



ILMATIETEEN LAITOS

RIIHIMÄEN ILMANLAATUSELVITYS



*Energiantuotannon, teollisuuden
ja autoliikenteen typenoksidi- ja
hiukkaspäästöjen leviämislaskelmat*

ILMANLAADUN ASiantuntijapalvelut 2011

RIIHIMÄEN ILMANLAATUSELVITYS

**ENERGIANTUOTANNON, TEOLLISUUDEN JA AUTOLIIKENTEEN
TYPENOKSIDI- JA HIUKKASPÄÄSTÖJEN LEVIÄMISLASKELMAT**

**Jatta Salmi
Birgitta Alaviippola
Hanna Hannuniemi
Katja Lovén
Risto Pesonen
Mari Kauhaniemi**

**ILMATIETEEN LAITOS – ILMANLAADUN ASiantuntijapalvelut
Helsinki 26.1.2011**

RIIHIMÄEN ILMANLAATUSELVITYS

Energiantuotannon, teollisuuden ja autoliikenteen typenoksidi- ja hiukkaspäästöjen leviämislaskelmat

TIIVISTELMÄ

Tutkimuksen tarkoituksena oli hankkia tietoa Riihimäen ilmanlaadusta ja sen alueellisesta vaihtelusta sekä eri päästölähteiden vaikutusosuudesta ilmanlaatuun. Tutkimuksessa arvioitiin Riihimäen alueen energiantuotannon, teollisuuden ja autoliikenteen päästöjen aiheuttamia typen oksidien ja hengitettävien hiukkasten pitoisuuksia leviämismallien avulla. Tutkimuksessa käytettiin Ilmatieteen laitoksella kehitettyjä leviämismalleja. Mallilaskelmien tuloksia verrattiin ilmanlaadun raja- ja ohjearvoihin sekä Riihimäellä tehtyjen hengitettävien hiukkasten pitoisuusmittausten tuloksiin.

Leviämismallilaskelmien lähtötietoina käytetyt vuoden 2009 päästöt kattavat suurimman osan Riihimäellä syntyvistä typen oksidien ja hengitettävien hiukkasten päästöistä. Riihimäen teollisuuden ja energiantuotannon aiheuttamat typenoksidipäästöt olivat yhteensä 243 t/a ja hiukkaspäästöt 9,2 t/a. Riihimäen teiden ja katujen autoliikenteen aiheuttamat typenoksidipäästöt olivat 240 t/a ja suorat pienhiukkaspäästöt 18 t/a. Autoliikenne aiheutti lisäksi epäsuorasti tienpinnasta irtoavia ja hiekoitushiekasta peräisin olevia hiukkasia noin 44 t/a. Näiden päästöjen lisäksi mallinnuksessa otettiin huomioon myös alueelliset taustapitoisuudet, jotka arvioitiin Espoon Luukissa sijaitsevan Helsingin seudun ympäristöpalveluiden taustailmanlaadun mittausaseman tuloksista. Mallilaskelmien meteorologisina tietoina käytettiin Riihimäen seudun ilmastollisia olosuhteita edustavaa vuosien 2007–2009 säähavainnoista muodostettua aineistoa.

Tutkimuksen tulosten mukaan korkeimmat typpidioksidin ja hengitettävien hiukkasten pitoisuudet Riihimäellä aiheutuvat autoliikenteen päästöjen ja kaukokulkeuman vaikutuksesta. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöt aiheuttavat vain vähäisen lisän tutkimusalueen pitoisuuksiin. Laskelmissa ei kuitenkaan huomioitu laitosten mahdollisista häiriötilanteista johtuvia päästöjä, jotka voivat lyhytaikaisesti aiheuttaa kohonneita pitoisuuksia alueella. Energiantuotannon, teollisuuden ja autoliikenteen päästöjen sekä taustapitoisuuden yhdessä aiheuttamat typpidioksidin ja hengitettävien hiukkasten kokonaispitoisuudet voivat leviämislaskelmien mukaan epäedullisissa meteorologisissa tilanteissa ylittää paikoitellen Suomessa voimassa olevat ilmanlaadun ohjearvot ja raja-arvot.

Typpidioksidin ja hengitettävien hiukkasten pitoisuudet ovat korkeimpia vilkkaimpien liikenneväylien varsilla ja näiden teiden risteysalueilla sekä Riihimäen keskustan alueella. Kohonneiden pitoisuuksien vyöhykkeitä muodostuu etenkin Helsinginväylän (Vt 3), Hämeenlinnantien (Mt 130) ja Lahdentien (Kt 54) varsille. Pitoisuudet laimenevat nopeasti etäisyyden kasvaessa vilkkaimmista väylistä ja keskusta-alueen ulkopuolella. Suurimmassa osassa tutkimusaluetta pitoisuudet ovat selvästi kyseisten ilman epäpuhtauksien ohje- ja raja-arvotasoa pienempiä. Leviämislaskelmien mukaan ilmanlaatu on hyvää suurimmassa osassa Riihimäkeä, mutta voi paikallisesti huonontua vilkkaimpien liikenneväylien varressa.

SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO.....	4
2	TAUSTATIETOA ILMANLAADUSTA	4
2.1	Ilmanlaatuun vaikuttavat tekijät	4
2.2	Typpidioksidi	5
2.3	Hiukkaset	6
2.4	Ilmanlaadun raja- ja ohjearvot.....	7
3	MENETELMÄT	9
3.1	Leviämismallilaskelmien kuvaus	9
3.2	Leviämismallilaskelmien lähtötiedot	11
3.2.1	Energiantuotannon ja teollisuuden lähtötiedot	12
3.2.2	Autoliikenteen lähtötiedot.....	14
3.2.3	Kaikkien päästölähteiden lähtötiedot.....	15
3.2.4	Meteorologiset tiedot ja taustapitoisuustiedot	15
4	TULOKSET	16
4.1	Typenoksidipitoisuudet (NO _x).....	16
4.2	Hengitettävien hiukkasten (PM ₁₀) pitoisuudet	19
4.3	Eri päästölähteiden osuus kokonaispitoisuuksista	22
4.4	Mallilaskelmien tulosten vertailu ilmanlaadun mittauksiin	24
4.5	Ilmanlaadun seuranta Riihimäellä	27
5	YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET	28
	VIITELUETTELO.....	31
	LIITEKUVAT	

1 JOHDANTO

Tässä tutkimuksessa selvitettiin leviämismallilaskelmilla Riihimäen energiantuotannosta, teollisuudesta ja autoliikenteestä vapautuvien päästöjen ilmanlaatuvaikutuksia. Tarkastelun kohteena olivat typenoksidien ja hiukkasten päästöt vuodelta 2009. Mallilaskelmat tehtiin kolmen vuoden (2007–2009) mittaiselle ajanjaksolle. Laskelmien tuloksina saatuja pitoisuuksia verrattiin ilmanlaadun ohje- ja raja-arvoihin ja alueella suoritettujen ilmanlaadun mittausten tuloksiin.

Työn tilasi Riihimäen kaupunki yhdessä alueen tärkeimpien energiantuotannon ja teollisuuden toiminnanharjoittajien kanssa. Laskelmat tehtiin Ilmatieteen laitoksella, Ilmanlaadun 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, jota kutsutaan rajakerrokseksi. Rajakerroksessa päästöt sekoittuvat ympäröivään ilmaan ja niiden pitoisuudet ilmassa laimenevat. Päästöt voivat levitä liikkuvien ilmasaasteiden 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 muuttumisen 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 kulkeutumis suunnan, mutta rajakerroksen ilmavirtausten pyörteisyys ja kerroksen korkeus vaikuttavat merkittävästi ilmansaasteiden sekoittumiseen ja pitoisuuksien laimenemiseen kulkeutumisen aikana. Leviämisen kannalta keskeisiä meteorologisia tekijöitä ovat tuulen suunta ja nopeus, ilmakehän stabiilisuus ja sekoituskorkeus. Ilmakehän stabiilisuudella tarkoitetaan ilmakehän herkkyyttä pystysuuntaiseen sekoittumiseen. Stabiilisuuden määrää ilmakehän pystysuuntainen lämpötilarakenne.

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 liikenne-ruuhkien aikana, koska ilmansaasteet kerääntyvät matalaan ilmakerrokseen päästölähteiden lähelle.

2.2 Typpidioksidi

Typen yhdisteitä vapautuu päästölähteistä ilmaan typen oksideina eli typpi-monoksidina (NO) ja typpidioksidina (NO₂). Näistä yhdisteistä terveysvaikutuksiltaan haitallisempaa on typpidioksidi, jonka pitoisuuksia ulkoilmassa säädelään 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 astmaatikoiden, koska jo puhtaan kylmän ilman hengittäminen rasituksessa aiheuttaa useimmille astmaatikoiden 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/m³. Yleensä Suomen kaupungeissa typpidioksidipitoisuuden vuosikeskiarvot ovat noin 20–30 µg/m³. Puhtailla tausta-alueilla tehtyjen ilmanlaatumittausten mukaan typpidioksidipitoisuuden vuosikeskiarvot ovat olleet Etelä-Suomessa noin 2–8 µg/m³ ja Pohjois-Suomessa noin 1 µg/m³.

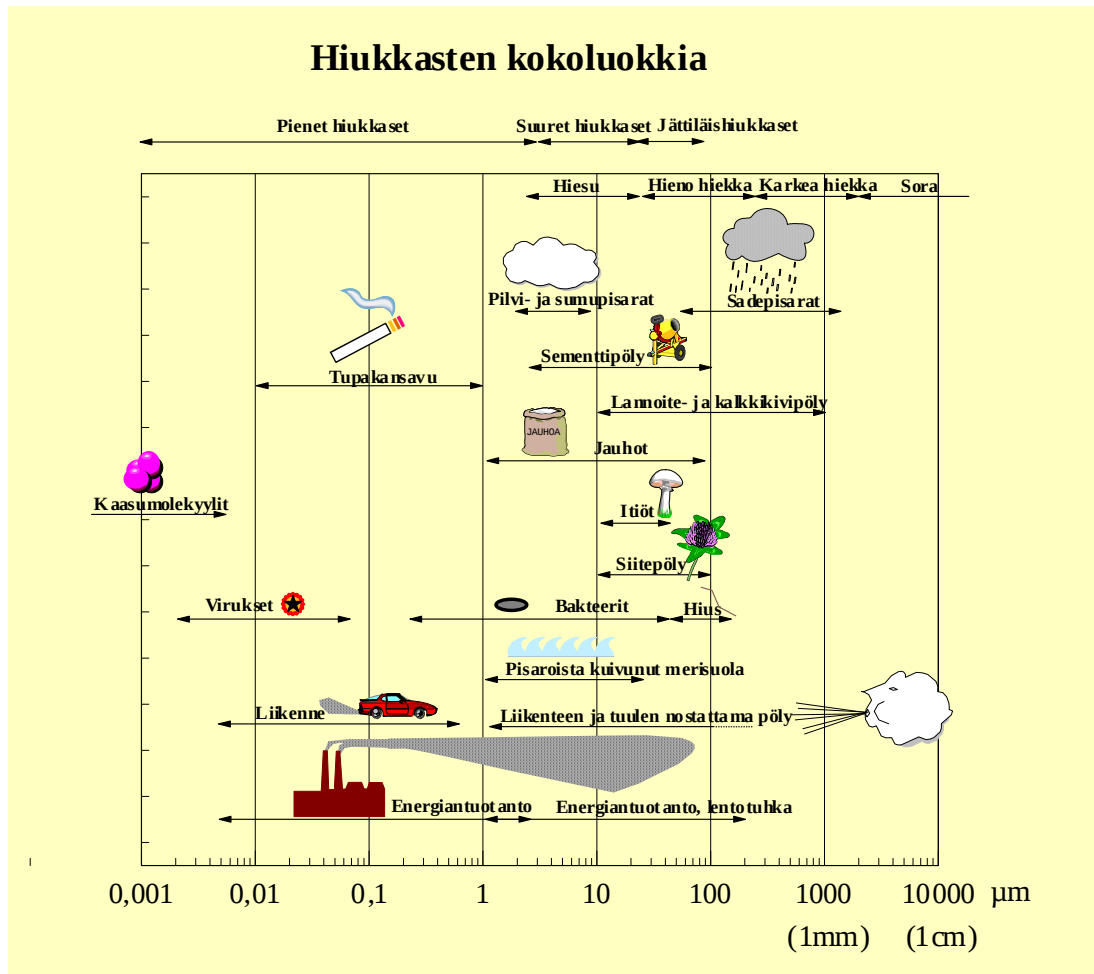
2.3 Hiukkaset

Ulkoilman hiukkaset ovat nykyisin merkittävimpiä ilmanlaatua heikentävistä tekijöistä 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. Hengitettävälle 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 maaliskuusta huhtikuussa, kun maanpinnan kuivuessa tuuli ja liikenne nostattavat katupölyä ilmaan. Liikenteen vaikutukset korostuvat matalan päästökorkeuden vuoksi. Hengitettävälle hiukkasille annettu vuorokausiohjearvo ylittyy keväisin yleisesti Suomen kaupungeissa. Hengitettävien hiukkasten vuorokausipitoisuudelle annettu raja-arvo on sen sijaan ylittynyt viime vuosina vain Helsingin keskustassa.

Maamme suurimpien kaupunkien keskusta-alueilla on mitattu useina vuosina yli $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$:n hengitettävien hiukkasten pitoisuuden vuosikeskiarvoja. Hengitettävien hiukkasten vuosikeskiarvopitoisuudelle annettu raja-arvo $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ on kuitenkin alittunut Suomessa. Pienempien kaupunkien keskusta-alueilla hengitettävien hiukkasten pitoisuuden vuosikeskiarvot voivat ylittää $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja kaupunkien keskusta-alueiden ulkopuolella pitoisuudet ovat olleet yli $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Pietarila ym., 2001). Puhtailla tausta-alueilla vuosikeskiarvopitoisuudet ovat olleet Etelä-Suomessa noin $10\text{--}12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja Pohjois-Suomessa noin $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$.



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 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 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 ja hengitettävien hiukkasten pitoisuudet eivät saa ylittää taulukon 1 raja-arvoja alueilla, joilla ihmiset saattavat altistua ilman epäpuhtauksille.

Taulukko 1. Terveyshaittojen ehkäisemiseksi annetut ulkoilman typpidioksidin ja hengitettävien hiukkasten 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⁾	–

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/m³ 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/m ³	Kuukauden tuntiarvojen 99. prosenttipiste
	70 µg/m ³	Kuukauden toiseksi suurin vuorokausiarvo
Hengitettävät hiukkaset (PM ₁₀)	70 µg/m ³	Kuukauden toiseksi suurin vuorokausiarvo

3 MENETELMÄT

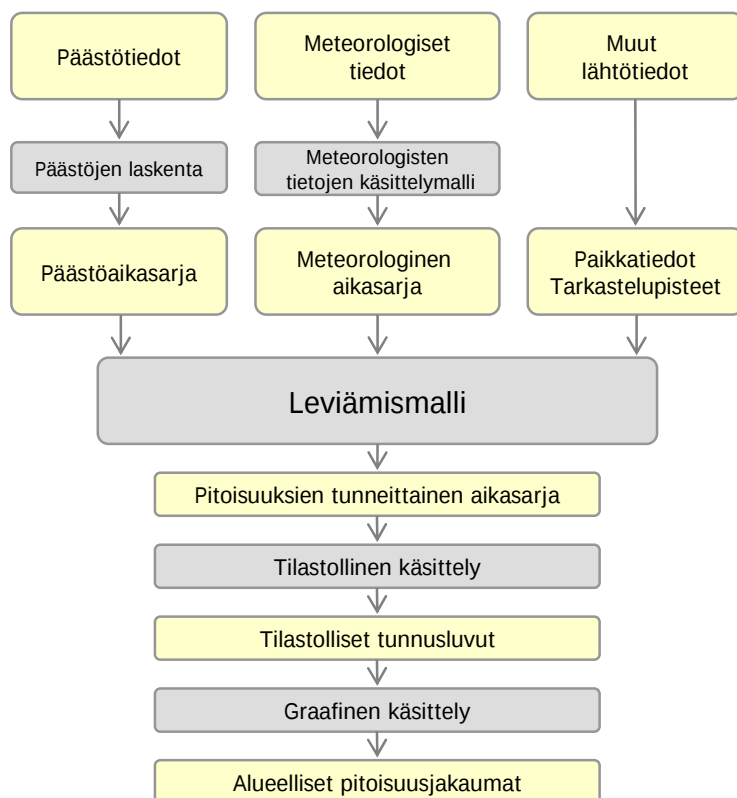
3.1 Leviämismallilaskelmien kuvaus

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 laskeutumaan. Tässä tutkimuksessa käytettiin Ilmatieteen laitoksella kehitettyjä leviämismalleja energiantuotannon, teollisuuden ja tieliikenteen päästöjen leviämisen kuvaamiseen ja niiden ilmanlaatuvaikutusten arvioimiseen.

Ilmatieteen laitoksen leviämismalleja on kehitetty pitkäjänteisesti tavoitteena tuottaa luotettavaa tietoa ilmanlaadusta mm. kaupunki- ja liikennesuunnittelun ja ilmansuojelutoimenpiteiden suunnittelun tueksi sekä pitoisuuksien ja väestön altistumisen arvioimiseksi. Mallien toimintaa on kehitetty lukuisissa tutkimusprojekteissa ja verifiointitutkimusten mukaan mallinnusten tulokset on todettu hyvin yhteensopiviksi Suomen taajamien ja teollisuusympäristöjen ilmanlaadun mittauksien kanssa. Nykyisissä Ilmatieteen laitoksen leviämismalleissa kuvataan tarkasti päästökohdassa tapahtuvaa mekaanista ja lämpötilaeroista johtuvaa nousulisää, lähimpien esteiden aiheuttamaa savupainumaa, ilmassa tapahtuvia päästöaineiden kemiallisia prosesseja sekä ilmansaasteiden poistumamekanismeja ilmakehästä. Malleihin sisältyy laskentamenetelmä 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*). Lisäksi hengitettävien hiukkasten pitoisuuksien laskelmissa käytettiin suspensiopäästömallia, jolla kuvattiin liikenteen epäsuoria vaikutuksia hiukkaspäästöön (*Kauhaniemi ym. 2011*). Tämä malli perustuu *Omstedtin ym., (2005)* kehittämään hiukkaspäästömalliin.

Leviämismallien lähtötiedoiksi tarvitaan tietoja päästöistä ja niiden lähteistä, mittaamalla ja mallittamalla saatuja tietoja ilmakehän tilasta sekä tietoja 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 liikennemäärästä, 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 käytettäväksi 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

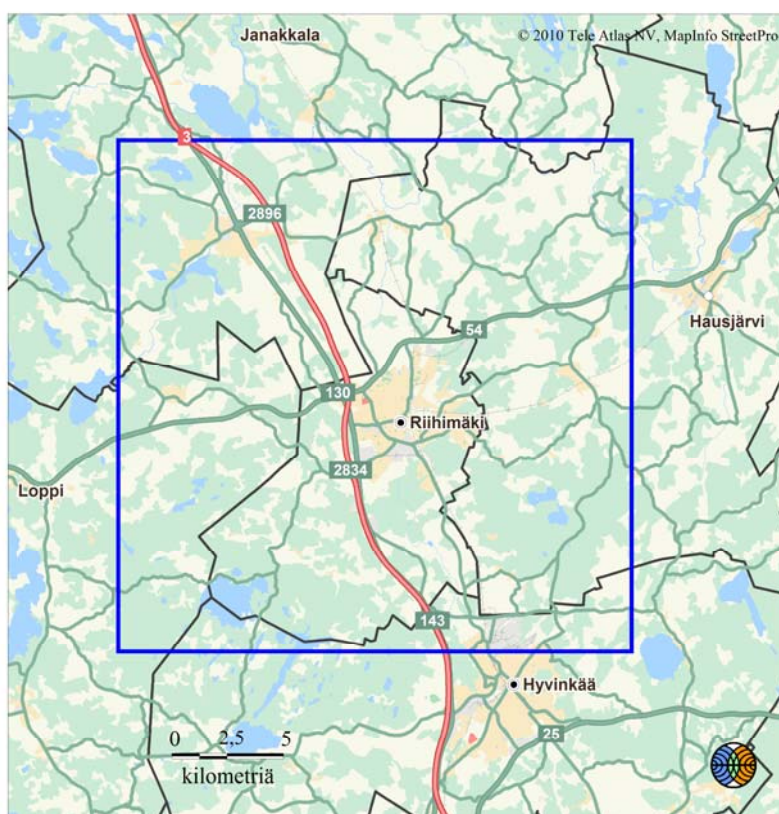
ja vuodenaikaiset albedoarvot (maanpinnan kyky heijastaa auringon säteilyä) eri maanpinnan laaduille. Lopputuloksena saadaan leviämismalleissa tarvittavien meteorologisten tietojen tunneittaiset aikasarjat.

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.

3.2 Leviämismallilaskelmien lähtötiedot

Tässä tutkimuksessa laskettiin teollisuuden, energiantuotannon ja autoliikenteen vuoden 2009 päästöjen aiheuttamat typpidioksidi- ja hiukkaspitoisuudet kuvasa C esitetylle tutkimusalueelle. Koko tutkimusalueen laajuus oli 23×23 km ja se ulottui Riihimäen kunnan lisäksi myös Janakkalan, Hausjärven ja Lopen kuntien alueelle. Alueen päästöjen aiheuttamat pitoisuudet laskettiin maanpintatasolle laskentapisteikköön, jossa oli 25 280 laskentapistettä. Laskentapisteikköissä pisteiden välisiä etäisyyksiä oli tihennetty pitoisuuksien muodostumisen kannalta merkittävimmissä kohteissa eli pistemäisten päästölähteiden lähiympäristössä ja teiden läheisyydessä. Lisäksi laskentapisteikköä tihennettiin Riihimäen keskustan alueella ja Kalmun osayleiskaava-alueella. Laskentapisteikkön pisteet olivat tiheimmillään 20 metrin ja harvimmillaan 500 metrin etäisyydellä toisistaan. Tutkimusalueen maanpinnan korkeuserot huomioitiin laskentapisteissä Maanmittauslaitoksen maastonkorkeusmallin mukaisesti. Raportin karttavissa tutkimusalue on esitetty sekä kokonaisuudessaan että tarkempina lähikuvina Riihimäen keskustan alueelta (alueen koko noin 10×10 km).

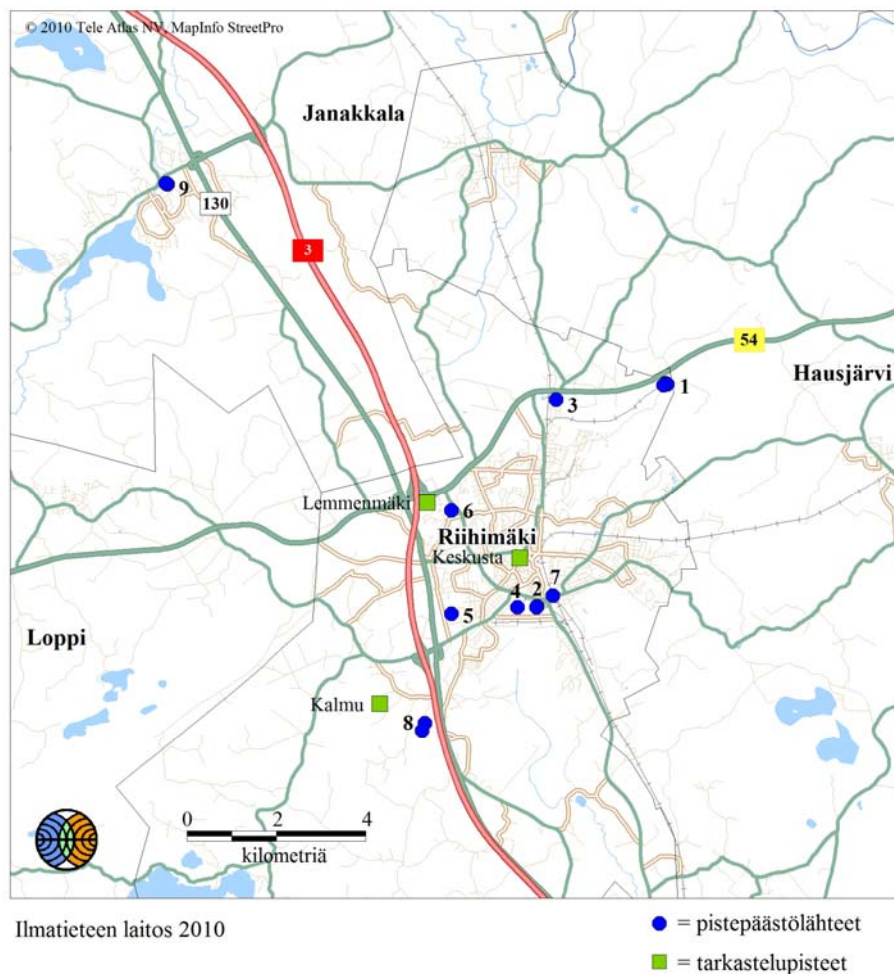
Koko tutkimusalueen kattavan laskentapisteikkön lisäksi tutkimusalueelta valittiin kolme erillistä tarkastelupistettä, joilla pyrittiin selvittämään pitoisuustasoja erilaisissa altistumisympäristöissä ja eri päästölähteiden vaikutusosuutta kokonaispitoisuuksista. Nämä pisteet valittiin keskustasta, Kalmun osayleiskaava-alueelta ja Lemmenmäen asuinalueelta. Tarkastelupisteiden sijainti on esitetty kuvassa D. Keskustan tarkastelupiste sijaitsee Hämeenkatu 24–26:n kohdalla ajoradan viereisellä jalkakäytävällä. Keskustan tarkastelupiste edustaa mittauspaikkaa, jossa on suoritettu hengitettävien hiukkasten pitoisuusmittauksia vuosina 2005–2006. Kalmun osayleiskaava-alueen piste sijaitsee keskellä kaava-aluetta, noin 1 km etäisyydellä Fortum Power and Heat Oy:n lämpölaitoksesta ja 1,2 km etäisyydellä Helsinginväylästä (Vt 3). Lemmenmäen olemassa olevan asuinalueen tarkastelupiste sijaitsee lähellä Helsinginväylän ja Lahdentien (Kt 54) risteystä, noin 150 metrin etäisyydellä Lahdentiestä ja noin 600 metrin etäisyydellä Riihimäen Kaukolämpö Oy:n Sairaalan lämpökeskuksesta.



