



VALTATIE 12 TAMPEREEN TUNNELIN ILMANLAADUN SEURANTA

Mittaustulokset vuodelta 2018



**VALTATIE 12
TAMPEREEN TUNNELIN ILMANLAADUN SEURANTA**

Mittaustulokset vuodelta 2018

**Jatta Salmi
Helena Saari
Jaakko Laakia
Mika Vestenius
Emmi Laukkanen**



Kuva: Emmi Laukkanen, Ilmatieteen laitos

**ILMATIETEEN LAITOS
ASiantuntijapalvelut – Ilmanlaatu ja energia
Helsinki 18.4.2019**

SISÄLLYSLUETTELO

OSA I	3
1 JOHDANTO	3
2 ILMANLAADUN MITTAUSTULOKSET	4
2.1 Mitatut pitoisuudet	4
2.2 Ilmanlaatuindeksi	5
2.3 Pitoisuuksien suhde ohje- ja raja-arvoihin	6
2.4 Tuulen suunnan ja nopeuden vaikutus mitattuihin pitoisuuksiin	9
2.5 Pitoisuuksien ajallinen vaihtelu	11
2.6 Pitoisuuksien vertailua muilla mittausasemilla mitattuihin pitoisuuksiin	14
2.6.1 Typenoksidit	14
2.6.2 Hengitettävät hiukkaset	17
2.6.3 Pienhiukkaset	19
2.7 Vuoden 2017 pitoisuuksien vertailua aiempien vuosien mittauksiin	22
2.7.1 Typpidioksidi	22
2.7.2 Hengitettävät hiukkaset	23
2.7.3 Pienhiukkaset	25
3 PITOISUUDET ENNEN TUNNELIN RAKENTAMISTA JA SEN JÄLKEEN	26
3.1 Pitoisuustarkastelut ilmansuunnittain	26
3.2 Pitoisuustarkastelut ilmanlaatuindeksin avulla	28
4 YHTEENVETO	30
OSA II	32
5 ILMANLAATUMITTAUSTEN TOTEUTUS	32
5.1 Ilmanlaadun tarkkailun tavoitteet ja tunnelihankkeen eteneminen	32
5.2 Naistenlahden mittausasema	32
5.3 Mitatut suureet ja mittausmenetelmät	34
5.4 Kalibroitimenetelmät, laadunvarmistus ja laitehuollot	35
6 SÄÄTIEDOT	36
6.1 Tuulitiedot vuodelta 2018	36
6.2 Keskilämpötilat ja sademäärät Tampereella vuonna 2018	37
6.3 Säätekijöiden vaikutus ilman epäpuhtauksien leviämiseen	38
7 TAUSTATIEtoa MITATUISTA ILMAN EPÄPUHTAUKSISTA	39
7.1 Typen oksidit	39
7.2 Hiukkaset	40
7.3 Ilman epäpuhtauksien terveysvaikutukset	42
7.4 Ilmanlaadun ohje- ja raja-arvot	43
VIITELUETTELO	45
LIITETAULUKOT	47
LIITEKUVAT	51

Selitteet raportissa käytetyille tärkeimmille yksiköille ja lyhenteille:

Yksiköt:

μm	mikrometri = millimetrin tuhannesosa
$\mu\text{g}/\text{m}^3$	mikrogrammaa (= gramman miljoonasosa) 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
$\text{PM}_{2,5}$	pienhiukkaset = alle 2,5 μm :n kokoiset hiukkaset
TSP	<u>T</u> otal <u>S</u> uspended <u>P</u> articles = kokonaisuutenaan 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 kahdella mittausasemalla Valtatien 12 tunnelihankkeen suunnitteluvaiheessa 20.12.2012. Mittaukset aloitettiin vuosi ennen tunnelin varsinaisen rakennushankkeen alkamista ja niitä jatkettiin 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 tunnelin käyttöönoton jälkeen kahdella mittausasemalla vuoden 2017 ajan ja yhdellä mittausasemalla Naistenlahdessa vuoden 2018 ajan. Tässä raportissa on tarkasteltu Naistenlahden alueen ilmanlaatua vuoden 2018 mittaustulosten perusteella.

Ilmatieteen laitos mittasi jatkuvatoimisesti typen oksidien (NO_x), pienhiukkasten ($\text{PM}_{2.5}$) ja hengitettävien hiukkasten (PM_{10}) pitoisuuksia tunnelin suuakon läheisyydessä olevassa mittauspisteessä Naistenlahdessa. Mittaustuloksia on tässä raportissa 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.

Tilaajan yhdyshenkilönä tutkimuksessa toimi rakennuttamispäällikkö Petri Kantola Tampereen kaupungilta. Tutkimuksen toteutukseen ovat Ilmatieteen laitoksella osallistuneet tutkijat Jatta Salmi ja Helena Saari (tulosten käsittely ja raportointi) sekä tutkijat Jaakko Laakia ja Mika Vestenius (mittaustekniikka, kenttätyöt ja laadunvarmistus) sekä Emmi Laukkanen (projektin hallinto).

2 ILMANLAADUN MITTAUSTULOKSET

2.1 Mitatut pitoisuudet

Tampereella Naistenlahden mittausasemalla vuonna 2018 mitatut typen oksidien (NO, NO₂ ja NO_x) sekä hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) ja pienhiukkasten (PM_{2,5}) vuosikeskiarvopitoisuudet on esitetty taulukossa 1. Raportin lopussa olevissa liitetaulukkoissa 1–5 on esitetty mitatut pitoisuudet kuukausittaisina tuntipitoisuuksien ja vuorokausipitoisuuksien tilastosuureina, joita voidaan verrata ilmanlaadun ohjearvoihin. Kaikki raportin pitoisuudet on ilmaistu yksikössä mikrogrammaa ilmakeuutiometrissä, µg/m³ (typen oksidit lämpötilassa 20 °C, hengitettävät hiukkaset ja pienhiukkaset ulkoilman lämpötilassa). Mittauspaikkaa ja mittausmenetelmiä on kuvattu tarkemmin raportin lopussa kappaleissa 5.2 ja 5.3.

Taulukko 1. Naistenlahdessa vuonna 2018 mitatut typenoksidien ja hiukkasten vuosikeskiarvopitoisuudet (µg/m³).

Naistenlahti	Mitattu vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m ³)
NO	4
NO ₂	13
Kokonais-NO _x (NO ₂ :na ilmaistuna)	19
PM _{2,5}	6
PM ₁₀	13

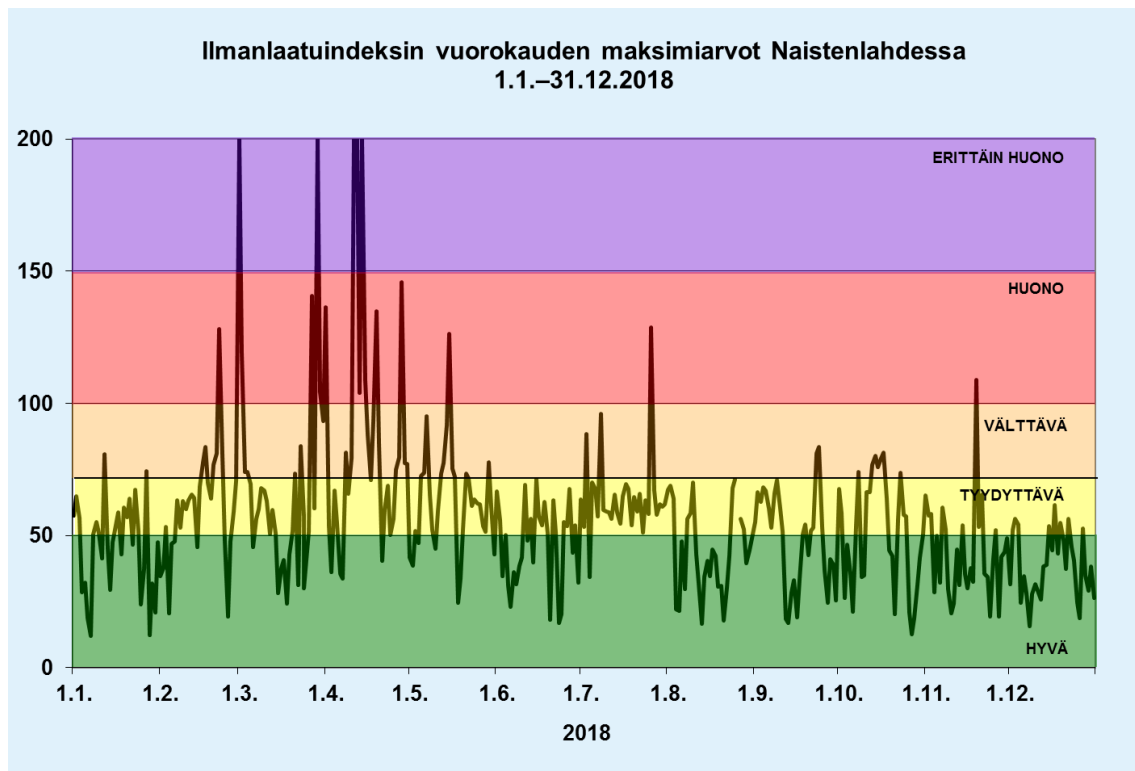
Raportin lopussa olevissa liitekuviissa 1–10 on esitetty Tampereella Naistenlahden mittausasemalla 1.1.–31.12.2018 mitattujen ilman epäpuhtauksien pitoisuuksien tuntiarvot ja vuorokausikeskiarvot. Liitekuviissa 11–12 on puolestaan esitetty tuulen nopeuden ja ulkoilman lämpötilan tuntikeskiarvot samalta mittausjaksolta.

Kaikkien mitattujen ilman epäpuhtauksien pitoisuudet typenoksidien että hengitettävien hiukkasten ja pienhiukkasten pitoisuudet vaihtelivat suuresti tarkastelujakson aikana. Tuntiarvojen lyhytaikainen vaihtelu oli suurempaa kuin vuorokausikeskiarvojen vaihtelu. Typenoksidien (NO) pitoisuudet olivat pääsääntöisesti pienempiä kuin typpidioksidin (NO₂) pitoisuudet. Typenoksidien (NO_x) kokonaispitoisuus muodostuu typenoksin ja typpidioksidin yhteenlasketusta summasta (NO_x = NO + NO₂, ilmaistuna NO₂:na). Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet olivat pääsääntöisesti korkeampia kuin pienhiukkaspitoisuudet, sillä PM₁₀-hiukkasten fraktio sisältää myös PM_{2,5}-hiukkasten osuuden. Siksi näiden kahden hiukkasfraktion pitoisuudet ovat aina joko yhtä suuria tai PM₁₀-pitoisuudet ovat suurempia kuin PM_{2,5}-pitoisuudet.

2.2 Ilmanlaatuindeksi

Naistenlahdessa 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.

Kuvassa 1 on esitetty yhteenveto vuoden 2018 vuorokauden maksimi-indeksiarvoista Naistenlahdessa. Tässä tarkastelussa mittauspäivän indeksi määräytyy ilmanlaadultaan huonoimman tunnin mukaan. Indeksillä ilmaistuna ilmanlaatu oli Naistenlahdessa hyvää 41 %, tyydyttävää 46 % ja välttävää 8 % päivistä. Ilmanlaatu oli huonoa 12 päivänä (3 % päivistä) ja erittäin huonoa viitenä päivänä (1,4 % päivistä). Kaikkien huonon ja erittäin huonon ilmanlaadun päivien aiheuttajana olivat hengitettävien hiukkasten tai pienhiukkasten pitoisuudet. Erittäin huonon ilmanlaadun päivät osuivat maaliskuun huhtikuun kevätpölykaudelle ja tilanteet aiheutuivat todennäköisesti katujen ja muun kaupunkiympäristön pölyämisestä. Huhtikuun lopussa (28.4.2018) havaittu huonon ilmanlaadun tilanne aiheutui Pappilan kaupunginosassa tapahtuneesta rakennuksen tulipalosta.



Kuva 1. Vuorokauden suurimmat ilmanlaatuindeksin arvot Naistenlahdessa vuonna 2018.

2.3 Pitoisuuksien suhde ohje- ja raja-arvoihin

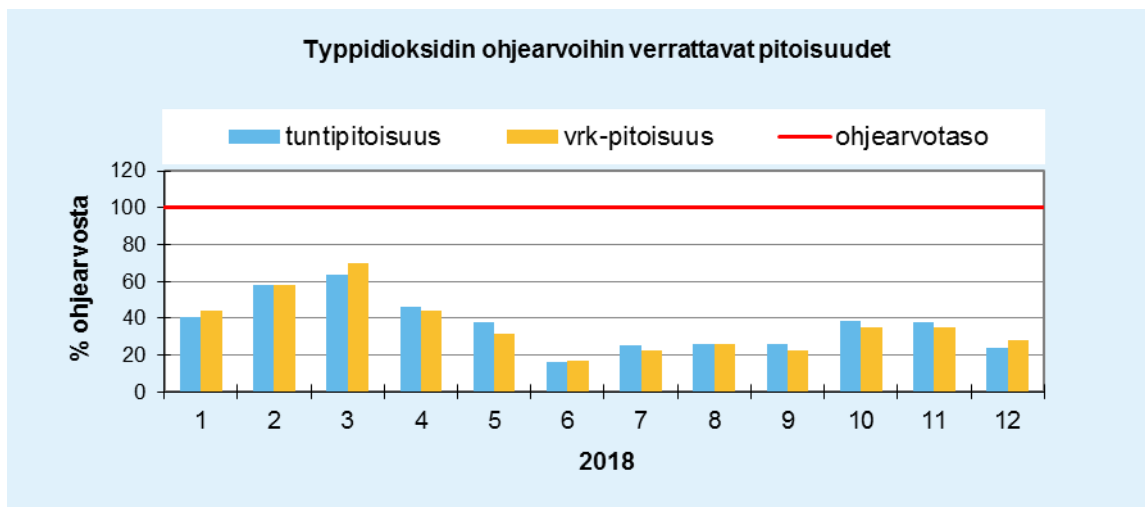
Taulukossa 2 ja kuvassa 2 on esitetty Naistenlahdessa vuonna 2018 mitatut typpidioksidin ja hengitettävien hiukkasten ohjearvoihin verrattavat pitoisuudet kuukausittain sekä näiden pitoisuuksien suhde vastaaviin ohjearvoihin prosentuaalisesti.

