ILMATIETEEN LAITOS

ILMANLAATU JA ENERGIA
2021

OULUN ILMANLAATUSELVITYS

Päästöjen leviämismallilaskelmat, mittausasemien edustavuuden arviointi ja ilmanlaadun seurantasuunnitelma



Oulun ilmanlaatuselvitys

Päästöjen leviämismallilaskelmat, mittausasemien edustavuuden arviointi ja ilmanlaadun seurantasuunnitelma

Jatta Salmi
Birgitta Komppula
Jenni Latikka
Salla Sillanpää
Emmi Laukkanen
Katja Lovén

Ilmatieteen laitos
Asiantuntijapalvelut – Ilmanlaatu ja energia
Helsinki 1.9.2021

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ **5**

OSA I **7**

1 JOHDANTO 7

2 LEVIÄMISMALLILASKELMIEN TULOKSET 8

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

2.1.1 Kaikki päästölähteet 9

2.1.2 Autoliikenne 13

2.1.3 Energiantuotanto ja teollisuus 14

2.1.4 Kiinteistökohtainen lämmitys 15

2.2 Pienhiukkaspitoisuudet ($PM_{2,5}$) 16

2.2.1 Kaikki päästölähteet 16

2.2.2 Autoliikenne 19

2.2.3 Energiantuotanto ja teollisuus 20

2.2.4 Kiinteistökohtainen lämmitys 21

2.3 Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet (PM_{10}) 22

2.3.1 Kaikki päästölähteet 23

2.3.2 Autoliikenne 25

2.3.3 Kiinteistökohtainen lämmitys 27

2.4 Rikkidioksidipitoisuudet (SO_2) 28

2.5 Haisevat rikkiyhdisteet (TRS) 29

2.6 Bentso(a)pyreenipitoisuudet 31

2.7 Mallilaskelmien tulosten arviointi 32

2.7.1 Mallinnettujen pitoisuuksien vertailu ilmanlaadun mittaustuloksiin 32

2.7.2 Eri päästölähteiden vaikutus ilmanlaatuun 41

3 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET LEVIÄMISMALLILASKELMASTA 46

OSA II **49**

4 TAUSTATIETOA ILMANLAADUSTA 49

4.1 Ilmanlaatuun vaikuttavat tekijät 49

4.2 Typpidioksidi 49

4.3 Rikkidioksidi 50

4.4 Haisevat rikkiyhdisteet 50

4.5 Hiukkaset 50

4.6 Bentso(a)pyreeni 52

4.7 Ilman epäpuhtauksien terveysvaikutukset 53

4.8 Ulkoilmanlaadun vertailuarvot 53

5 LEVIÄMISMALLILASKELMIEN LÄHTÖTIEDOT 56

5.1 Mallilaskelmissa huomioidut päästöt 56

5.1.1 Oulun kokonaispäästöt 56

5.1.2 Autoliikenteen päästöt 58

5.1.3 Energiantuotannon ja teollisuuden päästöt 62

5.1.4 Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöt 66

5.2 Meteorologiset tiedot....70
5.3 Taustapitoisuudet....71
5.4 Laskentapisteikkö....71
6 LEVIÄMISMALLILASKELMISSA KÄYTETYT MENETELMÄT....72
6.1 Pitoisuuslaskenta päästöjen leviämismalleilla....72
6.2 Piste- ja pintapäästölähteiden leviämismalli (UDM-FMI)....73
6.3 Liikenteen päästöjen leviämismalli (CAR-FMI)....74
6.4 Liikenteen suspensiopäästömalli (FORE) katupölyn mallintamiseen....74
6.5 Typenoksidipäästöjen ilmakemiamalli....75
6.6 Meteorologisten tietojen käsittelymalli (MPP-FMI)....76
OSA III....77
7 MITTAUSASEMIEN EDUSTAVUUDEN ARVIOINTI....77
7.1 Oulun ilmanlaadun mittausasemat....77
7.2 Mittausasemien edustavuus....82
7.2.1 Keskusta....82
7.2.2 Pyykösjärvi....85
7.2.3 Nokela....92
8 ILMANLAADUN SEURANTASUUNNITELMA....95
8.1 Päästöjen kehitys Oulussa....95
8.1.1 Typenoksidipäästöt....95
8.1.2 Hiukkaspäästöt....96
8.1.3 Rikkidioksidipäästöt....96
8.1.4 Haisevien rikkiyhdisteiden päästöt....97
8.2 Mitattujen pitoisuuksien vertailu ilmanlaadun arviointikynnyksiin....98
8.2.1 Typpidioksidi (NO_2)....98
8.2.2 Hengitettävät hiukkaset (PM_{10})....99
8.2.3 Pienhiukkaset ($PM_{2,5}$)....101
8.2.4 Rikkidioksidi (SO_2)....102
8.2.5 Haisevat rikkiyhdisteet (TRS)....103
8.2.6 Otsoni (O_3)....104
8.3 Nykyisen ilmanlaadun seurannan arviointi....106
8.3.1 Mittausmenetelmät ja -laitteet....106
8.3.2 Ilmanlaatumittausten laadunvarmistus....107
8.3.3 Ilmanlaatutietojen saatavuus ja ilmanlaadusta tiedottaminen....108
8.4 Esitys ilmanlaadun seurantasuunnitelmaksi 2022–2026....109
VIITELUETTELO....112
LIITTEET....115
Liitekuvaluettelo....115
Liitekuvat....117

Kansikuva: Ida-Reetta Virranjoki

TIIVISTELMÄ

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

Päästöjen leviämismallilaskelmissa käytettiin Ilmatieteen laitoksella kehitettyjä leviämis- ja laskentamalleja: piste- ja pintapäästölähteiden leviämismallia UDM-FMI, liikennepäästöjen viivalähdemallia CAR-FMI ja katujen pölyämistä kuvaavaa suspensiopäästömallia FORE. Pitoisuudet laskettiin Oulun kunnan alueelle Haukiputaan, Kiimingin ja Oulunsalon rajaamalle alueelle. Mallilaskelmat tehtiin käyttäen vuosia 2015–2019 edustavia päästötietoja sekä alueen ilmastollisia olosuhteita edustavaa vuosien 2017–2019 meteorologista aineistoa.

Leviämismallin lähtötietoina käytetyt päästötiedot sisältävät suurimman osan Oulussa syntyvistä typen oksidien, hiukkasten, rikkidioksidin, haisevien rikkiyhdisteiden sekä bentso(a)pyreenin kokonaispäästöistä. Mallilaskelmissa olivat taustapitoisuuksien lisäksi mukana autoliikenteen pakokaasu- ja katupölypäästöt, energiantuotannon ja teollisuuden päästöt sekä kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöt. Autoliikenteen pakokaasupäästöt laskettiin käyttäen Euroopan ympäristöviraston määrittämiä nopeudesta ja ajoneuvojen EURO-päästöluokista riippuvia ajoneuvotyyppikohtaisia päästökertoimia sekä alueen liikennemäärä- ja aikavaihtelutietoja. Energiantuotannon ja teollisuuden lähtötiedot kerättiin suoraan toiminnanharjoittajilta. Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästötiedot on saatu Suomen ympäristökeskuksen alueellisesta päästöskenaariomallista (FRES-malli).

Leviämismallilaskelmien tulosten mukaan typpidioksidin kokonaispitoisuudet alittavat ilmanlaadun raja-arvot kaikkialla tarkastelualueella. Ilmanlaadun ohjearvot ylittyvät kaupunkia halkaisevan moottoritien (E8) ja Kuusamontien (Vt 20) risteysalueella. Typpidioksidipitoisuudet ovat lähellä vuorokausiohjearvotasoa moottoritien varrella ja Oulun keskustan sisääntulojen vilkasliikenteisillä risteysalueilla. Autoliikenteen päästöillä on merkittävin vaikutus typpidioksidin ja typen oksidien pitoisuustasoihin.

Pienhiukkasten vuosikeskiarvopitoisuudet alittavat raja-arvon ja WHO:n ohjearvon selvästi koko Oulussa. Pienhiukkaspitoisuudet ovat suurimmillaan vilkkaimpien liikenneväylien varrella. Hetkelliset pienhiukkaspitoisuudet ylittävät leviämismallilaskelmien mukaan korkeimmillaan WHO:n vuorokausiohjearvon moottoritien varrella ja sen läheisyydessä olevilla pientaloalueilla. Suurin vaikutus pienhiukkaspitoisuustasoihin on taustapitoisuudella, mistä merkittävä osa koostuu kaukokulkeutuneista pienhiukkasista.

Hengitettävien hiukkasten vuosikeskiarvopitoisuudet alittavat Oulussa vuosiraja-arvon selvästi. Vuorokausipitoisuudet ylittävät hengitettäville hiukkasille annetun ohje- ja raja-arvon moottoritiellä ja sen risteysalueilla. Moottoritien ulkopuolella raja-arvo kuitenkin alittuu. Huomattavin vaikutus hengitettävien hiukkasten pitoisuuksiin on liikenteen nostattamalla katupölyllä. Katupölypitoisuuksiin voidaan merkittävästi vaikuttaa paikallisella katujen kunnossapidolla sekä oikea-aikaisella hiekoitushiekan poistolla ja pölynsidonnalla.

Rikkidioksidin pitoisuudet ovat pieniä ja alittavat sille asetetut ohje- ja raja-arvot sekä kriittisen tason. Suurin paikallinen vaikutus rikkidioksidipitoisuuksiin on energiantuotannolla ja teollisuudella ja korkeimmat pitoisuudet havaitaan lähellä laitoksia.

Haisevien rikkiyhdisteiden pitoisuudet ovat mallilaskelmien mukaan pieniä. Hajutilanteita syntyy selluteollisuuslaitoksissa nykyisin lähinnä häiriötilanteissa.

Bentso(a)pyreenin vuosikeskiarvopitoisuudet ylittävät tavoitearvon tiheään asutuilla pientaloalueilla Oulun eri kaupunginosissa sekä Kempeleen, Oulunsalon, Haukiputaan ja Jäälin taajamien pientaloalueilla.

Leviämismallilaskelmien tuloksia verrattiin Oulun ilmanlaadun mittausasemien vuosien 2017–2019 mittaustuloksiin. Mallinnuksen ja mittausten epävarmuudet huomioiden voidaan arvioida typpidioksidin, pienhiukkasten, hengitettävien hiukkasten ja rikkidioksidin malli- ja mittaustulosten vastaavan pääosin hyvin toisiaan ja mallitulosten täyttävän mallintamisen epävarmuudelle asetetut laatutavoitteet. Mallitulokset edustavat siten hyvin tarkastelualueen alueellista ilmanlaatua. Haisevien rikkiyhdisteiden mallinnetut pitoisuudet ovat mitattuja pienempiä, sillä kohonneet pitoisuudet liittyvät yleensä teollisuuden häiriötilanteisiin. Oulussa ei mitata bentso(a)pyreenin pitoisuuksia.

Mallilaskelmien tulosten perusteella voidaan arvoida, että ilmanlaatu Oulussa on pääsääntöisesti hyvää. Pitoisuudet pienentyvät nopeasti etäisyyden kasvaessa vilkkaimmista liikenneväylistä sekä energiantuotanto- ja teollisuuslaitoksista. Alueen ilmanlaatuun vaikuttavat merkittävimmin autoliikenteen typenoksidipäästöt, katupöly, kotitalouksien lämmitys sekä pienhiukkasten kaukokulkeuma. Energiantuotantolaitosten ja teollisuuden päästöjen vaikutus ilmanlaatuun on pieni. Laitosten päästöt vapautuvat pääsääntöisesti korkeista piipuista, jolloin ne leviävät ja laimenevat tehokkaasti ympäröivään ilmaan, eivätkä heikennä ilmanlaatua hengityskorkeudella.

Leviämismallilaskelmien tuloksia hyödynnettiin Oulun ilmanlaadun mittausasemilla mitattavien ilman epäpuhtauksien edustavuusalueiden määrityksessä. Pitoisuuksien aluejakaumien lisäksi edustavuusalueiden arvioinnissa hyödynnettiin laajalti muitakin alueellisia tietoja, kuten päästö-, maankäyttö- ja väestötiheysaineistoja sekä ilmakuvia ja valokuvia. Käytetyn arviointimenetelmän lähtökohtana on, että mittausaseman koko edustavuusalueella on oltava samankaltaisten pitoisuustasojen lisäksi samat hallitsevat päästölähteet ja samankaltaiset päästöjen leviämisolosuhteet. Menetelmällä arvioitiin Oulun keskustan, Pyykösjärven ja Nokelan kaikkien mitattavien komponenttien edustavuusalueet ja niiden pinta-alat neliökilometreinä.

Ilmanlaatuselvityksessä laadittiin myös Oulun ilmanlaadun mittausverkolle ilmanlaadun seurantasuunnitelma vuosille 2022–2026. Leviämismallilaskelmien tulosten lisäksi suunnitelman laadinnan pohjana tarkasteltiin alueen päästöjä ja niiden kehittymistä sekä verrattiin ilmanlaadun mittausten tuloksia ilmanlaadun arviointikynnyksiin viimeisen viiden vuoden ajalta. Oulun nykyistä ilmanlaadun seurantaa arviointiin tarkastelemalla mittalaitteistoja, laadunvarmistusta sekä ilmanlaatutietojen saatavuutta ja tiedottamista. Näiden pohjalta annettiin esitys, miten Oulun ilmanlaadun seurantaa tulisi kehittää seuraavalla 5-vuotiskaudella.

OSA I

1 JOHDANTO

Ilmanlaatuselvityksen tarkoituksena oli hankkia leviämismallilaskelmien avulla tietoa Oulun ilmanlaadusta, sen alueellisesta vaihtelusta ja eri päästölähteiden vaikutuksesta ilmanlaatuun. Selvityksessä arvioitiin autoliikenteen, energiantuotannon, teollisuuden ja kiinteistökohtaisen lämmityksen ilmanlaatuvaikutuksia Oulussa. Edellinen Oulun kaupungin typenoksidipäästöjen leviämismallilaskelma on tehty vuonna 2000 (*Rasila ym,. 2000*).

Oulun päästölähteiden nykytilanteen ilmanlaatuvaikutuksia arvioitiin laskennallisesti leviämismallien avulla. Mallinnuksessa käytettiin Ilmatieteen laitoksella kehitettyjä leviämis- ja laskentamalleja: piste- ja pintapäästölähteiden leviämismallia (UDM-FMI), liikennepäästöjen viivalähdemallia (CAR-FMI) ja katupölypäästöjen suspensiopäästömallia (FORE). Leviämismallilaskelmien avulla tarkasteltiin Oulun typpidioksidin, typen oksidien, pienhiukkasten, hengitettävien hiukkasten, rikkidioksidin, haisevien rikkiyhdisteiden ja bentso(a)pyreenin pitoisuuksia sekä niiden alueellista jakautumista. Ilmanlaatuselvityksen tuloksena saatuja pitoisuuksia verrattiin ilmanlaadun vertailuarvoihin sekä ilmanlaadun mittausten tuloksiin.

Raportin rakenne on kolmiosainen. Ensimmäisessä osassa esitetään leviämismallinnuksen keskeisimmät pitoisuustulokset, niiden arvionti ja johtopäätökset. Raportin toisessa osassa on kuvattu mallinnuksen lähtötiedot ja käytetyt laskentamenetelmät sekä kerrottu taustatietoa ilmanlaadusta. Raportin kolmannessa osassa on esitetty nykyisten ilmanlaadun mittausasemien edustavuuden arviointi ja suositukset Oulun ilmanlaadun seurantasuunnitelmaksi vuosille 2022–2026. Raportin kaikki tuloskartat on esitetty liitteinä raportin lopussa.

Ilmanlaatuselvityksen tilasi Oulun seudun ympäristötoimi -liikelaitos. Energiantuotannon ja teollisuuden laitokset osallistuivat selvityksen kustannuksiin päästöjensä suhteessa. Päästöjen leviämismallilaskelmat, tulosten tarkastelu ja raportointi tehtiin Ilmatieteen laitoksen Asiantuntijapalvelut -yksikössä vuosina 2020 ja 2021.



Kuva: Jatta Salmi

2 LEVIÄMISMALLILASKELMIEN TULOKSET

Leviämismallilaskelmien avulla on mahdollista tarkastella laajojen, kokonaisten kaupunkialueiden ilmanlaatua sekä eri tekijöiden vaikutusta ilmanlaatuun. Mallilaskelmilla tehdyn ilmanlaatuarvion tarkoituksena on tuottaa mahdollisimman todenmukaista tietoa ilmanlaadusta ja sen vaihtelusta. Siksi mallilaskelmissa on mukana kaikkien merkittävimpien päästölähteiden tunnetut päästöt ja muualta kulkeutuneiden ilman epäpuhtauksien taustapitoisuus. Laajalle alueelle tehdyn leviämismallinnuksen tuloksia voidaan käyttää alueellisten ilmanlaatuvaikutusten arvioinnissa. Mallilaskelmissa käytettyjen lähtötietojen oikeellisuutta ja mallitulosten edustavuutta on arvioitu vertaamalla mallilaskelmin saatuja tuloksia ilmanlaadun mittaustuloksiin. Tässä työssä pitoisuuksien muodostuminen on laskettu koko Oulun kattavalle alueelle (85 × 80 km), mutta tulokset on esitetty tuloskartoissa pienemmältä Haukiputaan, Kempeleen ja Kiimingin rajaamalta alueelta ja edelleen tarkemmin Oulun keskustan alueelta. Pitoisuudet on laskettu nykytilanteelle, jossa autoliikenteen päästöt edustavat vuotta 2018, teollisuuden ja energiantuotannon päästöt vuotta 2019 ja kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöt vuotta 2015. Kaikista päästöistä käytettiin tuoreinta saatavilla olevaa tietoa.

Leviämismallilaskelmien tuloksina saadut typpidioksidin (NO_2), typen oksidien (NO_x), pienhiukkasten ($PM_{2,5}$), hengitettävien hiukkasten (PM_{10}), rikkidioksidin (SO_2), haisevien rikkiyhdisteiden (TRS) ja bentso(a)pyreenin pitoisuudet on esitetty raportissa havainnollisina karttakuvina, joissa ilman epäpuhtauksia verrataan ilmanlaatulainsäädännössä annettuihin eri tavoilla määriteltyihin vertailuarvoihin (raja-, ohje- ja tavoitearvot, kriittiset tasot ja WHO:n ohjearvot). Karttakuvissa esitetyt pitoisuusjakaumat kuvaavat enimmäispitoisuustasoa ulkoilmassa ihmisten hengityskorkeudella (2 m). Raportin tekstin yhteydessä on esitetty laajemman tarkastelualueen (45 × 40 km) kattavat pitoisuuksien tuloskartat ja raportin liitekuvissa on esitetty lähikuvat Oulun keskustan alueelta (13 × 12 km).

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

Vuosikeskiarvopitoisuus kuvaa alueen keskimääräistä ja vallitsevaa ilman epäpuhtaus-pitoisuustasoa parhaiten. Karttakuvissa esitetyt vuosikeskiarvopitoisuudet kuvaavat kolmen vuoden tarkastelujakson (vuodet 2017–2019) korkeinta vuosikeskiarvoa kussakin laskentapisteessä. Hetkelliset pitoisuudet voivat nousta vuosikeskiarvopitoisuuksia huomattavasti korkeammiksi. Mallinnettuihin lyhytaikaispitoisuuksiin sisältyy enemmän epävarmuutta kuin vuosikeskiarvopitoisuuksiin ja lyhytaikaispitoisuuksien aluejakaumaan vaikuttavat voimakkaammin yksittäiset meteorologiset tilanteet. Karttakuvissa esitetyt vuorokausiohjearvoon verrannolliset pitoisuudet kuvaavat kolmen vuoden tarkastelujakson (vuodet 2017–2019) korkeinta vuorokausiohjearvoon verrannollista pitoisuutta kussakin laskentapisteessä.

Taustapitoisuutena käytettiin Ilmatieteen laitoksen Kuusamon Juumassa ja Kittilän Matorovalla sijaitsevien taustailmanlaadun mittausasemien tuloksia. Tarkastelujaksolla 2017–2019 typen oksidien taustapitoisuuden vuosikeskiarvo oli 1,2 µg/m³, rikkidioksidin 0,7 µg/m³, pienhiukkasten 2,1 µg/m³ ja otsonin 59 µg/m³ (*Ilmatieteen laitos, 2021*). Kaupunkialueilla tai taajamissa paikalliset päästölähteet nostavat pitoisuudet taustapitoisuustasoa korkeammiksi.

2.1 Typpidioksidi- (NO_2) ja typenoksidipitoisuudet (NO_x)

Korkeimmat typpidioksidipitoisuudet esiintyvät Oulun keskustassa, keskustan sisääntuloväylien varsilla ja risteysalueilla sekä Pohjantien (E8) varrella. Autoliikenteen päästöillä on merkittävin vaikutus typpidioksidin pitoisuustasoihin. Pitoisuudet pienenevät selvästi, kun etäisyys liikenneväylistä kasvaa. Hetkelliset typpidioksidipitoisuudet ovat korkeimmillaan ruuhka-aikaan liikennemäärien ollessa suurimmillaan ja erityisesti tyyninä ja kylminä talvipäivinä, jolloin ilman sekoittuminen on heikkoa. Pitoisuudet pienentyvät nopeasti etäisyyden kasvaessa liikenneväylistä.

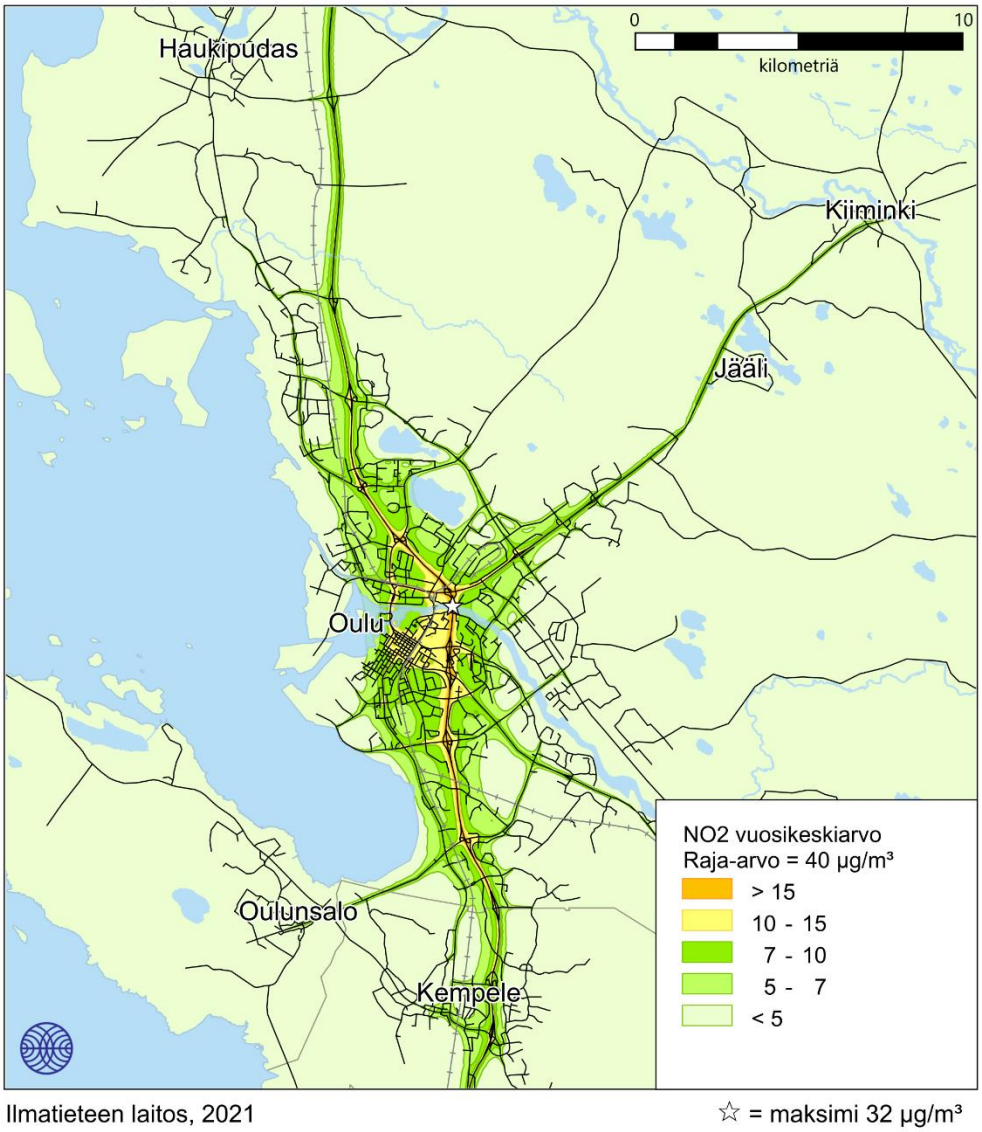
2.1.1 Kaikki päästölähteet

Taulukossa 1 on esitetty leviämismallilaskelmien tuloksena saadut korkeimmat typpidioksidin raja- ja ohjearvoihin verrannolliset pitoisuudet Oulussa vuonna 2019. Korkeimmat pitoisuudet on esitetty päästölähteittäin ja kaikkien päästölähteiden yhteisvaikutuksena. Oulun autoliikenteen, energiantuotannon, teollisuuden ja kiinteistökohtaisen lämmityksen vuoden 2019 päästöjen sekä alueellisen taustapitoisuuden yhdessä aiheuttama typpidioksidin vuosikeskiarvopitoisuus on esitetty kuvassa 1. Typpidioksidin kokonaispitoisuudet on esitetty lisäksi raportin lopussa liitekuvissa 1–2.

Typpidioksidipitoisuuden vuosi- ja tuntiraja-arvot alittuvat kaikkialla Oulussa. Raja-arvot eivät ole voimassa risteysalueilla tai liikenneväylillä. Korkeimmillaan typpidioksidipitoisuuden vuosikeskiarvo on Pohjantien varrella Oulujoen kohdalla 32 µg/m^3 (raja-arvo 40 µg/m^3). Vuosikeskiarvopitoisuus on suurimpien teiden varsilla ja vilkkaasti liikennöidyillä risteysalueilla yli 15 µg/m^3. Oulun keskustan alueella pitoisuustaso on noin 7–15 µg/m^3. Oulun asuinalueilla ja Kempeleessä vuosikeskiarvopitoisuus on noin 5–10 µg/m^3. Haukiputaan, Kiimingin ja Oulunsalon taajamissa ja niiden ulkopuolella typpidioksidipitoisuudet ovat enää vain hiukan taustapitoisuutta suurempia.

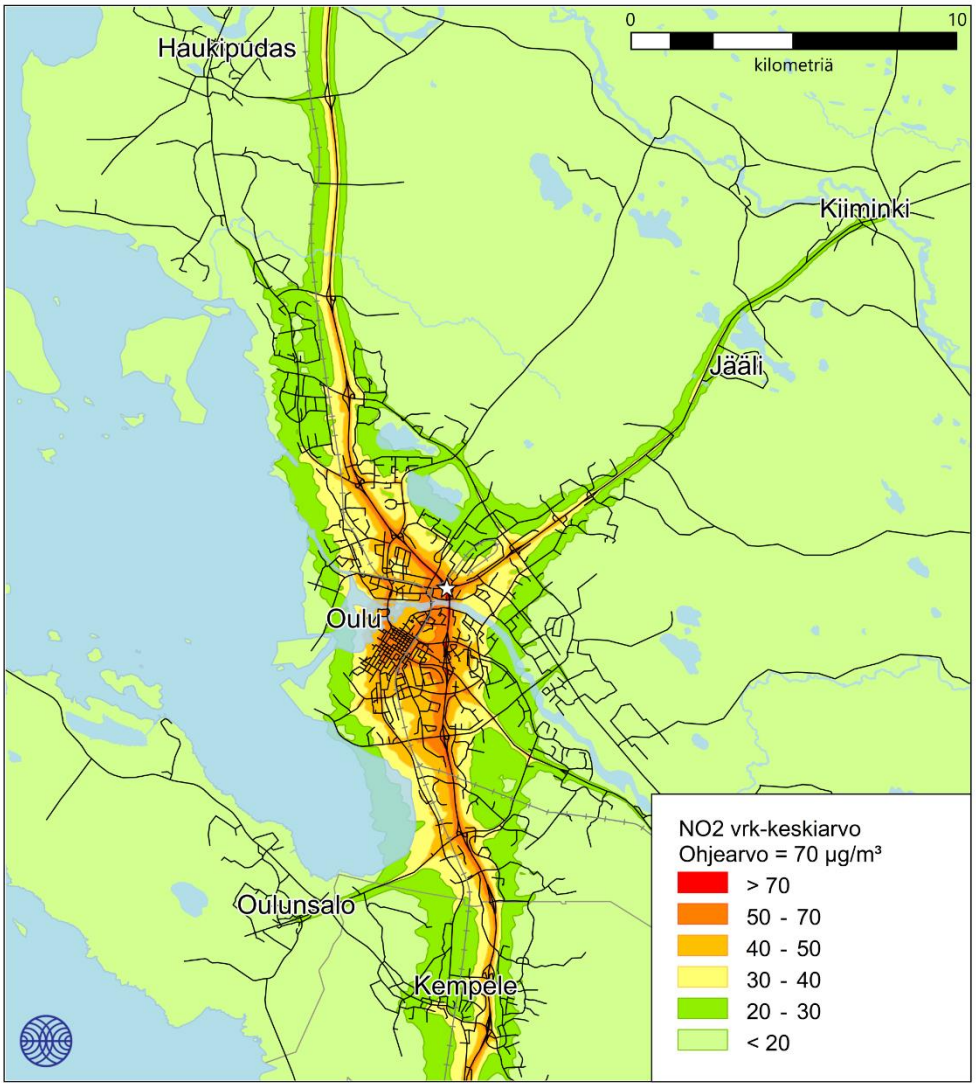
Taulukko 1. Eri päästölähteiden aiheuttamat korkeimmat mallinnetut typpidioksidipitoisuudet (µg/m³) Oulussa vuonna 2019. Korkeimmat arvot esiintyvät eri laskentapisteissä eri puolilla tutkimusaluetta. Raja- ja ohjearvon ylitykset on lihavoitu.

NO_2 2019 (µg/m³)	Ohje- tai raja-arvo	Auto-liikenne	Energian-tuotanto ja teollisuus	Kiinteistö-kohtainen lämmitys	Tausta-pitoisuus	Kaikki yhteensä
Vuosikeskiarvo	40	30	0,2	0,3	1,2	32
Vuorokausiohjearvo	70	**85**	2,6	3,6	1,5	**88**
Tuntiraja-arvo	200	148	8,7	10,3	1,6	152
Tuntiohjearvo	150	146	9,4	12,2	1,5	**151**



Kuva 1. Autoliikenteen, energiantuotannon, teollisuuden ja kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen sekä typen oksidien alueellisen taustapitoisuuden (vuosikeskiarvona 1,2 µg/m³) yhdessä aiheuttama typpidioksidin (NO_2) korkein vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) Oulussa vuonna 2019.

Oulun vuoden 2019 kaikkien päästölähteiden ja alueellisen taustapitoisuuden yhdessä aiheuttama korkein typpidioksidin vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus on esitetty kuvassa 2 ja liitekuvissa 9–10. Hetkelliset typpidioksidipitoisuudet voivat nousta vuosikeskiarvopitoisuuksia huomattavasti korkeammiksi. Leviämismallilaskelmien mukaan typpidioksidin vuorokausiohjearvoon (70 µg/m^3) verrannolliset pitoisuudet ylittävät epäedullisissa meteorologisissa olosuhteissa ohjearvotason paikoitellen Pohjantien ja kaupungin sisääntuloväylien varsilla. Korkeimmillaan pitoisuudet ovat Pohjantien ja Kuusamontien risteysalueella. Oulun keskustan alueella typpidioksidin vuorokausiohjearvoon verrannolliset pitoisuudet ovat noin 40–60 µg/m³, Kempeleessä noin 20–40 µg/m³ ja muissa alueen taajamissa alle 20 µg/m³. Pitoisuudet pienentyvät nopeasti etäisyyden kasvaessa vilkkaimmista liikenneväylistä.

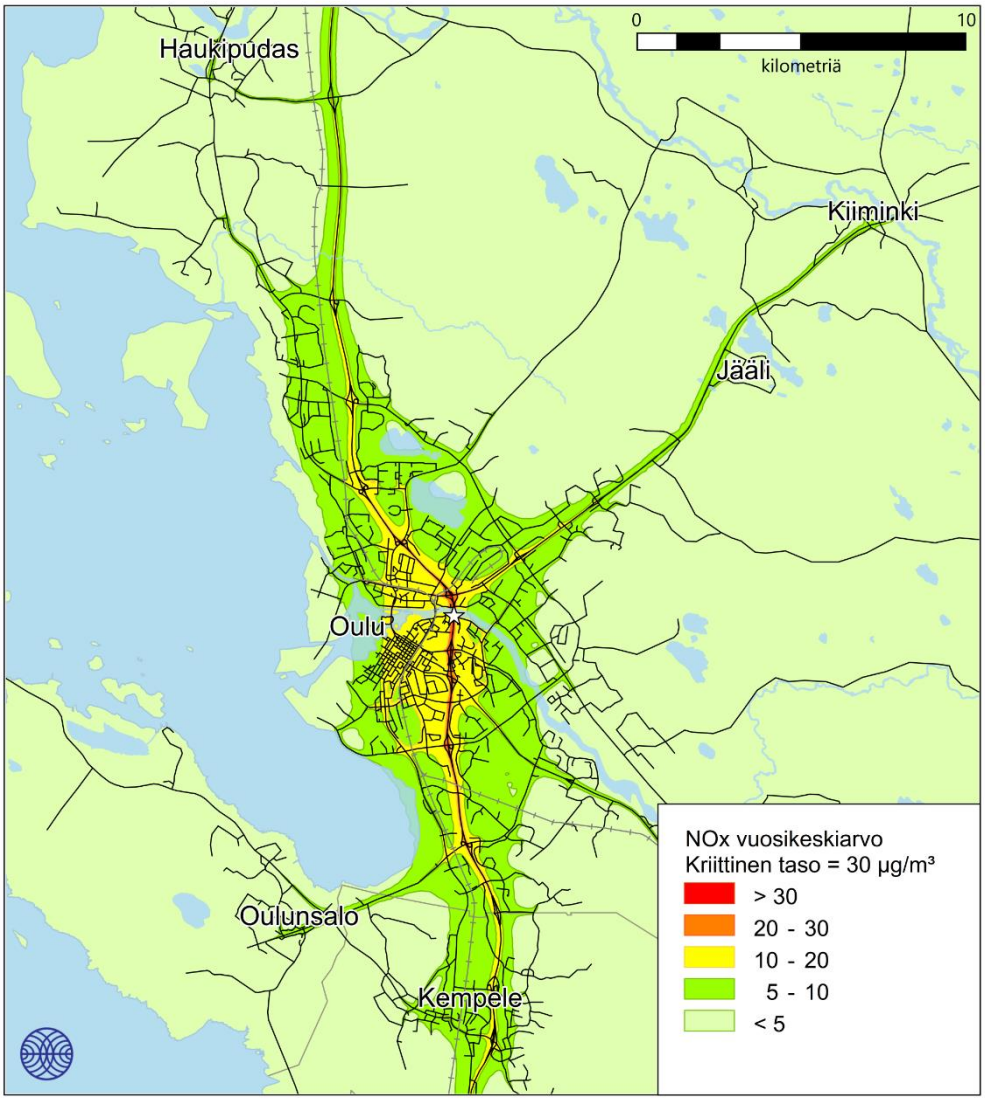


Kuva 2. Autoliikenteen, energiantuotannon, teollisuuden ja kiinteistökohtaisen lämmityksen sekä typen oksidien alueellisen taustapitoisuuden (vuosikeskiarvona 1,2 µg/m³) yhdessä aiheuttama typpidioksidin vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³) Oulussa vuonna 2019.

Taulukossa 2 on esitetty leviämismallilaskelmien tuloksena saadut korkeimmat typen oksidien kriittiseen tasoon (30 µg/m³) verrannolliset pitoisuudet Oulussa vuonna 2019. Korkeimmat pitoisuudet on esitetty päästölähteittäin ja kaikkien päästölähteiden yhteisvaikutuksena. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden aiheuttama typen oksidien vuosikeskiarvopitoisuus Oulussa on esitetty kuvassa 3 ja liitekuvissa 17–18. Typenoksidipitoisuuksille annettua kriittistä tasoa sovelletaan rakennetun ympäristön ulkopuolella olevilla laajoilla maa- ja metsätalousalueilla sekä luonnonsuojelun kannalta merkityksellisillä alueilla. Typen oksidien pitoisuudet alittavat kriittisen tason Oulun keskusta-alueen liikenneväylien ulkopuolella. Rakennetun ympäristön ulkopuolella typen oksidien vuosikeskiarvopitoisuus on kaikkialla alle 5 µg/m³.

Taulukko 2. Eri päästölähteiden aiheuttamat korkeimmat mallinnetut typen oksidien pitoisuudet (µg/m³) Oulussa vuonna 2019. Korkeimmat arvot esiintyvät eri laskentapisteissä eri puolilla tutkimusaluetta. Kriittisen tason ylitykset on lihavoitu.

NO_x 2019 (µg/m³)	Ohje- tai raja-arvo	Auto-liikenne	Energian-tuotanto ja teollisuus	Kiinteistö-kohtainen lämmitys	Tausta-pitoisuus	Kaikki yhteensä
Vuosikeskiarvo	30	**46**	1,0	1,6	1,2	**48**



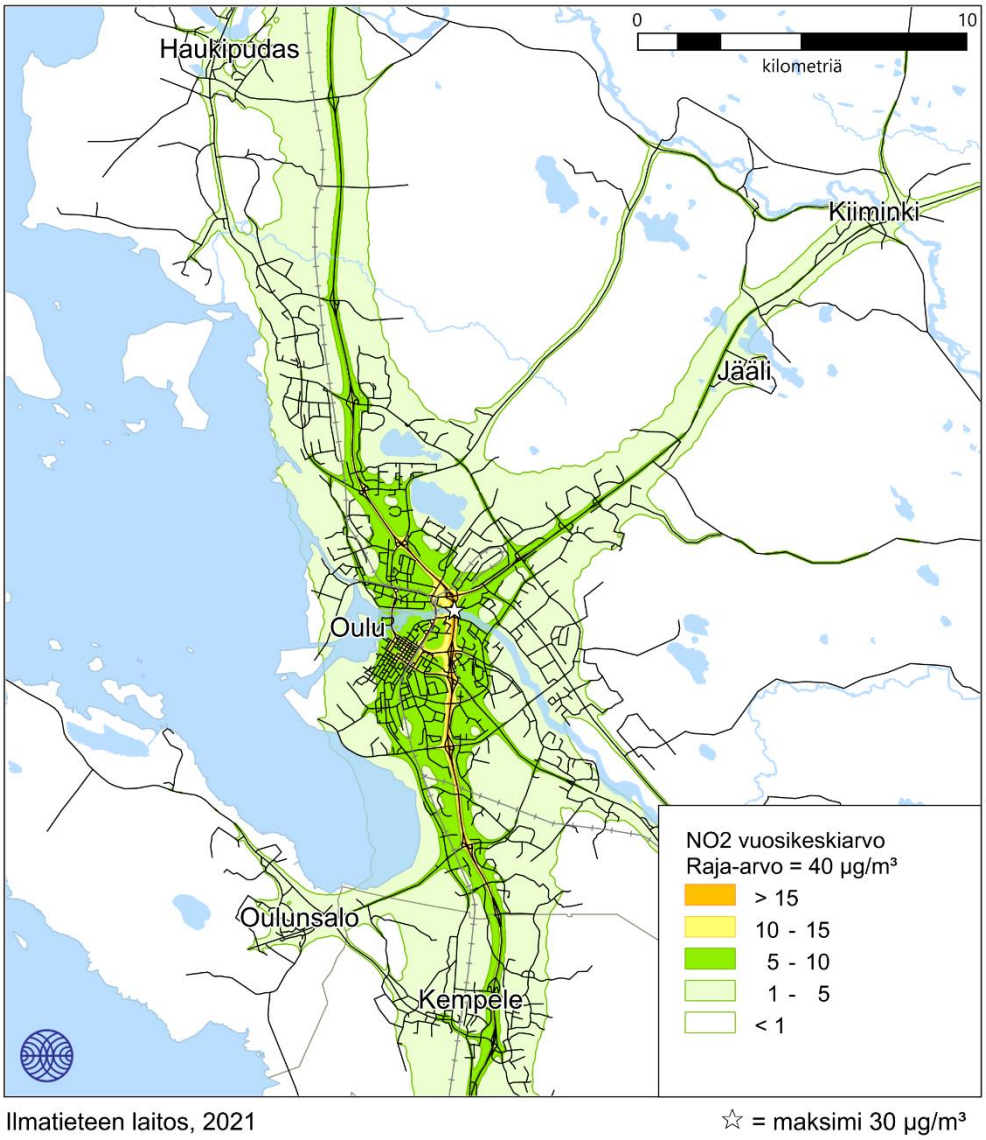
Kuva 3. Autoliikenteen, energiantuotannon, teollisuuden ja kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen sekä typen oksidien alueellisen taustapitoisuuden (vuosikeskiarvona 1,2 µg/m³) yhdessä aiheuttama typen oksidien (NOx) korkein vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) Oulussa vuonna 2019.

2.1.2 Autoliikenne

Leviämismallilaskelmien tuloksena saadut autoliikenteen vuoden 2018 päästöjen aiheuttamat korkeimmat typpidioksidipitoisuudet Oulussa on esitetty kuvassa 4 ja liitekuvissa 3–4.

Typpidioksidipitoisuuden raja-arvot alittuvat koko tarkastelualueella. Pitoisuudet ovat korkeimmillaan Pohjantien varrella moottoritien osuudella, jossa liikennemäärä on suuri (60 000 ajoneuvoa/vrk). Autoliikenteen päästöjen yksinään aiheuttama typpidioksidipitoisuuden vuosikeskiarvo on Oulun keskustan vilkkaimpien teiden varsilla 10–15 µg/m^3. Asuinalueilla ja taajamissa autoliikenteen vaikutus typpidioksidipitoisuuksiin on noin 1–10 µg/m^3 riippuen etäisyydestä suurimpiin väyliin.

Autoliikenteen päästöjen aiheuttamat korkeimmat vuorokausiohjearvoon verrannolliset typpidioksidipitoisuudet ylittävät vuorokausiohjearvon (70 µg/m^3) ajoittain Pohjantien varrella (liitekuvat 11–12). Ohjearvon ylitysalueet ovat pinta-alaltaan vain hieman pienempiä kuin kaikkien päästölähteiden yhdessä aiheuttamien typpidioksidipitoisuuksien ylitysalueet, mikä kertoo siitä, että autoliikenteen päästöillä on keskusta-alueella suurin vaikutus typpidioksidin pitoisuuksiin.

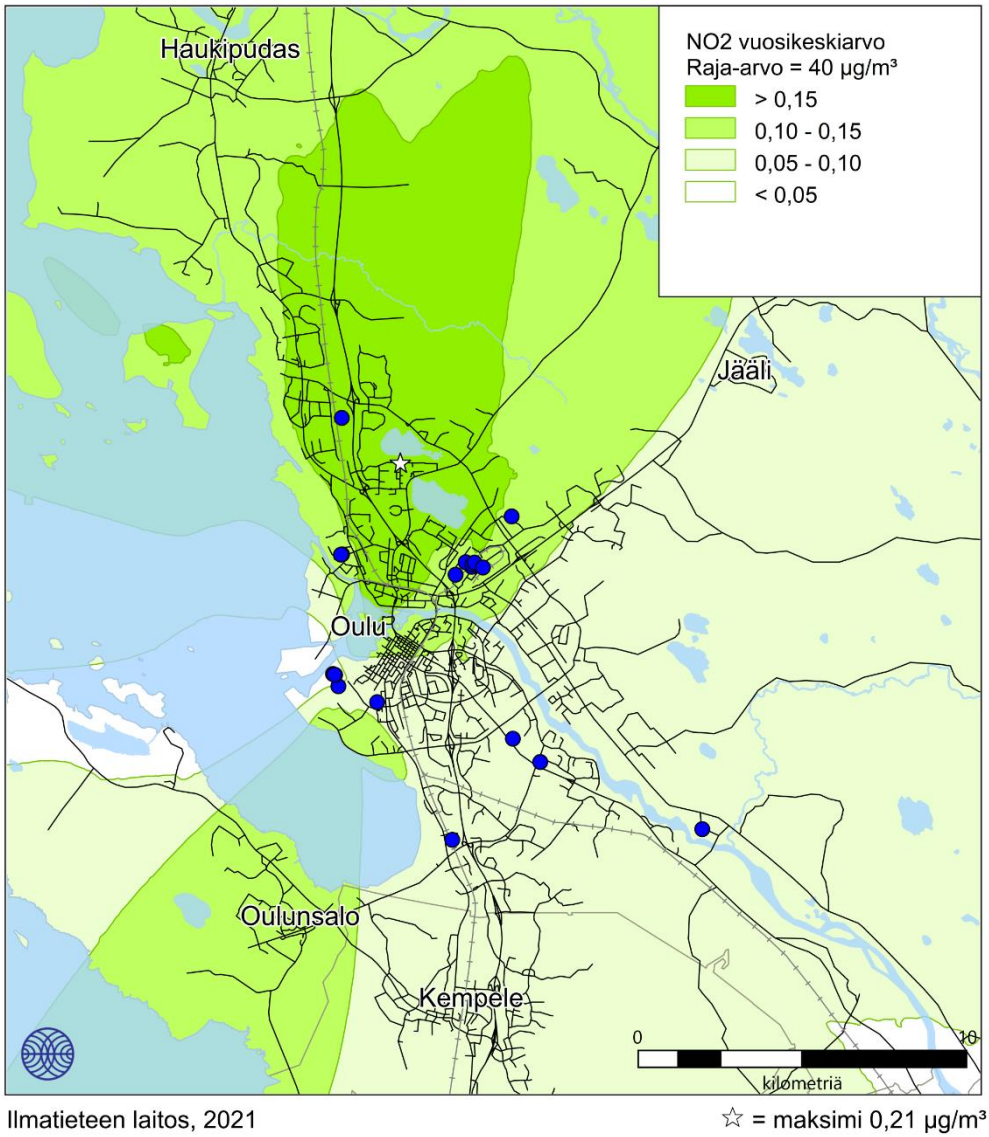


Kuva 4. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama typpidioksidin korkein vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) Oulussa vuonna 2018 ilman alueellista taustapitoisuutta.

2.1.3 Energiantuotanto ja teollisuus

Leviämismallilaskelmien tuloksena saadut energiantuotannon ja teollisuuden vuoden 2019 päästöjen aiheuttamat korkeimmat typpidioksidipitoisuudet Oulussa on esitetty kuvassa 5 ja liitekuvissa 5–6. Tulosten mukaan laitosten yhdessä aiheuttama typpidioksidin vuosikeskiarvopitoisuus on korkeimmillaan 0,21 µg/m^3. Pitoisuudet ovat suurimmillaan Oulujoen pohjoispuoleisella alueella. Laitosten aiheuttamat typpidioksidipitoisuudet muodostuvat hengityskorkeudella hyvin pieniksi, vaikka laitokset tuottavat merkittävän osan (60 %) Oulun typenoksidipäästöistä. Valtaosa päästöistä vapautuu korkeista piipuista, jolloin ne leviävät ja laimenevat tehokkaasti heikentämättä ilmanlaatua.

Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttamat korkeimmat vuorokausiohjearvoon verrannolliset typpidioksidipitoisuudet ovat korkeimmillaan 2,6 µg/m^3 (liitekuvat 13–14).



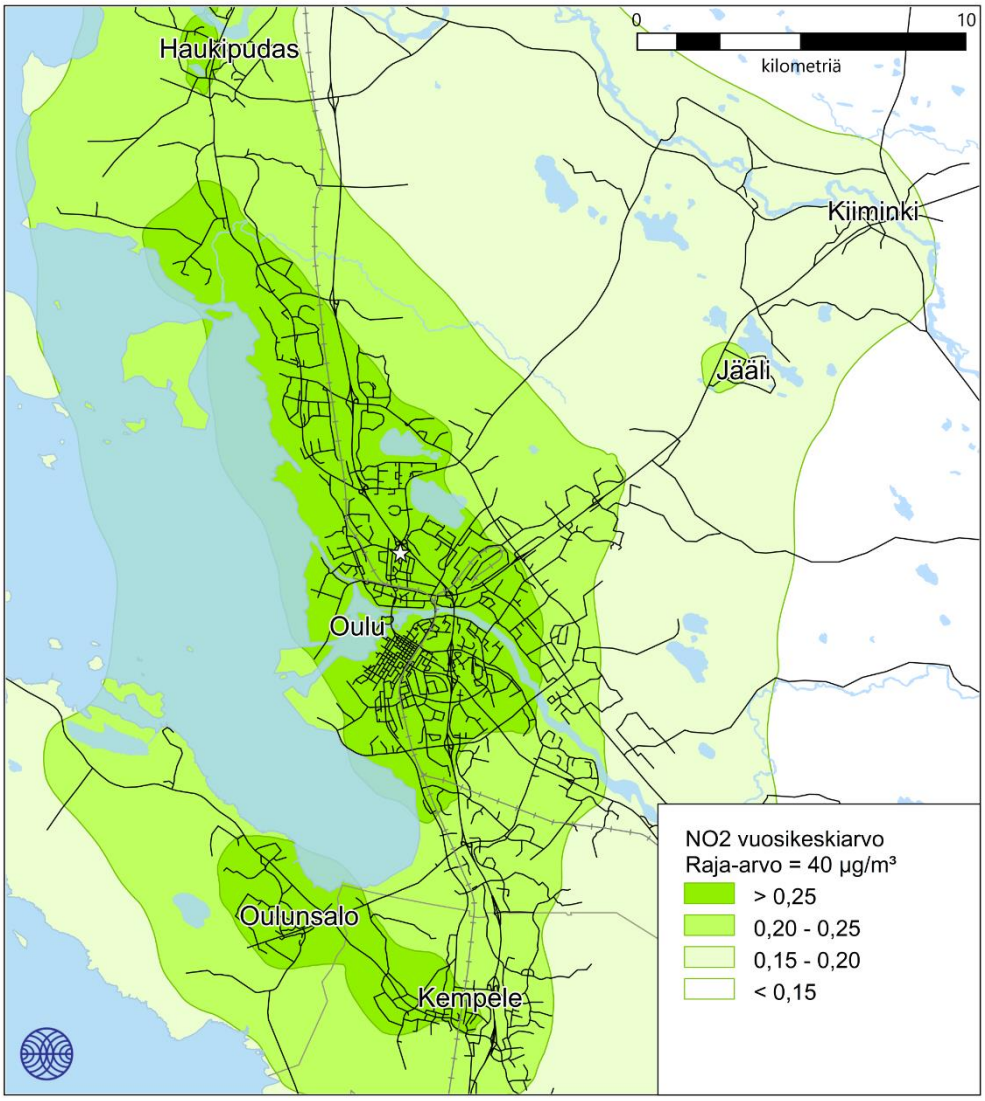
Kuva 5. Energiantuotannon ja teollisuuden vuoden 2019 päästöjen aiheuttama typpidioksidin korkein vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) ilman alueellista taustapitoisuutta. Siniset pisteet kuvaavat mallinnuksessa mukana olleita energiantuotanto- tai teollisuuslaitoksia.

2.1.4 Kiinteistökohtainen lämmitys

Leviämismallilaskelmien tuloksena saadut kiinteistökohtaisen lämmityksen vuoden 2015 päästöjen aiheuttamat korkeimmat typpidioksidipitoisuudet Oulussa on esitetty kuvassa 6 sekä liitekuvissa 7–8.

Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttamat typpidioksidipitoisuudet ovat suurimmillaan pientaloalueilla eli lähellä päästölähteitä. Typpidioksidin vuosikeskiarvopitoisuus on suurimmillaan 0,3 µg/m^3 Välivainion asuinalueella. Pienpolton vaikutus typpidioksidipitoisuuksiin on vähäinen ja pitoisuuksia kohottavat lähinnä omakotitalojen öljylämmitys ja lisälämmitys kuten takat.

Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttamat typpidioksidipitoisuuksien vuorokausiohjearvoon verrannolliset pitoisuudet ovat korkeimmillaan 3,6 µg/m^3 (liitekuvat 15–16).



Kuva 6. Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttama typpidioksidin korkein vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) Oulussa vuonna 2015 ilman alueellista taustapitoisuutta.

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

Kaukokulkeumalla eli alueelle muualta kulkeutuneilla hiukkasilla on merkittävä vaikutus pienhiukkasten pitoisuustasoihin Suomessa ja korkeimmat pienhiukkaspitoisuudet havaitaankin yleensä kaukokulkeumaepisodien aikana. Merkittävä vaikutus Oulun pienhiukkaspitoisuustasoihin on taustapitoisuudella, joka on alueella vuositasolla noin 2 µg/m^3. Paikalliset päästölähteet aiheuttavat vuositasolla muutamien mikrogrammojen suuruisen lisän taustapitoisuuksiin. Suurimmat pienhiukkaspitoisuudet esiintyvät kaupunkia halkovan Pohjantien (E8) varrella. Vilkkaimpien teiden varsilla liikenteen päästöillä on selvä vaikutus pienhiukkasten pitoisuustasoihin. Asuinalueilla pientalojen puulämmityksellä puolestaan on paikallisesti liikennepäästöjäkin merkittävämpi vaikutus pienhiukkaspitoisuuksiin.

2.2.1 Kaikki päästölähteet

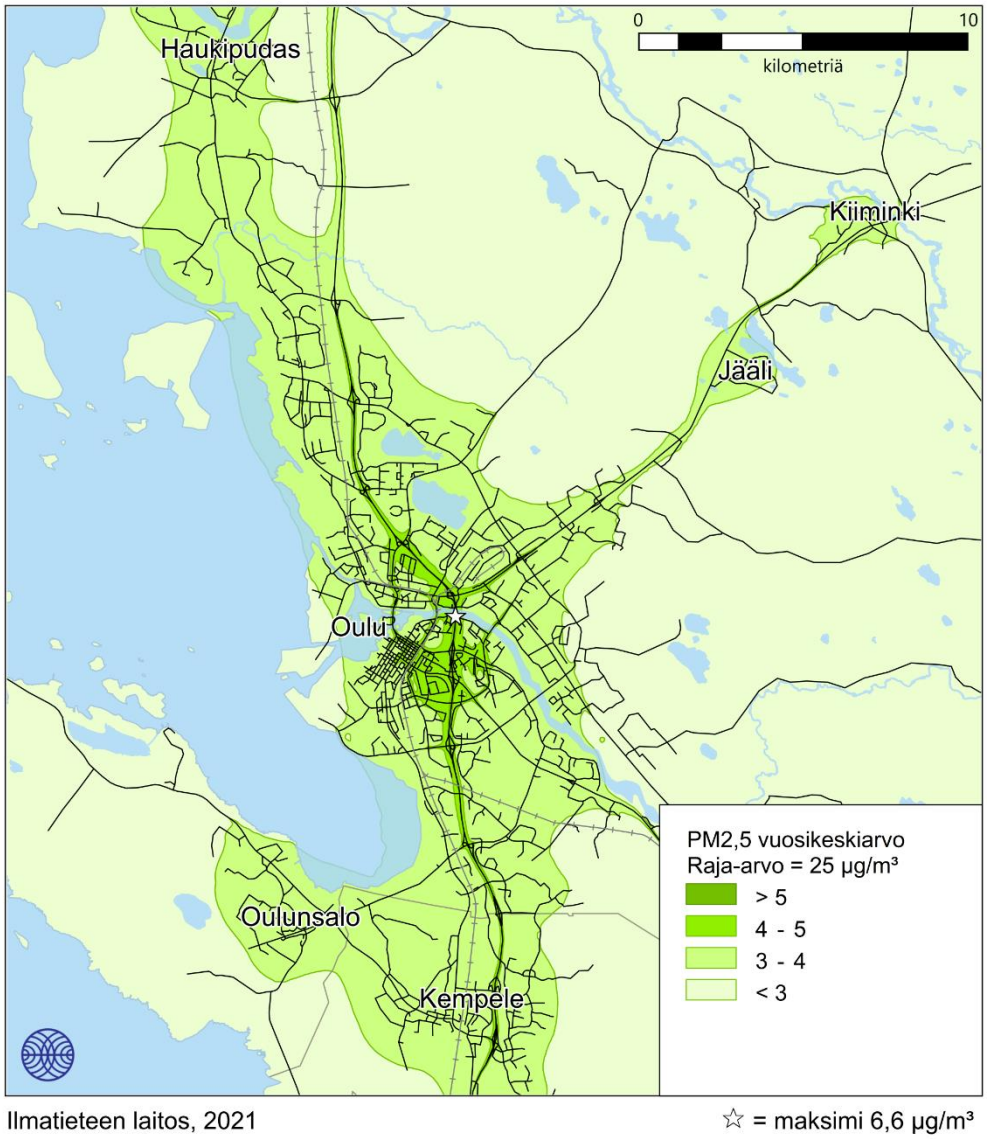
Taulukossa 3 on esitetty leviämismallilaskelmien tuloksena saadut korkeimmat pienhiukkasten raja-arvoon ja WHO:n ohjearvoihin verrannolliset pitoisuudet Oulussa vuonna 2019. Korkeimmat pitoisuudet on esitetty päästölähteittäin ja kaikkien päästölähteiden yhteisvaikutuksena. Oulun autoliikenteen, energiantuotannon, teollisuuden ja kiinteistökohtaisen lämmityksen vuoden 2019 päästöjen sekä alueellisen taustapitoisuuden yhdessä aiheuttama pienhiukkasten vuosikeskiarvopitoisuus on esitetty kuvassa 7. Pienhiukkasten kokonaispitoisuudet on esitetty lisäksi raportin lopussa liitekuvissa 19–20.

Mallinnetut pienhiukkasten vuosikeskiarvopitoisuudet alittavat selvästi vuosiraja-arvon 25 µg/m³ ja WHO:n vuosiohjearvon 10 µg/m³ koko Oulussa. Pienhiukkaspitoisuuksien alueellinen vaihtelu on vähäistä, koska suuri osa (noin 2 µg/m^3) kokonaispitoisuudesta on muualta kulkeutuneita hiukkasia eli taustapitoisuutta. Taustapitoisuus vaikuttaa lähes koko tarkastelualueella eniten mallinnettuihin pienhiukkasten kokonaispitoisuuksiin ja lähipäästöjen vaikutus on vähäisempi. Autoliikenne, energiantuotanto, teollisuus ja kiinteistökohtainen lämmitys vaikuttavat pitoisuuksiin paikallisesti ja kunkin vaikutus on suurimmillaan lähellä päästölähteitä. Pienhiukkaspitoisuuden vuosikeskiarvo on suurimmillaan Pohjantien varrella yli 5 µg/m^3. Pohjantien varrella olevilla pientaloalueilla (esim. Karjasilta ja Välivainio), joihin vaikuttavat sekä autoliikenteen että pienpolton hiukkaspäästöt, pitoisuustaso on 4–5 µg/m^3. Muilla Oulun asuinalueilla sekä Haukiputaan, Kiimingin, Oulunsalon ja Kempeleen taajamissa vuosipitoisuustaso on noin 3–4 µg/m^3. Taajamien ulkopuolella pienhiukkaspitoisuudet ovat enää vain hiukan taustapitoisuutta suurempia. Korkeimmillaan pienhiukkasten vuosikeskiarvopitoisuus on 6,6 µg/m^3, alittaen selvästi kansallisen altistuksen vähentämistavoitteen 8,5 µg/m^3.

Taulukko 3. Eri päästölähteiden aiheuttamat korkeimmat mallinnetut pienhiukkaspitoisuudet (µg/m³) Oulussa vuonna 2019. Korkeimmat arvot esiintyvät eri laskentapisteissä eri puolilla tutkimusaluetta. WHO:n ohjearvon ylitykset on lihavoitu.

$PM_{2,5}$ 2019	Ohje- tai raja-arvo	Auto-liikenne	Energian-tuotanto ja teollisuus	Kiinteistö-kohtainen lämmitys	Tausta-pitoisuus	Kaikki yhteensä
Vuosikeskiarvo	25/10*	3,4	0,2	1,6	2,1	6,6
Vuorokausiohjearvo	25*	15	8,6	23	1,5	**28**

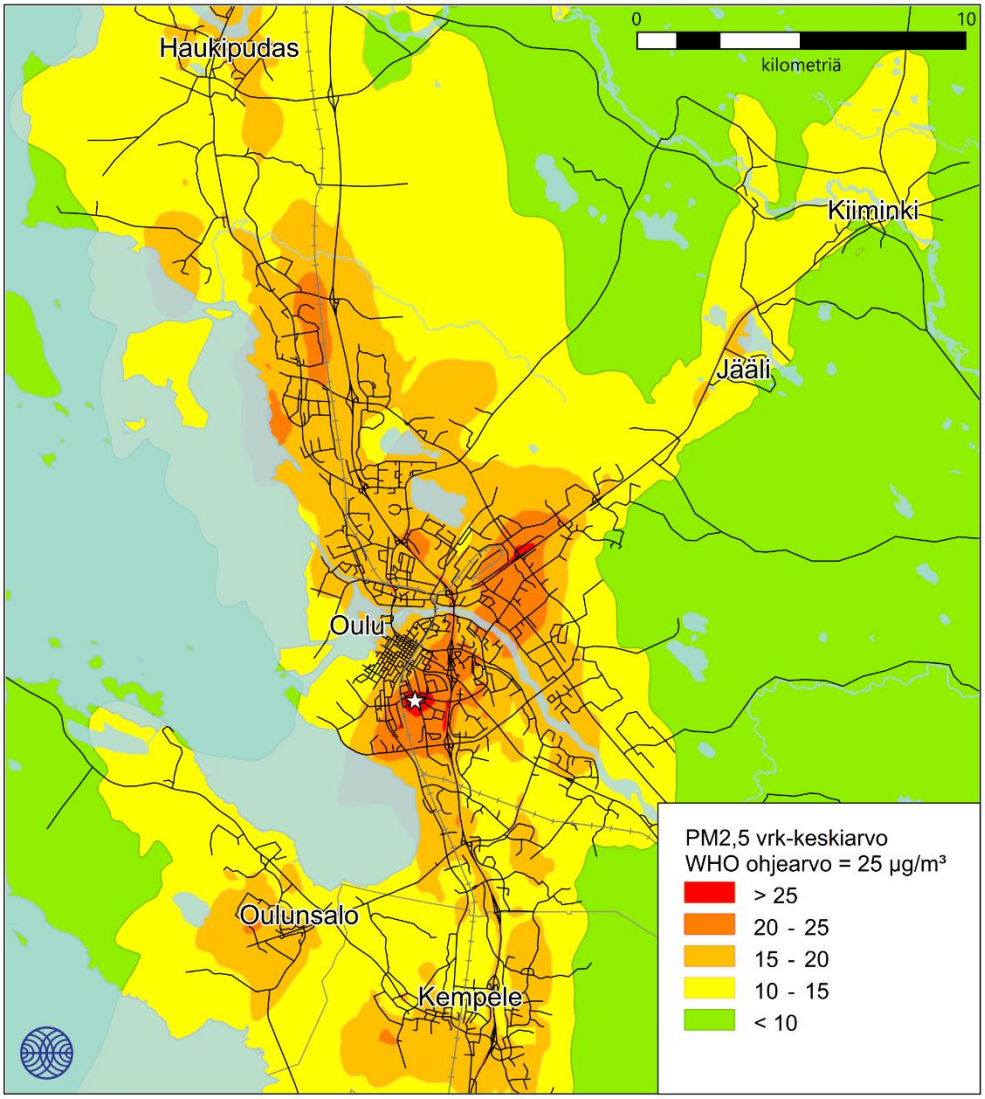
* WHO:n ohjearvo



Kuva 7. Autoliikenteen, energiantuotannon, teollisuuden ja kiinteistökohtaisen lämmityksen sekä alueellisen taustapitoisuuden (vuosikeskiarvona 2,1 µg/m³) yhdessä aiheuttama pienhiukkasten ($PM_{2,5}$) korkein vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) Oulussa vuonna 2019.

Oulun vuoden 2019 kaikkien päästölähteiden ja alueellisen taustapitoisuuden yhdessä aiheuttama korkein pienhiukkasten WHO:n vuorokausiohjearvoon 25 µg/m³ verrannollinen pitoisuus on esitetty kuvassa 8 ja liitekuvissa 27–28. Hetkelliset pienhiukkaspitoisuudet voivat epäedullisissa meteorologisissa olosuhteissa nousta vuosikeskiarvopitoisuuksia huomattavasti korkeammiksi. Leviämismallilaskelmien mukaan korkeimmillaan pienhiukkaspitoisuudet ylittävät WHO:n ohjearvotason Nokelan, Höyhtyän ja Karjasillan pientaloalueilla sekä Pohjantien ja Kuusamontien (Vt 20) varsilla. Lähellä ohjearvoa pitoisuudet ovat useilla vilkkaiden väylien varsilla sijaitsevilla pientaloalueilla, kuten Kynsilehto-Haapalehto-Korvensuora -alueella. Muilla asuinalueilla ja Oulun keskustassa vuorokausiohjearvoon verrannolliset pitoisuudet ovat noin 15–20 µg/m³. Oulun taajamissa ja Kempeleessä pienhiukkasten pitoisuustaso on noin 10–20 µg/m³. Pitoisuudet pienentyvät nopeasti etäisyyden kasvaessa vilkkaimmista liikenneväylistä, pientaloalueilta sekä energiantuotanto- ja teollisuuslaitoksista.

Kaukokulkeumalla on merkittävä vaikutus pienhiukkasten pitoisuuksiin Suomessa ja korkeimmat mitatut pienhiukkasten lyhytaikaispitoisuudet havaitaankin yleensä kaukokulkeumaepisodien aikana. Näissä tilanteissa pienhiukkaspitoisuuden WHO:n vuorokausiohjearvo ylittyy helposti koko Suomessa, jopa puhtailla tausta-alueillakin. Suurimmat pitoisuudet havaitaan yleensä, kun ilmavirtaukset ovat etelän tai idän suuntaisia (mm. Venäjän ja Itä-Euroopan metsä- ja maastopalojen sekä kulotuksen aiheuttamat kohonneet pienhiukkaspitoisuudet).



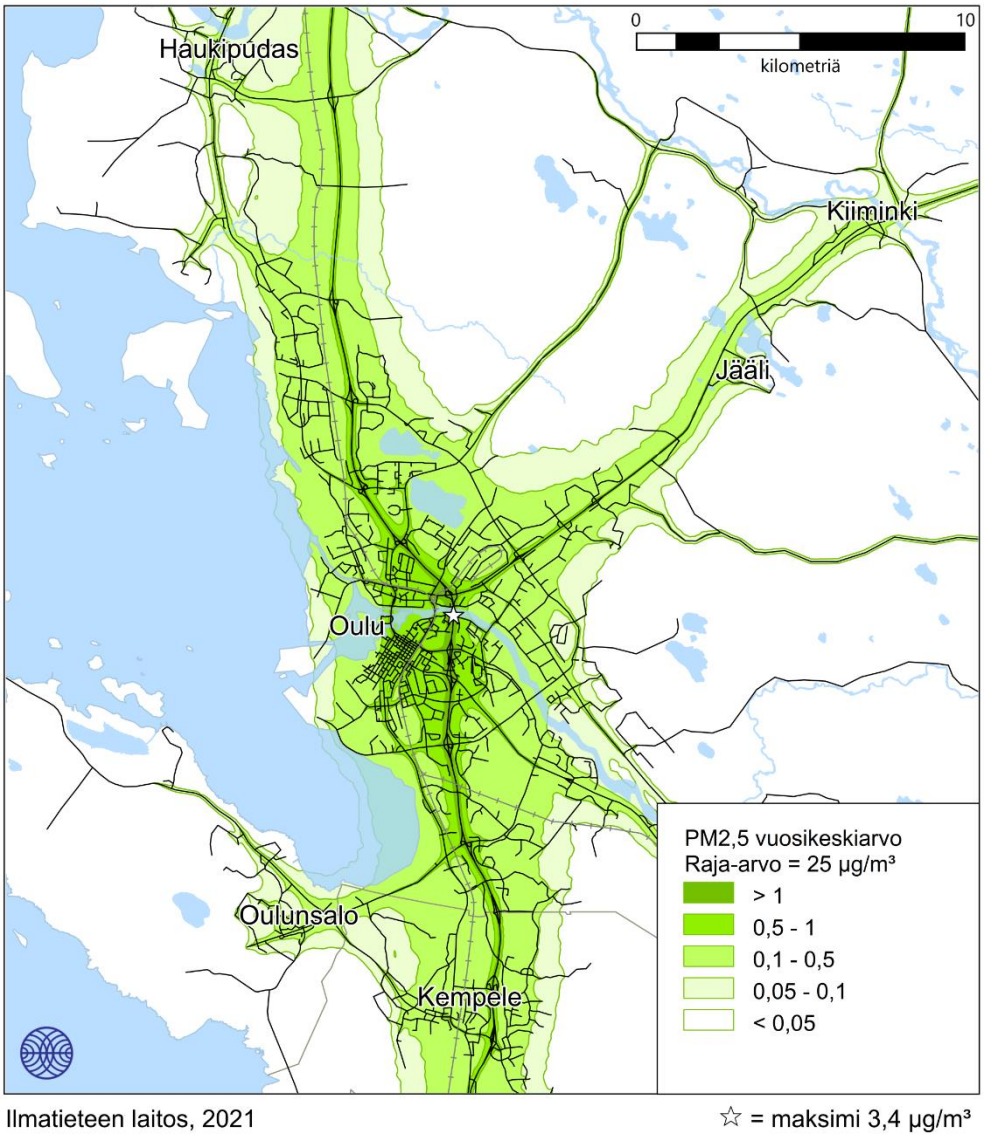
Kuva 8. Autoliikenteen, energiantuotannon, teollisuuden ja kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen sekä alueellisen taustapitoisuuden (vuosikeskiarvona 2,1 µg/m³) yhdessä aiheuttama pienhiukkasten ($PM_{2,5}$) korkein WHO:n vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³) Oulussa vuonna 2019.

2.2.2 Autoliikenne

Leviämismallilaskelmien tuloksena saadut autoliikenteen vuoden 2018 päästöjen aiheuttamat korkeimmat pienhiukkaspitoisuudet Oulussa on esitetty kuvassa 9 sekä liitekuvissa 21–22.

Autoliikenteen päästöjen yksinään aiheuttamat pienhiukkaspitoisuudet ovat korkeimmillaan Pohjantien varrella moottoritien osuudella, jossa liikennemäärä on suuri (60 000 ajoneuvoa/vrk). Pienhiukkaspitoisuuden vuosikeskiarvo on Pohjantien ja Oulun keskustan sisääntuloväylien varsilla sekä keskustan vilkkaimmilla risteysalueilla yli 1 µg/m^3. Asuinalueilla ja taajamissa autoliikenteen aiheuttama lisä pienhiukkaspitoisuuksiin on noin 0,1–1 µg/m^3 riippuen etäisyydestä suurimpiin väyliin. Pitoisuudet pienentyvät nopeasti etäisyyden kasvaessa liikenneväylistä.

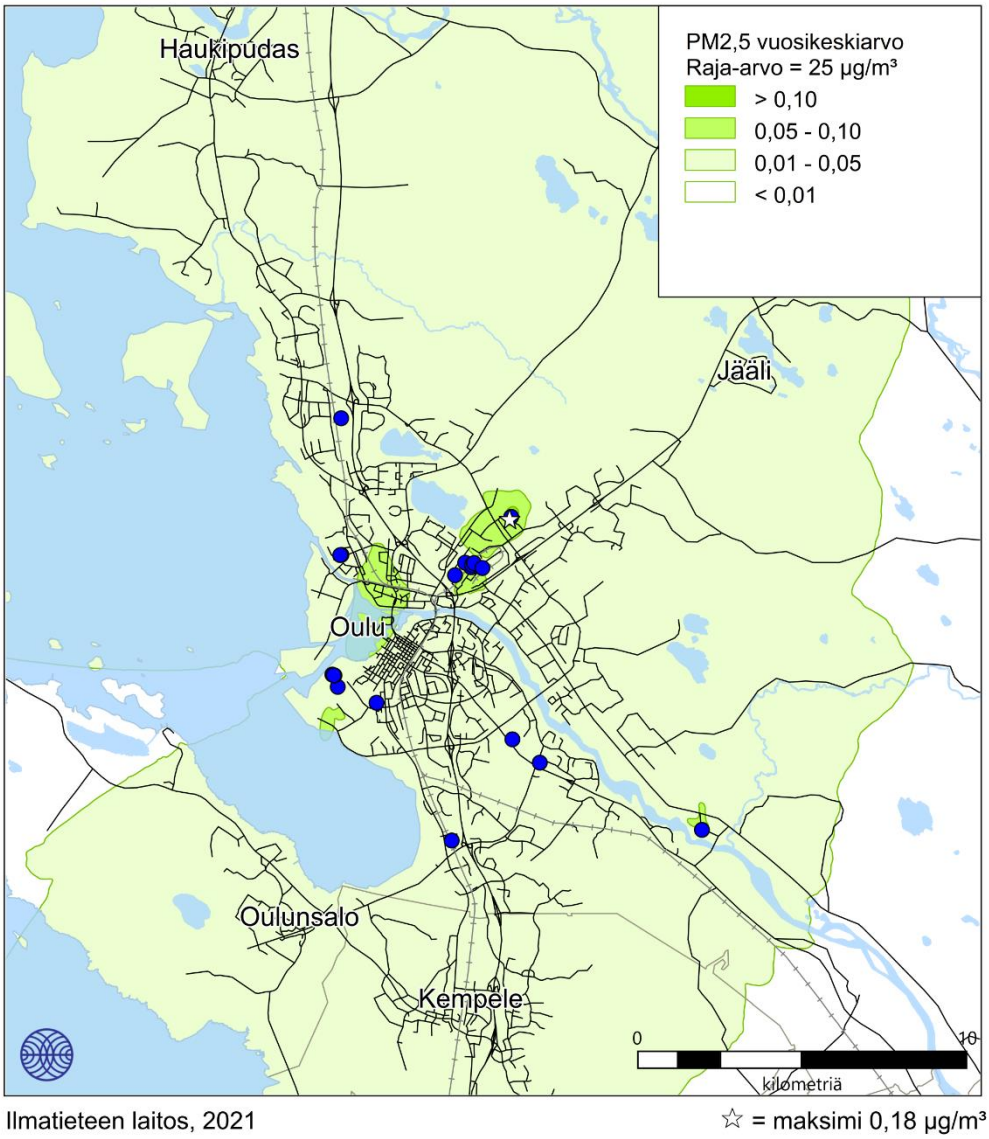
Autoliikenteen vuoden 2018 päästöjen aiheuttamat korkeimmat WHO:n vuorokausiohjearvoon (25 µg/m³) verrannolliset pienhiukkaspitoisuudet ovat moottoritien vilkasliikenteisimmillä osuuksilla ja risteysalueilla yli 10 µg/m³. Oulun keskustan alueella sekä Pohjantien viereisillä asuinalueilla autoliikenteen aiheuttama lisä vuorokausipitoisuuksiin on noin 5–10 µg/m³ (liitekuvat 29–30).



Kuva 9. Autoliikenteen päästöjen yksinään aiheuttama pienhiukkasten korkein vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) Oulussa vuonna 2019 ilman alueellista taustapitoisuutta.

2.2.3 Energiantuotanto ja teollisuus

Leviämismallilaskelmien tuloksena saadut energiantuotannon ja teollisuuden laitosten vuoden 2019 päästöjen aiheuttamat korkeimmat pienhiukkasten vuosikeskiarvopitoisuudet Oulussa on esitetty kuvassa 10 ja liitekuvissa 23–24. Tulosten mukaan laitosten aiheuttama vaikutus Oulun pienhiukkaspitoisuuksiin hengityskorkeudella on hyvin pieni. Tulosten perusteella pienhiukkasten vuosikeskiarvopitoisuus on lähes koko tarkastelualueella alle 0,1 µg/m^3. Suurimmat pitoisuudet keskittyvät Ruskon teollisuusalueelle, jossa etenkin Peab Industri Oy:n asfalttiaseman matala (15 m) piipun korkeus kohottaa alueen pienhiukkaspitoisuuksia. Pitoisuudet jäävät kuitenkin tälläkin alueella merkittävästi pienemmiksi kuin autoliikenteen tai kiinteistökohtaisen lämmityksen aiheuttamat pienhiukkaspitoisuudet.



Kuva 10. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttama pienhiukkasten korkein vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) Oulussa vuonna 2019 ilman alueellista taustapitoisuutta. Siniset pisteet kuvaavat tarkastelussa mukana olleita energiantuotanto- tai teollisuuslaitoksia.

Energiantuotannon ja teollisuuden vuoden 2019 päästöjen aiheuttamat korkeimmat WHO:n vuorokausiohjearvoon verrannolliset pienhiukkaspitoisuudet on esitetty liitekuvissa 31–32. Korkeimmat WHO:n vuorokausiohjearvoon verrannolliset korkeimmat pitoisuudet sijoittuvat Peab

Industri Oy:n asfalttiaseman sekä Adven Oy Fermion lämpökeskuksen ympäristöön Oulun kaakkoisosassa, jossa korkein mallinnettu vuorokausipitoisuus on 8,6 µg/m^3. Molemmissa laitoksissa piipun korkeus on 15 m, jolloin hiukkaspäästöt eivät pääse leviämaan kovin kauas ja suurimmat pitoisuudet havaitaan laitosten lähiympäristössä.

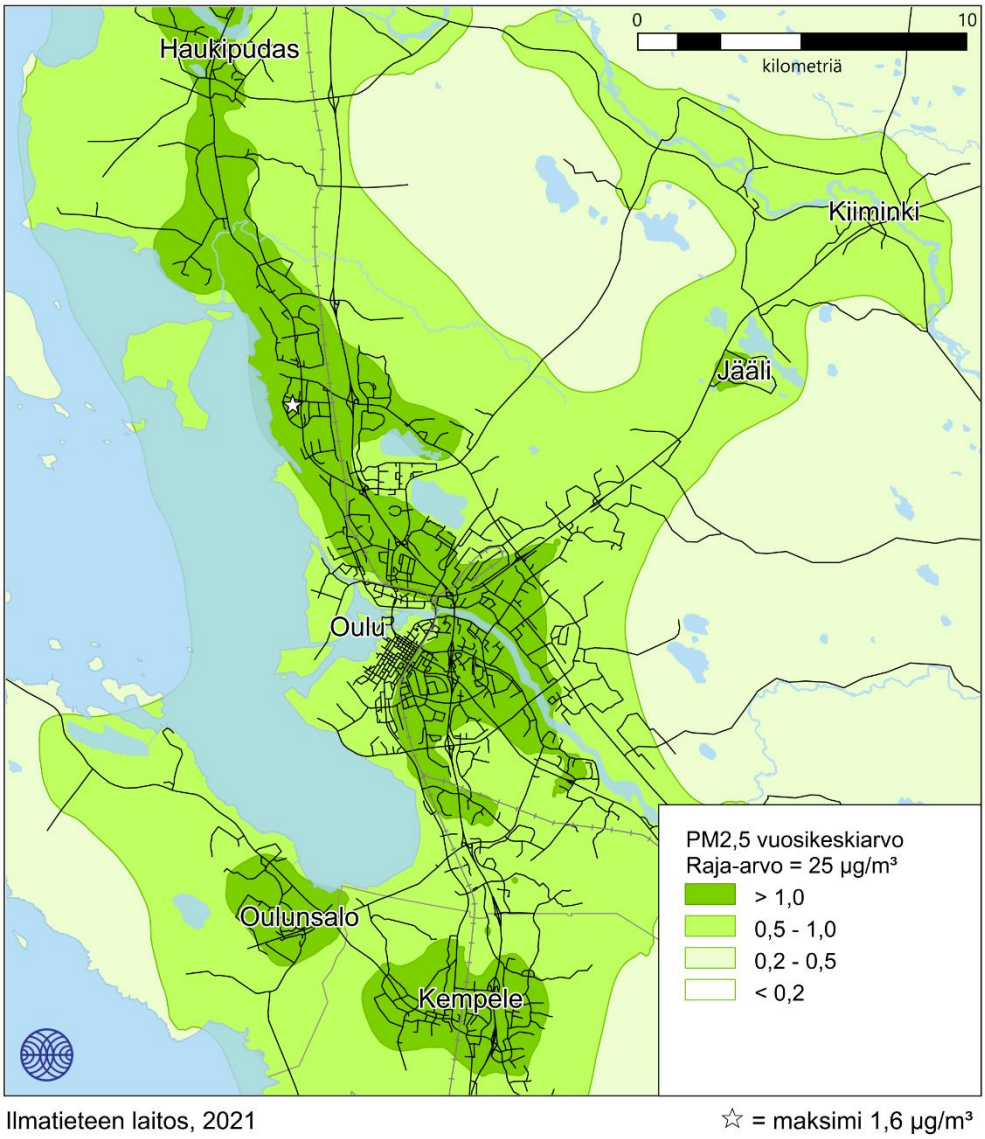
Pääsääntöisesti teollisuuden ja energiantuotannon päästöjen vaikutus pienhiukkaspitoisuuksiin on pieni, vaikka päästömäärät ovat huomattavia (kts. kpl 5.1). Päästöt vapautuvat useimmiten korkeista piipuista, jolloin ne leviävät ja laimenevat tehokkaasti eivätkä heikennä ilmanlaatua hengityskorkeudella. Teollisuuden ja energiantuotannon pienhiukkasten pitoisuustuloksia tarkasteltaessa on huomioitava, että mallilaskelmissa on otettu huomioon ainoastaan piipuista ja poistohormeista vapautuvat päästöt. Mallissa ei ole otettu huomioon erilaisista hajapäästölähteistä vapautuvia hiukkaspäästöjä tai erilaisia pölyäviä toimintoja.

2.2.4 Kiinteistökohtainen lämmitys

Leviämismallilaskelmien tuloksena saadut kiinteistökohtaisen lämmityksen vuoden 2015 päästöjen aiheuttamat korkeimmat pienhiukkasten vuosikeskiarvopitoisuudet Oulussa on esitetty kuvassa 11 ja liitekuvissa 25–26.

Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttamat pienhiukkasten vuosipitoisuudet ovat suurimmillaan Oulun asuinalueilla sekä Kempeleen, Oulunsalon ja Haukiputaan taajamissa. Pienhiukkaspitoisuuksien vuosikeskiarvot ovat korkeimmillaan yli 1 µg/m^3 laajalti asuinalueilla. Suurimmat pienhiukkaspitoisuudet havaitaan Pateniemen pientaloalueella.

Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen yksinään aiheuttamat WHO:n vuorokausiohjearvoon (25 µg/m^3) verrannolliset pienhiukkaspitoisuudet ovat korkeimmillaan 23 µg/m^3, alittaen niukasti ohjearvon (liitekuvat 33–34). Pienhiukkasten vuorokausipitoisuudet ovat korkeimmillaan seuraavilla asuinalueilla: Karjasilta-Höyhtyä-Nokela -alueella, Haapalehto-Kynsilehto- Korvensuora- alueella sekä Pateniemi-Herukka alueella.



Kuva 11. Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttama pienhiukkasten korkein vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) Oulussa vuonna 2015 ilman alueellista taustapitoisuutta.

2.3 Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet (PM_{10})

Oulun alueella merkittävin ilmanlaatua heikentävä tekijä on katupöly eli hengitettävät hiukkaset. Katupölykaudella hengitettävien hiukkasten pitoisuudet kohoavat etenkin vilkkaasti liikennöityjen väylien läheisyydessä. Katupölyä esiintyy keväällä maalis-toukokuussa lumien sulettua ja katujen kuivuttua, sekä loppusyksystä talvirengaskauden alkaessa, ennen lumipeitteen tuloa. Katupölyn ja korkeiden hiukkaspitoisuuksien muodostumiseen voidaan merkittävästi vaikuttaa katujen talvikunnossapidolla, oikea-aikaisella hiekoitushiekan poistolla sekä pölynsidonnalla katupölykaudella. Myös rakennustyömaiden pölyntorjuntaan ja mahdolliseen pölynsidontaan tulee kiinnittää huomiota kaikkina vuodenaikoina.

2.3.1 Kaikki päästölähteet

Taulukossa 4 on esitetty leviämismallilaskelmien tuloksena saadut korkeimmat hengitettävien hiukkasten raja- ja ohjearvoihin verrannolliset pitoisuudet Oulussa vuonna 2019. Korkeimmat pitoisuudet on esitetty päästölähteittäin ja kaikkien päästölähteiden yhteisvaikutuksena. Hengitettävät hiukkaset (hiukkaskokoluokka alle 10 µm) sisältää myös pienhiukkaset (kokoluokka alle 2,5 µm). Hengitettävien hiukkasten kokonaispitoisuuksista energiantuotannon ja teollisuuden päästöt on mallinnettu pienhiukkasina kun taas autoliikenteen ja pienpolton päästöjen hiukkaset on mallinnettu PM_{10}-hiukkasina. Teollisuuden ja energiantuotannon osalta mallilaskelmissa on otettu huomioon ainoastaan piipuista ja poistohormeista vapautuvat päästöt, eikä laskelmissa ole huomioitu erilaisista hajapäästölähteistä vapautuvia hiukkaspäästöjä tai erilaisia pölyäviä toimintoja.

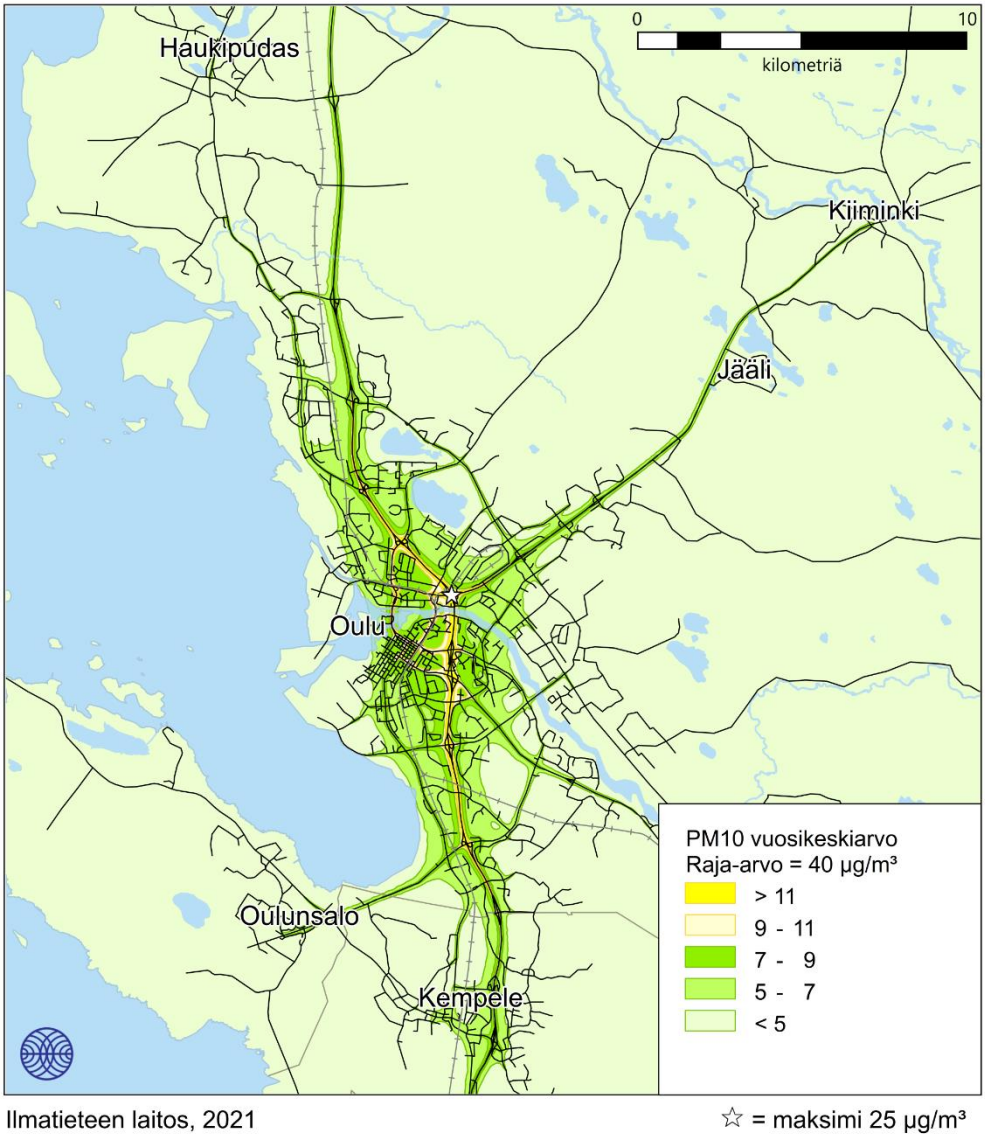
Oulun kaikkien päästölähteiden vuoden 2019 päästöjen sekä alueellisen taustapitoisuuden yhdessä aiheuttama hengitettävien hiukkasten vuosikeskiarvopitoisuus on esitetty kuvassa 12. Hengitettävien hiukkasten kokonaispitoisuudet on esitetty lisäksi raportin lopussa liitekuvissa 35–36.

Mallinnetut hengitettävien hiukkasten vuosikeskiarvopitoisuudet alittavat vuosiraja-arvon 40 µg/m^3 selvästi koko Oulussa. Vuosikeskiarvopitoisuus on Oulun keskustan vilkasliikenteisillä teillä ja sisääntuloväylillä noin 9–11 µg/m^3. Moottoritien varrella vuosikeskiarvopitoisuus on yli 11 µg/m^3. Korkeimmillaan hengitettävien hiukkasten vuosikeskiarvopitoisuus on Pohjantien ja Kuusamontien risteysalueella 25 µg/m^3. Oulun asuinalueilla ja Kempeleessä hengitettävien hiukkasten vuosikeskiarvopitoisuus on noin 5–9 µg/m^3, muilla taajama-alueilla alle 5 µg/m^3. Autoliikenteen katupölypäästöt vaikuttavat selvästi eniten mallinnettuihin pitoisuuksiin ja muilla päästölähteillä on vain vähäinen vaikutus hengitettävien hiukkasten kokonaispitoisuuksiin. Pitoisuudet pienentyvät nopeasti etäisyyden kasvaessa vilkkaimmista liikenneväylistä ja risteysalueista.

Taulukko 4. Eri päästölähteiden aiheuttamat korkeimmat mallinnetut hengitettävien hiukkasten pitoisuudet (µg/m³) Oulussa vuonna 2019. Korkeimmat arvot esiintyvät eri laskentapisteissä eri puolilla tutkimusaluetta. Raja- ja ohjearvon ylitykset on lihavoitu.

