



VALTATIE 12 TAMPEREEN TUNNELIN ILMANLAADUN SEURANTA

Mittaustulokset vuodelta 2017



**VALTATIE 12
TAMPEREEN TUNNELIN ILMANLAADUN SEURANTA**

Mittaustulokset vuodelta 2017

**Jatta Salmi
Helena Saari
Jaakko Laakia
Kaj Lindgren
Mika Vestenius**



Kuva: Jatta Salmi, Ilmatieteen laitos

**ILMATIETEEN LAITOS
ASiantuntijapalvelut – Ilmanlaatu ja energia
Helsinki 5.4.2018**

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.....	6
2.4 Tuulen suunnan ja nopeuden vaikutus mitattuihin pitoisuuksiin	11
2.5 Pitoisuuksien ajallinen vaihtelu.....	15
2.7 Pitoisuuksien vertailua muilla mittausasemilla mitattuihin pitoisuuksiin	20
2.7.1 Typenoksidit	20
2.7.2 Hengitettävät hiukkaset.....	23
2.7.3 Pienhiukkaset.....	26
2.8 Vuoden 2017 pitoisuuksien vertailua aiempien vuosien mittauksiin	28
2.8.1 Typpidioksidi.....	28
2.8.2 Hengitettävät hiukkaset.....	30
2.8.3 Pienhiukkaset.....	31
3 PITOISUUDET ENNEN TUNNELIN RAKENTAMISTA JA SEN JÄLKEEN	33
3.1 Pitoisuustarkastelut ilmansuunnittain	33
3.2 Pitoisuustarkastelut ilmanlaatuindeksin avulla	36
4 YHTEENVETO.....	39
OSA II	41
5 ILMANLAATUMITTAUSTEN TOTEUTUS.....	41
5.1 Ilmanlaadun tarkkailun tavoitteet ja tunnelihankkeen eteneminen.....	41
5.2 Mittausasemat	41
5.3 Mitatut suureet ja mittausmenetelmät	44
5.4 Kalibrointimenetelmät, laadunvarmistus ja laitehuollot	46
6 SÄÄTIEDOT.....	47
6.1 Tuulitiedot vuodelta 2017	47
6.2 Keskilämpötilat ja sademäärät Tampereella vuonna 2017	48
6.3 Säätekijöiden vaikutus ilman epäpuhtauksien leviämiseen	49
7 TAUSTATIETOA MITATUISTA ILMAN EPÄPUHTAUKSISTA	51
7.1 Typen oksidit.....	51
7.2 Hiukkaset.....	52
7.3 Ilmanlaadun ohje- ja raja-arvot.....	55
VIITELUETTELO.....	57
LIITETAULUKOT	58
LIITEKUVAT.....	64

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
TSP	<u>T</u> otal <u>S</u> uspended <u>P</u> articles = kokonaisuudessaan kuuluvat 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 $^\circ$



Kuva: Emmi Laukkanen, Ilmatieteen laitos

OSA I

1 JOHDANTO

Ilmatieteen laitos aloitti ilmanlaatumittaukset Tampereella Valtatien 12 tunnelihankkeen suunnitteluvaiheessa 20.12.2012. Mittaukset aloitettiin vuosi ennen tunnelin varsinaisen rakennushankkeen alkamista ja niitä on jatkettu kahdella mittausasemalla yhtäjaksoisesti koko hankkeen toteutusvaiheen ajan. Tunnelin suunnitteluvaiheen ilmanlaatumittausten tavoite oli hankkia tietoa ilmanlaadusta tulevan tunnelin suuaukkojen läheisyydestä ennen tunnelin rakentamista. Vuoden 2013 lopulla hankkeessa siirryttiin toteutusvaiheeseen ja tunnelilouhinta saatiin valmiiksi kesällä 2015. Tunneli otettiin käyttöön autoliikenteelle 15.11.2016. Mittaukset jatkuivat myös vuonna 2017 tunnelin käyttöönoton jälkeen. Tässä raportissa on tarkasteltu tunnelin suualueiden ilmanlaatua vuoden 2017 aikana.

Ilmatieteen laitos mittasi jatkuvatoimisesti typen oksidien (NO_x), pienhiukkasten ($\text{PM}_{2,5}$) ja hengitettävien hiukkasten (PM_{10}) pitoisuuksia Tampereella kahdessa tunnelin suuaukkojen läheisyydessä olevassa mittauspisteessä: Naistenlahdessa ja Santalahdessa. Vuoden 2017 mittaustuloksia on verrattu ilmanlaadun ohje- ja raja-arvoihin, Tampereen kaupungin ilmanlaadun mittaustuloksiin sekä tausta-alueella mitattuihin vastaavan jakson hiukkas- ja typenoksidipitoisuuksiin. Lisäksi vertailtiin ennen tunnelin rakentamista ja tunnelin käyttöönoton jälkeen mitattuja pitoisuuksia.

Tilaaajan yhdyshenkilöinä tutkimuksessa toimivat Jari Humalajoki Lemminkäinen Oy:stä ja Petri Kantola Tampereen kaupungilta. Tutkimuksen toteutukseen ovat Ilmatieteen laitoksella osallistuneet tutkijat Jatta Salmi ja Helena Saari (tulosten käsittely ja raportointi) sekä suunnittelija Kaj Lindgren ja tutkijat Jaakko Laakia ja Mika Vestenius (mittaustekniikka, kenttätyöt ja laadunvarmistus).

2 ILMANLAADUN MITTAUSTULOKSET

2.1 Mitatut pitoisuudet

Tampereella Naistenlahden ja Santalahden mittausasemilla vuonna 2017 mitatut typen oksidien sekä hengitettävien hiukkasten ja pienhiukkasten vuosikeskiarvopitoisuudet on esitetty taulukossa 1. Raportin lopussa olevissa liitetaulukoissa 1–10 on esitetty mitatut pitoisuudet kuukausittaisina tuntipitoisuuksien ja vuorokausipitoisuuksien tilastosuureina, joita voidaan verrata ilmanlaadun ohjearvoihin.

Raportin lopussa olevissa liitekuviissa 1–20 on esitetty Tampereella Naistenlahden ja Santalahden mittausasemilla 1.1.–31.12.2017 mitattujen ilman epäpuhtauksien pitoisuuksien tuntiarvot ja vuorokausikeskiarvot yksikössä $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (typen oksidit 20 °C, hengitettävät hiukkaset ja pienhiukkaset ulkoilman lämpötilassa). Liitekuviissa 21–25 on puolestaan esitetty tuulen nopeuden ja ulkoilman lämpötilan tuntikeskiarvot sekä vuorokausisademäärät samalta mittausjaksolta.

Taulukko 1. Naistenlahdessa ja Santalahdessa vuonna 2017 mitatut typenoksidien ja hiukkasten vuosikeskiarvopitoisuudet ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Mitattu vuosikeskiarvopitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Naistenlahti	Santalahti
NO	3	4
NO ₂	11	9
Kokonais-NO _x (NO ₂ :na ilmaistuna)	16	15
PM _{2,5}	5	5
PM ₁₀	11	9

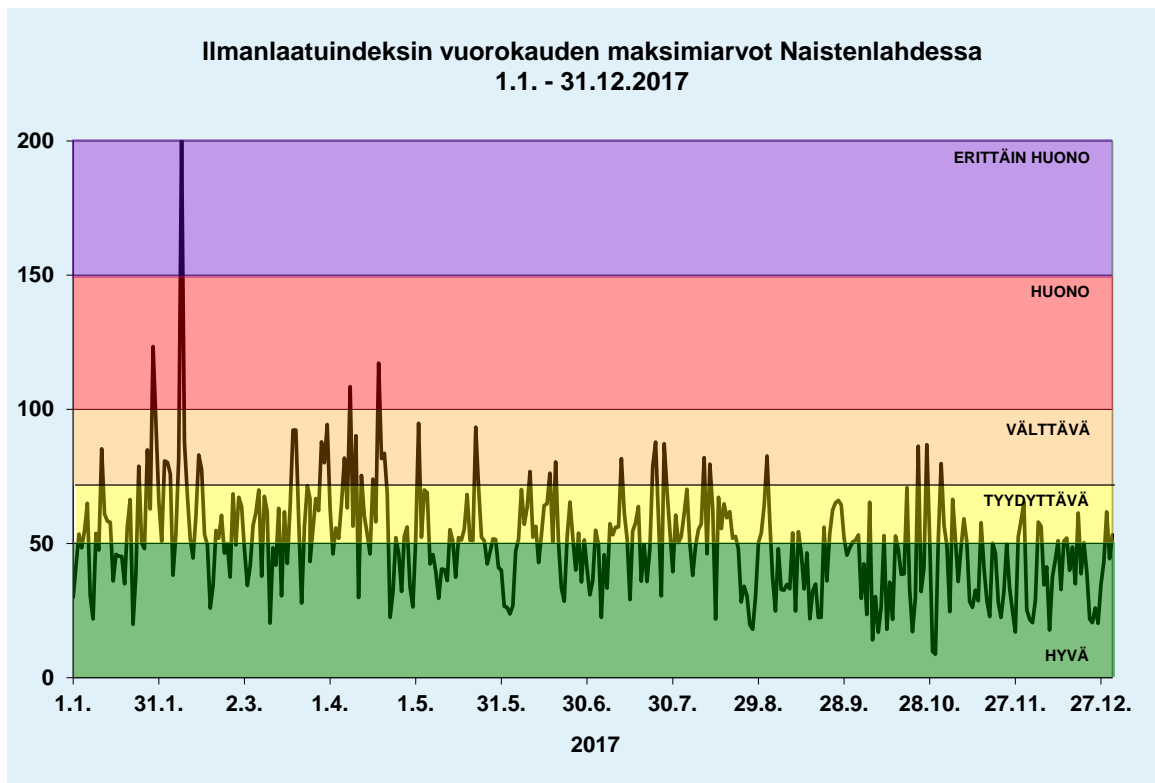
2.2 Ilmanlaatuindeksi

Naistenlahdessa ja Santalahdessa mitattujen ilman epäpuhtauspitoisuuksien perusteella laskettiin ilmanlaatuindeksi, joka kuvaa vallitsevaa ilmanlaatuilannetta sanallisella asteikolla: hyvä, tyydyttävä, välttävä, huono tai erittäin huono. Indeksien laskentaan käytetään typpidioksidin, hengitettävien hiukkasten ja pienhiukkasten 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 mittausten alusta lähtien nähtävillä mittausten [www-sivuilla](http://www.sivuilla) reaaliaikaisesti ja historiatietoina.

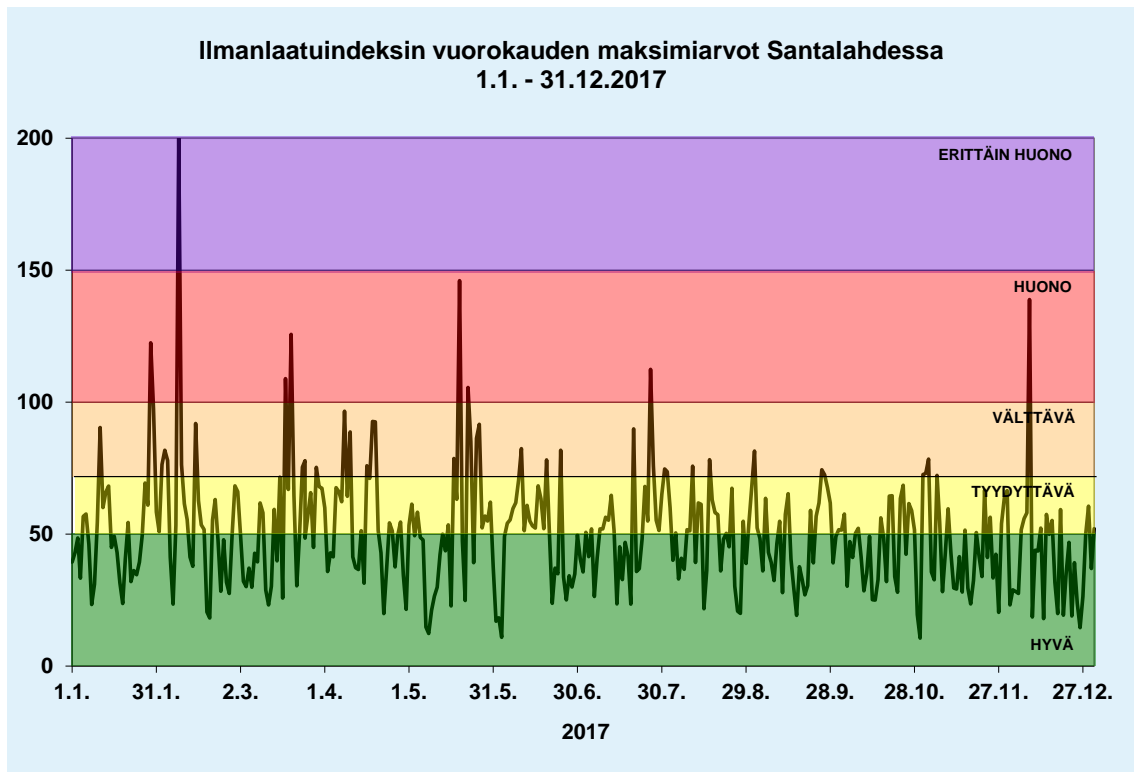
Kuvissa 1 ja 2 on esitetty yhteenveto vuoden 2017 vuorokauden maksimi-indeksiarvoista Naistenlahdessa ja Santalahdessa. Tässä tarkastelussa mittauspäivän

indeksi määräytyy ilmanlaadultaan huonoimman tunnin mukaan. Indeksillä ilmaistuna ilmanlaatu oli Naistenlahdessa hyvää 47 %, tyydyttävää 42 % ja välttävää 10 % päivistä. Ilmanlaatu oli huonoa 3 päivänä (1 % päivistä) ja erittäin huonoa yhtenä päivänä. Huonon ja erittäin huonon ilmanlaadun aiheuttajana olivat hengitettävien hiukkasten tai pienhiukkasten pitoisuudet.

Santalahdessa ilmanlaatu oli vastaavasti hyvää 52 %, tyydyttävää 38 % ja välttävää 8 % päivistä. Ilmanlaatu oli huonoa 7 päivänä (2 % päivistä) ja erittäin huonoa yhtenä päivänä. Huonon ja erittäin huonon ilmanlaadun aiheuttajana olivat hengitettävien hiukkasten tai pienhiukkasten pitoisuudet. Santalahdessa esiintyi huonon tai erittäin huonon ilmanlaadun päiviä Naistenlahtea useammin. Santalahdessa ilmanlaadun mittausaseman ympäristö on lumien sulettua kokonaan ilman kasvillisuuspeitettä, mikä pölyää kuivalla ja tuulisella säällä. Santalahdessa joulukuussa havaittu huonon ilmanlaadun tilanne (8.12.) aiheutui Pyynikillä tapahtuneesta puukerrostalon tulipalosta.



Kuva 1. Vuorokauden suurimmat ilmanlaatuindeksin arvot Naistenlahdessa vuonna 2017.



Kuva 2. Vuorokauden suurimmat ilmanlaatuindeksin arvot Santalahdessa vuonna 2017.

2.3 Pitoisuuksien suhde ohje- ja raja-arvoihin

Taulukoissa 2 ja 3 sekä kuvissa 3–6 on esitetty Naistenlahdessa ja Santalahdessa vuonna 2017 mitatut typpidioksidin ja hengitettävien hiukkasten ohjearvoihin verrattavat pitoisuudet kuukausittain sekä näiden pitoisuuksien suhde vastaaviin ohjearvoihin prosentuaalisesti.

Typpidioksidipitoisuudet alittivat ohjearvot sekä Naistenlahdessa että Santalahdessa vuonna 2017. Ohjearvoihin verrannolliset typpidioksidin tuntipitoisuudet vaihtelivat Naistenlahdessa välillä 16–52 % ohjearvosta ja Santalahdessa 19–48 % ohjearvosta. Vuorokausipitoisuudet vaihtelivat Naistenlahdessa välillä 18–52 % ohjearvosta ja Santalahdessa 15–47 % ohjearvosta. Suurimmat typpidioksidin ohjearvoihin verrattavat pitoisuudet mitattiin kummallakin mittausasemalla helmikuussa.

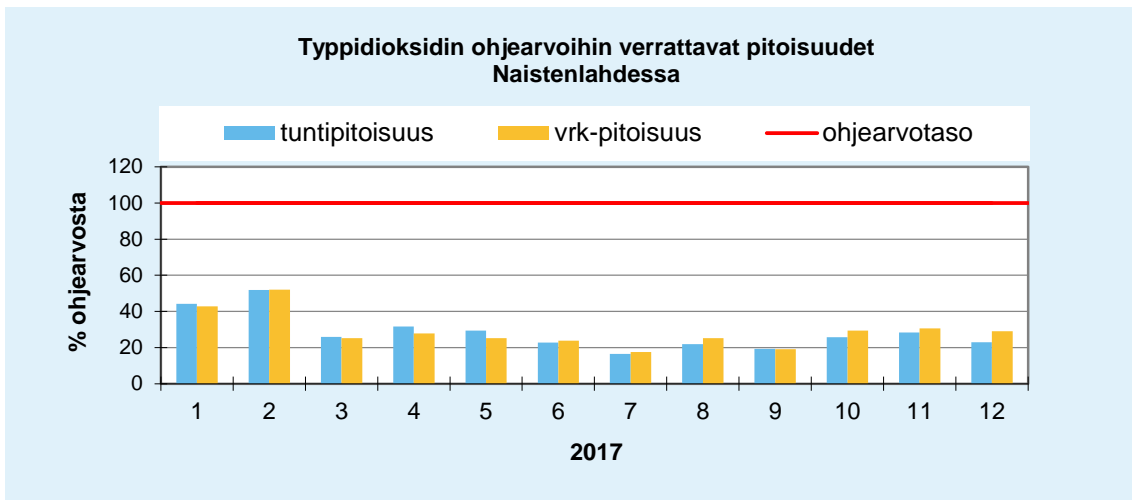
Hengitettävien hiukkasten ohjearvoon verrattavat pitoisuudet olivat Naistenlahdessa 14–61 % vuorokausiohjearvosta ja Santalahdessa 14–47 % vuorokausiohjearvosta. Suurimmat hengitettävien hiukkasten ohjearvoon verrattavat pitoisuudet mitattiin Naistenlahdessa huhtikuussa ja Santalahdessa toukokuussa.

Taulukko 2. Typpidioksidin (NO₂) ja hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) ohjearvoihin verrattavat pitoisuudet kuukausittain sekä näiden suhde ohjearvoihin **Naistenlahdessa** vuonna 2017.

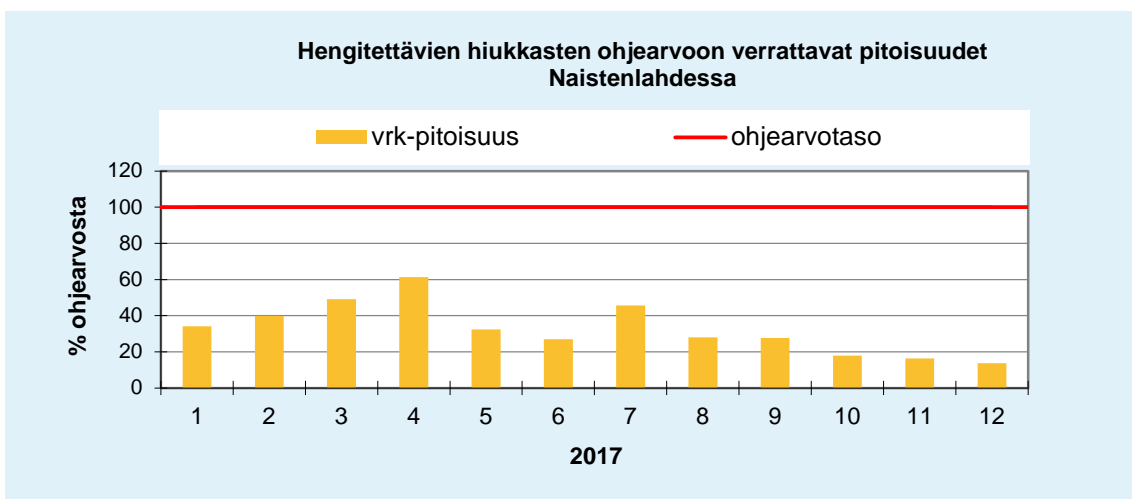
Naistenlahti 2017	NO ₂ tunti		NO ₂ vrk		PM ₁₀ vrk	
	99 %-piste (µg/m ³)	% ohje- arvosta	2. suurin vrk (µg/m ³)	% ohje- arvosta	2. suurin vrk (µg/m ³)	% ohje- arvosta
Tammikuu	66	44 %	30	43 %	24	34 %
Helmikuu	78	52 %	36	52 %	28	40 %
Maaliskuu	39	26 %	18	25 %	34	49 %
Huhtikuu	48	32 %	20	28 %	43	61 %
Toukokuu	44	29 %	18	25 %	23	32 %
Kesäkuu	34	23 %	17	24 %	19	27 %
Heinäkuu	25	16 %	12	18 %	32	46 %
Elokuu	33	22 %	18	25 %	20	28 %
Syyskuu	29	19 %	13	19 %	19	28 %
Lokakuu	39	26 %	21	29 %	13	18 %
Marraskuu	43	28 %	21	31 %	11	16 %
Joulukuu	34	23 %	20	29 %	10	14 %
Ohjearvo	150		70		70	

Taulukko 3. Typpidioksidin (NO₂) ja hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) ohjearvoihin verrattavat pitoisuudet kuukausittain sekä näiden suhde ohjearvoihin **Santalahdessa** vuonna 2017.

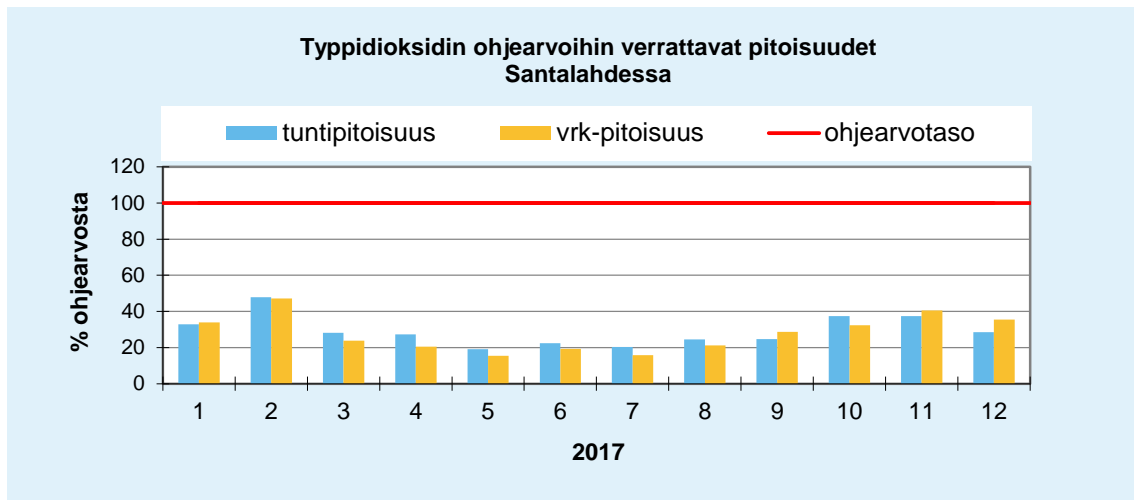
Santalahti 2017	NO ₂ tunti		NO ₂ vrk		PM ₁₀ vrk	
	99 %-piste (µg/m ³)	% ohje- arvosta	2. suurin vrk (µg/m ³)	% ohje- arvosta	2. suurin vrk (µg/m ³)	% ohje- arvosta
Tammikuu	49	33 %	24	34 %	21	30 %
Helmikuu	72	48 %	33	47 %	26	37 %
Maaliskuu	42	28 %	17	24 %	22	32 %
Huhtikuu	41	27 %	14	21 %	28	40 %
Toukokuu	29	19 %	11	15 %	33	47 %
Kesäkuu	34	22 %	14	19 %	25	36 %
Heinäkuu	31	20 %	11	16 %	22	31 %
Elokuu	37	24 %	15	21 %	19	27 %
Syyskuu	37	25 %	20	29 %	21	30 %
Lokakuu	56	37 %	23	32 %	11	16 %
Marraskuu	56	37 %	28	40 %	13	18 %
Joulukuu	43	28 %	25	36 %	10	14 %
Ohjearvo	150		70		70	



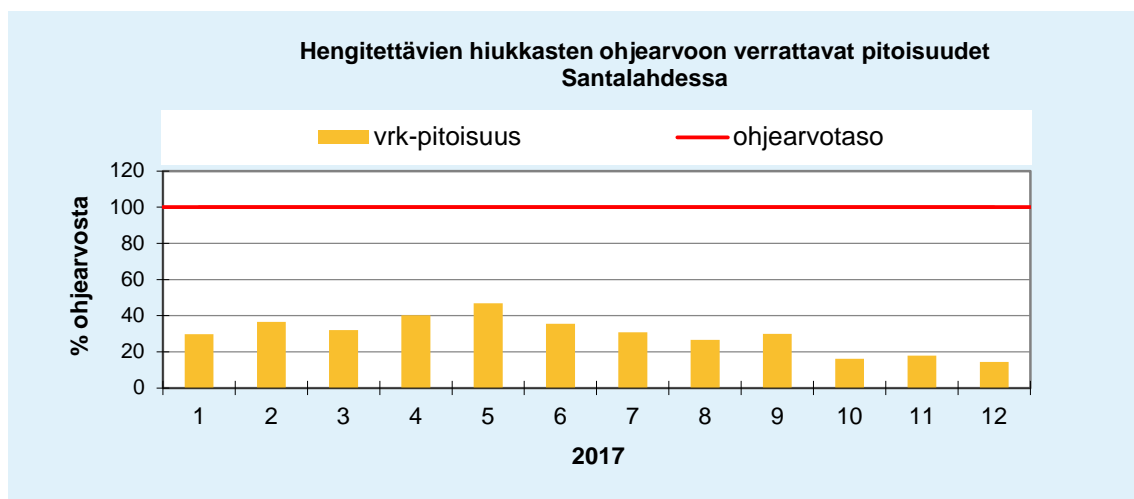
Kuva 3. Typpidioksidin (NO_2) ohjearvoon verrattavat pitoisuudet suhteessa (%) ohjearvoon **Naistenlahdessa** vuonna 2017. Typpidioksidipitoisuuden tuntiohjearvo on $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja vuorokausiohjearvo $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$.



Kuva 4. Hengitettävien hiukkasten (PM_{10}) vuorokausiohjearvoon verrattavat pitoisuudet suhteessa (%) ohjearvoon **Naistenlahdessa** vuonna 2017. Hengitettävien hiukkasten pitoisuuden vuorokausiohjearvo on $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Pitoisuudet on ilmaistu ulkoilman lämpötilassa.

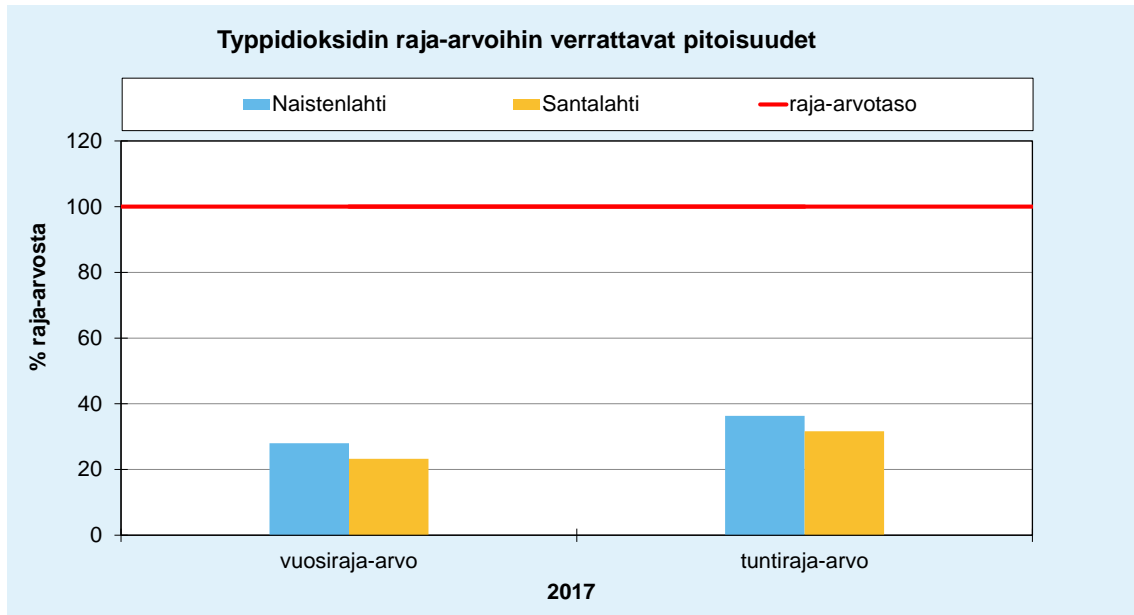


Kuva 5. Typpidioksidin (NO₂) ohjearvoon verrattavat pitoisuudet suhteessa (%) ohjearvoon **Santalahdessa** vuonna 2017. Typpidioksidipitoisuuden tuntiohjearvo on 150 µg/m³ ja vuorokausiohjearvo 70 µg/m³.



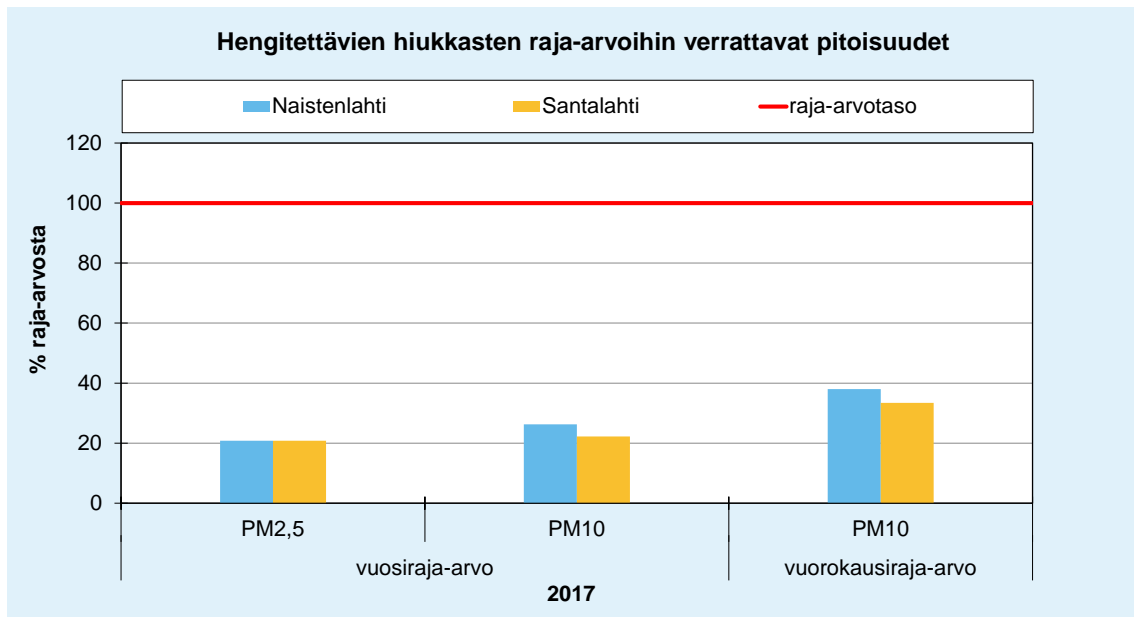
Kuva 6. Hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) vuorokausiohjearvoon verrattavat pitoisuudet suhteessa (%) ohjearvoon **Santalahdessa** vuonna 2017. Hengitettävien hiukkasten pitoisuuden vuorokausiohjearvo on 70 µg/m³. Pitoisuudet on ilmaistu ulkoilman lämpötilassa.

Kuvassa 7 on esitetty typpidioksin vuosiraja-arvoon ja tuntiraja-arvoon verrannolliset pitoisuudet suhteessa raja-arvoon kummallakin mittausasemalla vuonna 2017. Typpidioksidipitoisuuden vuosikeskiarvo oli Naistenlahdessa 28 % raja-arvosta ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ja Santalahdessa 23 % raja-arvosta. Tuntiraja-arvotaso $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ei ylittynyt kertaakaan kummallakaan mittausasemalla, kun ylityksiä sallitaan 18 kpl kalenterivuodessa.



Kuva 7. Typpidioksidin (NO_2) raja-arvoihin verrattavat pitoisuudet Naistenlahden ja Santalahden asemalla vuonna 2017.

Kuvassa 8 on esitetty pienhiukkasten vuosiraja-arvoon sekä hengitettävien hiukkasten vuosiraja-arvoon ja vuorokausiraja-arvoon verrannolliset pitoisuudet suhteessa raja-arvoon kummallakin mittausasemalla vuonna 2017. Pienhiukkaspitoisuuden vuosikeskiarvo oli molemmilla mittausasemilla 21 % raja-arvosta. Hengitettävien hiukkasten pitoisuuden vuosikeskiarvo oli Naistenlahdessa 26 % raja-arvosta ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ja Santalahdessa 22 % raja-arvosta. Hengitettävien hiukkasten pitoisuuden vuorokausiraja-arvon taso, $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ylittyi sekä Naistenlahdessa että Santalahdessa vuonna 2017 yhden kerran, kun sallittujen ylitysten määrä on 35 kpl kalenterivuodessa.



Kuva 8. Pienhiukkasten (PM_{2,5}) ja hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) raja-arvoihin verrattavat pitoisuudet Naistenlahden ja Santalahden asemalla vuonna 2017.

2.4 Tuulen suunnan ja nopeuden vaikutus mitattuihin pitoisuuksiin

Kuvissa 9 ja 10 on havainnollistettu tuulen suunnan ja nopeuden vaikutusta Naistenlahden ja Santalahden typen oksidien, hengitettävien hiukkasten ja pienhiukkasten pitoisuuksiin ns. saasteruusujen avulla. Saasteruusuu kuvaa tuntipitoisuuksien keskiarvoja eri tuulensuunnilla. Saasteruusun keskipisteestä lähtevän janan pituus sektorin kehäviivalle vastaa epäpuhtauden tuntipitoisuuksien keskiarvoa tässä tuulisektorissa. Tynnellä säällä havaittujen tuntipitoisuuksien arvo on esitetty ympyrällä, jonka säteen pituus kuvaa tynnessä tilanteissa havaittujen pitoisuuksien keskiarvoa. Tynniksi luokitellaan tilanteet, joissa tuulennopeus on alle 0,5 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 tynnen tai heikkotuulisen sään aikana ja erityisesti ns. inversiotilanteissa ilmakehän pystysuuntaisen lämpötilajakauman estäessä tai rajoittaessa epäpuhtauksien laimenemistä myös pystysuunnassa.

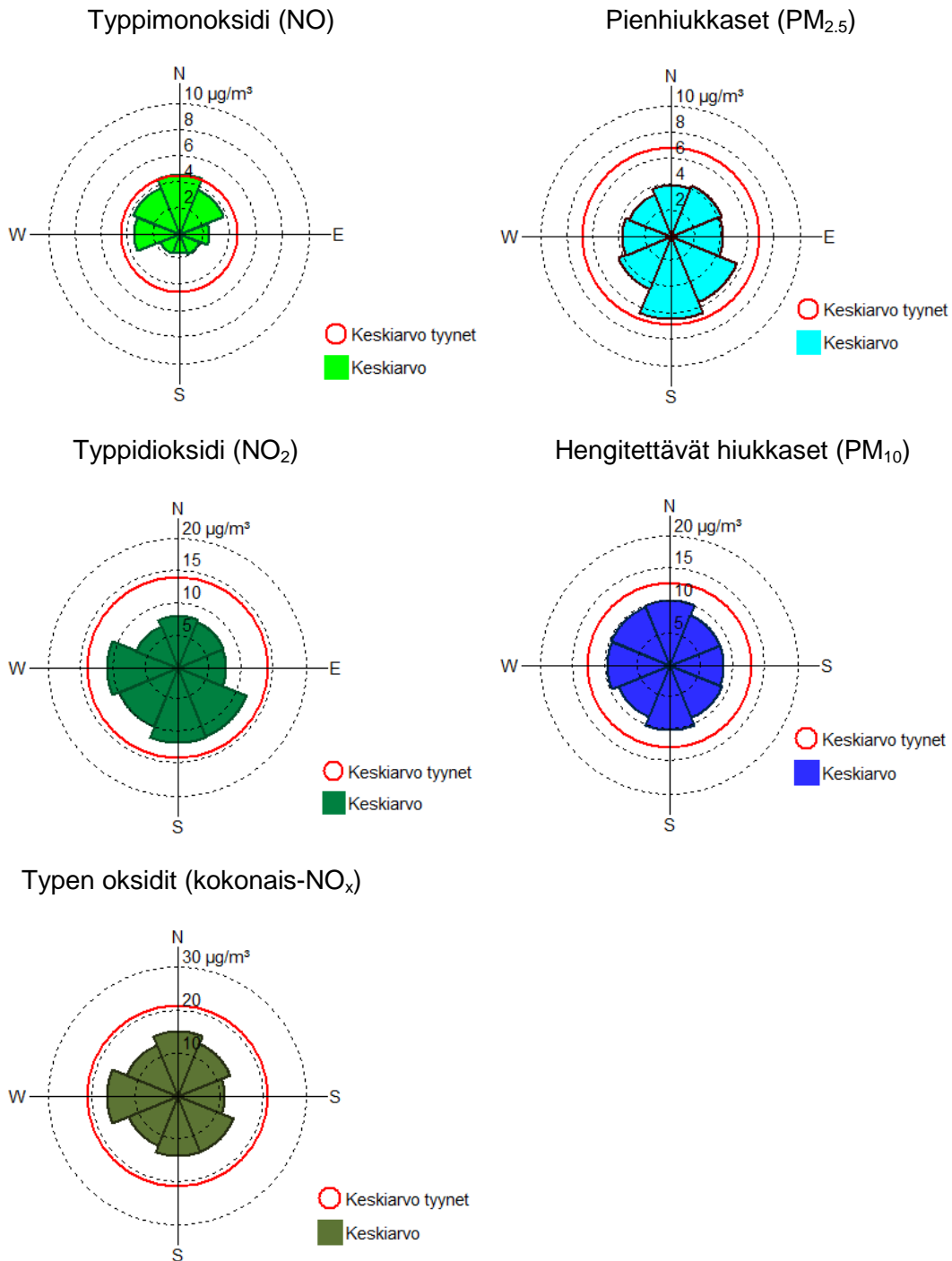
Pakokaasujen typenoksidipäästöt ovat pääasiassa typpimonoksidia (NO), joka hapettuu ilmakehässä muun muassa otsonin vaikutuksesta typpidioksidiksi (NO₂). Typpimonoksidipitoisuudet kuvastavat siten parhaiten mittauspisteen lähialueen liikenteestä aiheutuvaa kuormitusta. Typpimonoksidin tuntipitoisuuksien keskiarvot olivat Naistenlahdessa vuonna 2017 suurimmillaan tynnellä säällä sekä tuulen käydessä Kekkosen tien ja tunnelin suuaukon suunnasta. Typpidioksidipitoisuuksiin

vaikuttavat myös kauempana sijaitsevat päästölähteet. Typpidioksidin tuntipitoisuuksien keskiarvot olivat Naistenlahdessa suurimmillaan tyynissä tilanteissa tai tuulen käydessä lännen ja kaakon välisestä sektorista eli Tammelan suunnasta (kuva 9).

