



KAJAANIN ILMANLAADUN TARKKAILU

Mittaustulokset vuodelta 2018



KAJAANIN ILMANLAADUN TARKKAILU

Mittaustulokset vuodelta 2018

**Birgitta Komppula
Helena Saari
Jatta Salmi
Jaakko Laakia
Mika Vestenius
Antti Wemberg**



Kuva: Birgitta Komppula, Ilmatieteen laitos

**ILMATIETEEN LAITOS
ASiantuntijapalvelut – Ilmanlaatu ja energia
Helsinki 8.4.2019**

SISÄLLYSLUETTELO

OSA I	3
1 JOHDANTO	3
2 ILMANLAADUN MITTAUSTULOKSET	4
2.1 Mitatut pitoisuudet	4
2.2 Ilmanlaatuindeksi.....	4
2.3 Pitoisuuksien suhde ohje- ja raja-arvoihin.....	5
2.4 Tuulen suunnan ja nopeuden vaikutus mitattuihin pitoisuuksiin	8
2.5 Pitoisuuksien ajallinen vaihtelu.....	10
2.6 Pitoisuuksien vertailua muilla mittausasemilla mitattuihin pitoisuuksiin	12
2.6.1 Typpidioksidi.....	12
2.6.2 Hengitettävät hiukkaset.....	14
2.7 Vuoden 2018 pitoisuuksien vertailua vuosien 2008–2017 pitoisuuksiin	16
2.7.1 Typpidioksidi.....	16
2.7.2 Hengitettävät hiukkaset.....	19
3 YHTEENVETO.....	23
OSA II	26
4 ILMANLAATUMITTAUSTEN TOTEUTUS.....	26
4.1 Ilmanlaadun tarkkailun tavoitteet.....	26
4.2 Mittausasema	26
4.3 Mitatut suureet ja mittausmenetelmät	29
4.4 Kalibrointimenetelmät, laadunvarmistus ja laitehuollot	31
5 SÄÄTIEDOT	32
5.1 Tuulitiedot vuodelta 2018	32
5.2 Keskilämpötilat ja sademäärät Kajaanissa vuonna 2018.....	33
5.3 Säätekijöiden vaikutus ilman epäpuhtauksien leviämiseen	34
6 TAUSTATIETOA MITATUISTA ILMAN EPÄPUHTAUKSISTA	36
6.1 Typen oksidit.....	36
6.2 Hiukkaset.....	36
6.3 Ilman epäpuhtauksien terveysvaikutukset.....	38
6.4 Ilmanlaadun ohje- ja raja-arvot.....	39
6.5 Ilmanlaadun arviointikynnykset.....	40
VIITELUETTELO.....	41
LIITETAULUKOT	42
LIITEKUVAT	45

Selitteet raportissa käytetyille tärkeimmille yksiköille ja lyhenteille:

Yksiköt:

μm	mikrometri = millimetrin tuhannesosa
$\mu\text{g}/\text{m}^3$	mikrogrammaa (= gramman miljoonasosaa) kuutiometrissä ilmaa (pitoisuus)
$^\circ$	aste (tuulen suunta)
m/s	metriä sekunnissa (tuulen nopeus)
$^\circ\text{C}$	Celsiusaste (lämpötila)
atm	atmosfääri, paineen yksikkö, 1 atm = normaali-ilmakehän paine
K	Kelvinaste (lämpötila), 293 K = 20 $^\circ\text{C}$
kPa	kilopascal, paineen yksikkö, 101,3 kPa = 1 atm
ppb	parts per billion (miljardisosa; pitoisuus)

Lyhenteet:

PM ₁₀	hengitettävät hiukkaset = alle 10 μm :n kokoiset hiukkaset
PM _{2,5}	pienhiukkaset = alle 2,5 μm :n kokoiset hiukkaset
NO	typpimonoksidi
NO ₂	typpidioksidi
NO _x	typen oksidit (typpimonoksidin ja typpidioksidin yhteismäärä ilmoitettuna typpidioksidina)
N	pohjoinen (tuulen suunta), kun tuulee pohjoisesta tuulen suunta on 0 $^\circ$ tai 360 $^\circ$
E	itä (tuulen suunta), kun tuulee idästä tuulen suunta on 90 $^\circ$
S	etelä (tuulen suunta), kun tuulee etelästä tuulen suunta on 180 $^\circ$
W	länsi (tuulen suunta), kun tuulee lännestä tuulen suunta on 270 $^\circ$



Kajaanin rautatieasema. Kuva: Birgitta Komppula, Ilmatieteen laitos

OSA I

1 JOHDANTO

Ilmatieteen laitos mittasi vuosina 2008–2018 Kajaanin ilmanlaatua kaupungin keskustassa Lönnrotinkadulla kaupunginteatterin vieressä. Mitattavat ilman epäpuhtaudet olivat typen oksidit (NO, NO₂, NO_x) ja alle 10 mikrometrin kokoiset hengitettävät hiukkaset (PM₁₀). Ilmanlaatumittausten tulosten tulkintaa varten mittausasemalla kerättiin myös säätietoja (tuulen suunta ja nopeus, ulkoilman lämpötila, suhteellinen kosteus ja ilmanpaine). Mittaustuloksia pystyi mittausten aikana seuraamaan reaaliaikaisesti nettisivujen kautta (<http://ilmanlaatu.fmi.fi/kajaani/>). Sivustolla esitettiin reaaliaikaisesti typenoksidi- ja hiukkaspitoisuudet, säätiedot sekä ilmanlaatua kuvaavan ilmanlaatuindeksin arvot. Kajaanin ilmanlaadun mittaukset loppuivat vuoden 2018 lopussa. Kajaanin hengitettävien hiukkasten pitoisuusmittaukset olivat osa koko Suomen alueella tehtävää, Euroopan unionille vuosittain raportoitavaa ilmanlaadun raja-arvovalvontaa. Jatkossa Kainuun ELY-keskuksen seuranta-alueen ilmanlaadun seuranta ja pitoisuustasojen arviointeja on toteutettava muilla tavoin kuten mallintamalla tai päästöinventaarioilla.

Kajaanissa on seurattu ilmanlaatua mittauksin yhteistyössä teollisuuden, energiantuottajien ja kaupungin kanssa vuodesta 1991 alkaen. Vuosina 1991–1996 mittauksia tehtiin Pöllyvaaralla ja kaupungin keskustassa ja vuodesta 1997 alkaen kaupungin keskustassa. Kajaanin keskustassa mitattiin vuoden 2007 loppuun asti rikkidioksidin, typen oksidien ja hengitettävien hiukkasten pitoisuuksia. Vuonna 2008 rikkidioksidin pitoisuusmittauksista luovuttiin, koska edeltävinä vuosina mitatut pitoisuudet olivat olleet hyvin pieniä. Kajaanin keskustan ilmanlaatumittaukset Lönnrotinkadulla jatkuivat typen oksidien ja hengitettävien hiukkasten pitoisuusmittauksilla vuoden 2018 loppuun asti. Kajaanin ilmanlaatu- ja säämittausten rahoittajia olivat vuonna 2018 Kajaanin kaupungin lisäksi Kainuun Voima Oy, Loiste Lämpö Oy, YIT Infra Oy (asfalttiasema), NCC Industry (asfalttiasema) sekä Kainuun sosiaali- ja terveydenhuollon kuntayhtymä.

Kajaanin vuoden 2018 ilmanlaadun tarkkailu toteutettiin ilmanlaatuasetuksen (Vna 79/2017), kansallisen ilmanlaadun mittausohjeen (*Ilmatieteen laitos, 2017*) sekä Ilmatieteen laitoksen ilmanlaatumittausten laatujärjestelmän mukaisella laadunvarmistustasolla. Tutkimuksen toteutukseen Ilmatieteen laitoksella osallistuivat Birgitta Komppula, Helena Saari ja Jatta Salmi (mittausten valvonta, mittaustulosten käsittely ja raportointi) sekä Jaakko Laakia, Mika Vestenius ja Antti Wemberg (kenttätyöt, kalibroinnit ja laadunvarmistus). Kajaanin kaupungin yhdyshenkilönä on mittaussasioissa toiminut ympäristönsuojelutarkastaja Paula Malinen.

2 ILMANLAADUN MITTAUSTULOKSET

2.1 Mitatut pitoisuudet

Kajaanin keskustan ilmanlaadun mittausasemalla vuonna 2018 mitatut typen oksidien ja hengitettävien hiukkasten vuosikeskiarvopitoisuudet on esitetty taulukossa 1. Raportin lopussa olevissa liitetaulukoissa 1–4 on esitetty mitatut pitoisuudet kuukausittaisina tuntipitoisuuksien ja vuorokausipitoisuuksien tilastosuureina, joita voidaan verrata ilmanlaadun ohjearvoihin.

Raportin lopussa olevissa liitekuviissa 1–8 on esitetty Kajaanin keskustan Lönnrotinkadun mittausasemalla 1.1.–31.12.2018 mitattujen ilman epäpuhtauksien pitoisuuksien tuntiarvot ja vuorokausikeskiarvot yksikössä $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (typen oksidit 20 °C, hengitettävät hiukkaset ulkoilman lämpötilassa). Liitekuviissa 9–12 on puolestaan esitetty tuulen nopeuden, ulkoilman lämpötilan, suhteellisen kosteuden ja ilmanpaineen tuntikeskiarvot samalta mittausjaksolta.

Taulukko 1. Kajaanin keskustassa vuonna 2018 mitatut typenoksidien ja hiukkasten vuosikeskiarvopitoisuudet ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

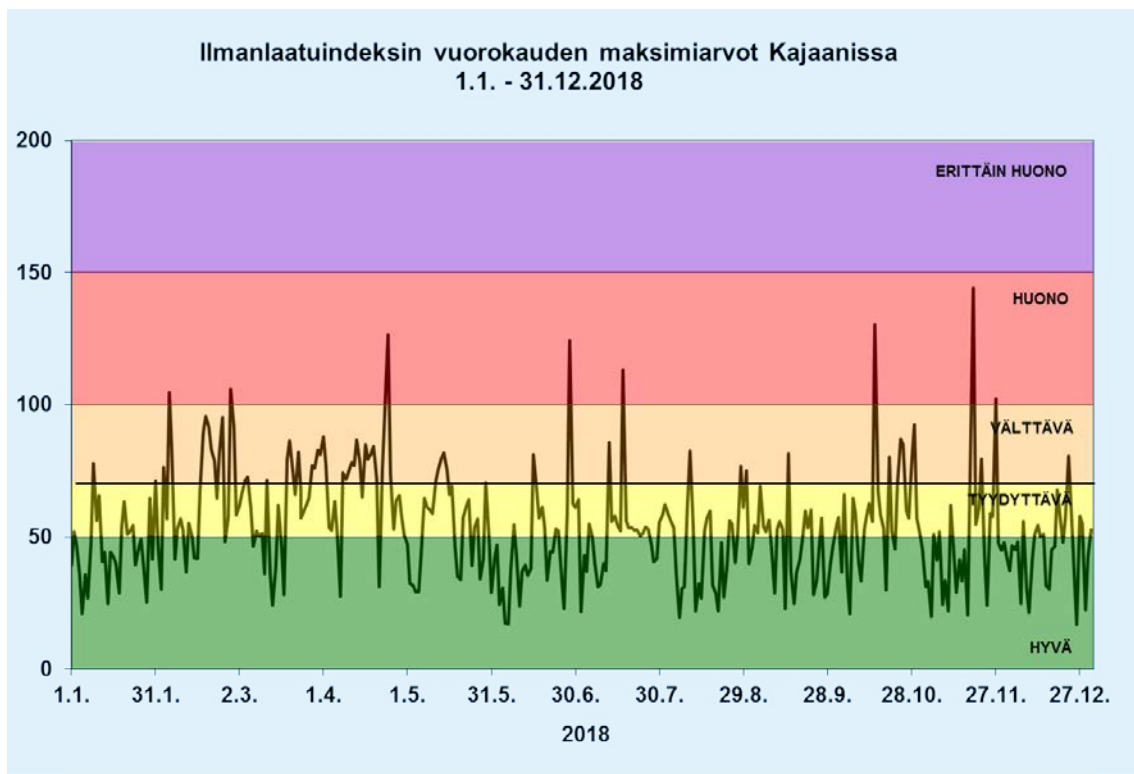
Mitattu vuosikeskiarvopitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Kajaani Lönnrotinkatu
NO	9
NO ₂	15
Kokonais-NO _x (NO ₂ :na ilmaistuna)	28
PM ₁₀	14

2.2 Ilmanlaatuindeksi

Kajaanin keskustassa mitattujen ilman epäpuhtauspitoisuuksien perusteella laskettiin ilmanlaatuindeksi, joka kuvaa vallitsevaa ilmanlaatuutilannetta sanallisella asteikolla: hyvä, tyydyttävä, välttävä, huono tai erittäin huono. Indeksien laskentaan käytetään typpidioksidin ja hengitettävien hiukkasten tuntipitoisuuksia. Ilmanlaatuindeksi on vertailuluku, joka kuvaa sen hetkistä ilmanlaatua suhteutettuna ilmanlaadun ohje- ja raja-arvoihin. Ilmanlaatuindeksin määrittämiseksi kullekin mitattavalle yhdisteelle lasketaan ensin pitoisuuksien tuntikeskiarvoista ali-indeksi. Ali-indekseistä korkeimman arvo määrää sen tunnin ilmanlaatuindeksin arvon. Tunneittaiset indeksiarvot ja mitatut tuntipitoisuudet ovat olleet nähtävillä mittauksen nettisivuilla reaaliaikaisesti ja historiatietoina mittauksen alusta vuoden 2018 loppuun asti.

Kuvassa 1 on esitetty yhteenveto vuoden 2018 vuorokauden maksimi-indeksiarvoista Kajaanin keskustassa. Tässä tarkastelussa mittauspäivän indeksi määräytyy ilmanlaadultaan huonoimman tunnin mukaan. Indeksillä ilmaistuna ilmanlaatu oli hyvää 43 %, tyydyttävää 42 % ja välttävää 13 % päivistä. Ilmanlaatu oli huonoa 8 päivänä (2 % päivistä). Erittäin huonon ilmanlaadun päiviä ei esiintynyt vuonna 2018. Huonon

ilmanlaadun aiheuttajana olivat hengitettävien hiukkasten pitoisuudet. Talvikuukausina (5.2., 27.2., 27.11.) hiukkaspitoisuuksia kohotti tyyni, stabiili pakkassää, jolloin päästöt eivät päässeet laimenemaan. Katupölyn vuoksi ilmanlaatu heikentyi 24.4. sekä syksyllä 19.11. talvirengaskauden alettua. Kesällä 2018 ilmanlaatu oli huonoa Lönnrotinkadun katutyömaalta ja kaupungintalon remontista ympäristöönsä leviävä pölyn vuoksi (28.6., 17.7.). Ilmanlaatu heikentyi 15.10. voimakkaan etelävirtauksen mukana tulleen hiukkaskaukokulkeuman vuoksi. Kajaanissa oman lisänsä hiukkaspitoisuuksiin toi kyseisenä ajankohtana myös kaupungintalon remonti.



Kuva 1. Vuorokauden suurimmat ilmanlaatuindeksin arvot Kajaanissa vuonna 2018.

2.3 Pitoisuuksien suhde ohje- ja raja-arvoihin

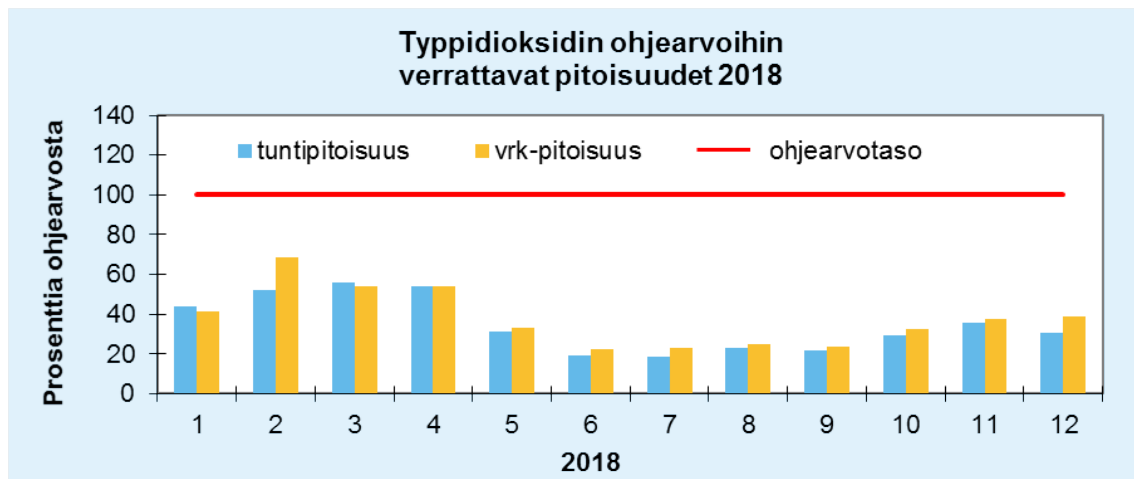
Taulukossa 2 ja kuvissa 2–3 on esitetty Kajaanin keskustassa vuonna 2018 mitatut typpidioksidin ja hengitettävien hiukkasten ohjearvoihin verrattavat pitoisuudet kuukausittain sekä näiden pitoisuuksien suhde vastaaviin ohjearvoihin. Typpidioksidin ja hengitettävien hiukkasten pitoisuudet alittivat ohjearvot vuonna 2018.

Typpidioksidin ohjearvoihin verrannolliset tuntipitoisuudet vaihtelivat välillä 19–56 % ohjearvosta. Vuorokausipitoisuudet vaihtelivat välillä 22–69 % ohjearvosta. Suurimmat typpidioksidin ohjearvoihin verrattavat pitoisuudet mitattiin helmi- ja maaliskuussa.

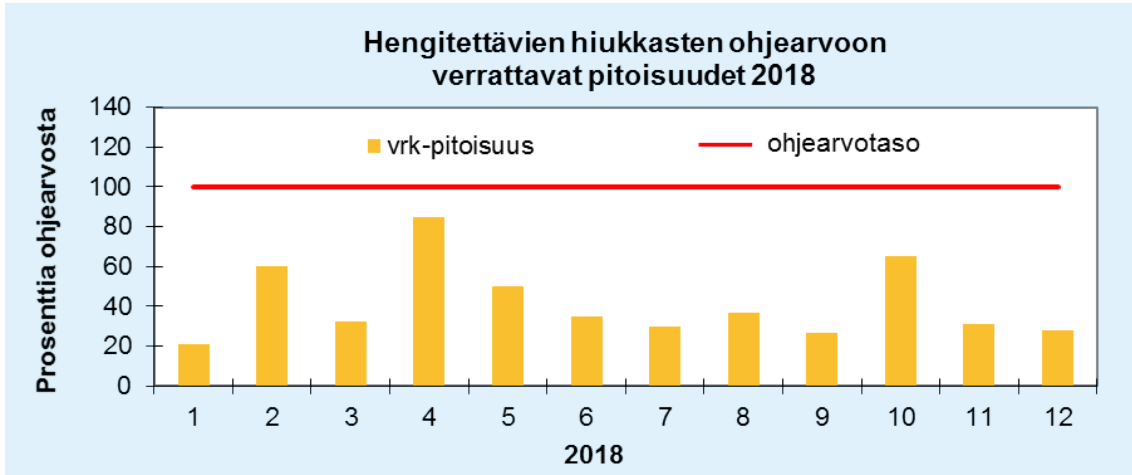
Hengitettävien hiukkasten ohjearvoon verrattavat pitoisuudet olivat 21–85 % vuorokausiohjearvosta. Suurimmat hengitettävien hiukkasten ohjearvoon verrattavat pitoisuudet mitattiin huhtikuussa katupölykaudella.

Taulukko 2. Typpidioksidin (NO₂) ja hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) ohjearvoihin verrattavat pitoisuudet kuukausittain sekä näiden suhde ohjearvoihin vuonna 2018.

Kajaani 2018	NO ₂ tunti		NO ₂ vrk		PM ₁₀ vrk	
	99 %-piste (µg/m ³)	% ohje- arvosta	2. suurin vrk (µg/m ³)	% ohje- arvosta	2. suurin vrk (µg/m ³)	% ohje- arvosta
Tammikuu	65	44 %	29	41 %	15	21 %
Helmikuu	79	52 %	48	69 %	42	60 %
Maaliskuu	84	56 %	38	54 %	23	33 %
Huhtikuu	81	54 %	38	54 %	59	85 %
Toukokuu	47	31 %	23	33 %	35	50 %
Kesäkuu	29	19 %	16	22 %	24	35 %
Heinäkuu	28	19 %	16	23 %	21	30 %
Elokuu	34	23 %	18	25 %	26	37 %
Syyskuu	33	22 %	16	24 %	19	27 %
Lokakuu	44	30 %	23	33 %	46	65 %
Marraskuu	53	36 %	26	37 %	22	31 %
Joulukuu	46	31 %	27	39 %	19	28 %
Ohjearvo	150		70		70	

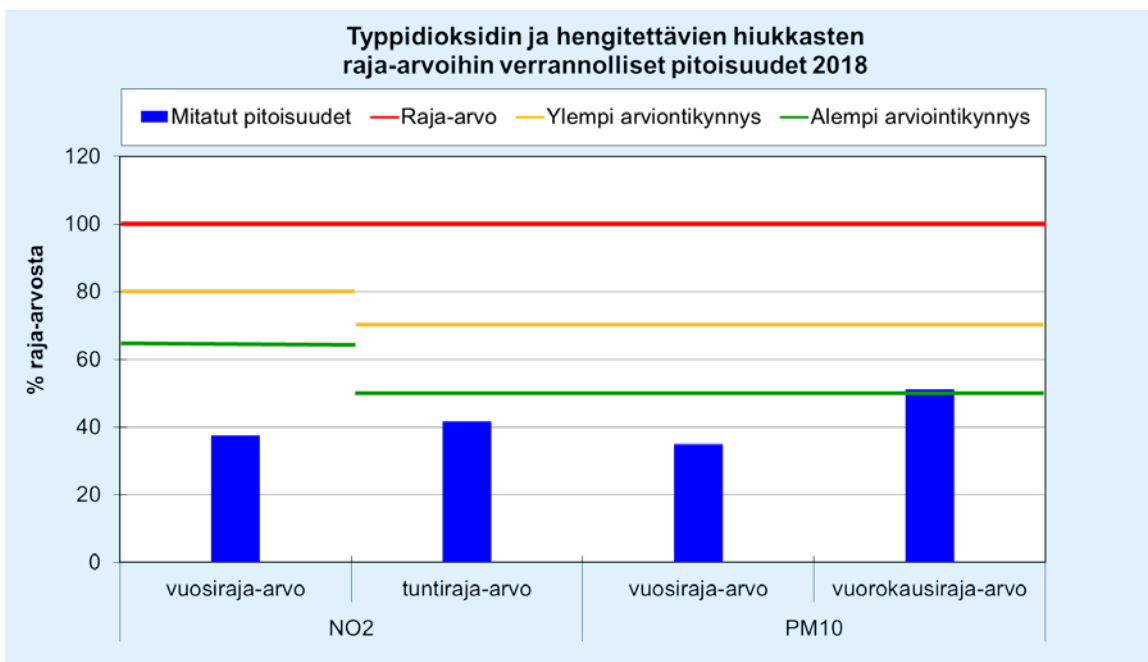


Kuva 2. Typpidioksidin (NO₂) ohjearvoihin verrattavat pitoisuudet suhteessa (%) ohjearvoihin Kajaanin keskustassa vuonna 2018. Typpidioksidipitoisuuden tuntiohjearvo on 150 µg/m³ ja vuorokausiohjearvo 70 µg/m³.



Kuva 3. Hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) vuorokausiohjearvoon verrattavat pitoisuudet suhteessa (%) ohjearvoon Kajaanin keskustassa vuonna 2018. Hengitettävien hiukkasten pitoisuuden vuorokausiohjearvo on 70 µg/m³. Pitoisuudet on ilmaistu ulkoilman lämpötilassa.

Kuvassa 4 on esitetty typpidioksin ja hengitettävien hiukkasten raja-arvoihin verrannolliset pitoisuudet suhteessa raja-arvoihin vuonna 2018. Typpidioksidipitoisuuden vuosikeskiarvo 15 µg/m³ oli 38 % raja-arvosta (40 µg/m³). Typpidioksidipitoisuuden tuntiraja-arvotaso (200 µg/m³) ei ylittynyt kertaakaan, kun ylityksiä sallitaan 18 kpl kalenterivuodessa. Raja-arvoon verrannollinen pitoisuus eli 19. korkein tuntipitoisuus oli 83 µg/m³ (42 % raja-arvosta).



Kuva 4. Typpidioksinin (NO₂) ja hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) raja-arvoihin verrattavat pitoisuudet Kajaanin keskustassa vuonna 2018 verrattuna raja-arvoon sekä ylempään ja alempaan arviointikynnökseen.