PM_{10} 2018 (µg/m³)	Ohje- tai raja-arvo	Auto-liikenne	Energian-tuotanto ja teolli-suus	Kiinteistö-kohtainen lämmitys	Tausta-pitoisuus	Kaikki yhteensä
Vuosikeskiarvo	40	22	0,2 *	1,6 *	2,1	25
Vuorokausiohjearvo	70	**181**	3,5 *	18 *	1,7	**184**
Vuorokausiraja-arvo	50	**63**	0,6 *	4,7 *	1,7	**69**

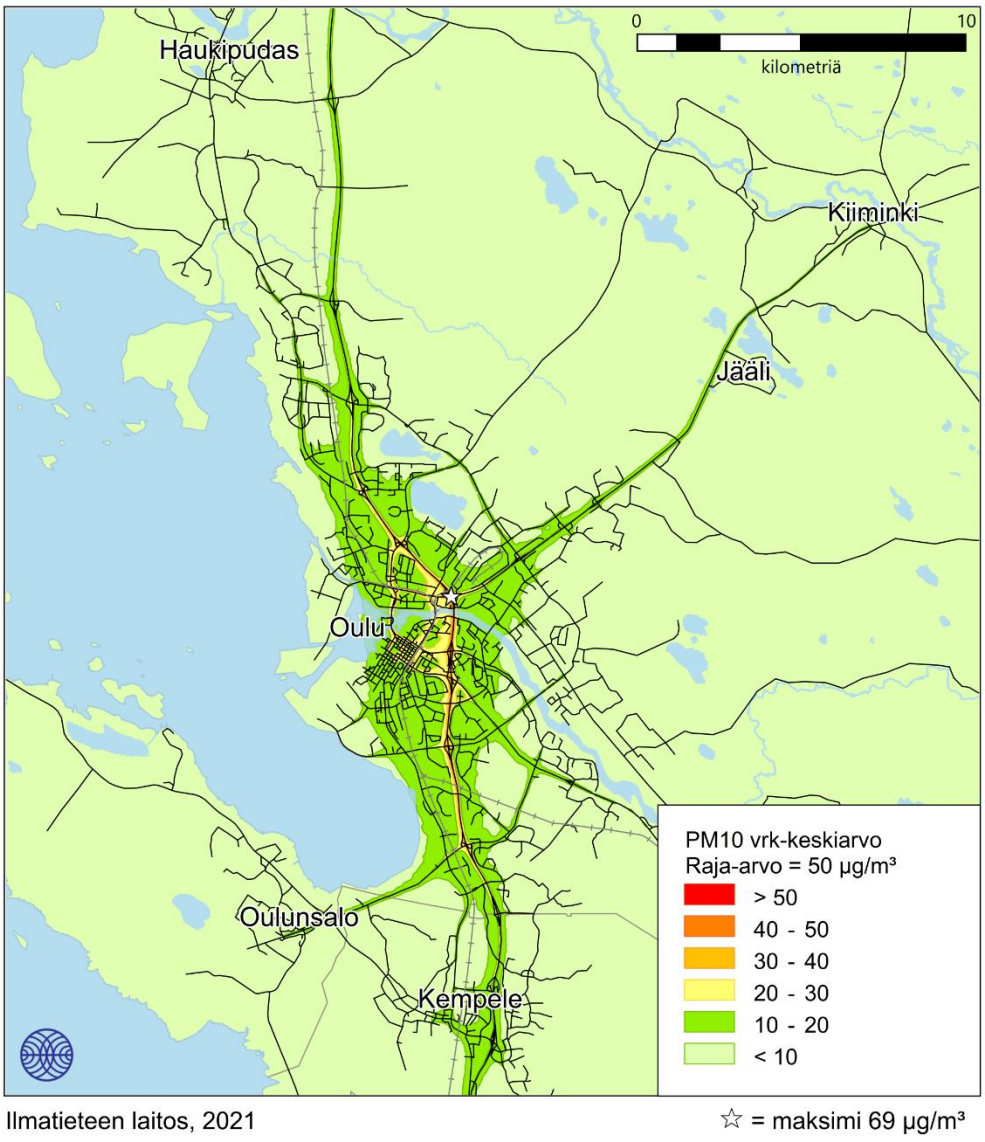
* = Pitoisuus on mallinnettu pienhiukkasina



Kuva 12. Autoliikenteen, energiantuotannon, teollisuuden ja kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen sekä pienhiukkasten alueellisen taustapitoisuuden (vuosikeskiarvona 2,1 µg/m³) aiheuttama hengitettävien hiukkasten (PM_{10}) korkein vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) Oulussa vuonna 2019.

Hengitettävien hiukkasten vuorokausipitoisuuksille annetut raja- ja ohjearvot ylittyvät tarkastelualueella. Oulun vuoden 2019 kaikkien päästölähteiden ja alueellisen taustapitoisuuden yhdessä aiheuttama hengitettävien hiukkasten vuorokausiraja-arvoon (50 µg/m³, sallitaan 35 ylitystä vuoden aikana) verrannollinen pitoisuus on esitetty kuvassa 13 ja liitekuvissa 41–42. Hengitettävien hiukkasten pitoisuuden vuorokausiraja-arvo voi ylittyä Oulussa ainoastaan tieliikenteelle varatuilla väyläalueilla, joilla raja-arvoja ei sovelleta. Raja-arvo voi ylittyä moottoritiellä Iskon ja Kaakkurin välisellä osuudella. Moottoritien ulkopuolella raja-arvo kuitenkin alittuu. Ilmanlaadun raja-arvot eivät saa ylittyä alueilla, joilla asuu tai oleskelee ihmisiä. Autoliikenteelle varatuilla väylillä raja-arvot eivät ole voimassa. Korkeimmillaan vuorokausiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus on Pohjantien ja Kuusamontien risteysalueella 69 µg/m^3. Oulun keskustan alueella vuorokausiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus on noin 10–30 µg/m^3 ja asuinalueilla noin 5–20 µg/m^3. Katupölypäästöihin ja korkeisiin hetkellisiin hengitettävien hiukkasten pitoisuuksiin voidaan vaikuttaa paikallisesti tehokkaalla katujen kunnossapidolla ja oikea-aikaisella hiekanpoistolla sekä pölynsidonnalla, kuten

Oulussa onkin tehty jo yli 10 vuoden ajan. Vuorokausiohjearvo ylittyy laajemmalla alueella kuin vuorokausiraja-arvo. Vuorokausiohjearvo ylittyy erityisesti moottoritien varrella noin 100–400 metrin etäisyydellä moottoritiestä sekä muidenkin vilkkaasti liikennöityjen väylien varsilla.



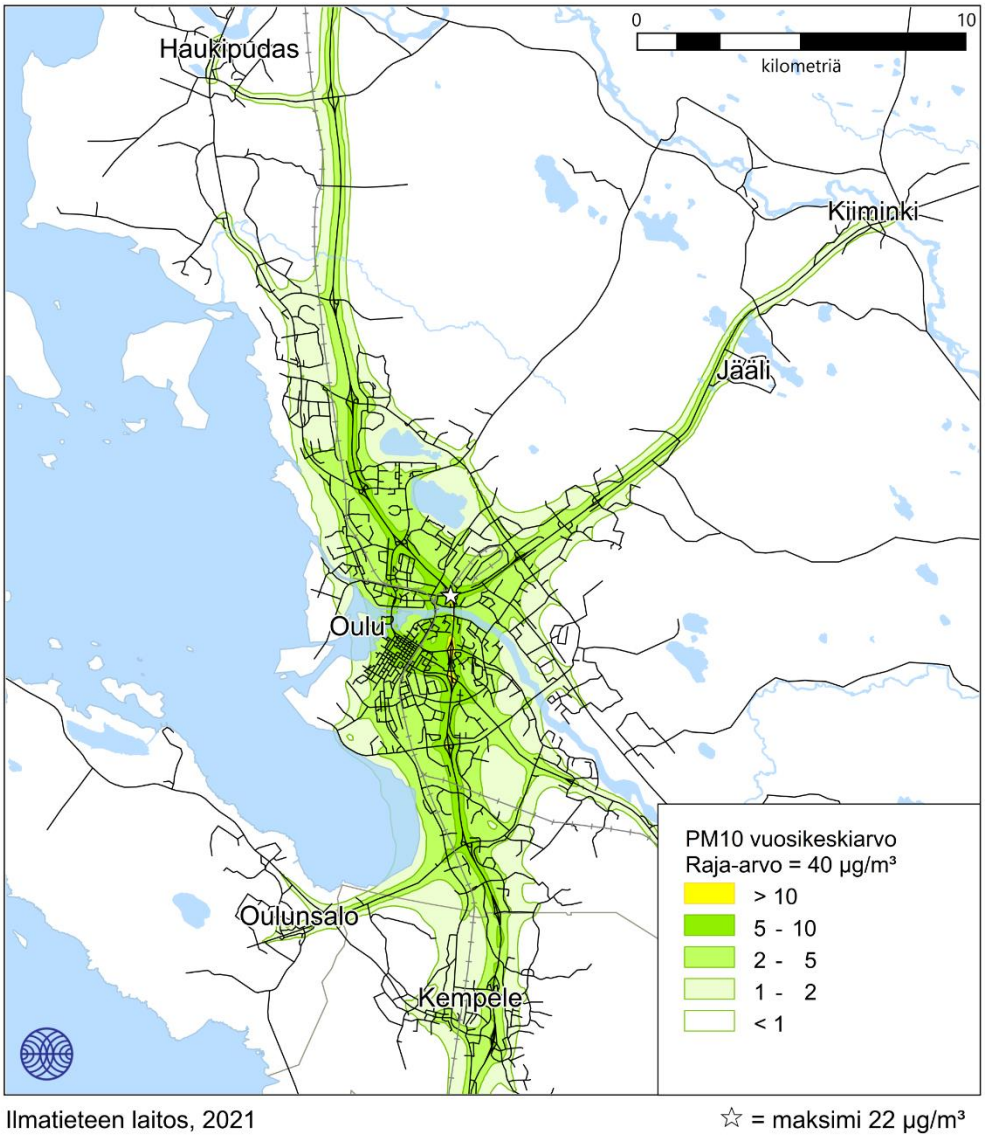
Kuva 13. Autoliikenteen, energiantuotannon, teollisuuden ja kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen sekä pienhiukkasten alueellisen taustapitoisuuden (vuosikeskiarvona 2,1 µg/m³) aiheuttama hengitettävien hiukkasten vuorokausiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³) Oulussa vuonna 2019.

2.3.2 Autoliikenne

Leviämismallilaskelmien tuloksena saadut autoliikenteen vuoden 2018 päästöjen yksinään aiheuttamat korkeimmat hengitettävien hiukkasten vuosikeskiarvopitoisuudet Oulussa on esitetty kuvassa 14 sekä liitekuvissa 37–38. Tulosten mukaan hengitettävien hiukkasten vuosipitoisuudet ovat suurimmillaan Pohjantien risteysalueilla, joissa pitoisuus on yli 10 µg/m³. Oulun keskustan ruutukaava-alueella ja sisääntuloväylien varsilla pitoisuus on 5–10 µg/m³. Oulun asuinalueilla sekä

Oulunsalossa ja Kempeleessä autoliikenteen aiheuttama lisä hengitettävien hiukkasten vuosipitoisuuksiin on noin 1–5 µg/m³ ja muissa taajamissa alle 1 µg/m³.

Autoliikenteen päästöjen yksinään aiheuttama hengitettävien hiukkasten pitoisuuden vuorokausiraja-arvo voi ylittyä moottoritiellä Mäntylän ja Tuiran välisellä osuudella. Korkeimmillaan pitoisuus on 63 µg/m³ Pohjantien ja Kuusamontien risteysalueella, jossa raja-arvo ei ole voimassa. Pitoisuudet pienentyvät nopeasti etäisyyden kasvaessa vilkkaimmista teistä. Oulun keskustassa ja moottoritien läheisillä asuinalueilla vuorokausiraja-arvoon verrannolliset pitoisuudet ovat 10–20 µg/m³. Kempeleen alueella pitoisuudet ovat pääsääntöisesti alle 10 µg/m³ ja muissa taajamissa alle 5 µg/m³ (liitekuvat 43–44).



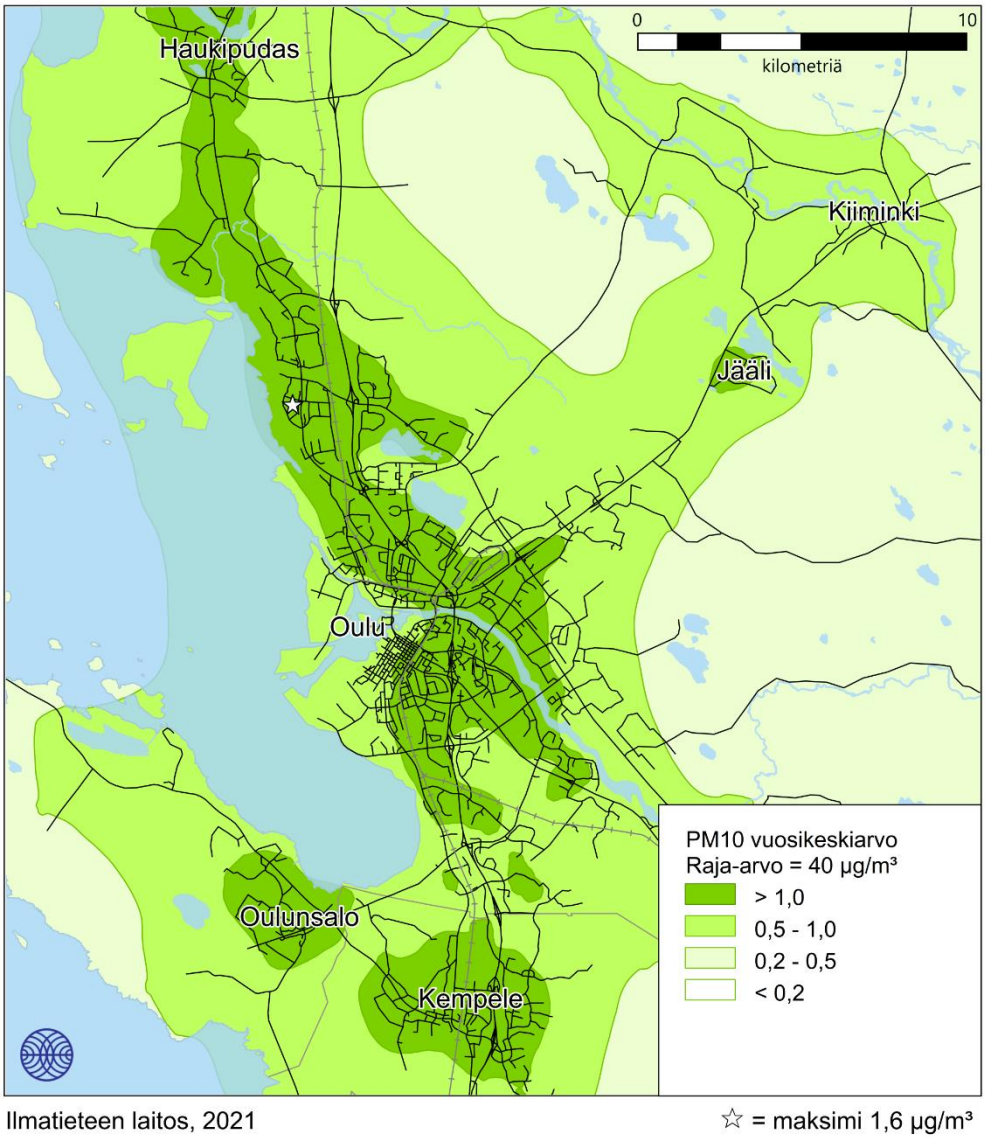
Kuva 14. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama hengitettävien hiukkasten korkein vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) Oulussa vuonna 2018 ilman alueellista taustapitoisuutta.

2.3.3 Kiinteistökohtainen lämmitys

Leviämismallilaskelmien tuloksena saadut kiinteistökohtaisen lämmityksen vuoden 2015 päästöjen aiheuttamat korkeimmat hengitettävien hiukkasten vuosikeskiarvopitoisuudet Oulussa on esitetty kuvassa 15 sekä liitekuvissa 39–40.

Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttamat hengitettävien hiukkasten vuosipitoisuudet ovat suurimmillaan Oulun asuinalueilla sekä Kempeleen, Oulunsalon ja Haukiputaan taajamissa. Hengitettävien hiukkasten pitoisuuksien vuosikeskiarvot ovat korkeimmillaan yli 1 µg/m^3 laajalti asuinalueilla. Suurimmat hengitettävien hiukkasten pitoisuudet havaitaan Pateniemen pientaloalueella.

Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen yksinään aiheuttamat korkeimmat hengitettävien hiukkasten vuorokausiraja-arvoon verrannolliset pitoisuudet ovat Oulun, Kempeleen, Oulunsalon ja Haukiputaan asuinalueilla yli 3 µg/m^3 (liitekuvat 45–46). Korkeimmillaan pitoisuudet ovat Pateniemen pientaloalueella 4,7 µ/m^3.



Kuva 15. Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttama hengitettävien hiukkasten korkein vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) Oulussa vuonna 2015 ilman alueellista taustapitoisuutta.

2.4 Rikkidioksidipitoisuudet (SO_2)

Rikkidioksidipitoisuudet ovat Oulussa pääsääntöisesti pieniä. Energiantuotanto- ja teollisuuslaitosten päästöillä on paikallinen vaikutus rikkidioksipitoisuuksiin lähialueellaan.

Rikkidioksidipäästöjen leviämismallinnuksessa huomioitiin ainoastaan energiantuotannon ja teollisuuslaitosten päästöt vuodelta 2019 sekä alueellinen taustapitoisuus. Mallinnetut rikkidioksidipitoisuudet alittavat selvästi kaikki ilmanlaadun raja- ja ohjearvot, joten rikkidioksidipäästöjen vaikutus Oulun ilmanlaatuun on pieni. Leviämismallilaskelmien tuloksena saadut korkeimmat rikkidioksidin raja- ja ohjearvoihin verrannolliset pitoisuudet on esitetty taulukossa 5. Taulukossa on esitetty energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen vaikutuksesta aiheutuneet korkeimmat rikkidioksidipitoisuudet sekä korkeimmat pitoisuudet yhdessä taustapitoisuuden kanssa.

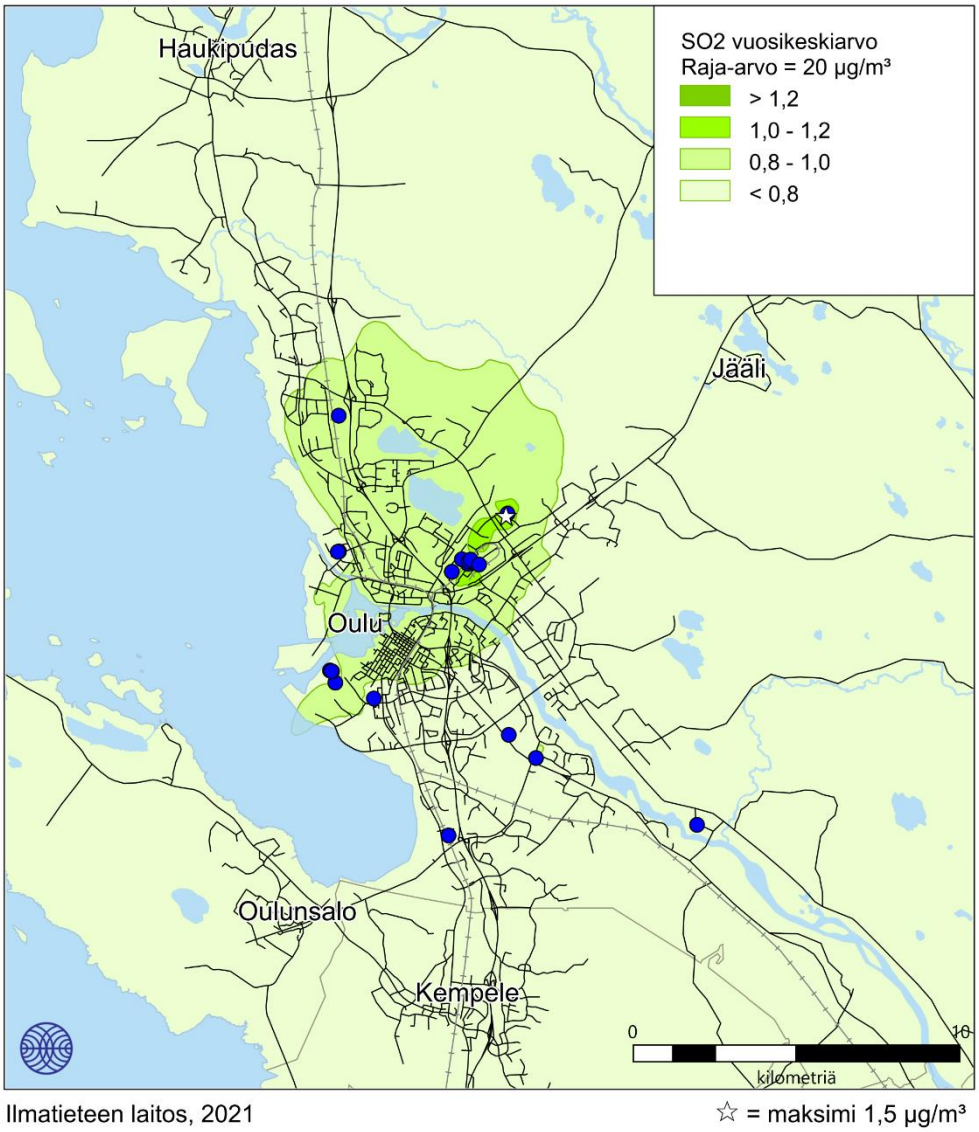
Rikkidioksidipitoisuuksien vuosikeskiarvolle annettu kriittinen taso (20 µg/m^3) alittuu Oulussa erittäin selvästi. Kriittistä tasoa sovelletaan rakennetun ympäristön ulkopuolella olevilla maa- ja metsätalousalueilla sekä luonnonsuojelun kannalta merkityksellisillä alueilla. Oulussa korkeimmat kriittiseen tasoon verrannolliset vuosikeskiarvopitoisuudet ovat 1,5 µg/m³. Energiantuotannon, teollisuuden ja taustapitoisuuden yhdessä aiheuttamat rikkidioksidin korkeimmat vuosikeskiarvopitoisuudet on esitetty kuvassa 16 ja liitekuvissa 47 ja 48.

Pelkästään energiantuotanto- ja teollisuuslaitosten aiheuttamat kriittiseen tasoon verrannolliset rikkidioksidipitoisuudet ovat korkeimmillaan 0,8 µg/m³. Leviämismallinnuksen tuloksena saadut pitoisuuskuvat on esitetty liitekuvissa 49–50. Korkeimpiin rikkidioksidipitoisuuksiin vaikuttavat eniten Takalaanilan teollisuusalueen ja Toppilan voimalaitoksen rikkidioksipäästöt sekä Peab Industri Oy:n Ruskon asfalttiaseman päästöt matalan piipun vuoksi.

Energiantuotannon ja teollisuuden vuoden 2018 päästöjen aiheuttamat korkeimmat vuorokausiraja-arvoon 125 µg/m^3 verrannolliset pitoisuudet ovat korkeimmillaan 14 µg/m³. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen yhdessä taustapitoisuuden kanssa aiheuttamat vuorokausiraja-arvoon verrannolliset rikkidioksidipitoisuudet on esitetty liitekuvissa 51–52 ja pelkästään energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttamat pitoisuudet liitekuvissa 53–54. Korkeimmat rikkidioksidin vuorokausipitoisuudet muodostuvat Takalaanilan ja Ruskon alueelle sekä Toppilan laitosten pohjoispuolelle.

Taulukko 5. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen sekä alueellisen taustapitoisuuden aiheuttamat korkeimmat mallinnetut rikkidioksidipitoisuudet (µg/m³) Oulussa vuonna 2019. Korkeimmat arvot esiintyvät eri laskentapisteissä eri puolilla tutkimusaluetta.

SO_2 2019 (µg/m^3)	Ohje- tai raja-arvo	Energiantuotanto ja teollisuus	Taustapitoisuus	Kaikki yhteensä
Vuosikeskiarvo	20	0,8	0,7	1,5
Vuorokausiohjearvo	80	15	0,4	16
Vuorokausiraja-arvo	125	14	0,4	14
Tuntiohjearvo	250	40	0,5	41
Tuntiraja-arvo	350	34	0,4	34



Kuva 16. Energiantuotannon ja teollisuuden vuoden 2019 päästöjen sekä alueellisen taustapitoisuuden (vuosikeskiarvona 0,7 µg/m^3) yhdessä aiheuttama rikkidioksidin korkein vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m^3) Oulussa. Siniset pisteet kuvaavat mallinnuksessa mukana olleita energiantuotanto- tai teollisuuslaitoksia.

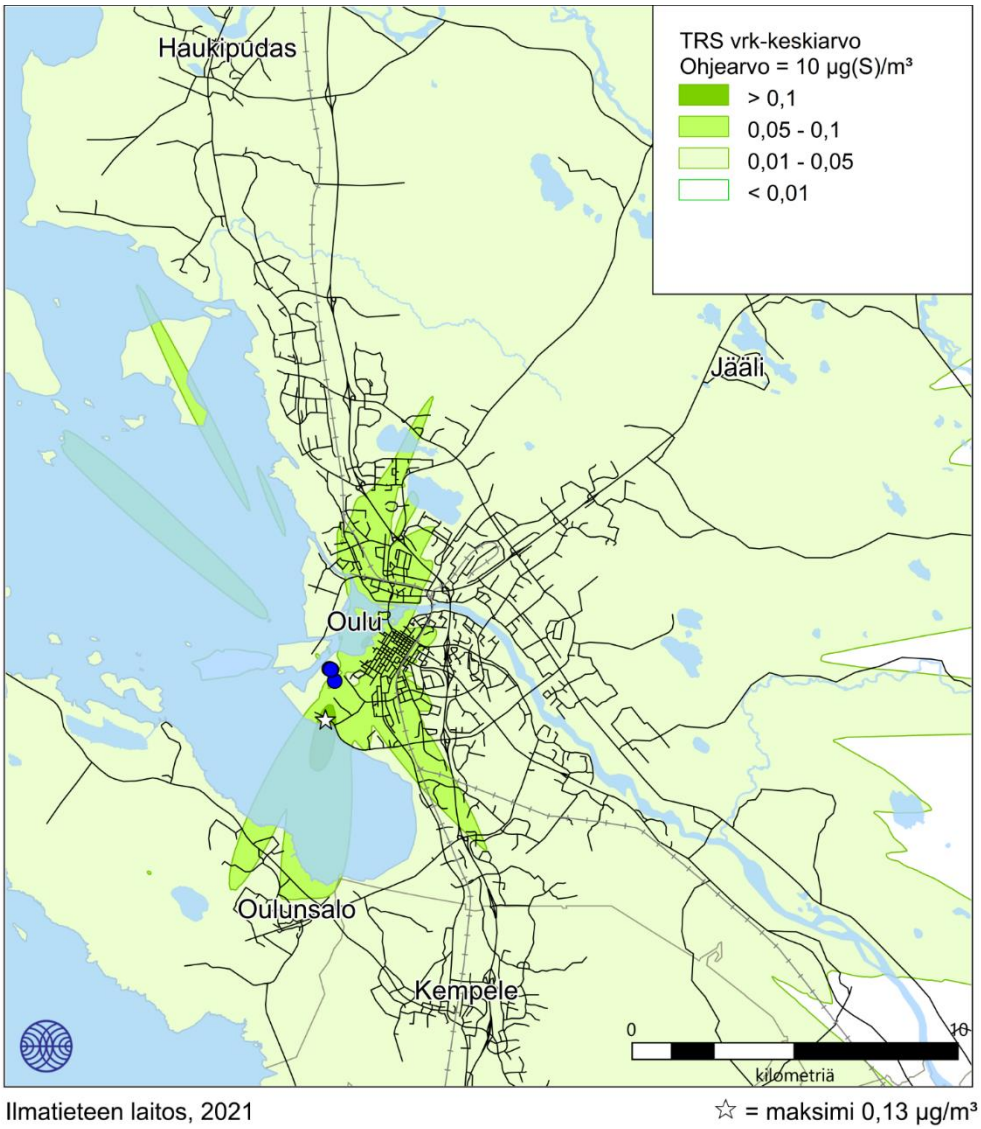
2.5 Haisevat rikkiyhdisteet (TRS)

Haisevien rikkiyhdisteiden (TRS=Total Reduced Sulphur) pitoisuudet aiheuttavat herkästi hajuhaittoja. Leviämismallilaskelmassa on huomioitu haisevien rikkiyhdisteiden päästöjä ainoastaan Nuottasaaren teollisuusalueella sijaitsevilta Stora Enso Oy:n sellutehtaalta ja Kraton Chemical Oy:n mäntyöljyjalostamolta. Lisäksi haisevien rikkiyhdisteiden päästöjä vapautuu myös Ruskon jätekeskuksen alueelta hajapäästöinä, mutta näitä ei ole mallilaskelmissa huomioitu. Mallilaskelmiin voidaan ottaa mukaan vain sellaisia päästöjä, joiden päästölähteet ja päästömäärät ovat tarkkaan tunnettuja. Leviämismallilaskelmien tuloksena saadut korkeimmat haisevien rikkiyhdisteiden ohjearvoon verrannolliset pitoisuudet on esitetty taulukossa 6 ja kuvassa 17 sekä liitekuvissa 55–56.

Mallinnuksen tuloksena saadut pitoisuudet alittavat selvästi haiseville rikkiyhdisteille asetetun vuorokausiohjearvon. Suurimmat ohjearvoon verrannolliset pitoisuudet ovat 0,13 µg/m^3 sijoittuen Nuottasaaren teollisuusalueen eteläpuolelle. Korkeista poistopiipuista vapautuvat päästöt sekoittuvat nopeasti ympäröivään ilmaan ja pitoisuudet laimenevat tehokkaasti ennen leviämistään, jolloin pitoisuudet maanpintatasolla jäävät pieniksi. Laitoksilta vapautuu hajupäästöjä nykyisin lähinnä häiriötilanteissa.

Taulukko 6. Teollisuuden päästöjen aiheuttamat korkeimmat mallinnetut haisevien rikkiyhdisteiden pitoisuudet (µg(S)/m^3) (ilmoitettu rikkinä) Oulussa vuonna 2019.

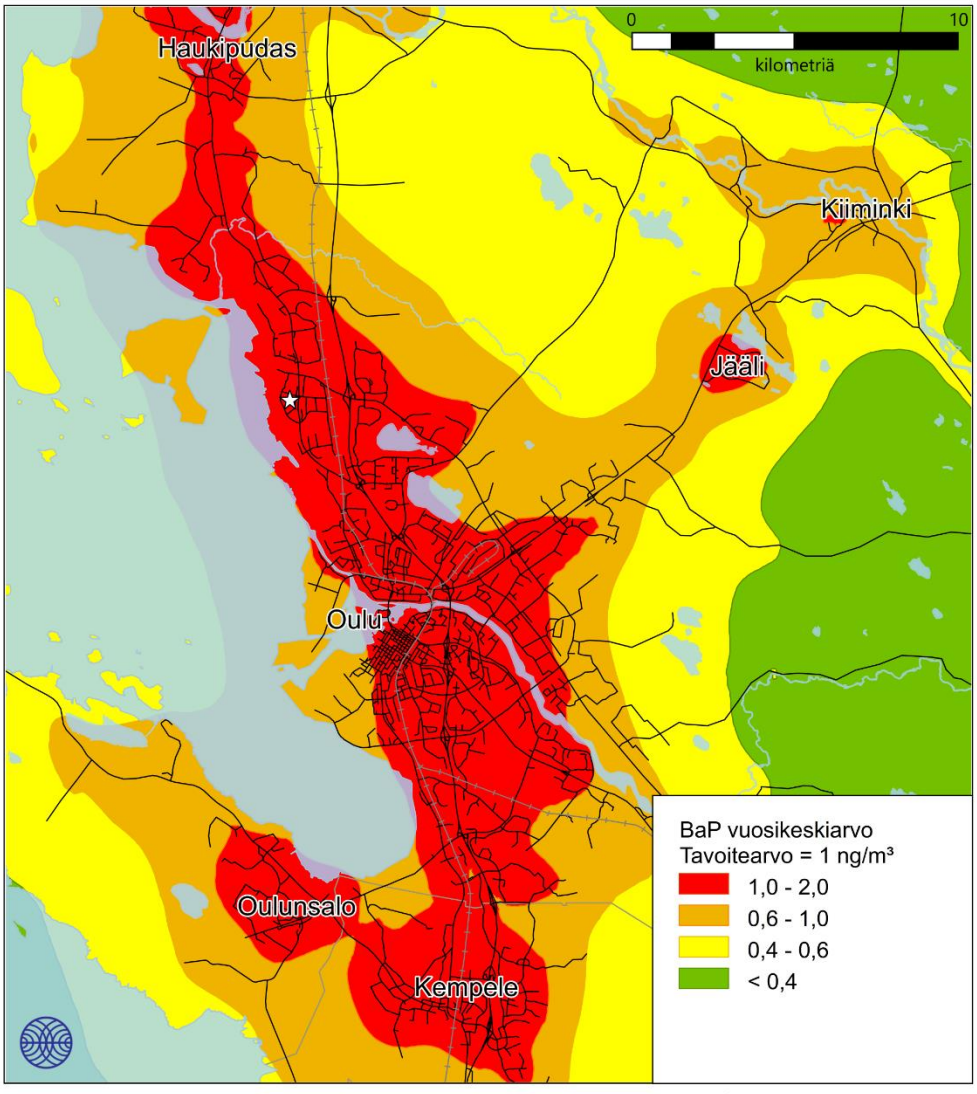
TRS 2019 (µg(S)/m^3)	Ohje- tai raja-arvo	Energiantuotanto ja teollisuus	Kaikki yhteensä
Vuorokausiohjearvo	10	0,13	0,13



Kuva 17. Teollisuuden vuoden 2019 päästöjen aiheuttama haisevien rikkiyhdisteiden korkein vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m^3) Oulussa. Siniset pisteet kuvaavat mallinnuksessa mukana olleita teollisuuslaitoksia.

2.6 Bentso(a)pyreenipitoisuudet

Leviämismallilaskelmien tuloksena saadut kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttamat korkeimmat bentso(a)pyreenin vuosikeskiarvopitoisuudet Oulussa on esitetty kuvassa 18 ja liitekuvissa 57–58. Mallilaskelmissa on oletettu kaiken bentso(a)pyreenin päästöjen olevan peräisin kiinteistökohtaisesta lämmityksestä, eikä alueellista taustapitoisuutta ole huomioitu. Leviämismallilaskelmien mukaan pienpolton päästöjen aiheuttamat suurimmat bentso(a)pyreenipitoisuudet muodostuvat Oulun eri kaupunginosien sekä Kempeleen, Oulunsalon, Haukiputaan ja Jäälin taajamien asuinalueille. Näillä alueilla bentso(a)pyreenin vuosikeskiarvo ylittää mallilaskelmien mukaan tavoitearvon 1 ng/m³. Korkeimmillaan bentso(a)pyreenipitoisuus on Oulun Pateniemen pientaloalueella 1,9 ng/m³. Ylempi arviointikynnys 0,6 ng/m³ ylittyy laajalti asuinalueiden ympäristössä. Alempi arviointikynnys 0,4 ng/m³ ylittyy lähes koko tarkastelualueella.



Kuva 18. Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttama bentso(a)pyreenin korkein vuosikeskiarvopitoisuus (ng/m³) Oulussa vuonna 2015 ilman alueellista taustapitoisuutta.

Ilmanlaadun jatkuvia mittauksia on tehtävä seuranta-alueilla, joilla ylempi arviointikynnys ylittyy. Seuranta-alueilla, joilla pitoisuudet ovat ylemmän ja alemman arviointikynnyksen välillä, ilmanlaadun arvioimiseksi voidaan käyttää jatkuvien ja suuntaa- antavien mittausten sekä mallintamistekniikoiden yhdistelmää. Ylemmän ja alemman arviointikynnyksen ylittyminen määritetään viiden edellisen vuoden pitoisuuksien perusteella. Arviointikynnys katsotaan ylittyvän vasta, kun kynnyksen lukuarvo on ylittynyt vähintään kolmena vuonna viiden vuoden aikana. Leviämismallilaskelmien tulosten perusteella Oulun alueella olisi jatkossa tarpeen kartoittaa bentso(a)pyreenin pitoisuustasoja ilmanlaadun mittauksien avulla.

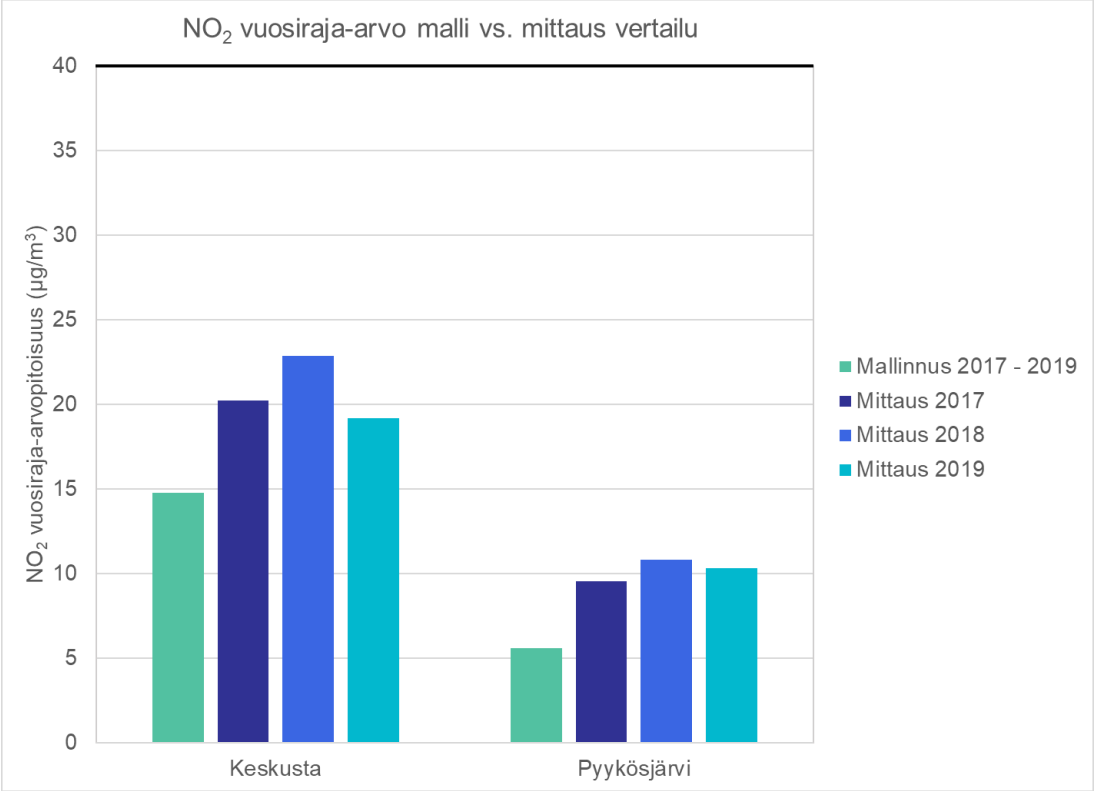
2.7 Mallilaskelmien tulosten arviointi

2.7.1 Mallinnettujen pitoisuuksien vertailu ilmanlaadun mittaustuloksiin

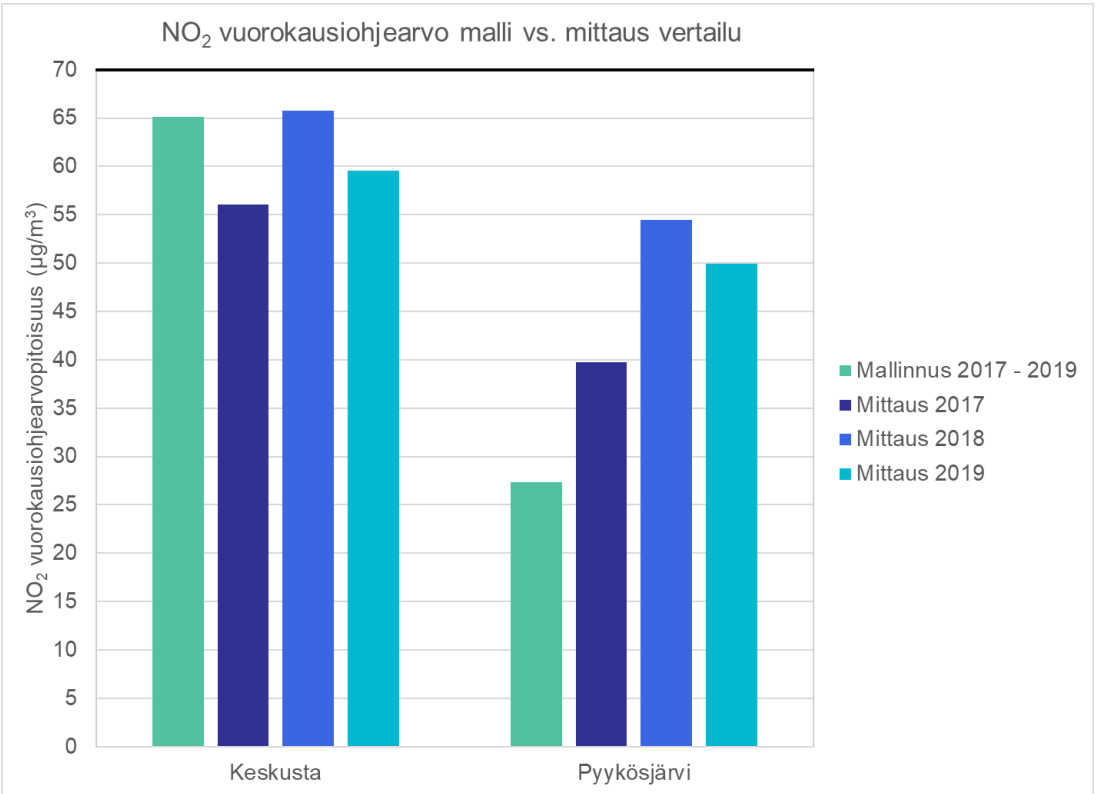
Mallituloksia ja mallilaskelmissa käytettyjen lähtötietojen oikeellisuutta arvioidaan vertaamalla mallinnettuja pitoisuuksia ilmanlaadun mittausasemilla mitattuihin pitoisuuksiin. Oulussa on mitattu typen oksidien, hiukkasten, rikkidioksidin ja haisevien rikkiyhdisteiden pitoisuuksia vuosina 2017–2019 yhteensä kolmella mittausasemalla, joita on tarkemmin kuvattu raportin osassa III, kappaleessa 7.1. Oulun keskustan ilmanlaadun mittausasemalla seurataan pääasiassa liikenteen päästöjen vaikutuksia ilmanlaatuun. Esikaupunkialueella sijaitsevalla Pyykösjärven mittausasemalla seurataan eri päästölähteiden (liikenne, kiinteistökohtainen lämmitys, teollisuus) vaikutusta asuinalueen ilmanlaatuun. Nokelan mittausasemalla selvitetään erityisesti teollisuuden päästöjen vaikutuksia ilmanlaatuun. Eri mittausasemilla mitataan eri ilman epäpuhtauksia.

Mallinnettuja pitoisuustuloksia on verrattu vuosina 2017–2019 ilmanlaadun mittausasemilla mitattuihin typpidioksidin, pienhiukkasten, hengitettävien hiukkasten, rikkidioksidin ja haisevien rikkiyhdisteiden pitoisuuksiin. Bentso(a)pyreenin pitoisuuksia Oulussa ei ole mitattu. Mallinnus on tehty vuosia 2015–2019 edustavilla päästötiedoilla. Vertailussa käytettiin mallinnettua kokonaispitoisuutta, eli pitoisuuksissa oli mukana autoliikenteen, energiantuotannon, teollisuuden ja kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttamat pitoisuudet sekä alueelliset taustapitoisuudet. Ilmanlaatuasetuksen (*79/2017*) mukainen laatutavoite mallintamisen epävarmuudelle on typpi- ja rikkidioksidipitoisuuksien vuosikeskiarvolle 30 % ja vuorokausiarvoille 50 % sekä hiukkaspitoisuuksien vuosikeskiarvolle 50 %. Epävarmuus määritetään enimmäispoikkeamana mitatuista ja mallinnetuista raja-arvoihin verrannollisista pitoisuuksista ottamatta huomioon tapahtumien ajoitusta.

Typpidioksidipitoisuuksien malli-mittausvertailut on esitetty kuvissa 19 ja 20. Mallinnetut typpidioksidin vuosiraja-arvoon verrannolliset pitoisuudet olivat mitattuja pitoisuuksia pienempiä. Typpidioksidin vuorokausiohjearvoon verrannolliset pitoisuudet vastasivat Oulun keskustassa hyvin mitattuja pitoisuuksia, mutta Pyykösjärvellä malli aliarvioi pitoisuuksia. Mallinnettujen ja mitattujen typpidioksidin vuosikeskiarvopitoisuuksien ero vaihteli välillä 23–48 % ja ohjearvoon verrannollisten vuorokausipitoisuuksien välillä 1–50 %. Laatutavoitteet mallintamisen epävarmuudelle täyttyivät Oulun keskustassa, mutta Pyykösjärven mittausasemalla mallinnetun vuosikeskiarvopitoisuuden epävarmuus ylitti 30 % tavoitteen. Syynä mallin aliarvioon lienee, että liikennemääriä ja siten autojen pakokaasupäästöjä ei ole saatu kuvattua mallin lähtötiedoksi riittävän tarkasti Pyykösjärven mittausaseman lähialueelta. Liikennemääräaineistosta puuttui kokonaan liikennemäärä Lahnatieltä ja muilta mittausaseman lähikaduilta, ja niille arvioitiin mallissa hyvin pieni liiikennemäärä (100 ajoneuvoa/vrk). Lisäksi Pyykösjärven mittausasema sijaitsee pienen lähikaupan pysäköintialueen laidalla, ja kaupan asiointiliikennettä ja tavarantoimituksia leviämismallissa ei ole lainkaan huomioitu.

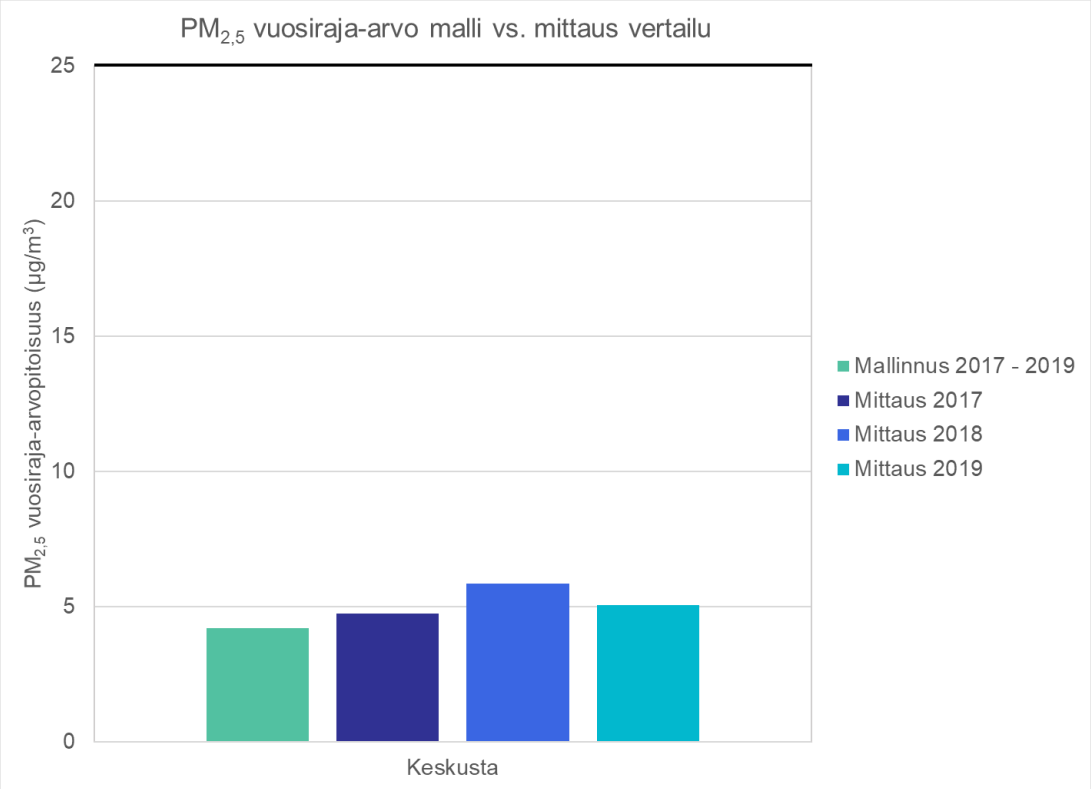


Kuva 19. Mallinnettujen ja mitattujen typpidioksidin vuosiraja-arvoon (40 µg/m³) verrannollisten pitoisuuksien vertailu Oulun ilmanlaadun mittausasemilla.

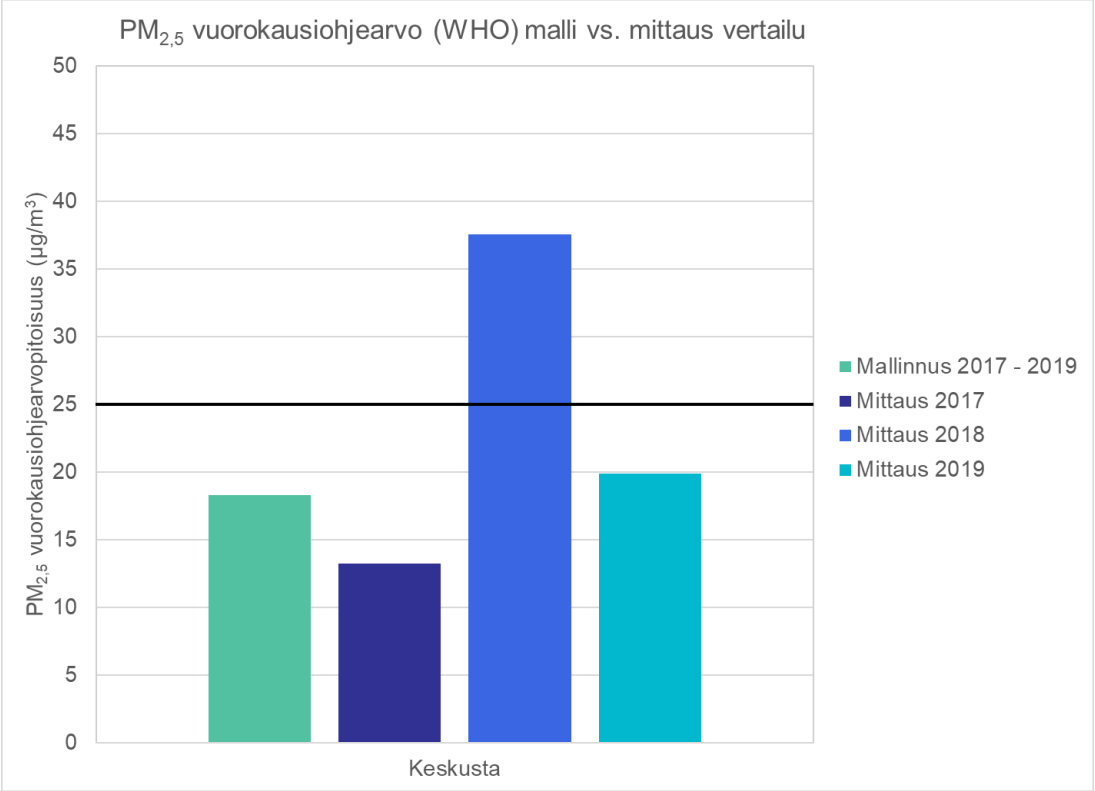


Kuva 20. Mallinnettujen ja mitattujen typpidioksidin vuorokausiohjearvoon (70 µg/m³) verrannollisten pitoisuuksien vertailu Oulun ilmanlaadun mittausasemilla.

Pienhiukkaspitoisuuksien malli-mittausvertailu Oulun keskustan mittauspisteessä on esitetty kuvissa 21–22. Mallinnettu vuosikeskiarvopitoisuus vastasi melko hyvin mitattua pienhiukkaspitoisuutta. Mallinnetut pienhiukkaspitoisuudet olivat 12–28 % mitattuja pitoisuuksia pienempiä. Mallinnettu WHO:n vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus erosi mitatuista pitoisuuksista 8–51 %. Mitatut korkeimmat vuorokausipitoisuudet vaihtelevat paljon vuosittain mm. kaukokulmaepisodien määrän ja voimakkuuden vuoksi. Tämän takia mallinnettu pienhiukkaspitoisuus oli vuodesta riippuen joko mitattua pienempi tai suurempi. Vuoden 2018 WHO:n ohjearvon ylittänyt mitattu korkein pienhiukkasten vuorokausipitoisuus (36 µg/m^3) on kuitenkin mitattu helmikuussa pakkasinversiotilanteessa (*Oulun kaupunki, Oulun seudun ympäristötoimi, 2019*).

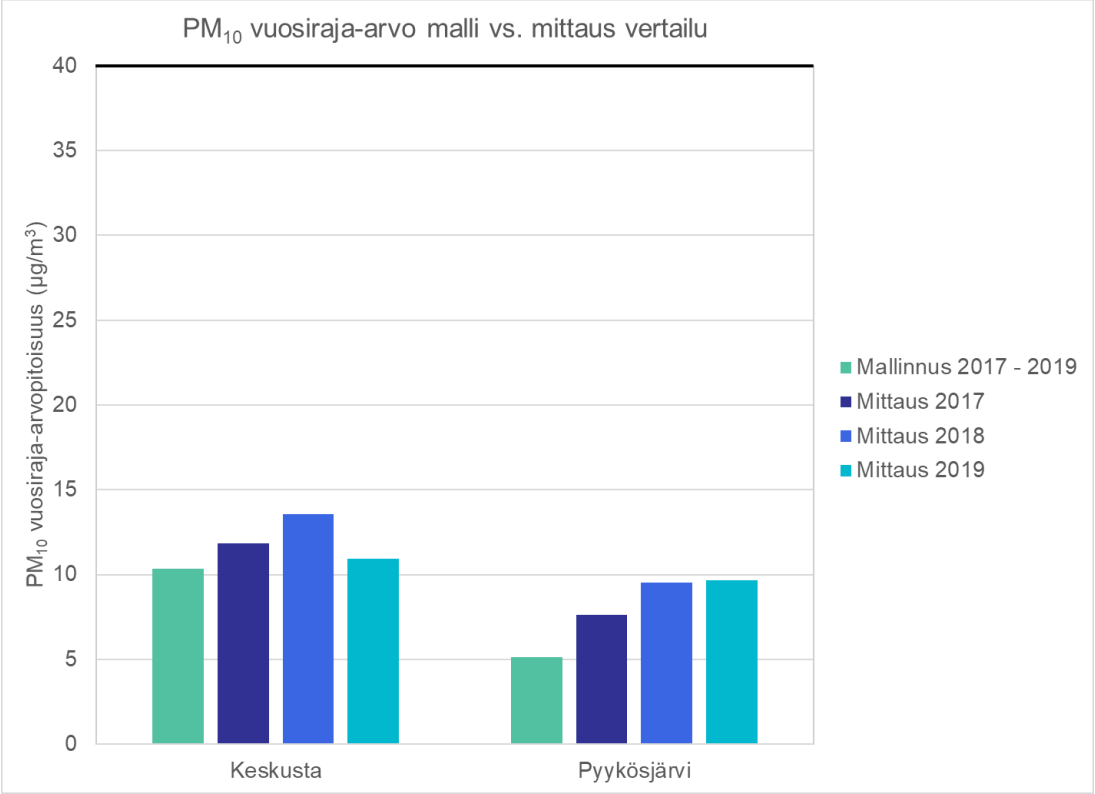


Kuva 21. Mallinnettujen ja mitattujen pienhiukkasten vuosiraja-arvoon (25 µg/m³) verrannollisten pitoisuuksien vertailu Oulun keskustan ilmanlaadun mittausasemalla.

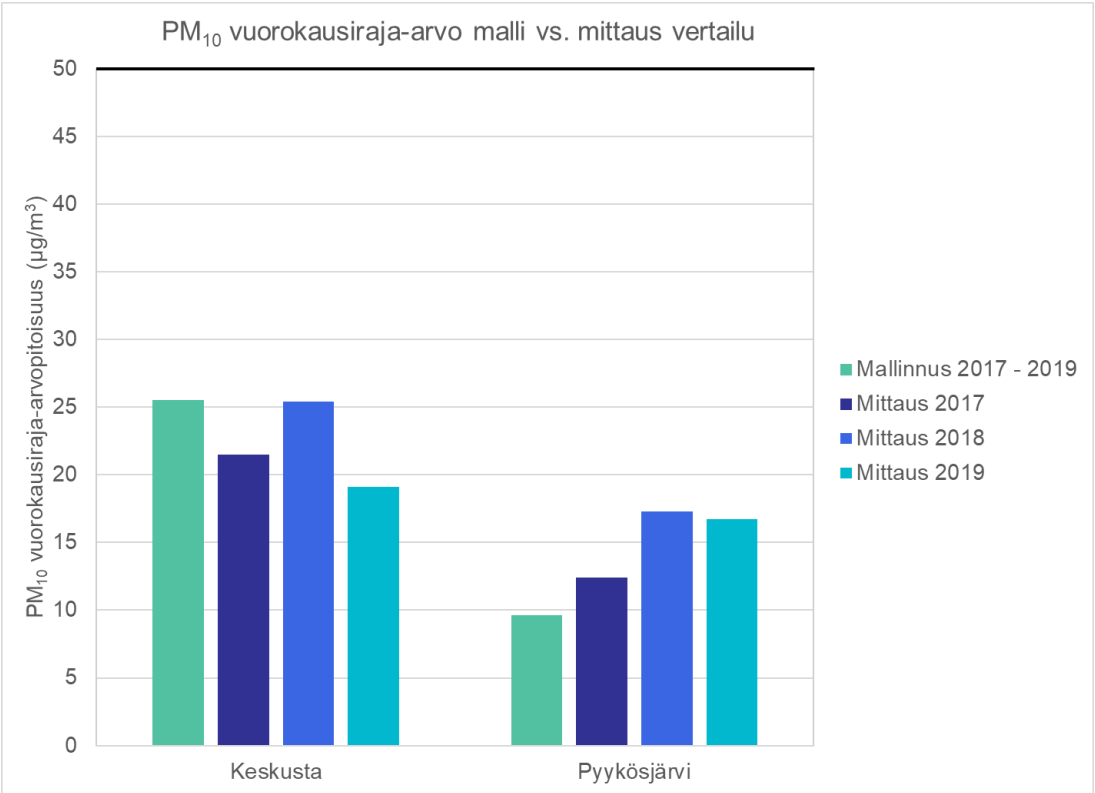


Kuva 22. Mallinnettujen ja mitattujen pienhiukkasten WHO:n ohjearvoon (25 µg/m³) verrannollisten pitoisuuksien vertailu Oulun keskustan ilmanlaadun mittausasemalla.

Hengitettävien hiukkasten malli-mittausvertailut on esitetty kuvissa 23–24. Leviämismalli pääsääntöisesti aliarvioi hengitettävien hiukkasten pitoisuuksia. Mallintamisen laatutavoite hiukkasten vuosikeskiarvopitoisuuksille kuitenkin täyttyi sekä Oulun keskustassa että Pyykösjärvellä. Mallinnettujen hengitettävien hiukkasten vuosikeskiarvopitoisuuksien ero mitattuihin pitoisuuksiin vaihteli välillä 5–47 % ja vuorokausiraja-arvoon verrannollisten pitoisuuksien välillä 0–44 %. Oulun keskustassa mallinnetut hengitettävien hiukkasten pitoisuudet vastasivat paremmin mitattuja pitoisuuksia kuin Pyykösjärvellä. Pyykösjärvellä mitattuja hiukkaspitoisuuksia kohotti Lahnatien saneeraustyömaan pölyäminen loppuvuonna 2018 sekä alkuvuonna 2019. Pyykösjärven mallinnettuihin pitoisuuksiin vaikutti pitoisuuksia pienentävästi, samaan tapaan kuin typpidioksidin osalta, että liikennemääriä ei oltu saatu kuvattua mallin lähtötiedoksi riittävän tarkasti Pyykösjärven mittausaseman lähialueelta. On myös huomioitava, että katupölypäästömallissa liikenteen PM_{10}-päästön määrä perustuu todellisiin havaittuihin sääolosuhteisiin ja näiden sääolosuhteiden perusteella arvioituihin hiekoitusajankohtiin ja hiekoitusmääriin. Katupölypäästön määrässä ei siis ole otettu huomioon todellisia hiekoitusten ajankohtia, hiekoitusmääriä ja katujen puhdistamisen tai pölynsidonnan vaikutusta pölypäästöön. Vuonna 2018 mitatut hengitettävien hiukkasten pitoisuudet olivat Oulun keskustassa tavanomaista korkeampia kevätpölyaikaan huhti- ja toukokuussa kylmän alkukevään jälkeen (*Oulun kaupunki, Oulun seudun ympäristötoimi, 2019 ja 2020*).

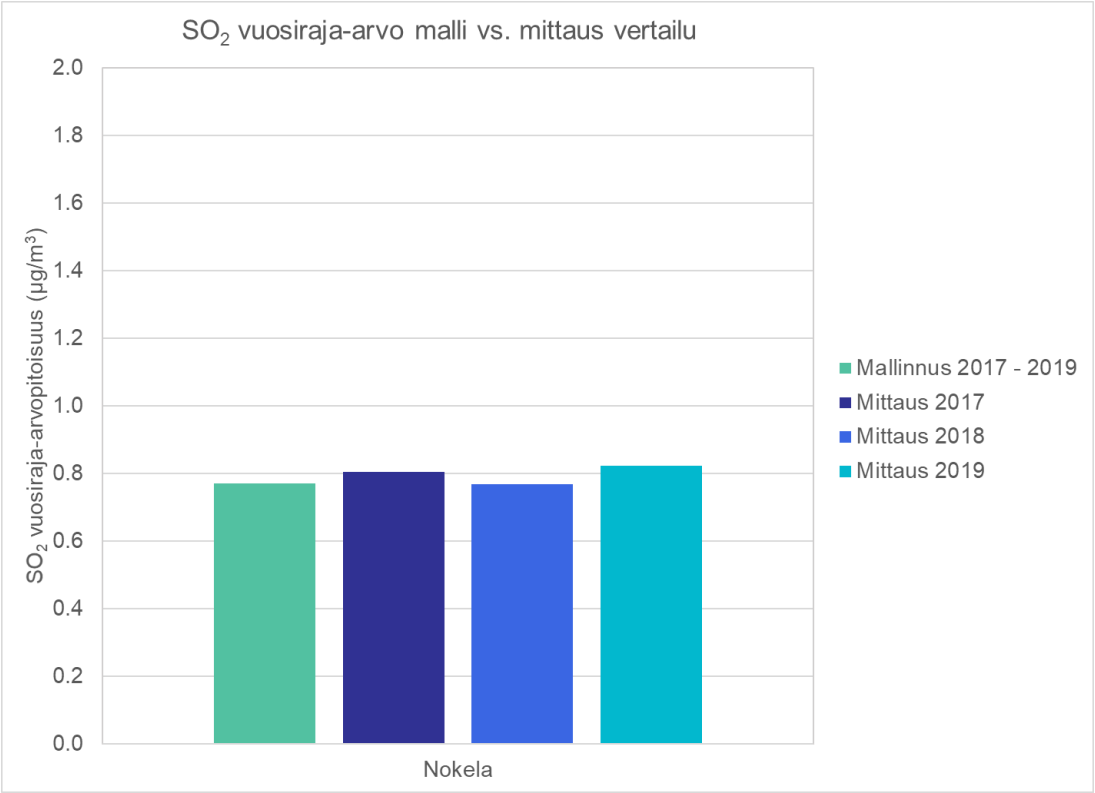


Kuva 23. Mallinnettujen ja mitattujen hengitettävien hiukkasten vuosiraja-arvoon (40 µg/m³) verrannollisten pitoisuuksien vertailu Oulun ilmanlaadun mittausasemilla.

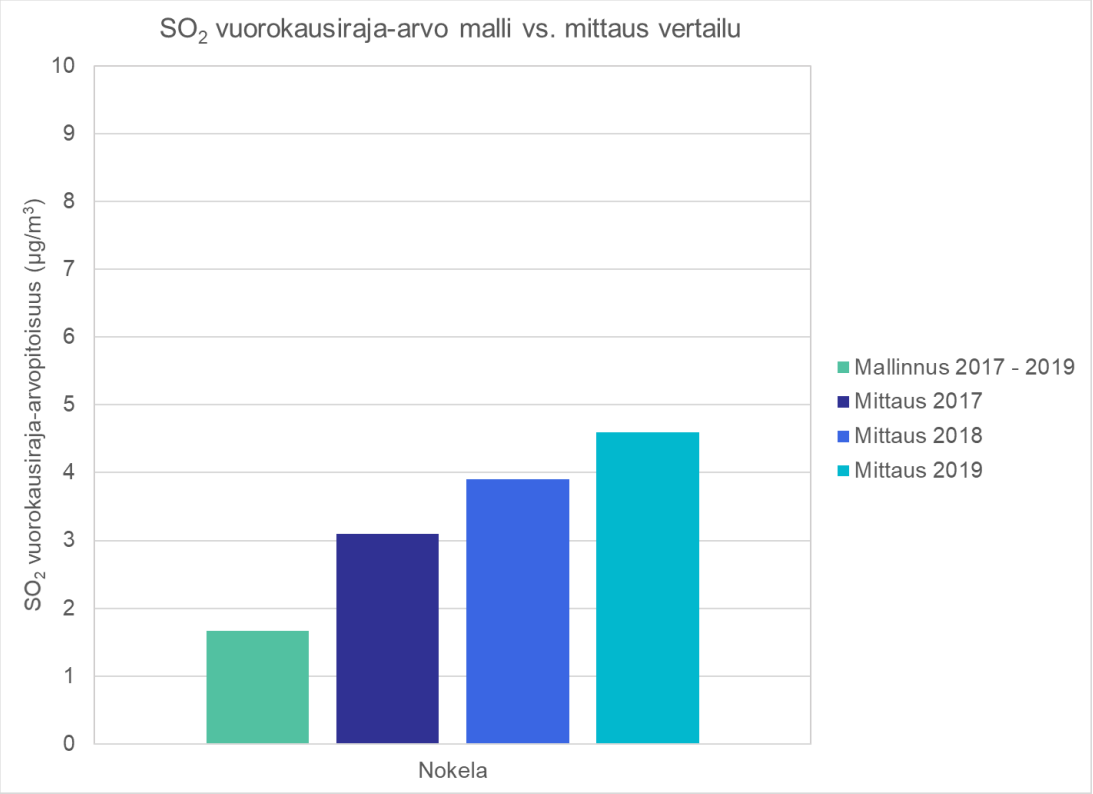


Kuva 24. Mallinnettujen ja mitattujen hengitettävien hiukkasten vuorokausiraja-arvoon (50 µg/m³) verrannollisten pitoisuuksien vertailu Oulun ilmanlaadun mittausasemilla.

Rikkidioksidipitoisuuksien malli-mittausvertailut on esitetty kuvissa 25–26. Mallinnetut rikkidioksidin vuosipitoisuudet vastasivat erittäin hyvin mitattuja pitoisuuksia, mutta vuorokausiraja-arvoon verrannollisten pitoisuuksien ero mitattuihin oli suurempi. Mallinnettujen ja mitattujen rikkidioksidin vuosikeskiarvopitoisuuksien ero vaihteli välillä 0–6 % ja raja-arvoon verrannollisten vuorokausipitoisuuksien välillä 46–64 %. Laatutavoite mallintamisen epävarmuudelle ei täyttynyt Nokelan rikkidioksidin vuorokausipitoisuuksien mittauksissa kaikkina tarkasteluvuosina. Rikkidioksidin mitattuihin lyhytaikaispitoisuuksiin vaikuttavat merkittävästi teollisuuden hetkelliset korkeat päästöt häiriötilanteissa. Leviämismallilla ei pystytä arvioimaan häiriöpäästöjen aiheuttamia pitoisuuksia, koska mallilaskelmat tehdään laitosten tiedossa olevilla normaalitoiminnan päästöillä.

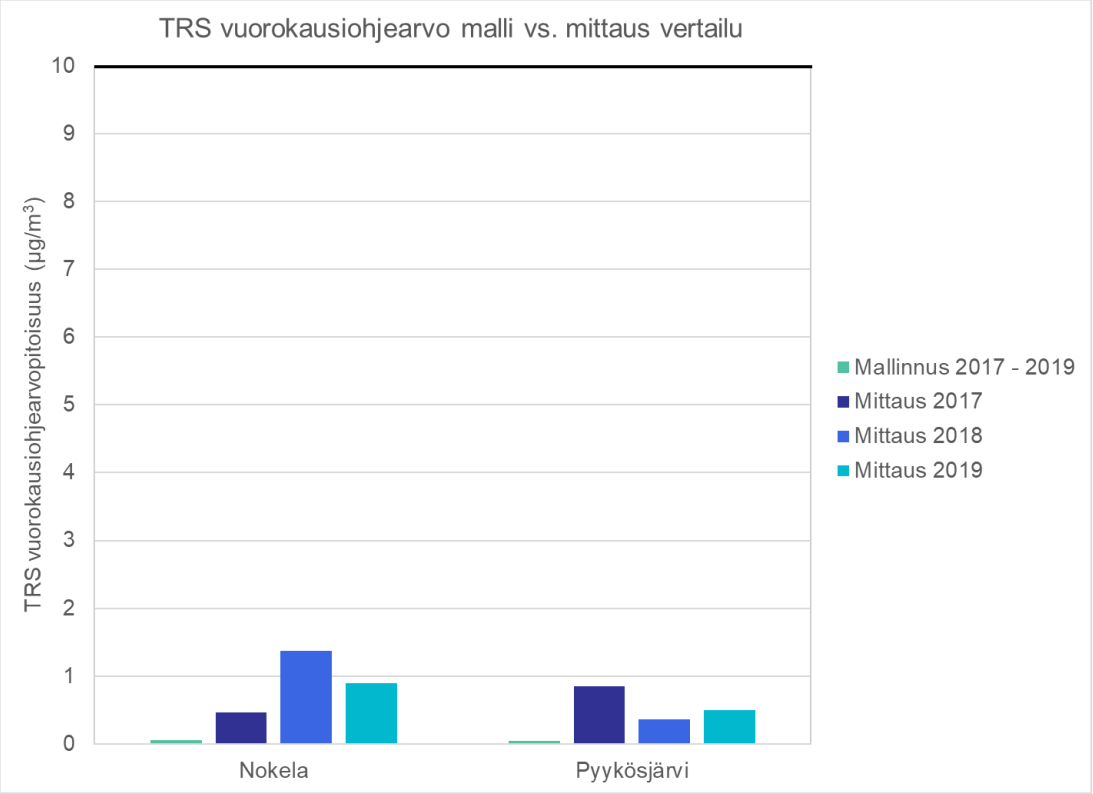


Kuva 25. Mallinnettujen ja mitattujen rikkidioksidin kriittiseen tasoon (20 µg/m³) verrannollisten vuosikeskiarvopitoisuuksien vertailu Oulun Nokelan ilmanlaadun mittausasemalla.



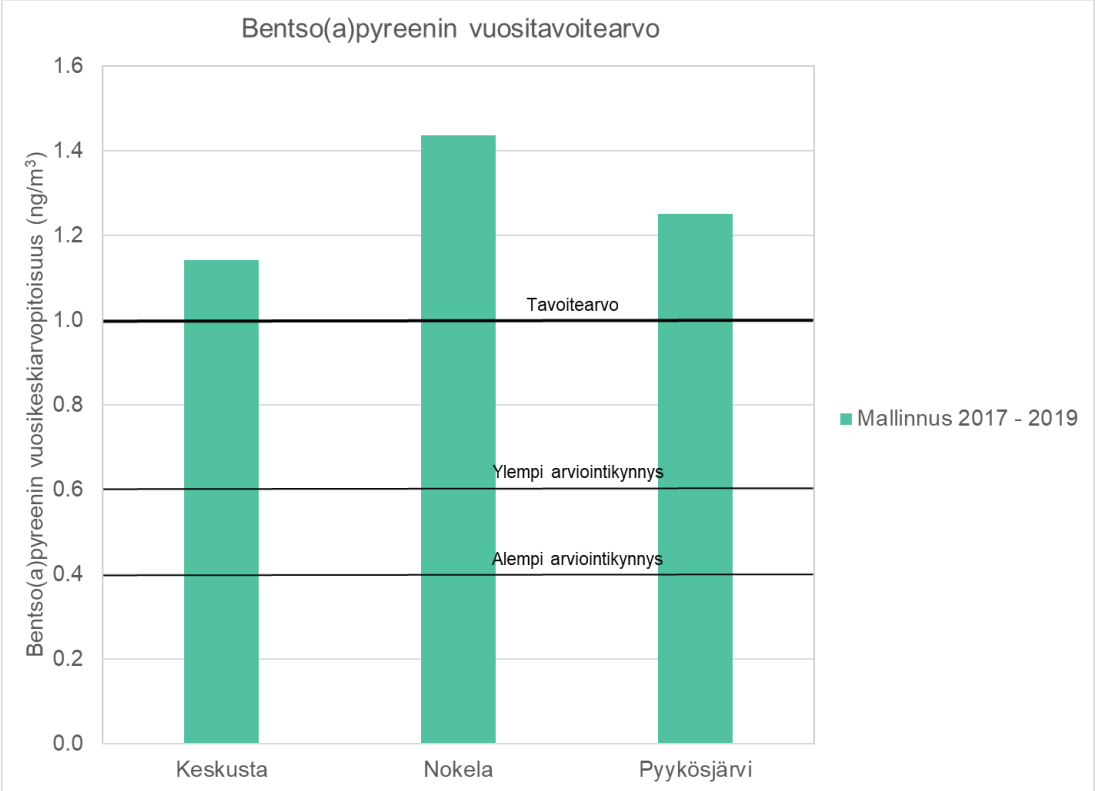
Kuva 26. Mallinnettujen ja mitattujen rikkidioksidin vuorokausiraja-arvoon (125 µg/m³) verrannollisten pitoisuuksien vertailu Oulun Nokelan ilmanlaadun mittausasemalla.

Mallinnetut haisevien rikkiyhdisteiden pitoisuudet olivat selvä aliarvio Nokelan ja Pyykösjärven mittausasemilla mitattuihin pitoisuuksiin verrattuna (kuva 27). Mallin tuloksena saadut matalat pitoisuudet johtuvat todennäköisesti siitä, että mallinnuksessa eivät olleet mukana kaikki mahdolliset hajupäästölähteet. Haisevien rikkiyhdisteiden leviämismallinnuksessa oli mukana vain kaksi teollisuuslaitosta (Stora Enso ja Kraton Chemical), joiden päästöt vapautuivat korkeiden piippujen kautta. Leviämismallissa ei huomioitu näiden laitosten hajapäästöjä eikä Ruskon jätekeskuksen alueelta vapautuvia TRS-päästöjä. Päästöjen korkea lämpötila ja poistokaasujen suuri nousunopeus piipussa edesauttavat päästöjen tehokasta leviämistä ja laimenemista ympäristöönsä. Hajapäästölähteet sijaitsevat useimmiten matalalla, lähellä hengityskorkeutta ja ne ovat läpimitaltaan usein isoja verrattuna mallilaskelmassa tarkasteltuihin pistemäisiin päästölähteisiin. Niiden päästöstä myös puuttuu piipuille tyypillinen ulospuhallus tai se on pieni verrattuna pistemäisiin päästölähteisiin ja siten on olettavaa, että niiden paikallinen vaikutus on piipuista vapautuvien päästöjen vaikutusta suurempi päästölähteiden lähialueella. Mallinnuksessa ei huomioitu myöskään eri lähteiden aiheuttamia häiriöpäästöjä. Nokelassa mitatut kohonneet TRS-pitoisuudet ja seudulla esiintyvät ajoittaiset hajuhaitat ovat viime vuosina liittyneet häiriötilanteisiin Stora Enson sellutehtaalla.

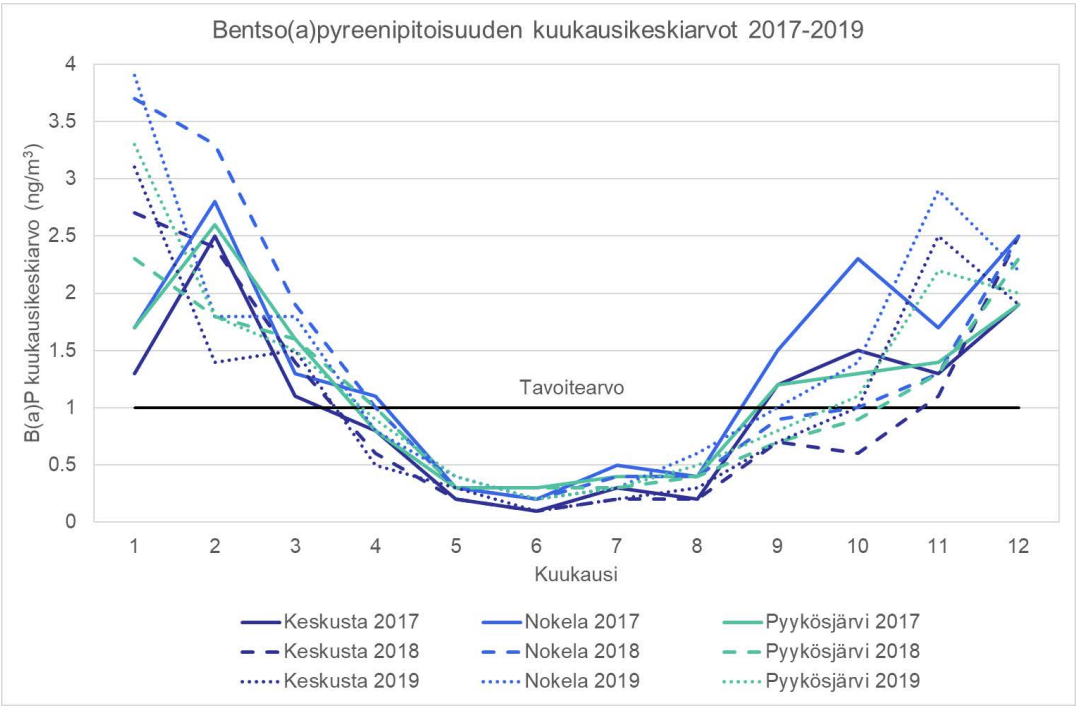


Kuva 27. Mallinnetut haisevien rikkiyhdisteiden ohjearvoon (10 µg(S)/m³) verrannolliset pitoisuudet Oulun Nokelan ja Pyykösjärven ilmanlaadun mittausasemilla.

Bentso(a)pyreeniä ei ole mitattu Oulussa lainkaan, mutta sen pitoisuudet mallinnettiin samoihin ilmanlaadun mittauspisteisiin kuin muutkin epäpuhtaudet (kuva 28). Pitoisuudet ylittävät kaikkien mittausasemien kohdalla bentso(a)pyreenin tavoitearvon (1 ng/m^3). Mallinnuksen mukaan pitoisuudet ovat korkeimmillaan Nokelan mittausaseman kohdalla. Tavoitearvon ylittyessä seuranta-alueella on tehtävä mittauksia. Arviointikynnyksen katsotaan ylittyvän vasta, kun kynnyksen lukuarvo on ylittynyt vähintään kolmena vuonna viiden vuoden aikana. Mallilaskelmin tarkasteltiin myös bentso(a)pyreenipitoisuuksien vuodenaikaisvaihtelua kuukausikeskiarvojen avulla (kuva 29). Tavoitearvotason ylittäviä pitoisuuksia voi mallilaskelmien mukaan esiintyä syyskuun ja huhtikuun välisen lämmityskauden aikana. Korkeimmillaan mallinnetut bentso(a)pyreenipitoisuudet ovat tammi-helmikuussa. Erilaiset meteorologiset olosuhteet eri talvina vaikuttavat lämmitystarpeeseen ja korkeimpien bentso(a)pyreenipitoisuuksien muodostumisen ajankohtaan. Kesäkaudella bentso(a)pyreenin pitoisuudet ovat alhaisia alittaen tavoitearvon ja ylemmän arviointikynnyksen tason. Tulee kuitenkin huomioida, että tavoitearvo ja arviointikynnykset on annettu bentso(a)pyreenin vuosikeskiarvopitoisuudelle eikä niitä voi suoraan verrata kuukausikeskiarvopitoisuuksiin.



Kuva 28. Mallinnetut bentso(a)pyreenin tavoitearvoon (1 ng/m³) verrannolliset pitoisuudet Oulun ilmanlaadun mittausasemien kohdilla. Oulussa ei ole mitattu bentso(a)pyreeniä.



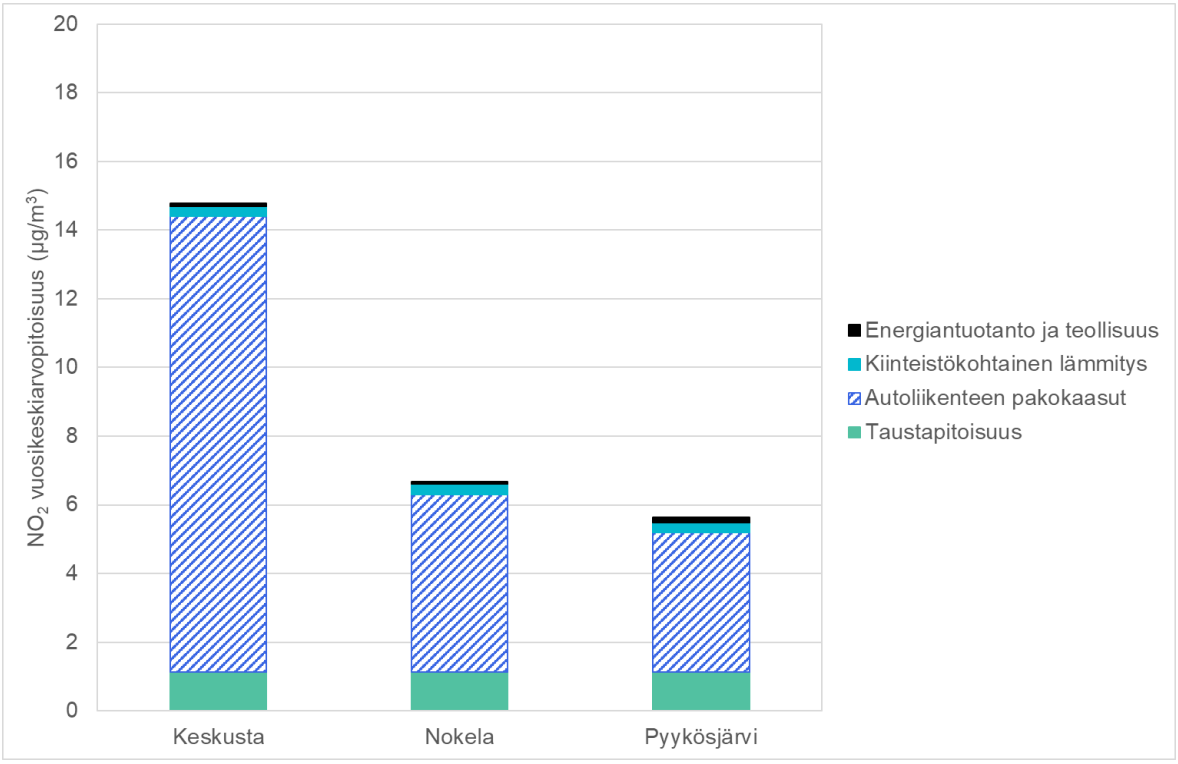
Kuva 29. Mallinnetut bentso(a)pyreenin kuukausikeskiarvopitoisuudet (ng/m³) Oulun ilmanlaadun mittausasemien kohdilla vuosina 2017–2019. Kuvaan merkitty tavoitearvo on annettu bentso(a)pyreenin vuosikeskiarvopitoisuudelle.

Malli-mittausvertailun tulosten perusteella voidaan todeta, että leviämismallitulokset edustavat suurimmaksi osaksi hyvin Oulun ilmanlaatutilannetta erityyppisillä alueilla. Mallitulosten epävarmuus kuitenkin kasvaa lyhytaikaisissa pitoisuuksissa vuosikeskiarvopitoisuuksiin verrattuna. Yhtenä syynä epävarmuuteen voi olla käytettyjen lähtötietojen (päästötiedot ja niiden ajallinen vaihtelu) tarkkuus.

2.7.2 Eri päästölähteiden vaikutus ilmanlaatuun

Oulun ilmanlaadun mittauspisteisiin mallinnettujen pitoisuuksien avulla voitiin tarkastella eri päästölähdesektoreiden osuutta mallinnetuista epäpuhtauspitoisuuksista erityyppisissä ympäristöissä ja arvioida siten eri päästölähteiden vaikutusta ilmanlaatuun. Tarkastelussa ovat kaikki kolme ilmanlaadun mittausasemaa riippumatta siitä, mitataanko kyseistä ilman epäpuhtautta tällä asemalla. Kuvissa 30–35 on esitetty eri päästölähdesektoreiden osuus mallinnetuista typpidioksidin, pienhiukkasten, hengitettävien hiukkasten, rikkidioksidin ja bentso(a)pyreenin vuosikeskiarvopitoisuuksista. Mallilaskelmissa on oletettu kaiken bentso(a)pyreenin olevan peräisin kiinteistökohtaisesta lämmityksestä, minkä vuoksi tässä yhteydessä esitellään bentso(a)pyreenipitoisuuden jakautuminen eri lämmityslähteiden kesken. Haisevien rikkiyhdisteiden päästöt ovat kokonaan peräisin teollisuudesta, joten TRS-pitoisuuksia ei esitetä seuraavissa kuvaajissa.

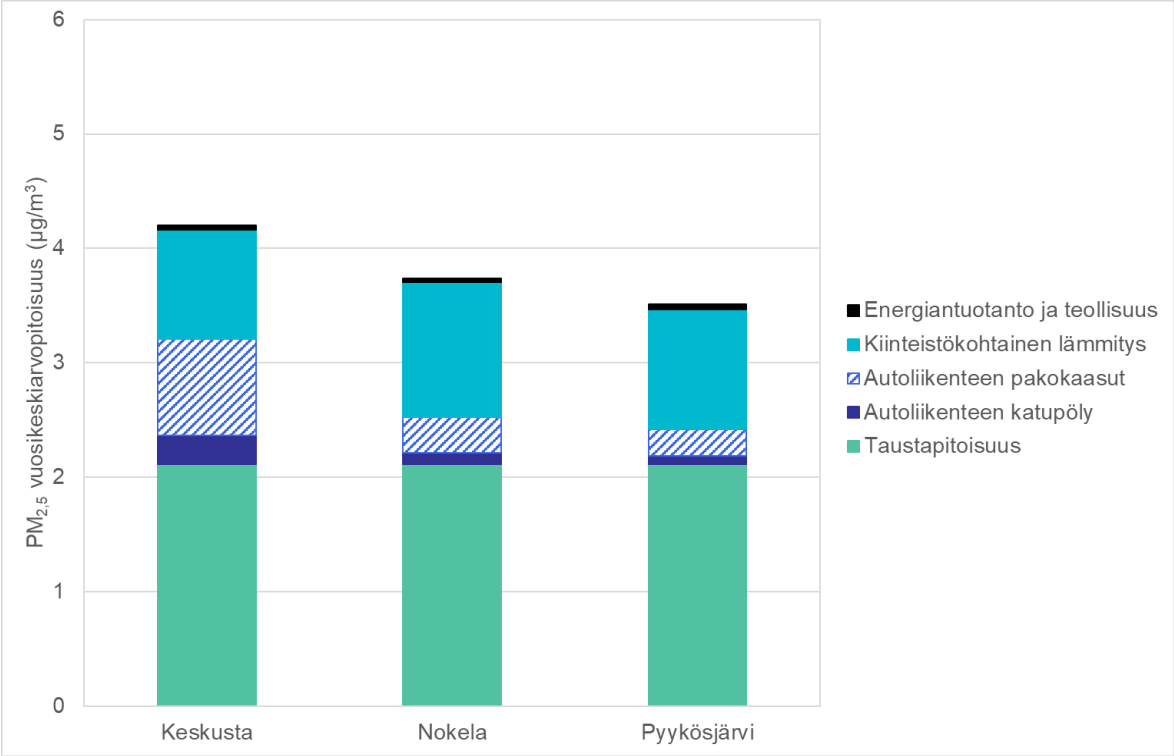
Autoliikenteen pakokaasupäästöt vaikuttavat eniten typpidioksidipitoisuuksiin. Mittausaseman ympäristöstä riippuen liikenteen päästöjen vaikutusosuus on mittausasemilla noin 70–90 % typpidioksidipitoisuuksista. Suurimmillaan liikennepäästöjen vaikutusosuus on vilkkaasti liikennöidyn Saaristonkadun varrella sijaitsevan Oulun keskustan mittausaseman kohdalla. Taustapitoisuuden osuus on noin 10–20 % mallinnetusta typpidioksidipitoisuudesta. Energiantuotannon ja teollisuuden vaikutusosuus on noin 1–3 % ja kiinteistökohtaisen lämmityksen 2–5 % typpidioksidipitoisuuksista.



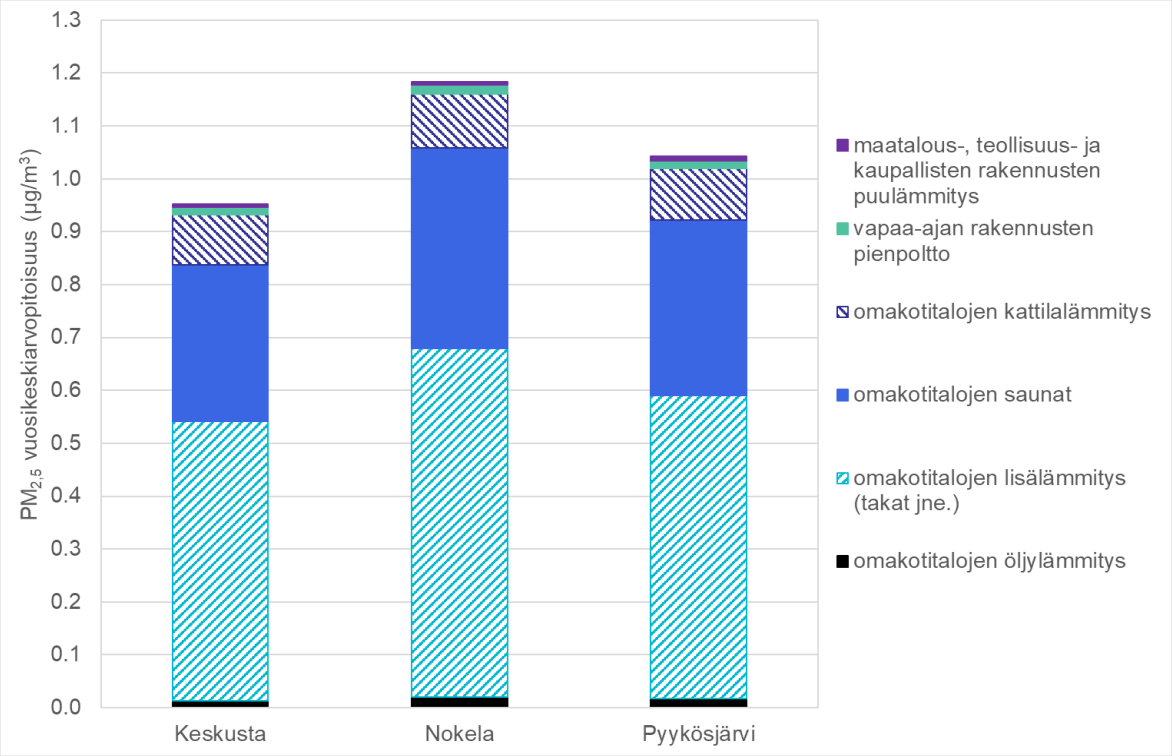
Kuva 30. Eri päästölähdesektoreiden osuus mallinnetuista typpidioksidin vuosikeskiarvopitoisuuksista ilmanlaadun mittauspisteiden kohdilla.