Hengitettävien hiukkasten ja pienhiukkasten pitoisuuksissa on yksittäisten päästölähteiden vaikutusta yleensä vaikeampi erottaa kuin typen oksideilla. Vuodenaika, liikenne, kaukokulkeuma, katujen pölyäminen ja meteorologiset tekijät vaikuttavat hiukkaspitoisuuksiin voimakkaasti. Hengitettävien hiukkasten ja pienhiukkasten pitoisuuskeskiarvot olivat Naistenlahdessa vuonna 2017 suurimmillaan tyynellä säällä sekä tuulen käydessä etelästä ja kaakosta (kuva 9).

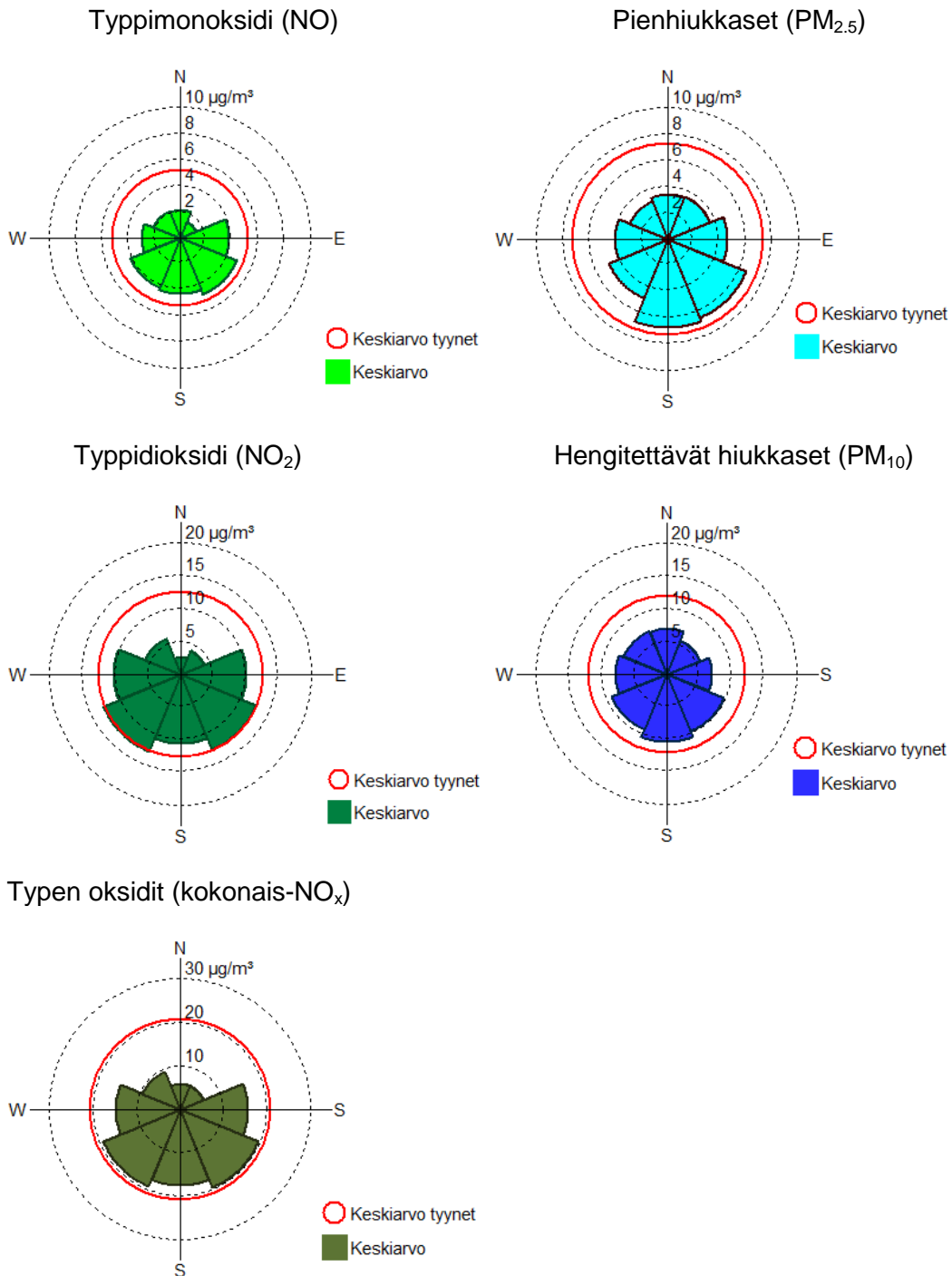
Santalahdessa sekä typen oksidien että hiukkasten tuntipitoisuuksien keskiarvot olivat vuonna 2017 suurimmillaan tyynellä säällä tai tuulen käydessä Kekkosen tien ja tunnelin suuaukon suunnasta (kuva 10). Tuulen puhaltaessa pohjoisen puolelta Näsijärven suunnasta, Santalahdessa mitatut typen oksidien ja hiukkasten pitoisuudet olivat selvästi alhaisempia kuin muilla tuulensuunnilla mitatut pitoisuudet.

NAISTENLAHTI 2017



Kuva 9. Typsimonoksidin, typpidioksidin, typen oksidien, pienhiukkasten ja hengitettävien hiukkasten tuntipitoisuuksien keskiarvot eri tuulensuunnilla ja tyynellä säällä Naistenlahdessa vuonna 2017.

SANTALAHTI 2017



Kuva 10. Typpimonoksidin, typpidioksidin, typen oksidien, pienhiukkasten ja hengitettävien hiukkasten tuntipitoisuuksien keskiarvot eri tuulensunnilla ja tyynellä säällä **Santalahdessa** vuonna 2017.

2.5 Pitoisuuksien ajallinen vaihtelu

Kuvissa 11 ja 12 on tarkasteltu typpimonoksidin, typpidioksidin ja typenoksidien kokonaismäärän sekä pienhiukkasten ja hengitettävien hiukkasten tuntipitoisuuksien keskimääräistä vaihtelua Naistenlahdessa ja Santalahdessa kellonajan mukaan erikseen arkipäivisin (maanantai–perjantai) ja viikonloppuisin (lauantai–sunnuntai).

Typenoksidien tuntipitoisuuksien vuoden 2017 vuorokausivaihtelussa havaitaan molemmilla mittausasemilla selvästi liikenteen päästöjen vaikutus: arkipäivisin pitoisuudet olivat pienimmillään aamuyön tunteina ja pitoisuudet kasvoivat nopeasti siten, että pitoisuushuippu saavutettiin aamun ruuhkaliikenteen aikaan. Viikonloppuisin typenoksidien pitoisuudet olivat matalampia kuin pitoisuudet arkipäivisin ja aamun pitoisuushuippu puuttui kokonaan.

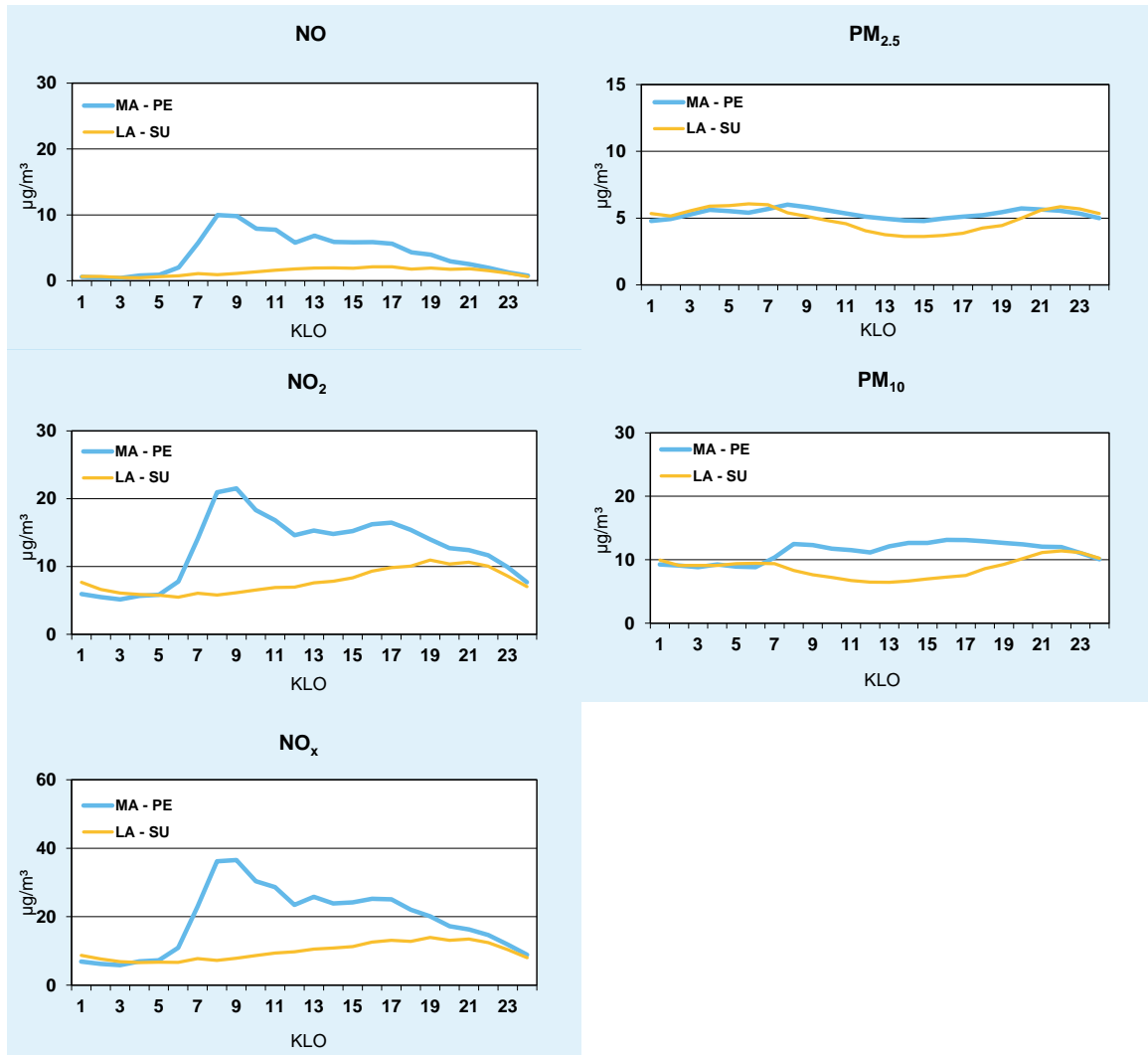
Hengitettävien hiukkasten tuntipitoisuudet vaihtelivat jonkin verran typen oksidien pitoisuuksista poikkeavasti. Arkisin hengitettävien hiukkasten pitoisuudet olivat Naistenlahdessa koholla koko päiväajan ja laskivat matalammalle tasolle vain aamuyön tunteina. Santalahdessa hengitettävien hiukkasten pitoisuudet olivat arkisin lähes samalla tasolla koko vuorokauden ajan. Viikonloppuisin hengitettävien hiukkasten pitoisuudet olivat molemmissa mittauspisteissä päivällä pienempiä kuin iltaisin ja öisin.

Pienhiukkasten keskimääräisissä pitoisuuksissa ei ollut kovin paljon vaihtelua päivän mittaan kummassakaan mittauspisteessä. Pienhiukkasten pitoisuus oli viikonloppuisin päiväsaikaan matalampi kuin arkipäivisin. Pienhiukkaspitoisuuksien melko pieni vaihtelu johtuu siitä, että suurin vaikutus pienhiukkaspitoisuustasoihin on alueellisella taustapitoisuudella eli muualta kaukokulkeutuneilla pienhiukkasilla.

Hiukkaspitoisuuden vuorokaudenaikaisvaihtelu poikkeaa taajamien liikennenympäristöissä yleensä jonkin verran kaasumaisten yhdisteiden, kuten typenoksidien, 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 typenoksidien pitoisuusvaihtelu.

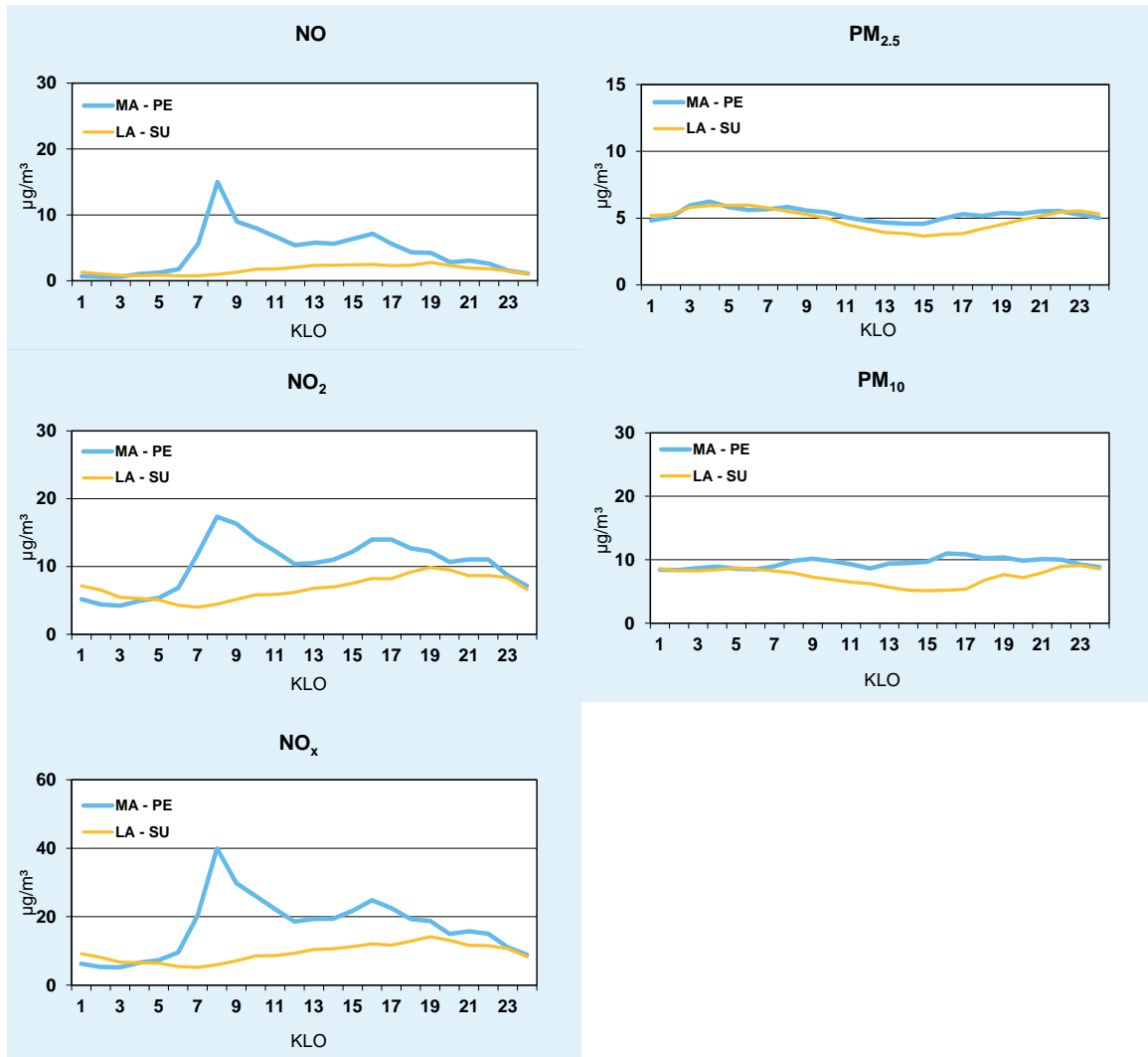
Viikonpäivittäin tarkasteltuna (kuvat 13 ja 14) typenoksidien keskimääräinen pitoisuustaso vaihteli molemmissa mittauspisteissä siten, että lauantaisin ja sunnuntaisin pitoisuudet olivat matalampia kuin arkipäivisin. Hengitettävillä hiukkasilla ja etenkin pienhiukkasilla vastaavaa eroa ei voitu havaita yhtä selvästi. Pienhiukkasten alueellisen taustapitoisuuden osuus mitatuista pienhiukkaspitoisuuksista on hyvin suuri, jolloin mittauksissa havaitut pitoisuustasot pysyvät jatkuvasti melko vakaina. Typenoksidien pitoisuustasot sen sijaan seuraavat herkemmin paikallisen liikenteen määrien vaihtelua: viikonloppuisin, kun liikennemäärät ja liikenteen päästöt ovat vähäisempiä, myös mittauksissa havaitut typenoksidien pitoisuudet ovat pienempiä kuin arkisin.

NAISTENLAHTI 2017



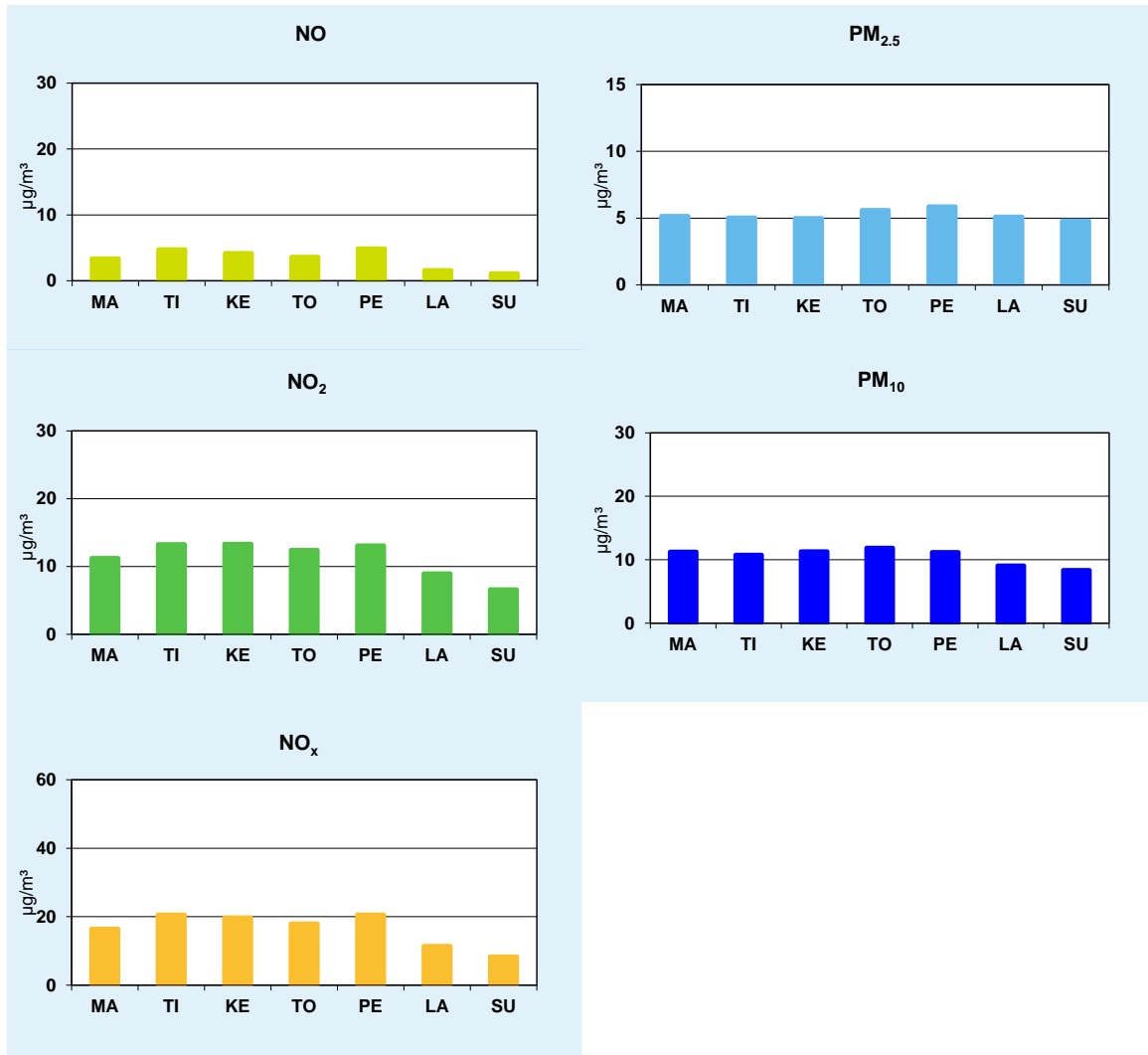
Kuva 11. Typpimonoksidin (NO), typpidioksidin (NO₂), typen oksidien kokonaismäärän (NO_x), pienhiukkasten (PM_{2.5}) ja hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) tuntipitoisuuksien keskiarvot kellonajan mukaan arkipäivisin (ma-pe) ja viikonloppuisin (la-su) **Naistenlahdessa** vuonna 2017.

SANTALAHTI 2017



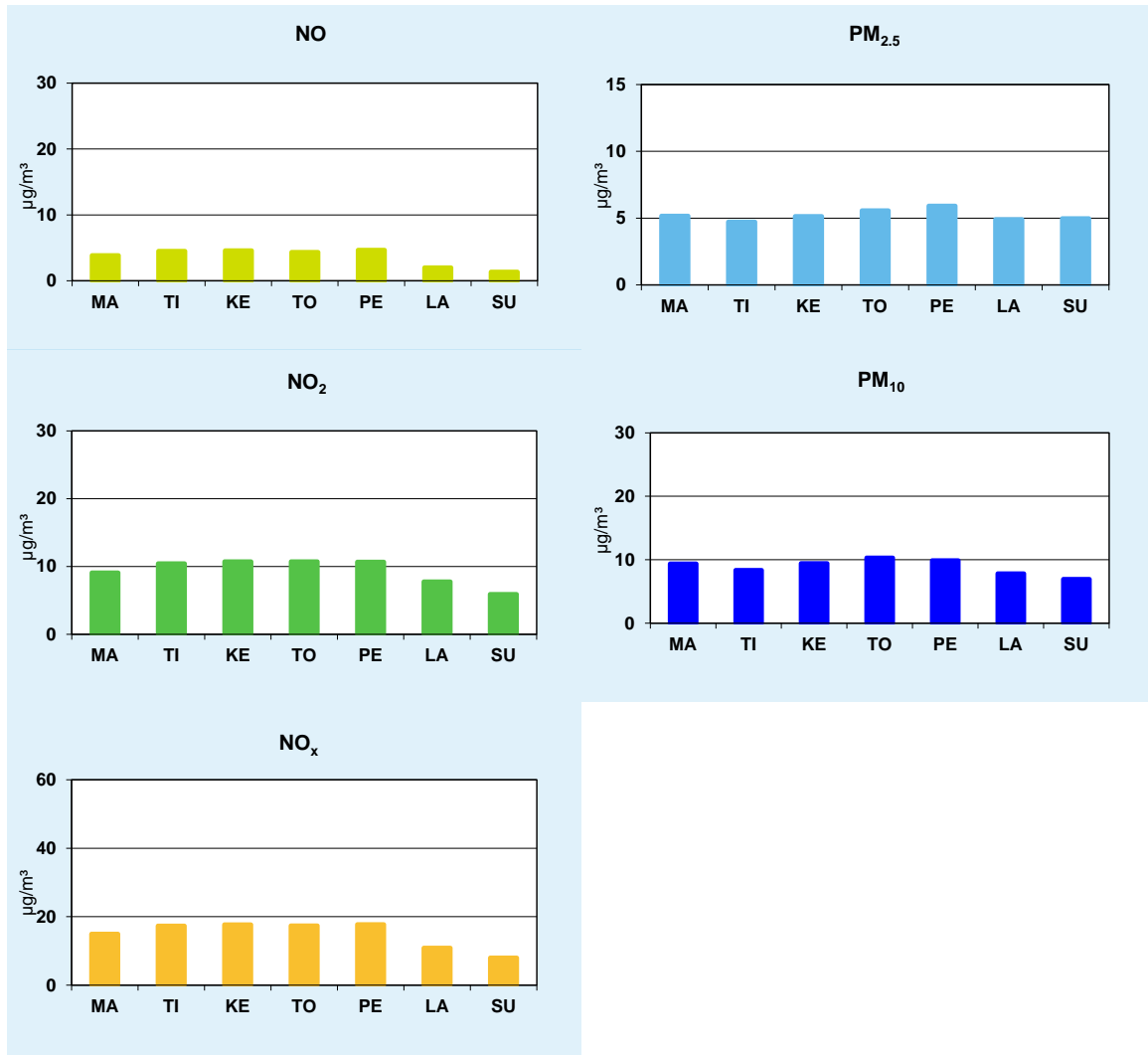
Kuva 12. Typpimonoksidin (NO), typpidioksidin (NO₂), typen oksidien kokonaismäärän (NO_x), pienhiukkasten (PM_{2.5}) ja hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) tuntipitoisuuksien keskiarvot kellonajan mukaan arkipäivisin (ma-pe) ja viikonloppuisin (la-su) Santalahdessa vuonna 2017.

NAISTENLAHTI 2017



Kuva 13. Typpimonoksidin (NO), typpidioksidin (NO₂), typen oksidien kokonaismäärän (NO_x), pienhiukkasten (PM_{2.5}) ja hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) vuorokausipitoisuuksien keskiarvot viikonpäivän mukaan **Naistenlahdessa** vuonna 2017.

SANTALAHTI 2017



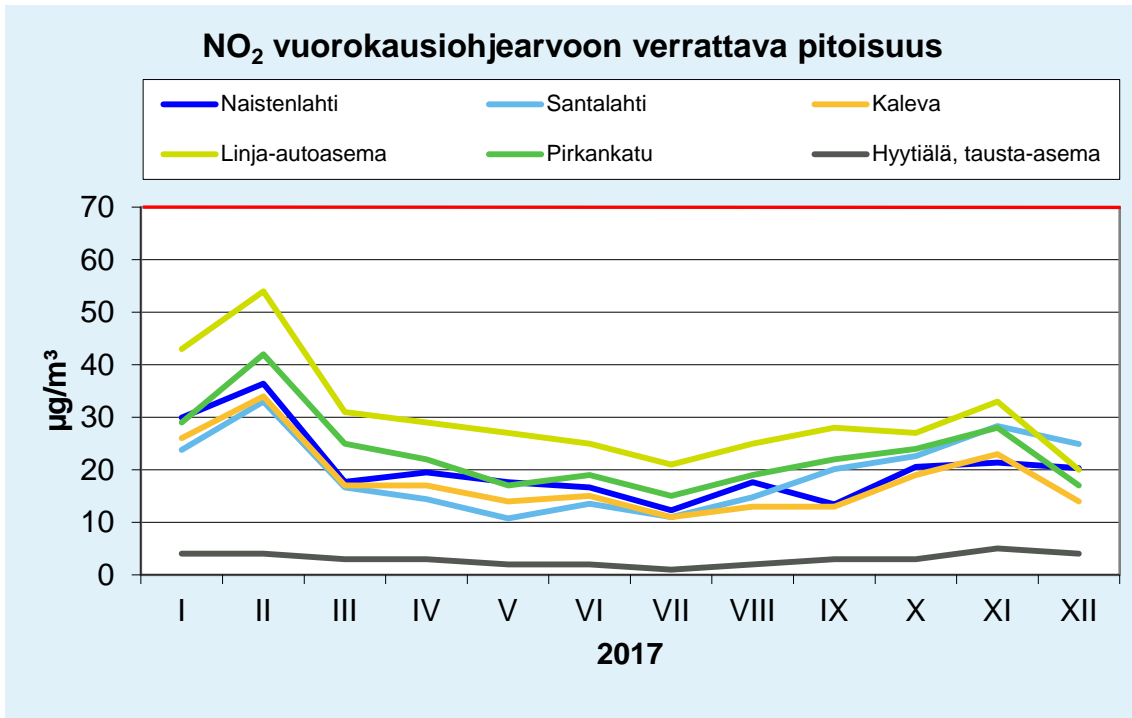
Kuva 14. Typpimonoksidin (NO), typpidioksidin (NO₂), typen oksidien kokonaismäärän (NO_x), pienhiukkasten (PM_{2.5}) ja hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) vuorokausipitoisuuksien keskiarvot viikonpäivän mukaan **Santalahdessa** vuonna 2017.

2.7 Pitoisuuksien vertailua muilla mittausasemilla mitattuihin pitoisuuksiin

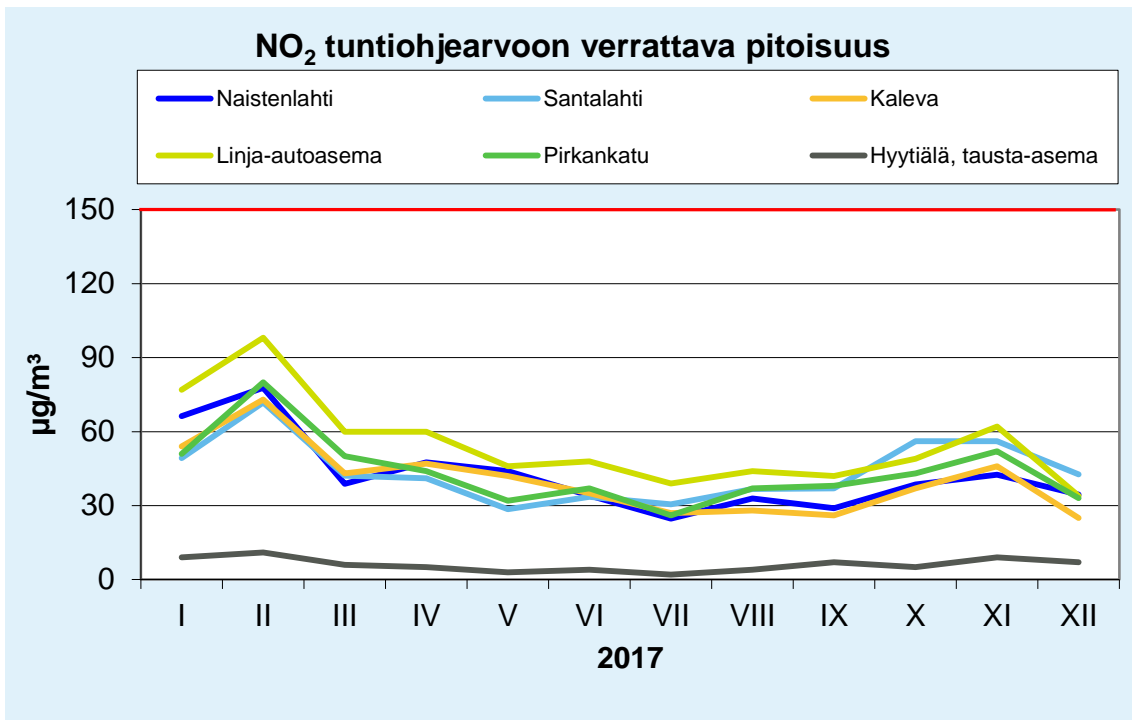
2.7.1 Typenoksidit

Typidioksidin pitoisuuksia mitataan Suomessa yli 50 mittausasemalla. Typidioksidin mittausasemista noin puolet sijaitsee liikenneympäristöissä. Tampereella typidioksidia mitataan jatkuvasti kolmessa mittauspisteessä: Pirkankadulla, Kalevassa ja Linja-autoasemalla. Mittausasemista Pirkankatu on tyypiltään liikenneasema eli siellä tarkkaillaan autoliikenteen päästöjen vaikutusta ilmanlaatuun. Kalevan ja Linja-autoaseman mittausasemat edustavat ns. kaupunkitaustaa eli pitoisuustasot kertovat kaupungin yleisestä ilmanlaadusta. Ilmanlaadun mittaukset toteuttaa Tampereen kaupungin ympäristönsuojeluyksikkö. Tamperetta lähin taustailmanlaadun mittausasema on Juupajoen kunnassa sijaitseva Helsingin yliopiston Hyytiälän tutkimusasema. Kuvissa 15–17 on esitetty typidioksidipitoisuuden tunti- ja vuorokausiohjearvoon verrannolliset pitoisuudet ja kuukausikeskiarvot vuodelta 2017 Tampereen Kalevassa, Pirkankadulla ja Linja-autoasemalla (*Tampereen kaupunki, 2018*), Hyytiälän tausta-asemalla (*SMEAR II, 2018*) sekä Naistenlahdessa ja Santalahdessa.

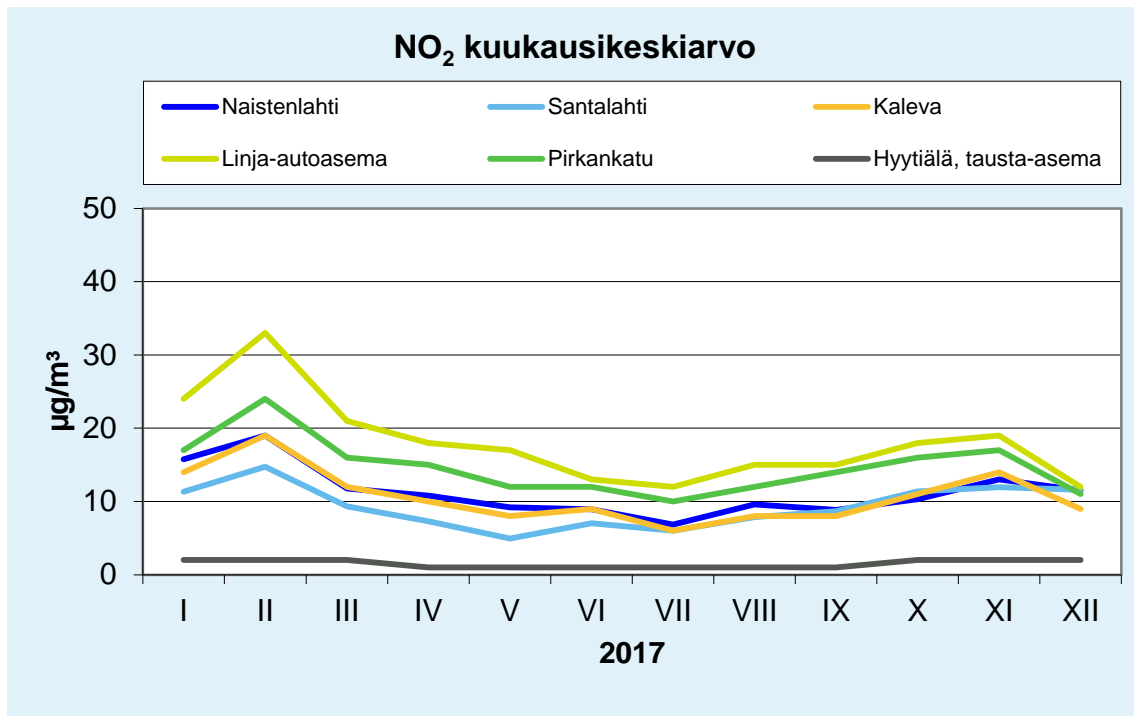
Naistenlahdessa ja Santalahdessa typidioksidipitoisuudet olivat vuonna 2017 kuukausikeskiarvoina sekä tunti- ja vuorokausiohjearvoon verrannollisina pitoisuuksina pääosin samaa tasoa kuin Kalevan mittausasemalla ja matalampia kuin Tampereen Linja-autoasemalla tai Pirkankadun asemalla. Hyytiälän tausta-asemalla pitoisuudet olivat pieniä verrattuina Tampereen kaikilla mittausasemilla mitattuihin pitoisuuksiin. Vuodenaikainen pitoisuusvaihtelu oli kaikilla mittausasemilla hyvin samansuuntaista. Korkeimmillaan typidioksidipitoisuudet olivat helmikuussa. Typidioksidipitoisuuden vuorokausiohjearvot ja tuntiohjearvot alittuivat selvästi kaikkina kuukausina kaikilla Tampereen mittausasemilla.



Kuva 15. Typpidioksidipitoisuuden (NO₂) vuorokausiohjearvoon verrattavat pitoisuudet kuukausittain Tampereella ja Hyytiälän tausta-asemalla vuonna 2017. Ohjearvotasoa, 70 µg/m³, on merkitty kuvaan punaisella vaakaviivalla.

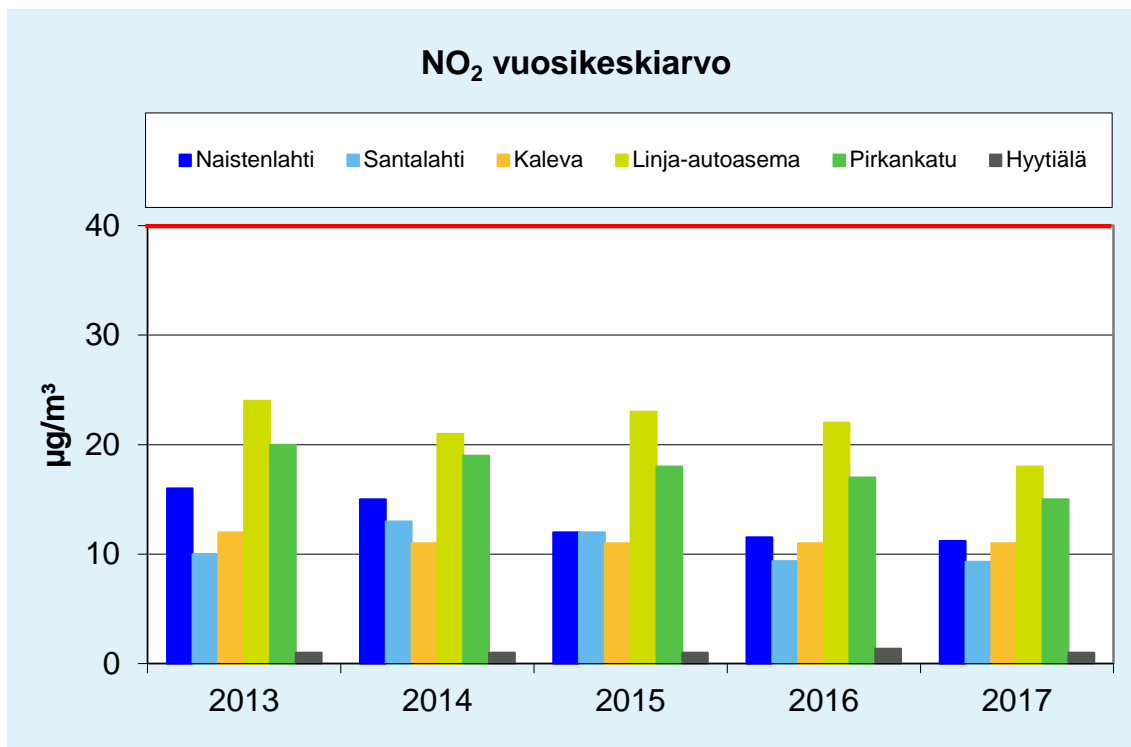


Kuva 16. Typpidioksidipitoisuuden (NO₂) tuntiohjearvoon verrattavat pitoisuudet kuukausittain Tampereella ja Hyytiälän tausta-asemalla vuonna 2017. Ohjearvotasoa, 150 µg/m³, on merkitty kuvaan punaisella vaakaviivalla.