Kuva C. Tutkimusalue (sininen raja) käsitti koko Riihimäen kunnan ja osia Janakkalan, Hausjärven ja Lopen kunnista noin 23 × 23 km:n kokoiselta alueelta.

3.2.1 Energiantuotannon ja teollisuuden lähtötiedot

Leviämislaskelmiin mukaan otettujen energiatuotanto- ja teollisuuslaitosten sijainnit ja laitospohjaiset vuosittaiset päästöt on esitetty kuvassa D ja taulukossa 3. Laskennassa oli mukana 9 laitosta, joilla on yhteensä 15 erillistä päästölähdettä eli piippua. Riihimäen kunnan alueella sijaitsevien laitosten lisäksi mallilaskelmissa huomioitiin Janakkalassa sijaitsevan Tervakoski Oy:n paperitehtaan päästöt. Muiden sellaisten laitosten päästöjä, jotka sijaitsivat tutkimusalueella naapurikuntien puolella (esim. Hyvinkään pohjoisosassa sijaitsevat laitokset) ei huomioitu tässä tutkimuksessa. Laskennassa huomioitiin laitosten toiminta-ajat, päästövaihtelut ja laitosten tekniset tiedot, kuten esimerkiksi piipun korkeus, savukaasuvirtaama ja savukaasun lämpötila. Laskelmissa käytetyt päästötiedot edustavat vuotta 2009. Laitosten vuosittaisen päästömäärän ja päästövaihtelun oletettiin olevan sama jokaisena laskentavuotena (2007–2009). Laskelmissa ei huomioitu laitosten mahdollisia häiriöpäästöjä. Lämpökeskusten oletettiin toimivan käyntituntiansa mukaisesti kunkin vuoden kylmimpinä tunteina. Energiantuotanto- ja teollisuuslaitosten lähtötiedot kerättiin päästökartoituslomakkeella, jonka laitosten edustajat täyttivät. Toimitettuja päästötietoja verrattiin Ympäristönsuojelun tietojärjestelmän VAHTI-tietokannan tietoihin.



Kuva D. Energiantuotanto- ja teollisuuslaitosten sijainti (siniset pisteet) Riihimäen seudulla. Numeroitujen laitosten nimet esitetään taulukossa 3. Karttaan on merkitty vihreillä neliöillä erilliset tarkastelupisteet, joiden ilmanlaatua on mallinnettu tutkimuksessa tarkemmin.

Taulukko 3. Leviämislaskelmissa huomioidut energiantuotanto- ja teollisuuslaitosten päästöt (t/a) vuodelta 2009.

	Omistaja	Laitos	Päästö (t/a)	
			NO _x	PM ₁₀
1	Ekokem Oy Ab	Ongelmajätteen- ja jätteenpolttolaitos	189	2,4
2	Versowood Oy	Sahan lämpökeskus	15	1,0
3	Rasmix Oy	Rasvojen jalostuslaitos	1,1	0,14
4	Riihimäen Kaukolämpö Oy	Peltokylän lämpökeskus	4,8	0,24
5	Riihimäen Kaukolämpö Oy	Mattilan lämpökeskus	12	0,58
6	Riihimäen Kaukolämpö Oy	Sairaalan lämpökeskus	0,2	0,03
7	Riihimäen Kaukolämpö Oy	Jokikylän lämpökeskus	3,1	–
8	Fortum Power and Heat Oy	Valio Oy:n lämpölaitos	19	4,8
9	Tervakoski Oy	Paperitehdas	77	–
Yhteensä			320	9,2

3.2.2 Autoliikenteen lähtötiedot

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 690 kappaletta.

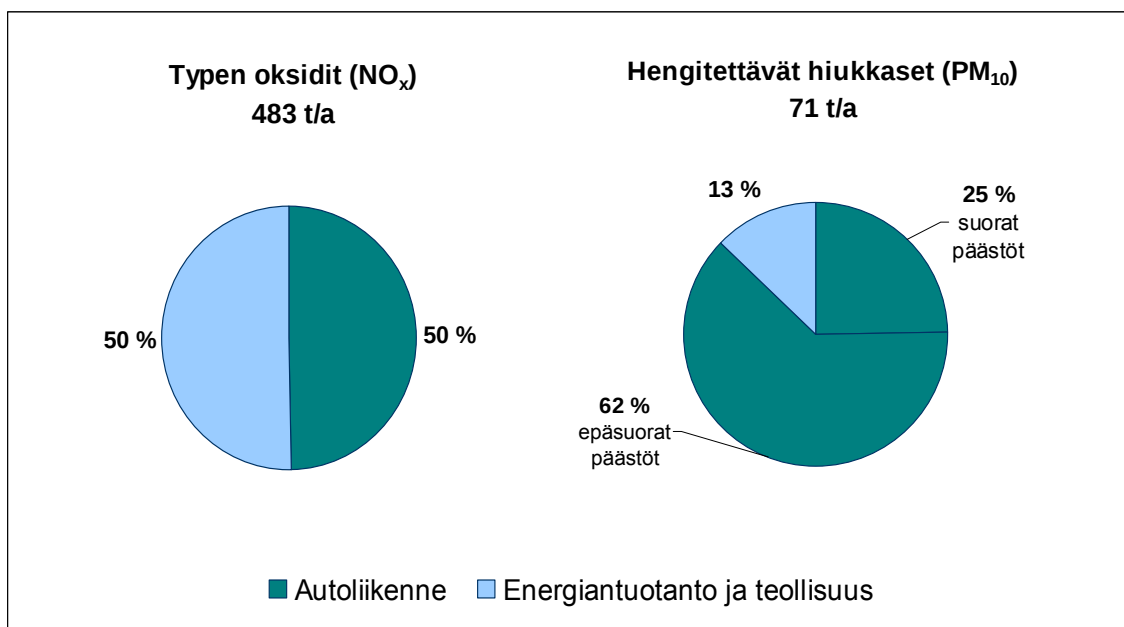
Koko tutkimusalueen teiden ja katujen autoliikenteen typenoksidipäästöt olivat yhteensä 766 t/a ja pakokaasujen suorat pienhiukkaspäästöt yhteensä 54 t/a. Autoliikenne aiheutti lisäksi epäsuorasti tienpinnasta mekaanisesti irtoavia hiukkasia ja hiekoitushiekasta peräisin olevia hiukkasia koko tutkimusalueella noin 131–138 t/a. Riihimäen kunnan alueella autoliikenteen typenoksidipäästöt olivat 240 t/a ja suorat pienhiukkaspäästöt 18 t/a. Autoliikenteen aiheuttaman epäsuoran hiukkaspäästön vuosittainen määrä vaihteli välillä 43–45 t/a. Erot vuosien välisissä epäsuorissa päästö määrissä johtuvat pääosin erilaisista meteorologisista olosuhteista vuosien 2007–2009 aikana. Liikenteen päästöjen laskennassa käytetyt keskimääräiset vuorokausiliikennemäärät on esitetty raportin liitekuviissa 1–2. Liikenteen aiheuttamat tiekohtaiset typenoksidipäästöt on esitetty raportin liitekuviissa 3–4 ja tiekohtaiset hengitettävien hiukkasten päästöt liitekuviissa 16–17. Hengitettävien hiukkasten päästökuvissa on jokaisessa viivalähteessä laskettu yhteen autoliikenteen aiheuttamat suorat pakokaasupäästöt ja epäsuorat päästöt.

Liikenteen päästöt laskettiin Ilmatieteen laitoksella keskimääräisten vuorokausiliikennemäärien, ajonopeuksien ja liikenteen tunneittaisen, päivittäisen ja kuukausittaisen vaihtelun perusteella. Yleisten teiden liikennemäärät saatiin Uudenmaan ELY-keskukselta ja muiden teiden liikennemäärät toimitti Riihimäen kaupunki. Kaupungilta saadut liikennemäärät perustuvat vuonna 2008 tehtyihin 15 minuutin mittaisiin liikennelaskentoihin kultakin tie- ja katuosuudelta. Liikenteen päästöt laskettiin ajoneuvolajeittaisten päästökertoimien avulla, jotka perustuvat Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen (VTT) päästölaskelmiin (*Laurikko, 1998; LIPASTO, 2010*) ja CAR-FMI mallia varten kehitettyihin nopeusriippuvaisiin päästökerroinfunktioihin. Leviämis mallilaskelmissa on oletettu autoliikenteen typenoksidipäästöistä olevan typpidioksidia keskimäärin 19 %.

Autoliikenteen epäsuora vaikutus hengitettävien hiukkasten päästöön laskettiin suspensiopäästömallilla. Viivalähdekohtaiset PM_{10} -suspensiopäästöt ($\mu g/m/s$) perustuvat tiepölyhiukkasten suspensiopäästökertoimiin ja liikennemääriin. Suspensiopäästökerroin muodostuu referenssikertoimesta sekä tien pölymäärään vaikuttavista tekijöistä. Referenssikerroin on erilainen eri vuodenajoille (kesä/talvi), eri hiukkastyypeille ($PM_{10}/PM_{2.5}$) ja eri liikenne ympäristöille. Tässä työssä on käytetty *Omstedtin ym. (2005)* Tukholmaan määrittämiä PM_{10} -referenssikertoimia: kesäkaudella 200 $\mu g/ajoneuvo/m$ ja talvikaudella 1 200 $\mu g/ajoneuvo/m$. Laskelmissa huomioitiin sääolosuhteiden, hiekoituksen sekä nastarenkaiden käytön vaikutus teiden pölymäärään. Nastarenkaiden osuuden määrittämiseen käytettiin Suomessa ja Ruotsissa tehtyjä tutkimuksia (*Kupiainen, 2007; Omstedt ym., 2005*).

3.2.3 Kaikkien päästölähteiden lähtötiedot

Leviämislaskelmissa huomioidut typen oksidien (NO_x) kokonaispäästöt koko tutkimusalueelta olivat 1 086 t/a ja Riihimäen alueelta 483 t/a jokaisena tarkasteluvuotena. Leviämislaskelmissa huomioidut hengitettävien hiukkasten (PM_{10}) kokonaispäästöt koko tutkimusalueelta vaihtelivat välillä 194–201 t/a ja Riihimäen alueella 70–72 t/a, riippuen tienpinnasta irronneen resuspensiopäästön vuosittaisesta suuruudesta. Eri päästölähteiden suhteelliset osuudet kokonaispäästöstä Riihimäen alueella on esitetty kuvassa E. Hengitettävien hiukkasten kuvaajassa on käytetty autoliikenteen epäsuoran päästön osalta kolmen tarkasteluvuoden keskiarvoa 44 t/a. Leviämislaskelmissa ei ole huomioitu junaliikenteen, puun pienpolton, maataloustoiminnan tai työkoneiden aiheuttamia päästöjä tutkimusalueella.



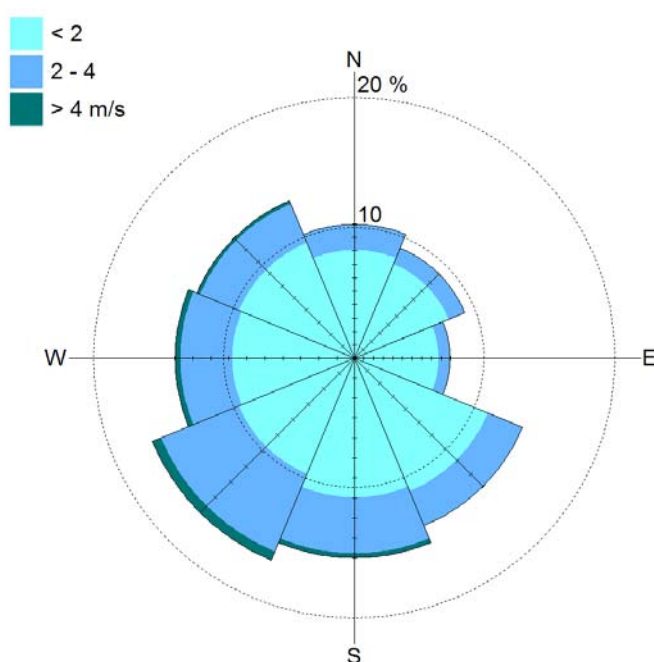
Kuva E. Eri päästölähteiden osuudet leviämislaskelmissa huomioiduista vuoden 2009 kokonaispäästöistä Riihimäen alueella.

3.2.4 Meteorologiset tiedot ja taustapitoisuustiedot

Tutkimusalueen ilmastollisia olosuhteita edustava meteorologinen aikasarja muodostettiin Hämeenlinnan Katisen ja Lahden Launeen sääasemien havaintotiedoista vuosilta 2007–2009. Sekoituskorkeuden määrittämiseen käytettiin Jokioisten observatorion radioluotaushavaintoja vuosilta 2007–2009. Kuvassa F on esitetty tuulen suunta- ja nopeusjakauma tutkimusalueella tuuliriuksen muodossa.

Leviämismodellilaskelmien tuloksena saatuihin pitoisuuksiin lisätään taustapitoisuus, joka kuvaa tutkimusalueelle muualta kulkeutuneiden yhdisteiden pitoisuutta ilmassa. Tutkimusalueen typpidioksidin, pienhiukkasten ja otsonin taustapitoisuudet saatiin Helsingin seudun ympäristöpalveluiden Espoon Luukissa sijaitse-

valta taustailmanlaadun mittausasemalta (*Ilmanlaatuportaali, 2010*). Tutkimusalueen taustapitoisuuksina käytettiin leviämismallissa pitoisuuksien kuukausittain laskettuja tunneittaisia keskiarvoja, joilla pyrittiin kuvaamaan taustapitoisuuksien vuorokauden sisäistä vaihtelua. Typpidioksidin taustapitoisuus tutkimusalueella on vuosikeskiarvona noin $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, pienhiukkasten taustapitoisuus noin $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja otsonin taustapitoisuus noin $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$.



Kuva F. Tuulen suunta- ja nopeusjakauma tutkimusalueella vuosina 2007–2009. Tehdyn tilastollisen tarkastelun mukaan alueella esiintyi eniten lounaan puoleisia tuulia ja vähiten idän puoleisia tuulia. Lasketut tuulitiedot kuvaavat olosuhteita 10 metrin korkeudella maanpinnasta.

4 TULOKSET

4.1 Typenoksidipitoisuudet (NO_x)

Leviämismallilaskelmien tuloksina saadut ulkoilman typpidioksidipitoisuuksien (NO_2) maksimi-arvot Riihimäellä on esitetty taulukossa 4. Taulukossa on esitetty erikseen energiantuotannon ja teollisuuden päästölähteistä, autoliikenteestä ja kaikista päästölähteistä yhdessä aiheutuvat pitoisuudet. Leviämlaskelmien tuloksena saatu typpidioksidipitoisuuksien alueellinen vaihtelu on esitetty raportin lopussa olevissa aluejakaumakuvissa. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttama typpidioksidipitoisuuksien alueellinen vaihtelu käy ilmi liitekuvista 5–6, autoliikenteen päästöjen aiheuttama liitekuvista 7–10 sekä

kaikkien päästölähteiden yhdessä aiheuttama kokonaistyyppidioksidipitoisuuksien alueellinen vaihtelu liitekuvista 11–14. Kokonaistypenoksidipitoisuuksien (NO_x) alueellinen jakauma on esitetty liitekuvasa 15. Kaikissa leviämislaskelmissa on huomioitu typenoksidipäästöjen ilmakemiallinen muutunta kulkeutumisen aikana. Kaikkien päästölähteiden kokonaispäästöistä aiheutuneissa tyyppidioksidipitoisuuksissa on lisäksi huomioitu tyyppidioksidin alueellinen taustapitoisuus tutkimusalueella.

Taulukko 4. Leviämismallilaskelmilla saadut energiantuotannon ja teollisuuden päästölähteiden, autoliikenteen ja kaikkien päästölähteiden yhdessä aiheuttamat ulkoilman tyyppidioksidipitoisuuksien maksimi-arvot vuosina 2007–2009 Riihimäellä. Kaikkien päästölähteiden sarakkeessa on huomioitu tyyppidioksidin alueellinen taustapitoisuus.

Tyyppidioksidipitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Raja- tai ohje-arvo	Energiantuotanto ja teollisuus	Autoliikenne	Kaikki päästölähteet ja taustapitoisuus
Vuosikeskiarvo	40 (*)	0,04	43	48
Korkein vuorokausiohje-arvoon verrannollinen pitoisuus	70 (**)	0,6	79	90
Korkein tuntiohje-arvoon verrannollinen pitoisuus	150 (**)	1,7	156	169
Korkein tuntiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus	200 (*)	1,4	162	168

(*) raja-arvo

(**) ohje-arvo

Leviämislaskelmien perusteella energiantuotannon ja teollisuuden aiheuttamat tyyppidioksidipitoisuudet ovat hyvin pieniä. Suurimmat pitoisuudet muodostuvat Riihimäen keskustan ulkopuolelle typenoksidipäästöjen muutunnasta ja alueen vaihtelevista maastonmuodoista johtuen. Suurimmat yksittäiset pitoisuudet muodostuvat korkeimpiin maastonkohtiin. Tyyppidioksidin vuosikeskiarvopitoisuuksiin vaikuttavat voimakkaimmin Ekokem Oy Ab:n ongelmajätteen- ja jätteenpolttolaitoksen päästöt. Ekokem Oy Ab on tutkimusalueen suurin yksittäinen typenoksidipäästöjen lähde. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttamat suurimmatkin tyyppidioksidipitoisuudet ovat kuitenkin koko tutkimusalueella hyvin pieniä verrattuna esimerkiksi ohje- ja raja-arvoihin tai autoliikenteen päästöjen aiheuttamiin pitoisuuksiin. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöt aiheuttavat tyyppidioksidipitoisuuksia, jotka korkeimmillaankin alittavat selvästi raja- ja ohje-arvot. Korkeimmillaan näiden päästölähteiden aiheuttamat tyyppidioksidipitoisuudet ovat noin 1 % ohje-arvoista ja alle 1 % raja-arvoista.

Suurimmat autoliikenteen aiheuttamat tyyppidioksidipitoisuudet syntyvät Riihimäen keskustan länsipuolella lähellä toisiaan kulkevien Helsinginväylän (Vt 3) ja Hämeenlinnantien (Mt 130) varrelle, keskustan pohjoispuolella kulkevan Lahdentien (Kt 54) varrelle ja Riihimäen keskustan vilkasliikenteisimpien katujen varsille. Kohonneiden pitoisuuksien vyöhykkeitä muodostuu niiden teiden ja katujen varsille, jossa esiintyvät tutkimusalueen suurimmat liikennemäärät.

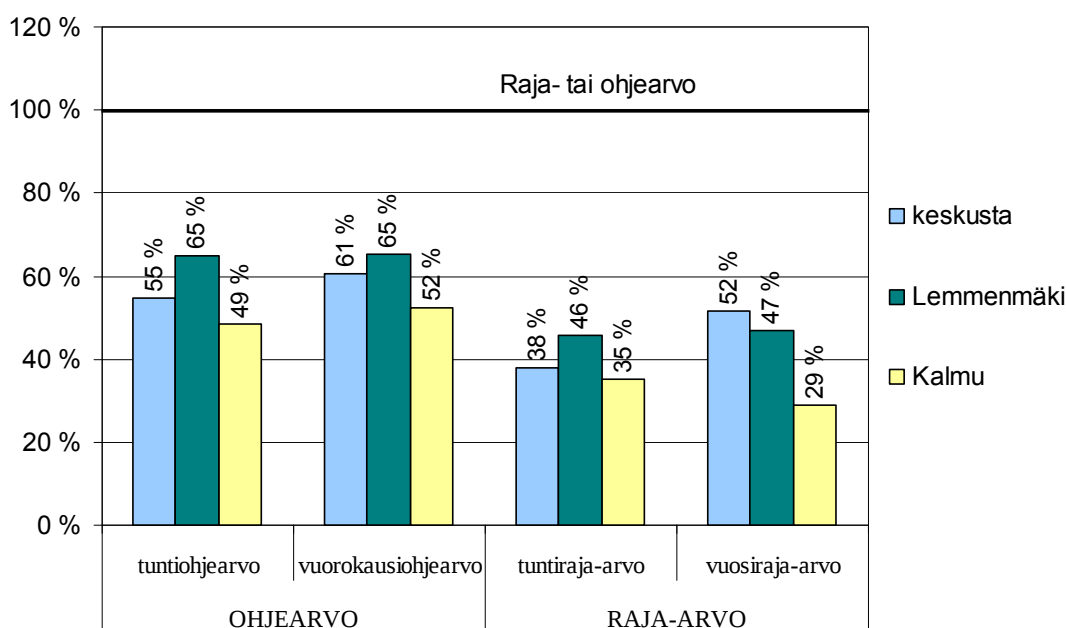
Helsinginväylän keskimääräinen vuorokausiliikennemäärä on tutkimusalueella tien eri osissa 21 500–30 400 ajoneuvoa/vrk. Lahdentien liikennemäärä on noin 5 000 ajoneuvoa/vrk ja Hämeenlinnantien noin 4 000 ajoneuvoa/vrk. Keskusta-alueella vilkkaimmin liikennöityjä katuja ovat Mattilantie, Etelän Viertotie ja Pohjoinen Asemakatu, joiden vuorokausiliikennemäärät ovat noin 12 000 ajoneuvoa/vrk. Autoliikenteen päästöjen yksinään aiheuttamat pitoisuudet ylittävät typpidioksidille asetetut ohje- ja raja-arvot paikoitellen Helsinginväylällä. Raja-arvot eivät kuitenkaan ole voimassa alueilla, joissa ei asu tai oleskele ihmisiä.

Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden yhteisvaikutuksesta aiheutuva typpidioksidin kokonaispitoisuus on Riihimäen keskustassa ja suurimpien teiden varsilla vuosikeskiarvona noin $15\text{--}30\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$. Tätä korkeampia pitoisuuksia esiintyy lähinnä yksittäisissä laskentapisteissä vilkkaimmilla risteysalueilla. Autoliikenteellä on merkittävin vaikutus typpidioksidin kokonaispitoisuuksiin, mistä syystä pitoisuustaso laskee nopeasti etäisyyksien kasvaessa vilkkaimmista autoteistä ja keskusta-alueen ulkopuolella. Typpidioksidipitoisuus laskee tutkimusalueen reunoilla lähes taustapitoisuuden tasolle, joka on tällä seudulla vuosikeskiarvona noin $6\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Leviämismallilaskelmien mukaan kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden yhteisvaikutuksesta typpidioksidille asetetut ohje- ja raja-arvot ylittyvät tutkimusalueella paikoitellen. Pitoisuudet ylittävät typpidioksidille asetetut ohje- ja raja-arvot Helsinginväylällä (Vt 3). Raja-arvot eivät kuitenkaan ole voimassa liikenneväylillä.

Mallilaskelmin selvitettiin tarkemmin ilmanlaatua kolmella eri asuinalueella: Riihimäen keskustassa Hämeenkadulla, Lemmenmäen asuinalueella lähellä Helsinginväylän (Vt 3) ja Lahdentien (Kt 54) risteystä sekä Kalmun osayleiskaava-alueen keskellä noin kilometrin etäisyydellä lähimmistä päästölähteistä. Tarkastelupisteiden sijainnit on esitetty kuvassa D ja tarkastelupisteiden tarkemmat kuvaukset kappaleessa 3.2.

Kuvassa G esitetään kolmessa erillisessä tarkastelupisteessä kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden yhteisvaikutuksesta aiheutuvien typpidioksidipitoisuuksien suhde ilmanlaadun ohje- ja raja-arvoihin. Typpidioksidipitoisuuksien ohje- ja raja-arvot alittuvat mallilaskelmien mukaan kaikilla asuinalueilla. Pitoisuudet ovat tarkastelupisteissä noin 50–65 % ohjearvoista ja noin 30–50 % raja-arvoista. Vuosikeskiarvona pitoisuudet ovat korkeimmillaan keskustassa. Korkeimmat lyhytaikaispitoisuudet havaitaan vilkasliikenteisen risteysalueen lähellä sijaitsevalla Lemmenmäen alueella.



Kuva G. Leviämismallilaskelmilla saatujen typpidioksidipitoisuuksien (NO_2) suhde voimassa oleviin ilmanlaadun raja- ja ohjearvoihin kolmessa erillisessä tarkastelupisteessä.

Leviämismallilaskelmien mukaan kaikkien päästölähteiden yhdessä aiheuttamaksi typen oksidien (NO_x) korkeimmaksi vuosikeskiarvopitoisuudeksi koko tutkimusalueella saatiin $81 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (liitekuva 15). Pitoisuus ylittää typenoksidipitoisuudelle kasvillisuuden ja ekosysteemien suojelemiseksi määritetyn kriittisen tason $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Suurimmat, kriittisen tason ylittävät typenoksidipitoisuudet muodostuivat Helsinginväylälle ja keskustan vilkkaasti liikennöityjen katujen varsille. Typenoksidipitoisuudelle annettua kriittistä tasoa sovelletaan kuitenkin vain rakennetun ympäristön ulkopuolella olevilla alueilla. Luonnonsuojelualueilla, kuten Hatlamminsuon, Vahteriston ja Vatsian luonnonsuojelualueilla typenoksidipitoisuuden kriittisen tason tulisi alittua. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden yhdessä aiheuttama typen oksidien vuosikeskiarvopitoisuus oli kunnan koillisnurkassa osittain Hausjärven puolella sijaitsevalla Hatlamminsuon luonnonsuojelualueella noin $11\text{--}12 \mu\text{g}/\text{m}^3$, keskustan kaakkoispuolella sijaitsevalla Vahteriston luonnonsuojelualueella noin $12\text{--}13 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja Suolijärven pohjoisrannalla sijaitsevalla Vatsian luonnonsuojelualueella noin $9\text{--}10 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

4.2 Hengitettävien hiukkasten (PM_{10}) pitoisuudet

Leviämismallilaskelmien tuloksina saadut ulkoilman hengitettävien hiukkasten pitoisuuksien maksimiarvot Riihimäellä on esitetty taulukossa 5. Taulukossa on esitetty erikseen energiantuotannon ja teollisuuden päästölähteistä, autoliikenteestä ja kaikista päästölähteistä yhdessä aiheutuvat pitoisuudet. Leviämislaskelmien tuloksena saatu hengitettävien hiukkasten pitoisuuksien alueellinen vaihtelu on esitetty raportin lopussa olevissa aluejakaumakuvissa. Energiantuo-

tannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttama hengitettävien hiukkasten pitoisuuksien alueellinen vaihtelu käy ilmi raportin liitekuvista 18–19, autoliikenteen päästöjen aiheuttama vaihtelu liitekuvista 20–23 sekä kaikkien päästölähteiden yhdessä aiheuttama hengitettävien hiukkasten kokonaispitoisuuksien alueellinen vaihtelu liitekuvista 24–27. Kaikkien päästölähteiden kokonaispäästöistä aiheutuneissa hengitettävien hiukkasten pitoisuuksissa on lisäksi huomioitu kaukokulkeutuneiden pienhiukkasten alueellinen taustapitoisuus tutkimusalueella.