Taustapitoisuus eli alueelle muualta kulkeutuneet pienhiukkaset aiheuttavat suurimman osan, noin 50–60 %, pienhiukkaspitoisuuksista eri mittausasemilla. Kiinteistökohtainen lämmitys vaikuttaa Nokelan ja Pyykösjärven mittausasemilla liikennepäästöjä enemmän pienhiukkaspitoisuuksiin. Pienpolton osuus mallinnetuista pienhiukkaspitoisuuksista on noin 20–30 %. Pienpolton ilmanlaatuvaikutuksesta yli puolet aiheutuu lisälämmityslähteiden kuten takkojen päästöistä, kolmannes kiukaiden päästöistä ja kymmenys puukattilalämmityksestä. Liikenteen pakokaasupäästöjen vaikutusosuus on 7–20 % ja katupölyn 2–6 % pienhiukkasten kokonaispitoisuudesta. Ainoastaan Oulun keskustan mittausasemalla liikennepäästöjen vaikutusosuus on hieman pienpolton osuutta suurempi. Energiantuotannon ja teollisuuden vaikutusosuus on kaikilla mittausasemilla noin 1 % pienhiukkaspitoisuuksista.

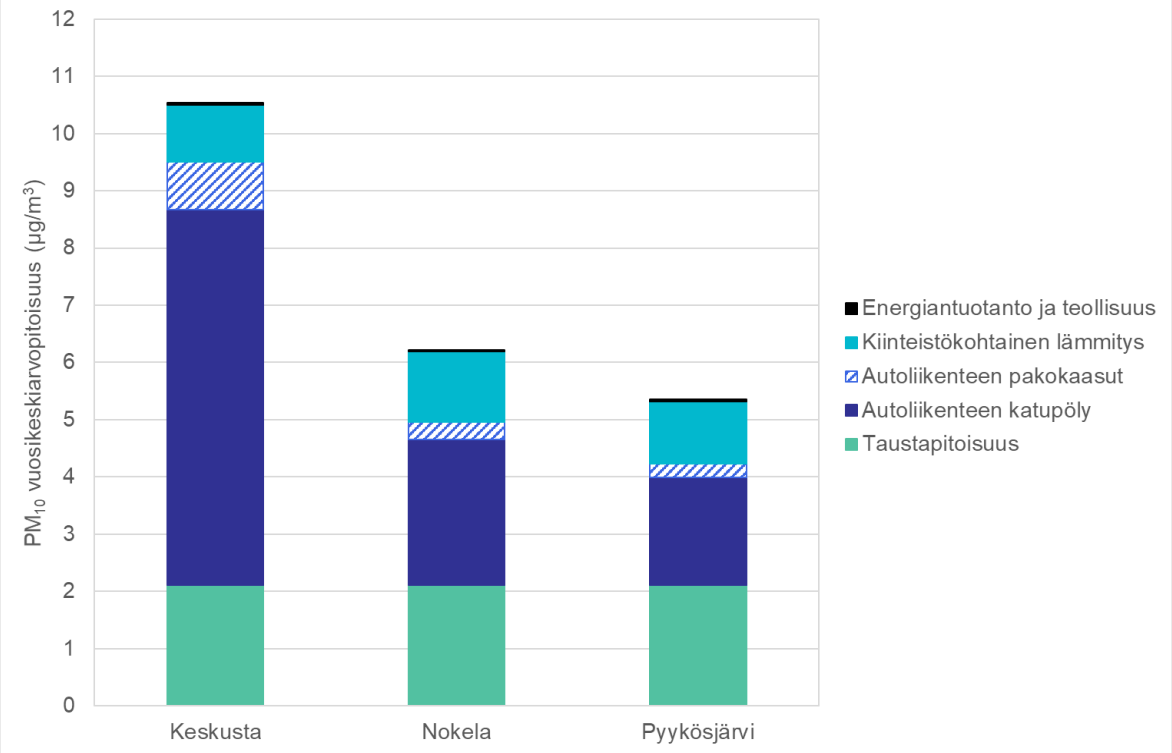
Hengitettävien hiukkasten pitoisuudesta taustapitoisuuden osuus on ympäristöstä riippuen noin 20–40 %. Päästölähdesektoreista katupöly vaikuttaa eniten hengitettävien hiukkasten pitoisuuksiin (noin 40–60 %). Vilkkaasti liikennöidyn Oulun keskustan mittausaseman kohdalla katupöly aiheuttaa 63 % hengitettävien hiukkasten pitoisuuksista. Liikenteen pakokaasupäästöjen vaikutusosuus on 5–8 %. Kiinteistökohtaisen lämmityksen osuus hiukkaspitoisuuksista on noin 10–20 %. Energiantuotannon ja teollisuuden vaikutusosuus on alle 1 % hengitettävien hiukkasten pitoisuuksista.



Kuva 31. Eri päästölähdesektoreiden osuus mallinnetuista pienhiukkasten vuosikeskiarvopitoisuuksista ilmanlaadun mittauspisteiden kohdilla.

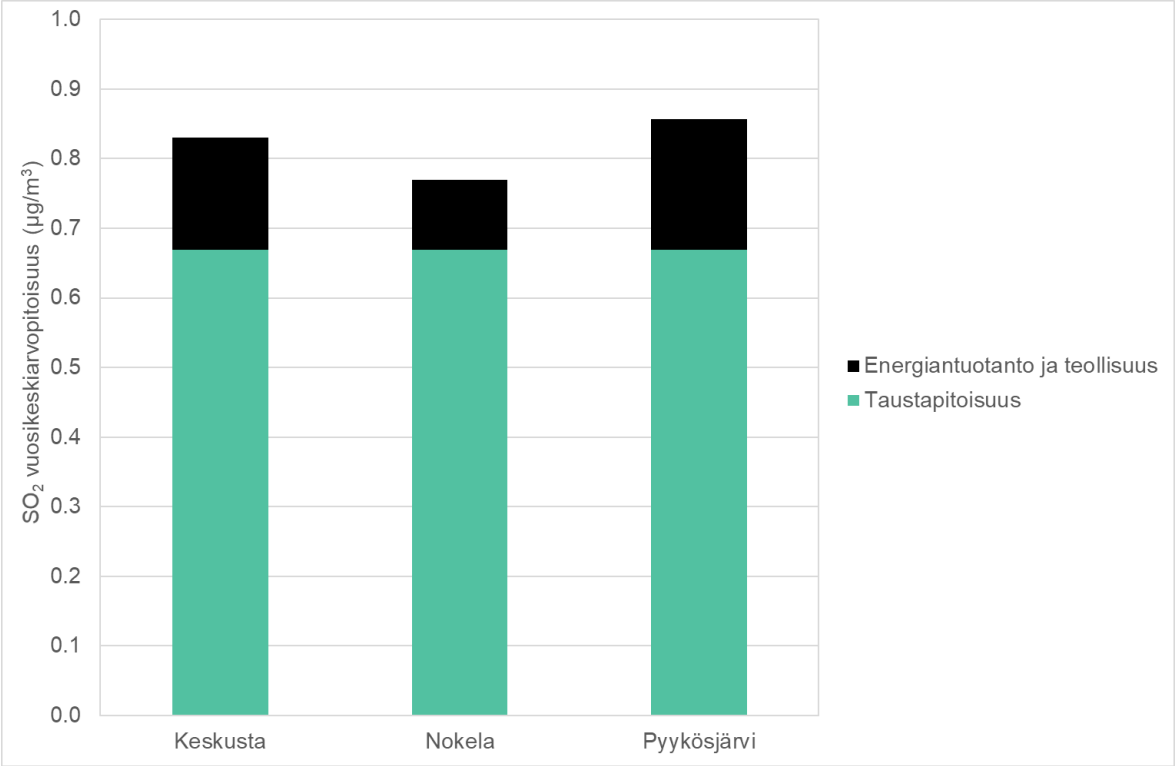


Kuva 32. Eri lämmityslähteiden osuus mallinnetuista kiinteistökohtaisen lämmityksen aiheuttamista pienhiukkasten vuosikeskiarvopitoisuuksista ilmanlaadun mittauspisteiden kohdilla.



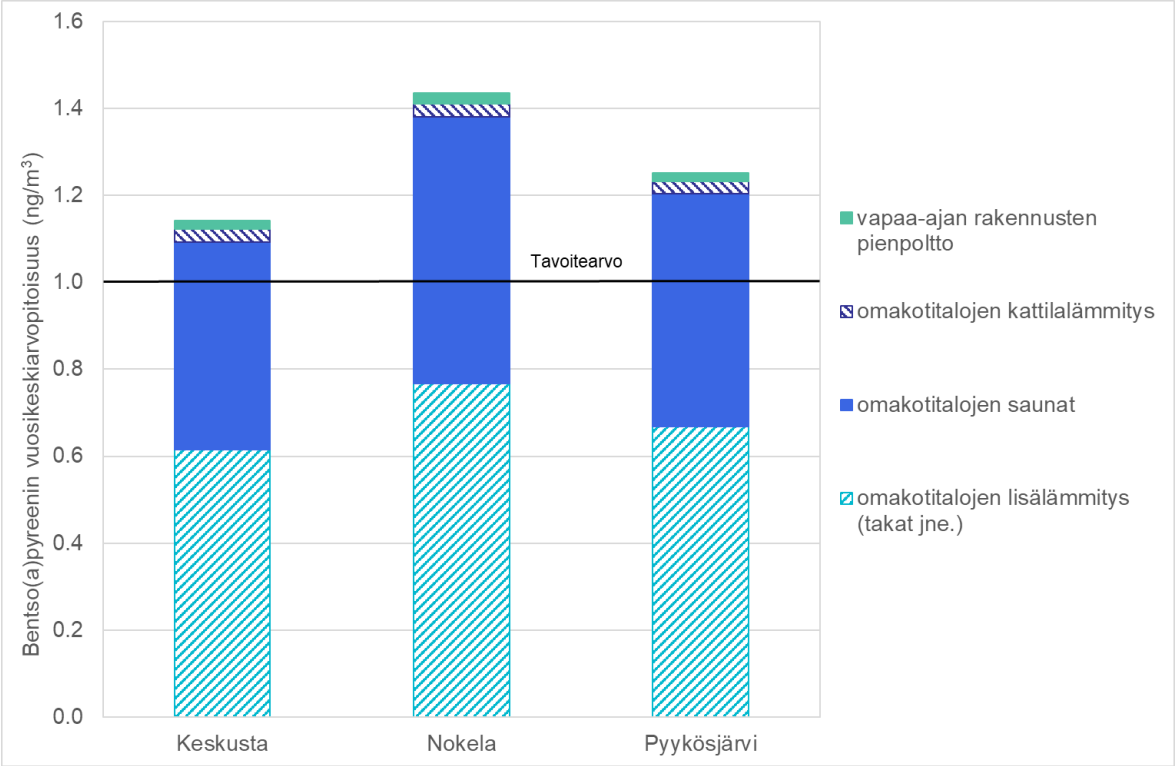
Kuva 33. Eri päästölähdesektoreiden osuus mallinnetuista hengitettävien hiukkasten vuosikeskiarvopitoisuuksista ilmanlaadun mittauspisteiden kohdilla.

Rikkidioksidin taustapitoisuus vaikuttaa eniten rikkidioksidin kokonaispitoisuuksiin. Taustapitoisuuden vaikutusosuus on noin 80–90 %. Energiantuotannon ja teollisuuden osuus mallinnetuista rikkidioksidipitoisuuksista on paikallisesti noin 10–20 %. Suurimmillaan energiantuotannon ja teollisuuden vaikutusosuus on Pyykösjärven mittausaseman kohdalla, joka sijaitsee Takalaanilan teollisuusalueen ja Toppilan voimalaitoksen välissä sekä vallitsevien tuulensuuntien alapuolella suhteessa Nuottasaaren teollisuusalueen päästölähteisiin. Mallinnetut rikkidioksidipitoisuudet ja niiden erot eri mittausasemien välillä ovat kuitenkin pieniä.



Kuva 34. Eri päästölähdesektoreiden osuus mallinnetuista rikkidioksidin vuosikeskiarvopitoisuuksista ilmanlaadun mittauspisteiden kohdilla.

Mallinnuksessa bentso(a)pyreenin päästölähteistä on huomioitu ainoastaan kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöt, joten kuvassa on esitetty bentso(a)pyreenin vaikutusosuuden jakautuminen näiden eri lämmityslähteiden kesken. Mittausasemien kohdalle malinnuksessa saaduista bentso(a)pyreenin pitoisuuksista yli puolet aiheutuu omakotitalojen lisälämmityslähteistä, kuten takoista, ja yli 40 % saunankiukaiden päästöistä. Omakotitalojen puukattilalämmityksen vaikutusosuus on 2–3 % ja kesämökkien puun pienpolton osuus 2 % Oulun ilmanlaadun mittauspisteiden kohdilla.



Kuva 35. Eri lämmityslähteiden osuus mallinnetuista kiinteistökohtaisen lämmityksen aiheuttamista bentso(a)pyreenin vuosikeskiarvopitoisuuksista ilmanlaadun mittauspisteissä.

3 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET LEVIÄMISMALLILASKELMASTA

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

Ilmanlaatuselvityksessä arvioitiin leviämismallilaskelmilla pitoisuuksien muodostumista Ouluun, Haukiputaan, Oulunsalon ja Kiimingin taajamien rajaamalle alueelle. Laajalle alueelle tehdyn leviämismallinnuksen tuloksia voidaan käyttää alueellisten ilmanlaatuvaikutusten arvioinnissa, täydentämässä mittauksin saatua tietoa ilmanlaadusta ja sen vaihtelusta sekä tulevien ilmanlaadun mittausten suunnittelussa ja mittausverkon optimoinnissa.

Leviämismallilaskelmat tehtiin käyttäen Ilmatieteen laitoksella kehitettyjä päästöjen laskenta- ja leviämismalleja: pistemäisten ja pintalähteiden leviämismalli UDM-FMI, liikenteen pakokaasupäästöjen leviämismalli CAR-FMI sekä katupölypäästöjen suspensiopäästömalli FORE. Mallilaskelmissa otettiin huomioon päästölähteiden aiheuttamien pitoisuuksien lisäksi alueellinen taustapitoisuus. Mallinnuksessa käytettiin taustapitoisuutena Ilmatieteen laitoksen Kuusamon Juuman ja Kittilän Matorovan mittausasemien vuosien 2017–2019 havaintoja. Meteorologinen aineisto on koostettu Ilmatieteen laitoksen Oulunsalon Pellonpään ja Hailuodon Marjaniemen sääasemien vuosien 2017–2019 mittaushavainnoista.

Leviämismallin lähtötietoina käytetyt päästöt kattoivat suurimman osan Oulussa syntyvistä typen oksidien, hiukkasten, rikkidioksidin, haisevien rikkiyhdisteiden ja bentso(a)pyreenin päästöistä. Ilmatieteen laitos laski autoliikenteen päästöt kaupungin toimittamien liikennemäärätietojen perusteella, käyttäen VTT:n LIPASTO:n kaupunkikohtaisia ajoneuvo- ja ajosuoritejakaumia sekä Euroopan ympäristöviraston (EEA) tieliikenteen ajoneuvotyyppikohtaisia EURO-päästöluokasta ja nopeudesta riippuvia päästökertoimia. Autoliikenteen pienhiukkasten ja hengitettävien hiukkasten päästöt sisältävät autojen pakokaasuista peräisin olevat sekä katupölystä peräisin olevat hiukkaset. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöt ja muut tekniset tiedot pyydettiin suoraan toiminnanharjoittajilta. Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöinä käytettiin SYKE:n alueellisen päästöskenaariomallin (FRES) päästöjä 250 m × 250 m päästöruuduittain.

Epäpuhtauksien pitoisuuksia ulkoilmassa säädellään ilmanlaadun ohje-, raja- ja tavoitearvoilla. Ilmanlaadun ohjearvot tulisi ottaa huomioon esimerkiksi liikennesuunnittelussa, kaavoituksessa, rakennusten sijoittelussa ja teknisissä ratkaisuissa, jolloin pyritään etukäteen välttämään ihmisten altistuminen terveydelle haitallisen korkeille ilman epäpuhtauksien pitoisuuksille. Terveysvaikutusperusteiset ilmanlaadun raja-arvot ovat ohjearvoja sitovampia, eivätkä ne saa ylittyä alueella, joilla asuu tai oleskelee ihmisiä. Esimerkiksi autoliikenteelle varatuilla väylillä raja-arvot eivät kuitenkaan ole voimassa. Tavoitearvon ylittyminen on mahdollisuuksien mukaan pyrittävä välttämään, jotta voidaan vähentää ihmisten terveyteen ja ympäristöön kohdistuvia haitallisia vaikutuksia.

Kaikkien tutkimuksessa huomioitujen päästöjen sekä alueellisen taustapitoisuuden yhdessä aiheuttamat typpidioksidin kokonaispitoisuudet alittavat mallilaskelmien mukaan ilmanlaadun raja-arvot kaikkialla tarkastelualueella. Typpidioksidin vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus voi ylittyä epäedullisissa meteorologisissa tilanteissa kaupunkia halkaisevan moottoritien varrella ja Oulun keskustan sisääntulojen vilkasliikenteisillä risteysalueilla. Suurin vaikutus alueen typpidioksidin ja typen oksidien pitoisuustasoihin on autoliikenteen päästöillä. Typen oksidien

vuosikeskiarvo ylittää sille asetetun kriittisen tason ainoastaan liikenneväylien välittömässä läheisyydessä, muttei rakennetun ympäristön ulkopuolella.

Pienhiukkasten vuosikeskiarvopitoisuudet alittavat raja-arvon ja WHO:n ohjearvon selvästi koko Oulun alueella. Pienhiukkaspitoisuudet ovat suurimmillaan vilkkaimpien liikenneväylien varrella. Taustapitoisuus vaikuttaa eniten mallinnettuihin pienhiukkasten kokonaispitoisuuksiin. Pienhiukkaspitoisuuksien alueellinen vaihtelu on vähäistä, koska suurin osa kokonaispitoisuudesta aiheutuu taustapitoisuudesta, joka koostuu pääosin kaukokulkeutuneista pienhiukkasista. Hetkelliset pienhiukkaspitoisuudet ylittävät leviämismallilaskelmien mukaan korkeimmillaan WHO:n vuorokausiohjearvon moottoritien varrella ja sen läheisyydessä olevilla pientaloalueilla.

Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet kohoavat etenkin katupölykaudella vilkkaasti liikennöityjen väylien läheisyydessä. Mallilaskelmien mukaan hengitettävien hiukkasten vuosiraja-arvo alittuu, mutta vuorokausipitoisuuksille annetut raja- ja ohjearvot ylittyvät moottoritiellä ja sen risteysalueilla. Moottoritien ulkopuolella raja-arvo kuitenkin alittuu. Autoliikenteelle varatuilla väylillä raja-arvot eivät ole voimassa. Hengitettävien hiukkasten korkeiden pitoisuuksien muodostumiseen voidaan merkittävästi vaikuttaa katujen talvikunnossapidolla sekä oikea-aikaisella hiekanpoistolla ja pölynsidonnalla.

Rikkidioksidipitoisuudet ovat Oulussa pääsääntöisesti pieniä. Energiantuotanto- ja teollisuuslaitosten päästöillä on paikallinen vaikutus rikkidioksidin pitoisuuksiin lähialueillaan. Mallinnetut rikkidioksidipitoisuudet alittavat kaikki ilmanlaadun raja- ja ohjearvot koko Oulussa. Haisevien rikkiyhdisteiden pitoisuudet ovat mallilaskelmien mukaan pieniä. Hajutilanteita syntyy selluteollisuuslaitoksissa nykyisin lähinnä häiriötilanteissa.

Bentso(a)pyreenin tavoitearvo ylittyy laajalti pientaloalueilla Oulun kaupunginosissa sekä Kempeleen, Oulunsalon, Haukiputaan ja Jäälin taajamien asuinalueilla. Ilmanlaadun jatkuvia mittauksia on tehtävä seuranta-alueilla, joilla ylempi arviointikynnys ja tavoitearvo ylittyvät. Leviämismallilaskelmien tulosten perusteella Oulun pientalovaltaisilla asuinalueilla olisi jatkossa tarpeen kartoittaa bentso(a)pyreenin pitoisuustasoja ilmanlaadun mittauksien avulla.

Selvityksessä tarkasteltiin eri päästölähteiden vaikutusosuutta ilman epäpuhtauksien pitoisuuksista. Autoliikenne vaikuttaa selvästi eniten typpidioksidin pitoisuuksiin. Kaukokulkeuma ja taustapitoisuudet aiheuttavat suurimman osan pienhiukkaspitoisuuksista. Päästölähteistä kiinteistökohtainen lämmitys ja liikenne aiheuttavat merkittävän lisän pienhiukkasten taustapitoisuuksiin pientaloalueilla ja liikenneväylien vaikutusalueella. Katupöly vaikuttaa eniten hengitettävien hiukkasten pitoisuuksiin. Energiantuotanto- ja teollisuuslaitosten päästöt vaikuttavat eniten rikkidioksidin ja haisevien rikkiyhdisteiden pitoisuuksiin. Bentso(a)pyreenin pitoisuudet aiheutuvat kokonaan kiinteistökohtaisesta lämmityksestä.

Päästöt leviävät melko tasaisesti joka ilmansuuntaan päästölähteiden ympäristöön, vaikka vallitsevat tuulensuunnat tutkimusalueella ovatkin etelästä ja lounaasta. Kaikkein korkeimmat pitoisuudet havaitaan todennäköisesti heikkotuulisissa tilanteissa, jolloin sekoittuminen on vähäistä. Kun tuulennopeus on suuri, päästöt leviävät ja laimenevat tehokkaammin. Ihmiset altistuvat helposti liikenteen päästöille ja kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöille, jotka vapautuvat matalalta, läheltä ihmisten hengityskorkeutta. Kun päästöt vapautuvat korkeista piipuista, ehtivät ne laimentua ennen leviämistään ympäristöönsä. Toisaalta korkealta vapautuvat päästöt voivat kulkeutua kauemmas päästölähteistä kuin maanpintatasolta vapautuvat päästöt. Savukaasujen nousunopeus piipussa sekä ulkolämpötilan ja savukaasujen lämpötilan välinen ero aiheuttavat päästöihin nousulisää, joka edesauttaa piipuista ja hormeista vapautuvien päästöjen laimenemista ja leviämistä laajalle alueelle. Kuuma savukaasu kohoaa ylöspäin kylmempää ilmaa korkeammalle kunnes kaasun lämpötila on jäähtynyt ulkoilman tasolle. Piipuista suurella nousunopeudella vapautuvien kuumien savukaasujen vaikutukset maanpinnalla jäävät siten pieniksi vaikka päästömäärät olisivat suuriakin.

Mallilaskelmien tulosten luotettavuuteen vaikuttavat merkittävästi mallin lähtötietoina käytettävien meteorologisten tietojen, taustapitoisuuksien sekä päästötietojen ja muiden lähtötietojen oikeellisuus, kuten päästölaskennan pohjana olevan liikennemääräarvion luotettavuus, käytettyjen ajoneuvokohtaisten päästökertoimien edustavuus sekä laitosten päästöjen huomioiminen ja lyhytaikaisten päästövaihteluiden kuvaaminen mallissa. Mallissa ei ole nyt lainkaan otettu huomioon erilaisista laitosten hajapäästölähteistä vapautuvia päästöjä. Mallilaskelmien tulosten ja käytettyjen lähtötietojen edustavuutta arvioitiin vertaamalla mallinnettuja tuloksia Oulun ilmanlaadun mittausasemien vuosien 2017–2019 mittaustuloksiin. Mallinnuksen ja mittausten epävarmuudet huomioiden voidaan arvioida typpidioksidin, pienhiukkasten ja hengitettävien hiukkasten sekä rikkidioksidin malli- ja mittaustulosten olevan pääosin hyvin yhteensopivia ja mallitulosten täyttävän mallintamisen epävarmuudelle asetetut laatutavoitteet.

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



Kuva: Jatta Salmi

OSA II

4 TAUSTATIETOA ILMANLAADUSTA

4.1 Ilmanlaatuun vaikuttavat tekijät

Ilmanlaatua heikentävien epäpuhtauksien suurimpia päästölähteitä Suomessa ovat liikenne, energiantuotanto, teollisuus ja asuinrakennusten puunpoltto. Ilmansaasteita kulkeutuu Suomeen myös kaukokulkeumana maamme rajojen ulkopuolelta. Ilman epäpuhtauksien päästöistä suurin osa vapautuu ilmakehän alimpaan kerrokseen, jota kutsutaan ilmakehän rajakerrokseksi. Rajakerroksessa päästöt sekoittuvat ympäröivään ilmaan ja ilman epäpuhtauksien pitoisuudet laimenevat. Päästöt voivat levitä liikkuvien ilmamassojen mukana laajoille alueille. Tämän kulkeutumisen aikana ilmansaasteet voivat reagoida keskenään sekä muiden ilmassa olevien yhdisteiden kanssa muodostaen uusia yhdisteitä. Ilmansaasteet poistuvat ilmasta sateen huuhtomina (märkälaskeuma), kuivalaskeumana erilaisille pinnoille tai kemiallisen muutunnan kautta.

Ilmansaasteiden leviäminen tapahtuu pääosin ilmakehän alimmassa osassa, rajakerroksessa. Sen korkeus on Suomessa tyypillisesti alle kilometri, mutta varsinkin kesällä se voi nousta yli kahteen kilometriin. Matalimmat rajakerroksen korkeudet havaitaan yleensä talvella kovilla pakkasilla. Rajakerroksen korkeus määrää ilmatilavuuden, johon päästöt voivat välittömästi sekoittua. Rajakerroksen tuuliolosuhteet määräävät karkeasti ilmansaasteiden kulkeutumissuunnan, mutta rajakerroksen ilmavirtausten pyörteisyys ja kerroksen korkeus vaikuttavat merkittävästi ilmansaasteiden sekoittumiseen ja pitoisuuksien laimenemiseen kulkeutumisen aikana. Leviämisen kannalta keskeisiä meteorologisia tekijöitä ovat tuulen suunta ja nopeus, ilmakehän stabiilisuus ja sekoituskorkeus. Ilmakehän stabiilisuudella tarkoitetaan ilmakehän herkkyyttä pystysuuntaiseen sekoittumiseen. Stabiilisuuden määrää ilmakehän pystysuuntainen lämpötilarakenne sekä mekaaninen turbulenssi eli alustan kitkan synnyttämä ilman pyörteisyys.

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

4.2 Typpidioksidi

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

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

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

Typpidioksidin vuosiraja-arvo 40 µg/m³ alittuu nykyisin Suomessa. Typpidioksidin vuosikeskiarvopitoisuudet ovat olleet viime vuosina suurimmissa kaupungeissa keskimäärin 15−25 µg/m³. Vilkkaimmilla teillä ja katukuiluosuuksilla vuosipitoisuudet voivat olla yli 25 µg/m³. Pienissä ja keskisuurissa kaupungeissa typpidioksidin vuosikeskiarvot ovat yleensä noin 5−15 µg/m³ mittausympäristöstä riippuen. Typpidioksidin tuntipitoisuudet voivat kohota yli raja-arvotason (200 µg/m³) yksittäisillä mittausasemilla muutamina tunteina vuodessa. Ylitystunteja saa olla vuodessa 18 kpl, ennen kuin raja-arvo katsotaan ylittyneeksi. Puhtailla tausta-alueilla typpidioksidin vuosikeskiarvot ovat olleet Etelä-Suomessa noin 1,5–4 µg/m³ ja Pohjois-Suomessa noin 1 µg/m³ (*Ilmatieteen laitos, 2021*).

4.3 Rikkidioksidi

Ulkoilman rikkidioksidipitoisuudet ovat nykyisin alhaisella tasolla Suomessa. Rikkidioksidipäästöjen tehokkaan ja pitkäjänteisen rajoittamisen seurauksena kaupunkialueiden rikkidioksidipitoisuudet ovat laskeneet lähelle tausta-alueiden pitoisuuksia. Ulkoilmassa oleva rikkidioksidi on pääosin peräisin energiantuotannosta, teollisuudesta ja laivojen päästöistä. Teollisuuspaikkakunnilla rikkidioksidipitoisuudet voivat kohota lyhytaikaisesti ja paikallisesti epäedullisissa meteorologisissa tilanteissa sekä häiriöpäästötilanteissa. Myös satamien ja huippulämpökeskusten lähellä voi ajoittain esiintyä korkeita lyhytaikaispitoisuuksia. Puhtailla tausta-alueilla rikkidioksidipitoisuuden vuosikeskiarvot ovat olleet jo useiden vuosien ajan noin 1−2 µg/m³ (*Ilmatieteen laitos, 2021*).

4.4 Haisevat rikkiyhdisteet

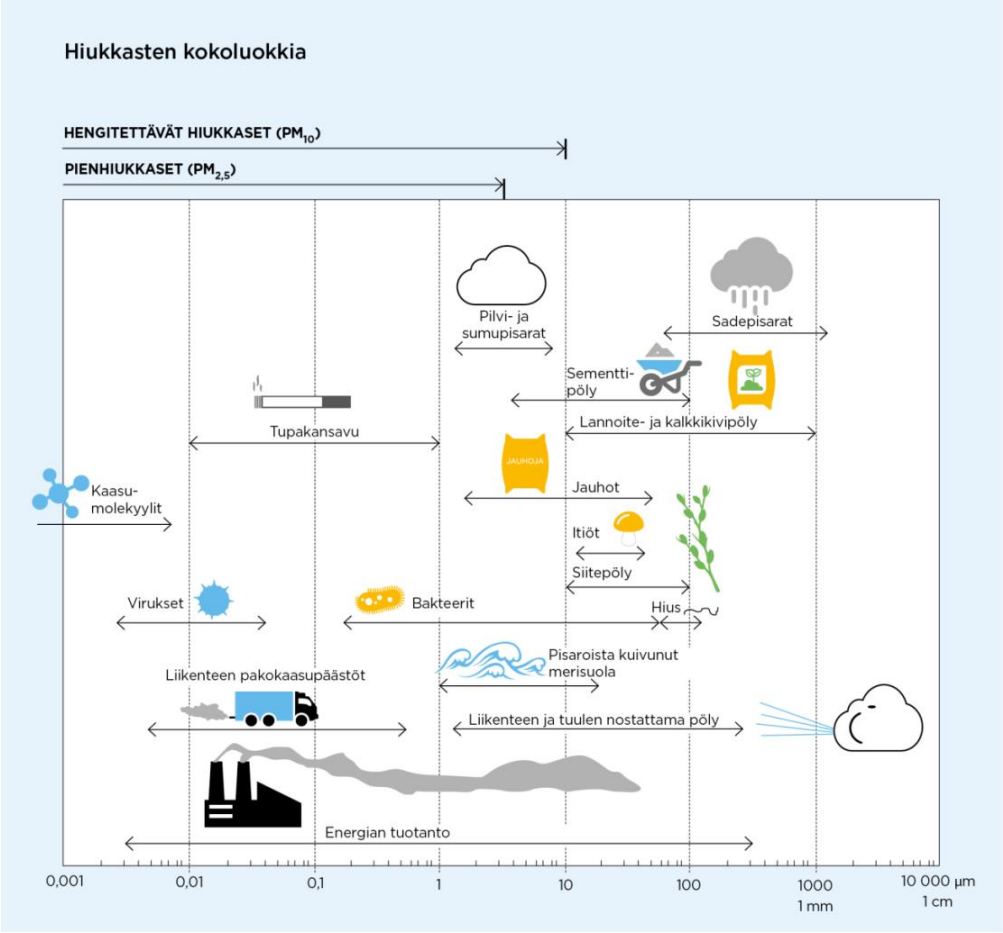
Haisevat rikkiyhdisteet aiheuttavat suomalaisille tutun selluteollisuuden pahan hajun. Samanlaisia rikkiyhdisteitä syntyy myös orgaanisen aineen hapettomassa hajoamisessa eli mätänemisessä esimerkiksi kaatopaikoilla ja jätevedenkäsittelyssä. Haisevilla rikkiyhdisteillä tarkoitetaan pelkistyneitä rikkiyhdisteitä (TRS=Total Reduced Sulphur), kuten rikkivety H_2S, metyylimerkaptaani CH_3SH, dimetyylisulfidi $(CH_3)_2S$ ja dimetyylidisulfidi $(CH_3)_2S_2$. Näitä yhdisteitä esiintyy selluteollisuuden päästöissä vaihtelevina osuuksina. Useimmiten rikkiyhdisteitä käsitellään kokonais-TRS-päästöinä ja -pitoisuuksina. Kullakin yhdisteellä on sille ominainen hajukynnys eli pitoisuus, jossa puolet ihmisistä aistii hajua. Haisevat rikkiyhdisteet aiheuttavat jo pieninä pitoisuuksina yhdyskuntailmassa viihtyvyyshaittaa epämiellyttävän hajunsa takia. Ulkoilman haisevia rikkiyhdisteiden pitoisuuksia ei Suomessa seurata puhtailla tausta-alueilla vaan mittauksia tehdään ainoastaan teollisuuspäästöjen vaikutusalueilla.

4.5 Hiukkaset

Ulkoilman hiukkaset ovat nykyisin merkittävimpiä ilmanlaatuun vaikuttavia tekijöitä Suomen kaupungeissa. Pienhiukkasia pidetään haitallisimpana ilmaperäisenä ympäristötekijänä ihmisten terveydelle. Ulkoilman hiukkaset ovat taajamissa peräisin autojen pakokaasuista,

energiantuotannon ja teollisuuden prosesseista ja puunpoltosta. Nämä hiukkaspäästöt ovat pääasiassa pieniä hiukkasia. Keväisin ja syksyisin hiukkaspitoisuuksia kohottaa katupöly eli epäsuorat hiukkaspäästöt (ns. resuspensio). Hiukkasiin on sitoutunut myös erilaisia haitallisia yhdisteitä kuten hiilivetyjä ja raskasmetalleja. Liikenteen vaikutukset korostuvat matalan päästökorkeuden vuoksi.

Ulkoilman hiukkasten koko on yhteydessä niiden aiheuttamiin erilaisiin vaikutuksiin. Suurempien hiukkasten korkeat pitoisuudet vaikuttavat merkittävimmin viihtyvyyteen ja aiheuttavat likaantumista. Terveysvaikutuksiltaan haitallisempia ovat ns. hengitettävät hiukkaset ja pienhiukkaset, jotka kykenevät tunkeutumaan syvälle ihmisten hengitysteihin. Hengitettävien hiukkasten halkaisija on alle 10 mikrometriä (PM_{10}) ja pienhiukkasten halkaisija on alle 2,5 mikrometriä ($PM_{2,5}$). Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet kohoavat erityisesti keväällä, jolloin jauhautunut hiekoitushiekka ja asfalttipöly nousevat ilmaan kuivilta kaduilta liikenteen nostattamana. Katupölyä esiintyy myös syksyllä talvirengaskauden alussa, kun tiet ovat vielä lumettomia sekä rakennustyömaiden läheisyydessä. Pienhiukkaset ovat pääasiassa peräisin suorista autoliikenteen päästöistä, kotitalouksien puunpoltosta sekä kaukokulkeumasta, jonka lähde voi olla esimerkiksi metsä- ja maastopalot. Pienhiukkaset voivat kulkeutua ilmavirtausten mukana jopa tuhansia kilometrejä. Hiukkasten kokoluokkia on havainnollistettu kuvassa 36.



Kuva 36. Hiukkasten kokoluokkia. Hiukkasten koko ilmaistaan halkaisijana mikrometreissä (µm). Mikro (µ) etuliite tarkoittaa miljoonasosaa. 1 µm on siten metrin miljoonasosa eli millimetrin tuhannesosa.

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

Hengitettävien hiukkasten vuosikeskiarvopitoisuudelle annettu raja-arvo 40 µg/m^3 alittuu Suomessa. Hengitettävien hiukkasten pitoisuuden vuosikeskiarvot ovat olleet viime vuosina Suomen kaupungeissa noin 5–20 µg/m^3. Vilkkaimmilla teillä ja katukuiluosuuksilla vuosipitoisuudet voivat olla yli 20 µg/m^3. Puhtailla tausta-alueilla vuosikeskiarvopitoisuudet ovat olleet Etelä-Suomessa noin 9–14 µg/m³ ja Pohjois-Suomessa noin 3–5 µg/m³ (*Ilmatieteen laitos, 2021*).

Pienhiukkaspitoisuuden vuosikeskiarvolle määritetty raja-arvo 25 µg/m^3 alittuu selvästi kaikkialla Suomessa. Viime vuosina pienhiukkasten vuosikeskiarvopitoisuus on ollut pääkaupunkiseudun kaupunkialueilla noin 5–9 µg/m^3 ja muilla kaupunkialueilla noin 2−8 µg/m^3. Pitoisuuserot erityyppisten mittausympäristöjen välillä ovat muutamia mikrogrammoja. Puhtailla tausta-alueilla vuosikeskiarvopitoisuudet ovat olleet Etelä-Suomessa noin 4–6 µg/m³ ja Pohjois-Suomessa noin 2–3 µg/m³ *(Ilmatieteen laitos, 2021)*. Pienhiukkasten taustapitoisuudesta valtaosa on kaukokulkeutunutta hiukkasainesta. Kaukokulkeuma muodostaa huomattavan osan myös kaupunki-ilman pienhiukkaspitoisuuksista.

4.6 Bentso(a)pyreeni

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

PAH-yhdisteiden fysikaalis-kemialliset ominaisuudet vaihtelevat huomattavasti, mutta osa PAH-yhdisteistä on helposti haihtuvia. Ne vapautuvat ilmaan ja kulkeutuvat ilmakehässä pitkiä matkoja. PAH-yhdisteet esiintyvät joko kaasumaisessa olomuodossa tai sitoutuneina ilmassa oleviin pienhiukkasiin. PAH-yhdisteet, jotka sisältävät viisi rengasta tai enemmän havaitaan lähinnä hiukkasiin sitoutuneina kun taas 2–3 rengasta sisältävät ovat lähes ainoastaan kaasumaisessa olomuodossa. Bentso(a)pyreeni on viisirenkainen hiilivety, joka kiinnittyy palamisessa syntyviin pienhiukkasiin. PAH-yhdisteet ovat karsinogeenisiä ja ulkoilman PAH-yhdisteet lisäävät erityisesti keuhkosyöpään sairastumisen riskiä. PAH-yhdisteiden aiheuttaman syöpäriskin merkkiaineena käytetään bentso(a)pyreeniä.

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

Toisin kuin monet muun ilmansaasteen päästöt, bentso(a)pyreenin päästöt ilmaan ovat kasvaneet Euroopassa viime vuosina. Tämä johtuu suurimmaksi osaksi lisääntyneestä biomassan poltosta. Noin 17 % Euroopan kaupunkien väestöstä altistui EU:n tavoitearvon 1 ng/m³ ylittäville bentso(a)pyreenipitoisuuksille (*EEA, 2019*).

Suomessa bentso(a)pyreeni on tyypillisesti sellaisten pientaloalueiden ongelma, joissa poltetaan paljon puuta. Korkeita pitoisuuksia esiintyy erityisesti talvisin. Tavoitearvoa 1 ng/m³ hipovia ja jopa sen ylittäviä vuosipitoisuustasoja on mitattu paljon pientaloalueilla sekä Raahessa terästeollisuuslaitoksen tuntumassa. Bentso(a)pyreenin mittauksia on Suomessa melko harvassa, mutta tavoitearvoa lähellä olevia tai jopa sen ylittäviä pitoisuuksia esiintyy melko tasaisesti ympäri Suomea asutuskeskuksissa alueilla, joissa on paljon puunpolttoa (*Ilmatieteen laitos, 2021*).

4.7 Ilman epäpuhtauksien terveysvaikutukset

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

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

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

4.8 Ulkoilmanlaadun vertailuarvot

Ohjearvot ovat ilman epäpuhtauksien pitoisuuksia, joiden alittaminen on tavoitteena. Ohjearvoilla esitetään riittävän hyvän ilmanlaadun tavoitteet. Ohjearvot eivät ole sitovia, mutta niitä sovelletaan maankäytön ja liikenteen suunnittelussa, rakentamisen muussa ohjauksessa sekä ilman pilaantumisen vaaraa aiheuttavien toimintojen sijoittamisessa ja lupakäsittelyssä. Ohjearvojen ylittyminen on pyrittävä estämään ennakolta ja pitkällä aikavälillä alueilla, joilla ilmanlaatu on tai saattaa toistuvasti olla huonompi kuin ohjearvo edellyttäisi. Ilmanlaadun ohjearvot on määritelty valtioneuvoston päätöksessä ilmanlaadun ohjearvoista ja rikkilaskeuman tavoitearvosta (*Vnp 480/1996*). Ulkoilman pitoisuuksia koskevat ohjearvot tilastollisine määrittelyineen on esitetty taulukossa 7 .

Raja-arvot ovat ilman epäpuhtauden pitoisuuksia, jotka on alitettava määräajassa. Kun raja-arvo on alitettu, sitä ei enää saa ylittää. Raja-arvot ovat sitovia. Raja-arvon ylittyessä on kunnan ryhdyttävä ympäristönsuojelulain mukaisiin toimiin ja laadittava ilmansuojelusuunnitelma ilmanlaadun parantamiseksi ja raja-arvon ylitysten estämiseksi. Tällaisia toimia voivat olla esimerkiksi määräykset liikenteen tai päästöjen rajoittamisesta. Ilmanlaadun raja-arvot on määritelty valtioneuvoston antamassa ilmanlaatuasetuksessa (*Vna 79/2017*). Ilmanlaatuasetuksen mukaiset ulkoilman pitoisuuksia koskevat raja-arvot on esitetty taulukossa 8.

Tavoitearvolla tarkoitetaan ilmassa olevaa pitoisuutta, joka on mahdollisuuksien mukaan alitettava määräajassa ja jolla pyritään välttämään, ehkäisemään tai vähentämään ihmisten terveyteen ja ympäristöön kohdistuvia haitallisia vaikutuksia. Tavoitearvoja on annettu muun muassa hiukkasten sisältämien bentso(a)pyreenin pitoisuuksille. Bentso(a)pyreenin tavoitearvo on määritelty valtioneuvoston asetuksessa *Vna 113/2017* ja se on esitetty taulukossa 8.

Ylemmällä arviointikynnyksellä tarkoitetaan ilman epäpuhtauden pitoisuutta, jota korkeammissa pitoisuuksissa jatkuvat mittaukset ovat ensisijainen ilmanlaadun seurantamenetelmä ja jota 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. Arviointikynnykset on määritelty ilmanlaatuasetuksessa (*Vna 79/2017).*

Ilmanlaadun ohje-, raja- ja tavoitearvoja ei sovelleta työpaikoilla eikä tehdasalueilla, sillä työpaikka-alueilla sovelletaan omia työterveyttä ja työturvallisuutta koskevia säännöksiä. Raja-arvojen noudattamista ei myöskään arvioida liikenneväylillä eikä alueilla, jonne yleisöllä ei ole vapaata pääsyä ja joilla ei ole pysyvää asutusta.

Taulukko 7. Ulkoilman typpidioksidin, rikkidioksidin, haisevien rikkiyhdisteiden, hengitettävien hiukkasten ja pienhiukkasten pitoisuuksia koskevat ilmanlaadun ohjearvot (*Vnp 480/1996, WHO, 2006*). Kaasumaisten yhdisteiden pitoisuudet ilmaistaan lämpötilassa 293 K ja paineessa 101,3 kPa, hiukkasten pitoisuudet ulkoilman lämpötilassa ja paineessa.

Ilman epäpuhtaus	Ohjearvo µg/m³	Tilastollinen määrittely
Typpidioksidi (NO_2)	150	Kuukauden tuntiarvojen 99. prosenttipiste
	70	Kuukauden toiseksi suurin vuorokausiarvo
Rikkidioksidi (SO_2)	250	Kuukauden tuntiarvojen 99. prosenttipiste
	80	Kuukauden toiseksi suurin vuorokausiarvo
Haisevat rikkiyhdisteet (TRS)	10	Kuukauden toiseksi suurin vuorokausiarvo
Hengitettävät hiukkaset (PM_{10})	70	Kuukauden toiseksi suurin vuorokausiarvo
Pienhiukkaset ($PM_{2.5}$)	25	Suurin vuorokausikeskiarvo (WHO)
	10	Vuosikeskiarvo (WHO)

Taulukko 8. Ilmanlaadun raja-arvot, tavoitearvot, kriittiset tasot ja arviointikynnykset (Vna 79/2017; Vna 113/2017). Kaasumaisilla yhdisteillä pitoisuudet ilmaistaan 293 K lämpötilassa ja 101,3 kPa paineessa. Hiukkasten pitoisuudet ilmaistaan ulkoilman lämpötilassa ja paineessa.

Ilman epäpuhtaus	Tilastollinen tunnusluku	Ylempi arviointikynnys		Alempi arviointikynnys	
Typpidioksidi (NO_2) (µg/m^3)	**Raja-arvo**				
1 tunti (saa ylittyä 18 krt/vuosi)	200	140	(70 %)	100	(50 %)
Kalenterivuosi	40	32	(80 %)	26	(65 %)
Typen oksidit (NO_x) (µg/m^3) [1)]	**Kriittinen taso**				
Kalenterivuosi	30	24	(80 %)	19,5	(65 %)
Rikkidioksidi (SO_2) (µg/m^3)	**Raja-arvo**				
24 tuntia (saa ylittyä 3 krt/vuosi)	125	75	(60 %)	50	(40 %)
	Kriittinen taso				
talvikausi (1.10.−31.3.) [1)]	20	12	(60 %)	8	(40 %)
Hengitettävät hiukkaset (PM_{10}) (µg/m^3)	**Raja-arvo**				
24 tuntia (saa ylittyä 35 krt/vuosi)	50	35	(70 %)	25	(50 %)
vuosi	40	28	(70 %)	20	(50 %)
Pienhiukkaset ($PM_{2,5}$) (µg/m^3)	**Raja-arvo**				
kalenterivuosi	25	17	(70 %)	12	(50 %)
Bentso(a)pyreeni (BaP) (ng/m^3)	**Tavoitearvo**				
kalenterivuosi	1	0,6	(60 %)	0,4	(40 %)

[1)] Kriittinen taso kasvillisuuden ja ekosysteemien suojelemiseksi

5 LEVIÄMISMALLILASKELMIEN LÄHTÖTIEDOT

5.1 Mallilaskelmissa huomioidut päästöt

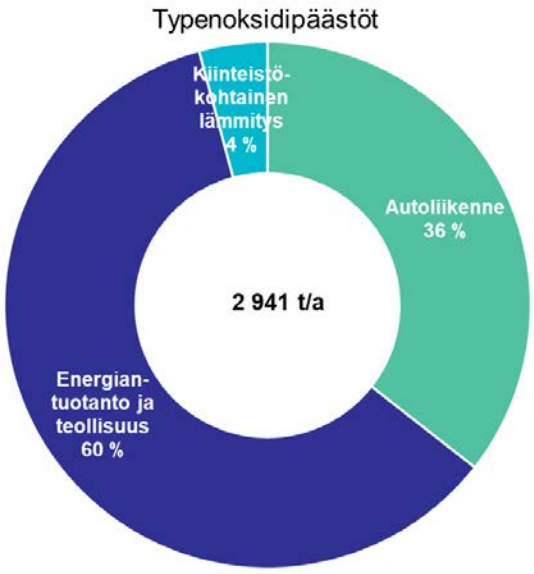
5.1.1 Oulun kokonaispäästöt

Leviämismallilaskelmissa huomioidut Oulun autoliikenteen, energiantuotannon, teollisuuden ja kiinteistökohtaisen lämmityksen kokonaispäästöt vuonna 2019 on esitetty kuvissa 37–40. Typen oksidien kokonaispäästöistä 60 % tulee energiantuotannosta ja teollisuudesta. Autoliikenteestä tulee kolmannes typenoksidien kokonaispäästöistä. Autoliikenteen päästöt vapautuvat mallilaskelmissa noin metrin korkeudelta ja laitosten päästöt niiden todellisilta piipunkorkeuksilta.

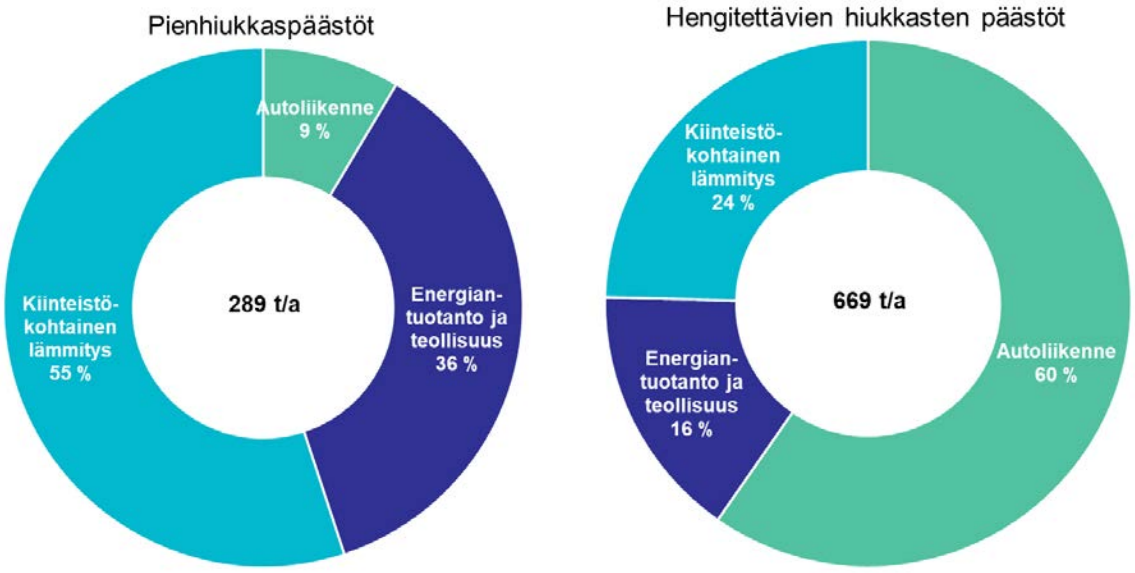
Pienhiukkasten kokonaispäästöstä noin 55 % tulee kiinteistökohtaisesta lämmityksestä ja 36 % energiantuotannosta ja teollisuudesta. Autoliikenteen osuus on vain 9 % pienhiukkaspäästöistä. Autoliikenteen päästömäärässä on huomioitu suoraan moottoreiden pakokaasusta peräisin olevat pienhiukkaset ja katupölyn sisältämät pienhiukkaset.

Hengitettävien hiukkasten kokoluokan hiukkaspäästöistä 60 % on peräisin autoliikenteen päästöstä. Päästössä on huomioitu pakokaasusta peräisin olevat pienhiukkaset sekä katupölyn sisältämät PM_{10}-hiukkaset, jotka on laskettu erillisellä suspensiopäästömallilla (ks. kpl 6.4). Kiinteistökohtaisen lämmityksen osuus hengitettävien hiukkasten päästöistä on 24 %. Energiantuotannon ja teollisuuden hiukkaspäästöt on otettu huomioon pienhiukkasina, koska niiden tarkemmasta kokojakaumasta ei ole olemassa tietoa.

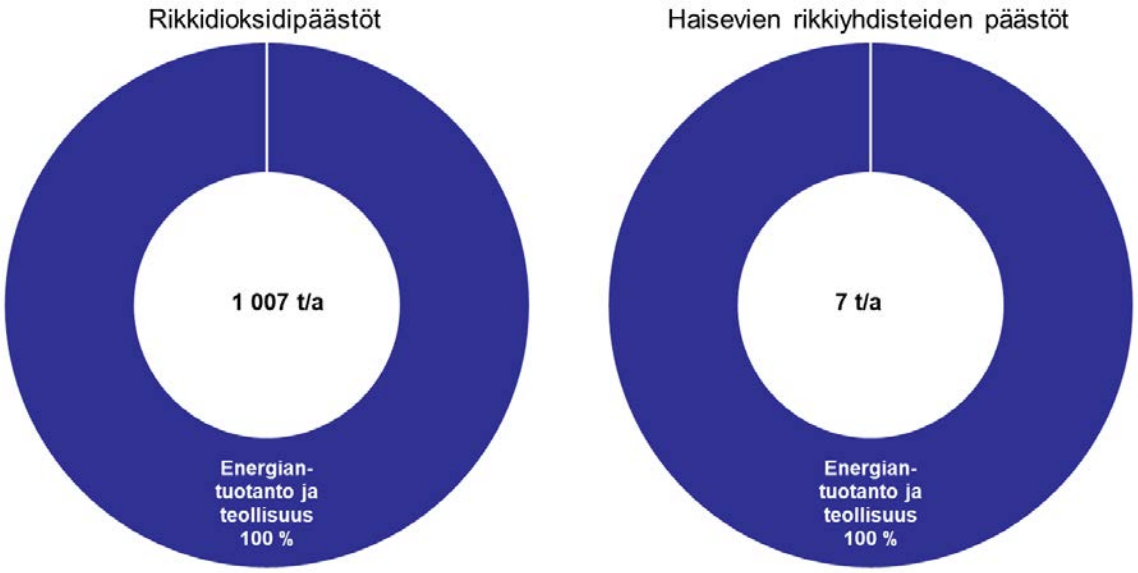
Rikkidioksidin ja haisevien rikkiyhdisteiden päästöt ovat kokonaan peräisin energiantuotannosta ja teollisuudesta. Bentso(a)pyreeniä on mallilaskelmissa oletettu vapautuvan ainoastaan kiinteistökohtaisesta lämmityksestä.



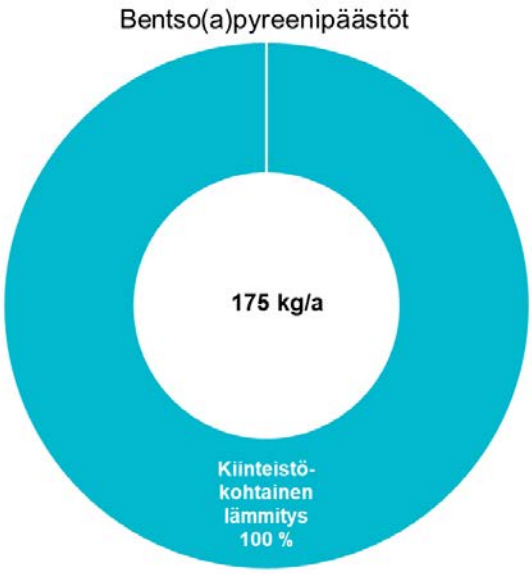
Kuva 37. Oulun typen oksidien kokonaispäästöt sekä eri päästölähteiden osuudet vuonna 2019.



Kuva 38. Oulun pienhiukkasten ja hengitettävien hiukkasten kokonaispäästöt sekä eri päästölähteiden osuudet vuonna 2019.



Kuva 39. Oulun rikkidioksidin ja haisevien rikkiyhdisteiden kokonaispäästöt vuonna 2019.

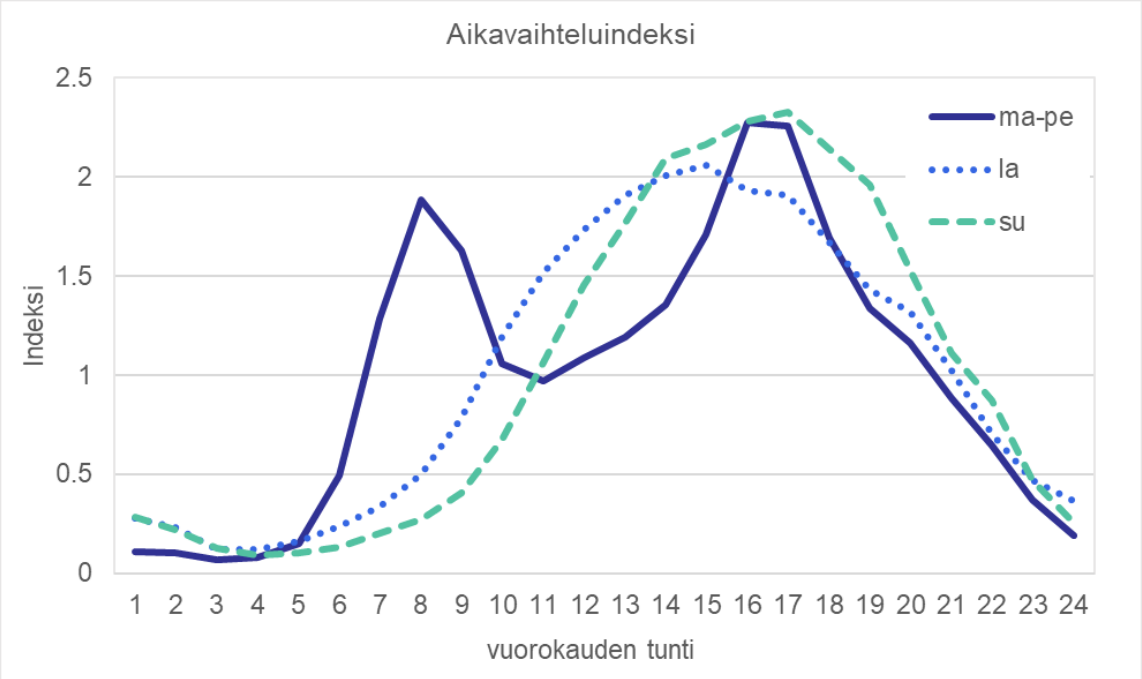


Kuva 40. Oulun bentso(a)pyreenin kokonaispäästöt vuonna 2019.

5.1.2 Autoliikenteen päästöt

Leviämismallilaskelmilla tarkasteltiin autoliikenteen päästöjä nykytilanteessa. Mallilaskelmien lähtötiedoissa nykytilannetta edustivat vuoden 2018 liikennemäärät. Oulun kaupungin liikennemäärätiedot toimitti Ramboll ja yleisten teiden osalta käytettiin Väylän Digiroad-aineistoa. Mallissa huomioitiin vain ne tiet ja kadut, joista saatiin lähtötietoaineistoja. Koko tutkimusalueen autoliikenteen typen oksidien ja hiukkasten päästöt laskettiin ja mallinnettiin tiekohtaisina viivalähteinä. Liikenneväyliä kuvattiin leviämismallilaskelmissa peräkkäisinä lyhyinä viivoina, joista jokaisesta vapautuu ympäristöönsä erikseen laskettavan suuruinen päästö. Mallilaskelmissa huomioitiin nykytilanteessa yhteensä 7 259 viivalähdettä Oulun seudulta.

Tieverkon liikenteen päästöt laskettiin Ilmatieteen laitoksella keskimääräisten vuorokausiliikennemäärien (KVL) tai arkivuorokausiliikennemäärien (KAVL), ajonopeuksien, raskaan liikenteen osuuksien ja liikenteen tuntikohtaisen vaihtelun perusteella. Päästöjen viikonpäivittäisten ja tunneittaisten aikavaihtelujen kuvaamisessa käytettiin valtatiellä 4 Oulun Kontinkankaalla sijaitsevan LAM-pisteen 1250 liikennelaskenta-aineistoja. Esimerkki liikenteen aikavaihtelusta on esitetty kuvassa 41.

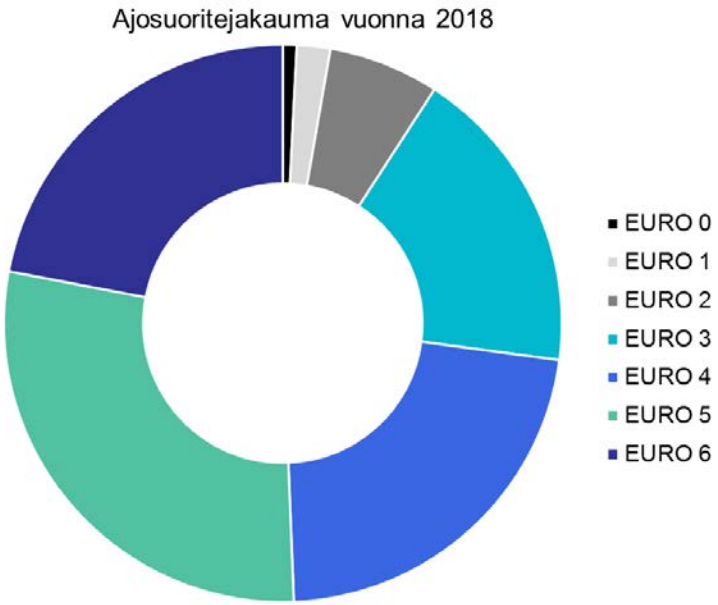


Kuva 41. Mallilaskelmissa käytetyt liikenteen tunneittaista vaihtelua kuvaavat aikavaihteluindeksit LAM-pisteessä 239 (vt1 Kaarina).

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

Suomen autokantaa edustavat EURO-päästöluokittaiset ajosuoriteosuudet on esitetty VTT:n julkaiseman liikenteen laskentajärjestelmä LIPASTO:n ALIISA-autokantamallissa (*VTT, 2019*). Tämä malli tarjoaa vuosittain päivittyvät nykytilannetta edustavat arvot koko Suomen autokannan EURO-päästöluokkaisille ajosuoriteosuuksille (kuva 42). Luokittelu kertoo, miten paljon Suomessa vuodessa ajetaan kuhunkin eri päästöluokkaan kuuluvilla ajoneuvoilla.

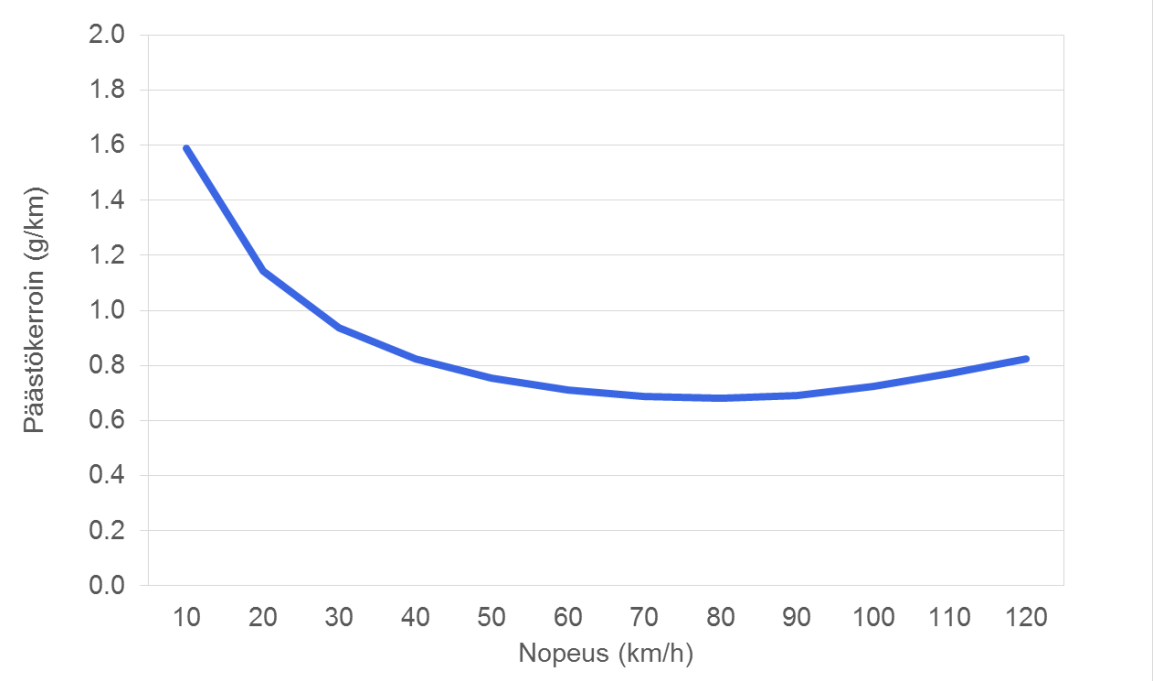
Ajoneuvojen jakaumana käytettiin Suomen vuoden 2018 ajoneuvojen EURO-päästöluokittaisia ajosuoriteosuuksia VTT:n liikenteen päästöjen laskentajärjestelmän mukaisesti. Kuvissa 43 ja 44 on esitetty päästölaskennassa käytetyt Suomen koko ajoneuvokannan keskimääräiset pakokaasujen typen oksidien ja pienhiukkasten päästökertoimet vuodelle 2018. Päästökertoimet ottavat huomioon ajoneuvotyyppien keskimääräiset suhteelliset osuudet Suomessa. Leviämismallilaskelmissa päästökertoimet on kohdennettu Ouluun ajoneuvotyyppien suhteellisilla suoriteosuuksilla katu- tai tieosuuksien mukaan VTT:n LIISA-laskentajärjestelmän mukaisesti (taulukko 9).



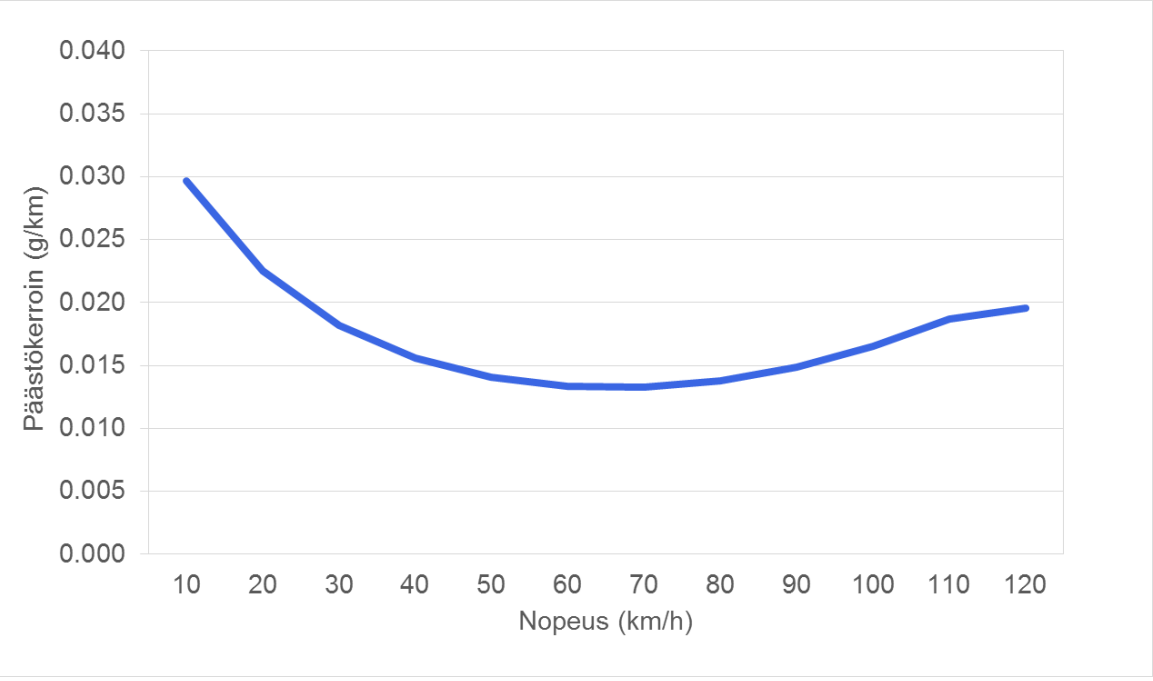
Kuva 42. ALIISA-autokantamallin kaikkien ajoneuvojen EURO-päästöluokittaiset suoritejakaumat Suomessa vuonna 2018 (*VTT, 2019*).



Kuva: Jatta Salmi



Kuva 43. Mallilaskelmissa käytettävät ajoneuvojen keskimääräiset nopeusriippuvat typen oksidien (NO_x) päästökertoimet. Kertoimien pohjana ovat EEA:n päästökertoimet (*EEA, 2017*) painotettuna suoritteiden EURO-päästöluokkajakaumilla ja koko Suomen keskimääräisillä ajosuoriteosuuksilla vuonna 2018 (*VTT, 2019*).



Kuva 44. Mallilaskelmissa käytettävät ajoneuvojen keskimääräiset nopeusriippuvat pienhiukkasten ($PM_{2,5}$) päästökertoimet. Kertoimien pohjana ovat EEA:n päästökertoimet (*EEA, 2017*) painotettuna suoritteiden EURO-päästöluokkajakaumilla ja koko Suomen keskimääräisillä ajonsuoriteosuuksilla vuonna 2018 (*VTT, 2019*).

Taulukko 9. Oulun ajoneuvotyyppien jakauma vuonna 2016 (VTT/LIISA).

Kunta	Henkilöautot	Pakettiautot	Linja-autot	Kuorma-autot ilman perävaunua	Perävaunulliset kuorma-autot
Oulu	80,4 %	12,1 %	1,3 %	4,0 %	2,2 %

Taulukossa 10 on esitetty Oulun autoliikenteen typen oksidien, pienhiukkasten ja hengitettävien hiukkasten kokonaispäästöt vuonna 2018. Liitekuvassa 61 ja 62 on esitetty päästölaskennan pohjana käytetyt vuoden 2018 keskimääräiset arkivuorokausiliikennemäärät tarkastelualueella sekä typen oksidien päästöt viivalähteittäin. Leviämismallilaskelmissa oletettiin autoliikenteen typenoksidipäästöistä (NO_x) olevan keskimäärin 20 % typpidioksidia (NO_2) ennen ulkoilmassa tapahtuvaa kemiallista muutuntaa (*Anttila, ym., 2011*).

Liitekuvissa 63–66 on esitetty pienhiukkasten ja hengitettävien hiukkasten päästöt viivalähteittäin. Suspensiopäästöjen laskelmissa arvioitiin, että Oulussa nastarenkaiden osuus on 90 % kaikista käytössä olevista talvirenkaista. Suspensiopäästöjen määrä vaihteli vuosittain sääolosuhteiden takia välillä 334–443 t/a. Taulukossa 10 on esitetty kolmen tarkasteluvuoden PM_{10}-kokonaispäästöjen keskiarvo.

Taulukko 10. Oulun autoliikenteen kokonaispäästöt (t/a) vuonna 2018.

	Oulun autoliikenteen koko-naispäästöt
NOx	1 046 t/a
$PM_{2,5}$	25 t/a
PM_{10}	375 t/a

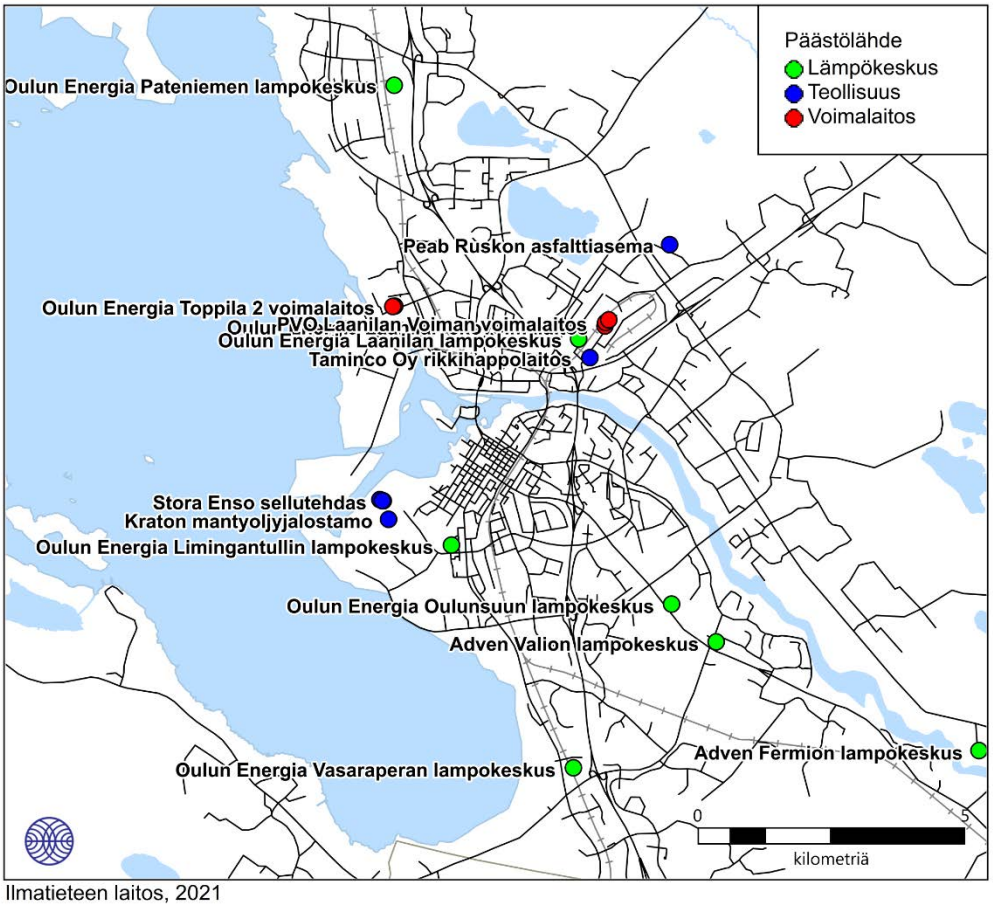
5.1.3 Energiantuotannon ja teollisuuden päästöt

Leviämismallilaskelmissa huomioitiin Oulun merkittävimmät energiantuotannon ja teollisuuden päästölähteiden päästöt vuodelta 2019. Päästöt ja mallinnuksessa käytetyt muut tekniset tiedot saatiin suoraan toiminnanharjoittajilta. Leviämismallilaskelmissa kaikki energiantuotannon ja teollisuuden hiukkaspäästöt on oletettu pienhiukkasiksi niiden todellisesta koosta riippumatta, koska laitosten hiukkaskokojakaumasta ei ollut tarkempaa tietoa. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttamat pienhiukkaspitoisuudet on mallilaskelmissa otettu mukaan myös hengitettävien hiukkasten (PM_{10}) kokonaispitoisuuksiin.

Energiantuotanto- ja teollisuuslaitosten sijainnit on esitetty kuvassa 45. Laskelmissa energiantuotantolaitoksista huomioitiin Adven Oy:n Valion ja Fermion lämpökeskukset, PVO Laanilan Voima Oy:n voimalaitokset, Oulun Energia Oy:n Pateniemen, Laanilan, Oulunsuun, Vasaraperän ja Limingantullin lämpökeskukset, Laanilan ekovoimalaitos sekä Toppila 1 ja Toppila 2 voimalaitokset.

Energiantuotannon päästöt ovat yleisesti talvella suuremmat kuin kesäaikaan. Eniten päästöjä syntyy kovilla pakkasilla, kun sähkön ja lämmön suuren kulutuksen vuoksi käyttöön otetaan erillisiä huippu- tai varalämpökeskuksia. Voimalaitokset ovat pääsääntöisesti käynnissä jatkuvatoimisesti ympäri vuoden. Pienempiä lämpökeskuksia käytetään yleensä sähkön ja lämmön kulutushuippujen aikana sekä isojen laitosten huoltoseisokkien aikana.

Teollisuuslaitoksista mallilaskelmissa olivat mukana Kraton Chemical Oy:n mäntyöljyjalostamo, Stora Enso Oy:n sellutehdas ja Taminco Oy:n rikkihappolaitos, jotka tuottavat päästöjä tasaisesti ympäri vuoden kesä- ja kunnossapitoseisokkeja lukuun ottamatta. Peab Industri Oy:n Ruskon asfalttiaseman toiminta on kausiluonteista ja päästöt rajoittuvat touko-lokakuulle.



Kuva 45. Leviämismallilaskelmissa mukana olleiden energiantuotannon ja teollisuuden päästölähteiden sijainnit kartalla: lämpökeskukset (vihreä), teollisuuslaitokset (sininen) ja voimalaitokset (punainen).

Leviämismallilaskelmissa tarvittavat teollisuuden ja energiantuotannon päästölähteiden sijainnit, laitosten tekniset tiedot sekä päästömäärät, käyttöajat ja muut päästöjen ajallisen vaihtelun kuvaamisessa tarvittavat tiedot huomioitiin mahdollisimman tarkasti toiminnanharjoittajien ilmoittaman mukaisina. Jokaiselle laitokselle ja kullekin tarkastellulle epäpuhtauskomponentille muodostettiin koko kolmen vuoden laskentajakson kattaneet tunneittaiset päästöaikasarjat. Nämä aikasarjat muodostettiin laitosten todellisten päästö-, savukaasu- ja käyntituntimäärien perusteella. Jos toiminnanharjoittajalta ei saatu muuta tietoa päästöjen hetkellisestä lyhytaikaisvaihtelusta,

kuvattiin päästövaihtelua aikasarjassa tunneittaisena ± 20 % satunnaisvaihteluna. Lämpökeskusten oletettiin toimivan käyntituntimääriensä mukaisesti vain vuoden kylmimpinä tunteina.

Laitosten kokonaisvuosipäästöt ja päästölähteiden korkeudet on esitetty taulukossa 11 ja liitekuvissa 65–68. Alueen merkittävimmät päästölähteet ovat Stora Enso Oy:n sellutehdas, Oulun Energia Oy:n Toppilan voimalaitokset ja PVO Laanilan Voiman voimalaitokset.

Taulukko 11. Oulun energiantuotanto- ja teollisuuslaitosten typenoksidi-, hiukkas-, rikkidioksidi- ja haisevien rikkiyhdisteiden päästöt vuonna 2019 sekä päästökorkeus. Leviämismallilaskelmissa kaikki energiantuotannon ja teollisuuden hiukkaspäästöt on oletettu pienhiukkasiksi niiden todellisesta koosta riippumatta, koska laitosten hiukkaskokojakaumasta ei ollut tarkempaa tietoa.

Laitos	Piipun korkeus (m)	NO_x (t/a)	SO_2 (t/a)	PM (t/a)	TRS (t/a)
Kraton Chemical Oy mäntyöljyjalostamo	65	11,0	3,2	0,85	0,4
Adven Oy Valion lämpökeskus	30	16,4	10,1	1,5	-
Adven Oy Fermion lämpökeskus	15	8,0	0,60	3,4	-
Stora Enso Oy sellutehdas	125	984	285	50	6,9
Oulun Energia Oy					
Pateniemen lämpökeskus	65	3,3	6,7	0,41	-
Laanilan ekovoimalaitos	90	130	4,8	0,22	-
Laanilan lämpökeskus	65	0,11	-	0,0020	-
Toppila 1 voimalaitos	129	199	220	5,1	-
Toppila 2 voimalaitos	130	255	244	12,6	-
Oulunsuun lämpökeskus	65	0,30	0,0010	0,0030	-
Vasaraperän lämpökeskus	65	3,8	6,8	0,19	-
Limingantullin lämpökeskus	65	0,90	1,8	0,038	-
PVO Laanilan Voima Oy voimalaitos	73	155	191	29	-
Taminco Oy rikkihappolaitos	83	-	22,0	-	-
Peab Industri Oy Ruskon asfalttiasema	15	5,8	11,8	2,7	-
Kokonaispäästöt		1771	1007	105	7,3



Kuva: Ida-Reetta Virranjoki

5.1.4 Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöt

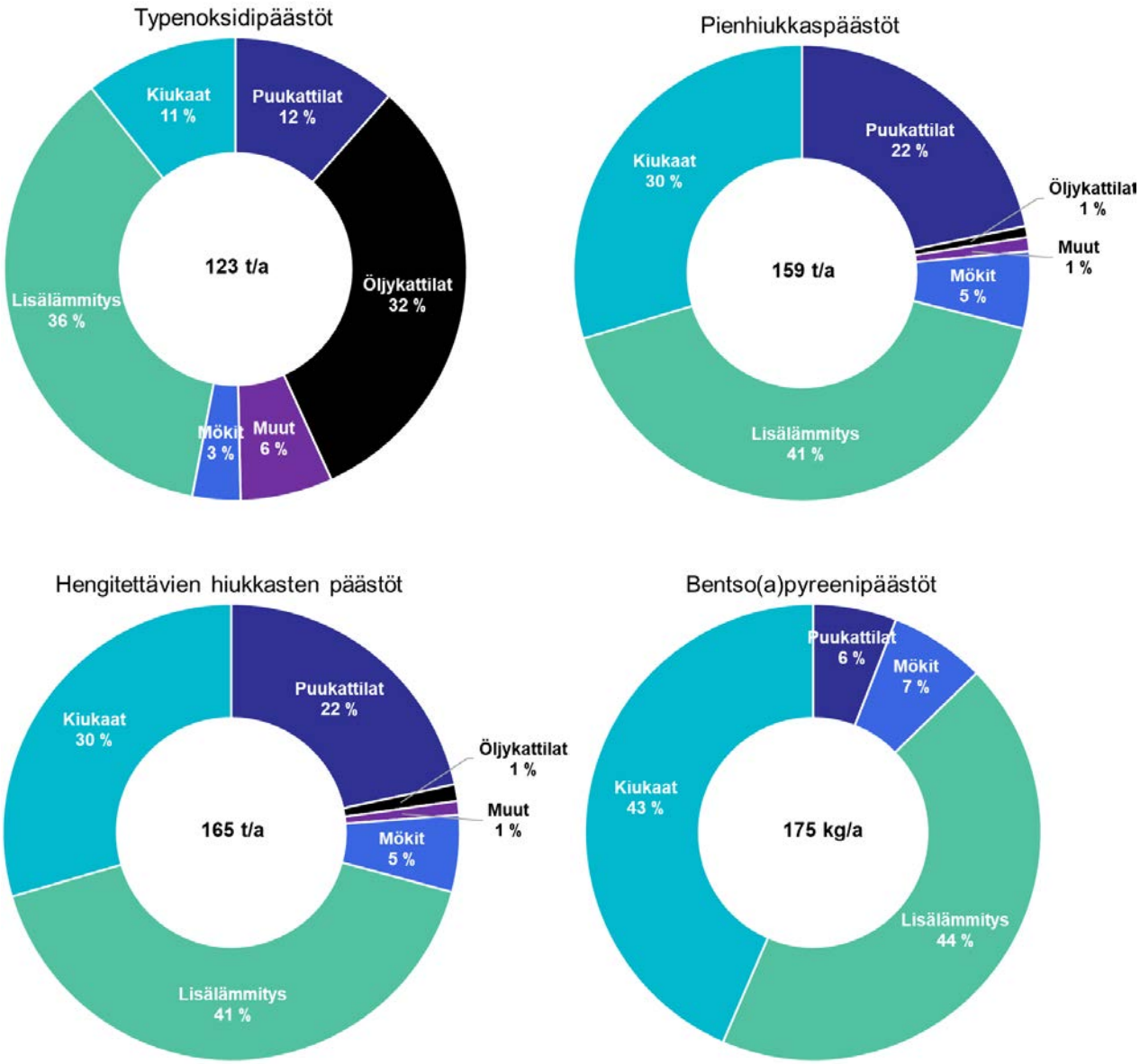
Leviämismallinnuksessa käytetyt kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöt saatiin Suomen ympäristökeskukselta (SYKE). Päästöt on laskettu alueellisella päästöskenaariomallilla (FRES-malli) ja ne on esitetty vuosipäästöinä (g/a) 250 ×250 m ruuduissa Oulun ja sen naapurikuntien kuntien alueille (*Savolahti, ym. 2019*). Reunavaikutuksen minimoimiseksi mallilaskelmiin otettiin mukaan Oulun lisäksi myös Hailuodon, Iin, Kempeleen, Limingan, Lumijoen, Muhoksen, Pudasjärven, Tyrnävän ja Utajärven kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöt. Päästöt on jaoteltu omakotitalojen puukattilalämmitykseen, öljykattilalämmitykseen, lisälämmityslähteisiin (esim. takat) ja saunoihin sekä vapaa-ajanrakennusten pienpolttoon sekä maatalous-, teollisuus- ja kaupallisten rakennusten puulämmitykseen. Mallinnuksessa tarkasteltiin kiinteistökohtaisen lämmityksen typen oksidien, pienhiukkasten, hengitettävien hiukkasten ja bentso(a)pyreenin päästöjä nykytilanteessa vuonna 2015.

Kuvassa 46 on esitetty kiinteistökohtaisen lämmityksen kokonaispäästöt ja eri lämmityslähteiden osuudet Oulun kokonaispäästöistä vuonna 2015. Taulukoissa 12–15 on esitetty numeroarvoina eri lämmityslähteiden aiheuttamat typen oksidien, pienhiukkasten, hengitettävien hiukkasten ja bentso(a)pyreenin päästöt Oulun kunnan alueella sekä yhteensä Oulun ja naapurikuntien alueella vuonna 2015. Omakotitalojen lisälämmitys eli takkojen ym. tulisijojen päästöt ovat merkittävin typen oksidien ja hiukkasten päästölähde (noin 40 %). Lisäksi öljylämmitys aiheuttaa kolmasosan typenoksidipäästöistä ja saunat vajaan kolmasosan hiukkaspäästöistä. Omakotitalojen kiukaat ja takat aiheuttavat valtaosan bentso(a)pyreenipäästöistä.

Kiinteistökohtaisen lämmityksen aiheuttamien typenoksidi- ja hiukkaspäästöjen (kg/a) sekä bentso(a)pyreenipäästöjen (g/a) alueellinen jakauma ruuduittain vuonna 2015 on esitetty liitekuvissa 69–76. Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöt ovat suurimmillaan tiheään asutuilla pientaloalueilla. Näitä alueita ovat Oulussa mm. Karjasillan, Kastellin, Välivainion ja Pateniemen alueet.

FRES-päästöskenaariomallissa arvio eri polttolaitteiden suhteellisista määristä ja käytöstä erityyppisissä pientaloissa perustuu koko maan kattaviin kyselyihin, joita on verrattu paikallisempiin kyselyihin. Puun käyttömääriin muissa polttolaitteissa kuin kiukaissa vaikuttaa myös lämmitystarve. Näiden perusteella puun käyttö ja päästöt jaetaan rakennus- ja huoneistorekisterin pientalokannalle koko Suomeen. Oulussa kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöihin vaikuttavat siten pientalojen määrä ja tiheys sekä suurempi lämmitystarve verrattuna Etelä-Suomeen.

Leviämismallinnuksessa huomioitiin eri pienpolttolähteiden päästöjen aikavaihtelu SYKE:n tuottaman Suomen keskimääräisen aikavaihteluaineiston perusteella. Päästöaineistossa hengitettävien hiukkasten päästöistä 97 % on alle 2,5 µm kokoluokkaa ja 3 % karkeampaa 2,5–10 µm kokoluokkaa. Leviämismallilaskelmassa päästöruutujen korkeuden oletettiin olevan 7,5 m maanpinnasta, millä kuvattiin pientalojen keskimääräistä päästöjen vapautumiskorkeutta.



Kuva 46. Oulun kiinteistökohtaisen lämmityksen aiheuttamat typen oksidien, pienhiukkasten ja hengitettävien hiukkasten päästöt (t/a) sekä bentso(a)pyreenin päästöt (kg/a) lämmityslähteittäin vuonna 2015.

Taulukko 12. Mallilaskelmissa huomioidut Oulun ja naapurikuntien (Hailuoto, Ii, Kempele, Liminka, Lumijoki, Muhos, Pudasjärvi, Tyrnävä ja Utajärvi) kiinteistökohtaisen lämmityksen typenoksidipäästöt päästölähteittäin.

NOx-päästöt vuonna 2015 (t/a)	Oulu	Oulu ja naapurikunnat yhteensä
Omakotitalojen puukattilalämmitys	14	45
Omakotitalojen öljylämmitys	39	59
Omakotitalojen takat ym. tulisijat	45	85
Omakotitalojen saunat	13	25
Vapaa-ajan rakennusten tulisijat	4,1	11
Teollisuus-, maatalous- ja kaupallisten rakennusten lämmitys	8,0	20
Kokonaispäästö NOx yhteensä (t/a)	123	245

Taulukko 13. Mallilaskelmissa huomioidut Oulun ja naapurikuntien (Hailuoto, Ii, Kempele, Liminka, Lumijoki, Muhos, Pudasjärvi, Tyrnävä ja Utajärvi) kiinteistökohtaisen lämmityksen pienhiukkaspäästöt päästölähteittäin.

$PM_{2,5}$-päästöt vuonna 2015 (t/a)	Oulu	Oulu ja naapurikunnat yhteensä
Omakotitalojen puukattilalämmitys	35	109
Omakotitalojen öljylämmitys	1,2	1,9
Omakotitalojen takat ym. tulisijat	66	125
Omakotitalojen saunat	47	89
Vapaa-ajan rakennusten tulisijat	8,7	24
Teollisuus-, maatalous- ja kaupallisten rakennusten lämmitys	1,6	3,8
Kokonaispäästö $PM_{2,5}$ yhteensä (t/a)	159	352

Taulukko 14. Mallilaskelmissa huomioidut Oulun ja naapurikuntien (Hailuoto, Ii, Kempele, Liminka, Lumijoki, Muhos, Pudasjärvi, Tyrnävä ja Utajärvi) kiinteistökohtaisen lämmityksen hengitettävien hiukkasten päästöt päästölähteittäin.

PM_{10}-päästöt vuonna 2015 (t/a)	Oulu	Oulu ja naapurikunnat yhteensä
Omakotitalojen puukattilalämmitys	36	112
Omakotitalojen öljylämmitys	1,9	2,9
Omakotitalojen takat ym. tulisijat	68	129
Omakotitalojen saunat	49	92
Vapaa-ajan rakennusten tulisijat	8,9	24
Teollisuus-, maatalous- ja kaupallisten rakennusten lämmitys	1,6	4,0
Kokonaispäästö PM_{10} yhteensä (t/a)	165	365

Taulukko 15. Mallilaskelmissa huomioidut Oulun ja naapurikuntien (Hailuoto, Ii, Kempele, Liminka, Lumijoki, Muhos, Pudasjärvi, Tyrnävä ja Utajärvi) kiinteistökohtaisen lämmityksen bentso(a)pyreenipäästöt päästölähteittäin.