Kuva 17. Typpidioksidipitoisuuden kuukausikeskiarvot Tampereella ja Hyytiälän tausta-asemalla vuonna 2017.

Kuvassa 18 on esitetty typpidioksidipitoisuuden vuosikeskiarvot Tampereella ja Hyytiälän tausta-asemalla koko mittausjakson ajalta, vuosilta 2013–2017. Kaikilla asemilla vuosikeskiarvopitoisuudet ovat olleet selvästi alle typpidioksidipitoisuuden raja-arvon ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Vuosikeskiarvot ovat olleet melko tasaisia eri vuosina kaikilla Tampereen kaupungin mittausasemilla. Naistenlahdessa ja Santalahdessa typpidioksidipitoisuuden vuosikeskiarvot olivat vuonna 2017 pienempiä kuin mittausten alussa vuonna 2013. Santalahdessa typpidioksidipitoisuudet olivat kuitenkin vuonna 2014 korkeampia kuin muina vuosina.

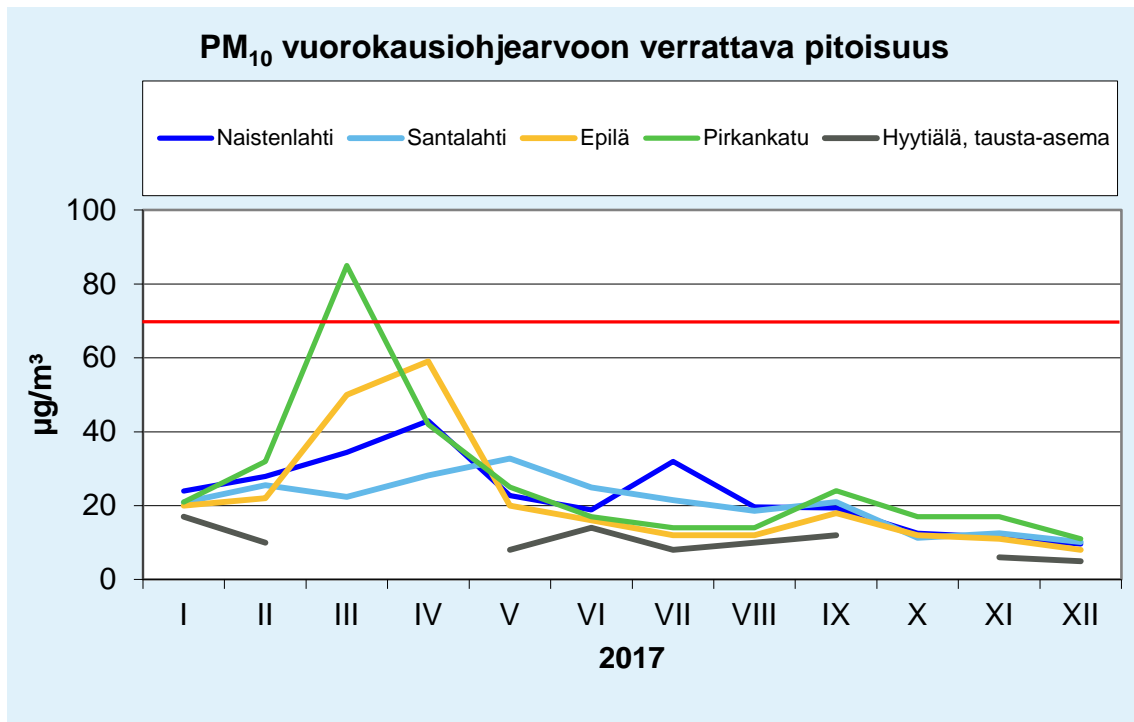


Kuva 18. Typpidioksidipitoisuuden (NO₂) vuosikeskiarvot Tampereella ja Hyytiälän tausta-
asemalla koko mittausjaksolla, vuosina 2013–2017. Raja-arvotaso, 40 µg/m³, on
merkitty kuvaan punaisella vaakaviivalla.

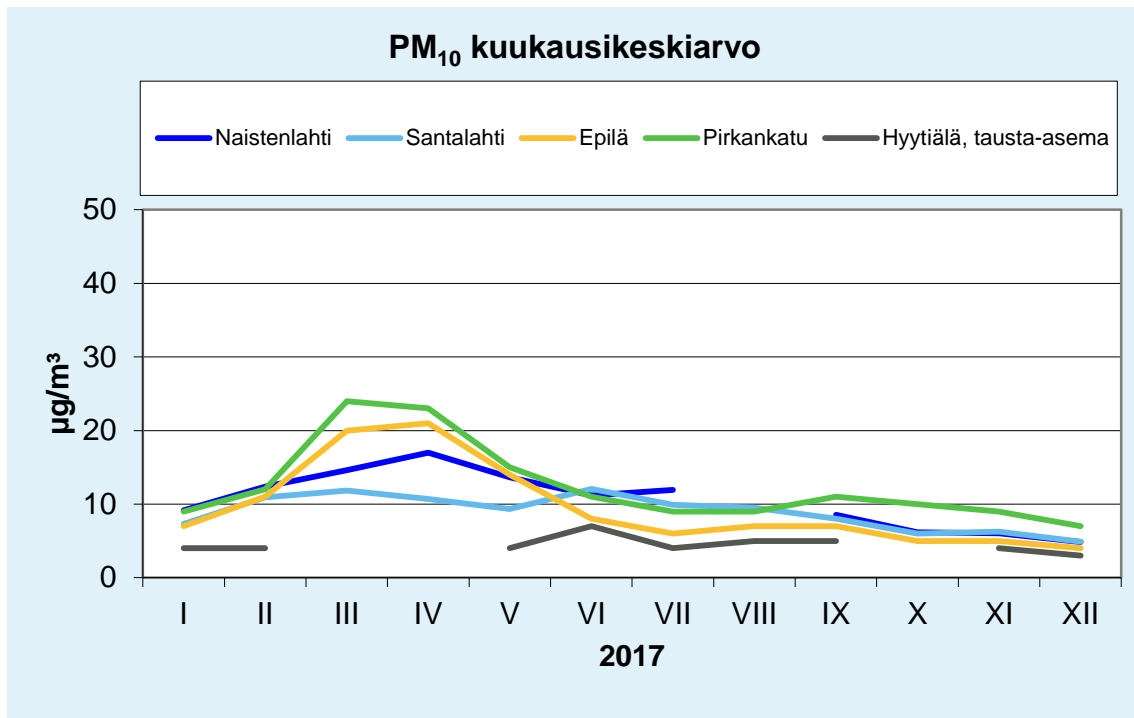
2.7.2 Hengitettävät hiukkaset

Kuvissa 19 ja 20 on esitetty hengitettävien hiukkasten ohjearvoon verrattavat pitoisuudet ja kuukausikeskiarvot vuodelta 2017 Naistenlahdessa ja Santalahdessa, Tampereen Epilässä ja Pirkankadulla, jotka ovat Tampereen kaupungin ilmanlaadun mittausasemia (*Tampereen kaupunki, 2018*) sekä Hyytiälän tausta-
asemalla, joka on Tampereen lähin taustailmanlaadun mittausasema (*SMEAR II, 2018*). Epilän ja Pirkankadun mittausasemat ovat tyypiltään liikenneasemia. Epilässä mittalaitteena on laserdiffraktioon perustuva Grimm 180 ja Pirkankadulla TEOM 1400a, jonka mittausperiaate on värähtelevä mikrovaaka. Hyytiälän tausta-
asemalla on käytössä samanlainen SHARP-mittalaite kuin Naistenlahdessa ja Santalahdessa, mutta laitteesta käytettiin vain beetasäteilyn vaimenemiseen perustuvaa pitoisuutta. Erilaisista mittausmenetelmistä johtuen hiukkasmittausten tulokset eivät ole sellaisenaan täysin vertailukelpoisia. Hyytiälän tausta-
aseman mittauksista ei esitetä hiukkaspitoisuuksia maaliskuulta ja huhtikuulta 2017 liian pienen mittausaineiston vuoksi.

Hengitettävien hiukkasten pitoisuuden vuorokausiohjarvo ylittyi kevätpölykaudella maaliskuussa 2017 Pirkankadun mittausasemalla (kuva 19). Naistenlahdessa ja Santalahdessa hiukkaspitoisuudet olivat sekä ohjearvoon verrannollisina pitoisuuksina että kuukausikeskiarvoina kevätpölyaikaan pienempiä ja kesäaikaan suurempia kuin Epilän ja Pirkankadun mittausasemalla. Hyytiälän tausta-
asemalla mitatut pitoisuudet olivat hyvin pieniä verrattuina Tampereen kaikilla mittausasemilla mitattuihin pitoisuuksiin.



Kuva 19. Hengitettävien hiukkasten vuorokausiohjearvoon verrattavat pitoisuudet kuukausittain Tampereella ja Hyytiälän tausta-asemalla vuonna 2017. Ohjearvotasoa, 70 µg/m³, on merkitty kuvaan punaisella vaakaviivalla.

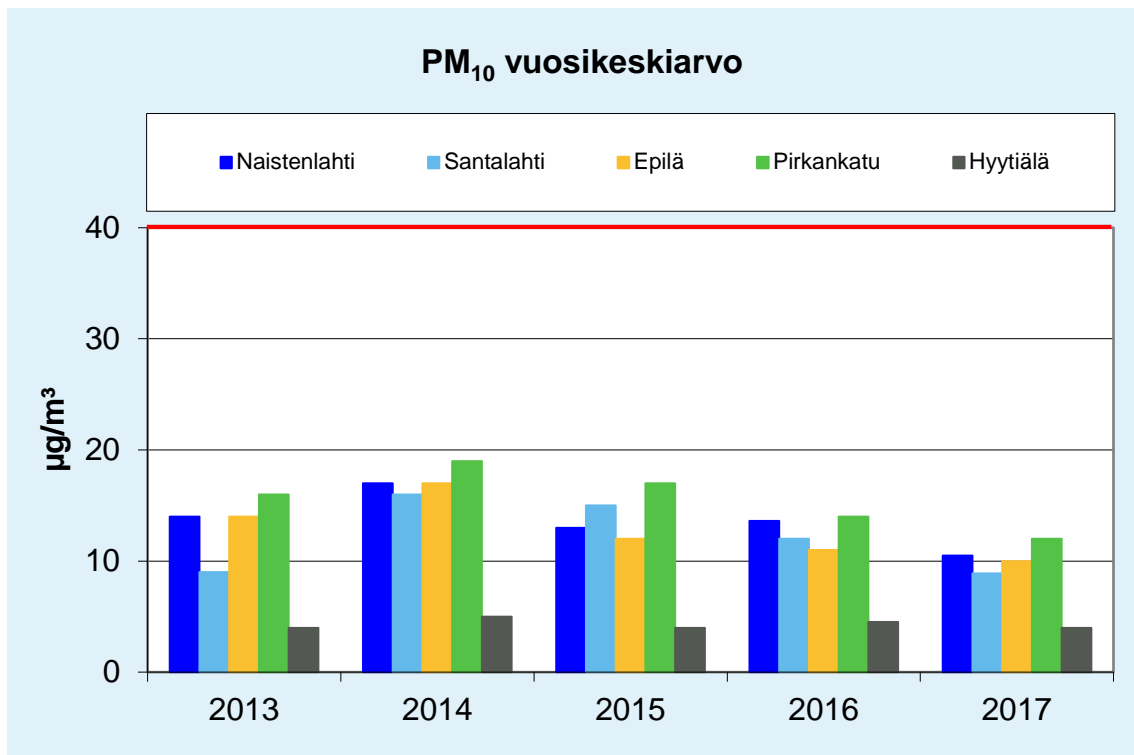


Kuva 20. Hengitettävien hiukkasten pitoisuuden kuukausikeskiarvot Tampereella ja Hyytiälän tausta-asemalla vuonna 2017.

Hengitettävien hiukkasten pitoisuuden vuorokausiohjearvon ylitykset ovat yleisiä maamme taajamissa kevätkuukausina, jolloin hiukkaspitoisuudet ovat tyypillisesti suurimmillaan. 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 ilmapvirtausten vaikutuksesta. Tällaisia katupölyepisodeja esiintyy tyypillisesti keväällä maaliskuusta huhtikuussa ja ajoittain loppusyksystä talvirengaskauden alettua.

Hengitettävien hiukkasten pitoisuuden vuorokausiraja-arvon taso, $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ylittyi sekä Naistenlahdessa että Santalahdessa vuonna 2017 yhden kerran, kun sallittujen ylitysten määrä on 35 kpl kalenterivuodessa. Vastaavasti Pirkankadulla vuorokausiraja-arvon taso ylittyi 7 kertaa ja Epilässä 6 kertaa.

Kuvassa 21 on esitetty hengitettävien hiukkasten pitoisuuden vuosikeskiarvot Tampereella ja Hyytiälän tausta-aseamalla koko mittausjakson ajalta, vuosilta 2013–2017. Kaikilla mittausasemilla vuosikeskiarvopitoisuudet ovat olleet selvästi alle hengitettävien hiukkasten pitoisuuden raja-arvon ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Vuosikeskiarvot ovat vaihdelleet jonkin verran eri vuosien välillä kaikilla mittausasemilla. Naistenlahdessa vuosikeskiarvo oli vuonna 2017 pienempi kuin mittausten alussa vuonna 2013. Santalahdessa hengitettävien hiukkasten pitoisuuden vuosikeskiarvo oli vuonna 2017 sama kuin mittausten alkaessa.

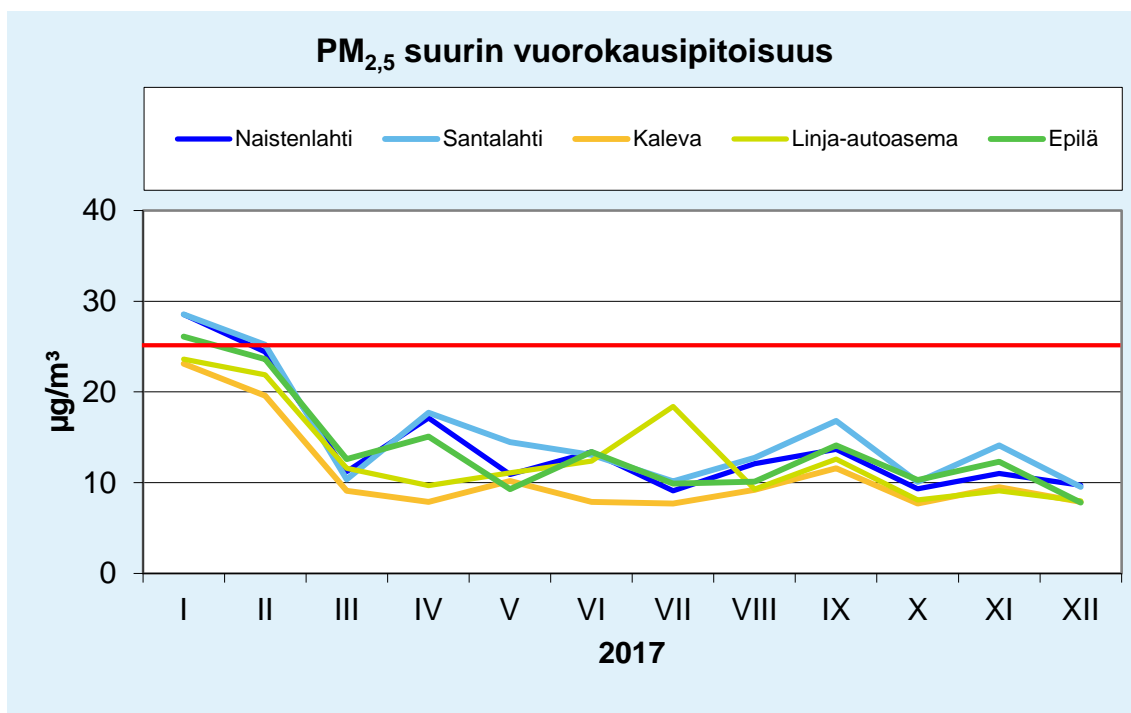


Kuva 21. Hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) vuosikeskiarvopitoisuudet Tampereella ja Hyytiälän tausta-aseamalla koko mittausjaksolla, vuosina 2013–2017. Raja-arvotaso, $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$, on merkitty kuvaan punaisella vaakaviivalla.

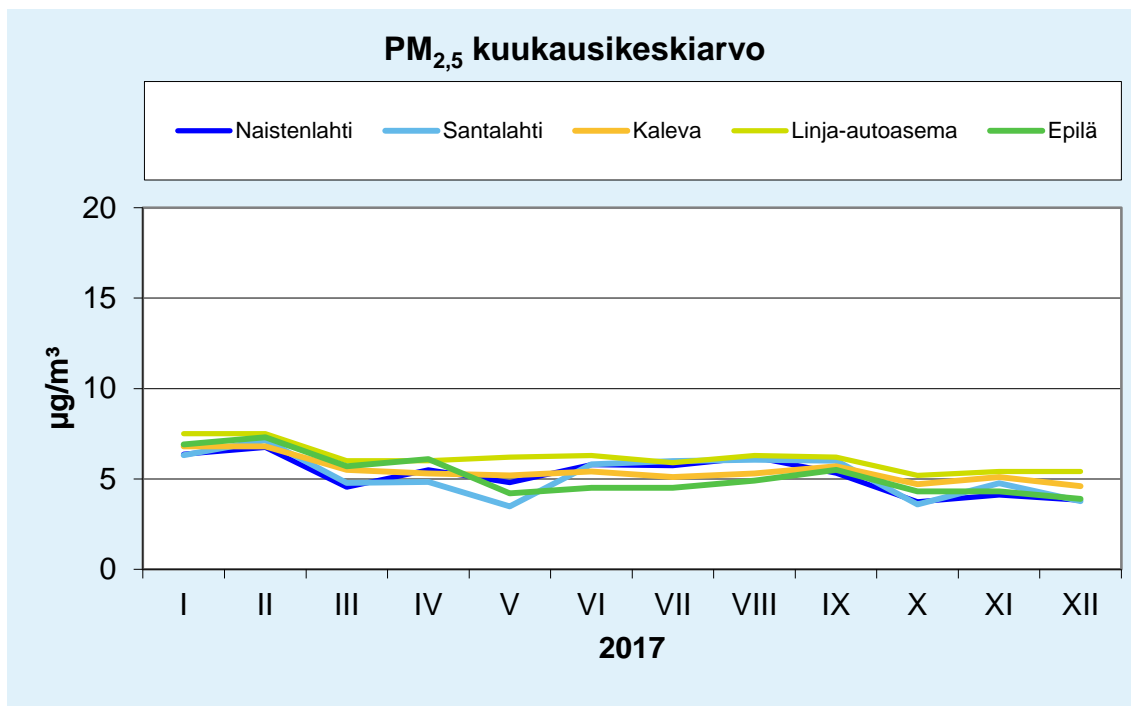
2.7.3 Pienhiukkaset

Kuvissa 22 ja 23 on esitetty pienhiukkasten suurimmat vuorokausipitoisuudet ja kuukausikeskiarvopitoisuudet vuodelta 2017 Naistenlahdessa ja Santalahdessa sekä Tampereen kaupungin ilmanlaadun mittausasemilla Epilässä, Kalevassa ja Linja-autoasemalla (*Tampereen kaupunki, 2018*). Tampereen kaupungin mittausasemista Epilä on tyypiltään liikenneasema. Kalevan ja Linja-autoaseman mittausasemat edustavat ns. kaupunkitaustaa. Epilässä mittalaitteena on laserdiffraktioon perustuva Grimm 180, Linja-autoasemalla ja Kalevassa TEOM 1400a, jonka mittausperiaate on värähtelevä mikrovaaka. Erilaisista mittausmenetelmistä johtuen pienhiukkasmittausten tulokset eivät ole sellaisenaan täysin vertailukelpoisia.

WHO:n ohjearvo pienhiukkaspitoisuuksien vuorokausikeskiarvolle ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ylittyi tammikuussa Naistenlahdessa, Santalahdessa ja Epilässä. Helmikuussa pitoisuudet olivat Naistenlahdessa ja Santalahdessa ohjearvon tasoa (kuva 22). Pienhiukkaspitoisuudet olivat Naistenlahdessa ja Santalahdessa kuukausikeskiarvoina tarkasteltuna samaa tasoa kuin Tampereen kaupungin mittausasemilla (kuva 23). Pienhiukkaspitoisuuksien melko pienet erot eri mittausympäristöjen välillä johtuvat siitä, että suurin vaikutus pienhiukkaspitoisuustasoihin on alueellisella taustapitoisuudella eli muualta kaukokulkeutuneilla pienhiukkasilla.

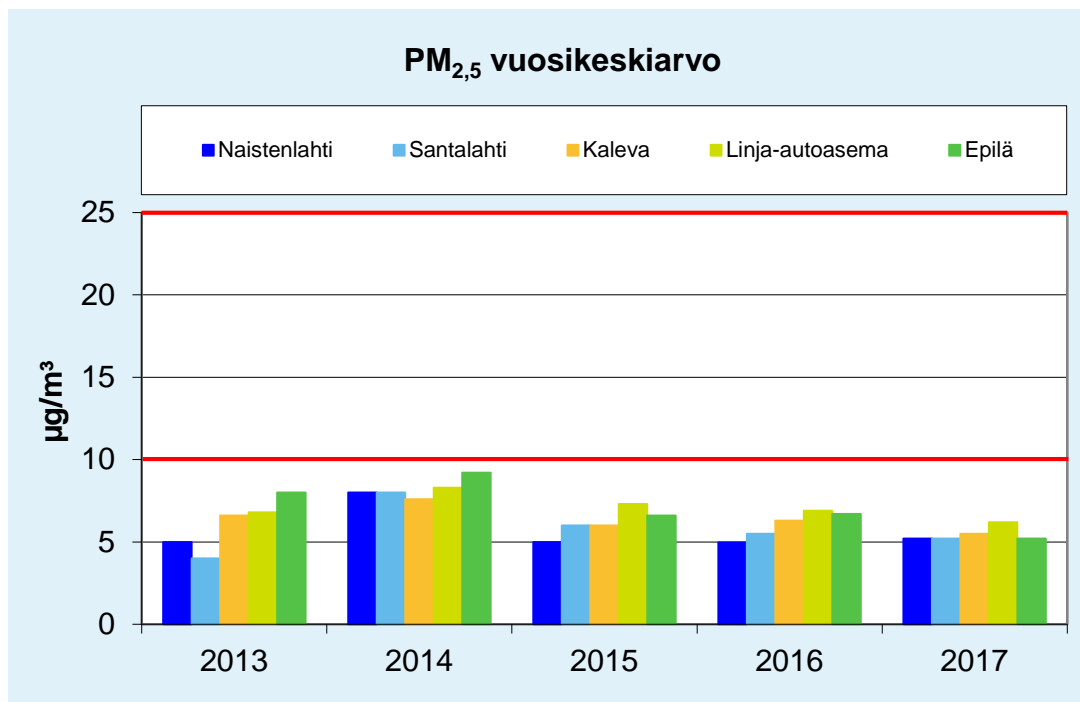


Kuva 22. Pienhiukkasten suurimmat vuorokausipitoisuudet kuukausittain vuonna 2017. WHO:n ohjearvotaso, $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$, on merkitty kuvaan punaisella vaakaviivalla.



Kuva 23. Pienhiukkaspitoisuuden kuukausikeskiarvot Tampereella eri mittausasemilla vuonna 2017.

Kuvassa 24 on esitetty pienhiukkasten pitoisuuden vuosikeskiarvot Tampereella ja Hyytiälän tausta-asemalla koko mittausjakson ajalta, vuosilta 2013–2017. Kaikilla mittausasemilla vuosikeskiarvopitoisuudet ovat olleet selvästi alle pienhiukkasten pitoisuuden vuosiraja-arvon (25 µg/m³) sekä WHO:n vuosipitoisuuksille antaman ohjearvon (10 µg/m³). Vuosikeskiarvot ovat vaihdelleet jonkin verran eri vuosina kaikilla mittausasemilla. Naistenlahdessa vuosikeskiarvo oli vuonna 2017 lähes sama kuin mittausten alussa vuonna 2013. Santalahdessa pienhiukkasten pitoisuuden vuosikeskiarvo oli vuonna 2017 korkeampi kuin mittausten alkaessa.



Kuva 24. Pienhiukkasen (PM_{2,5}) vuosikeskiarvopitoisuudet Tampereella koko mittausjaksoilla, vuosina 2013–2017. Raja-arvotaso 25 µg/m³ ja WHO:n ohjearvotaso, 10 µg/m³, on merkitty kuvaan punaisilla vaakaviivoilla.

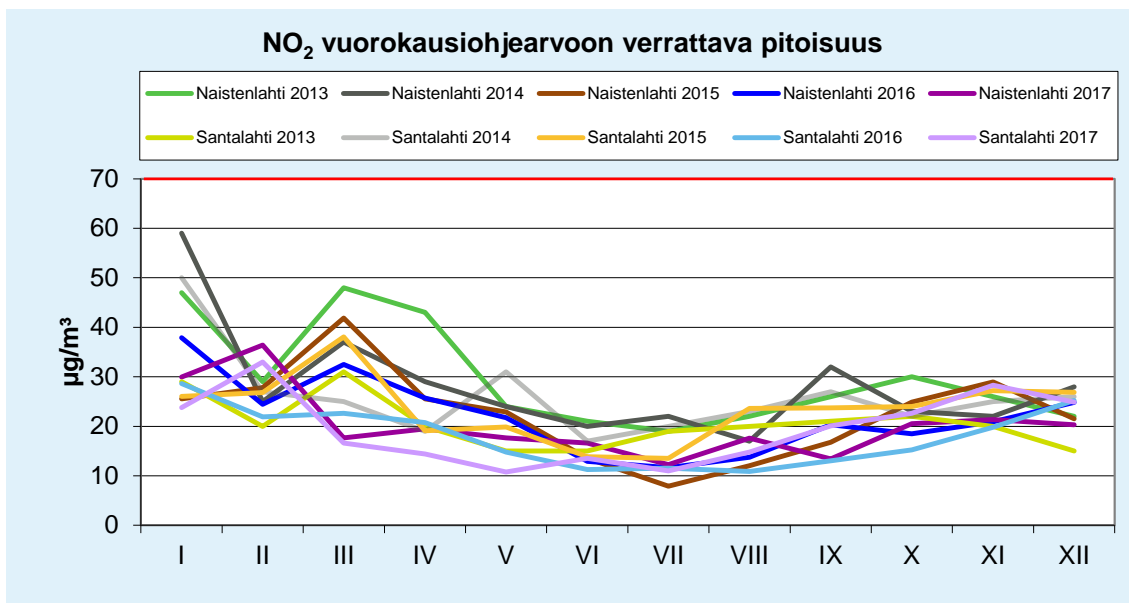
2.8 Vuoden 2017 pitoisuuksien vertailua aiempien vuosien mittauksiin

Ilmanlaatumittaukset Naistenlahdessa ja Santalahdessa aloitettiin loppuvuodesta 2012 tunnelin suunnitteluvaiheessa. Tunnelin toteutusvaiheeseen päästiin lokakuussa 2013 ja avolouhinta aloitettiin marraskuun 2013 lopulla. Laajamittaisemmat louhinnat aloitettiin vasta vuoden 2014 alkupuolella, joten vuosi 2013 toimii vertailupohjana myöhempien vuosien mittaustuloksille. Tunnelin louhinta päättyi kesäkuussa 2015, mutta avolouhinta Naistenlahdessa ja maanrakennustyöt molemmissa tunnelin päissä jatkuivat aina marraskuuhun 2016 saakka. Tunneli avattiin autoliikenteelle 15.11.2016. Aikaisempien vuosien ilmanlaatumittausten tulokset on esitetty vuosittaisissa raporteissa: *Saari ym. 2014*, *Saari ym. 2015* ja *Saari ym. 2016*, *Salmi ym. 2017*.

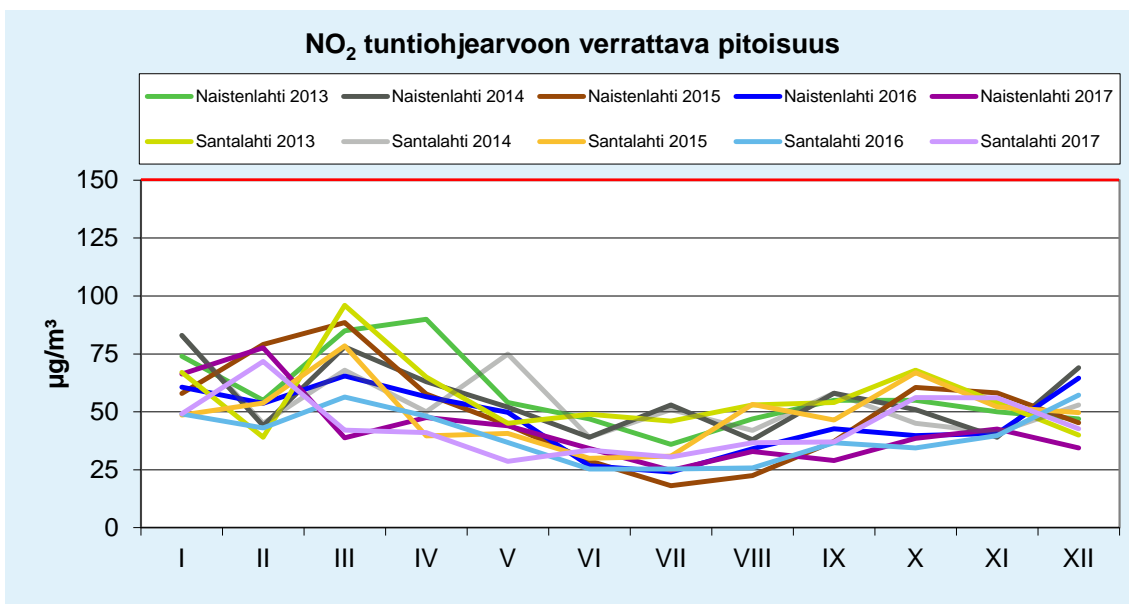
2.8.1 Typpidioksidi

Typpidioksidin ohjearvoihin verrattavat pitoisuudet olivat Naistenlahdessa ja Santalahdessa vuonna 2017 pääosin hiukan matalampia tai samaa tasoa kuin aikaisempina mittausvuosina (kuvat 25 ja 26). Pitoisuudet ovat kaikkina tarkasteluvuosina olleet selvästi alle ohjearvojen. Tammikuussa on useina vuosina ollut hyvin kylmiä pakkasjaksoja, jotka ovat kohottaneet typpidioksidipitoisuuksia myös Naistenlahdessa ja Santalahdessa. Vuonna 2017 kovia pakkasia oli myös helmikuussa, joiden aikana havaittiin korkeita typpidioksidipitoisuuksia molemmilla mittausasemilla. Vuonna 2013 maaliskuu ja huhtikuu olivat tavanomaista kylmempinä ja

typen oksidien pitoisuudet olivat tällöin suurempia kuin minään seuraavista vuosista (kuvat 25 ja 26).



Kuva 25. Typpidioksidin (NO₂) vuorokausiohjeeseen verrattavat pitoisuudet kuukausittain Naistenlahdessa ja Santalahdessa koko mittausjaksolla, vuosina 2013–2017. Ohjearvotaso, 70 µg/m³, on merkitty kuvaan punaisella vaakaviivalla.

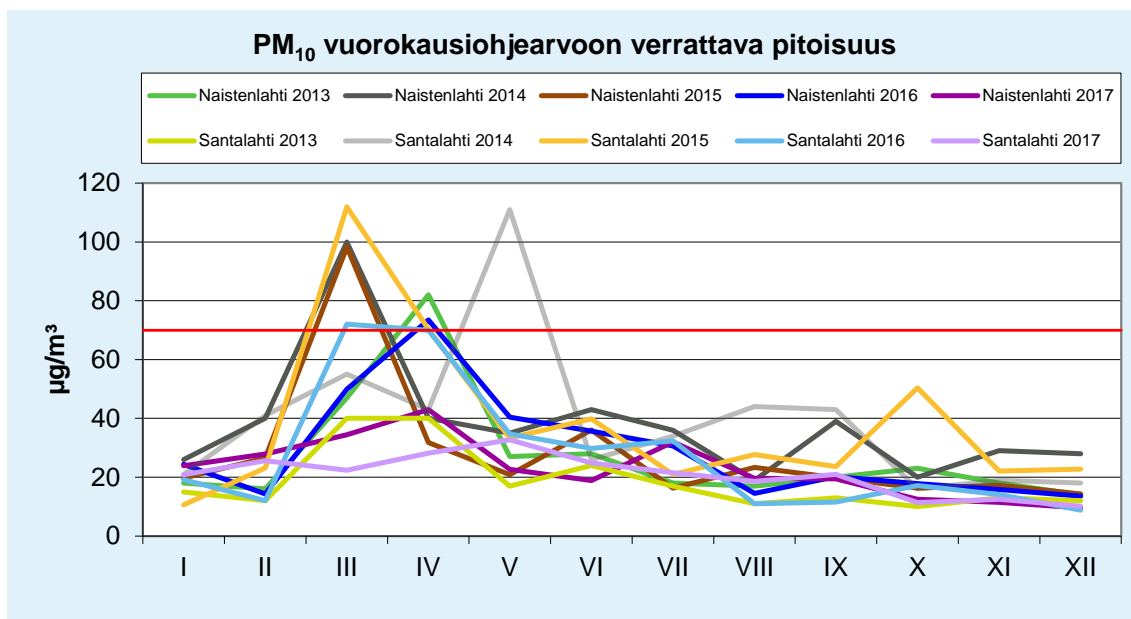


Kuva 26. Typpidioksidin (NO₂) tuntiohjeeseen verrattavat pitoisuudet kuukausittain Naistenlahdessa ja Santalahdessa koko mittausjaksolla, vuosina 2013–2017. Ohjearvotaso, 150 µg/m³, on merkitty kuvaan punaisella vaakaviivalla.

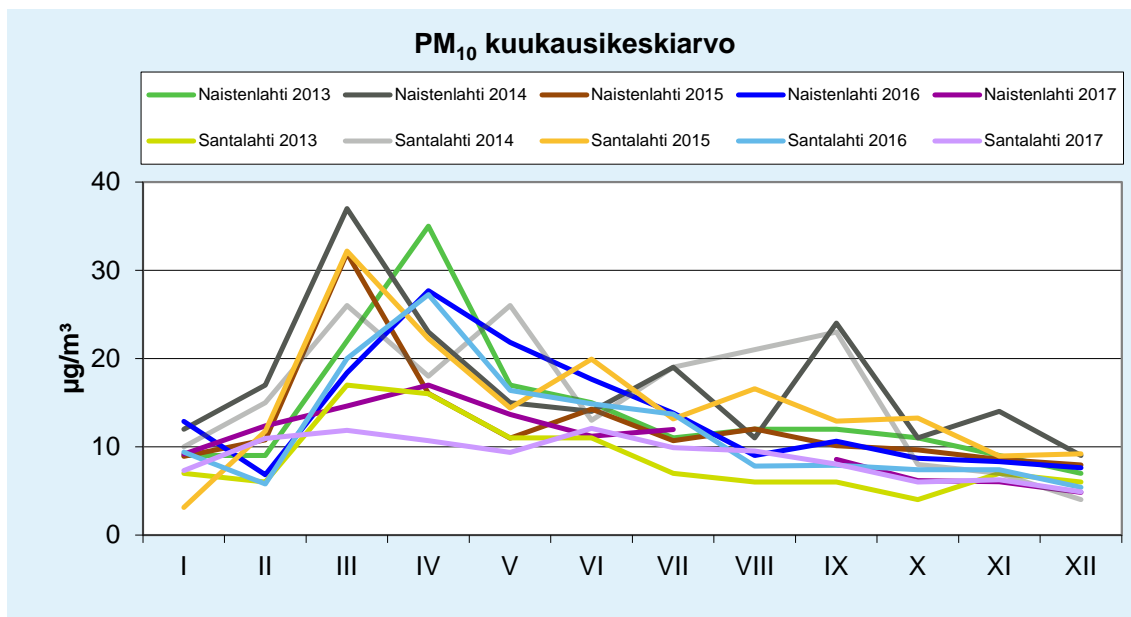
2.8.2 Hengitettävät hiukkaset

Naistenlahden mittausasemalla hengitettävien hiukkasten ohjearvotaso on ylittynyt kevätpölykaudella kaikkina muina mittausvuosina paitsi vuonna 2017 (kuva 27). Santalahden mittausasemalla ohjearvotaso ylittyi vuosina 2014, 2015 ja 2016. Vuonna 2015 kevätpölykausi oli Etelä- ja Keski-Suomessa poikkeuksellisen vaikea. Vuonna 2014 toukokuussa Santalahden pitoisuustasoa nosti mittausaseman tuntumassa tehty kaasujohdon alitusporaus.

Hengitettävien hiukkasten ohjearvoon verrattavat pitoisuudet (kuva 27) vaihtelevat voimakkaasti paikallisten sääolosuhteiden mukaan ja pitoisuudet ovat korkeimmillaan inversiotilanteissa sekä kuivalla ja heikkotuulisella säällä. Vaikka pitoisuuksien kuukausikeskiarvojen (kuva 28) vaihtelu ei ole yhtä suurta kuin ohjearvoon verrattavien pitoisuuksien vaihtelu, voidaan myös kuukausikeskiarvoissa havaita keväisen katupölyn vaikutus pitoisuustasoihin. Eri vuosien kuvaajia vertaamalla havaitaan, että eri vuosien välinen luontainen pitoisuusvaihtelu on suurta. Tämän lisäksi pitoisuuksiin vaikuttavat paikallisessa päästöympäristössä tapahtuneet muutokset.