Typpidioksidipitoisuudet alittivat ohjearvot Naistenlahdessa vuonna 2018. Ohjearvoihin verrannolliset typpidioksidin tuntipitoisuudet vaihtelivat Naistenlahdessa välillä 16–63 % ohjearvosta. Vuorokausipitoisuudet vaihtelivat Naistenlahdessa välillä 17–70 % ohjearvosta. Suurimmat typpidioksidin ohjearvoihin verrattavat pitoisuudet mitattiin maaliskuussa, jolloin pitoisuudet olivat koholla pakkaspäivinä.

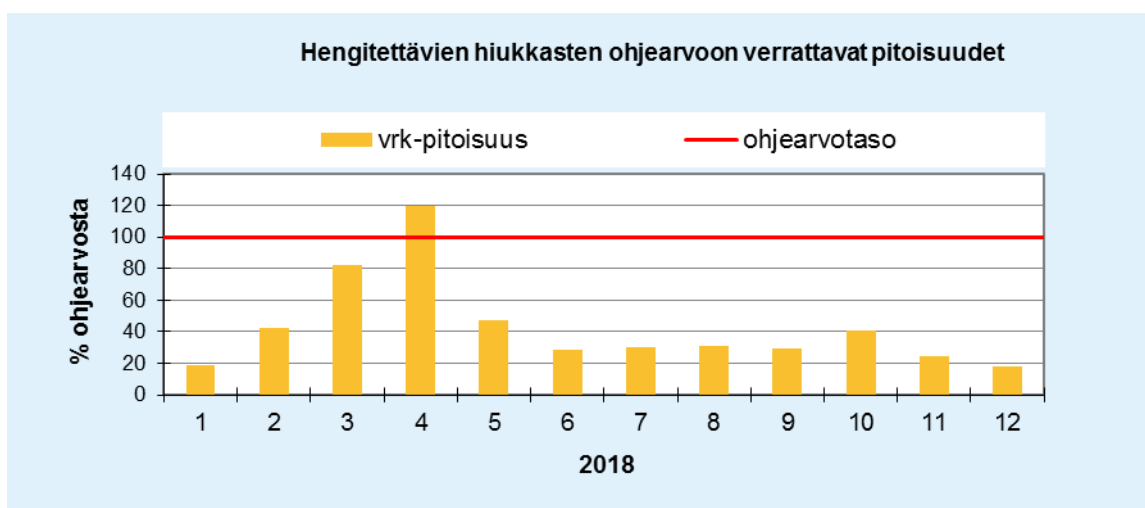
Hengitettävien hiukkasten ohjearvoon verrattavat pitoisuudet olivat Naistenlahdessa 18–120 % vuorokausiohjearvosta. Suurimmat hengitettävien hiukkasten ohjearvoon verrattavat pitoisuudet mitattiin Naistenlahdessa kevätpölykaudella huhtikuussa, jolloin ohjearvo 70 µg/m³ myös ylittyi.

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

Naistenlahti 2018	NO ₂ tunti		NO ₂ vrk		PM ₁₀ vrk	
	99 %-piste (µg/m ³)	% ohje- arvosta	2. suurin vrk (µg/m ³)	% ohje- arvosta	2. suurin vrk (µg/m ³)	% ohje- arvosta
Tammikuu	61	40 %	31	44 %	13	18 %
Helmikuu	87	58 %	41	58 %	30	42 %
Maaliskuu	95	63 %	49	70 %	58	82 %
Huhtikuu	69	46 %	31	44 %	84	120 %
Toukokuu	56	38 %	22	31 %	33	47 %
Kesäkuu	24	16 %	12	17 %	20	28 %
Heinäkuu	38	25 %	16	23 %	21	30 %
Elokuu	39	26 %	18	26 %	22	31 %
Syyskuu	39	26 %	16	22 %	20	29 %
Lokakuu	58	39 %	24	35 %	29	41 %
Marraskuu	57	38 %	25	35 %	17	24 %
Joulukuu	36	24 %	20	28 %	13	18 %
Ohjearvo	150		70		70	

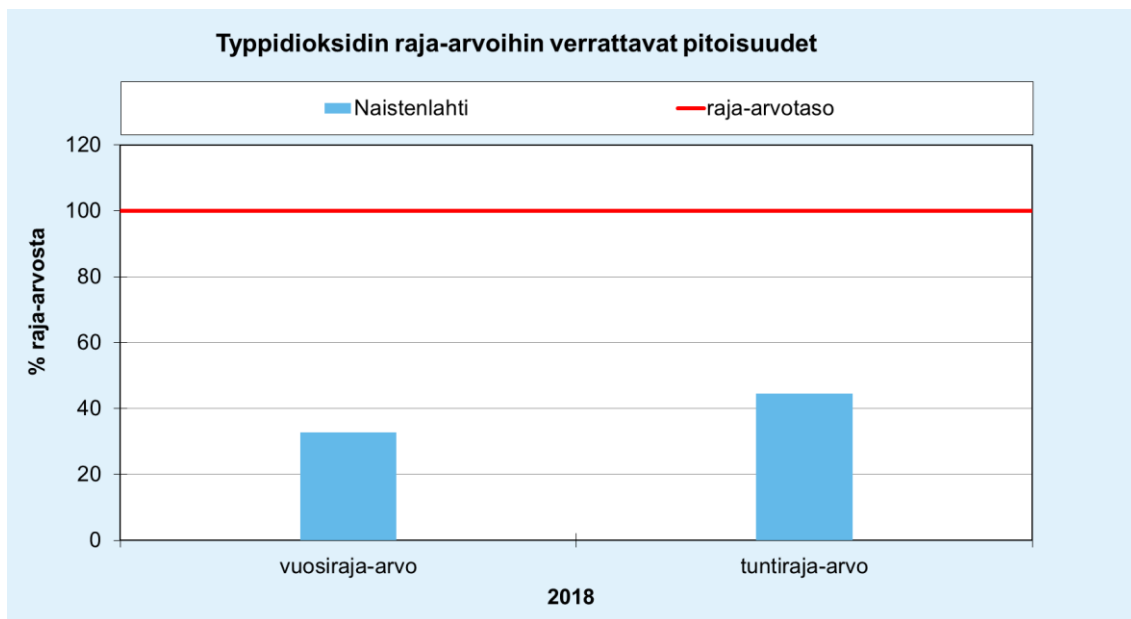


Kuva 2. Typpidioksidin (NO_2) ohjearvoon verrattavat pitoisuudet suhteessa (%) ohjearvoon Naistenlahdessa vuonna 2018. Typpidioksidipitoisuuden tuntiohjearvo on $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja vuorokausiohjearvo $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$.



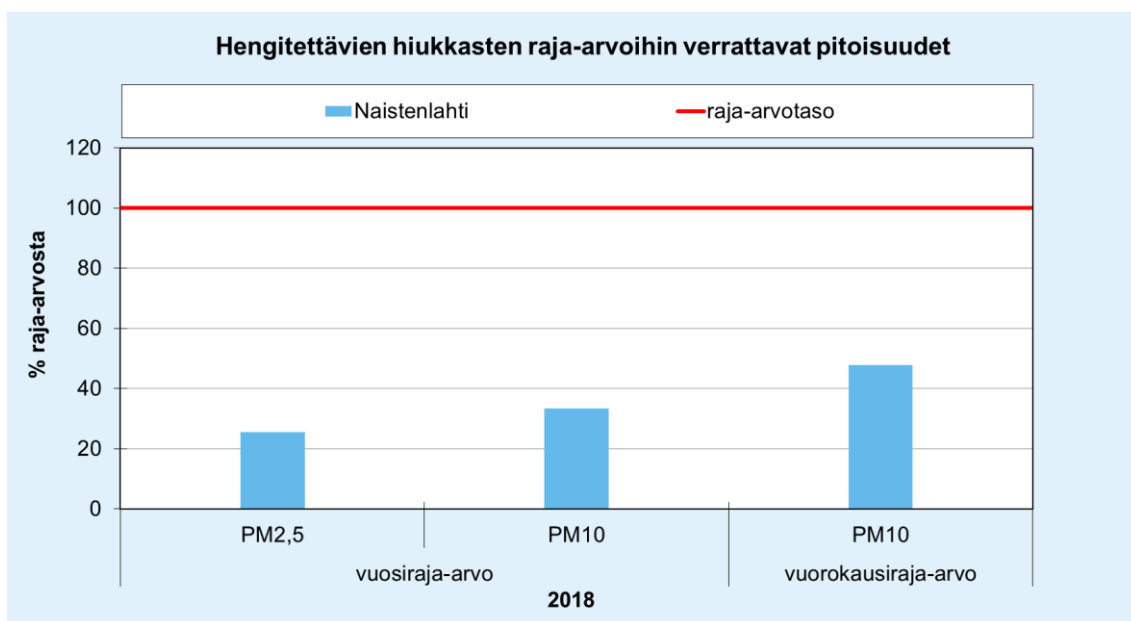
Kuva 3. Hengitettävien hiukkasten (PM_{10}) vuorokausiohjearvoon verrattavat pitoisuudet suhteessa (%) ohjearvoon Naistenlahdessa vuonna 2018. Hengitettävien hiukkasten pitoisuuden vuorokausiohjearvo on $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Pitoisuudet on ilmaistu ulkoilman lämpötilassa.

Kuvassa 4 on esitetty typpidioksin vuosiraja-arvoon ja tuntiraja-arvoon verrannolliset pitoisuudet suhteessa raja-arvoon vuonna 2018. Typpidioksidipitoisuuden vuosikeskiarvo oli Naistenlahdessa 33 % raja-arvosta ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Tuntiraja-arvotaso $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ei ylittynyt kertaakaan, kun ylityksiä sallitaan 18 kpl kalenterivuodessa.



Kuva 4. Typidioksidin (NO₂) raja-arvoihin verrattavat pitoisuudet Naistenlahden mittausasemalla vuonna 2018.

Kuvassa 5 on esitetty pienhiukkasten vuosiraja-arvoon sekä hengitettävien hiukkasten vuosiraja-arvoon ja vuorokausiraja-arvoon verrannolliset pitoisuudet suhteessa raja-arvoon vuonna 2018. Pienhiukkaspitoisuuden vuosikeskiarvo oli 26 % raja-arvosta. Hengitettävien hiukkasten pitoisuuden vuosikeskiarvo oli Naistenlahdessa 34 % raja-arvosta (40 µg/m³). Hengitettävien hiukkasten pitoisuuden vuorokausiraja-arvon taso, 50 µg/m³, ylittyi 9 kertaa, kun sallittujen ylitysten määrä on 35 kpl kalenterivuodessa. Hengitettävien hiukkasten vuorokausiraja-arvoon verrattava 36. suurin vuorokausiarvo (24 µg/m³) oli 48 % raja-arvosta.



Kuva 5. Pienhiukkasten (PM_{2,5}) ja hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) raja-arvoihin verrattavat pitoisuudet Naistenlahden mittausasemalla vuonna 2018.

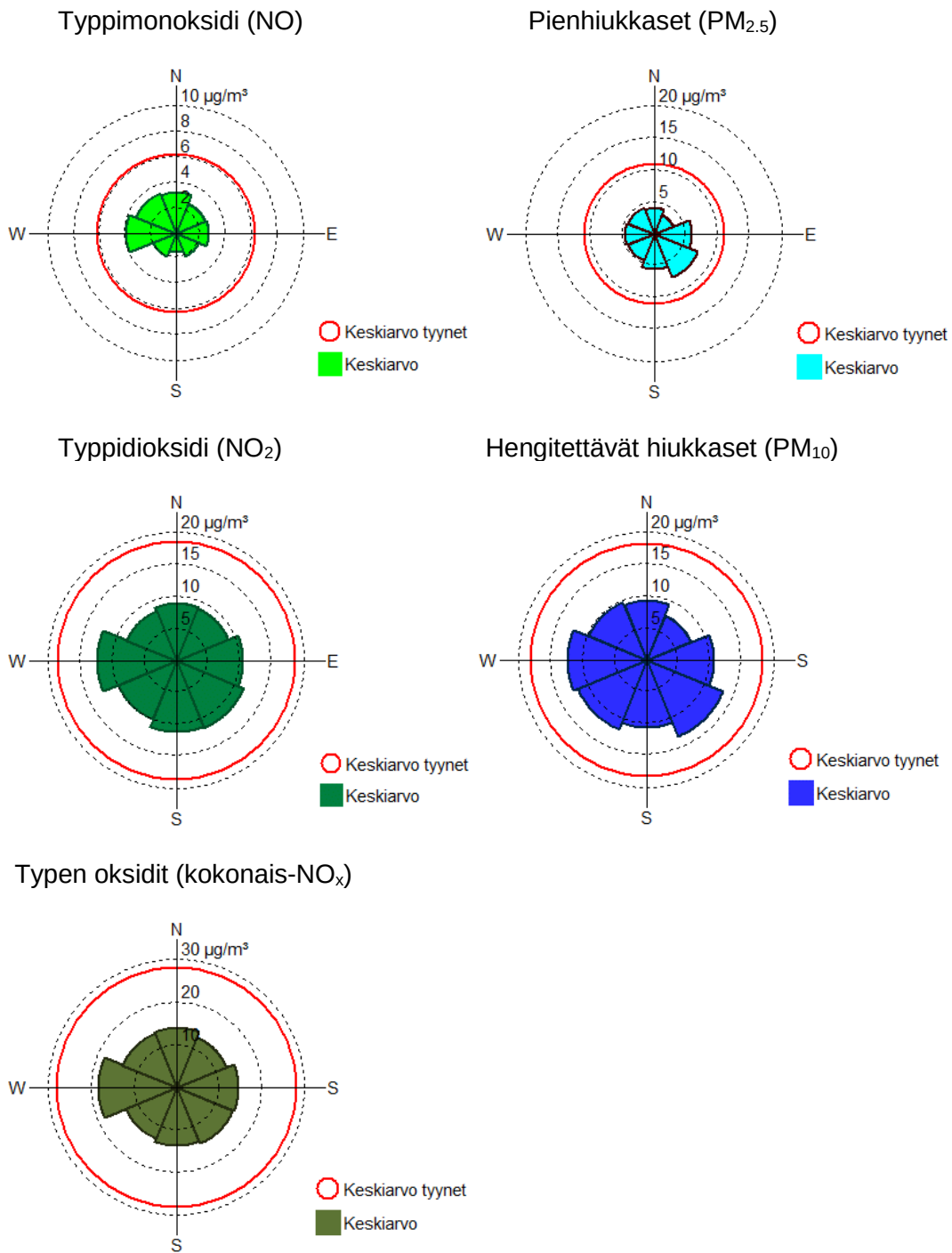
2.4 Tuulen suunnan ja nopeuden vaikutus mitattuihin pitoisuuksiin

Kuvassa 6 on havainnollistettu tuulen suunnan ja nopeuden vaikutusta Naistenlahden typen oksidien, hengitettävien hiukkasten ja pienhiukkasten pitoisuuksiin ns. saasteruusujen avulla. Saasteruus kuvaa tuntipitoisuuksien keskiarvoja eri tuulensuunnilla. Saasteruusun keskipisteestä lähtevän janan pituus sektorin kehäviivalle vastaa epäpuhtauden tuntipitoisuuksien keskiarvoa tässä tuulisektorissa. Tyynellä säällä havaittujen tuntipitoisuuksien arvo on esitetty ympyrällä, jonka säteen pituus kuvaa tyynnissä tilanteissa havaittujen pitoisuuksien keskiarvoa. Tyyniksi 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 tyynen tai heikkotuulisen sään aikana ja erityisesti ns. inversiotilanteissa ilmakehän pystysuuntaisen lämpötilajakauman estäessä tai rajoittaessa epäpuhtauksien laimenemistä myös pystysuunnassa.