Taulukko 5. Leviämismallilaskelmilla saadut energiantuotannon ja teollisuuden päästölähteiden, autoliikenteen ja kaikkien päästölähteiden yhdessä aiheuttamat ulkoilman hengitettävien hiukkasten pitoisuuksien maksimiarvot vuosina 2007–2009 Riihimäellä. Kaikkien päästölähteiden sarakkeessa on huomioitu pienhiukkasten alueellinen taustapitoisuus.

Hengitettävien hiukkasten pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Raja- tai ohjearvo	Energiantuotanto ja teollisuus	Autoliikenne	Kaikki päästölähteet ja taustapitoisuus
Vuosikeskiarvo	40 ^(*)	0,04	18	25
Korkein vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus	70 ^(**)	0,9	105	114
Korkein vuorokausiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus	50 ^(*)	0,1	41	48

(*) raja-arvo

(**) ohjearvo

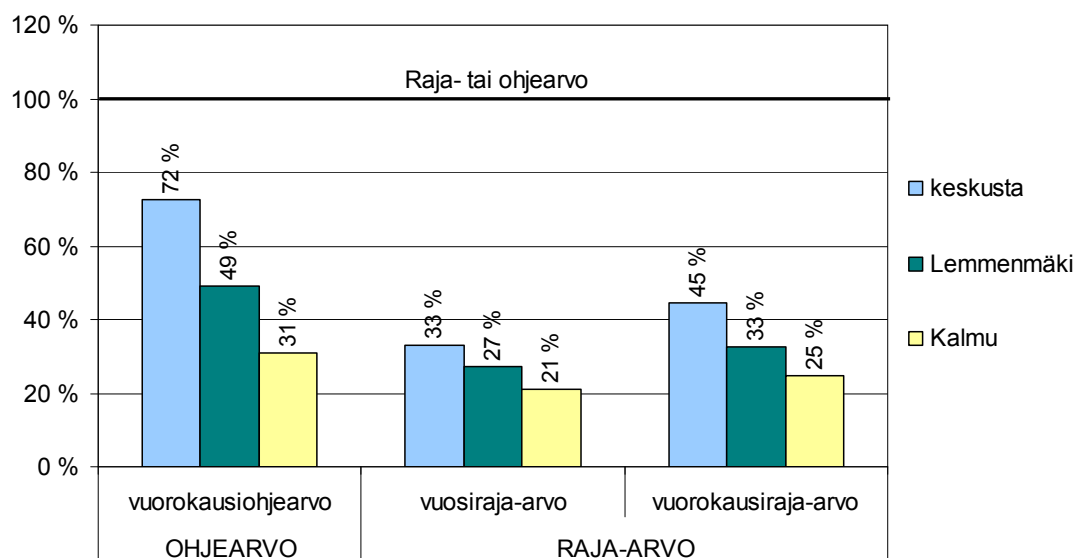
Leviämislaskelmien perusteella korkeimmat energiantuotannon ja teollisuuden aiheuttamat hiukkaspitoisuudet muodostuvat Fortum Power and Heat Oy:n maakaasu-, puu- ja turvekäyttöisen lämpölaitoksen läheisyyteen. Lämpölaitos tuottaa lämpöä ja höyryä Valio Oy:n tuotantoprosessiin ja kiinteistöjen lämmittämiseen ja se on tutkimusalueen merkittävin yksittäinen hiukkaspäästölähde. Mallinnetut korkeimmatkin hiukkaspitoisuudet olivat kuitenkin hyvin pieniä. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöt aiheuttavat hengitettävien hiukkasten pitoisuuksia, jotka korkeimmillaankin alittavat selvästi ohje- ja raja-arvot. Korkeimmillaan näiden päästölähteiden aiheuttamat hengitettävien hiukkasten pitoisuudet ovat alle 1,5 % ohjearvosta ja alle 0,5 % raja-arvoista.

Suurimmat autoliikenteen aiheuttamat hengitettävien hiukkasten pitoisuudet syntyvät Helsinginväylän (Vt 3), Hämeenlinnantien (Mt 130) ja Lahdentien (Kt 54) varrelle ja Riihimäen keskustan vilkasliikenteisimpien pääkatujen varsille. Autoliikenteen päästöjen yksinään aiheuttamat pitoisuudet eivät ylitä hengitettävien hiukkasten vuosi- ja vuorokausipitoisuudelle asetettuja raja-arvoja tutkimusalueella, mutta pitoisuudet ylittävät hengitettävien hiukkasten vuorokausiohjearvon selvästi (ylitys noin 50 %). Ohjearvo ylittyy paikoitellen moottoritiellä (Vt 3).

Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden yhteisvaikutuksesta aiheutuva hengitettävien hiukkasten kokonaispitoisuus on Riihimäen keskustassa ja suurimpien teiden varsilla vuosikeskiarvona noin 10–15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Tätä korkeampia pitoisuuksia esiintyy lähinnä yksittäisissä laskentapisteissä Helsinginväylällä ja keskustan risteysalueilla. Eri päästölähteistä autoliikenne vaikuttaa eniten hengitettävien hiukkasten kokonaispitoisuuksiin. Pitoisuustaso laskee nopeasti keskusta-alueen ulkopuolella ja etäisyyksien kasvaessa autoteistä. Tutkimusalueen reunoilla hengitettävien hiukkasten pitoisuus laskee taustapitoisuuden tasolle, joka on tällä seudulla vuosikeskiarvona noin 7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Leviämismallilaskelmien mukaan kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden yhteisvaikutuksesta aiheutuvat kokonaispitoisuudet eivät ylitä hengitettävien hiukkasten vuosi- ja vuorokausipitoisuudelle asetettuja raja-arvoja. Korkeimmillaan hengitettävien hiukkasten pitoisuudet ovat 63 % vuosiraja-arvosta ja 96 % vuorokausiraja-arvosta. Korkeimmat pitoisuudet esiintyvät liikenneväylillä ja risteysalueilla, missä raja-arvot eivät ole voimassa. Hengitettävälle hiukkasille asetettu vuorokausiohjearvo sen sijaan ylittyy tutkimusalueella. Ohjearvon ylitykset tapahtuvat vilkkaimmin liikennöidyllä tiellä eli Helsinginväylällä. 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.

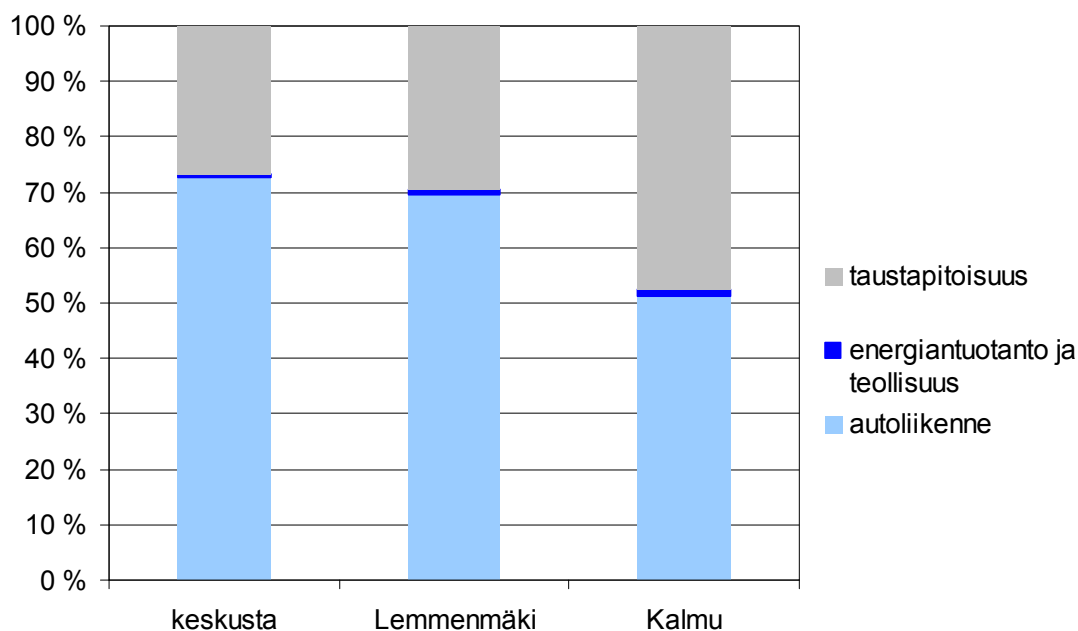
Mallilaskelmin selvitettiin tarkemmin ilman hiukkaspitoisuudet Riihimäen keskustassa (Hämeenkatu 24–26), Lemmenmäen asuinalueella sekä Kalmun osayleiskaava-alueella. Kuvassa H esitetään näissä kolmessa erillisessä tarkastelupisteessä mallilaskelmilla saatujen hengitettävien hiukkasten pitoisuuksien suhde ilmanlaadun ohje- ja raja-arvoihin. Hengitettävien hiukkasten pitoisuuksille annetut ohje- ja raja-arvot alittuvat kaikilla asuinalueilla. Pitoisuudet ovat tarkastelupisteissä noin 30–70 % ohjearvosta ja noin 20–45 % raja-arvoista. Korkeimmat pitoisuudet havaitaan keskustassa, jossa tarkastelupiste sijaitsee aivan ajoradan välittömässä läheisyydessä.



Kuva H. Leviämismallilaskelmilla saatujen hengitettävien hiukkasten (PM_{10}) pitoisuuksien suhde voimassa oleviin ilmanlaadun raja- ja ohjearvoihin kolmessa erillisessä tarkastelupisteessä.

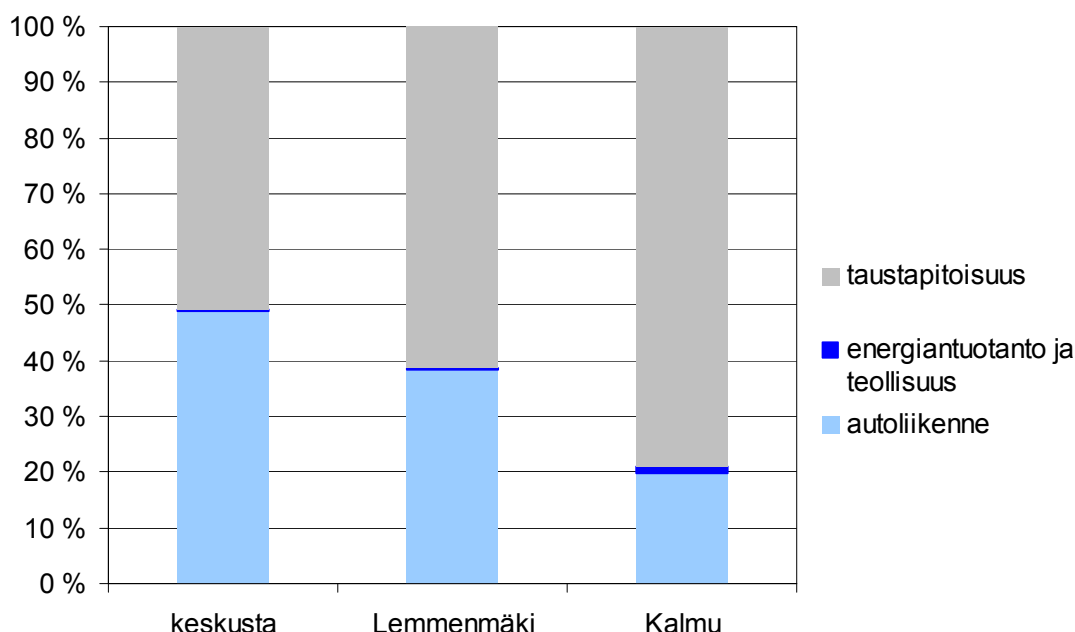
4.3 Eri päästölähteiden osuus kokonaispitoisuuksista

Kuvassa I on esitetty eri päästölähteiden ja taustapitoisuuden suhteelliset osuudet mallinnetuista typpidioksidin vuosikeskiarvopitoisuuksista kolmessa erillisessä tarkastelupisteessä (keskustassa Hämeenkatu 24–26, Lemmenmäen asuinalue ja Kalmun osayleiskaava-alue). Autoliikenteellä on suurin vaikutus typpidioksidipitoisuuksiin kaikissa tarkastelupisteissä. Alueellisella taustapitoisuudella on myös huomattava vaikutus typpidioksidipitoisuuksiin, mutta energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen vaikutus jää hyvin vähäiseksi. Liikenneväylien välitön läheisyys näkyy keskustan ja Lemmenmäen tarkastelupisteissä, joissa autoliikenteen päästöjen osuus muodostuvista pitoisuuksista on suurempi kuin Kalmun tarkastelupisteessä, jossa moottoritielle on matkaa yli kilometri. Lemmenmäen ja Kalmun tarkastelupisteissä energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen vaikutusosuus kokonaispitoisuuksista jää hyvin pieneksi, vaikka molempien tarkastelupisteiden lähellä sijaitsee energiantuotantolaitos. Lemmenmäen tarkastelupisteen lähellä sijaitseva Riihimäen Kaukolämpö Oy:n Sairaalan lämpökeskus on ollut käytössä vain satunnaisesti, joten sen mallilaskelmissa huomioidut päästöt ovat hyvin pienet. Kalmun tarkastelupisteen lähellä sijaitsevan Fortum Power and Heat Oy:n lämpölaitoksen päästöt vapautuvat 35 metriä korkeasta piipusta, jolloin päästöt ehtivät laimentua leviämisen aikana ja vaikutus maanpintatason pitoisuuksiin on vähäinen.



Kuva I Eri päästölähteiden ja taustapitoisuuden suhteelliset osuudet leviämismallilla lasketuista typpidioksidin (NO_2) vuosikeskiarvopitoisuuksista kolmessa eri tarkastelupisteessä.

Kuvassa J on esitetty eri päästölähteiden ja taustapitoisuuden suhteelliset osuudet mallinnetuista hengitettävien hiukkasten vuosikeskiarvopitoisuuksista kolmessa erillisessä tarkastelupisteessä. Taustapitoisuudella eli alueelle muualta kulkeutuneilla pienhiukkasilla on merkittävin vaikutus hengitettävien hiukkasten vuosikeskiarvopitoisuuksiin kaikissa tarkastelupisteissä. Autoliikenteellä on myös suuri vaikutus hengitettävien hiukkasten pitoisuuksiin, mutta energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen vaikutus on hyvin vähäinen. Kalmun tarkastelupisteessä energiantuotannon ja teollisuuden osuus kokonaispitoisuuksista on hiukan suurempi kuin keskustassa ja Lemmenmäessä. Tämä johtuu siitä, että tutkimusalueen suurin hiukkaspäästöjen lähde eli Fortum Power and Heat Oy:n lämpölaitos sijaitsee lähellä tarkastelupistettä. Taustapitoisuuden osuus kokonaispitoisuuksista on sitä suurempi, mitä kauempana liikenneväylistä ollaan. Kalmun tarkastelupisteessä etäisyys moottoritiestä on yli kilometri, jolloin taustapitoisuuden osuus on suurempi kuin keskustan ja Lemmenmäen tarkastelupisteissä. Lyhytaikaisiin pitoisuuksiin eli vuorokausi- ja tuntipitoisuuksiin autoliikenteellä ja etenkin autoliikenteen epäsuorilla päästöillä voidaan kuitenkin arvioida olevan suurempi vaikutus.



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

4.4 Mallilaskelmien tulosten vertailu ilmanlaadun mittauksiin

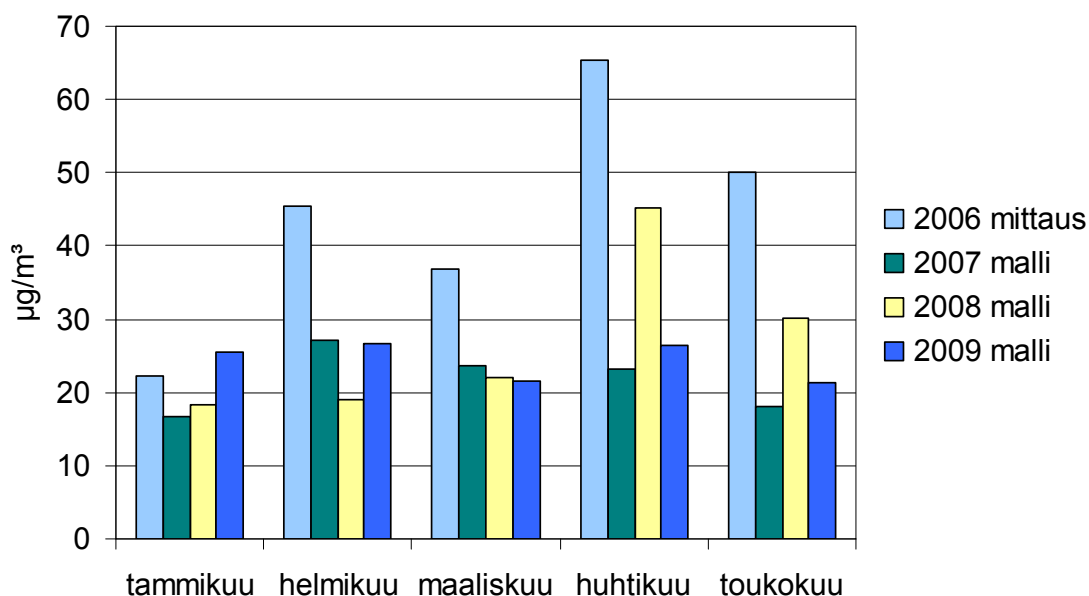
Ilmatieteen laitos on mitannut hengitettävien hiukkasten (PM_{10}) pitoisuuksia Riihimäellä yhdellä mittausasemalla vuosina 2005–2006 yhteensä 15 kuukauden ajan (*Haaparanta ym., 2006; Saari & Pesonen, 2006*). Mittausasema sijaitsi Hämeenkatu 24–26:n kohdalla ajoradan viereisellä jalkakäytävällä. Vuoden 2005 mittauksissa saatiin koko Suomen mittakaavassa poikkeuksellisen korkeita pitoisuuksia kevätkausiin ja marraskuussa. Merkittävimpänä tekijänä näihin kevätkaudella esiintyneisiin korkeisiin hiukkaspitoisuuksiin voitiin pitää katujen kevätsiivousmenetelmien puutteellisuutta (*Saari ja Pesonen, 2006*). Keväällä 2006 katujen puhdistusmenetelmiin ja talviajan hiekoitushiekan poistoon kiinnitettiin erityistä huomiota Riihimäen kaupungin laatimien uusien menetelytapaohjeiden myötä. Tämän seurauksena vuoden 2006 kevätkausiin mitatut hiukkaspitoisuudet olivat selvästi pienempiä kuin keväällä 2005 mitatut. Leviämismalleilla laskettiin tämän mittausaseman kohdalle syntyvät hengitettävien hiukkasten pitoisuudet vuosille 2007–2009. Mitattuja ja mallinnettuja pitoisuuksia ei voida suoraan verrata keskenään, koska kyseessä on kaksi täysin eri ajanjaksoa. Seuraavassa on kuitenkin esitetty leviämismallitulosten suuntaa antavia pitoisuusvertailuja vuoden 2006 mittaustuloksiin.

Leviämismallilaskelmilla vuosille 2007–2009 saatuja hengitettävien hiukkasten vuorokausi- ja vuosikeskiarvojen verrannollisia pitoisuuksia on verrattu kuvassa K mittaus-

asemalla mitattuihin vuoden 2006 tammi–toukokuun vastaaviin pitoisuuksiin. Mallinnetut ohjearvoon verrannolliset vuorokausipitoisuudet vaihtelevat välillä 17–45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ja mitatut pitoisuudet välillä 22–65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Kuvasta on havaittavissa, että samoina kuukausina eri vuosina hiukkaspitoisuudet vaihtelevat hyvin paljon. Hiukkaspitoisuuksiin vaikuttavat etenkin säätilanteet, mutta myös talviajan hiekoitusmäärillä ja katujen puhdistusmenetelmillä on suuri vaikutus. Leviämismallilaskelmien antamat tulokset ovat säännönmukaisesti hiukan pienempiä kuin mitatut vuorokausiohjearvoon verrannolliset pitoisuudet.

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 pölyävän hiekan määrästä eri katuosuuksilla sääolosuhteista riippuen.

Leviämismallilaskelmissa ei myöskään saada näkyviin kaukokulkeuma-episodeista aiheutuvia hiukkasten korkeita vuorokausipitoisuuksia, koska taustapitoisuus otetaan mallissa huomioon kuukausittain laskettuina tunneittaisina keskiarvoina. Pienhiukkasten kaukokulkeumalla on merkittävä vaikutus hengitettävien hiukkasten lyhytaikaisiin pitoisuuksiin. Kaukokulkeumaepisodeja tapahtuu usein keväisin ja syksyisin metsä- ja maastopalosavujen kulkeutuessa ilmakehässä pitkiä matkoja.



Kuva K. Leviämismallilaskelmilla ja mittaamalla saatu hengitettävien hiukkasten (PM_{10}) vuorokausiohjearvoon ($70 \mu g/m^3$) verrannollinen pitoisuus Hämeenkadun mittausaseman kohdalla tammikuusta toukokuuhun eri vuosina.

Valtioneuvoston ilmanlaatuasetuksen (Vna 38/2011) mukainen laatutavoite mallintamisen epävarmuudelle on hiukkasten vuosikeskiarvolle 50 %. Epävarmuus määritetään enimmäispoikkeamana mitatuista ja mallinnetuista raja-arvoihin verrannollisista pitoisuuksista ottamatta huomioon tapahtumien ajoitusta. Leviämismallilaskelmilla vuosille 2007–2009 saatu hengitettävien hiukkasten vuosikeskiarvo vaihteli välillä $11,8\text{--}12,4 \mu g/m^3$. Mittauksissa ajanjaksolle kesäkuu 2005–toukokuu 2006 saatiin hengitettävien hiukkasten vuosikeskiarvoksi $23 \mu g/m^3$. Tämän vertailun mukaan leviämislaskelmat täyttäisivät ilmanlaatuasetuksen mukaisen laatutavoitteen mallintamisen epävarmuudelle. Vertailussa on kuitenkin otettava huomioon epävarmuudet vuoden 2005 mittaustuloksissa.

Ilmatieteen laitoksella edelleen kehitettyä suspensiopäästömallia (Omstedt et al., 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.

4.5 Ilmanlaadun seuranta Riihimäellä

Ilmatieteen laitos suosittelee tämän tutkimuksen tulokset huomioiden, että Riihimäellä tehtäisiin ilmanlaatua koskevia selvityksiä jatkossa määrävälein. Suositeltava väli selvityksille olisi viisi vuotta. Tämä on sopusoinnussa ilmanlaatuasetuksen suositusten kanssa (Vna 38/2011). Asetuksessa todetaan, että ilmanlaadun seurannan riittävyys, esimerkiksi ilman epäpuhtauspitoisuuksien suhde ilmanlaadun arviointikynnyksiin, tulee tarkistaa ainakin viiden vuoden välein. Pitoisuuksien suhde arviointikynnyksiin määrää epäpuhtauden pitoisuusseurannan riittävyyden ja tason: vaihtoehtoina esimerkiksi jatkuvat tai suuntaa-antavat mittaukset tai muut seurantamenetelmät kuten päästöjen leviämismallilaskelmat.

Tämä tutkimus osoitti, ettei typenoksidipitoisuuksien tarkkailumittauksiin ole Riihimäellä lähiaikoina tarvetta, ellei kyseeseen tule jonkin yksittäisen energiantuotanto- tai teollisuuslaitoksen päästövaikutusten seuranta tai valvonta. Typen oksidien pitoisuustiedot voidaan tarvittaessa tuottaa riittävän tarkasti leviämismallilaskelmin, mikäli siihen tulee tarvetta esimerkiksi tutkimusalueen päästöjen huomattavasti kasvaessa, kaupungin liikennejärjestelmässä tapahtuvien merkittävien muutosten vuoksi, kaavoitukseen ja rakentamiseen liittyvissä ympäristöselvityksissä tai laitospölyjen erillisselvitysten yhteydessä.

Jatkuvat hiukkasmittaukset eivät Riihimäellä ole tarpeen. Sen sijaan Ilmatieteen laitos suosittelee Riihimäen keskustassa toteutettavia muutaman kuukauden tai koko vuoden kattavia kampanjamittauksia, joilla kartoitettaisiin kaupungin keskustan hengitettävien hiukkasten pitoisuustilannetta.