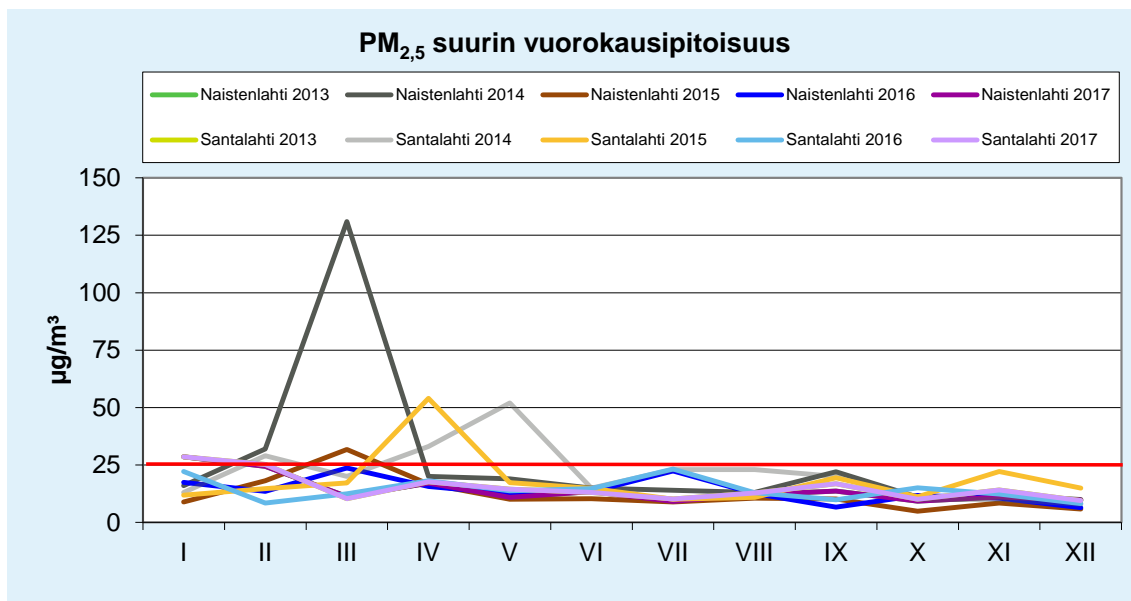
Kuva 27. Hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) vuorokausiohjearvoon verrattavat pitoisuudet kuukausittain Naistenlahdessa ja Santalahdessa koko mittausjaksolla, vuosina 2013–2017. Ohjearvotaso, 70 µg/m³, on merkitty kuvaan punaisella vaakaviivalla.



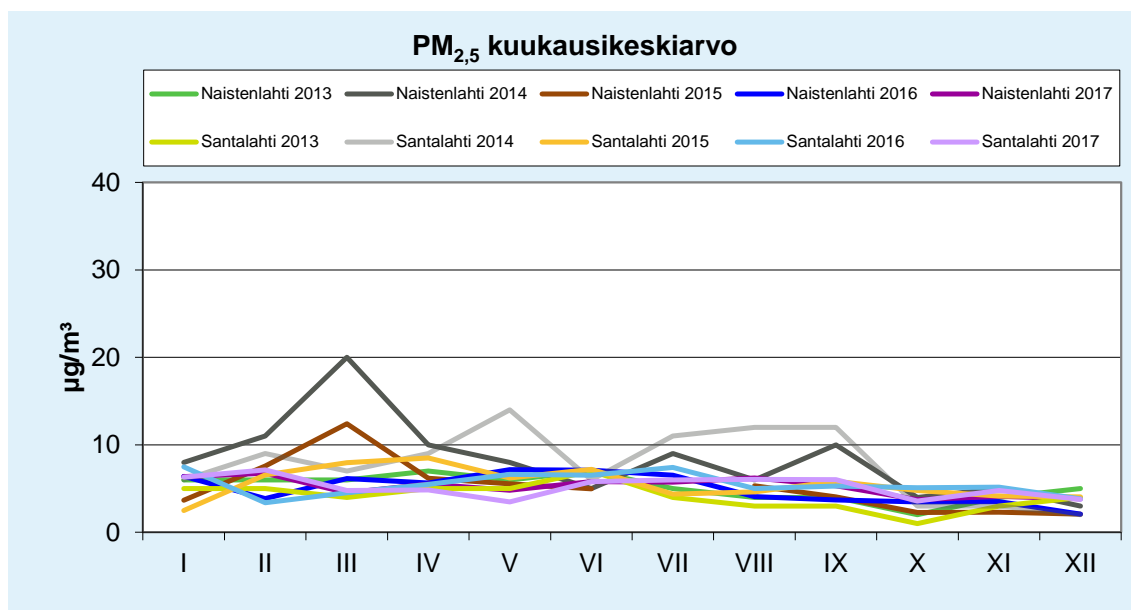
Kuva 28. Hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) kuukausikeskiarvot Naistenlahdessa ja Santalahdessa koko mittausjaksolla, vuosina 2013–2017.

2.8.3 Pienhiukkaset

Pienhiukkasten suurimmat vuorokausipitoisuudet (WHO:n ohjearvoon verrannollinen pitoisuus) sekä kuukausikeskiarvopitoisuudet olivat Naistenlahdessa ja Santalahdessa vuonna 2017 pääosin samaa tasoa kuin aiempina mittausvuosina (kuvat 29 ja 30). Pitoisuustuloksissa on havaittavissa työmaan paikallisen vaikutuksen lisäksi myös pienhiukkasten kaukokulkeumaepisodeja. Pienhiukkasten kaukokulkeumaepisodeja esiintyy yleisesti maaliskuussa ja satunnaisemmin tammi–helmikuussa ja elokuussa. Yhden episodin kesto voi vaihdella sen vaikutusalueella alle tunnista useisiin päiviin. Kaukokulkeumaepisodien aikana suuri osa pienhiukkasista on peräisin Keski- ja Itä-Euroopan tavanomaisista päästölähteistä, kuten liikenteestä, energiantuotannosta, teollisuudesta ja pienpoltosta, mistä ne sopivissa olosuhteissa kulkeutuvat Suomeen asti. Osa episodeista on puolestaan sellaisia, joissa pienhiukkaset ovat peräisin maasto- ja metsäpaloista sekä Itä-Euroopan peltojen kulotuksista.



Kuva 29. Pienhiukkasten (PM_{2,5}) suurimmat vuorokausipitoisuudet kuukausittain Naistenlahdessa ja Santalahdessa koko mittausjaksolla, vuosina 2013–2017. WHO:n ohjearvo, 25 µg/m³, on merkitty kuvaan punaisella vaakaviivalla.

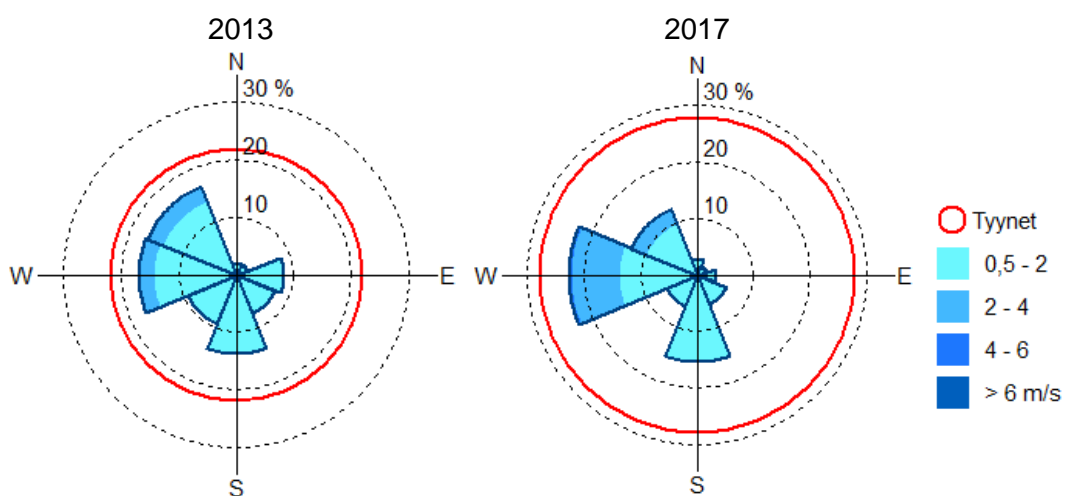


Kuva 30. Pienhiukkasten (PM_{2,5}) kuukausikeskiarvopitoisuudet Naistenlahdessa ja Santalahdessa koko mittausjaksolla, vuosina 2013–2017.

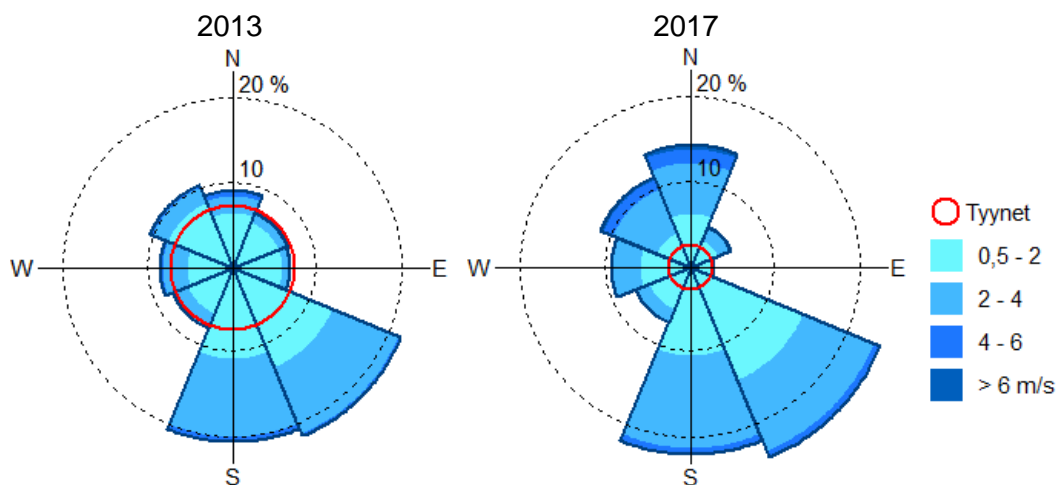
3 PITOISUUDET ENNEN TUNNELIN RAKENTAMISTA JA SEN JÄLKEEN

3.1 Pitoisuustarkastelut ilmansuunnittain

Vuonna 2017 mitattuja pitoisuuksia on tässä kappaleessa verrattu vuonna 2013, ennen tunnelin rakentamisen aloittamista, Naistenlahdessa ja Santalahdessa mitattuihin pitoisuustuloksiin. Kuvissa 31 ja 32 on esitetty näiden vuosien aikana mittausasemilla havaituista tuulista piirretyt tuuliruusu. Tuuliruusuista voidaan havaita, että eri vuosien tuuliolosuhteet olivat molemmilla mittausasemilla hyvin samankaltaiset.



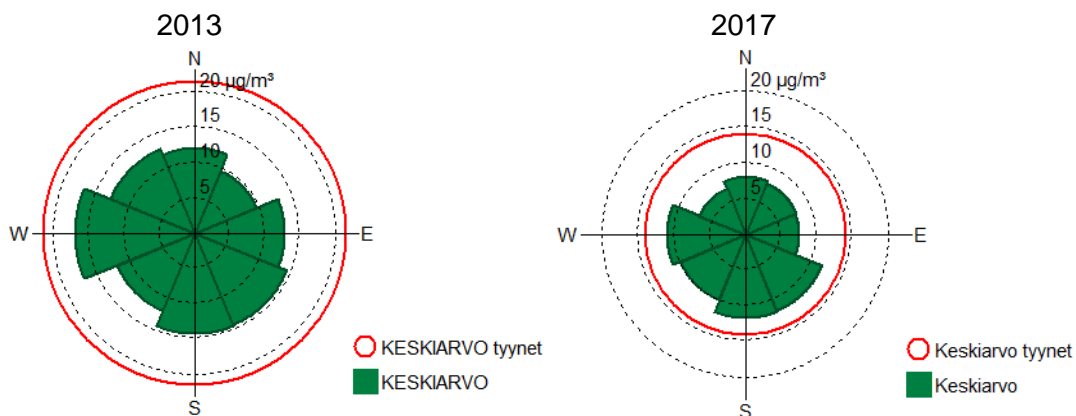
Kuva 31. Tuuliruusu **Naistenlahden** ilmanlaadun mittausasemalla havaituista tuulista vuonna 2013 (vasen kuva) ja vuonna 2017 (oikea kuva).



Kuva 32. Tuuliruusu **Santalahden** ilmanlaadun mittausasemalla havaituista tuulista vuonna 2013 (vasen kuva) ja vuonna 2017 (oikea kuva).

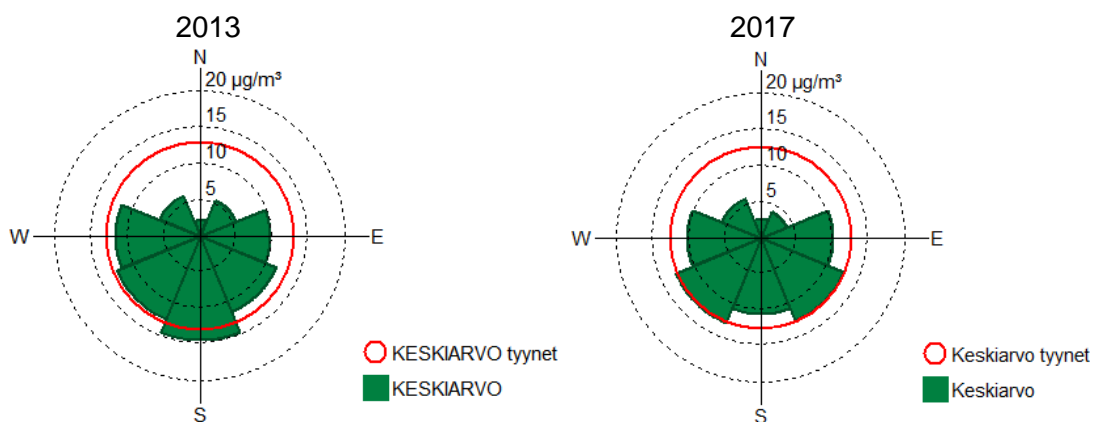
Kuvissa 33–36 on esitetty saasteruusut vuosina 2013 ja 2017 havaituista tyypidioksidin ja hengitettävien hiukkasten tuntipitoisuuksien keskiarvoista. Saasteruusun keskipisteestä lähtevän janan pituus sektorin kehäviivalle vastaa epäpuhtauden tuntipitoisuuksien keskiarvoa tässä tuulisektorissa. Tyynellä säällä (tuulen nopeus < 0,5 m/s) havaittujen tuntipitoisuuksien keskiarvo on esitetty kuvissa erillisellä ympyrällä.

Tyypidioksidin tuntipitoisuuksien keskiarvoista piirretyt pitoisuusjakaumat olivat muodoltaan Naistenlahden mittausasemalla molempina vuosina melko saman kaltaisia (kuva 33). Korkeimmat tyypidioksidin tuntipitoisuuksien keskiarvot havaittiin molempina tarkasteluvuosina tyynissä tilanteissa. Tyypidioksidipitoisuudet olivat Naistenlahdessa tunnelin käyttöönoton jälkeen keskimäärin pienempiä kuin ennen tunnelin rakentamista.



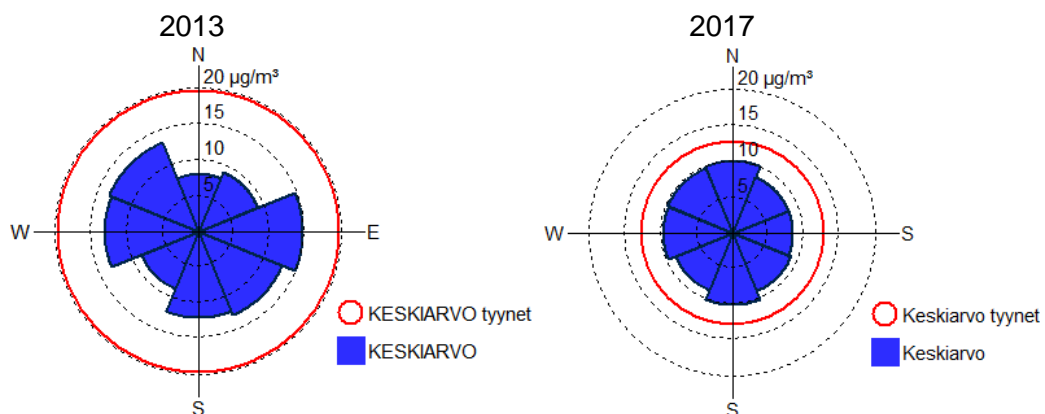
Kuva 33. Tyypidioksidin (NO_2) tuntipitoisuuksien keskiarvot eri tuulensuunnilla ja tyynellä säällä **Naistenlahdessa** vuonna 2013 (vasen kuva) ja vuonna 2017 (oikea kuva).

Santalahdessa korkeimmat tyypidioksidipitoisuudet havaittiin vuonna 2013 ennen tunnelin käyttöönottoa etelän puoleisilla tuulilla (kuvaKuva 34. Tyypidioksidin (NO_2) tuntipitoisuuksien keskiarvot eri tuulensuunnilla ja tyynellä säällä **Santalahdessa** vuonna 2013 (vasen kuva) ja vuonna 2017 (oikea kuva).). Vuonna 2013 Valtatien 12 linjaus kulki lähimmillään mittauspistettä juuri etelän puolella. Vuonna 2017 typen oksidien tuntipitoisuuksien keskiarvot olivat Santalahdessa suurimmillaan tyynellä säällä tai tuulen käydessä Valtatien 12 ja tunnelin suuaukon suunnasta. Tuulen puhaltaessa pohjoisen puolelta Näsijärven suunnasta, Santalahdessa mitatut typen oksidien pitoisuudet olivat selvästi alhaisempia kuin muilla tuulensuunnilla mitatut pitoisuudet. Näsijärven suunnasta puhaltavien tuulien aikana pitoisuudet olivat molempina tarkasteluvuosina samaa tasoa.



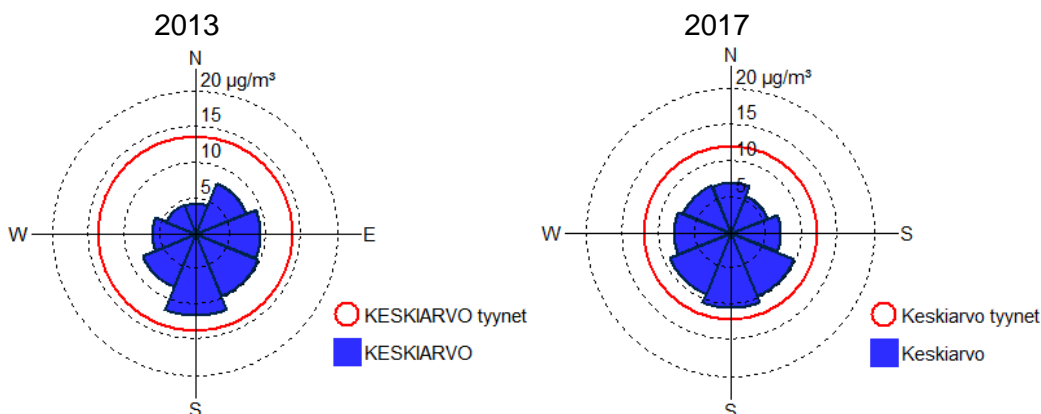
Kuva 34. Typpidioksidin (NO_2) tuntipitoisuuksien keskiarvot eri tuulensuunnilla ja tynnellä säällä **Santalahdessa** vuonna 2013 (vasen kuva) ja vuonna 2017 (oikea kuva).

Myös hengitettävien hiukkasten pitoisuustasot olivat Naistenlahdessa vuonna 2017 pohjoisen puoleista tuulisektoria lukuunottamatta pienempiä kuin vuonna 2013 ennen tunnelin käyttöönottoa (kuva 35). Korkeimmat tuntipitoisuuksien keskiarvot havaittiin molempina tarkasteluvuosina tynnellä säällä.



Kuva 35. Hengitettävien hiukkasten (PM_{10}) tuntipitoisuuksien keskiarvot eri tuulensuunnilla ja tynnellä säällä **Naistenlahdessa** vuonna 2013 (vasen kuva) ja vuonna 2017 (oikea kuva).

Santalahdessa (kuva 36) korkeimmat hengitettävien hiukkasten tuntipitoisuuksien keskiarvot havaittiin myös molempina tarkasteluvuosina tynnellä säällä. Pitoisuustaso tynnellä oli vuonna 2017 pienempi kuin vuonna 2013. Tuulen suunnittain tarkasteltuna hengitettävien hiukkasten tuntipitoisuuksien keskiarvot olivat kasvaneet tunnelin käyttöönoton jälkeen lounaan, lännen, luoteen ja pohjoisen puoleisilla tuulisektoreilla. Santalahdessa ilmanlaadun mittausaseman ympäristö on vuonna 2017 ollut kokonaan ilman kasvillisuuspeitettä, mikä pölyää kuivalla ja tuulisella säällä.

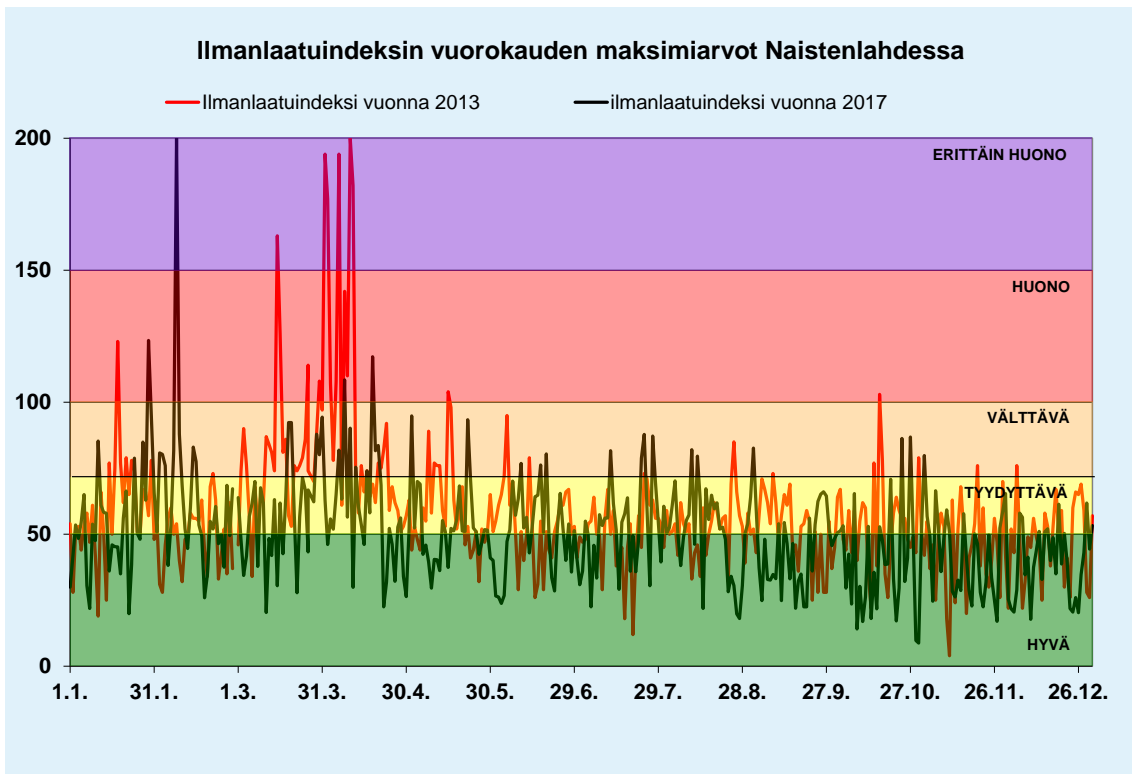


Kuva 36. Hengitettävien hiukkasten (PM_{10}) tuntipitoisuuksien keskiarvot eri tuulensuunnilla ja tyynellä säällä **Santalahdessa** vuonna 2013 (vasen kuva) ja vuonna 2017 (oikea kuva).

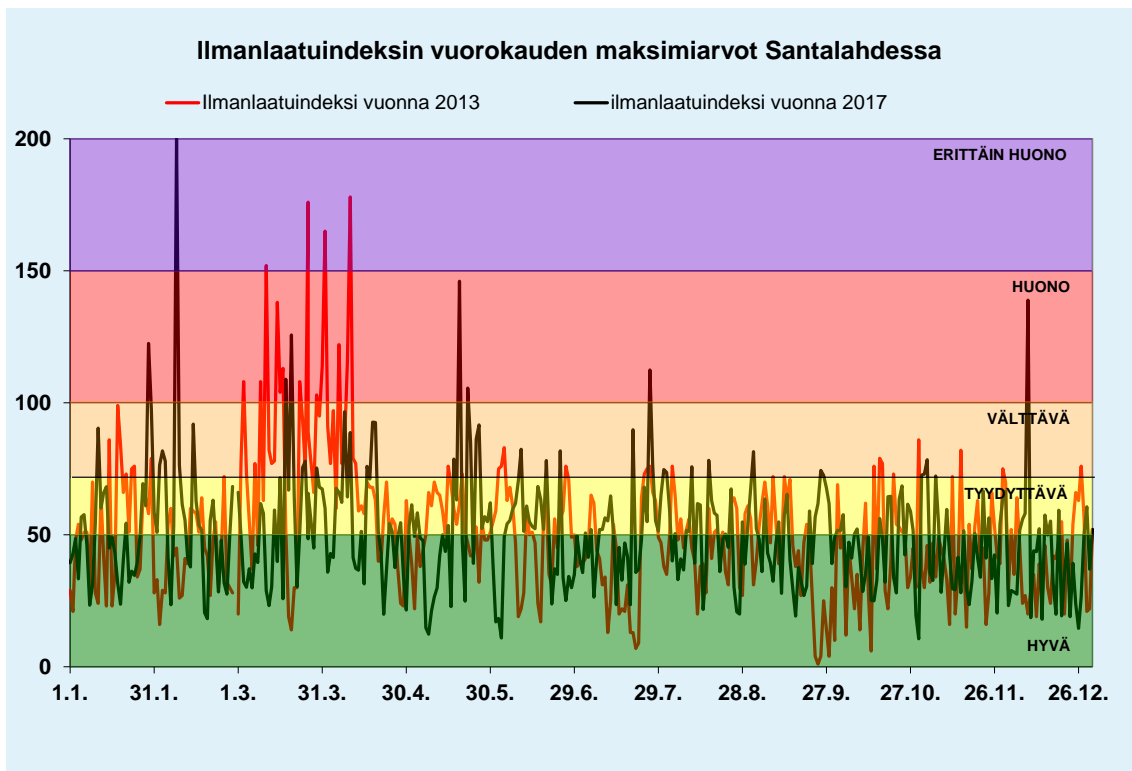
3.2 Pitoisuustarkastelut ilmanlaatuindeksin avulla

Kuvissa 37 ja 38 on esitetty ilmanlaatua Tampereen Naistenlahdessa ja Santalahdessa ilmanlaatuindeksin asteikolla kuvattuna, ennen tunnelin rakentamista sekä tunnelin rakentamisen jälkeen. Ilmanlaatuindeksin laskentaan käytetään typpidioksidin, hengitettävien hiukkasten ja pienhiukkasten tuntipitoisuuksia. Ilmanlaatuindeksi on vertailuluku, joka kuvaa sen hetkistä ilmanlaatua suhteutettuna ilmanlaadun ohje- ja raja-arvoihin.

Sekä Naistenlahdessa että Santalahdessa huonon ja erittäin huonon ilmanlaadun tilanteet aiheutuivat molempina tarkasteluvuosina pääasiassa hengitettävien hiukkasten pitoisuuksista, joihin vaikuttaa erityisesti kevätpölykauden ajankohta ja kesto. Eri vuosien välillä on tässä luontaisesti suurta vaihtelua johtuen talven ja kevään sääoloista sekä katujen kunnossapidosta. Vuonna 2013 oli vaikea kevätpölykausi kun taas vuonna 2017 kevätpölykausi oli Tampereen seudulla pitkä, mutta jäi pitoisuuksiltaan lieväksi. Lisäksi Santalahdessa ilmanlaadun mittausaseman ympäristö oli vuonna 2017 viherrakentamisen osalta kesken ja kokonaan ilman kasvillisuuspeitettä pitkälle syksyyn, jolloin se pölysi kuivalla ja tuulisella säällä.



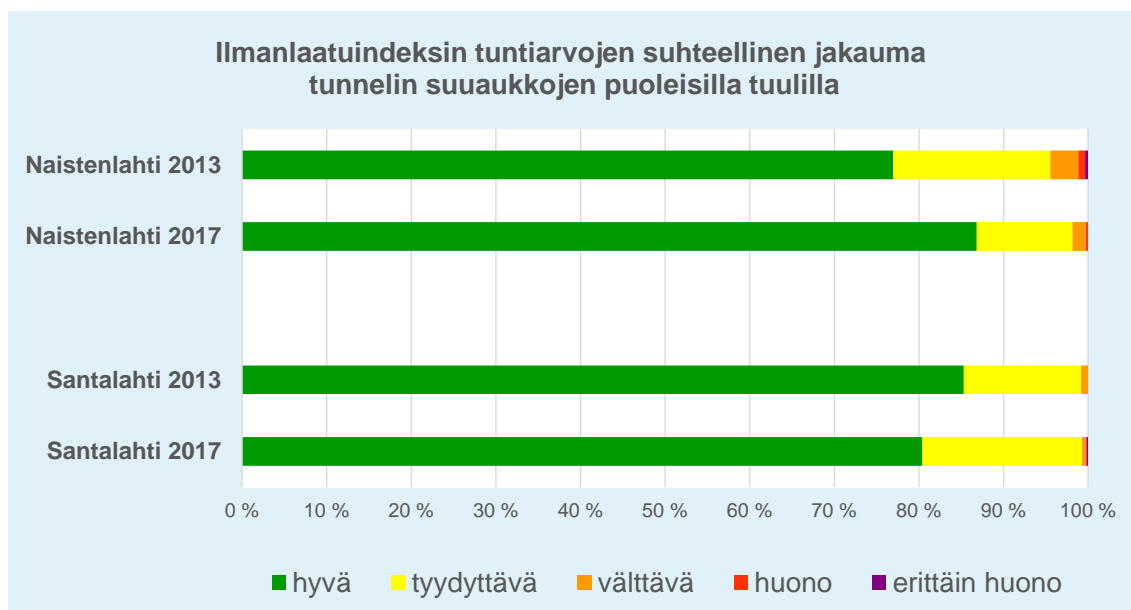
Kuva 37. Ilmanlaatu Tampereen **Naistenlahdessa** vuosina 2013 ja 2017 kuvattuna ilmanlaatuindeksin yksinkertaistetulla luokittelulla.



Kuva 38. Ilmanlaatu Tampereen **Santalalahdessa** vuosina 2013 ja 2017 kuvattuna ilmanlaatuindeksin yksinkertaistetulla luokittelulla.

Kuvassa Kuva 39 on tarkasteltu tunneittaista ilmanlaatuilannetta Naistenlahden ja Santalahden mittauspisteissä ennen tunnelin rakentamista (2013) ja tunnelin valmistumisen jälkeen (2017) tunnelin suuaukkojen puoleisilla tuulilla. Tarkastelu on tehty vain niille ajanhetkille, jolloin tuuli on puhaltanut tunnelin suuaukon suunnasta. Naistenlahdessa suuaukko sijaitsee mittauspisteen länsipuolella sektorissa noin 250°–300° ja Santalahdessa mittauspisteeseen nähden kaakossa tuulisektorissa noin 120°–135°.

Tarkastelun mukaan Naistenlahden mittauspisteessä ilmanlaatu on parantunut tunnelin käyttöönoton jälkeen tunnelin suuaukkojen puoleisilla tuulilla. Naistenlahdessa Valtatie 12 kulki ennen tunnelin rakentamista Kekkosentien siltaa pitkin, mutta tunnelin käyttöönoton jälkeen tie kulkee mittausaseman kohdalla paljon matalammalla kallioleikkauksen ja meluaidan suojassa. Tielinjauksen muutoksen vuoksi Naistenlahden mittausaseman kohdalla havaitaan nyt pienempiä pitoisuuksia kuin ennen tunnelin rakentamista. Santalahden mittauspisteessä ilmanlaatu on puolestaan huonontunut tunnelin käyttöönoton jälkeen tunnelin suuaukkojen puoleisilla tuulilla. Tämä johtuu pääasiassa tielinjauksen siirtymisestä lähemmäs mittauspistettä, jolloin mittausaseman kohdalla havaitaan nyt suurempia pitoisuuksia kuin ennen tunnelin rakentamista.



Kuva 39. Ilmanlaatuindeksin tunti-arvojen prosentuaalinen jakautuminen eri ilmalaatuluokkiin Naistenlahdessa ja Santalahdessa vuosina 2013 ja 2017 tunnelin suuaukkojen puoleisilla tuulilla (Santalahti tuulensuunnat 120°–135°, Naistenlahti 250°–300°).

4 YHTEENVETO

Ilmatieteen laitos aloitti ilmanlaatumittaukset Tampereella Valtatien 12 tunnelihankkeen suunnitteluvaiheessa 20.12.2012. Mittaukset aloitettiin vuosi ennen Rantatunnelin varsinaisen rakennusvaiheen alkamista ja niitä on jatkettu yhtäjaksoisesti kahdella mittausasemalla koko hankkeen toteutusvaiheen ajan. Tunnelin suunnitteluvaiheen ilmanlaatumittausten tavoite oli hankkia tietoa ilmanlaadusta tulevan tunnelin suuaukkojen läheisyydestä ennen tunnelin rakentamista. Vuoden 2013 lopulla hankkeessa siirryttiin toteutusvaiheeseen ja tunnelilouhinta saatiin valmiiksi kesällä 2015. Tunneli otettiin käyttöön autoliikenteelle 15.11.2016. Tunnelin avaamisen jälkeen rakennettiin vielä Naistenlahden eritasoliittymän pohjoisosan rampit ja katuyhteydet sekä tehtiin viimeistelyitä alueella. Mittaukset jatkuvat Naistenlahdessa vielä vuonna 2018 mutta Santalahdessa mittaukset lopetettiin vuoden 2017 lopussa. Tässä raportissa on tarkasteltu tunnelin suualueiden ilmanlaatua vuoden 2017 aikana sekä vertailtu ilmanlaatuilannetta ennen tunnelin rakentamisen aloittamista vuoden 2017 ilmanlaatuilanteeseen.

Naistenlahdessa ja Santalahdessa sijaitsevilla mittausasemilla mitattiin ulkoilmasta typen oksidien, pienhiukkasten ja hengitettävien hiukkasten pitoisuuksia. Nämä ovat oleellimmat kaupunki-ilmanlaatuun vaikuttavat ilman epäpuhtaudet ja myös tärkeimmät Rantatunnelihankkeen ilmanlaatuvaikutuksia kuvaavat pitoisuudet. Näille ilman epäpuhtauksille on annettu ilmanlaadun ohje- ja raja-arvot terveyshaittojen ehkäisemiseksi. Pitoisuustulosten tulkintaa varten mittausasemilla mitattiin myös säätietoja.

Tunnelihankkeen mittausasemilla Naistenlahdessa ja Santalahdessa mitatut typpidioksidipitoisuudet ja hengitettävien hiukkasten pitoisuudet eivät ylittäneet kotimaisia ilmanlaadun ohjearvoja vuonna 2017.

Naistenlahdessa ja Santalahdessa vuonna 2017 mitatut typpidioksidipitoisuudet eivät ylittäneet ilmanlaadun raja-arvoja. Hengitettävien hiukkasten pitoisuuden vuorokausiraja-arvon taso, $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ylittyi sekä Naistenlahdessa että Santalahdessa yhden kerran (8.2.2017), kun sallittujen ylitysten määrä on 35 kpl kalenterivuodessa. Ylitykset aiheutuivat teiden ja pintojen pölyämisestä kuivana ja lumettomana pakkaspäivänä.

Pienhiukkaspitoisuuksien vuosiraja-arvo ei ylittynyt kummassakaan mittauspisteessä. WHO:n pienhiukkasten vuorokausikeskiarvolle antama ohjearvo ylittyi kerran Naistenlahden ja Santalahden mittausasemilla kuten myös Tampereen kaupungin Epilän mittausasemalla. WHO:n ohjearvo on suosituksenomainen eikä se ole osa Suomen ilmansuojelulainsäädäntöä.

Naistenlahdessa ja Santalahdessa mitattujen ilman epäpuhtauspitoisuuksien perusteella laskettiin ilmanlaatuindeksi, joka kuvaa vallinnutta ilmanlaatuilannetta sanallisella asteikolla: hyvä, tyydyttävä, välttävä, huono, erittäin huono. Indeksien laskentaan käytetään typpidioksidin, hengitettävien hiukkasten ja pienhiukkasten tuntipitoisuuksia. Indeksillä ilmaistuna ilmanlaatu oli Naistenlahdessa hyvää 47 %, tyydyttävää 42 % ja välttävää 10 % päivistä. Ilmanlaatu oli huonoa 3 päivänä (1 % päivistä) ja erittäin huonoa yhtenä päivänä. Huonon ja erittäin huonon ilmanlaadun aiheuttajana olivat hengitettävien hiukkasten tai pienhiukkasten pitoisuudet.

Santalahdessa ilmanlaatu oli vuonna 2017 vastaavasti hyvää 52 %, tyydyttävää 38 % ja välttävää 8 % päivistä. Ilmanlaatu oli huonoa 7 päivänä (2 % päivistä) ja erittäin huonoa yhtenä päivänä. Huonon ja erittäin huonon ilmanlaadun aiheuttajana olivat hengitettävien hiukkasten tai pienhiukkasten pitoisuudet. Santalahdessa esiintyi huonon tai erittäin huonon ilmanlaadun päiviä Naistenlahtea useammin. Santalahdessa ilmanlaadun mittausaseman ympäristö on lumien sulettua kokonaan ilman kasvillisuuspeitettä, mikä pölyää kuivalla ja tuulisella säällä. Santalahdessa joulukuussa havaittu huonon ilmanlaadun tilanne (8.12.2017) aiheutui Pyynikillä tapahtuneesta puukerrostalon tulipalosta.

Naistenlahdessa ja Santalahdessa ilmanlaatu oli keskimäärin samanlaista kuin muilla Tampereen ilmanlaadun mittausasemilla. Naistenlahdessa ja Santalahdessa typpidioksidipitoisuudet olivat vuonna 2017 pääosin samaa tasoa kuin Tampereen kaupungin Kalevan mittausasemalla ja matalampia kuin Linja-autoasemalla tai Pirkankadun asemalla mitatut pitoisuudet. Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet Naistenlahdessa ja Santalahdessa olivat kevätpölyaikaan pienempiä ja kesäaikaan suurempia kuin Epilän ja Pirkankadun mittausasemalla mitatut pitoisuudet. Hengitettävien hiukkasten pitoisuuksiin vaikuttavat voimakkaasti mittausaseman lähiympäristön olosuhteet. Pienhiukkaspitoisuudet olivat kaikilla Tampereen mittausasemilla keskimäärin samaa tasoa. Pienhiukkaspitoisuuksien melko pienet erot eri mittausympäristöjen välillä johtuvat siitä, että suurin vaikutus pitoisuustasoihin on alueellisella taustapitoisuudella eli muualta kaukokulkeutuneilla pienhiukkasilla.

