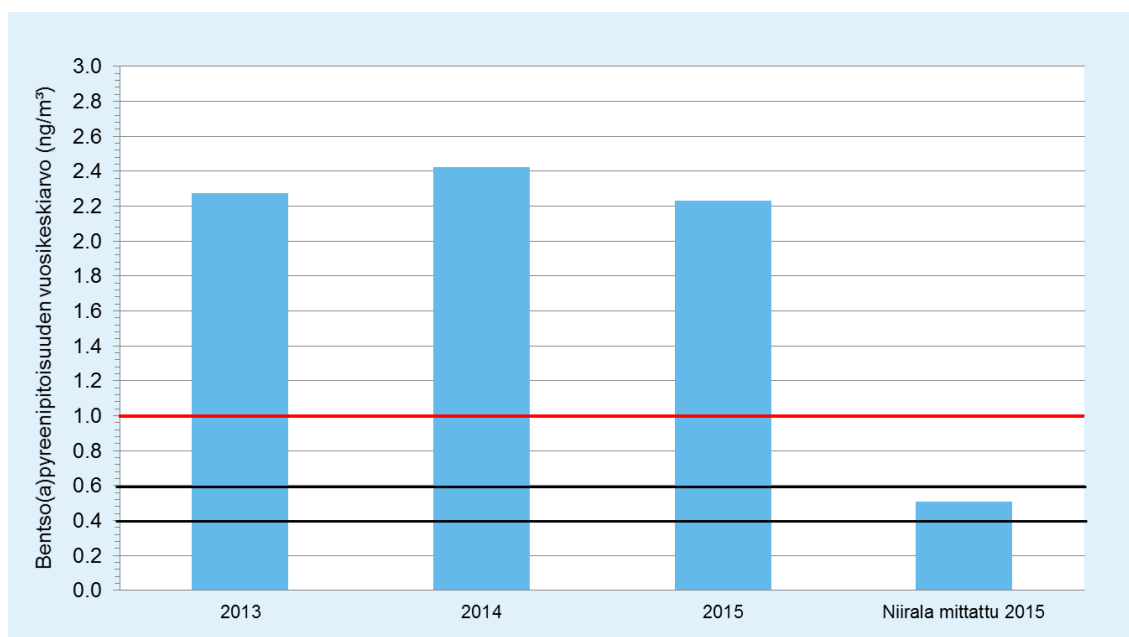
Alueellinen pienhiukkasten pitoisuus on esim. Kuopion keskustan Kasarmipuiston mitausasemalla (kaupunkitaustapitoisuus) ollut vuositasolla noin $5\text{--}6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (*Ilmanlaatuportaali*, 2017). Kaukokulkeumalla on merkittävä vaikutus pienhiukkaspitoisuuksiin Suomessa ja korkeimmat hetkelliset pienhiukkaspitoisuudet havaitaan yleensä kaukokulkeumaepisodien aikana. Leviämlaskelmien mukaan puun pienpolton päästöt aiheuttavat Kuopion seudulla pienhiukkaspitoisuuksia, jotka korkeimmillaankin alittavat selvästi pienhiukkaspitoisuudelle annetun vuosiraja-arvon (vuosiraja-arvo $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Korkeimmillaan kotitalouksien puunpolton päästöjen aiheuttama pienhiukkaspitoisuus olisi Kuopion keskustaajaman alueella noin 6 % vuosiraja-arvosta ja muilla tutkituilla alueilla alle 5 % vuosiraja-arvosta (kuva F).



Kuva F. Leviämismallilaskelmilla saatujen Kuopion seudun kotitalouksien puun pienpolton päästöjen aiheuttamat suurimmat pienhiukkasten vuosikeskiarvopitoisuudet ($\text{PM}_{2.5}$) tutkimusalueen eri osissa (9 aluetta). Kuvaajassa on esitetty punaisella viivalla pienhiukkasten vuosikeskiarvopitoisuuden raja-arvo $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

4.3 Vertailut mitattuihin pitoisuuksiin

Vuoden 2015 aikana tehtiin Kuopiossa Niiralan pientaloalueella mittauskampanja, jonka tarkoituksena oli tutkia ilmanlaatua ja etenkin puun pienpolton vaikutuksia ilmanlaatuun kaukolämpöverkon ulkopuolella olevalla alueella. Mittaukset toteutettiin Ruotsinkadulla, Niiralan pientaloalueen keskiosissa. Mittauskampanjan aikana mitattiin mm. bentso(a)pyreenin ja pienhiukkasten pitoisuuksia (Kuopio, 2016). Kuvassa G on esitetty Niiralan vuoden 2015 bentso(a)pyreenin vuosikeskiarvo ja leviämislaskelman tuloksena mittausaseman kohdalle saadut vuosikeskiarvot vuosina 2013-2015. Pitoisuuksien mitauskorkeus oli asemalla 4 m maanpinnasta.



Kuva G. Leviämismallilaskelmilla saatujen Kuopion seudun kotitalouksien puun pienpolton päästöjen aiheuttamat suurimmat bentso(a)pyreenipitoisuuksien vuosikeskiarvot Niiralassa vuosien 2013–2015 aikana verrattuna Niiralassa vuonna 2015 mitattuun vuosikeskiarvoon (Kuopio, 2016). Kuvaajassa on esitetty punaisella viivalla bentso(a)pyreenin vuosikeskiarvopitoisuuden tavoitearvo 1 ng/m³ sekä mustilla viivoilla ylempi ja alempi arviointikynnys.

Bentso(a)pyreenin vuosikeskiarvopitoisuudeksi saatiin Niiralan mittauskampanjassa 0,51 ng/m³ (Kuopio, 2016). Pitoisuus jää alle ylemmän arviointikynnyksen ja on 51 % bentso(a)pyreenin tavoitearvosta. Korkeimmat bentso(a)pyreenin vuorokausipitoisuudet mitattiin talvikuukausina sekä elo-syyskuussa. Nyt tehdyissä leviämismallilaskelmissa Niiralan pientaloalueelle saatu vuosikeskiarvopitoisuus vaihteli välillä 2,2 ng/m³–2,4 ng/m³. Pienimmillään laskelmin saatu vuosikeskiarvopitoisuus oli Niiralan mittauspisteessä vuonna 2015. Korkeimmillaan laskelmin saatu vuosikeskiarvo oli Niiralassa noin 4 -kertainen mitattuun verrattuna.

Kuopion alueella on lisäksi tehty joitakin alle vuoden mittaisia bentso(a)pyreenin pitoisuusmittauksia vuosien 2006 ja 2009 välillä. Niiralan mittauskampanjassa jaksolla 28.11.2008 - 31.3.2009 mitattiin bentso(a)pyreenin keskiarvoksi 0,58 ng/m³ (Hakola ym., 2009). Kurkimäessä jaksolla 12.1.-5.4.2006 mitattiin bentso(a)pyreenin keskiarvoksi 1,3 ng/m³ (Tissari ym., 2007). Leviämislaskelmin Kurkimäen mittauspisteen kohdalle

saatu bentso(a)pyreenin vuosikeskiarvo oli suurimmillaan $0,8 \text{ ng/m}^3$. Alle vuoden pituisen mittausjakson bentso(a)pyreenipitoisuudet eivät ole vertailukelpoisia tavoitearvoon tai alempaan ja ylempään arviointikynnnykseen, mutta mitaustuloksia voidaan hyödyntää suuntaa antavina tietoina bentso(a)pyreenin alueellisista pitoisuustasoista. Mittausasemien sijaintikohdat on esitetty koko tutkimusalueetta kuvaavalla karttapohjalla kuvassa C (ks. kappale 3.2).

Pääkaupunkiseudulle vuonna 2017 tehdyssä puunpolton vaikutuksia alueelle leviämislaskelmin arvioineessa tutkimuksessa saatiin bentso(a)pyreenipitoisuuksia jotka olivat mittauspisteissä pääsääntöisesti hiukan tai selvästi mittauksin saatuja korkeampia, mutta myös joissakin pisteissä alempia. (Hellén ym., 2017). Korkeimmillaan laskelmin saadut pitoisuudet pääkaupunkiseudulla olivat tutkimuksen mukaan noin 30–100 % suurempia kuin mitatut pitoisuudet.

Pienhiukkaspitoisuuden vuosikeskiarvoksi saatiin Niiralan mittauskampanjassa $6 \mu\text{g/m}^3$, mikä on 24 % pienhiukkasten raja-arvosta (Kuopio, 2016). Korkeimmat pienhiukkasten vuorokausipitoisuudet havaittiin alkuvuodesta tammi-helmikuussa, sekä kevään katupölykauden aikaan maaliskuussa. Niiralassa mitattuja pienhiukkaspitoisuuksia on mahdotonta verrata suoraan nyt mallilaskelmissa saatuihin pienhiukkaspitoisuuksiin, koska mallilaskelmissa ei huomioitu alueellista taustapitoisuutta. Pienhiukkasten taustapitoisuus muodostaa yleensä merkittävimmän osan hiukkasten massapitoisuudesta. Kasarmipuiston mittausasemalla taustapitoisuus (kaupunkitausta) oli samana vuonna $4,5 \mu\text{g/m}^3$.

Suomen ympäristökeskukselta saadussa päästöaineistossa puun pienpolton päästöt on jaettu suhteellisen karkeasti koko maan puunkäyttöarvion perusteella pienille ja suurille taajamille tai asutuskeskuksille mm. niiden koon perusteella. Aineiston kokonaispäästöjen jaossa koko Suomen alueelle on huomioitu mm. pohjoisen ja etelän asutuskeskusten välillä vallitseva lämpötilojen vaikutuksesta aiheutuva erilainen lämmitystarve. Pohjoisessa Suomessa on useimmin kylmempää kuin eteläisessä Suomessa. Eri tulisi- ja ominaisuudet voivat vaikuttaa merkittävästi päästölaskelmissa käytettyihin päästökertoimiin ja siten päästölaskelmiin liittyy usein paljon epävarmuuksia (Karvosenoja, 2017).

Edellä olevan perusteella leviämislaskelmilla saatuihin tuloksiin liittyy paljon epävarmuuksia jo Suomen ympäristökeskukselta saadun päästöarvion osalta, koska leviämismalliin antaman pitoisuustuloksen laatu riippuu suoraan malliin syötetyn päästön oikeellisuudesta. Lisäksi leviämislaskelmissa ei ole huomioitu bentso(a)pyreenin mahdollista muutunutta tai esim. sateiden vaikutusta epäpuhtauden poistumiseen ilmakehästä (kuiva- ja märkälaskeuma).

Laskelmin mittauspisteisiin saatujen suhteellisen korkeiden pitoisuuksien osalta on myös muistettava, että pintalähdemallinnuksessa mittauspisteen kohdalle osuva pintalähde (kooltaan $250 \text{ m} \times 250 \text{ m}$) ei aina täysin kuvaa mittausaseman kohdan tai aseman lähiympäristön todellista päästötilannetta. Pintalähteeseen lasketaan mukaan kaikki pintalähteen alueella sijaitsevat päästöt sijaintikohdasta tai lähteen muista ominaisuuksista riippumatta. Pintalähdemallinnuksessa ei myöskään voida ottaa huomioon päästölähteissä muuta ulkoilmaa lämpimämmän savukaasun aiheuttamaa lämpönosteen määrää yksiselitteisesti. Lämpönosteen (savukaasun nousema matka piipun tai poistohormin yläpuolelle ennen savukaasun jäähtymistä ulkoilman lämpöön) määrä riippuu savukaasun lämpötilasta. Suurempi päästökorkeus laskee yleisesti hengityskorkeudelle saatavia pitoisuuksia. Lämpönostetta voidaan arvioida laskelmissa tarvittavana pienenä keskimääräisenä korkeuslisänä päästölähteiden piipunkorkeuksille, mutta tutkimuksessa ei

ollut käytettävissä riittävästi tietoa Kuopion seudun kotitalouksien puun pienpolton päästölähteistä lisäkorkeuden arvioimiseksi pintalähteille. Tutkimuksessa on siten arvioitu vuonna 2017 pääkaupunkiseudulle tehdyssä tutkimuksessa (Hellén ym., 2017) käytetyn pintalähteiden 7,5 m päästökorkeuden kuvaavan riittävän suurella tarkkuudella myös Kuopion seudun kotitalouksien puun pienpolton päästölähteiden keskimääräistä alueellista päästökorkeutta.

5 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli arvioida leviämismallilaskelmin Kuopion seudun kotitalouksien puun pienpoltosta aiheutuvien päästöjen vaikutusta alueen ilmanlaatuun. Laskelmia varten oli käytettävissä Suomen ympäristökeskuksen tuottama ruutupäästöaineisto 250 m × 250 m ruutuina bentso(a)pyreenin (BaP) ja pienhiukkasten (PM_{2,5}) kokonaispäästöistä Kuopion ja Suonenjoen alueilta. Kotitalouksien puun pienpolton aiheuttamat bentso(a)pyreenin ja pienhiukkasten kokonaispäästöt olivat 0,28 t/vuosi (BaP) ja 200 t/vuosi (PM_{2,5}). Bentso(a)pyreenin ja pienhiukkasten pitoisuudet arvioitiin leviämislaskelmin Kuopion ja Suonenjoen keskustaajamien lisäksi Kuopion kaupungin Juankosken, Karttulan, Kurkimäen, Maaningan, Nilsin ja Vehmersalmen taajamien alueelle. Leviämislaskelmin saatuja pitoisuuksien vuosikeskiarvoja verrattiin bentso(a)pyreenin vuosikeskiarvopitoisuudelle annettuun ilmanlaadun tavoitearvoon (tavoitearvo 1 ng/m³) ja arviointikynnyksiin sekä pienhiukaspitoisuudelle annettuun vuosiraja-arvoon (raja-arvo 25 µg/m³).