Leviämismallitutkimuksella saatiin esiin hiukkaskuormituksen suhteen kriittisimmät Riihimäen alueet. Mallilaskelmissa ei kuitenkaan voida täysin kattavasti huomioida kaikkia sellaisia hiukkaspitoisuuksien muodostumiseen vaikuttavia seikkoja (muun muassa keväisin autoliikenteen johdosta pölyävä, talviseen liukkauden torjuntaan käytetty hiekka ja sen poisto kaduilta), joilla on merkittävä vaikutus tarkasteltavan tutkimusalueen hiukkaspitoisuuksiin. Vaikka mallilaskelmien tulokset näyttävät, että kaupungin keskusta-alueella ilmanlaadun ohje- ja raja-arvot alittuvat, on mitä todennäköisintä, että hengitettävien hiukkasten pitoisuutta koskeva vuorokausiohjearvo ja vuorokausipitoisuuksia koskevan raja-arvon taso ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, sallittuja ylityksiä 35 kpl kalenterivuodessa) ylittyvät kaupungin keskustassa samaan tapaan kuin useilla muillakin Suomen paikkakunnilla varsinkin kevätpölyaikaan.

Tästä syystä hiukkasmittaukset ovat hyvin suositeltavia toteutettaviksi lähiaikoina Riihimäen kaupungin keskustassa, missä liikkuu ja oleskelee runsaasti ilman epäpuhtauksille altistuvia ihmisiä. Mittaukset tulisi tehdä ilmanlaatuasetuksen mukaisilla, standardoiduilla mittausten menetelmillä ja Euroopan unionin alueella tyyppihyväksytyillä laitteilla, joilla saatuja tuloksia voidaan verrata asianmukaisesti kotimaisiin ilmanlaadun ohje- ja raja-arvoihin. Ilmatieteen laitos suosittelee näihin mittauksiin jatkuvatoimisia mittalaitteita, joilla saadaan esiin hiukkaspitoisuuden lyhytaikaisvaihtelut minuutti-tuntitasolla. Nämä lyhytaikaispitoisuudet

vaikuttavat merkittävimmin ihmisten kokemiin pölyhaittoihin. Leviämismallilaskelmin ja mittauksin saadut pitoisuustiedot täydentävät toisiaan hiukkaspäästöjen aiheuttamien ilmanlaatuvaikutusten arvioinnissa.

5 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä tutkimuksessa arvioitiin leviämismallilaskelmilla Riihimäen energiantuotannon, teollisuuden ja autoliikenteen typenoksidi- ja hiukkaspäästöjen aiheuttamia ilmanlaatuvaikutuksia. Ilmanlaatututkimus kattoi 23 × 23 km:n kokoisen alueen Riihimäen alueella ja sen lähiympäristössä. Tutkimuksen tarkoituksena oli hankkia leviämismalleilla tietoa Riihimäen ilmanlaadusta, sen alueellisesta vaihtelusta ja eri päästölähteiden vaikutusosuudesta ilmanlaatuun vuoden 2009 päästöjä kuvaavassa tilanteessa. Lisäksi tarkoituksena oli arvioida ilmanlaadun seurannan tarvetta Riihimäellä. Tutkimuksen tuloksina saatuja typpidioksidin (NO₂) ja hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) pitoisuuksia verrattiin ilmanlaadun raja- ja ohjearvoihin ja Riihimäellä aikaisemmin tehtyjen hengitettävien hiukkasten pitoisuusmittausten tuloksiin.

Leviämismallien lähtötietoina käytetyt päästöt kattavat suurimman osan Riihimäellä syntyvistä typenoksidien ja hengitettävien hiukkasten päästöistä. Laskelmissa ei huomioitu junaliikenteen, puun pienpolton, maataloustoiminnan ja työkojen päästöjä. Energiantuotannon ja teollisuuden osalta laskelmissa tarvittavat tiedot saatiin alueen ympäristölupavollisilta toiminnanharjoittajilta. Tutkimusalueen teiden ja katujen päästöt perustuvat Riihimäen kaupungin ja Uudenmaan ELY-keskuksen toimittamiin tietoihin tieosuuskohtaisista liikennemääristä ja VTT:n arvioihin ajoneuvo-kohtaisista päästökertoimista. Laskennassa huomioitua koko tutkimusalueen teollisuuden ja energiantuotannon typenoksidipäästöt olivat vuonna 2009 yhteensä 320 t/a, josta 243 t/a vapautui Riihimäen päästölähteistä. Riihimäen teollisuuden ja energiantuotannon hiukkaspäästöt olivat 9,2 t/a. Koko tutkimusalueen teiden ja katujen autoliikenteen typenoksidipäästöt olivat 766 t/a ja suorat pienhiukkaspäästöt 54 t/a. Riihimäen alueella autoliikenteen typenoksidipäästöt olivat 240 t/a ja pienhiukkaspäästöt 18 t/a. Autoliikenne aiheutti lisäksi epäsuorasti tienpinnasta mekaanisesti irtoavia hiukkasia ja hiekoitushiekasta peräisin olevia hiukkasia koko tutkimusalueella noin 131–138 t/a ja Riihimäen alueella noin 43–45 t/a vuodesta riippuen.

Tutkimuksen tulosten mukaan energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttamat typpidioksidi- ja hiukkaspitoisuudet alittavat selvästi kyseisille yhdisteille määritetyt ohje- ja raja-arvot. Näiden päästölähteiden aiheuttamat korkeimmat typpidioksidipitoisuudet ovat vain noin 1 % ohjearvoista ja alle 1 % raja-arvoista. Alueen suurin yksittäinen typenoksidipäästöjen lähde on Ekokem Oy Ab. Ongelmajätteen- ja jätteenpolttolaitoksen sekä muiden alueen toimijoiden aiheuttamat suurimmatkin maanpintatason typpidioksidipitoisuudet jäävät kuitenkin hyvin pieniksi. Energiatuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttamat korkeimmat hiukkaspitoisuudet ovat alle 1,5 % hengitettävien hiukkasten pitoi-

suuksien ohjearvosta ja alle 0,5 % raja-arvoista. Tutkimusalueen suurimmat hiukkaspitoisuudet muodostuvat Fortum Power and Heat Oy:n lämpölaitoksen läheisyyteen. Lämpölaitos on tutkimusalueen merkittävin yksittäinen hiukkaspäästölähde. On kuitenkin huomattava, että suurimmassa osassa tutkimusaluetta typpidioksidi- ja hiukkaspitoisuudet ovat huomattavasti edellä mainittuja korkeimpia pitoisuuksia pienempiä. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttamat typpidioksidi- ja hiukkaspitoisuudet ovat pieniä verrattuna ohje- ja raja-arvoihin tai liikenteen päästöjen aiheuttamiin pitoisuuksiin.

Leviämislaskelmien tulosten mukaan autoliikenteen aiheuttamat typpidioksidin ja hengitettävien hiukkasten pitoisuudet ovat suurimpia Riihimäen keskustan länsipuolella lähellä toisiaan kulkevien Helsinginväylän (Vt 3) ja Hämeenlinnantien (Mt 130) varsilla, keskustan pohjoispuolella kulkevan Lahdentien (Kt 54) varrella ja Riihimäen keskustan vilkasliikenteisimpien katujen varsilla (Mattilantie, Etelän Viertotie ja Pohjoinen Asemakatu). Tutkimusalueen vilkkaimmin liikennöity tie on Helsinginväylä, jossa liikennemäärä on yli 21 500 ajoneuvoa vuorokaudessa. Autoliikenteen päästöt aiheuttavat typpidioksidipitoisuuksia, jotka korkeimmillaan ylittävät ohjearvot sekä vuosiraja-arvon paikoitellen Helsinginväylällä. Raja-arvo ei kuitenkaan ole voimassa liikenneväylällä. Autoliikenteen päästöt aiheuttavat yksinään hengitettävien hiukkasten pitoisuuksia, jotka korkeimmillaankin alittavat hengitettävien hiukkasten raja-arvot. Autoliikenteen päästöjen vaikutuksesta hengitettävien hiukkasten pitoisuuden vuorokausiohjearvo kuitenkin ylittyy yksittäisissä pisteissä Helsinginväylällä. Hengitettävien hiukkasten lyhytaikaispitoisuuksiin vaikuttaa merkittävästi autoliikenteen epäsuora päästö eli liikenteen tienpinnasta mekaanisesti nostattama pöly. Sen määrään vaikuttavat liikennemäärien ja meteorologisten olosuhteiden lisäksi voimakkaasti katujen kunnossapito- ja puhdistusmenetelmät.

Kaikkien tässä tutkimuksessa huomioitujen päästöjen sekä alueellisen taustapitoisuuden yhdessä aiheuttamat typpidioksidin kokonaispitoisuudet ylittävät paikoitellen ilmanlaadun ohjearvot ja typpidioksidipitoisuuden vuosiraja-arvon. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden yhdessä aiheuttamat hengitettävien hiukkasten kokonaispitoisuudet ylittävät Suomessa voimassa olevan vuorokausiohjearvon, mutta alittavat ilmanlaadun raja-arvot. Typpidioksidipitoisuuden ohje- ja raja-arvot ja hengittävien hiukkasten pitoisuuden ohjearvo ylittivät Helsinginväylällä. Raja-arvot eivät kuitenkaan ole voimassa liikenneväylällä tai alueilla, joissa ei asu tai oleskele ihmisiä. Huomattava on, että pitoisuudet laimenevat nopeasti etäisyyden kasvaessa vilkkaimmista väylistä ja keskustalueen ulkopuolella. Suurimmassa osassa tutkimusaluetta pitoisuudet ovat selvästi kyseisten yhdisteiden ohje- ja raja-arvotasoa pienempiä. Riihimäen keskustassa ja asuntoalueilla ilmanlaadun ohje- ja raja-arvot eivät ylity.

Mallilaskelmien tulosten perusteella voidaan arvioida, että Riihimäen ilmanlaatuun vaikuttavat merkittävimmin autoliikenteen typenoksidi- ja hiukkaspäästöt sekä kaukokulkeuma. Nykyisillä energiantuotannon ja teollisuuden päästöillä voidaankin sanoa olevan vain pieni vaikutus Riihimäen ilmanlaatuun. On kuitenkin huomattava, että laskelmissa ei huomioitu laitosten mahdollisista häiriötilanteista johtuvia päästöjä, jotka voivat lyhytaikaisesti aiheuttaa kohonneita pitoisuuksia alueella.

Ilmanlaatu on suurimmassa osassa Riihimäen seutua leviämislaskelmien mukaan hyvää, mutta vilkkaimpien liikenneväylien varsilla pitoisuudet voivat epäedullisissa meteorologisissa tilanteissa hetkellisesti ylittää ilmanlaadun ohjearvot. Mittausten ja mallilaskelmien tulosten pohjalta saatua tietoa ilmanlaadusta tulisi ottaa huomioon laajemmin esimerkiksi liikennesuunnittelussa tai kaavoitettaessa vilkkaiden liikenneväylien läheisyyteen. Mallilaskelmien tulosten perusteella voidaan arvioida, että hengitettävien hiukkasten pitoisuuksien mittauksia olisi suositeltavaa suorittaa Riihimäen keskustassa viiden vuoden välein.

VIITELUETTELO

Haaparanta, S., Saari, H. ja Pesonen, R., 2006. Hengitettävien hiukkasten pitoisuusmittaukset Riihimäen Hämeenkadulla jaksolla maalīs–toukokuussa 2006. Ilmatieteen laitos, Ilmanlaadun asiantuntijapalvelut, Helsinki. 17 s. + 5 liites.

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

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

Ilmanlaatuportaali, 2010. <http://www.ilmanlaatu.fi>

Kauhaniemi M., Kukkonen J., Härkönen J., Nikmo J., Kangas L., Omstedt G., Ketzel M., Kousa A., Haakana M., and Karppinen A. (2011). Refinement and evaluation of a road dust suspension model for predicting the concentrations of PM₁₀ in street canyon in Helsinki. In progress.

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.

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, 2010. 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, PM₁₀ ja lyijy. The preliminary assessment under the EC air quality directives in Finland. SO₂, NO₂/NO_x PM₁₀, lead. Ilmatieteen laitos, Ilmanlaadun tutkimus.

Omstedt, G., Bringrejt, 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.

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

Saari, H. ja Pesonen, R., 2006. Hengitettävien hiukkasten pitoisuusmittaukset Riihimäen Hämeenkadulla jaksolla maaliskuu 2005–helmikuu 2006. Ilmatieteen laitos, Ilmanlaadun asiantuntijapalvelut, Helsinki. 23 s. + 13 liites.

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.

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

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

LIITEKUVAT

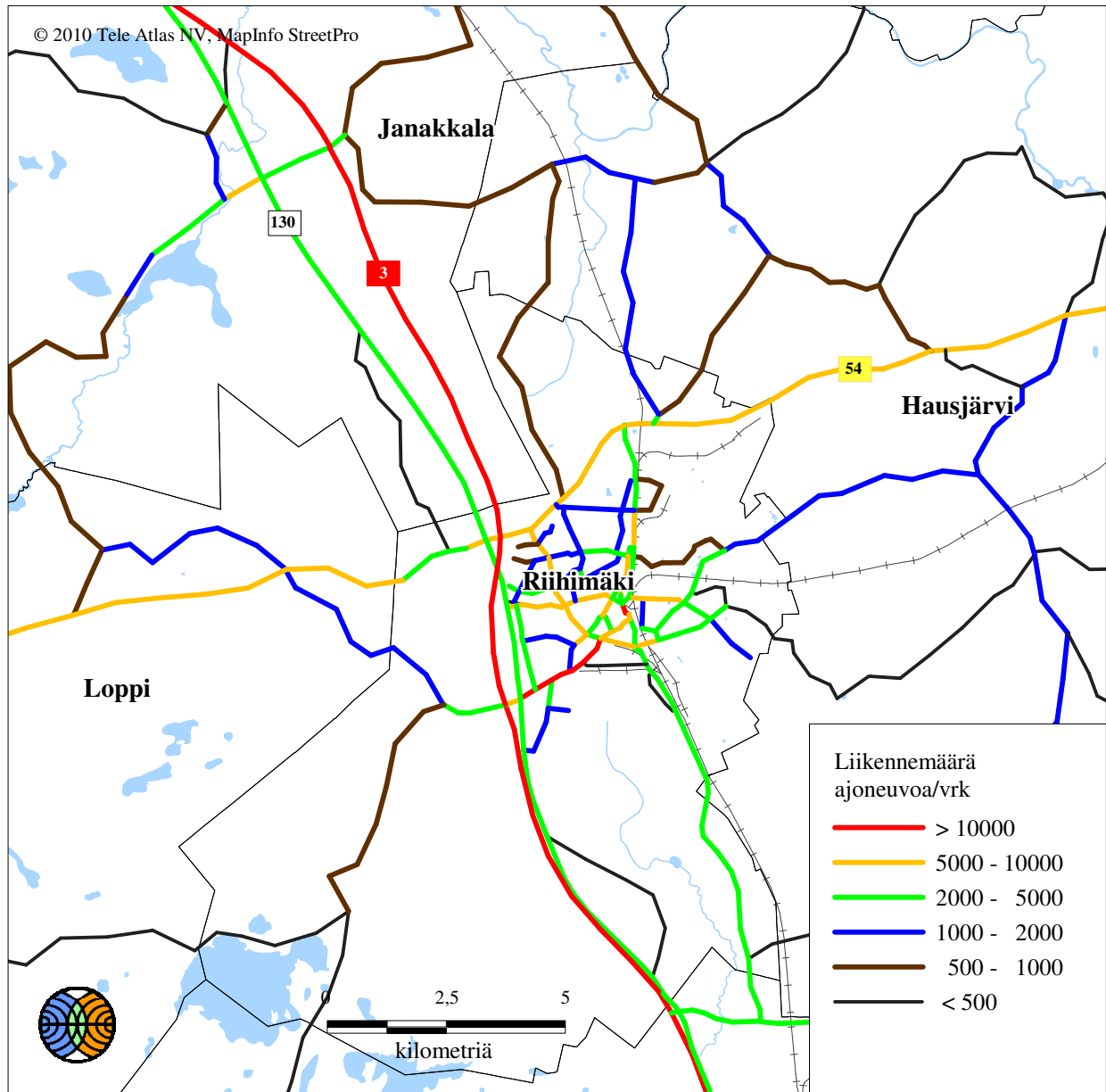
Seuraavissa karttakuvissa on esitetty laskentapisteittäisistä keskiarvoista samanarvonviivoin muodostetut korkeimpien pitoisuuksien alueet, joilla tietyn pitoisuuden ylittyminen on pitkän havaintojakson aikana todennäköistä. Laskentapiste, johon muodostui koko tutkimusalueen suurin pitoisuus, on esitetty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

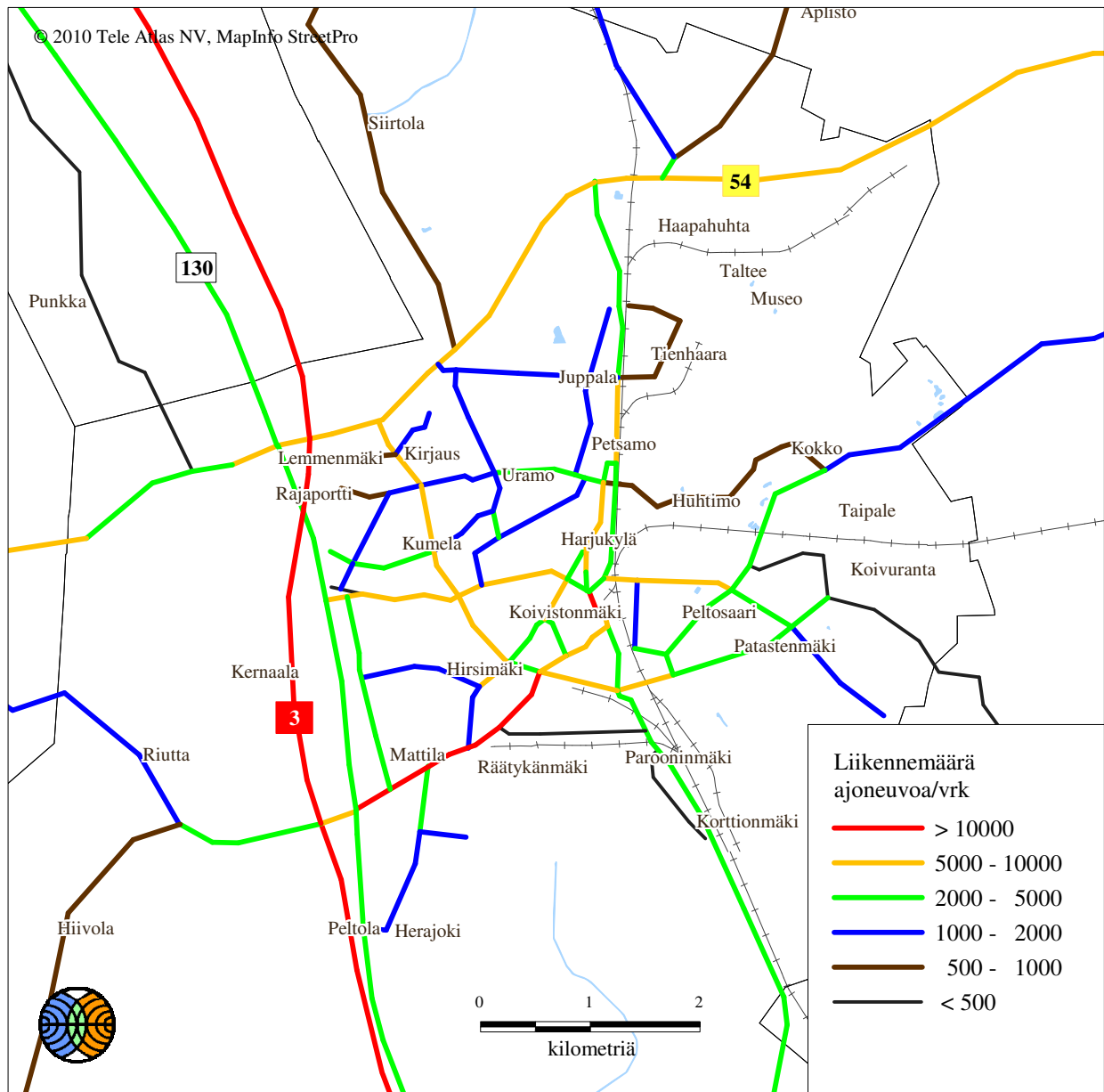
RIIHIMÄKI



Ilmatieteen laitos 2010

Kuva 1. Tiekohtaiset liikennemäärät (ajoneuvoa/vrk) tutkimusalueella.

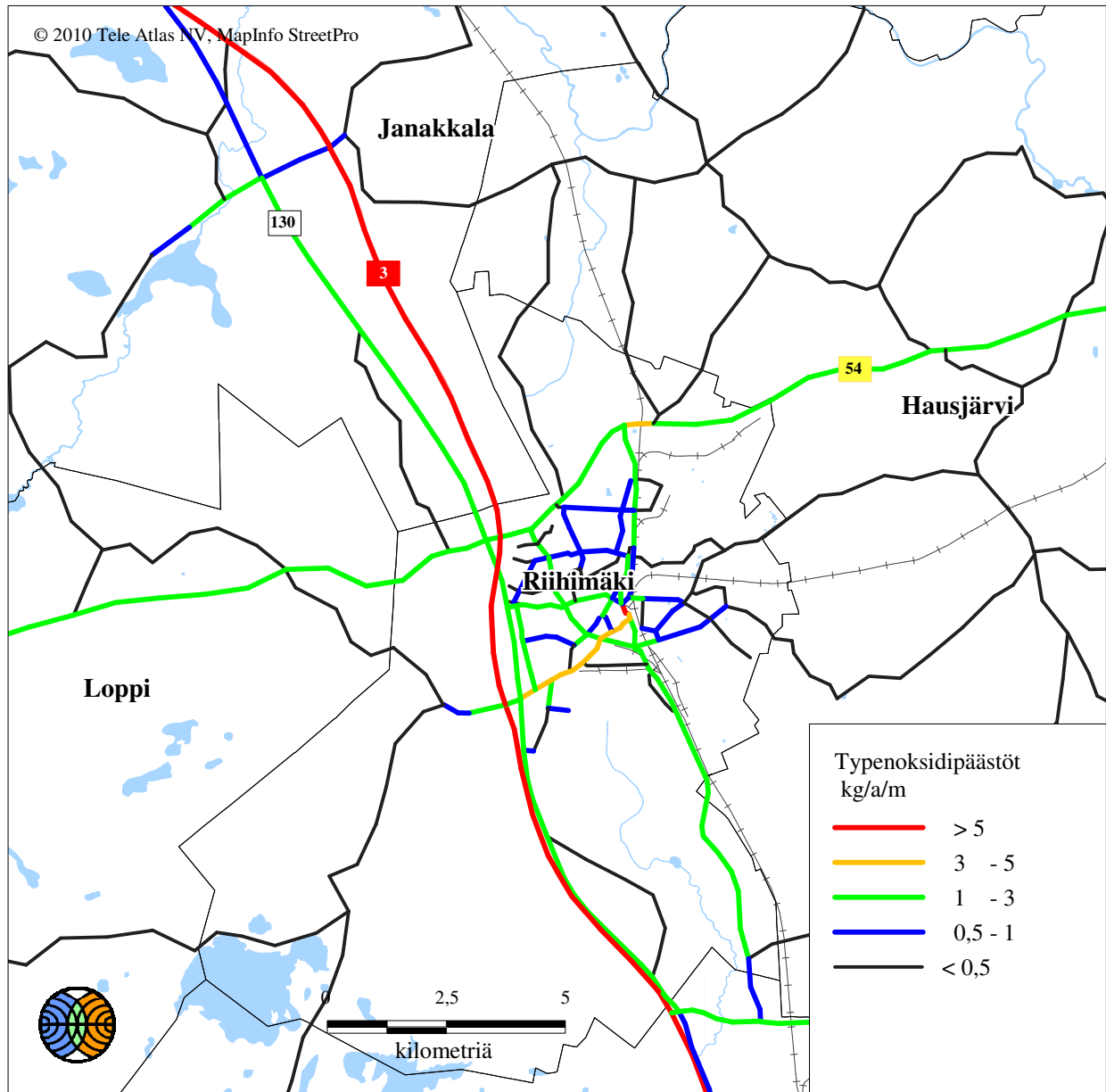
RIIHIMÄEN KESKUSTA



Ilmatieteen laitos 2010

Kuva 2. Tiekohtaiset liikennemäärät (ajoneuvoa/vrk)
Riihimäen keskustan alueella.