Tunnelin liikenteelle avaamisen jälkeen mitattuja pitoisuuksia verrattiin vuonna 2013 ennen tunnelin rakentamista mitattuihin pitoisuustuloksiin. Typpidioksidin tuntipitoisuuksien jakautuminen eri tuulensuunnille oli molemmilla mittausasemilla vertailuvuosina melko samankaltainen mutta Naistenlahdessa pitoisuustasot olivat pienempiä tunnelin käyttöönoton jälkeen. Myös hengitettävien hiukkasten pitoisuustasot olivat Naistenlahdessa vuonna 2017 pienempiä kuin vuonna 2013 ennen tunnelin käyttöönottoa. Santalahdessa typpidioksidin tuntipitoisuuksien keskiarvot olivat vertailuvuosina kutakuinkin samansuuruisia. Santalahdessa hengitettävien hiukkasten tuntipitoisuuksien keskiarvot olivat kasvaneet tunnelin käyttöönoton jälkeen lounaan, lännen, luoteen ja pohjoisen puoleisilla tuulisektoreilla ja pienentyneet tyyneillä ja koillisen ja idän puoleisilla tuulilla.

Ilmanlaatuindeksillä tarkasteltuna Naistenlahden mittauspisteessä ilmanlaatu tunnelin puoleisilla tuulilla on parantunut tunnelin käyttöönoton jälkeen kun taas Santalahden mittauspisteessä se on huonontunut. Naistenlahdessa Valtatie 12 kulki ennen tunnelin rakentamista Kekkosen tien siltaa pitkin, mutta tunnelin käyttöönoton jälkeen tie kulkee mittausaseman kohdalla paljon matalammalla kallioleikkauksen ja meluidan suojassa. Tielinjauksen muutoksen vuoksi Naistenlahden mittausaseman kohdalla havaitaan nyt pienempiä pitoisuuksia kuin ennen tunnelin rakentamista. Santalahden mittauspisteessä tielinjaus on siirtynyt lähemmäs mittauspistettä, jolloin mittausaseman kohdalla havaitaan nyt suurempia pitoisuuksia kuin ennen tunnelin rakentamista.

OSA II

5 ILMANLAATUMITTAUSTEN TOTEUTUS

5.1 Ilmanlaadun tarkkailun tavoitteet ja tunnelihankkeen eteneminen

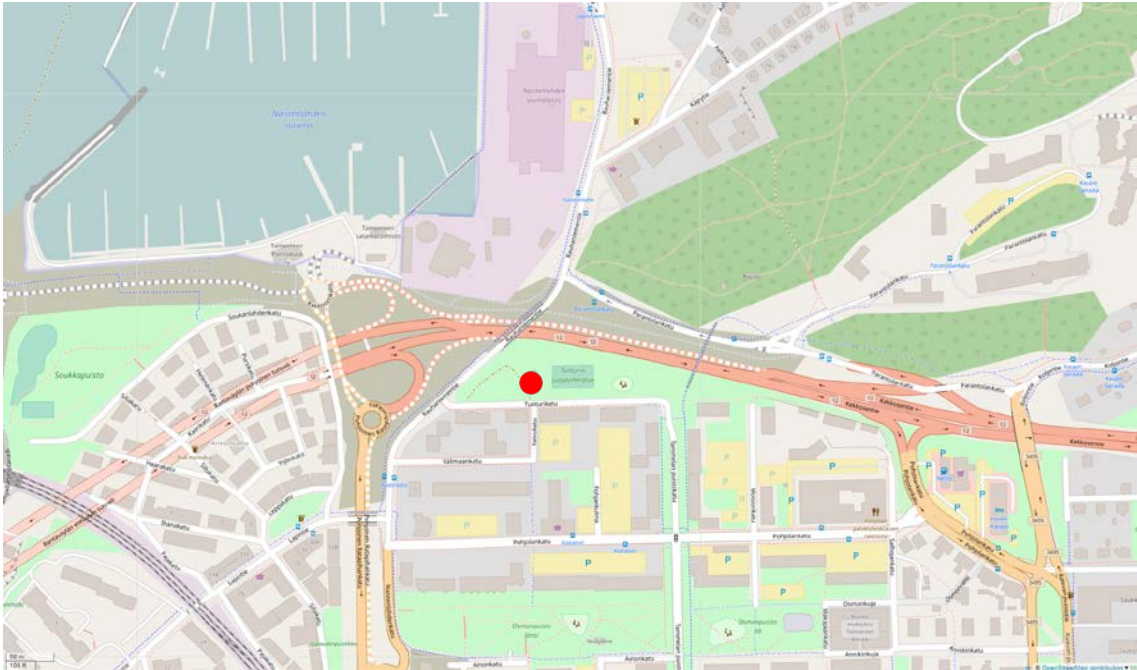
Tampereen Rantatunnelin ilmanlaadun tarkkailumittausten tavoite oli hankkia riittävän edustavat ilmanlaatutiedot tunnelin molempien päiden ympäristöstä ennen rakentamista, tunnelin rakentamisvaiheessa ja tunnelin käyttöönoton jälkeen. Ilman epäpuhtauspitoisuuksia tarkkailtiin tunnelin molemmissa päissä, koska lähialueen liikenneverkot, päästöympäristöt ja asutuksen sijoittuminen suhteessa tunnelin suuaukkoihin ja mittausasemiin poikkeavat toisistaan selvästi tunnelin eri päiden ympäristöissä.

Ilmatieteen laitos aloitti ilmanlaatumittaukset kahdella mittausasemalla tunnelihankkeen suunnitteluvaiheessa 20.12.2012 ja mittaukset jatkuivat keskeytyksettä koko tunnelihankkeen toteutusvaiheen ajan samoilla mittauspaikoilla. Rantatunnelin louhintavaihe päättyi jo kesäkuussa 2015 ja tunneli avattiin autoliikenteelle marraskuussa 2016. Vuoden 2017 aikana rakennettiin vielä Naistenlahden eritasoliittymän pohjoisosan rampit ja katuyhteydet valmiiksi sekä tehtiin viherrakennustöitä ja muita viimeistelyitä Naistenlahden alueella. Kokonaisuudessaan tunneliin liittyvät liikennejärjestelyt olivat valmiita ja käytössä 30.11.2017.

Santalahden alueella ei ollut enää tunnelin rakentamiseen liittyviä töitä vuonna 2017. Mittausaseman ympäristössä rakennettiin kuitenkin syksyllä Santalahden puistoa. Mittausaseman ympäristön asfaltoimaton alue Näsjärven rannassa oli alttiina tuulten vaikutuksille ja pölyämiselle. Asfaltoimatonta aluetta oli erityisesti luoteen suuntaan mittausasemalta. Santalahdessa ilmanlaatumittaukset lopetettiin vuoden 2017 lopussa, mutta Naistenlahdessa mittaukset jatkuvat vielä vuoden 2018 ajan.

5.2 Mittausasemat

Ilmanlaatua seurattiin mittauksin Rantatunnelin suuaukkojen läheisyydessä Naistenlahdessa ja Santalahdessa, yhdellä mittausasemalla kumpaakin suuaukkoa kohden. Mittausasemat sijaitsivat noin 2,5 kilometrin etäisyydellä toisistaan. Ilmanlaadun mittausasemien tarkemmat sijainnit on esitetty kartalla kuvassa 40.



Kuva 40. Ilmanlaadun mittausasemien sijainti punaisilla ympyröillä merkittynä tunnelin itäpäässä Naistenlahdessa (yläkuva) ja tunnelin länsipäässä Santalahdessa (alakuva). Kartta-aineisto: © OpenStreetMap contributors.

Naistenlahden mittausasema sijaitsi tunnelin itäpäässä, valtatie 12 eteläpuolella noin 40 metrin etäisyydellä väylästä. Mittauspaikan ympäristöä on havainnollistettu kuvassa 41. Mittausasema sijaitsee puistomaisessa, melko suojaisassa ympäristössä ja lähin katu on noin 20 metrin etäisyydellä sijaitseva Tunturikatu, jossa on vain hyvin vähän asukasliikennettä. Tunnelin suuaukko sijaitsi noin 200 metrin etäisyydellä mittausaseman länsipuolella.



Kuva 41. Naistenlahden ilmanlaadun mittausasema Tunturipuistossa, syyskuussa 2017. Ulkoilma imetään mittauslaitteisiin mittausaseman katolla sijaitsevien näytteenotto sondien kautta. Kuva: Jatta Salmi.

Santalahden mittausasema sijaitsi tunnelin länsipäässä, Onkiniemen asuinalueella lähellä Näsijärven rantaa (kartta kuvassa 40). Mittauspaikan ympäristöä on havainnollistettu kuvassa 42. Mittausasema sijaitsi valtatie 12 pohjoispuolella. Mittausten alkuvaiheessa liikenneväylä kulki lähimmillään noin 100 m etäisyydellä mittausasemasta, mutta kesästä 2015 alkaen tien uudelleenlinjauksen myötä valtatie 12 kulki noin 40 metrin etäisyydellä mittausasemasta. Mittausaseman ja valtatie välistä kulki lisäksi Onkiniemen asuntoalueelle johtava Simppoonkatu. Tunnelin suuaukko sijaitsi noin 300 metrin etäisyydellä Santalahden mittausaseman kaakkoispuolella. Vuonna 2017 mittausaseman ympärillä rakennettiin Santalahdenpuistoa.



Kuva 42. Syyskuussa 2017 Santalahden ilmanlaadun mittausasema oli jäänyt keskelle Santalahdenpuiston rakennustyömaata. Kuva: Jatta Salmi.

Mittausasemien typen oksidien, hengitettävien hiukkasten ja pienhiukkasten näytteenottosondit sijaitsivat noin 4 metrin korkeudella maanpinnasta mittausasemien katoilla. Samoin myös säämittausanturin korkeus oli noin 4 metriä maanpinnan tasosta.

5.3 Mitatut suureet ja mittausmenetelmät

Molemmilla mittausasemilla mitattiin jatkuvatoimisilla automaattisilla analysaattoreilla typen oksidien (NO , NO_2 ja NO_x) ja halkaisijaltaan alle $10\ \mu\text{m}$:n suuruisten hengitettävien hiukkasten (PM_{10}) sekä halkaisijaltaan alle $2,5\ \mu\text{m}$:n suuruisten pienhiukkasten ($\text{PM}_{2,5}$) pitoisuuksia. Näytteenotto tapahtui mittausasemien katolla olevista sondeista noin 4 metrin korkeudelta. Typen oksidien pitoisuusmäärittämisessä käytettiin kemiluminesenssiin perustuvaa määritysmenetelmää. Hengitettävien hiukkasten ja pienhiukkasten pitoisuutta mitattiin beetasäteilyn absorptioon ja valon sirontaan perustuvalla menetelmällä. Lisäksi molemmilla mittausasemilla havainnoitiin tuulen suuntaa ja nopeutta, ulkoilman lämpötilaa, suhteellista kosteutta, painetta ja sademäärää (taulukko 4). Säämittausanturin korkeus oli noin 4 metriä maanpinnan tasosta. Ilmanlaadun mittaukset suoritettiin kansallisen ilmanlaadun mittausohjeen (*Ilmatieteen laitos, 2017*) sekä Ilmatieteen laitoksen ilmanlaatumittausten laatu järjestelmän mukaisesti:

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

Ilmanlaadun ja sääparametrien mittaustulokset kerättiin mittausasemalla minuuttiarvoina mittauksia ohjaavalle tietokoneelle, jolta ne siirrettiin edelleen minuuttiarvoina langattomasti (3-G) modeemyhteyden kautta Ilmatieteen laitoksen palvelimelle raakadatietokantaan ja siitä edelleen muihin tietokantoihin. Raakadatietokannassa 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 4. Tampereen tunnelihankkeen ilmanlaadun mittauksissa käytetyt menetelmät ja laitteet.

Mitattava komponentti	Mittausmenetelmä	Mittalaite
Typhen oksidit	Kemiluminesenssi	TEI 42i Horiba APNA 360 (Santalahti 1.1–12.9.2016)
Hengitettävät hiukkaset ja pienhiukkaset	Beetasäteilyn absorptio + valon sironta	Thermo Model 5030 SHARP
Tuulen suunta ja nopeus, lämpötila, suhteellinen kosteus, ilmanpaine ja sademäärä		Vaisala WXT

Typhen 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) ja pienhiukkasten (PM_{2.5}) jatkuvatoimiset mittaukset perustuvat CEN:n teknisen komitean CEN/TC 264 valmistelemaan tekniseen ohjeeseen 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 hiukkas-analysaattoreiden antamien tulosten vastaavuus PM₁₀/PM_{2.5}-hiukkasten gravimetriisiin referenssimenetelmiin on osoitettu tutkimuksessa *Walden ym., 2010*.

5.4 Kalibrointimenetelmät, laadunvarmistus ja laitehuollot

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

Typen oksidien mittalaitteet kalibroitiin molemmilla mittausasemilla vuonna 2016 huhtikuussa, heinäkuussa, syyskuussa ja joulukuussa. Typen oksidien näytteenottolinjat tarkistettiin kalibrointien yhteydessä. Typen oksidien analysaattorien hiukkassuodattimet vaihdettiin kalibrointien yhteydessä. Hiukkasmittalaitteiden näytteenottosondit puhdistettiin mittausasemalla käynnin yhteydessä. Hiukkasmittalaitteet kalibroitiin valmistajan ohjeiden mukaisesti. Hiukkasmittauksien tulokset korjattiin vertailumittausten (*Walden ym., 2010*) mukaisilla ekvivalenttisuuskertoimilla.

Naistenlahden mittausasemalla menetettiin kaikkien komponenttien mittaustulokset kahdelta päivältä kesäkuun alussa mittaustuloksia keräävän tietokoneen hajottua. Naistenlahden mittausaseman typenoksidien analysaattori jouduttiin vaihtamaan toiseen samanlaiseen laitteeseen marraskuussa laitteen rikkouduttua. Tällöin menetettiin typenoksidien mittaustulokset 3 päivän ajalta. Naistenlahden mittausasemalla hiukkasmittalaitteet toimivat hyvin koko vuoden. Santalahden mittausasemalla vaihdettiin typenoksidien analysaattori syyskuussa laiterikon takia. Tällöin menetettiin typenoksidien mittaustulokset 2 päivän ajalta. Santalahden PM₁₀-analysaattori jouduttiin vaihtamaan toiseen samanlaiseen laitteen rikkoontuneeseen ja mittaustulokset menetettiin tällöin 5 päivän ajalta. Laatutavoitteet koko vuoden aineistojen vähimmäismäärälle saavutettiin kaikkien mitattujen suureiden osalta molemmilla mittausasemilla laiterikoista huolimatta.

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

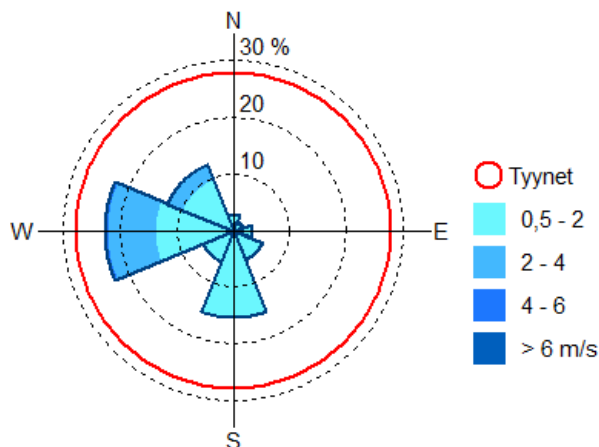
laatutavoitteena käytetään 85 % vuoden tuntimäärästä. Naistenlahden ja Santalahden asemien mittaustuloksia ei käytetä raja-arvojen ylittymisen valvontaan, mutta samoja laatutavoitteita noudatetaan soveltuvin osin myös näiden asemien mittauksissa.

6 SÄÄTIEDOT

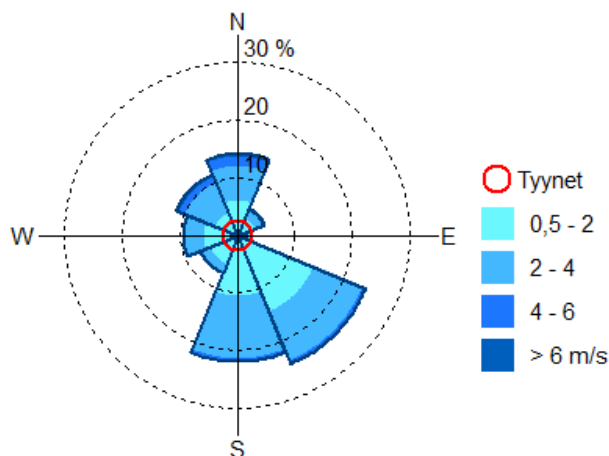
6.1 Tuulitiedot vuodelta 2017

Kuvassa 43 on esitetty vuoden 2017 tuulimittausaineistosta piirretty tuuliruusu Naistenlahden mittausasemalta ja kuvassa 44 Santalahden mittausasemalta. 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. Tuuliruusuista nähdään myös tuulien nopeusjakaumat tuulensuuntasektoreittain. Eri tuulennopeuksien prosentuaaliset osuudet saadaan vertaamalla sektoreiden kunkin nopeusluokan pituutta prosenttiasteikkoon.

Naistenlahden mittausasema sijaitsee Santalahtea suojaisammassa ympäristössä kerrostalojen ja puuston ympäröimänä. Naistenlahdessa tyyniä tilanteita, jolloin tuulen nopeus oli alle 0,5 m/s, esiintyi noin 28 % vuoden tunneista. Vallitsevin tuulensuunta oli länsi. Santalahden mittausasemalla vallitsevat tuulensuunnat olivat etelä ja kaakko ja mittausasemalla esiintyi tyyniä tilanteita hyvin harvoin, koska mittausasema sijaitsi avoimella paikalla Näsijärven rannassa. Naistenlahden ja Santalahden mittausasemilla mitatut tuulen nopeuden tuntikeskiarvot on esitetty raportin lopussa liitekuviissa 21 ja 22.



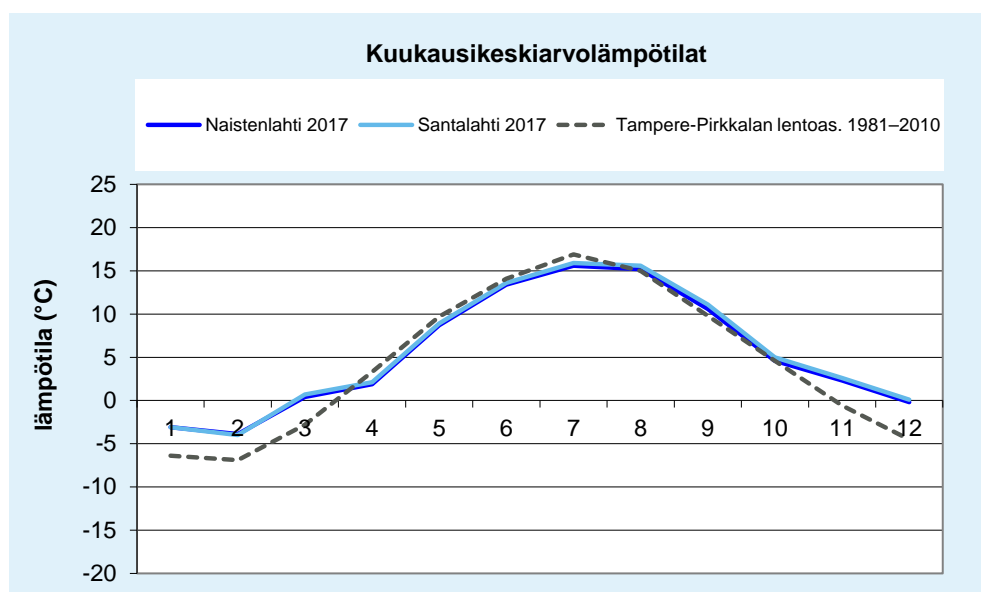
Kuva 43. Tuuliruusu Tampereella **Naistenlahden** ilmanlaadun mittausasemalla havaituista tuulista vuonna 2017.



Kuva 44. Tuuliruusu Tampereella **Santalahden** ilmanlaadun mittausasemalla havaituista tuulista vuonna 2017.

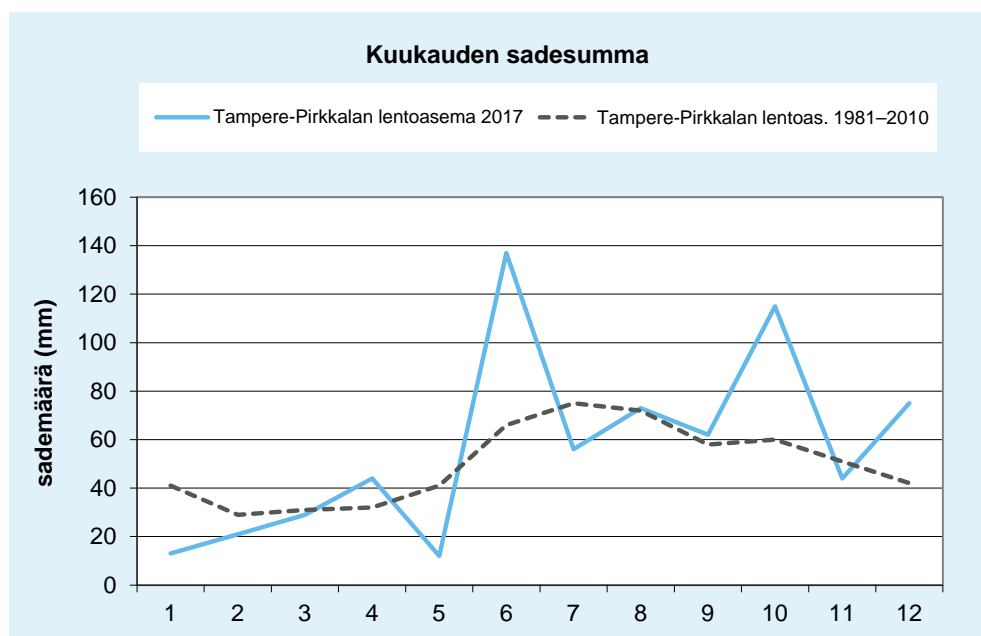
6.2 Keskilämpötilat ja sademäärät Tampereella vuonna 2017

Vuosi 2017 oli Suomessa hieman tavanomaista lämpimämpi. Keskilämpötila oli suuressa osassa maata 0,5–1 astetta tavanomaista korkeampi. Kuvassa 45 on vertailtu Naistenlahden ja Santalahden ilmanlaadun mittausasemilla mitattuja lämpötilan kuukausikeskiarvoja Ilmatieteen laitoksen Tampereen Pirkkalan lentoaseman vertailukauden 1981–2010 lämpötiloihin (*Pirinen, ym., 2012*). Vuosi 2017 oli Naistenlahdessa 1,1 astetta ja Santalahdessa 1,3 astetta vertailukauden 1981–2010 vuosikeskiarvolämpötilaa (4,4 °C) korkeampi. Naistenlahden ja Santalahden mittausasemilla mitatut ulkoilman lämpötilan tuntikeskiarvot on esitetty raportin lopussa liitekuivissa 23 ja 24.



Kuva 45. Kuukauden keskilämpötilat vuonna 2017 Tampereen Naistenlahden ja Santalahden ilmanlaadun mittausasemilla sekä Tampere-Pirkkalan lentoasemalla vertailukaudella 1981–2010.

Kuvassa 46 on vertailtu Ilmatieteen laitoksen Tampereen Pirkkalan lentoasemalla vuonna 2017 mitattuja kuukausisademääriä vertailukauden 1981–2010 sademääriin (Pirinen, ym., 2012). Tampereen seudulla vuoden 2017 kuukausittaiset sademäärät poikkesivat jonkun verran pitkän ajan keskiarvoista: etenkin kesäkuussa, lokakuussa ja joulukuussa sademäärät olivat pitkän ajan keskiarvoa selvästi suurempia ja toukokuussa puolestaan pitkän ajan keskiarvoa pienempiä. Vuoden 2017 vuosisademäärä Tampereella oli 14 % vertailukauden vuosisademäärää suurempi. Santalahden mittausasemalla mitatut vuorokausisademäärät on esitetty raportin lopussa liitekuvassa 25. Ilmanlaadun mittausasemilla käytetty sadeanturi ei kykene mittaamaan lumisadetta, mikä näkyy talvikuukausina selvänä poikkeamana Ilmatieteen laitoksen virallisesta sademäärästä.



Kuva 46. Kuukausisademäärät Tampere-Pirkkalan lentoasemalla vuonna 2017 ja vertailukaudella 1981–2010.

6.3 Säätökijöiden 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 epävakaata, 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 päästölähderyhmä 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. Lumien sulamisvedet, sateet ja pölynsidonta suolaliuoksella hillitsevät keväistä pölyämistä. Sateet alentavat myös muina vuodenaikoina väliaikaisesti ilman epäpuhtauksien pitoisuuksia ja puhdistavat hengitysilmaa.

7 TAUSTATIETOA MITATUISTA ILMAN EPÄPUHTAUKSISTA

7.1 Typen oksidit

Typen yhdisteitä tulee ihmistoiminnoista ilmaan hapettuneessa muodossa typen oksideina eli typpimonoksidina (NO), typpidioksidina (NO₂) ja typpioksiduulina (N₂O) sekä pelkistyneessä muodossa ammoniakkinä (NH₃). Typen oksideilla ja niiden muutuntatuotteilla on suoria kaasuvaikutuksia terveyteen ja kasvillisuuteen. Ne muodostavat osan happamoittavasta ja rehevöittävästä kokonaistyyppilaskeumasta, ilmakemiallisten reaktioiden kautta ne osallistuvat terveys- ja kasvillisuusvaikutuksia aiheuttavan sekä ilmakehän yleistä kemiallista aktiivisuutta lisäävän otsonin ja muiden hapettimien tuotantoon. Typen oksideista ainakin typpioksiduuli on niin sanottu kasvihuonekaasu eli se osaltaan voimistaa kasvihuoneilmiötä.

Typpidioksidi on väriltään punaruskea kaasu, joka toimii vahvana hapettimena. Se ja ammoniakki ovat vesiliukoisia. Taajamien ja kaupunkien korkeimmat typpidioksidin pitoisuudet johtuvat pääasiassa autoliikenteestä, vaikka alueella olisi suuriakin typen oksidien pistepäästölähteitä. Typpidioksidin määrään vaikuttavat myös kemialliset muutuntareaktiot. Typpidioksidin pitoisuus kaupunki-ilmassa on yleensä paljon pienempi kuin typpimonoksidin pitoisuus. Ilmanlaadun ohje- ja raja-arvot on annettu typpidioksidille, joka on terveyshaittojen kannalta tärkein typen oksidi. Myös sen muutuntatuote typpihapoke (HNO₂) saattaa aiheuttaa terveydellistä haittaa.

Ulkoilmassa typen oksideille altistuminen on suurinta erilaisissa liikenneympäristöissä. Muita merkittäviä altistumisympäristöjä ovat sisätilat, joissa käytetään kaasuliesiä ja -lämmittimiä (asunnot, kesämökit ja matkailuajoneuvot) tai ajetaan bensiini- ja nestekaasukäyttöisillä huoltoajoneuvoilla (jäähallit, näyttely- ja varastotilat, työympäristöt).

Hengitystiet ovat ainoa merkityksellinen altistumisreitti typen oksideille. Sisäänhengityksen yhteydessä 80–90 prosenttia typpidioksidista imeytyy hengitysteiden limakalvoilta; lepo hengityksessä merkittävä osa tästä tapahtuu jo ylähengitysteissä. Ruumiillisen rasituksen aikana suuhengitys lisääntyy ja typpidioksidi tunkeutuu syvemmälle alempiin hengitysteihin. Suurin altistuminen tapahtuu keuhkojen ääreisosissa lähellä kaasujenvaihtoaluetta. Typpidioksidi voi pysyä keuhkoissa suhteellisen pitkään joko sellaisenaan tai kemiallisina aineenvaihduntatuotteina. Altistuksen jälkeen verestä ja virtsasta on mitattu nitriittejä ja nitraatteja vastaavia happoja.

Typpidioksidille herkimpiä väestöryhmiä ovat lapset ja astmaatit, joiden hengitysoireita ohjearvotason ylittävät pitoisuudet voivat lisätä suhteellisen nopeasti. Pakkaskaudella tapahtuva typpidioksidipitoisuuden kohoaminen on erityisen haitallista astmaatikoille, koska jo puhtaan kylmän ilman hengittäminen rasituksessa aiheuttaa useimmille astmaatikoille keuhkoputkien supistusta ja typpidioksidi pahentaa tästä aiheutuvia oireita kuten hengenahdistusta, yskää ja limannousua.

Typenoksidipitoisuuden (kokonais-NO_x) tuntikeskiarvojen maksimit kohoavat maamme suurimpien kaupunkien vilkkaasti liikennöidyissä katukuiluissa ajoittain jopa yli 1000–1500 µg/m³:aan. Suurempien taajamien typen oksidien ilmakemialle on ominaista, että otsoni kuluu loppuun muutuntareaktioissa. Tällöin typpidioksidin muodostuminen hidastuu, vaikka ilmassa olisi vielä runsaasti typpimonoksidia. Maamme kaupungeissa esiintyy ajoittain meteorologisia erityistilanteita eli ns. inversiotilanteita, joiden aikana on

lähes tyyntä ja sekoittumiskerros on hyvin matala. Tällöin päästöjen sekoittuminen ja laimeneminen on heikkoa ja muun muassa autoliikenteen päästöjen aiheuttamat pitoisuudet kohoavat epätavallisen korkeiksi.

Typpidioksidin vuosikeskiarvopitoisuudet ovat suurissa kaupungeissa keskimäärin 20–30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Vilkkaimmilla teillä ja katukuiluosuuksilla pitoisuudet voivat olla lähellä vuosiraja-arvoa 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Pienissä ja keskisuurissa kaupungeissa typpidioksidin vuosikeskiarvot ovat yleensä noin 10–20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Komppula, ym., 2014). Typpidioksidin tuntipitoisuudet kohoavat yli raja-arvotason (200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) suurimpien kaupunkien vilkkaasti liikennöidyillä keskusta-alueilla muutamia kertoja vuodessa (Ilmatieteen laitos, 2018). Ylitystunteja saa olla vuodessa 18 kpl, ennen kuin raja-arvo katsotaan ylittyneeksi.

Ilmatieteen laitos on mitannut Suomen puhtaiden tausta-alueiden typpidioksidipitoisuuksia 1980-luvun loppuvuosista lähtien. Viiden viime vuoden aikana vuosikeskiarvot ovat olleet eteläisemmillä asemilla (Utö, Virolahti, Ähtäri) noin 2–6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ja pohjoisemmillä asemilla (Oulanka, Sammaltunturi) noin 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Tampereen lähellä Juupajoella sijaitsevalla Helsingin yliopiston Hyytiälän SMEAR-tutkimusasemalla typpidioksidin vuosikeskiarvopitoisuus on ollut noin 1–3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. (SMEAR II, 2018).

7.2 Hiukkaset

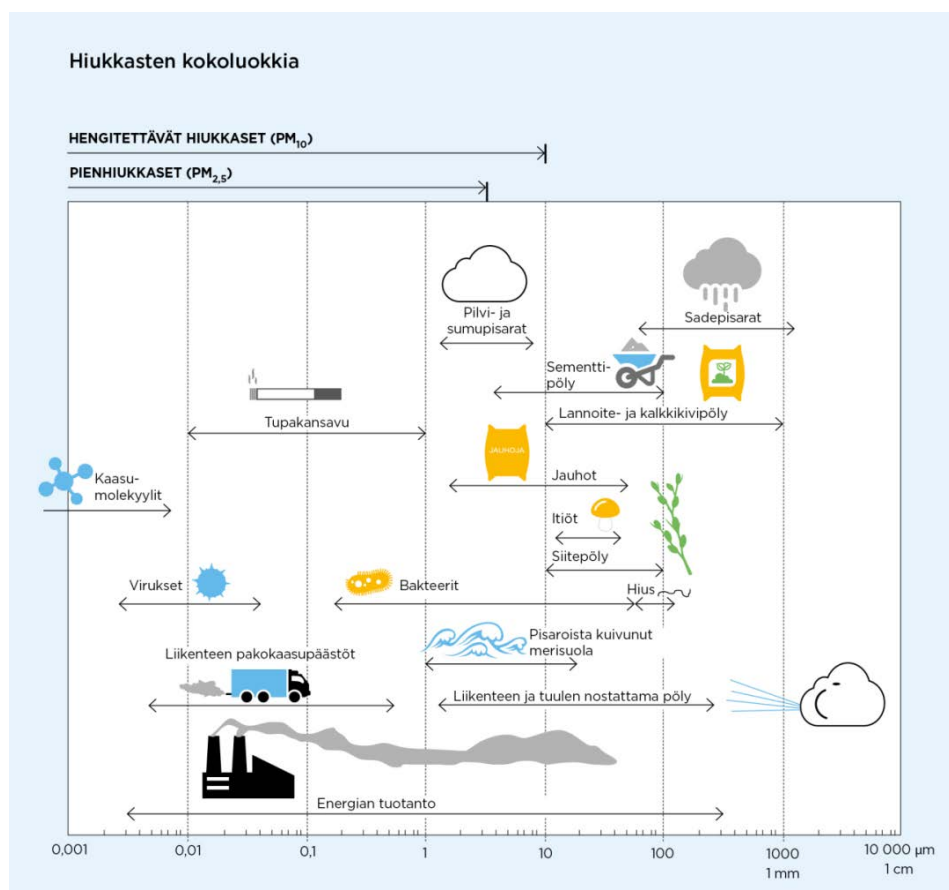
Hiukkaset ovat nykyisin typen oksidien ja selluntuotantopaikkakuntien haisevien rikkiyhdisteiden ohella merkittävin ilmanlaatuun vaikuttava tekijä maamme taajamissa. Hiukkaset ovat taajamissa peräisin suurelta osin liikenteen nostattamasta katupölystä eli epäsuorista päästöistä (ns. resuspensio). Hiukkaspitoisuuksia kohottavat myös suorat päästöt, jotka ovat peräisin energiantuotannon ja teollisuuden prosesseista, kiinteistökohtaisesta lämmityksestä sekä autojen pakokaasuista. Suorat hiukkaspäästöt ovat pääasiassa pienhiukkasia, joiden massa on varsin pieni ja lukumäärä suuri. Myös kaasumaisista yhdisteistä muodostuu ilmakehässä hiukkasia. Hiukkasiin on sitoutunut erilaisia haitallisia yhdisteitä kuten hiilivetyjä ja metalleja. Liikenteen pakokaasuhiukkaset ovat suurelta osin peräisin dieselajoneuvoista. Näiden hiukkasten haitallisuutta kuvaa se, että niiden on arvioitu sekä ulko- että kotimaisissa terveysvaikutustutkimuksissa lisäävän syöpäriskiä ihmisissä.

Ulkoilman hiukkasten koko on eri tavoin yhteydessä niiden terveysvaikutuksiin. Kokonaisleijumalla tarkoitetaan pölyä, johon saattaa sisältyä kooltaan varsin suuriakin, halkaisijaltaan jopa kymmenien mikrometrien hiukkasia. Tällaisten hiukkasten korkeat pitoisuudet vaikuttavat merkittävimmin viihtyvyyteen ja aiheuttavat likaantumista varsinkin keväisin, kun hiekoitushiekasta peräisin oleva katupöly nousee ilmaan. Suurin osa kokonaisleijuman hiukkasista on niin isoja, että ne jäävät ihmisten ylähengitysteihin ja poistuvat terveillä henkilöillä melko tehokkaasti elimistöstä. Kokonaisleijumasta käytetään lyhennettä TSP, joka tulee sanoista Total Suspended Particles.

Terveysvaikutuksiltaan em. haitallisempia ovat ns. hengitettävät hiukkaset ja pienhiukkaset, jotka kykenevät tunkeutumaan syvälle ihmisten hengitysteihin: hengitettävät hiukkaset alempiin hengitysteihin eli henkitorveen ja keuhkoputkiin asti ja pienhiukkaset keuhkorakkuloihin saakka. Hengitettävälle hiukkasille, joiden aerodynaaminen halkaisija on alle 10 mikrometriä, on annettu kotimaiset ohje- ja raja-arvot. Halkaisijaltaan alle 2,5 mikrometrin kokoisten pienhiukkasten

vuosikeskiarvopitoisuudelle on annettu raja-arvo (*Vna 79/2017*). Hengitettävistä ja pienhiukkasista käytetään lyhenteitä PM_{10} ja $PM_{2,5}$ ($PM = \text{Particulate Matter}$).

Taajama-alueilla alle 0,1 mikrometrin kokoiset hiukkaset ovat pääosin mittauspaikan lähistöllä tapahtuvista polttoprosesseista peräisin olevaa materiaalia, esimerkiksi liikenteestä ja energiantuotannosta tulleita hiiliyhdisteitä. Kokoluokassa 0,1–1 mikrometriä hiukkaset ovat pääasiassa kaukokulkeutunutta ainesta. Nämä hiukkaset edustavat suoria hiukkaspäästöjä tai ovat syntyneet kaasuhiukkasmuuntuman seurauksena. Halkaisijaltaan yli 1 mikrometrin kokoiset hiukkaset ovat yleensä mekaanisesti syntyneitä. Ne ovat esimerkiksi nousseet maasta ilmaan tuulen tai liikenteen nostattamana. Nämä hiukkaset koostuvat lähinnä maa-aineksesta, meriaerosoleista ja orgaanisesta materiaalista, kuten kasvien osista ja siitepölyistä sekä niiden pinnalle kiinnittyneistä hiukkasista. Hiukkasten kokoluokkia on havainnollistettu kuvassa 47.



Kuva 47. Hiukkasten kokoluokkia. Hiukkasten koko ilmaistaan halkaisijana mikrometreissä (μm). Mikro (μ) etuliite tarkoittaa miljoonasosaa. 1 μm on siten metrin miljoonasosa eli millimetrin tuhannesosa.

Palamisprosesseista peräisin olevat hiukkaset saattavat olla rikastuneita jonkun tietyn alkuaineen tai muun merkkiaineen suhteen. Esimerkiksi vanadiinia ja nikkeliä tulee ilmakehään öljynpoltosta, kaliumia orgaanisen materiaalin poltosta ja arseenia, molybdeeniä, seleeniä sekä rikkiä hiilen poltosta. Poltto- ja teollisuusprosesseista peräisin olevat hiukkaset sisältävät useita terveydelle haitallisia alkuaineita, kuten

arseeni, kadmium, nikkeli ja lyijy. Näitä aineita voi myös rikastua maaperään, jolloin niitä löytyy maasta takaisin ilmaan nousseista hiukkasista. Tyypillisiä maaperästä tulevia alkuaineita ovat alumiini, barium, kalsium, rauta, rubidium, pii, strontium sekä titaani, jotka esiintyvät enimmäkseen isoissa hiukkasissa.