Pakokaasujen typenoksidipäästöt ovat pääasiassa typpimonoksidia (NO), joka hapettuu ilmakehässä muun muassa otsonin vaikutuksesta typpidioksidiksi (NO₂). Typpimonoksidipitoisuudet kuvastavat siten parhaiten mittauspisteen lähialueen liikenteestä aiheutuvaa kuormitusta. Typpimonoksidin tuntipitoisuuksien keskiarvot olivat Naistenlahdessa vuonna 2018 suurimmillaan tyynellä säällä sekä tuulen käydessä Kekkosen tien ja tunnelin suuaukon suunnasta. Pienimmillään pitoisuudet olivat tuulen käydessä Tunturipuiston ja läheisten rakennusten suunnasta. Typpidioksidipitoisuuksiin vaikuttavat myös kauempana sijaitsevat päästölähteet. Typpidioksidin tuntipitoisuuksien keskiarvot olivat Naistenlahdessa suurimmillaan tyynnissä tilanteissa tai tuulen käydessä lännestä tai idän ja etelän välisestä sektorista eli Tammelan suunnasta (kuva 6).

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 2018 suurimmillaan tyynellä säällä sekä tuulen käydessä kaakosta (kuva 6). Hengitettävien hiukkasten pitoisuuksien melko tasainen jakauma eri ilmansuuntien kesken kertoo kaupunkiympäristön yleisestä pölyämisestä, niin ettei pölyämisen aiheuttajaa ole helppo määrittää.



Kuva 6. Typpimonoksidin, typpidioksidin, typen oksidien, pienhiukkasten ja hengitettävien hiukkasten tuntipitoisuuksien keskiarvot eri tuulensuunnilla ja tyynellä säällä Naistenlahdessa vuonna 2018. Hiukkaset on esitetty kuvissa keskenään samalla asteikolla mutta typenoksideilla kuvien asteikot ovat eri.

2.5 Pitoisuuksien ajallinen vaihtelu

Kuvassa 7 on tarkasteltu typpimonoksidin, typpidioksidin ja typenoksidien kokonaismäärän sekä pienhiukkasten ja hengitettävien hiukkasten tuntipitoisuuksien keskimääräistä vaihtelua Naistenlahdessa kellonajan mukaan erikseen arkipäivisin (maanantai–perjantai) ja viikonloppuisin (lauantai–sunnuntai).

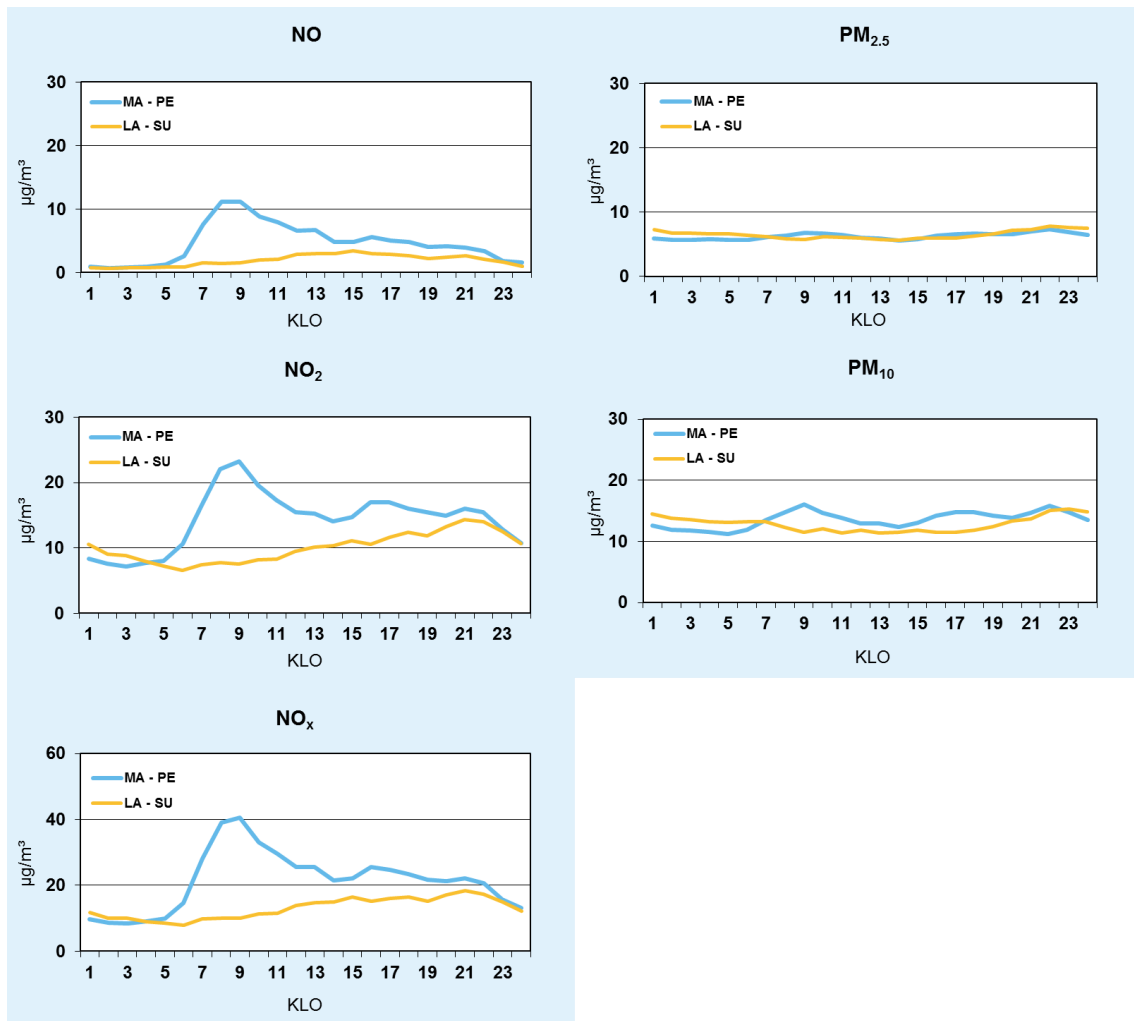
Typenoksidien tuntipitoisuuksien vuoden 2018 vuorokausivaihtelussa havaitaan selvästi liikenteen päästöjen vaikutus: arkipäivisin pitoisuudet olivat pienimmillään aamuyön tunteina ja pitoisuudet kasvoivat nopeasti siten, että pitoisuushuippu saavutettiin aamun ruuhkaliikenteen aikaan. Typpidioksidipitoisuudet kohosivat uudelleen myös iltapäivän ruuhkaliikenteen aikana. Viikonloppuisin typenoksidien pitoisuudet olivat yötä lukuunottamatta matalampia kuin pitoisuudet arkipäivisin ja aamun pitoisuushuippu puuttui viikonloppuilt 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. Liikenteen aiheuttamat ruuhkaliikenteen pitoisuushuiput näkyivät vain hyvin lievinä. Viikonloppuisin hengitettävien hiukkasten pitoisuudet olivat päivällä pienempiä kuin iltaisin ja öisin.

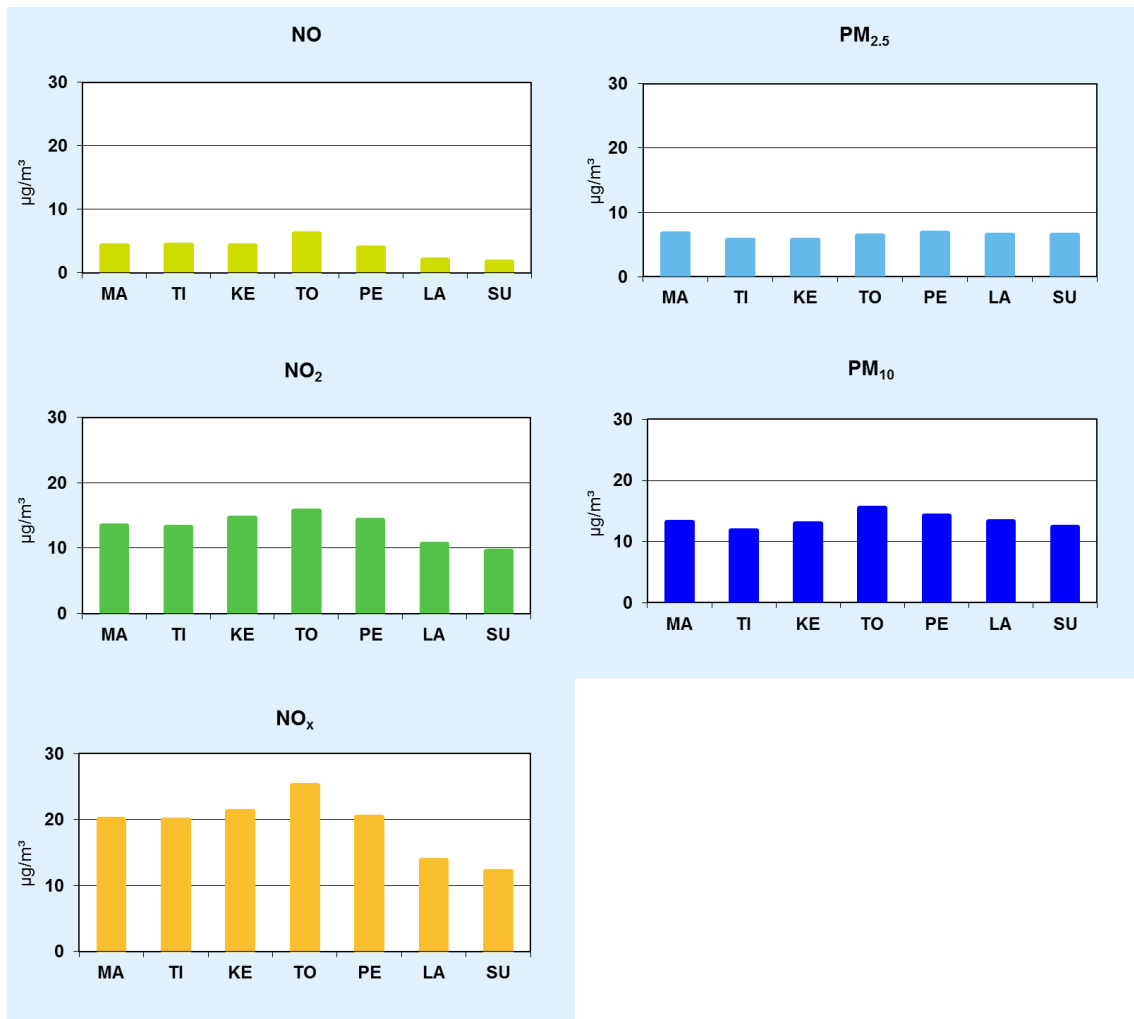
Pienhiukkasten keskimääräisissä pitoisuuksissa ei ollut kovin paljon vaihtelua päivän mittaan. Pienhiukkasten pitoisuus oli viikonloppuisin päiväsaikaan matalampi kuin arkipäivisin. Pienhiukkaspitoisuuksien melko pieni vaihtelu johtuu siitä, että suurin vaikutus pienhiukkaspitoisuustasoihin on alueellisella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

Hiukkaspitoisuuden vuorokaudenaikaisvaihtelu poikkeaa taajamien liikennerympäristöissä 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 (kuva 8) typenoksidien keskimääräinen pitoisuustaso vaihteli 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.



Kuva 7. 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 2018.



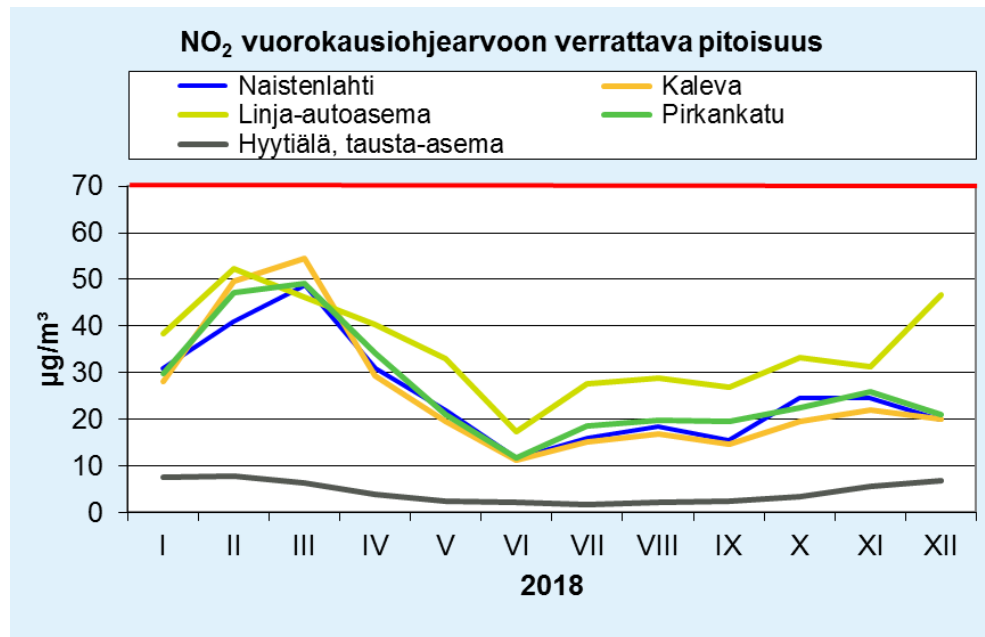
Kuva 8. Typpimonoksidin (NO), typpidioksidin (NO₂), typen oksidien kokonaismäärän (NO_x), pienhiukkasten (PM_{2.5}) ja hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) vuorokausipitoisuuksien keskiarvot viikonpäivän mukaan Naistenlahdessa vuonna 2018.