Leviämislaskelmien mukaan bentso(a)pyreenipitoisuus ylittäisi korkeimmillaan ilmanlaadun tavoitearvon (1 ng/m³) 1,2–2,4-kertaisesti Kuopion keskustaajaman lisäksi Nilsin, Suonenjoen ja Juankosken alueella. Kuopion taajamista Karttulan, Kurkimäen, Maaningan ja Vehmersalmen alueella bentso(a)pyreenipitoisuus on korkeimmillaan lähellä tavoitearvoa noin 80–90 % tavoitearvosta. Leviämismallilaskelmien mukaan bentso(a)pyreenin vuosikeskiarvopitoisuudet ylittivät kaikissa tutkituissa taajamissa ylemmän arviointikynnyksen 0,6 ng/m³. Pienhiukaspitoisuus (PM_{2,5}) alittaisi kaikkialla tutkimusalueella selvästi pienhiukaspitoisuudelle annetun vuosiraja-arvon. Korkeimmillaan pienhiukaspitoisuuden vuosikeskiarvo olisi noin 2–6 % raja-arvosta.

Bentso(a)pyreenin (BaP) pitoisuuksia on alennettava niillä alueilla, joilla tavoitearvot ylittyvät tai ovat vaarassa ylittyä. Päästöraja-arvoja ja päästöjen ehkäisemistä ja rajoittamista koskevien lupamääräysten on perustuttava parhaaseen käytettävissä olevaan tekniikkaan. Kotitalouksien lämmittämistä ja muusta puun pienpoltosta johtuvia bentso(a)pyreenipäästöjä voidaan vähentää käyttämällä uutta tekniikkaa ja hyviä polttotapoja. Pienpolton ympäristöhaittoihin voidaan puuttua myös ympäristönsuojelulain mukaisilla kunnan ympäristönsuojelumääräyksillä (Syke, 2017).

Mallilaskelmin saadut korkeimmat pitoisuudet ylittäisivät kaikilla tutkituilla taajama-alueilla bentso(a)pyreenipitoisuudelle annetun ylemmän arviointikynnyksen osissa alueita. Valtioneuvoston asetuksen mukaan (Vna 113/2017) ylemmän ja alemman arviointikynnyksen ylittyminen määritetään kuitenkin viiden edellisen vuoden pitoisuuksien perusteella ja arviointikynnysten ylittämiseksi bentso(a)pyreenipitoisuuden lukuarvon pitää ylittää arviointikynnykset vähintään kolmena vuonna näiden edellisten viiden vuoden aikana. Leviämiselvityksestä saatujen tulosten perusteella bentso(a)pyreenipitoisuudet voisivat ylittää kaikilla tutkimuksessa mukana olleiden taajamien alueilla ylimmän arviointikynnyksen ja em. asetuksen mukaan pitoisuutta tulisi seurata silloin jatkuvatoimisilla mittauksilla.

Leviämislaskelmin saatuihin pitoisuuksiin saattaa kuitenkin liittyä paljon epävarmuustekijöitä esim. eri tulisihoille tehdyn päästökertoimen muodostuksen ja koko Suomen alueen puunkäytön perusteella arvioitujen alueellisten puunpolton päästömäärien oikeellisuuden vuoksi. Laskelmien pohjana käytetyn päästöaineiston on tehnyt ja toimittanut Ilmatieteen laitokselle Suomen ympäristökeskus, joka on myös tehnyt aineistossa käytetyt päästötietoja koskevat oletukset puun poltosta tutkimusalueella. Lisäksi leviämislaskelmissa ei ole voitu huomioida bentso(a)pyreenin mahdollista muutuntaa tai esim. sateiden vaikutusta epäpuhtauden poistumiseen ilmakehästä (kuiva tai märkä poistuma). Muutunta tai hiukkasten poistuminen (bentso(a)pyreeni on oletettu sitoutuvan hiukkasiin) ilmakehästä vaikuttavat pitoisuuksia alentavasti leviämislaskelmin saatuihin pitoisuuksiin.

Lisäksi tutkimuksessa ei ollut käytettävissä riittävästi tietoa Kuopion seudun kotitalouksien puun pienpolton päästölähteissä tapahtuvasta lämpönopeesta mallinnuksessa tarvittavan korkeuslisän arvioimiseksi pintalähteille. Tutkimuksessa on siten arvioitu vuonna 2017 pääkaupunkiseudulle tehdyssä tutkimuksessa (*Hellén ym., 2017*) käytetyn 7,5 m päästökorkeuden kuvaavan riittävän suurella tarkkuudella myös Kuopion seudun kotitalouksien puun pienpolton keskimääräistä päästökorkeutta alueella. Oikealla päästökorkeudella on suhteellisen merkittävä vaikutus matalalla sijaitsevien päästölähteiden hengityskorkeudelle aiheuttamiin pitoisuuksiin.

VIITELUETTELO

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

EEA, 2017. Air quality in Europe – 2017 report. EEA Report, No 13/2017. ISSN 1725-9177. <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2017>

European Commission (2001). Ambient air pollution by Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAH). Position Paper. Working group on Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. European Communities.

Hellén, H., Kangas, L., Kousa, A., Vestenius, M., Teinilä, K., Karppinen, A., Kukkonen, J., and Niemi, J. V., 2017. Evaluation of the impact of wood combustion on benzo[a]pyrene (BaP) concentrations; ambient measurements and dispersion modeling in Helsinki, Finland, Atmos. Chem. Phys., 17, 3475-3487, <https://doi.org/10.5194/acp-17-3475-2017>.

Ilmanlaatuportaali, 2017. Ympäristönsuojelun tietojärjestelmän ilmanlaatuosa, tarkistetut mitaustulokset. www.ilmanlaatu.fi

Ilmatieteen laitos, 2017. <http://ilmatieteenlaitos.fi/pah-yhdisteet>

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.

Karvosenoja, N., 2017. Suullinen tiedonanto. Puhelinkeskustelu 14.12.2017.

Komppula, B., Anttila, P., Vestenius, M., Salmi, T. ja Lovén, K., 2014. Ilmanlaadun seuranta-arvioinnin arviointi. Ilmatieteen laitos, Asiantuntijapalvelut, Ilmanlaatu ja energia. 123 s. + 47 liites.

Kuopio, 2016. Kuopion ilmanlaatu vuonna 2015. Kuopion kaupunki, Alueelliset ympäristöpalvelut. <https://www.kuopio.fi/ilmanlaatu>

Tissari, J., Salonen, R., Vesterinen, J. & Jokiniemi, J., 2007. Puun pienpolton päästöt, ilmanlaatu ja terveys. Kuopion yliopisto, Pienhiukkas- ja aerosoliteknikan laboratorio, Kuopio.

Hakola, H., Vestenius, M., Saari, H. ja Pesonen, R., 2009. Polysyklisen aromaattisten hiilivetyjen (PAH) pitoisuudet ulkoilman PM₁₀ –hiukkasissa Kuopion Niiralassa jaksolla marraskuu 2008 – maaliskuu 2009. Ilmatieteen laitos, Ilmanlaadun tutkimus ja Ilmanlaadun asiantuntijapalvelut.

Syke, 2017. http://www.ymparisto.fi/fiFI/Ilmasto_ja_ilma/Ilmansuojelu/Ilmansuojelun_rajat_ja_ohjeistukset

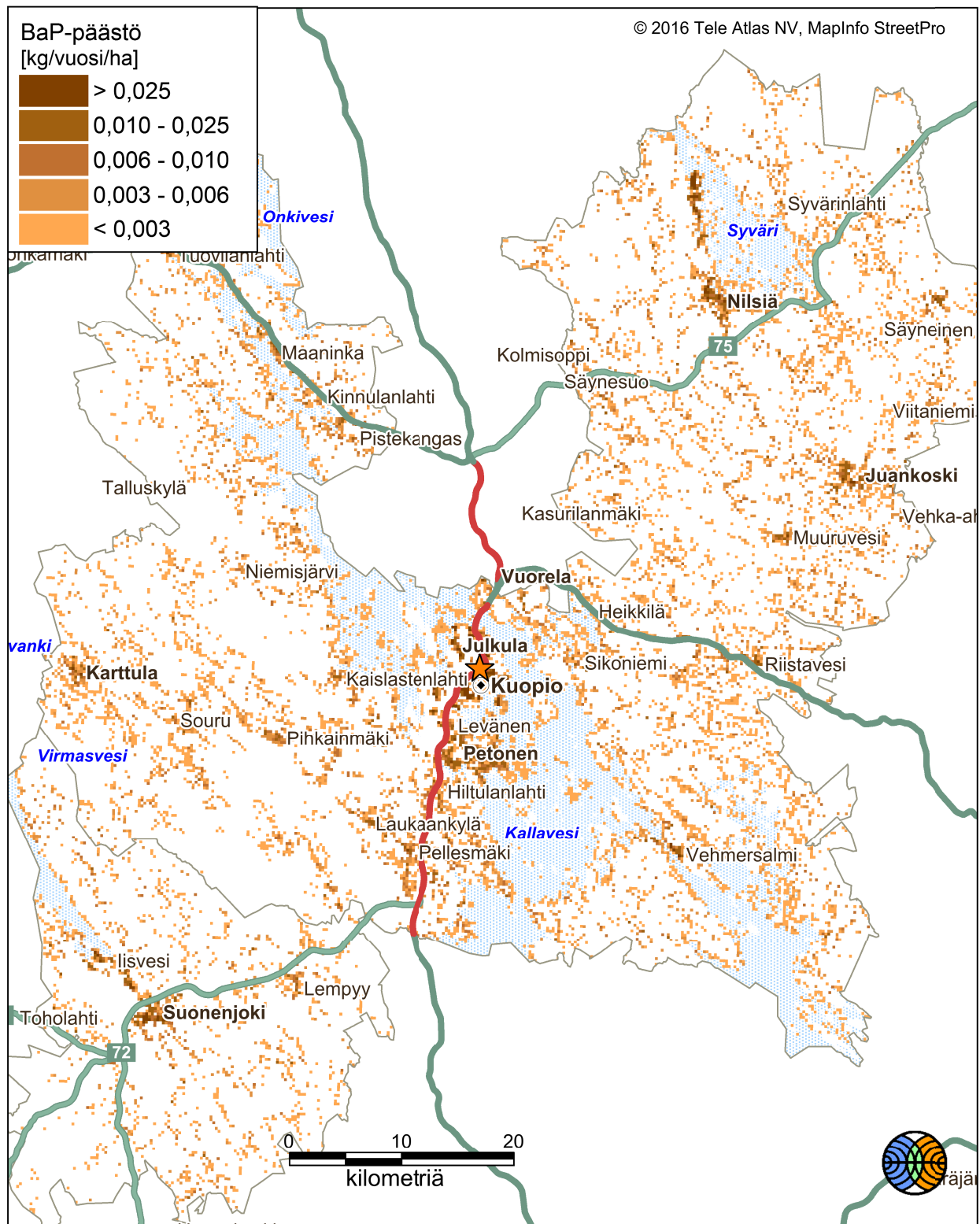
Vna 79/2017. Valtioneuvoston asetus ilmanlaadusta. Annettu Helsingissä 1.2.2017.