Hiukkasista aiheutuvat merkittävimmät terveyshaitat lapsille, vanhuksille sekä astmaa, pitkäaikaista keuhkoputkentulehdusta ja sydäntauteja sairastaville. Hiukkaspitoisuuden kohoaminen lisää astma-kohtauksia ja hengitystietulehduksia sekä heikentää keuhkojen toimintakykyä. Ulko- ja kotimaisissa terveysvaikutustutkimuksissa on lisäksi todettu, että hiukkaspitoisuuden kohotessa myös kuolleisuus ja sairaalahoitotarpeen määrä saattavat lisääntyä. Pitkäaikaisella liiallisella keuhkojen hiukkaskuormituksella voi olla yhteys keuhkosyövän syntyyn. Tähän voivat olla syynä itse hiukkasaltistuksen lisäksi useat hiukkasten sisältämät haitalliset aineet.

Suomen taajamien hiukkaspitoisuudet kohoavat yleensä voimakkaasti keväällä maaliskuuhuhtikuussa tuulen ja liikenteen nostaman katupölyn vaikutuksesta maanpinnan kuivuessa, mutta pitoisuuksien kohoamista esiintyy taajamissa usein myös syysmarraskuussa talvirengaskauden alussa. Pienten hiukkasten pitoisuuksien kohoamiseen vaikuttaa ajoittain merkittävästi myös ulkomailta peräisin oleva kaukokulkeuma. Suurimmat hiukkaspitoisuudet esiintyvät vilkkaasti liikennöidyissä kaupunkikeskustoissa. Maamme suurimpien kaupunkien keskusta-alueilla on mitattu n. 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$:n hengitettävien hiukkasten (PM_{10}) pitoisuuden vuosikeskiarvoja. Pienempienkin kaupunkien keskusta-alueilla hengitettävien hiukkasten pitoisuuden vuosikeskiarvot voivat ylittää 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Kaupunkien keskustojen ulkopuolella pitoisuudet ovat olleet yli 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ vuosikeskiarvoina (*Komppula ym., 2014*).

Korkeimmat mitatut hengitettävien hiukkasten vuorokausipitoisuudet ovat olleet useiden maamme kaupunkien keskustojen liikenneympäristöissä yli 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ja esikaupunkialueillakin yli 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Hengitettävien hiukkasten vuorokausipitoisuudelle annettua raja-arvoa (50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, sallittu 35 ylitystä/vuosi) ei kuitenkaan ole tähän mennessä mittaustulosten mukaan ylitetty Suomessa kuin Helsingin Runeberginkadulla vuonna 2003, Helsingin Mannerheimintien ja Hämeentien mittausasemilla ja Riihimäen keskustassa Hämeenkadulla vuonna 2005 sekä Helsingin Mannerheimintiellä ja Töölöntullissa vuonna 2006. Sen sijaan vuorokausipitoisuuden raja-arvon numeroarvo eli raja-arvoa vastaava pitoisuustaso, 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, ylittyy vuosittain yleisesti maamme kaupungeissa lähinnä keväisin. Tampereen kaupungin ilmanlaadun mittausasemilla raja-arvotason ylityksiä oli 6–7 kappaletta per asema vuonna 2017. Sallittujen ylitysten määrä on 35 kappaletta kalenterivuoden aikana.

Ilmatieteen laitos on seurannut hengitettävien hiukkasten pitoisuuksia puhtailla tausta-alueilla Virolahdella, Raja-Joosepissa ja Pallaksen alueella. Viime vuosina vuosikeskiarvopitoisuudet ovat olleet Virolahdella noin 9–12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Raja-Joosepissa noin 4–6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ja Pallaksella noin 3–4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Pienhiukkasten pitoisuuksia on seurattu Virolahdella, Utössä ja Pallaksen alueella. Pienhiukkasten vuosikeskiarvopitoisuudet ovat olleet Virolahdella noin 5–9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Utössä noin 3–6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ja Pallaksen alueella noin 2–4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (*Ilmatieteen laitos, 2018*). Tampereen lähellä Juupajoella sijaitsevalla Helsingin yliopiston Hyytiälän SMEAR-tutkimusasemalla hengitettävien hiukkasten vuosikeskiarvopitoisuus on noin 6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ja pienhiukkasten vuosikeskiarvopitoisuus on noin 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (*SMEAR II, 2018*).

7.3 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 5).

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 6).

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.

Ylemmällä arviointikynnyksellä tarkoitetaan ilman epäpuhtauden pitoisuutta, jota korkeammassa 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 suuntaa-antavia mittauksia, mallintamistekniikoita, päästökartoituksia tai muita vastaavia menetelmiä. 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*).

Taulukko 5 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 6. 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.

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 eikä se ole osa Suomen ilmansuojelulainsäädäntöä.

VIITELUETTELO

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

Ilmatieteen laitos, 2018. Ilmatieteen laitoksen ylläpitämä palvelu, josta on saatavilla mittaustiedot ja historiatietoja pitoisuuksista lähes kaikilta Suomen ilmanlaadun seuranta- asemilta: <http://ilmatieteenlaitos.fi/ilmanlaatu>

Komppula, B., Anttila, P., Vestenius, M., Salmi, T. ja Lovén, K., 2014. Ilmanlaadun seurantaraportin arviointi. Ilmatieteen laitos, Asiantuntijapalvelut, Ilmanlaatu ja energia.

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.

Saari, H., Komppula, B., Pesonen, R. ja Lovén, K., 2014. Valtatie 12 Tampereen tunneli, Ilmanlaadun seuranta, Mittaustulokset vuodelta 2013. Ilmatieteen laitos, Asiantuntijapalvelut, Ilmanlaatu ja energia.

Saari, H., Komppula, B., Pesonen, R. ja Lovén, K., 2015. Valtatie 12 Tampereen tunneli, Ilmanlaadun seuranta, Mittaustulokset vuodelta 2014. Ilmatieteen laitos, Asiantuntijapalvelut, Ilmanlaatu ja energia.

Saari, H., Komppula, B. 2016. Valtatie 12 Tampereen tunneli, Ilmanlaadun seuranta, Mittaustulokset vuodelta 2015. Asiantuntijapalvelut - Ilmanlaatu ja energia.

Salmi, J. ja Saari, H., 2017. Valtatie 12, Tampereen tunnelin ilmanlaadun seuranta, Mittaustulokset vuodelta 2016. Asiantuntijapalvelut - Ilmanlaatu ja Energia.

SMEAR II, 2018. PM₁₀ ja NO₂ tulokset Hyytiälän tausta-asemalta vuodelta 2017. SMEAR II, Hyytiälän metsäasema, Fysiikan laitos ja Metsätieteiden laitos, Helsingin yliopisto.

Tampereen kaupunki, 2017. Tampereen ilmanlaadun mittaustulokset, loka-joulukuu. Neljännesvuosiraportti 4/2016. Tampereen kaupunki, viranomaispalvelut, ympäristönsuojelu.

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., Hillamo, R., Aurela, M., Mäkelä, T. ja Laurila, S., 2010. Demonstration of the Equivalence of PM_{2.5} and PM₁₀. Measurement Methods in Helsinki 2007–2008. Tutkimuksia 2010:3. Ilmatieteen laitos, Helsinki.

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

LIITETAULUKOT

Liitetaulukko 1. Naistenlahdessa mitatut typpimonoksidin (NO) pitoisuudet vuonna 2017.

NO	2017											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
TUNTIARVOJEN												
lukumäärä	744	672	740	720	744	720	741	744	715	744	720	744
kattavuus (%)	100	100	99.5	100	100	100	99.6	100	99.3	100	100	100
keskiarvo (µg/m ³)	5.7	6.2	2.1	2.8	3.0	2.9	2.4	2.6	3.7	4.4	2.6	2.0
99. %-piste (µg/m ³)	87.7	59.9	13.1	20.7	23.9	18.1	18.2	21.4	30.8	63.5	15.6	10.8
korkein arvo (µg/m ³)	172	127	29.4	41.1	55.9	68.6	33.9	44.1	54.0	112	77.1	45.2
VRK-ARVOJEN												
lukumäärä	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
2. korkein arvo (µg/m ³)	21.9	22.9	4.1	7.1	8.1	6.0	5.3	6.3	10.2	16.9	4.9	4.1
korkein arvo (µg/m ³)	42.4	24.7	4.2	8.6	10.0	8.2	5.7	6.6	10.7	29.4	11.0	6.6

Liitetaulukko 2. Naistenlahdessa mitatut typpidioksidin (NO₂) pitoisuudet vuonna 2017.

NO ₂	2017											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
TUNTIARVOJEN												
lukumäärä	744	672	740	720	744	720	741	744	715	744	720	743
kattavuus (%)	100	100	99.5	100	100	100	99.6	100	99.3	100	100	99.9
keskiarvo (µg/m ³)	15,8	19,0	11,8	10,8	9,2	8,9	6,9	9,6	8,9	10,3	13,0	11,5
99. %-piste (µg/m ³)	66,3	77,7	38,8	47,6	44,0	34,1	24,7	32,9	29,0	38,5	42,5	34,5
korkein arvo (µg/m ³)	102	95,5	56,6	62,4	61,2	46,2	34,2	43,0	36,6	54,1	85,3	53,6
VRK-ARVOJEN												
lukumäärä	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
2. korkein arvo (µg/m ³)	30,0	36,4	17,7	19,5	17,7	16,6	12,3	17,6	13,4	20,5	21,4	20,3
korkein arvo (µg/m ³)	46,4	40,2	17,9	21,3	20,7	21,0	12,4	17,7	17,7	26,2	30,6	22,7

Liitetaulukko 3. Naistenlahdessa mitatut typen oksidien (NO_x) pitoisuudet vuonna 2017.

NO _x	2017											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
TUNTIARVOJEN												
lukumäärä	744	672	740	720	744	720	741	744	715	744	720	744
kattavuus (%)	100	100	99.5	100	100	100	99.6	100	99.3	100	100	100
keskiarvo (µg/m ³)	24.5	28.4	15.0	15.2	13.8	13.3	10.6	13.6	14.5	17.1	17.0	14.5
99. %-piste (µg/m ³)	198	176	57.3	70.6	70.8	60.5	44.7	60.4	71.4	132	60.2	49.9
korkein arvo (µg/m ³)	365	268	88.4	119	145	151	73.6	108	112	225	203	88
VRK-ARVOJEN												
lukumäärä	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
2. korkein arvo (µg/m ³)	60.1	74.2	22.2	29.5	29.5	27.0	18.1	24.6	25.1	46.4	26.0	25.7
korkein arvo (µg/m ³)	111	75.2	23.2	34.5	36.1	30.2	20.6	24.9	28.4	71.2	47.5	28.5

Liitetaulukko 4. Naistenlahdessa mitatut hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) pitoisuudet vuonna 2017.

PM ₁₀	2017											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
TUNTIARVOJEN												
lukumäärä	743	672	742	720	744	719	732	542	608	744	720	744
kattavuus (%)	99.9	100	99.7	100	100	99.9	98.4	72.8	84.4	100	100	100
keskiarvo (µg/m ³)	9.2	12.4	14.6	17.0	13.7	11.2	11.9		8.6	6.2	6.0	4.8
99. %-piste (µg/m ³)	53.4	75.6	68.1	78.8	44.8	36.7	61.2		24.6	19.6	21.4	15.5
korkein arvo (µg/m ³)	62.1	203	88.9	134	89.6	60.9	75.6	56.5	27.2	48.1	24.4	29.6
VRK-ARVOJEN												
lukumäärä	31	28	31	30	31	30	30	20	25	31	30	31
2. korkein arvo (µg/m ³)	23.9	27.9	34.4	43.0	22.7	18.9	32.0	19.7	19.4	12.5	11.4	9.6
korkein arvo (µg/m ³)	30.9	58.6	34.5	46.0	32.9	19.6	35.6	20.7	19.9	13.6	16.6	10.6

Liitetaulukko 5. Naistenlahdessa mitatut pienhiukkasten (PM_{2,5}) pitoisuudet vuonna 2017.

PM _{2,5}	2017											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
TUNTIARVOJEN												
lukumäärä	743	672	742	696	744	719	743	744	719	721	720	744
kattavuus (%)	99.9	100	99.7	96.7	100	99.9	99.9	100	99.9	96.9	100	100
keskiarvo (µg/m ³)	6.4	6.7	4.5	5.5	4.8	5.8	5.7	6.2	5.3	3.7	4.1	3.8
99. %-piste (µg/m ³)	46.3	29.9	16.7	27.6	15.7	22.9	14.5	18.5	18.7	12.8	17.8	11.0
korkein arvo (µg/m ³)	61.7	41.5	20.6	35.2	22.0	26.8	18.2	32.0	32.6	36.8	19.9	17.1
VRK-ARVOJEN												
lukumäärä	31	28	31	29	31	30	31	31	30	29	30	31
2. korkein arvo (µg/m ³)	18.9	17.0	10.7	9.5	7.4	11.3	8.9	11.6	13.6	8.6	8.2	6.8
korkein arvo (µg/m ³)	28.6	24.4	11.2	17.1	10.9	13.4	9.1	12.1	13.7	9.3	11.0	9.7

Liitetaulukko 6. Santalahdessa mitatut typpimonoksidin (NO) pitoisuudet vuonna 2017.

NO	2017											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
TUNTIARVOJEN												
lukumäärä	744	672	739	720	744	720	742	744	718	740	714	741
kattavuus (%)	100	100	99.3	100	100	100	99.7	100	99.7	99.5	99.2	99.6
keskiarvo (µg/m ³)	3.1	4.7	2.2	2.2	1.4	3.0	3.0	3.6	5.3	6.8	4.9	3.3
99. %-piste (µg/m ³)	28.5	51.7	14.3	18.2	11.7	29.3	38.0	22.5	44.8	89.5	39.6	19.9
korkein arvo (µg/m ³)	57.4	119	32.2	71.0	23.9	64.0	127	159	99.5	122	173	27.5
VRK-ARVOJEN												
lukumäärä	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
2. korkein arvo (µg/m ³)	8.5	18.7	5.1	7.3	3.8	6.5	7.1	6.7	14.8	21.3	11.7	6.7
korkein arvo (µg/m ³)	14.5	22.2	8.0	7.5	5.2	7.6	7.8	12.9	15.6	32.3	20.6	10.7

Liitetaulukko 7. Santalahdessa mitatut typpidioksidin (NO₂) pitoisuudet vuonna 2017.

NO ₂	2017											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
TUNTIARVOJEN												
lukumäärä	744	672	739	718	740	717	737	739	713	735	714	741
kattavuus (%)	100	100	99.3	99.7	99.5	99.6	99.1	99.3	99	98.8	99.2	99.6
keskiarvo (µg/m ³)	11.3	14.7	9.3	7.3	5.0	7.0	6.0	7.9	8.7	11.4	11.9	11.6
99. %-piste (µg/m ³)	49.2	71.8	42.1	41.1	28.6	33.5	30.5	36.7	37.0	56.2	56.1	42.7
korkein arvo (µg/m ³)	63.3	103	77.8	58.2	42.2	43.0	42.4	80.2	58.3	67.1	81.0	51.2
VRK-ARVOJEN												
lukumäärä	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
2. korkein arvo (µg/m ³)	23.8	33.0	16.6	14.4	10.8	13.5	11.0	14.8	20.1	22.6	28.3	24.9
korkein arvo (µg/m ³)	25.8	41.2	20.8	17.5	16.4	19.0	11.3	16.8	23.3	26.8	32.3	25.0

Liitetaulukko 8. Santalahdessa mitatut typen oksidien (NO_x) pitoisuudet vuonna 2017.

NO _x	2017											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
TUNTIARVOJEN												
lukumäärä	744	672	739	720	744	720	742	744	718	740	714	741
kattavuus (%)	100	100	99.3	100	100	100	99.7	100	99.7	99.5	99.2	99.6
keskiarvo (µg/m ³)	16.1	21.9	12.7	10.6	7.0	11.6	10.6	13.3	16.8	21.6	19.5	16.7
99. %-piste (µg/m ³)	87.5	141	62.7	63.7	42.9	70.4	66.7	63.2	98.6	181	110	74.6
korkein arvo (µg/m ³)	149	277	127	141	58.5	135	236	323	191	242	335	89
VRK-ARVOJEN												
lukumäärä	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
2. korkein arvo (µg/m ³)	34.4	58.8	24.1	20.6	16.5	23.4	18.2	26.6	38.5	55.2	47.9	35.1
korkein arvo (µg/m ³)	48.1	75.1	33.0	28.9	24.4	28.1	21.9	34.0	47.1	76.3	59.8	41.4

Liitetaulukko 9. Santalahdessa mitatut hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) pitoisuudet vuonna 2017.

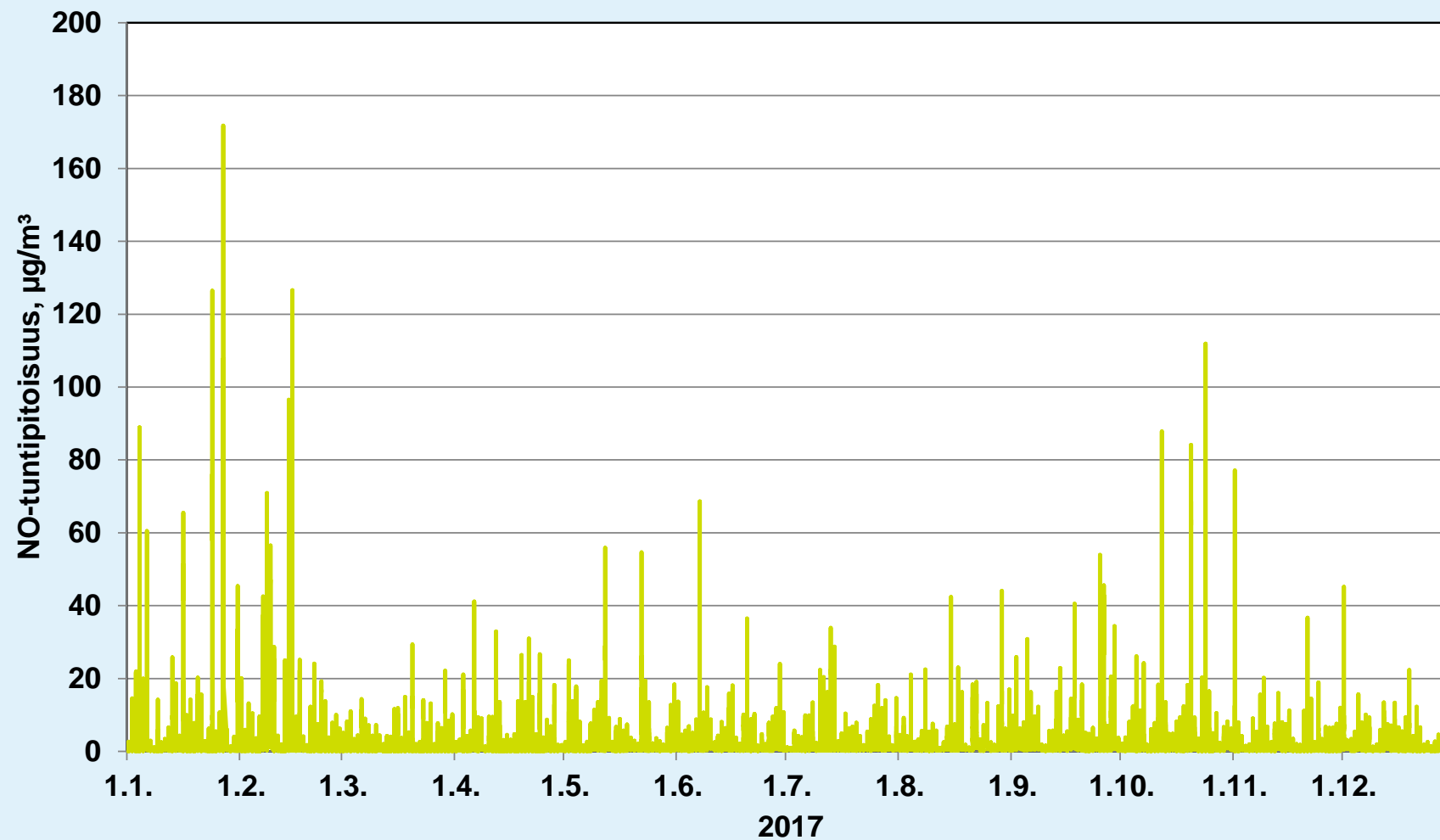
PM ₁₀	2017											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
TUNTIARVOJEN												
lukumäärä	743	672	742	720	685	687	743	744	719	740	720	744
kattavuus (%)	99.9	100	99.7	100	92.1	95.4	99.9	100	99.9	99.5	100	100
keskiarvo (µg/m ³)	7.3	10.9	11.9	10.7	9.4	12.1	9.9	9.5	8.0	6.0	6.2	4.9
99. %-piste (µg/m ³)	46.6	79.0	55.6	67.8	84.0	46.1	49.6	27.6	28.3	19.5	20.4	18.5
korkein arvo (µg/m ³)	58.7	248	151	93.2	192	64.8	125	40.9	37.9	33.0	41.1	67.9
VRK-ARVOJEN												
lukumäärä	31	28	31	30	26	28	31	31	30	31	30	31
2. korkein arvo (µg/m ³)	20.9	25.6	22.4	28.2	32.8	24.9	21.5	18.6	21.0	11.3	12.5	10.1
korkein arvo (µg/m ³)	27.5	55.7	43.7	33.2	42.9	35.0	22.1	20.1	22.4	11.6	16.8	11.3

Liitetaulukko 10. Santalahdessa mitatut pienhiukkasten (PM_{2,5}) pitoisuudet vuonna 2017.

PM _{2,5}	2017											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
TUNTIARVOJEN												
lukumäärä	743	672	743	720	744	719	743	744	719	740	718	744
kattavuus (%)	99.9	100	99.9	100	100	99.9	99.9	100	99.9	99.5	99.7	100
keskiarvo (µg/m ³)	6.3	7.1	4.8	4.8	3.5	5.8	6.0	6.1	6.0	3.6	4.8	3.8
99. %-piste (µg/m ³)	46.7	30.6	13.7	25.2	20.1	18.4	14.6	18.8	23.3	13.9	19.7	13.9
korkein arvo (µg/m ³)	61.2	85.6	19.7	38.7	44.8	31.8	24.8	25.8	31.5	17.2	23.4	69.5
VRK-ARVOJEN												
lukumäärä	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
2. korkein arvo (µg/m ³)	20.8	20.4	8.8	8.1	8.2	12.1	10.0	12.0	15.8	9.6	9.1	7.7
korkein arvo (µg/m ³)	28.6	25.2	10.4	17.7	14.5	13.1	10.2	12.8	16.8	10.1	14.1	9.5

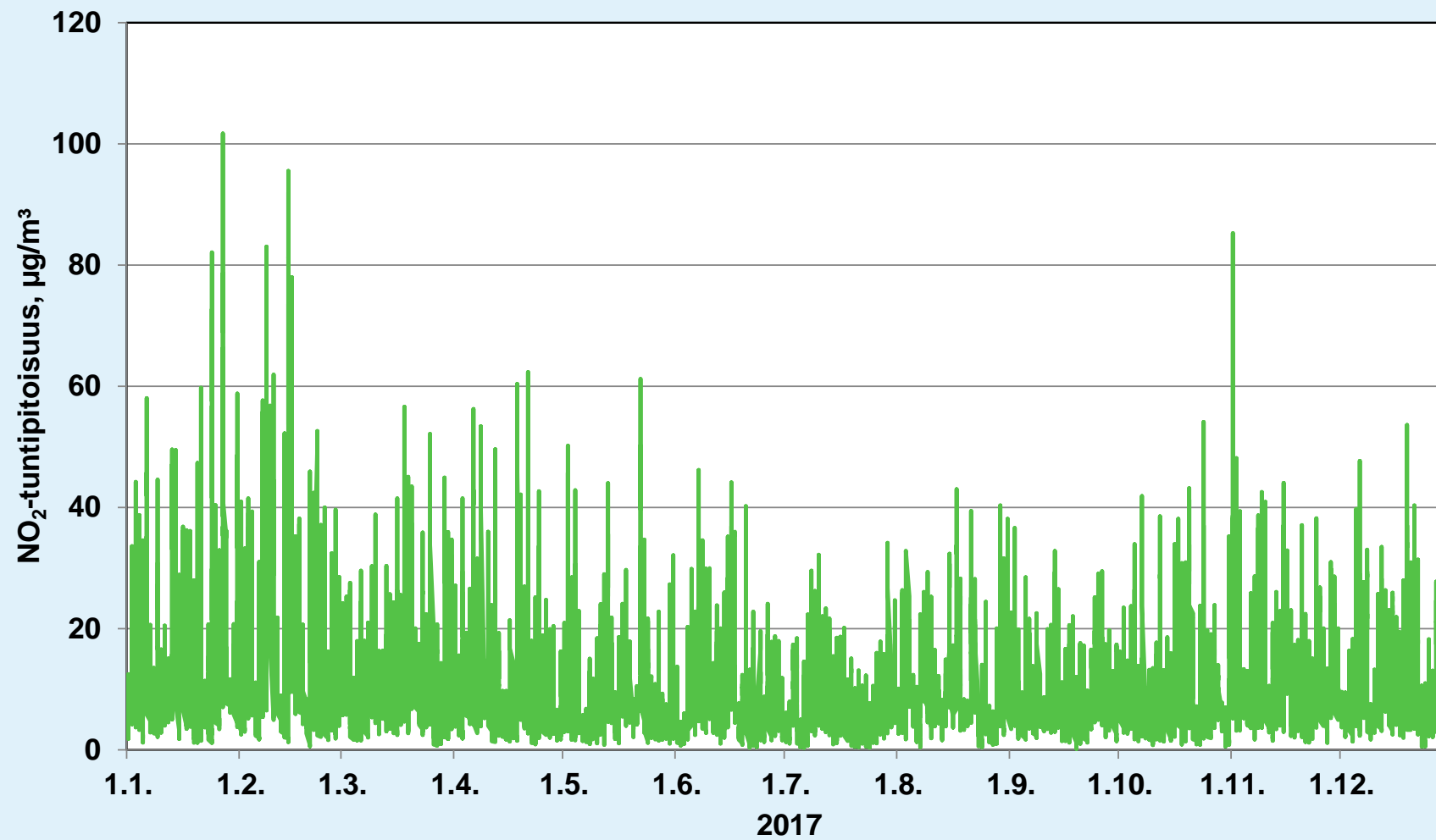
LIITEKUVAT

Naistenlahti

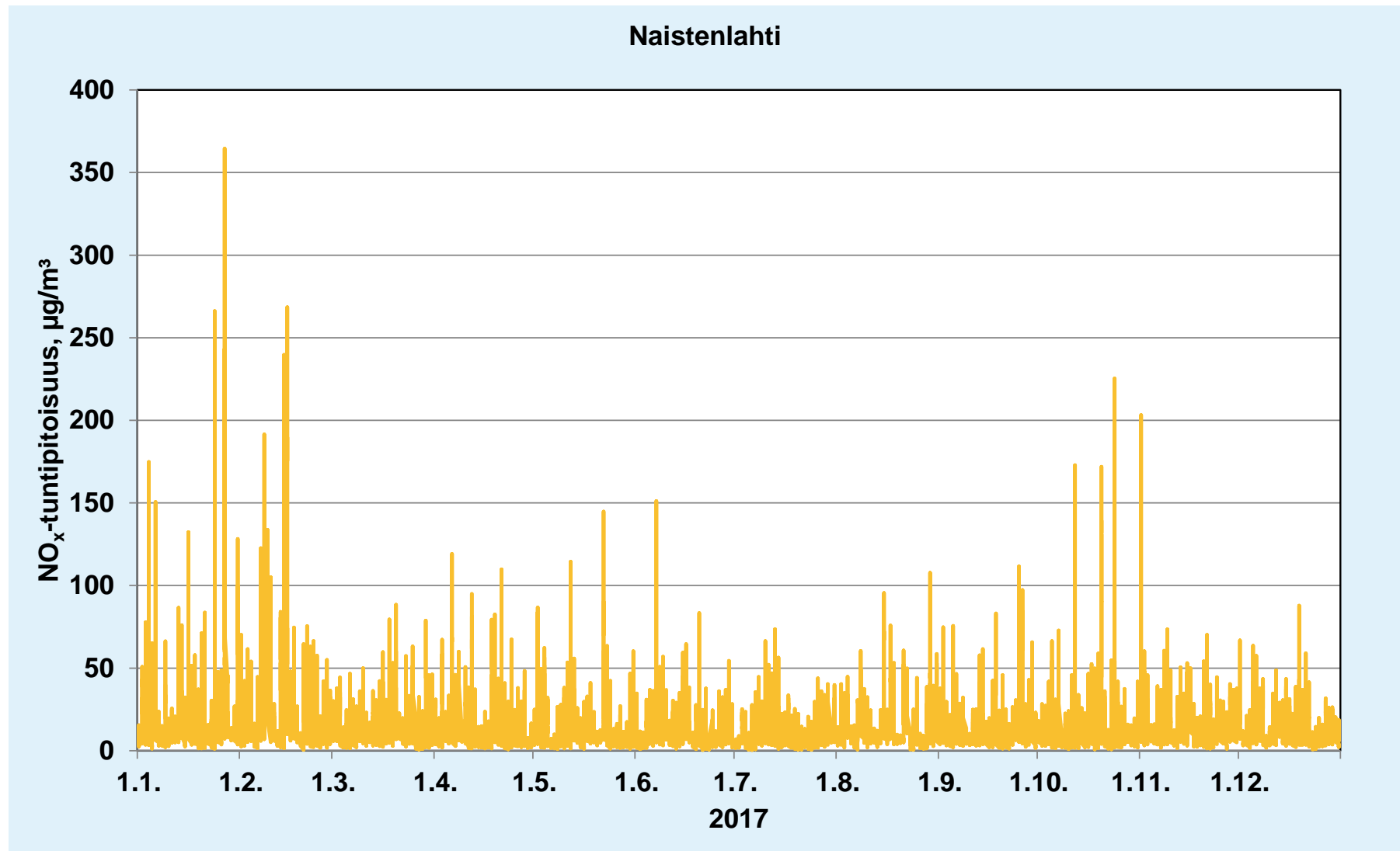


Liitekuva 1. Typpimonoksidin (NO) tuntipitoisuudet Naistenlahdessa 1.1.–31.12.2017.

Naistenlahti

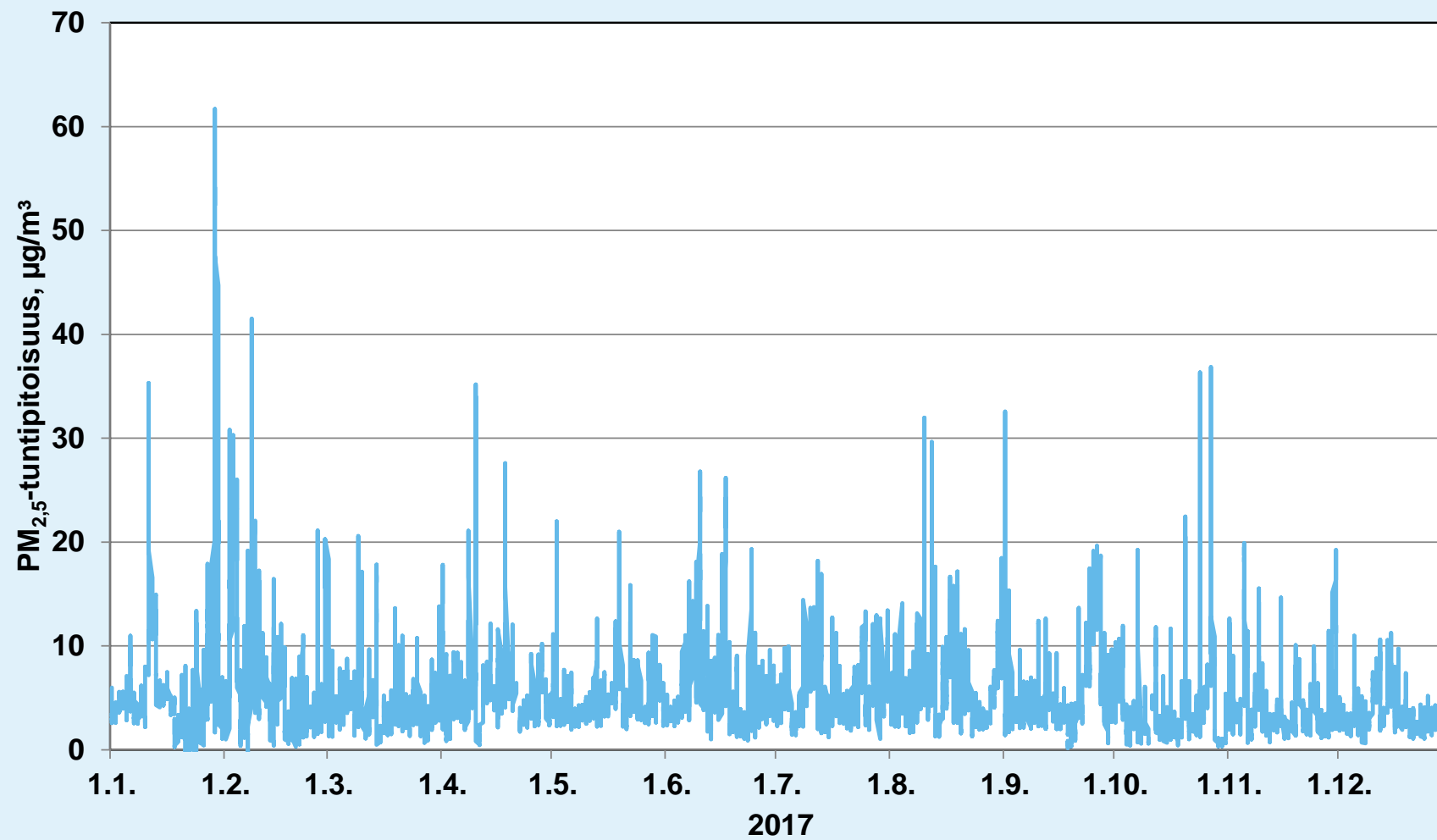


Liitekuva 2. Typpidioksidin (NO₂) tuntipitoisuudet Naistenlahdessa 1.1.–31.12.2017.

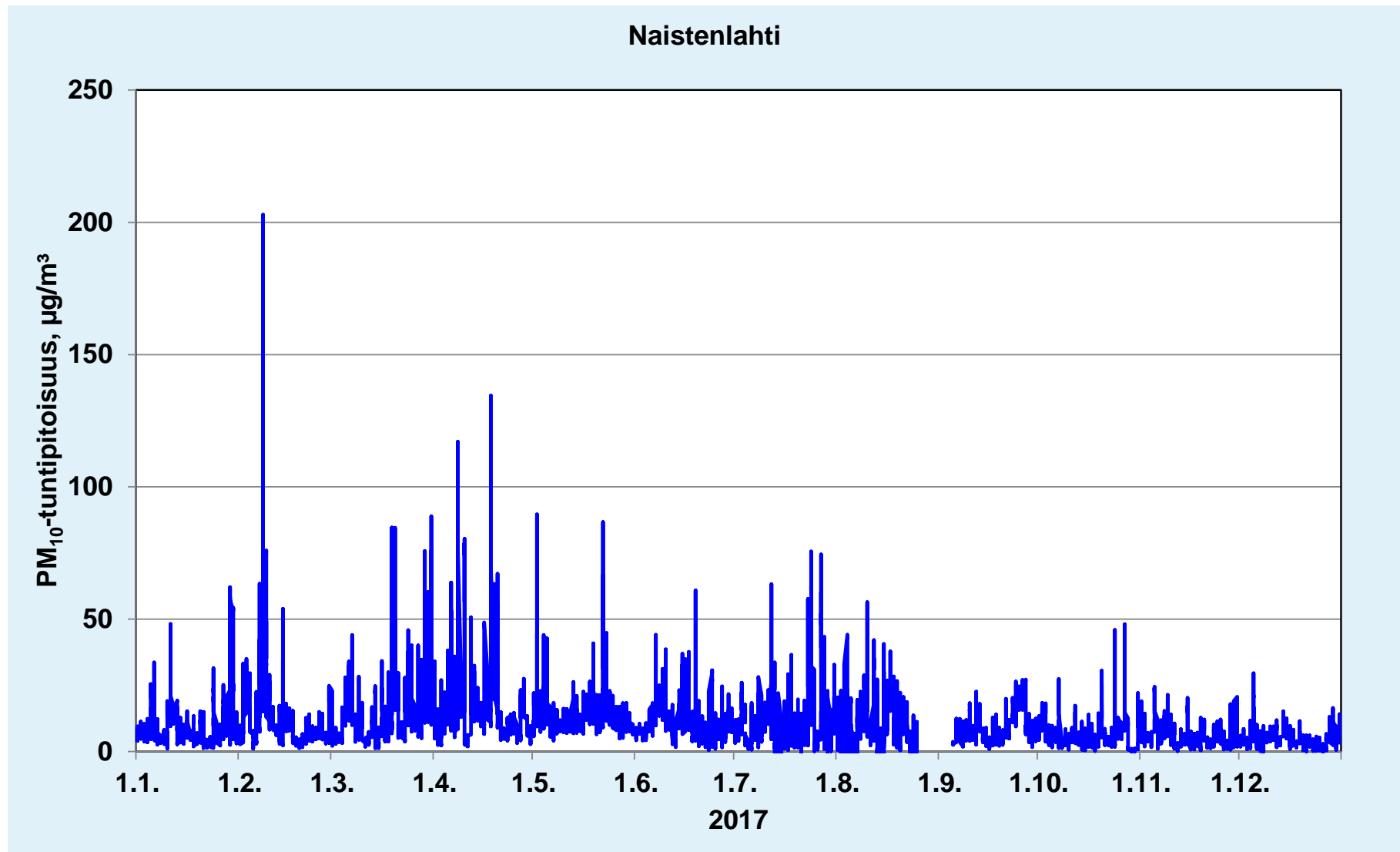


Liitekuva 3. Typen oksidien (NO_x) tuntipitoisuudet Naistenlahdessa 1.1.–31.12.2017.