Hengitettävien hiukkasten vuosikeskiarvo $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ oli 35 % raja-arvosta ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Hengitettävien hiukkasten vuorokausiraja-arvotaso ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ylittyi 4 kertaa, kun sallittujen ylitysten määrä on 35 kpl kalenterivuodessa. Raja-arvoon verrannollinen pitoisuus eli 36. korkein vuorokausipitoisuus oli $26 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (51 % raja-arvosta), mikä ylittää alemman arviointikynnyksen tason ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Raja-arvotaso ylittyi katupölyn johdosta 23.–24.4.2018, hiukkaskaukokulkeuman ja remonttipölyn vuoksi 15.10.2018 sekä syksyisen katupölyn vuoksi 19.11.2018, jolloin mitattiin vuoden selvästi suurin hengitettävien hiukkasten vuorokausipitoisuus $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

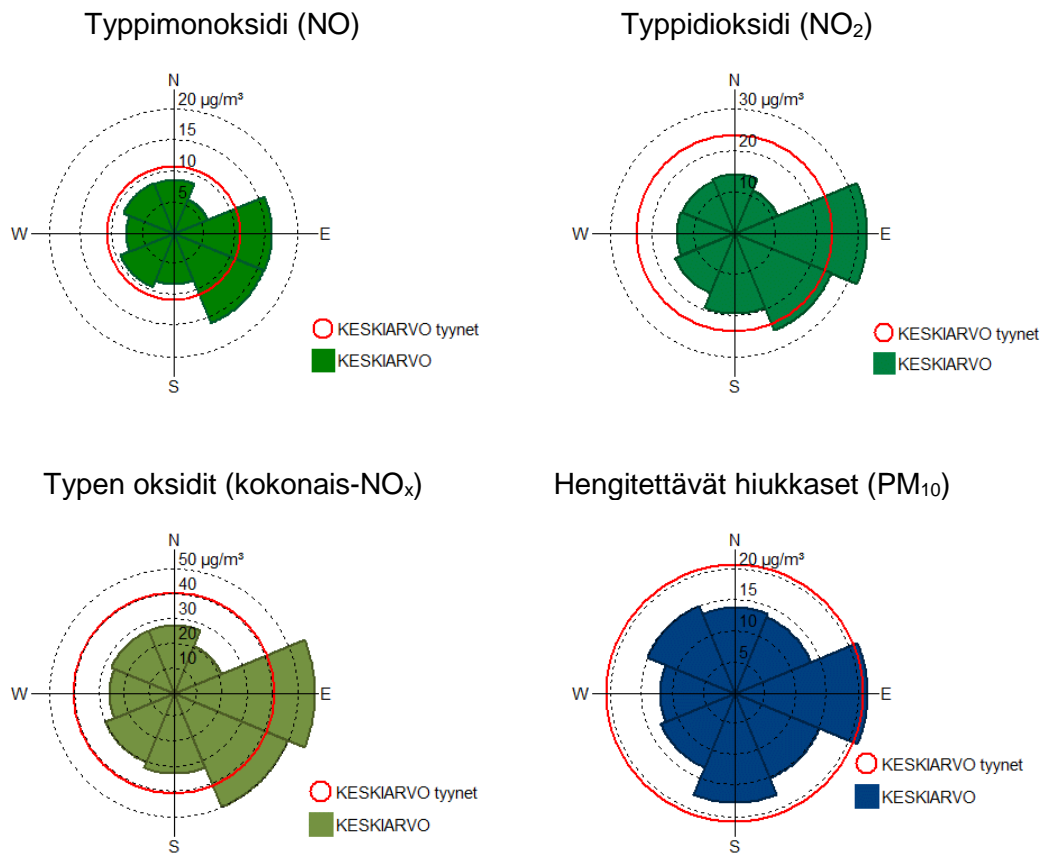
2.4 Tuulen suunnan ja nopeuden vaikutus mitattuihin pitoisuuksiin

Kuvassa 5 on havainnollistettu tuulen suunnan ja nopeuden vaikutusta Kajaanin keskustan typen oksidien ja hengitettävien hiukkasten pitoisuuksiin ns. saasteruusujen avulla. Saasteruusuu kuvaava tuntipitoisuuksien keskiarvoja eri tuulensuunnilla. Saasteruusun keskipisteestä lähtevän janan pituus sektorin kehäviivalle vastaa epäpuhtauden tuntipitoisuuksien keskiarvoa tässä tuulisektorissa. Tyynellä säällä havaittujen tuntipitoisuuksien arvo on esitetty ympyrällä, jonka säteen pituus kuvaa tyynissä tilanteissa havaittujen pitoisuuksien keskiarvoa. Tyyniksi luokitellaan tilanteet, joissa tuulennopeus on alle 0,4 m/s.

Typen oksidien pitoisuuksiin vaikuttavat sekä energiantuotannon ja teollisuuden päästöt että liikenteen päästöt. Liikenneväylien läheisyydessä liikenteen päästöt hallitsevat, sillä energiantuotannon ja teollisuuden päästöt tulevat ulkoilmaan yleensä korkeista piipuista ja ehtivät sekoittua ja laimentua ennen maanpintatasoa. Liikenteen päästöt vapautuvat maanpinnan läheisyydestä ja usein myös niiden sekoittumis- ja laimenemisympäristö on katuja reunustavien rakennusten vuoksi rajoitettu. Tällaisissa olosuhteissa liikenteestä aiheutuvien epäpuhtauksien pitoisuudet nousevat korkeiksi tyynen tai heikkotuulisen sään aikana ja erityisesti ns. inversiotilanteissa ilmakehän pystysuuntaisen lämpötilajakauman estäessä tai rajoittaessa epäpuhtauksien laimenemistä myös pystysuunnassa. Pakokaasujen typenoksidipäästöt ovat pääasiassa typpimonoksidia (NO), joka hapettuu ilmakehässä muun muassa otsonin vaikutuksesta typpidioksidiksi (NO₂). Typpimonoksidipitoisuudet kuvastavat siten parhaiten mittauspisteen lähialueen liikenteestä aiheutuvaa kuormitusta. Typpidioksidipitoisuuksiin vaikuttavat myös kauempana sijaitsevat päästölähteet.

Typen oksidien tuntipitoisuuksien keskiarvot olivat Kajaanin keskustassa vuonna 2018 suurimmillaan tyynellä säällä (kuva 5). Johtuen Lönnrotinkadun mittauspisteen sijainnista kaupungintalon ja teatteritalon katveessa, jäi itä-, kaakkois- ja etelätuulien osuus tuuliaineistossa hyvin pieneksi suhteessa muihin ilmansuuntiin, vain muutamaan kymmeneen havaintoon (vrt. kuva 26 ja liitekuva 13), joten pitoisuuskeskiarvoja näissä tuulensuunnissa ei voida pitää vertailukelpoisena muilla tuulensuunnilla esiintyneisiin pitoisuuskeskiarvoihin nähden.

Hengitettävien hiukkasten pitoisuuksissa on yksittäisten päästölähteiden vaikutusta yleensä vaikeampi erottaa kuin typen oksideilla. Vuodenaika, liikenne, kaukokulkeuma, katujen pölyäminen ja meteorologiset tekijät vaikuttavat hiukkaspitoisuuksiin voimakkaasti. Hengitettävien hiukkasten pitoisuuskeskiarvot olivat Kajaanin keskustassa vuonna 2018 suurimmillaan tyynellä säällä (kuva 5).



Kuva 5. Typpimonoksidin, typpidioksidin, typen oksidien ja hengitettävien hiukkasten tuntipitoisuuksien keskiarvot eri tuulensuunnilla ja tyynellä säällä Kajaanin keskustassa vuonna 2018.

2.5 Pitoisuuksien ajallinen vaihtelu

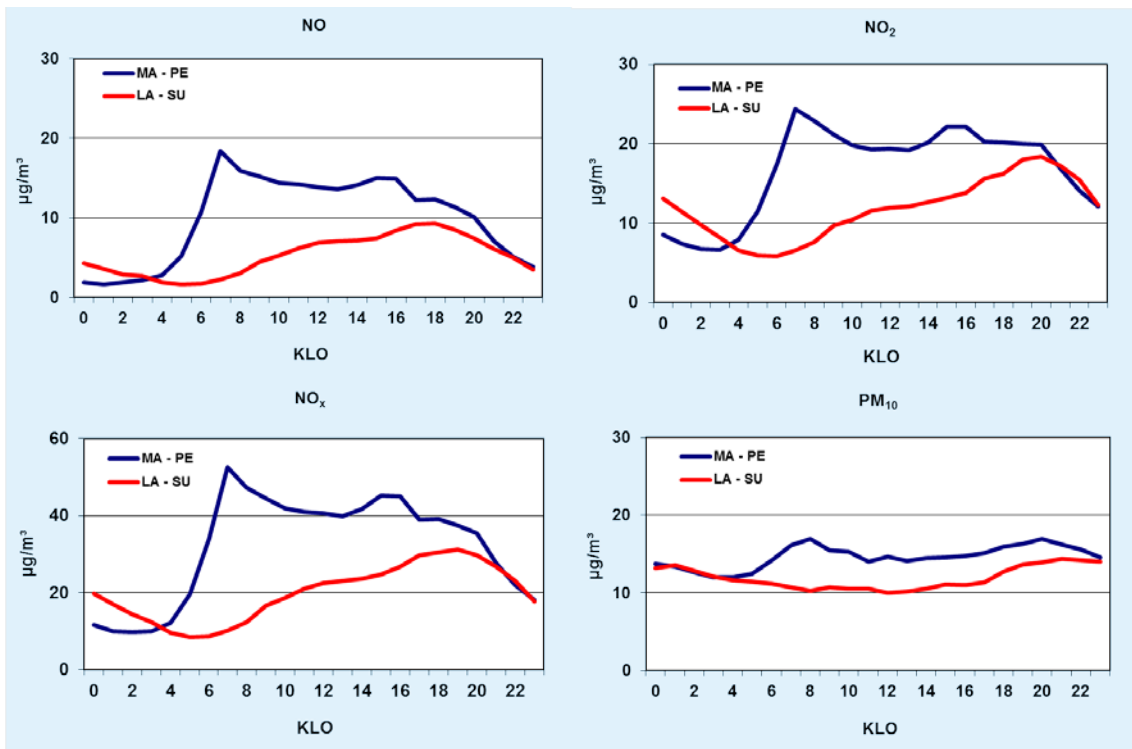
Kuvassa 6 on tarkasteltu typpimonoksidin, typpidioksidin ja typen oksidien kokonaismäärän sekä hengitettävien hiukkasten tuntipitoisuuksien keskimääräistä vaihtelua Kajaanin keskustassa kellonajan mukaan erikseen arkipäivisin (maanantai–perjantai) ja viikonloppuisin (lauantai–sunnuntai).

Typen oksidien tuntipitoisuuksien vuorokausivaihtelussa havaitaan selvästi liikenteen päästöjen vaikutus: arkipäivisin pitoisuudet olivat pienimmillään aamuyön tunteina ja pitoisuudet kasvoivat nopeasti siten, että pitoisuushuippu saavutettiin aamun ruuhkaliikenteen aikaan. Typpidioksidipitoisuudet kohosivat päiväsaikaan keskimäärin tasolle $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja ruuhka-aikoina vähän korkeammallekin. Viikonloppuisin typenoksidien pitoisuudet olivat matalampia kuin pitoisuudet arkipäivisin ja aamun pitoisuushuippu puuttui kokonaan korkeimpien pitoisuuksien painottuessa iltaan.

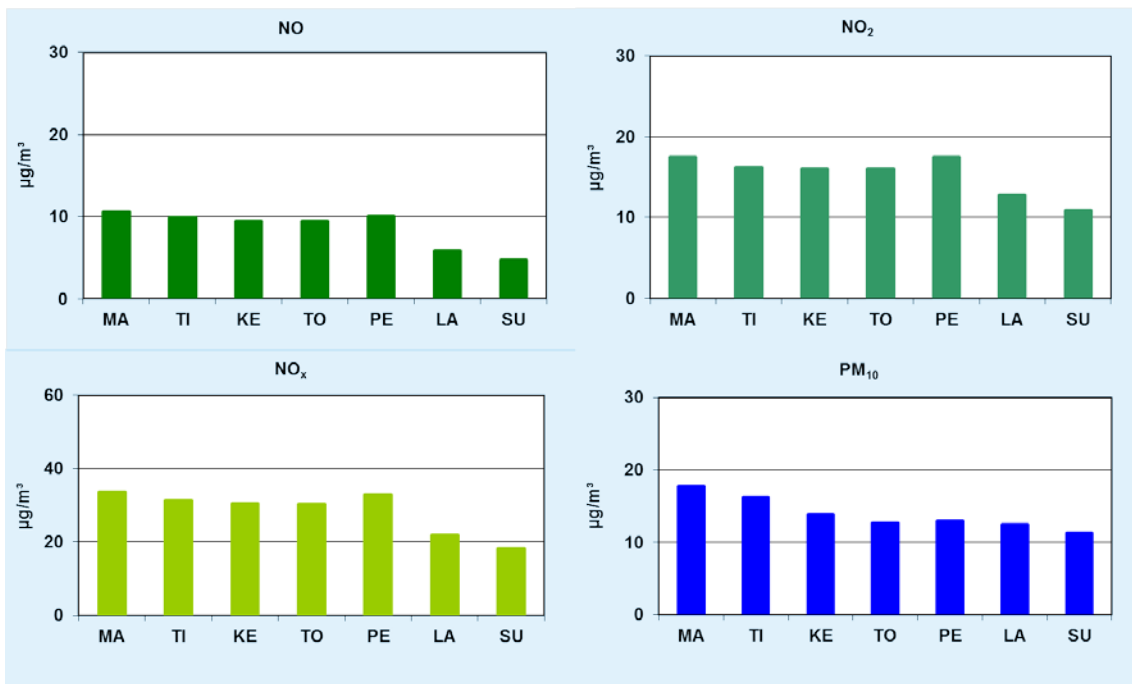
Hengitettävien hiukkasten tuntipitoisuudet vaihtelivat jonkin verran typen oksidien pitoisuuksista poikkeavasti. Hengitettävien hiukkasten vuorokauden sisäinen pitoisuusvaihtelu oli vähäistä, vain pieni pitoisuusnousu oli arkipäivisin havaittavissa aamuruuhkan aikaan. Viikonloppuisin hengitettävien hiukkasten pitoisuudet olivat päivällä pienempiä kuin iltaisin ja öisin.

Hiukkaspitoisuuden vuorokaudenaikaisvaihtelu poikkeaa taajamien liikennerympäristöissä yleensä jonkin verran kaasumaisten yhdisteiden, kuten typen oksidien, pitoisuusvaihtelusta. Hiukkaspitoisuuksiin vaikuttavat pakokaasuissa olevien hiukkasten lisäksi tuulen ja liikenteen maanpinnasta ilmaan nostattamat suuret ja pienet hiukkaset, joiden määrää säätelevät muun muassa liikenteen vilkkaus ja nopeus, tuulen nopeus, maan- ja kadunpinnan kosteus ja sateisuus. Tästä syystä hiukkaspitoisuuksien vaihtelu ei ole niin selvästi kytköksissä liikennemäärän vaihteluun kuin typen oksidien pitoisuusvaihtelu.

Viikonpäivittäin tarkasteltuna (kuva 7) typen oksidien keskimääräinen pitoisuustaso vaihteli siten, että lauantaisin ja sunnuntaisin pitoisuudet olivat selvästi matalampia kuin arkipäivisin. Typen oksidien pitoisuustasot seuraavat herkästi paikallisen liikenteen määrien vaihtelua: viikonloppuisin, kun liikennemäärät ja liikenteen päästöt olivat vähäisempiä, myös mittauksissa havaitut typen oksidien pitoisuudet olivat pienempiä kuin arkisin. Hengitettävillä hiukkasilla vastaavaa eroa ei voitu havaita yhtä selkeästi. Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet olivat korkeimmillaan alkuviikosta. Tämä johtuu siitä, että yhtä päivää lukuunottamatta kaikki vuoden aikana mitatut huonon ilmanlaadun tilanteet, jolloin hengitettävien hiukkasten pitoisuudet olivat korkeimmillaan, osuivat sattumalta maanantaille ja tiistaille. Tämän vuoksi näiden päivien keskiarvopitoisuudet olivat muita arkipäiviä korkeampia. Hiukkaspitoisuudet kohosivat eri päivinä eri tekijöistä johtuen. Hiukkaspitoisuuksia kohottivat inversioilanteet, katupöly, kaupungintalon remontti ja hiukkaskaukokulkeuma.



Kuva 6. Typpimonoksidin (NO), typpidioksidin (NO₂), typen oksidien kokonaismäärän (NO_x) ja hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) tuntipitoisuuksien keskiarvot kellonajan mukaan arkipäivisin (ma–pe) ja viikonloppuisin (la–su) vuonna 2018.



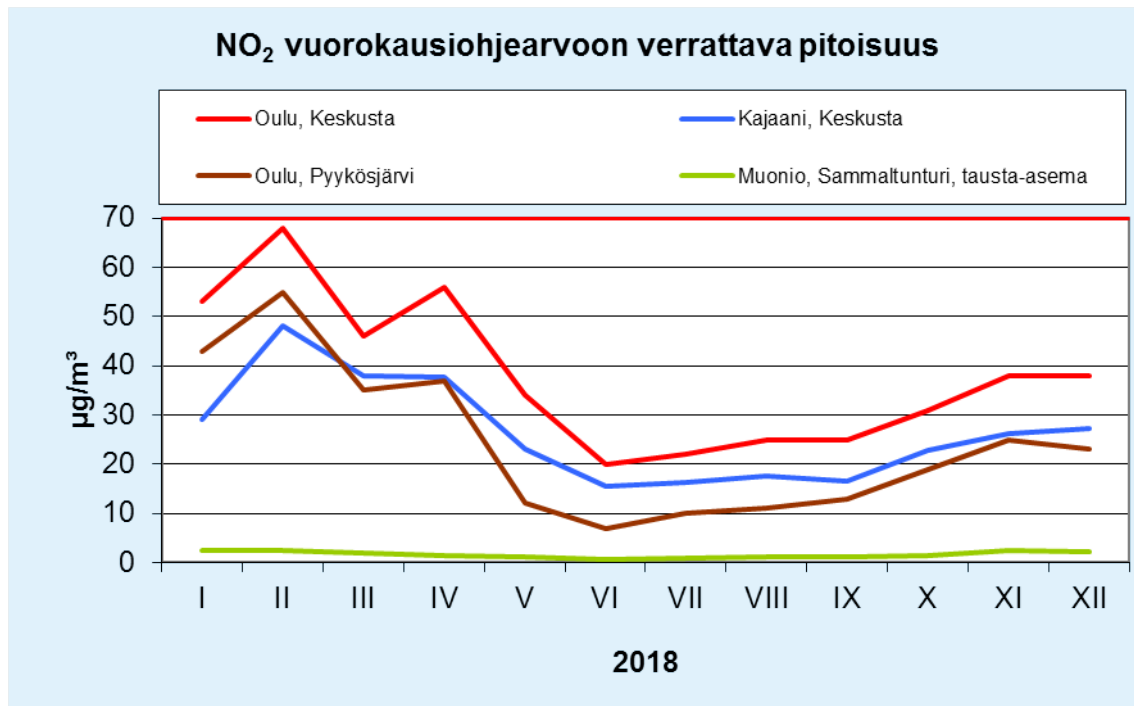
Kuva 7. Typpimonoksidin (NO), typpidioksidin (NO₂), typen oksidien kokonaismäärän (NO_x) ja hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) vuorokausipitoisuuksien keskiarvot viikonpäivän mukaan vuonna 2018.

2.6 Pitoisuuksien vertailua muilla mittausasemilla mitattuihin pitoisuuksiin

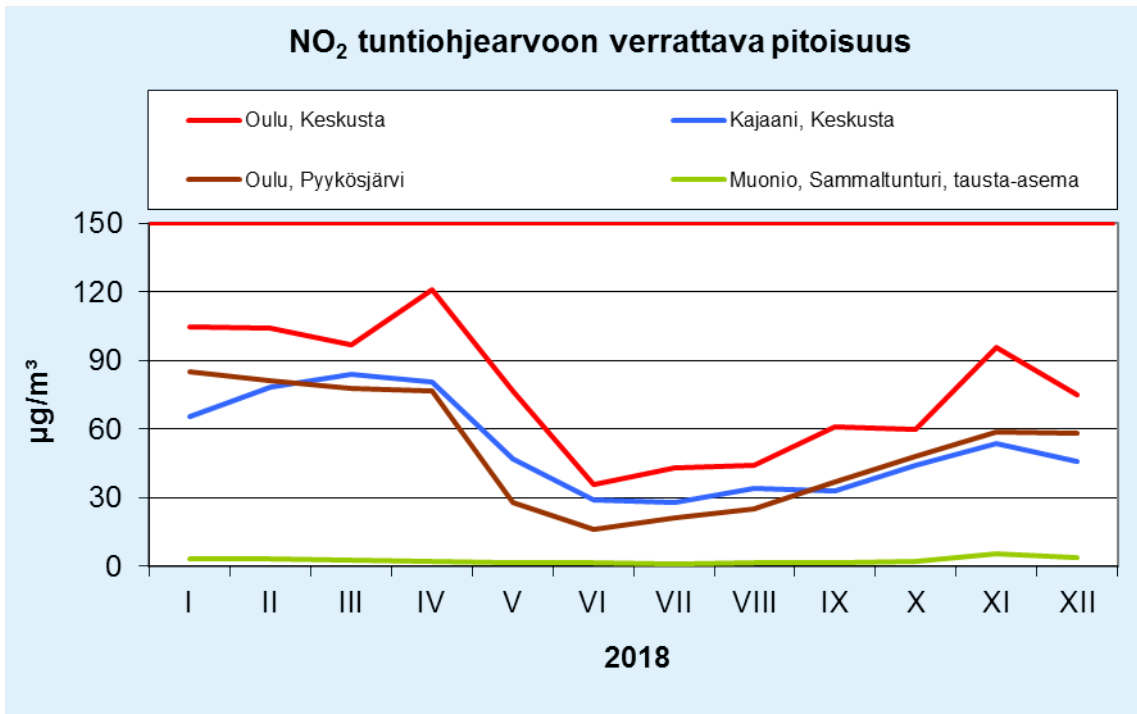
2.6.1 Typpidioksidi

Typpidioksidin pitoisuuksia mitataan Suomessa yli 50 mittausasemalla. Typpidioksidin mittausasemista noin puolet sijaitsee liikenneympäristöissä. Kajaanin keskustassa mitattuja typpidioksidipitoisuuksia on seuraavassa verrattu Oulun keskustan ja Pyykösjärven (*Oulun kaupunki, 2019*) sekä Ilmatieteen laitoksen Sammaltunturin taustamittausaseman (*Ilmatieteen laitos, 2019*) pitoisuuksiin. Mittausasemista Kajaanin ja Oulun keskustan mittausasemat ovat tyypiltään liikenneasemia. Oulun Pyykösjärven mittausasema edustaa ns. esikaupunkitaustaa ja Lapissa Pallaksen alueella sijaitseva Sammaltunturi puhdasta maaseututausta-alueelta. Kuvissa 8–10 on esitetty typpidioksidipitoisuuden tunti- ja vuorokausiohjearvoon verrannolliset pitoisuudet ja kuukausikeskiarvot vuodelta 2018.

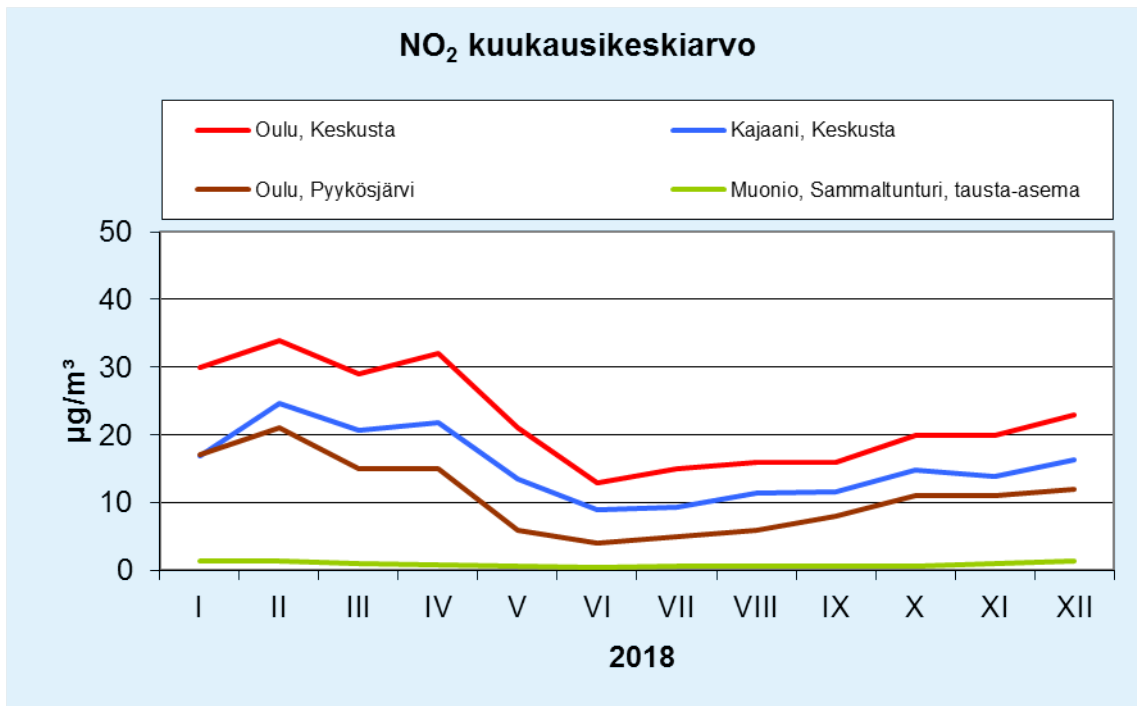
Kajaanin keskustassa typpidioksidipitoisuudet olivat vuonna 2018 tunti- ja vuorokausiohjearvoon verrannollisina pitoisuuksina sekä kuukausikeskiarvoina pääosin matalampia kuin Oulun keskustassa ja korkeampia kuin Oulun Pyykösjärvellä. Talvikuukausina ohjearvoihin verrannolliset pitoisuudet olivat osittain matalampiakin kuin Pyykösjärvellä. Typpidioksidin ohjearvot alittuivat kaikilla tarkastelluilla asemilla. Vuodenaikainen pitoisuusvaihtelu oli kaikilla kaupunkimittausasemilla hyvin samansuuntaista. Korkeimmillaan typpidioksidipitoisuudet olivat vuonna 2018 tammi- huhtikuussa. Leutona loppuvuotena pitoisuudet jäivät alkuvuotta matalammiksi. Sammaltunturin tausta-asemalla typpidioksidipitoisuudet olivat pieniä verrattuna Kajaanissa ja Oulussa mitattuihin pitoisuuksiin.