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

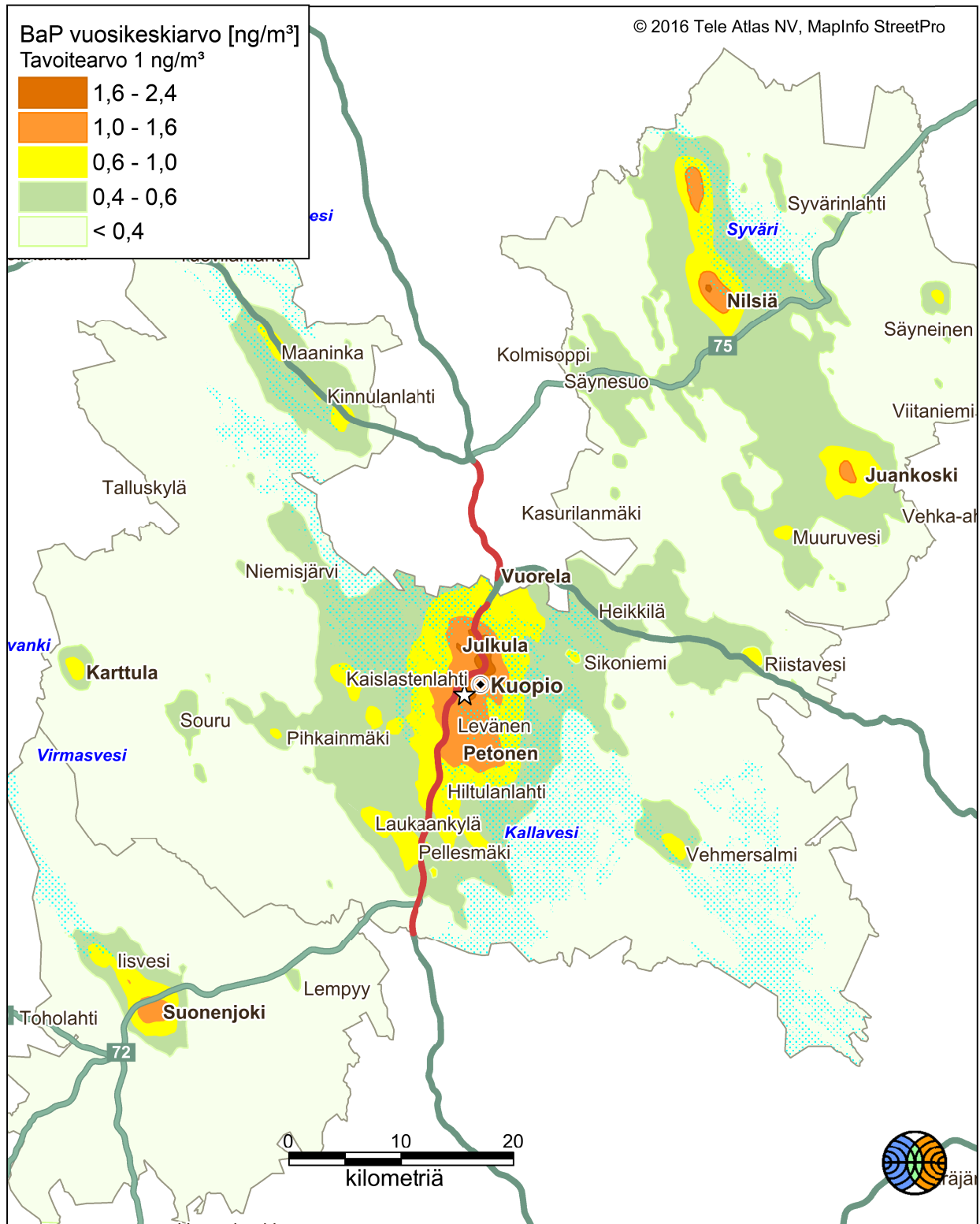
LIITEKUVAT

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

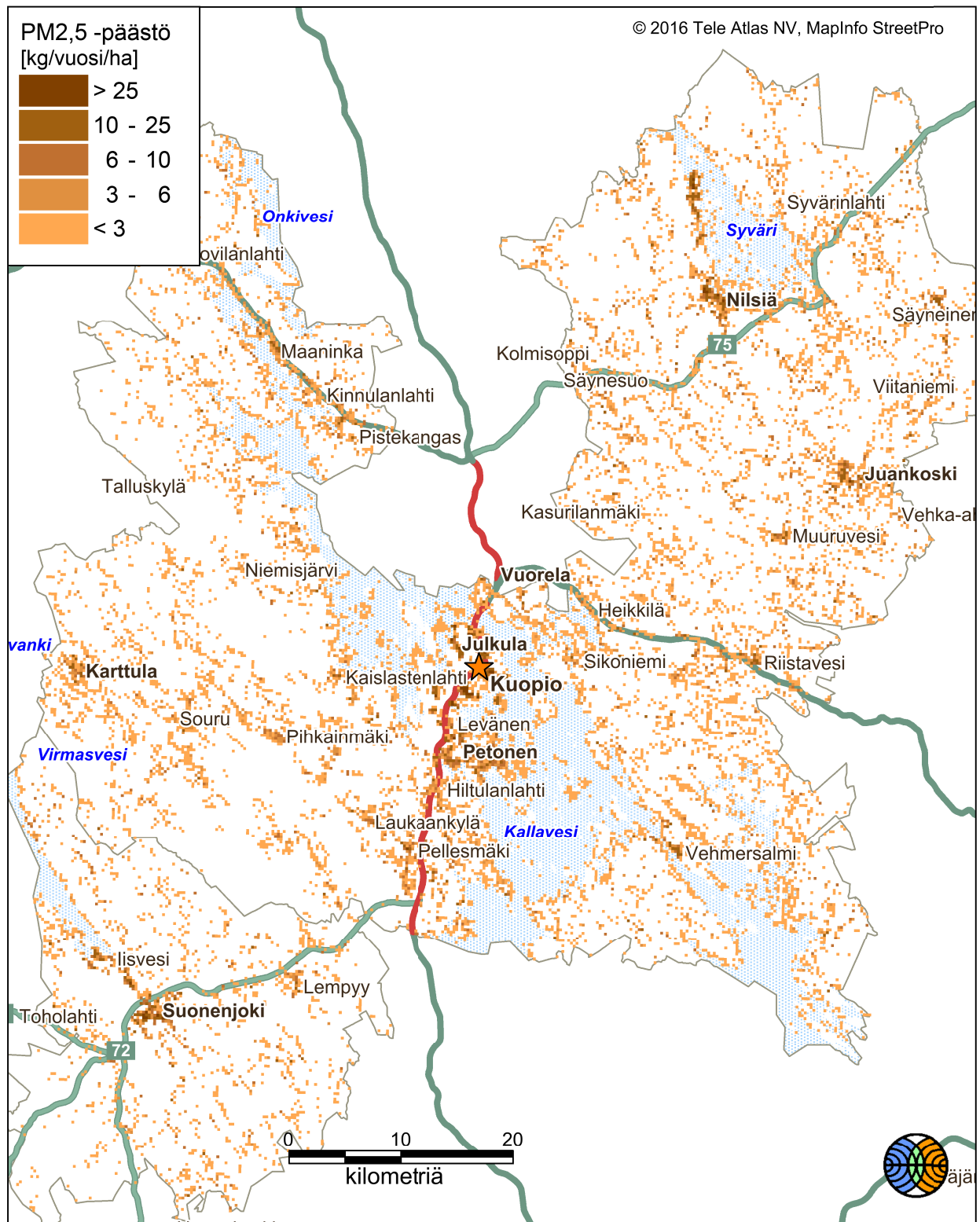
Pitoisuuksien aluejakaumat eivät edusta koko tulostusalueella yhtä aikaa vallitsevaa pitoisuustilannetta. Suurimman osan ajasta pitoisuudet ovat kaikissa laskentapisteissä selvästi pienempiä kuin aluejakaumakuviissa esitetyt korkeimmat arvot. Lisäksi suurimassa osassa tutkimusaluetta pitoisuudet ovat jatkuvasti merkittävästi pienempiä kuin niissä kohteissa, joissa maksimiarvot esiintyivät.



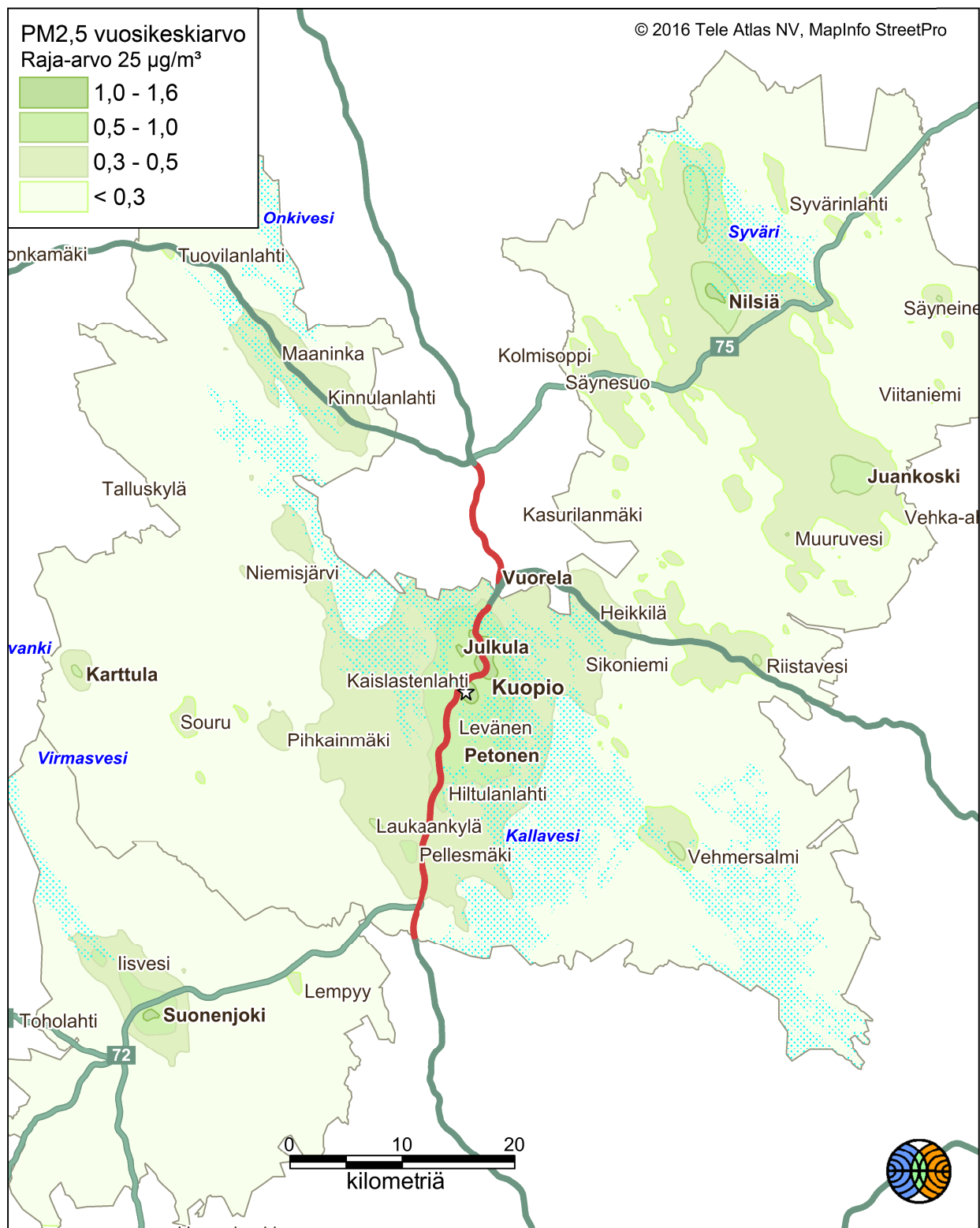
Kuva 1a. Bentso(a)pyreenin (BaP) vuosipäästö (g/vuosi).



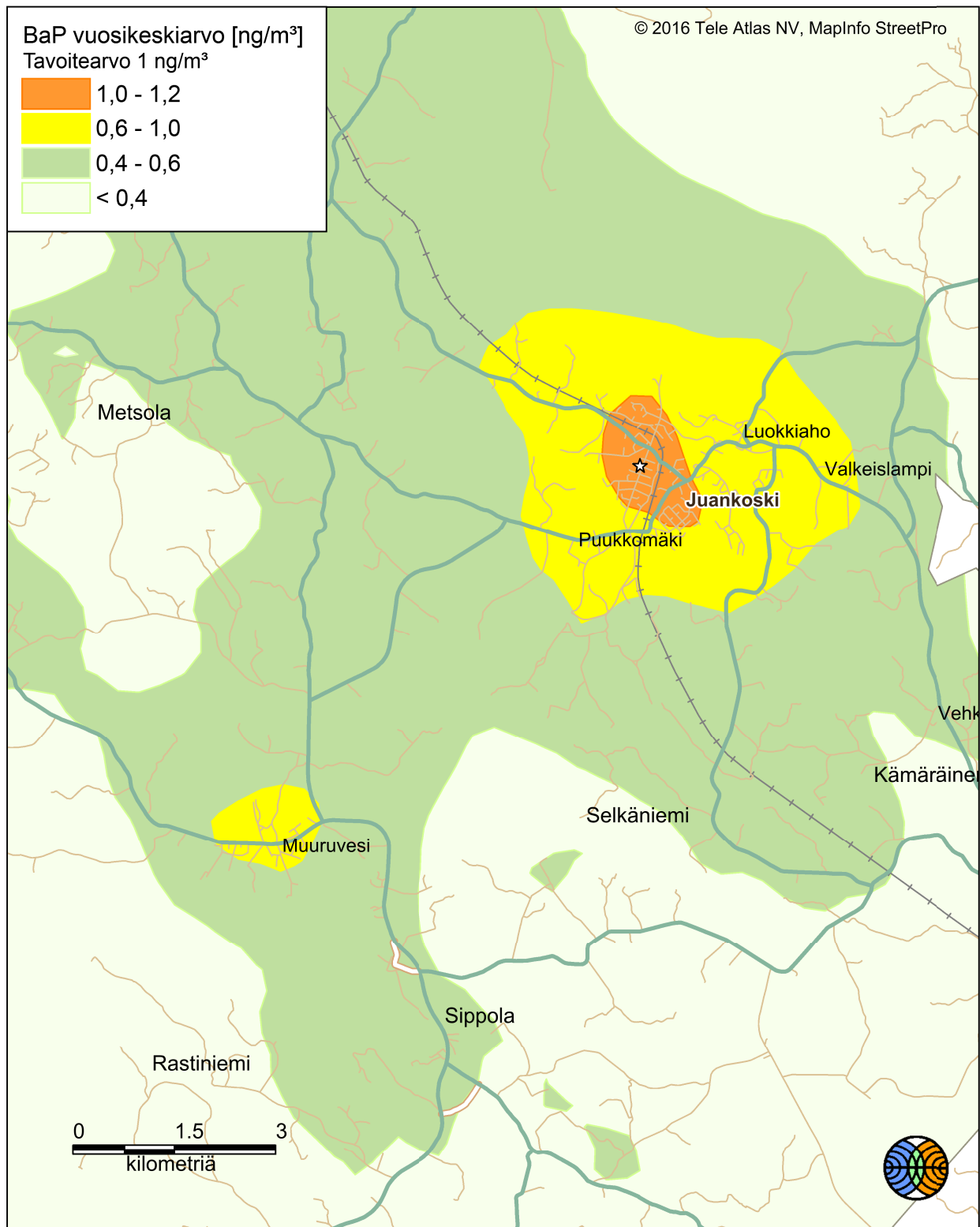
Kuva 1b. Bentso(a)pyreenipitoisuuden (BaP) vuosikeskiarvo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).



Kuva 2a. Pienhiukkasten (PM_{2,5}) vuosipäästö (kg/vuosi).