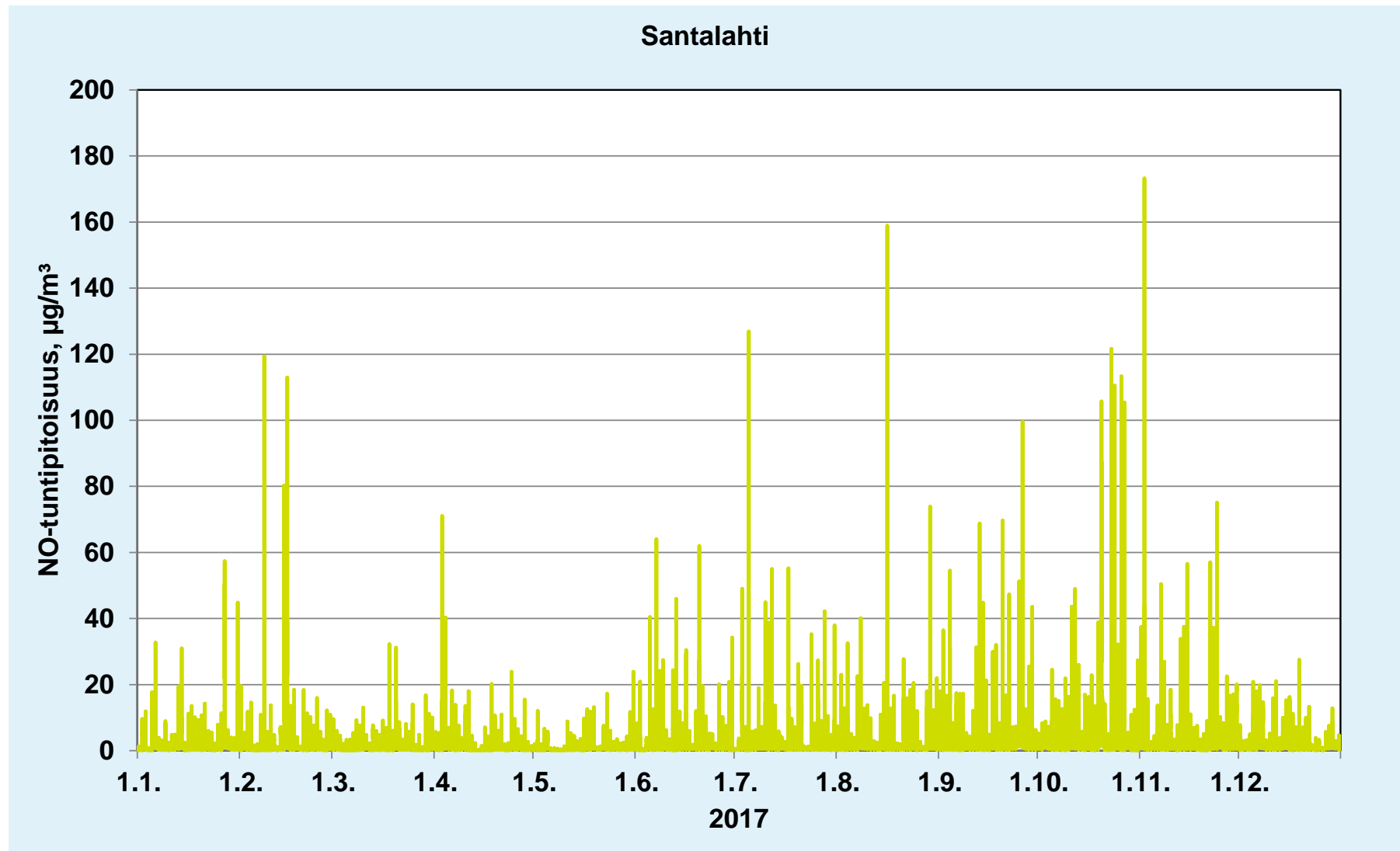
Naistenlahti



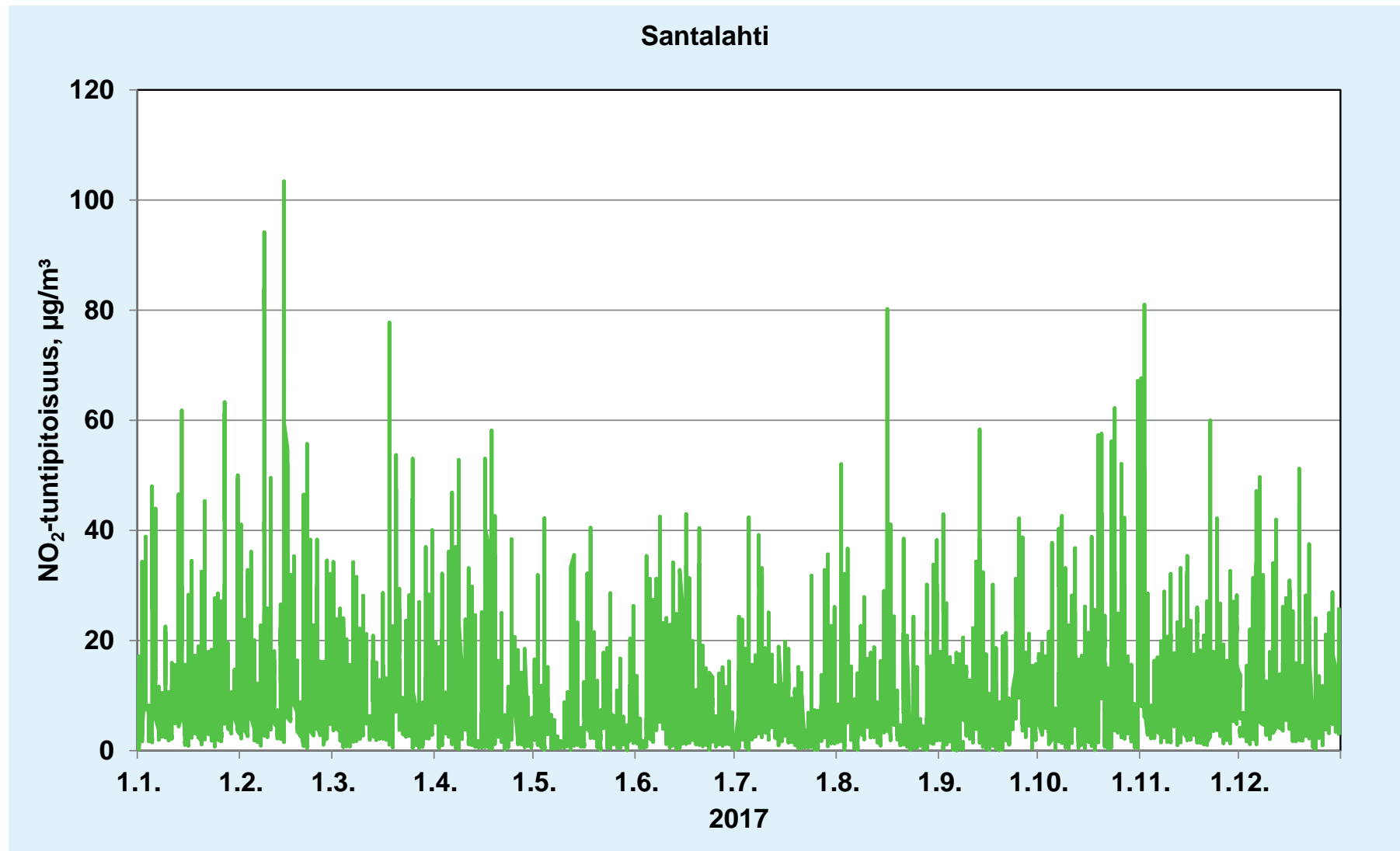
Liitekuva 4. Pienhiukkasten (PM_{2.5}) tuntipitoisuudet Naistenlahdessa 1.1.–31.12.2017.



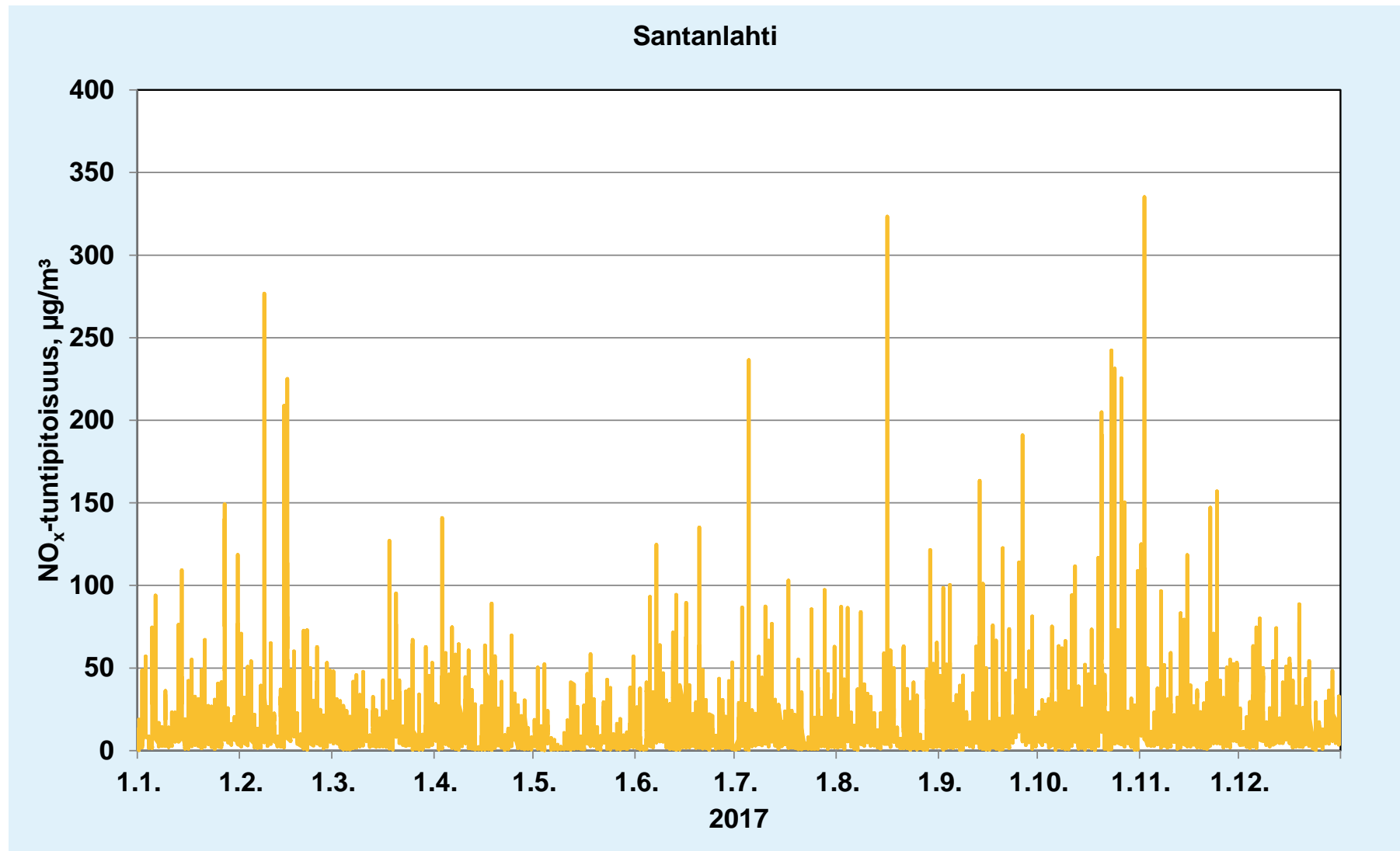
Liitekuva 5. Hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) tuntipitoisuudet Naistenlahdessa 1.1.–31.12.2017.



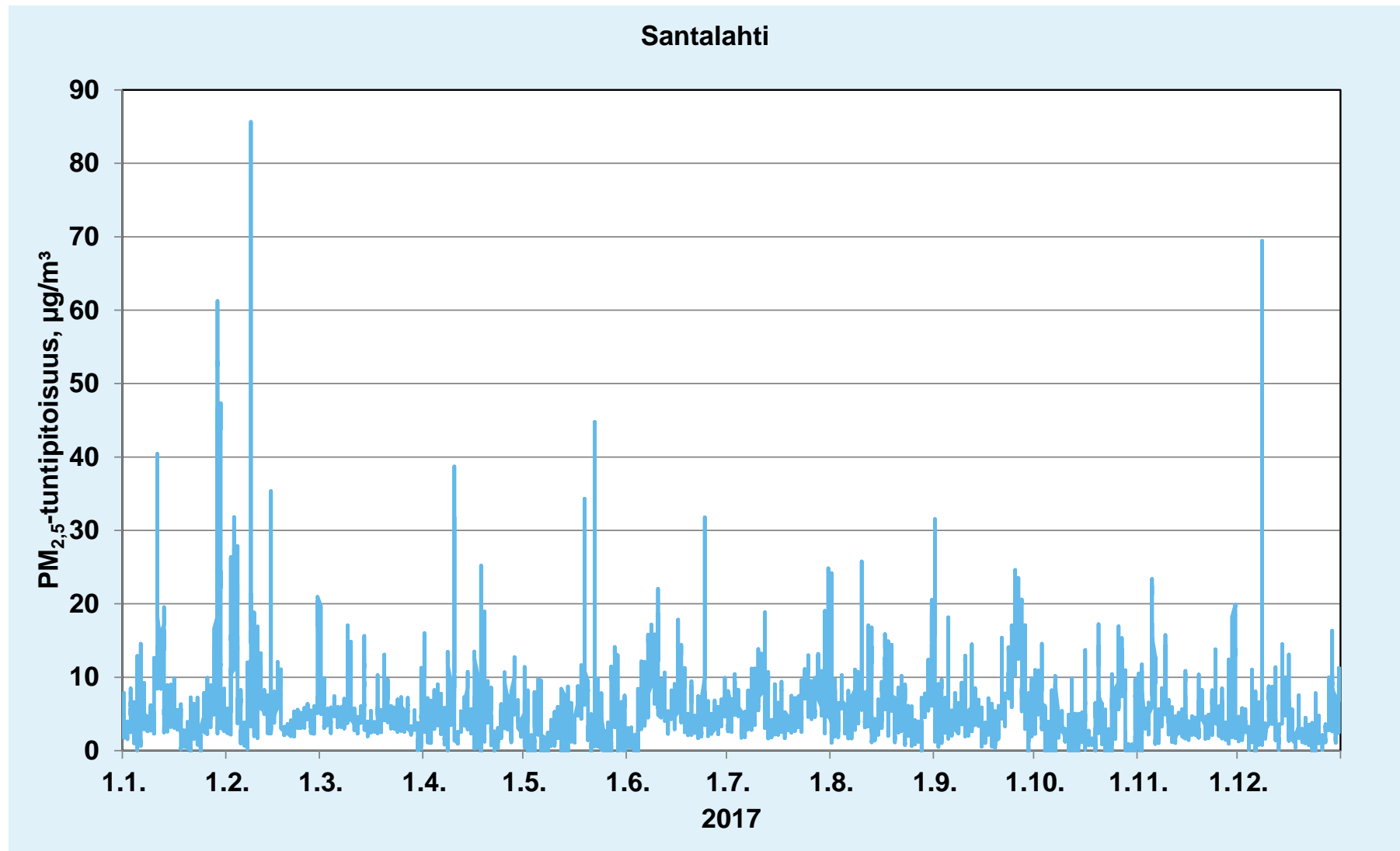
Liitekuva 6. Typpimonoksidin (NO) tuntipitoisuudet Santalahdessa 1.1.–31.12.2017.



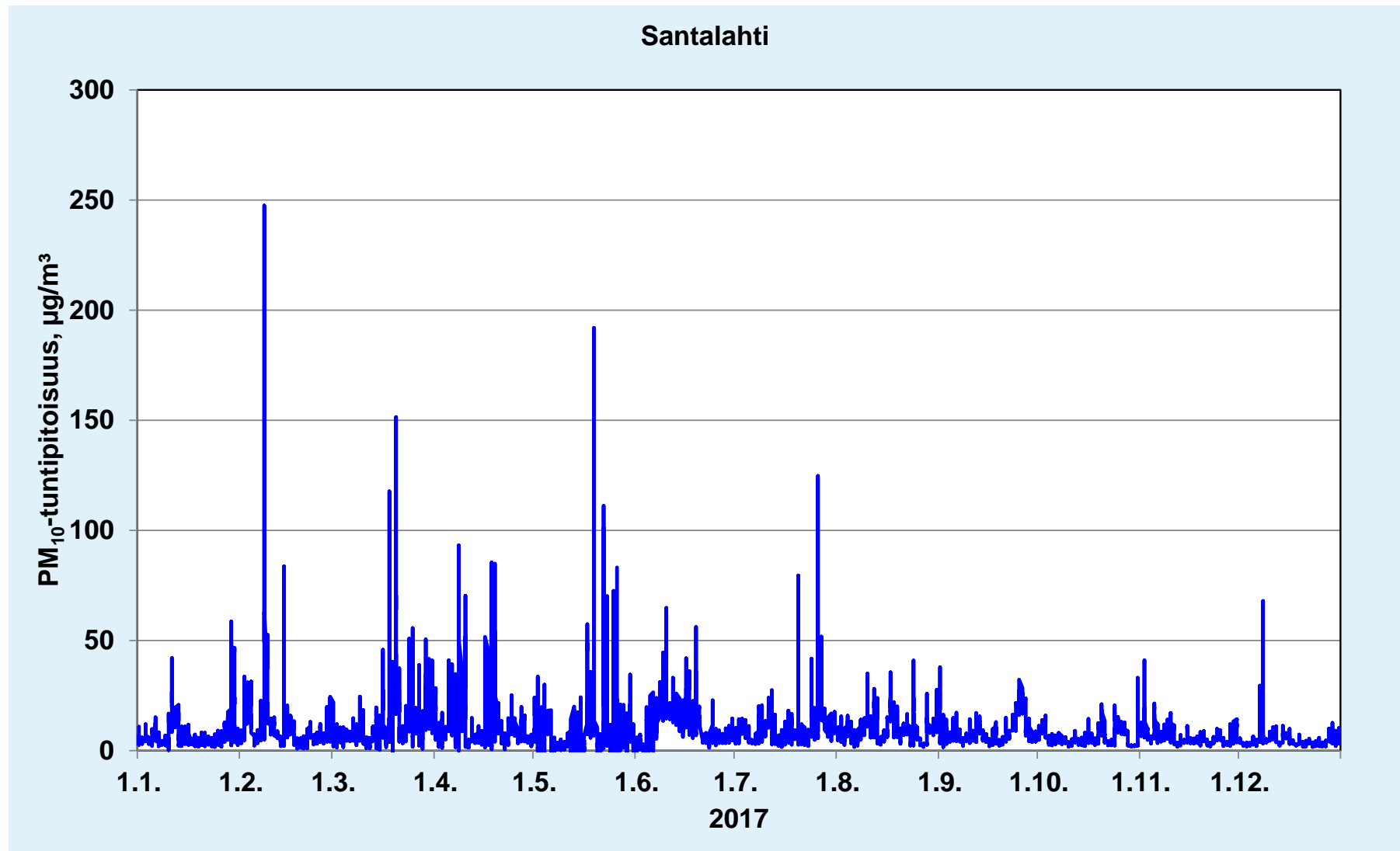
Liitekuva 7. Typpidioksidin (NO₂) tuntipitoisuudet Santalahdessa 1.1.–31.12.2017.



Liitekuva 8. Typen oksidien (NO_x) tuntipitoisuudet Santalahdessa 1.1.–31.12.2017.

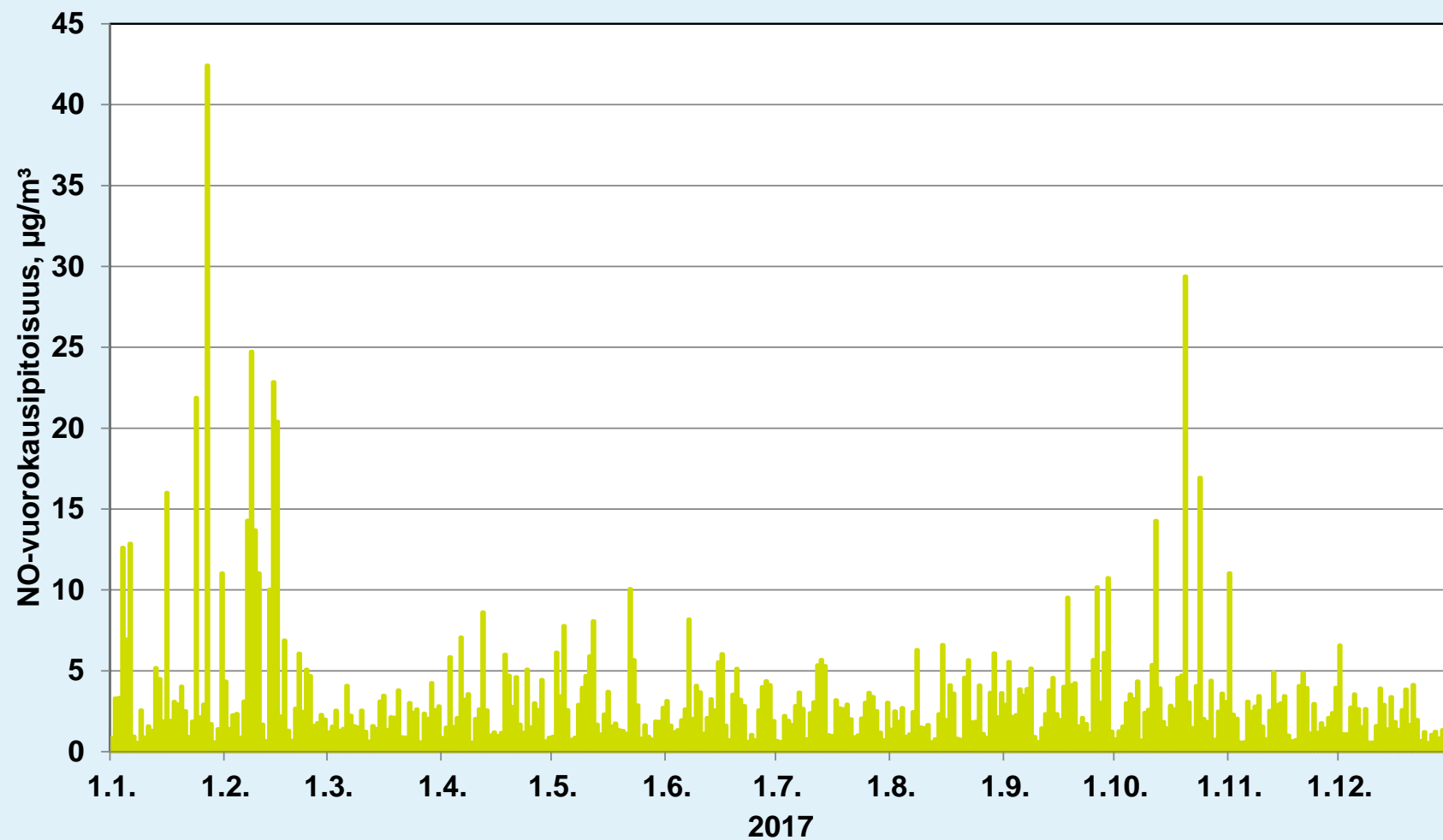


Liitekuva 9. Pienhiukkasten (PM_{2.5}) tuntipitoisuudet Santalahdessa 1.1.–31.12.2017.



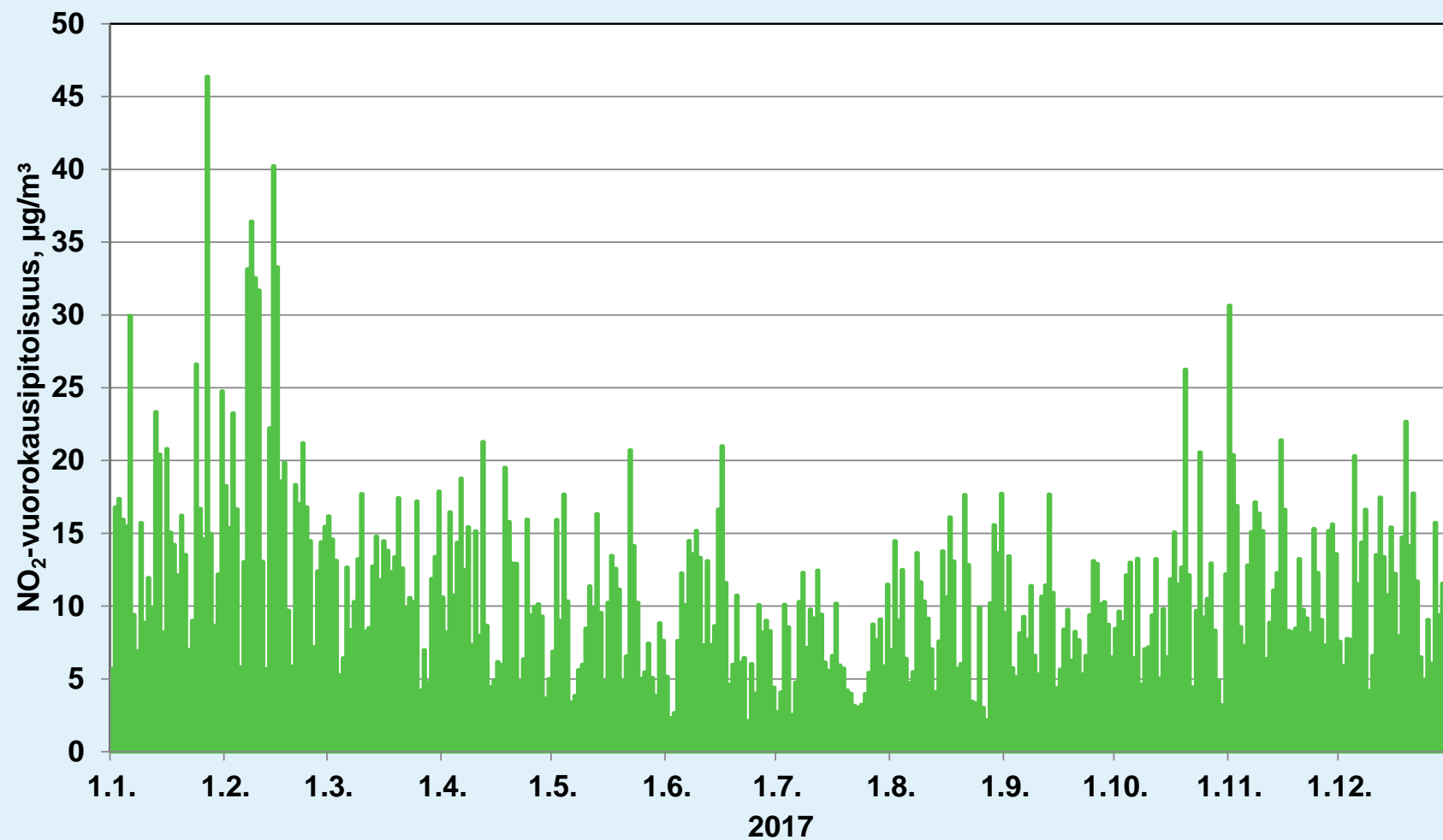
Liitekuva 10. Hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) tuntipitoisuudet Santalahdessa 1.1.–31.12.2017.

Naistenlahti

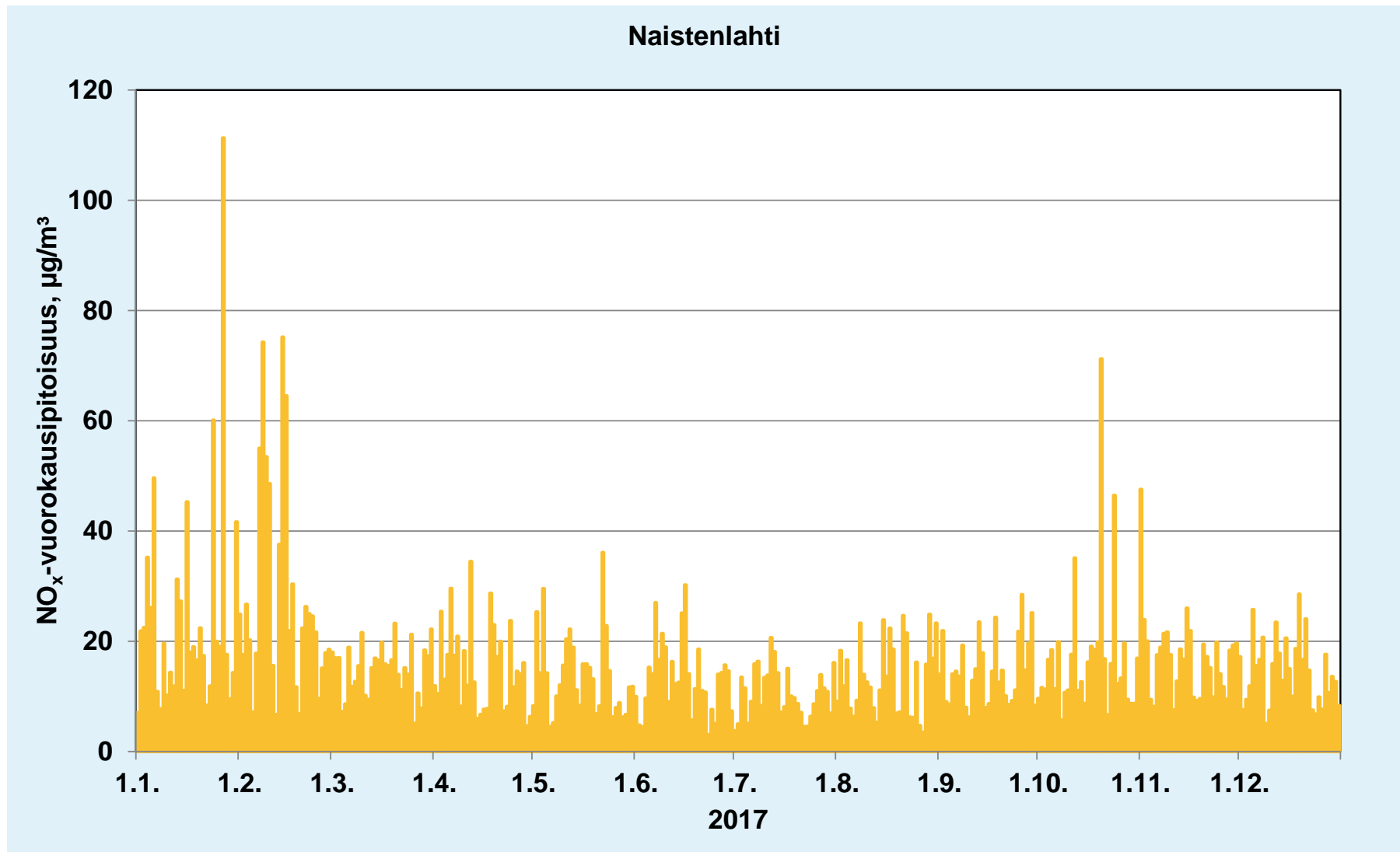


Liitekuva 11. Typpimonoksidin (NO) vuorokausipitoisuudet Naistenlahdessa 1.1.–31.12.2017.

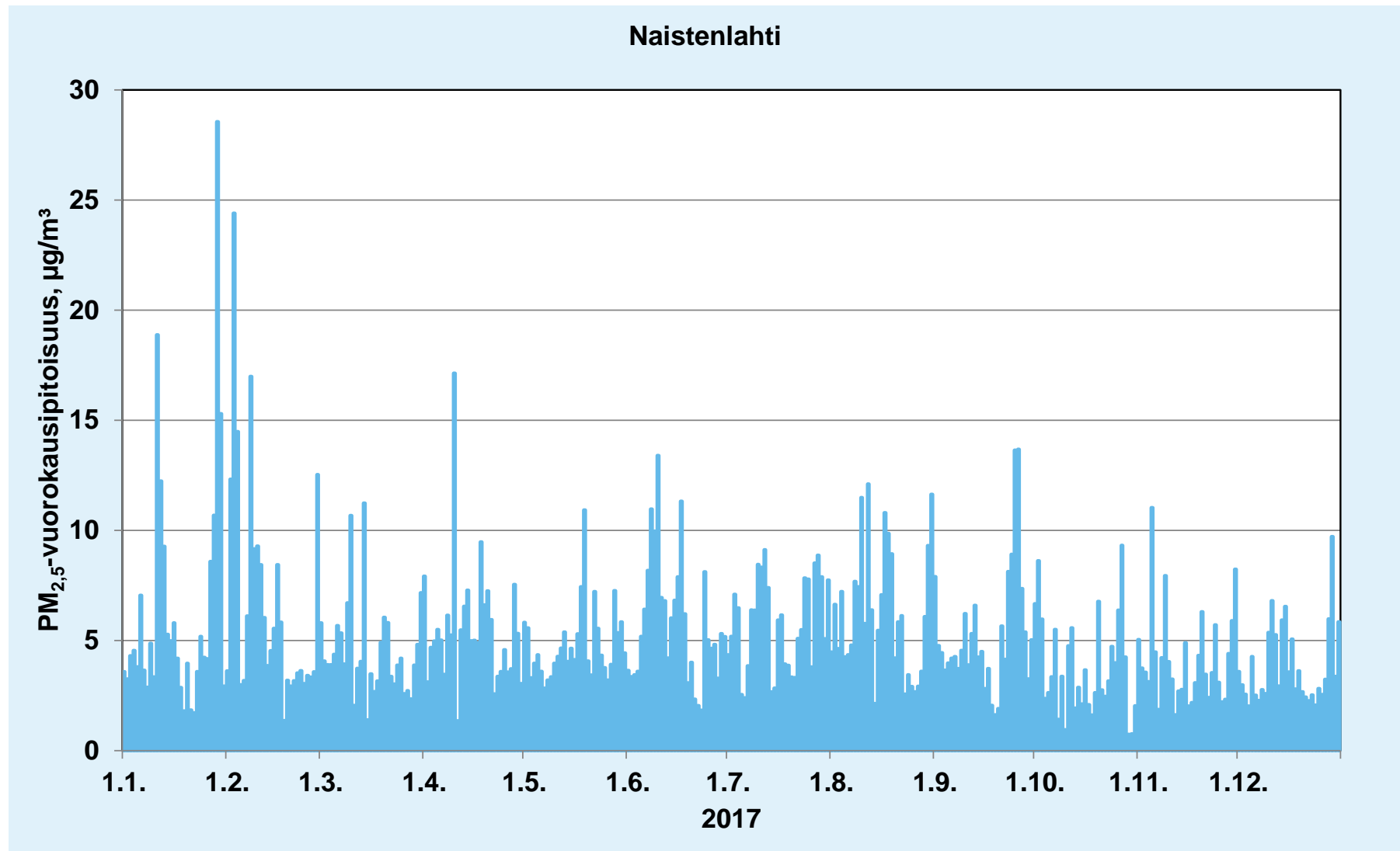
Naistenlahti



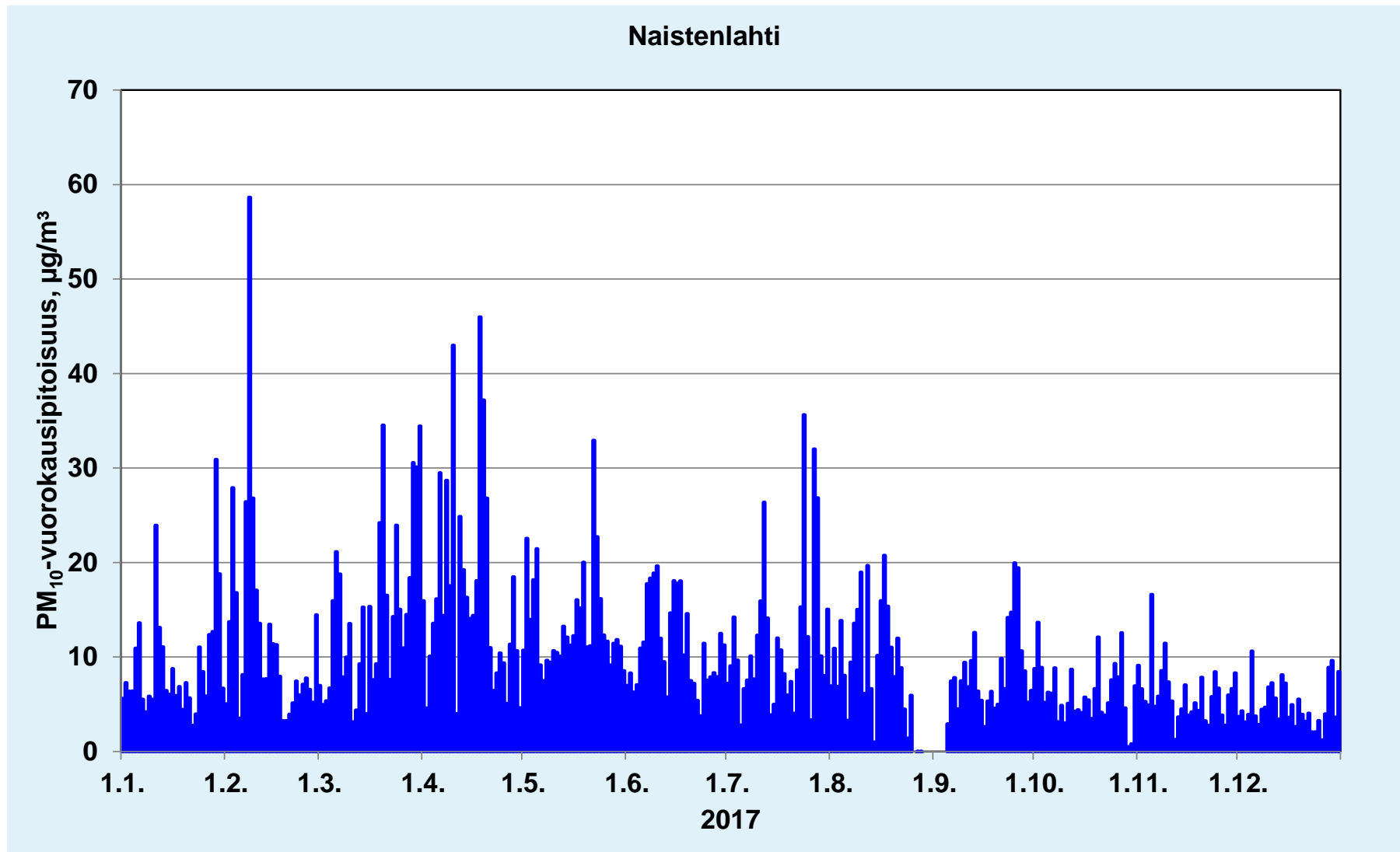
Liitekuva 12. Typpidioksidin (NO₂) vuorokausipitoisuudet Naistenlahdessa 1.1.–31.12.2017.