Kuva 8. Typpidioksidipitoisuuden (NO₂) vuorokausiohjearvoon verrattavat pitoisuudet kuukausittain Kajaanissa, Oulussa ja Sammaltunturin tausta-asemalla vuonna 2018. Ohjearvotaso, 70 µg/m³, on merkitty kuvaan punaisella vaakaviivalla.



Kuva 9. Typpidioksidipitoisuuden (NO₂) tuntiohjeeseen verrattavat pitoisuudet kuukausittain Kajaanissa, Oulussa ja Sammaltunturin tausta-asemalla vuonna 2018. Ohjearvotaso, 150 µg/m³, on merkitty kuvaan punaisella vaakaviivalla.

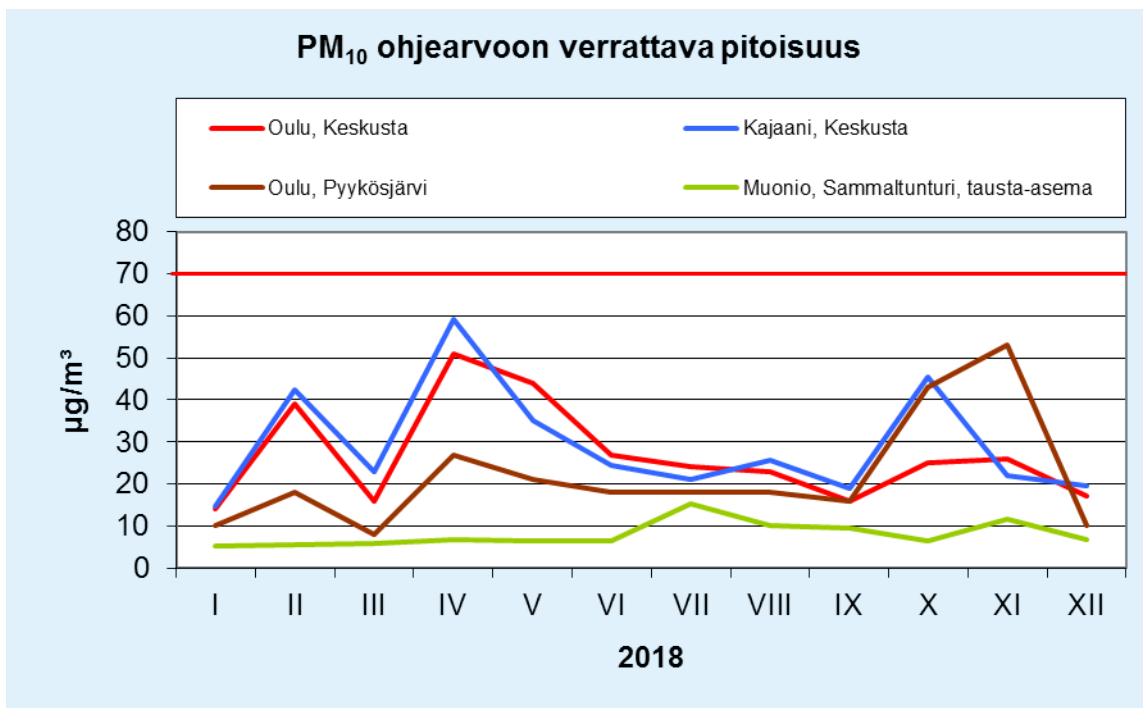


Kuva 10. Typpidioksidipitoisuuden kuukausikeskiarvot Kajaanissa, Oulussa ja Sammaltunturin tausta-asemalla vuonna 2018.

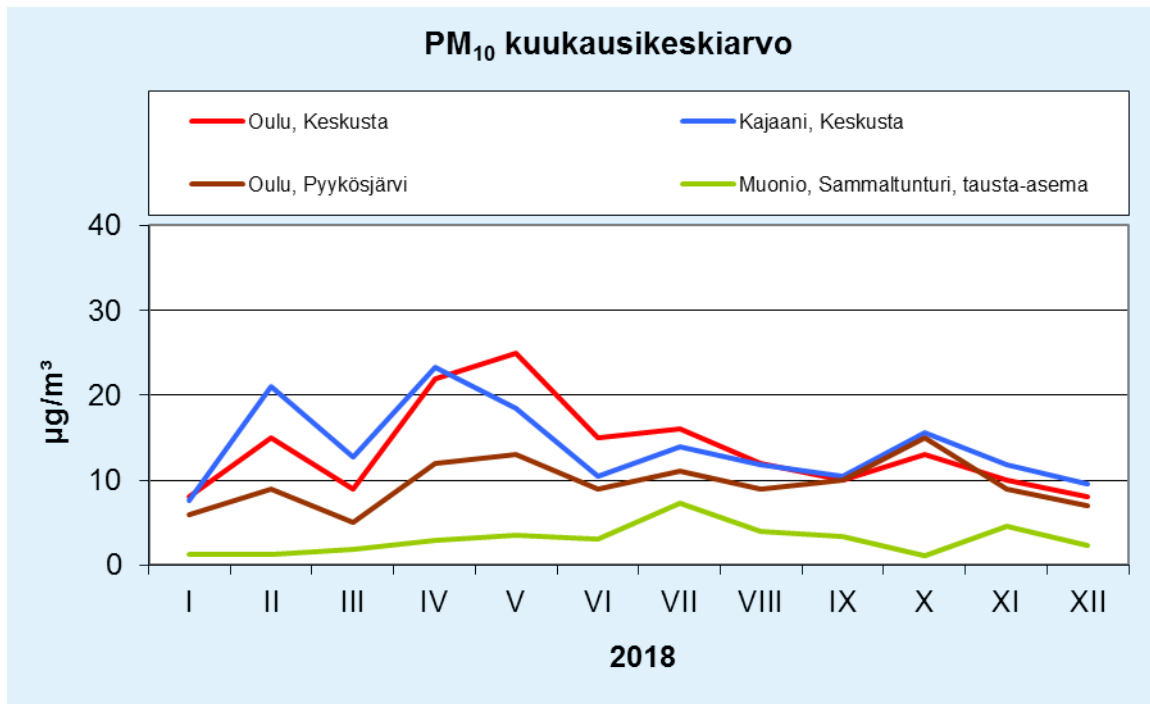
2.6.2 Hengitettävät hiukkaset

Kuvissa 11 ja 12 on esitetty hengitettävien hiukkasten ohjearvoon verrattavat pitoisuudet ja kuukausikeskiarvot vuodelta 2018 Kajaanin keskustassa, Oulun keskustassa ja Pyykösjärvellä (*Oulun kaupunki, 2019*) sekä Sammaltunturin tausta-aseamalla (*Ilmatieteen laitos, 2019*). Oulun mittausasemilla mittalaitteena on ollut TEOM-laite, jonka mittausperiaate on värähtelevä mikrovaaka. Sammaltunturin tausta-aseamalla on käytössä samanlainen Sharp-mittalaite kuin Kajaanissakin.

Hengitettävien hiukkasten pitoisuuden vuorokausiohjearvo ei ylittynyt vuonna 2018 Kajaanissa eikä myöskään Oulussa (kuva 11). Kajaanin keskustan hiukkaspitoisuudet olivat sekä ohjearvoon verrannollisina pitoisuuksina että kuukausikeskiarvoina suunnilleen samalla tasolla kuin Oulun keskustassa mitatut pitoisuudet. Lokakuussa hiukkaspitoisuuksia kohottivat sekä hiukkaskaukokuume 13.–17.10.2018 että kaupungintalon remontti. Sammaltunturin tausta-aseamalla mitatut pitoisuudet olivat selvästi pienempiä verrattuna Kajaanissa ja Oulussa mitattuihin pitoisuuksiin.



Kuva 11. Hengitettävien hiukkasten vuorokausiohjearvoon verrattavat pitoisuudet kuukausittain Kajaanissa, Oulussa ja Sammaltunturin tausta-aseamalla vuonna 2018. Ohjearvotaso, 70 µg/m³, on merkitty kuvaan punaisella vaakaviivalla.



Kuva 12. Hengitettävien hiukkasten pitoisuuden kuukausikeskiarvot Kajaanissa, Oulussa ja Sammaltunturin tausta-asemalla vuonna 2018.

Hiukkaspitoisuudet ovat tyypillisesti suurimmillaan kevätkuukausina. Teille ja kaduille kerääntynyt hiekoitushiekka jauhautuu talven aikana hienoksi pölyksi ja toisaalta nastarenkaat kuluttavat katujen ja teiden pintoja. Keväällä, kun lumi sulaa ja tiet kuivuvat, pöly nousee ilmaan lähinnä liikenteen ja tuulen aiheuttamien ilmavirtausten vaikutuksesta. Tällaisia katupölyepisodeja esiintyy tyypillisesti keväällä maaliskuuhuhtikuussa ja ajoittain myös loppusyksystä talvirengaskauden alettua. Hengitettävien hiukkasten pitoisuuden vuorokausiohjearvon ylitykset ovat aiemmin olleet melko yleisiä maamme taajamissa, mutta viime vuosina ohjearvon ylitykset ovat vähentyneet pääosin katujen talvikunnossapidon sekä oikea-aikaisen katujen siivouksen ja pölynsidonnan tehostettujen menetelmien ansiosta.

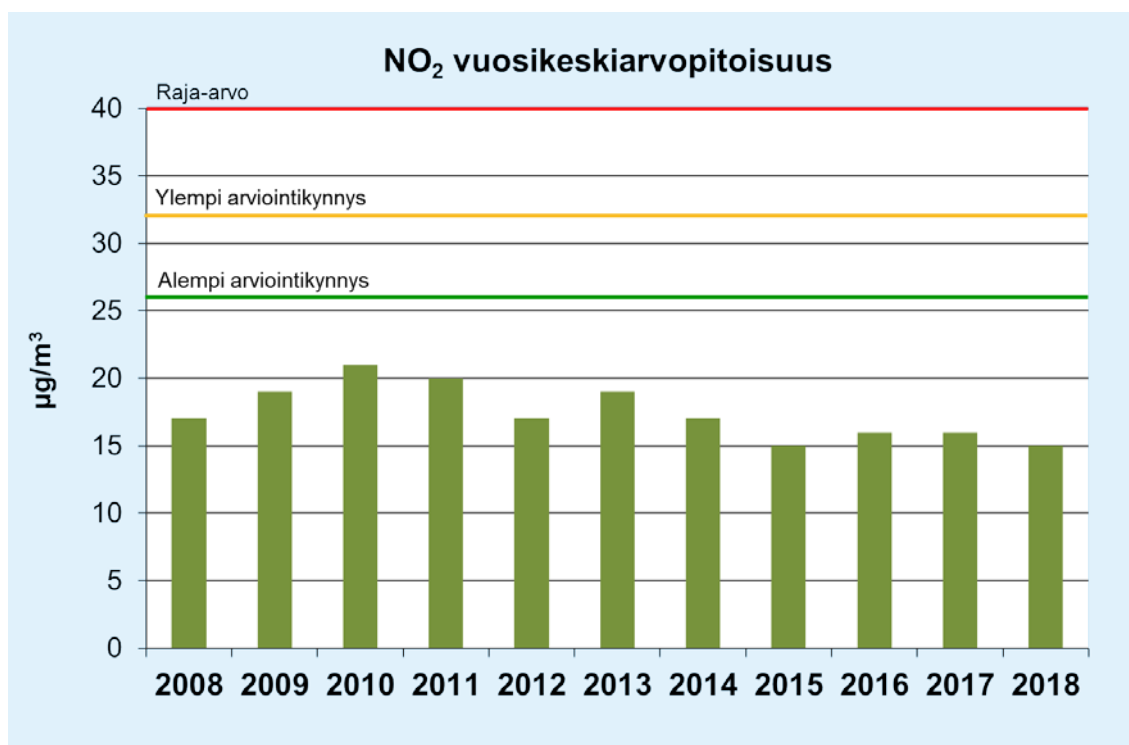
Hengitettävien hiukkasten pitoisuuden vuorokausiraja-arvon taso, $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ylittyi Kajaanissa vuonna 2018 neljä kertaa, kun sallittujen ylitysten määrä on 35 kpl kalenterivuodessa. Vastaavasti Oulun keskustassa vuorokausiraja-arvon taso ylittyi yhden kerran ja Pyykösjärvellä kolme kertaa (*Oulun kaupunki, 2019*).

2.7 Vuoden 2018 pitoisuuksien vertailua vuosien 2008–2017 pitoisuuksiin

Ilmatieteen laitos aloitti ilmanlaatumittaukset Kajaanin keskustassa Lönnrotinkadulla vuonna 2008 ja ne jatkuivat aina vuoden 2018 loppuun asti. Aikaisempien vuosien ilmanlaatumittausten tulokset on esitetty vuosittaisissa ilmanlaaturaporteissa, mutta seuraavassa on koottu yhteen 11 vuoden mittaustuloksia ja ilman epäpuhtauksien pitoisuuksissa tapahtunutta muutosta.

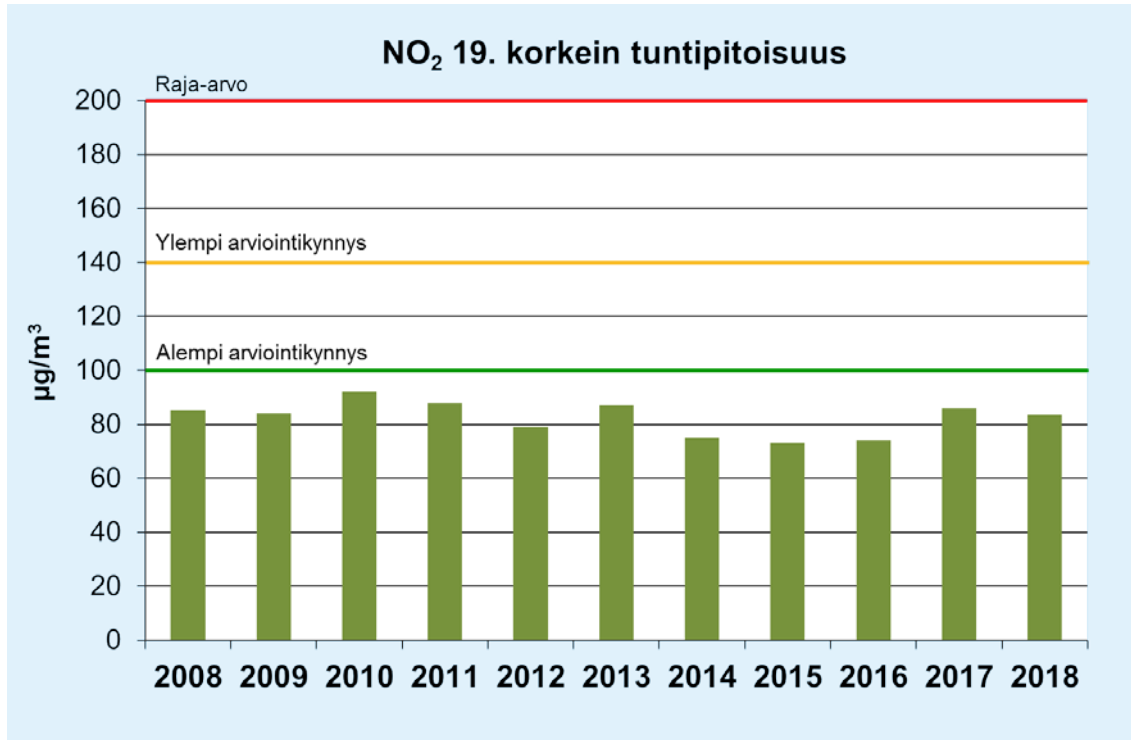
2.7.1 Typpidioksidi

Typpidioksidin vuosiraja-arvoon verrannolliset pitoisuudet Kajaanin keskustassa vuosina 2008–2018 on esitetty kuvassa 13. Typpidioksidipitoisuuden vuosikeskiarvo on vaihdellut välillä 15–21 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Vuosikeskiarvopitoisuudet ovat olleet alle alemman arviointikynnyksen tason joka vuosi. Vuonna 2018 mitattiin mittausjakson alhaisin typpidioksidipitoisuuksien vuosikeskiarvo 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Myös vuonna 2015 vuosikeskiarvopitoisuus oli yhtä pieni. Pitoisuudet vaihtelevat eri vuosien välillä sekä päästöjen että meteorologisten tekijöiden vaihtelusta johtuen. Liikenteen typenoksidipäästöjen vähentyminen näkyy Kajaanissakin vuosikeskiarvopitoisuuksien alenemisena. Vuosikeskiarvo oli 2010-luvun alussa noin 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, josta se on laskenut vajaassa 10 vuodessa tasolle 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Vuonna 2008 mittausasema sijaitsi huhtikuun alkuun saakka suojaisemmassa paikassa kaupungintalon sisäpihalla, kunnes se siirrettiin Lönnrotinkadun varrelle. Siksi vuoden 2008 typpidioksidin vuosikeskiarvopitoisuus on alhainen.



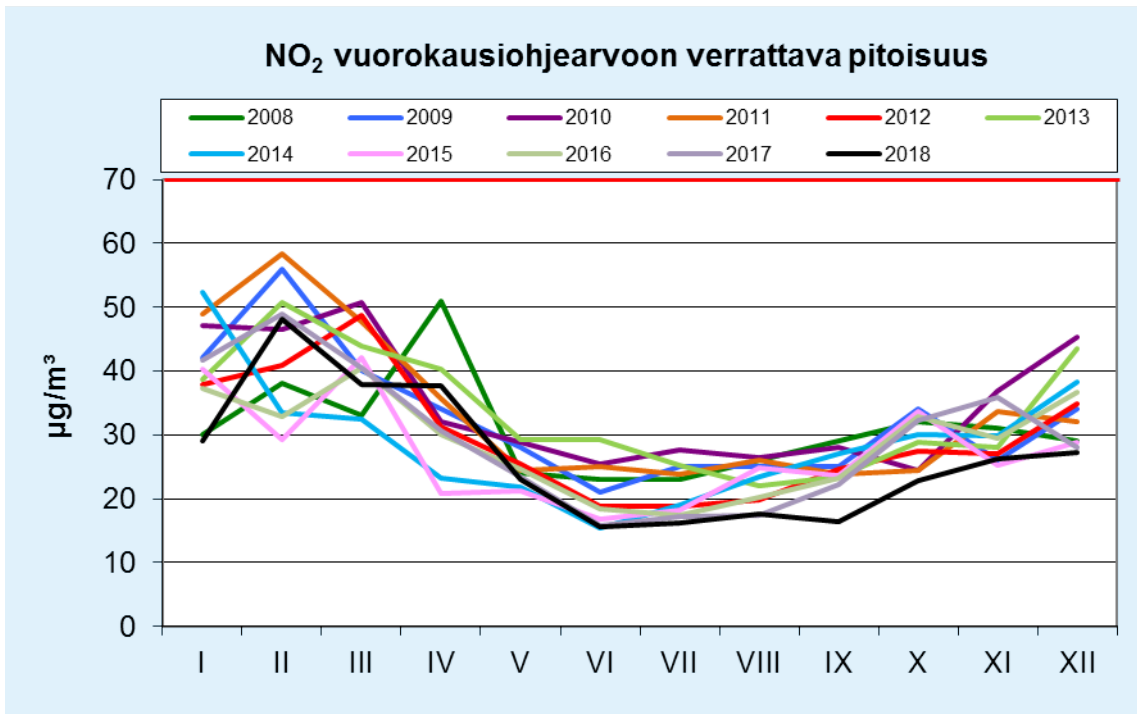
Kuva 13. Typpidioksidipitoisuuden (NO_2) vuosikeskiarvot Kajaanin keskustassa koko mittausjaksolla, vuosina 2008–2018. Raja-arvo ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) on merkitty punaisella, ylempi arviointikynnys ($32 \mu\text{g}/\text{m}^3$) keltaisella ja alempi arviointikynnys ($26 \mu\text{g}/\text{m}^3$) vihreällä vaakaviivalla.

Typpidioksidin tuntiraja-arvoon verrannolliset pitoisuudet (19. korkein tuntipitoisuus) Kajaanin keskustassa vuosina 2008–2018 on esitetty kuvassa 14. Typpidioksidin tuntiraja-arvoon verrannolliset pitoisuudet ovat alittaneet alemman arviointikynnyksen joka vuosi.

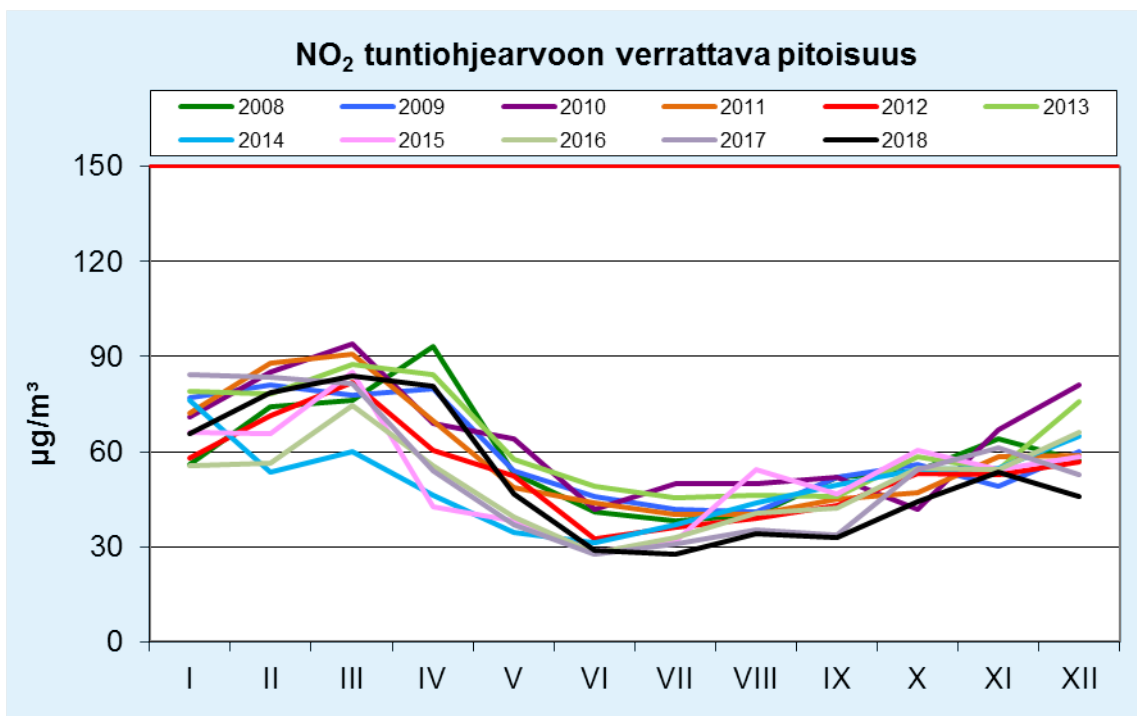


Kuva 14. Typpidioksidipitoisuuden (NO₂) tuntiraja-arvoon verrannolliset pitoisuudet (19. korkein tuntipitoisuus) Kajaanin keskustassa koko mittausjaksolla, vuosina 2008–2018. Raja-arvo (200 µg/m³) on merkitty punaisella, ylempi arviointikynnys (140 µg/m³) keltaisella ja alempi arviointikynnys (100 µg/m³) vihreällä vaakaviivalla.

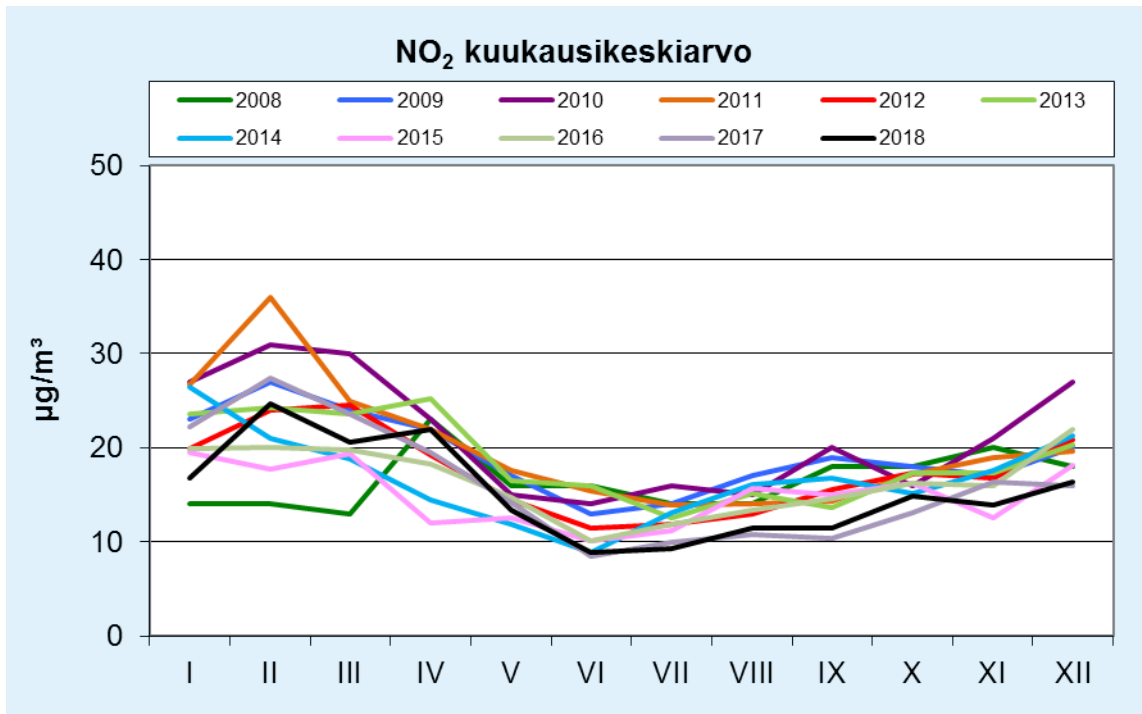
Typpidioksidin ohjearvoihin verrattavat pitoisuudet ja kuukausikeskiarvot olivat Kajaanissa vuoden 2018 alkupuoliskolla keskimääräisiä verrattuna aikaisempiin mittausvuosiin (kuvat 15–17). Talvikuukausien pitoisuusvaihteluihin vaikuttavat talvisten sääolosuhteiden vaihtelu eri vuosina (mm. ilman lämpötila ja stabiilisuus, inversiotilanteiden määrä). Sen sijaan vuoden 2018 jälkipuoliskolla typpidioksidipitoisuudet olivat matalampia kuin aikaisempina mittausvuosina. Typpidioksidipitoisuudet ovat olleet kaikkina tarkasteluvuosina selvästi alle ohjearvojen.