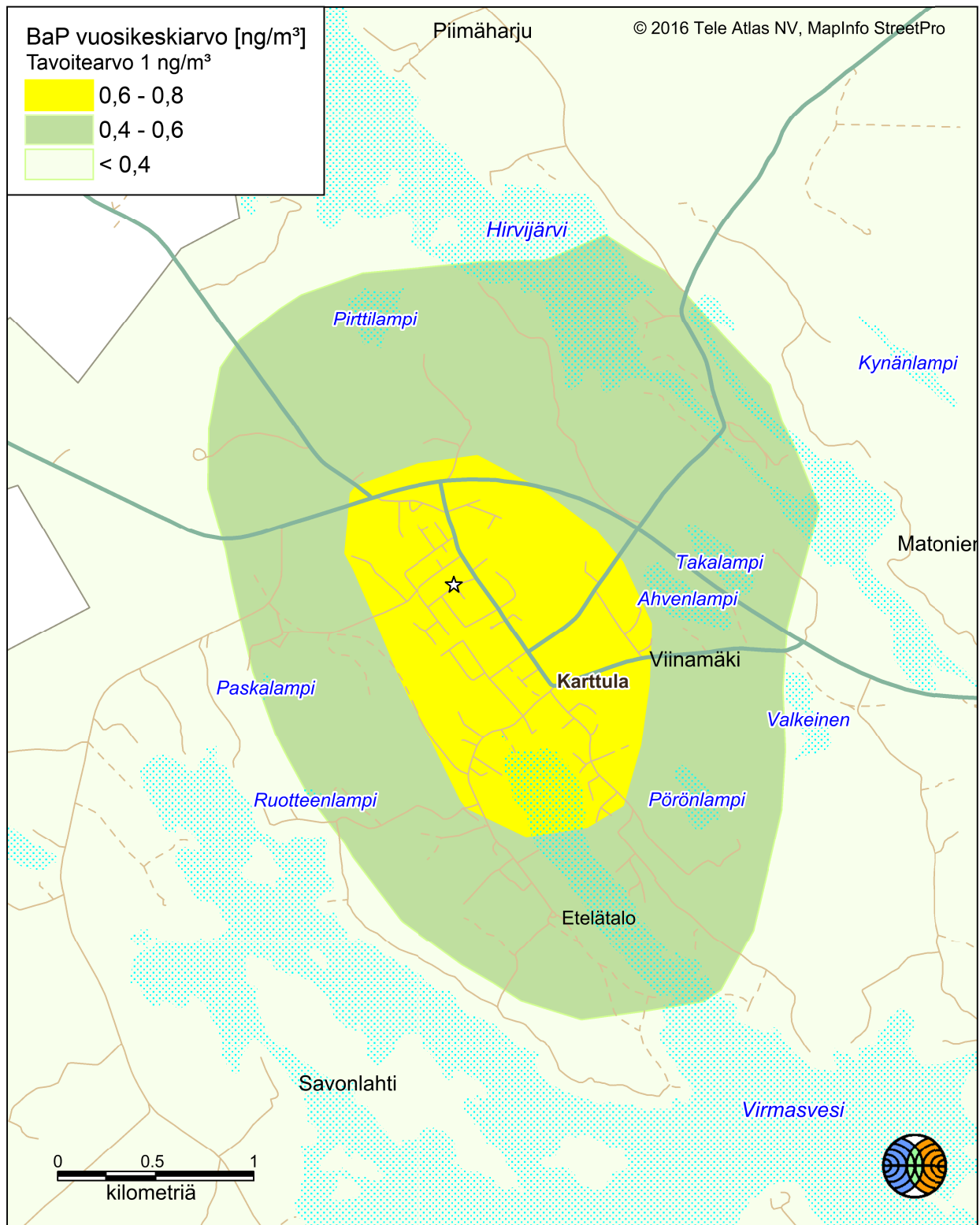
Kuva 2b. Pienhiukkasten (PM_{2,5}) korkein vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).



Ilmatieteen laitos 2017

☆ = maksimi = $1,2 \text{ ng}/\text{m}^3$

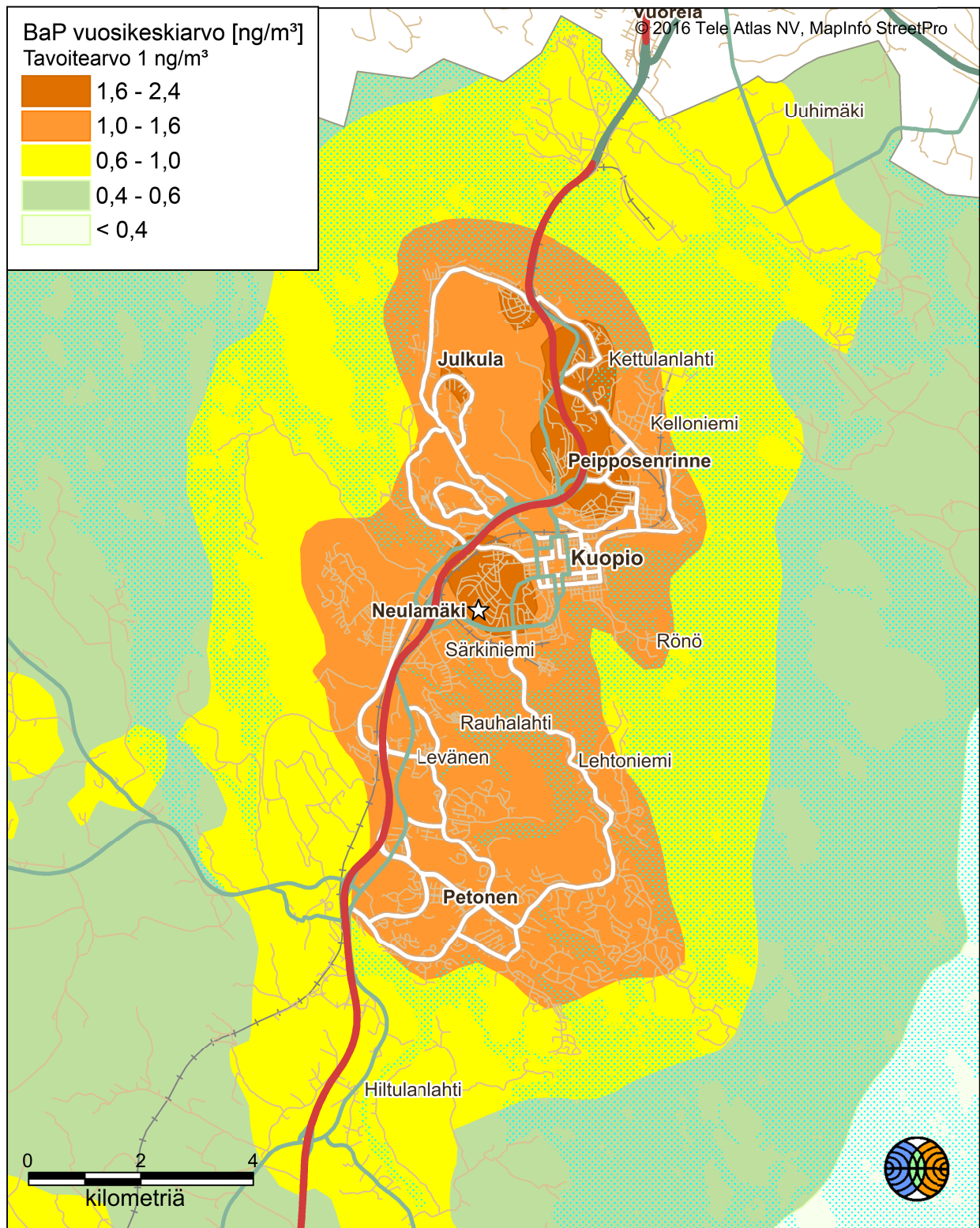
Kuva 3. Bentso(a)pyreenipitoisuuden (BaP) vuosikeskiarvo (ng/m^3). Juankoski.



Ilmatieteen laitos 2017

☆ = maksimi = 0,8 ng/m³

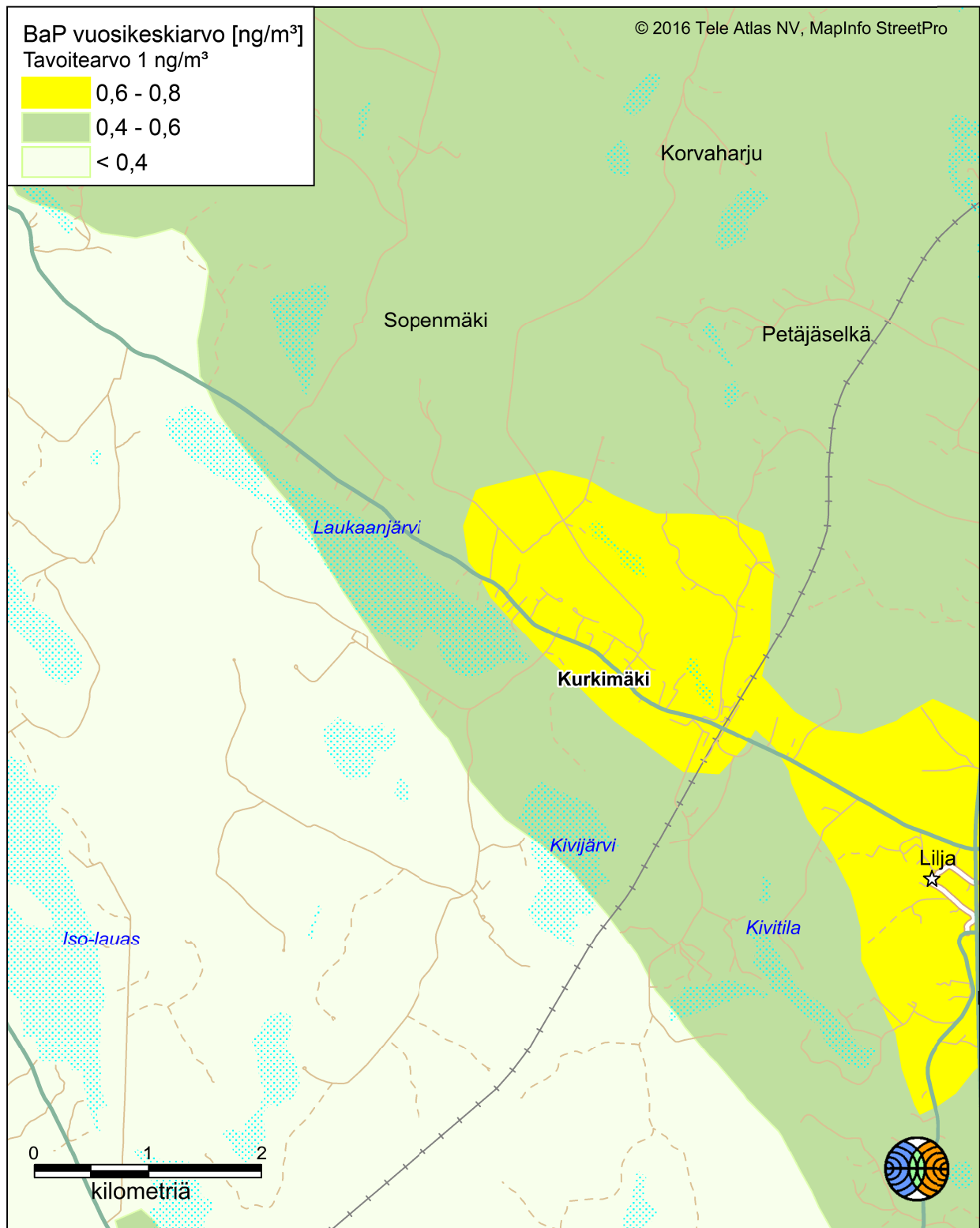
Kuva 4. Bentso(a)pyreenipitoisuuden (BaP) vuosikeskiarvo (ng/m³). Karttula.



Ilmatieteen laitos 2017

☆ = maksimi = 2,4 ng/m³

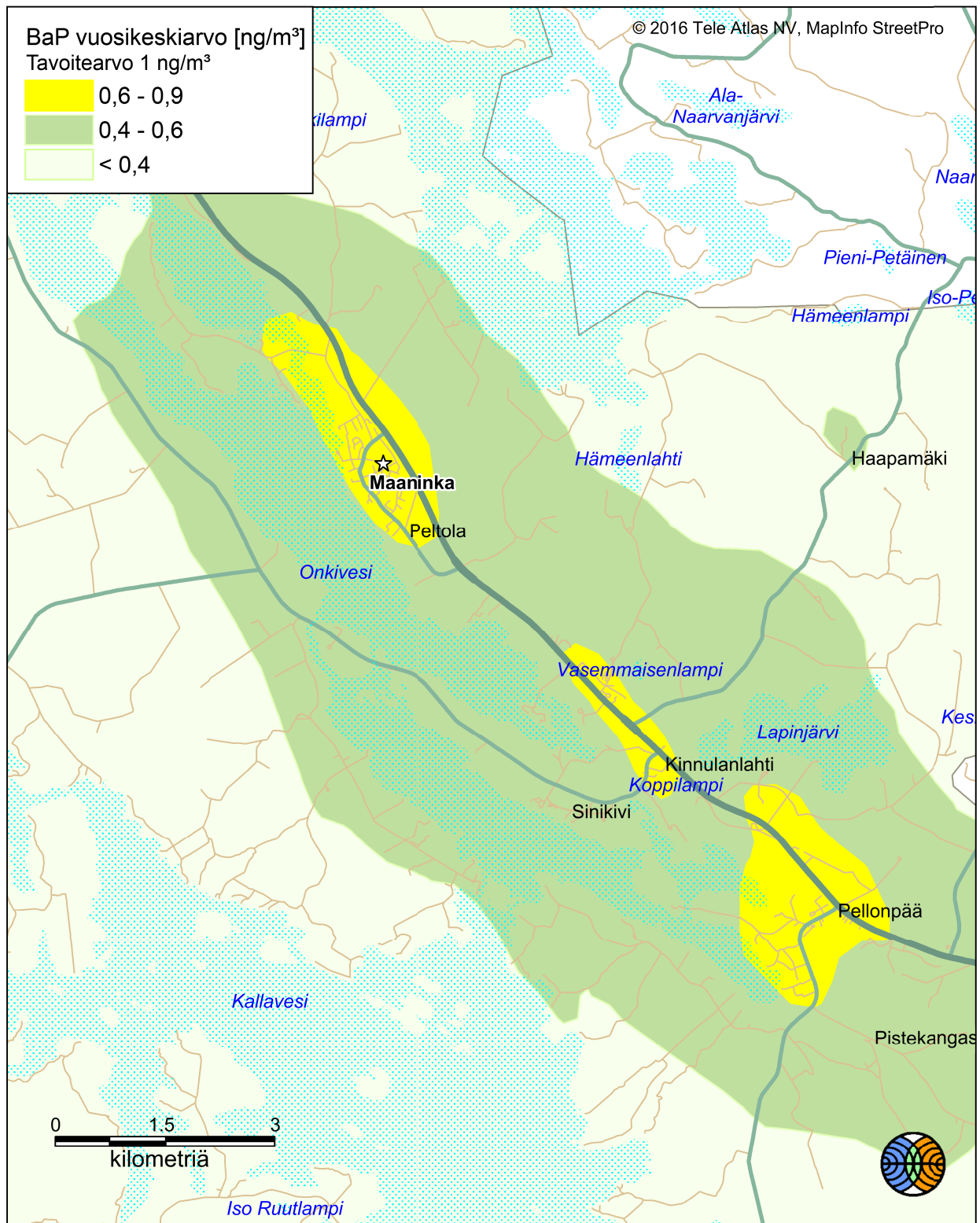
Kuva 5. Bentso(a)pyreenipitoisuuden (BaP) vuosikeskiarvo (ng/m³). Kuopion kaupunkitaajama.