2.6 Pitoisuuksien vertailua muilla mittausasemilla mitattuihin pitoisuuksiin

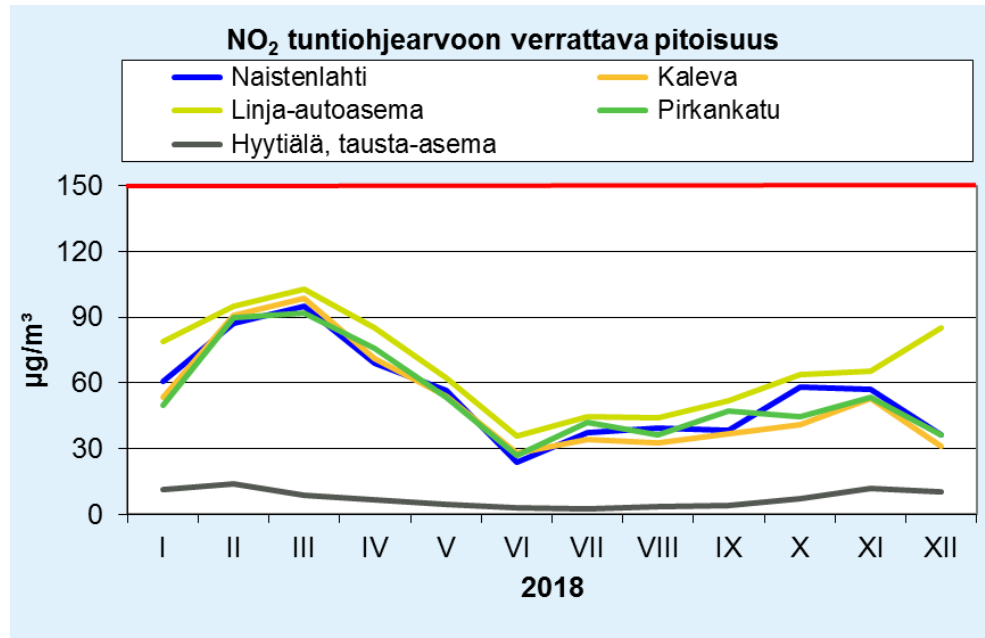
2.6.1 Typenoksidit

Typpidioksidin pitoisuuksia mitataan Suomessa yli 50 mittausasemalla. Typpidioksidin mittausasemista noin puolet sijaitsee liikenneympäristöissä. Tampereella typpidioksidia 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 ilmanlaadusta yleisemmin. Ilmanlaadun mittaukset toteuttaa Tampereen kaupungin ympäristönsuojeluyksikkö. Tamperetta lähin taustailmanlaadun mittausasema on Juupajoen kunnassa Hyytiälässä sijaitseva SMEAR II-tutkimusasema. Kuvissa 9–11 on esitetty typpidioksidipitoisuuden tunti- ja vuorokausiohjearvoon verrannolliset pitoisuudet ja kuukausikeskiarvot vuodelta 2018 Tampereen Kalevassa, Pirkankadulla ja Linja-autoasemalla (*Tampereen kaupunki, 2019*), Hyytiälän tausta-asemalla (*Ilmatieteen laitos, 2019 a*) ja Naistenlahdessa.

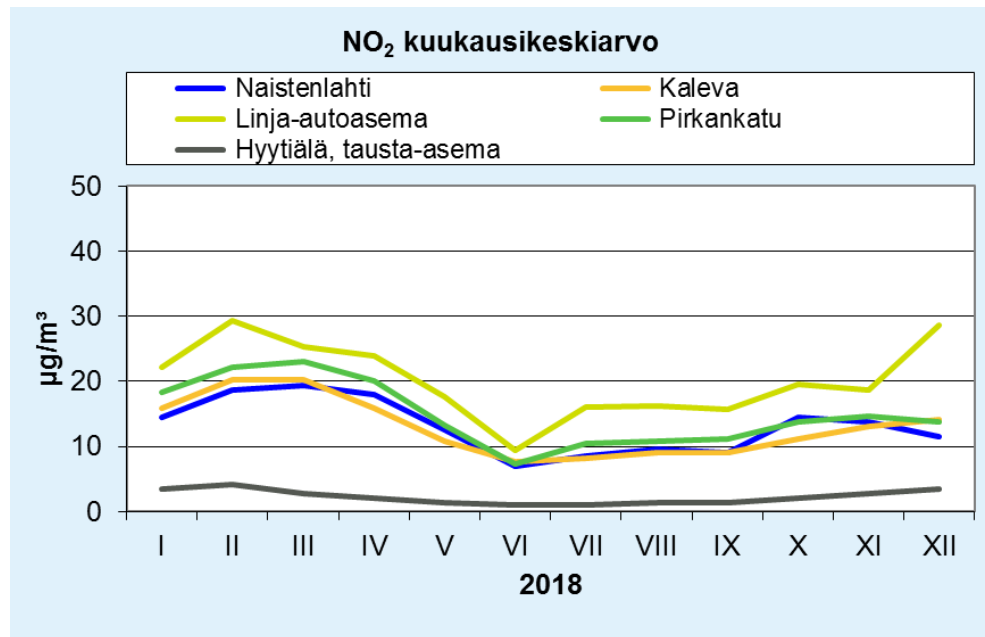
Naistenlahdessa typpidioksidipitoisuudet olivat vuonna 2018 kuukausikeskiarvoina sekä tunti- ja vuorokausiohjearvoon verrannollisina pitoisuuksina pääosin samaa tasoa kuin Kalevan ja Pirkankadun mittausasemilla ja matalampia kuin Tampereen Linja-autoasemalla. Hyytiälän tausta-asemalla pitoisuudet olivat hyvin pieniä verrattuina Tampereen kaikilla mittausasemilla mitattuihin pitoisuuksiin. Vuodenaikainen pitoisuusvaihtelu oli kaikilla mittausasemilla hyvin samansuuntaista. Korkeimmillaan typpidioksidipitoisuudet olivat helmi- ja maaliskuussa. Typpidioksidipitoisuuden vuorokausiohjearvot ja tuntiohjearvot alittuivat selvästi kaikkina kuukausina kaikilla Tampereen mittausasemilla.



Kuva 9. Typpidioksidipitoisuuden (NO₂) vuorokausiohjearvoon verrattavat pitoisuudet kuukausittain Tampereella ja Hyytiälän tausta-asemalla vuonna 2018. Ohjearvotaso, 70 µg/m³, on merkitty kuvaan punaisella vaakaviivalla.

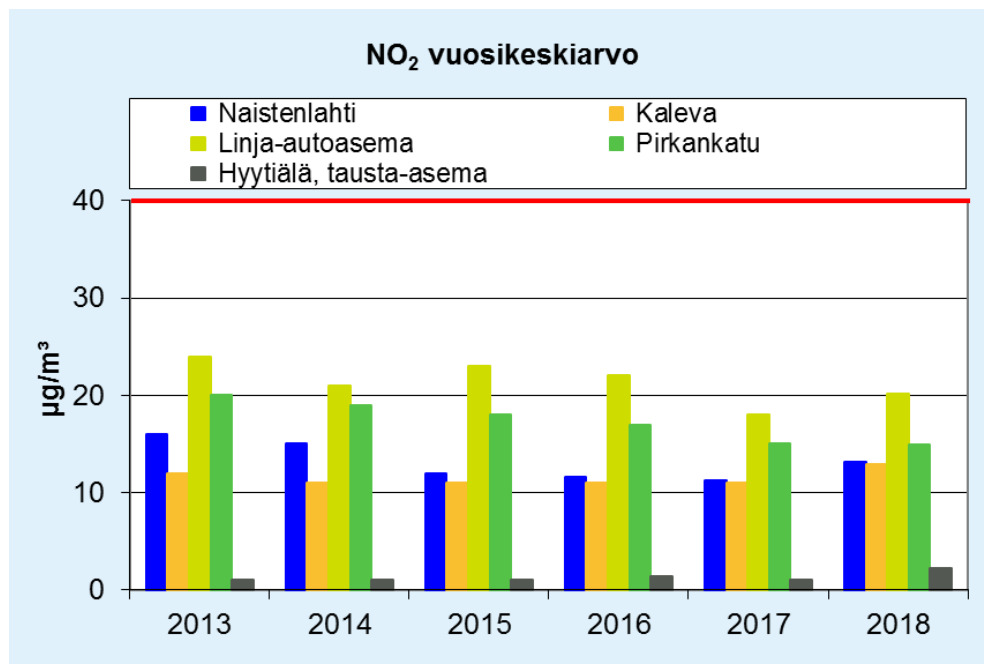


Kuva 10. Typpidioksidipitoisuuden (NO₂) tuntiohjearvoon verrattavat pitoisuudet kuukausittain Tampereella ja Hyytiälän tausta-asemalla vuonna 2018. Ohjearvotaso, 150 µg/m³, on merkitty kuvaan punaisella vaakaviivalla.



Kuva 11. Typpidioksidipitoisuuden kuukausikeskiarvot Tampereella ja Hyvinkään tausta-asemalla vuonna 2018.

Kuvassa 12 on esitetty typpidioksidipitoisuuden vuosikeskiarvot Tampereella ja Hyvinkään tausta-asemalla koko mittausjakson ajalta, vuosilta 2013–2018. Kaikilla asemilla vuosikeskiarvopitoisuudet ovat olleet selvästi alle typpidioksidipitoisuuden raja-arvon ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Kaikilla Tampereen kaupungin mittausasemilla sekä Naistenlahden mittausasemalla on ollut laskeva trendi vuosikeskiarvopitoisuuksissa mittausjakson aikana. Naistenlahdessa typpidioksidipitoisuuden vuosikeskiarvo oli vuonna 2018 pienempi kuin ennen tunnelin rakentamisen aloitusta vuonna 2013.



Kuva 12. Typpidioksidipitoisuuden (NO₂) vuosikeskiarvot Tampereella ja Hyytiälän tausta-asemalla koko mittausjaksolla, vuosina 2013–2018. Raja-arvotaso, 40 µg/m³, on merkitty kuvaan punaisella vaakaviivalla.

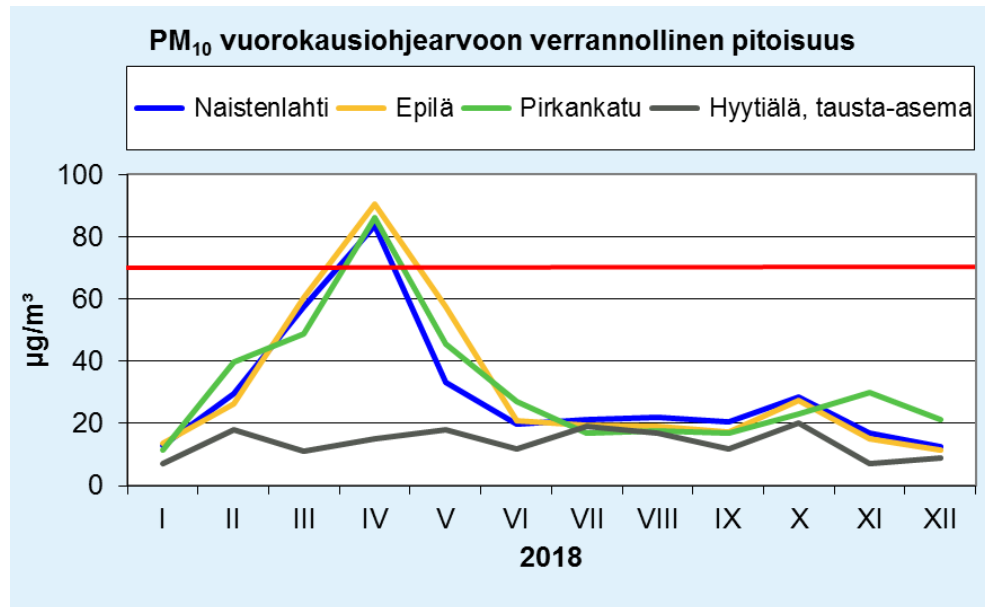
2.6.2 Hengitettävät hiukkaset

Kuvissa 13 ja 14 on esitetty hengitettävien hiukkasten ohjearvoon verrattavat pitoisuudet ja kuukausikeskiarvot vuodelta 2018 Naistenlahdessa, Tampereen Epilässä ja Pirkankadulla, jotka ovat Tampereen kaupungin ilmanlaadun mittausasemia (*Tampereen kaupunki, 2019*) sekä Hyytiälän tausta-asemalla, joka on Tampereen lähin taustailmanlaadun mittausasema (*SMEAR II, 2019*). Epilän ja Pirkankadun mittausasemat ovat tyypiltään liikenneasemia. Epilässä mittalaitteena on laser-diffraktioon perustuva Grimm 180 ja Pirkankadulla TEOM 1400a, jonka mittausperiaate on värähtelevä mikrovaaka. Hyytiälän tausta-asemalla on käytössä samanlainen SHARP-mittalaite kuin Naistenlahdessa, mutta laitteesta käytettiin vain beetasäteilyn vaimenemiseen perustuvaa pitoisuutta.

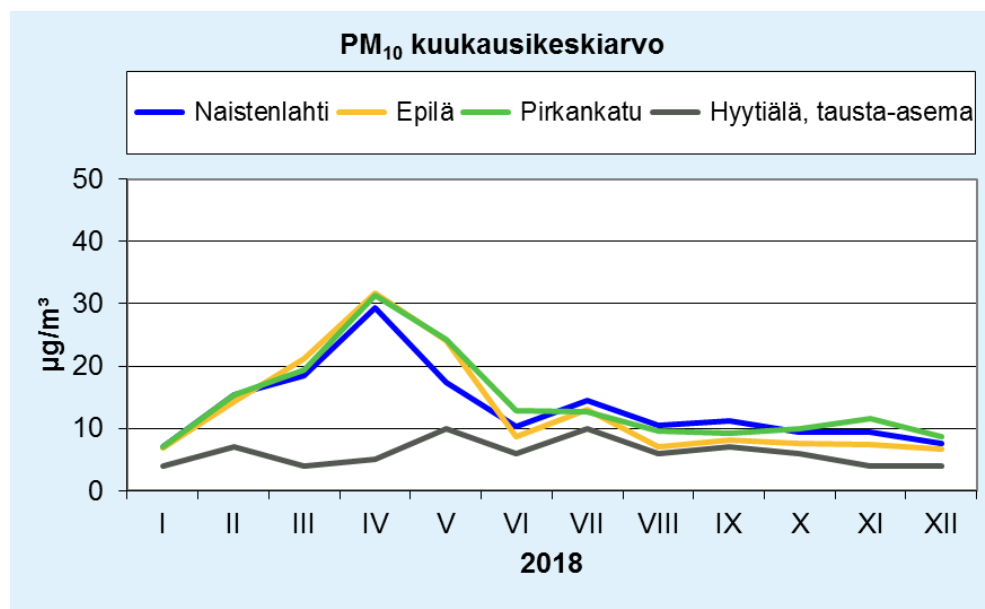
Erilaisista mittausmenetelmistä johtuen hiukkasmittausten tulokset eivät ole sellaisenaan täysin vertailukelpoisia. Naistenlahden hiukkasmittauksien tulokset on korjattu koko tarkastelujaksolta 2013–2018 vuoden 2010 mukaisilla ekvivalenttisuuskertoimilla (*Walden ym., 2010*) jakson eri vuosien välisen vertailtavuuden säilyttämiseksi. Tampereen kaupungin mittauksissa on ollut tällä jaksolla käytössä eri ekvivalenttisuuskertoimia, koska kertoimet ovat päivittyneet vuosina 2017 ja 2018 (*Walden ym., 2017 ja Walden ym., 2018*).