Kuva 15. Typpidioksidin (NO₂) vuorokausiohjarvoon verrattavat pitoisuudet kuukausittain Kajaanin keskustassa koko mittausjaksolla, vuosina 2008–2018. Ohjarvo (70 µg/m³) on merkitty punaisella vaakaviivalla.



Kuva 16. Typpidioksidin (NO₂) tuntiohjarvoon verrattavat pitoisuudet kuukausittain Kajaanin keskustassa koko mittausjaksolla, vuosina 2008–2018. Ohjarvo (150 µg/m³) on merkitty punaisella vaakaviivalla.

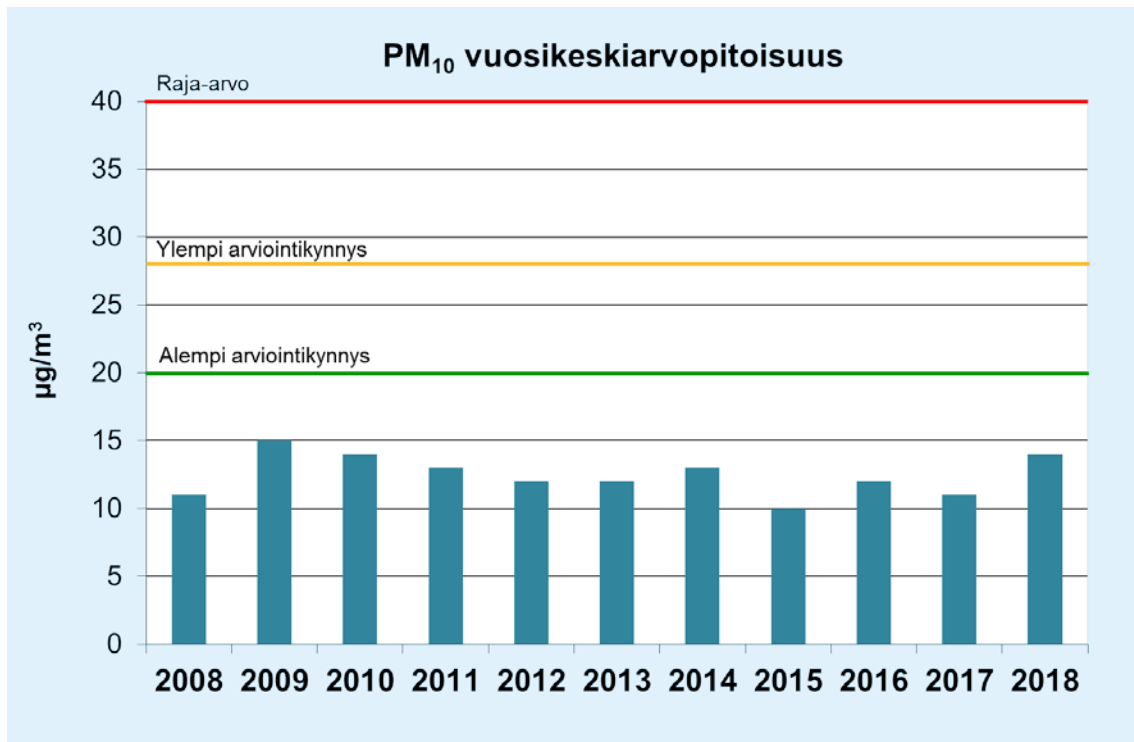


Kuva 17. Typpidioksidin (NO₂) kuukausikeskiarvot Kajaanin keskustassa koko mittausjaksolla, vuosina 2008–2018.

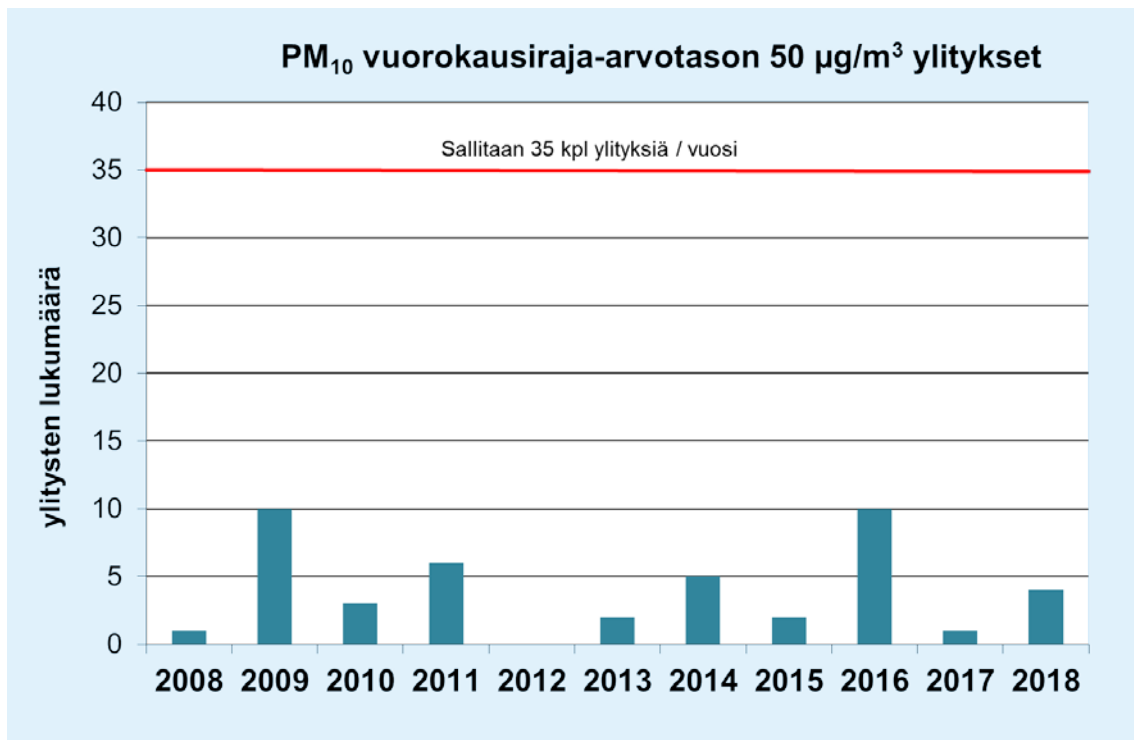
2.7.2 Hengitettävät hiukkaset

Hengitettävien hiukkasten vuosiraja-arvoon verrannolliset pitoisuudet Kajaanin keskustassa vuosina 2008–2018 on esitetty kuvassa 18. Hengitettävien hiukkasten pitoisuuden vuosikeskiarvo on vaihdellut välillä 10–15 µg/m³. Vuosikeskiarvopitoisuudet ovat olleet alle alemman arviointikynnyksen tason joka vuosi. Hiukkaspitoisuudet ovat pienentyneet Kajaanissa: 2010-luvun alussa vuosikeskiarvo oli lähes 15 µg/m³, josta se on laskenut vajaassa 10 vuodessa lähemmäs tasoa 10 µg/m³. Pitoisuuksien vuosittaiseen vaihteluun vaikuttavat päästövaihtelut, sääolosuhteiden vaihtelut ja mahdolliset hiukkasten kaukokulkeumat. Vuonna 2018 mitattiin hengitettävien hiukkasten vuosikeskiarvopitoisuudeksi 14 µg/m³, mikä oli mittausjakson korkeimpia vuosikeskiarvoja. Hiukkaspitoisuuksia kohottivat vuoden 2018 kesällä ja syksyllä liikennepäästöjen lisäksi kuiva ja helteinen säätilanne, Lönnrotinkadun katutyömaa, kaupungintalon remontti ja hiukkaskaukokulkeuma 13.–17.10.2019. Vuoden 2008 alhaisiin pitoisuuksiin on vaikuttanut hiukkasmittauksen sijainti suojaisemmassa paikassa kaupungintalon seinän lähellä tammi–maaliskuussa.

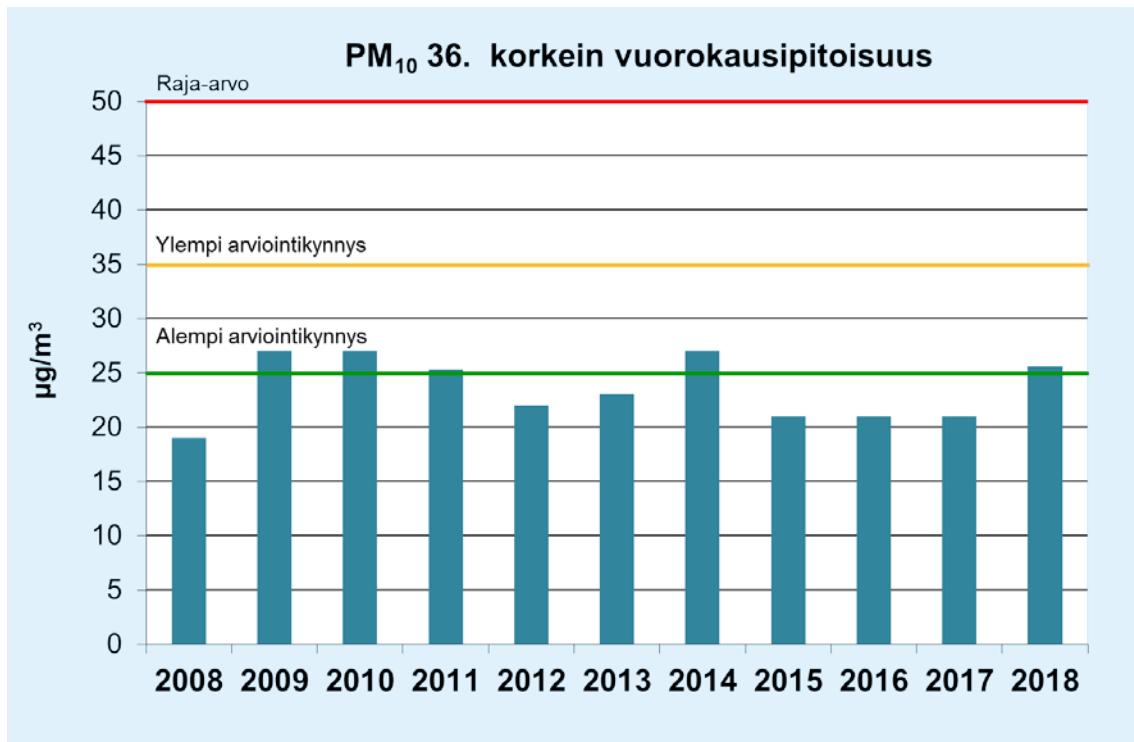
Hengitettävien hiukkasten raja-arvotaso on ylittynyt vuosina 2008–2018 0–10 kertaa, kun ylityksiä sallitaan 35 kpl/vuosi (kuva 19). Vuonna 2018 raja-arvotaso ylittyi Kajaanissa neljä kertaa. Vuorokausiraja-arvoon verrannolliset pitoisuudet (36. korkein vuorokausipitoisuus) ovat ylittäneet alemman arviointikynnyksen tason vuosina 2009, 2010, 2011, 2014 ja 2018 (kuva 20). Arviointikynnyksen katsotaan ylittyneen, kun sen taso ylittyy vähintään kolmena vuotena viiden vuoden aikana. Alemman arviointikynnyksen ylittyessä ilmanlaatua tulee seurata jatkuvien mittausten avulla ja sen alittuessa riittävät mallintaminen, päästöinventaarit ja muut vastaavat menetelmät.



Kuva 18. Hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) vuosikeskiarvopitoisuudet Kajaanin keskustassa koko mittausjaksolla, vuosina 2008–2018. Raja-arvo (40 µg/m³) on merkitty punaisella, ylempi arviointikynnys (28 µg/m³) keltaisella ja alempi arviointikynnys (20 µg/m³) vihreällä vaakaviivalla.

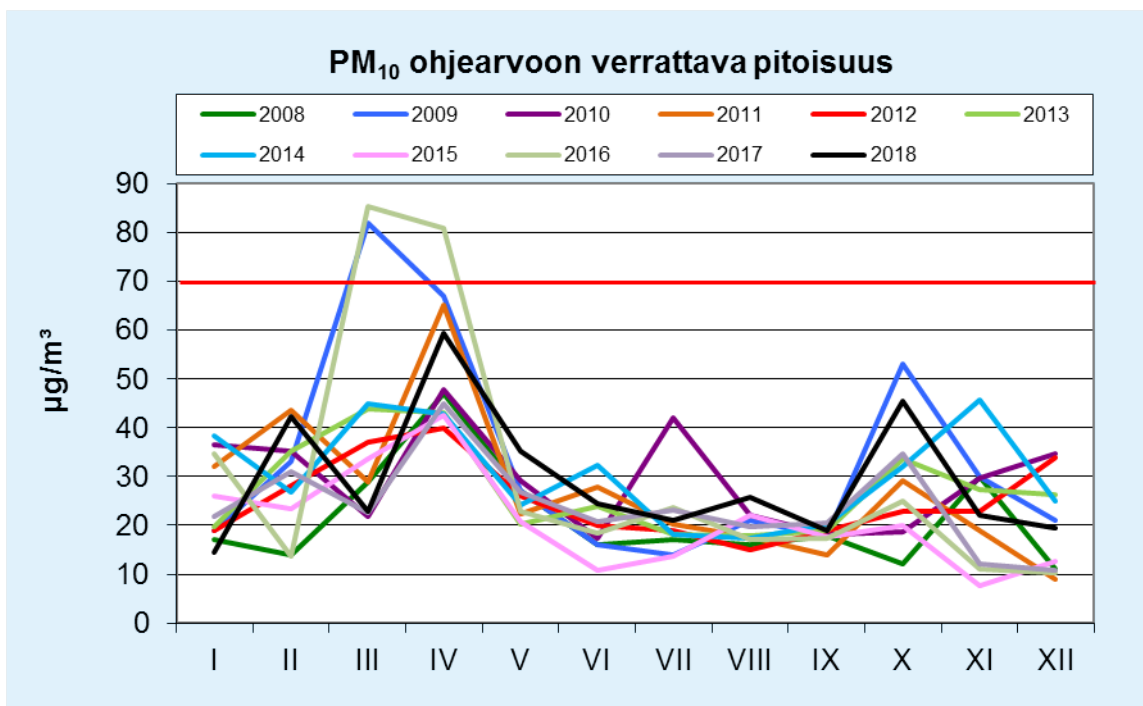


Kuva 19. Hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) pitoisuuden vuorokausiraja-arvotason ylitykset Kajaanin keskustassa koko mittausjaksolla, vuosina 2008–2018. Sallittujen ylitysten lukumäärä, 35 kpl vuodessa, on merkitty punaisella vaakaviivalla.

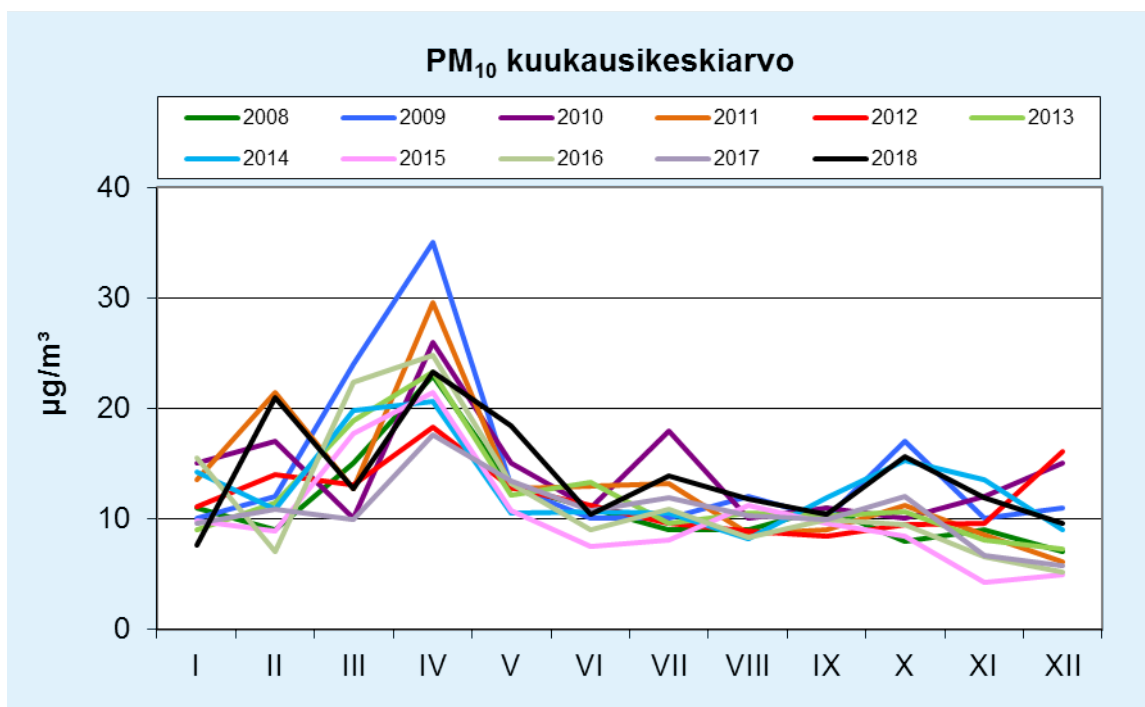


Kuva 20. Hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) vuorokausiraja-arvoon verrannolliset pitoisuudet (36. korkein vuorokausipitoisuus) Kajaanin keskustassa koko mittausjaksolla, vuosina 2008–2018. Raja-arvo (50 µg/m³) on merkitty punaisella, ylempi arviointikynnys (35 µg/m³) keltaisella ja alempi arviointikynnys (25 µg/m³) vihreällä vaakaviivalla.

Hengitettävien hiukkasten pitoisuuden vuorokausiohjearvo on vuosien 2008–2018 aikana ylittynyt ainoastaan vuosina 2009 ja 2016 (kuva 21). Molempina vuosina ohjearvo ylittyi katupölyn takia. Ohjearvoon verrannollisista pitoisuuksista ja hengitettävien hiukkasten kuukausikeskiarvopitoisuuksista (kuva 22) käy ilmi, että vuonna 2018 pitoisuudet ovat olleet koholla edellisiin vuosiin nähden. Hiukkaspitoisuudet ovat korkeimmillaan kuivalla säällä katupölykaudella, inversiotilanteissa sekä kaukokulkeumaepisodien aikaan. Vuonna 2010 heinäkuun hiukkaspitoisuuksia kohottivat sekä erittäin helteinen ja kuiva sääjakso että Venäjältä heinä-elokuun vaihteessa kantautuneet metsä- ja maastopalojen savut. Kesä 2018 oli myös kuiva sekä ennätyshelteinen ja lämpimän ilmassan mukana kantautui kaukokulkeutuneita pienhiukkasia, mutta ei kuitenkaan esiintynyt merkittäviä kaukokulkeumaepisoodeja, jotka olisivat näkyneet myös Kajaanin hengitettävien hiukkasten mittauksissa.



Kuva 21. Hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) vuorokausiohjearvoon verrattavat pitoisuudet kuukausittain Kajaanin keskustassa koko mittausjaksolla, vuosina 2008–2018. Ohjearvo (70 µg/m³) on merkitty punaisella vaakaviivalla.



Kuva 22. Hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) kuukausikeskiarvot Kajaanin keskustassa koko mittausjaksolla, vuosina 2008–2018.

3 YHTEENVETO

Ilmatieteen laitos seurasi Kajaanin keskustassa Lönnrotinkadulla sijaitsevalla ilmanlaadun mittausasemalla ulkoilman laatua vuosina 2008–2018. Mittausasemalla tarkkailtiin typen oksidien ja alle 10 mikrometrin kokoisten hengitettävien hiukkasten pitoisuuksia sekä pitoisuustulosten tulkintaa varten myös säätietoja. Kajaanin ilmanlaadun mittaustuloksia ja ilmanlaatuilannetta kuvaavaa ilmanlaatuindeksiä pystyi seuraamaan reaaliaikaisesti nettisivujen kautta (<http://ilmanlaatu.fmi.fi/kajaani/>) mittausten aikana.

Vuonna 2018 Kajaanin ilmanlaatu oli pääasiassa hyvää (43 %) tai tyydyttävää (42 %). Ilmanlaatu oli välttävää 13 % päivistä ja huonoa 2 % päivistä. Erittäin huonon ilmanlaadun päiviä ei esiintynyt. Ilmanlaatu heikkeni huonoksi kahdeksana päivänä. Huonon ilmanlaadun aiheuttajana olivat hengitettävien hiukkasten pitoisuudet. Hiukkaspitoisuudet kohosivat keväisen ja syksyisen katupölyn vuoksi, pakkasinversiotilanteissa, kaupungintalon remontin ja Lönnrotinkadun katutyömaan johdosta sekä hiukkaskaukokulkeuman vuoksi. Edellisinä vuosina ilmanlaatu on ollut hyvää yli 50 % vuoden päivistä. Lukuisten pölylähteiden vuoksi vuonna 2018 hyvän ilmanlaadun päiviä esiintyi vähemmän ja ilmanlaatu oli siten aikaisempia vuosia heikompaa. Vallitsevaa ilmanlaatuilannetta kuvaava ilmanlaatuindeksi laskettiin Kajaanissa mitattujen ilman epäpuhtauksien perusteella.

Kajaanissa mitatut typpidioksidipitoisuudet eivät ylittäneet ilmanlaadun raja- tai ohjearvoja vuonna 2018. Typpidioksidin vuosikeskiarvopitoisuus oli $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (38 % raja-arvosta). Typpidioksidipitoisuudet eivät ylittäneet kertaakaan tuntiraja-arvotason, jolle sallitaan 18 ylitystä/kalenterivuosi. Typpidioksidin ohjearvoihin verrannolliset pitoisuudet olivat korkeimmillaan helmi- ja maaliskuussa 56–69 % ohjearvoista.

Kajaanissa mitatut hengitettävien hiukkasten pitoisuudet eivät ylittäneet ilmanlaadun raja- tai ohjearvoja vuonna 2018. Hengitettävien hiukkasten vuosikeskiarvopitoisuus oli $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (35 % raja-arvosta). Hengitettävien hiukkasten vuorokausipitoisuudet ylittivät raja-arvotason 4 kertaa, kun sallittujen ylitysten määrä on 35 kpl kalenterivuodessa. Ylitykset aiheutuivat kahtena huhtikuuisena päivänä katupölystä, lokakuussa kaukokulkeumasta ja kaupungintalon remontista sekä marraskuussa syksyisestä katupölystä kuivana pakkaspäivänä talvirengaskauden alussa. Hengitettävien hiukkasten ohjearvoon verrannolliset pitoisuudet olivat korkeimmillaan huhtikuussa 85 % ohjearvosta.

Kajaanin Lönnrotinkadun mittauspisteessä mitattuihin typen oksidien ja hengitettävien hiukkasten pitoisuuksiin vaikuttivat eniten autoliikenteen määrä ja päästöt sekä katupöly. Korkeimmillaan ilman epäpuhtauksien pitoisuudet olivat arkisin aamuruuhkan aikaan. Korkeimmat pitoisuudet muodostuivat kuivalla ja tyynellä säällä. Vuonna 2018 oman lisänsä hiukkaspitoisuuksiin toivat mittausaseman lähellä olleet tie- ja rakennustyömaat.

Kajaanin keskustassa vuonna 2018 mitattuja typpidioksidin ja hengitettävien hiukkasten pitoisuuksia verrattiin Oulun keskustassa ja Pyykösjärven esikaupunkialueella mitattuihin vastaaviin pitoisuuksiin. Kajaanissa typpidioksidipitoisuudet olivat pääosin matalampia kuin Oulun keskustassa ja korkeampia kuin Oulun Pyykösjärvellä. Talvikuukausina ohjearvoihin verrannolliset pitoisuudet olivat osittain matalampiakin kuin Pyykösjärvellä. Hengitettävien hiukkasten

pitoisuudet olivat Kajaanissa suunnilleen samantasoisia kuin Oulun keskustassa mitatut pitoisuudet.

Vuosien 2008 ja 2018 välillä ilmanlaatu on keskimäärin parantunut Kajaanissa. Typpidioksidin vuosikeskiarvopitoisuus on pienentynyt tasolta $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ tasolle $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja tulokset osoittavat, että liikenteen typenoksidipäästöt olisivat alentuneet. Myös hengitettävien hiukkasten vuosikeskiarvopitoisuudet ovat pitkällä aikavälillä pienentyneet tasolta $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ lähemmäs tasoa $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Hengitettävien hiukkasten vuorokausiraja-arvoon verrannolliset pitoisuudet tai raja-arvotason ylityspäivien lukumäärät eivät ole juurikaan tarkastelujakson aikana pienentyneet, koska katupölypitoisuuksien hetkelliseen vaihteluun vaikuttavat voimakkaasti sääolosuhteiden vaihtelut ja katujen talvikunnossapidon toimet.