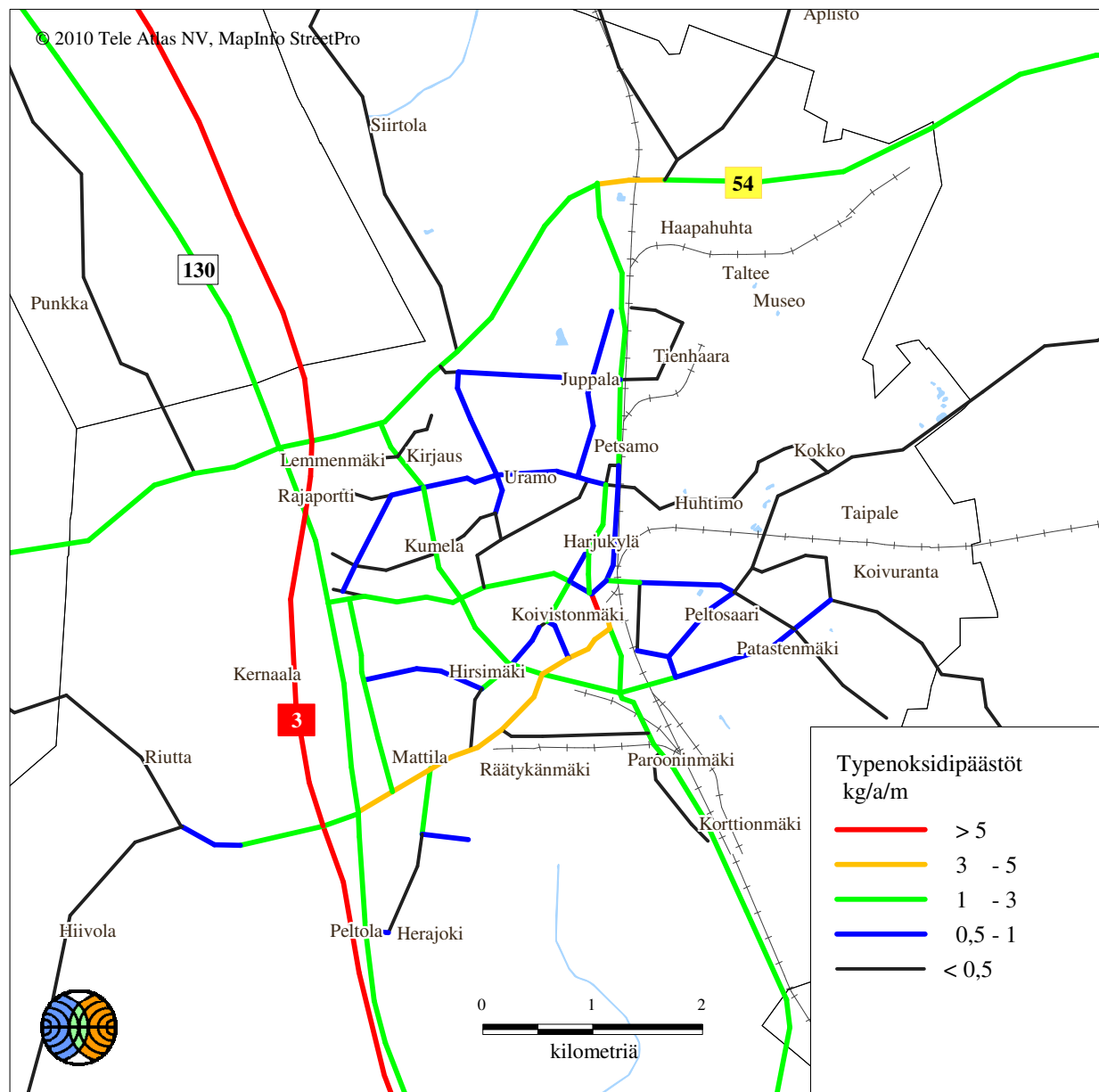
RIIHIMÄKI



Ilmatieteen laitos 2010

Kuva 3. Autoliikenteen aiheuttamat typenoksidipäästöt (kg/a/m) tutkimusalueella.

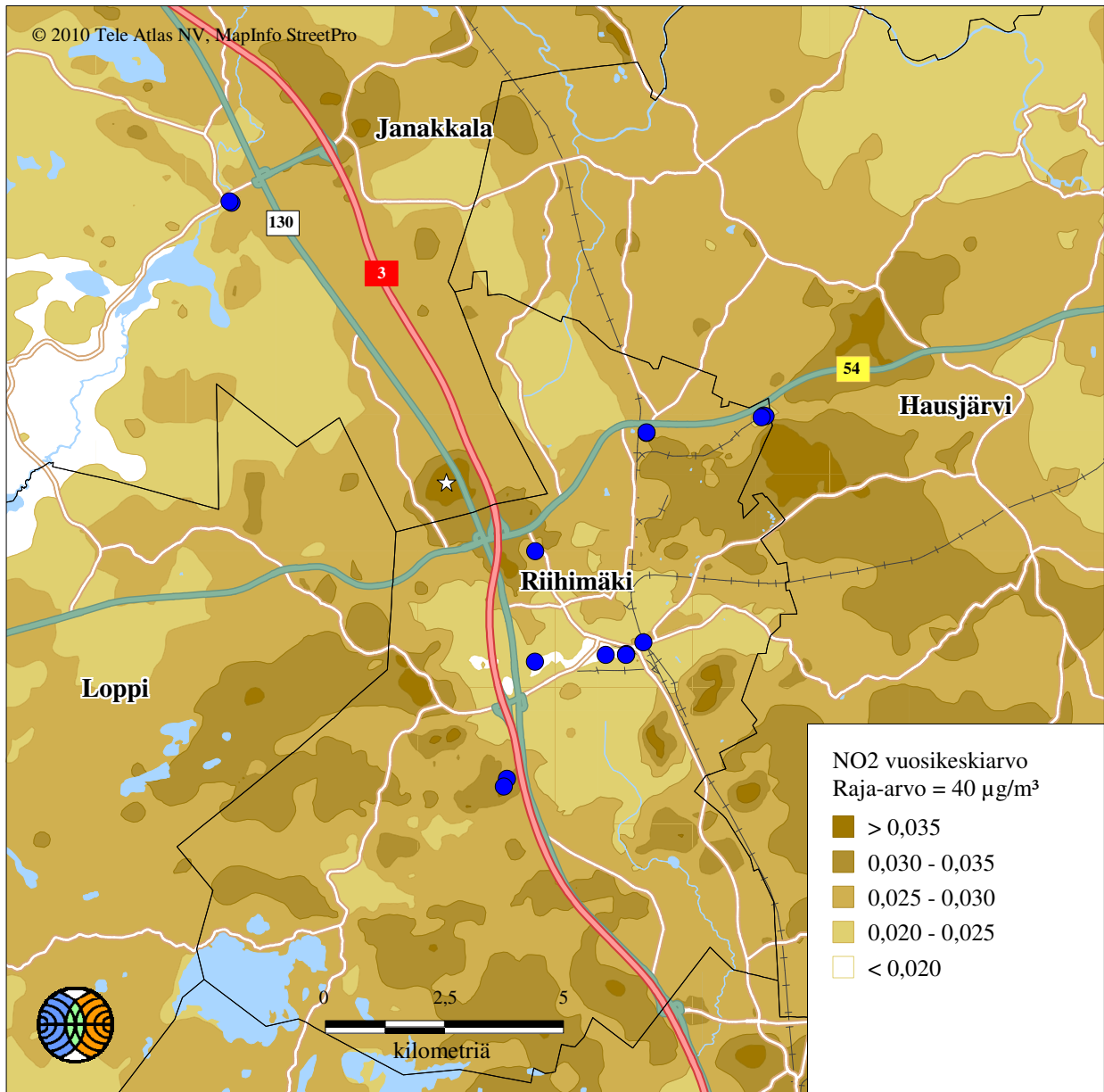
RIIHIMÄEN KESKUSTA



Ilmatieteen laitos 2010

Kuva 4. Autoliikenteen aiheuttamat typenoksidipäästöt (kg/a/m) Riihimäen keskustan alueella.

RIIHIMÄKI



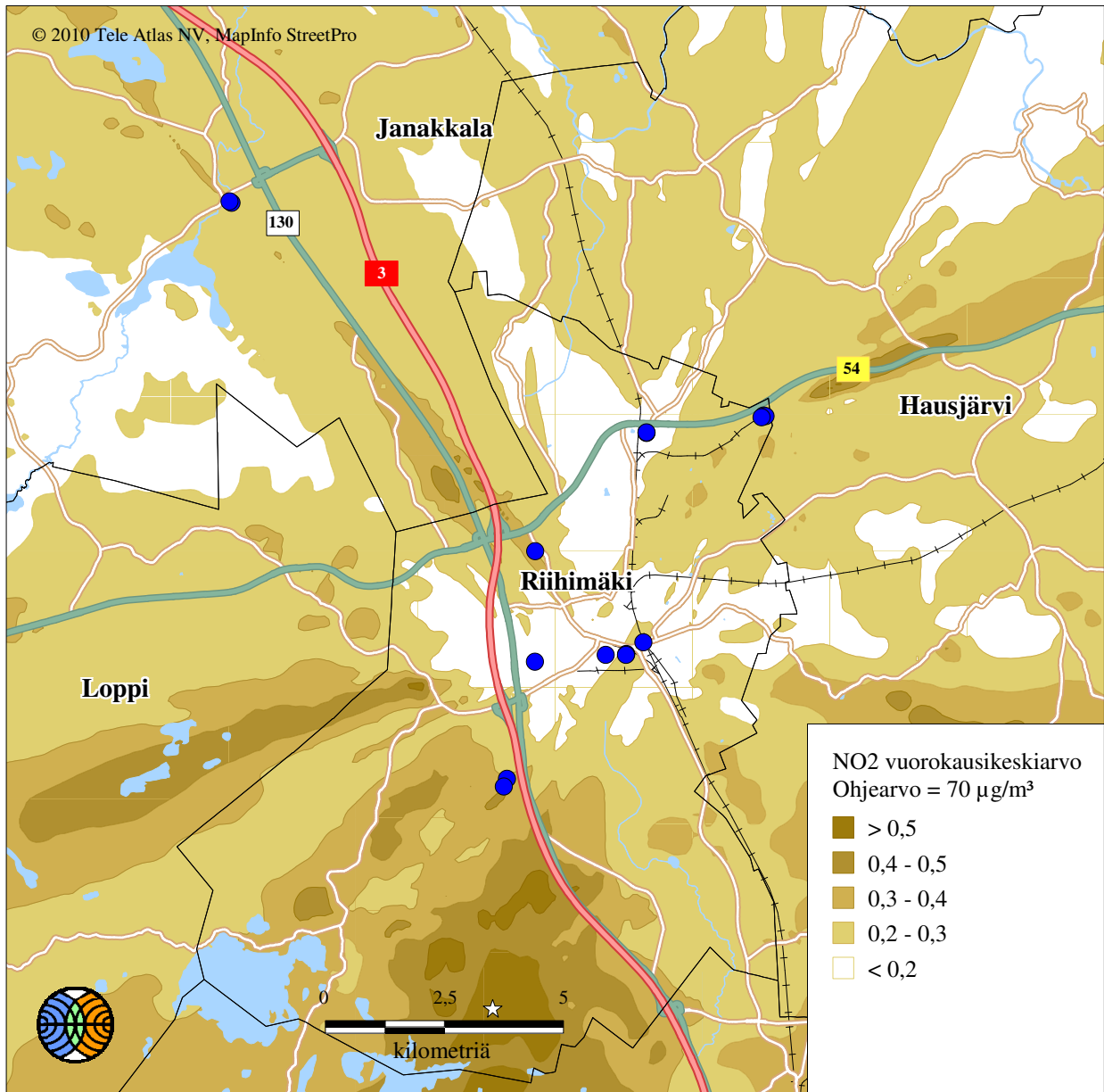
Ilmatieteen laitos 2010

☆ = maksimi = 0,041 µg/m³

● = päästölähteet

Kuva 5. Energiantuotannon ja teollisuuden päästölähteiden aiheuttama typpidioksidipitoisuuden korkein vuosikeskiarvo (µg/m³).

RIIHIMÄKI



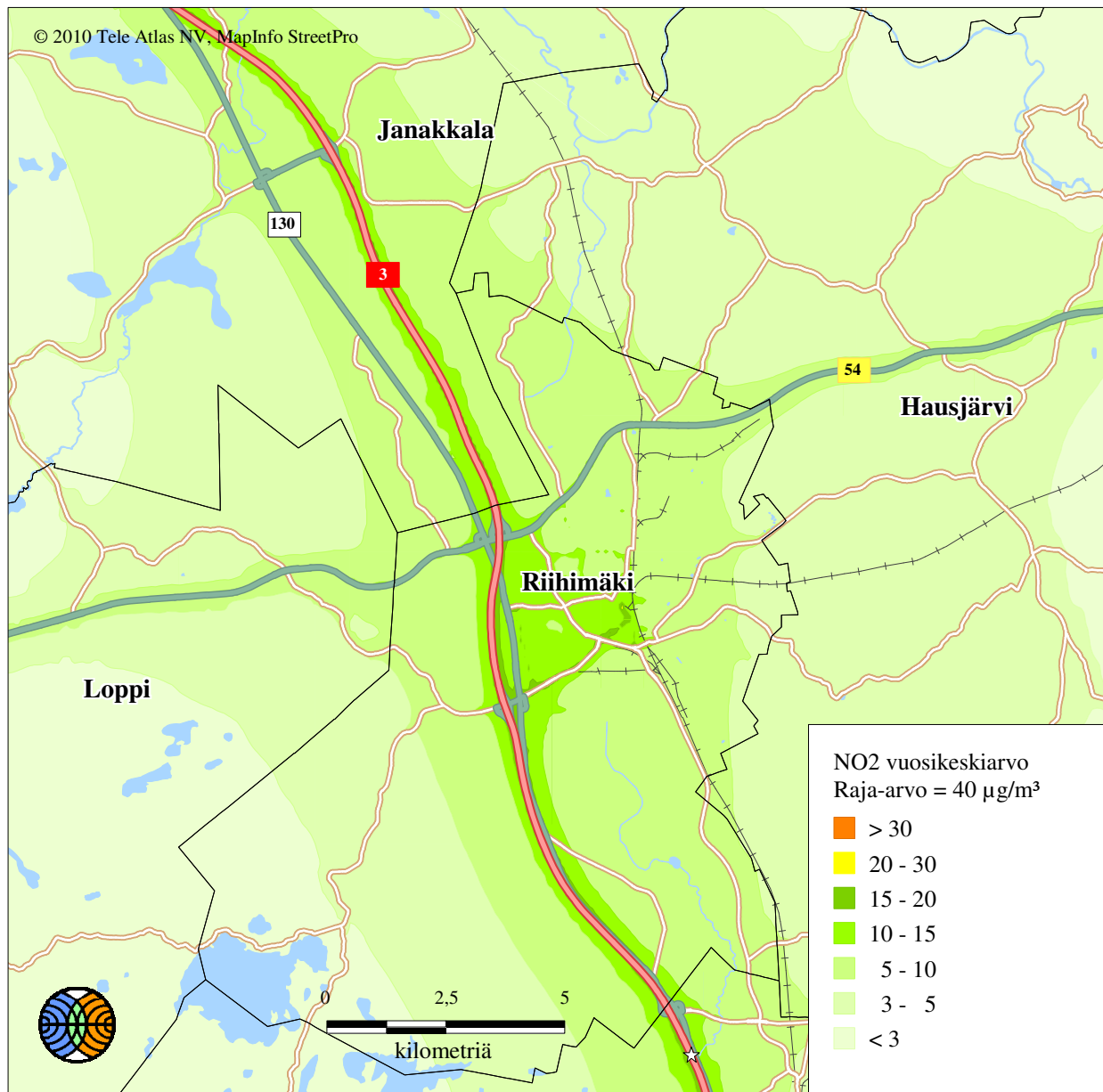
Ilmatieteen laitos 2010

☆ = maksimi = 0,61 µg/m³

● = päästölähteet

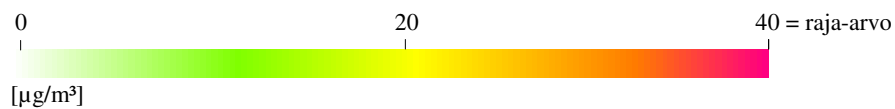
Kuva 6. Energiantuotannon ja teollisuuden päästölähteiden aiheuttama typpidioksidipitoisuuden korkein vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

RIIHIMÄKI



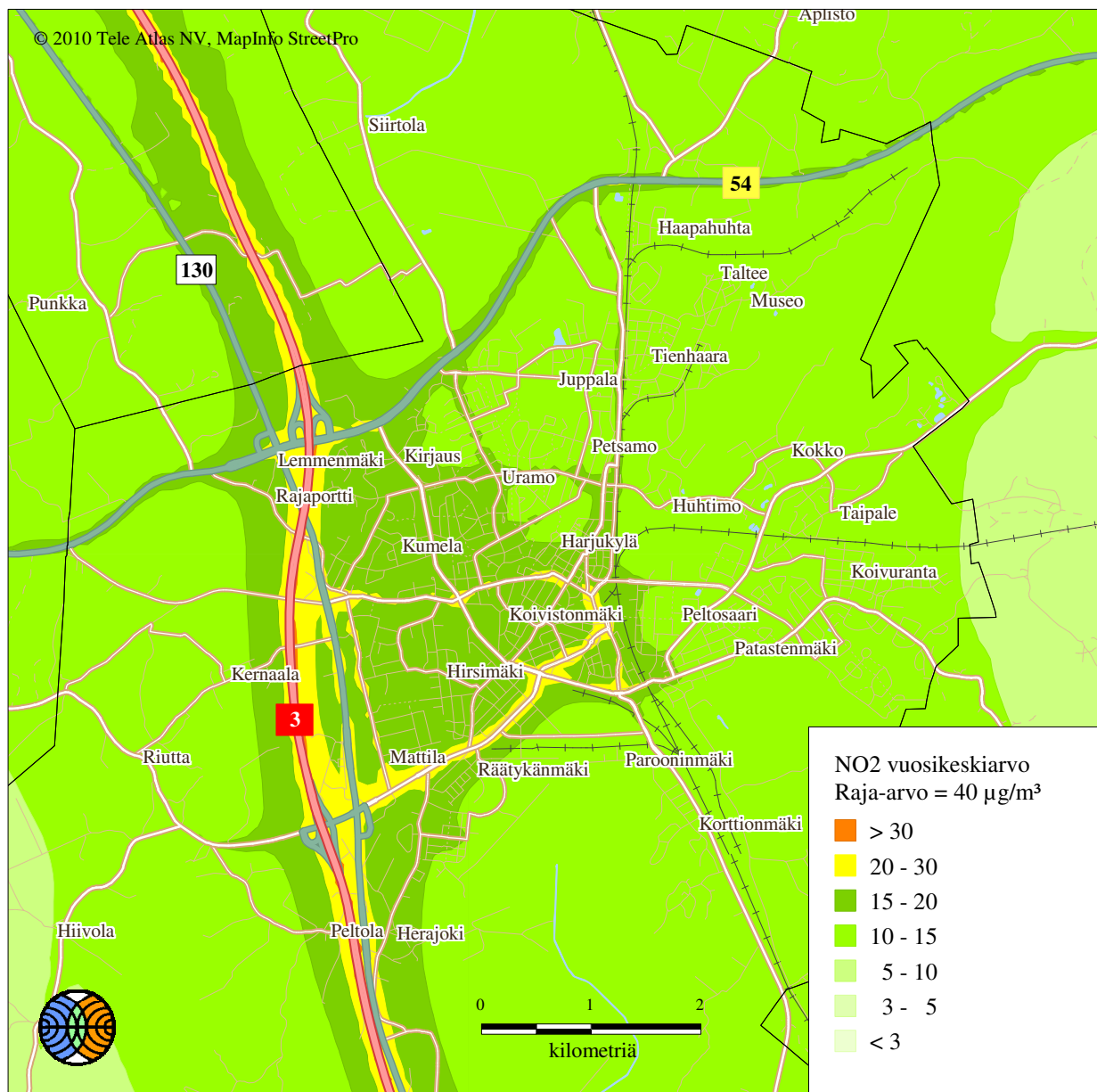
Ilmatieteen laitos 2010

☆ = maksimi = 43 µg/m³



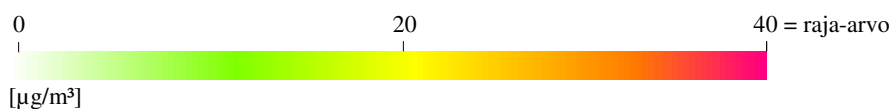
Kuva 7. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama typpidioksidipitoisuuden korkein vuosikeskiarvo (µg/m³).

RIIHIMÄEN KESKUSTA



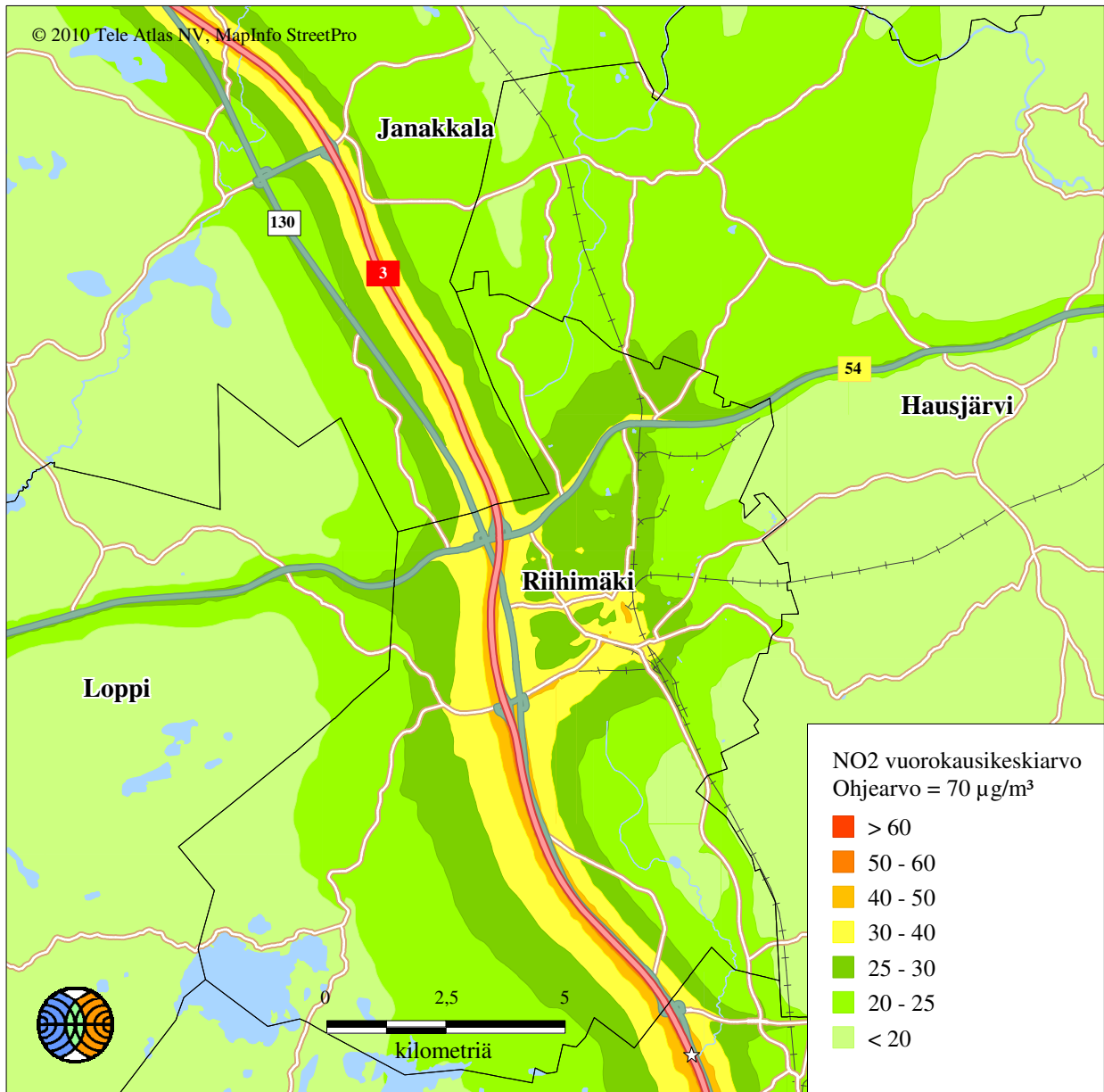
Ilmatieteen laitos 2010

☆ = maksimi = 43 µg/m³



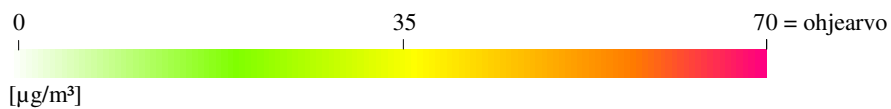
Kuva 8. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama typpidioksidipitoisuuden korkein vuosikeskiarvo (µg/m³).