Hengitettävien hiukkasten pitoisuuden vuorokausiohjarvo ylittyi kevätpölykaudella huhtikuussa 2018 Naistenlahden, Epilän ja Pirkankadun mittausasemilla (kuva 13). Naistenlahden hiukkaspitoisuudet olivat sekä ohjearvoon verrannollisina pitoisuuksina että kuukausikeskiarvoina hyvin samansuuruisia kuin Epilän ja Pirkankadun mittausasemilla ja vuodenaikainen pitoisuusvaihtelu oli kaikilla mittausasemilla hyvin samansuuntaista. Hyytiälän tausta-asemalla mitatut pitoisuudet olivat hyvin pieniä

verrattuina Tampereen kaikilla mittausasemilla mitattuihin hengitettävien hiukkasten pitoisuuksiin.



Kuva 13. Hengitettävien hiukkasten vuorokausiohjeeseen verrattavat pitoisuudet kuukausittain Tampereella ja Hyytiälän tausta-asemalla vuonna 2018. Ohjearvotaso, 70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, on merkitty kuvaan punaisella vaakaviivalla.



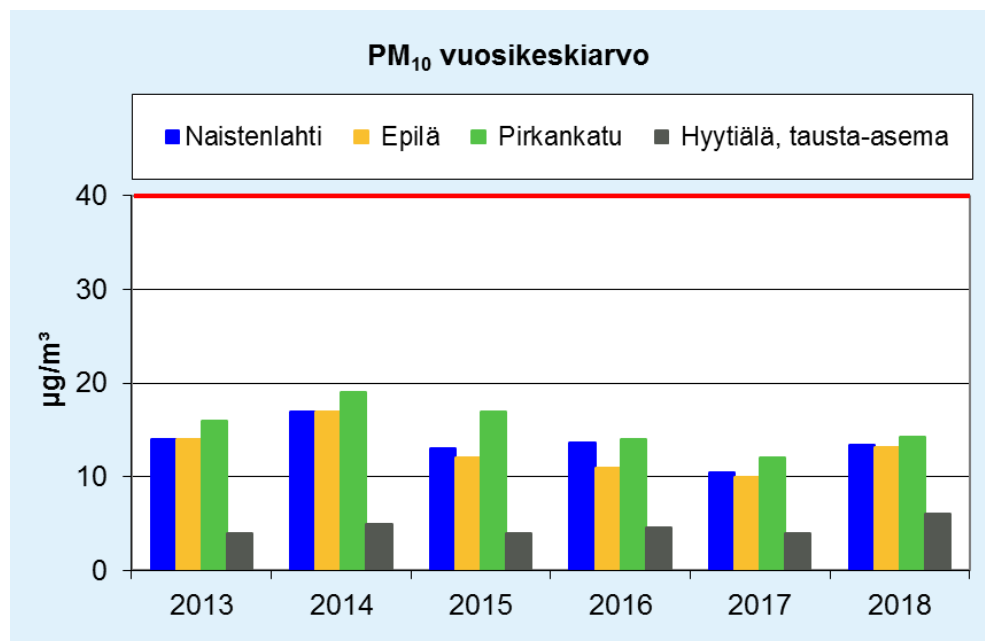
Kuva 14. Hengitettävien hiukkasten pitoisuuden kuukausikeskiarvot Tampereella ja Hyytiälän tausta-asemalla vuonna 2018.

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 Naistenlahdessa vuonna 2018 yhdeksän kertaa, kun sallittujen ylitysten määrä on 35 kpl kalenterivuodessa. Vastaavasti Pirkankadulla vuorokausiraja-arvon taso ylittyi 10 kertaa ja Epilässä 9 kertaa.

Kuvassa 15 on esitetty hengitettävien hiukkasten pitoisuuden vuosikeskiarvot Tampereella ja Hyytiälän tausta-asemalla koko mittausjakson ajalta, vuosilta 2013–2018. 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 2018 vähän pienempi kuin ennen tunnelin rakentamisen aloitusta vuonna 2013.



Kuva 15. Hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) vuosikeskiarvopitoisuudet Tampereella ja Hyytiälän tausta-asemalla koko mittausjaksolla, vuosina 2013–2018. Raja-arvotaso, $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$, on merkitty kuvaan punaisella vaakaviivalla.

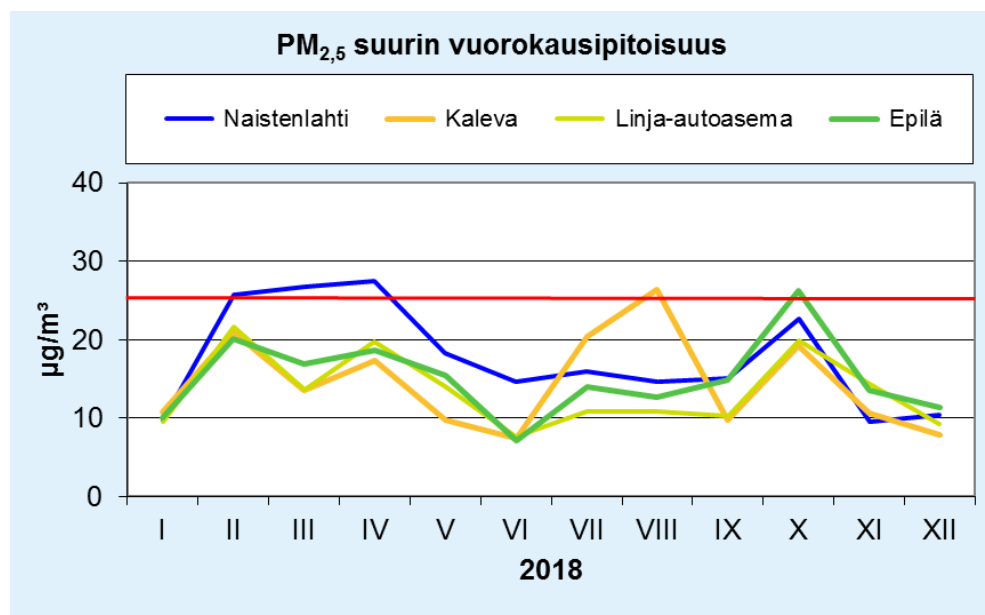
2.6.3 Pienhiukkaset

Kuvissa 16 ja 17 on esitetty pienhiukkasten suurimmat vuorokausipitoisuudet ja kuukausikeskiarvopitoisuudet vuodelta 2018 Naistenlahdessa sekä Tampereen kaupungin ilmanlaadun mittausasemilla Epilässä, Kalevassa ja Linja-autoasemalla (*Tampereen kaupunki, 2019*). Tampereen kaupungin mittausasemista Epilä on tyypiltään liikenneasema. Kalevan ja Linja-autoaseman mittausasemat edustavat ns. kaupunkitaustaa. Epilässä mittalaitteena on laserdiffraktioon perustuva Grimm 180,

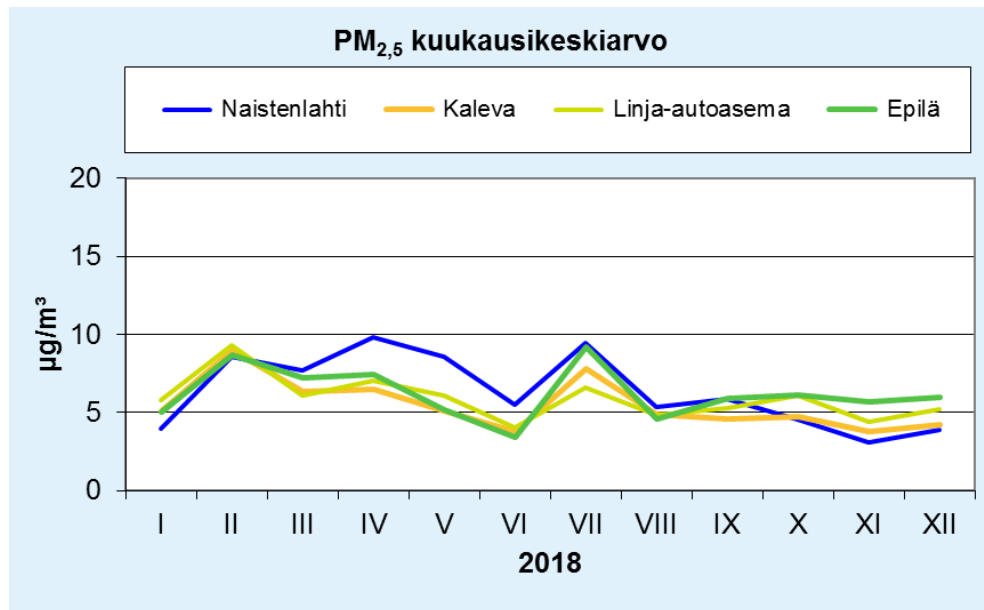
Linja-autoasemalla ja Kalevassa TEOM 1400a, jonka mittausperiaate on värähtelevä mikrovaaka.

Erilaisista mittausmenetelmistä johtuen hiukkasmittausten tulokset eivät ole sellaisenaan täysin vertailukelpoisia. Naistenlahden hiukkasmittaustulokset on korjattu koko tarkastelujaksolta 2013–2018 vuoden 2010 mukaisilla ekvivalenttisuuskertoimilla (Walden ym., 2010) jakson eri vuosien välisen vertailtavuuden säilyttämiseksi. Tampereen kaupungin mittaustuloksissa on ollut tällä jaksolla käytössä eri ekvivalenttisuuskertoimia, koska kertoimet ovat päivittyneet vuosina 2017 ja 2018 (Walden ym., 2017 ja Walden ym., 2018).

WHO:n ohjearvo pienhiukkaspitoisuuksien vuorokausikeskiarvolle ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ylittyi helmi-, maalis- ja huhtikuussa Naistenlahdessa, elokuussa Kalevassa ja lokakuussa Epilässä. Lokakuussa pitoisuudet olivat Naistenlahdessa ohjearvon tasoa (kuva 16). Lokakuussa Suomessa laajoilla alueilla havaitun voimakkaan kaukokulkeumaepisodin aikana pitoisuudet olivat koholla kaikilla Tampereen mittausasemilla samanaikaisesti. Pienhiukkaspitoisuudet olivat Naistenlahdessa kuukausikeskiarvoina tarkasteltuna pääosin korkeampia kuin Tampereen kaupungin mittausasemilla. käytössä olevista eri kertoimista johtuen (kuva 17). Uudempien Walden ym., 2017 ja Walden ym., 2018 tutkimusten mukaan Naistenlahdessa käytössä olleen Sharp 5030 analysaattorin 2010 tutkimuksen mukainen ekvivalenttisuuskertoimen yliarvioi $\text{PM}_{2,5}$ -pitoisuutta noin kymmenen prosenttia.

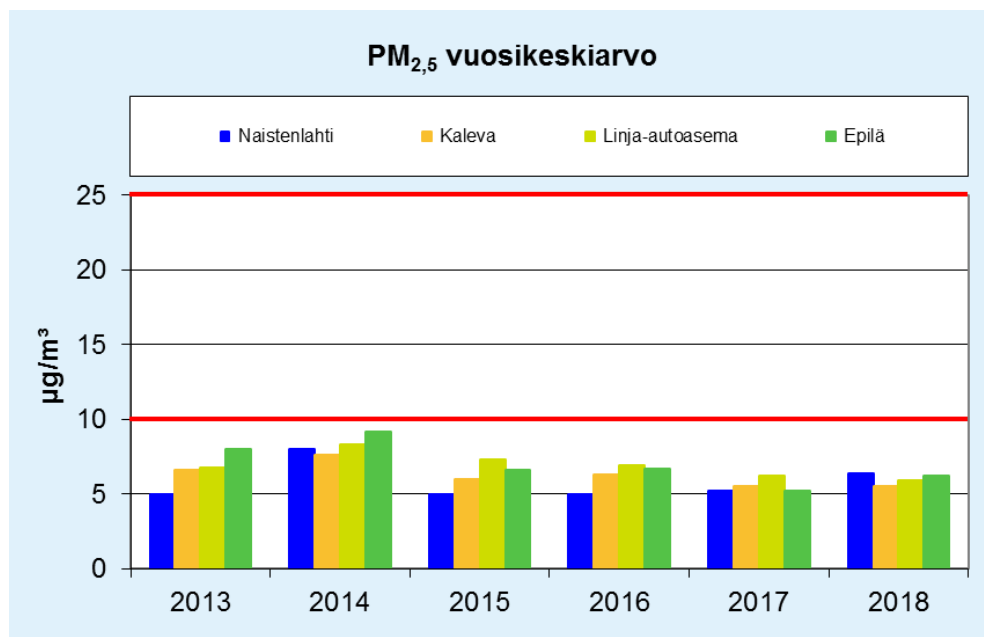


Kuva 16. Pienhiukkasten suurimmat vuorokausipitoisuudet kuukausittain vuonna 2018. WHO:n ohjearvotaso, $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$, on merkitty kuvaan punaisella vaakaviivalla.



Kuva 17. Pienhiukkaspitoisuuden kuukausikeskiarvot Tampereella eri mittausasemilla vuonna 2018.