Ilmatieteen laitos 2017

☆ = maksimi = $0,8 \text{ ng}/\text{m}^3$

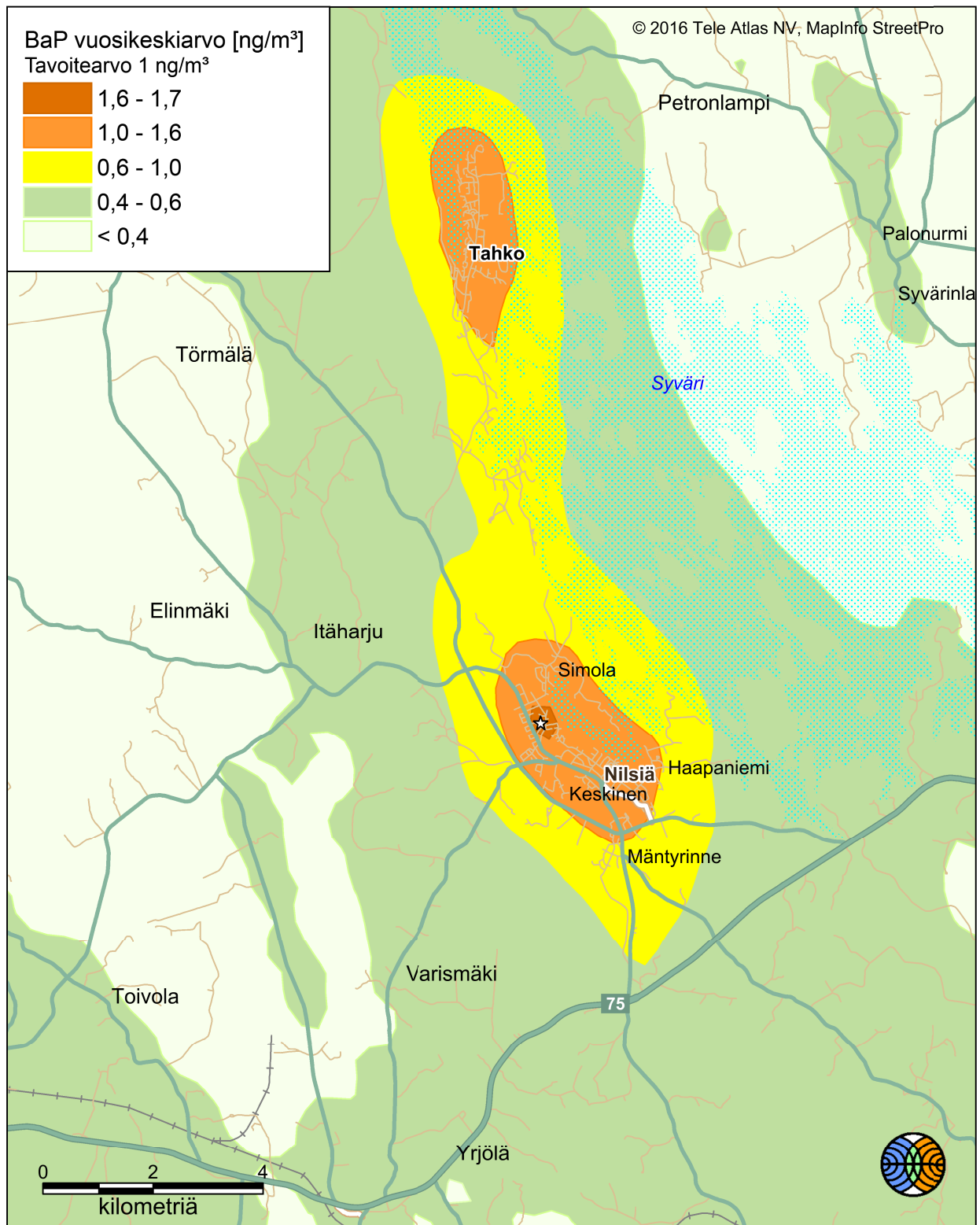
Kuva 6. Bentso(a)pyreenipitoisuuden (BaP) vuosikeskiarvo (ng/m^3). Kurkimäki.



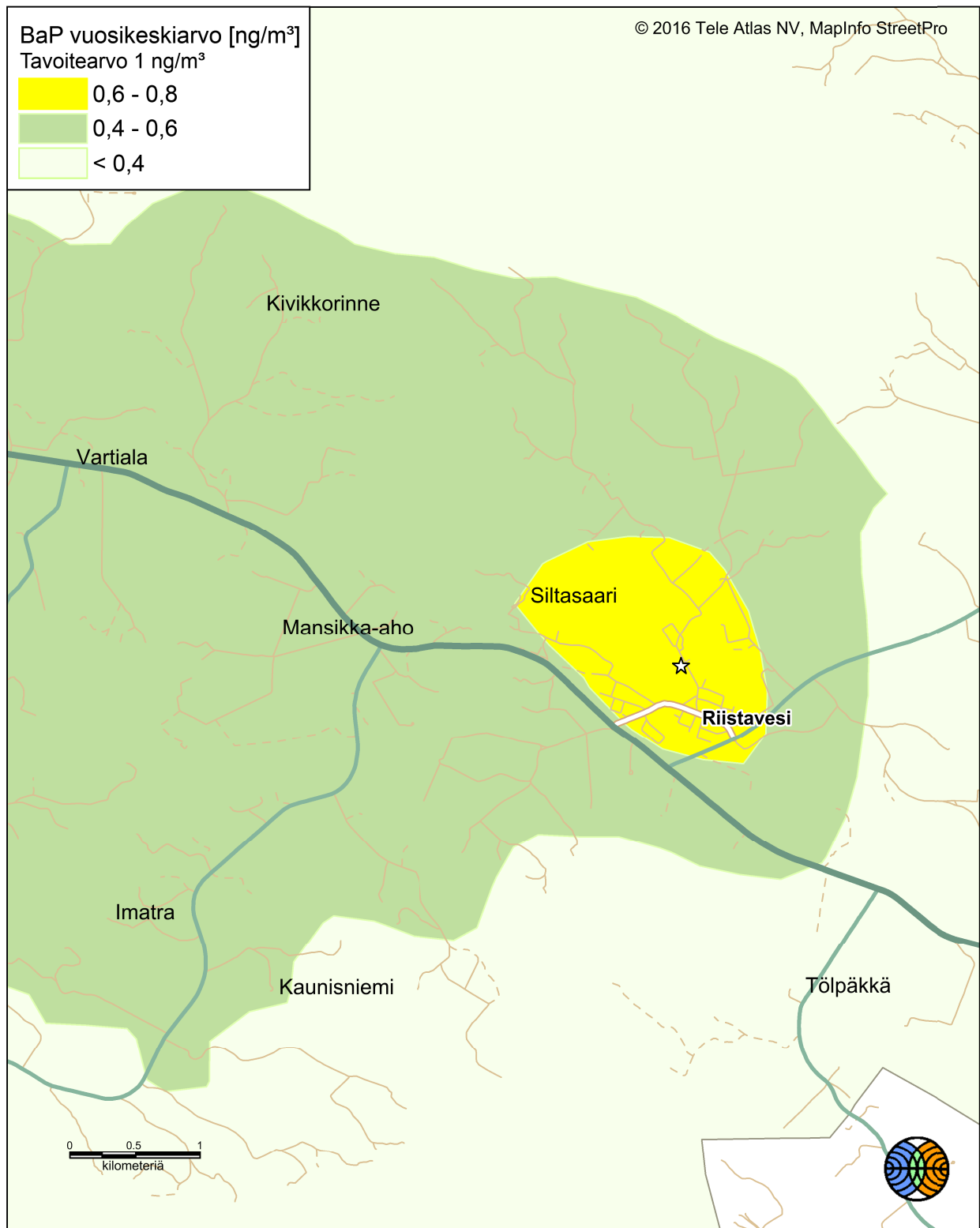
Ilmatieteen laitos 2017

☆ = maksimi = 0,9 ng/m³

Kuva 7. Bentso(a)pyreenipitoisuuden (BaP) vuosikeskiarvo (ng/m³). Maaninka.



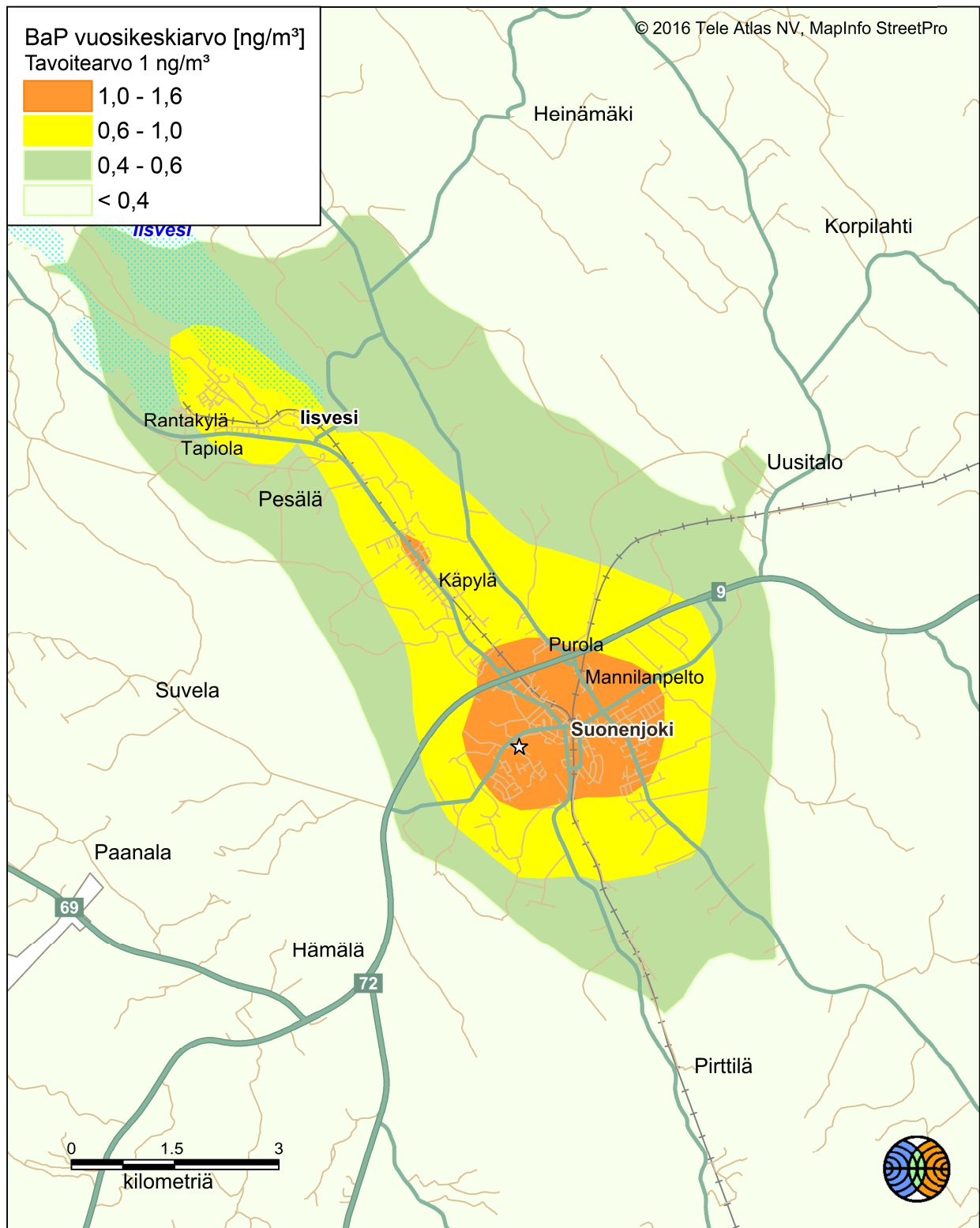
Kuva 8. Bentso(a)pyreenipitoisuuden (BaP) vuosikeskiarvo (ng/m^3). Nilsia ja Tahko.