Eri pölylähteistä ja meteorologisista olosuhteista johtuvat korkeat hiukkaspitoisuudet heikentävät ajoittain ilmanlaatua Kajaanissa. Hengitettävien hiukkasten raja-arvotason numeroarvon ylityksiä esiintyy edelleen etenkin keväisin ja myös loppusyksyllä talvirengaskauden alussa. Pölyhaittojen ehkäisemiseksi tulee jatkossakin kiinnittää huomiota katujen ja teiden talvikunnossapitoon, oikea-aikaiseen hiekoitushiekan poistoon sekä pölynsidontaan katupölykaudella. Myös rakennustyömaiden pölyntorjuntaan ja mahdolliseen pölynsidontaan tulee kiinnittää huomiota kaikkina vuodenaikoina. Erityisesti pölynsidontan toimien oikeassa ajoittamisessa ilmanlaatumittausten tulokset ovat hyvä työkalu. Suolaliuosta levittämällä on saatu alennettua korkeimpia hiukkaspitoisuuksia ja pölyhaittoja useimmissa Suomen kaupungeissa.

Hengitettävien hiukkasten vuorokausiraja-arvoon verrannolliset pitoisuudet ovat Kajaanissa ylittäneet alemman arviointikynnyksen tason kaksi kertaa edellisen viiden vuoden aikana. Arviointikynnyksen katsotaan ylittyneen, kun sen taso ylittyy vähintään kolmena vuotena viiden vuoden aikana. Alemman arviointikynnyksen alittuessa ilmanlaadun seurantaan riittävät jatkuvien mittausten sijaan mallintaminen, päästöinventaarit ja muut vastaavat menetelmät. Kajaanin mittausasema oli osa Euroopan unionille raportoitavaa ilmanlaadun seuranta, joten mittausten loputtua vuodenvaihteessa 2018–2019 Kainuun ELY-keskuksen seuranta-alueelle ei jäänyt ilmanlaadun mittauksia, vaan seuranta-alueen ilmanlaadun seuranta ja pitoisuustasojen arviointeja on jatkossa toteutettava muilla tavoin kuten mallintamalla tai päästöinventaarioilla.



Kajaaninjokea. Kuva Birgitta Komppula, Ilmatieteen laitos.

OSA II

4 ILMANLAATUMITTAUSTEN TOTEUTUS

4.1 Ilmanlaadun tarkkailun tavoitteet

Ilmanlaadun tarkkailumittauksilla saadaan reaaliaikaista tietoa kunnan ilmanlaadusta ja voidaan selvittää useiden vuosien tulosaineistoista ilman epäpuhtauksien pitoisuuksien ajallista kehitystä. Mittaukset palvelevat myös laitosten lupamääräysten toteutumisen valvontaa. Keskeisiä ilmanlaadun tarkkailun tavoitteita ovat ilmanlaatutiedon tuottaminen viranomaisille ja yrityksille ilmansuojeluun liittyvien päätösten perusteeksi sekä kuntalaisille ja laajemmallekin yleisölle tapahtuvaa ilmanlaatutiedottamista varten.

Kajaanin ilmanlaadun tarkkailun tavoitteita olivat ilman epäpuhtauksille annettujen ohje- ja raja-arvojen valvonta sekä päästövähennysten ja muiden ilmansuojelutoimenpiteiden tehokkuuden ja vaikutusten selvittäminen. Ilmanlaadun tarkkailun tuloksia on ollut mahdollista käyttää myös erilaisten ilmanlaadua parantavien toimien, kuten esimerkiksi keväisin esiintyvien katupölyhaittojen torjunnan suunnitteluun ja katujen siivouksen ja pölynsidonnan toimien oikeaan ajoittamiseen. Ilmanlaadun seurannalla saatiin tietoa myös liikenteen, rakentamisen ja maankäytön suunnitteluun. Kajaanin ilmanlaatu- ja säämittausten tulokset sekä mittaustuloksista lasketut ilmanlaatuindeksin arvot olivat ajantasaisina ja historiatietoina julkisesti nähtävillä Kajaanin kaupungin verkkosivuilla vuoden 2018 loppuun asti.

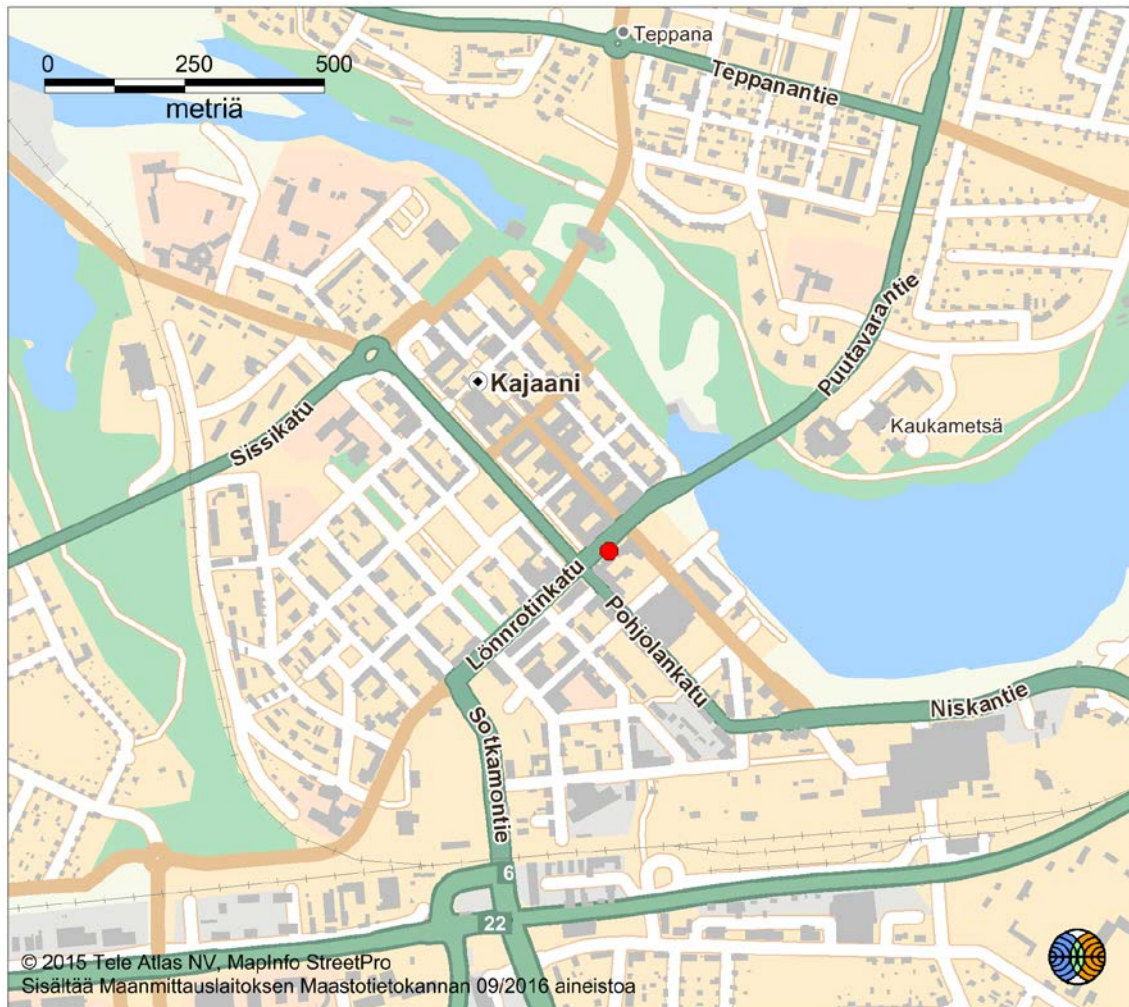
Kajaanin hengitettävien hiukkasten pitoisuusmittaukset olivat osa koko Suomen alueella tehtävää, Euroopan unionille raportoitavaa ilmanlaadun raja-arvovalvontaa. Tarkistetut ja validoidut mittaustulokset raportoidaan EU:lle vuosittain maaliskuussa. Kajaanin mittausasema oli ainoa hengitettävien hiukkasten raja-arvoa valvova mittausasema Kainuun ELY-keskuksen seuranta-alueella, joten mittausten loputtua vuodenvaihteessa 2018–2019 seuranta-alueelle ei jäänyt ilmanlaadun mittauksia vaan seuranta-alueen ilmanlaadun seuranta ja pitoisuustasojen arviointeja on jatkossa toteutettava muilla tavoin kuten mallintamalla tai päästöinventaarioilla.

4.2 Mittausasema

Ilmatieteen laitos mittasi Kajaanin keskustassa ilmanlaatua vuoden 2008 maaliskuusta vuoden 2018 loppuun. Ilmanlaadun mittausasema sijaitsi Lönnrotinkadulla kaupungintalon ja kaupunginteatterin vieressä. Säätilaa seurattiin samassa mittauspisteessä. Mittauspaikan sijaintia ja ympäristöä on havainnollistettu kuvissa 23 ja 24. Vuoden 2018 kesällä ja syksyllä ilmanlaadun mittaustuloksiin vaikuttivat Lönnrotinkadun katutyömaa ja kaupungintalon remontti, joista molemmista levisi pölyä ympäristöönsä (kuva 25).

Lönnrotinkatu on Kajaanin keskustan vilkkaimmin liikennöity katu. Lönnrotinkadun liikennemäärä oli vuoden 2012 liikennelaskennan mukaan 18 440 ajoneuvoa vuorokaudessa. Mittausasema sijaitsi keskellä korttelia siten, että etäisyys sekä Kauppakadun että Pohjolankadun risteykseen oli noin 50 metriä. Molemmissa läheisissä

risteyksissä on liikennevalot, joten autot pysähtelivät tyhjäkäynnille varsin lähelle mittausasemaa.



Kuva 23. Kajaanin ilmanlaadun mittausaseman sijainti (•) keskustassa Lönnrotinkadulla.



Kuva 24. Kajaanin ilmanlaadun mittausasema kaupunginteatterin ja kaupungintalon vieressä Lönnrotinkadun varrella. Kuva: Birgitta Kompula, Ilmatieteen laitos.



Kuva 25. Kesällä ja syksyllä 2018 kaupungintalon alakerrassa oli remontti ja Lönnrotinkadulla tehtiin katutöitä. Kuva 28.6.2018: Tarja Laatikainen, Kajaanin kaupunki.

4.3 Mitatut suureet ja mittausmenetelmät

Kajaanin ilmanlaadun mittausasemalla mitattiin jatkuvatoimisilla automaattisilla analysointilaitteilla typen oksidien (NO, NO₂ ja NO_x) ja halkaisijaltaan alle 10 µm:n suuruisten hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) pitoisuuksia. Näytteenotto tapahtui mittausaseman katolla olevista sondeista noin 4 metrin korkeudelta. Typen oksidien pitoisuusmäärittämisessä käytettiin kemiluminesenssiin perustuvaa määrittämenetelmää. Hengitettävien hiukkasten pitoisuutta mitattiin beetasäteilyn absorptioon ja valon sirontaan perustuvalla menetelmällä. Lisäksi mittausasemalla havainnoitiin tuulen suuntaa ja nopeutta, ulkoilman lämpötilaa, suhteellista kosteutta ja ilmanpainetta (taulukko 3). Säämittausanturin korkeus oli noin 4 metriä maanpinnan tasosta. Ilmanlaadun mittaukset suoritettiin kansallisen ilmanlaadun mittausohjeen (*Ilmatieteen laitos, 2017*) sekä Ilmatieteen laitoksen ilmanlaatumittausten laatujärjestelmän mukaisesti:

http://expo.fmi.fi/ages/public/Ilmatieteen_laitoksen_ilmanlaatumittausten_laatuja_rjestelmien_kuvaus.pdf.

Ilmanlaadun ja sääparametrien mittaustulokset kerättiin mittausasemalla minuuttiarvoina mittauksia ohjaavalle tietokoneelle, jolta ne siirrettiin edelleen minuuttiarvoina langattomasti modeemiyhteyden kautta Ilmatieteen laitoksen palvelimelle raakadatatiekantaan ja siitä edelleen muihin tietokantoihin. Raakadatatiekannassa mittaustulokset pysyvät aina muuttumattomina, jolloin alkuperäiset arvot ovat myöhemminkin tarvittaessa saatavilla. Minuuttiarvoista määritettiin tuntikeskiarvot ja vuorokausikeskiarvot ja muut pidemmän jakson keskiarvot. Mittaustulokset korjattiin kalibroitulosten perusteella ja laitteiden toimintahäiriöistä johtuneet virheelliset arvot poistettiin. Mittauksia seurattiin kaukovalvontana Ilmatieteen laitokselta Helsingistä.

Taulukko 3. Kajaanin ilmanlaadun mittauksissa käytetyt menetelmät ja laitteet.

Mitattava komponentti	Mittausmenetelmä	Mittalaite
Typen oksidit	Kemiluminesenssi	TEI 42i
Hengitettävät hiukkaset	Beetasäteilyn absorptio + valon sironta	Thermo Model 5030 SHARP
Tuulen suunta ja nopeus, lämpötila, suhteellinen kosteus ja ilmanpaine		Vaisala WXT

Typen oksidien (NO_x) mittaukset perustuvat EU:n referenssimenetelmään, joka on kuvattu standardissa EN 14211:2012 Ambient air quality – Standard method for the measurement of the concentration of nitrogen dioxide and nitrogen monoxide by chemiluminescence.

Hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) jatkuvatoimiset mittaukset perustuvat standardiin SFS-EN 16450:2017 Ambient air – Automated measuring systems for the

measurement of the concentration of particulate matter (PM₁₀/PM_{2.5}). PM₁₀/PM_{2.5}-hiukkasten gravimetrinen referenssimenetelmä on kuvattu standardissa EN 12341:2014. Ilmatieteen laitoksen käyttämien automaattisten hiukkanalysointilaitteiden antamien tulosten vastaavuus PM₁₀/PM_{2.5}-hiukkasten gravimetrisiin referenssimenetelmiin on osoitettu tutkimuksessa *Walden ym., 2017*. Kajaanissa käytössä oleelle Sharp 5030 -analysointilaitteelle on käytetty kansallisen vertailulaboratorion suosituksen mukaista kalibrointikerrointa 1,242 (*Walden ym., 2018*).



PM₁₀-mittauksissa käytettävä hiukkaskoon leikkuri talviolosuhteissa. Kuva 25.1.2019: Mika Vestenius, Ilmatieteen laitos

4.4 Kalibrointimenetelmät, laadunvarmistus ja laitehuollot

Kajaanin ilmanlaadun seurannan laadunvarmennuksessa kiinnitettiin huomiota kalibrointien suorittamiseen, kalibrointien jäljitettävyyteen ja laitteiden toimintaan. Typen oksidien mittalaitteiden kalibroinnit tehtiin monipistekalibroinnin (4–5 pitoisuutta) avulla. Kalibrointipisteet kattoivat pitoisuusalueen 0–1 000 ppb. Mittausaineisto korjattiin matemaattisesti kalibrointitulosten perusteella. Kalibrointien yhteydessä tehtiin laitehuollot ja näytteenottolinjojen puhdistukset.

Typen oksidien mittalaite kalibroidiin käyttäen typpimonoksidikaasua (NO), joka laimennettiin erillisen laimentimen avulla halutuille pitoisuustasoille. Laimentimena käytettiin kentälaimenninta. Laimentimesta tuotettiin kalibrointipitoisuusarvot, jotka varmennettiin (kalibroidiin) ilmanlaatumittausten kansallisessa vertailulaboratoriossa jäljitettävästi kalibroitua typen oksidien analysaattoria vastaan. Kentälaimentimen tuottamien typpimonoksidin (NO) pitoisuuksien jäljitettävyyttä siirtyi laboratorion oman jäljen kautta ainemäärään (mooli). Laimennuskaasuna käytettiin suodatettua ilmaa. Kalibrointien perusteella Kajaanin ilmanlaadun seurannan typen oksidien pitoisuusmittaukset on jäljitetty kansalliseen mittanormaaliin ja sitä kautta ainemäärään. Ilmatieteen laitoksella sijaitseva kansallinen vertailulaboratorio on Turvallisuus- ja kemikaaliviraston akkreditointiyksikön (FINAS) akkreditoima kalibrointilaboratorio K043.

Typen oksidien mittalaite kalibroidiin vuonna 2018 maaliskuussa, kesäkuussa, syyskuussa ja joulukuussa. Kalibrointien yhteydessä tehtiin laitehuollot laitetoimittajien ohjeiden mukaisesti ja tarvittaessa vaihdettiin mittalaitteiden kuluvia osia. Typen oksidien näytteenottolinjat tarkistettiin kalibrointien yhteydessä. Typen oksidien analysaattorien hiukkassuodattimet vaihdettiin kalibrointien yhteydessä. Hiukkasmittalaitteiden näytteenottosondit puhdistettiin mittausasemalla käynnin yhteydessä. Hiukkasmittalaitteet kalibroidiin valmistajan ohjeiden mukaisesti. Hiukkasmittaustulokset korjattiin vertailumittausten (Walden ym., 2017 ja Walden ym., 2018) mukaisilla ekvivalenttisuuskertoimilla.

Typen oksidien mittalaite toimi hyvin koko vuoden ja laatutavoite koko vuoden aineiston vähimmäismäärälle saavutettiin. Hiukkasmittalaite vaihdettiin uuteen vastaavaan laitteeseen 26.6.2018 ja myös hiukkasmittausten osalta laatutavoite saavutettiin. Raja-arvojen ylittymisen valvontaan käytettävissä mittauksissa laatutavoite koko vuoden aineiston vähimmäismäärälle on 90 %, mikä ei kuitenkaan sisällä laitteiden säännöllisestä kalibroinnista tai normaalista kunnossapidosta aiheutuvaa tietohukkaa. Tavoitteen täyttymisen arvioimiseksi vähennetään ensin kalibrointien tai normaalin kunnossapidon vuoksi menetettyjen mittaustulosten yhteismäärä koko vuoden suurimmasta mahdollisesta mittausarvojen määrästä. Pienin hyväksyttävä laatutavoitteen täyttävä aineiston määrä on 90 % tästä erotuksesta. Yleisesti kalibrointien ja normaalin kunnossapidon vuoksi voidaan katsoa menetettävän 5 % vuoden tunneista, joka voidaan suoraan vähentää laatutavoitteen 90 %:sta eli laatutavoitteena käytetään 85 % vuoden tuntimäärästä.

5 SÄÄTIEDOT

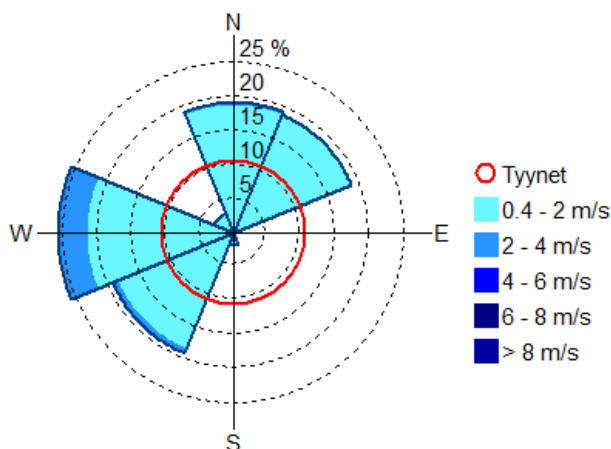
5.1 Tuulitiedot vuodelta 2018

Kuvassa 26 on esitetty vuoden 2018 tuulimittausaineistosta piirretty tuuliruusu Kajaanin mittausasemalta. Vallitsevat tuulensuunnat olivat Lönnrotinkadun suuntaisia. Tyyniä tilanteita, jolloin tuulen nopeus oli alle 0,4 m/s, esiintyi noin 11 % vuoden tunneista. Koska mittausasema sijaitsi varsin lähellä teatterin ja kaupungintalon seinustaa, olivat mitatut tuulennopeudet alhaisia ja mittausasema oli itä-, kaakkois- ja etelätuulien osalta rakennusten katveessa ja käytännössä näitä tuulensuuntia ei mittauspisteessä esiintynyt juuri lainkaan (vrt. liitekuva 13). Voimakkaammilla itä-, kaakkois- ja etelätuulilla rakennukset aiheuttivat lähikadun kautta kulkevia pyörrevirtauksia. Siten tuulimittaukset edustivat hyvin kyseisen kadun mikrometeorologiaa.

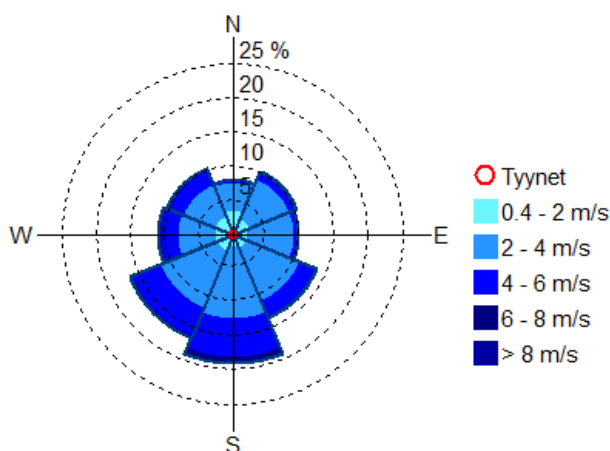
Kuvassa 27 on esitetty vuoden 2018 tuuliruusu Ilmatieteen laitoksen sääasemalta Vieremän Kaarakkalasta, joka sijaitsee noin 60 km päässä Kajaanin keskustasta. Vieremän sääaseman havaintojen voidaan katsoa kuvaavan laajasti Kainuun alueen tuulisuutta. Vallitsevat tuulensuunnat olivat Kainuun alueella vuonna 2018 etelä ja lounas.

Tuuliruusujen keskipisteestä lähtevän janan pituus sektorin kehäviivalle vastaa ko. tuulisektorin tuulien prosentuaalista osuutta jakson tuulista. Tyynet tapaukset on kuvattu ympyrällä, jonka säteen pituus kertoo tyynien tilanteiden prosentuaalisen osuuden kaikista tuulihavainnoista. Tuuliruususta nähdään myös tuulten nopeusjakaumat tuulensuuntasektoreittain. Eri tuulennopeuksien prosentuaaliset osuudet saadaan vertaamalla sektoreiden kunkin nopeusluokan pituutta prosenttiasteikkoon.

Kajaanin mittausasemalla mitatut tuulen nopeuden tuntikeskiarvot on esitetty raportin lopussa liitekuvasa 9. Kajaanin Lönnrotinkadun mittausaseman tuulianturi sijaitsee noin 4 metrin korkeudella maanpinnasta.



Kuva 26. Tuuliruusu Kajaanin ilmanlaadun mittausasemalla havaituista tuulista vuonna 2018. Tyynien tilanteiden (tuulen nopeus alle 0,4 m/s) osuus oli 11 % kaikista tuulista.

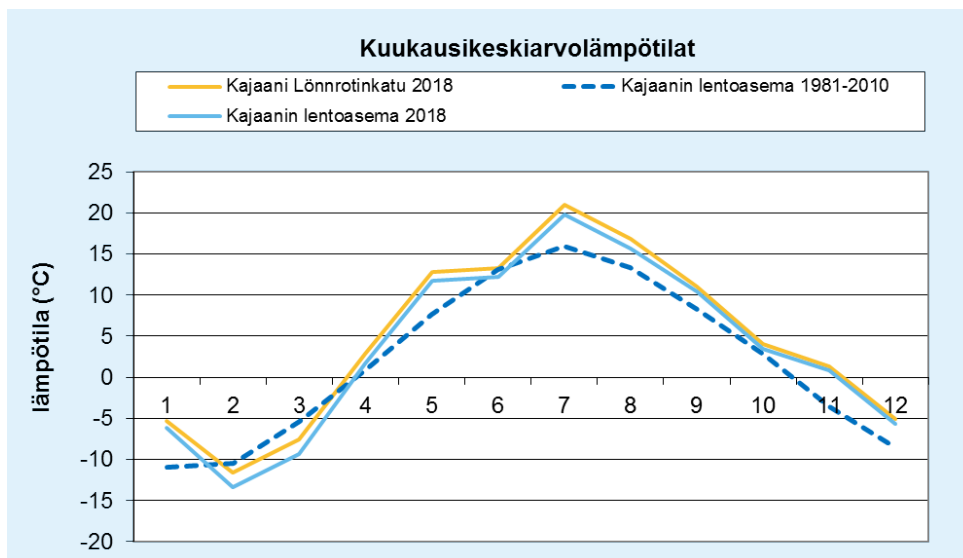


Kuva 27. Tuuliruusu Vieremän Kaarakkalassa havaituista tuulista vuonna 2018. Tyynien tilanteiden (tuulen nopeus alle 0,4 m/s) osuus oli alle 1 % kaikista tuulista.