Kuvassa 18 on esitetty pienhiukkasten pitoisuuden vuosikeskiarvot Tampereella ja Hyytiälän tausta-ajamilla koko mittausjakson ajalta, vuosilta 2013–2018. Kaikilla mittausasemilla vuosikeskiarvopitoisuudet ovat olleet selvästi alle pienhiukkasten pitoisuuden vuosiraja-arvon ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$) sekä WHO:n vuosipitoisuuksille antaman ohjearvon ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Vuosikeskiarvot ovat vaihdelleet jonkin verran eri vuosina kaikilla mittausasemilla. Naistenlahdessa vuosikeskiarvo oli vuonna 2018 suurempi kuin mittausten alussa vuonna 2013.



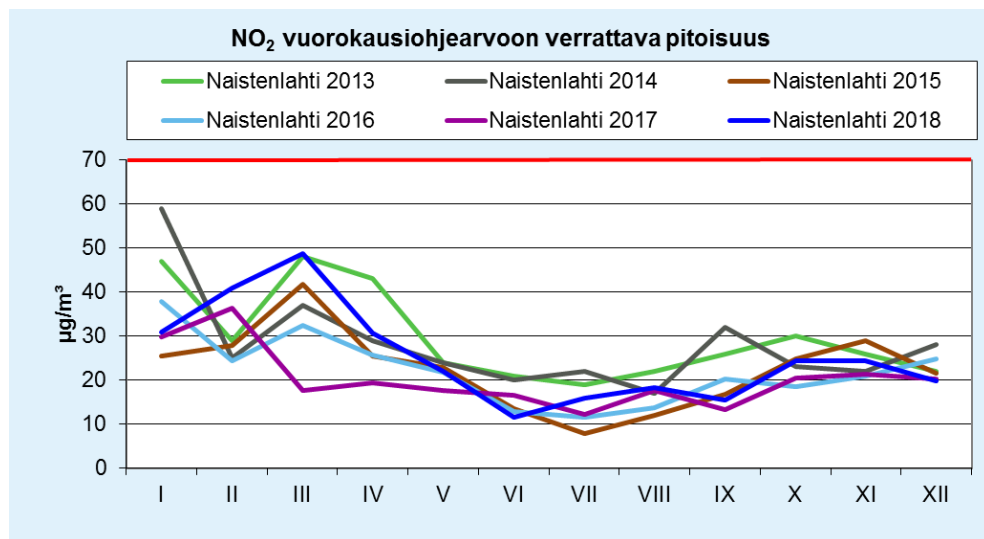
Kuva 18. Pienhiukkasen (PM_{2,5}) vuosikeskiarvopitoisuudet Tampereella koko mittausjakson ajalta, vuosina 2013–2018. Raja-arvotaso $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja WHO:n ohjearvotaso, $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, on merkitty kuvaan punaisilla vaakaviivoilla.

2.7 Vuoden 2017 pitoisuuksien vertailua aiempien vuosien mittauksiin

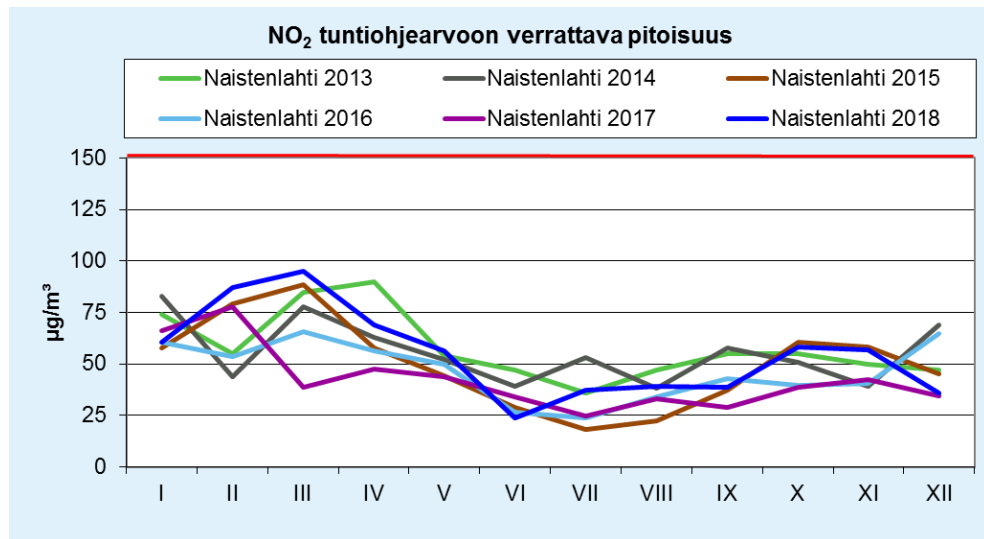
Ilmanlaatumittaukset Naistenlahdessa aloitettiin loppuvuodesta 2012 tunnelin suunnitteluvaiheessa. Tunnelin toteutusvaiheeseen päästiin lokakuussa 2013 ja avolouhinta aloitettiin marraskuun 2013 lopulla. Laajamittaisemmat louhinnat aloitettiin vasta vuoden 2014 alkupuolella, joten vuosi 2013 toimii vertailupohjana myöhempien vuosien mittaustuloksille. Tunnelin louhinta päättyi kesäkuussa 2015, mutta avolouhinta Naistenlahdessa ja maanrakennustyöt 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* ja *Salmi ym. 2018*.

2.7.1 Typpidioksidi

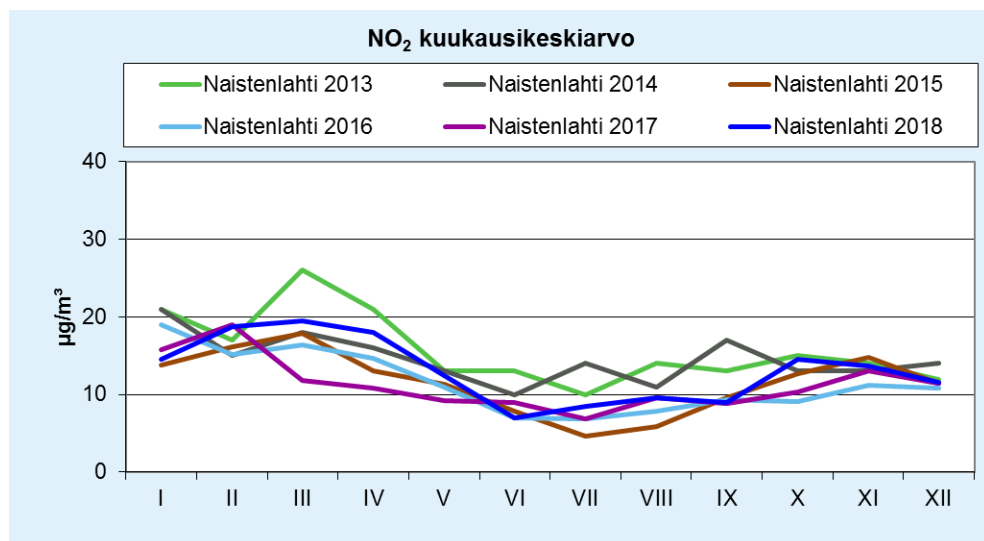
Typpidioksidin ohjearvoihin verrattavat pitoisuudet olivat Naistenlahdessa vuonna 2018 pääosin hiukan korkeampia tai samaa tasoa kuin aikaisempina mittausvuosina (kuvat 19–21). Pitoisuudet ovat kaikkina tarkasteluvuosina olleet selvästi alle ohjearvojen. Tammikuussa on useina vuosina ollut hyvin kylmiä pakkasjaksoja, jotka ovat kohottaneet typpidioksidipitoisuuksia myös Naistenlahdessa. Vuonna 2018 kovia pakkasia oli myös helmi- ja maaliskuussa, joiden aikana havaittiin korkeita typpidioksidipitoisuuksia. Vuonna 2013 maaliskuu ja huhtikuu olivat tavanomaista kylmempiä ja typen oksidien pitoisuudet olivat tällöin suurempia kuin minään seuraavista vuosista (kuvat 19–21).



Kuva 19. Typpidioksidin (NO₂) vuorokausiohjearvoon verrattavat pitoisuudet kuukausittain Naistenlahdessa koko mittausjaksolla, vuosina 2013–2018. Ohjearvotaso, 70 µg/m³, on merkitty kuvaan punaisella vaakaviivalla.



Kuva 20. Typpidioksidin (NO₂) tuntiohjearvoon verrattavat pitoisuudet kuukausittain Naistenlahdessa koko mittausjaksolla, vuosina 2013–2018. Ohjearvotaso, 150 µg/m³, on merkitty kuvaan punaisella vaakaviivalla.



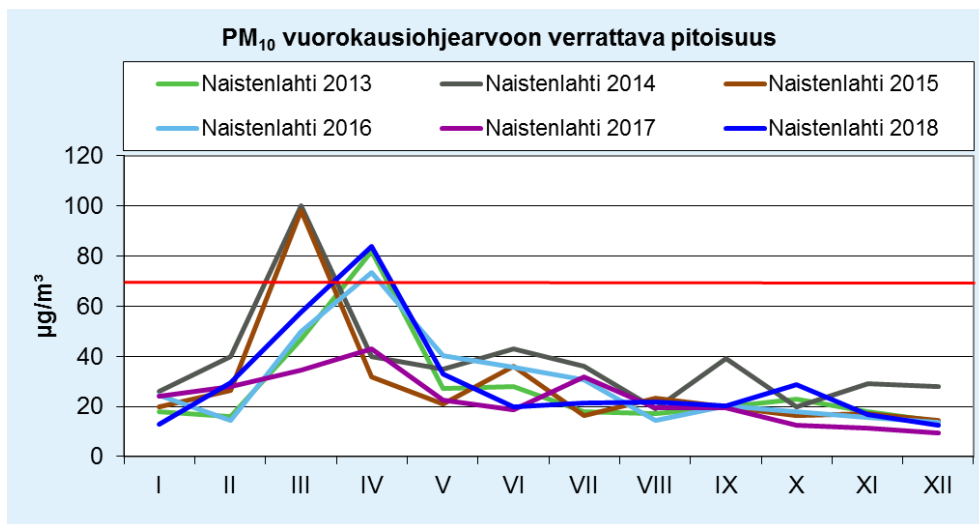
Kuva 21. Typpidioksidin (NO₂) kuukausikeskiarvot Naistenlahdessa koko mittausjaksolla, vuosina 2013–2018.

2.7.2 Hengitettävät hiukkaset

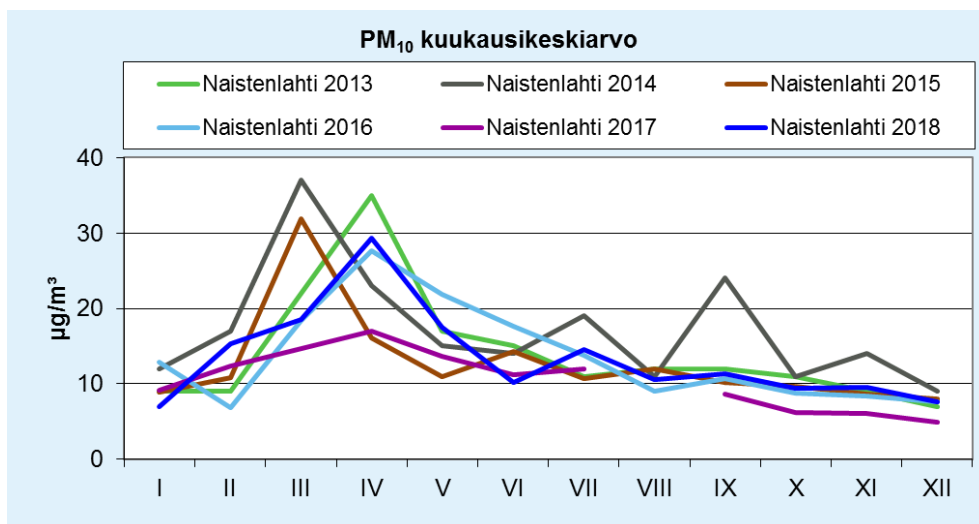
Naistenlahden mittausasemalla hengitettävien hiukkasten ohjearvotaso on ylittynyt kevätpölykaudella kaikkina muina mittausvuosina paitsi vuonna 2017 (kuva 22). Vuonna 2015 kevätpölykausi oli Etelä- ja Keski-Suomessa poikkeuksellisen vaikea.

Hengitettävien hiukkasten ohjearvoon verrattavat pitoisuudet (kuva 22) vaihtelevat voimakkaasti paikallisten sääolosuhteiden mukaan ja pitoisuudet ovat korkeimmillaan inversiotilanteissa sekä kuivalla ja heikkotuulisella säällä. Vaikka pitoisuuksien

kuukausikeskiarvojen (kuva 23) vaihtelu ei ole yhtä suurta kuin ohjearvoon verrattavien pitoisuuksien vaihtelu, voidaan kuukausikeskiarvoissa kuitenkin havaita keväisen katupölyn vaikutus pitoisuustasoihin. Eri vuosien kuvaajia vertaamalla havaitaan, että eri vuosien välinen luontainen säätekijöistä johtuva pitoisuusvaihtelu on suurta. Tämän lisäksi pitoisuuksiin vaikuttavat paikallisessa päästöympäristössä tapahtuneet muutokset.



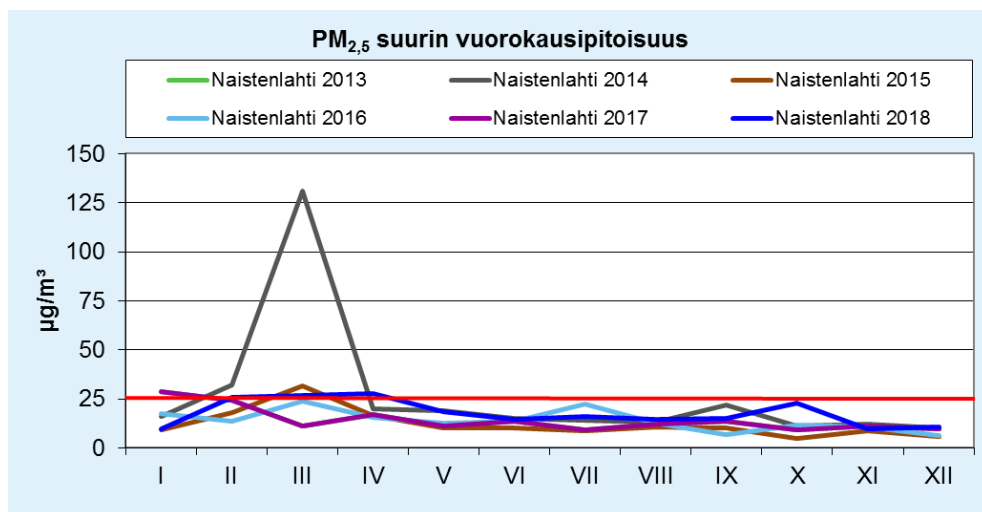
Kuva 22. Hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) vuorokausiohjearvoon verrattavat pitoisuudet kuukausittain Naistenlahdessa koko mittausjaksolla, vuosina 2013–2018. Ohjearvotas, 70 µg/m³, on merkitty kuvaan punaisella vaakaviivalla.