Ilmatieteen laitos 2017

☆ = maksimi = 0,8 ng/m³

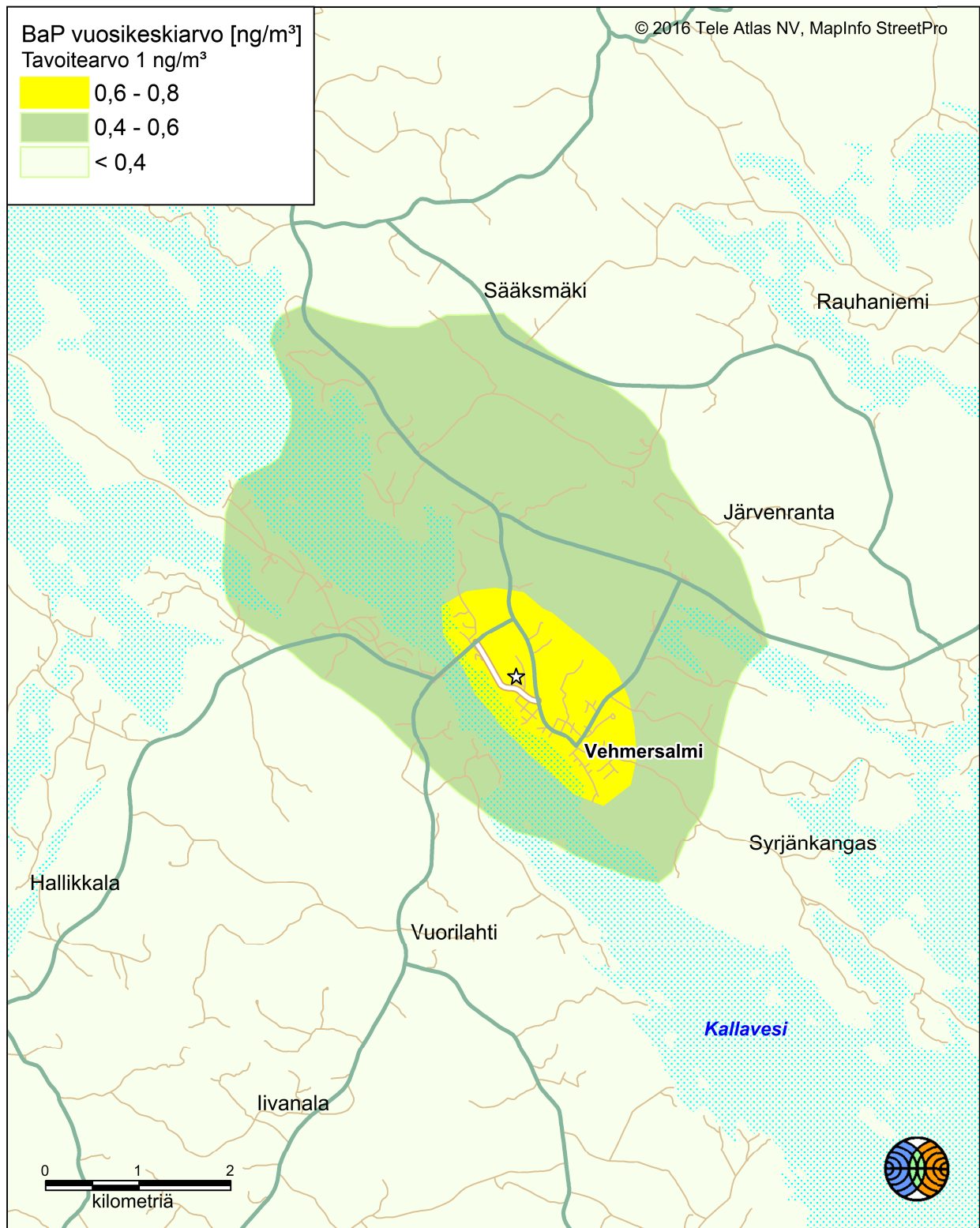
Kuva 9. Bentso(a)pyreenipitoisuuden (BaP) vuosikeskiarvo (ng/m³). Riistavesi.



Ilmatieteen laitos 2017

☆ = maksimi = $1,6 \text{ ng}/\text{m}^3$

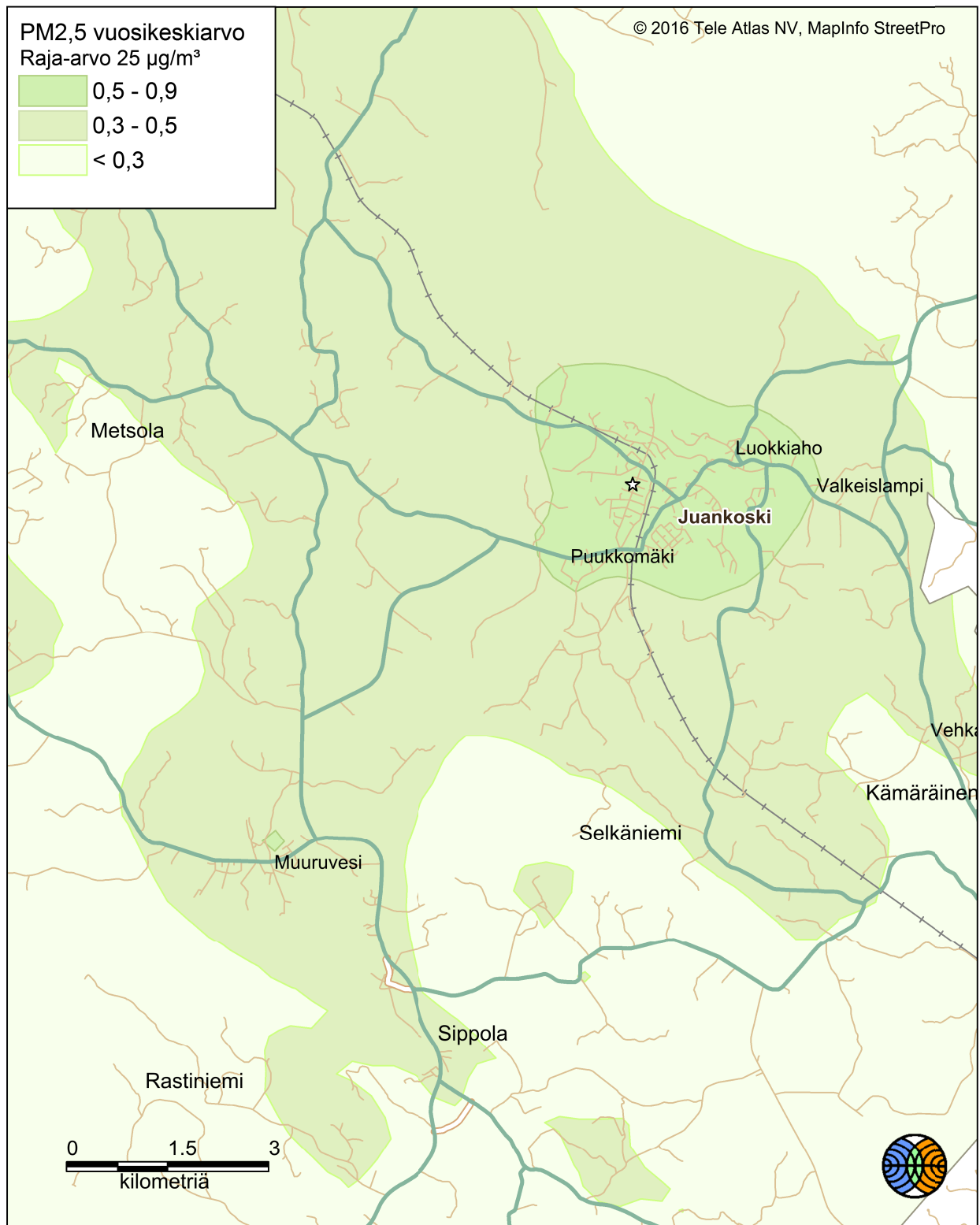
Kuva 10. Bentso(a)pyreenipitoisuuden (BaP) vuosikeskiarvo (ng/m^3). Suonenjoki ja Iisvesi



Ilmatieteen laitos 2017

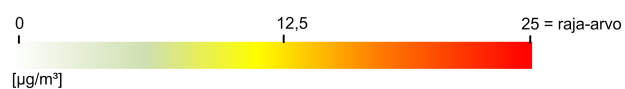
☆ = maksimi = 0,8 ng/m³

Kuva 11. Bentso(a)pyreenipitoisuuden (BaP) vuosikeskiarvo (ng/m³). Vehmersalmi.

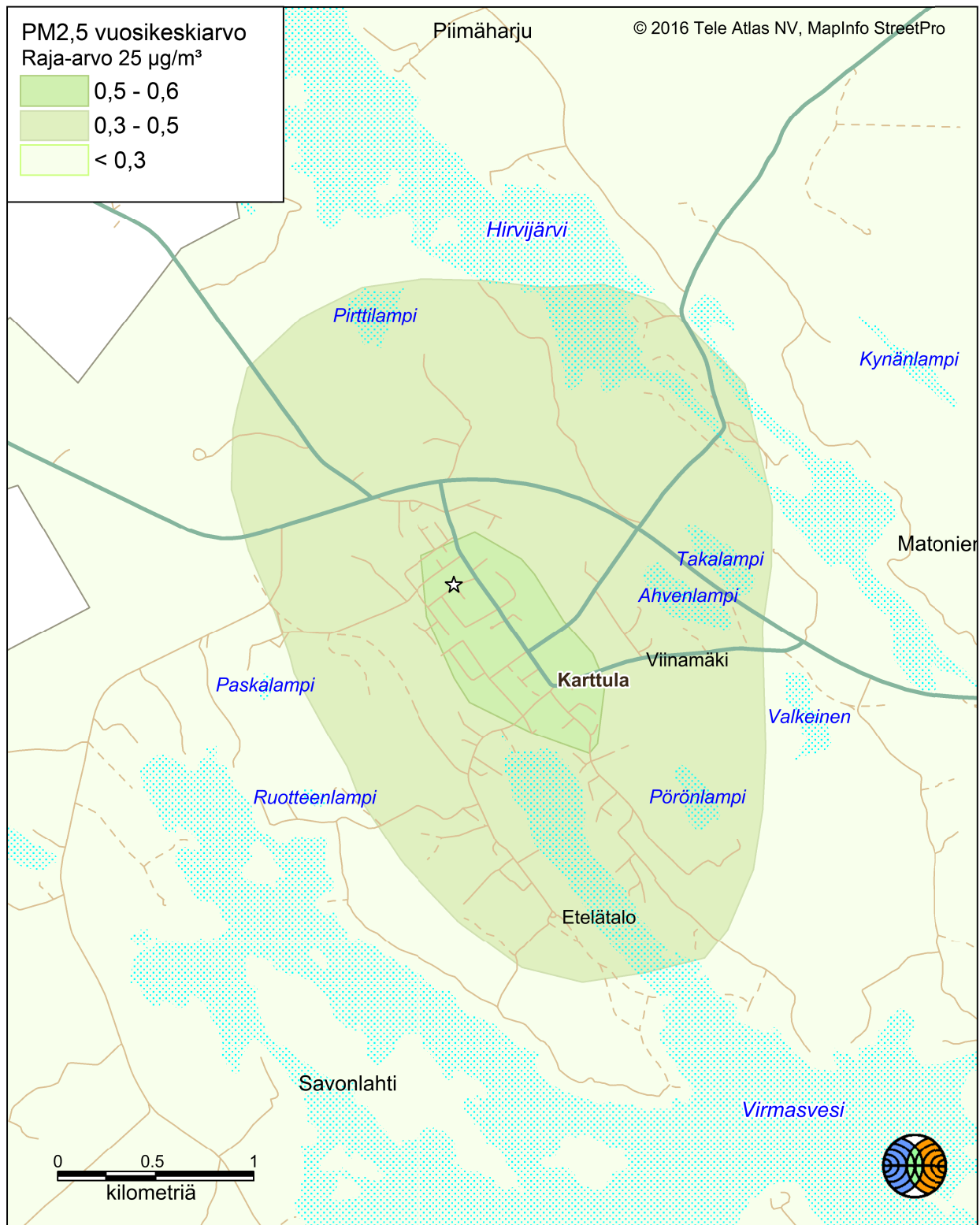


Ilmatieteen laitos 2017

☆ = maksimi = 0,9 µg/m³

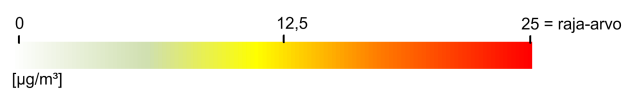


Kuva 12. Pienhiukkasten (PM_{2,5}) korkein vuoriraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³). Juankoski.