RIIHIMÄKI



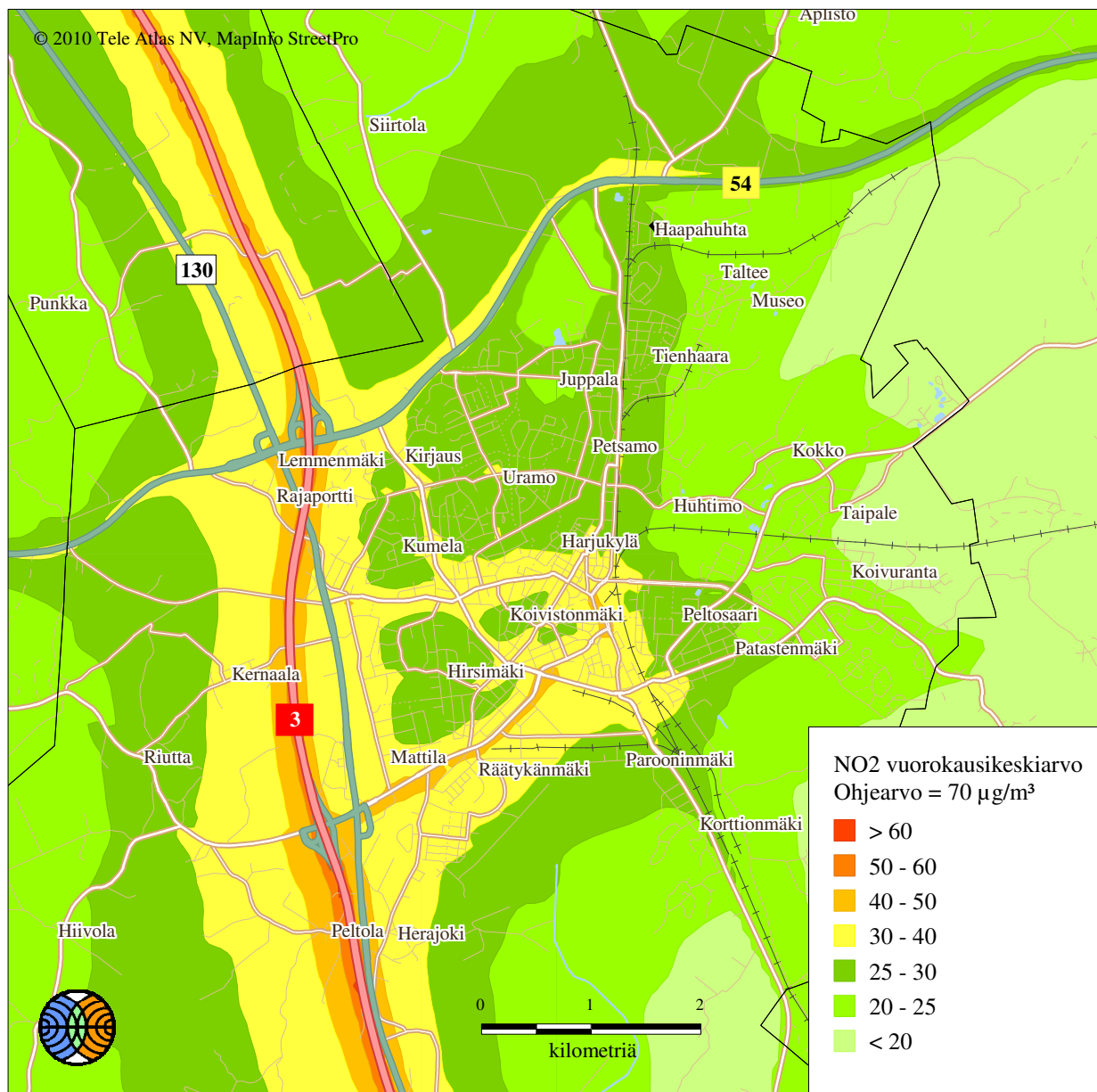
Ilmatieteen laitos 2010

☆ = maksimi = 79 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



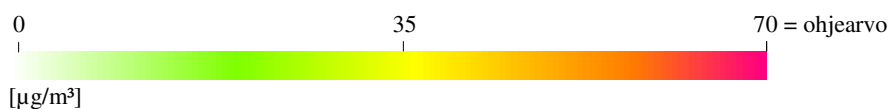
Kuva 9. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama typpidioksidin korkein vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

RIIHIMÄEN KESKUSTA



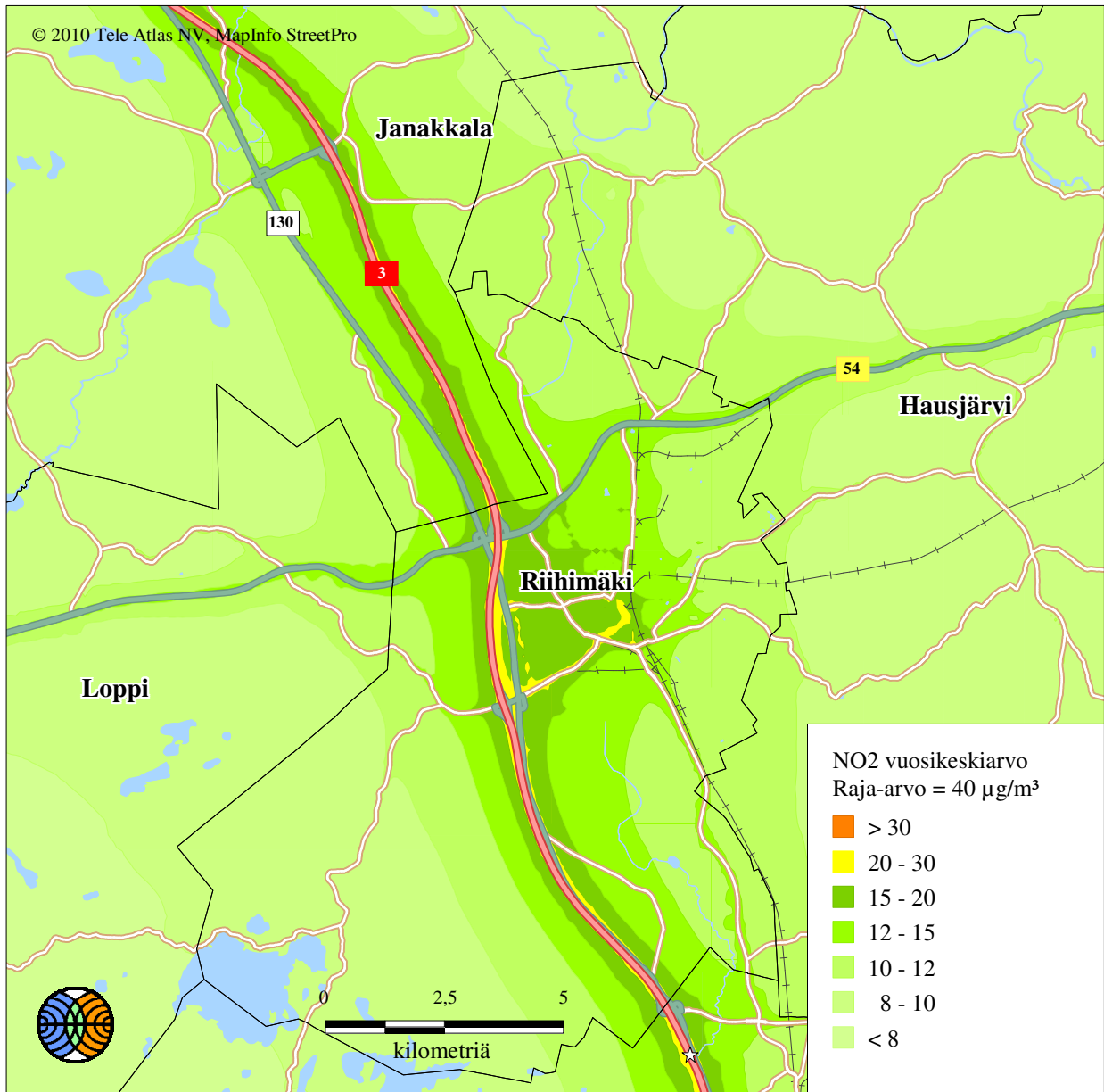
Ilmatieteen laitos 2010

☆ = maksimi = 79 µg/m³



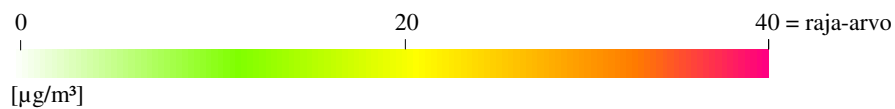
Kuva 10. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama typpidioksidin korkein vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³).

RIIHIMÄKI



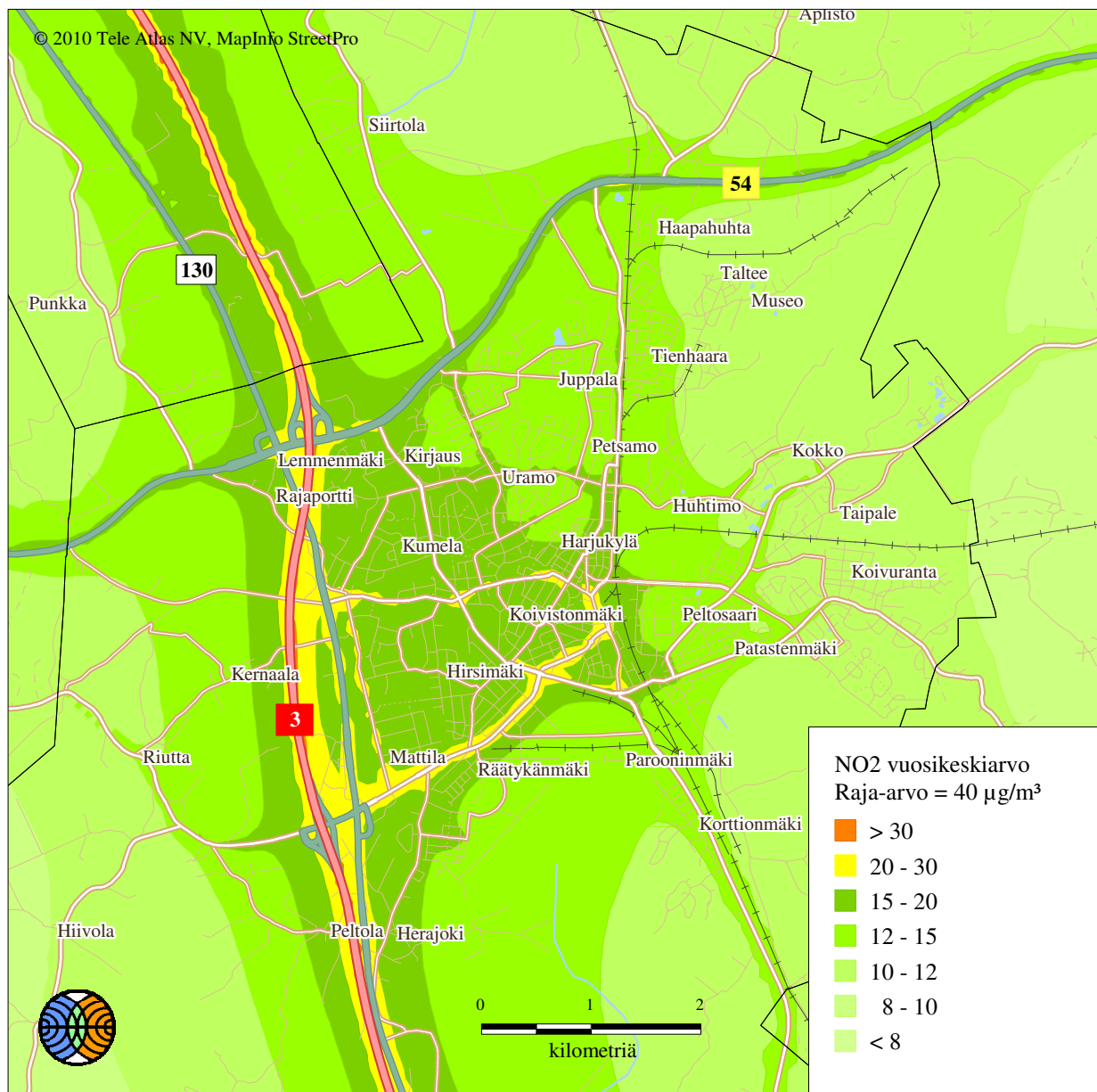
Ilmatieteen laitos 2010

☆ = maksimi = 48 µg/m³



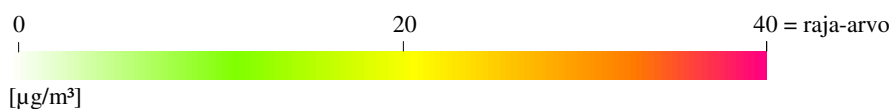
Kuva 11. Kaikkien päästölähteiden yhdessä aiheuttama typpi-
dioksidipitoisuuden korkein vuosikeskiarvo (µg/m³).

RIIHIMÄEN KESKUSTA



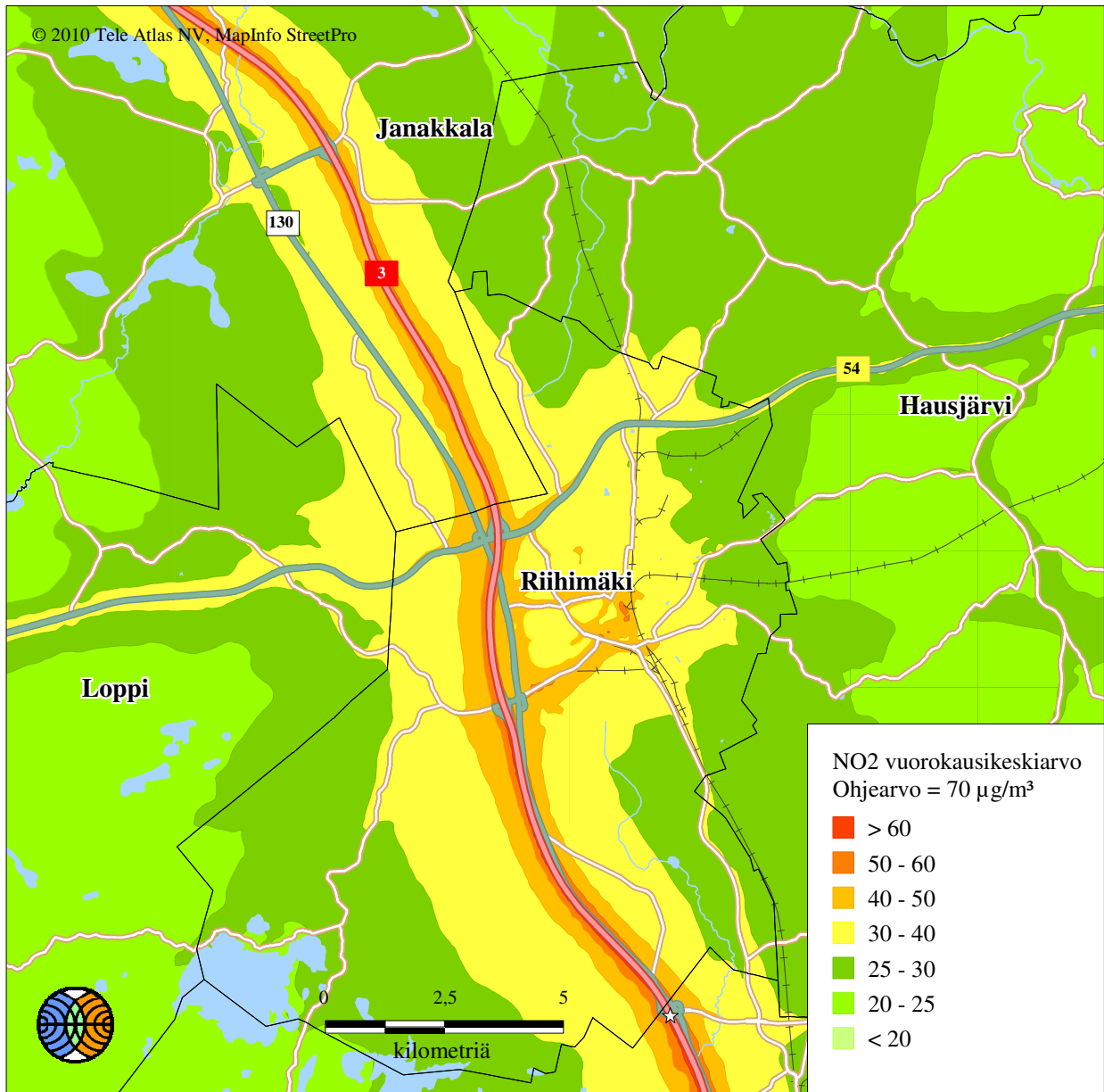
Ilmatieteen laitos 2010

☆ = maksimi = 48 µg/m³



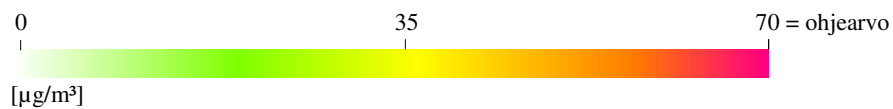
Kuva 12. Kaikkien päästölähteiden yhdessä aiheuttama typpi-
dioksidipitoisuuden korkein vuosikeskiarvo (µg/m³).

RIIHIMÄKI



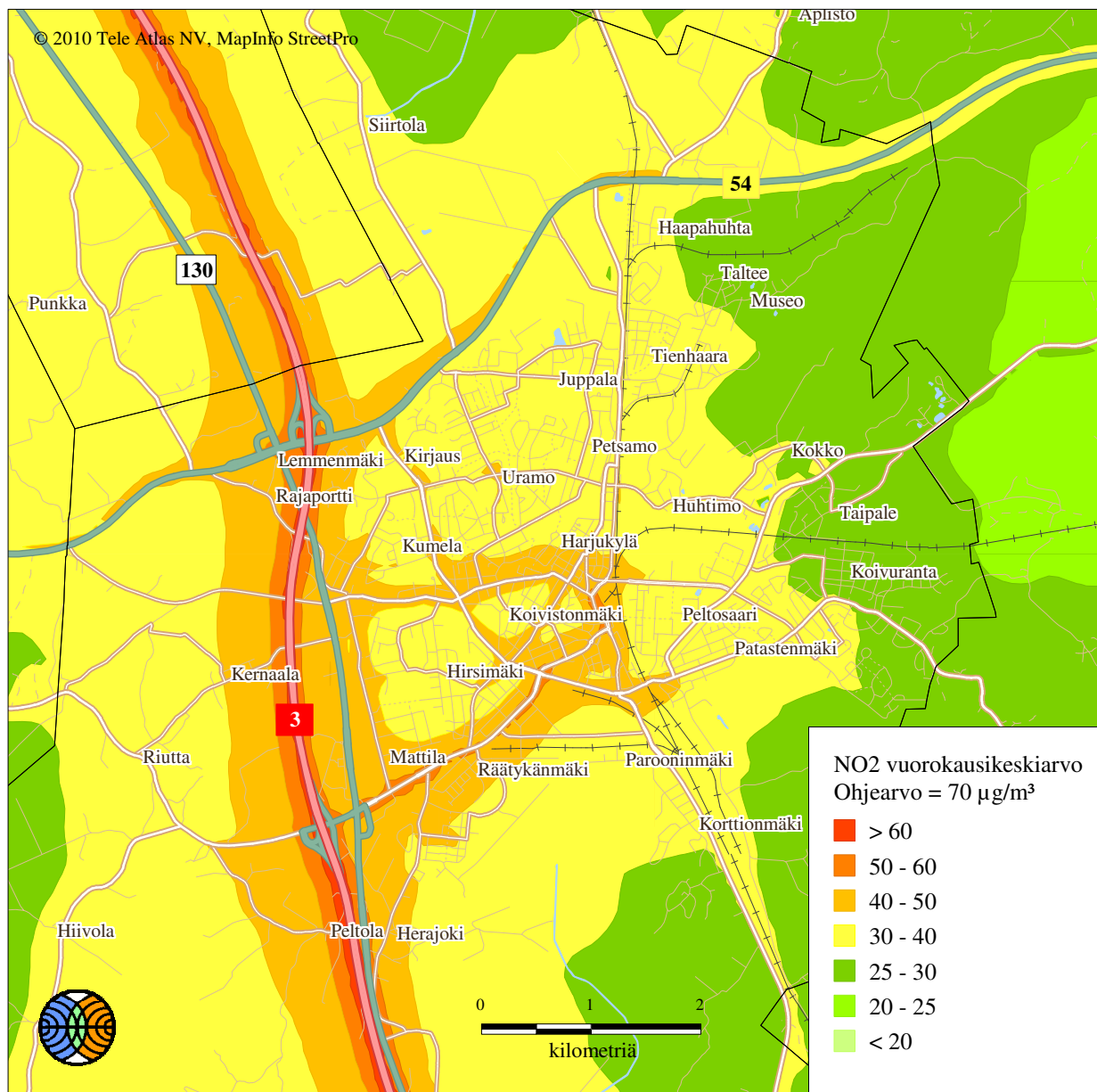
Ilmatieteen laitos 2010

☆ = maksimi = 90 µg/m³



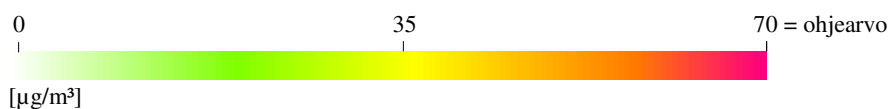
Kuva 13. Kaikkien päästölähteiden yhdessä aiheuttama typpi-
dioksidin korkein vuorokausiohjearvoon verrannollinen
pitoisuus (µg/m³).

RIIHIMÄEN KESKUSTA



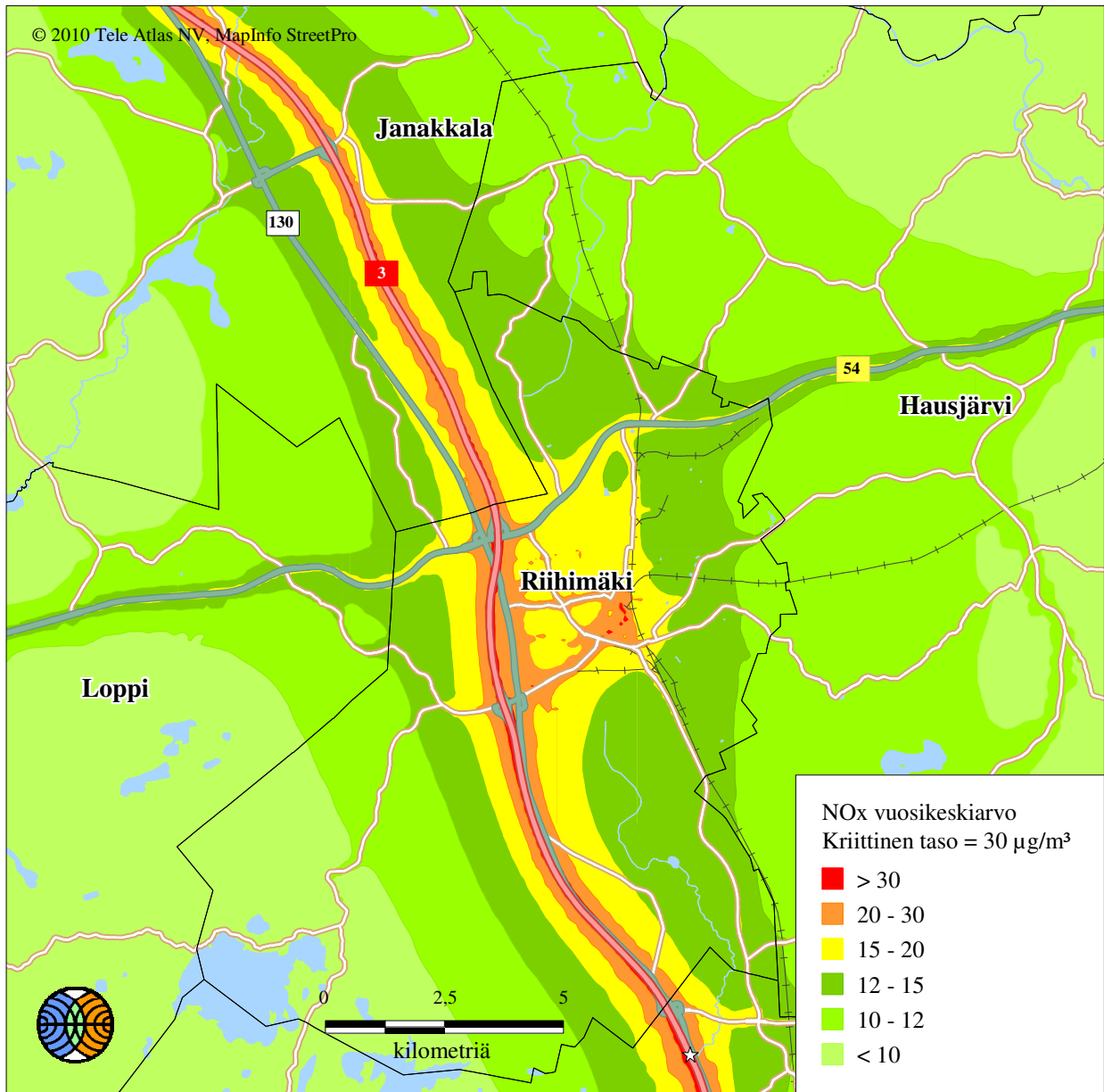
Ilmatieteen laitos 2010

☆ = maksimi = 90 µg/m³



Kuva 14. Kaikkien päästölähteiden yhdessä aiheuttama typpi-
dioksidin korkein vuorokausiohjearvoon verrannollinen
pitoisuus (µg/m³).

RIIHIMÄKI



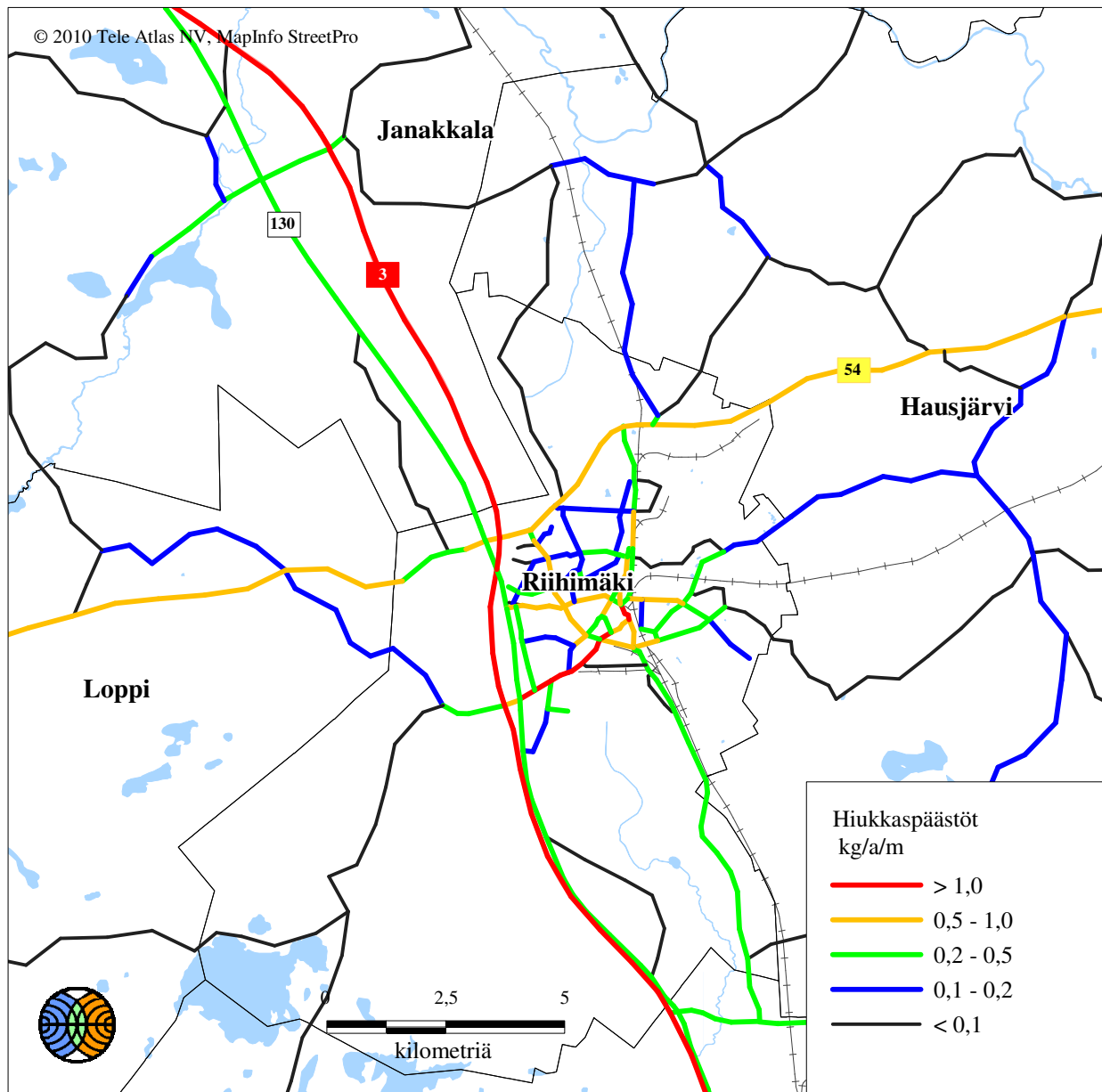
Ilmatieteen laitos 2010

☆ = maksimi = 81 µg/m³



Kuva 15. Kaikkien päästölähteiden yhdessä aiheuttama typen oksidien pitoisuuden korkein vuosikeskiarvo (µg/m³).