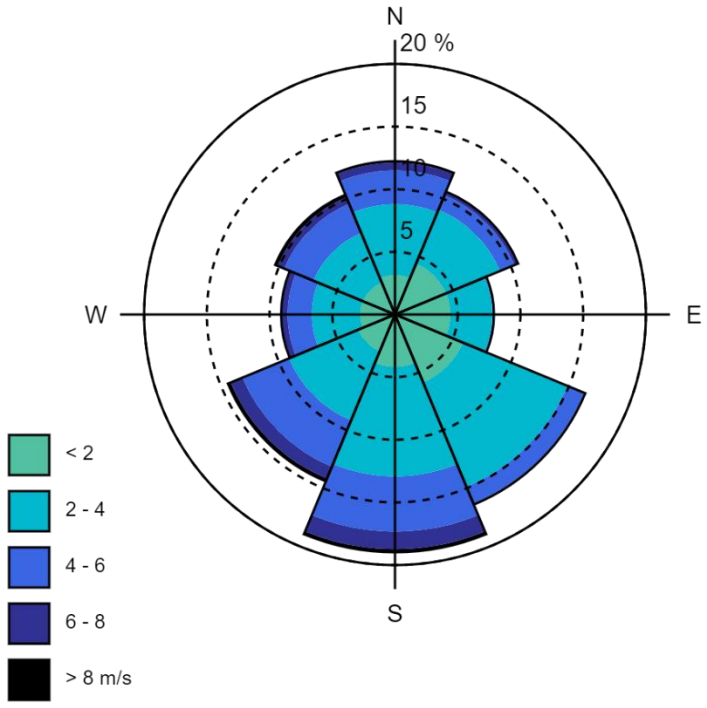
B(a)p-päästöt vuonna 2015 (kg/a)	Oulu	Oulu ja naapurikunnat yhteensä
Omakotitalojen puukattilalämmitys	10	33
Omakotitalojen öljylämmitys	0	0
Omakotitalojen takat ym. tulisijat	77	146
Omakotitalojen saunat	76	145
Vapaa-ajan rakennusten tulisijat	12	33
Teollisuus-, maatalous- ja kaupallisten rakennusten lämmitys	0,0093	0,023
Kokonaispäästö B(a)p yhteensä (kg/a)	175	356

5.2 Meteorologiset tiedot

Leviämismallilaskelmia varten määritettiin ilmakehän rajakerrosta kuvaavat parametrit, jotka edustavat tutkimusaluetta mahdollisimman hyvin. Mallilaskelmissa käytetyn meteorologisen aineiston muodostamisessa on käytetty eri ympäristöissä sijaitsevien Ilmatieteen laitoksen sääasemien havaintoja, jotta aineistosta saadaan mahdollisimman edustava koko Oulun alueen mallinnusta varten. Laskelmissa käytettäviksi sääasemiksi valittiin tarkastelualuetta edustavat sääasemat, joilla mitataan kaikkia mallin tarvitsemia sääsuureita.

Mallilaskelmissa käytettyjen meteorologisten tietojen etäisyyspainotettu yhdistelmäaineisto muodostettiin Oulunsalon Pellonpään ja Hailuodon Marjaniemen sääasemien vuosien 2017–2019 havainnoista. Tarvittavat auringonpaistetiedot saatiin Sotkamon Kuolaniemen sääaseman säteilymittausaineistoista ja sekoituskorkeuden määrittämiseen käytettiin Sodankylän radioluotaushavaintoja. Säähavainto- ja luotausaineistot täyttävät WMO:n ja ICAO:n laatuvaatimukset. Sääasemien havaintoaineistoista muodostettiin kolmen tarkasteluvuoden tunneittainen aikasarja, joka sisältää päästöjen leviämisen ja laimenemisen kannalta oleellisia ilmankehän rajakerroksen tilaa kuvaavia parametreja, mm. tuulen suunta ja nopeus, stabiilisuus, sekoituskorkeus ja lämpötila.

Kuvassa 47 on esitetty tuulen suunta- ja nopeusjakauma tarkastelualueella tuuliruusun muodossa. Oulussa vallitseva tuulen suunta on kaakon ja lounaan välillä. Suomessa tyypillisiä länsituulia aluella esiintyy vähemmän.



Kuva 47. Keskimääräinen tuulen suunta- ja nopeusjakauma Oulussa vuosina 2017–2019. Tuulitiedot kuvaavat olosuhteita 10 metrin korkeudella maan pinnasta.

5.3 Taustapitoisuudet

Leviämismallilaskelmissa huomioitiin autoliikenteen, energiantuotannon, teollisuuden, ja kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttamien pitoisuuksien lisäksi alueellinen taustapitoisuus, jotta mallilaskelmin saadut pitoisuudet vastaisivat mahdollisimman hyvin todellisia epäpuhtauspitoisuustasoja. Ilmanlaadun taustamittausasemalta saadaan myös typen oksidien muutunnan kuvaamista varten tarvittava otsonin ja typen oksidien pitoisuus kaupungin ulkopuolella ennen paikallisten päästöjen aiheuttamaa otsonin ja typen oksidien ilmakemiallista muutuntaa. Taustapitoisuutena käytettiin Ilmatieteen laitoksen Kuusamon Juumassa ja Kittilän Matorovalla sijaitsevien taustailmanlaadun mittausaseman tuloksia. Tarkastelujaksolla 2017–2019 Kuusamossa typen oksidien taustapitoisuuden keskiarvo oli 1,2 µg/m³, rikkidioksidin 0,7 µg/m³ ja otsonin 59 µg/m³ (*Ilmatieteen laitos, 2021*). Pienhiukkasten taustapitoisuuden keskiarvo oli Kittilässä 2,1 µg/m³ vuosina 2017–2019. Taustapitoisuuksina käytettiin pitoisuuksien kuukausittain laskettuja tunneittaisia keskiarvoja, joilla pyrittiin kuvaamaan taustapitoisuuksien vuorokauden sisäistä ja vuodenajoittaista vaihtelua.

5.4 Laskentapisteikkö

Pitoisuudet laskettiin Oulun ympäristöön laajalle 85 × 80 km kokoiselle alueelle. Leviämismallinnuksen tuloksia on esitetty suppeammalta Haukiputaan, Kiimingin ja Oulunsalon rajaamalta alueelta (45 × 40 km) sekä tarkemmin Oulun keskustan alueelta (13 × 12 km). Laskenta-alueelle muodostettiin laskentapisteikkö, jossa oli yhteensä 145 000 laskentapistettä. Laskentapisteiden etäisyys toisistaan vaihteli 50–200 metrin välillä riippuen alueesta. Liikenneväylien varsilla käytettiin tihennettyä laskentapisteikköä. Laskentapisteet sijoitettiin liikenneväylille 50 m välein siten, että yksi piste sijaitsee väylällä ja väylän molemmin puolin sijaitsevat laskentapisteet 50 metrin etäisyydellä väylästä. Myös kaupungin keskusta-alueilla sekä teollisuus- ja energiantuotantolaitosten läheisyydessä käytettiin tihennettyä laskentapisteikköä, jossa laskentapisteiden etäisyys toisistaan oli 100 m.

Maapinnan korkeuserot huomioitiin laskentapisteissä Maanmittauslaitoksen maastonkorkeus-tietojen mukaisesti. Päästöjen aiheuttamat pitoisuudet laskettiin jokaisessa laskentapisteessä 2 metrin korkeudelle maanpinnasta eli ihmisten hengityskorkeudelle. Pitoisuustulosten mallinnus-mittaus -vertailua varten pitoisuudet laskettiin myös tarkastelualueella sijaitsevien ilmanlaadun mittausasemien kohdalle.

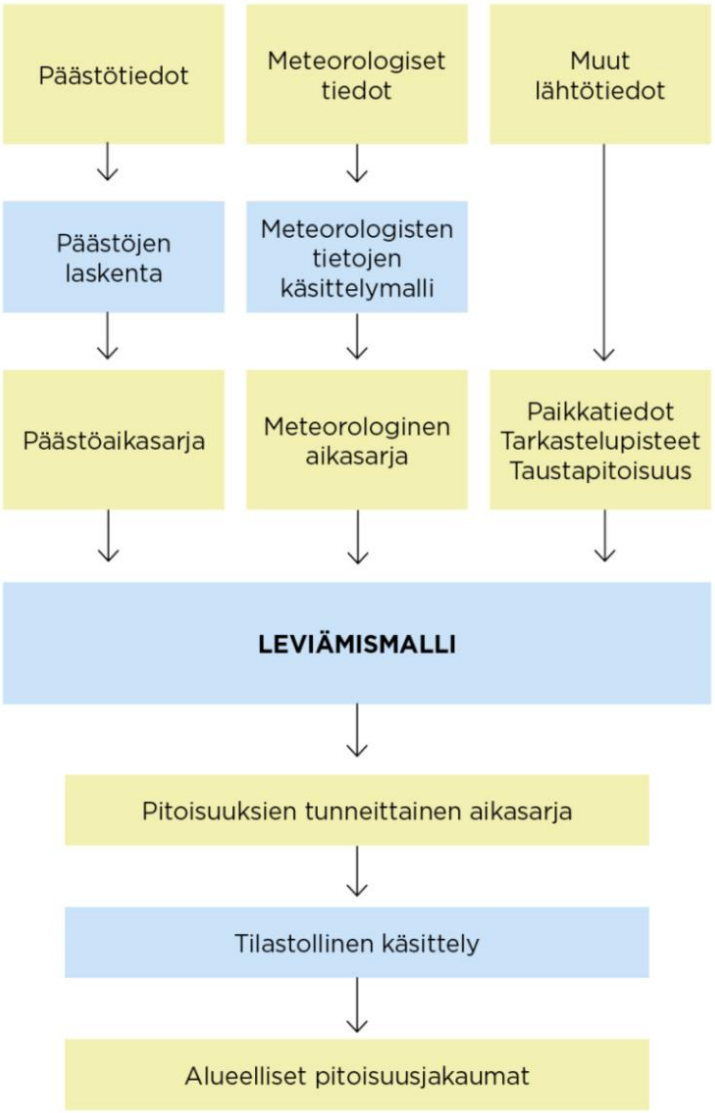
Yksittäisiin laskentapisteisiin lasketuista pitoisuusarvoista ja niistä edelleen lasketuista tilastollisista arvoista muodostetaan pitoisuuksien aluejakaumia. Pitoisuuksien aluejakaumissa esitetään leviämismallilaskelmien tuloksina samanarvonkäyrillä ne alueet, joilla tietyn pitoisuuden ylittyminen on pitkän havaintojakson aikana todennäköistä. Tiheän laskentapisteikön ansiosta pitoisuuksien alueelliset ja paikalliset vaihtelut voidaan kuvata tarkasti.

6 LEVIÄMISMALLILASKELMISSA KÄYTETYT MENETELMÄT

6.1 Pitoisuuslaskenta päästöjen leviämismalleilla

Leviämismalleilla tutkitaan päästöjen kulkeutumista ilmakehässä ja niiden aiheuttamia ilman epäpuhtauksien pitoisuuksia maanpinnan tasolla. Leviämismallit ovat tietokoneohjelmistoja, joiden avulla pyritään jäljittelemään ilmakehässä tapahtuvia fysikaalisia ja kemiallisia ilmiöitä mahdollisimman todenmukaisesti. Malleihin sisältyy usein laskentamenetelmiä, joiden avulla voidaan tarkastella epäpuhtauksien muuntumista, kemiallisia reaktioita ja poistumista ilmakehästä laskeumana. Leviämismallien lähtötiedoiksi tarvitaan tietoja päästöistä ja niiden lähteistä, mittaamalla ja mallittamalla saatuja tietoja ilmakehän tilasta sekä tietoja ilmansaasteiden taustapitoisuudesta tutkimusalueella. Lisäksi lähtötiedoiksi tarvitaan erilaisia paikkatietoja, kuten tietoja maanpinnan muodoista ja maanpinnan laadusta sekä tietoa päästölähteiden sijainnista.

Leviämislaskelmia varten muodostetaan kaikille eri päästölähteille päästöaikasarjat, joissa on jokaiselle tarkastelujakson tunnille (3 vuotta, 26 304 tuntia) laskettu päästömäärä erikseen kaikille tarkasteltaville ilman epäpuhtauksille. Leviämismalleilla lasketaan ilman epäpuhtauspitoisuuden tuntikeskiarvoja sillä oletuksella, että meteorologinen tilanne ja eri lähteiden päästöt pysyvät vakioina tunnin ajan. Laskenta etenee tunnin aika-askeleella kunnes koko meteorologisten tietojen kolmen vuoden tuntiaikasarja ja kunkin päästölähteen tunneittaiset päästöaikasarjat on käyty läpi. Leviämismallit tuottavat jokaisen tunnin meteorologista tilannetta vastaavat, kunkin lähteen päästöjen aiheuttamat pitoisuudet jokaiseen laskentapisteeseen. Näin kuhunkin laskentapisteeseen muodostetaan tilastollisesti edustava määrä pitoisuuden tuntiarvoja, joista ilmanlaadun ohje- ja raja-arvoihin verrannolliset tunnusluvut edelleen lasketaan. Mallilaskelmasta saatuja pitoisuusarvoja voidaan verrata ilmanlaadun raja- ja ohjearvoihin (taulukot Taulukko 8 ja 7). Kaaviokuvassa 48 on esitetty Ilmatieteen laitoksen leviämismallien toimintaa. Eri leviämismalleja kuvataan tarkemmin seuraavissa kappaleissa.



Kuva 48. Kaaviokuva Ilmatieteen laitoksella kehitettyjen leviämismallien, piste- ja pintapäästölähteiden leviämismallin UDM-FMI ja viivalähdemallin CAR-FMI toiminnasta.

6.2 Piste- ja pintapäästölähteiden leviämismalli (UDM-FMI)

Ilman epäpuhtauksien leviämistä kuvaava Ilmatieteen laitoksen leviämismalli UDM-FMI (Urban Dispersion Modelling System) on muokattu Gaussin jakaumaa noudattavasta pistemäisen lähteen viuhkamallista (*Karppinen, ym., 1998*). Leviämismallia on kehitetty Ilmatieteen laitoksella Suomen olosuhteisiin sopivaksi ja sitä on sovellettu sadoissa erilaisissa ilmanlaatuselvityksissä ja -tutkimuksissa Suomessa ja ulkomailla. Tällä leviämismallilla voidaan laskea eri tyyppisten piste- ja pintalähteiden päästöjen aiheuttamia epäpuhtauksien pitoisuuksia päästölähteen ympäristössä. Mallissa kuvataan tarkasti päästökohdassa tapahtuvaa mekaanista ja lämpötilaeroista johtuvaa nousulisää, lähimpien esteiden aiheuttamaa savupainumaa, ilmassa tapahtuvia epäpuhtauksien kemiallisia prosesseja sekä ilmansaasteiden poistumamekanismeja ilmakehästä.

UDM-FMI-mallin merkittävien ero useisiin muihin leviämismalleihin verrattuna on päästölähteestä tulevan poistokaasuvanan pitoisuusjakauman muotoon vaikuttavien leviämisparametrien määritys.

Näiden parametrien arvot ovat yleensä olleet sidoksissa ilmakehän tilaa karkeasti kuvaaviin Pasquill-Turner-stabiilisuusluokkiin. UDM-FMI-mallissa käytetään kuitenkin Ilmatieteen laitoksella kehitettyä meteorologisen aineiston käsittelymenetelmää MPP-FMI, eli niin sanottua ilmakehän rajakerroksen parametrisointimenetelmää, jolla voidaan merkittävästi parantaa todellisten ilmakehän olosuhteiden kuvaamista mallissa.

Leviämismallissa on laskentamenetelmä nousulisälle, joka muodostuu, kun poistokaasut vapautuessaan päästökohteesta nousevat liikemäärästään ja lämpösisällöstään johtuen päästölähteen huippua korkeammalle. Päästöjen nousulisällä on huomattava vaikutus keskimääräiseen leviämiskorkeuteen ja muodostuviin epäpuhtauspitoisuuksiin. Päästöjen leviämiseen saattavat vaikuttaa ilmavirtauksia häiritsevät kohteet, kuten päästölähdettä ympäröivät rakennukset tai itse lähteen ominaisuudet. Tällöin leviämisessä voi esiintyä systemaattisesti alaspäin suuntautuvaa liikettä, josta käytetään nimitystä savupainuma. Näiden leviämiseen vaikuttavien tekijöiden käsittelymenetelmät pitoisuuksia laskettaessa sisältyvät leviämismalliin. Mallin sovellutuksissa huomioidaan paikalliset päästöjen kulkeutumiseen ja sekoittumiseen vaikuttavat tekijät, joita ovat muun muassa topografia sekä maaston, vesistöjen ja asutuksen aiheuttamat leviämisalustan rosoisuuserot.

6.3 Liikenteen päästöjen leviämismalli (CAR-FMI)

Ilmatieteen laitoksella kehitetty liikenteen päästöjen viivalähdemalli CAR-FMI (Contaminants in the Air from a Road; *Karppinen, 2001; Härkönen ym., 2001*) perustuu leviämisen osalta analyyttiseen ratkaisuun ja päästöjen kemiallisen muutunnan osalta ns. ’discrete parcel’ -menetelmään. Viivalähdemallin leviämislaskenta perustuu avoimen väylän oletukseen. Viivalähdemallilla voidaan laskea esimerkiksi typpimonoksidin, typpidioksidin ja typen oksidien (kokonais-NO_x) ja hiukkasten pitoisuuksia haluttuihin pisteisiin eri etäisyyksille liikenneväylästä. Viivalähdemalli on kehitetty alun perin autoliikenteen päästövaikutusten arviointiin, mutta siihen on muokattu menetelmät, joka soveltuvat myös juna-, laiva- ja lentoliikenteen päästöjen leviämislaskelmiin. Viivalähdemallin laskentatuloksista voidaan arvioida yksittäisen liikenneväylän vaikutus lähialueen pitoisuuksiin tai laajan tutkimusalueen liikenneverkon päästöjen kokonaisvaikutus epäpuhtauskomponenteittain. Viivalähdemallin eri sovellutuksilla saadut mallinnustulokset voidaan yhdistää UDM-FMI-mallilla tehtyihin tuloksiin.

6.4 Liikenteen suspensiopäästömalli (FORE) katupölyn mallintamiseen

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

Tienpinnan kosteus säätelee hiukkasten nousemista tienpinnalta ilmaan. Suspensiopäästömalli arvioi tien pinnan kosteutta sademäärän, haihdunnan ja valunnan avulla. Mallissa kuvitteellinen tien pölykerros kasvaa kosteissa olosuhteissa nastarenkaiden aiheuttaman tien kulumisen ja hiekoituksen vuoksi, sillä pöly ei pääse vapautumaan ilmaan sateisina aikoina. Kuivana kautena liikenteen ja tuulen aiheuttama turbulenssi nostaa hiukkaset ilmaan pienentäen näin pölykerrosta.

Tien pölykerros pienenee myös sateen aiheuttaman huuhtoutumisen seurauksena. Tien kulumisesta aiheutuvan pölykerroksen paksuus riippuu nastarenkaiden käytön määrästä. Tien hiekoituksesta aiheutuva pölykerros määräytyy mallissa meteorologisten muuttujien mukaan tai kaupungin katujen kunnossapidosta saatujen hiekoitustietojen mukaan. Katujen pölyämisestä ilmaan vapautuvan päästön määrää arvioidaan tiepölyhiukkasten suspensiopäästökertoimien, liikennemäärien ja sääolosuhteiden avulla.

6.5 Typenoksidipäästöjen ilmakemiamalli

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

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

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

Kemiallisissa muutuntamalleissa tarvittavat auringon säteilytiedot muodostetaan yleensä tarkastelualuetta lähinnä sijaitsevan sääaseman mittaustuloksista ja otsonin ja typen oksidien taustapitoisuustiedot hankitaan lähimmältä ilmanlaadun taustahavaintoasemalta.

6.6 Meteorologisten tietojen käsittelymalli (MPP-FMI)

Ilmatieteen laitoksen leviämismalleissa tarvittavan sääaineiston tuottamisessa käytetään Ilmatieteen laitoksella kehitettyä meteorologisten tietojen käsittelymallia MPP-FMI (Meteorological preprocessor). Malli perustuu ilmakehän rajakerroksen (noin 0–2 000 m maanpinnasta) parametrisointimenetelmään (*Rantakrans, 1990; Karppinen, 2001*). Menetelmän avulla voidaan meteorologisten rutiinihavaintojen ja fysiikan perusyhtälöiden avulla arvioida rajakerroksen tilaan vaikuttavat muuttujat, joita tarvitaan päästöjen leviämismallilaskelmissa. Tarvittavat mittaustiedot saadaan Ilmatieteen laitoksen havaintotietokantaan tallennetuista sää-, auringonpaiste- ja radioluotaushavainnoista.

Rajakerroksen parametrisoinnin avulla on mahdollista ilmaista leviämismalleissa käytetyt muuttujat jatkuvina rajakerroksen tilan funktioina, joissa voidaan ottaa huomioon myös päästölähteisiin liittyvä fysiikka paremmin kuin jos käytettäisiin vain ilmakehän tilaa karkeasti kuvaavia Pasquill-Turner -stabiiliusluokkia. Menetelmässä huomioidaan tutkimusalueen paikallisia tekijöitä, kuten leviämisalustan rosoisuus ja vuodenaikaiset albedoarvot (auringon säteilyn heijastuskyky maanpinnasta) eri maanpinnan laaduille. Ilman epäpuhtauksien leviämisen kannalta keskeisiä meteorologisia muuttujia ovat tuulen suunta ja nopeus, ilmakehän stabiiliutta kuvaava suure ja sekoituskorkeus.

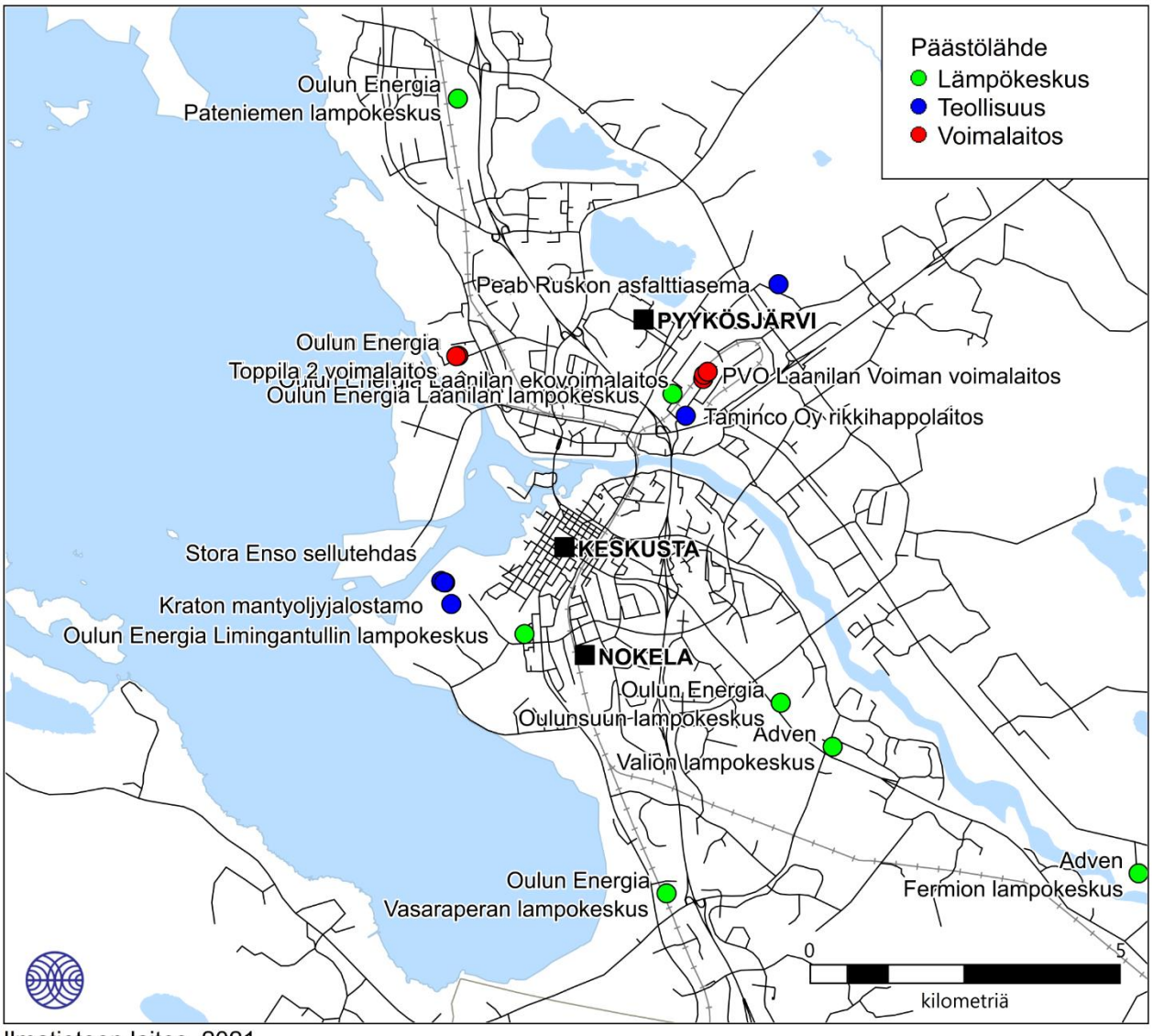
Laskelmissa käytetään yleensä kolmen vuoden pituista tutkimusalueen sääolosuhteita edustavaa meteorologista aineistoa. Säähavaintoaineisto hankitaan Ilmatieteen laitoksen omilta säähavaintoasemilta, joilla mitataan kaikkia mallin tarvitsemia sääsuureita. Säähavainto- ja luotausaineistot täyttävät WMO:n ja ICAO:n laatuvaatimukset. Tuulen suunta- ja nopeustiedot muodostetaan kahden tai useamman sääaseman havaintojen tilastollisena yhdistelmänä. Näin varmistetaan, etteivät tietyt sääasemien lähiympäristöstä johtuvat tuuliaineiston erityispiirteet vääristä kuvaa leviämismallilaskelmin saatavista pitoisuuksien aluejakaumista ja esimerkiksi maksimiarvon sijainnista mallin tulostusalueella. Lopputuloksena saadaan leviämismalleissa tarvittavien meteorologisten parametrien tunneittaiset aikasarjat. Meteorologisen aikasarjan laatii meteorologi.

OSA III

7 MITTAUSASEMIEN EDUSTAVUUDEN ARVIOINTI

7.1 Oulun ilmanlaadun mittausasemat

Oulussa on seurattu ilmanlaatua jo pitkään nykyisen kaltaisella mittausverkolla. Mittausverkkoon kuuluu kolme mittausasemaa: Oulun keskusta, Pyykösjärvi ja Nokela. Mittausasemat ovat sijainneet nykyisillä paikoillaan vähintään 23 vuoden ajan. Nokelassa on aloitettu rikkidioksidin ja haisevien rikkiyhdisteiden pitoisuuden mittaukset jo vuonna 1979. Pyykösjärvellä ilmanlaatumittaukset ovat käynnistyneet vuonna 1991 ja Oulun keskustassa vuonna 1988. Oulun ilmanlaadun mittausasemien sijainnit on esitetty kuvassa 49. Kuvaan on merkitty myös merkittävimpien nykyisten energiantuotanto- ja teollisuuslaitosten sijainnit.



Ilmatieteen laitos, 2021

Kuva 49. Oulun ilmanlaadun mittausasemien ja mallinnuksessa mukana olleiden teollisuuden ja energiantuotannon päästölähteiden sijainnit.

Oulussa seurataan ilman epäpuhtauksista jatkuvatoimisesti typen oksideja, hengitettäviä hiukkasia, pienhiukkasia, rikkidioksidia, haisevia rikkiyhdisteitä ja otsonia. Hiilimonoksidipitoisuuksien mittaus Oulun keskustassa lopetettiin vuonna 2016 (taulukko 16). Mittausasemien metatietoja on koottu Oulun ilmanlaadun vuosikirjoista (*Oulun seudun ympäristötoimi, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021*) sekä Ilmatieteen laitoksen ylläpitämästä mittaajan käyttöliittymästä (AQUSTI) ympäristönsuojelun tietojärjestelmän ilmanlaatuosaan.

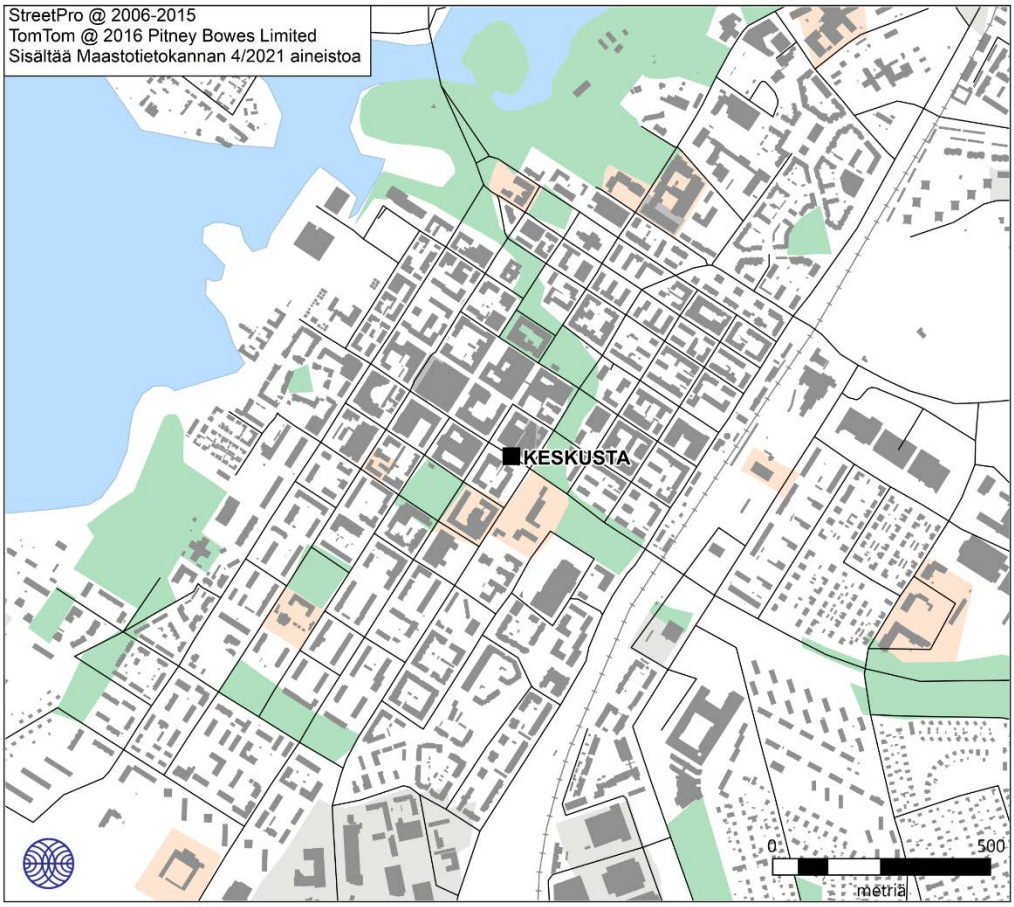
Taulukko 16. Ilmanlaadun mittausasemilla mitattavat ilman epäpuhtaudet sekä mittausten aloitusvuodet.

Ilmanlaadun mittausasema	$NO/NO_2/NO_x$	PM_{10}	$PM_{2,5}$	SO_2	TRS	O_3	CO
Oulun keskusta	1991–	1991–	2002–				1988–2015
Pyykösjärvi	1991–	1991–			2015–	2007–	
Nokela				1979–	1979–		

Oulun keskustan mittausasema sijaitsee vilkasliikenteisen Saaristonkadun varrella Oulun ydinkeskustassa (kuva 50). Mittausasema on tyypiltään liikenneasema, jossa autoliikenteen päästöt on merkittävin päästölähde. Saaristonkadun liikennemäärä on noin 6 000 ajoneuvoa/vrk ja nopeusrajoitus on 40 km/h. Liikennemäärä 50 metrin säteellä mittausasemasta on 10 000 ajoneuvoa/vrk. Katu on aseman kohdalla nupukivipäällysteinen ja nelikaistainen. Mittausaseman etäisyys ajokaistan reunaan on 5 m. Katua reunustaa 3–6-kerroksiset rakennukset. Mittausaseman välittömässä läheisyydessä on myös linja-autopysäkki, jonka raskaan liikenteen jarrutus-kiihdytys liikenne myös lisää liikenteen päästöjä ja pölyämistä. Keskustan länsi-lounaispuolella noin 2 km etäisyydellä sijaitsee Nuottasaaren teollisuusalue, jossa on mm. Stora Enson sellutehdas. Keskustan mittausasemalla seurataan typpidioksidin, hengitettävien hiukkasten ja pienhiukkasten pitoisuuksia. Vuonna 2021 on seurattu väliaikaisesti myös haisevien rikkiyhdisteiden pitoisuuksia.

Pyykösjärven mittausasema sijaitsee Pyykösjärven asuntoalueella noin 3,5 km Oulun keskustasta koilliseen (kuva 51). Mittausasema on tyypiltään esikaupunkialueella sijaitseva tausta-asema, jolla mitattaviin pitoisuuksiin vaikuttavat monet eri päästölähteet. Mittausasema sijaitsee pienen lähikaupan pysäköintialueen laidalla Pyykösjärven omakoti- ja rivitaloalueella. Sisäänajo kaupan pihaan (ml. tavarantoimitukset) kulkee suoraan mittausaseman vierestä. Lähimmät tiet ovat Lahnatie etelä-länsipuolella ja Järvenkorventie länsi-pohjoispuolella. Valtatie 8 kulkee noin 1 km etäisyydellä lounaispuolella. Merkittävimmät päästölähteet ovat kiinteistökohtainen lämmitys, liikenne, Laanilan Voima Oy:n voimalaitokset ja Oulun Energian Laanilan ekovoimalaitos (1,3 km koilliseen), Toppilan voimalaitokset (3 km länteen) sekä Ruskon jätekeskus (2,5 km koilliseen). Pyykösjärven mittausasemalla seurataan typen oksidien, hengitettävien hiukkasten, haisevien rikkiyhdisteiden ja otsonin pitoisuuksia sekä säätietoja.

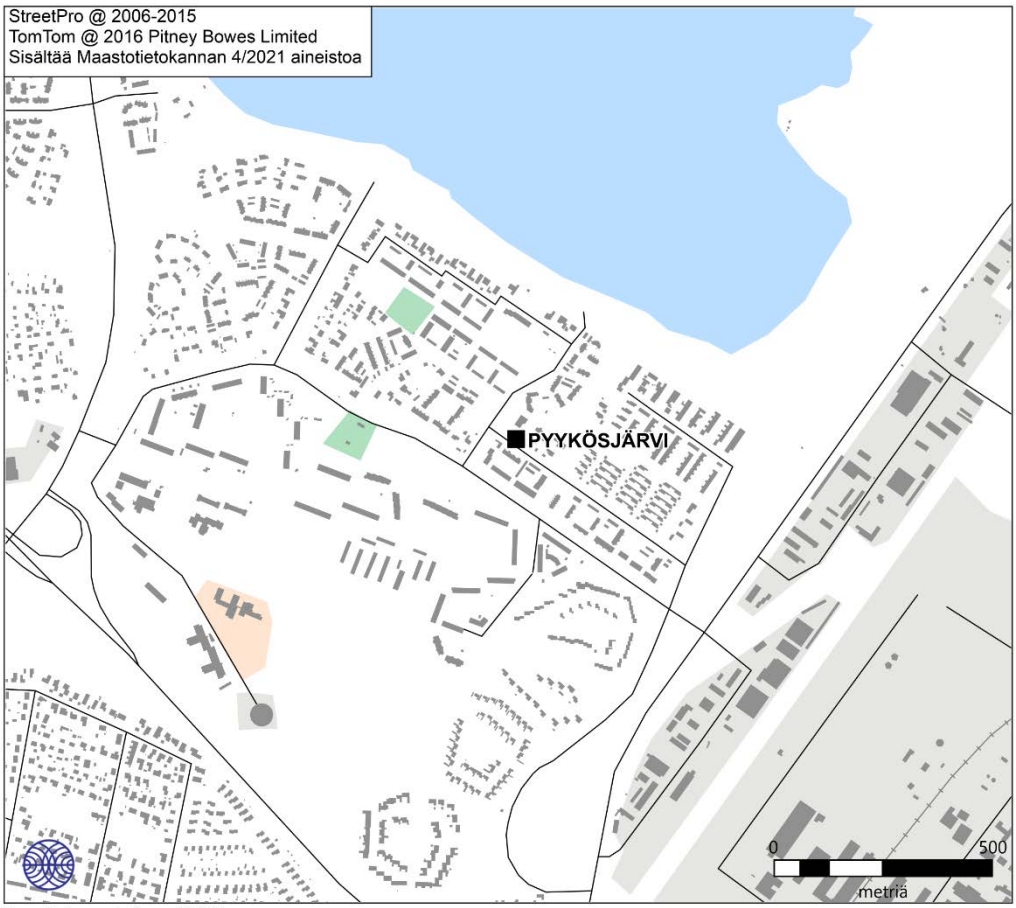
Nokelan mittausasema sijaitsee pientaloalueen laidalla noin 1,5 km Oulun keskusta etelä-kaakkoon (kuva 52). Mittausasema sijaitsee Kiskotien päässä sijaitsevan omakotitalon pihan sekä kävely- ja pyörätien välissä. Nokelassa on vanhaa omakotitalo- ja kerrostaloasutusta. Mittausasema on tyypiltään esikaupunkialueella sijaitseva teollisuusasema. Merkittävimmät päästölähteet ovat Nuottasaaren tehdasalueen laitokset (2,5 km länsi-luoteeseen). 1 km etäisyydellä länsi-luoteessa sijaitsee myös Limingantullin lämpökeskus. Myös kiinteistökohtainen lämmityksen päästöillä on vaikutusta alueella. Nokelan mittausasemalla seurataan rikkidioksidin ja haisevien rikkiyhdisteiden pitoisuuksia sekä säätietoja. Maaliskuussa 2021 Nokelan rikkidioksidipitoisuuksien mittalaite siirrettiin (väliaikaisesti) Oulun keskustaan mittaamaan haisevien rikkiyhdisteiden pitoisuuksia, koska asukkailta oli tullut hajuvalituksia.



Ilmatieteen laitos, 2021

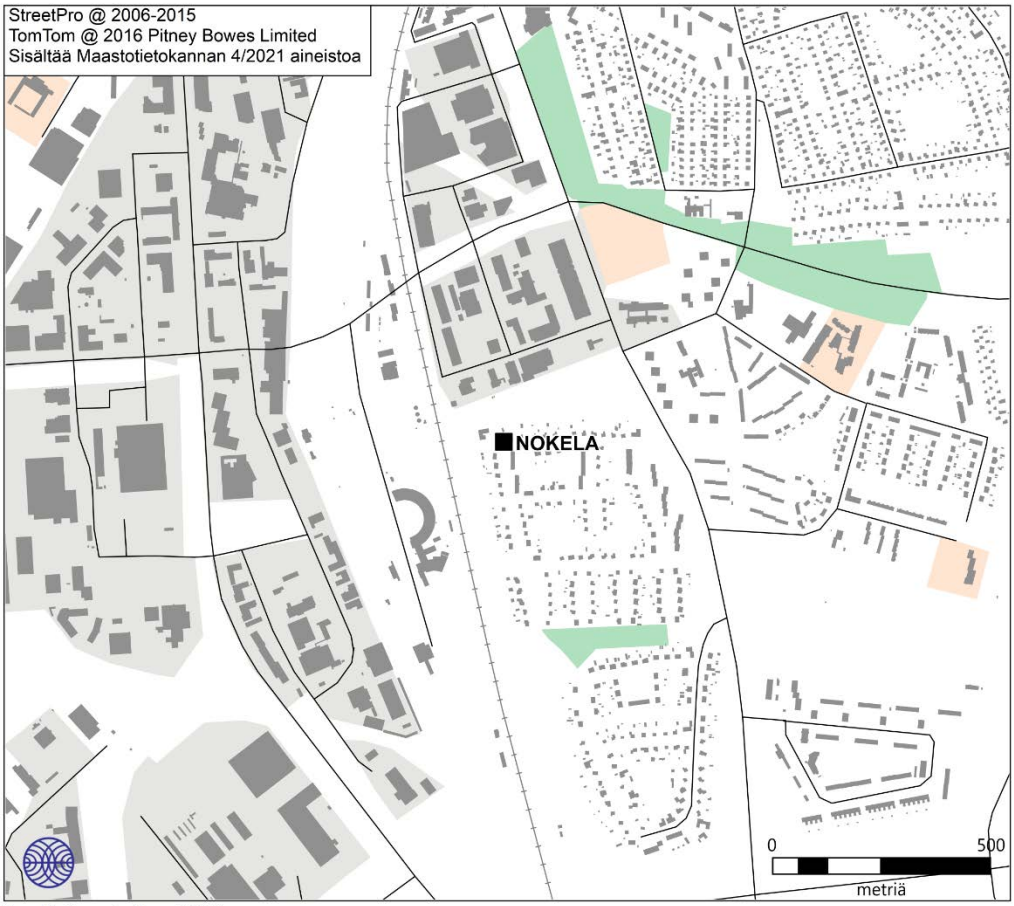


Kuva 50. Oulun keskustan ilmanlaadun mittausaseman sijainti (kuva Jatta Salmi).





Kuva 51. Oulun Pyykösjärven ilmanlaadun mittausaseman sijainti (kuva Jatta Salmi).





Kuva 52. Oulun Nokelan ilmanlaadun mittausaseman sijainti (kuva Jatta Salmi).

7.2 Mittausasemien edustavuus

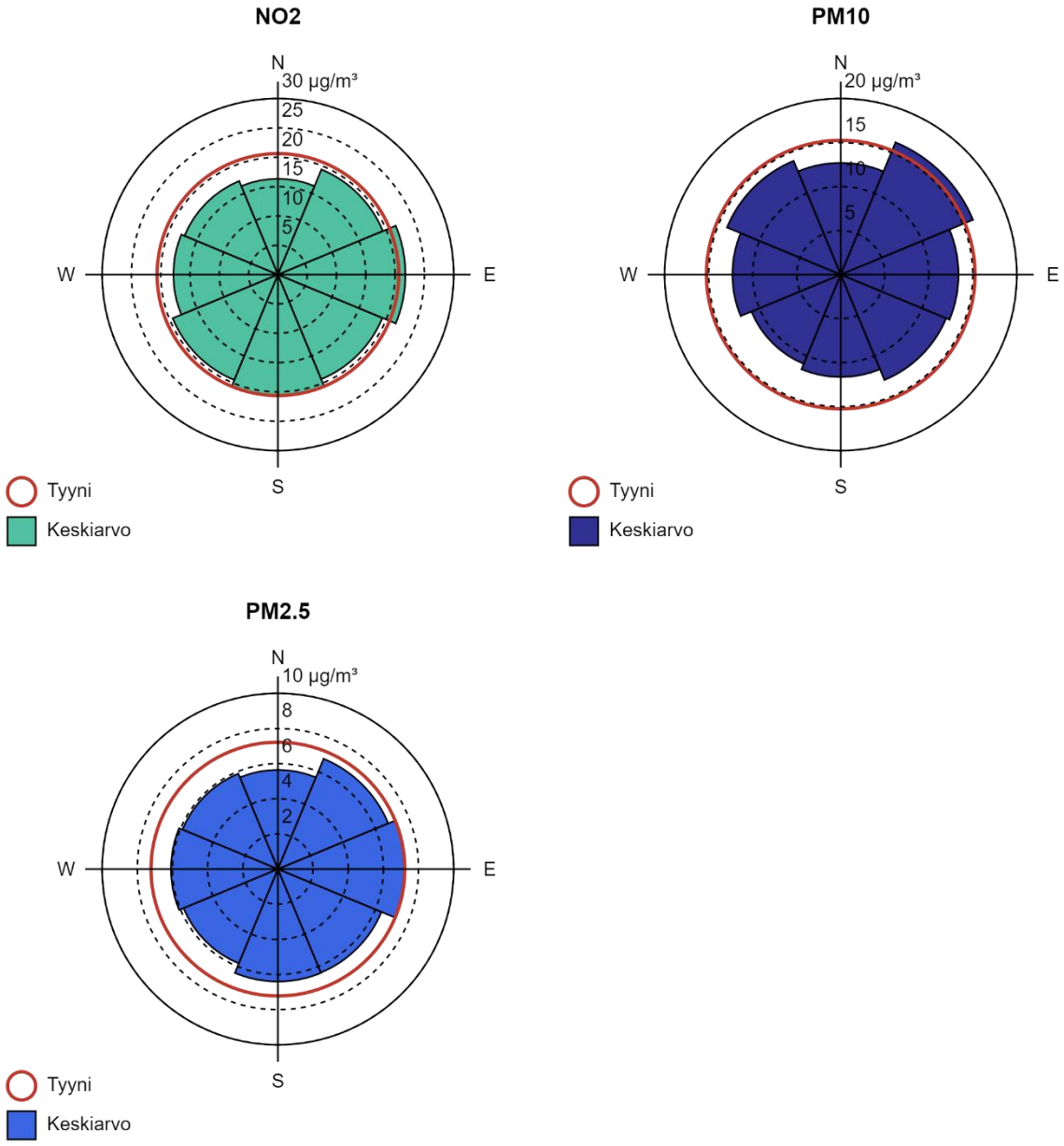
Tällä hetkellä mittausasemien edustavuuden arvioinnille ei anneta ohjeita EU-lainsäädännössä eikä Suomen kansallisessa ilmanlaatulainsäädännössä. Kun ilmanlaadun mittaustuloksia raportoidaan EU:lle, tulee kiinteiltä mittausasemilta raportoida myös edustavuuden arviointi ja edustavan alueen laajuus. Näiden tietojen raportointi on pakollista, mutta määritellyn referenssimenetelmän puuttuessa on toistaiseksi ollut sallittua jättää tieto raportoimatta. Eri EU-mailla on olemassa laaja kirjo erilaisia menetelmiä, joilla ne arvioivat mittausasemiensa edustavuutta. Suomessa on toistaiseksi tehty esiselvitys (*Salmi ym., 2019*) mittausasemien edustavuuden arvioinnin mahdollisesta menetelmästä, mutta kansallisen tason päätöksiä tämän menetelmän käyttöönottamiseksi ei ole tehty.

Mittausasemien edustavuuden arviointia on tässä työssä tehty julkaisussa *Salmi ym. 2019* esitetyllä menetelmällä. Mittausaseman edustavuuden yksinkertaisena määritelmänä on käytetty seuraavaa: Mittausaseman edustamalla alueella pitoisuudet ovat tietyllä vaihteluvälillä ja nämä pitoisuudet alueella aiheutuvat samankaltaisista syistä. Määrittelyn jälkimmäinen kohta "samankaltaiset syyt" on välttämätön, koska samat tai samankaltaiset pitoisuudet voivat aiheutua eri paikoissa erilaisista päästölähteiden yhdistelmistä, erilaisten leviämisolosuhteiden vaikutuksesta ja ilman epäpuhtauksien muutunnan sekä kaukokulkeuman vaikutuksesta. Näin ollen mittausaseman koko edustavuusalueella on oltava samat hallitsevat päästölähteet ja samankaltaiset päästöjen leviämisolosuhteet.

Mittausasemien edustavuuden arvionti perustui mahdollisimman monipuoliseen saatavilla olevaan aineistoon Oulun alueelta. Tärkeimpinä aineistoina olivat vuosien 2016–2020 ilmanlaadun mittaustulokset ja tässä raportissa osassa I esitetyt päästöjen leviämismalleilla saadut tulokset, mutta lisäksi käytettiin mm. ilmakuvia, valokuvia, liikennemääräaineistoa, erilaisia päästöaineistoja ja päästöjen alueellista jakautumista, asukastiheys- ja maankäyttöaineistoa sekä mitattujen pitoisuuksien tuulensuunnittaista jakautumista. Arviointi tehtiin usean kokeneen ilmanlaadun asiantuntijan ryhmätyönä, mikä vähentää yksittäisen asiantuntijan näkemyksen liiallista korostumista. Edustavuuden arviointi on aina epäpuhtauskohtainen, koska samalla mittausasemalla voi olla eri tavalla luokiteltuja mittauksia, esim. liikenneasemaksi luokiteltu hiukkasmittaus ja teollisuusasemaksi luokiteltu rikkidioksidimittaus.

7.2.1 Keskusta

Oulun keskustan mittausasema edustaa ilman epäpuhtauksien tasoa, jolle ihmiset altistuvat Oulun keskustassa vilkkaassa liikenneympäristössä. Autoliikenne ja katupöly ovat ilmanlaatuun eniten vaikuttavat päästölähteet. Tämä havaitaan mittaustuloksista piirretyistä pitoisuusruusuista, jotka on esitetty kuvassa 53. Pitoisuusruusut kuvaavat jaksolla 2016–2020 mitattujen tuntipitoisuuksien keskiarvoa eri tuulensuunnilla. Tuuliaineistona on käytetty Nokelassa mitattuja tuulia samalta jaksolta. Kussakin suunnassa keskipisteestä lähtevän janan pituus sektorin kehäviivalle vastaa tuntipitoisuuksien keskiarvoa. Tyynellä säällä, eli kun tuulen nopeus on alle 0,5 m/s, havaittujen tuntipitoisuuksien keskiarvo on esitetty punaisella ympyrällä, jonka säteen pituus kuvaa pitoisuuden arvoa. Tyynellä mitatut pitoisuudet on eritelty kuvaajassa, koska näinä hetkinä tuulensuuntaa ei voida määrittää, eikä näin ollen voida päätellä mistä mitatut pitoisuudet ovat peräisin. Kovemmilla tuulennopeuksilla pystytään selkeämmin päättelemään, mistä suunnasta mitatut pitoisuudet ovat peräisin. Keskustassa mitatut pitoisuudet olivat peräisin kaikista eri tuulensuunnista lähes tasaisesti. Tämä on tyypillistä mittausasemalle, joka sijaitsee keskellä liikenneympäristöä, jolloin päästöä tulee kaikilta ympäristön kaduilta hyvin tasaisesti. Tyynellä säällä havaitut korkeat hiukkasten ja typpidioksidin pitoisuudet kertovat paikallisista lähipäästölähteistä.

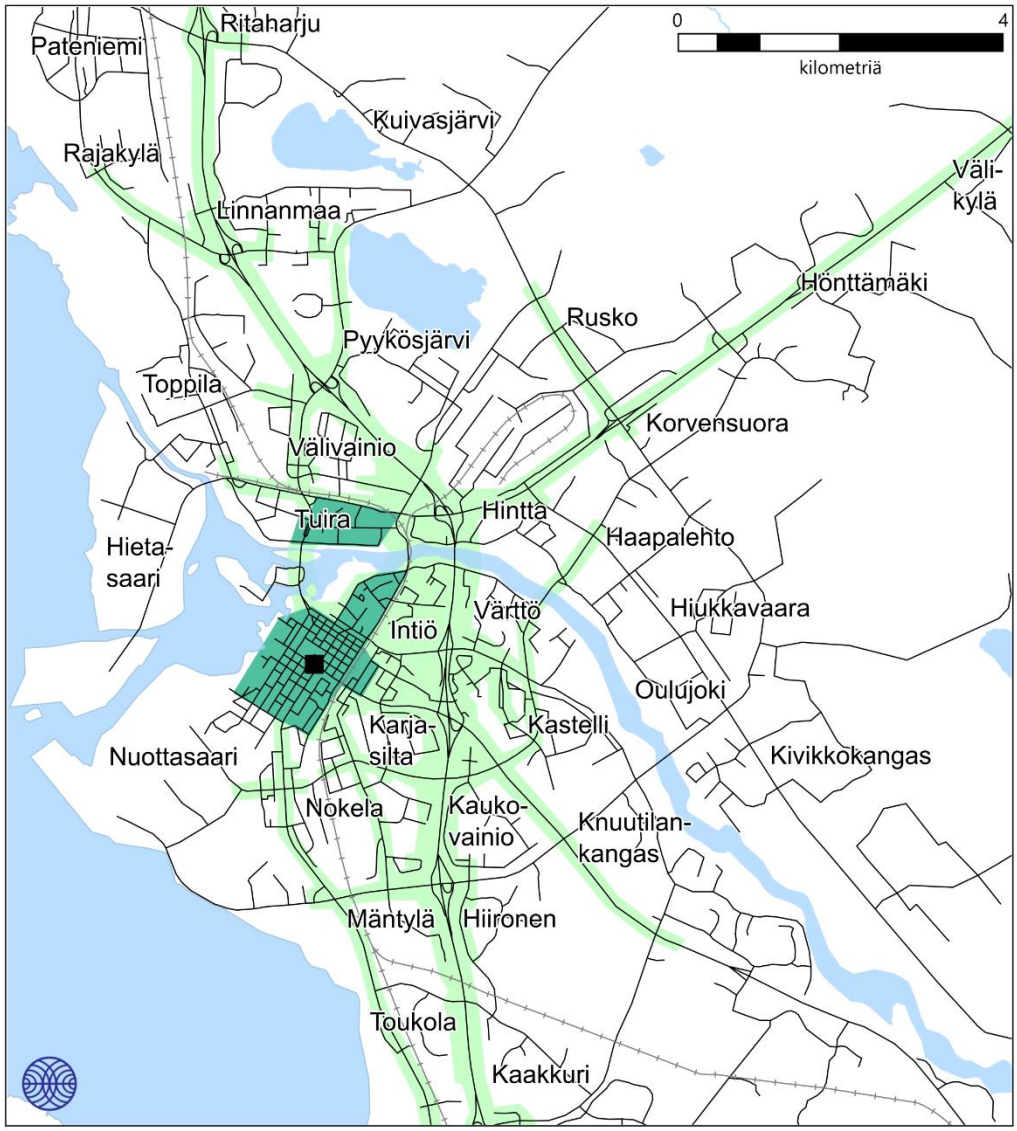


Kuva 53. Keskustan ilmanlaadun mittausasemalla mitattujen tuntipitoisuuksien keskiarvot tuulensuunnittain jaksolla 2016–2020. Punaisella ympyrällä on merkitty pitoisuuksia, jotka on mitattu tyynissä tilanteissa, jolloin tuulen nopeus on ollut alle 0,5 m/s, eikä suuntaa voida määrittää.

Edustavuuden arvioinnin ensimmäisessä vaiheessa päästöjen leviämismallilaskelman pitoisuustulosten perusteella kartalle piirrettiin alueet, joilla typpidioksidin vuosikeskiarvopitoisuus oli vaihteluvälillä ± 5 µg/m³ ja hengitettävien hiukkasten vuosikeskiarvopitoisuus vaihteluvälillä ± 3 µg/m³ mittausaseman kohdalle mallinnetusta pitoisuudesta. Pitoisuusväliehdon rajaaman tarkastelun jälkeen nähtiin, että keskustan mittausasemaa vastaavan tason pitoisuuksia esiintyy keskustan lisäksi vilkkaasti liikennöityjen teiden ja väylien varsilla. Leviämismallilaskelman tuloskarttojen ja eri päästölähteiden vaikutusosuuksien perusteella pystyttiin arvioimaan, että energiantuotannon ja teollisuuden päästöillä ja kiinteistökohtaisella lämmityksellä oli vain vähäinen vaikutus Oulun keskusta-alueen kokonaispitoisuuksiin ja suurin osa mallinnetusta typpidioksidin ja hengitettävien hiukkasten pitoisuudesta oli peräisin autoliikenteen päästöistä. Tätä aluetta alettiin

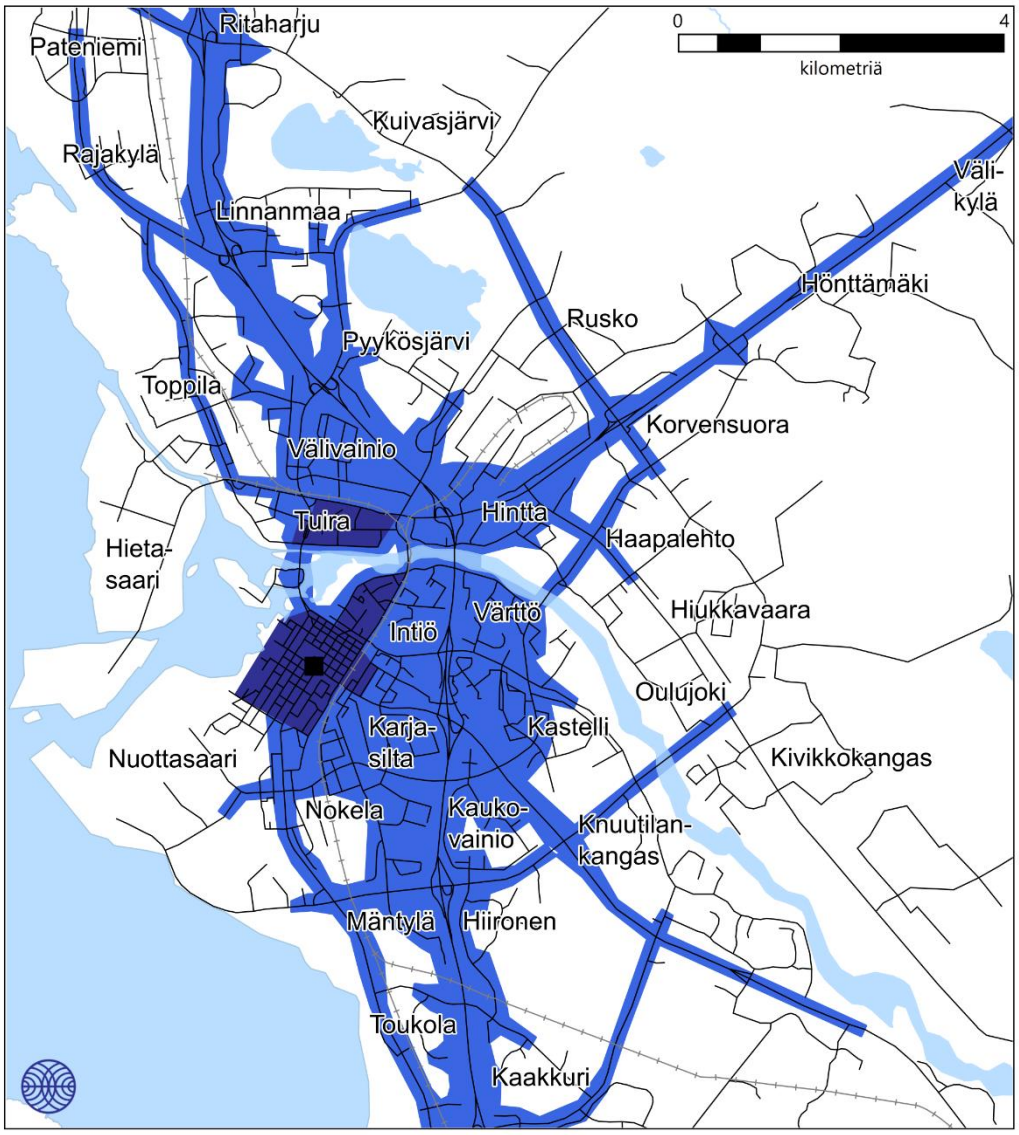
rajata pienemmäksi ottamalla edustavuusalueeseen mukaan vain sellaisia keskustan alueita, jossa leviämisolosuhteet olivat samankaltaiset kuin mittausaseman ympärillä. Rajaavia tekijöitä olivat mm. kaupunkirakenne, maankäyttö ja väestötiheys. Pienhiukkasten vuosikeskiarvopitoisuudelle ei ole julkaisussa *Salmi ym. 2019* esitetty vaihteluväliä, mutta leviämisympäristön perusteella pienhiukkasmittauksen edustavuuden on arvioitu vastaavan Oulun keskustan hengitettävien hiukkasten pitoisuuden edustavuusaluetta.

Lopputuloksena saadut typpidioksidin, hengittävien hiukkasten ja pienhiukkasten mittauksien edustavuusalueet on esitetty kuvissa 54 ja 55. Kuvissa on esitetty tummemmalla värillä varsinainen edustavuusalue ja vaaleammalla värillä pelkän pitoisuusväliehdon rajaama alue mallinnetuista ilman epäpuhtauksien pitoisuuksista. Oulun keskustan mittaukset edustavat ilmanlaatua kaupunkimaisessa kerrostaloympäristössä, jossa on vilkasta liikennettä, palvelutarjontaa ja asiointiliikennettä. Keskustan mittausaseman edustavuusalueen koko oli typpidioksidin, hengitettävien hiukkasten ja pienhiukkasten suhteen 2,3 km^2.



Ilmatieteen laitos, 2021

Kuva 54. Keskustan ilmanlaadun mittausaseman edustavuus typpidioksidin suhteen. Tummemman vihreällä on esitetty lopullinen typpidioksidimittauksen edustavuusalue ja vaalean vihreällä vuosikeskiarvopitoisuuksien vaihteluvälin ± 5 µg/m³ rajaama alue mallinnetuista typpidioksidipitoisuuksista.

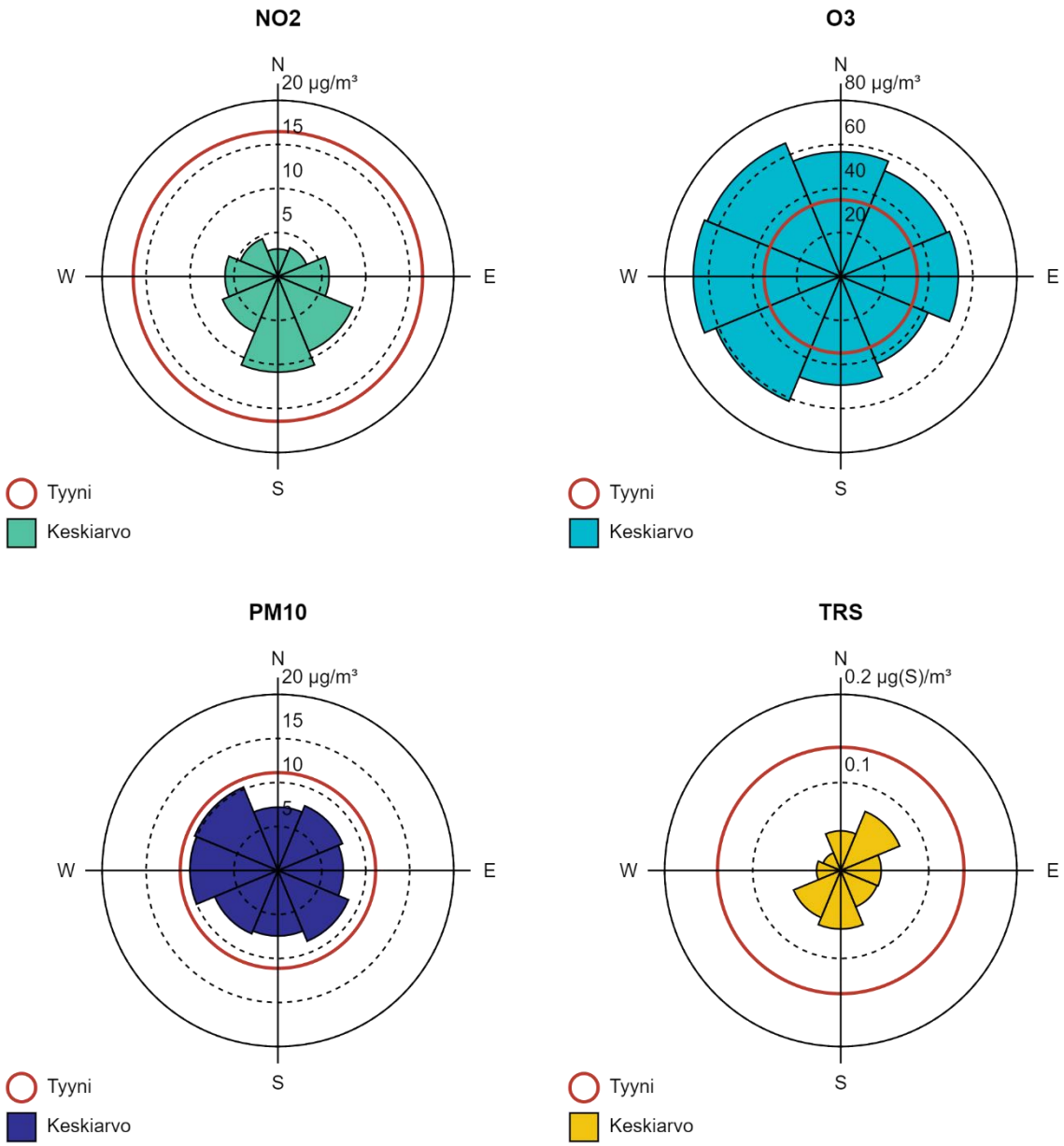


Kuva 55. Keskustan ilmanlaadun mittausaseman edustavuus hiukkasmittausten suhteen. Tummansinisellä on esitetty lopullinen hengitettävien hiukkasten ja pienhiukkasten mittausten edustavuusalue ja sinisellä hengitettävien hiukkasten vuosikeskiarvopitoisuuksien vaihteluvälin ± 3 µg/m³ rajaama alue mallinnetuista pitoisuuksista.

7.2.2 Pyykösjärvi

Pyykösjärven mittausasema edustaa ilmanlaatua esikaupunkialueella suhteellisen lähellä keskustaa. Ilmanlaatuun voivat ajoittain vaikuttaa monet eri päästölähteet: kotitalouksien lämmitys, asuntoalueen liikenne ja etäämpää kulkeutuvat liikenteen päästöt, Takalaanilan teollisuusalueen päästöt sekä viereisen lähikaupan parkkialueen liikenne. Tämä havaitaan mittaustuloksista piirretyistä pitoisuusruusuista, jotka on esitetty kuvassa 56. Pitoisuusruusut kuvaavat jaksolla 2016–2020 mitattujen tuntipitoisuuksien keskiarvoa eri tuulensuunnilla. Tuuliaineistona on käytetty Pyykösjärvellä mitattuja tuulia samalta jaksolta. Tyynellä säällä havaitut korkeat hiukkasten ja typpidioksidin pitoisuudet kertovat paikallisista lähipäästölähteistä. Typpidioksidi- ja otsonipitoisuuksien perusteella liikenteen vaikutus on suurimmillaan etelän- ja kaakonpuoleisilla tuulilla. Tällöin tuulensuunta on Lahnatieltä ja lähikaupan pihaanajon suunnilta mittausasemalle päin.

Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet ovat korkeimmillaan lännen- ja luoteenpuoleisilla tuulilla. Syynä lienee lähiteiden liikenteen ilmaan nostattama pöly. Haisevien rikkiyhdisteiden päästölähteet sijaitsevat mittausaseman etelä-lounaispuolella (Nuottasaaren laitokset) ja koillispuolella (Ruskon jätekeskus).



Kuva 56. Pyykösjärven ilmanlaadun mittausasemalla mitattujen tuntipitoisuuksien keskiarvot tuulensuunnittain jaksolla 2016–2020. Punaisella ympyrällä on merkitty pitoisuuksia, jotka on mitattu tyynissä tilanteissa, jolloin tuulen nopeus on ollut alle 0,5 m/s, eikä suuntaa voida määrittää.

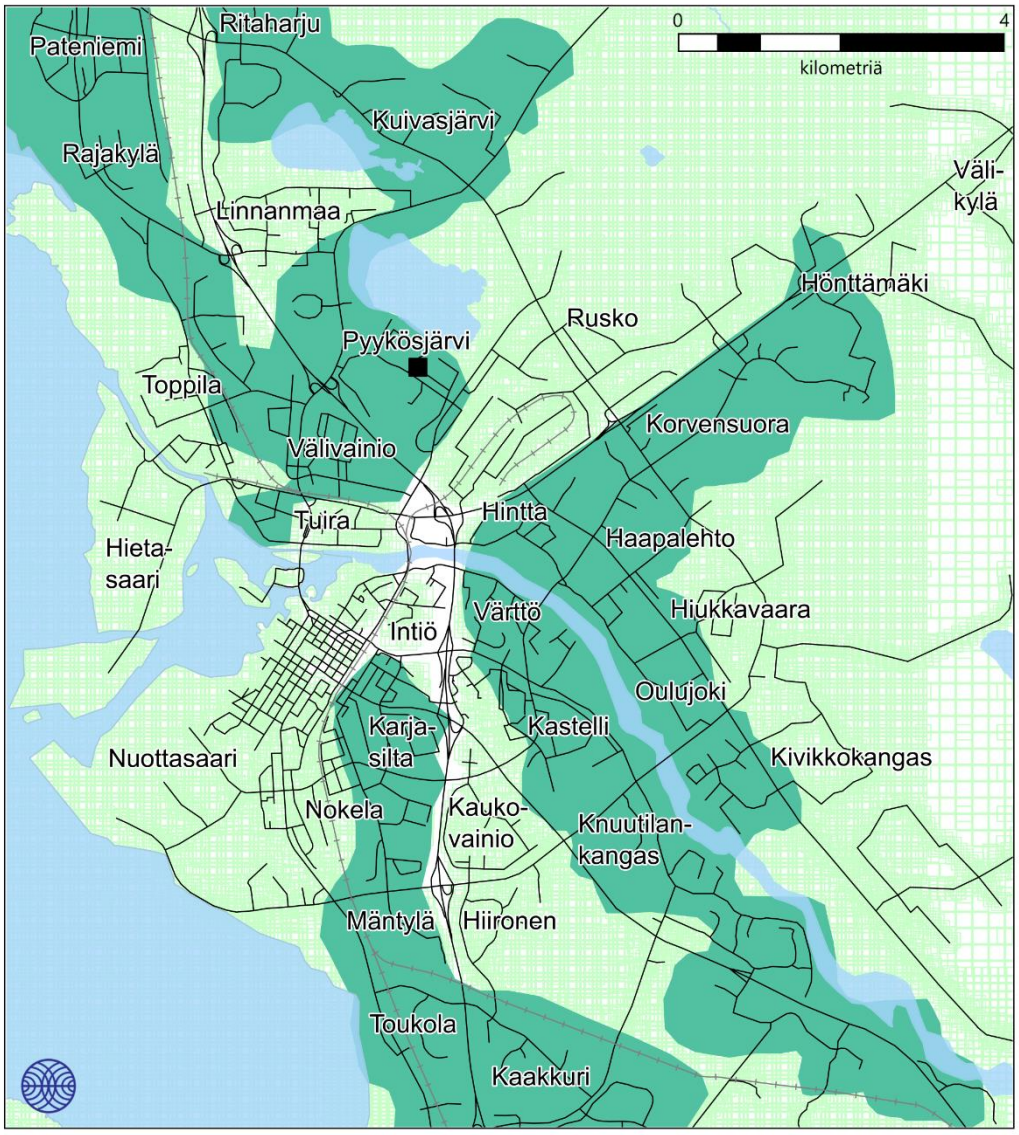
Edustavuuden arvioinnin ensimmäisessä vaiheessa päästöjen leviämismallilaskelman pitoisuustulosten perusteella kartalle piirrettiin alueet, joilla typpidioksidin vuosikeskiarvopitoisuus oli vaihteluvälillä ± 5 µg/m³ ja hengitettävien hiukkasten vuosikeskiarvopitoisuus vaihteluvälillä

± 3 µg/m³ mittausaseman kohdalle mallinnetusta pitoisuudesta. Pitoisuusväliehdon rajaaman tarkastelun avulla oli nähtävissä, että Pyykösjärven mittausasemaa vastaavat pitoisuudet kattavat lähes koko leviämismallilaskelman tarkastelualueen vilkkaimpien teiden varsia lukuunottamatta. Leviämismallilaskelman tuloskarttojen ja eri päästölähteiden vaikutusosuuksien perusteella arvioitiin, että Pyykösjärvellä mitattuihin pitoisuuksiin vaikuttavat samanaikaisesti monet eri päästölähteet. Edustavuusaluetta rajattaessa huomioitiin kaupunkimaisemman rakentamisen ja pientaloalueiden alueellinen jakautuminen, vastaavansuuruiset kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöt sekä riittävä etäisyys suurimpiin väyliin. Edustavuusalueen ulkopuolelle rajattiin keskustan ruutukaava-alue, teollisuusalueet, kesämökit ja maaseutumaisessa ympäristössä sijaitsevat harvaan asutut alueet.

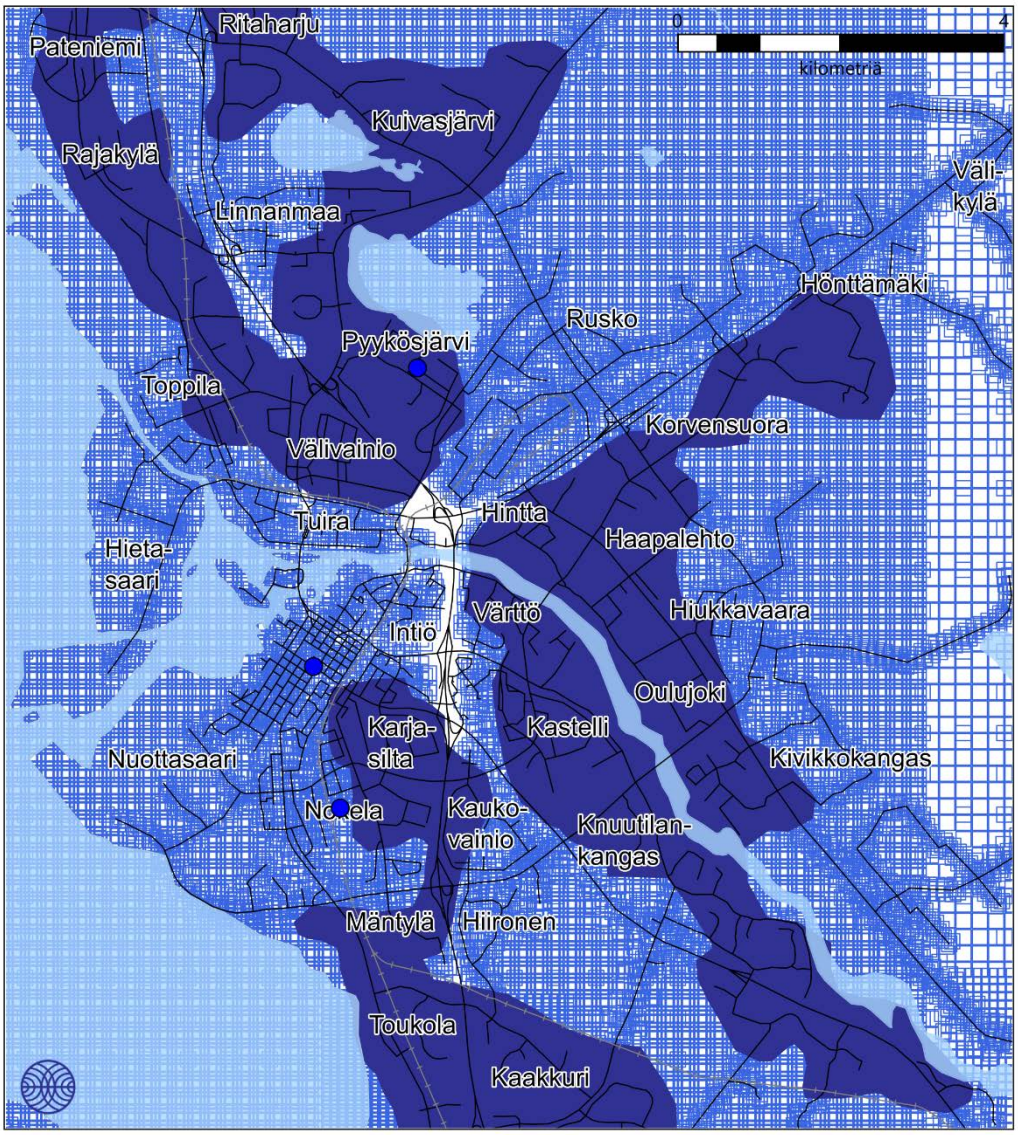
Lopputuloksena saadut typpidioksidin ja hengittävien hiukkasten mittauksien edustavuusalueet on esitetty kuvissa 57 ja 58. Kuvissa on esitetty tummemmalla värillä varsinainen edustavuusalue ja vaaleammalla värillä pelkän vaihteluväliehdon rajaama alue mallinnetuista ilman epäpuhtauksien pitoisuuksista. Pyykösjärven mittaukset edustavat ilmanlaatua laajemmalti Oulun muillakin asuinalueilla. Pyykösjärven mittausaseman edustavuusalueen koko oli typpidioksidin suhteen 69,5 km^2 ja hengitettävien hiukkasten suhteen 60,5 km^2.

Haisevien rikkiyhdisteiden pitoisuuksille ei ollut käytettävissä pitoisuuden vaihteluväliä, jolla edustavuusaluetta olisi voitu rajata leviämismallilaskelmien tuloksista. Päästölähteiden sijaintiin, päästöjen leviämiseen ja vallitseviin tuulensuuntiin perustuvan asiantuntija-arvion mukaan on hahmoteltu Pyykösjärven haisevien rikkiyhdisteiden edustavuusalue. Sen mukaan Pyykösjärven TRS-mittaukset edustavat Oulujoen pohjoispuolisia asuinalueita (kuva 59). Pyykösjärven TRS-mittaukset edustaisivat siten pääasiassa Laanilan ja Ruskon teollisuusalueiden hajupäästölähteiden vaikutusaluetta Nuottasaaren päästöjen vaikutuksen lisäksi. Pyykösjärven haisevien rikkiyhdisteiden mittauksen edustavuusalueen koko on 24,0 km^2.

Otsonipitoisuuden (O_3) edustavuutta arviointiin mallintamalla autoliikenteen vaikutus muodostuviin otsonipitoisuuksiin. Otsonia ei ole päästöissä, vaan sen syntyminen on monimutkainen kemiallinen tapahtumaketju, jossa otsonia sekä syntyy että kuluu. Ilmansaasteiden väliset pitoisuussuhteet, kaukokulkeuma ja auringon valon määrä ratkaisevat ulkoilmassa vallitsevan otsonipitoisuuden. Otsonipitoisuudet ovat kaupunkialueella pienimmillään vilkkaasti liikennöidyssä keskustassa ja suurimpien teiden varsilla, koska liikenteen typen oksidien päästöt kuluttavat otsonia pois katuilmasta. Pitoisuudet kohoavat etäisyyden kasvaessa liikenneväyliin ja muihin päästölähteisiin. Suurimmillaan otsonipitoisuudet ovat maaseudun tausta-alueilla. Otsonipitoisuuden edustavuuden arvioinnissa käytettiin otsonin vuosikeskiarvopitoisuudelle vaihteluväliä ± 4,1 µg/m³ (*Salmi ym. 2019).* Kuvassa 60 on esitetty turkoosilla värillä pitoisuusväliehdon rajaama alue. Pyykösjärven otsonimittaukset edustavat Oulun pitoisuuksia laajalti koko tarkastelualueella poislukien ainoastaan suurimpien liikenneväylien varret

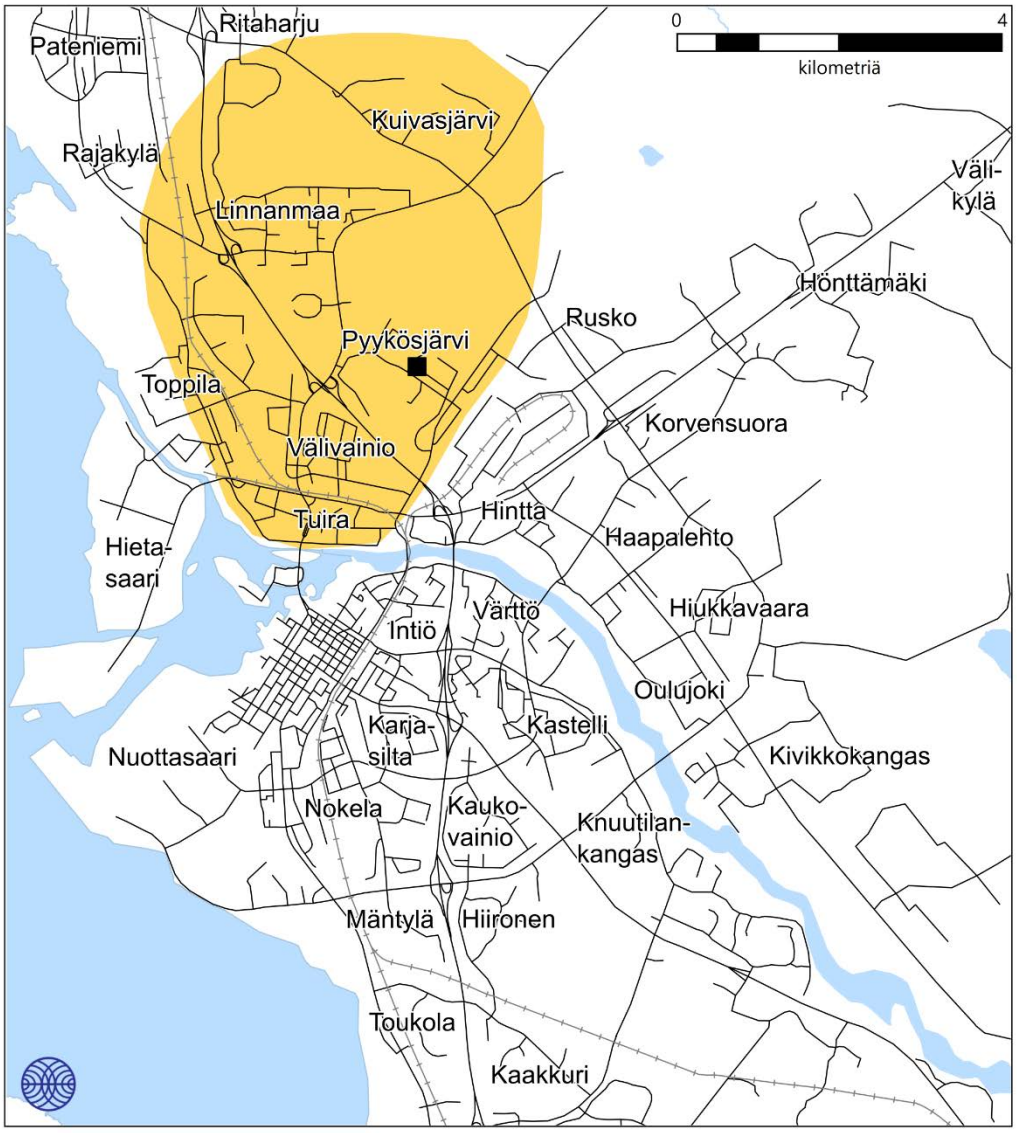


Kuva 57. Pyykösjärven ilmanlaadun mittausaseman edustavuus typpidioksidin suhteen. Tummemman vihreällä on esitetty lopullinen typpidioksidimittauksen edustavuusalue ja vaaleanvihreällä vuosikeskiarvopitoisuuksien vaihteluvälin ± 5 µg/m³ rajaama alue mallinnetuista typpidioksidipitoisuuksista.

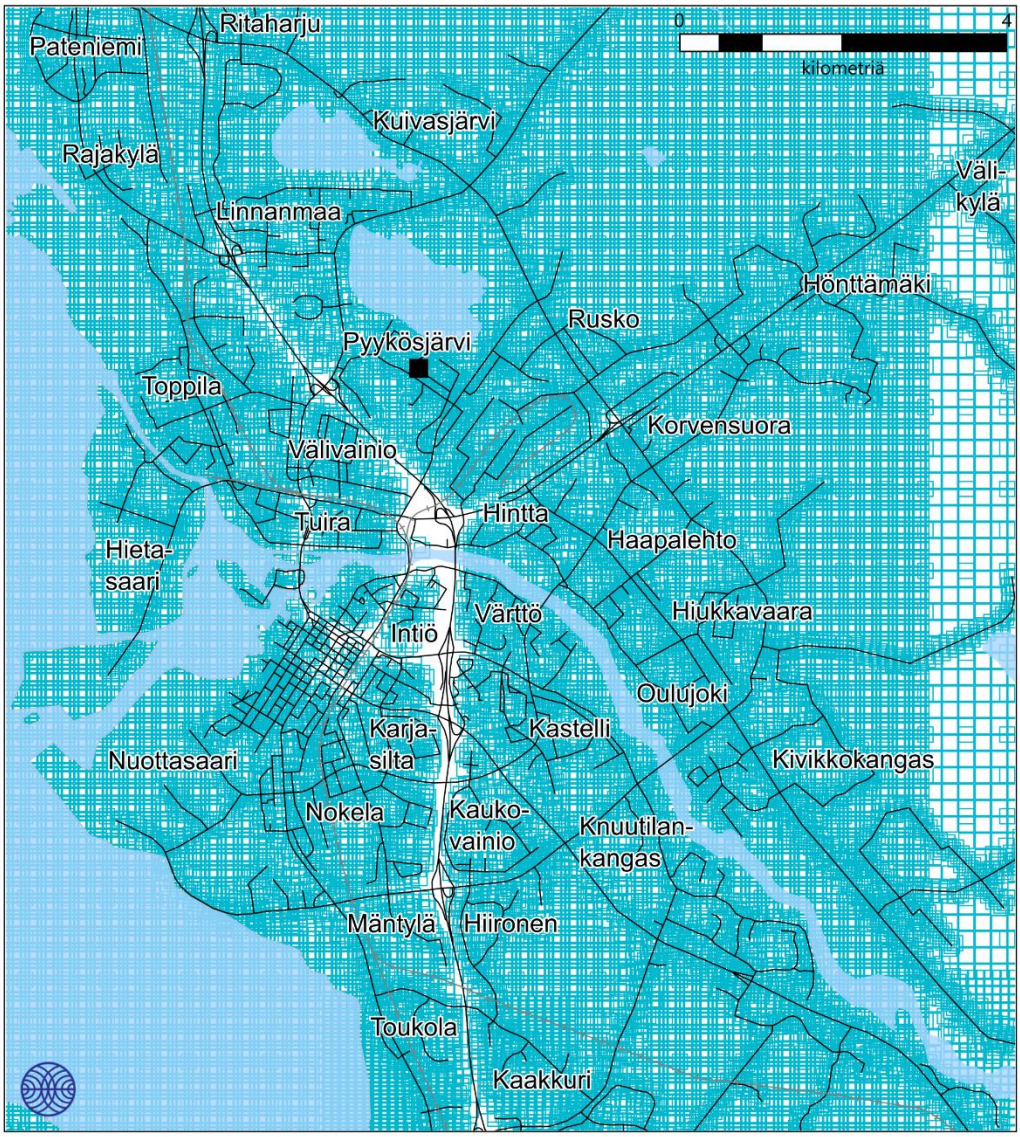


Ilmatieteen laitos, 2021

Kuva 58. Pyykösjärven ilmanlaadun mittausaseman edustavuus hengitettävien hiukkasten suhteen. Tummansinisellä on esitetty lopullinen hengitettävien hiukkasten mittausten edustavuusalue ja sinisellä hengitettävien hiukkasten vuosikeskiarvopitoisuuksien vaihteluvälin ± 3 µg/m³ rajaama alue mallinnetuista pitoisuuksista.



Kuva 59. Pyykösjärven ilmanlaadun mittausaseman edustavuus haisevien rikkiyhdisteiden suhteen.

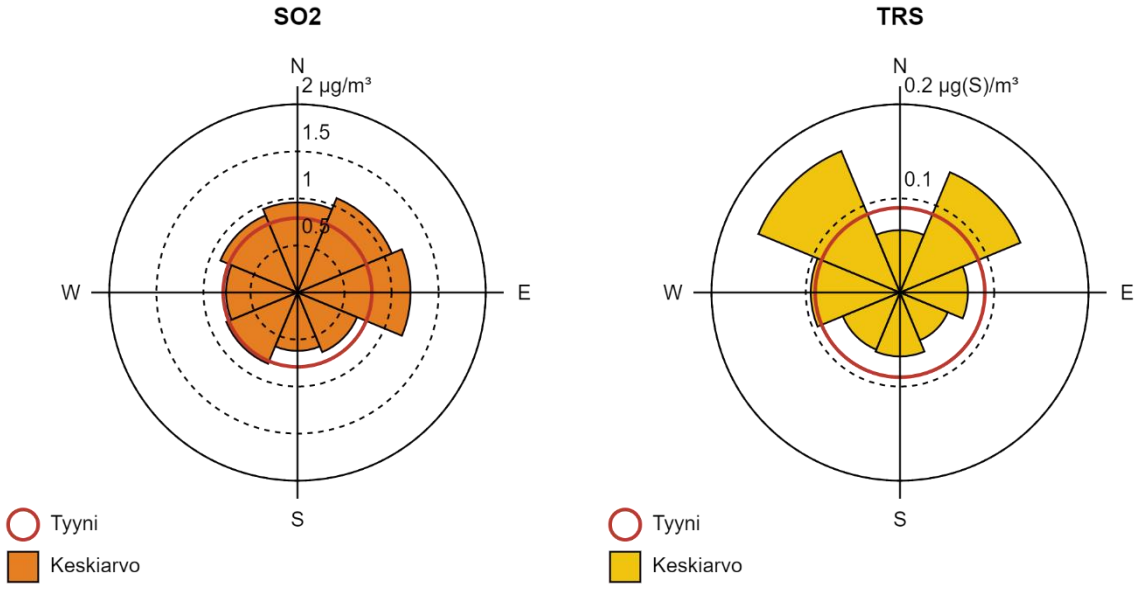


Kuva 60. Pyykösjärven ilmanlaadun mittausaseman edustavuus otsonin suhteen. Turkoosilla on esitetty otsonin vuosikeskiarvopitoisuuksien vaihteluvälin ± 4,1 µg/m³ rajaama alue mallinnetuista liikenteen päästöjen aiheuttamista pitoisuuksista.

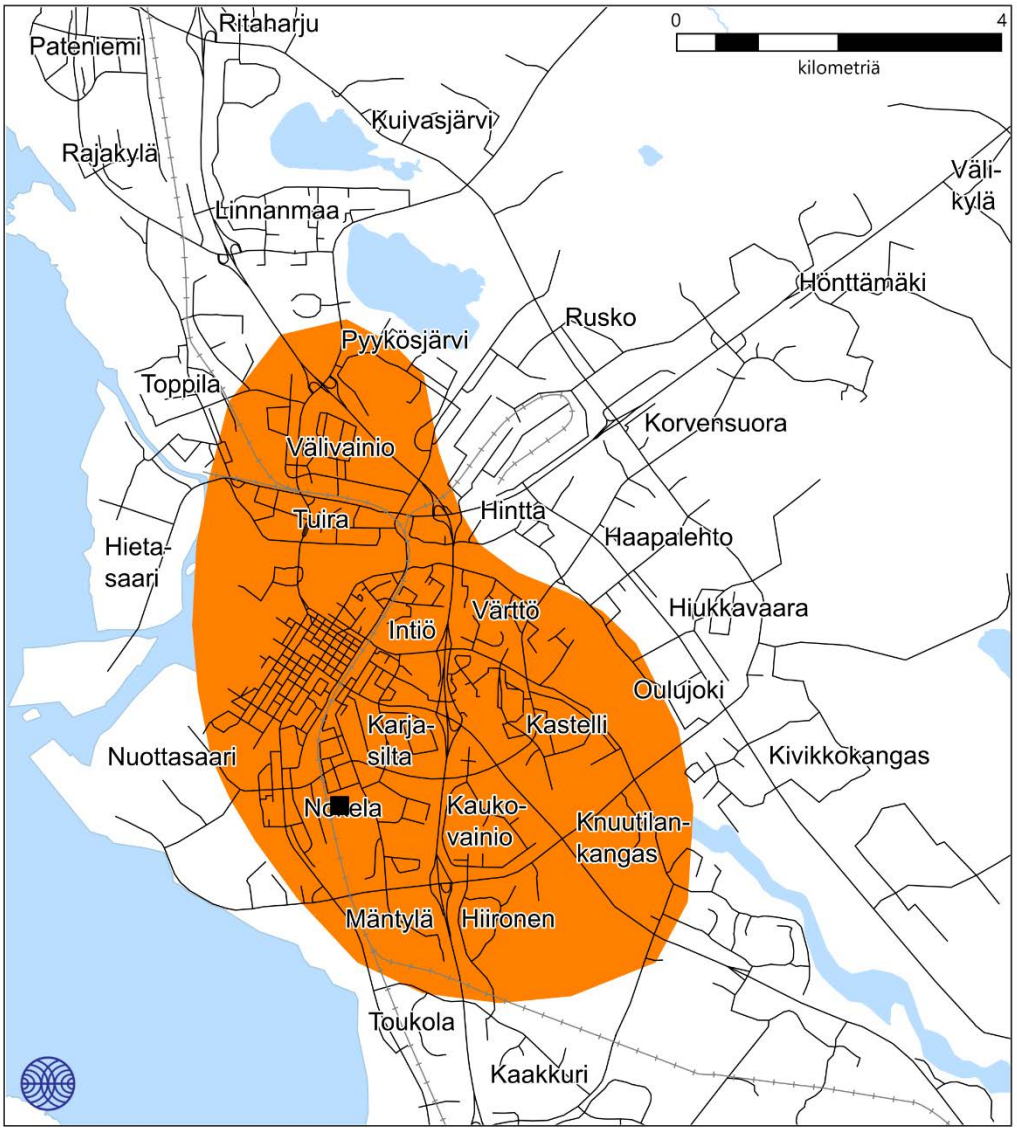
7.2.3 Nokela

Mittausasema on perustettu seuraamaan Nuottasaaren teollisuusalueen vaikutusta ilmanlaatuun. Kuvassa 61 on esitetty aseman mittaustuloksista piirretyt pitoisuusruusut. Pitoisuusruusut kuvaavat jaksolla 2016–2020 mitattujen tuntipitoisuuksien keskiarvoa eri tuulensuunnilla. Tuuliaineistona on käytetty Nokelassa mitattuja tuulia samalta jaksolta. Nokelassa mitatut rikkidioksidipitoisuudet ovat suurimmillaan luoteen ja idän välisillä tuulilla. Merkittävimmät rikkidioksipäästöjen lähteet sijaitsevatkin ko. ilmansuunnissa teollisuusalueilla Nuottasaaressa, Toppilassa ja Takalaanilassa. Haisevien rikkiyhdisteiden pitoisuuksiin vaikuttavat merkittävimmin Stora Enson sellutehdas ja Ruskon hajupäästölähteet mittausaseman luoteis- ja koillispuolilla.