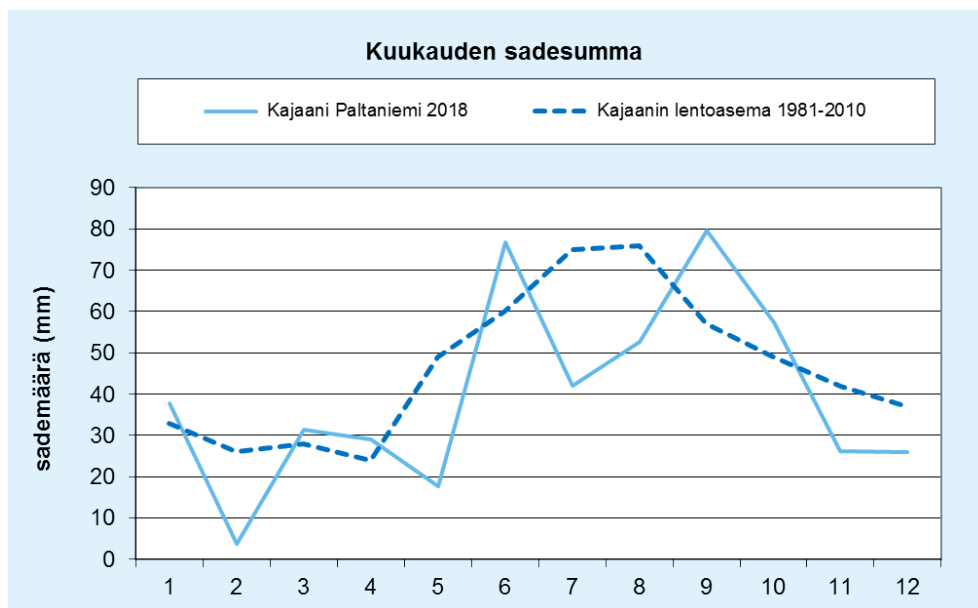
5.2 Keskilämpötilat ja sademäärät Kajaanissa vuonna 2018

Vuosi 2018 oli lämmin ja kuiva. Vuosi sijoittui Suomen 10 lämpimimmän vuoden joukkoon yli 150 vuoden tilastojen perusteella. Keskilämpötila oli 1–2 astetta tavanomaista korkeampi. Kuvassa 28 on vertailtu Kajaanin keskustassa mitattuja lämpötilan kuukausikeskiarvoja Ilmatieteen laitoksen Kajaanin lentoaseman lämpötilahavaintoihin vuodelta 2018 ja pitkäaikaisiin vertailukauden 1981–2010 keskiarvolämpötiloihin (*Pirinen, ym., 2012*). Vuosi 2018 oli Kajaanin lentoasemalla 1,5 astetta vertailukauden 1981–2010 vuosikeskiarvolämpötilaa (2,0 °C) korkeampi. Lämpimintä oli touko- ja heinäkuussa sekä talvikuukausina, jolloin keskilämpötila oli 3–5 astetta tavanomaista korkeampi. Kajaanin ilmanlaadun mittausasemalla mitatut ulkoilman lämpötilan tuntikeskiarvot on esitetty raportin lopussa liitekuvassa 10.

Kuvassa 29 on vertailtu Ilmatieteen laitoksen Paltaniemen sääasemalla Kajaanin lentoaseman lähellä vuonna 2018 mitattuja kuukausisademääriä Kajaanin lentoaseman vertailukauden 1981–2010 sademääriin (*Pirinen, ym., 2012*). Kajaanin Paltaniemessä satoi koko vuonna 480 mm, mikä on 76 mm vähemmän kuin vertailukautena 1981–2010 keskimäärin. Kuivinta oli touko-, heinä- ja elokuussa, jolloin kuukausittaiset sademäärät poikkesivat eniten pitkän ajan keskiarvoista.



Kuva 28. Kuukauden keskilämpötilat vuonna 2018 Kajaanin keskustassa Lönnrotinkadulla ja Kajaanin lentoasemalla sekä Kajaanin lentoasemalla vertailukaudella 1981–2010.



Kuva 29. Kuukausisademäärät Kajaanin Paltaniemessä vuonna 2018 ja Kajaanin lentoasemalla vertailukaudella 1981–2010.

5.3 Säatekijöiden vaikutus ilman epäpuhtauksien leviämiseen

Ilmakehän tasapainotila määritellään lämpötilan pystyjakauman avulla vertaamalla vallitsevaa tilannetta neutraaliin tilaan, jossa lämpötila laskee ylöspäin mentäessä celsiusasteen sataa metriä kohden. Kun lämpötila laskee tätä enemmän, nimitetään tasapainoa epävakaaksi eli labiiliksi. Kun taas lämpötila laskee vähemmän kuin

neutraalissa tilanteessa, tila on vakaa eli stabiili. Tasapainotilaan vaikuttavat muun muassa auringon säteily, tuuli ja maanpinnan laatu.

Stabiiliustilan ollessa vakaa ilmakehän sekoittuminen on vähäistä. Jos tila on epävakaa, sekoittuminen on voimakasta ja ilmaan päässeet epäpuhtaudet laimenevat nopeasti. Liikenteen päästöistä aiheutuvat maksimipitoisuudet esiintyvät yleensä stabiileissa tilanteissa. Stabiilit tilanteet ovat yleisimpiä yöllä ja talvella, ja maaseudulla niitä esiintyy useammin kuin kaupungeissa.

Inversiotilanteessa lämpötila nousee korkeuden kasvaessa ja ilmakehän tila on erittäin stabiili. Maanpintainversiossa lämpötilan nousu alkaa maanpinnasta ulottuen muutamia satoja metrejä ylöspäin. Maanpintaa lähellä oleva kylmempi ilma jää sitä ylempänä olevan lämpimämmän ilman alle. Sekoittuminen maanpinnalta ylöspäin on heikkoa koko inversiokerroksessa. Tällöin erityisesti liikenteen päästöt hajaantuvat hyvin huonosti. Epäpuhtaudet kerääntyvät matalaan ilmakerrokseen päästölähteiden lähelle. Inversiokerroksessa tuuli on heikkoa ja vahvan inversion yhteydessä maanpintatasolla on tyyntä. Tyynessä tilanteessa ilma ei kykene kuljettamaan päästöjä kauemmaksi lähteistä ja myös pystysuuntaiset ilman liikkeet ovat rajoitetut inversion vaikutuksesta. Sen sijaan korkeista piipuista tulevat energiantuotannon ja teollisuuden päästöt saattavat purkautua matalien maanpintainversioiden yläpuolelle, jolloin ne eivät juuri vaikuta pitoisuuksiin lähellä maanpintaa lähialueellaan.

Yläinversiossa lämpötilan nousu alkaa maanpinnan yläpuolelta. Yläinversion vallitessa sekoittuminen korkeussuunnassa tiettyä rajaa ylemmäksi estyy. Matalan yläinversion tapauksessa pitoisuudet maanpinnalla saattavat olla korkeita. Jos kuitenkin yläinversion korkeus on useita satoja metrejä, sen vaikutus pitoisuuksiin lähellä maanpintaa on yleensä vähäinen kaupunkialueilla.

Korkeimmat pitoisuudet esiintyvät kaupunkialueilla useimmiten stabiileissa heikkotuulisissa tilanteissa voimakkaan maanpintainversion vallitessa. Autoliikenne on haitallisin päästölähde ryhmä korkeiden pitoisuuksien muodostumisen kannalta useimmissa maamme kaupungeissa. Liikenteen päästöjen osuus monien ilman epäpuhtauksien päästöistä on huomattava ja pakokaasut pääsevät suoraan ihmisten hengityskorkeudelle.

Keväisin merkittävin ilmanlaatuhaittojen aiheuttaja on katupöly. Katupölyä syntyy, kun lumet sulavat keväällä ja talven aikana tien varsille kerääntynyt hiukkasmassa vapautuu ilmaan tuulen ja liikennevirtojen vaikutuksesta katujen kuivuttua. Lumien sulamisvedet, sateet ja pölynsidonta suolaliuoksella hillitsevät keväistä pölyämistä. Sateet alentavat myös muina vuodenaikoina väliaikaisesti ilman epäpuhtauksien pitoisuuksia ja puhdistavat hengitysilmaa.

6 TAUSTATIETOA MITATUISTA ILMAN EPÄPUHTAUKSISTA

6.1 Typen oksidit

Typen yhdisteitä vapautuu päästölähteistä ilmaan typen oksideina eli typpimonoksidina (NO) ja typpidioksidina (NO₂). Näistä yhdisteistä terveysvaikutuksiltaan haitallisempaa on typpidioksidi, jonka pitoisuuksia ulkoilmassa säädellään ilmanlaadun ohje- ja raja-arvoilla. Typpidioksidin määrään ilmassa vaikuttavat myös kemialliset muutuntareaktiot, joissa typpimonoksidi hapettuu typpidioksidiksi.

Ulkoilman typpidioksidipitoisuuksille altistuminen on suurinta kaupunkien keskustojen ja taajamien liikenneympäristöissä. Typpidioksidipitoisuudet kohoavat tyypillisesti ruuhka-aikoina. Korkeimmillaan typpidioksidipitoisuudet ovat erityisesti tyyninä ja kylminä talvipäivinä, jolloin myös energiantuotannon päästöt ovat suurimmillaan. Taajamien ja kaupunkien korkeimmat typpidioksidipitoisuudet aiheuttaa pääasiassa 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.

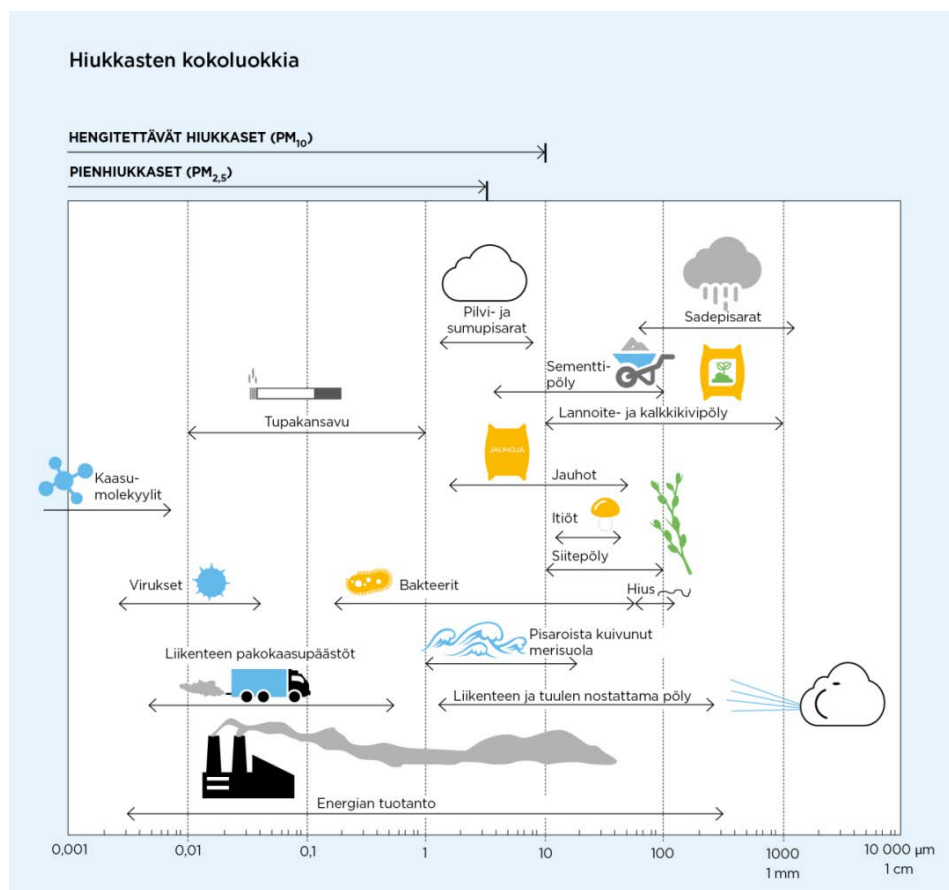
Typpidioksidin vuosiraja-arvo 40 µg/m³ alittuu nykyisin Suomessa. Typpidioksidin vuosikeskiarvopitoisuudet ovat olleet viime vuosina suurimmissa kaupungeissa keskimäärin 15–25 µg/m³. Viikkaimmilla teillä ja katukuiluosuuksilla vuosipitoisuudet voivat olla yli 30 µg/m³. Pienissä ja keskisuurissa kaupungeissa typpidioksidin vuosikeskiarvot ovat yleensä noin 5–20 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, 2019*).

6.2 Hiukkaset

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

Ulkoilman hiukkasten koko on yhteydessä niiden aiheuttamiin erilaisiin vaikutuksiin. Suurempien hiukkasten korkeat pitoisuudet vaikuttavat merkittävimmin viihtyvyyteen ja aiheuttavat likaantumista. Terveysvaikutuksiltaan haitallisempia ovat ns. hengitettävät hiukkaset ja pienhiukkaset, jotka kykenevät tunkeutumaan syvälle ihmisten hengitysteihin. Hengitettävillä hiukkasilla, joiden halkaisija on alle 10 mikrometriä (PM₁₀), on annettu ilmanlaadun ohje- ja raja-arvot. Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet kohoavat erityisesti keväällä, jolloin jauhautunut hiekoitushiekka ja

asfalttipöly nousevat ilmaan kuivilta kaduilta liikenteen nostattamana. Pienhiukkaset, joiden halkaisija on alle 2,5 mikrometriä ($PM_{2,5}$), ovat pääasiassa peräisin suorista autoliikenteen ja teollisuuden päästöistä ja kaukokulkeumasta, jonka lähde voi olla esimerkiksi metsä- ja maastopalot. Hiukkasten kokoluokkia on havainnollistettu kuvassa 30.



Kuva 30. Hiukkasten kokoluokkia. Hiukkasten koko ilmaistaan halkaisijana mikrometreissä (μm). Mikro (μ) etuliite tarkoittaa miljoonasosaa. 1 μm on siten metrin miljoonasosa eli millimetrin tuhannesosa.

Suomessa hiukkaspitoisuudet kohoavat yleensä voimakkaasti keväällä maaliskuuhuhtikuussa, kun maanpinnan kuivuessa tuuli ja liikenne nostattavat talven aikana kertynyttä katupölyä ilmaan. Pitoisuuksien kohoamista esiintyy taajamissa katupölyn vuoksi usein myös syksyllä talvirengaskauden alettua. Pienten hiukkasten pitoisuuksien kohoamiseen vaikuttaa ajoittain merkittävästi myös ulkomailta peräisin oleva kaukokulkeuma. Suurimmat hiukkaspitoisuudet esiintyvät vilkkaasti liikennöidyissä kaupunkikeskustoissa. Liikenteen vaikutukset korostuvat matalan päästökorkeuden vuoksi.

Hengitettävien hiukkasten vuorokausipitoisuuksille asetettu raja-arvotaso ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ylittyy mittausasemilla noin 0–25 kertaa vuoden aikana. Kajaanissa raja-arvotaso on ylittynyt viime vuosina 1–10 kertaa vuodessa. 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 $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ alittuu Suomessa. Hengitettävien hiukkasten pitoisuuden vuosikeskiarvot ovat olleet viime vuosina suurimmissa kaupungeissa noin $10\text{--}20 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Vilkkaimmilla teillä ja katukuiluosuuksilla vuosipitoisuudet voivat olla yli $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Pienissä ja keskisuurissa kaupungeissa vuosikeskiarvot ovat noin $6\text{--}15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ mittausympäristöstä riippuen. Puhtailla tausta-alueilla vuosikeskiarvopitoisuudet ovat olleet Etelä-Suomessa noin $9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja Pohjois-Suomessa noin $3\text{--}5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (*Ilmatieteen laitos, 2019*).

Pienhiukkaspitoisuuden vuosikeskiarvolle määritetty raja-arvo $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ alittuu selvästi kaikkialla Suomessa. Viime vuosina pienhiukkasten vuosikeskiarvopitoisuus on ollut pääkaupunkiseudun kaupunkialueilla noin $5\text{--}8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja muilla kaupunkialueilla noin $3\text{--}7 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Pitoisuuserot erityyppisten mittausympäristöjen välillä ovat muutamia mikrogrammoja. Puhtailla tausta-alueilla vuosikeskiarvopitoisuudet ovat olleet Etelä-Suomessa noin $4\text{--}6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja Pohjois-Suomessa noin $2\text{--}3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (*Ilmatieteen laitos, 2019*). Pienhiukkasten taustapitoisuudesta valtaosa on kaukokulkeutunutta hiukkasainesta. Kaukokulkeuma muodostaa huomattavan osan myös kaupunki-ilman pienhiukkaspitoisuuksista.

6.3 Ilman epäpuhtauksien terveysvaikutukset

Ilman epäpuhtauksien 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 ennen aikaista 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 astmaatit, ikääntyneet sepelvaltimotautia ja keuhkohtaumatautia sairastavat sekä lapset. Talvisin pakkasen 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.

6.4 Ilmanlaadun ohje- ja raja-arvot

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 ennakoita 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*, taulukko 4).

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 ilmanlaatuasetuksessa (*Vna 79/2017*, taulukko 5).

Taulukko 4. Ilmanlaadun ohjearvot terveyshaittojen ehkäisemiseksi (*Vnp 480/1996*).

Ilman epäpuhtaus	Ohjearvo $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (293 K, 101,3 kPa)	Tilastollinen määrittely
Typpidioksidi (NO_2)	150	Kuukauden tuntiarvojen 99. prosenttipiste
	70	Kuukauden toiseksi suurin vuorokausiarvo
Hengitettävät hiukkaset (PM_{10})	70	Kuukauden toiseksi suurin vuorokausiarvo

Taulukko 5. Ilmanlaadun raja-arvot terveyshaittojen ehkäisemiseksi (*Vna 79/2017*).

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

¹⁾ Tulokset ilmaistaan lämpötilassa 293 K ja paineessa 101,3 kPa.

²⁾ Tulokset ilmaistaan ulkoilman lämpötilassa ja paineessa.

Ilmanlaadun ohje- ja raja-arvoja 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.

Maailman terveysjärjestön (WHO) antama ohjearvo pienhiukkasten pitoisuuden vuosikeskiarvolle on $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja vuorokausikeskiarvolle $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (WHO, 2006). WHO:n ohjearvo on suosituksenomainen.

6.5 Ilmanlaadun arviointikynnykset

Seuranta-alueen ilmanlaadun seurannan suunnittelussa on otettava huomioon ilmanlaatuasetuksessa määritellyt arviointikynnykset (Vna 79/2017). Jatkuvia mittauksia on tehtävä seuranta-alueilla, joilla ylempi arviointikynnys ylittyy sekä seuranta-alueilla, joilla ilman epäpuhtauksien pitoisuudet ovat ylempään ja alemman arviointikynnyksen välissä. Alemman arviointikynnyksen ylittyessä jatkuvien mittausten tarve on vähäisempi ja voidaan käyttää jatkuvien mittausten ja mallintamistekniikoiden tai suuntaa-antavien mittausten yhdistelmää. Jos ilman epäpuhtauksien pitoisuudet ovat alemman arviointikynnyksen alapuolella, riittää, että ilmanlaatua seurataan yksinomaan suuntaa-antavien mittausten, mallintamistekniikoiden, päästökartoitusten tai muiden vastaavien menetelmien perusteella.

Ylempään ja alemman arviointikynnyksen ylittyminen määritetään viiden edellisen vuoden pitoisuuksien perusteella. Arviointikynnyksen katsotaan ylittyneen, kun se on ylittynyt vähintään kolmena vuotena viidestä. Taulukossa 6 on esitetty typpidioksidin ja hengitettävien hiukkasten pitoisuuksille määritetyt ylempät ja alemmat arviointikynnykset sekä niiden osuus raja-arvopitoisuuksista.

Taulukko 6. Ilmanlaadun seurannan suunnittelussa käytettävät ilmanlaadun ylempät ja alemmat arviointikynnykset typpidioksidille ja hengitettäville hiukkasille (Vna 79/2017). Suluissa on esitetty arviointikynnyksen osuus raja-arvopitoisuudesta.

Ilman epäpuhtaus	Keskiarvon laskenta-aika	Ylempi arviointikynnys ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Alempi arviointikynnys ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Typpidioksidi (NO_2)	1 tunti	140 (70 %)	100 (50 %)
	kalenterivuosi	32 (80 %)	26 (65 %)
Hengitettävät hiukkaset (PM_{10})	24 tuntia	35 (70 %)	25 (50 %)
	kalenterivuosi	28 (70 %)	20 (50 %)

VIITELUETTELO

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

Ilmatieteen laitos, 2017. Ilmanlaadun mittausohje. Raportteja 2017:6. <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/228440>

Ilmatieteen laitos, 2019. Ilmatieteen laitoksen ylläpitämä palvelu, josta on saatavilla mittaustiedot ja historiatietoja pitoisuuksista lähes kaikilta Suomen ilmanlaadun seuranta-asemilta: <http://ilmatieteenlaitos.fi/ilmanlaatu>
<https://ilmatieteenlaitos.fi/havaintojen-lataus#!/>

Oulun kaupunki, 2018. Tiedot vuoden 2018 ilmanlaadusta Oulun Keskustan ja Pyykösjärven mittausasemilta. Heikki Orava, Oulun seudun ympäristötoimi. Sähköposti 18.2.2019.

Pirinen, P., Simola, H., Aalto, J., Kaukoranta, J-P., Karlsson, P. ja Ruuhela, R., 2012. Tilastoja Suomen ilmastosta 1981–2010. Ilmatieteen laitos, raportteja No.2012:1. Helsinki.

Vna 79/2017. Valtioneuvoston asetus ilmanlaadusta. Annettu Helsingissä 26.1.2017.

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

Walden, J., Waldén, T., Laurila, S. ja Hakola, H., 2017. Demonstration of the equivalence of PM_{2.5} and PM₁₀ measurement methods in Kuopio 2014–2015. Reports 2017:1. Finnish Meteorological Institute, Helsinki, 137 p. http://expo.fmi.fi/ages/public/PM_Equivalence%20report%20Kuopio_2017.pdf

Walden, J. ja Vestenius, M., 2018. Verification of PM-analyzers for PM₁₀ and PM_{2.5} with the PM reference method. Finnish Meteorological Institute, Reports 2018:2. http://expo.fmi.fi/ages/public/Raportteja_2018_2_Verification_of_PM-analyzers.pdf

WHO, 2006. Air Quality Guidelines: Global Update 2005. Particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulphur dioxide. World Health Organization.

LIITETAULUKOT

Liitetaulukko 1. Kajaanissa mitatut typpimonoksidin (NO) pitoisuudet vuonna 2018.

NO	2018											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
TUNTIARVOJEN												
lukumäärä	744	672	737	720	744	716	744	744	714	744	720	741
kattavuus (%)	100	100	99,1	100	100	99,4	100	100	99,2	100	100	99,6
keskiarvo (µg/m ³)	10,5	16,5	9,9	8,5	5,0	4,3	3,8	4,9	6,5	10,0	11,7	11,9
99. %-piste (µg/m ³)	62,0	106	52,5	40,8	20,4	20,3	18,3	23,8	25,5	47,2	57,3	55,7
korkein arvo (µg/m ³)	76,9	190	93,8	70,4	27,8	26,3	49,6	37,6	48,8	78,2	159	87,6
VRK-ARVOJEN												
lukumäärä	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
2. korkein arvo (µg/m ³)	18,7	40,9	16,6	14,2	8,5	8,1	6,0	9,0	12,0	19,3	22,4	26,6
korkein arvo (µg/m ³)	26,9	62,1	23,6	17,3	8,6	8,4	11,3	10,3	12,1	21,5	27,3	27,2

Liitetaulukko 2. Kajaanissa mitatut typpidioksidin (NO₂) pitoisuudet vuonna 2018.

NO ₂	2018											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
TUNTIARVOJEN												
lukumäärä	744	672	737	720	744	716	744	744	714	744	720	741
kattavuus (%)	100	100	99,1	100	100	99,4	100	100	99,2	100	100	99,6
keskiarvo (µg/m ³)	16,8	24,7	20,6	21,9	13,4	8,9	9,3	11,4	11,5	14,9	13,9	16,4
99. %-piste (µg/m ³)	65,5	78,6	83,8	80,8	46,9	28,9	27,8	34,2	33,0	44,3	53,5	45,9
korkein arvo (µg/m ³)	79,1	91,9	94,2	108	70,7	45,4	37,1	38,2	43,5	57,6	71,9	50,6
VRK-ARVOJEN												
lukumäärä	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
2. korkein arvo (µg/m ³)	29,0	48,1	37,8	37,6	23,1	15,6	16,2	17,6	16,5	22,8	26,1	27,3
korkein arvo (µg/m ³)	41,1	50,0	38,6	45,7	24,7	15,7	17,6	20,6	17,8	24,0	29,5	27,7
korkein arvo (µg/m ³)	65,5	78,6	83,8	80,8	46,9	28,9	27,8	34,2	33,0	44,3	53,5	45,9

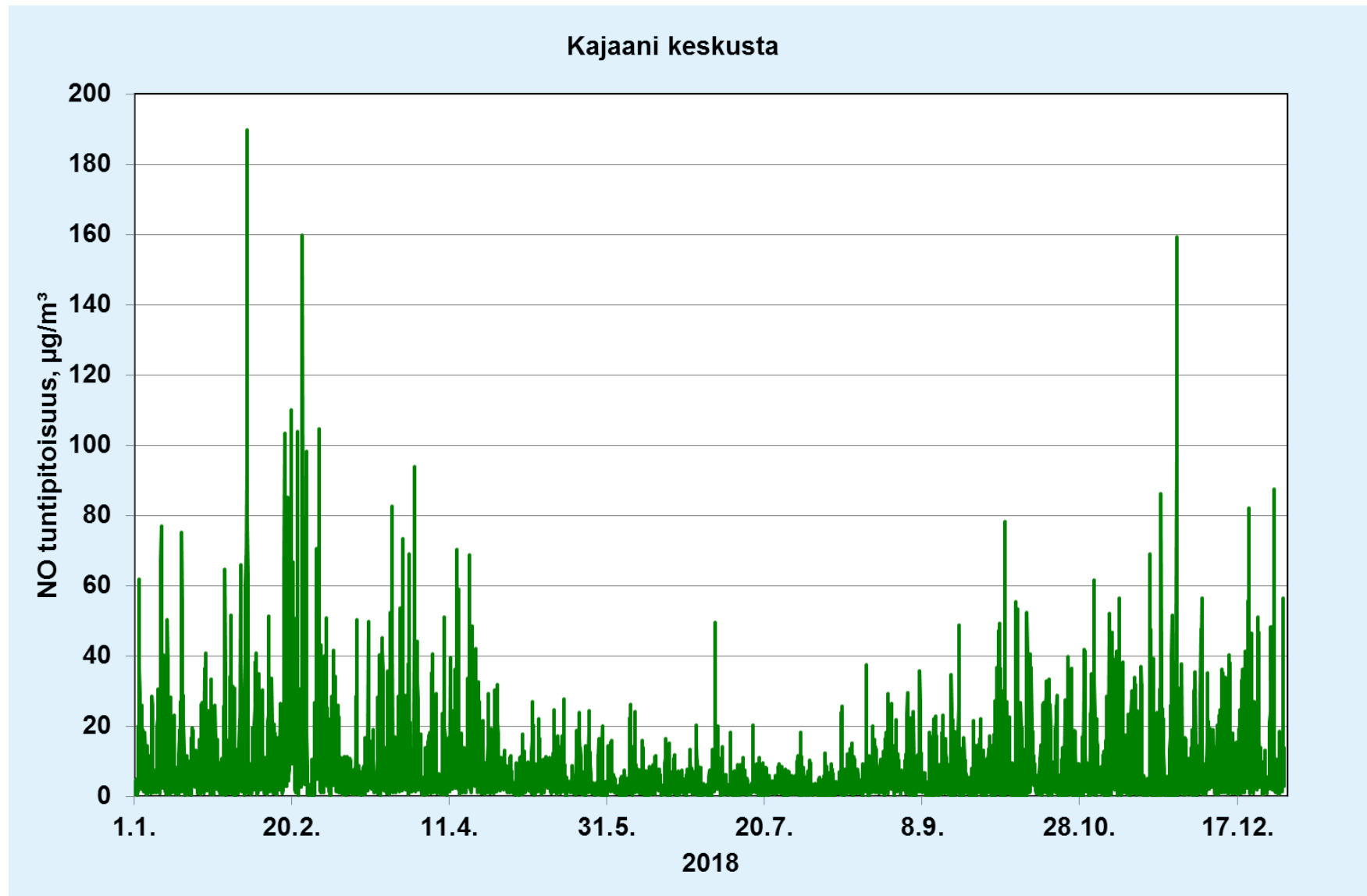
Liitetaulukko 3. Kajaanissa mitatut typen oksidien (NO_x) pitoisuudet vuonna 2018.