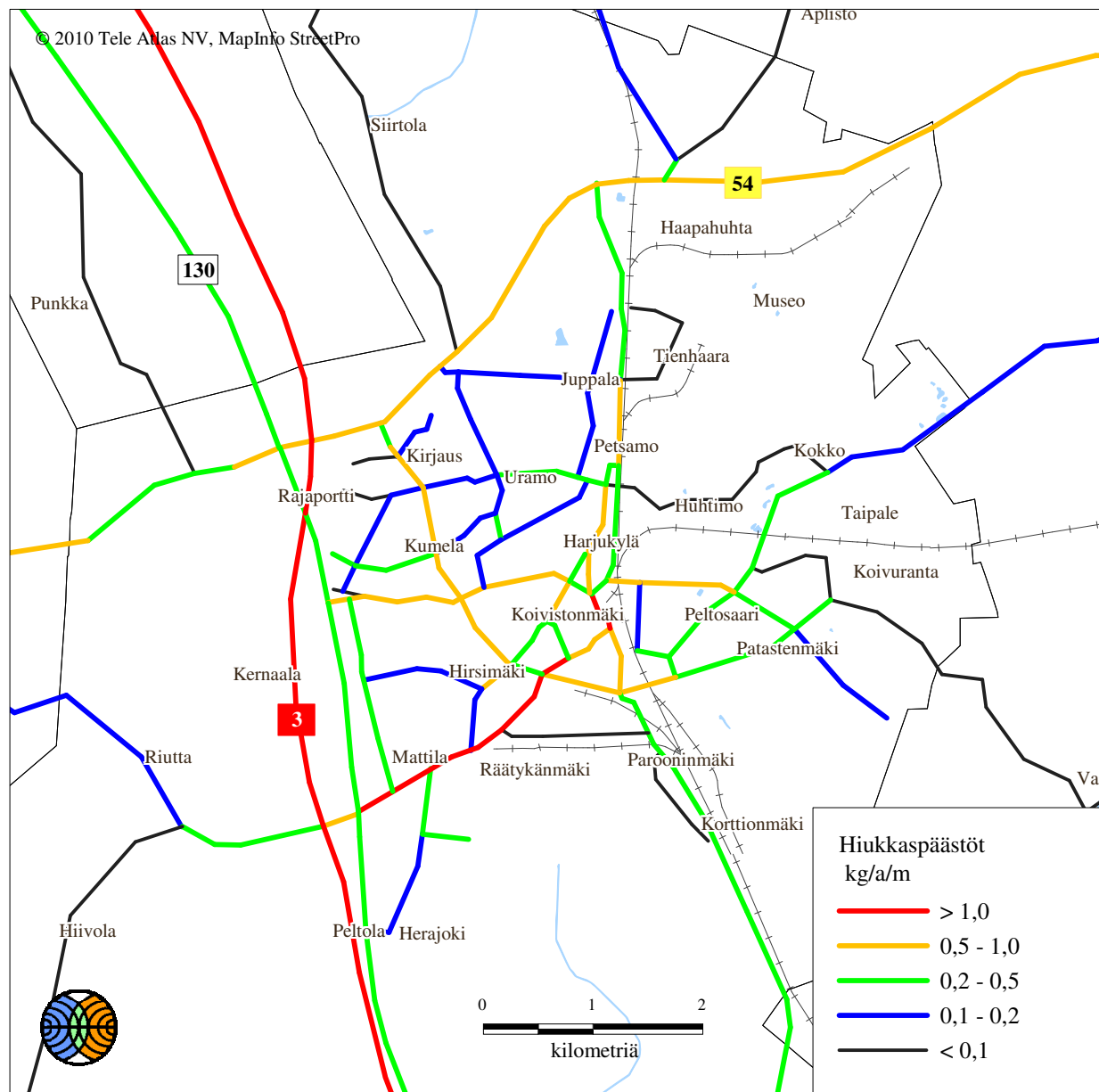
RIIHIMÄKI



Ilmatieteen laitos 2010

Kuva 16. Autoliikenteen aiheuttamat hengitettävien hiukkasten päästöt (kg/a/m) tutkimusalueella.

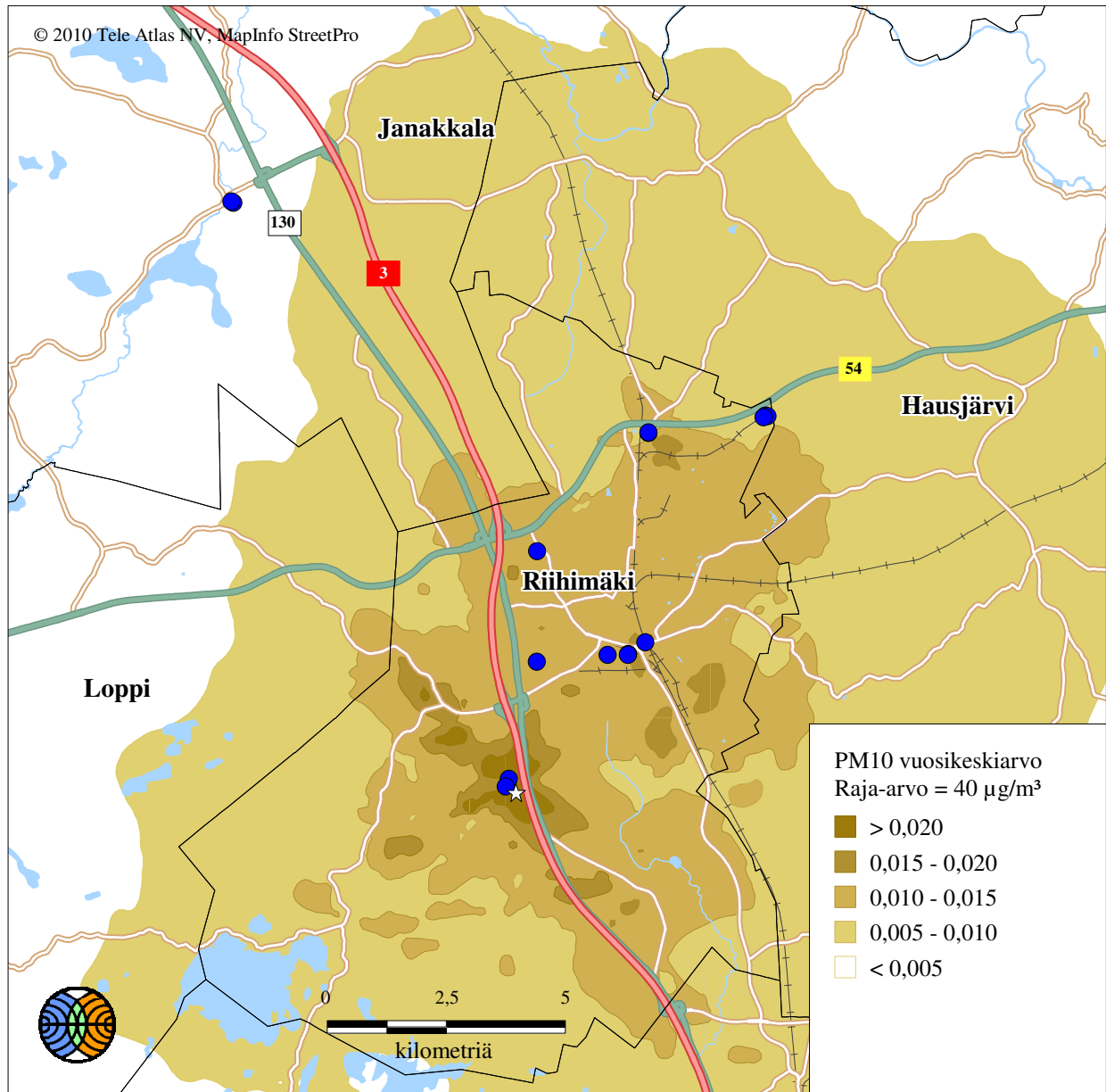
RIIHIMÄEN KESKUSTA



Ilmatieteen laitos 2010

Kuva 17. Autoliikenteen aiheuttamat hengitettävien hiukkasten päästöt (kg/a/m) Riihimäen keskustan alueella.

RIIHIMÄKI



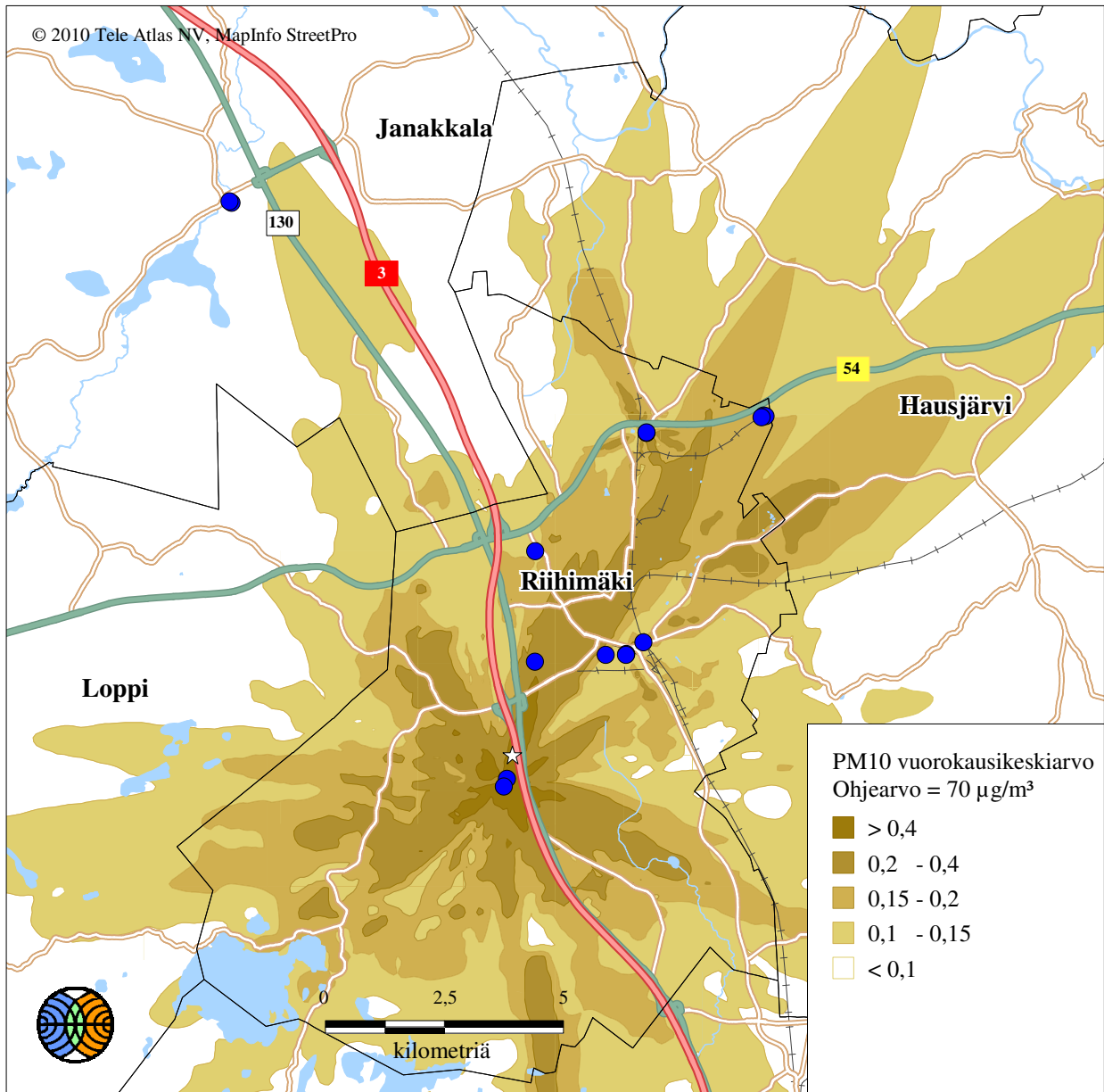
Ilmatieteen laitos 2010

☆ = maksimi = 0,038 µg/m³

● = päästölähteet

Kuva 18. Energiantuotannon ja teollisuuden päästölähteiden aiheuttama hengitettävien hiukkasten pitoisuuden korkein vuosikeskiarvo (µg/m³).

RIIHIMÄKI



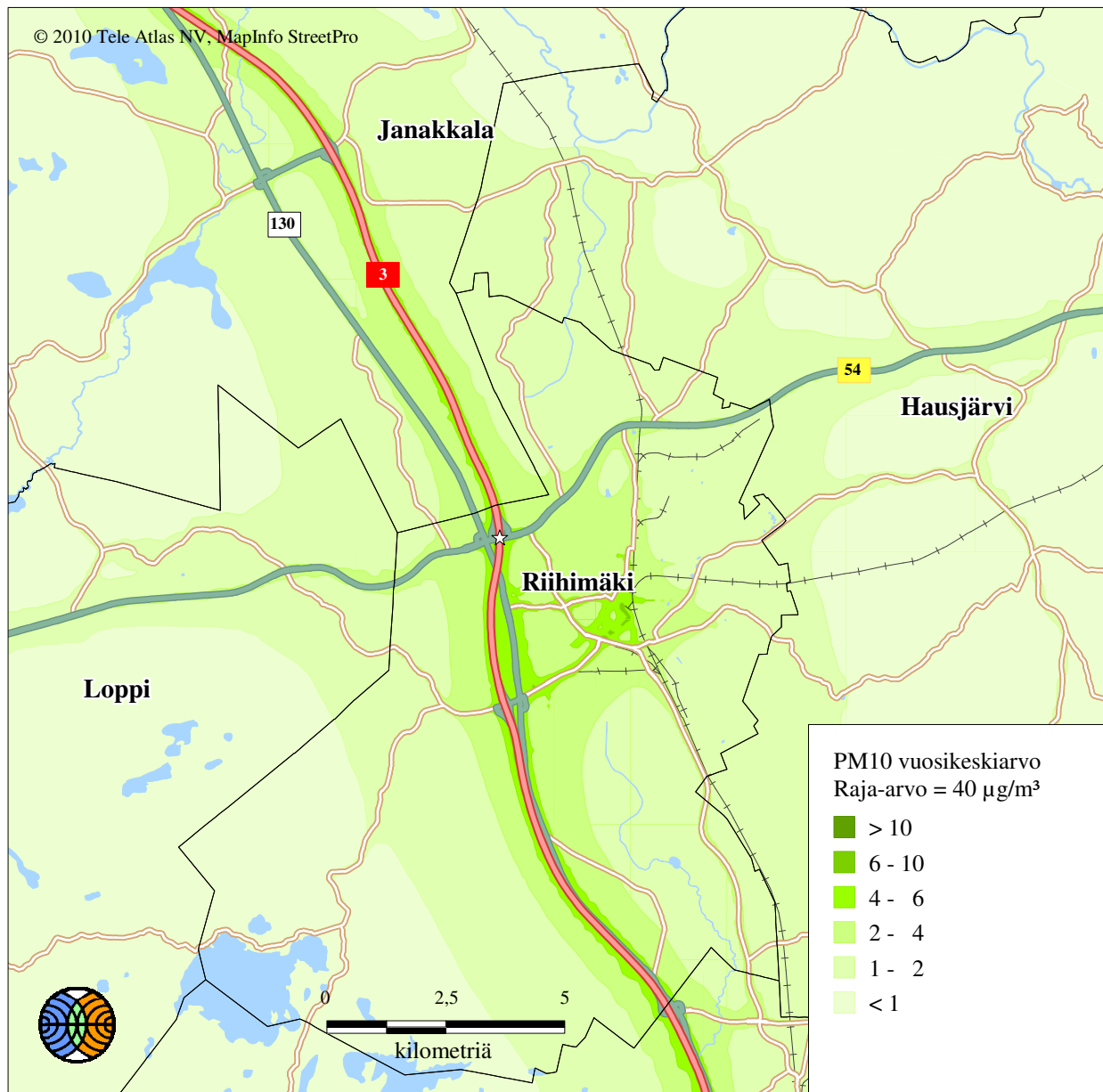
Ilmatieteen laitos 2010

☆ = maksimi = 0,94 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

● = päästölähteet

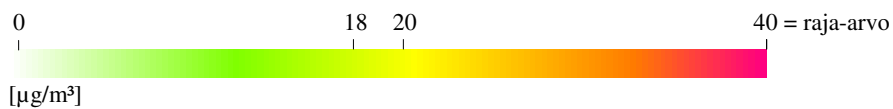
Kuva 19. Energiantuotannon ja teollisuuden päästölähteiden aiheuttama hengitettävien hiukkasten korkein vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

RIIHIMÄKI



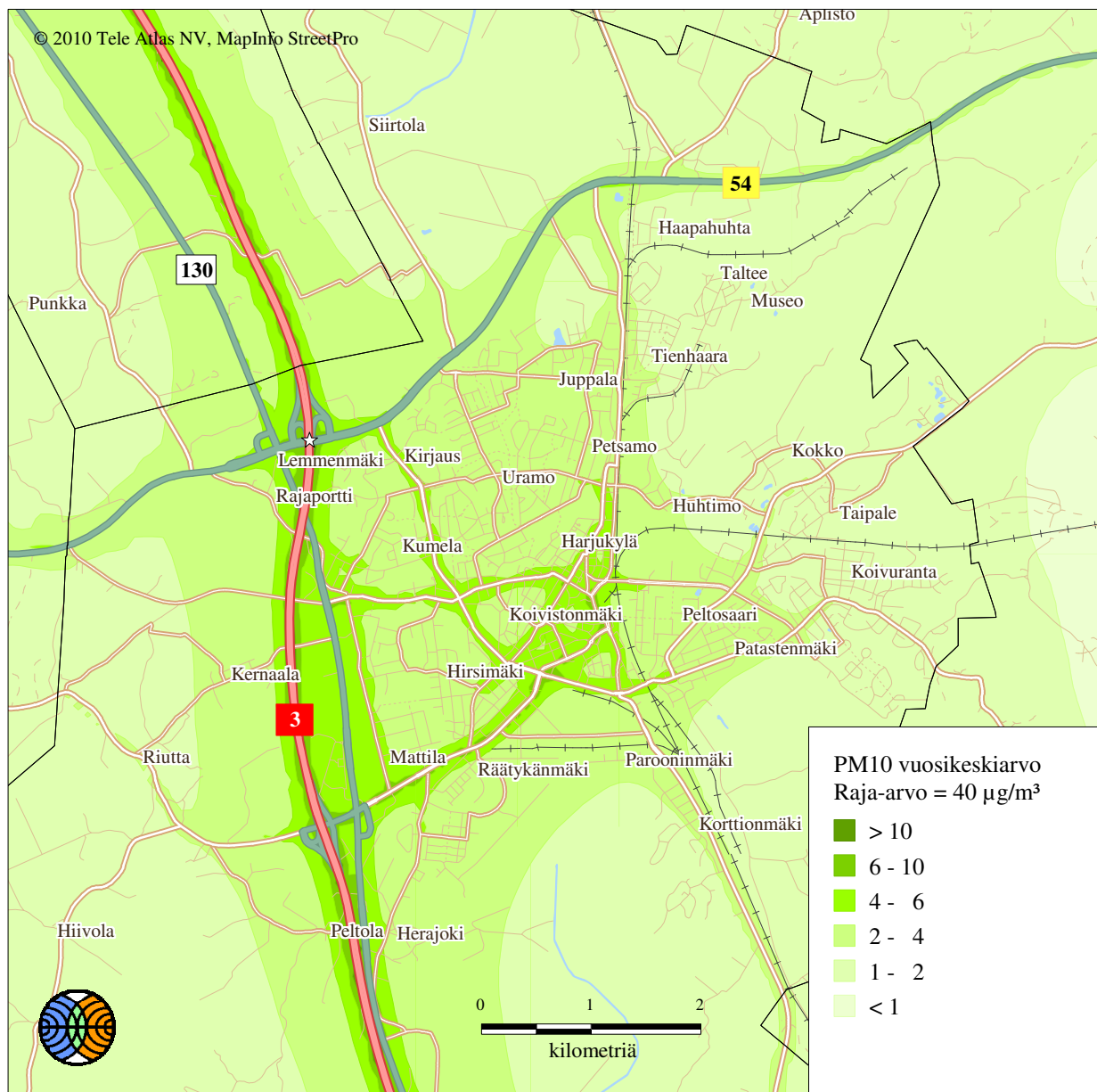
Ilmatieteen laitos 2010

☆ = maksimi = 18 µg/m³



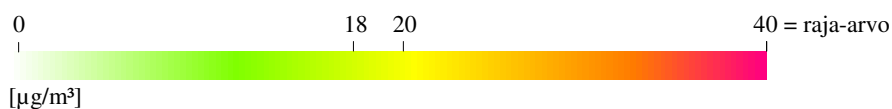
Kuva 20. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama hengitettävien hiukkasten pitoisuuden korkein vuosikeskiarvo (µg/m³).

RIIHIMÄEN KESKUSTA



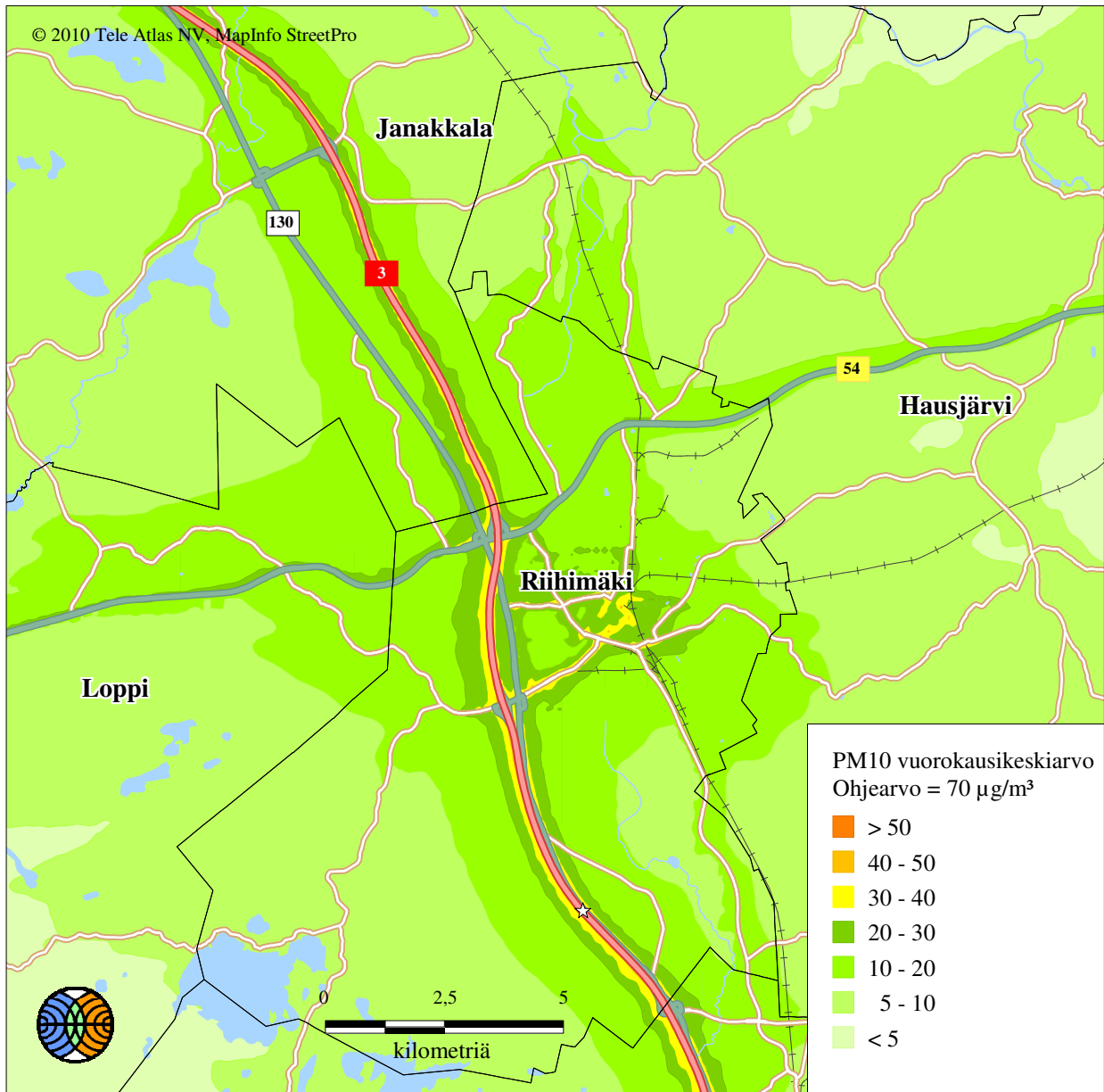
Ilmatieteen laitos 2010

☆ = maksimi = 18 µg/m³



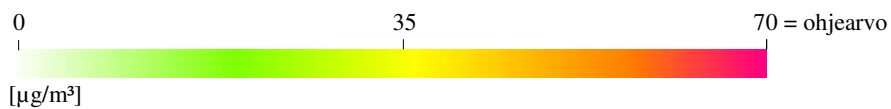
Kuva 21. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama hengitettävien hiukkasten pitoisuuden korkein vuosikeskiarvo (µg/m³).