Rikkidioksidin ja haisevien rikkiyhdisteiden pitoisuuksille ei ollut käytettävissä pitoisuuden vaihteluväliä, jolla edustavuusaluetta olisi voitu rajata leviämismallilaskelmien tuloksista. Päästölähteiden määrään ja sijaintiin, päästöjen leviämiseen ja vallitseviin tuulensuuntiin perustuvan asiantuntija-arvion mukaan on hahmoteltu Nokelan mittausaseman edustavuusalueet. Arvion mukaan Nokelan rikkidioksidipitoisuuden mittaukset edustavat aluetta, joka ulottuu mittausasemalta 1–6 km etäisyydelle Oulun keskustaa ympäröiville asuinalueille (kuva 62). Nokelan rikkidioksidimittauksen edustavuusalueen koko on 34,0 km^2. Arvion mukaan Nokelan TRS-mittaukset edustavat aluetta, joka ulottuu Nokelasta noin 5 km koillisen suuntaan alueille, joilla asuu ihmisiä (kuva 63). Nokelan haisevien rikkiyhdisteiden edustavuusalueen koko on 16,9 km^2.

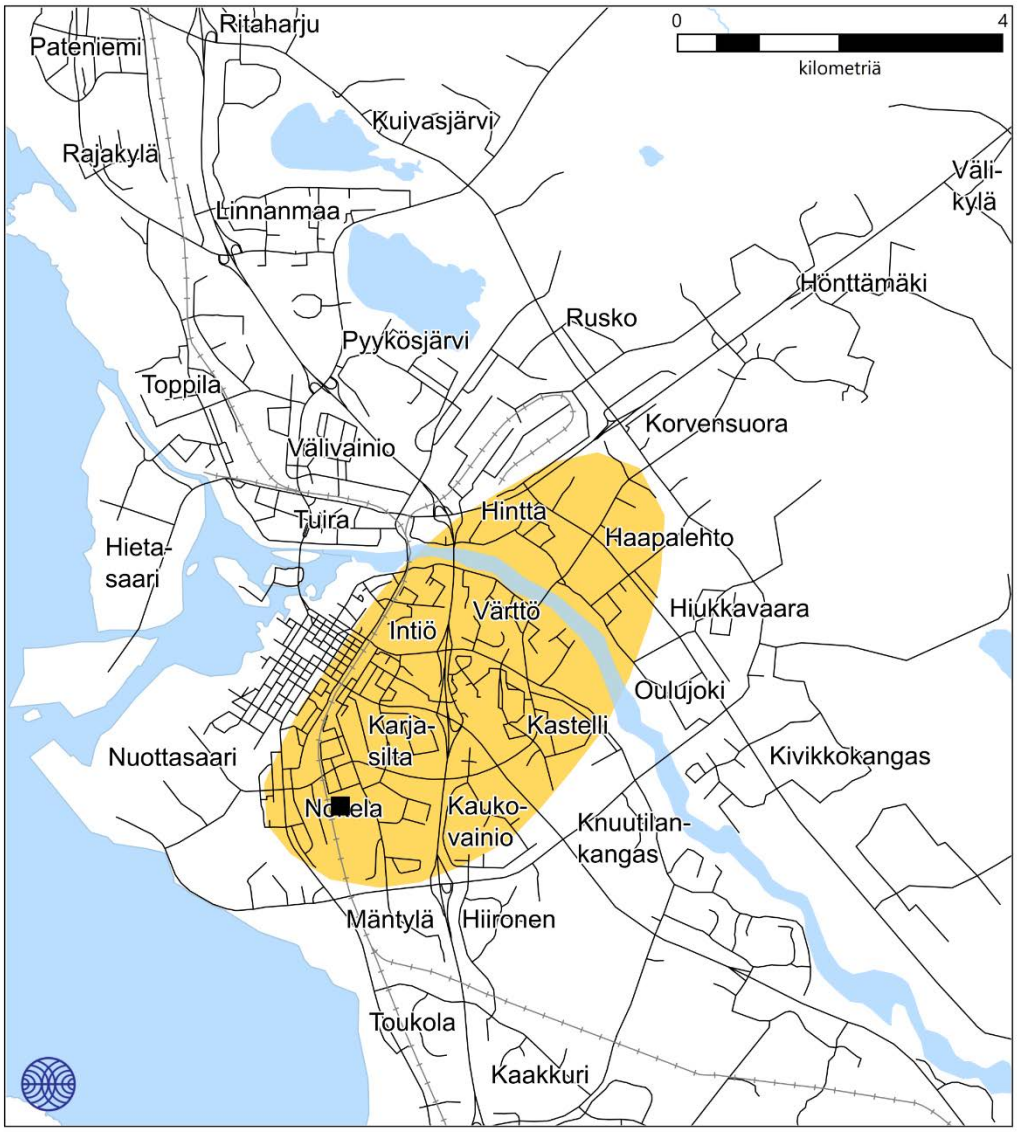


Kuva 61. Nokelan ilmanlaadun mittausasemalla mitattujen tuntipitoisuuksien keskiarvot tuulensuunnittain jaksolla 2016–2020. Punaisella ympyrällä on merkitty pitoisuuksia, jotka on mitattu tyynissä tilanteissa, jolloin tuulen nopeus on ollut alle 0,5 m/s, eikä suuntaa voida määrittää.



Ilmatieteen laitos, 2021

Kuva 62. Nokelan ilmanlaadun mittausaseman edustavuus rikkidioksidin suhteen.



Kuva 63. Nokelan ilmanlaadun mittausaseman edustavuus haisevien rikkiyhdisteiden suhteen.

8 ILMANLAADUN SEURANTASUUNNITELMA

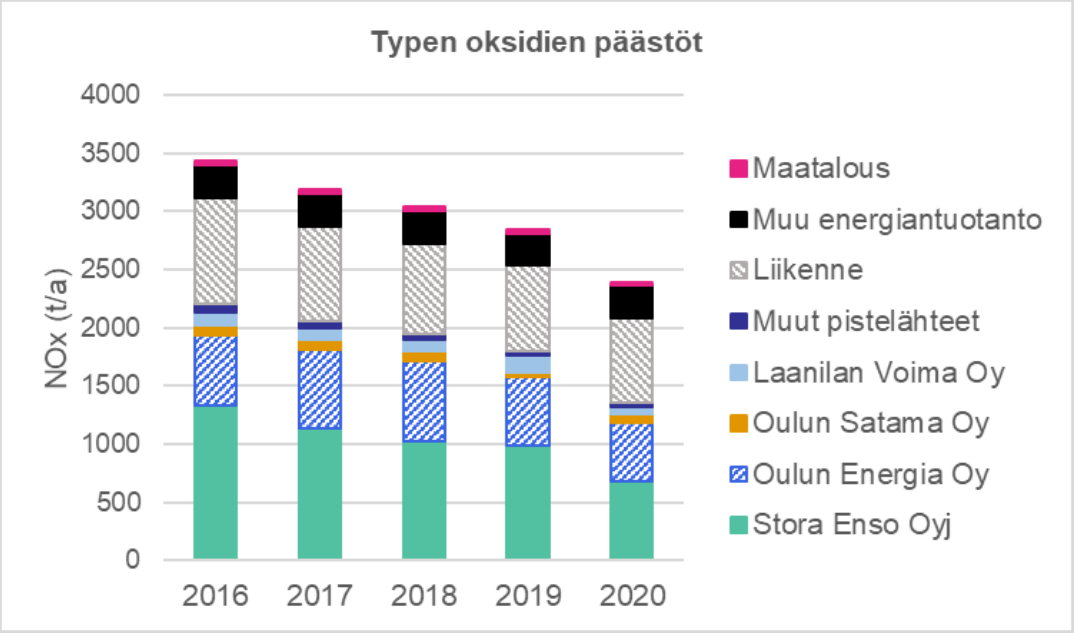
8.1 Päästöjen kehitys Oulussa

Seuraavassa on tarkasteltu päästöjen kehitystä Oulussa vuosina 2016–2020. Tarkastelu koskee typen oksidien, hiukkasten, rikkidioksidin ja haisevien rikkiyhdisteiden päästöjä eli samoja päästöjä, joiden vaikutuksia seurataan Oulussa jatkuvin ilmanlaadun mittauksin. Päästötarkastelussa ovat mukana energiantuotannon ja teollisuuden laitokset, liikenteen pakokaasuista peräisin olevat hiukkaset, maatalous ja muu energiantuotanto kuten kotitalouksien lämmitys. Päästöjen trenditarkastelussa ei ole mukana liikenteen katujen pinnalta nostattama pöly. Energiantuotannon ja teollisuuden päästötiedot on koottu Oulun ilmanlaadun vuosiraporteista (*Oulun seudun ympäristötoimi, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021*). Maatalouden ja muun energiantuotannon eli mm. kotitalouksien lämmityksen päästöt on koottu SYKE:n vuosien 2016–2018 päästöinventaarioista (*SYKE, 2021*). Näiden päästösektoreiden osalta vuosille 2019 ja 2020 on käytetty vuoden 2018 päästöjä.

Suuressa osassa Oulua tärkein ilmanlaatuun vaikuttava tekijä on tieliikenne. Suurimmat energiantuotannon ja teollisuuden päästölähteet ovat Stora Enson sellutehdas, Oulun Energian Toppilan voimalaitokset ja Laanilan ekovoimalaitos sekä PVO Laanilan Voiman voimalaitokset. Vuonna 2020 Oulun yhteenlasketut ilman epäpuhtauspäästöt olivat viime vuosia pienemmät. Tämä oli pääosin seurausta Stora Enso Oulu Oy:n sellutehtaan tuotantosuunnan muutostöistä, jotka lyhensivät tehtaan käyntiaikaa (*Oulun seudun ympäristötoimi, 2021*). Pistemäisten päästölähteiden sijaintia suhteessa Oulun ilmanlaadun mittausasemiin on havainnollistettu aiemmin kuvassa 49.

8.1.1 Typenoksidipäästöt

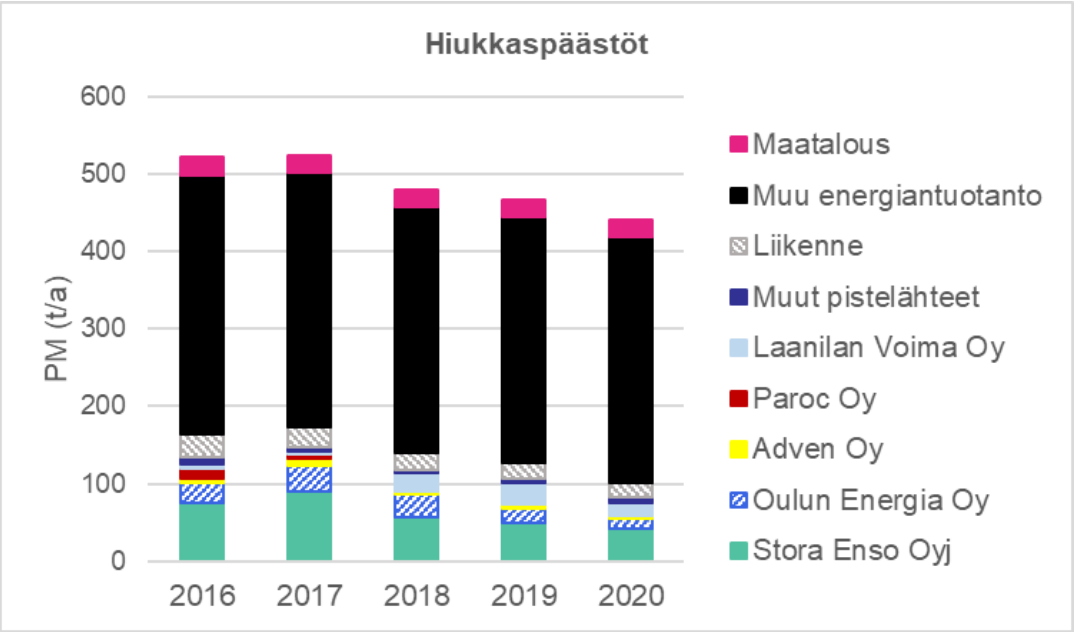
Typen oksidien päästöt Oulussa olivat vuonna 2020 noin 2 395 t/a. Vuonna 2016 typenoksidipäästöt olivat 3 436 t/a, josta päästöt ovat laskeneet 30 % vuoteen 2020 (Kuva 64). Tärkeimmät typen oksidien päästölähteet Oulussa ovat autoliikenne sekä Stora Enso Oy:n sellutehdas.



Kuva 64. Oulun typenoksidipäästöt ja niiden jakautuminen päästölähteittäin vuosina 2016–2020.

8.1.2 Hiukkaspäästöt

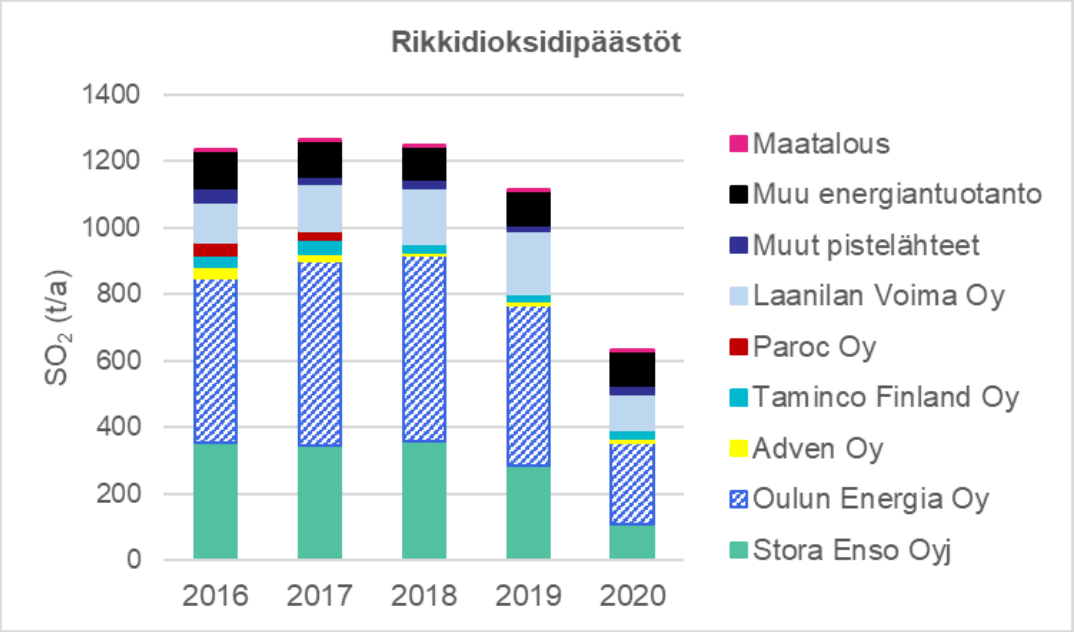
Hiukkaspäästöt Oulussa olivat vuonna 2020 noin 441 t/a. Vuonna 2016 hiukkaspäästöt olivat 523 t/a, josta päästöt ovat laskeneet 16 % vuoteen 2020 (kuva 65) lukuun ottamatta vuotta 2017, jolloin Stora Enson Oyj:n päästöt olivat muita vuosia suuremmat. Valtaosan hiukkaspäästöistä aiheuttaa muu energiantuotanto kuten kotitalouksien lämmitys. Merkittävimmät yksittäiset hiukkaspäästölähteet Oulussa ovat Stora Enso Oy:n sellutehdas sekä Laanilan Voima Oy:n voimalaitos.



Kuva 65. Oulun hiukkaspäästöt ja niiden jakautuminen päästölähteittäin vuosina 2016–2020.

8.1.3 Rikkidioksidipäästöt

Rikkidioksidipäästöt Oulussa olivat vuonna 2020 noin 628 t/a. Vuonna 2016 rikkidioksidipäästöt olivat 1 231 t/a, josta päästöt ovat laskeneet 49 % vuoteen 2020 (kuva 66). Rikkidioksipäästöissä on tapahtunut merkittävä pudotus vuonna 2020, jolloin monien energiantuotanto- ja teollisuuslaitosten päästöt ovat olleet selvästi pienempiä kuin edellisenä vuotena. Merkittävimmät rikkidioksidin päästölähteet Oulussa ovat Oulun Energia Oy:n Toppilan voimalaitokset, Stora Enso Oy:n sellutehdas sekä Laanilan Voima Oy:n voimalaitos.



Kuva 66. Oulun rikkidioksidipäästöt ja niiden jakautuminen päästölähteittäin vuosina 2016–2020.

8.1.4 Haisevien rikkiyhdisteiden päästöt

Haisevien rikkiyhdisteiden päästöt Oulussa olivat vuonna 2020 noin 3,8 t/a. Vuonna 2016 haisevien rikkiyhdisten päästöt olivat 10,5 t/a, josta päästöt ovat pääosin laskeneet 64 % vuoteen 2020 (kuva 67). Merkittävin yksittäinen haisevien rikkiyhdisteiden päästölähde Oulussa on Stora Enso Oy:n sellutehdas, jonka päästöt olivat vuonna 2018 muita tarkasteluvuosia suuremmat. Nyt jo lopetettu Paroc Oy Ab:n kivivillatehdas oli toiminnassa vielä vuonna 2016 sekä vuoden 2017 alussa ja aiheutti silloin noin neljäsosan Oulun haisevien rikkiyhdisteiden päästöistä. Mainittujen päästölähteiden lisäksi haisevien rikkiyhdisteiden päästöjä on tarkastelujakson alkuvuosina vapautunut myös Ruskon jätekeskuksen ja Takalaanilan alueilta hajapäästöinä.



Kuva 67. Oulun TRS-yhdisteiden päästöt ja niiden jakautuminen päästölähteittäin vuosina 2016–2020.

8.2 Mitattujen pitoisuuksien vertailu ilmanlaadun arviointikynnyksiin

Ilmanlaadun seurantatarpeen arvioinnissa käytettiin viitenä edellisenä vuotena eli vuosina 2016–2020 Oulussa mitattuja typpidioksidin, hengitettävien hiukkasten, pienhiukkasten, rikkidioksidin, haisevien rikkiyhdisteiden ja otsonin pitoisuuksia. Ilmanlaadun mittauksista saatuja tuloksia verrattiin ilman epäpuhtauksille annettuihin ilmanlaadun arviointikynnyksiin, joiden perusteella tulee arvioida ilmanlaadun seurantamenetelmien tarvetta. Arviointikynnysten ylittyminen määritetään viiden vuoden pitoisuuksien perusteella ja arviointikynnyksen katsotaan ylittyneen, kun se on ylittynyt vähintään kolmena vuotena viidestä. Otsonipitoisuuksille on määritetty pitkän ajan tavoite, jonka ylittymiseen riittää yksi ylitys viiden vuoden aikana. Haisevien rikkiyhdisteiden pitoisuuksille ei ole olemassa ilmanlaadun raja-arvoja eikä arviointikynnyksiä, joten haisevien rikkiyhdisteiden seurantatarpeen arviointi perustuu asiantuntija-arvioon mitatuista pitoisuustasoista suhteessa ilmanlaadun ohjearvoon ja päästöjen kehitykseen.

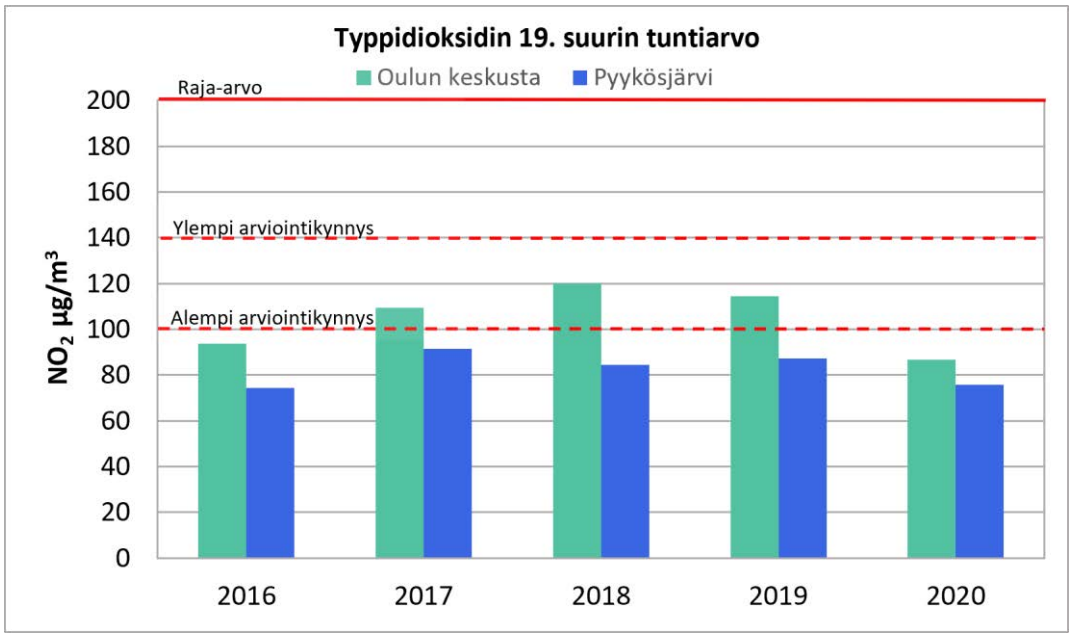
Ilmatieteen laitos on arvioinut koko Suomen vuosien 2015–2019 ilmanlaadun pitoisuustasojen perusteella seuranta-tarvetta eri ilmanlaadun seuranta-alueilla, mutta ilmanlaatuselvitystä ei ole vielä julkaistu (*Komppula ym., 2021*). Kyseisessä selvityksessä olivat mukana myös Oulun ilmanlaadun mittaustulokset osana Pohjois-Pohjanmaan ilmanlaadun seurantaa. Seuraavassa esitetyt tulokset ovat linjassa seurantatarpeen arvioinnin ja raportin loppupäätelmien kanssa.

8.2.1 Typpidioksidi (NO_2)

Oulun keskustassa ja Pyykösjärvellä mitatut typpidioksidin vuosikeskiarvopitoisuudet alittavat alemman arviointikynnyksen (kuva 68). Oulussa mitatut typpidioksidin tuntiraja-arvoon verrannolliset pitoisuudet (19. korkein tuntipitoisuus) ylittävät alemman arviointikynnyksen Oulun keskustassa, sillä pitoisuus ylittää arviointikynnyksen tason kolmena vuotena viidestä tarkasteluvuodesta (kuva 69). Pyykösjärvellä tuntipitoisuuksille annettu alempi arviointikynnys alittuu. Oulussa mitattujen typpidioksidipitoisuuksien perusteella jatkuvat typpidioksidimittaukset ovat edelleen ensisijainen ilmanlaadun seurantamenetelmä Pohjois-Pohjanmaan alueella.



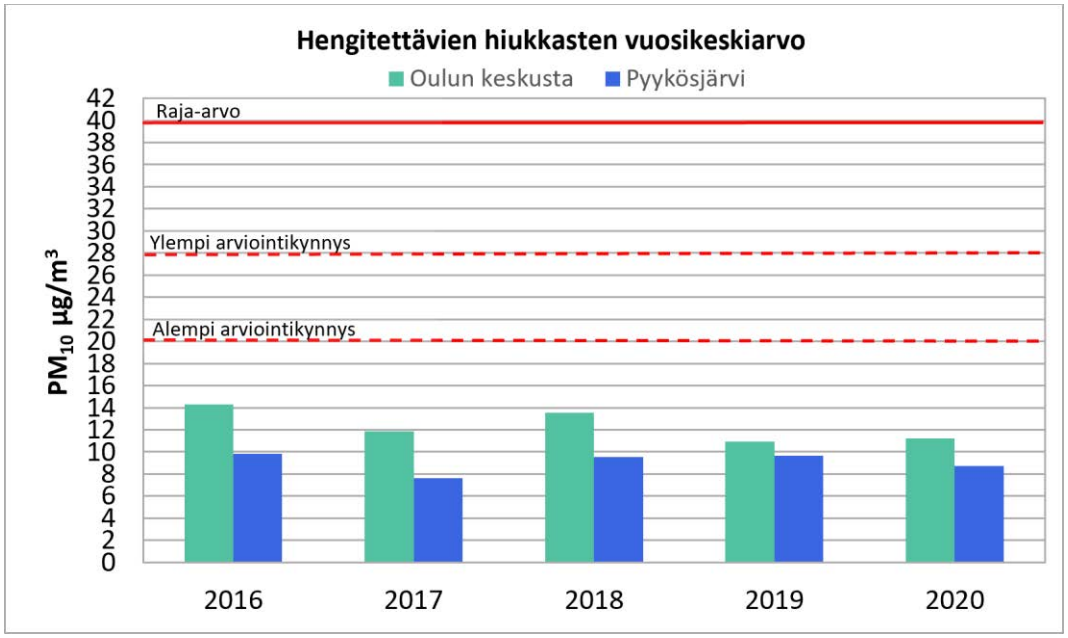
Kuva 68. Oulun keskustassa ja Pyykösjärvellä vuosina 2016–2020 mitattujen typpidioksidin vuosikeskiarvopitoisuuksien suhde ilmanlaadun arviointikynnyksiin.



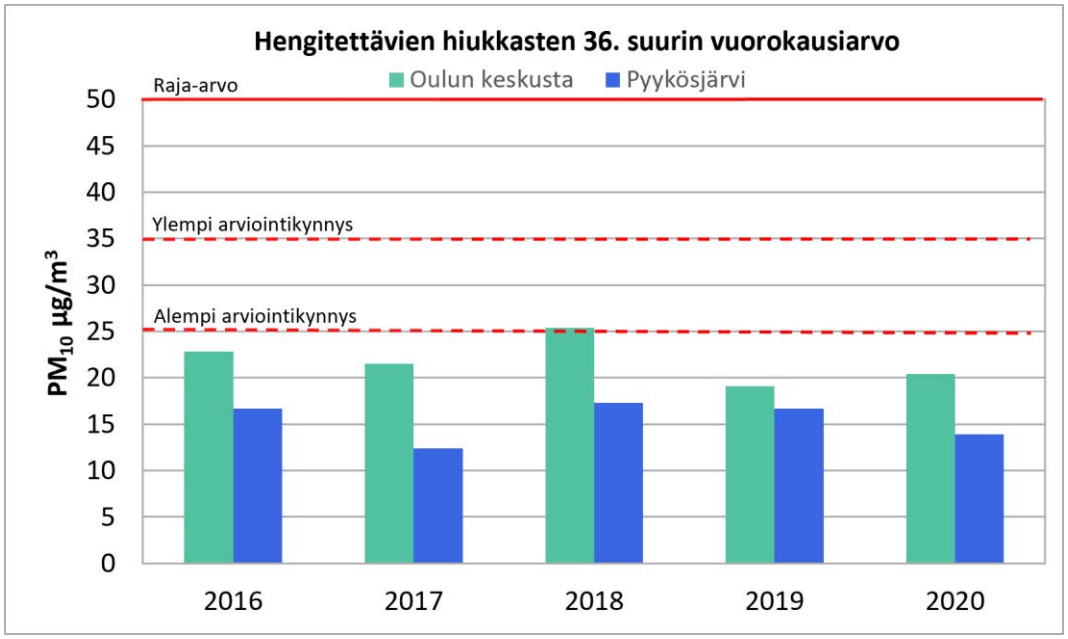
Kuva 69. Oulun keskustassa ja Pyykösjärvellä vuosina 2016–2020 mitattujen typpidioksidin tuntiraja-arvoon verrannollisten pitoisuuksien (19. suurin tuntiarvo) suhde ilmanlaadun arviointikynnyksiin.

8.2.2 Hengitettävät hiukkaset (PM_{10})

Oulussa mitatut hengitettävien hiukkasten vuosikeskiarvopitoisuudet ja vuorokausiraja-arvoon verrannolliset pitoisuudet (36. korkein vuorokausipitoisuus) alittavat alemman arviointikynnyksen (kuvat 70–71). Vuorokausipitoisuus ylitti alemman arviointikynnyksen tason vuonna 2018, mutta arviointikynnyksen ylitykseen vaaditaan tason ylitys vähintään kolmena vuotena viidestä. Oulussa mitattujen hengitettävien hiukkasten pitoisuuksien perusteella jatkuvat mittaukset eivät olisi enää tarpeen vaan riittävät ilmanlaatutiedot saataisiin päästöjen leviämismallilaskelmilla ja/tai suuntaa-antavilla mittauksilla. Katupölyn terveydellisten vaikutusten seuraamiseksi ja ehkäisemiseksi sekä katupölyn torjuntatoimien oikean ajoittamisen tueksi mittauksia kuitenkin suositellaan jatkettavan Oulun keskustassa.



Kuva 70. Oulun keskustassa ja Pyykösjärvellä vuosina 2016–2020 mitattujen hengitettävien hiukkasten vuosikeskiarvopitoisuuksien suhde ilmanlaadun arviointikynnyksiin.



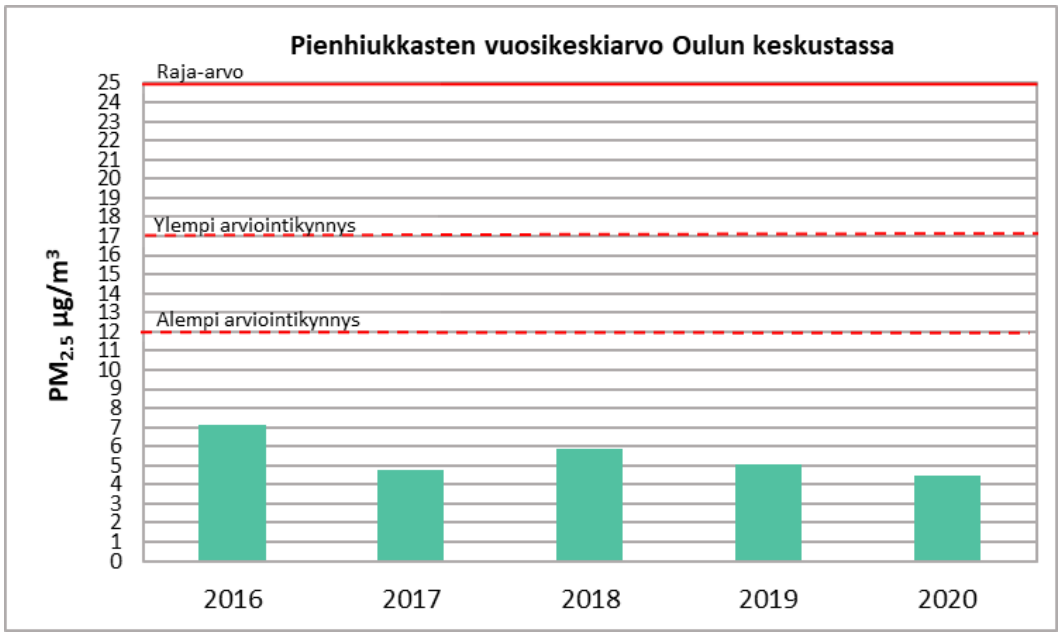
Kuva 71. Oulun keskustassa ja Pyykösjärvellä vuosina 2016–2020 mitattujen hengitettävien hiukkasten vuorokausiraja-arvoon verrannollisten pitoisuuksien (36. suurin vuorokausiarvo) suhde ilmanlaadun arviointikynnyksiin.

Hengitettävien hiukkasten raja-arvotason 50 µg/m^3 ylityksiä on ollut vuosina 2016–2020 keskustassa 1–3 kpl vuodessa ja Pyykösjärvellä 0–3 kpl vuodessa. Oulussa on tehokkaalla katupölyn torjunnalla saatu korkeimpia keväisiä hiukkaspitoisuuksia alenemaan, joilloin raja-arvotason ylityksetkin ovat selvästi vähentyneet. Vuodesta 2009 alkaen kevään katupölykaudella, ja tarvittaessa muulloinkin pölypitoisuuksien kohotessa, on suoritettu pölynsidontaa kastelemalla

katuja laimealla suolaliuoksella. Vielä vuosina 2001–2008 raja-arvotason ylityksiä oli keskustassa vuosittain 9–29 kpl ja Pyykösjärvellä 0–4 kpl. On huomioitavaa, että vuodesta 2017 alkaen ylitysten lukumäärä on laskettu uusien hiukkaskertoimien mukaisesti (ks. kpl 8.3.1), mutta ylitysten määrät olivat jo edeltävinä vuosina yhtä alhaisella tasolla (1–3 ylitystä/v) .

8.2.3 Pienhiukkaset ($PM_{2,5}$)

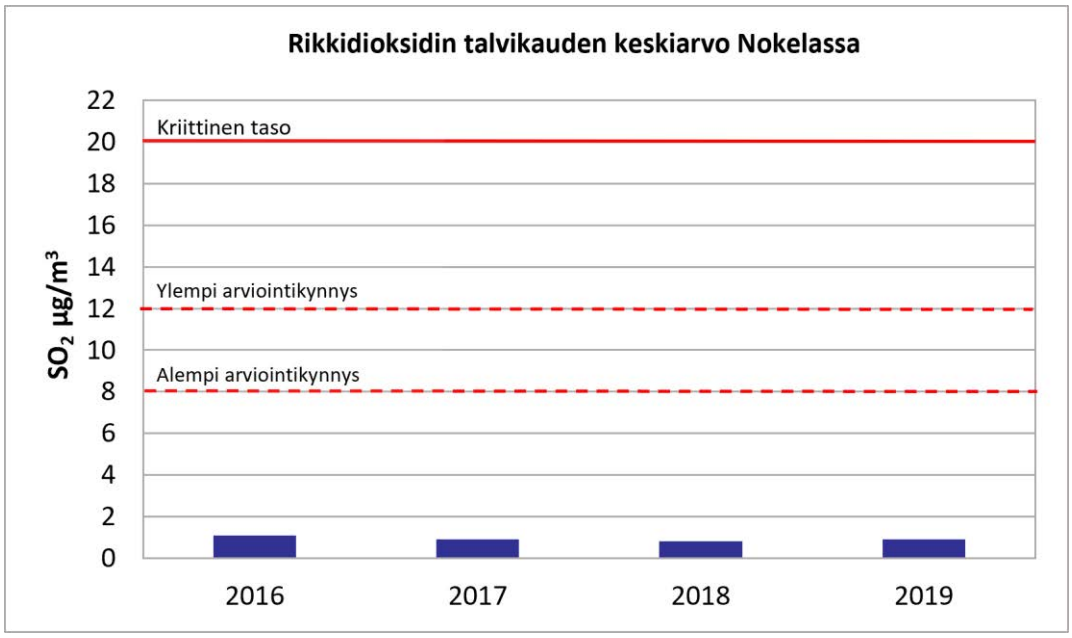
Oulun keskustassa mitatut pienhiukkasten vuosikeskiarvopitoisuudet alittavat selvästi pienhiukkasille annetut ilmanlaadun arviointikynnykset sekä niitä alemman WHO:n vuosiohjearvon (kuva 72). Mitattujen pitoisuustasojen perusteella Oulussa ei tarvittaisi pienhiukkasten jatkuvia pitoisuusmittauksia.



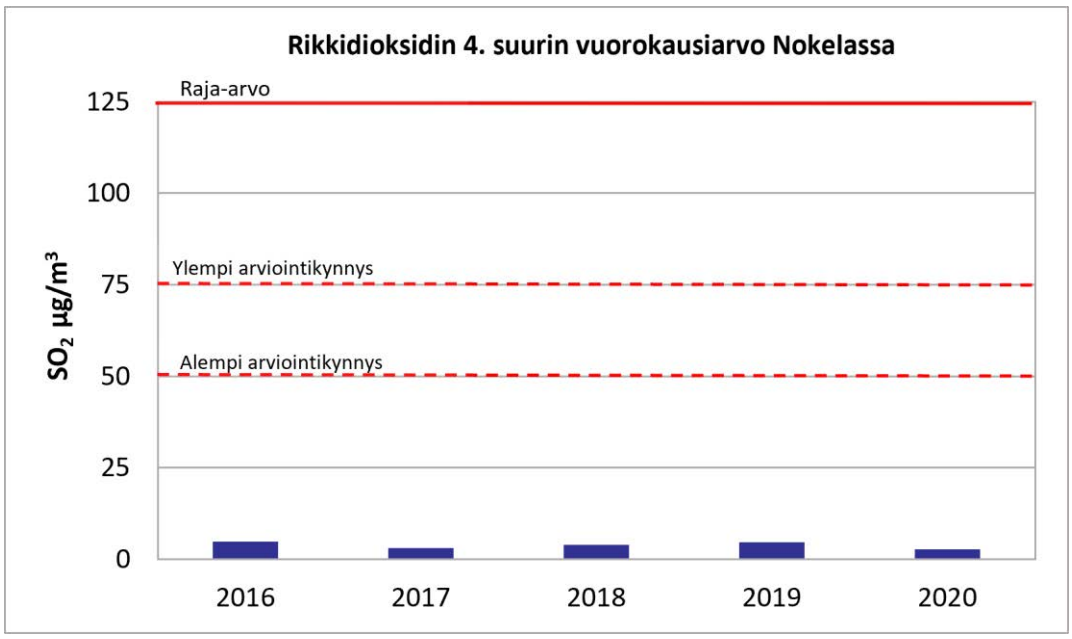
Kuva 72. Oulun keskustassa vuosina 2016–2020 mitattujen pienhiukkasten vuosikeskiarvopitoisuuksien suhde ilmanlaadun arviointikynnyksiin.

8.2.4 Rikkidioksidi (SO_2)

Oulun Nokelassa mitatut rikkidioksidin talvikauden (1.10.–31.3.) keskiarvopitoisuudet ja vuorokausiraja-arvoon verrannolliset pitoisuudet (4. suurin vuorokausi) alittavat erittäin selvästi alemmat arviointikynnykset (kuvat 73 ja 74). Mitattujen pitoisuustasojen perusteella Oulussa ei tarvittaisi enää rikkidioksidin jatkuvia pitoisuusmittauksia.



Kuva 73. Oulun Nokelassa vuosina 2016–2019 mitattujen rikkidioksidin talvikeskiarvopitoisuuksien suhde ilmanlaadun arviointikynnyksiin. Talvikausi 2020 puuttuu kuvasta, koska alkuvuoden 2021 mittausaineisto on vielä tarkistamatonta.



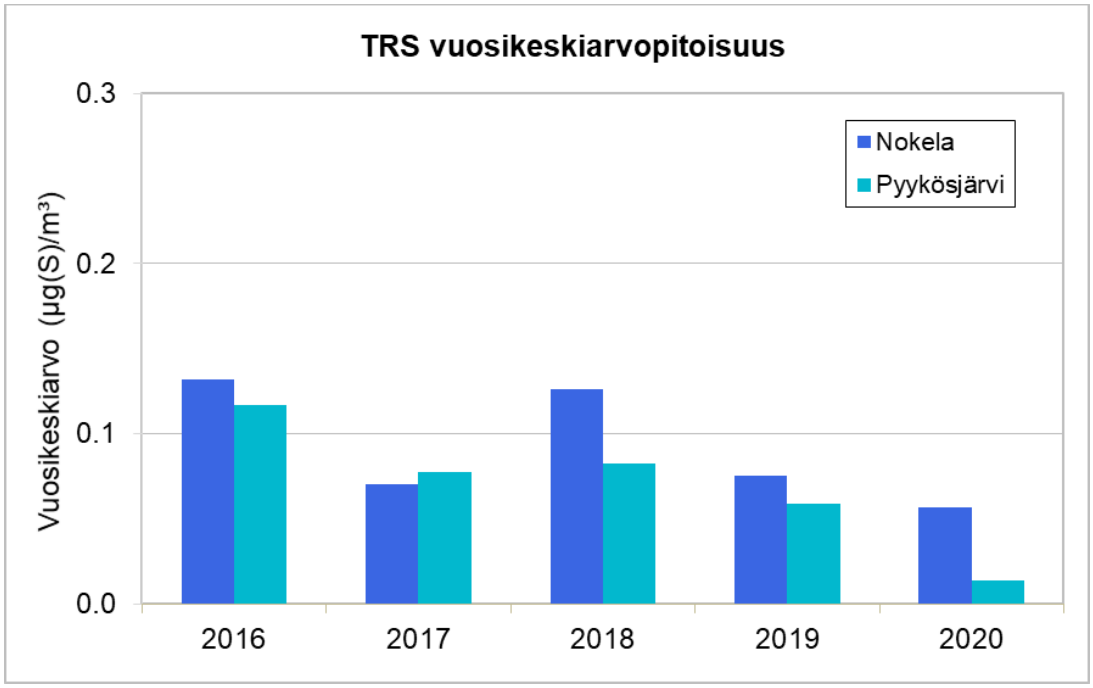
Kuva 74. Oulun Nokelassa vuosina 2016–2020 mitattujen rikkidioksidin vuorokausiraja-arvoon verrannollisten pitoisuuksien (4. suurin vuorokausiarvo) suhde ilmanlaadun arviointikynnyksiin.

8.2.5 Haisevat rikkiyhdisteet (TRS)

Haisevia rikkiyhdisteitä on seurattu Oulussa Nokelan ja Pyykösjärven mittausasemilla. Haisevien rikkiyhdisteiden pitoisuuksille ei ole annettu ilmanlaadun arviointikynnyksiä, joten seurantatarvetta on arvioitu pitoisuuksien ja päästöjen kehityksen perusteella. Kuvassa 75 on esitetty haisevien rikkiyhdisteiden vuosikeskiarvopitoisuuksien kehitys vuosina 2016–2020. Haisevien rikkiyhdisteiden vuosipitoisuudet ovat ajanjaksolla pienentyneet Nokelassa 57 % (0,13→0,06 µg(S)/m^3) ja Pyykösjärvellä 89 % (0,12→0,01 µg(S)/m^3). TRS:n vuorokausiohjearvoon verrannolliset pitoisuudet ovat alittaneet selvästi ohjearvon kaikkina vuosien 2016–2020 kuukausina ollen muutamaa poikkeusta lukuunottamatta yleensä aina reilusti alle 1 µg(S)/m^3 (ohjearvo 10 µg(S)/m^3).

Nokelassa kohonneet TRS-pitoisuudet ovat viime vuosina liittyneet häiriötilanteisiin Nuottasaaren sellutehtaalla. Tuntipitoisuudet ovat tällöin olleet selvästi korkeampia kuin Pyykösjärvellä mitatut ja ajoittaista hajuhaittaa on esiintynyt. Stora Enson sellutehtaalla on ympäristöluvassaan (PSAVI/2638/2019, 23.4.2020) velvoite tarkkailla TRS-pitoisuuksia jatkuvatoimisesti Nokelan mittausasemalla. Pyykösjärven TRS-mittaus on aloitettu toukokuussa 2015 liittyen Ruskon jätekeskuksen ympäristöluvan tarkkailumääräykseen (*Oulun seudun ympäristötoimi, 2020*). Ruskon jätekeskuksen (Kiertokaari Oy) ilmanlaadun tarkkailu on hoidettu vuoden 2017 alusta lähtien osana Oulun ilmanlaadun yhteistarkkailua (PSAVI/2512/2018, 17.6.2020). Ruskon jätekeskuksen biokaasulaitoksen (Gasum Oy) ympäristöluvassa (PSAVI/429/2017, 11.7.2017) on määritelty, että ”Haisevien rikkiyhdisteiden pitoisuutta on selvitettävä jatkuvatoimisin mittauksin ELY-keskuksen hyväksymällä tavalla. Tarkkailu voidaan toteuttaa yhteistarkkailuna.”

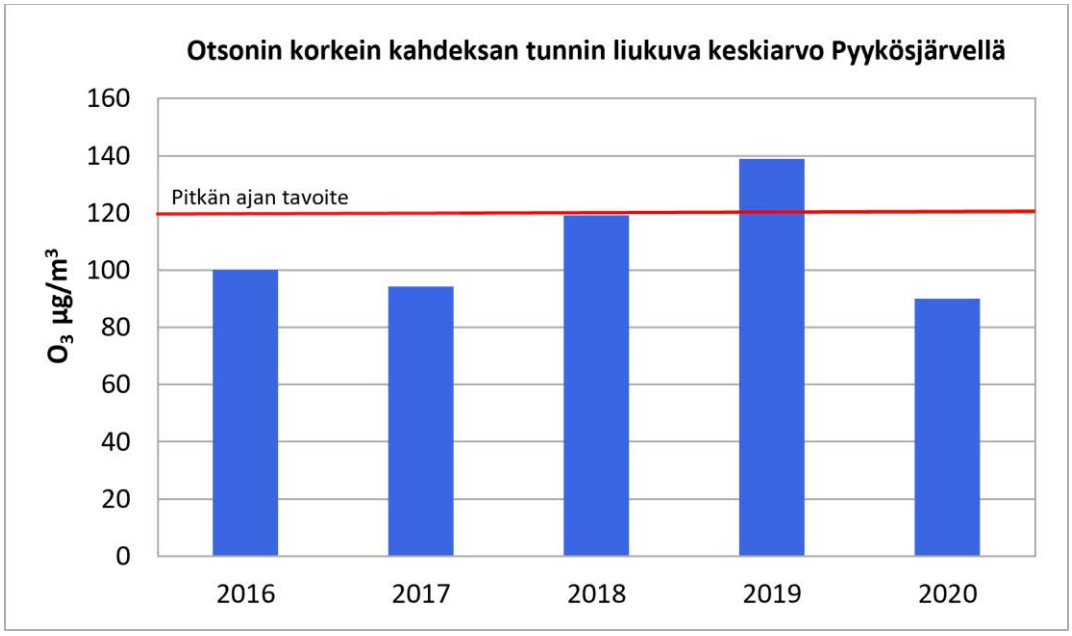
Haisevien rikkiyhdisteiden kokonaispitoisuuden mittaus ei suoraan kerro hajun esiintyvyydestä. Mitattu pitoisuus sisältää eri TRS-yhdisteitä, ja kaikkien niiden haju havaitaan eri pitoisuustasoilla, koska yhdisteillä on kullakin erilainen hajukynnys. Hajuhavaintoon vaikuttaa siis merkittävästi se, missä suhteessa päästö kyseisellä hetkellä sisältää erilaisia haisevia rikkiyhdisteitä. Hajuhaittoja voi esiintyä hyvinkin pienillä mitatuilla TRS-pitoisuustasoilla, koska hajun kokemus on yksilöllinen. Hajukokemuksen määrittämiseen ja hajuhaitan arviointiin ei kuitenkaan ole olemassa helposti toteutettavia luotettavia menetelmiä. Oulussa mitattujen TRS-pitoisuuksien perusteella sekä toiminnanharjoittajien lupaehtojen määräysten perusteella jatkuvat TRS-mittaukset ovat edelleen ensisijainen ilmanlaadun seurantamenetelmä alueella.



Kuva 75. Oulun Nokelassa ja Pyykösjärvellä vuosina 2016–2020 mitattujen haisevien rikkiyhdisteiden vuosikeskiarvopitoisuuksien kehitys.

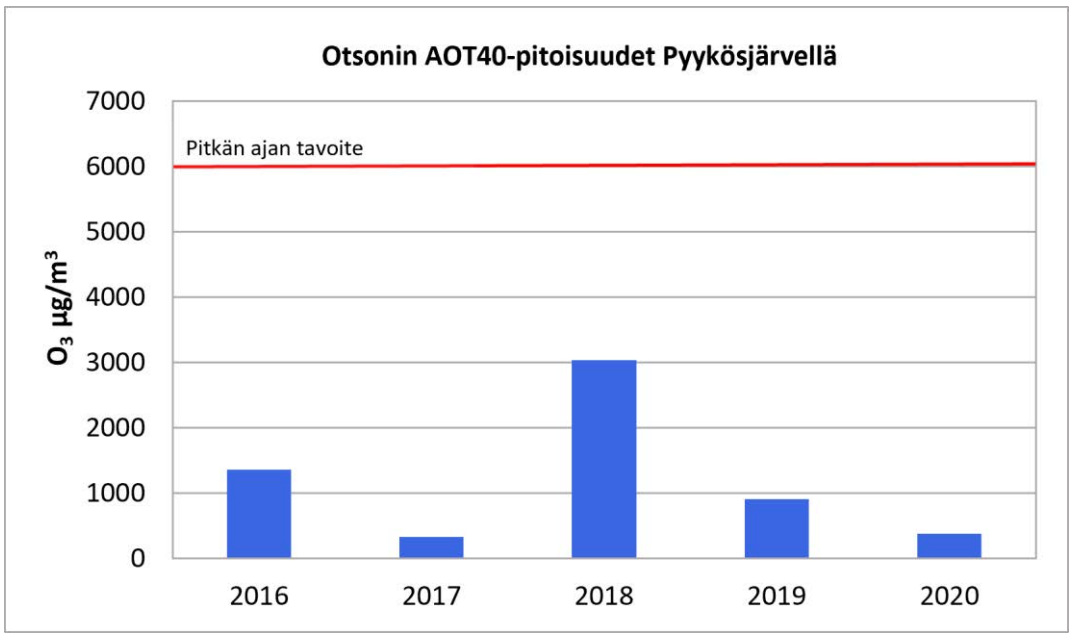
8.2.6 Otsoni (O_3)

Oulun Pyykösjärvellä mitatut otsonipitoisuudet ylittävät pitkän ajan tavoitteen (korkein kahdeksan tunnin liukuva keskiarvopitoisuus). Seurantatarpeen arvioinnissa käytettävän pitkän ajan tavoitteen ylittymiseen riittää ylittyminen yhtenä vuotena viidestä. Terveyden suojelemiseksi annettu pitkän ajan tavoite ylittyi vuonna 2019 ja hyvin lähellä tavoitetta oltiin myös vuonna 2018 (kuva 76). Otsonipitoisuuksien vuosittaiset muutokset johtuvat sääolosuhteiden vaihtelusta ja otsonin muodostumisen lähteinä eli prekursoreina toimivien muiden ilman epäpuhtauksien pitoisuuksien muutoksista. Vuonna 2020 otsonipitoisuudet koko Suomessa olivat matalampia kuin edellisinä vuosina. Oulussa mitattujen otsonipitoisuuksien perusteella jatkuvat otsonimittaukset ovat edelleen ensisijainen ilmanlaadun seurantamenetelmä alueella seurattaessa otsonin terveysvaikutuksia.



Kuva 76. Oulun Pyykösjärvellä vuosina 2016–2020 mitattujen otsonin korkeimpien 8 tunnin liukuvien keskiarvopitoisuuksien suhde pitkän ajan tavoitteeseen.

Kasvillisuuden suojelemiseksi annettu AOT40-arvo alittuu selvästi Oulun Pyykösjärvellä (kuva 77). AOT40 (Accumulated Ozone exposure overt Threshold of 40 ppb (=80 µg/m^3)) lasketaan 1.5.–31.7. välisen ajan otsonin tuntiarvoista, jotka mitataan klo 9.00–21.00 välisenä aikana Suomen normaaliaikaa.



Kuva 77. Oulun Pyykösjärvellä vuosina 2016–2020 mitattujen otsonin AOT40-pitoisuuksien (Accumulated Ozone exposure over Threshold of 40 ppb) suhde pitkän ajan tavoitteeseen.

8.3 Nykyisen ilmanlaadun seurannan arviointi

Nykyinen ilmanlaadun tarkkailu Oulussa perustuu ilmanlaadun yhteistarkkailuun osallistuvien tahojen sekä Pohjois-Pohjanmaan ELY-keskuksen laatimaan Oulun ilmanlaadun seurantasuunnitelmaan vuosille 2017–2021. Oulun seudun ympäristötoimi liikelaitoksen johtokunta hyväksyi seurantasuunnitelman 17.8.2016. Tarkkailun toteutus perustuu seurantasopimukseen, jossa sopijapuolina ovat Oulun seudun ympäristötoimi, Oulun Energia Oy, Stora Enso Oulu Oy, Laanilan Voima Oy, Kemira Chemicals Oy, Kraton Chemical Oy, Fermion Oy, Adven Oy, Peab Industri Oy, Oulun Satama Oy, Kiertokaari Oy, Taminco Finland Oy ja Gasum Oy. Tarkkailun kustannukset on jaettu osallistujille ilmapäästöjen määrän mukaisesti ja Oulun seudun ympäristötoimi on vastannut autoliikenteen päästöjen osuudesta. Ympäristötoimi vastaa kokonaisuudessaan käytännön mittaustoiminnasta, mittausasemien ylläpidosta sekä vuosittaisen tarkkailuraportin laadinnasta.

8.3.1 Mittausmenetelmät ja -laitteet

Oulussa mitataan jatkuvatoimisilla mittalaitteilla typen oksidien, hengitettävien hiukkasten, pienhiukkasten, rikkidioksidin, haisevien rikkiyhdisteiden ja otsonin pitoisuuksia. Seuraavat tiedot mittausmenetelmistä ja -laitteista perustuvat Oulun ilmanlaatumittausten laatujärjestelmän kuvaukseen sekä Ilmatieteen laitoksen ylläpitämään tietojärjestelmään tallennettuihin metatietoihin. Mittausasemilla vuonna 2020 käytössä olleet mittalaitteet on esitetty taulukossa 17 (*Oulun seudun ympäristötoimi, 2021*).

Taulukko 17. Oulussa vuonna 2020 käytössä olleet mittalaitteet.

	NO_x	PM_{10}	$PM_{2,5}$	SO_2	TRS	O_3	Sää
Keskusta	Environnement AC32M	TEOM 1405	TEOM 1405	–	–	–	
Pyykösjärvi	Environnement AC32M	TEOM 1405	–	–	Thermo 43A + konvertteri PPM-Systems	Environnement O342e	Vaisala WXT520
Nokela	–	–	–	Teledyne API T100	Thermo 43i TL + konvertteri PPM-Systems	–	Vaisala WXT520

Typen oksidien pitoisuuksia mitataan jatkuvatoimisilla kemilumenesenssiin perustuvilla laitteilla. Menetelmä on standardin SFS-EN 14211:2012 mukainen referenssimenetelmä. Mitatuille tuloksille lasketaan mittausepävarmuus standardin mukaisesti. Kalibrointimenetelmänä on massavirtaukseen perustuva dynaaminen laimennus.

Hengitettävien hiukkasten ja pienhiukkasten jatkuvatoimiset mittaukset perustuvat standardiin *SFS-EN 16450:2017*. Laitteiden mittausperiaatteena on värähtelyn muutokseen perustuva mikrovaaka. Oulussa käytettävien TEOM 1405-hiukkasmittalaitteiden vastaavuus standardissa *EN 12341:2014* kuvattuun gravimetriseen referenssimenetelmään on osoitettu tutkimuksessa *Walden ym. 2017*. Vuoden 2017 alusta hiukkaslaitteissa otettiin käyttöön korjauskertoimet, joiden avulla eri

mittausperiaatteella toimivat laitteet saadaan keskenään vertailukelpoiseksi. Ilmatieteen laitoksella toimiva ilmanlaadun kansallinen vertailulaboratorio määritti nämä Suomessa käytettävät kertoimet hiukkasmittalaitteiden vertailumittauksissa Kuopiossa 2014–2015 (*Walden ym. 2017*) ja vuonna 2017 eri puolilla Suomea (*Walden ym. 2018*). Kertoimien käyttöönoton myötä Oulussa käytössä olevien PM_{10}-hiukkasmittalaitteiden tuottamat pitoisuudet ovat vuodesta 2017 alkaen noin 15 % aiempaa alhaisempia. Mittauksissa käytössä olleille PM_{10}-analysaattoreille on käytetty kansallisen vertailulaboratorion suosituksen mukaista ekvivalenttisuuskerrointa 0,848 ja $PM_{2,5}$-hiukkasmittalaitteelle korjausyhtälöä 1,009y - 1,681.

Rikkidioksidin jatkuvatoimiset mittaukset perustuvat EU:n referenssimenetelmään, joka on kuvattu standardissa SFS-EN14212:2012. Rikkidioksidin mittaus perustuu UV-fluoresenssiin, jossa SO_2-molekyyli viritetään UV-säteilyllä. Haisevien rikkiyhdisteiden (TRS) mittaamiselle ei ole vahvistettu vertailumenetelmää. Pitoisuusmittauksiin käytetään jatkuvatoimisia, automaattisia UV-fluoresenssimenetelmään perustuvia SO_2-analysaattoreita. Analysaattorin yhteyteen on liitetty konvertteri, joka hapettaa ennen mittausta pelkistyneet rikkiyhdisteet rikkidioksidiksi. Otsonia mitataan jatkuvatoimisilla UV-fotometriaan perustuvilla laitteilla standardin SFS-EN 14625:2012 mukaisella referenssimenetelmällä.

Jatkuvatoimisten mittaustulosten keräämiseen ja käsittelyyn käytetään Envista Arm-ohjelmistoa. Tulokset kerätään mittausasemalla laitteista talteen hetkellisarvoina, joista lasketaan 2 minuutin keskiarvot. Nämä tiedot siirretään asemalta langattomalla yhteydellä keskustietokoneelle ja tuloksista lasketaan automaattisesti tunti- ja vuorokausiarvot. Lasketut tuntiarvot siirretään ns. raakadatana tunneittain Ilmatieteen laitoksen tietokantoihin ja edelleen nähtäväksi ilmanlaatusivustolle (https://ilmatieteenlaitos.fi/ilmanlaatu). Mitatut tulokset tarkistetaan päivittäin ja tarvittaessa virhetulokset poistetaan välittömästi. Kuukausittain sekä kalibrointien jälkeen kaikki tulokset tarkistetaan ja tehdään tarvittavat korjaukset *(Oulun ilmanlaadun mittausten laatujärjestelmän kuvaus, 2019).*

8.3.2 Ilmanlaatumittausten laadunvarmistus

Oulun ilmanlaatumittausten laatujärjestelmän kuvaus, 2019 kertoo, kuinka ilmanlaatumittaukset suoritetaan laaditun laatujärjestelmän mukaisesti. Laatujärjestelmä kattaa kaikki ilmanlaadun mittaukset ja se täyttää ilmanlaatuasetusten vaatimukset, jotka koskevat raja- ja tavoitearvojen valvontaa. Laatujärjestelmä noudattaa standardeja SFS-EN ISO 9000:2005, SFS-EN ISO 9001:2008, SFS-EN ISO 9004:2009 sekä SFS-EN ISO/IEC 17025:2017. Laatujärjestelmä sisältää yksityiskohtaiset kirjalliset menetelmä- ja laiteohjeet laadukkaiden ilmanlaadun mittausten tekemiseen.

Kenttämittausten laadunvarmistukset tehdään standardin SFS-EN ISO/IEC 17025:2017 sekä eri ilman epäpuhtauksia koskevien mittausstandardien vaatimusten mukaisesti. Laadunvarmistus käsittää säännölliset kalibroinnit, muut laadunvarmistuskäytännöt sekä mittalaitteiden huollot. Kalibroinneissa käytettäviin laitteisiin saadaan jäljitettävyys SI-yksiköihin JPP-Kalibrointi Ky:n siirtokalibraattoreiden välityksellä kaksi kertaa vuodessa. JPP-Kalibrointi Ky:n laitteita puolestaan verrataan säännöllisesti ilmanlaadun kansallisen vertailulaboratorion määrittämiin pitoisuuksiin. Käytettävät mittalaitteet täyttävät hankintahetkellä voimassa olleet tyyppihyväksyntää koskevat vaatimukset. *(Oulun ilmanlaadun mittausten laatujärjestelmän kuvaus, 2019)*.

Oulun mittausverkko on osallistunut ilmanlaadun kansallisen vertailulaboratorion järjestämiin vertailumittauksiin. Viimeisin vertailumittaus ja kenttäauditointi suoritettiin vuonna 2017 (*Saarnio ym. 2018*). Vertailumittauksen tulos oli Oulussa hyvä ja ilmanlaatumittaukset olivat pääosin standardinmukaisia. Auditoinnin aikaan vuonna 2017 Oulussa oli kattavampi laatujärjestelmä vielä rakenteilla. Suurin osa mittausverkoista Oulu mukaan lukien käyttää Kuopion mallin mukaista

dokumentointia, jossa laatukäsikirja ja valtaosa ohjeistuksista on laadittu valmiiden dokumenttien perusteella ja muokattu omaan käyttöön soveltuvaksi. Auditoinnissa oli teknisestä ongelmasta kirjattu ylös poikkeama. Rekisterit, kuten asemakuvaukset, pätevyydet ja perehdytykset on dokumentoitu asianmukaisesti. Laatujärjestelmän kuvaus on lisätty kaupungin www-sivuille auditoinnin jälkeen. Sisäisiä auditointeja tai mittausverkkojen välisiä ristiinauditointeja Oulussa ei ainakaan dokumentoidusti ollut tehty. Laatukatselmukset olivat suunnitteilla.

8.3.3 Ilmanlaatutietojen saatavuus ja ilmanlaadusta tiedottaminen

Ympäristönsuojelulain mukaan kuntien ympäristön tilan seurantatiedot on julkistettava ja niistä on tiedotettava tarvittavassa laajuudessa. Mittaustulosten raportoinnin ja tiedotuksen tulisi olla säännöllistä ja tavoittaa kaikki ilmanlaadusta tietoa tarvitsevat. Oulun reaaliaikainen ilmanlaatutilanne on vapaasti nähtävillä verkossa Ilmatieteen laitoksen ylläpitämällä ilmanlaatusivustolla, osoitteessa https://ilmatieteenlaitos.fi/ilmanlaatu. Tällä sivustolla esitetään mittausasemilla jatkuvatoimisilla laitteilla seurattavien ilman epäpuhtauksien pitoisuudet tunneittain sekä näistä edelleen laskettu ilmanlaatuindeksi. Mittausaineisto on lisäksi jatkuvasti ladattavissa Ilmatieteen laitoksen avoimen data kautta (https://www.ilmatieteenlaitos.fi/havaintojen-lataus#!/). Ilmatieteen laitos ja kuntamittaajat ovat sopineet, että Ilmatieteen laitos hoitaa myös kuntien ilmanlaatumittausten toimittamisen avoin data -jakeluun. Näin ilmanlaatua koskevat INSPIRE-direktiivin (*2007/2/EY*) velvoitteet saadaan hoidettua keskitetysti ja kustannustehokkaasti kansallisen ilmanlaadun tietojärjestelmän kautta. Edellisen vuoden jatkuvatoiminen mittausdata on tarkistamatonta aineistoa (ns. raakadataa) siihen asti, kunnes seuraavana vuonna 15.3. mennessä tietokantaan tallennetaan lopullinen laatutarkistettu mittausaineisto. Oulun kaupunki on aina toimittanut korjatun mittausaineiston Ilmatieteen laitoksen tietojärjestelmään annetussa aikataulussa.

Vaikka ilmanlaadusta tiedotetaan reaaliaikaisesti Ilmatieteen laitoksen ilmanlaatusivuston kautta, säilyy kunnilla kuitenkin tiedotusvelvollisuus. Kuntien tulee tiedottaa poikkeuksellisista ilmanlaatutilanteista paikallisten tiedotusvälineiden kautta esimerkiksi raja-arvojen numeroarvojen ylittyessä. Varoitus- tai tiedotuskynnysten ylittyessä väestöä tulee tiedottaa viipymättä, enintään vuorokauden kuluessa ylitysten toteamisesta. Oulun ilmanlaatumittausten laatujärjestelmä sisältää ohjeen ilmanlaadusta tiedottamiseen.

Ilmanlaadusta laaditaan vuosittain ilmanlaadun vuosiraportti, jossa verrataan pitoisuuksia ilmanlaadun ohje- ja raja-arvoihin. Viimeisin vuosiraportti on saatavilla Oulun kaupungin verkkosivuilla, osoitteessa https://www.ouka.fi/oulu/ymparisto-ja-luonto/ilmanlaatu. Samalta sivustolta löytyy tietoa ilmanlaadun mittauksien toteuttamisesta Oulussa sekä yhteystietoja lisätietojen kysymistä varten. Oulun ilmanlaatutiedot raportoidaan vuosittain myös Euroopan komissiolle ja Euroopan ympäristökeskukselle (EEA) ja niitä käytetään ilmanlaatudirektiivin (2008/50/EY) ja metallidirektiivin (2004/107/EU) sekä IPR-päätöksen (2011/850/EU) mukaisessa ilmanlaadun arvioinnissa ja yleisölle tiedottamisessa *(Oulun ilmanlaadun mittausten laatujärjestelmän kuvaus, 2019)*.

8.4 Esitys ilmanlaadun seurantasuunnitelmaksi 2022–2026

Ilmanlaadun seurannan tavoitteet ovat Oulussa olleet seuraavat ja ne säilyvät samoina kuin tähänkin asti. Tavoitteet ovat:

- Ajantasaisen ilmanlaatutiedon tuottaminen asukkaille
- Ilmanlaadun raja-, ohje-, tavoite- ja kynnysarvojen valvonta
- Seurantamittaukset täyttävät kunnille ja toiminnanharjoittajille ympäristönsuojelulaissa asetetut velvoitteet sekä ilmanlaatuasetuksen vaatimukset
- Mittauksilla saadaan tietoa suurten pistemäisten päästölähteiden vaikutuksesta ilmanlaatuun (häiriöpäästöt, päästökehitys, hajuhaitta)
- Ilmanlaadun parantamiseen tähtäävien toimien tehokkuuden arviointi (mm. hiukkaset, katupölyn torjunta)
- Tuotetaan tietoa maankäytön ja liikenteen suunnittelun avuksi
- Tuotetaan tietoa ympäristövaikutusten arvioinnin ja ympäristölupamenettelyn tarpeisiin
- Ilmanlaadun kehitystä voidaan arvioida kansallisella ja kansainvälisellä tasolla.

Ilmatieteen laitos esittää seuraavaa Oulun ilmanlaadun mittausverkostoksi ja mitattaviksi ilman epäpuhtauksiksi seurantakaudelle 2022−2026:

Oulun keskustan mittausasemalla jatketaan edelleen kokoaikaisesti jatkuvia typen oksidien (NO, NO_2 ja kokonais-NO_x) ja hengitettävien hiukkasten (PM_{10}) mittauksia. Typen oksidit ja hengitettävät hiukkaset eli katupöly ovat keskeisimmät ilman epäpuhtaudet vilkkaassa liikenneympäristössä. Keskustassa suoritettavat mittaukset antavat tietoa pitoisuuksista ympäristössä, jossa väestön altistuminen ilman epäpuhtauksille on suurinta koko Oulussa. Hiukkasmittauksen tulosten perusteella voidaan kohdentaa katupölyn torjuntatoimia oikeissa mittasuhteissa oikeaan ajankohtaan. Keskustan mittausaseman pienhiukkasten ($PM_{2,5}$) mittaus voidaan siirtää joko Nokelan tai Pyykösjärven mittausasemalle. Kummassa tahansa näistä paikoista sijaitessaan mittausasema edustaisi laajempaa maantieteellistä aluetta, johon sisältyy myös rivitalo- ja pientalovaltaista asuinaluetta. Näillä asemilla mitatut pienhiukkaspitoisuudet kertoisivat siten myös kiinteistöjen erillislämmityksen paikallisesta ilmanlaatuvaikutuksesta, jota ei keskustan mittausaseman tuloksessa juurikaan voida havaita. Pienhiukkaspitoisuudet ovat yleisesti laskeneet koko Suomessa 2010-luvulla liikenteen suorien hiukkaspäästöjen ja merkittävien kaukokulkeumaepisodien vähennettyä, joten pienhiukkaspitoisuuksien mittaus keskusta-alueella liikennepäästöjen seuraamiseksi ei ole enää välttämätöntä.

Keskustan ilmanlaadun mittausasemalla voitaisiin toistaiseksi jatkaa maaliskuussa 2021 aloitettua haisevien rikkiyhdisteiden (TRS) mittausta. Korkeita TRS-pitoisuuksia ja hajuhaittoja ilmenee nykyään pääosin vain laitoksilla tapahtuvien häiriötilanteiden aikana sekä laitosten käynnistysten ja alasajojen yhteydessä. Keväällä 2021 Storan Enson uuden pakkauskartonkitehtaan tuotantoprosessin käynnistyksessä tällaisia häiriötilanteita on ollut toistuvasti ja niiden vaikutuksia on voitu havaita TRS-mittauksissa keskustassa ja Nokelassa. Näiden kahden mittausaseman tuloksia vertailemalla saadaan arvokasta tietoa sen päätöksen tueksi, olisiko hyödyllistä seurata TRS-pitoisuuksia jatkossakin keskustan mittausasemalla. Seurantajakson alussa voitaisiin TRS-pitoisuuksia mitata kahdella mittausasemalla ja jos tilanne kartonkitehtaalla on saatu hallintaan, niin seuraavina vuosina vain yhdellä asemalla. Stora Enson sellutehtaan on ympäristöluvan perusteella ”tarkkailtava hajupäästöjen vaikutuksia lähiympäristön asuinalueiden ilmanlaatuun Nokelan tarkkailupisteellä”, ja luvassa todetaan edelleen, että ”Tarkkailu voidaan toteuttaa ja raportoida yhteistarkkailun osana.” TRS-mittauksen mahdollinen siirto keskustan mittausasemalle edellyttäisi luvan saajan neuvotteluja tämän tarkkailumääräyksen sisällöstä valvovan viranomaisen (Pohjois-Pohjanmaan ELY) kanssa.

Pyykösjärven mittausasemalla jatketaan edelleen kokoaikaisesti jatkuvia typen oksidien (NO, NO_2 ja kokonais-NO_x), hengitettävien hiukkasten (PM_{10}) ja otsonin (O_3) mittauksia kuten edelliselläkin seurantajaksolla. Mittausasema on tyypiltään esikaupunkialueella sijaitseva tausta-asema, jolla mitattaviin pitoisuuksiin vaikuttavat monet eri päästölähteet. Pyykösjärven mittausasema edustaa ilmanlaatua asuntoalueilla suhteellisen lähellä keskustaa ja tulokset antavat tietoa väestön yleisestä altistumisesta ilmansaasteille. Pyykösjärvellä vuosina 2015–2020 ollut haisevien rikkiyhdisteiden (TRS) pitoisuuksien mittaus esitetään lakkautettavaksi pienentyneiden TRS-pitoisuuksien vuoksi. Tarkkailu aloitettiin Ruskon jätekeskuksen hajupäästöjen vuoksi. Ruskon alueen toimijoiden (Kiertokaari Oy ja Gasum Oy) ympäristöluvissa on määräys hajupäästöjen tarkkailusta, joten Pyykösjärven TRS-mittauksen lakkautus edellyttää neuvotteluja valvovan viranomaisen kanssa. Jatkossa Oulussa jatketaan TRS-mittauksia yhdellä mittausasemalla, joko keskustassa tai Nokelassa, riippuen mittausvertailujen johtopäätöksistä. Uutena mahdollisena mittauksena seurantakaudella 2022–2026 olisi pienhiukkasten ($PM_{2,5}$) mittaus, joka voitaisiin siirtää Pyykösjärvelle keskustan mittausasemalta. Jatkossa Oulussa jatketaan pienhiukkasten mittauksia yhdellä mittausasemalla, joko Pyykösjärvellä tai Nokelassa.

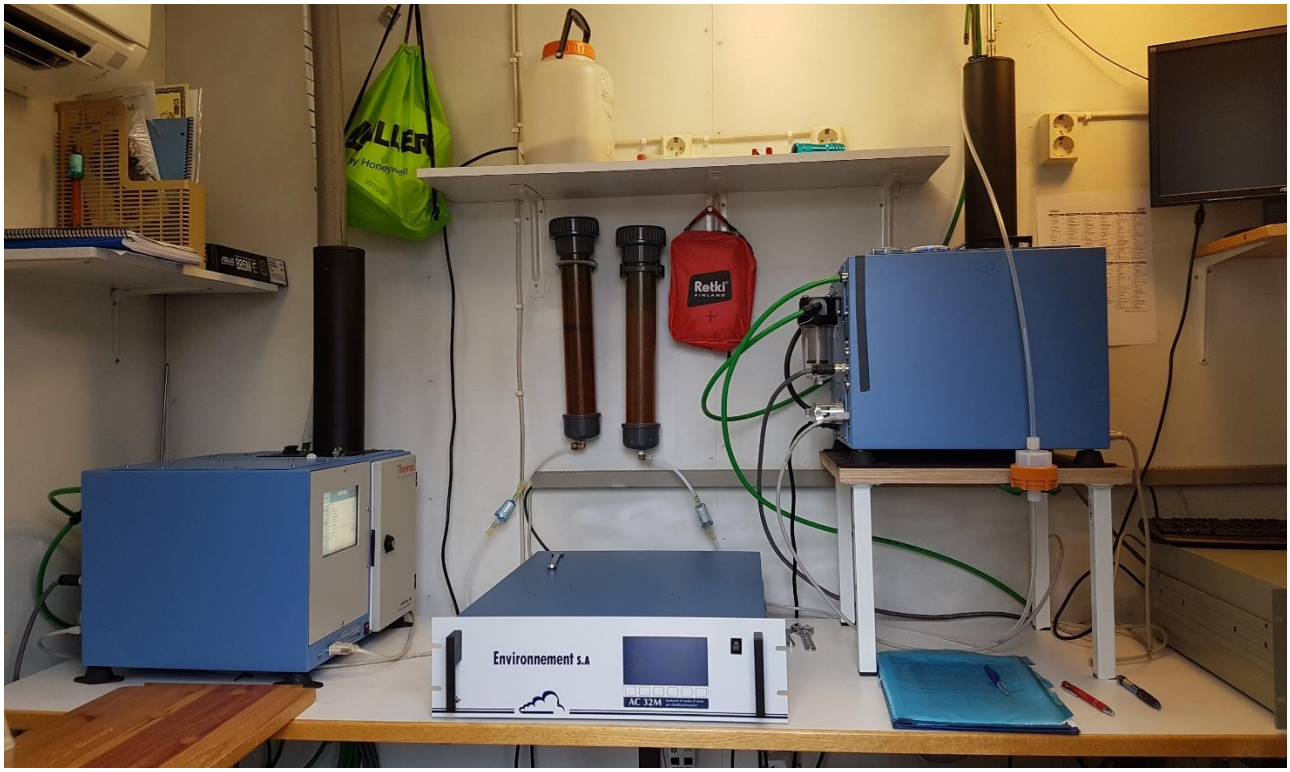
Nokelan mittausasema on tyypiltään esikaupunkialueella sijaitseva teollisuusasema ja se on perustettu seuraamaan Nuottasaaren teollisuusalueen vaikutusta ilmanlaatuun. Nokelan mittausasemalla on seurattu rikkidioksidin (SO_2) pitoisuuksia jo yli 40 vuoden ajan ja pitoisuudet ovat jo pitkään olleet hyvin pieniä. Mitattujen pitoisuustasojen perusteella Oulussa ei tarvita enää rikkidioksidin jatkuvia pitoisuusmittauksia, joten Nokelan rikkidioksidin pitoisuusmittaus esitetään lopetettavaksi. Myös Nokelan TRS-mittaus voidaan mahdollisesti lopettaa, jos mittausvertailujen perusteella keskustan mittausasema on soveltuva paikka seurata Nuottasaaren teollisuuden aiheuttamia TRS-pitoisuuksia. Nokelan TRS-mittauksen jatkamista kuitenkin puoltaa pitkä mittausaikasarja tältä paikalta. TRS-mittaus on aloitettu vuonna 1979 ja sitä on jatkettu keskeytyksettä siitä saakka. Tuulen puhaltaessa mereltä maallepäin on Nokelan mittauspisteen sijainti ollut sopiva sellutehtaan päästöjen havaitsemiseksi. TRS-mittauksen sijoittamisessa paikallistuntemuksella on merkittävä rooli, koska hajuyhdisteiden leviämisessä havaitaan tyypillisesti paikallisia erityispiirteitä kuten hajujen kanavoitumista tiettyihin kohtiin tai paikallisten sääolosuhteiden (Oulussa maa- ja merituuli-ilmiö) vaikutusta. Uutena mahdollisena mittauksena seurantakaudella 2022–2026 olisi pienhiukkasten ($PM_{2,5}$) mittaus, joka voitaisiin siirtää Nokelan mittausasemalle keskustan mittausasemalta. Leviämismallin tulosten mukaan kiinteistökohtaisen lämmityksen vaikutus pienhiukkasten ja bentso(a)pyreenin pitoisuuksiin on suurinta Oulun kolmesta mittausasemasta juuri Nokelan mittausaseman kohdalla, joten sijainti olisi erittäin sopiva pienhiukkasten pitoisuusseurantaan.

Tehtyjen leviämismallilaskelmien ja muilla paikkakunnilla tehtyjen PAH-mittausten tulosten perusteella Oulun alueella olisi jatkossa hyvä kartoittaa kampanjaluonteisilla ilmanlaadun mittauksilla bentso(a)pyreenin pitoisuustasoja, koska aikaisempia mittauksia seudulta ei ole. Soveltuvia kohteita tällaisen mittauksen tekemiseen ovat pientalovaltaiset alueet, joissa kiinteistöjen erillislämmitys aiheuttaa PAH-yhdisteiden päästöjä ilmaan. Nokelan ympäristössä on vanhaa omakotitaloasutusta ja mittausasema olisi sen vuoksi sijainniltaan sopiva bentso(a)pyreenin mittauskampanjan suorittamiselle. Toinen soveltuva kohde mittauskampanjalle on Pyykösjärven mittausasema, jonka ympäristössä on myös pientaloasutusta. Bentso(a)pyreenin mittauksia tulee jatkaa kussakin paikassa yhden kalenterivuoden ajan, jotta mittauksesta saadaan tuloksena suoraan ilmanlaadun tavoitearvoon verrattavia ja riittävän luotettavia pitoisuustuloksia. Lyhyemmällä mittausjaksolla pitoisuuksien vuodenaikaisvaihtelu voi helposti vääristää saatua tulosta. Bentso(a)pyreenin mittaukset tehdään PM_{10}-hiukkasten suodatinkeruunäytteistä, jotka analysoidaan laboratoriossa. Keruunäytteet tulee ottaa standardin mukaisella menetelmällä.

Leviämismallinnuksen tulosten mukaan Oulussa mitattaviin pitoisuuksiin vaikuttaa merkittävästi kaupungin halkaisema Pohjantie (E8). Jos Oulussa myöhemmin hankitaan siirrettävää mittauskalustoa, voisi silloin seurata maanteiden aiheuttamaa pölyämistä hengitettävien hiukkasten

mittauksin Pohjantien varrella sijaitsevilla asuinalueilla. Siirrettävä mittausasema mahdollistaisi myös kotitalouksien puunpolton aiheuttamien PAH- ja pienhiukkaspitoisuuksien kartoittamisen erityyppisillä pientaloalueilla eri vuosina.

Tässä seurantasuunnitelmassa ei oteta kantaa mittausten laitekantaan ja sen mahdolliseen uusimistarpeeseen, eikä mittauksista aiheutuviin kustannuksiin. Kaikki seurantasuunnitelmassa mainitut jatkuvatoimiset mittaukset suoritetaan nykyään laitteilla, jotka ovat joko standardien mukaisia vertailumenetelmiä kyseisen ilman epäpuhtauden mittaamiseen tai laitteita, joiden vastaavuus vertailumenetelmään on osoitettu hyväksytysti. Mittauksia tulee edelleen jatkaa tällaisilla hyväksytyillä laitteilla myös seurantakaudella 2022–2026.



Kuva: Jatta Salmi

VIITELUETTELO

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

EEA, 2017. Exhaust emissions from road transport. Kappale teoksessa: EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016, last update June 2017. EEA Report No 21/2016. European Environment Agency, Denmark. ISBN 978-92-9213-806-6

EEA, 2019. Air quality in Europe – 2019 report. EEA Report, No 10/2019. ISSN 1977-8449. https://www.eea.europa.eu//publications/air-quality-in-europe-2019

Hänninen, O., Korhonen, A., Lehtomäki, H., Asikainen, A., Rumrich, I., 2016. Ilmansaasteiden terveysvaikutukset. Ympäristöministeriön raportteja 16/2016. https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/74861/YMra_16_2016.pdf

Härkönen, J., Nikmo, J., Karppinen, A., and Kukkonen, J., 2001. A refined modelling system for estimating the emissions, dispersion, chemical transformation and dry deposition of traffic-originated pollution from a road. In: Cuvelier, C. et al., Seventh International Conference on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes, Joint Research Centre, European Commission, Ispra, Italy, pp. 311-313.

Ilmatieteen laitos, 2021. Ilmatieteen laitoksen ylläpitämä Ilmanlaatu Suomessa -sivusto, josta on saatavilla mittaustiedot ja historiatietoja pitoisuuksista lähes kaikilta Suomen ilmanlaadun seurantaasemilta, lisäksi sivustolla teematietoa ilmansaasteista: https://ilmatieteenlaitos.fi/ilmanlaatu

Karppinen, A., Kukkonen, J., Nordlund, G., Rantakrans, E. ja Valkama, I., 1998. A dispersion modelling system for urban air pollution. Ilmansuojelun julkaisuja no. 28. Ilmatieteen laitos, Helsinki.

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

Komppula, B., Karppinen, T., Virta, H., Sundström, A-M, Ialongo, I., Korpi, K., Anttila, P., Tamminen, J. ja Lovén, K., 2021. Ilmanlaatu Suomessa ilmanlaatumittausten ja satelliittihavaintojen perusteella. Ilmatieteen laitos. 73 s. ja 51 liites. Raporttia ei ole vielä julkaistu.

Oulun ilmanlaadun mittausten laatujärjestelmän kuvaus, 2019.
https://www.ouka.fi/documents/64417/159961/OULUN+ILMANLAADUN+MITTAUSTEN+LAATUJ%C3%84RJESTELM%C3%84N+KUVAUS.pdf/84b5eeac-5aeb-4359-9f53-86800c59bf09

Oulun seudun ympäristötoimi, 2016. Oulun ilmanlaatu. Seurantasuunnitelma 2017–2021. Raportti 3/2016. ISSN 2343-2985

Oulun seudun ympäristötoimi, 2017. Oulun ilmanlaatu. Mittaustulokset 2016. Julkaisu 3/2017.

Oulun seudun ympäristötoimi, 2018. Oulun ilmanlaatu. Mittaustulokset 2017. Julkaisu 3/2018.

Oulun seudun ympäristötoimi, 2019. Oulun ilmanlaatu. Mittaustulokset 2018. Julkaisu 3/2019.

Oulun seudun ympäristötoimi, 2020. Oulun ilmanlaatu. Mittaustulokset 2019. Julkaisu 2/2020.

Oulun seudun ympäristötoimi, 2021. Oulun ilmanlaatu. Mittaustulokset 2020. Julkaisu 2/2021, luonnos 11.5.2021.

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

Rasila, T., Pietarila, H., Varjoranta, R. ja Savunen, T., 2000. Typenoksidipäästöjen leviämismallilaskelmat Oulussa. Ilmatieteen laitos, Ilmanlaadun tutkimus, Helsinki, 50 s. + 20 liites.

Saarnio, K., Kyllönen, K., Laurila, S., Lusa, K. ja Waldén, J., 2018. Ulkoilman SO_2-, NO- ja O_3-mittausten kansallinen vertailumittaus sekä ilmanlaatumittausten laatujärjestelmä- ja kenttäauditointi 2017. Ilmatieteen laitos. Raportteja – Rapporter – Reports 2018:1. 74 sivua. http://expo.fmi.fi/ages/public/Kansallinen_vertailumittaus_ja_kenttaauditointi_2018.pdf

Salmi, J., Saari, H., Latikka, J., Komppula, B., Vestenius, M., Wemberg, A. ja Laukkanen, E., 2019. Esiselvitys ilmanlaadun mittausasemien edustavuuden arvioinnista. Ilmatieteen laitos. Raportteja - Rapporter - Reports 2019:4. 36 sivua. https://helda.helsinki.fi/handle/10138/301515

Savolahti, M., Lehtomäki, H., Karvosenoja, N., Paunu, V.-V., Korhonen, A., Kukkonen, J., Kupiainen, K., Kangas, L., Hänninen, O., Karppinen, A., 2019. Residential wood combustion in Finland: PM2.5 emissions and health impacts with and without abatement measures. Int. J. Environ. Res. Public Health 16, 2910. https://www.mdpi.com/1660-4601/16/16/2920

SYKE, 2021. Ilman epäpuhtauksien päästöt Suomessa. Suomen ympäristökeskus. http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kartat_ja_tilastot/Ilman_epapuhtauksien_paastot

PSAVI/429/2017, 11.7.2017. Lupapäätös145/2014/1, Ruskon jätekeskuksen biokaasulaitoksen ympäristölupa ja toiminnanaloittamislupa, Oulu.

PSAVI/2638/2019, 23.4.2020. Lupapäätös Nro 30/2020**,** Sellu-, CTMP- ja kartonkitehtaan ympäristölupa, Oulu.

PSAVI/2512/2018, 17.6.2020. Lupapäätös Nro 82/2020, Ruskon jätekeskuksen toiminnan olennainen muuttaminen ja ympäristö-luvan tarkistaminen uusien BAT-päätelmien vuoksi, Oulu.

SFS-EN 14211:2012. Ambient air quality – Standard method for the measurement of the concentration of nitrogen dioxide and nitrogen monoxide by chemiluminescence.

SFS-EN14212:2012. Ambient air – Standard method for the measurement of the concentration of sulphur dioxide by ultraviolet fluorescence.

SFS-EN 12341:2014. Air quality – Standard gravimetric measurement method for the determination of the PM_{10} or $PM_{2,5}$ mass concentration of suspended particulate matter.

SFS-EN 14625:2012 Ambient air quality − Standard method for the measurement of the concentration of ozone by ultraviolet photometry.

SFS-EN 16450:2017. Ambient air – Automated measuring systems for the measurement of the concentration of particulate matter (PM_{10}/$PM_{2.5}$).

VTT, 2019. Teknologian tutkimuskeskus VTT. LIPASTO liikenteen päästöt http://lipasto.vtt.fi/

Vna 79/2017. Valtioneuvoston asetus ilmanlaadusta. Julkaistu 1.2.2017.

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

Vnp 480/1996. Valtioneuvoston päätös ilmanlaadun ohjearvoista ja rikkilaskeuman tavoitearvoista. Annettu 19.6.1996.

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

2004/107/EU. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi ilmassa olevasta arseenista, kadmiumista, elohopeasta, nikkelistä ja polysyklisistä aromaattisista hiilivedyistä. Annettu Strasbourgissa 15.12.2004.

2007/2/EY. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi Euroopan yhteisön paikkatietoinfrastruktuurin (INSPIRE) perustamisesta. Annettu Strasbourgissa 14.3.2007.

2008/50/EY. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi ilmanlaadusta ja sen parantamisesta. Annnettu Strasbourgissa 21.5.2008.