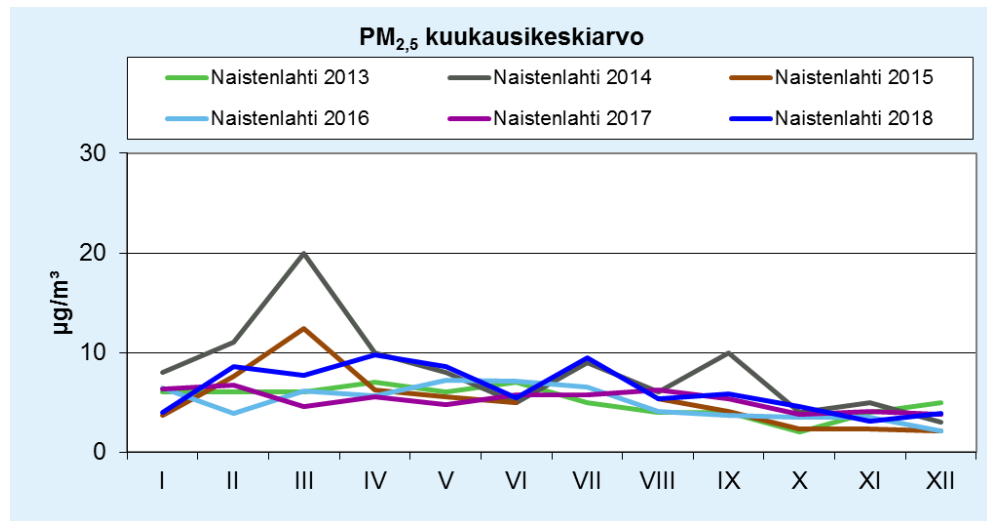
Kuva 23. Hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) kuukausikeskiarvot Naistenlahdessa koko mittausjaksolla, vuosina 2013–2018.

2.7.3 Pienhiukkaset

Pienhiukkasten suurimmat vuorokausipitoisuudet (WHO:n ohjearvoon verrannollinen pitoisuus) sekä kuukausikeskiarvopitoisuudet olivat Naistenlahdessa vuonna 2018 hiukan korkeampia kuin aiempina mittausvuosina (kuvat 24 ja 25). Pitoisuustuloksissa on havaittavissa työmaan paikallisen vaikutuksen lisäksi myös pienhiukkasten kaukokulkeumaepisodeja. Pienhiukkasten kaukokulkeumaepisodeja esiintyy yleisesti maaliskuussa ja satunnaisemmin tammikuussa 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. Vuonna 2018 havaittiin voimakas kaukokulkeumaepi-sodi elokuussa, mutta kuivan kesäkauden vuoksi pienhiukkasten pitoisuudet olivat tavanomaista korkeammat koko heinäkuun ajan.



Kuva 24. Pienhiukkasten (PM_{2.5}) suurimmat vuorokausipitoisuudet kuukausittain Naistenlahdessa koko mittausjaksolla, vuosina 2013–2018. WHO:n ohjearvo, 25 µg/m³, on merkitty kuvaan punaisella vaakaviivalla.

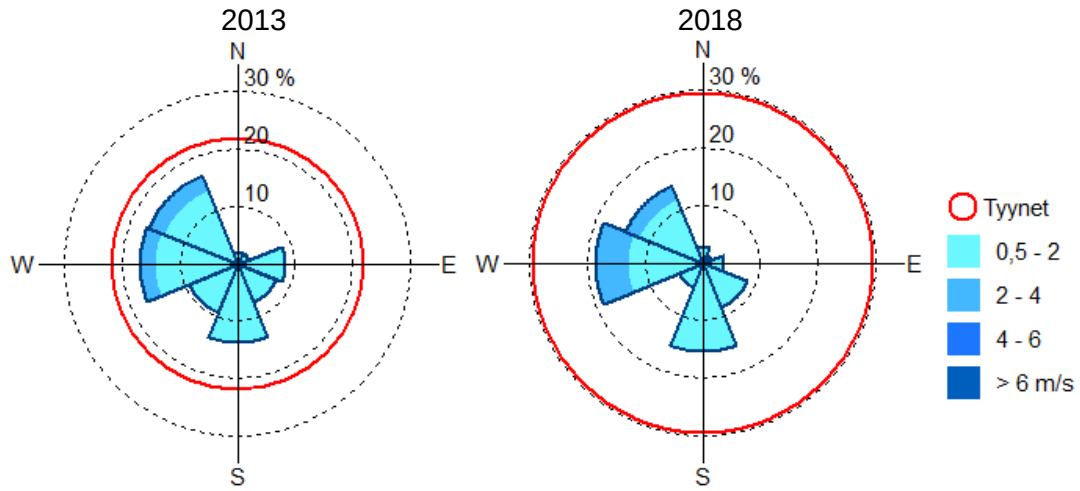


Kuva 25. Pienhiukkasten (PM_{2.5}) kuukausikeskiarvopitoisuudet Naistenlahdessa koko mittausjaksolla, vuosina 2013–2018.

3 PITOISUUDET ENNEN TUNNELIN RAKENTAMISTA JA SEN JÄLKEEN

3.1 Pitoisuustarkastelut ilmansuunnittain

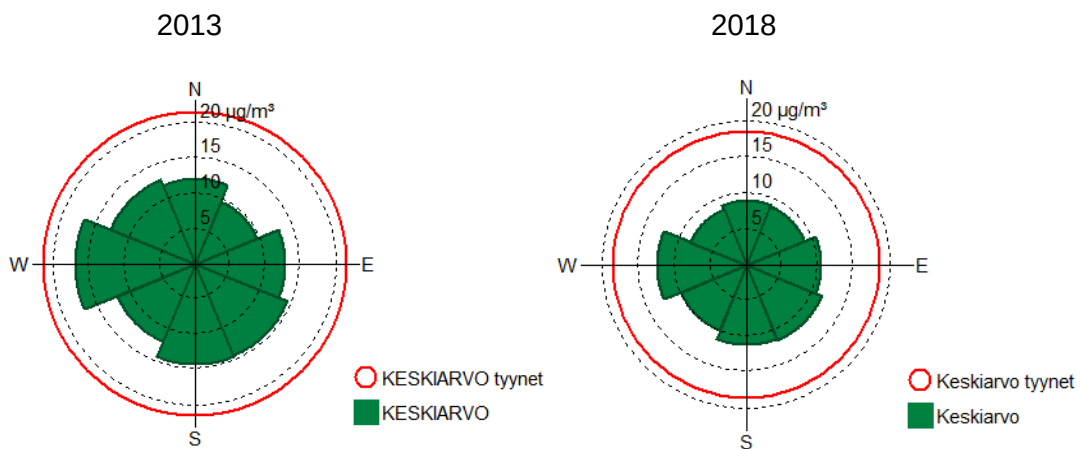
Vuonna 2018 mitattuja pitoisuuksia on tässä kappaleessa verrattu vuonna 2013, ennen tunnelin rakentamisen aloittamista, Naistenlahdessa mitattuihin pitoisuustuloksiin. Kuvissa 26 on esitetty näiden vuosien aikana mittausasemalla havaituista tuulista piirretyt tuuliruusut. Tuuliruusuista voidaan havaita, että eri vuosien tuuliolosuhteet olivat mittausasemalla hyvin samankaltaiset eikä tunnelin rakentamisella ole ollut vaikutusta mittausaseman kohdalla vallitseviin tuuliolosuhteisiin.



Kuva 26. Tuuliruusut Naistenlahden ilmanlaadun mittausasemalla havaituista tuulista vuonna 2013 (vasen kuva) ja vuonna 2018 (oikea kuva).

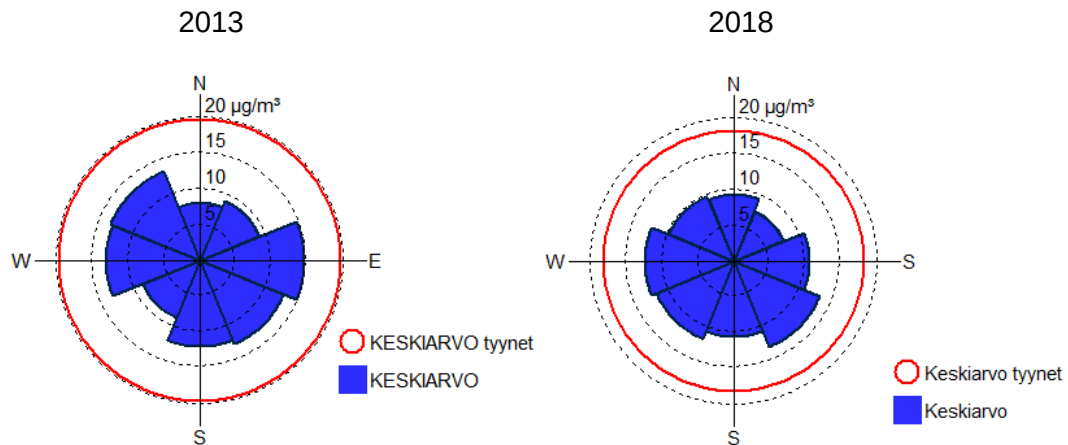
Kuvissa 27–28 on esitetty saasteruusut vuosina 2013 ja 2018 havaituista typpidioksidin ja hengitettävien hiukkasten tuntipitoisuuksien keskiarvoista. Saasteruusun keskipisteestä lähtevän janan pituus sektorin kehäviivalle vastaa epäpuhtauden tuntipitoisuuksien keskiarvoa tässä tuulisektorissa. Tyynellä säällä (tuulen nopeus < 0,5 m/s) havaittujen tuntipitoisuuksien keskiarvo on esitetty kuvissa erillisellä punaisella ympyrällä.

Typpidioksidin tuntipitoisuuksien keskiarvoista piirretyt pitoisuusjakaumat olivat muodoltaan Naistenlahden mittausasemalla molempina vuosina hyvin saman kaltaisia (kuva 27). Korkeimmat typpidioksidin tuntipitoisuuksien keskiarvot havaittiin molempina tarkasteluvuosina tyynissä tilanteissa. Typpidioksidipitoisuudet olivat Naistenlahdessa tunnelin käyttöönoton jälkeen keskimäärin pienempiä kuin ennen tunnelin rakentamista.



Kuva 27. Typpidioksidin (NO_2) tuntipitoisuuksien keskiarvot eri tuulensuunnilla ja tyynellä säällä Naistenlahdessa vuonna 2013 (vasen kuva) ja vuonna 2018 (oikea kuva).

Myös hengitettävien hiukkasten pitoisuustasot olivat Naistenlahdessa vuonna 2018 pohjoisen ja lounaan puoleista tuulisektoria lukuunottamatta keskimäärin hieman pienempiä kuin vuonna 2013 ennen tunnelin käyttöönottoa (kuva 28). Korkeimmat tuntipitoisuuksien keskiarvot havaittiin molempina tarkasteluvuosina tyynellä säällä.



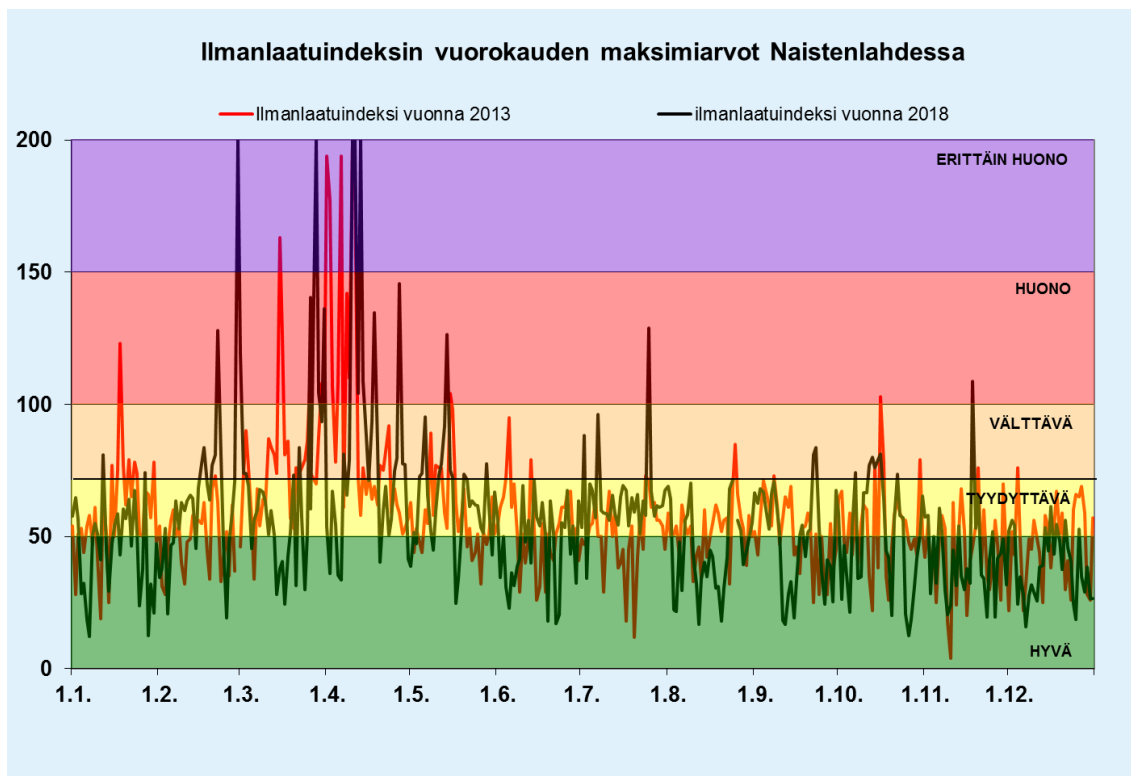
Kuva 28. Hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) tuntipitoisuuksien keskiarvot eri tuulensuunnilla ja tyynellä säällä Naistenlahdessa vuonna 2013 (vasen kuva) ja vuonna 2018 (oikea kuva).