RIIHIMÄKI



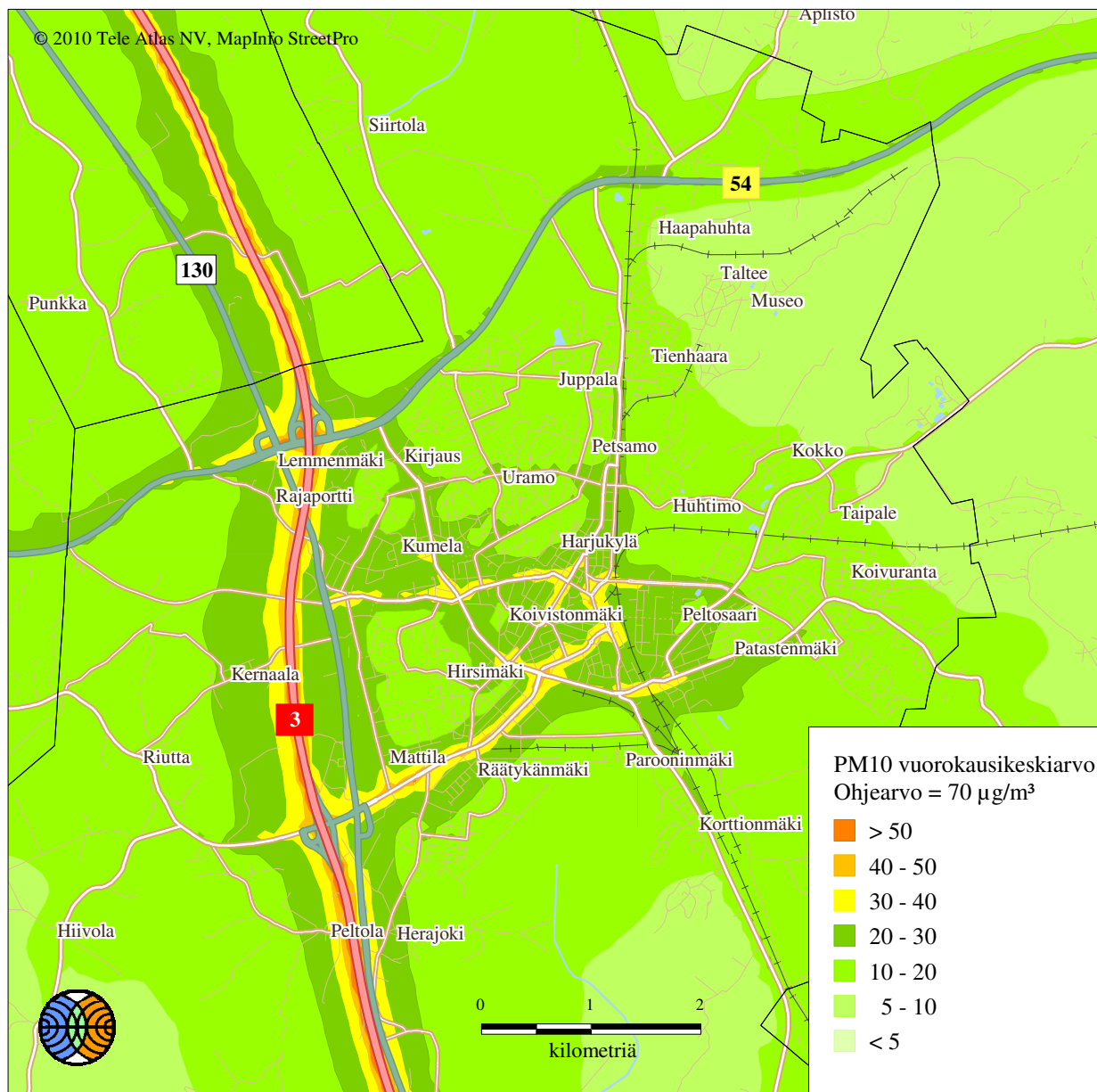
Ilmatieteen laitos 2010

☆ = maksimi = 105 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



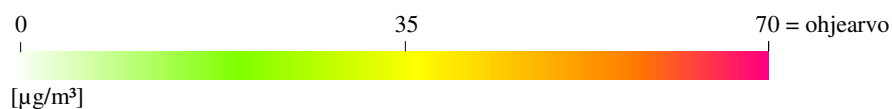
Kuva 22. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama hengitettävien hiukkasten korkein vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

RIIHIMÄEN KESKUSTA



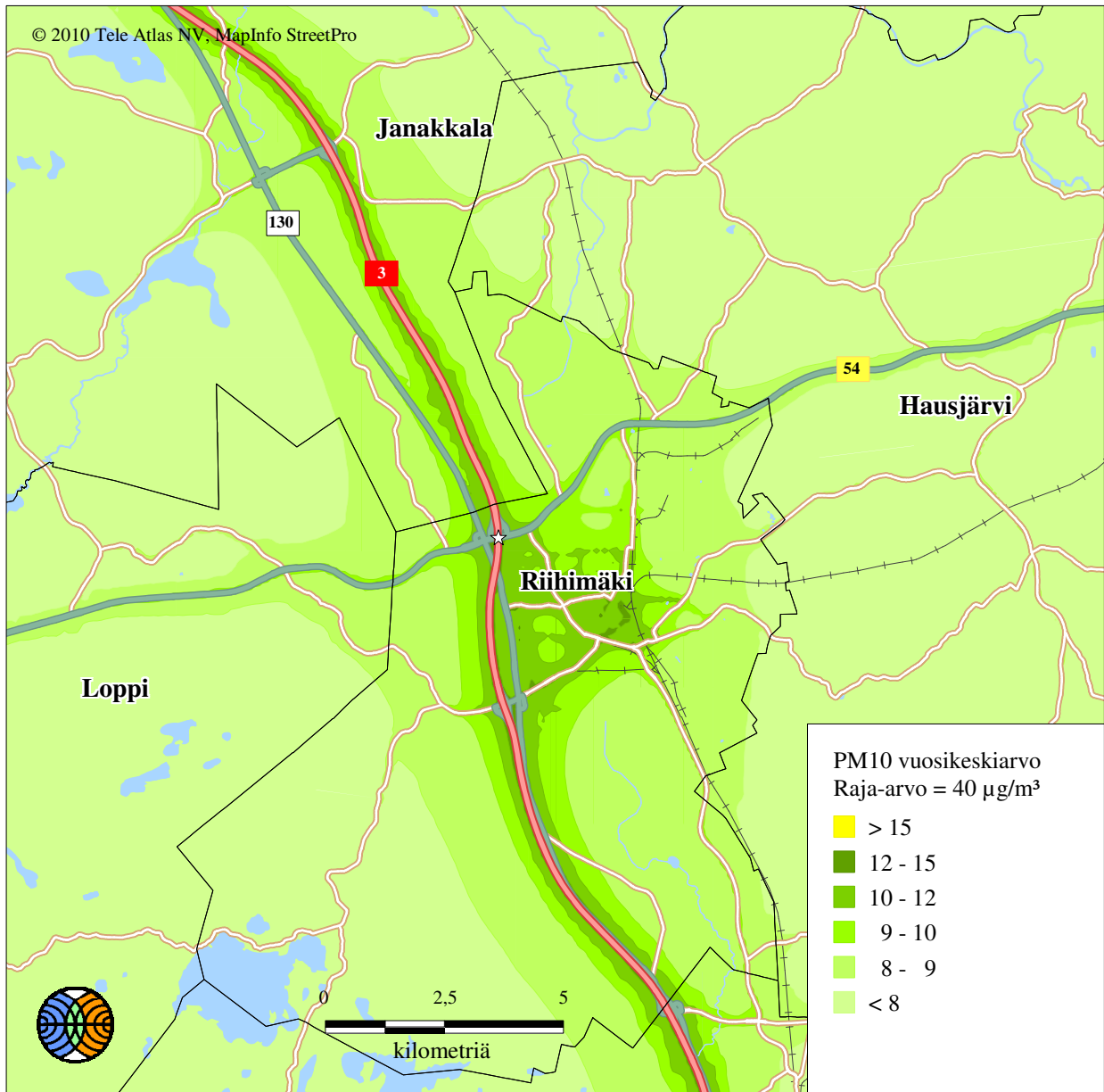
Ilmatieteen laitos 2010

☆ = maksimi = 105 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



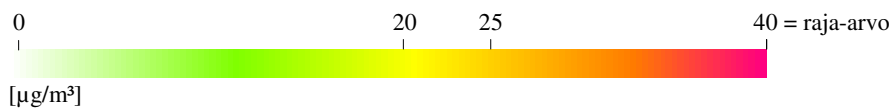
Kuva 23. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama hengitettävien hiukkasten korkein vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

RIIHIMÄKI



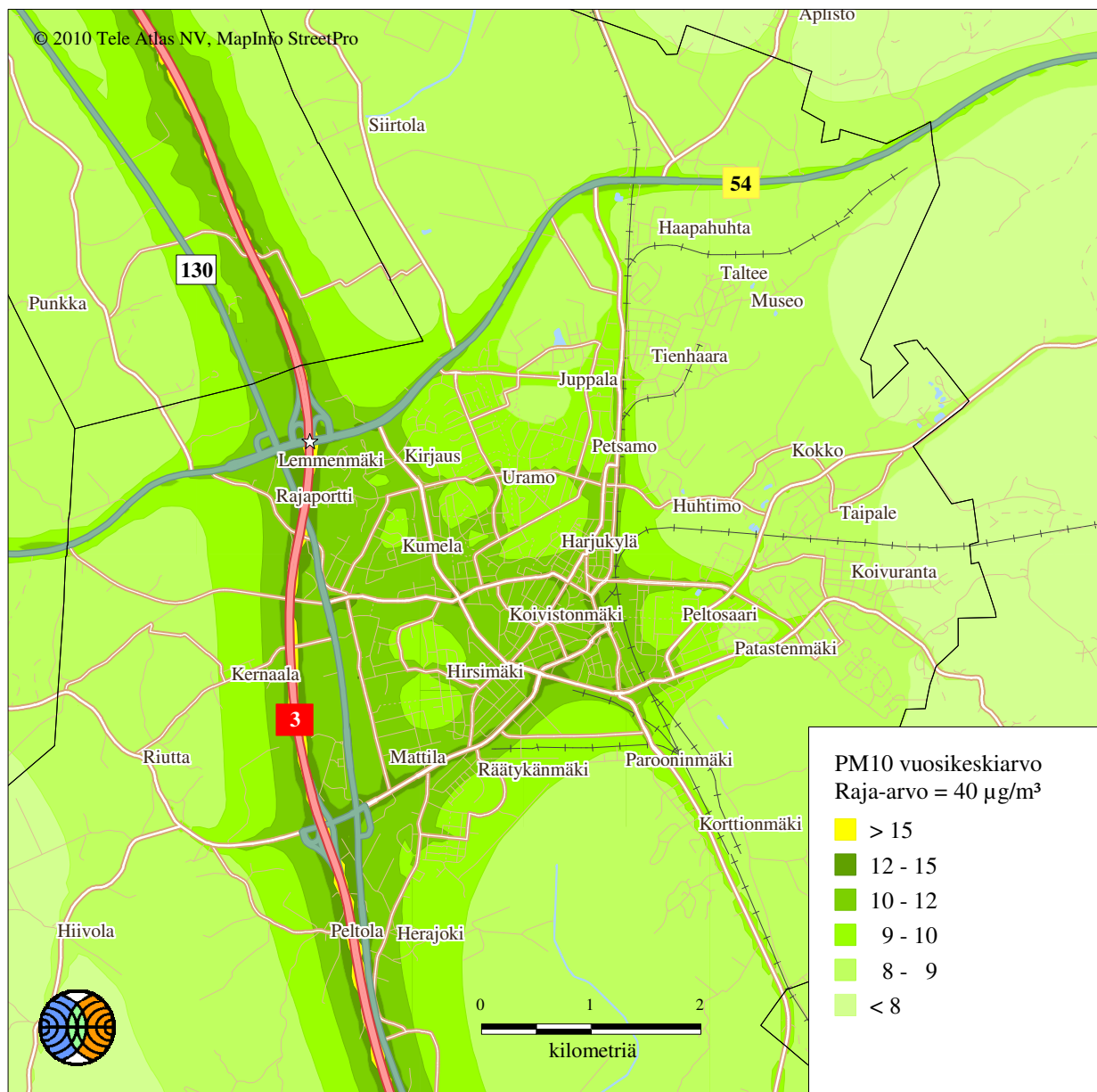
Ilmatieteen laitos 2010

☆ = maksimi = 25 µg/m³



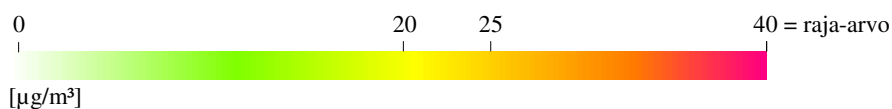
Kuva 24. Kaikkien päästölähteiden yhdessä aiheuttama hengittävien hiukkasten pitoisuuden korkein vuosikeskiarvo (µg/m³).

RIIHIMÄEN KESKUSTA



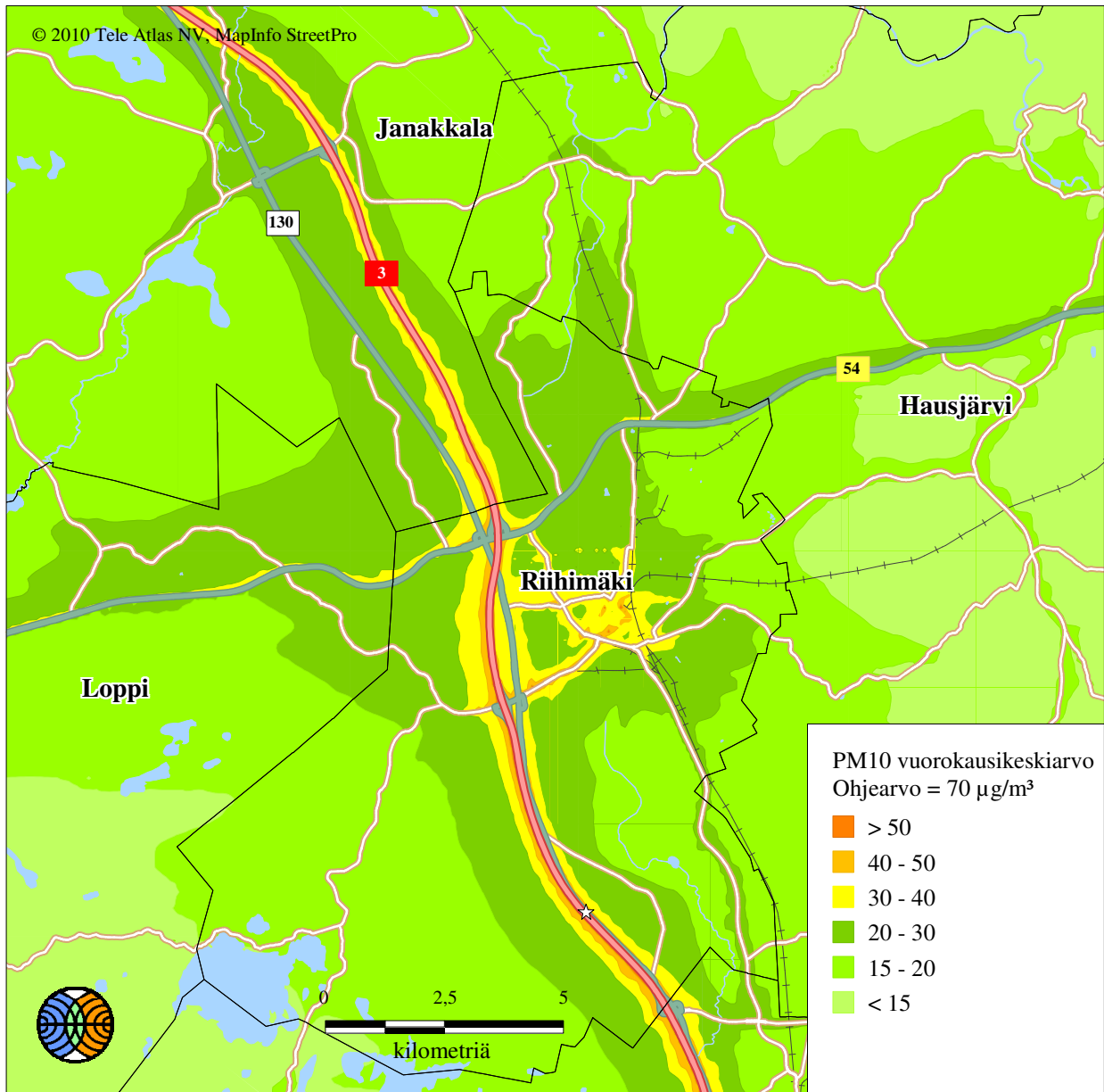
Ilmatieteen laitos 2010

☆ = maksimi = 25 µg/m³



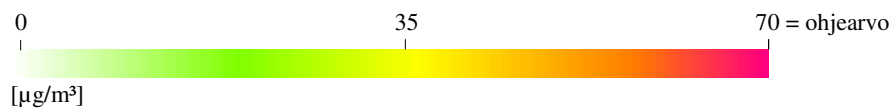
Kuva 25. Kaikkien päästölähteiden yhdessä aiheuttama hengittävien hiukkasten pitoisuuden korkein vuosikeskiarvo (µg/m³).

RIIHIMÄKI



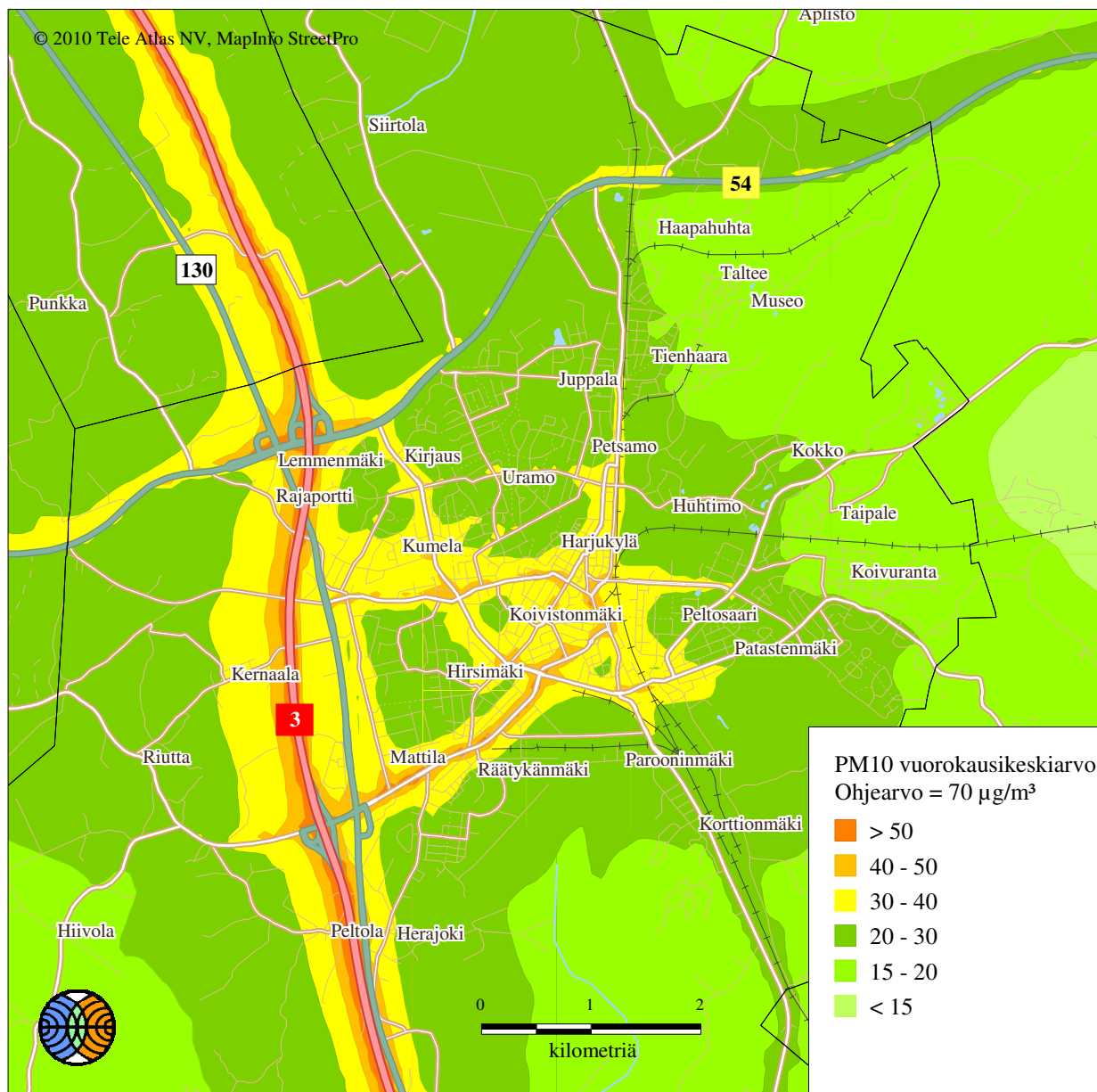
Ilmatieteen laitos 2010

☆ = maksimi = 114 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



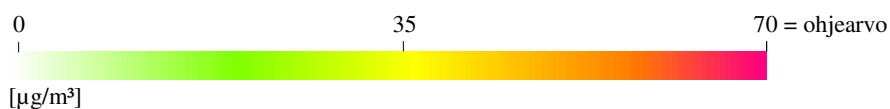
Kuva 26. Kaikkien päästölähteiden yhdessä aiheuttama hengittävien hiukkasten korkein vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

RIIHIMÄEN KESKUSTA

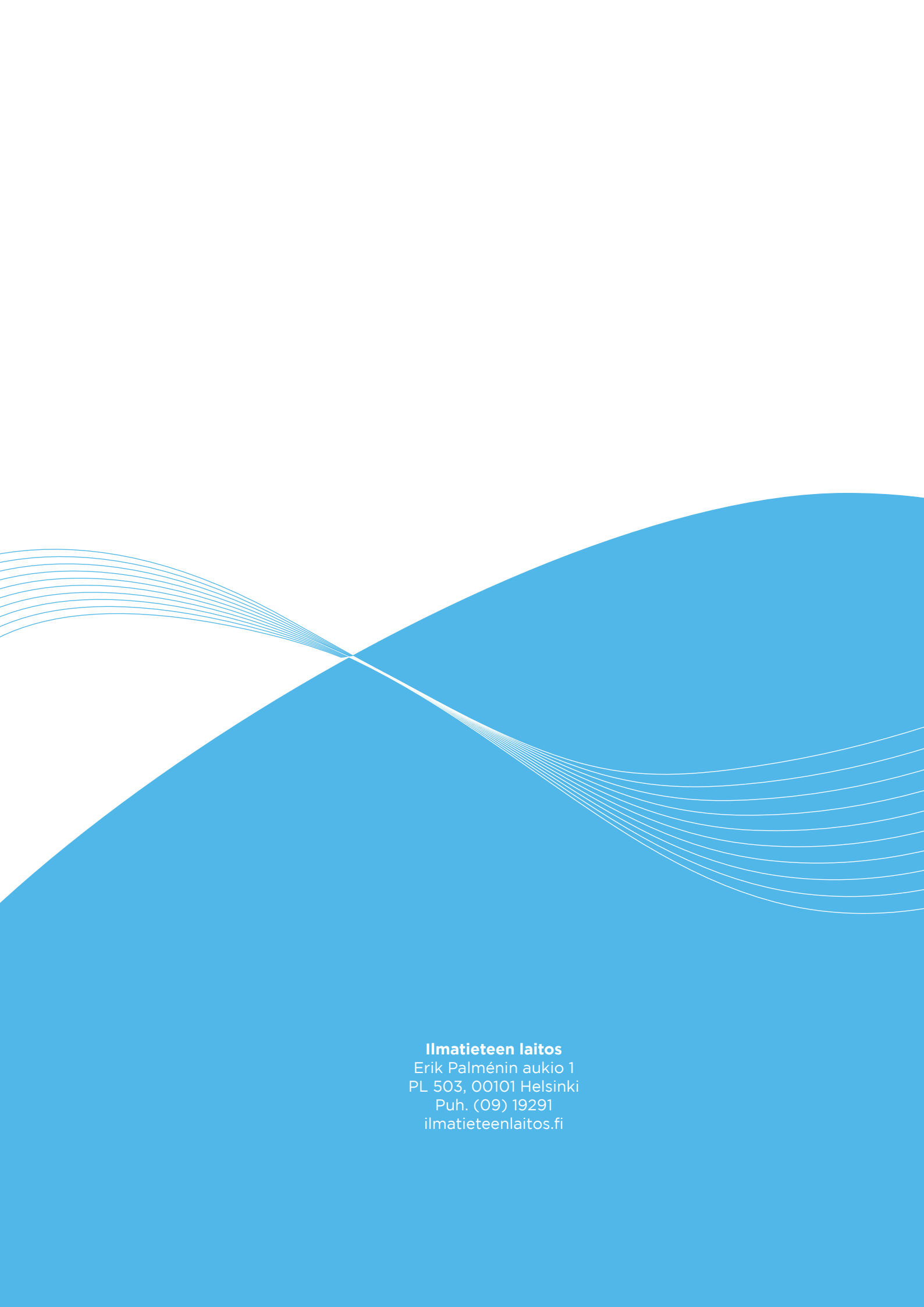


Ilmatieteen laitos 2010

☆ = maksimi = 114 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



Kuva 27. Kaikkien päästölähteiden yhdessä aiheuttama hengittävien hiukkasten korkein vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

The background of the page features a large, solid blue shape that resembles a stylized wave or a hill, starting from the bottom left and curving upwards towards the right. Overlaid on this blue shape are several thin, white, curved lines that flow from the left side towards the center, creating a sense of movement and depth. The overall design is clean and modern, with a focus on organic, flowing forms.

Ilmatieteen laitos
Erik Palménin aukio 1
PL 503, 00101 Helsinki
Puh. (09) 19291
ilmatieteenlaitos.fi