2011/850/EU. Komission täytäntöönpanopäätös tietojenvaihtojärjestelmästä ja ilmanlaatua koskevien tietojen raportoinnista annettuja Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivejä 2004/107/EY ja 2008/50/EY koskevien sääntöjen vahvistamisesta. Annettu Brysselissä 12.12.2011. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?uri=CELEX:32011D0850

Walden, J., Waldén, T., Laurila, S. ja Hakola, H., 2017. Demonstration of the equivalence of $PM_{2.5}$ and PM_{10} measurement methods in Kuopio 2014–2015. Reports 2017:1. Finnish Meteorological Institute, Helsinki, 137 p.
http://expo.fmi.fi/aqes/public/PM_Equivalence%20report%20Kuopio_2017.pdf

Walden, J. ja Vestenius, M., 2018. Verification of PM-analyzers for PM_{10} and $PM_{2.5}$ with the PM reference method. Finnish Meteorological Institute, Reports 2018:2. http://expo.fmi.fi/aqes/public/Raportteja_2018_2_Verification_of_PM-analyzers.pdf

LIITTEET

Liitekuvaluettelo

Pitoisuuksien aluejakaumat

1. Kaikki päästölähteet + taustapitoisuus NO_2 vuosikeskiarvo
2. Kaikki päästölähteet+ taustapitoisuus NO_2 vuosikeskiarvo lähikuva
3. Liikenne NO_2 vuosikeskiarvo
4. Liikenne NO_2 vuosikeskiarvo lähikuva
5. Energiantuotanto ja teollisuus NO_2 vuosikeskiarvo
6. Energiantuotanto ja teollisuus NO_2 vuosikeskiarvo lähikuva
7. Kiinteistökohtainen lämmitys NO_2 vuosikeskiarvo
8. Kiinteistökohtainen lämmitys NO_2 vuosikeskiarvo lähikuva
9. Kaikki päästölähteet+ taustapitoisuus NO_2 vuorokausiohjearvo
10. Kaikki päästölähteet+ taustapitoisuus NO_2 vuorokausiohjearvo lähikuva
11. Liikenne NO_2 vuorokausiohjearvo
12. Liikenne NO_2 vuorokausiohjearvo lähikuva
13. Energiantuotanto ja teollisuus NO_2 vuorokausiohjearvo
14. Energiantuotanto ja teollisuus NO_2 vuorokausiohjearvo lähikuva
15. Kiinteistökohtainen lämmitys NO_2 vuorokausiohjearvo
16. Kiinteistökohtainen lämmitys NO_2 vuorokausiohjearvo lähikuva

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

19. Kaikki päästölähteet + taustapitoisuus $PM_{2,5}$ vuosikeskiarvo
20. Kaikki päästölähteet + taustapitoisuus $PM_{2,5}$ vuosikeskiarvo lähikuva
21. Liikenne $PM_{2,5}$ vuosikeskiarvo
22. Liikenne $PM_{2,5}$ vuosikeskiarvo lähikuva
23. Energiantuotanto ja teollisuus $PM_{2,5}$ vuosikeskiarvo
24. Energiantuotanto ja teollisuus $PM_{2,5}$ vuosikeskiarvo lähikuva
25. Kiinteistökohtainen lämmitys $PM_{2,5}$ vuosikeskiarvo
26. Kiinteistökohtainen lämmitys $PM_{2,5}$ vuosikeskiarvo lähikuva
27. Kaikki päästölähteet + taustapitoisuus $PM_{2,5}$ WHO-vuorokausiohjearvo
28. Kaikki päästölähteet + taustapitoisuus $PM_{2,5}$ WHO-vuorokausiohjearvo lähikuva
29. Liikenne $PM_{2,5}$ WHO-vuorokausiohjearvo
30. Liikenne $PM_{2,5}$ WHO-vuorokausiohjearvo lähikuva
31. Energiantuotanto ja teollisuus $PM_{2,5}$ WHO-vuorokausiohjearvo
32. Energiantuotanto ja teollisuus $PM_{2,5}$ WHO-vuorokausiohjearvo lähikuva
33. Kiinteistökohtainen lämmitys $PM_{2,5}$ WHO-vuorokausiohjearvo
34. Kiinteistökohtainen lämmitys $PM_{2,5}$ WHO-vuorokausiohjearvo lähikuva

35. Kaikki päästölähteet + taustapitoisuus PM_{10} vuosikeskiarvo
36. Kaikki päästölähteet + taustapitoisuus PM_{10} vuosikeskiarvo lähikuva
37. Liikenne PM_{10} vuosikeskiarvo
38. Liikenne PM_{10} vuosikeskiarvo lähikuva
39. Kiinteistökohtainen lämmitys PM_{10} vuosikeskiarvo
40. Kiinteistökohtainen lämmitys PM_{10} vuosikeskiarvo lähikuva
41. Kaikki päästölähteet + taustapitoisuus PM_{10} vuorokausiraja-arvo
42. Kaikki päästölähteet + taustapitoisuus PM_{10} vuorokausiraja-arvo lähikuva
43. Liikenne PM_{10} vuorokausiraja-arvo
44. Liikenne PM_{10} vuorokausiraja-arvo lähikuva
45. Kiinteistökohtainen lämmitys PM_{10} vuorokausiraja-arvo
46. Kiinteistökohtainen lämmitys PM_{10} vuorokausiraja-arvo lähikuva

47. Kaikki päästölähteet + taustapitoisuus SO_2 vuosikeskiarvo
48. Kaikki päästölähteet + taustapitoisuus SO_2 vuosikeskiarvo lähikuva
49. Energiantuotanto ja teollisuus SO_2 vuosikeskiarvo
50. Energiantuotanto ja teollisuus SO_2 vuosikeskiarvo lähikuva
51. Kaikki päästölähteet + taustapitoisuus SO_2 vuorokausiraja-arvo
52. Kaikki päästölähteet + taustapitoisuus SO_2 vuorokausiraja-arvo lähikuva
53. Energiantuotanto ja teollisuus SO_2 vuorokausiraja-arvo
54. Energiantuotanto ja teollisuus SO_2 vuorokausiraja-arvo lähikuva

55. Teollisuus TRS vuorokausiohjearvo
56. Teollisuus TRS vuorokausiohjearvo lähikuva

57. Kiinteistökohtainen lämmitys B(a)P vuosikeskiarvo
58. Kiinteistökohtainen lämmitys B(a)P vuosikeskiarvo lähikuva

Päästöt

59. Liikenteen NO_x-päästöt ja KVL
60. Liikenteen NO_x -päästöt ja KVL lähikuva
61. Liikenteen $PM_{2,5}$-päästöt
62. Liikenteen $PM_{2,5}$-päästöt lähikuva
63. Liikenteen PM_{10}-päästöt
64. Liikenteen PM_{10}-päästöt lähikuva
65. Energiantuotannon ja teollisuuden NO_x-päästöt
66. Energiantuotannon ja teollisuuden PM-päästöt
67. Energiantuotannon ja teollisuuden SO_2-päästöt
68. Teollisuuden TRS-päästöt
69. Kiinteistökohtaisen lämmityksen NO_x-päästöt
70. Kiinteistökohtaisen lämmityksen NO_x-päästöt lähikuva
71. Kiinteistökohtaisen lämmityksen $PM_{2,5}$-päästöt
72. Kiinteistökohtaisen lämmityksen $PM_{2,5}$-päästöt lähikuva
73. Kiinteistökohtaisen lämmityksen PM_{10}-päästöt
74. Kiinteistökohtaisen lämmityksen PM_{10}-päästöt lähikuva
75. Kiinteistökohtaisen lämmityksen B(a)P-päästöt
76. Kiinteistökohtaisen lämmityksen B(a)P-päästöt lähikuva

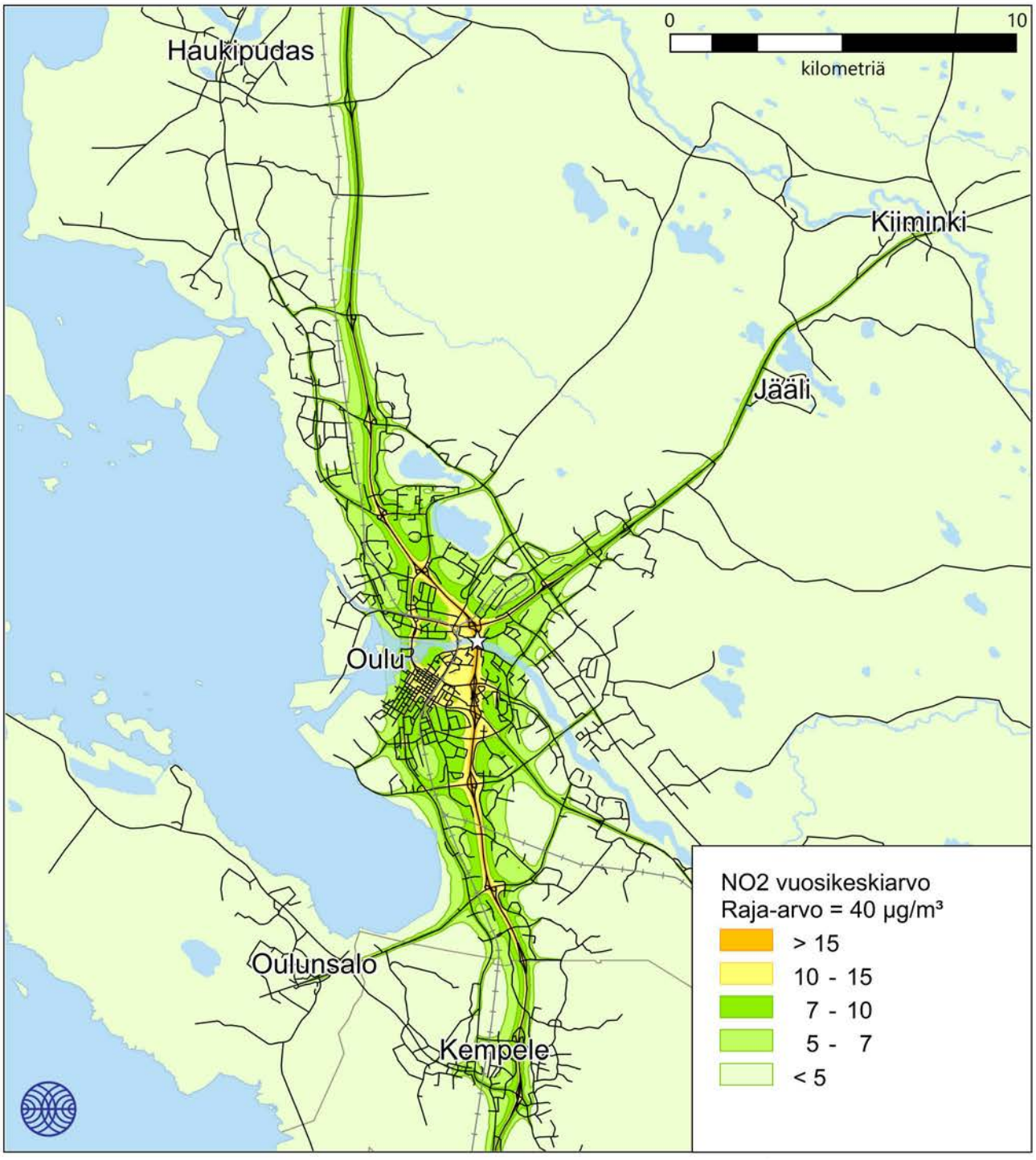
Liitekuvat

Leviämismallilaskelmien tuloksina saadut typpidioksidin, typen oksidien, pienhiukkasten, hengitettävien hiukkasten, rikkidioksidin, haisevien rikkiyhdisteiden ja bentso(a)pyreenin pitoisuudet on esitetty seuraavassa karttakuvina, joissa ilman epäpuhtauksia verrataan ilmanlaatulainsäädännössä annettuihin raja-, ohje- ja tavoitearvoihin, kriittisiin tasoihin ja WHO:n ohjearvoihin. Karttakuvissa esitetyt pitoisuusjakaumat kuvaavat enimmäispitoisuustasoa ulkoilmassa ihmisten hengityskorkeudella (2 m). Kuvissa on esitetty peräkkäin koko laajemman alueen (45 × 40 km) kattavat pitoisuuksien tuloskartat ja lähikuvat Oulun keskustan alueelta (noin 13 × 12 km).

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

Vuosikeskiarvopitoisuus kuvaa alueen keskimääräistä ja vallitsevaa ilman epäpuhtaus-pitoisuustasoa parhaiten. Karttakuvissa esitetyt vuosikeskiarvopitoisuudet kuvaavat kolmen vuoden tarkastelujakson (vuodet 2017–2019) korkeinta vuosikeskiarvoa kussakin laskentapisteessä. Hetkelliset pitoisuudet voivat nousta vuosikeskiarvopitoisuuksia huomattavasti korkeammiksi. Mallinnettuihin lyhytaikaispitoisuuksiin sisältyy enemmän epävarmuutta kuin vuosikeskiarvo-pitoisuuksiin ja lyhytaikaispitoisuuksien aluejakaumaan vaikuttavat voimakkaammin yksittäiset meteorologiset tilanteet. Karttakuvissa esitetyt vuorokausiohjearvoon verrannolliset pitoisuudet kuvaavat kolmen vuoden tarkastelujakson (vuodet 2017–2019) korkeinta vuorokausiohjearvoon verrannollista pitoisuutta kussakin laskentapisteessä.

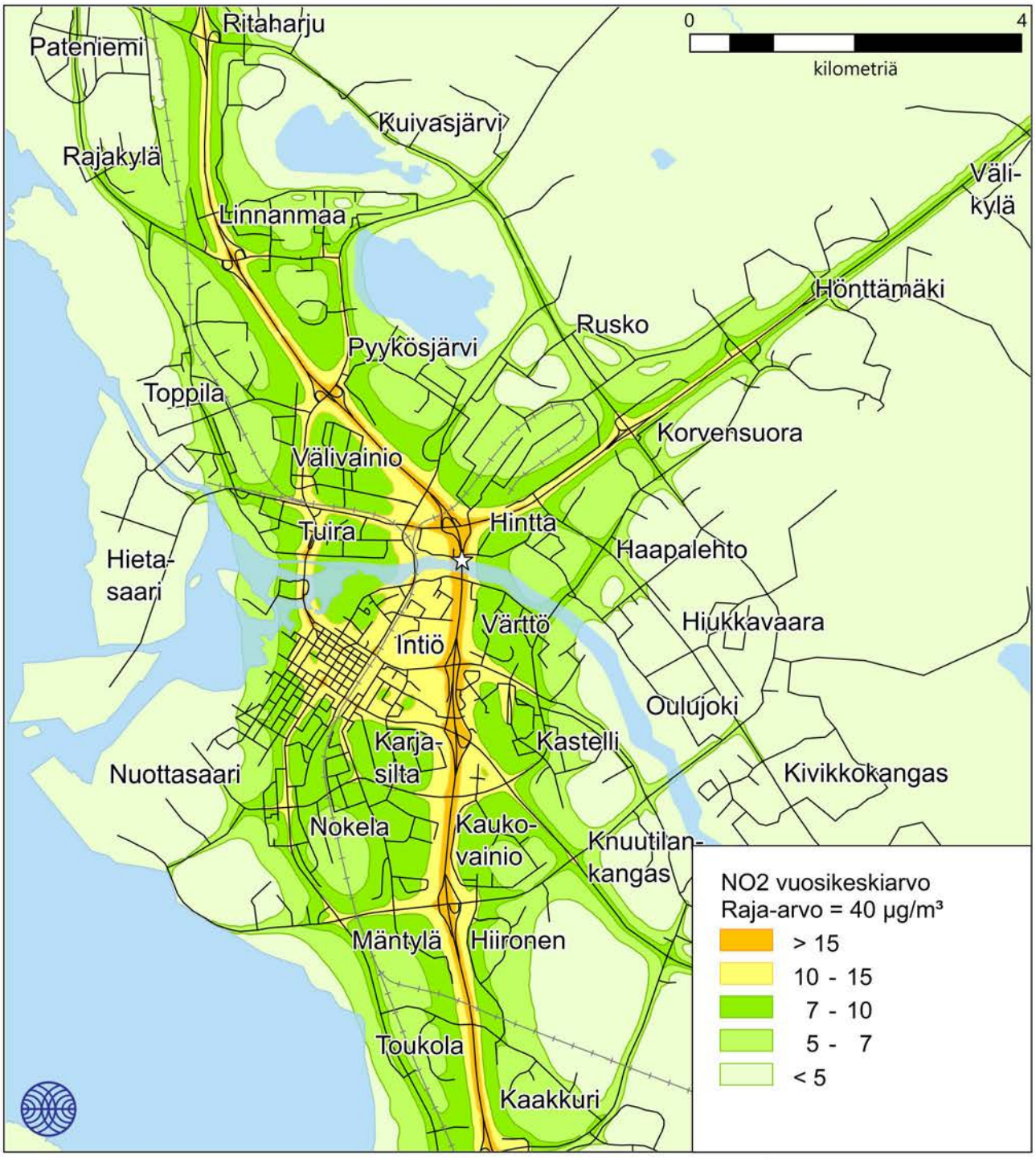
Taustapitoisuutena käytettiin Ilmatieteen laitoksen Kuusamon Juumassa ja Kittilän Matorovalla sijaitsevien taustailmanlaadun mittausasemien tuloksia. Tarkastelujaksolla 2017–2019 typen oksidien taustapitoisuuden vuosikeskiarvo oli 1,2 µg/m³, rikkidioksidin 0,7 µg/m³, pienhiukkasten 2,1 µg/m³ ja otsonin 59 µg/m³ (*Ilmatieteen laitos, 2021*). Kaupunkialueilla tai taajamissa paikalliset päästölähteet nostavat pitoisuudet taustapitoisuustasoa korkeammiksi.



Ilmatieteen laitos, 2021

☆ = maksimi 32 µg/m³

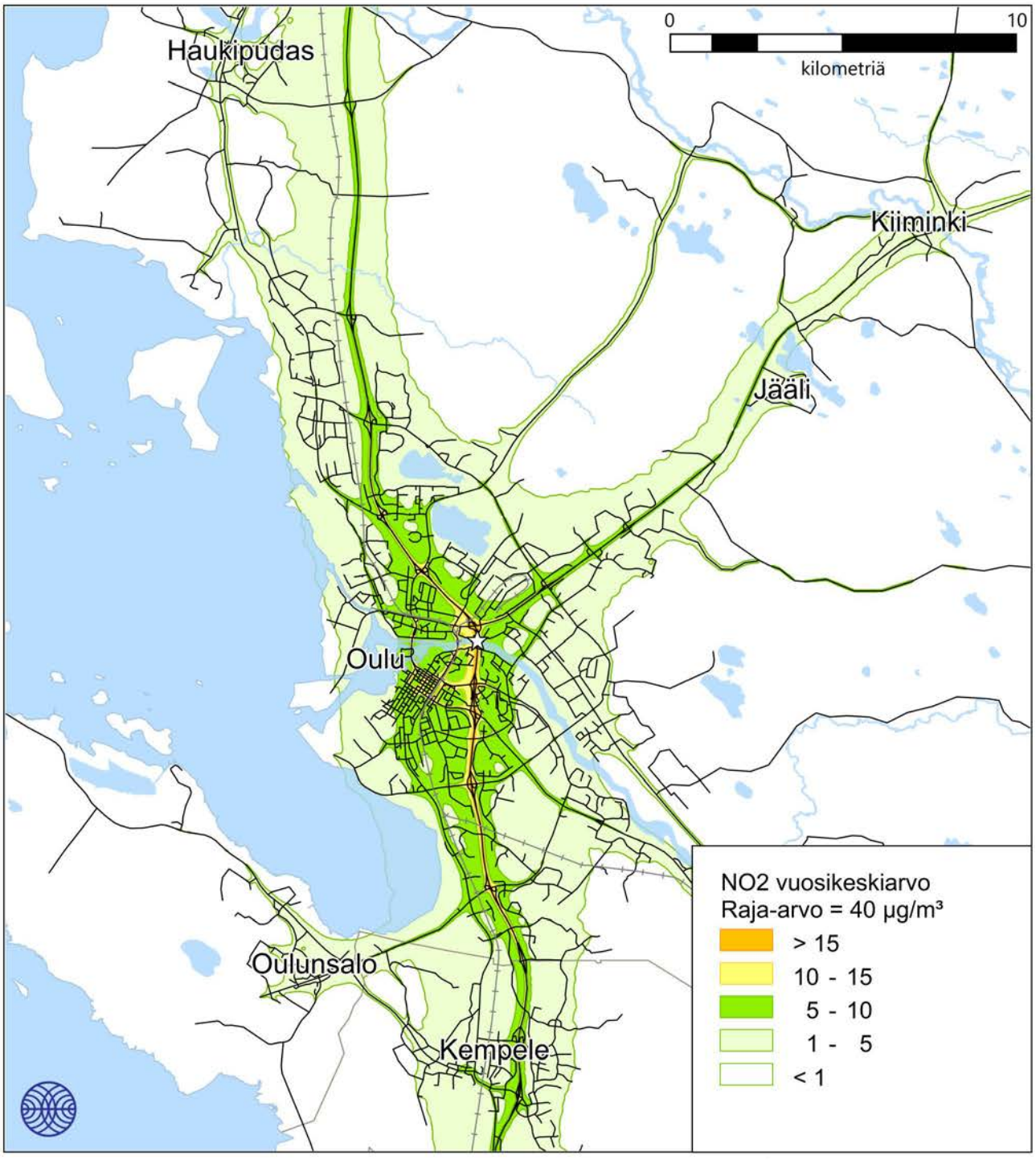
Kuva 1. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden yhdessä aiheuttama typpidioksidin vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2017-2019.



Ilmatieteen laitos, 2021

☆ = maksimi 32 µg/m³

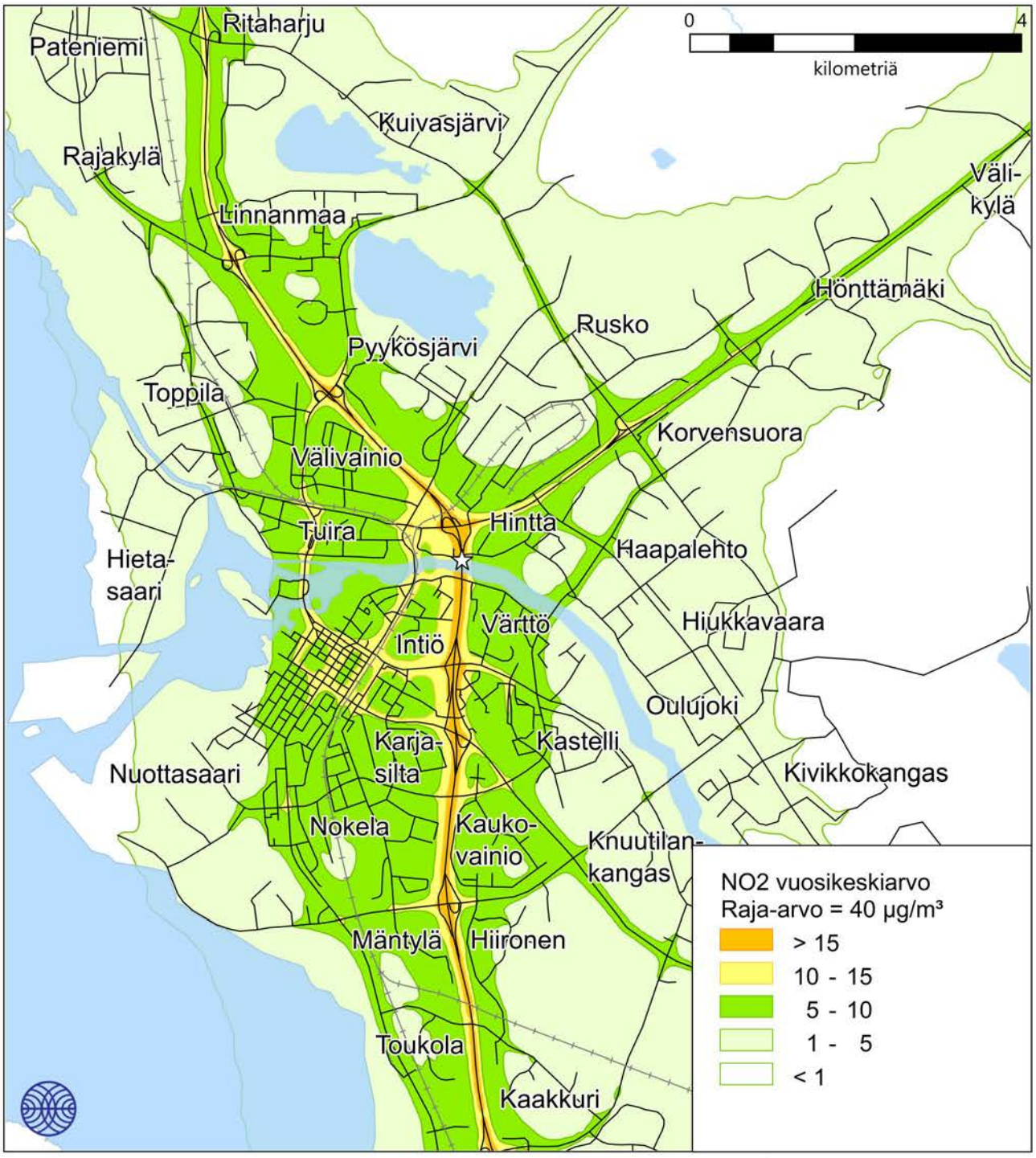
Kuva 2. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden yhdessä aiheuttama typpidioksidin vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2017-2019.



Ilmatieteen laitos, 2021

☆ = maksimi 30 µg/m³

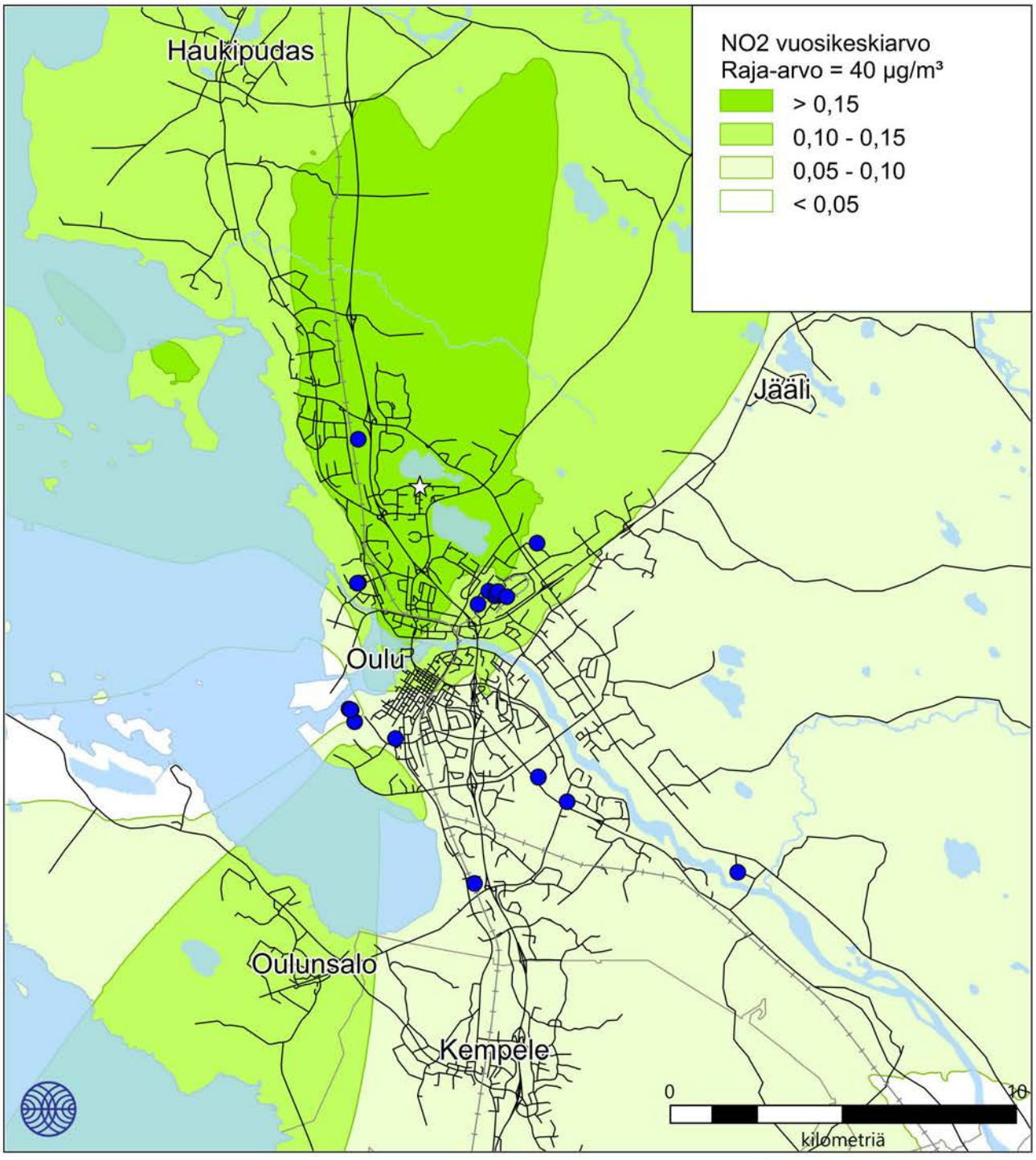
Kuva 3. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama typpidioksidin vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2017-2019.



Ilmatieteen laitos, 2021

☆ = maksimi 30 µg/m³

Kuva 4. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama typpidioksidin vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2017-2019.



Ilmatieteen laitos, 2021

☆ = maksimi 0,21 µg/m³

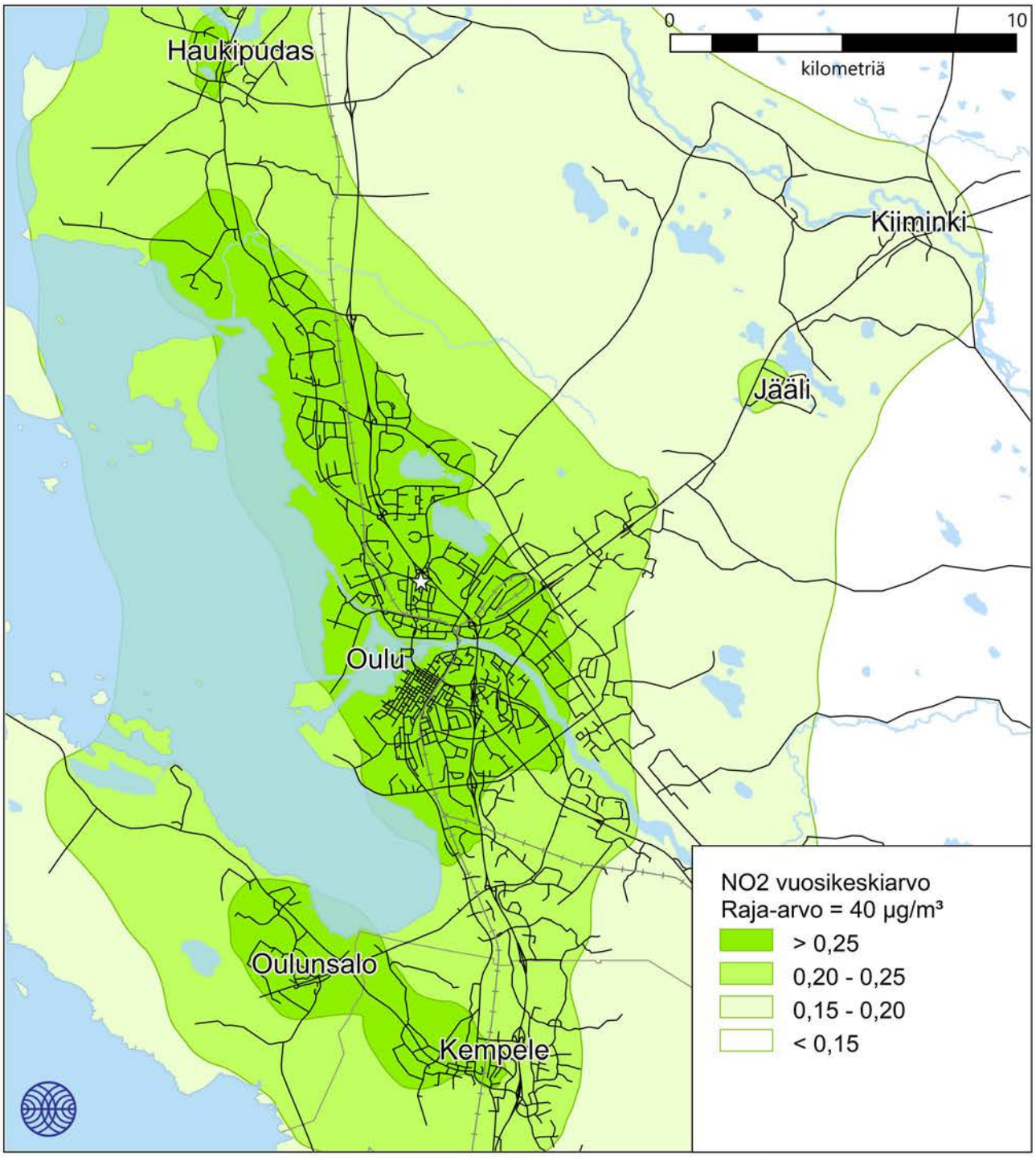
Kuva 5. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttama typpidioksidin vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2017-2019.



Ilmatieteen laitos, 2021

☆ = maksimi 0,21 µg/m³

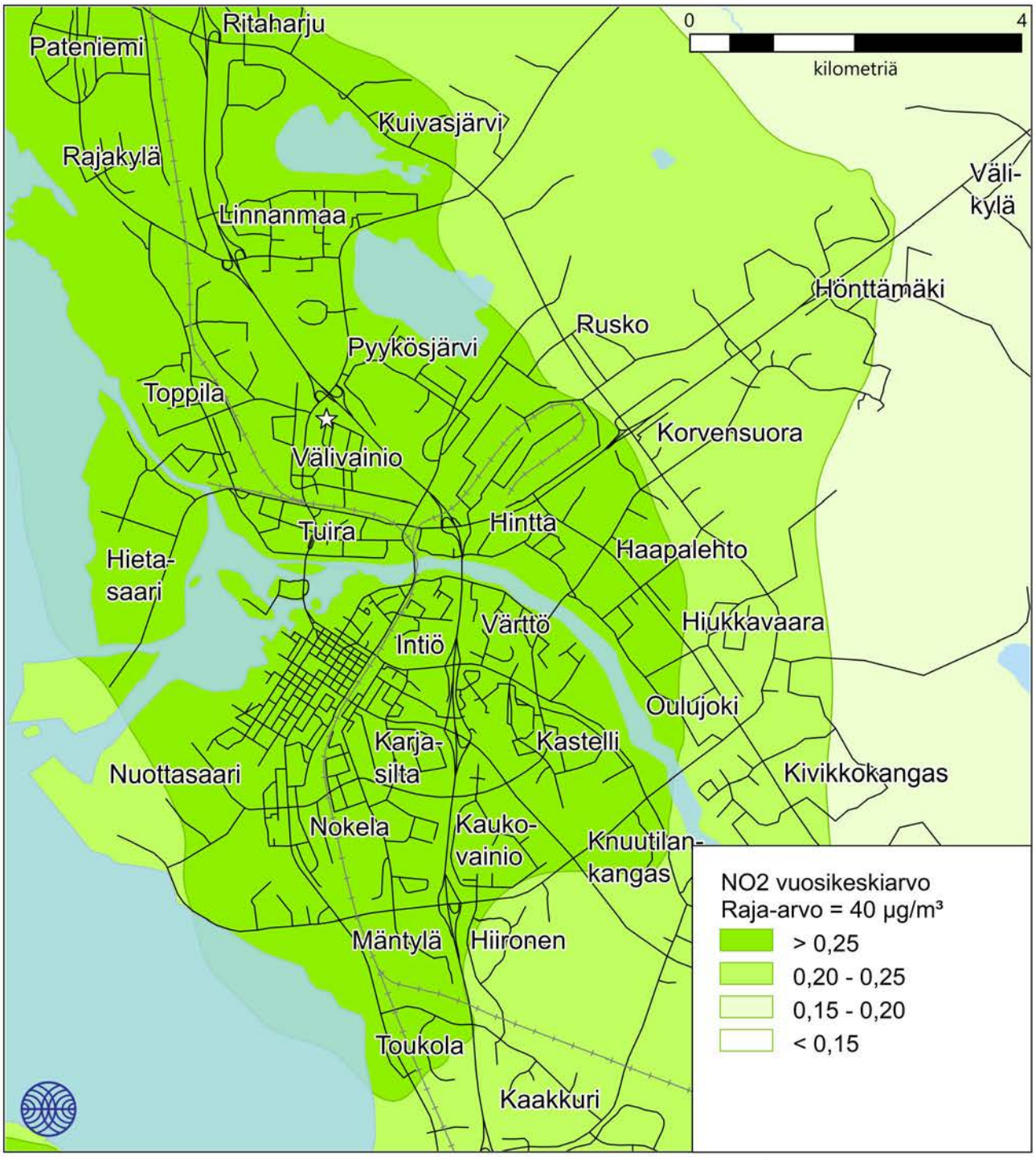
Kuva 6. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttama typpidioksidin vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2017-2019.



Ilmatieteen laitos, 2021

☆ = maksimi 0,31 µg/m³

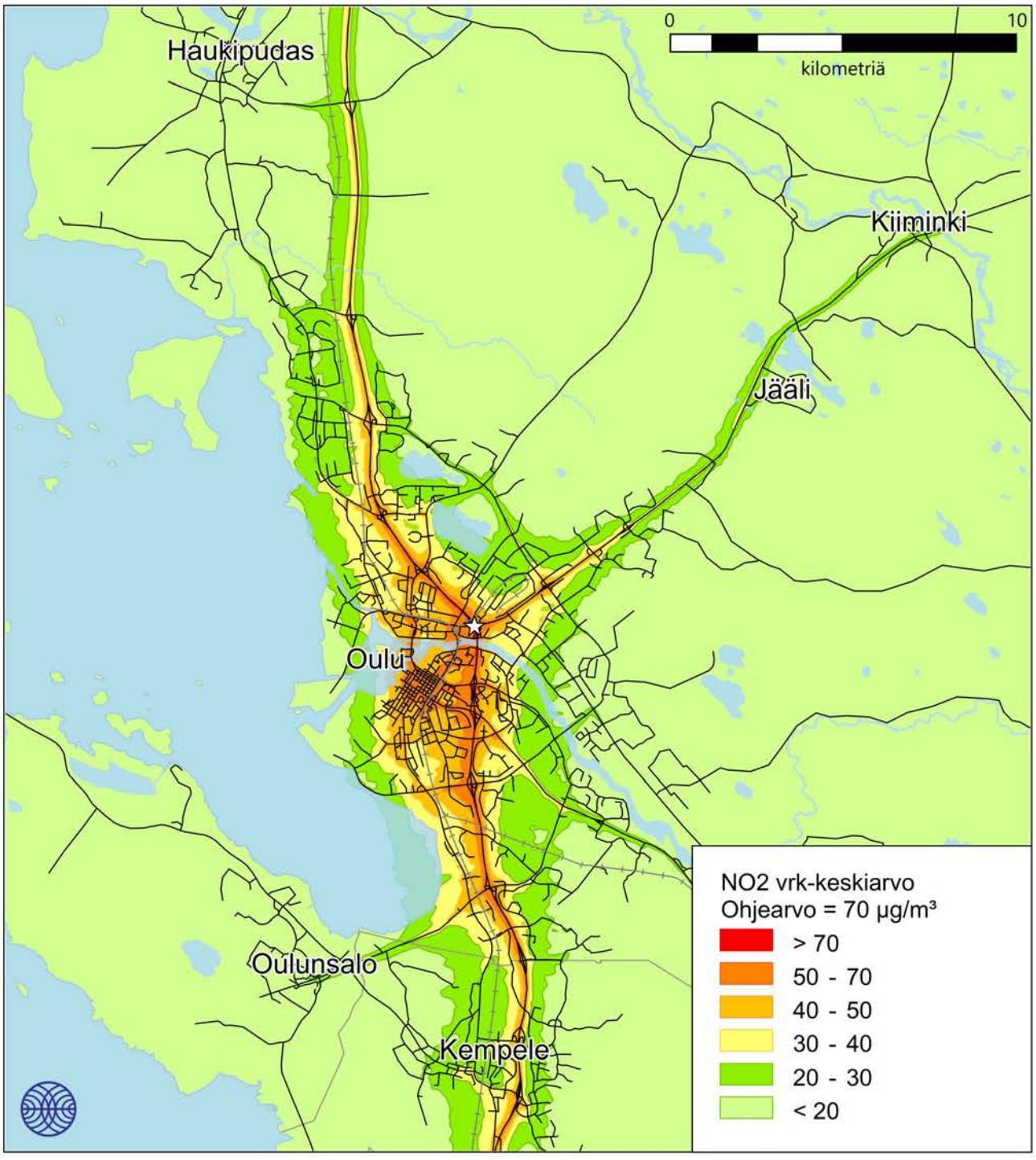
Kuva 7. Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttama typpidioksidin vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2017-2019.



Ilmatieteen laitos, 2021

☆ = maksimi 0,31 µg/m³

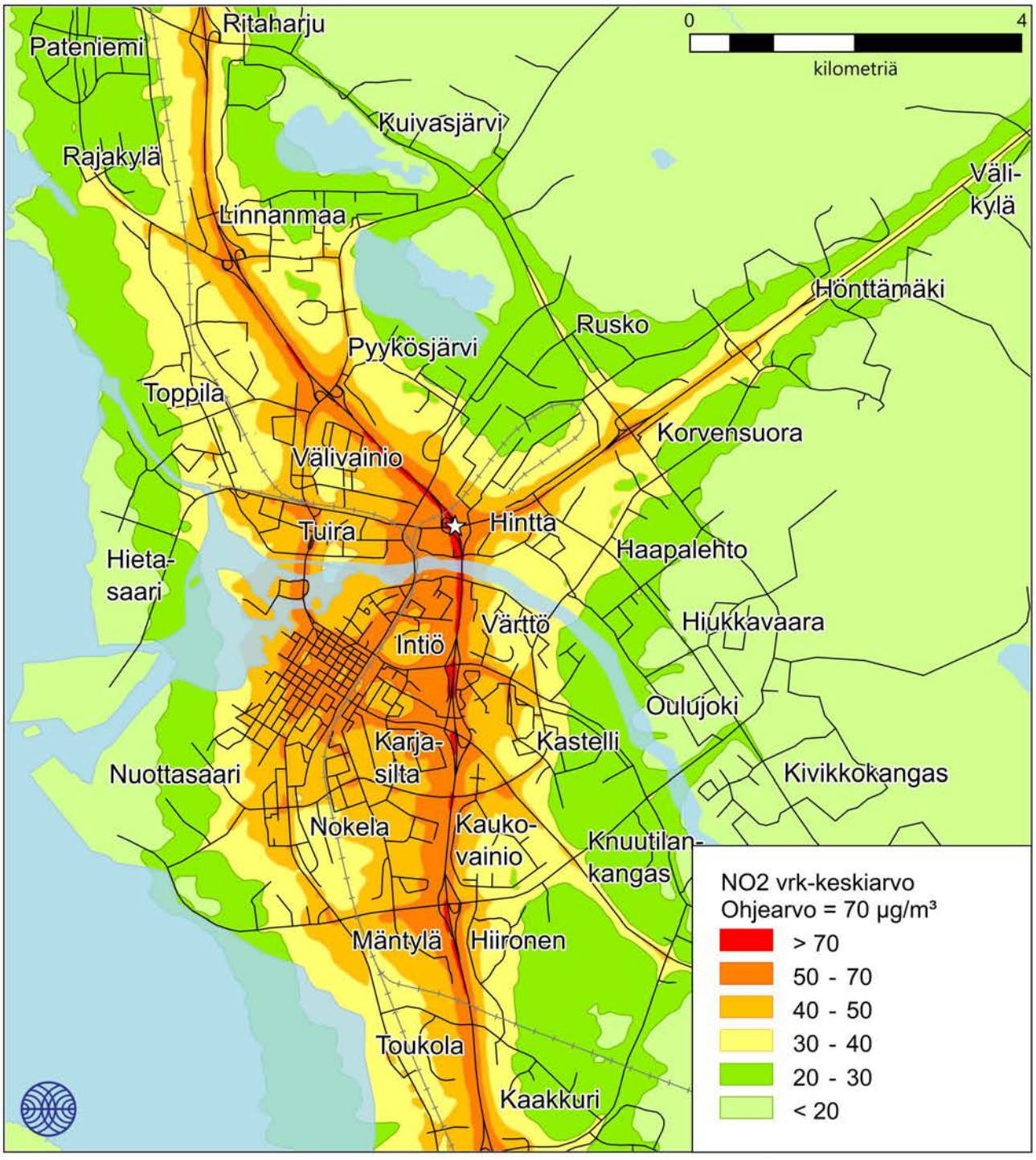
Kuva 8. Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttama typpidioksidin vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2017-2019.



Ilmatieteen laitos, 2021

☆ = maksimi 88 µg/m³

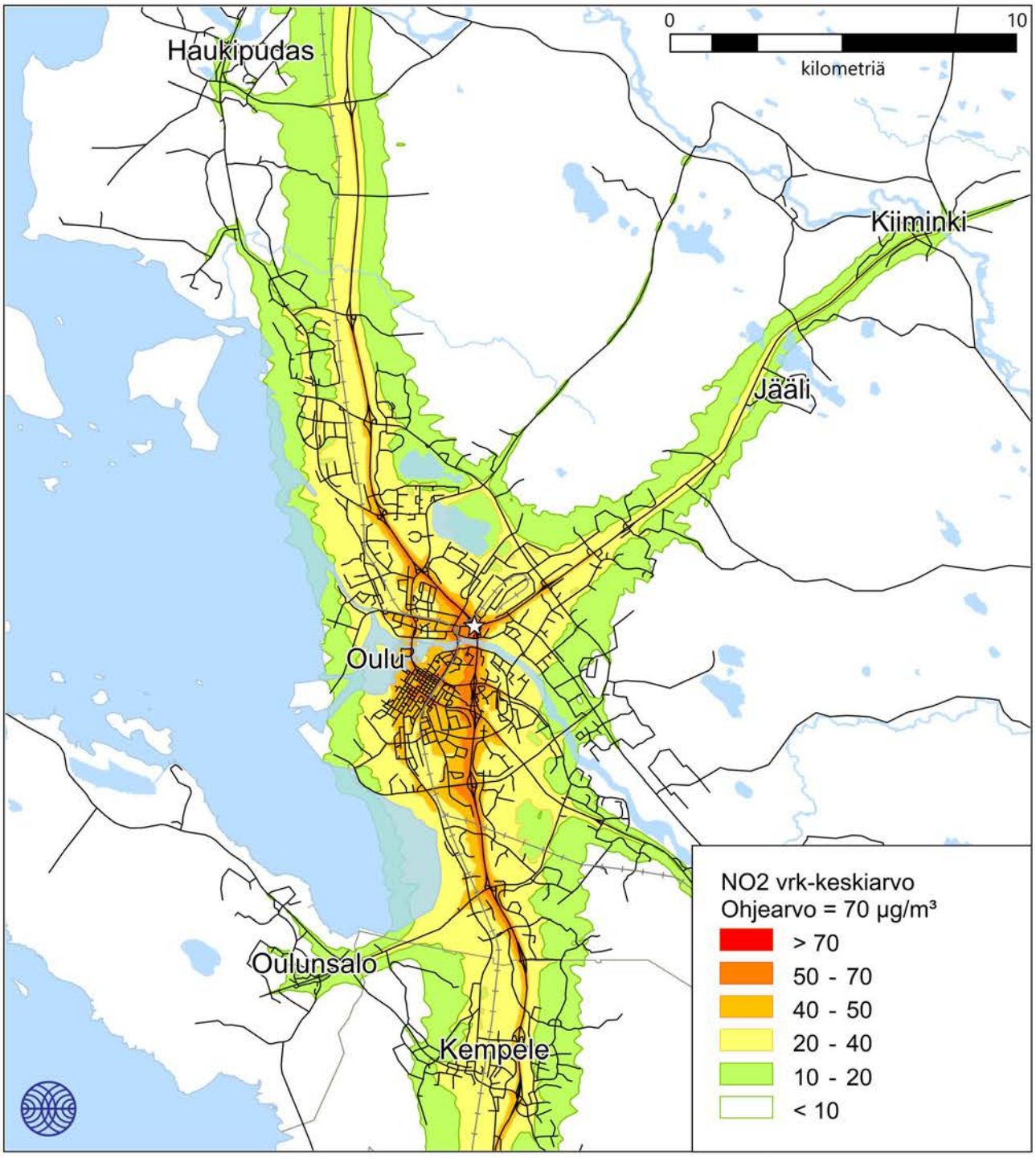
Kuva 9. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden yhdessä aiheuttama typpidioksidin vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2017-2019.



Ilmatieteen laitos, 2021

☆ = maksimi 88 µg/m³

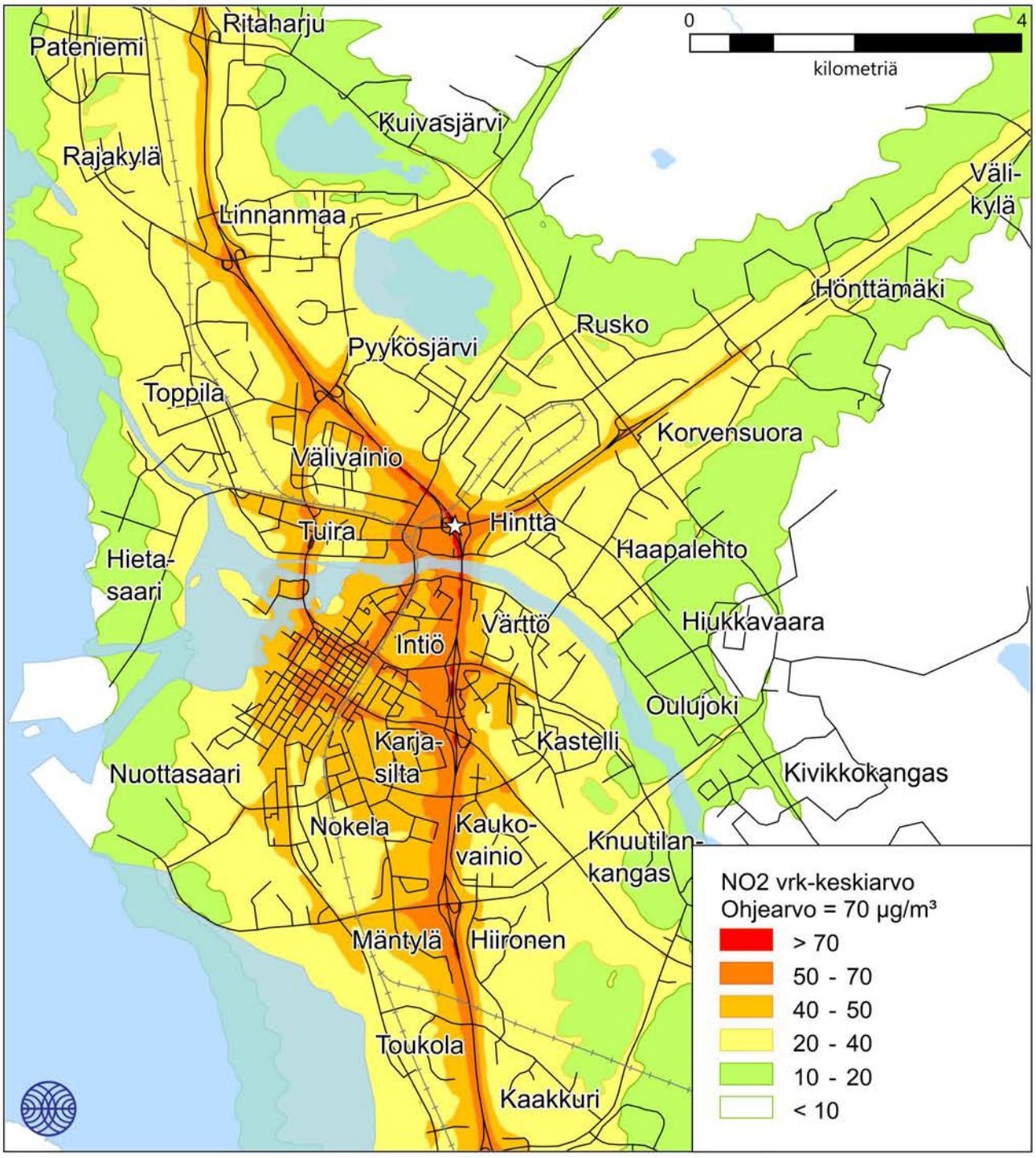
Kuva 10. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden yhdessä aiheuttama typpidioksidin vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2017-2019.



Ilmatieteen laitos, 2021

☆ = maksimi 85 µg/m³

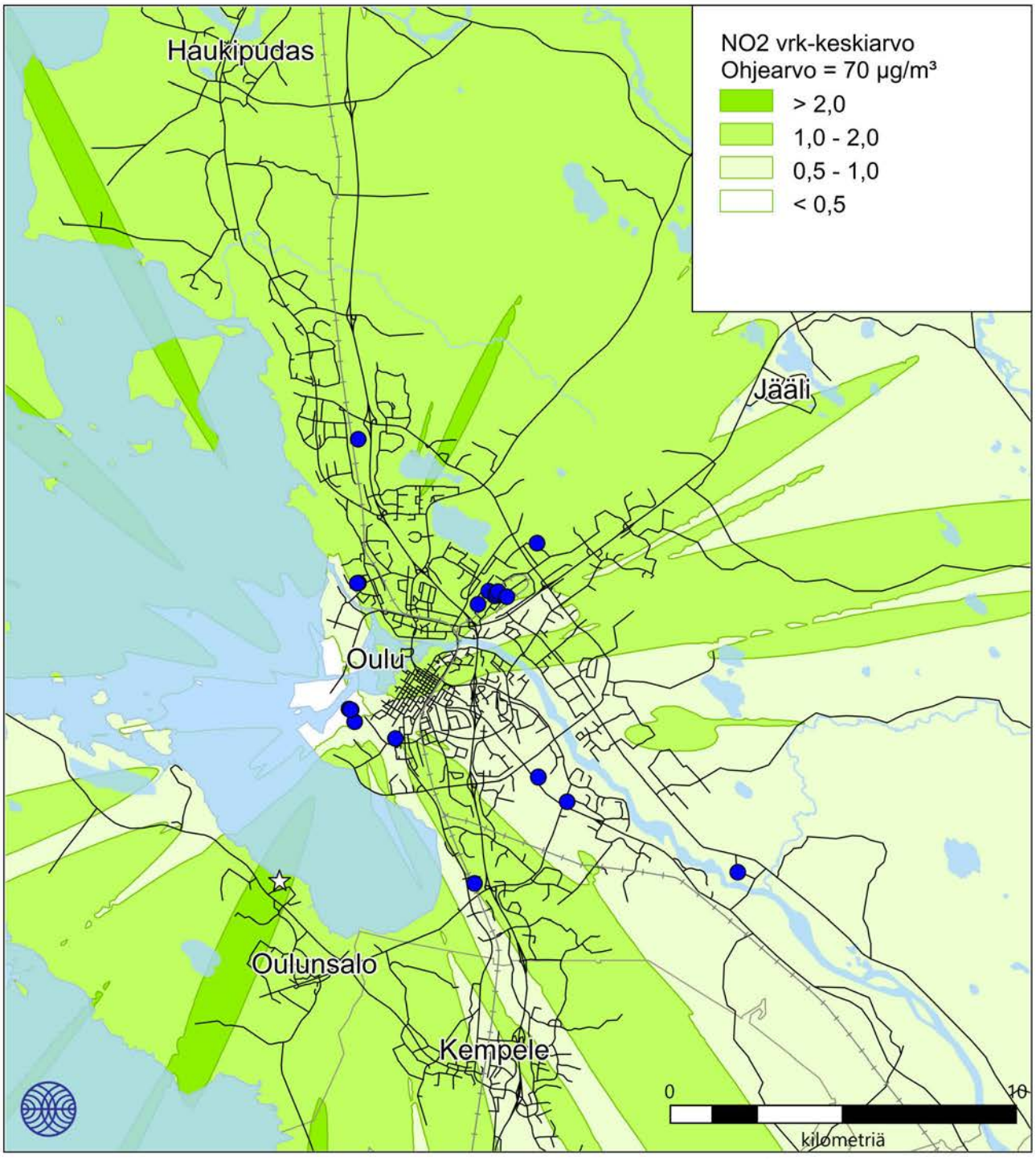
Kuva 11. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama typpidioksidin vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2017-2019.



Ilmatieteen laitos, 2021

☆ = maksimi 85 µg/m³

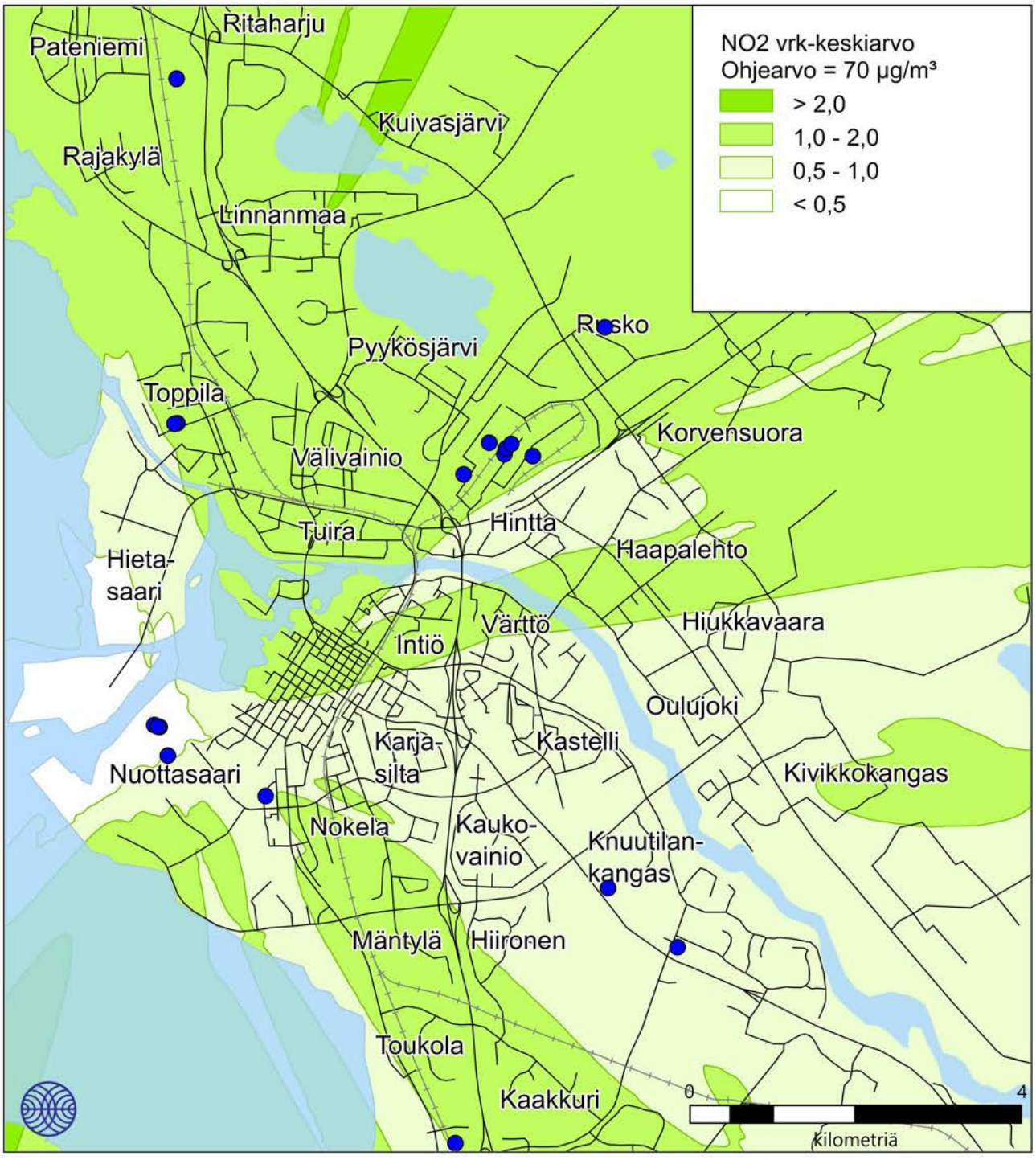
Kuva 12. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama typpidioksidin vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2017-2019.



Ilmatieteen laitos, 2021

☆ = maksimi 2,6 µg/m³

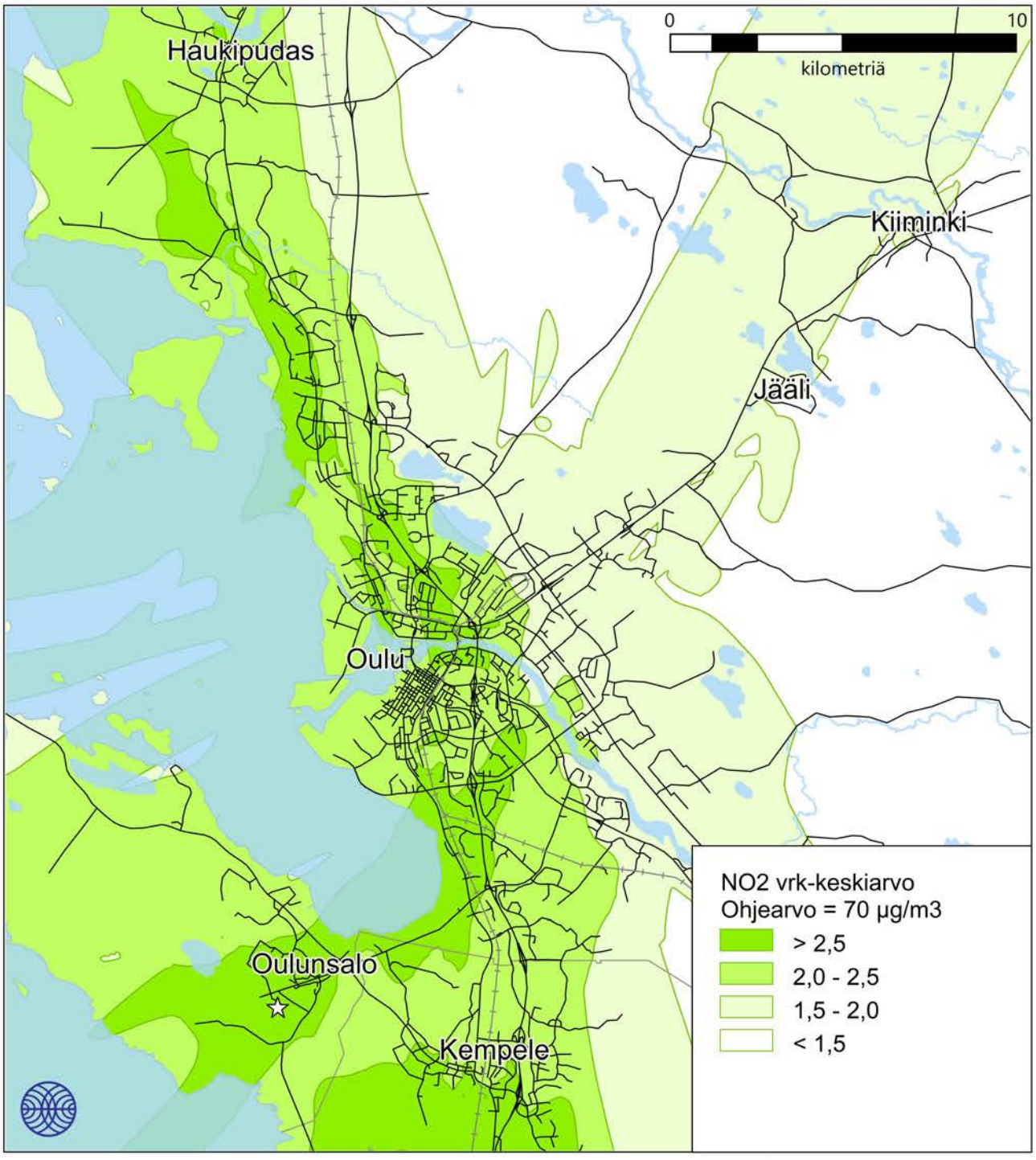
Kuva 13. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttama typpidioksidin vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2017-2019.



Ilmatieteen laitos, 2021

☆ = maksimi 2,6 µg/m³

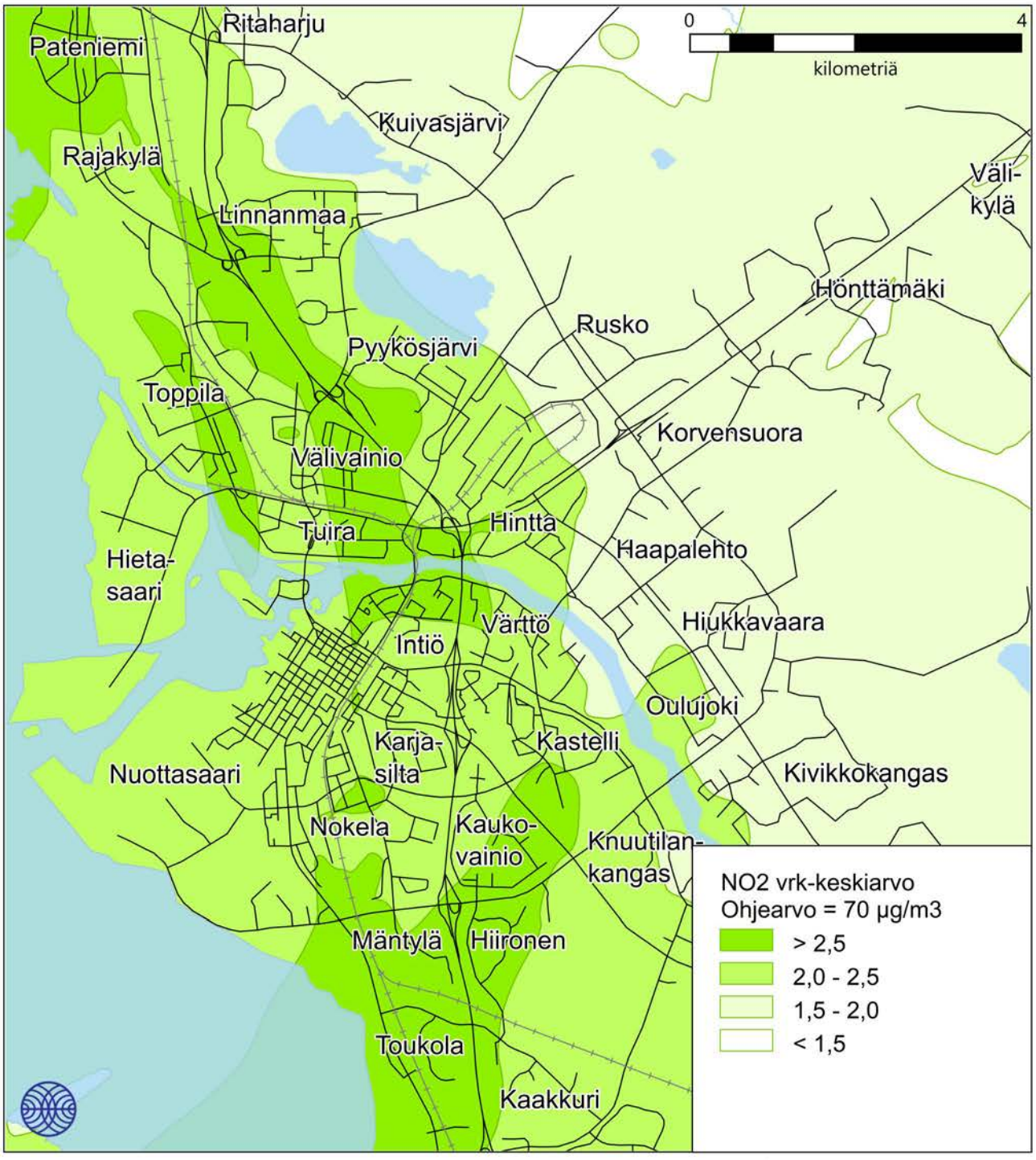
Kuva 14. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttama typpidioksidin vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2017-2019.



Ilmatieteen laitos, 2021

☆ = maksimi 3,6 µg/m³

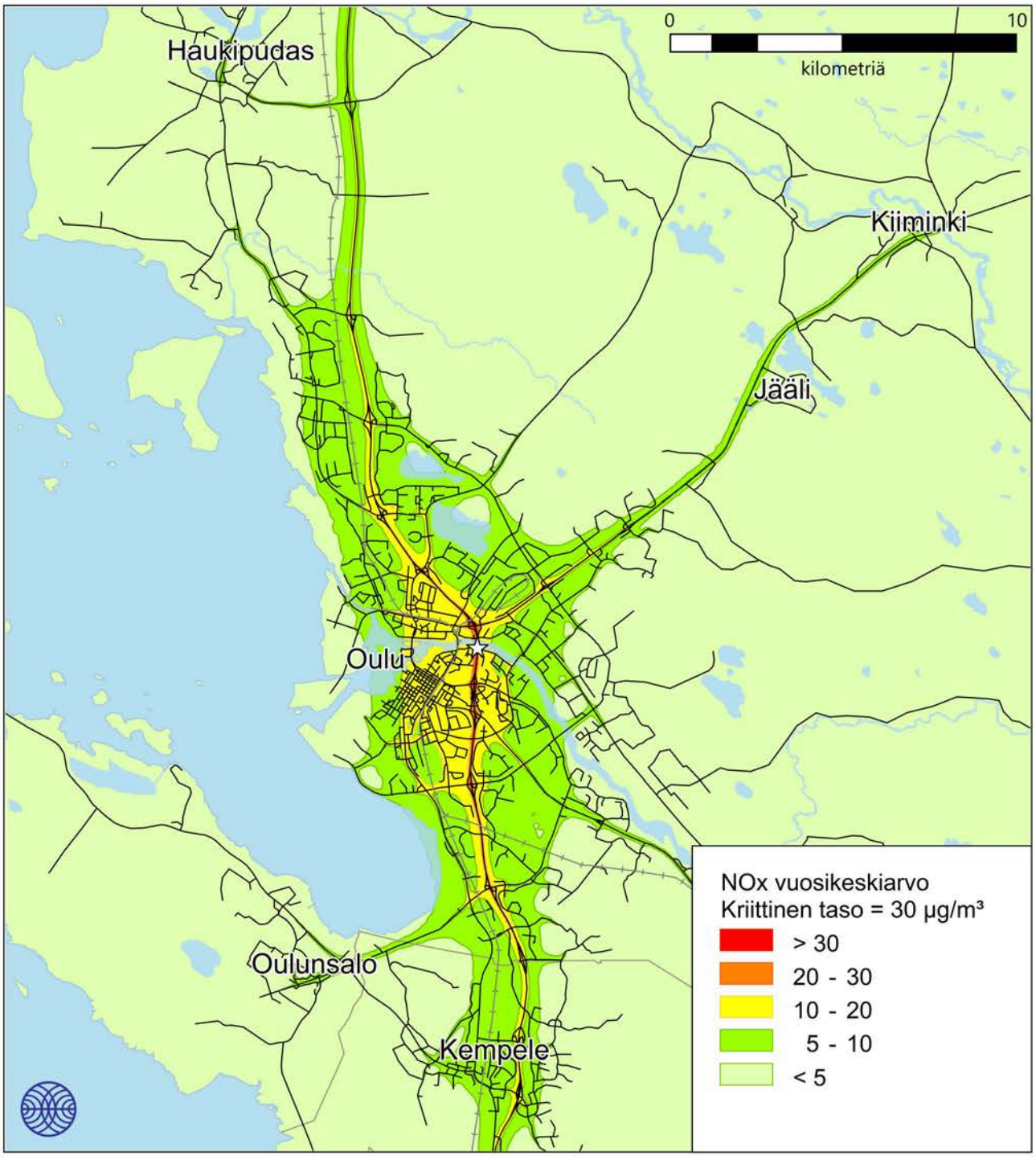
Kuva 15. Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttama typpidioksidin vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2017-2019.



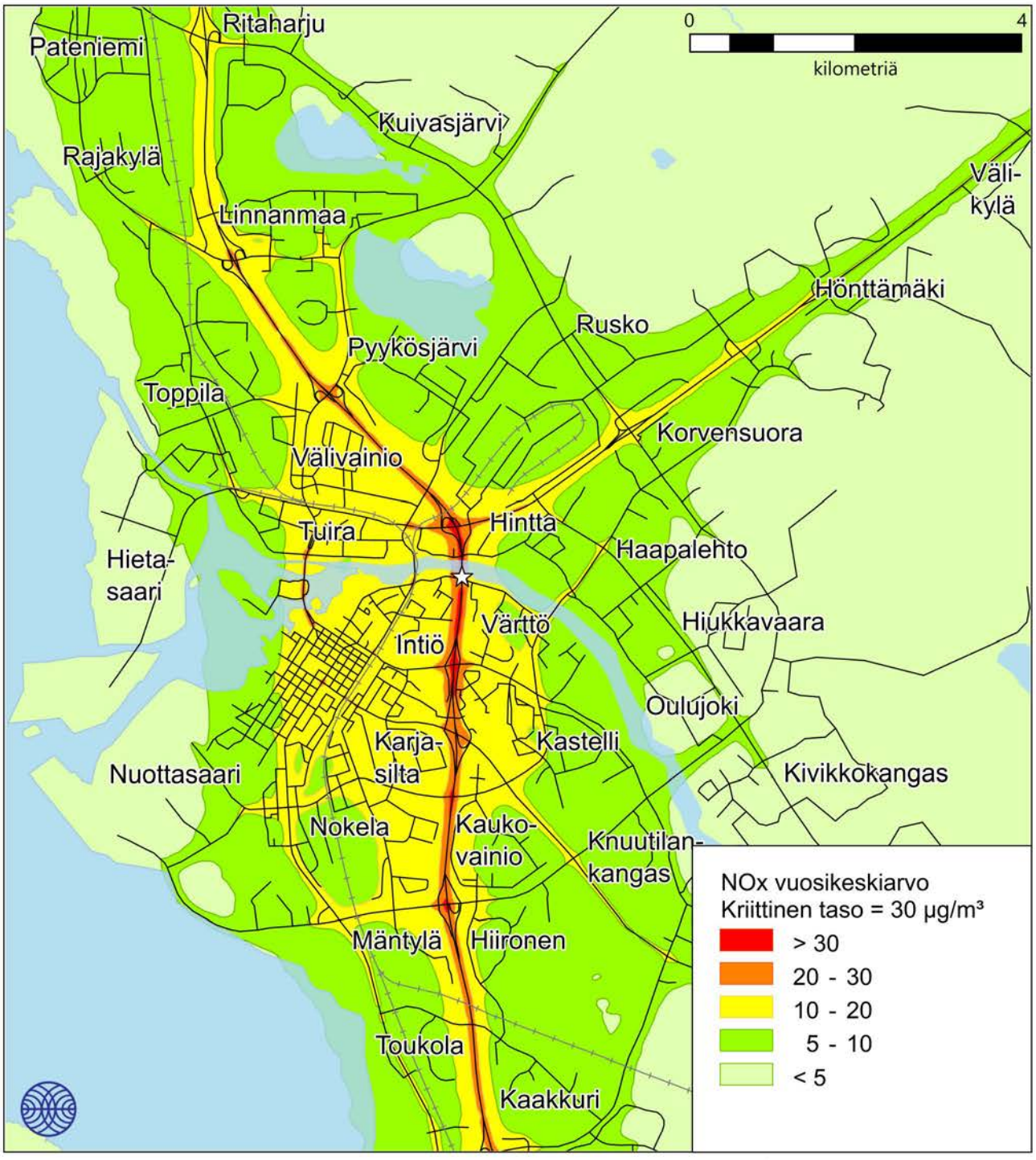
Ilmatieteen laitos, 2021

☆ = maksimi 3,6 µg/m³

Kuva 16. Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttama typpidioksidin vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2017-2019.



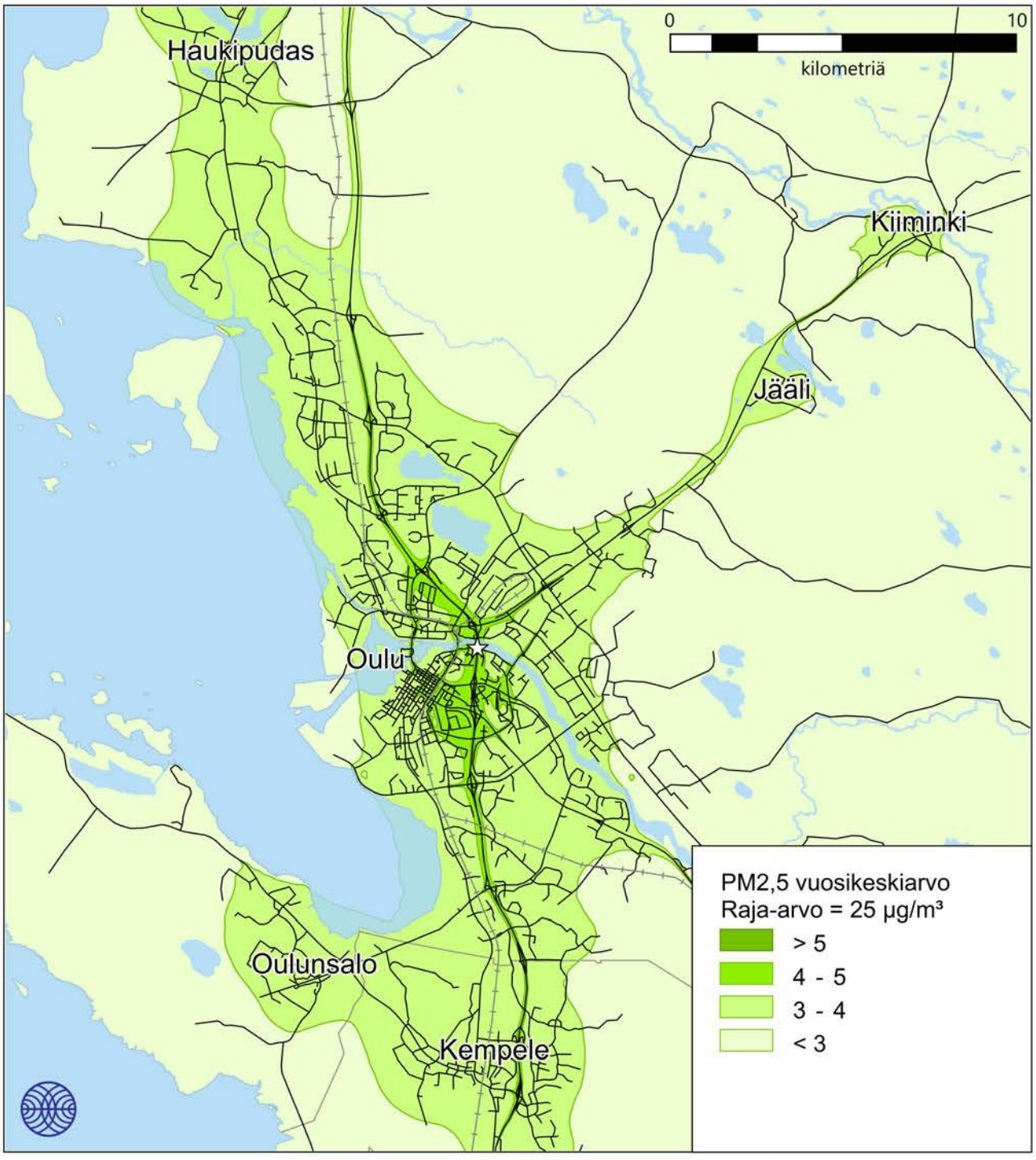
Kuva 17. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden yhdessä aiheuttama typen oksidien vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2017-2019.



Ilmatieteen laitos, 2021

☆ = maksimi 48 µg/m³

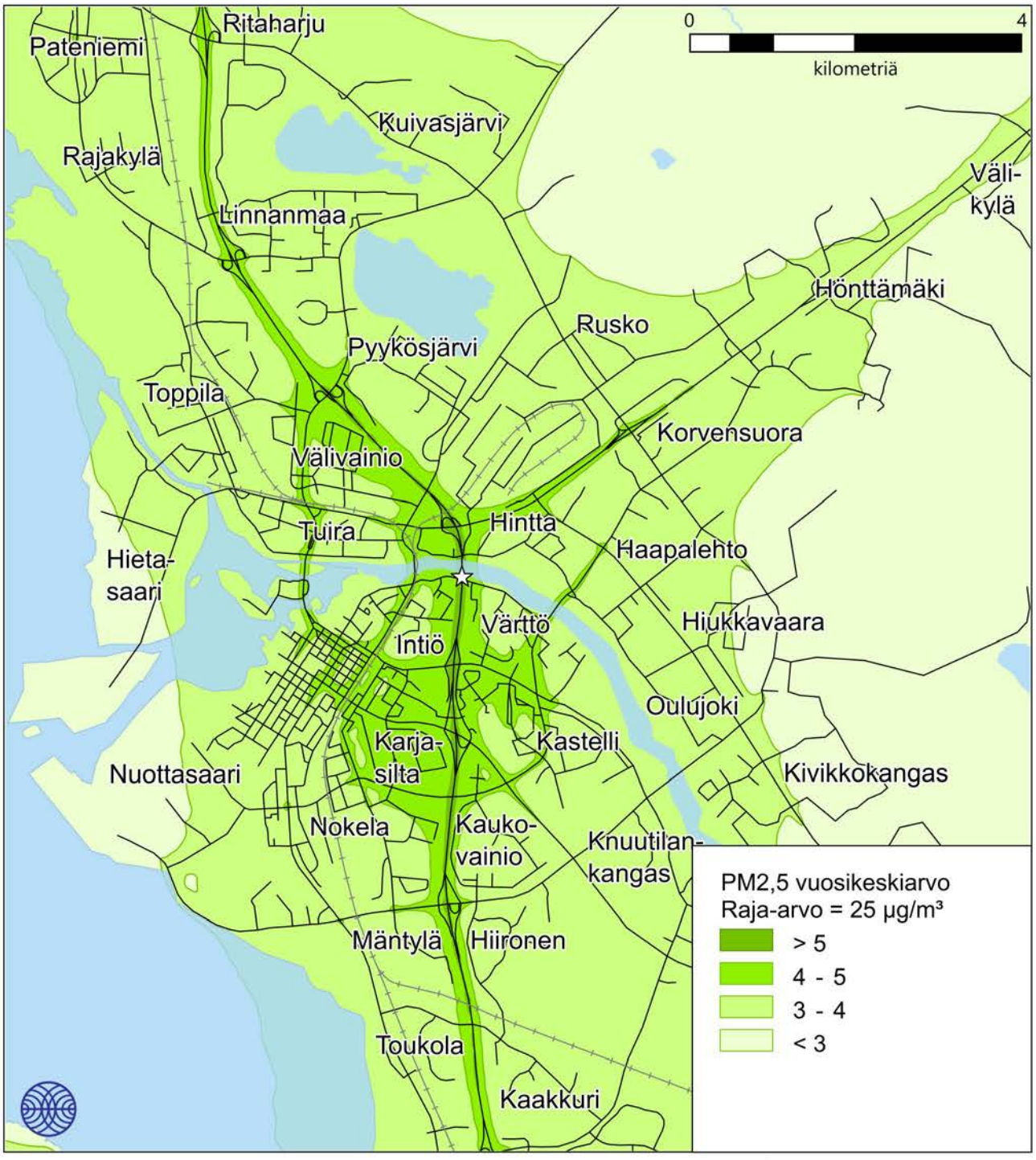
Kuva 18. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden yhdessä aiheuttama typen oksidien vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2017-2019.



Ilmatieteen laitos, 2021

☆ = maksimi 6,6 µg/m³

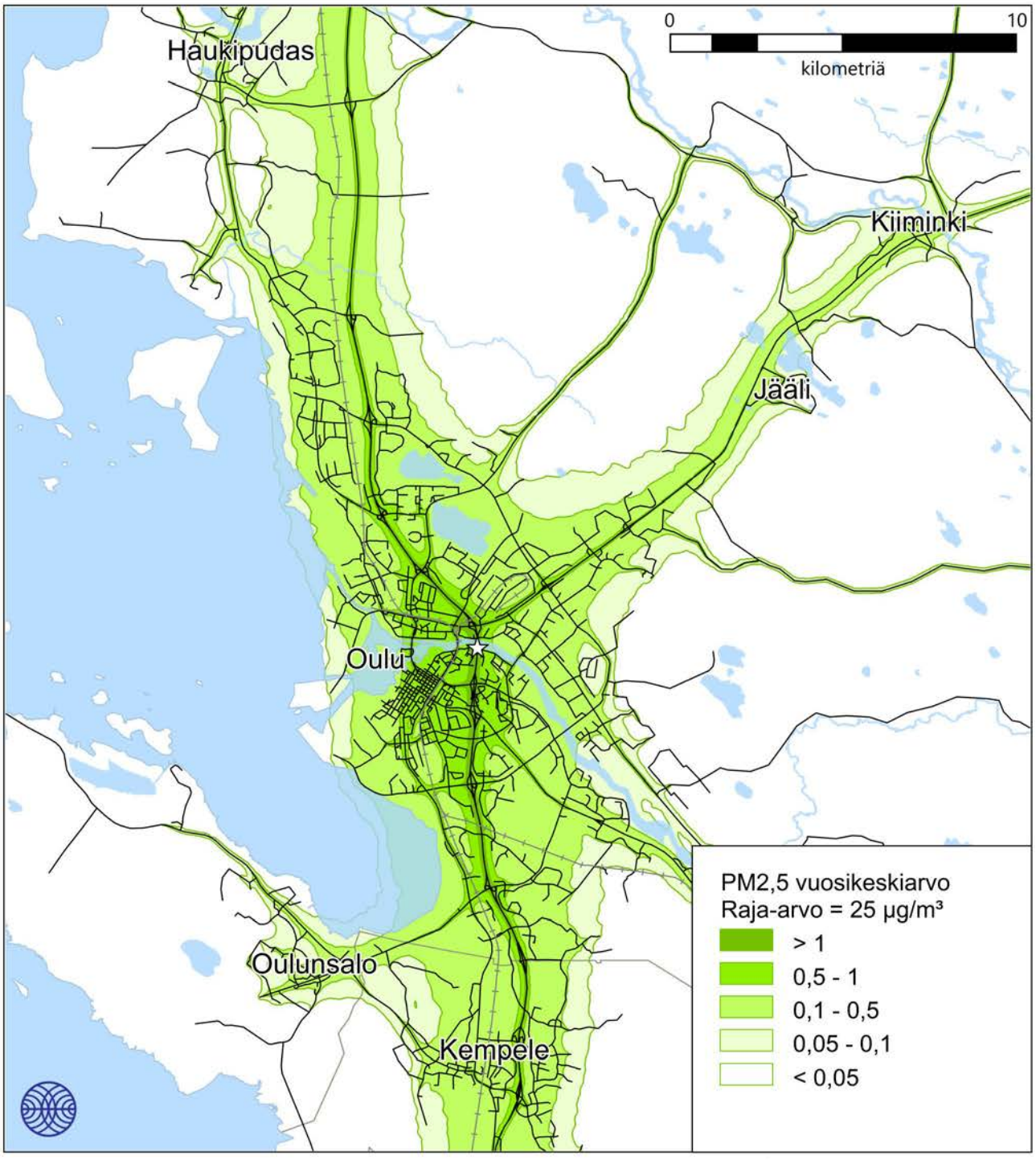
Kuva 19. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden yhdessä aiheuttama pienhiukkasten vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2017-2019.



Ilmatieteen laitos, 2021

☆ = maksimi 6,6 µg/m³

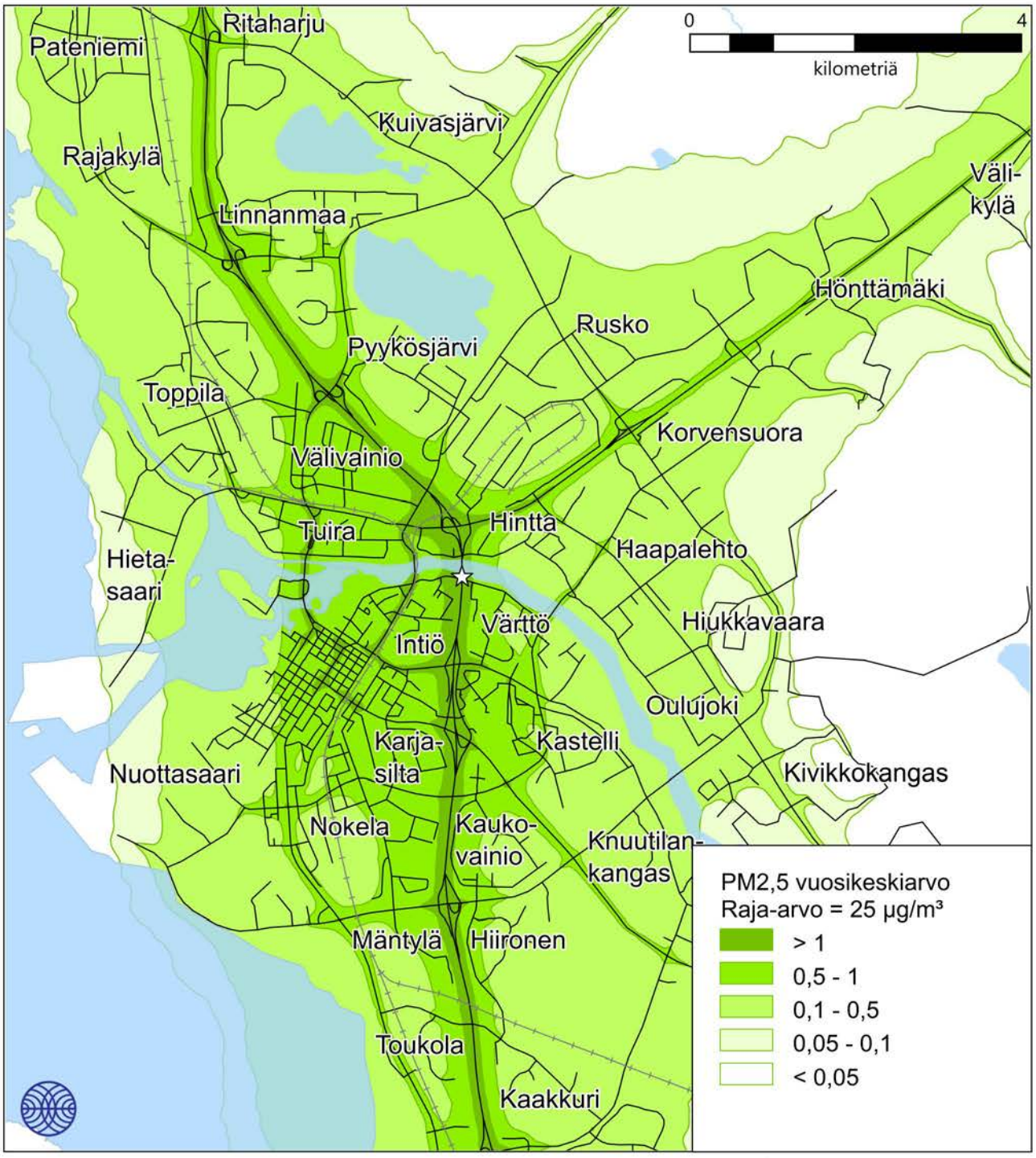
Kuva 20. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden yhdessä aiheuttama pienhiukkasten vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2017-2019.



Ilmatieteen laitos, 2021

☆ = maksimi 3,4 µg/m³

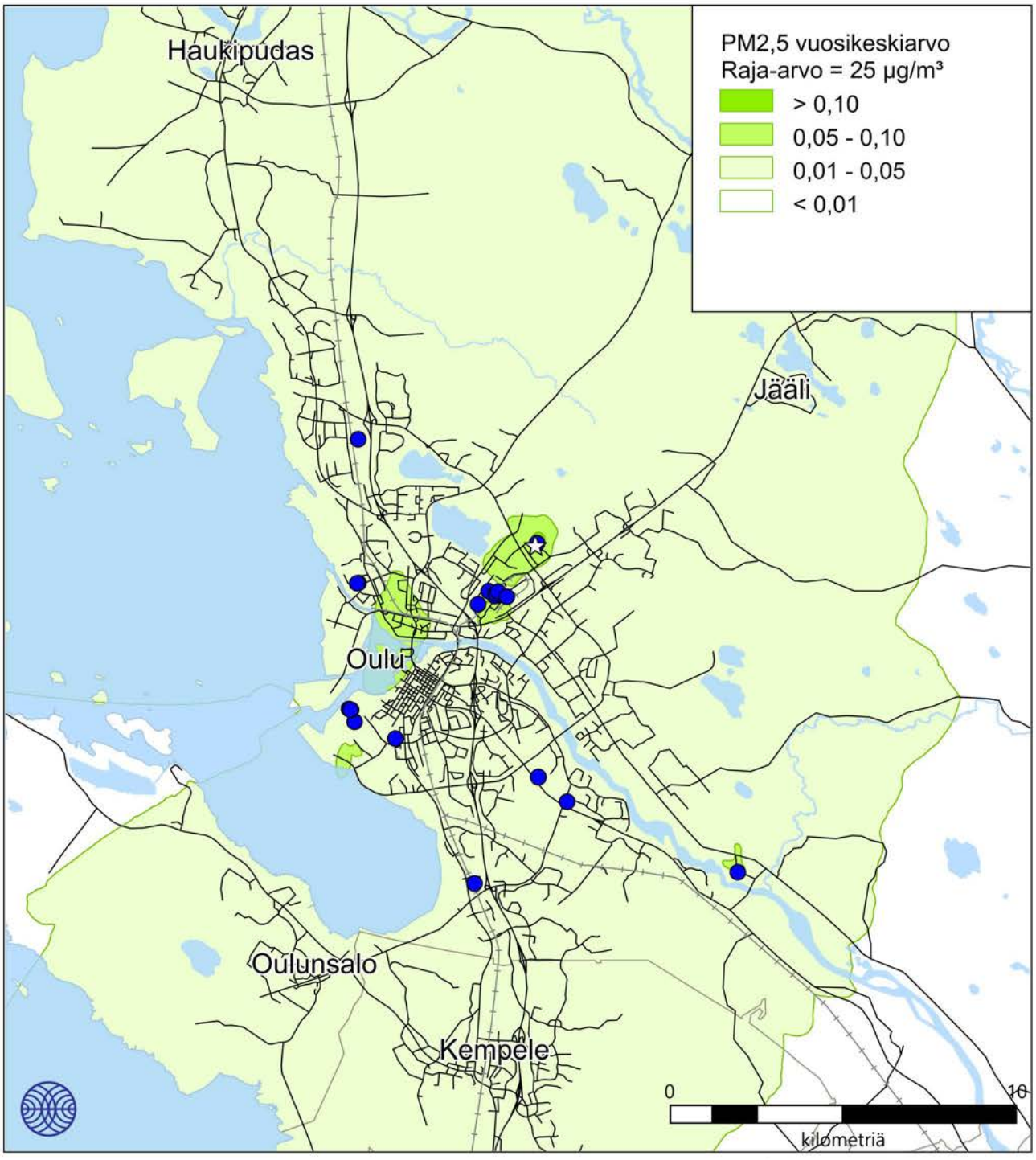
Kuva 21. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama pienhiukkasten vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2017-2019.