NO _x	2018											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
TUNTIARVOJEN												
lukumäärä	744	672	737	720	744	716	744	744	714	744	720	741
kattavuus (%)	100	100	99,1	100	100	99,4	100	100	99,2	100	100	99,6
keskiarvo (µg/m ³)	32,8	50,0	35,8	34,9	21,1	15,4	15,2	18,9	21,6	30,4	31,9	34,7
99. %-piste (µg/m ³)	142	241	158	132	70,8	58,8	47,6	59,6	66,7	105	130	124
korkein arvo (µg/m ³)	190	374	238	198	89,8	80,5	100	83,1	107	174	313	177
VRK-ARVOJEN												
lukumäärä	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
2. korkein arvo (µg/m ³)	55,6	112	64,1	59,4	33,8	25,8	26,8	28,5	32,7	51,1	63,7	66,4
korkein arvo (µg/m ³)	82,3	143	74,0	72,1	35,9	28,0	30,7	33,4	34,6	52,7	64,8	68,6

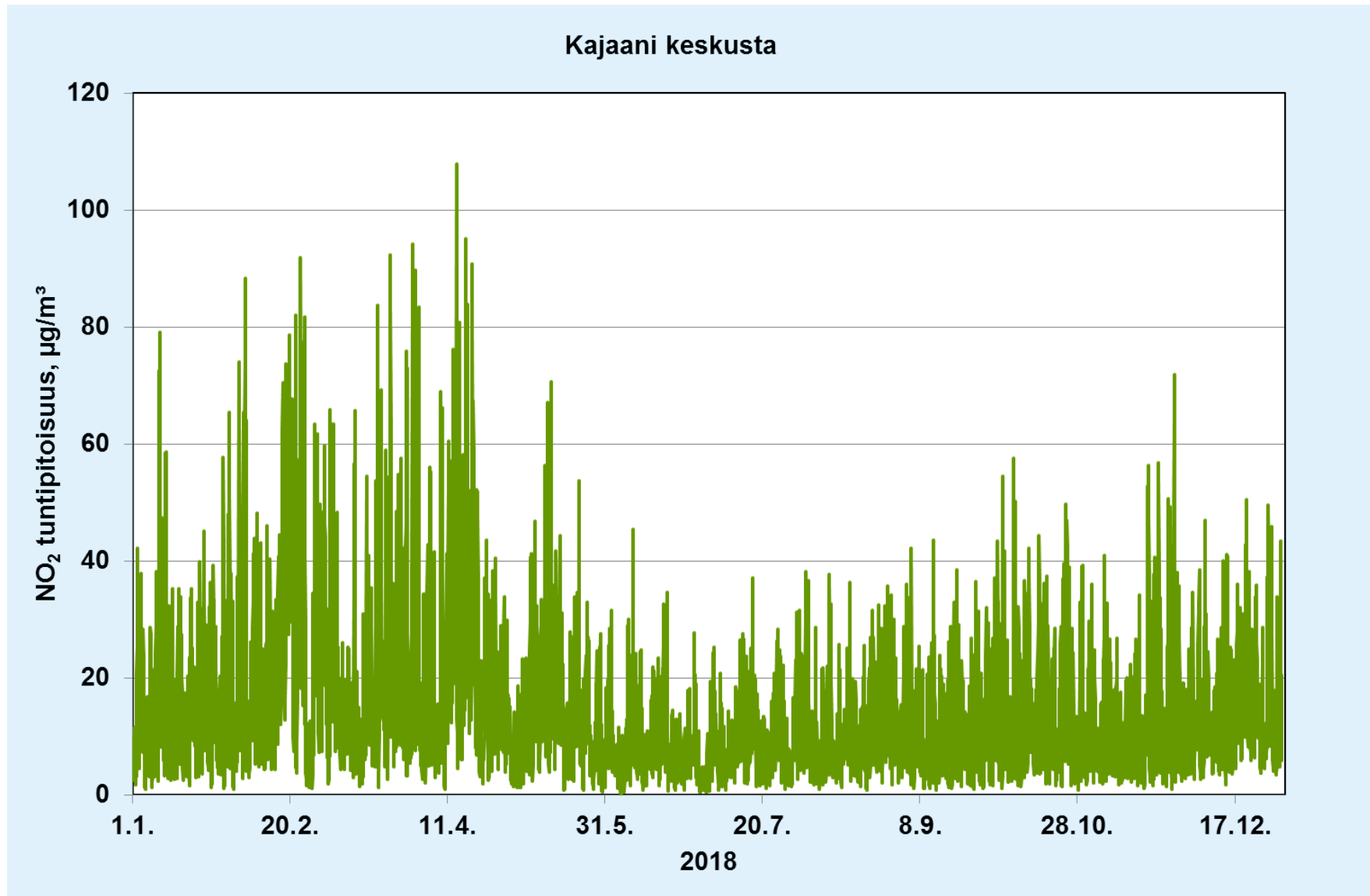
Liitetaulukko 4. Kajaanissa mitatut hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) pitoisuudet vuonna 2018.

PM ₁₀	2018											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
TUNTIARVOJEN												
lukumäärä	744	672	740	720	744	686	744	744	720	744	712	743
kattavuus (%)	100	100	99,5	100	100	95,3	100	100	100	100	98,9	99,9
keskiarvo (µg/m ³)	7,6	21,0	12,7	23,2	18,4	10,4	13,9	11,8	10,5	15,7	11,9	9,6
99. %-piste (µg/m ³)	25,6	90,8	49,8	79,4	50,9	35,3	29,6	34,6	30,6	71,6	119	39,6
korkein arvo (µg/m ³)	37,9	112	72,8	153	63,5	149	127	64,5	62,9	161	188	61,2
VRK-ARVOJEN												
lukumäärä	31	28	31	30	31	28	31	31	30	31	29	31
2. korkein arvo (µg/m ³)	14,6	42,3	22,8	59,2	35,1	24,4	21,1	25,7	18,9	45,5	22,0	19,5
korkein arvo (µg/m ³)	16,1	46,6	23,2	67,1	42,6	26,6	26,4	31,1	22,5	51,1	100	23,8

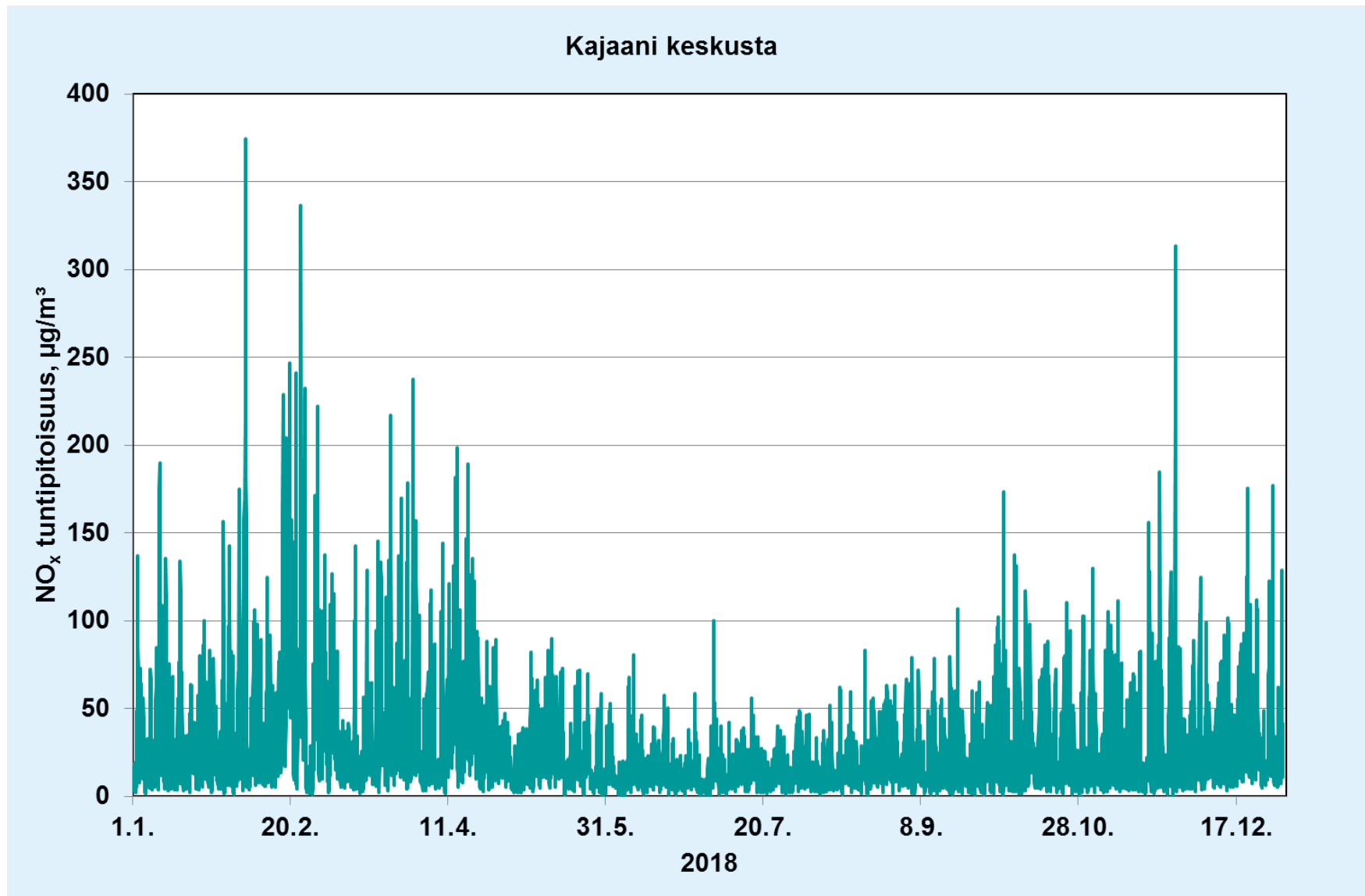
LIITEKUVAT



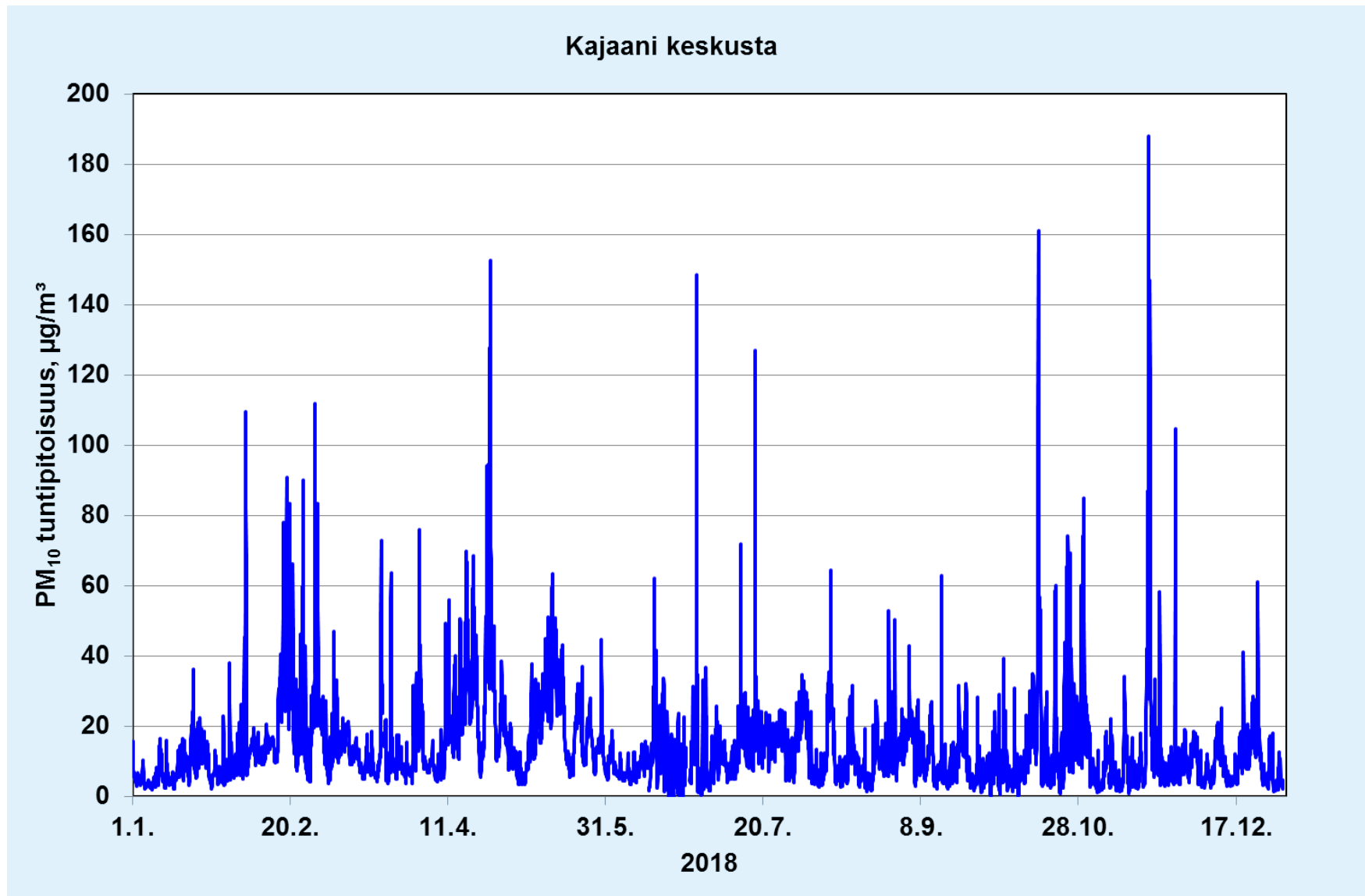
Liitekuva 1. Typpimonoksidin (NO) tuntipitoisuudet Kajaanin keskustassa 1.1.–31.12.2018.



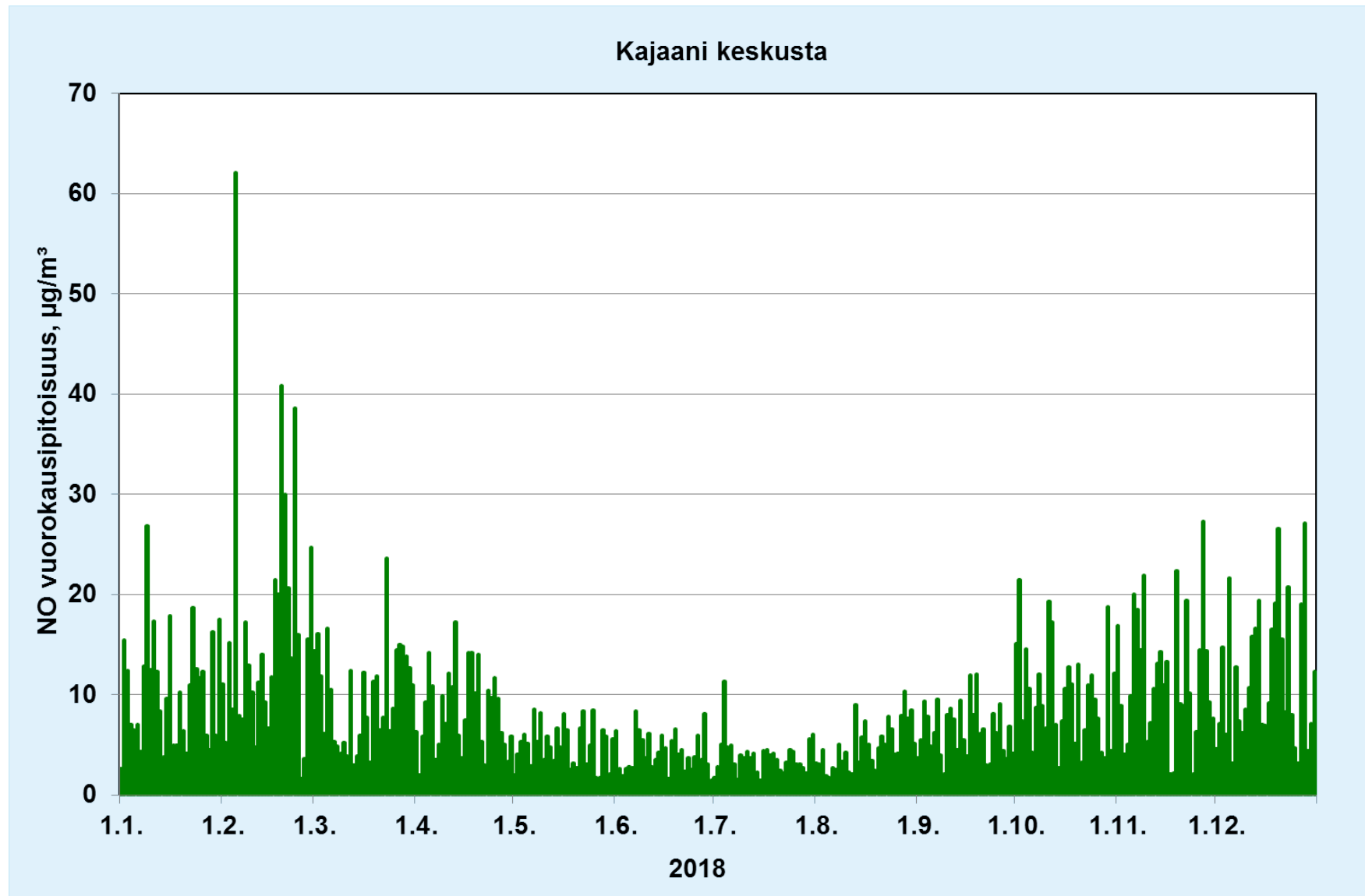
Liitekuva 2. Typpidioksidin (NO₂) tuntipitoisuudet Kajaanin keskustassa 1.1.–31.12.2018.



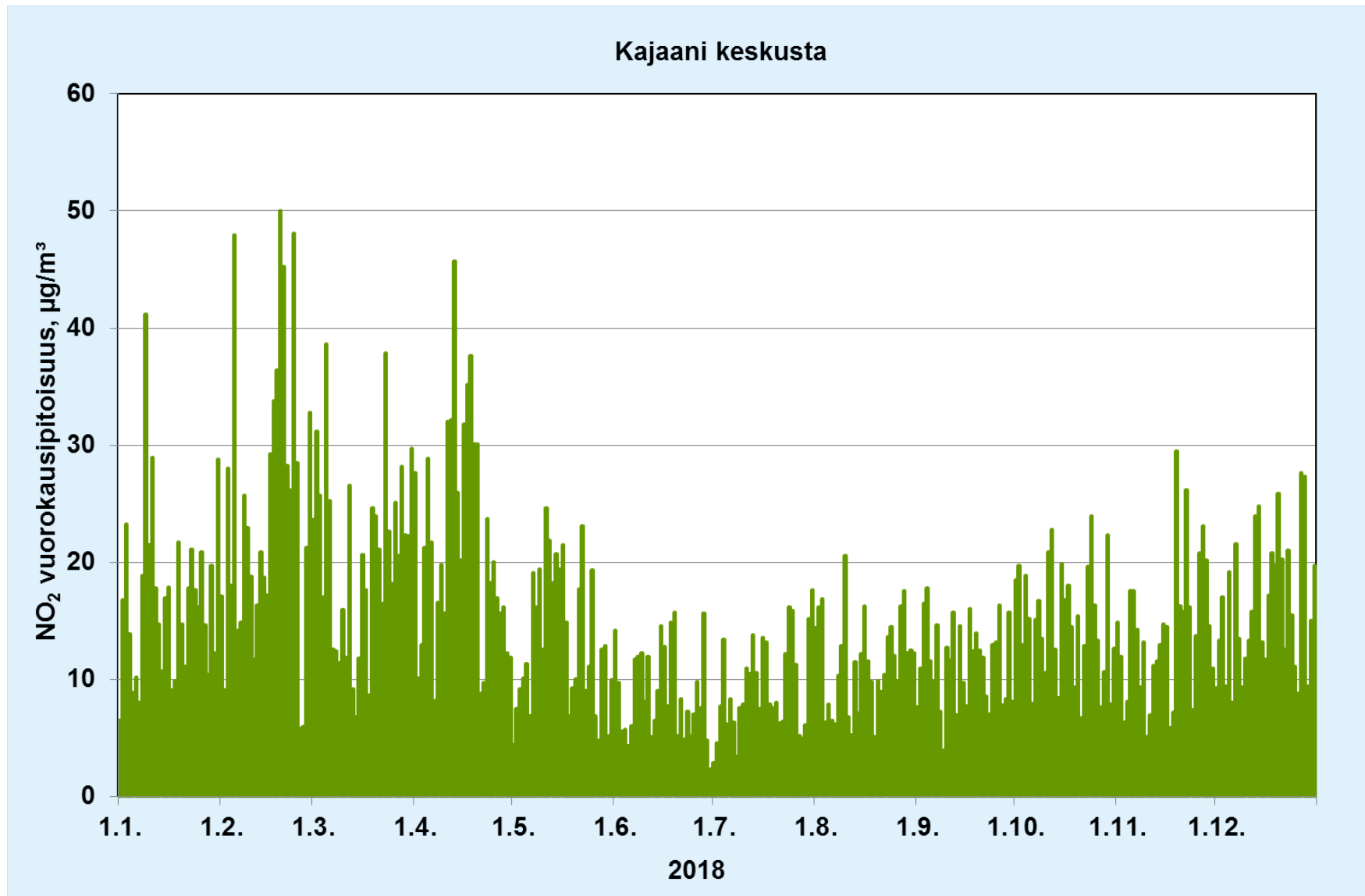
Liitekuva 3. Typen oksidien (NO_x) tuntipitoisuudet Kajaanin keskustassa 1.1.–31.12.2018.