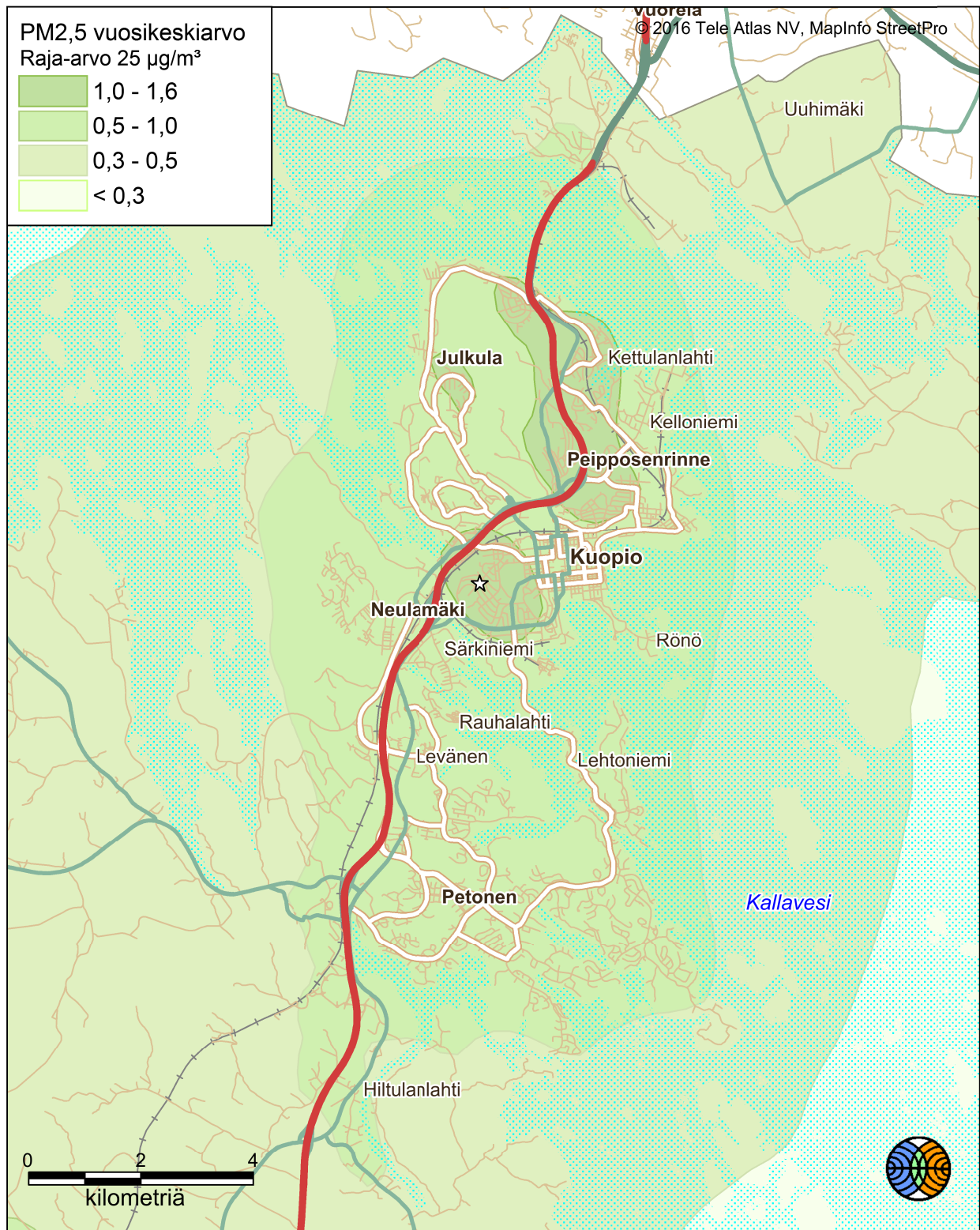


Ilmatieteen laitos 2017

☆ = maksimi = 0,6 ng/m³

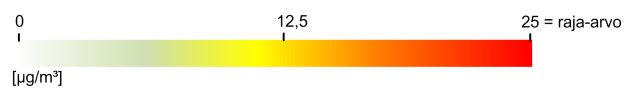


Kuva 13. Pienhiukkasten (PM_{2,5}) korkein vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³). Karttula.

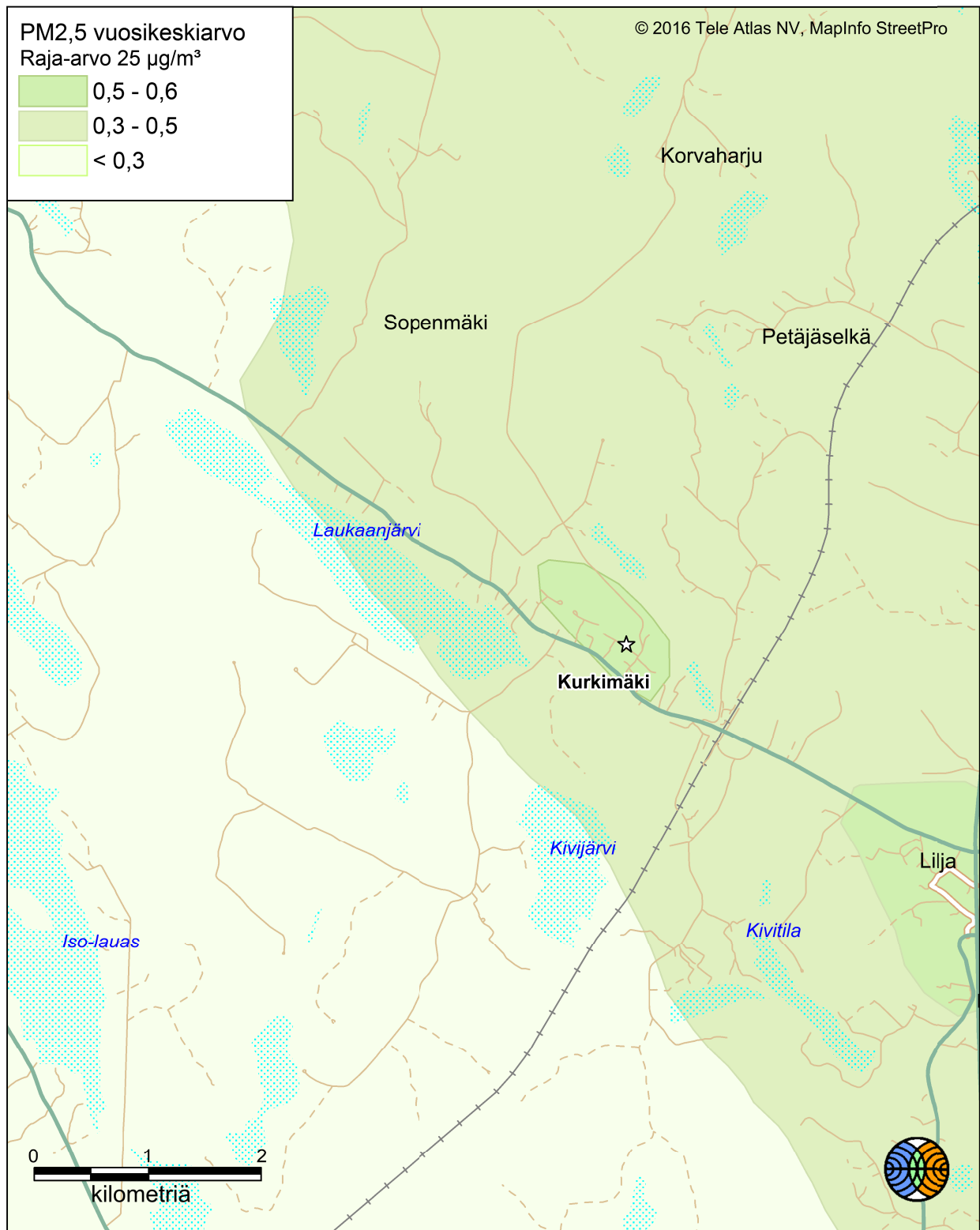


Ilmatieteen laitos 2017

☆ = maksimi = 1,6 µg/m³

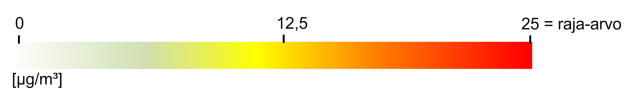


Kuva 14. Pienhiukkasten (PM_{2,5}) korkein vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³). Kuopion kaupunkitaajama.

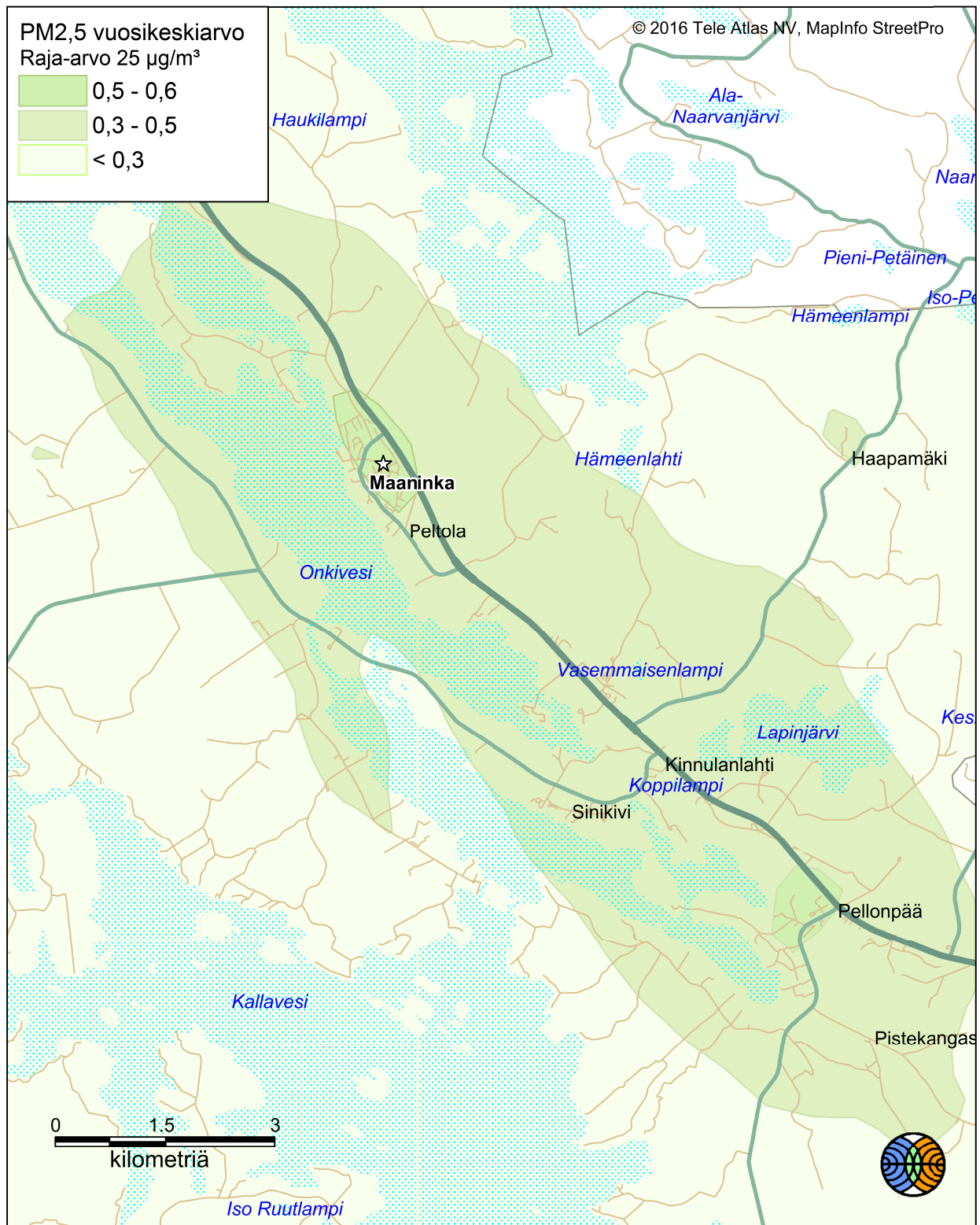


Ilmatieteen laitos 2017

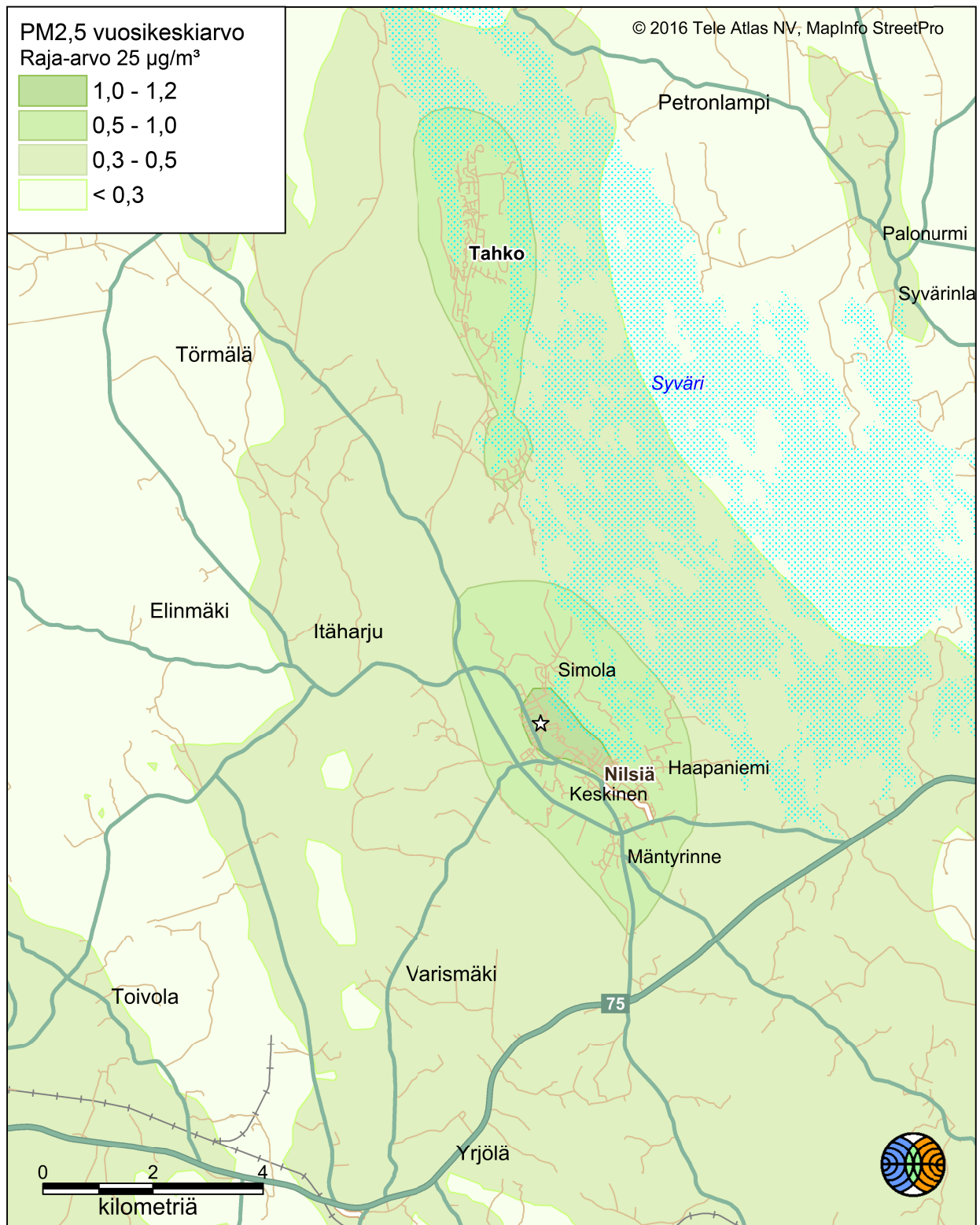
☆ = maksimi = 0,6 µg/m³



Kuva 15. Pienhiukkasten (PM_{2,5}) korkein vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³). Kurkimäki.