Ilmatieteen laitos, 2021

☆ = maksimi 3,4 µg/m³

Kuva 22. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama pienhiukkasten vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2017-2019.



Ilmatieteen laitos, 2021

☆ = maksimi 0,18 µg/m³

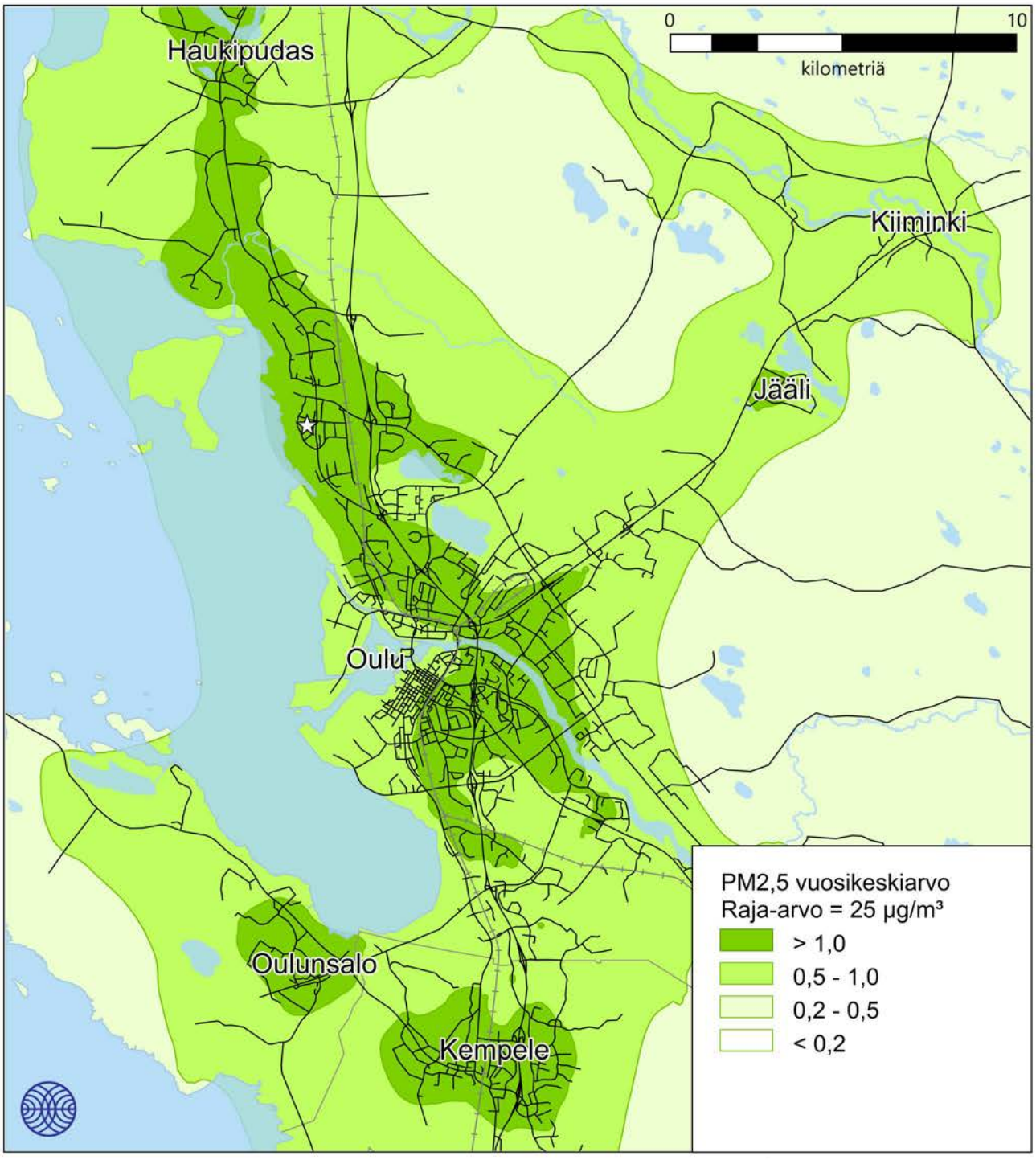
Kuva 23. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttama pienhiukkasten vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2017-2019.



Ilmatieteen laitos, 2021

☆ = maksimi 0,18 µg/m³

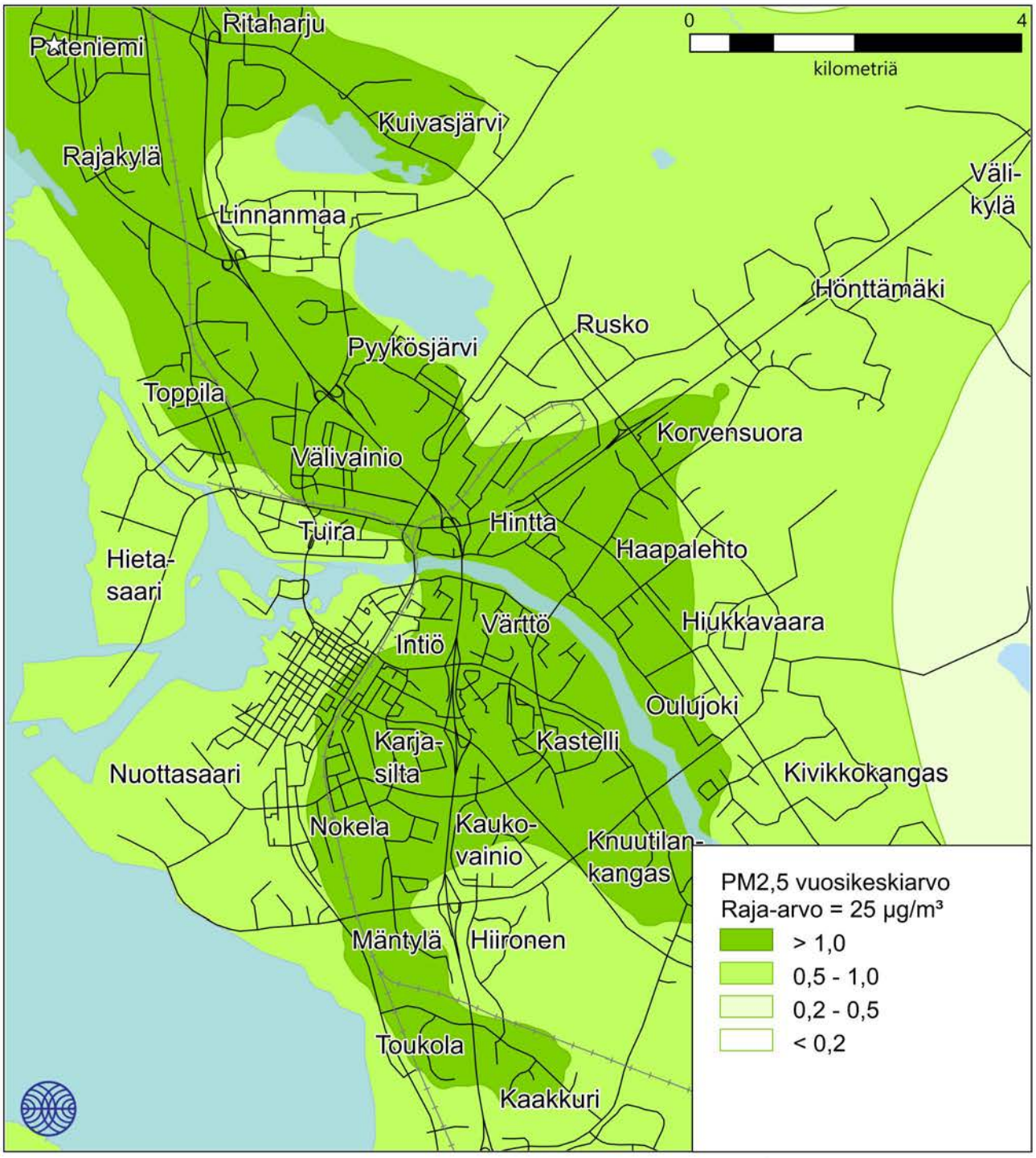
Kuva 24. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttama pienhiukkasten vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2017-2019.



Ilmatieteen laitos, 2021

☆ = maksimi 1,6 µg/m³

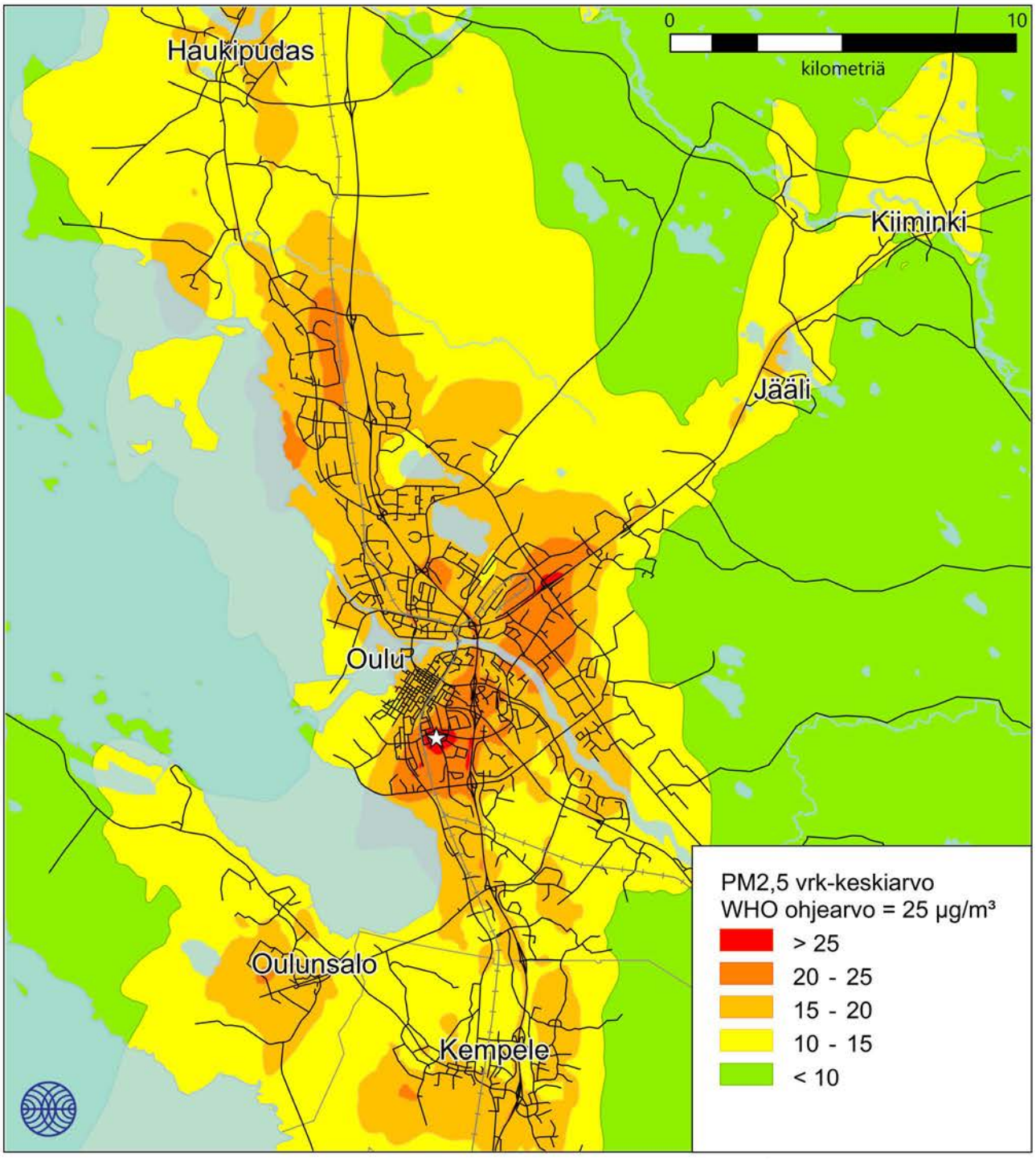
Kuva 25. Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttama pienhiukkasten vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2017-2019.



Ilmatieteen laitos, 2021

☆ = maksimi 1,6 µg/m³

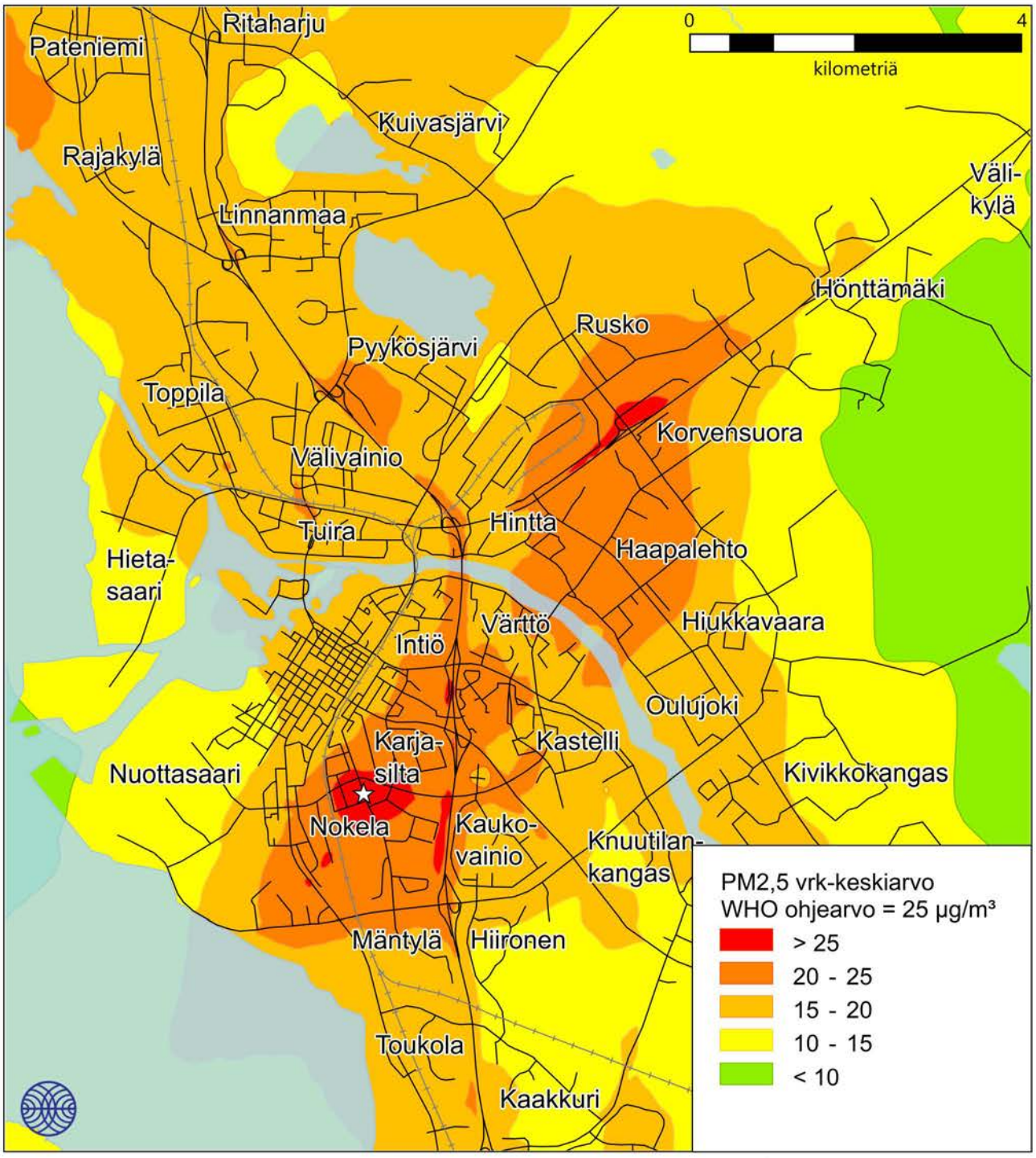
Kuva 26. Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttama pienhiukkasten vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2017-2019.



Ilmatieteen laitos, 2021

☆ = maksimi 28 µg/m³

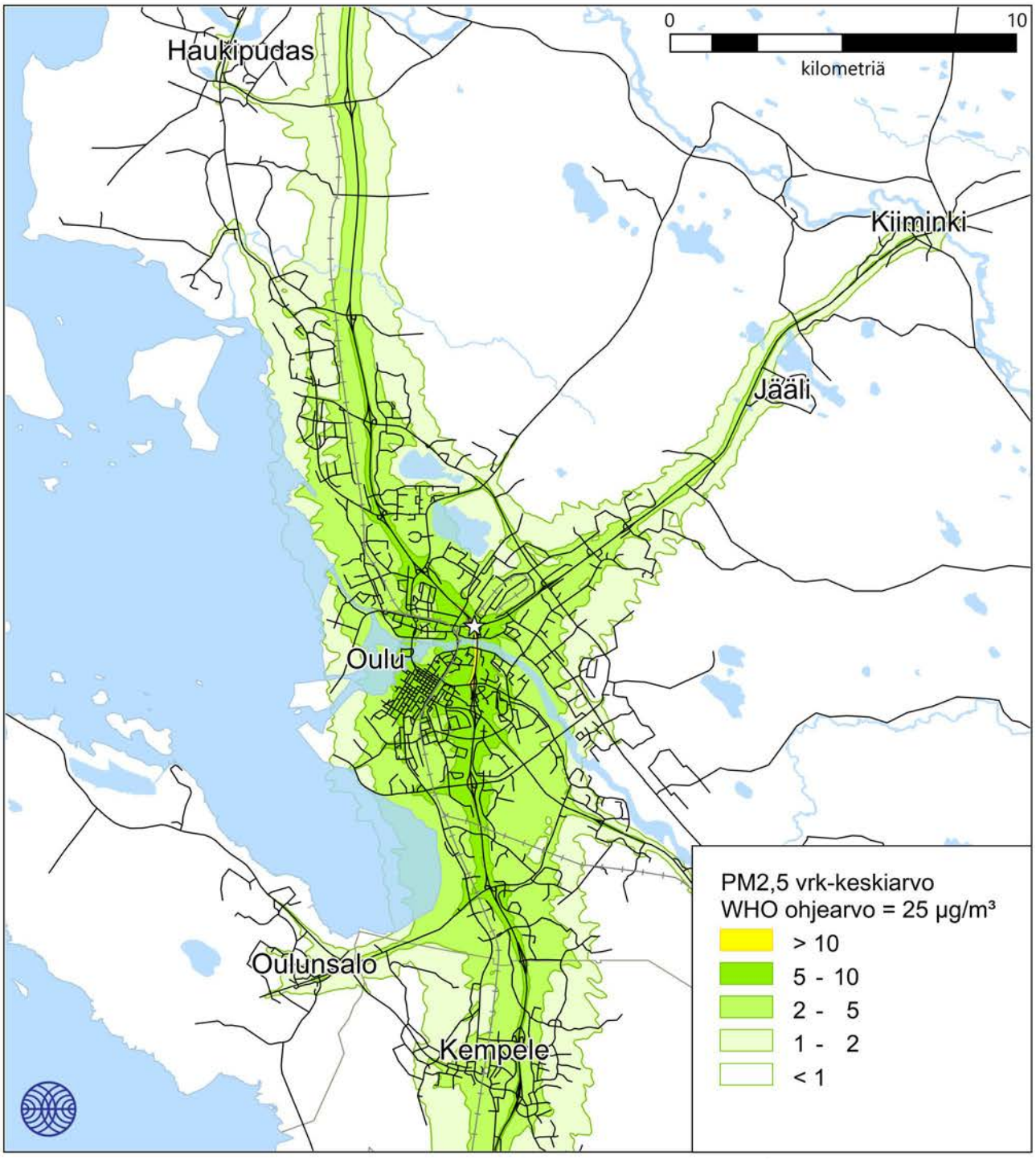
Kuva 27. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden yhdessä aiheuttama pienhiukkasten WHO:n vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2017-2019.



Ilmatieteen laitos, 2021

☆ = maksimi 28 µg/m³

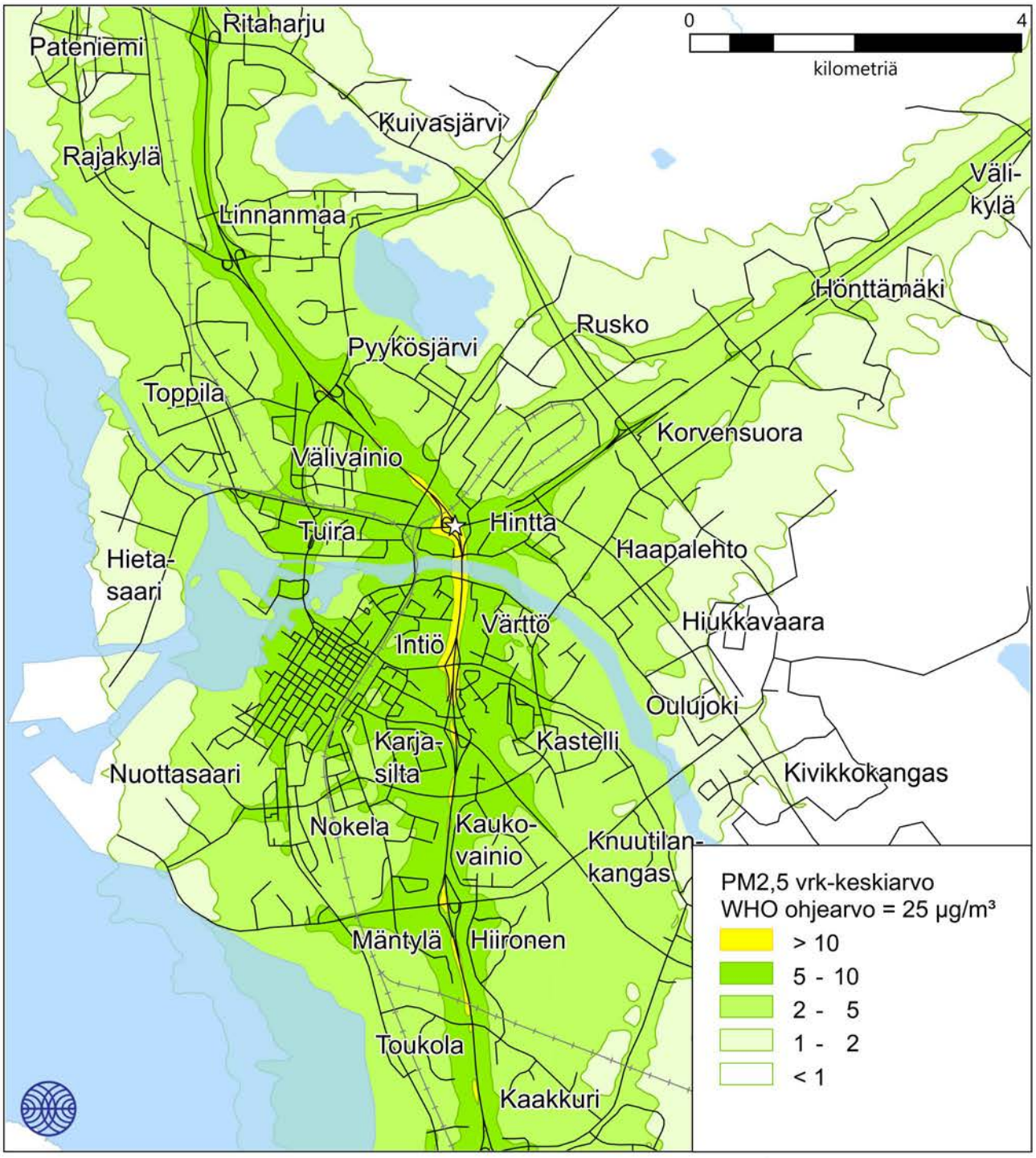
Kuva 28. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden yhdessä aiheuttama pienhiukkasten WHO:n vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2017-2019.



Ilmatieteen laitos, 2021

☆ = maksimi 15 µg/m³

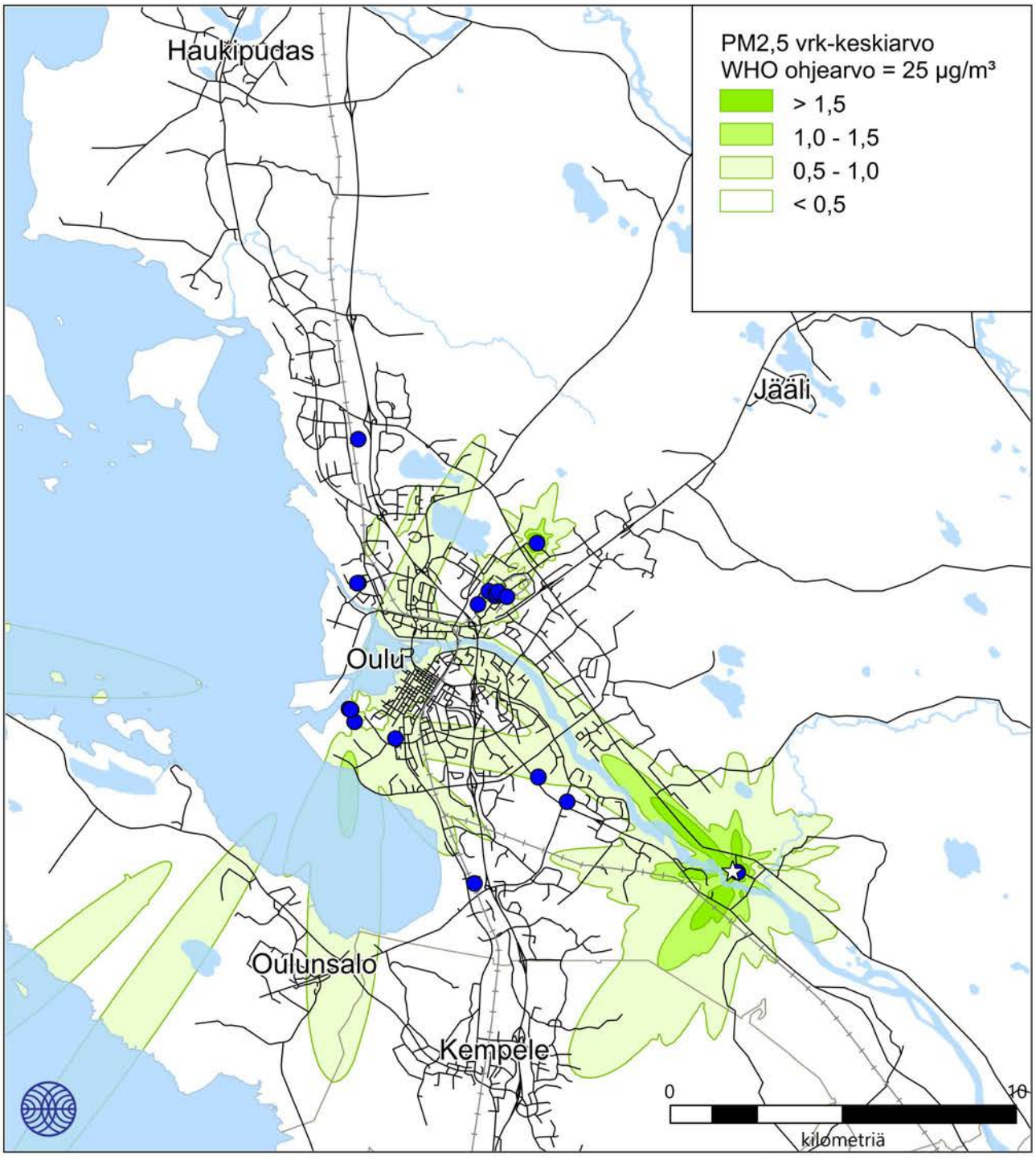
Kuva 29. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama pienhiukkasten WHO:n vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2017-2019.



Ilmatieteen laitos, 2021

☆ = maksimi 15 µg/m³

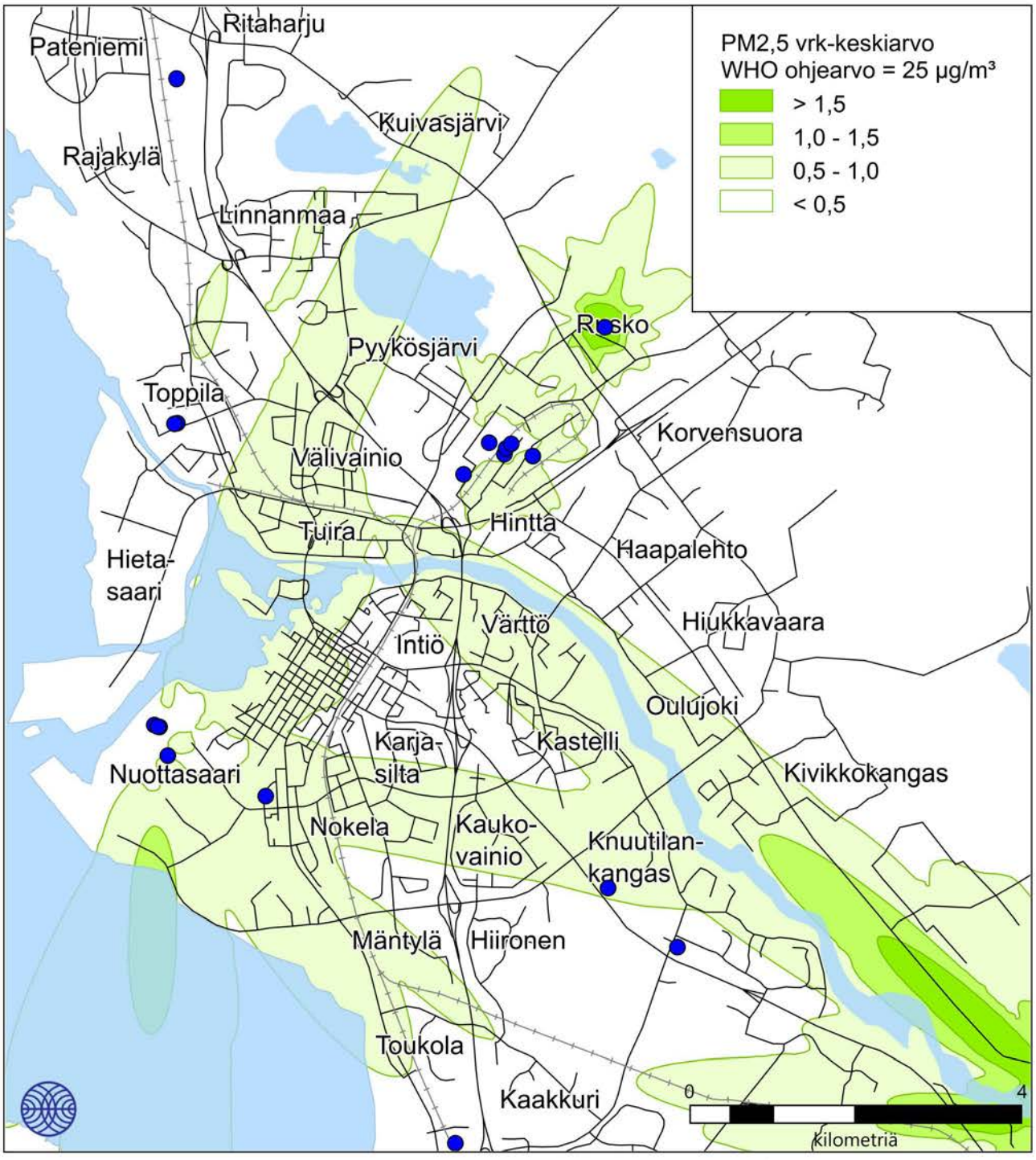
Kuva 30. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama pienhiukkasten WHO:n vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2017-2019.



Ilmatieteen laitos, 2021

☆ = maksimi 8,6 µg/m³

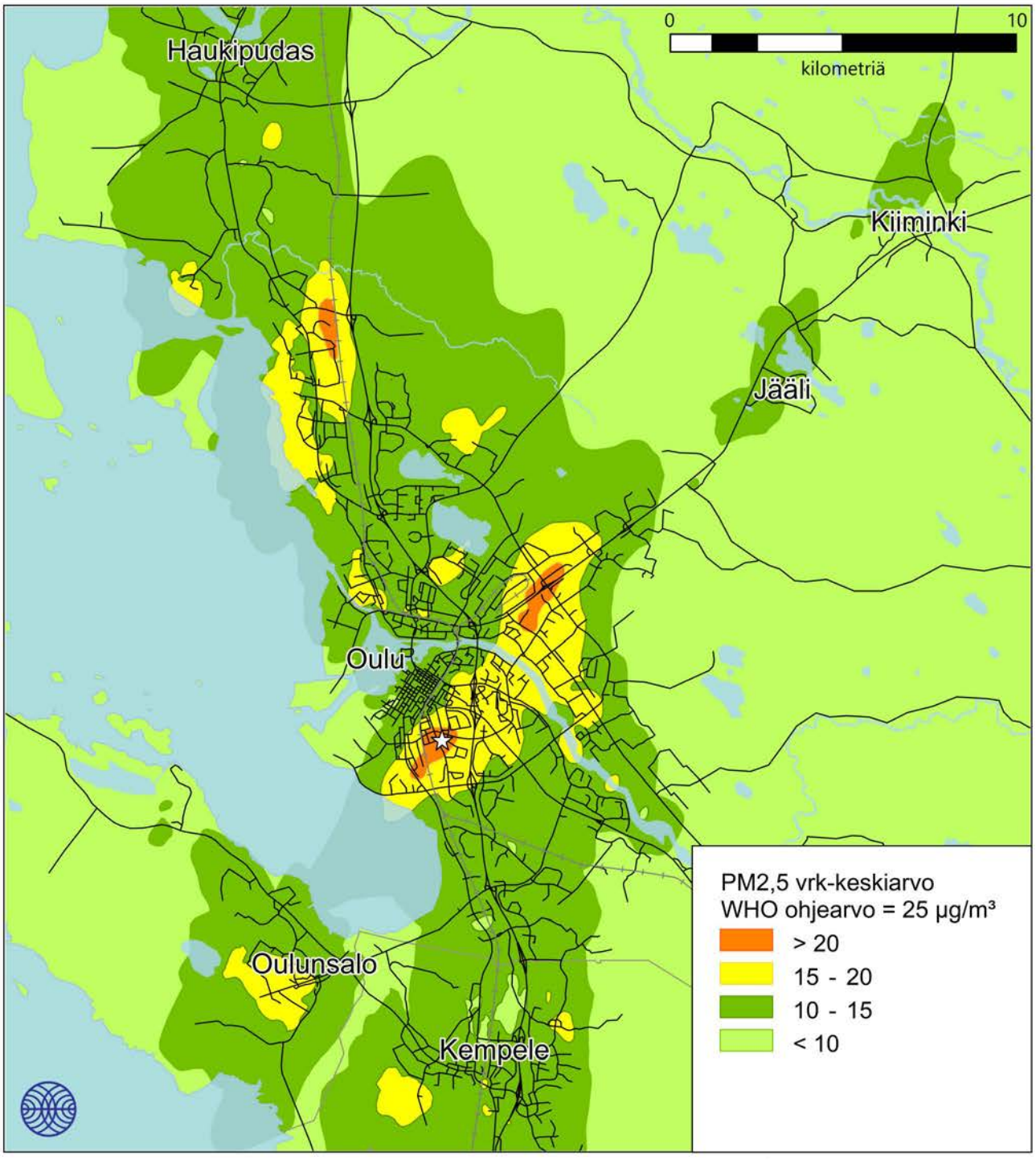
Kuva 31. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttama pienhiukkasten WHO:n vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2017-2019.



Ilmatieteen laitos, 2021

☆ = maksimi 8,6 µg/m³

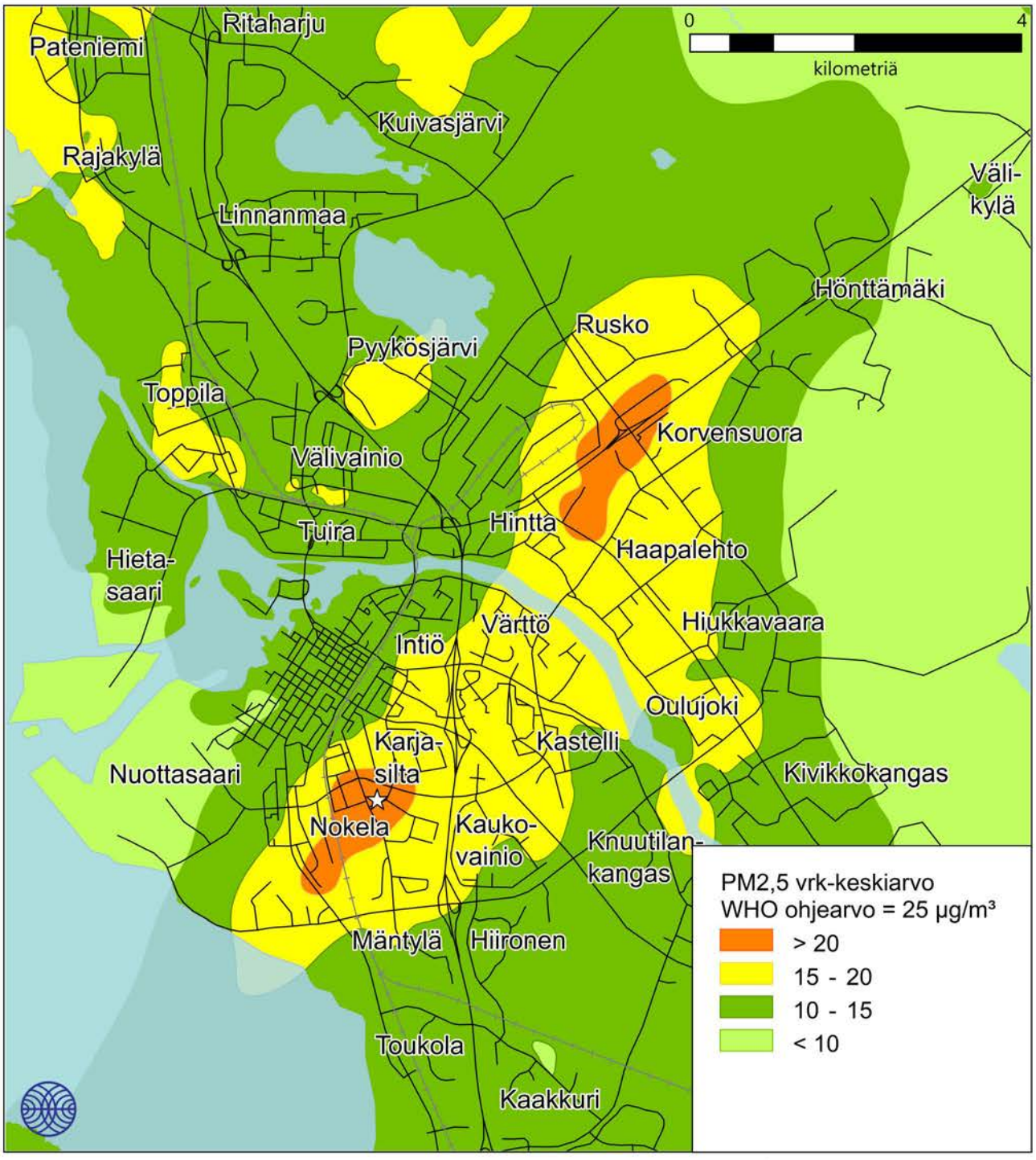
Kuva 32. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttama pienhiukkasten WHO:n vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2017-2019.



Ilmatieteen laitos, 2021

☆ = maksimi 23 µg/m³

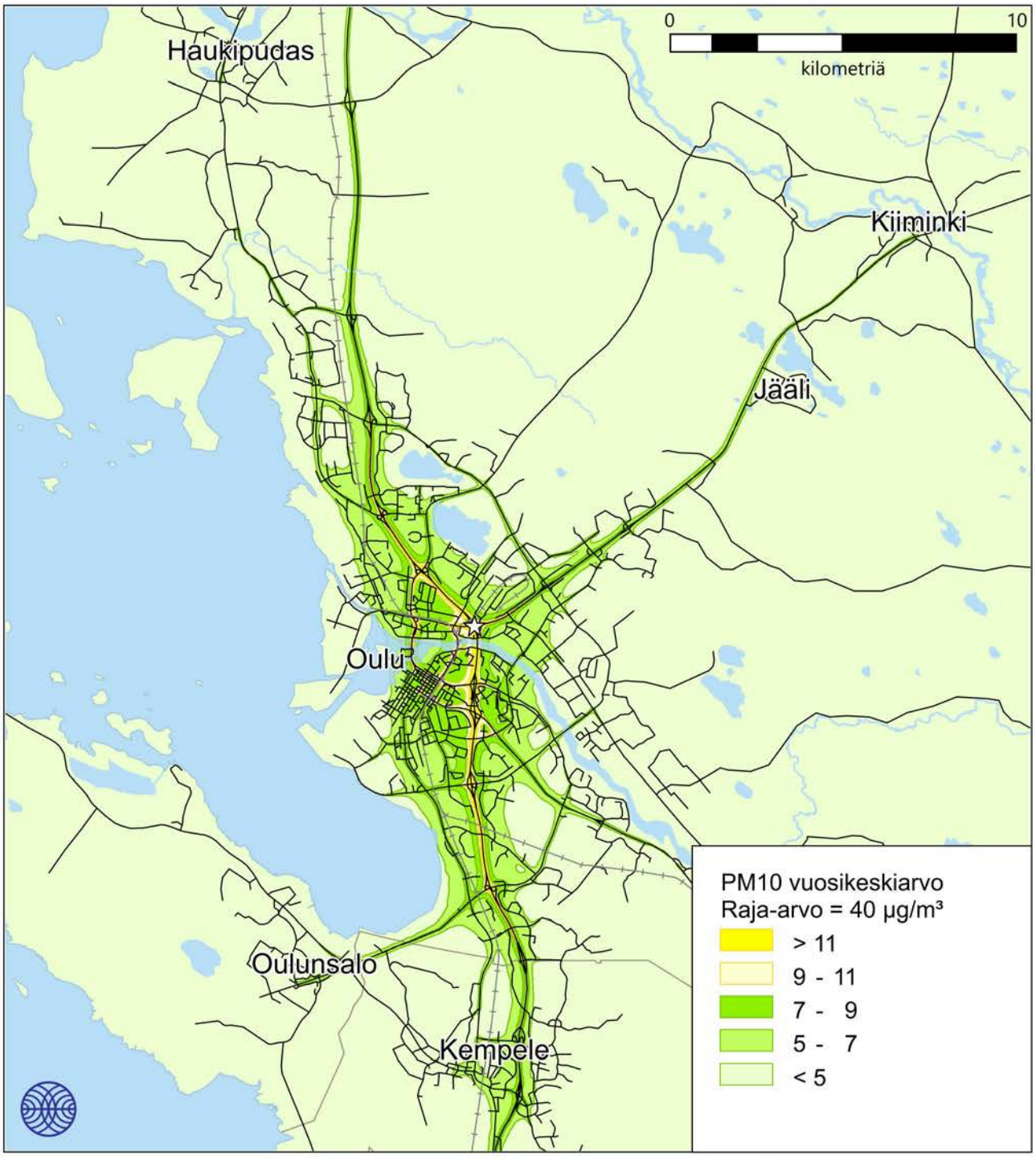
Kuva 33. Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttama pienhiukkasten WHO:n vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2017-2019.



Ilmatieteen laitos, 2021

☆ = maksimi 23 µg/m³

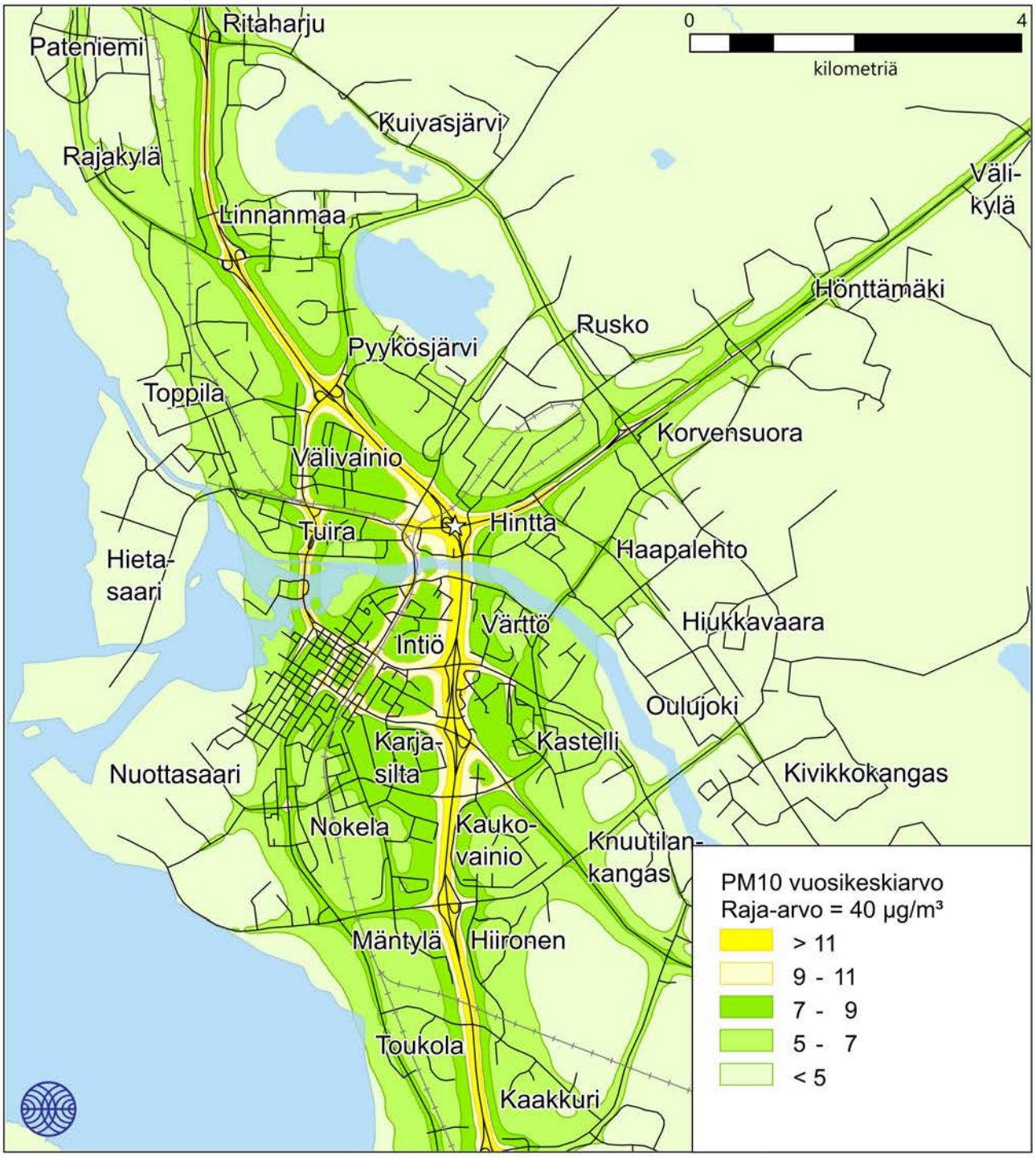
Kuva 34. Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttama pienhiukkasten WHO:n vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2017-2019.



Ilmatieteen laitos, 2021

☆ = maksimi 25 µg/m³

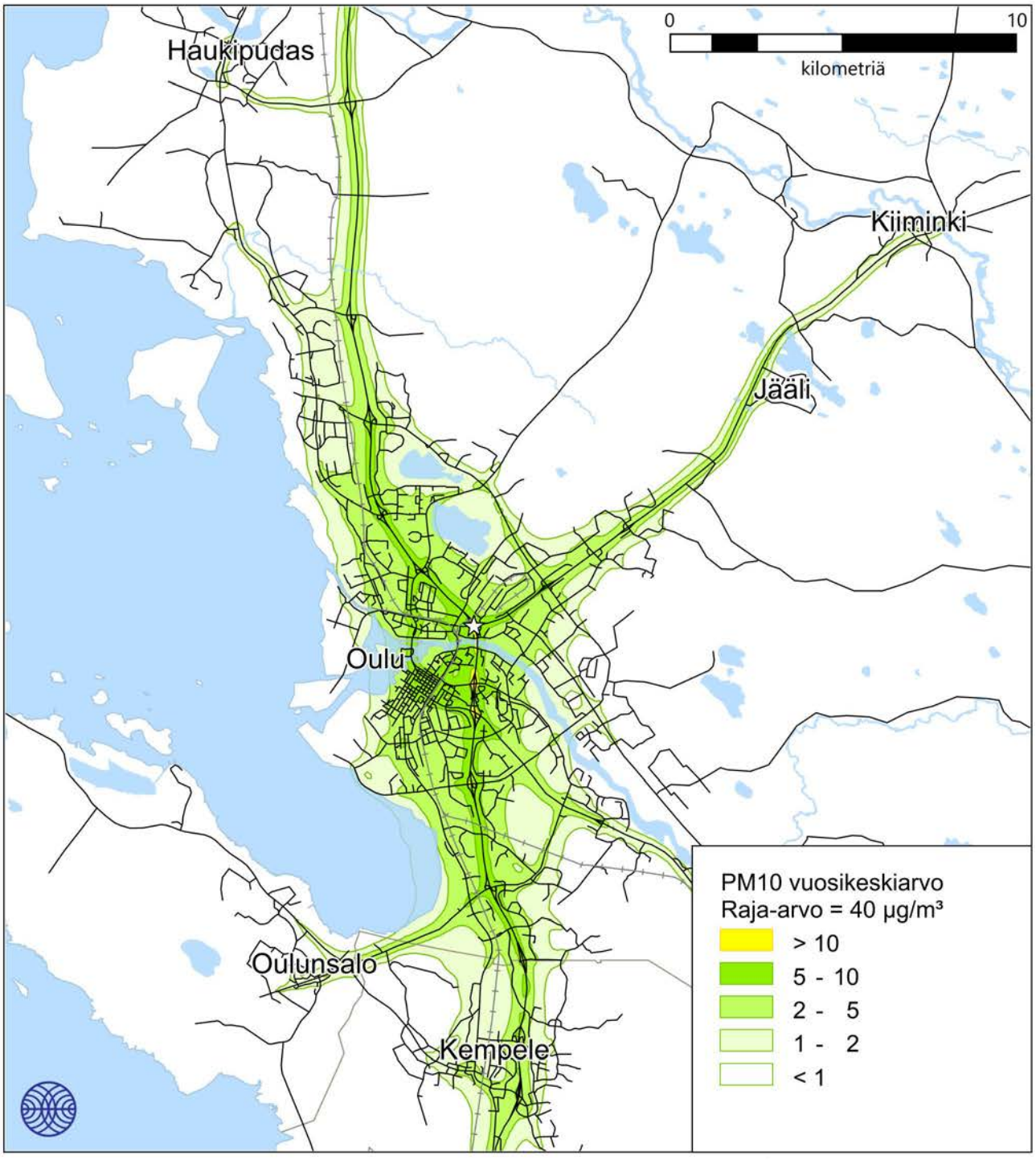
Kuva 35. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden yhdessä aiheuttama hengitettävien hiukkasten vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2017-2019.



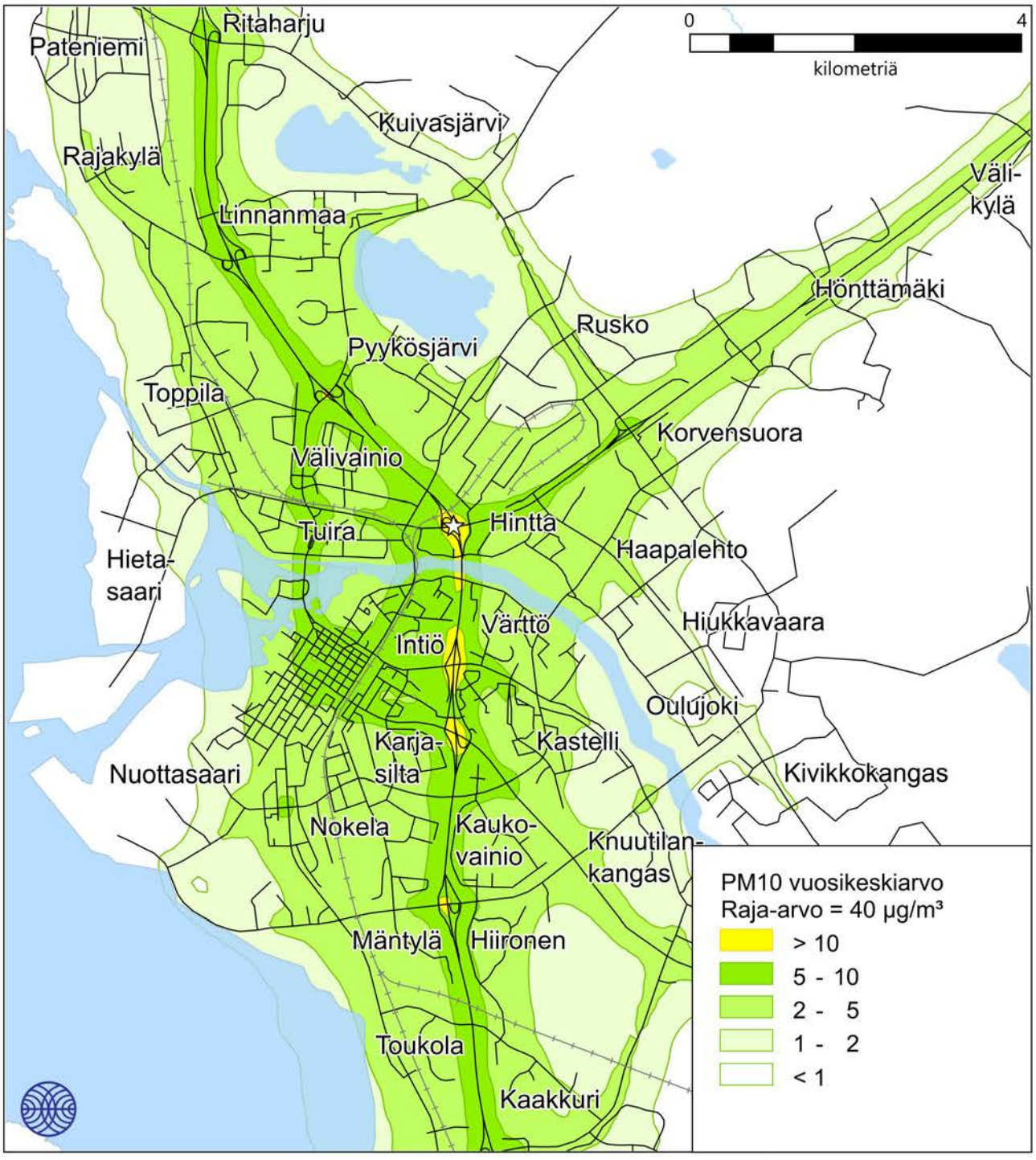
Ilmatieteen laitos, 2021

☆ = maksimi 25 µg/m³

Kuva 36. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden yhdessä aiheuttama hengitettävien hiukkasten vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2017-2019.



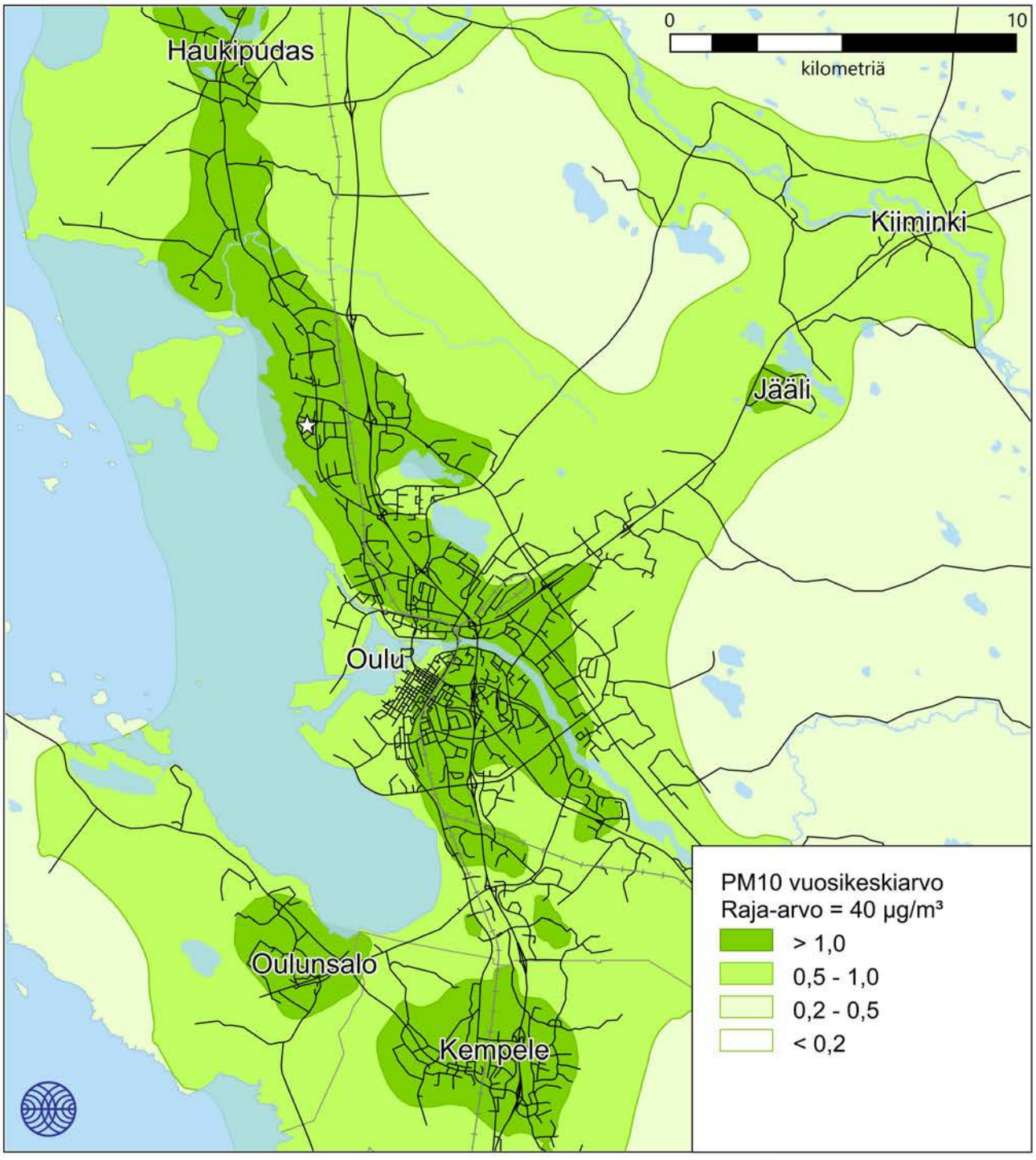
Kuva 37. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama hengitettävien hiukkasten vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2017-2019.



Ilmatieteen laitos, 2021

☆ = maksimi 22 µg/m³

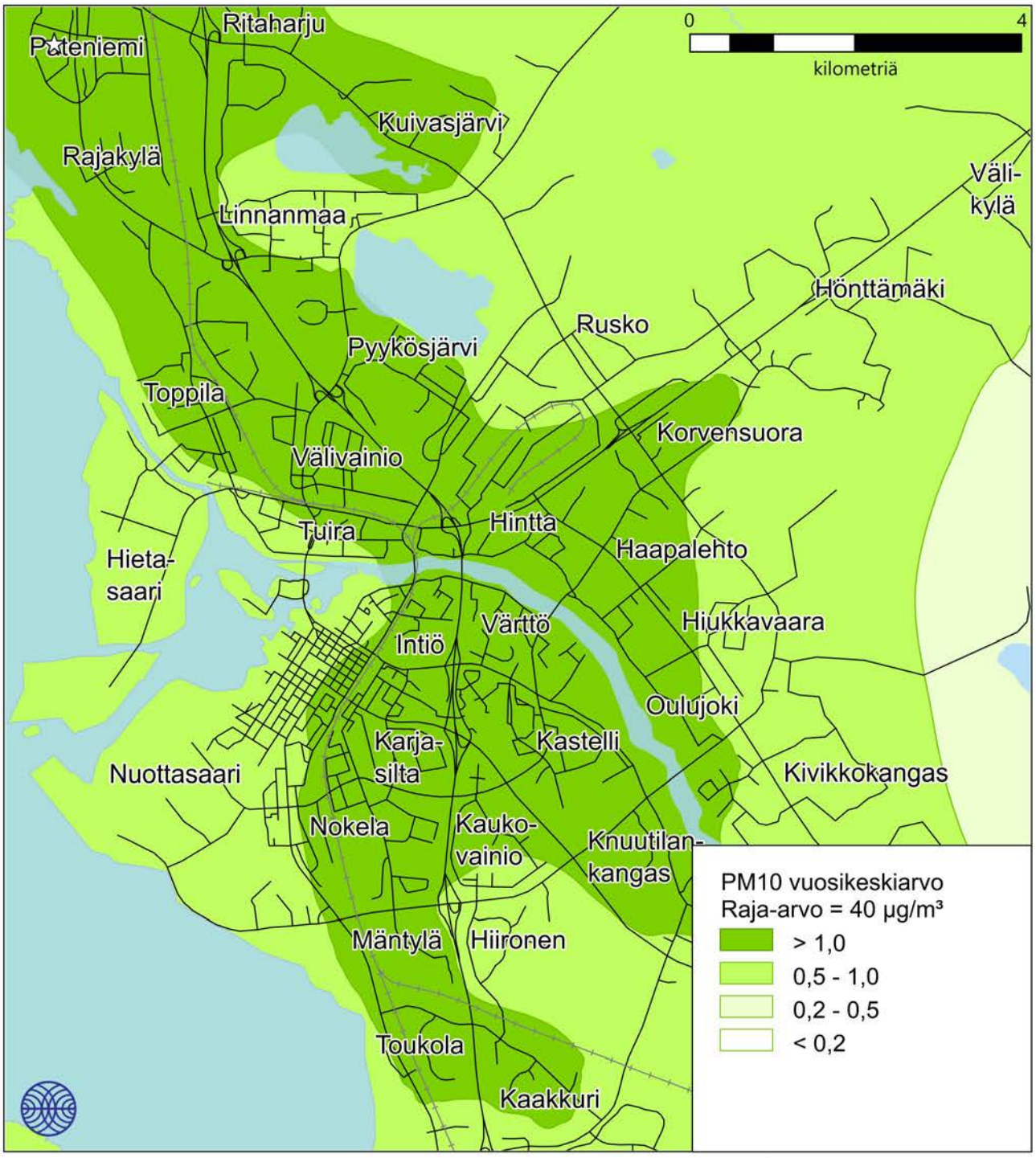
Kuva 38. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama hengitettävien hiukkasten vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2017-2019.



Ilmatieteen laitos, 2021

☆ = maksimi 1,6 µg/m³

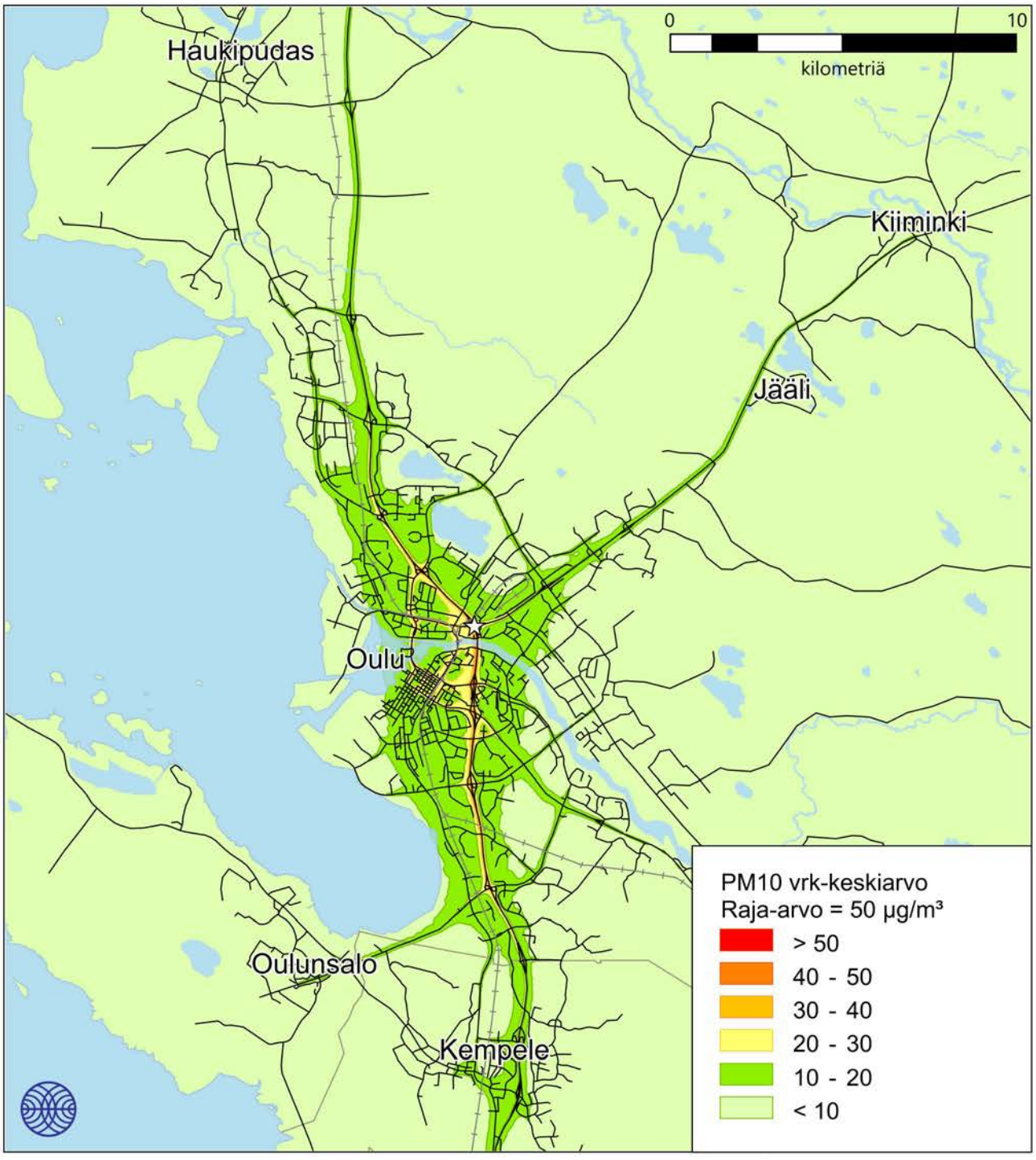
Kuva 39. Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttama hengitettävien hiukkasten vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2017-2019.



Ilmatieteen laitos, 2021

☆ = maksimi 1,6 µg/m³

Kuva 40. Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttama hengitettävien hiukkasten vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2017-2019.



Ilmatieteen laitos, 2021

☆ = maksimi 69 µg/m³

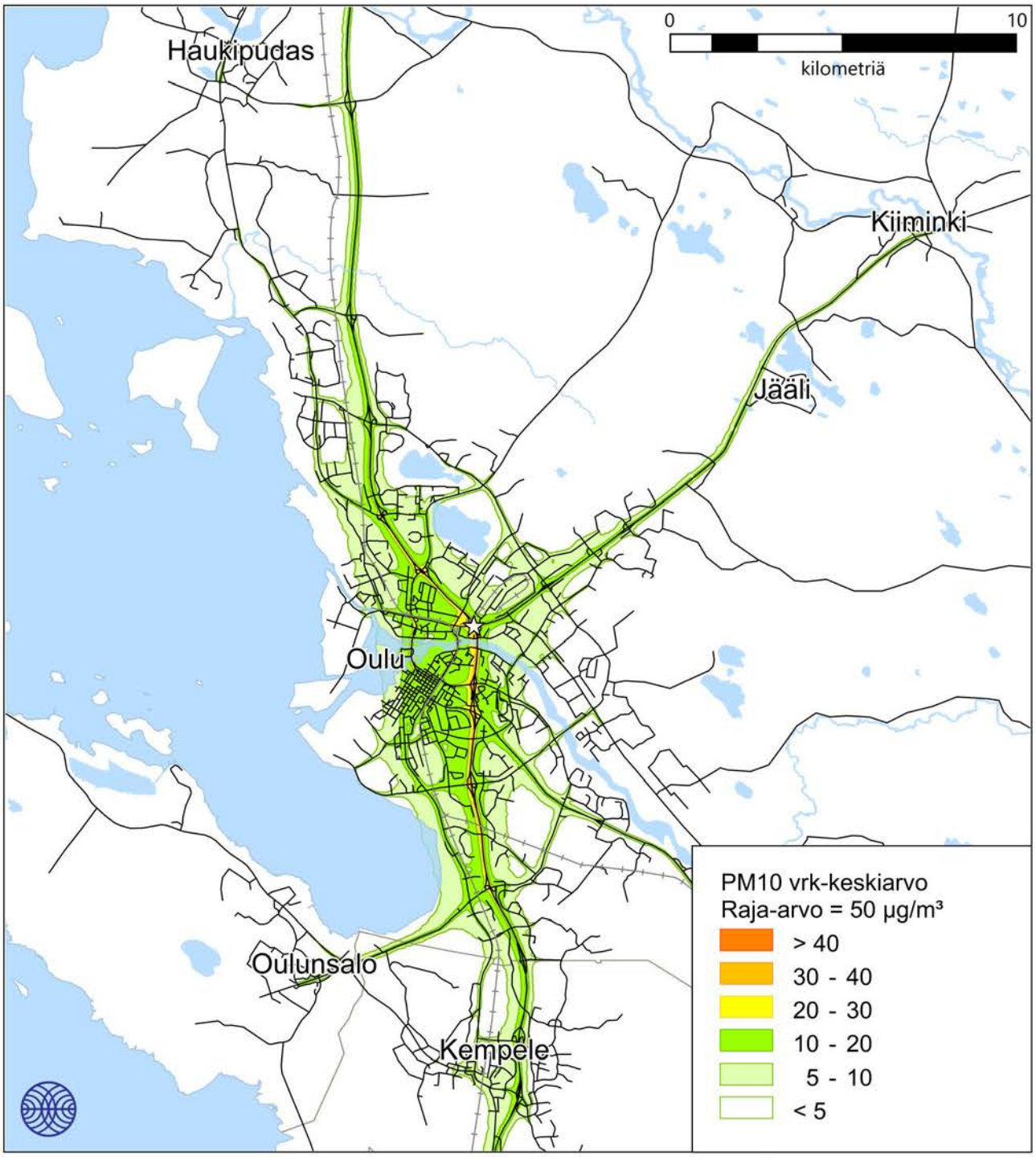
Kuva 41. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden yhdessä aiheuttama hengitettävien hiukkasten vuorokausiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2017-2019.



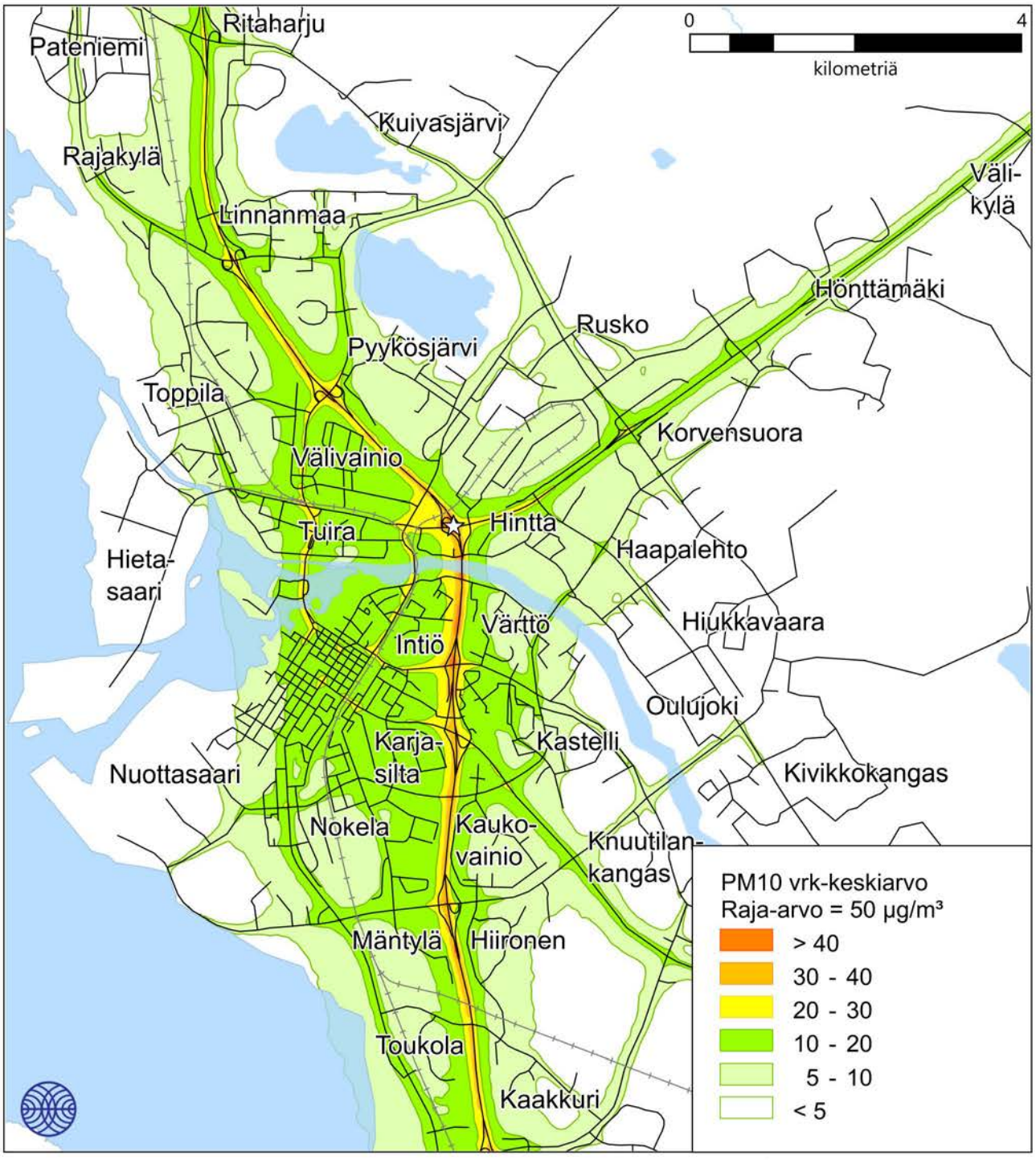
Ilmatieteen laitos, 2021

☆ = maksimi 69 µg/m³

Kuva 42. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden yhdessä aiheuttama hengitettävien hiukkasten vuorokausiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2017-2019.



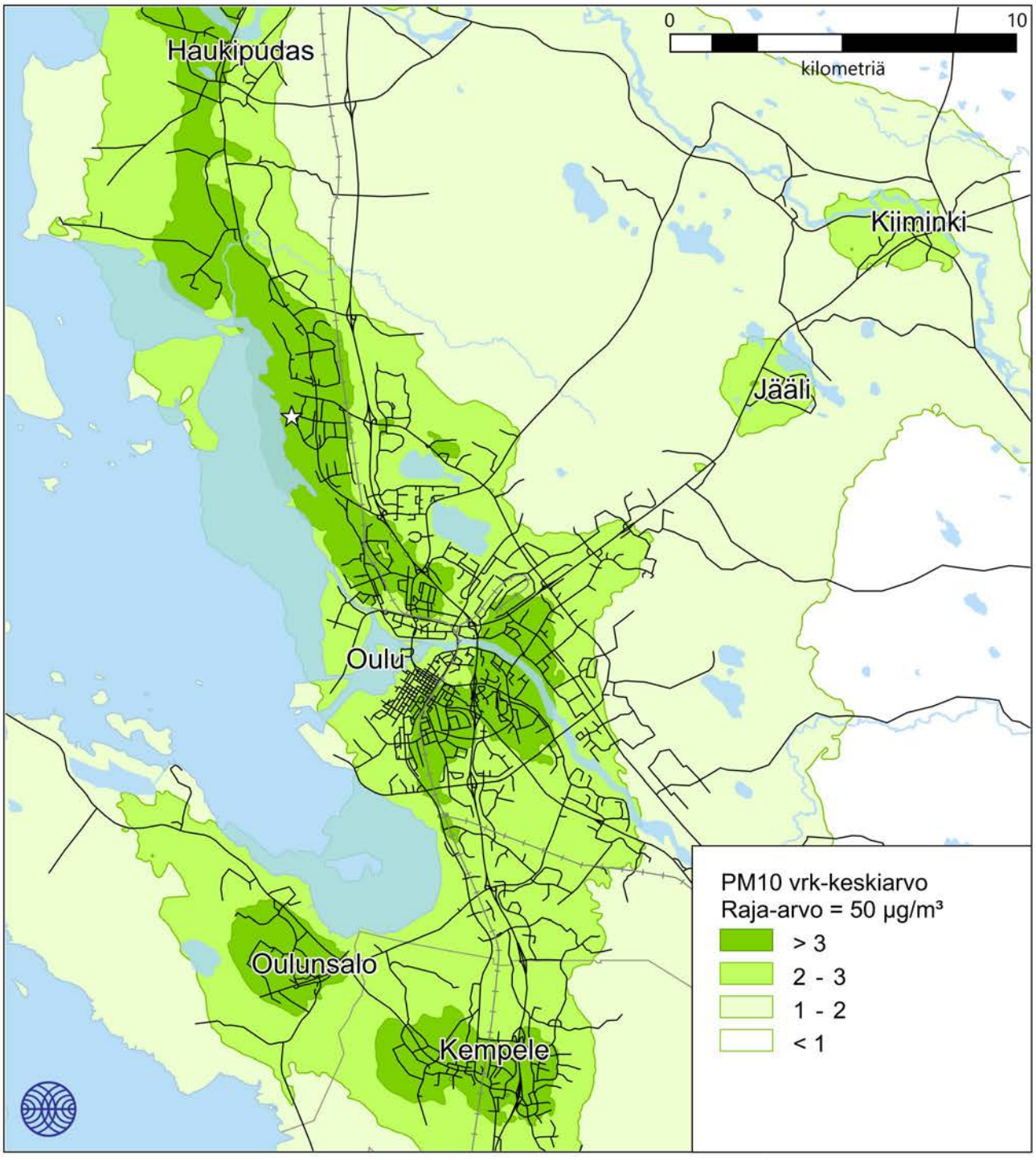
Kuva 43. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama hengitettävien hiukkasten vuorokausiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2017-2019.



Ilmatieteen laitos, 2021

☆ = maksimi 63 µg/m³

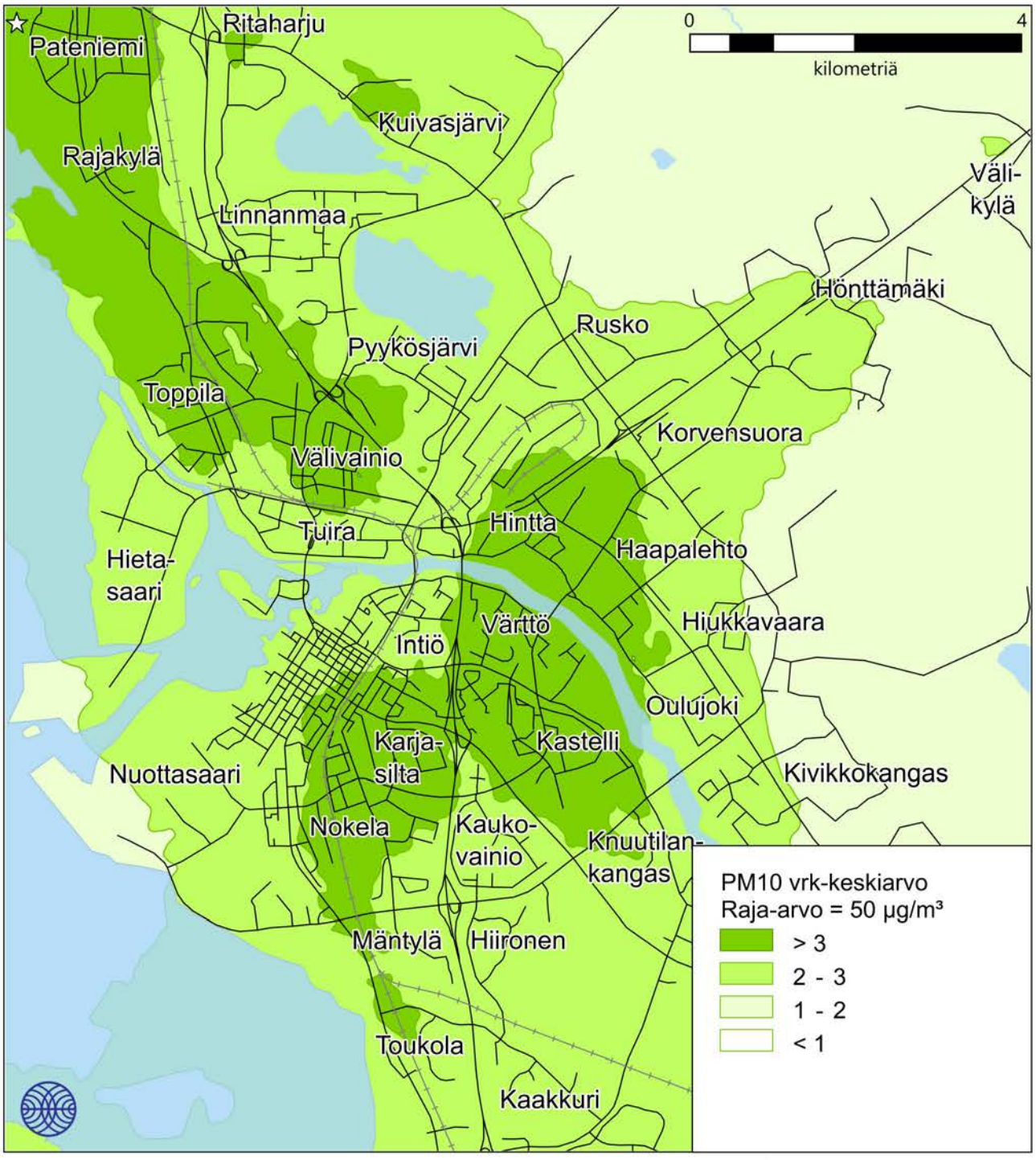
Kuva 44. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama hengitettävien hiukkasten vuorokausiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2017-2019.



Ilmatieteen laitos, 2021

☆ = maksimi 4,7 µg/m³

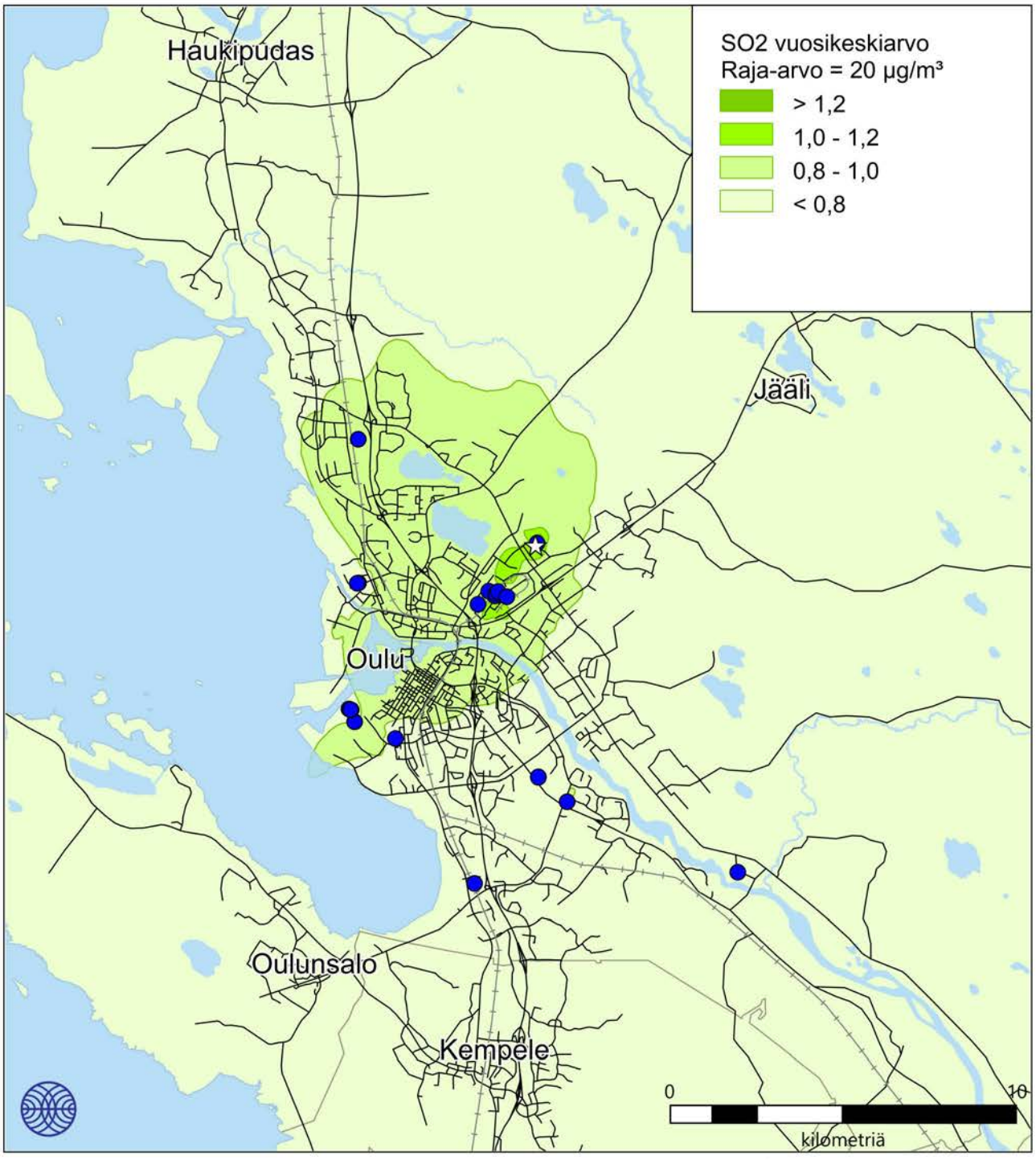
Kuva 45. Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttama hengitettävien hiukkasten vuorokausiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2017-2019.



Ilmatieteen laitos, 2021

☆ = maksimi 4,7 µg/m³

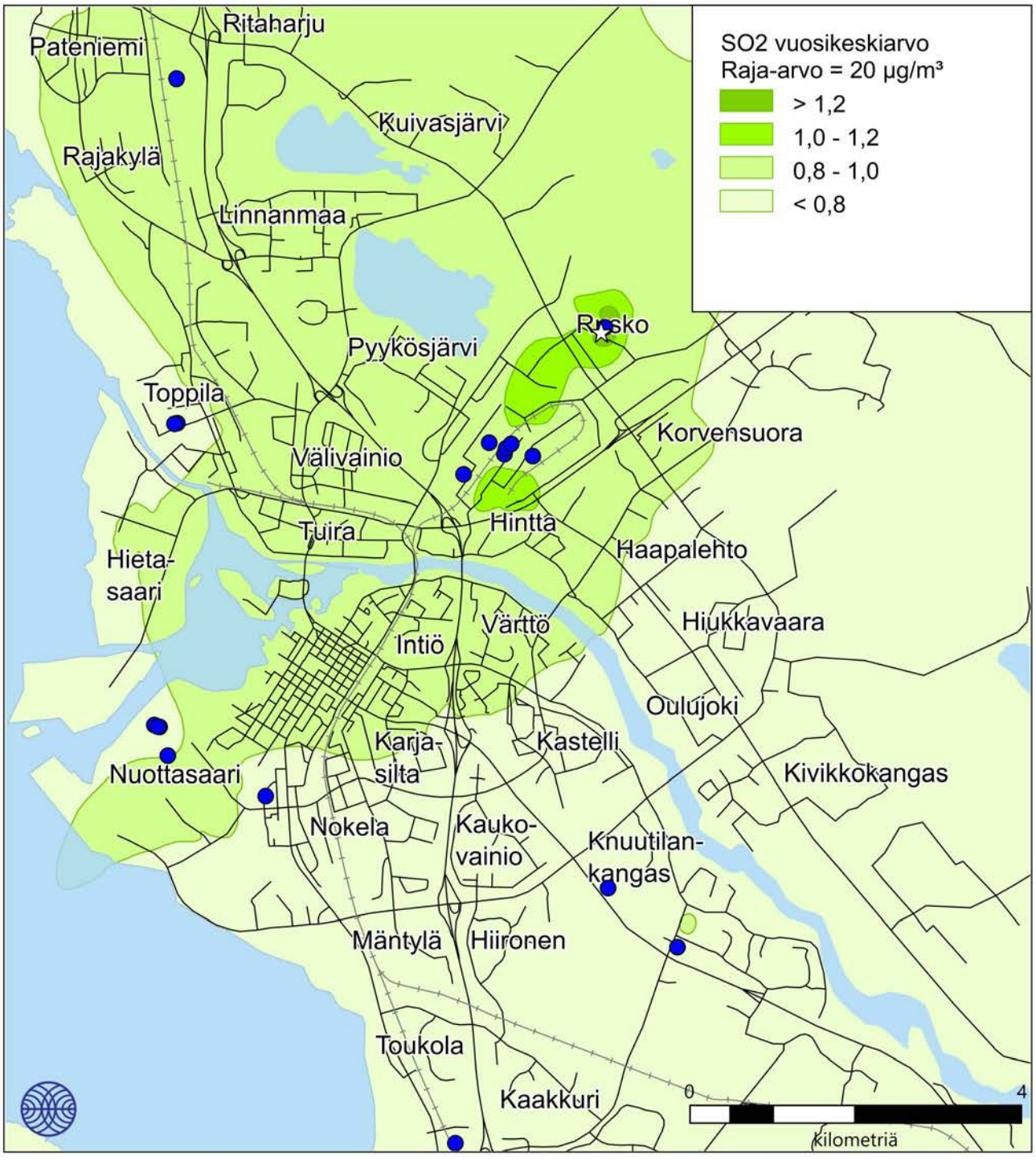
Kuva 46. Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttama hengitettävien hiukkasten vuorokausiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2017-2019.