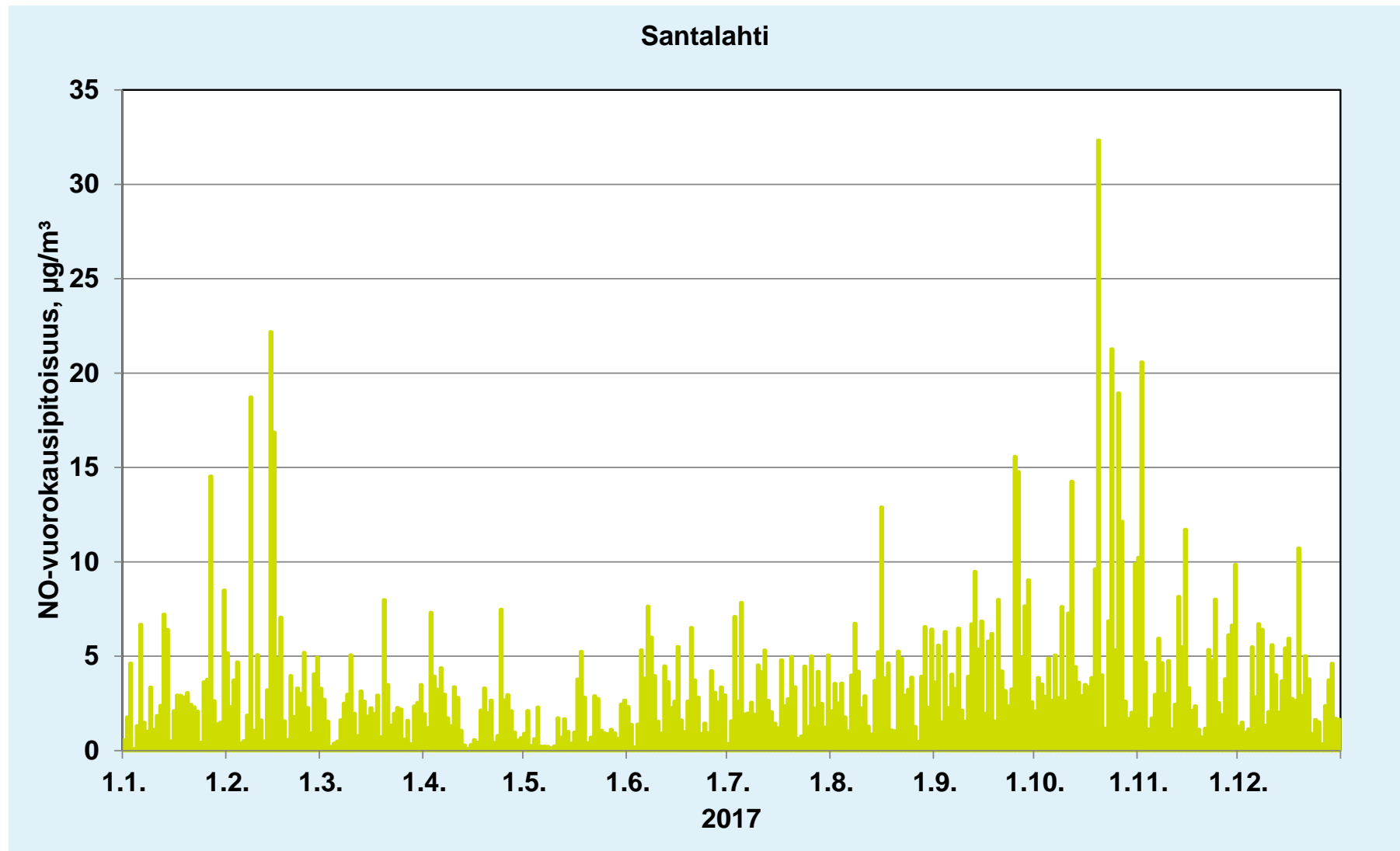
Liitekuva 13. Typen oksidien (NO_x) vuorokausipitoisuudet Naistenlahdessa 1.1.–31.12.2017.



Liitekuva 14. Pienhiukkasten (PM_{2.5}) vuorokausipitoisuudet Naistenlahdessa 1.1.–31.12.2017.

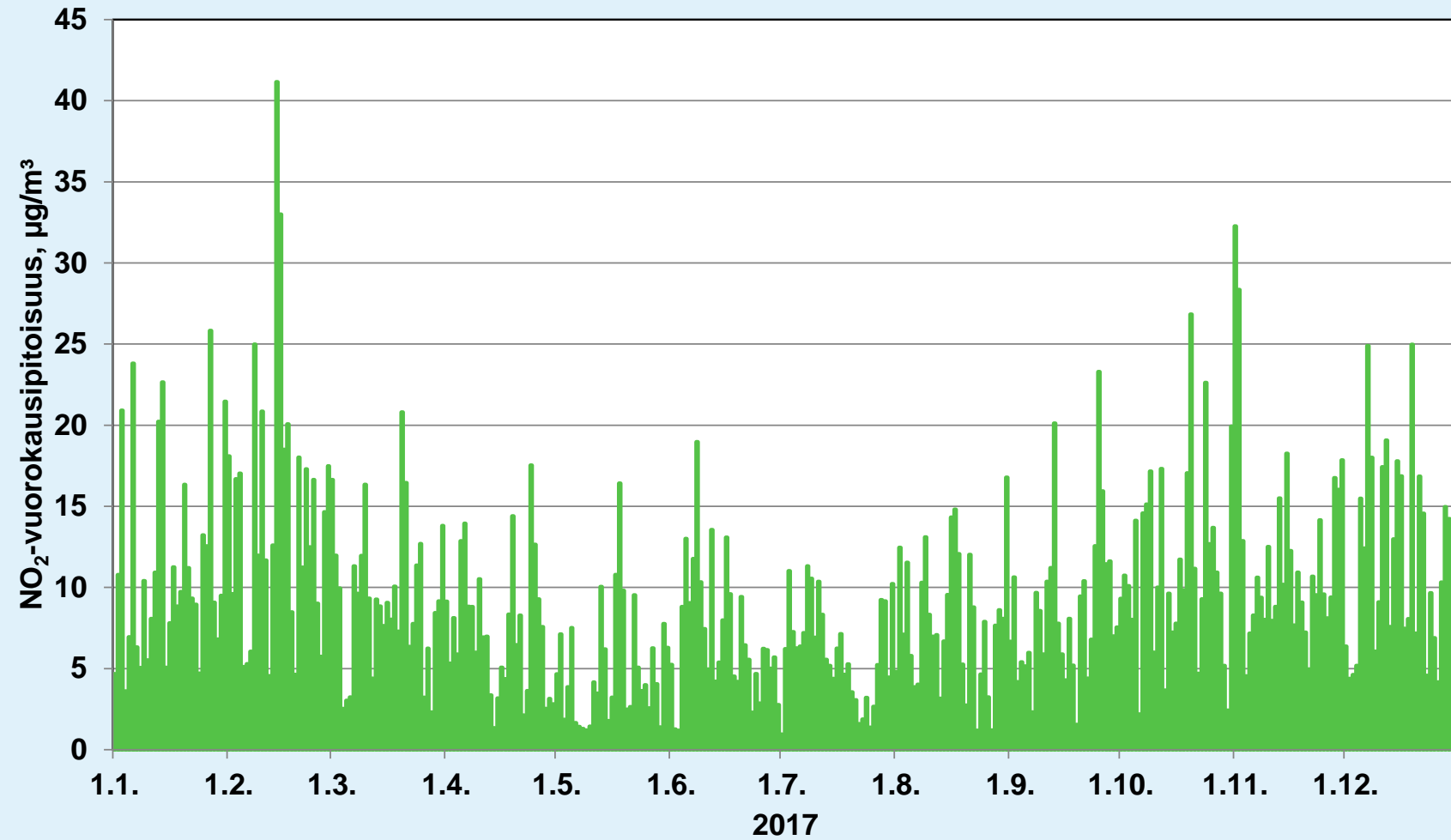


Liitekuva 15. Hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) vuorokausipitoisuudet Naistenlahdessa 1.1.–31.12.2017.

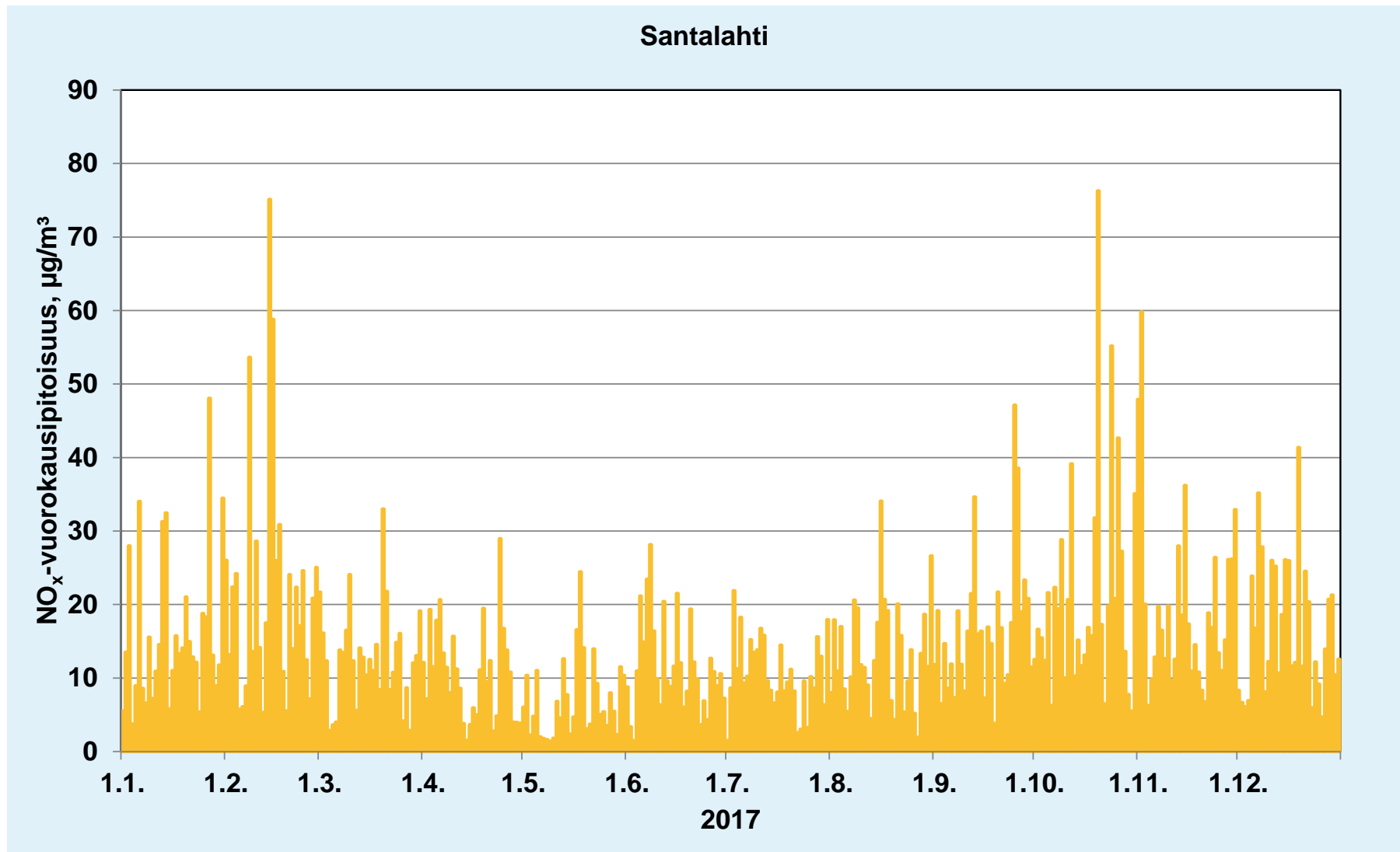


Liitekuva 16. Typpimonoksidin (NO) vuorokausipitoisuudet Santalahdessa 1.1.–31.12.2017.

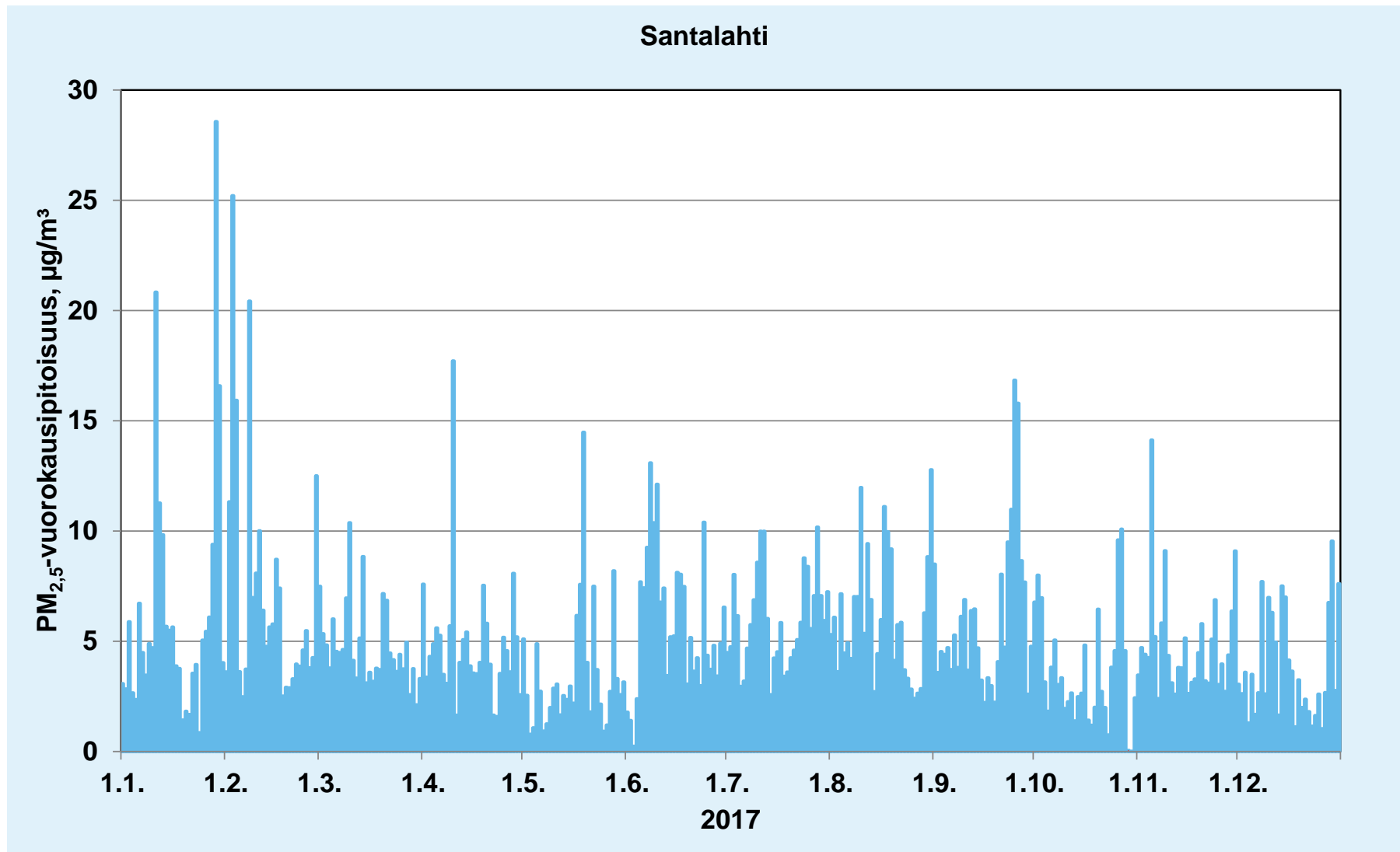
Santalahti



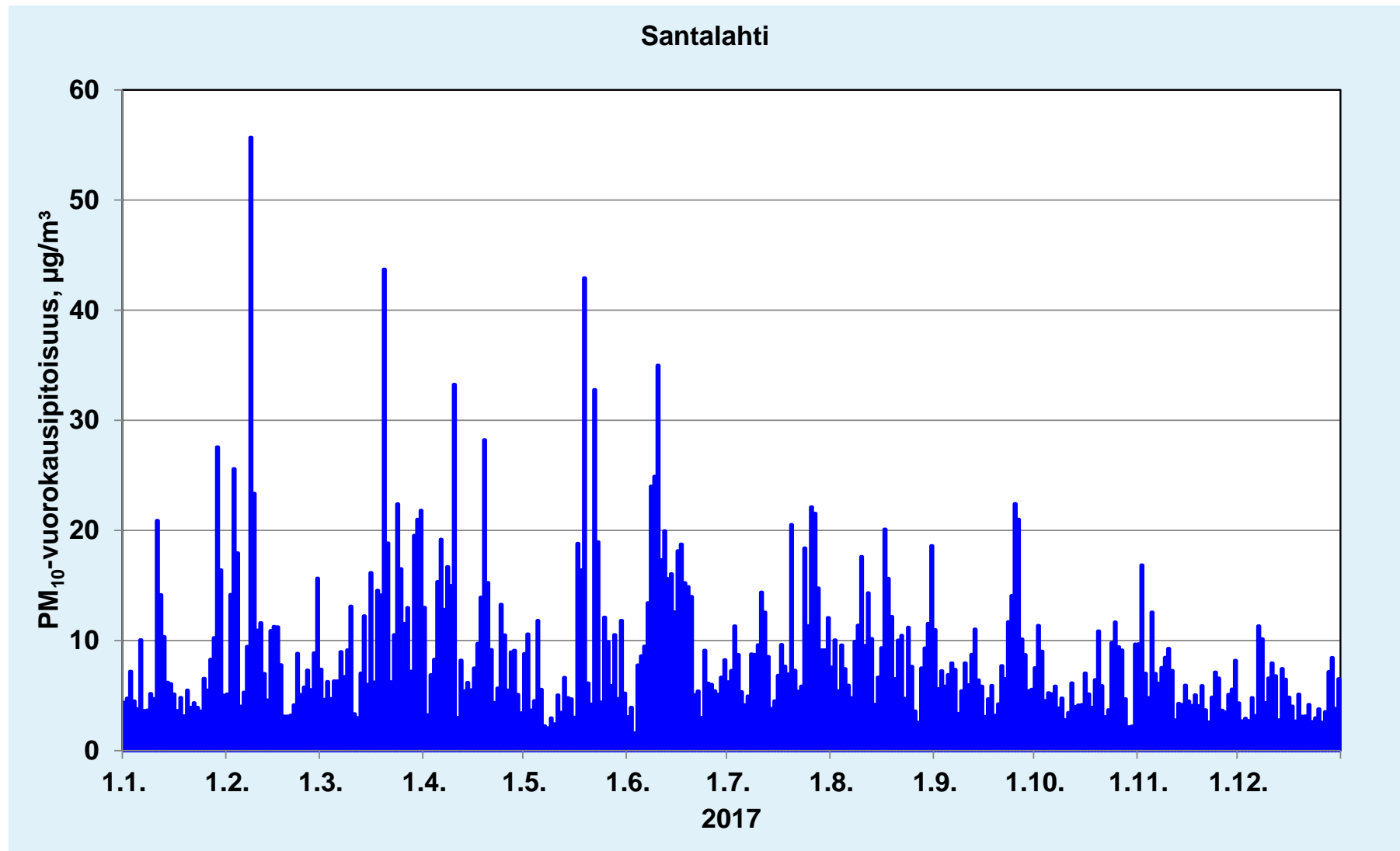
Liitekuva 17. Typpidioksidin (NO₂) vuorokausipitoisuudet Santalahdessa 1.1.–31.12.2017.



Liitekuva 18. Typen oksidien (NO_x) vuorokausipitoisuudet Santalahdessa 1.1.–31.12.2017.

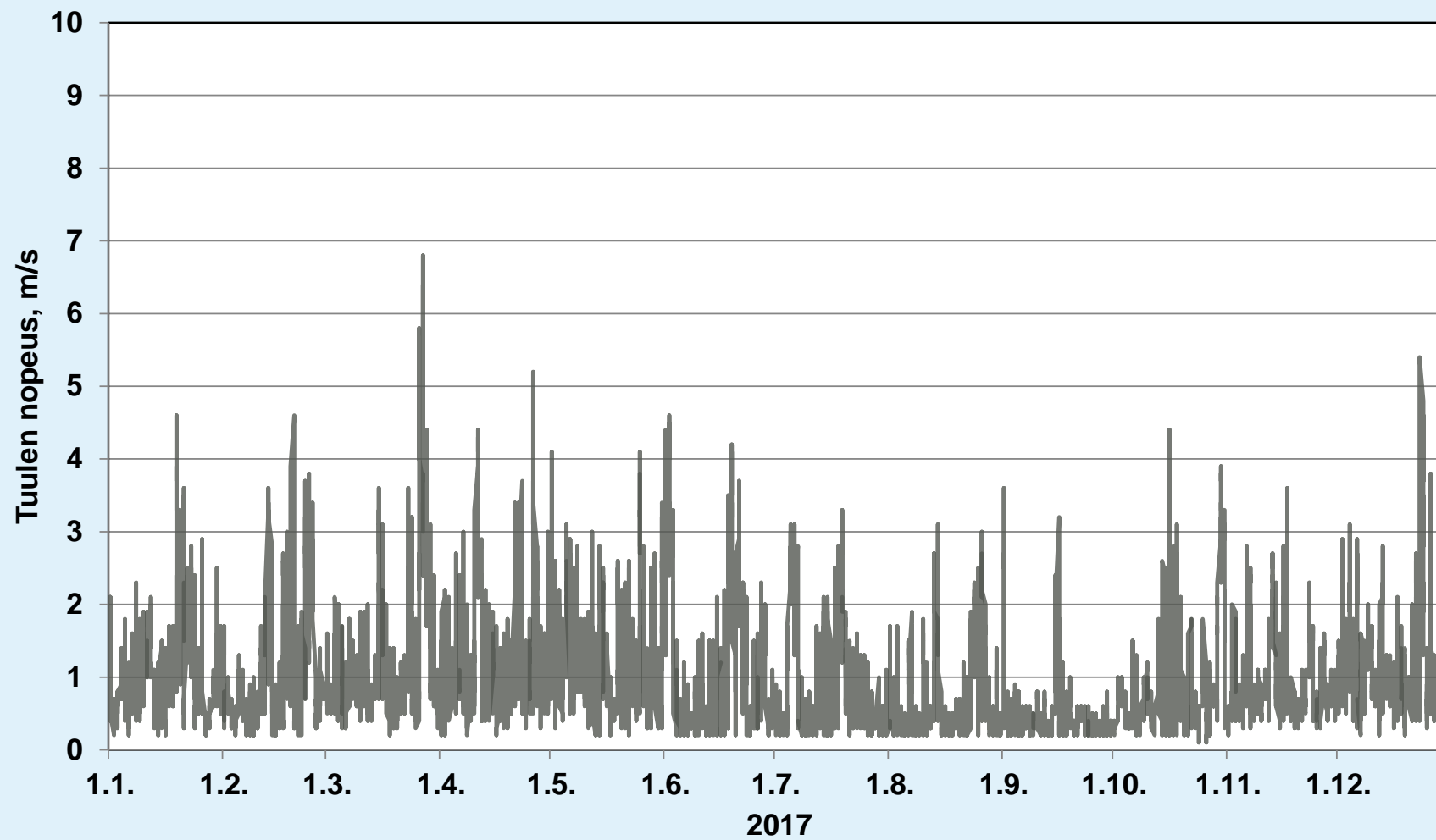


Liitekuva 19. Pienhiukkasten (PM_{2.5}) vuorokausipitoisuudet Santalahdessa 1.1.–31.12.2017.



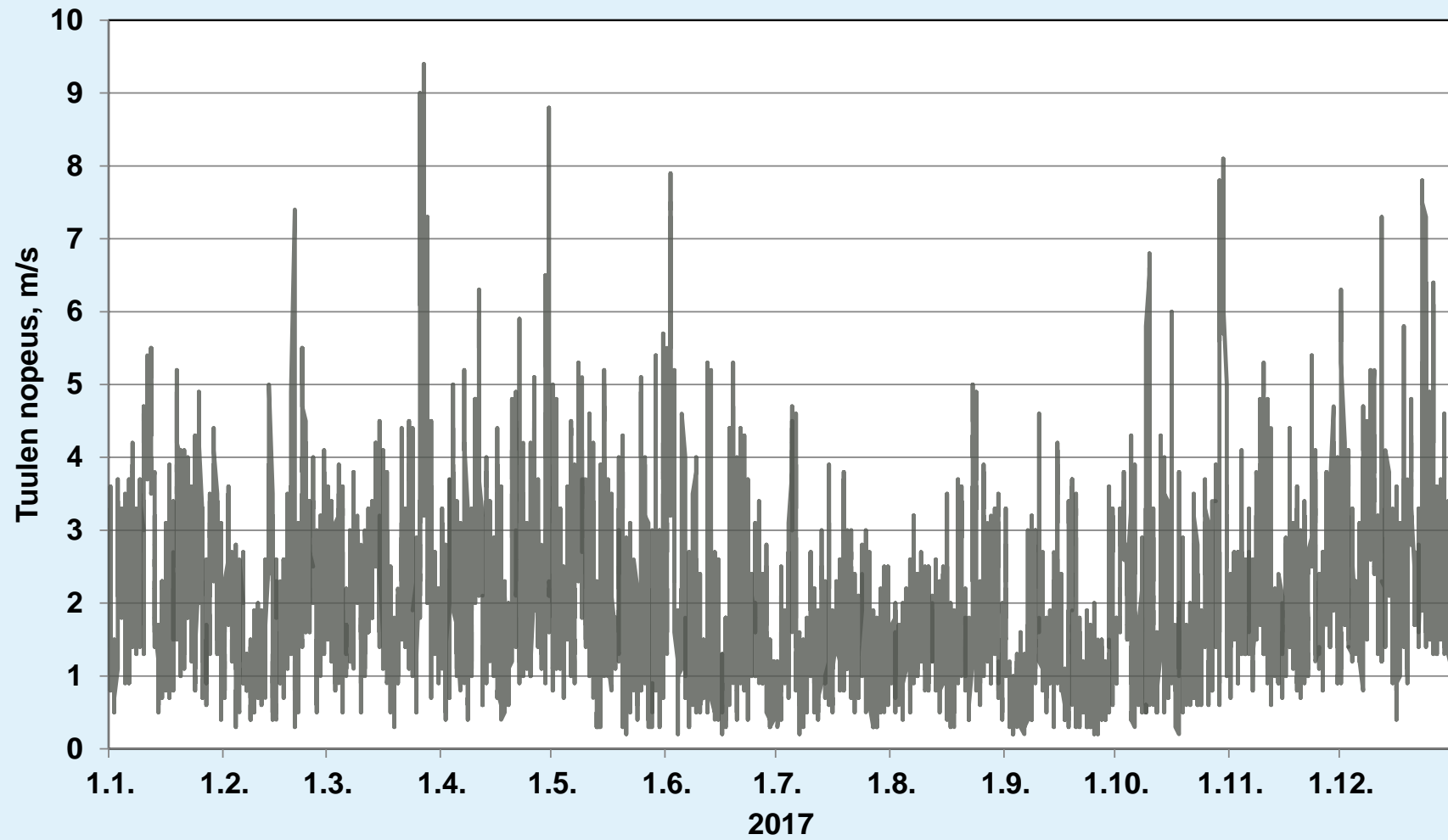
Liitekuva 20. Hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) vuorokausipitoisuudet Santalahdessa 1.1.–31.12.2017.

Naistenlahti

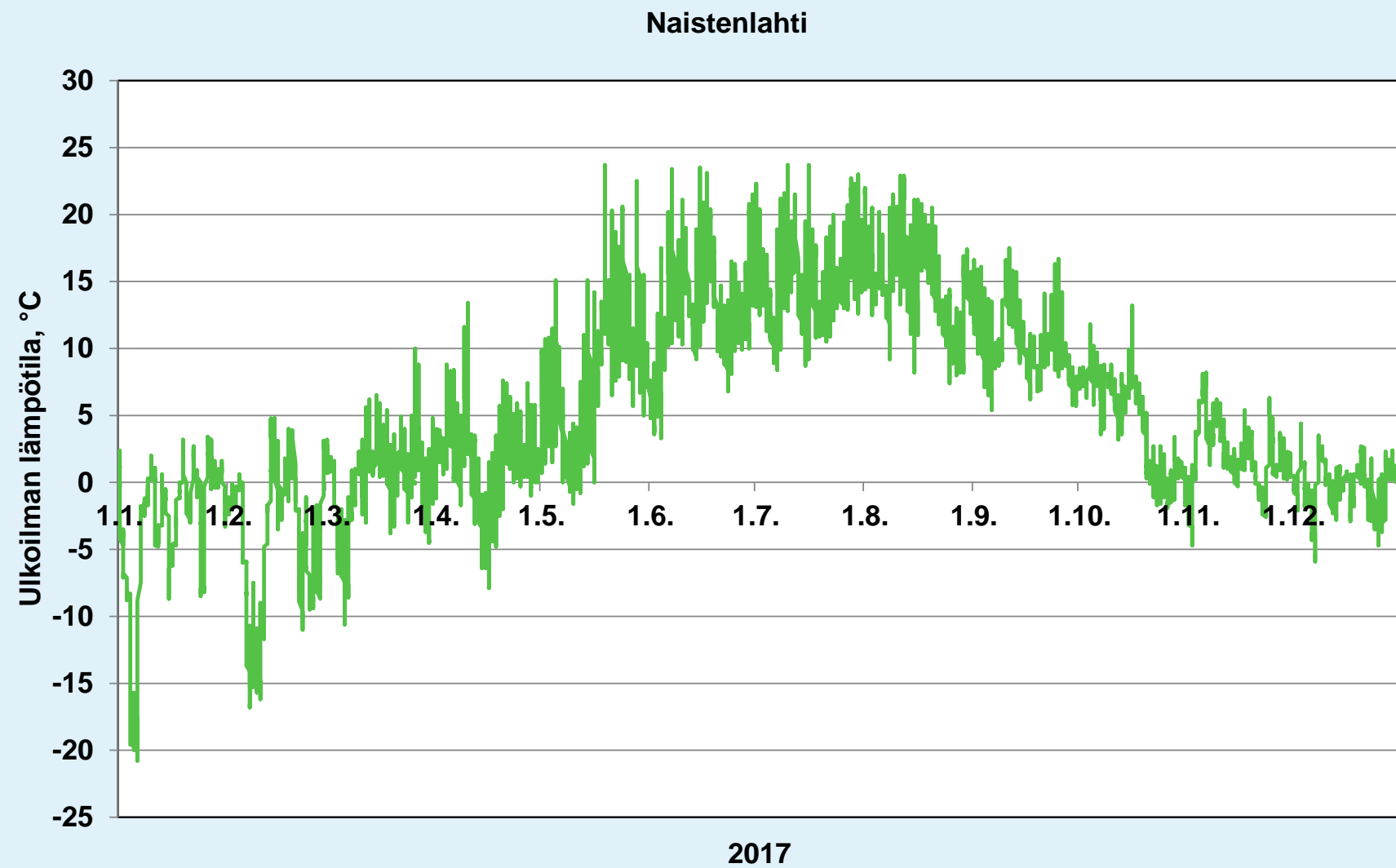


Liitekuva 21. Tuulen nopeuden tuntiarvot (m/s) Naistenlahdessa 1.1.–31.12.2017.

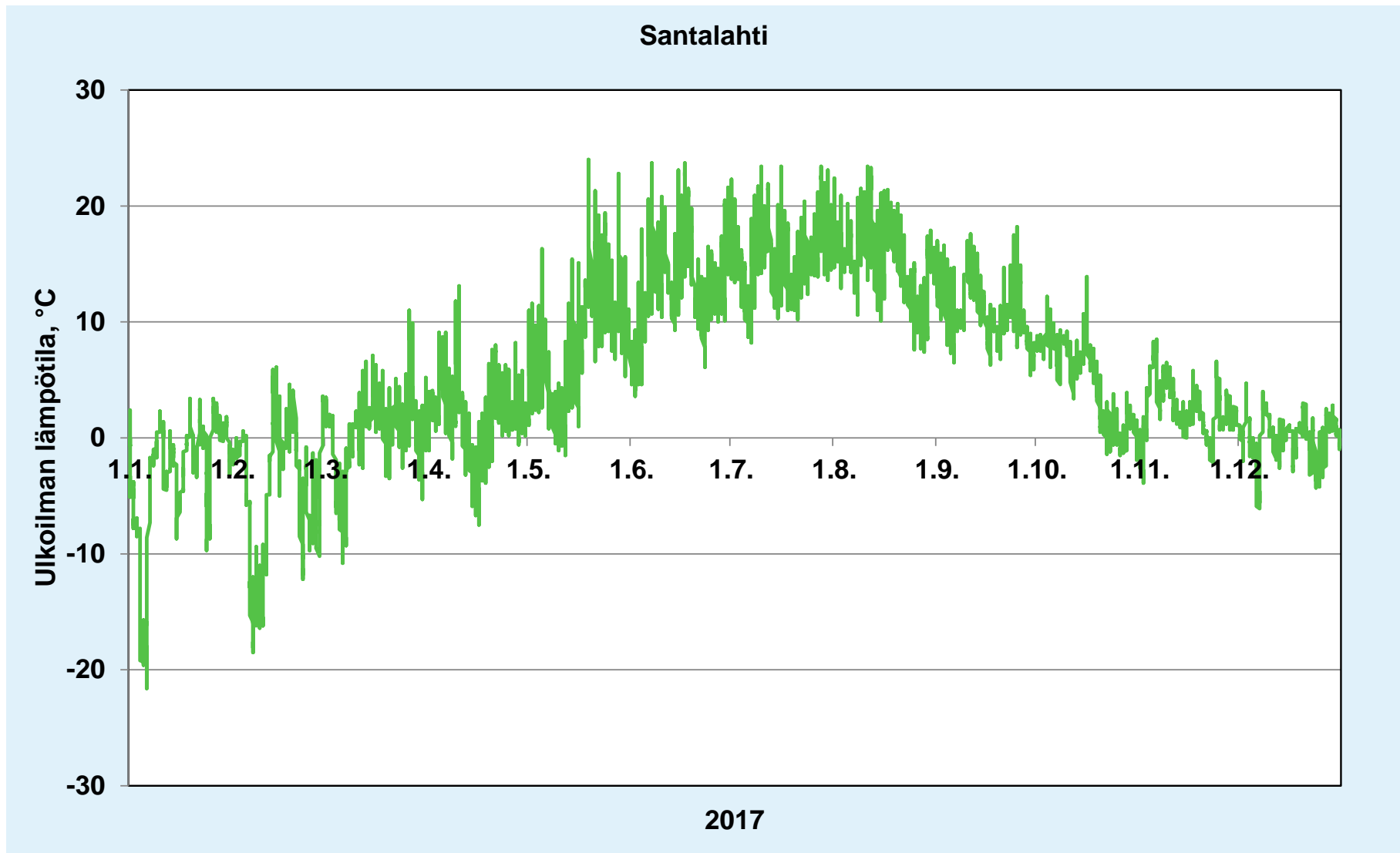
Santalahti



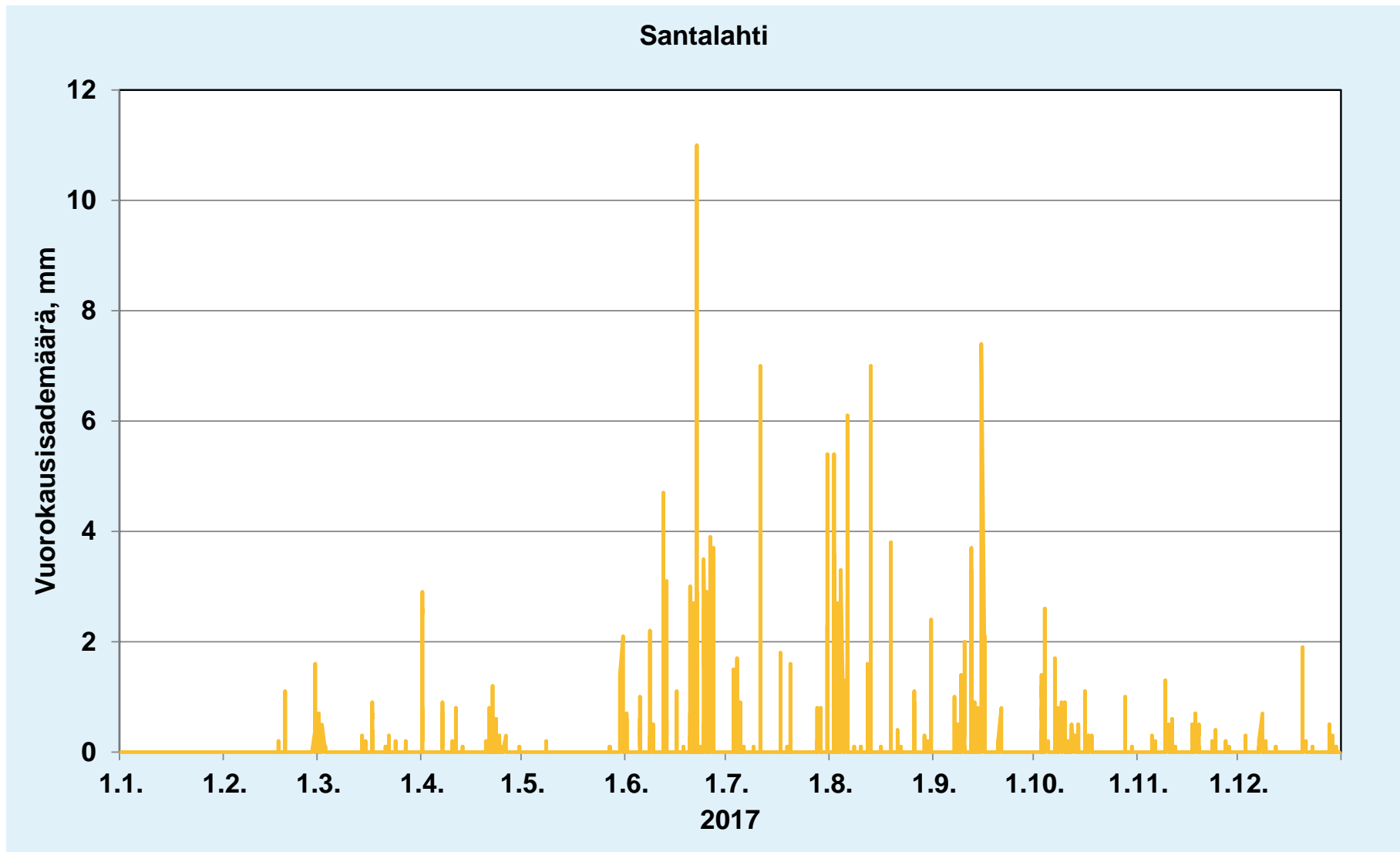
Liitekuva 22. Tuulen nopeuden tuntiarvot (m/s) Santalahdessa 1.1.–31.12.2017.



Liitekuva 23. Ulkoilman lämpötilan tunti-arvot (°C) Naistenlahdessa 1.1.–31.12.2017.



Liitekuva 24. Ulkoilman lämpötilan tuntiarvot (°C) Santalahdessa 1.1.–31.12.2017.



Liitekuva 25. Vuorokausisademäärät (mm) Santalahdessa 1.1.–31.12.2017.



ILMATIETEEN LAITOS
METEOROLOGISKA INSTITUTET
FINNISH METEOROLOGICAL INSTITUTE

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

WWW.ILMATIETEENLAITOS.FI