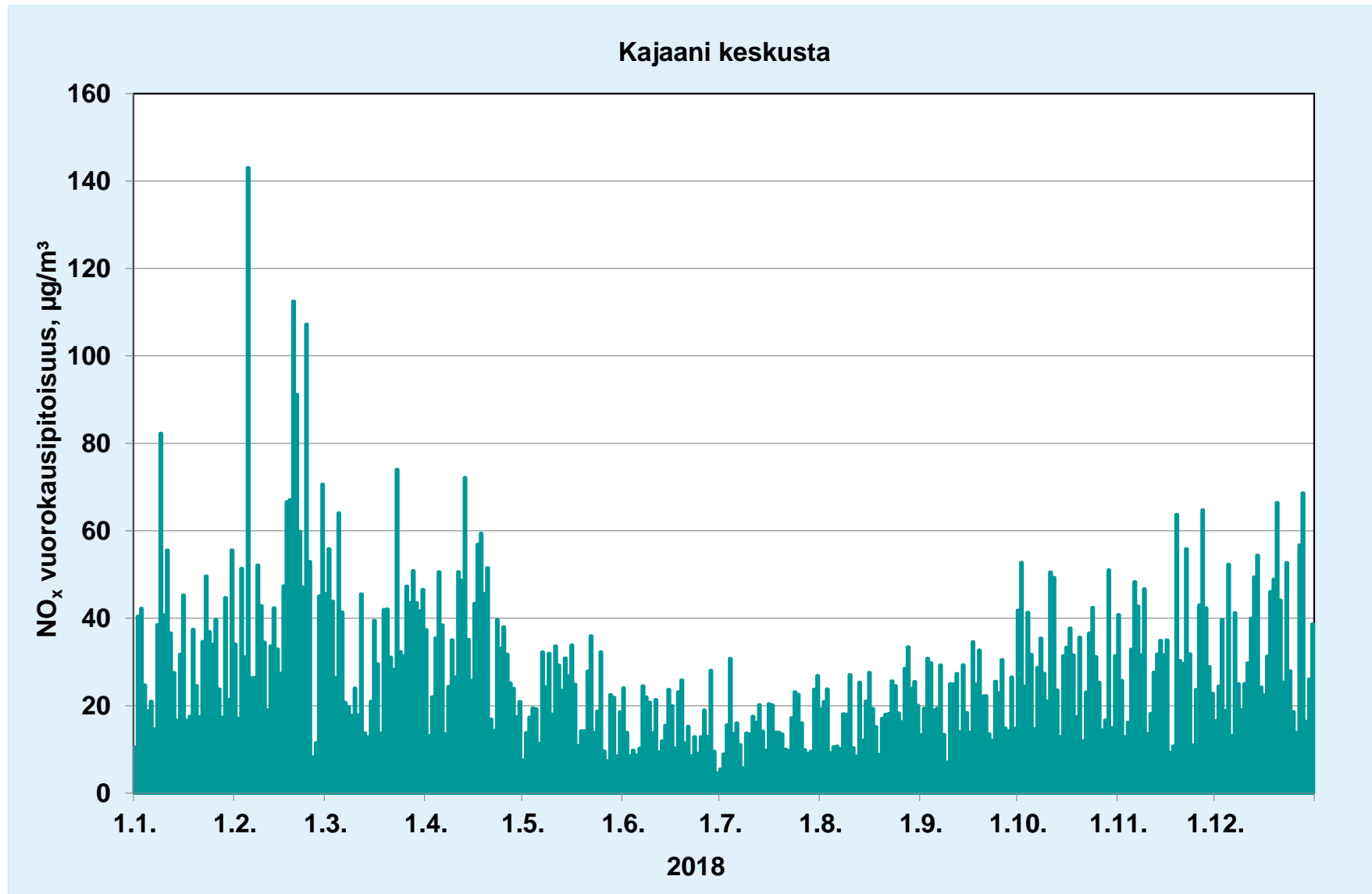
Liitekuva 4. Hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) tuntipitoisuudet Kajaanin keskustassa 1.1.–31.12.2018.



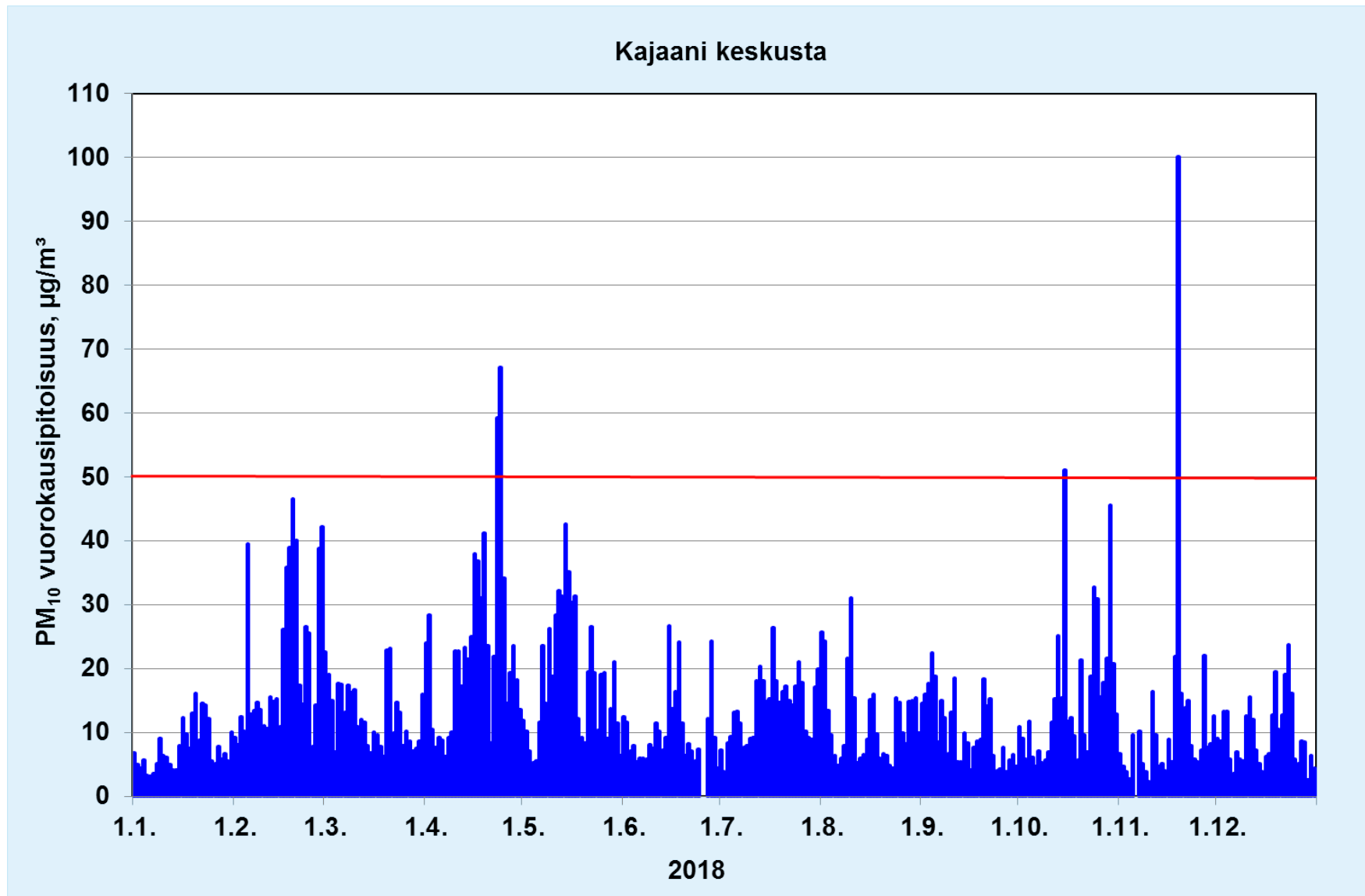
Liitekuva 5. Typpimonoksidin (NO) vuorokausipitoisuudet Kajaanin keskustassa 1.1.–31.12.2018.



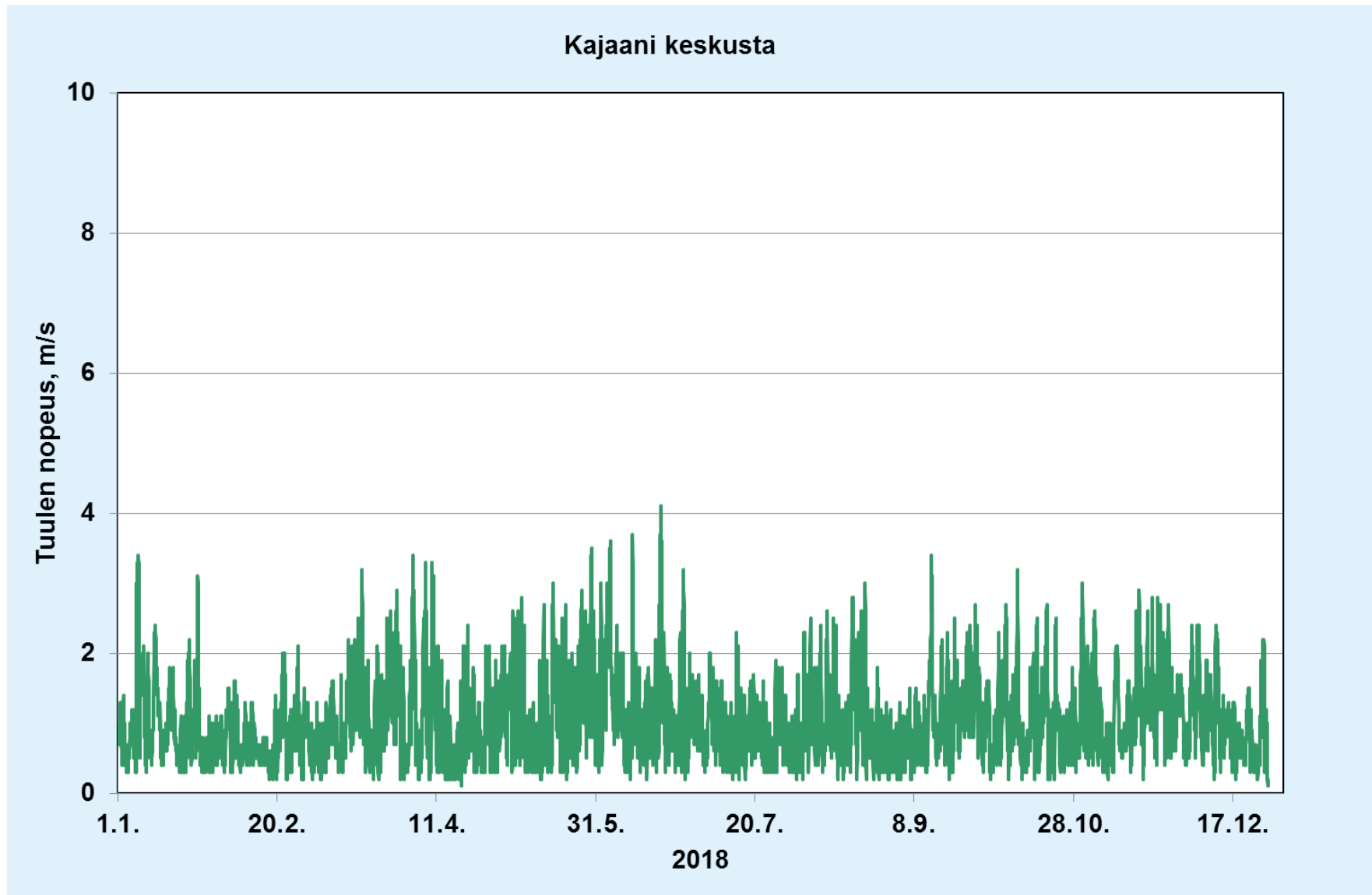
Liitekuva 6. Typpidioksidin (NO₂) vuorokausipitoisuudet Kajaanin keskustassa 1.1.–31.12.2018.



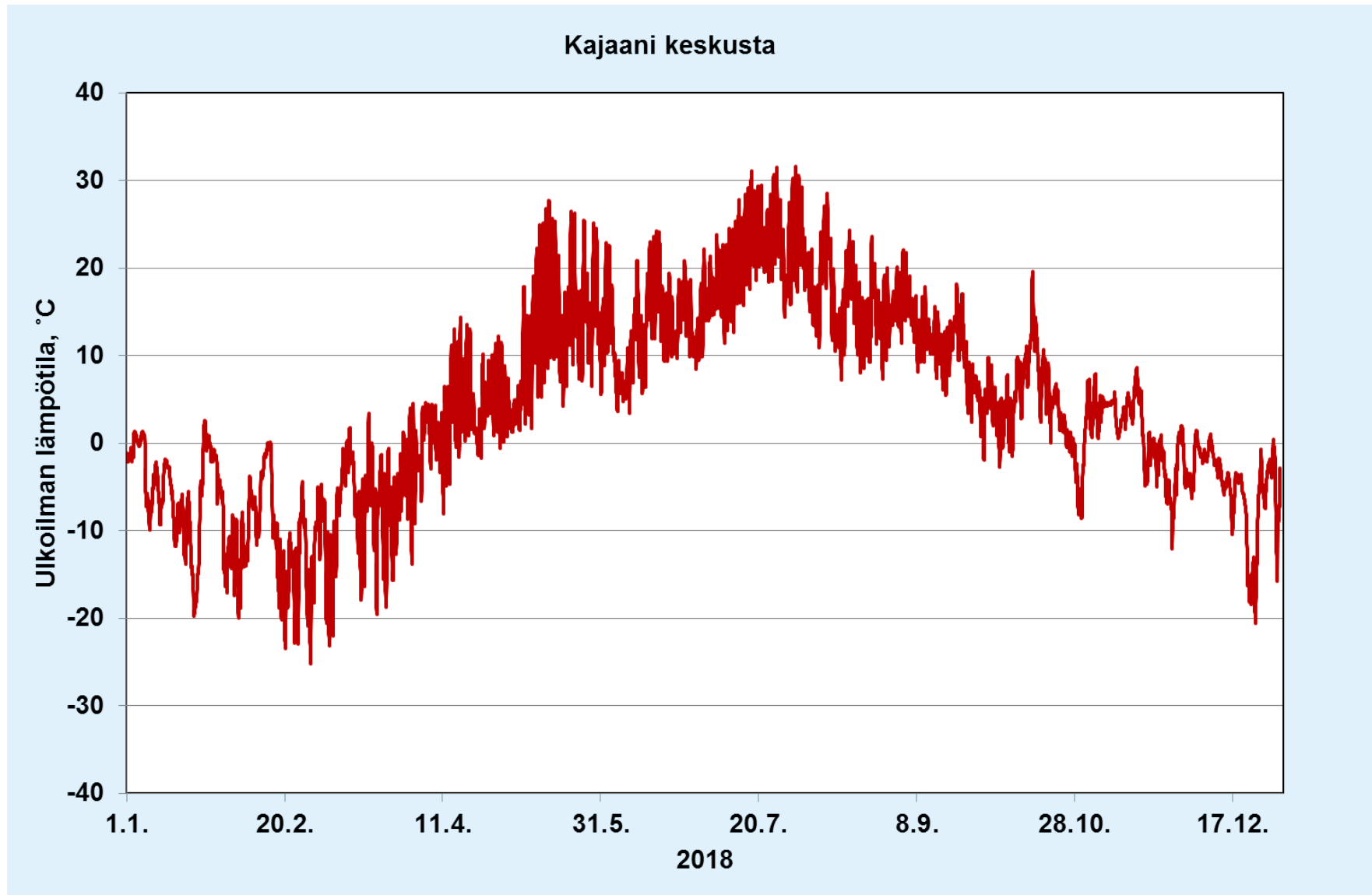
Liitekuva 7. Typen oksidien (NO_x) vuorokausipitoisuudet Kajaanin keskustassa 1.1.–31.12.2018.



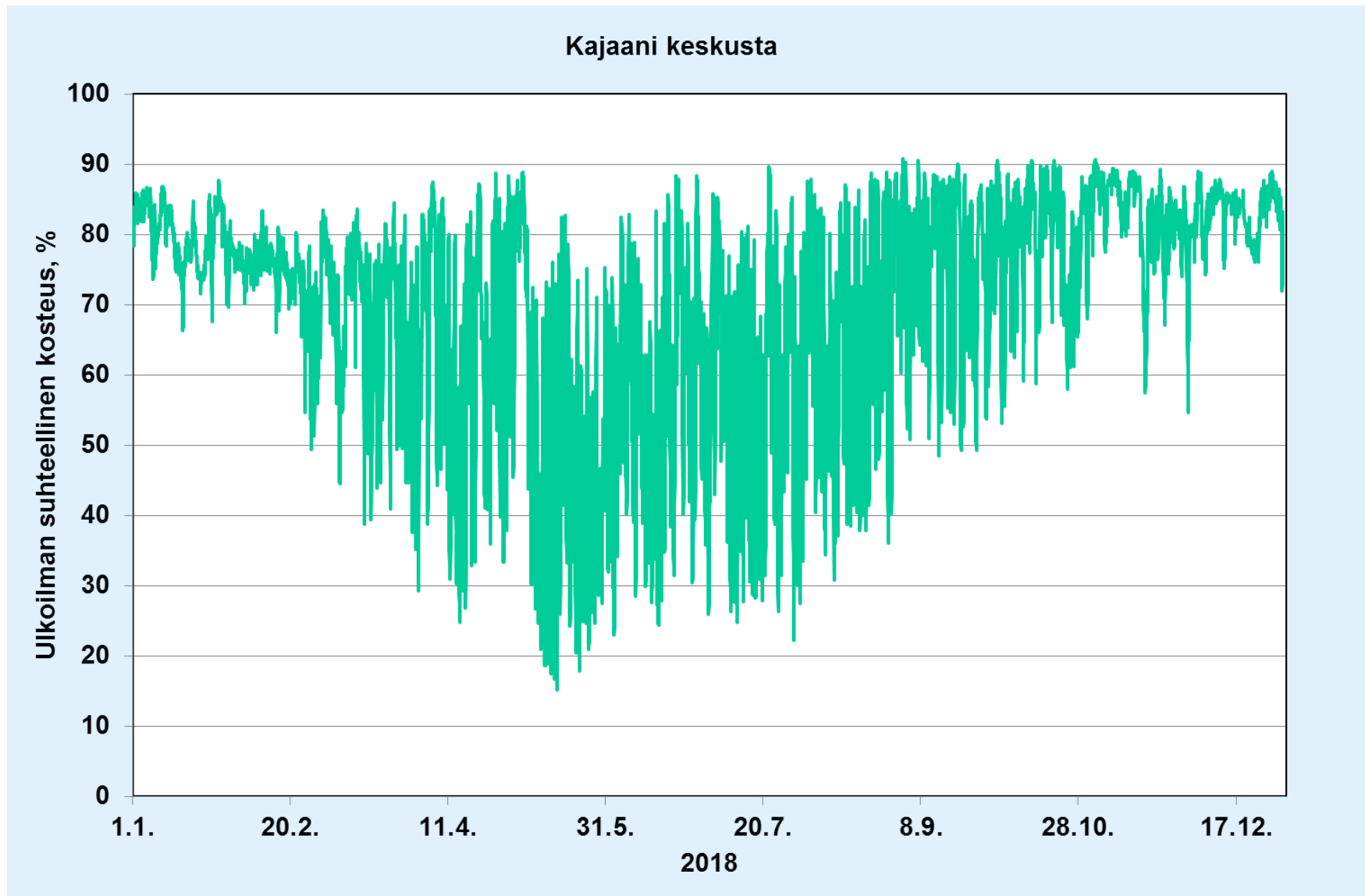
Liitekuva 8. Hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) vuorokausipitoisuudet Kajaanin keskustassa 1.1.–31.12.2018.



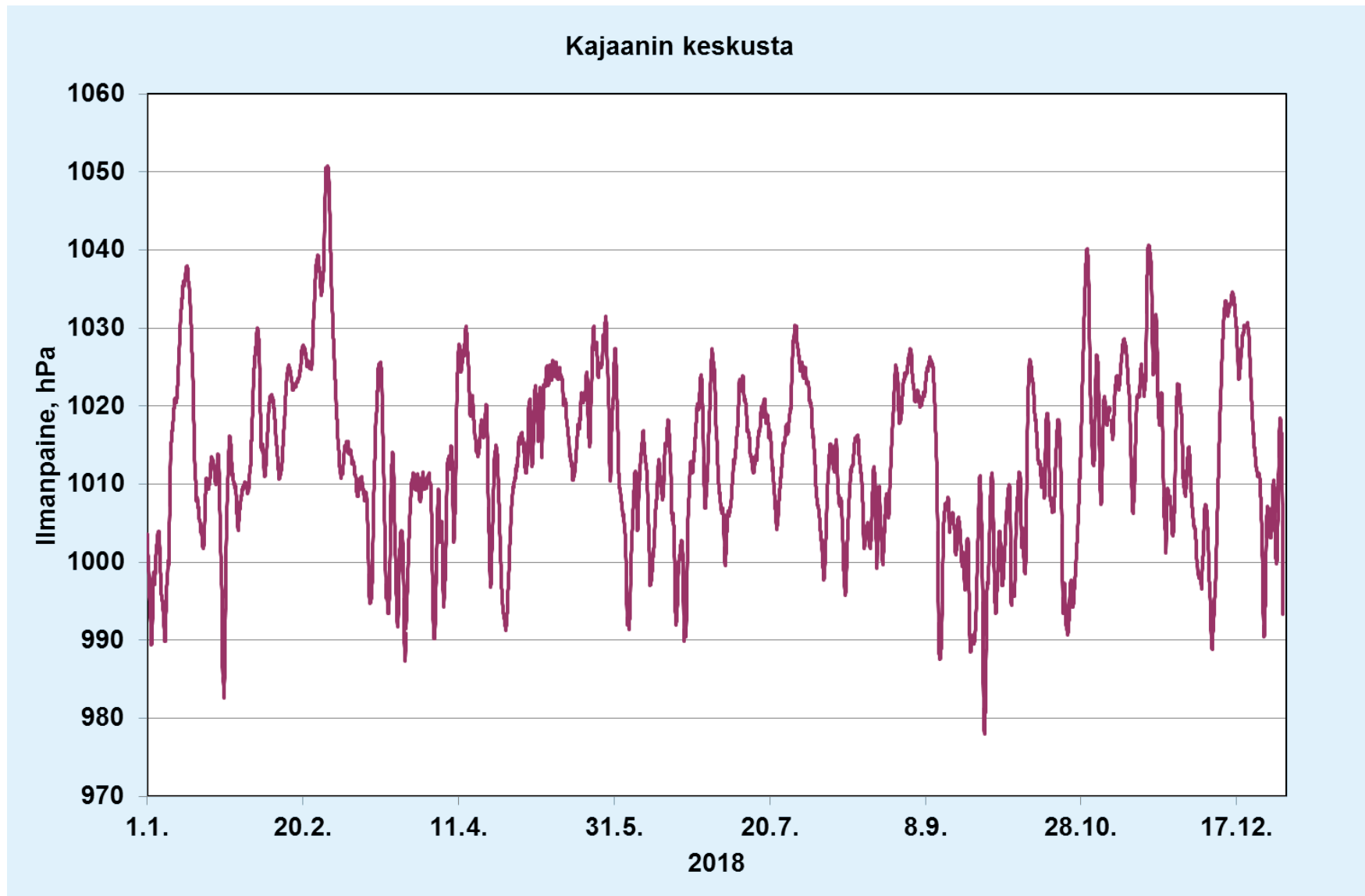
Liitekuva 9. Tuulen nopeuden tunti-arvot (m/s) Kajaanin keskustassa 1.1.–31.12.2018.



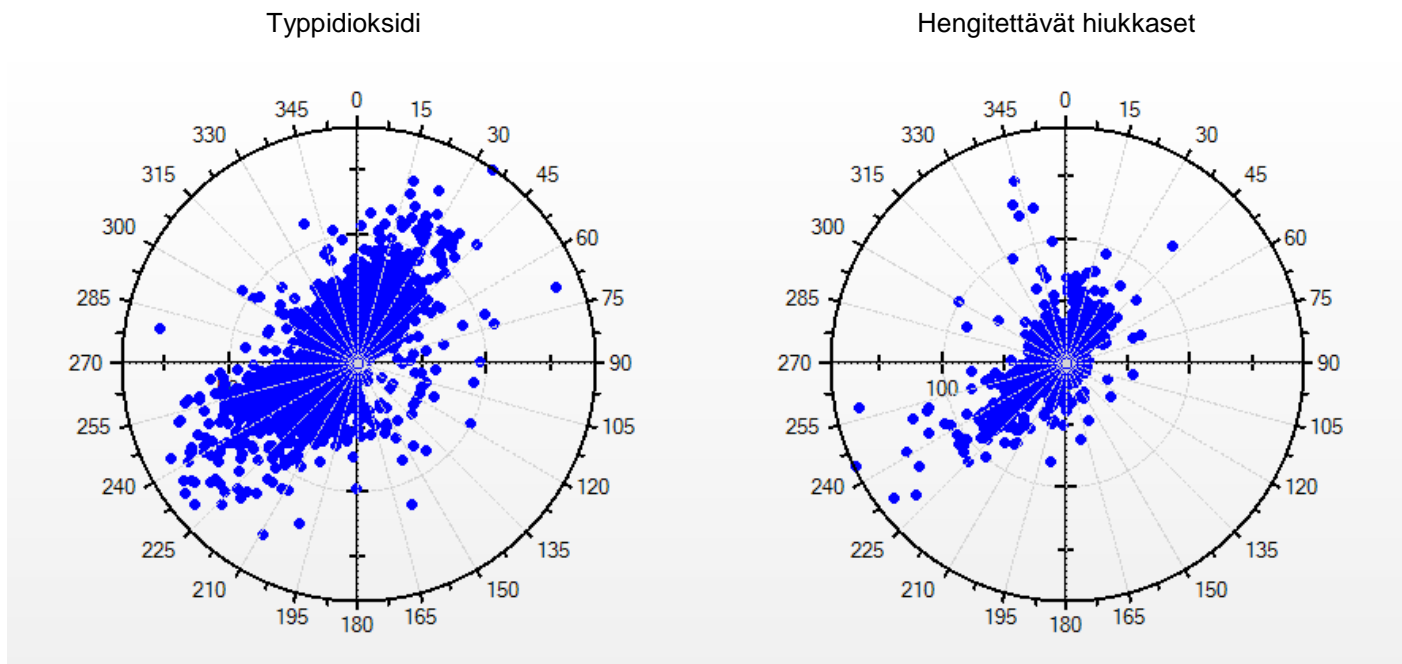
Liitekuva 10. Ulkoilman lämpötilan tunti-arvot (°C) Kajaanin keskustassa 1.1.–31.12.2018.



Liitekuva 11. Ulkoilman suhteellisen kosteuden tunti-arvot (°C) Kajaanin keskustassa 1.1.–31.12.2018.



Liitekuva 12. Ilmanpaine tuntiarvoina (hPa) Kajaanin keskustassa 1.1.–31.12.2018.



Liitekuva 13. Typpidioksidin ja hengitettävien hiukkasten yksittäisten tuntipitoisuuksien jakautuminen tuulen suunnan mukaan Kajaanin keskustassa 1.1.–31.12.2018.



ILMATIETEEN LAITOS

ILMATIETEEN LAITOS

puh. 029 539 1000

Ilmanlaatu ja energia

ilmanlaatupalvelut@fmi.fi

www.ilmatieteenlaitos.fi/ilmanlaatupalvelut

WWW.ILMATIETEENLAITOS.FI