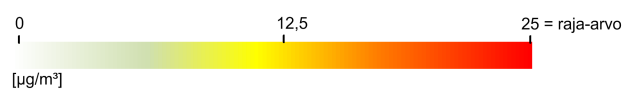


Kuva 16. Pienhiukkasten (PM_{2,5}) korkein vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³). Maaninka.

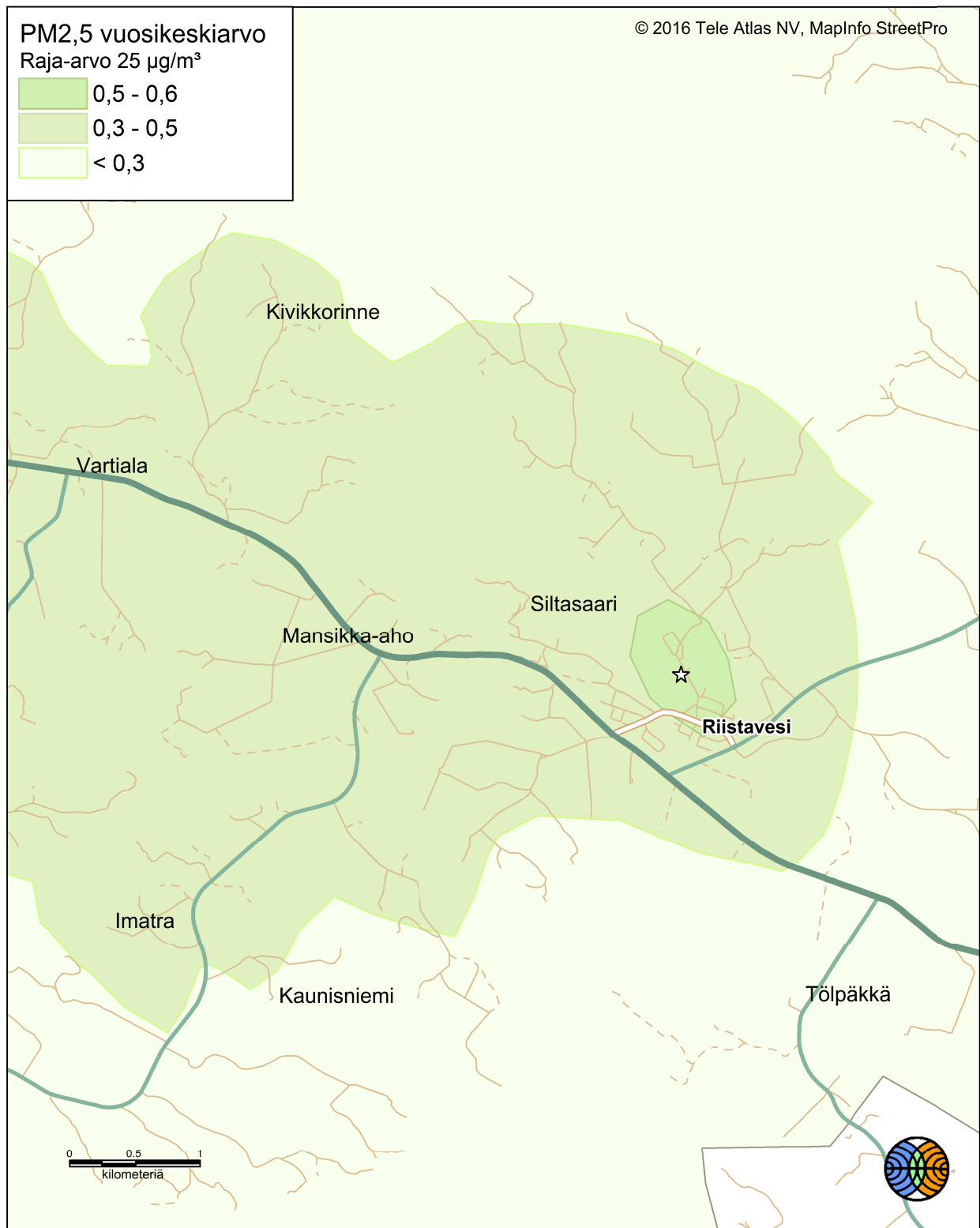


Ilmatieteen laitos 2017

☆ = maksimi = 1,2 µg/m³

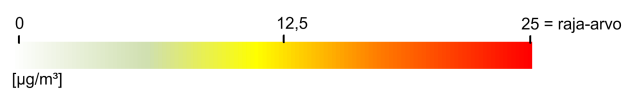


Kuva 17. Pienhiukkasten (PM_{2,5}) korkein vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³). Nilsia ja Tahko.

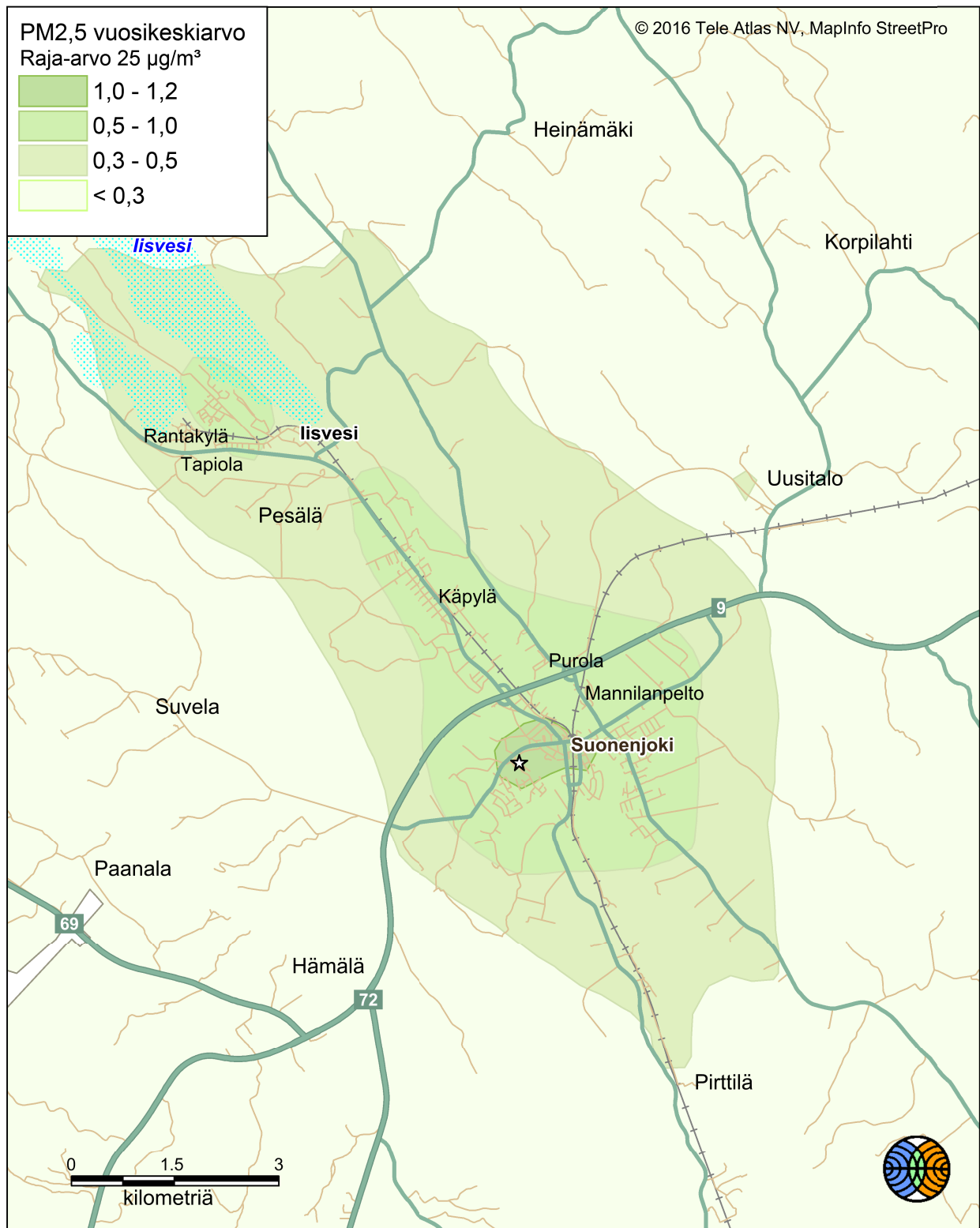


Ilmatieteen laitos 2017

☆ = maksimi = 0,6 µg/m³

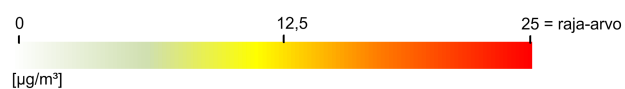


Kuva 18. Pienhiukkasten (PM_{2,5}) korkein vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³). Riistavesi.

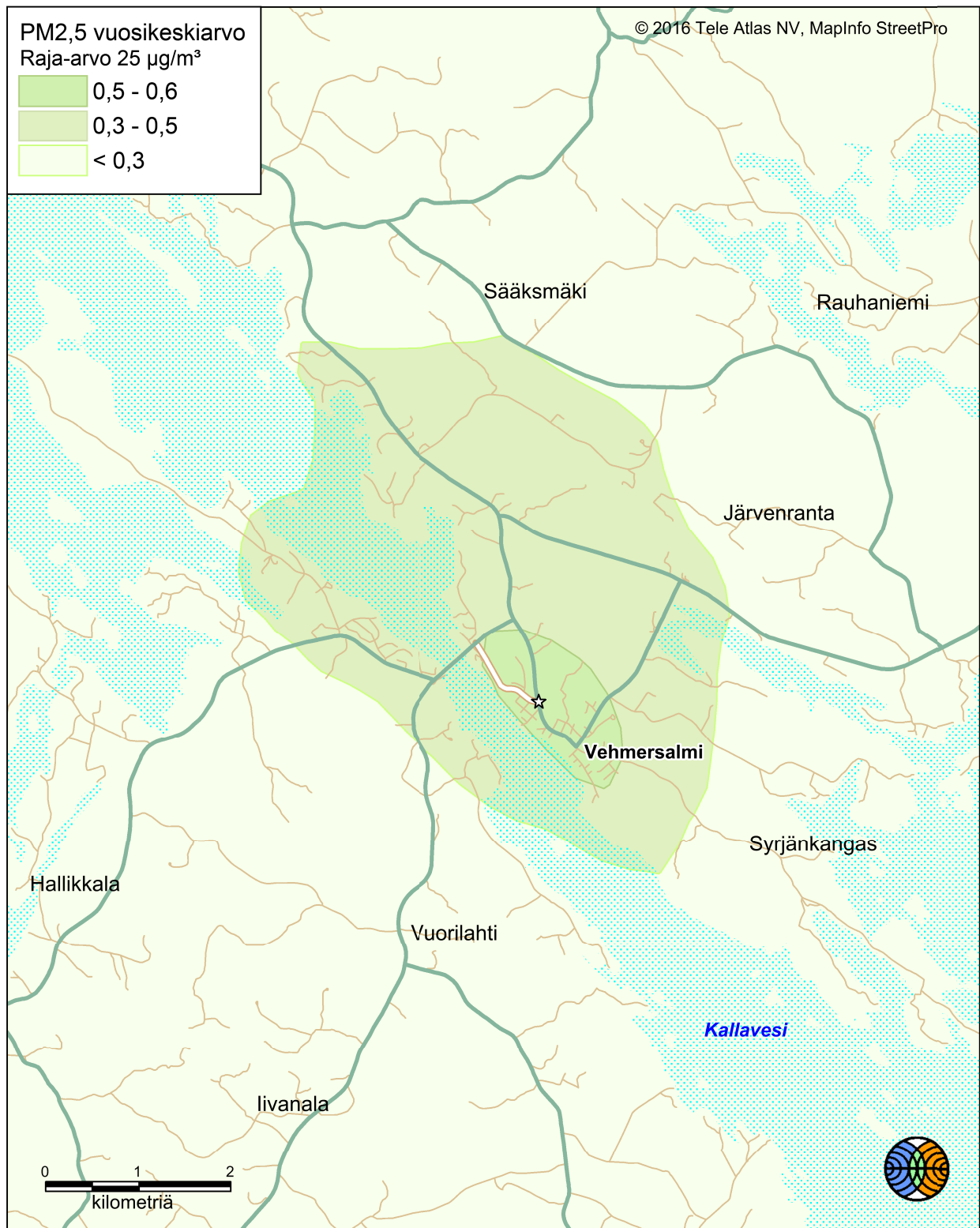


Ilmatieteen laitos 2017

☆ = maksimi = 1,2 µg/m³

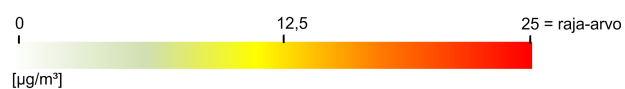


Kuva 19. Pienhiukkasten (PM_{2,5}) korkein vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³). Suonenjoki ja lisvesi.



Ilmatieteen laitos 2017

☆ = maksimi = 0,6 µg/m³



Kuva 20. Pienhiukkasten (PM_{2,5}) korkein vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³). Vehmersalmi.



ILMATIETEEN LAITOS
METEOROLOGISKA INSTITUTET
FINNISH METEOROLOGICAL INSTITUTE

ILMATIETEEN LAITOS
Erik Palménin aukio 1
00560 Helsinki
puh. 029 539 1000

WWW.ILMATIETEENLAITOS.FI