Ilmatieteen laitos, 2021

☆ = maksimi 1,5 µg/m³

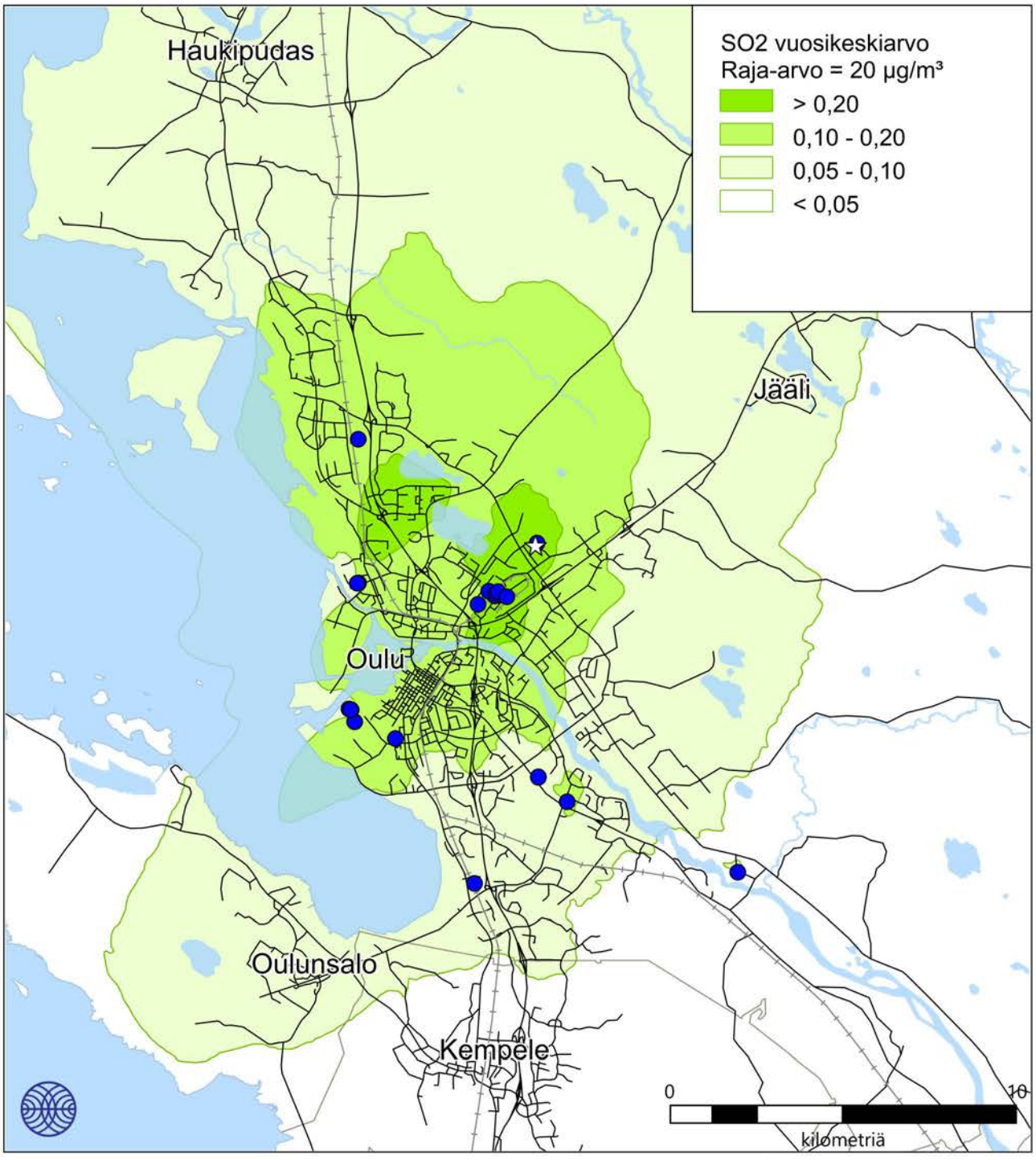
Kuva 47. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen sekä taustapitoisuuden yhdessä aiheuttama rikkidioksidin vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2017-2019.



Ilmatieteen laitos, 2021

☆ = maksimi 1,5 µg/m³

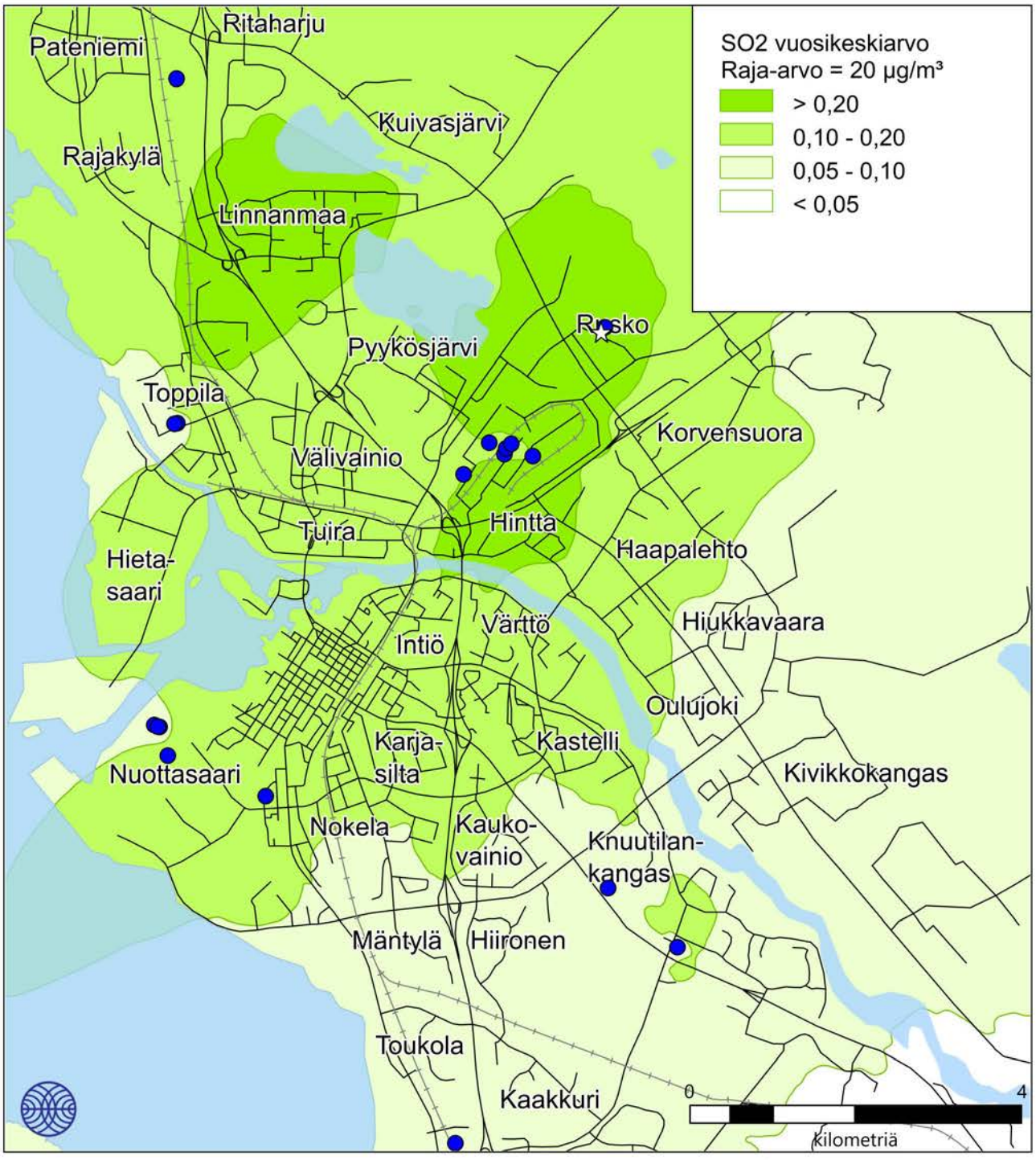
Kuva 48. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen sekä taustapitoisuuden yhdessä aiheuttama rikkidioksidin vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2017-2019.



Ilmatieteen laitos, 2021

☆ = maksimi 0,80 µg/m³

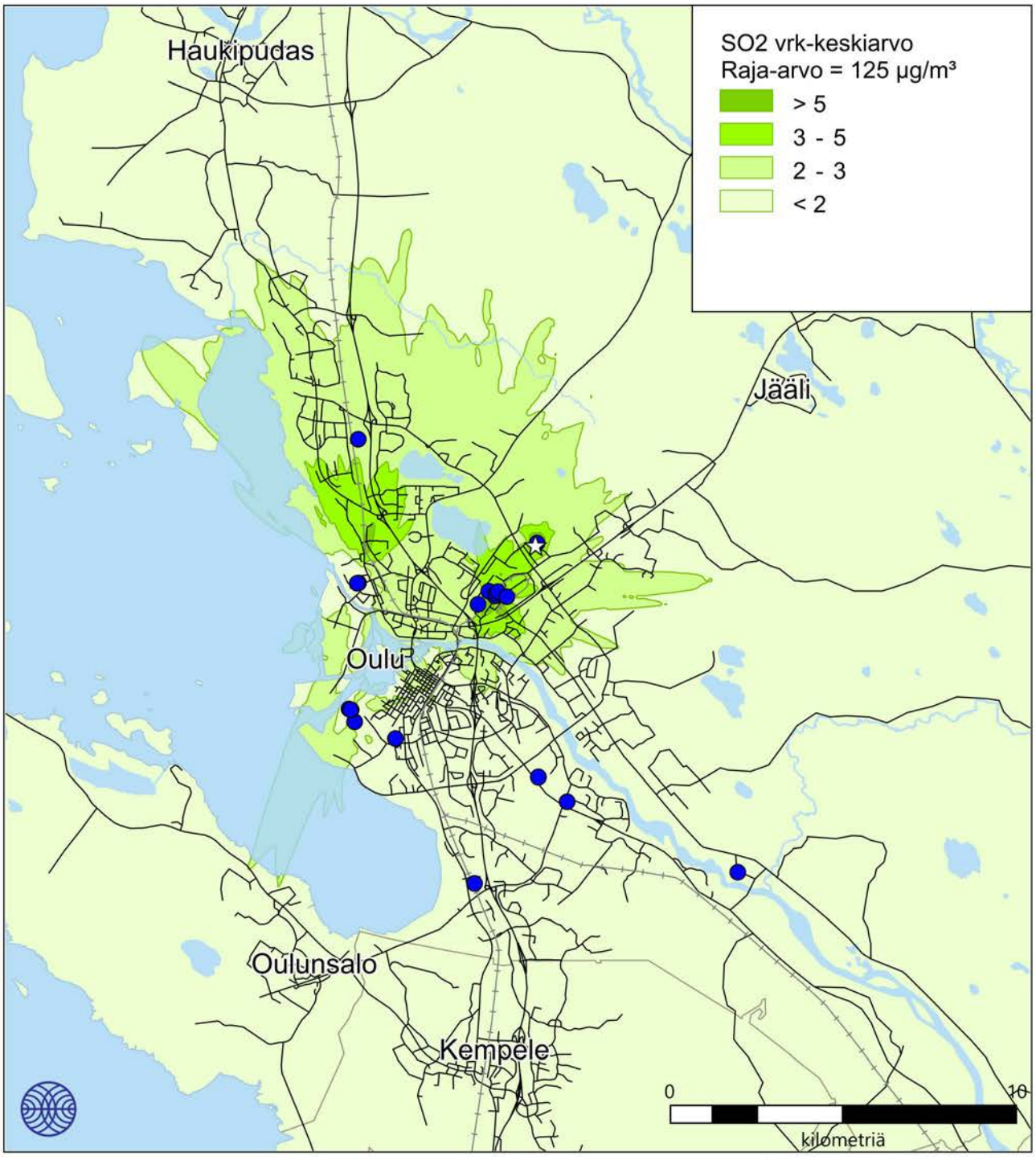
Kuva 49. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttama rikkidioksidin vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2017-2019.



Ilmatieteen laitos, 2021

☆ = maksimi 0,80 µg/m³

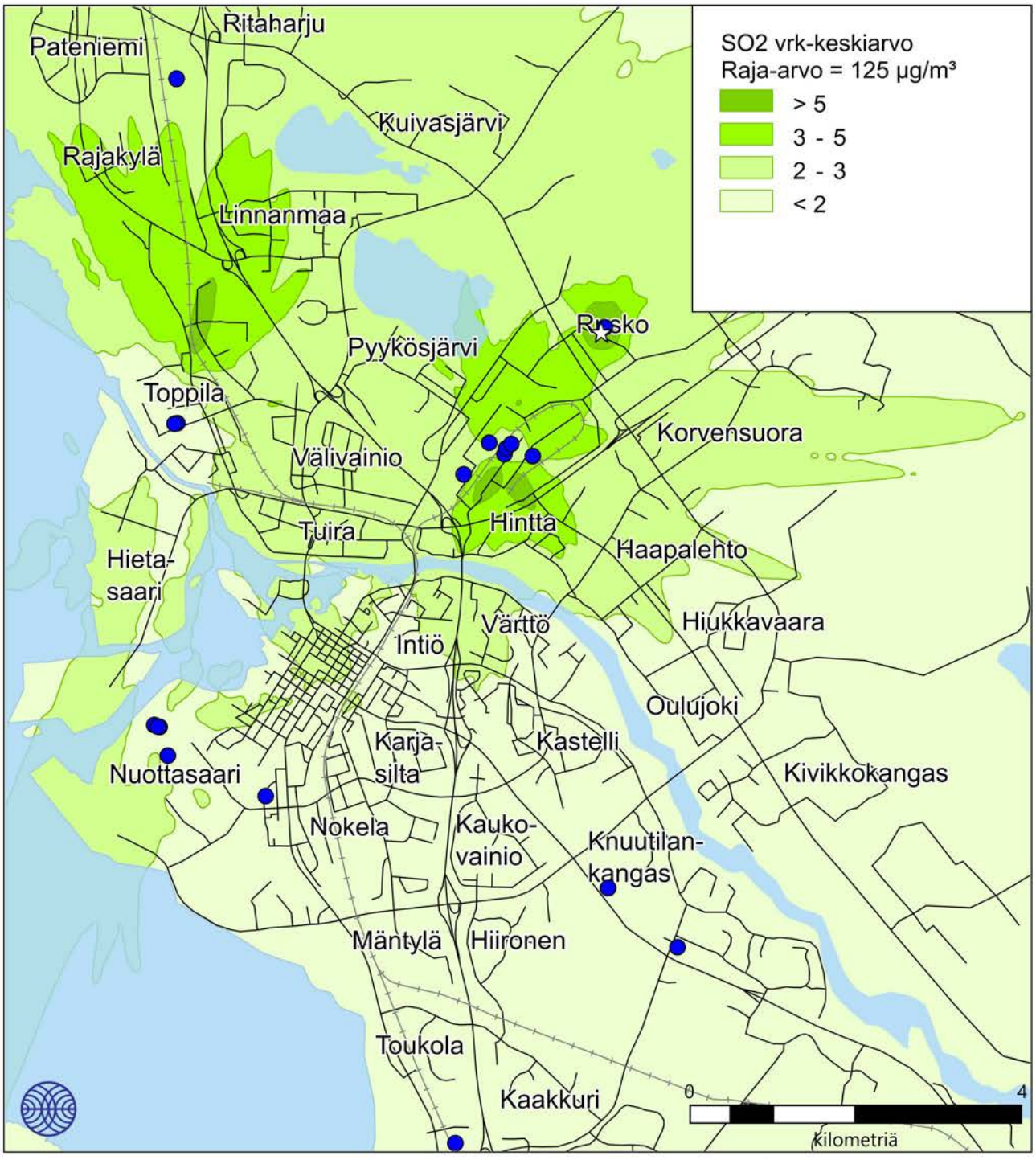
Kuva 50. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttama rikkidioksidin vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2017-2019.



Ilmatieteen laitos, 2021

☆ = maksimi 14 µg/m³

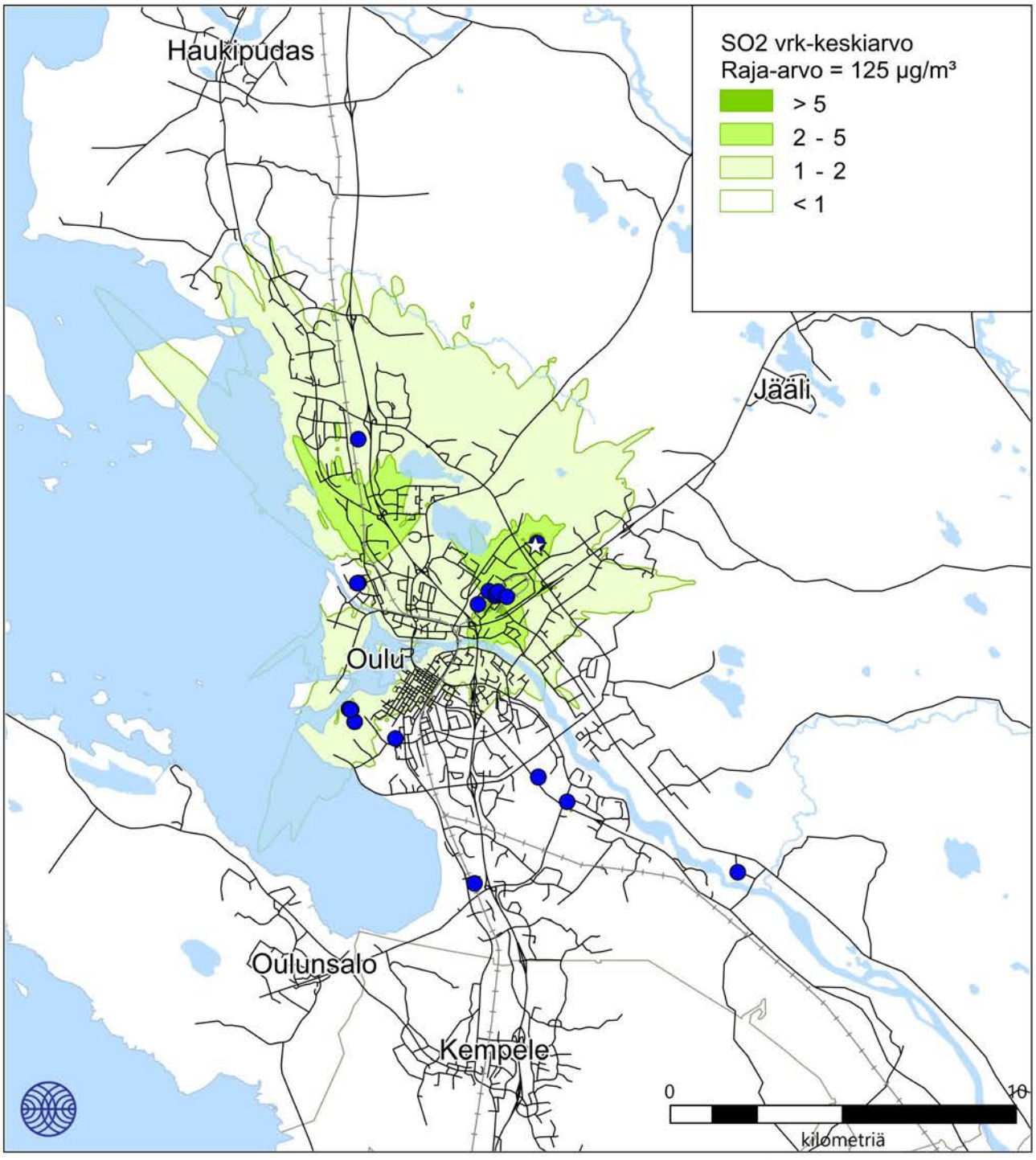
Kuva 51. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen sekä taustapitoisuuden yhdessä aiheuttama rikkidioksidin vuorokausiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2017-2019.



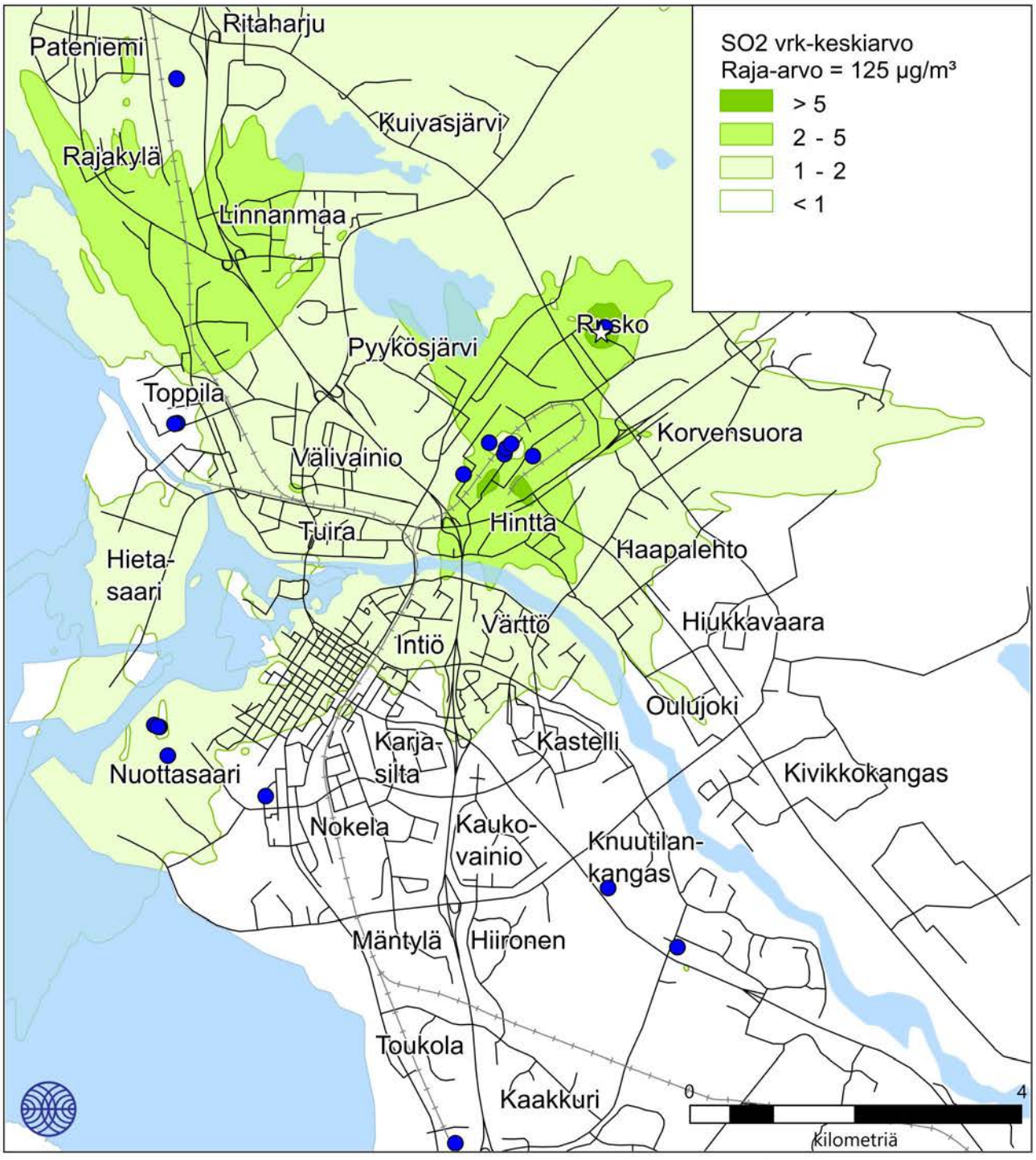
Ilmatieteen laitos, 2021

☆ = maksimi 14 µg/m³

Kuva 52. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen sekä taustapitoisuuden yhdessä aiheuttama rikkidioksidin vuorokausiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2017-2019.



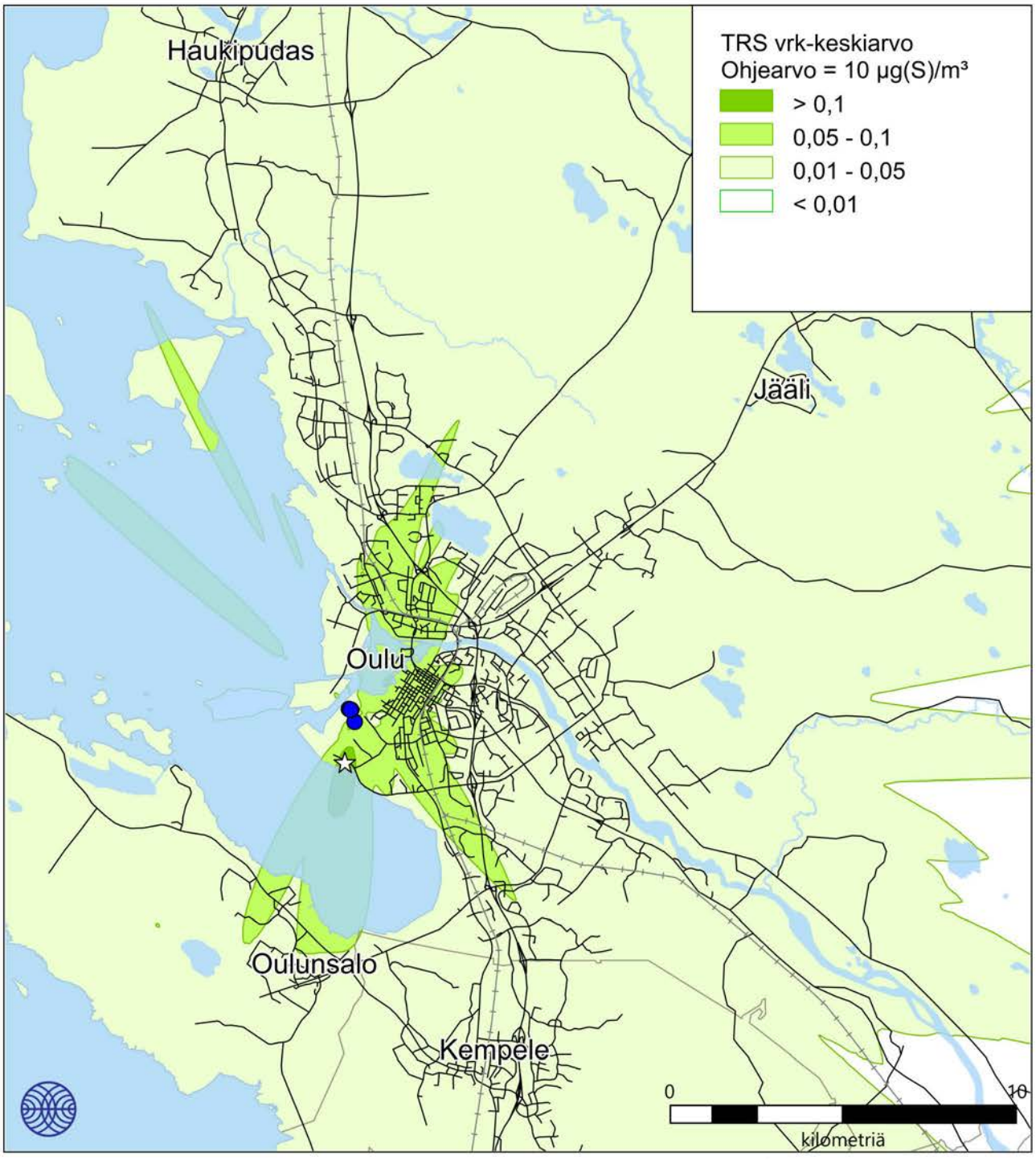
Kuva 53. Energiatuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttama rikkidioksidin vuorokausiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2017-2019.



Ilmatieteen laitos, 2021

☆ = maksimi 14 µg/m³

Kuva 54. Energiatuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttama rikkidioksidin vuorokausiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2017-2019.



Ilmatieteen laitos, 2021

☆ = maksimi 0,13 µg/m³

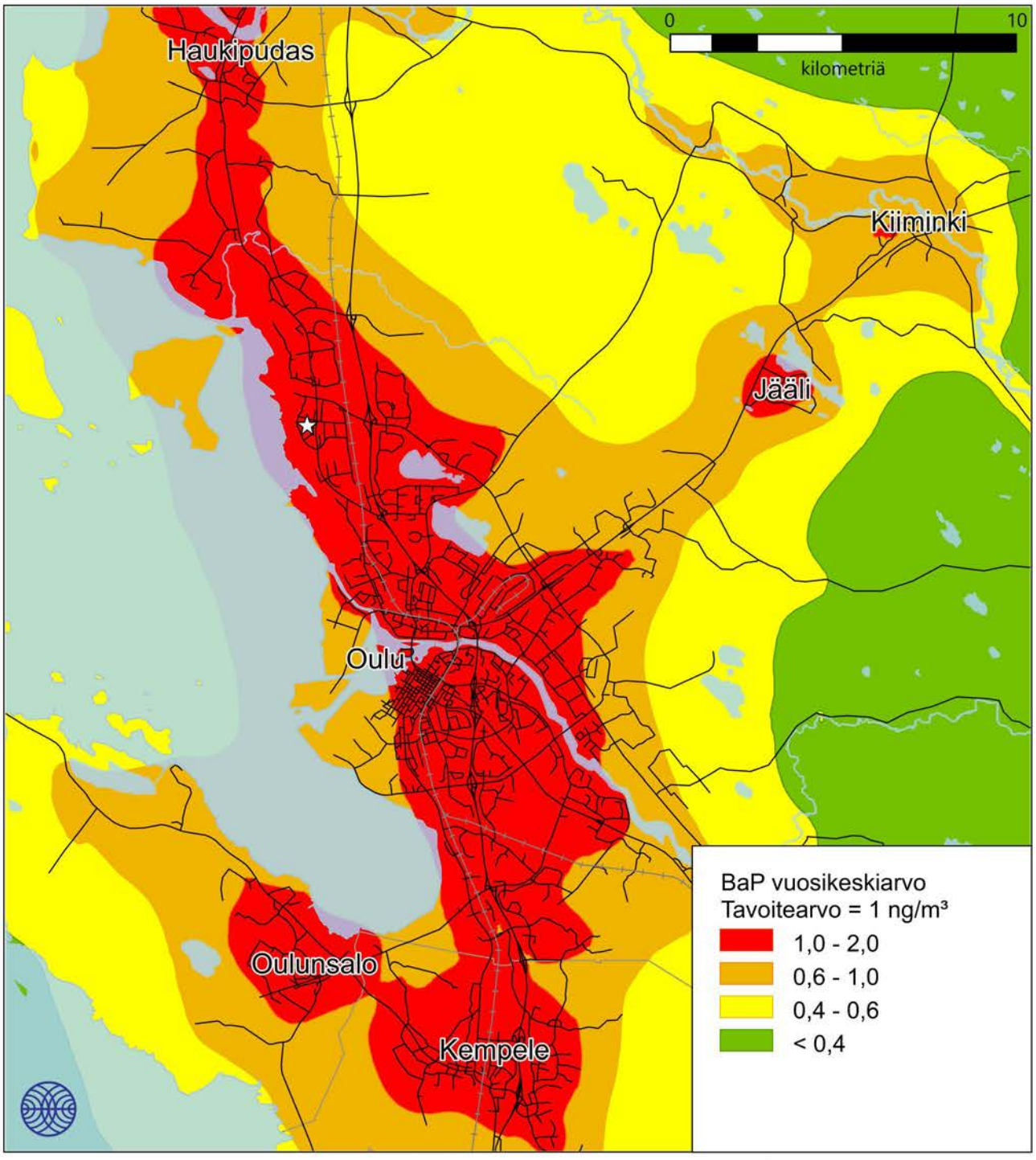
Kuva 55. Teollisuuden päästöjen aiheuttama haisevien rikkiyhdisteiden (TRS) vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2017-2019.



Ilmatieteen laitos, 2021

☆ = maksimi 0,13 µg/m³

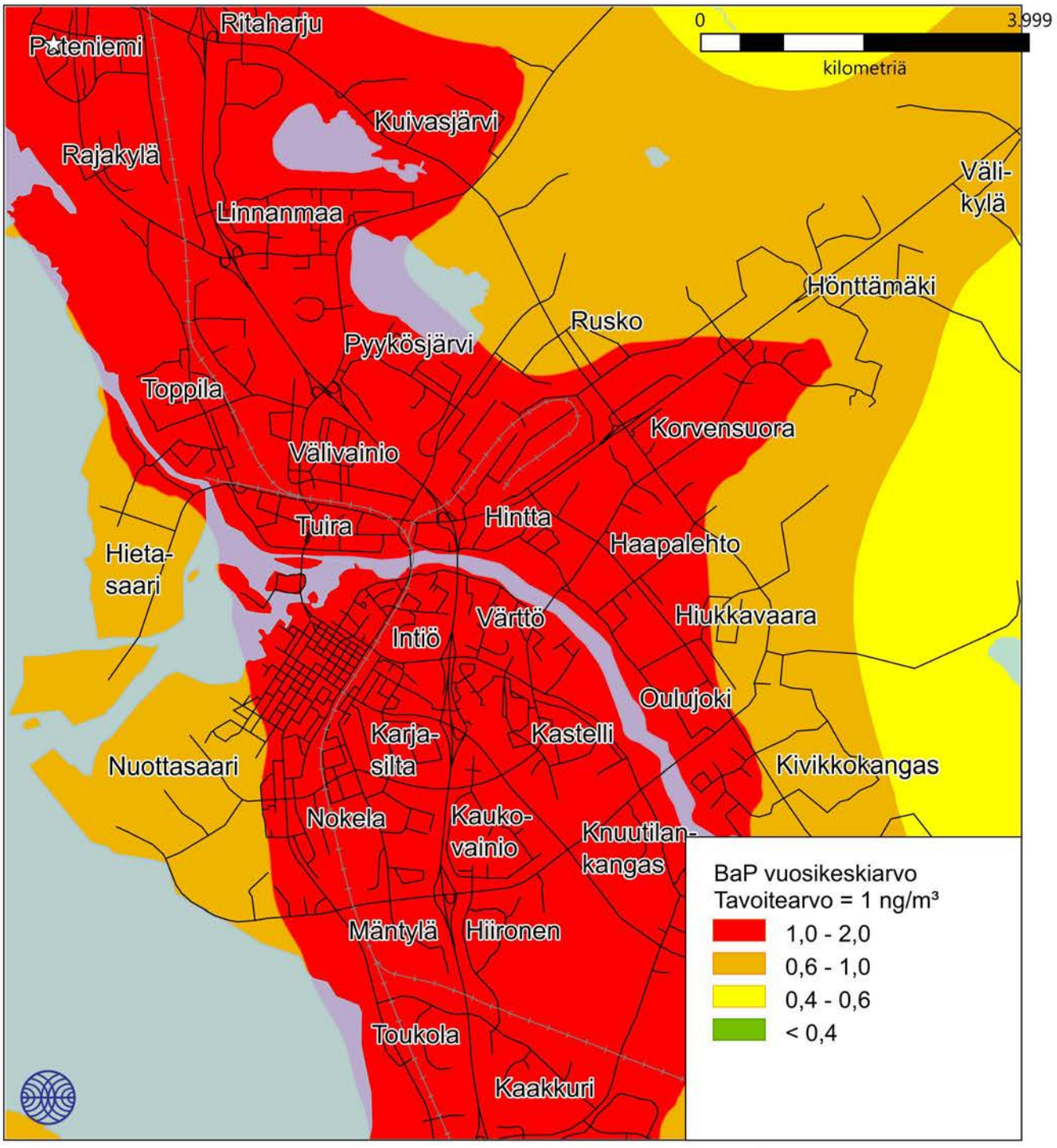
Kuva 56. Teollisuuden päästöjen aiheuttama haisevien rikkiyhdisteiden (TRS) vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus (µg/m³) tarkastelujaksolla 2017-2019.



Ilmatieteen laitos, 2021

☆ = maksimi 1,9 µg/m³

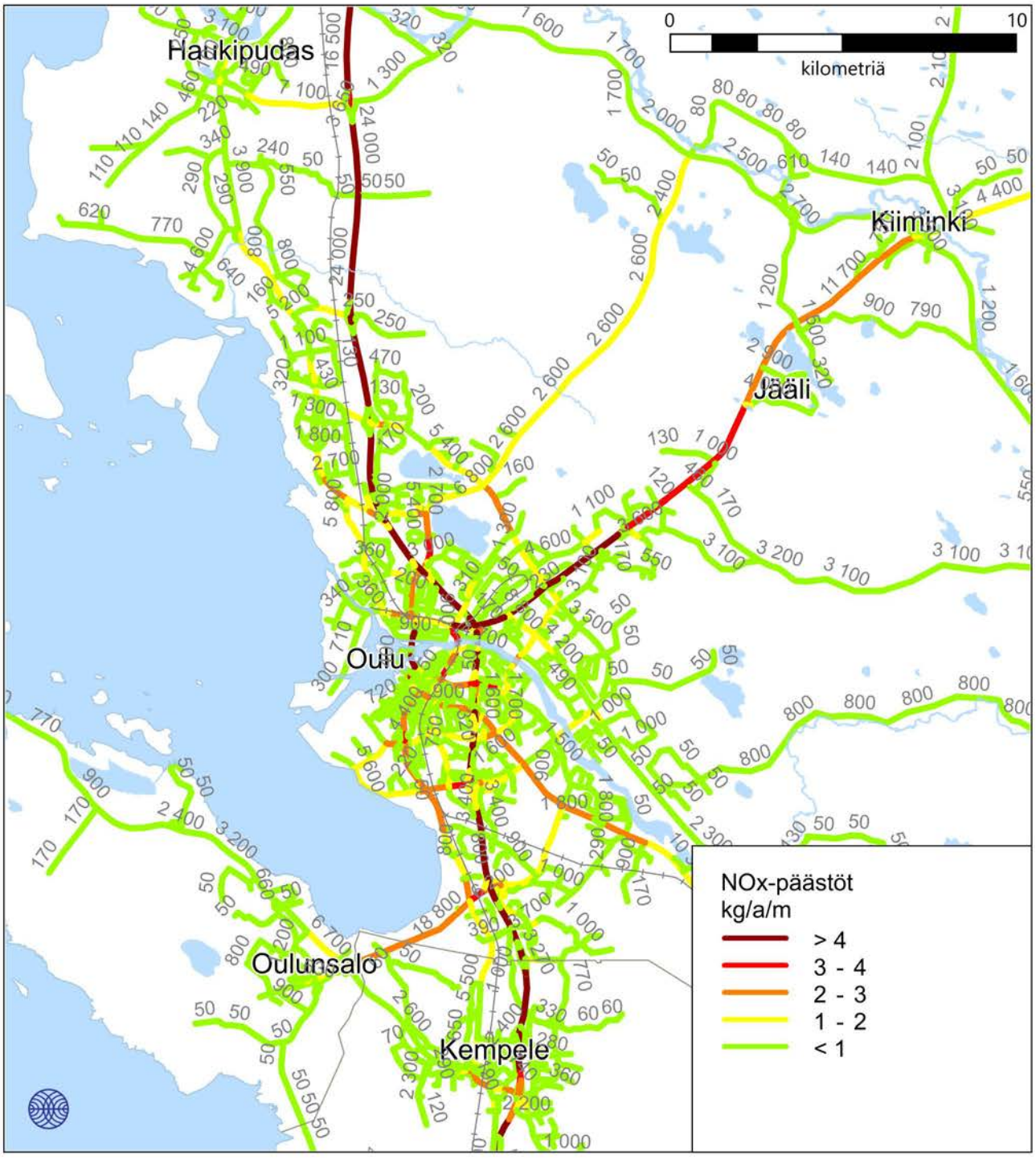
Kuva 57. Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttama bentso(a)pyreenin vuosikeskiarvopitoisuus (ng/m³) tarkastelujaksolla 2017-2019.



Ilmatieteen laitos, 2021

☆ = maksimi 1,9 µg/m³

Kuva 58. Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttama bentso(a)pyreenin vuosikeskiarvopitoisuus (ng/m³) tarkastelujaksolla 2017-2019.



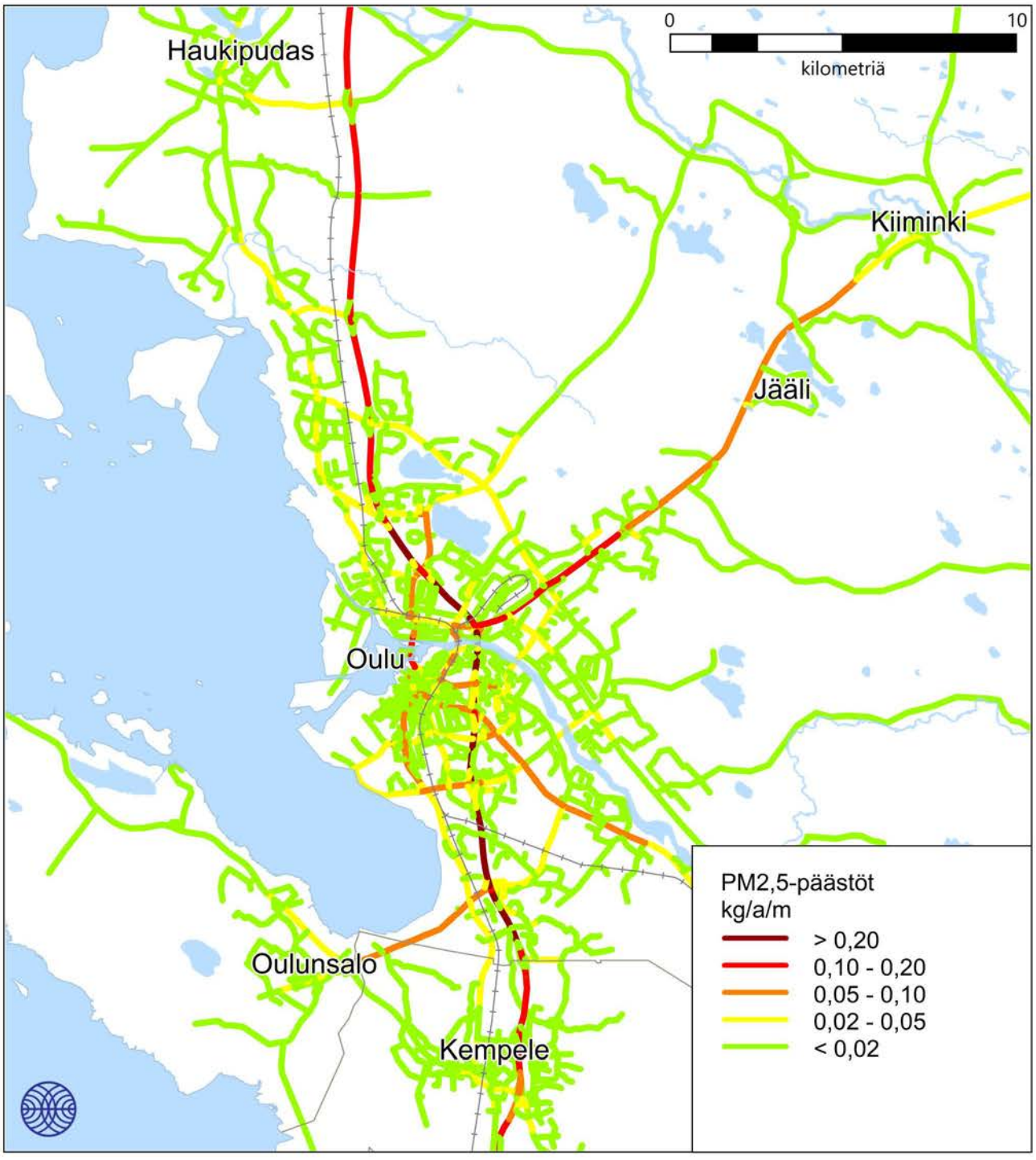
Ilmatieteen laitos, 2021

Kuva 59. Autoliikenteen pakokaasujen typenoksidipäästöt (kg/a/m) ja keskimääräinen vuorokausiliikenne (KVL) vuonna 2018.



Ilmatieteen laitos, 2021

Kuva 60. Autoliikenteen pakokaasujen typenoksidipäästöt (kg/a/m) ja keskimääräinen vuorokausiliikenne (KVL) vuonna 2018.



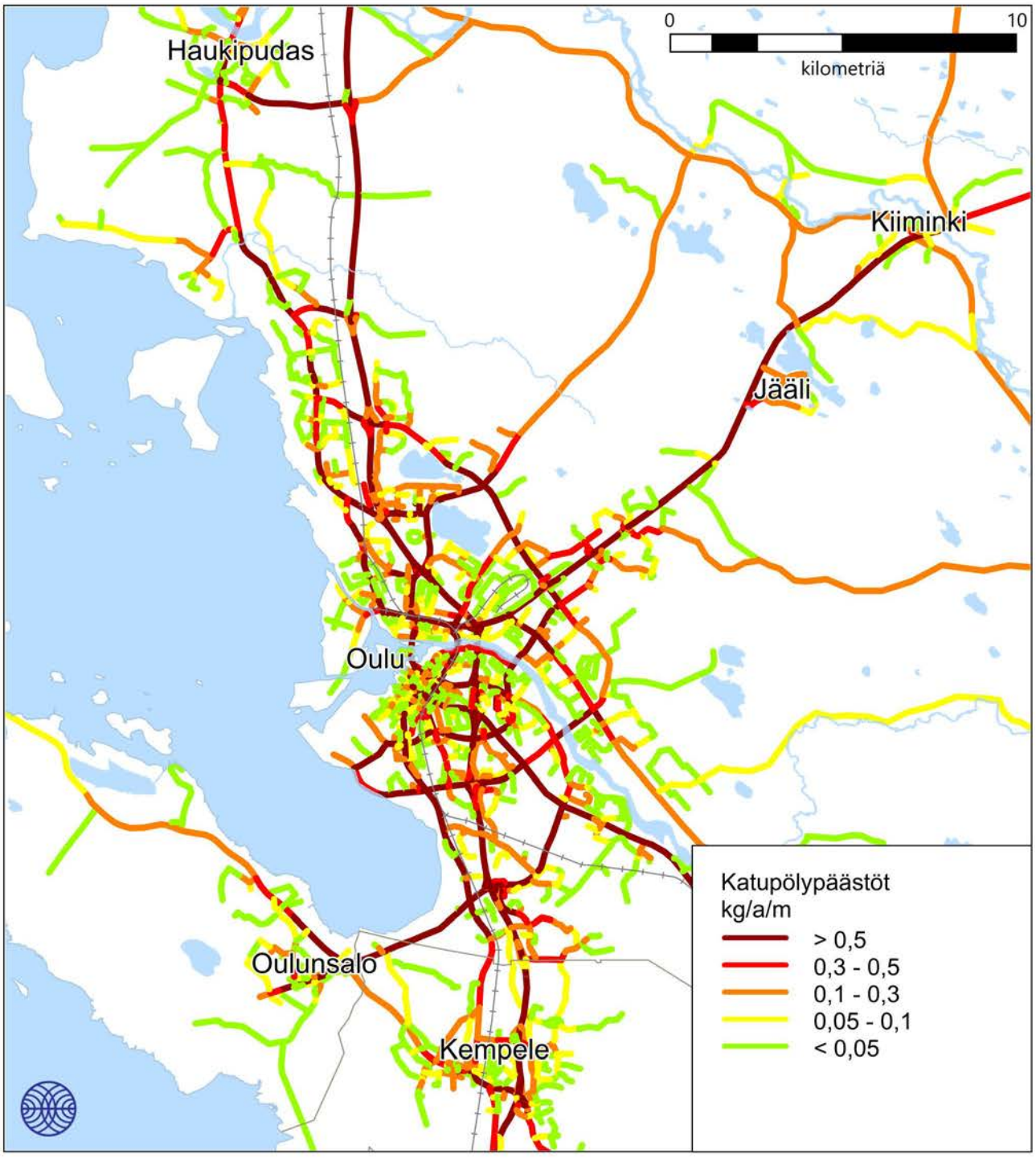
Ilmatieteen laitos, 2021

Kuva 61. Autoliikenteen pakokaasujen pienhiukkaspäästöt (kg/a/m) vuonna 2018.



Ilmatieteen laitos, 2021

Kuva 62. Autoliikenteen pakokaasujen pienhiukkaspäästöt (kg/a/m) vuonna 2018.



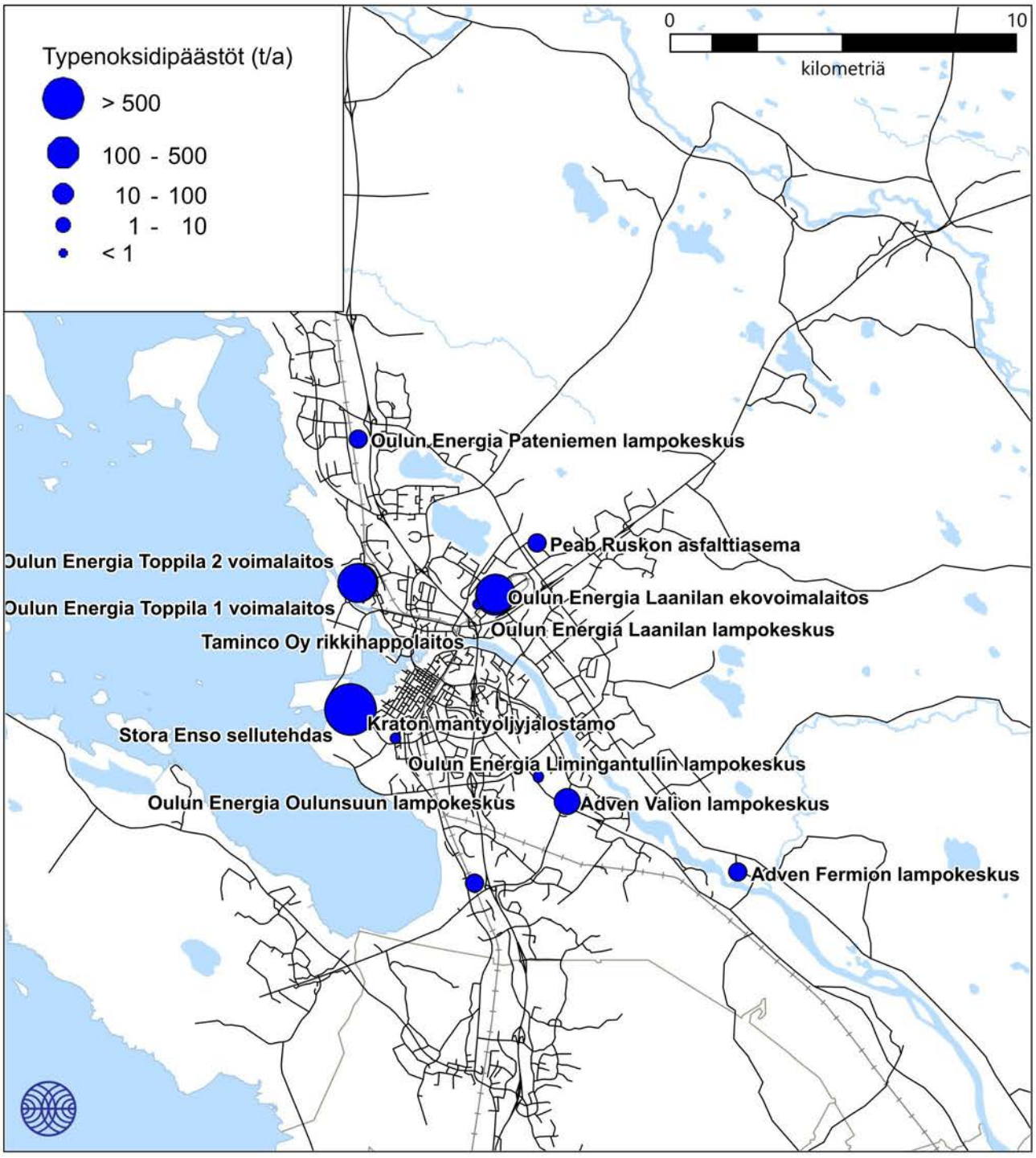
Ilmatieteen laitos, 2021

Kuva 63. Autoliikenteen katupölypäästöt (kg/a/m) vuonna 2018.



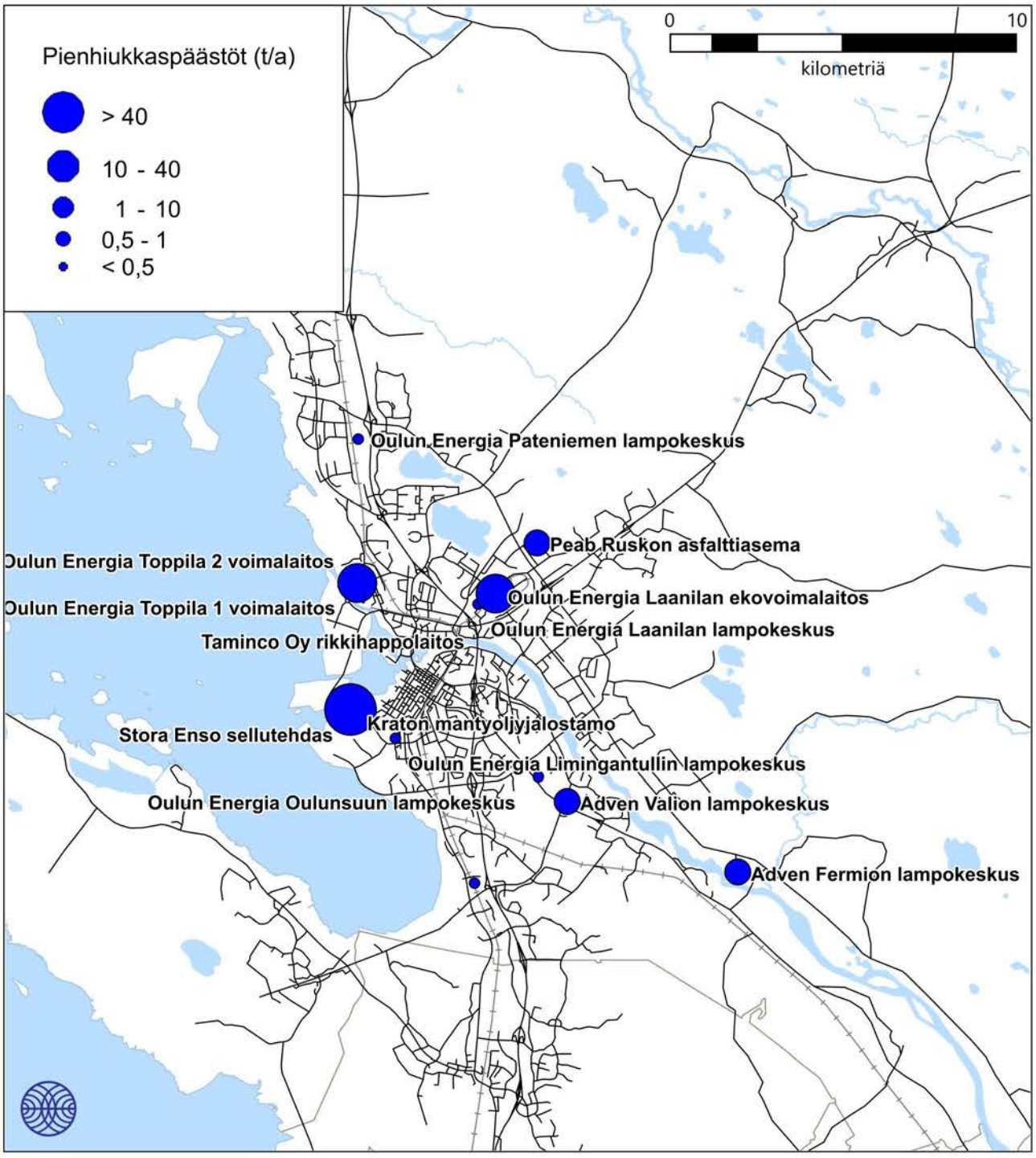
Ilmatieteen laitos, 2021

Kuva 64. Autoliikenteen katupölypäästöt (kg/a/m) vuonna 2018.



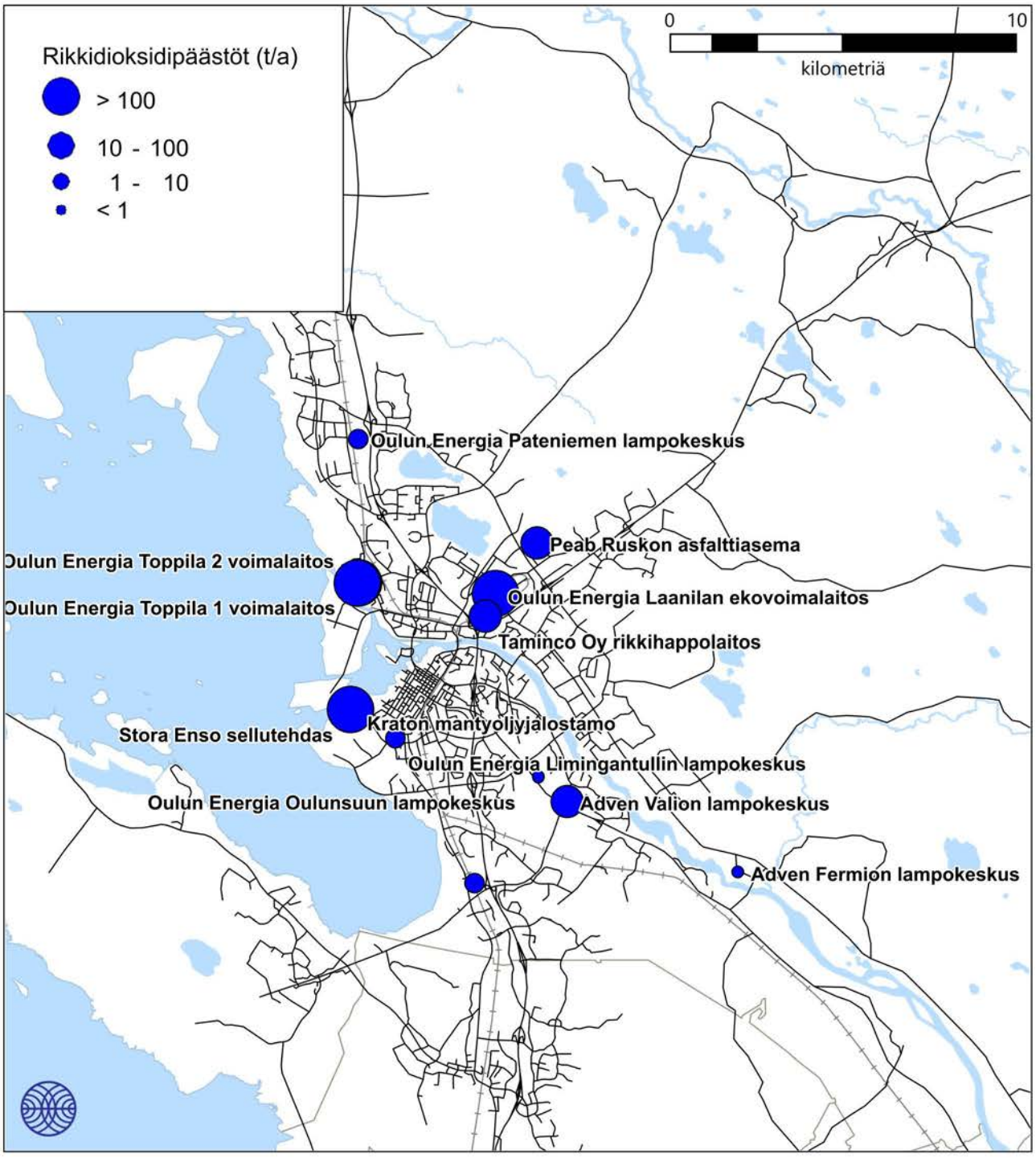
Ilmatieteen laitos, 2021

Kuva 65. Energiantuotannon ja teollisuuden päästölähteiden typenoksidipäästöt (t/a) vuonna 2019.



Ilmatieteen laitos, 2021

Kuva 66. Energiantuotannon ja teollisuuden päästölähteiden hiukkaspäästöt (t/a) vuonna 2019.



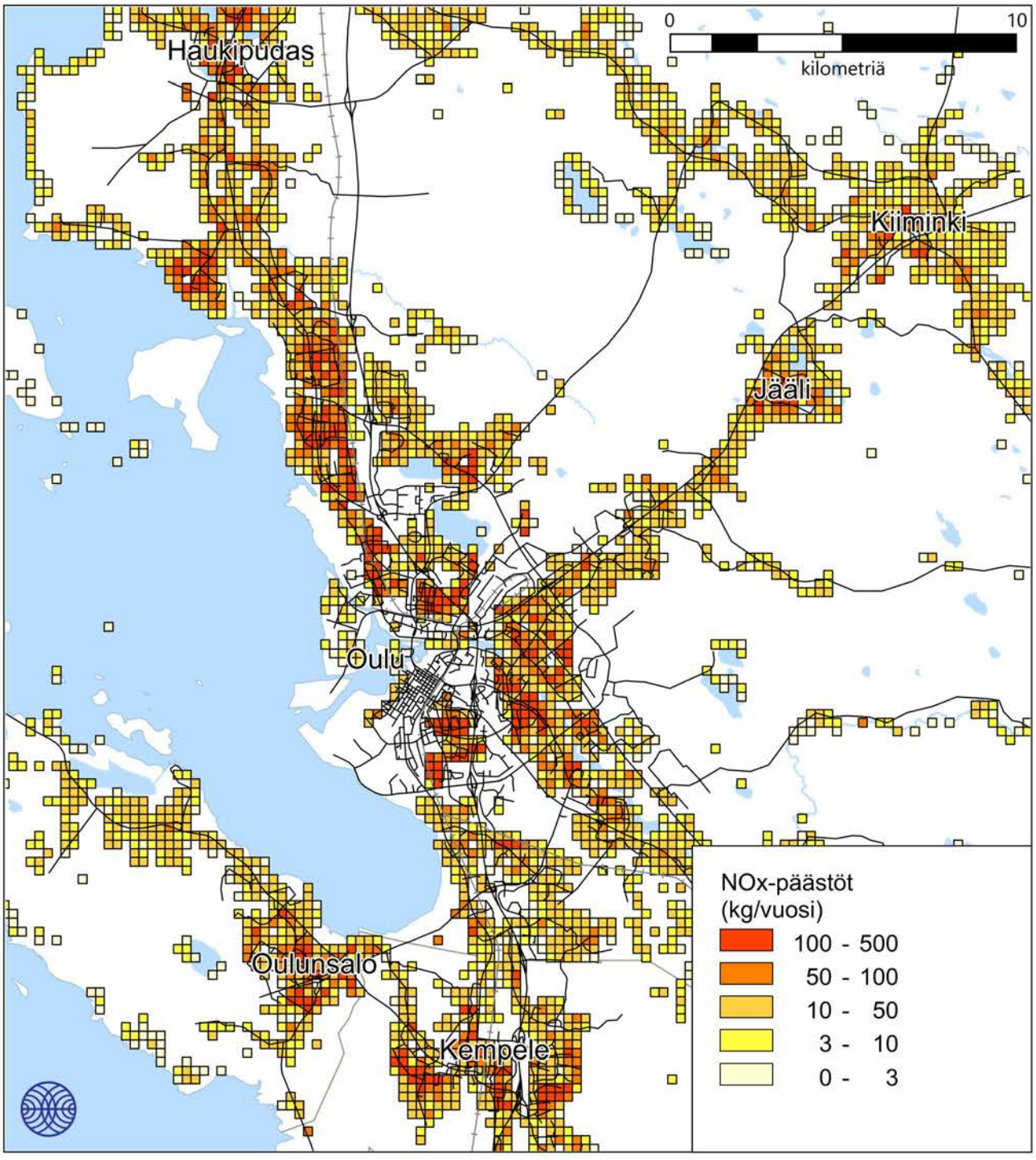
Ilmatieteen laitos, 2021

Kuva 67. Energiantuotannon ja teollisuuden päästölähteiden rikkidioksidipäästöt (t/a) vuonna 2019.



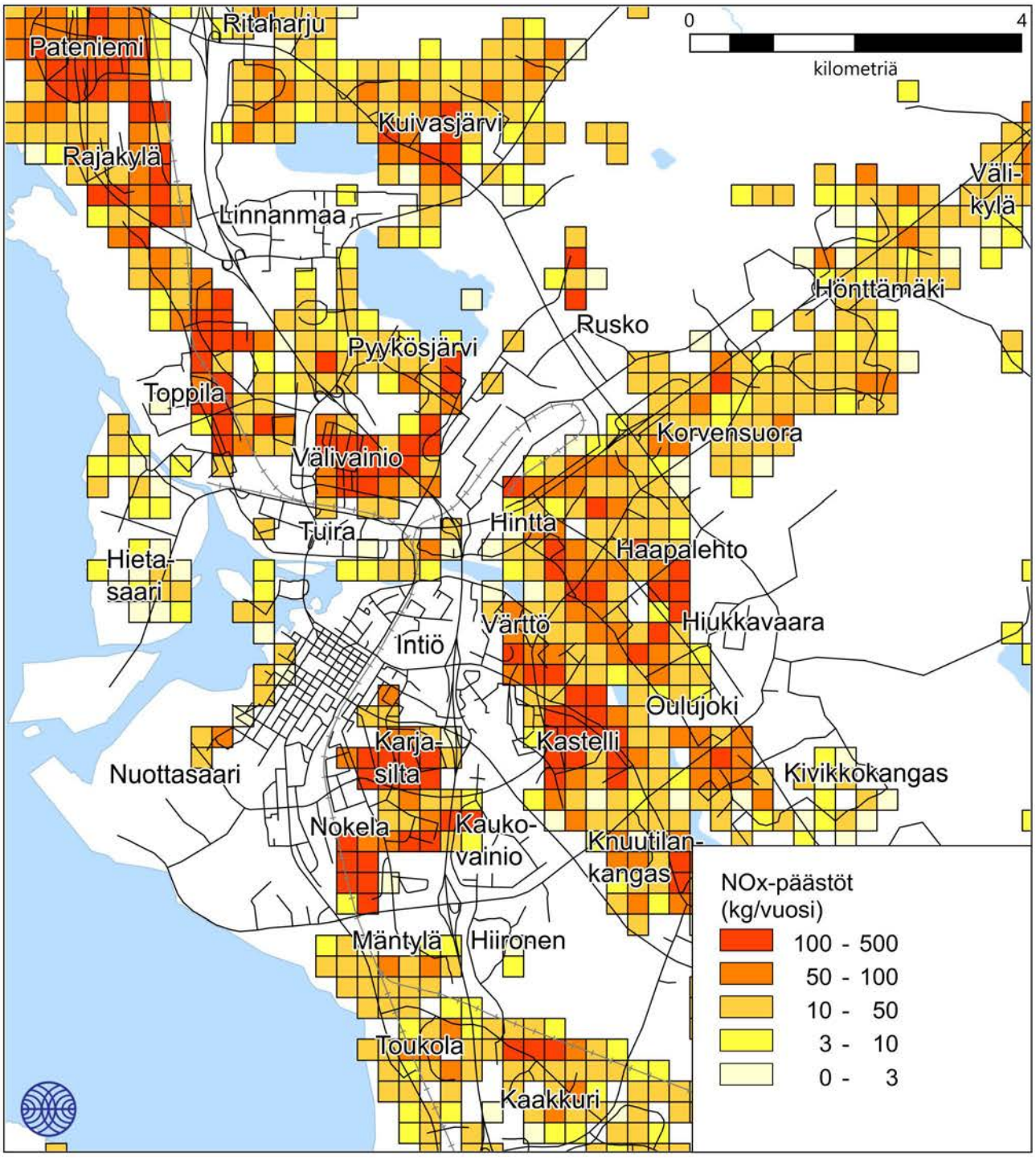
Ilmatieteen laitos, 2021

Kuva 68. Energiantuotannon ja teollisuuden päästölähteiden haisevien rikkiyhdisteiden päästöt (t/a) vuonna 2019.



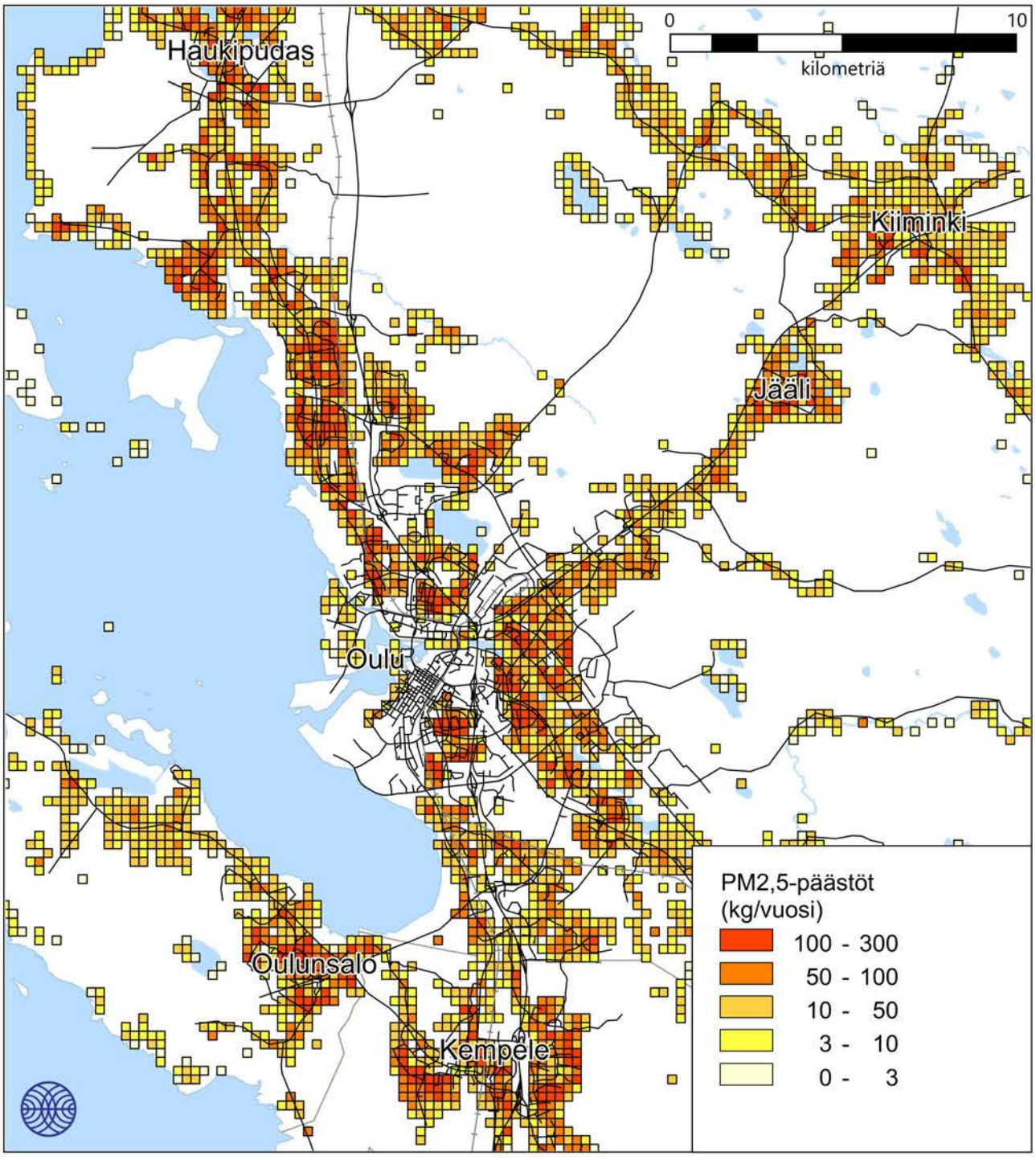
Ilmatieteen laitos, 2021

Kuva 69. Kiinteistökohtaisen lämmityksen typenoksidipäästöt (kg/a) vuonna 2015.



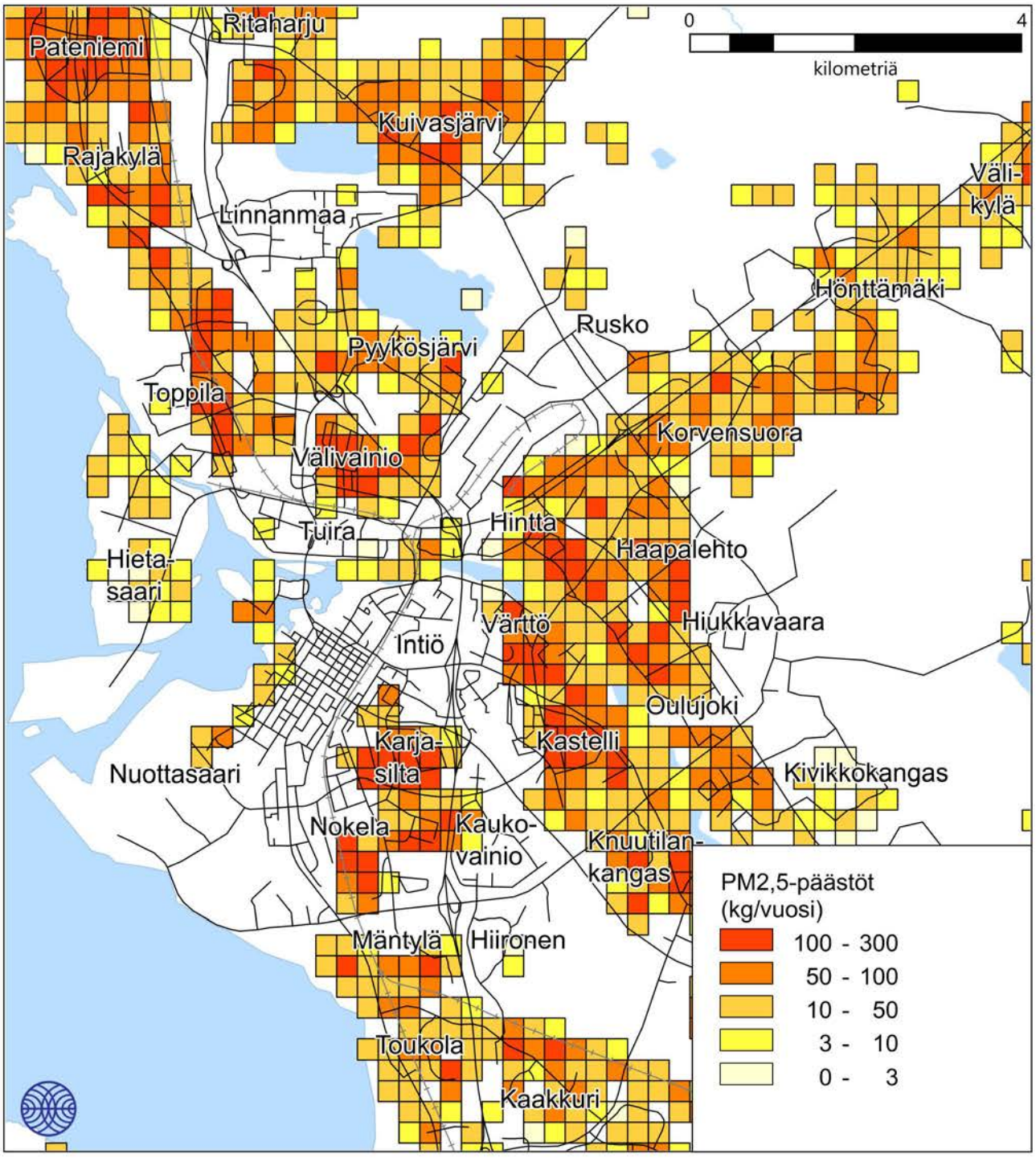
Ilmatieteen laitos, 2021

Kuva 70. Kiinteistökohtaisen lämmityksen typenoksidipäästöt (kg/a) vuonna 2015.



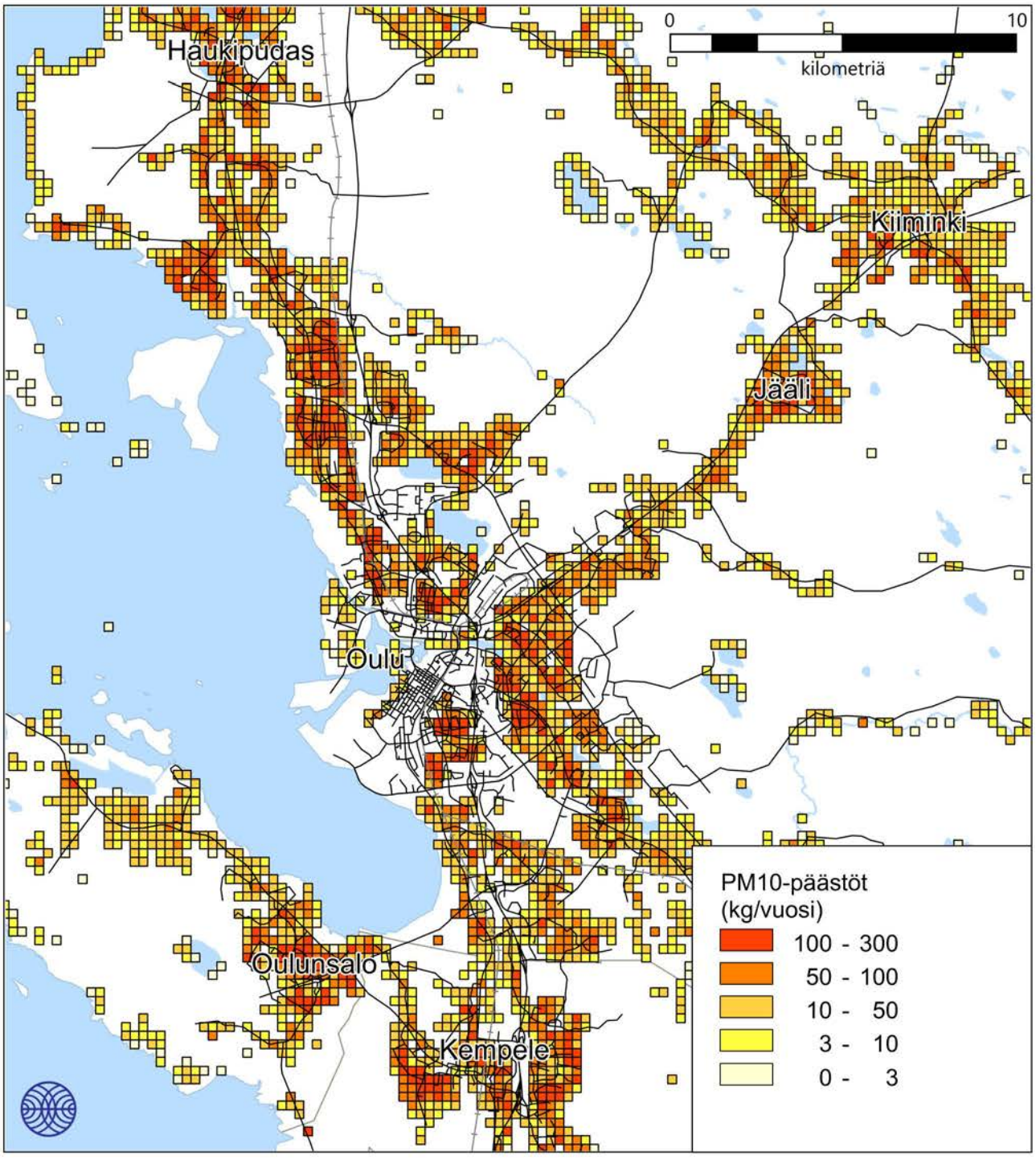
Ilmatieteen laitos, 2021

Kuva 71. Kiinteistökohtaisen lämmityksen pienhiukkaspäästöt (kg/a) vuonna 2015.



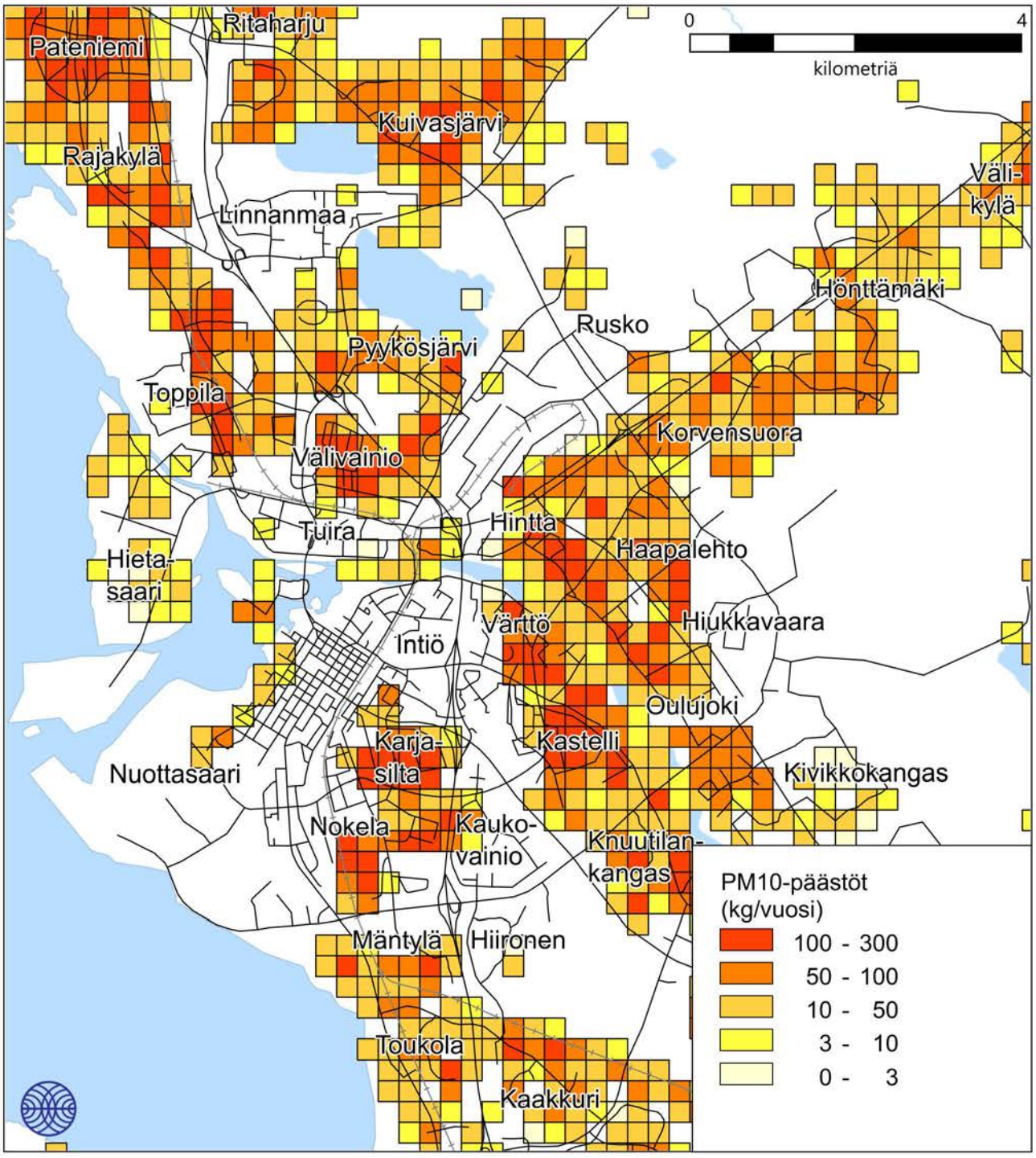
Ilmatieteen laitos, 2021

Kuva 72. Kiinteistökohtaisen lämmityksen pienhiukkaspäästöt (kg/a) vuonna 2015.



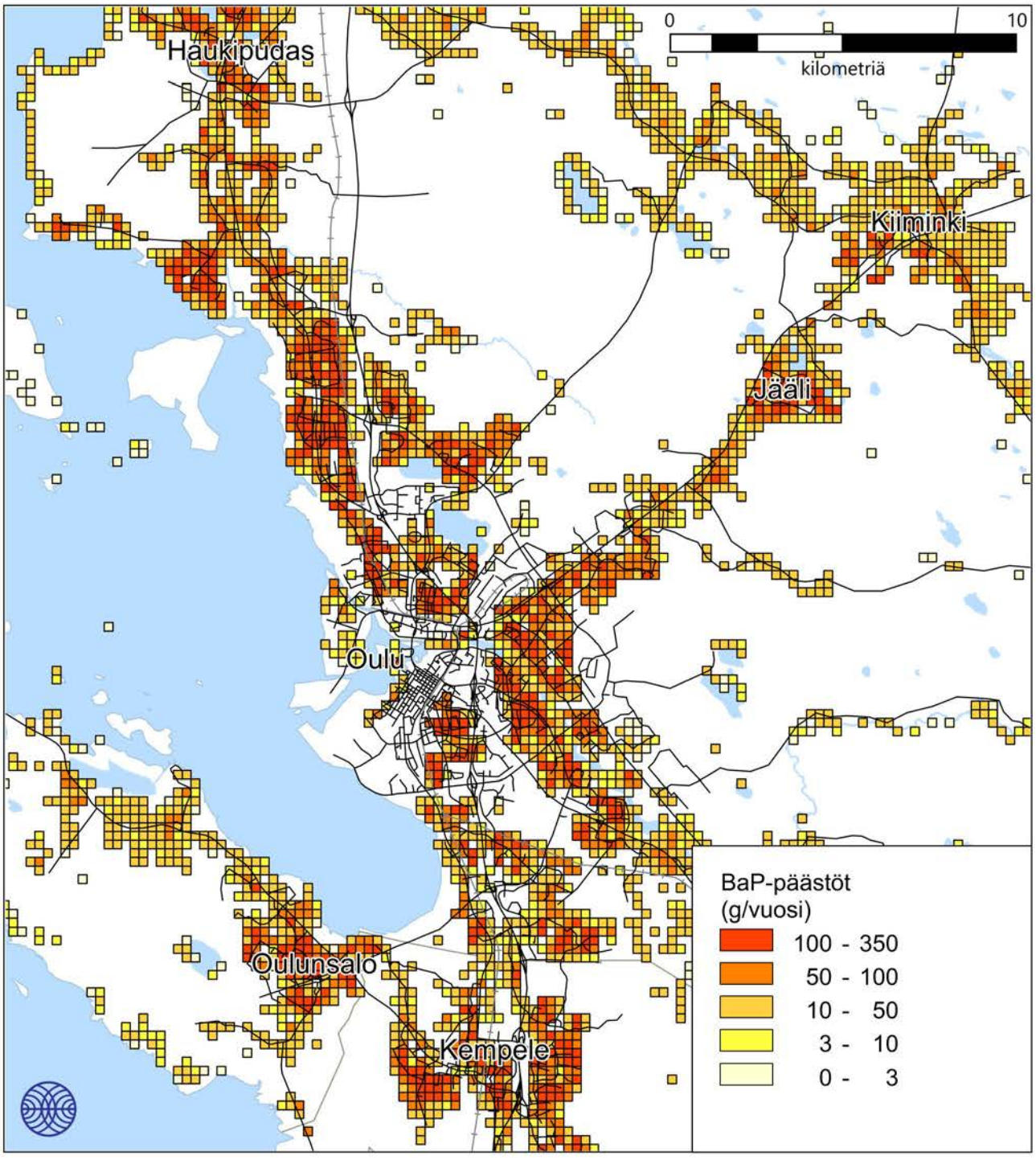
Ilmatieteen laitos, 2021

Kuva 73. Kiinteistökohtaisen lämmityksen hengitettävien hiukkasten päästöt (kg/a) vuonna 2015.



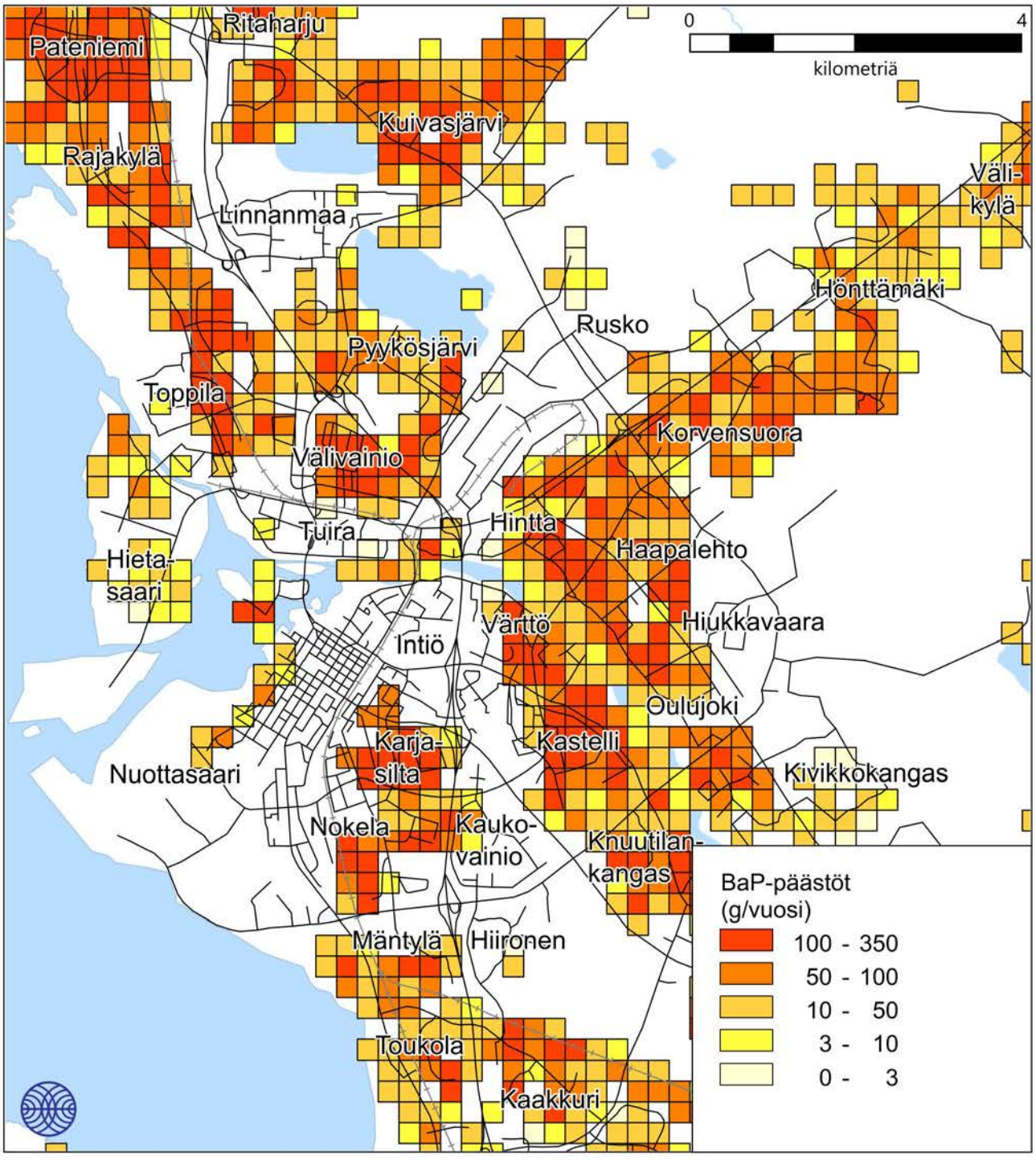
Ilmatieteen laitos, 2021

Kuva 74. Kiinteistökohtaisen lämmityksen hengitettävien hiukkasten päästöt (kg/a) vuonna 2015.



Ilmatieteen laitos, 2021

Kuva 75. Kiinteistökohtaisen lämmityksen bentso(a)pyreenipäästöt (g/a) vuonna 2015.



Ilmatieteen laitos, 2021

Kuva 76. Kiinteistökohtaisen lämmityksen bentso(a)pyreenipäästöt (g/a) vuonna 2015.

ILMATIETEEN LAITOS

ILMATIETEEN LAITOS
puh. 029 539 1000

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

WWW.ILMATIETEENLAITOS.FI