3.2 Pitoisuustarkastelut ilmanlaatuindeksin avulla

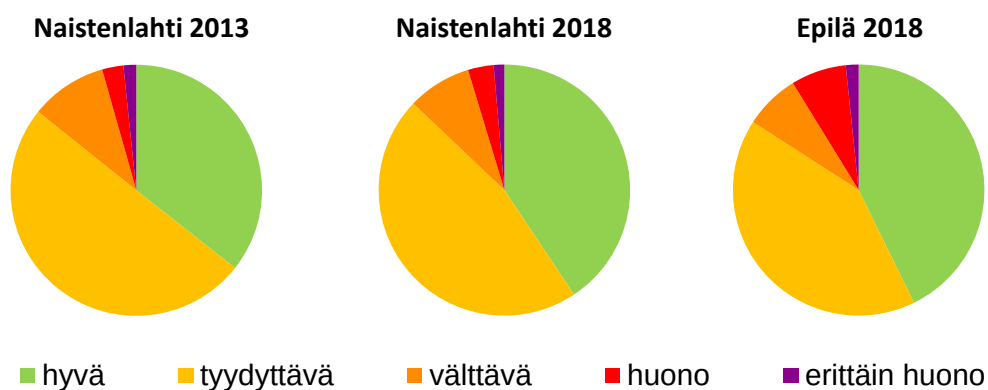
Kuvassa 29 on esitetty ilmanlaatua Tampereen Naistenlahdessa ilmanlaatuindeksin asteikolla kuvattuna, ennen tunnelin rakentamista vuonna 2013 sekä tunnelin rakentamisen ja käyttöönoton jälkeen vuonna 2018. Ilmanlaatuindeksin laskentaan on käytetty typpidioksidin, hengitettävien hiukkasten ja pienhiukkasten tuntipitoisuuksia. Ilmanlaatuindeksi on vertailuluku, joka kuvaa mittaushetken ilmanlaatua suhteutettuna ilmanlaadun ohje- ja raja-arvoihin.

Molempina vuosina ilmanlaatu oli valtaosan ajasta joko hyvää tai tyydyttävää eikä eri vuosien ilmanlaatu juurikaan poikennut toisistaan. Naistenlahdessa 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. Molempina tarkasteluvuosina 2013 ja 2018 oli maaliskuussa vaikea kevätpölykausi ja hengitettävien hiukkasten pitoisuudet heikensivät ilmanlaadun useita kertoja huonoksi tai erittäin huonoksi (kuva 29). Kun ilmanlaatu oli huonoa tai erittäin huonoa Naistenlahdessa, heikentyi ilmanlaatu yleensä samaan aikaan myös laajemmalti Tampereen kaupungin muilla ilmanlaadun mittausasemilla. Ilmanlaatu Naistenlahdessa vuonna 2018 oli ilmanlaatuindeksillä arvioiden samantasoista kuin Epilässä (kuva 30), johon Naistenlahden indeksi on parhaiten vertailtavissa, sillä molemmissa mitataan sekä PM₁₀- että PM_{2,5}-pitoisuuksia, joista huonon ja erittäin huonon ilmanlaadun

tilanteet Naistenlahdessa aiheutuivat. Typpidioksidin pitoisuus huononsi ilmanlaadun välttäväksi Naistenlahdessa vain kolmena päivänä vuonna 2018. Pienhiukkas-pitoisuuden nousuun indeksi reagoi herkästi.



Kuva 29. Ilmanlaatu Tampereen Naistenlahdessa vuosina 2013 ja 2018 kuvattuna ilmanlaatuindeksin yksinkertaistetulla luokittelulla.



Kuva 30. Ilmanlaatuindeksin päivittäisten arvojen prosentuaalinen jakautuminen eri ilmalaa-tuluokkiin Naistenlahdessa ennen tunnelin rakentamista vuonna 2013 sekä tunne-lin rakentamisen ja käyttöönoton jälkeen vuonna 2018 sekä Epilässä Tampereen kaupungin ilmanlaadun mittausasemalla vuonna 2018.

4 YHTEENVETO

Ilmatieteen laitos aloitti ilmanlaatumittaukset Tampereella Valtatien 12 tunnelihankkeen suunnitteluvaiheessa. Mittaukset aloitettiin vuosi ennen Rantatunnelin varsinaisen rakennusvaiheen alkamista, niitä jatkettiin yhtäjaksoisesti koko hankkeen toteutusvaiheen ajan ja jatkettiin vielä vuosi sen jälkeen kun tunneli oli otettu käyttöön ja toteutusvaiheen työt olivat täysin päättyneet. Tässä raportissa on tarkasteltu ilmanlaatua Naistenlahden mittauspisteessä tunnelin itäpäässä vuoden 2018 aikana sekä vertailtu ilmanlaatuutilannetta ennen tunnelin rakentamisen aloittamista vuoden 2018 ilmanlaatuutilanteeseen.

Naistenlahden mittausasemalla mitattiin ulkoilmasta typen oksidien, pienhiukkasten ja hengitettävien hiukkasten pitoisuuksia. Nämä ovat oleelliset 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 mittausasemalla mitattiin myös säätietoja.

Vuonna 2018 Naistenlahdessa mitatut typpidioksidipitoisuudet eivät ylittäneet kotimaisia ilmanlaadun ohjearvoja. Suurimmat typpidioksidin ohjearvoihin verrattavat pitoisuudet mitattiin maaliskuussa. Hengitettävien hiukkasten vuorokausiohjearvoon verrattavat pitoisuudet olivat Naistenlahdessa 18–120 % vuorokausiohjearvosta. Suurimmat hengitettävien hiukkasten ohjearvoon verrattavat pitoisuudet mitattiin Naistenlahdessa huhtikuussa, jolloin ohjearvo 70 µg/m³ myös ylittyi.

Naistenlahdessa vuonna 2018 mitatut typpidioksidipitoisuudet ja hengitettävien hiukkasten pitoisuudet eivät ylittäneet ilmanlaadun raja-arvoja. Hengitettävien hiukkasten pitoisuuden vuorokausiraja-arvon taso, 50 µg/m³, ylittyi Naistenlahdessa yhdeksän kertaa, kun sallittujen ylitysten määrä on 35 kpl kalenterivuodessa. Ylitykset tapahtuivat helmi-huhtikuussa ja ne aiheutuivat katupölystä eli teiden ja pintojen pölyämisestä kuivana ja lumettomana aikana.

Pienhiukkaspitoisuuksien vuosiraja-arvo ei ylittynyt Naistenlahden mittauspisteessä. WHO:n pienhiukkasten vuorokausikeskiarvolle antama ohjearvo ylittyi 4 kertaa Naistenlahden mittausasemalla. WHO:n ohjearvo on suosituksenomainen eikä se ole osa Suomen ilmansuojelulainsäädäntöä.

Naistenlahdessa mitattujen ilman epäpuhtauspitoisuuksien perusteella laskettiin ilmanlaatuindeksi, joka kuvaa vallinnutta ilmanlaatuutilannetta sanallisella asteikolla: hyvä, tyydyttävä, välttävä, huono, erittäin huono. Indeksien laskentaan käytetään typpidioksidin, hengitettävien hiukkasten ja pienhiukkasten tuntipitoisuuksia. Ilmanlaatu oli hyvää 41 %, tyydyttävää 46 % ja välttävää 8 % päivistä. Ilmanlaatu oli huonoa 12 päivänä ja erittäin huonoa viitenä päivänä. Huonon ja erittäin huonon ilmanlaadun aiheuttajana olivat hengitettävien hiukkasten tai pienhiukkasten pitoisuudet. Erittäin huonon ilmanlaadun päivät osuivat maalis-huhtikuun kevät-pölykaudelle. Naistenlahdessa huhtikuussa havaittu huonon ilmanlaadun tilanne (28.4.2018) aiheutui Pappilan kaupunginosassa tapahtuneesta rakennuksen tulipalosta.

Naistenlahdessa ilmanlaatu oli keskimäärin samanlaista kuin muilla Tampereen ilmanlaadun mittausasemilla. Typpidioksidipitoisuudet olivat vuonna 2018 pääosin samaa tasoa kuin Kalevan ja Pirkankadun mittausasemilla ja matalampia kuin Tampereen Linja-autoasemalla mitatut pitoisuudet. Hengitettävien hiukkasten

pitoisuudet Naistenlahdessa olivat hyvin samansuuruisia kuin Epilän ja Pirkankadun mittausasemilla ja vuodenaikainen pitoisuusvaihtelu oli kaikilla kolmella mittausasemalla hyvin samansuuntaista. Hengitettävien hiukkasten pitoisuuksiin vaikuttavat voimakkaasti mittausaseman lähiympäristön olosuhteet sekä vuodenaika ja meteorologiset olosuhteet. Pienhiukkaspitoisuudet ovat yleensä eri mittausasemilla keskimäärin samaa tasoa. Melko pienet erot eri mittausympäristöjen välillä johtuvat siitä, että suurin vaikutus pitoisuustasoihin on alueellisella taustapitoisuudella eli muualta kaukokulkeutuneilla pienhiukkasilla. Lokakuussa Suomessa laajoilla alueilla havaitun voimakkaan kaukokulkeumaepisodin aikana pitoisuudet olivat koholla kaikilla Tampereen mittausasemilla samanaikaisesti.

Ilmanlaatuindeksillä tarkasteltuna ilmanlaatu Naistenlahden mittauspisteessä oli ennen tunnelin rakentamista vuonna 2013 ja käyttöönoton jälkeen vuonna 2018 valtaosan ajasta joko hyvää tai tyydyttävää eikä näiden vuosien ilmanlaatu juurikaan poikennut toisistaan. Naistenlahdessa 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. Molempina tarkasteluvuosina 2013 ja 2018 oli maalis-huhtikuussa vaikea kevätpölykausi ja hengitettävien hiukkasten pitoisuudet heikensivät ilmanlaadun useita kertoja huonoksi tai erittäin huonoksi. Kun ilmanlaatu oli huonoa tai erittäin huonoa Naistenlahdessa, heikentyi ilmanlaatu yleensä samaan aikaan myös laajemmalti Tampereen kaupungin muilla ilmanlaadun mittausasemilla ja ilmanlaatu Naistenlahdessa vuonna 2018 oli kaikenkaikkiaan hyvin samanlaista kuin muillakin Tampereen mittausasemilla.

OSA II

5 ILMANLAATUMITTAUSTEN TOTEUTUS

5.1 Ilmanlaadun tarkkailun tavoitteet ja tunnelihankkeen eteneminen

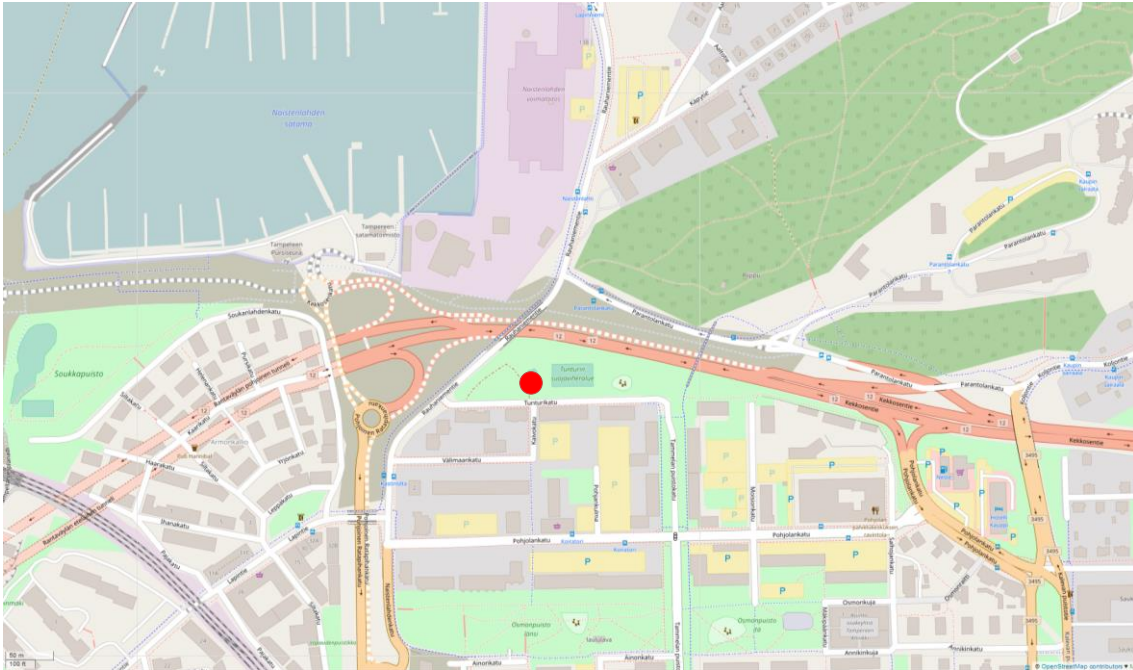
Tampereen Rantatunnelin ilmanlaadun tarkkailumittausten tavoite oli hankkia riittävän edustavat ilmanlaatatiedot tunnelin molempien päiden ympäristöstä ennen rakentamista, tunnelin rakentamisvaiheessa ja tunnelin käyttöönoton jälkeen. Ilman epäpuhtauspitoisuuksia tarkkailtiin tunnelin molemmissa päissä, itäpäässä Naistenlahden mittausasemalla ja länsipäässä Santalahden mittausasemalla.

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 kaikki tunneliin liittyvät liikennejärjestelyt olivat valmiita ja käytössä 30.11.2017. Santalahden päässä ilmanlaadun mittaukset lopetettiin vuoden 2017 lopussa, mutta Naistenlahdessa niitä jatkettiin samalla mittauspaikalla vielä vuoden 2018 ajan.

5.2 Naistenlahden mittausasema

Naistenlahden mittausasema sijaitsi Rantatunnelin itäpäässä, noin 200 metrin etäisyydellä tunnelin suuaukosta. Mittausasema sijaitsi valtatie 12 eteläpuolella noin 40 metrin etäisyydellä liikenneväylästä. Mittauspaikan tarkempi sijainti on esitetty kartalla kuvassa 31 ja mittausaseman ympäristöä on havainnollistettu kuvassa 32. Mittausasema oli Tunturipuistossa melko suojaisassa ympäristössä ja lähin katu oli noin 20 metrin etäisyydellä sijaitseva Tunturikatu, jossa on vain hyvin vähän asukasliikennettä.

Mittausaseman typen oksidien, hengitettävien hiukkasten ja pienhiukkasten näytteenottosondit sijaitsivat noin 4 metrin korkeudella maanpinnasta mittausaseman katolla. Samoin myös säämittausanturin korkeus oli noin 4 metriä maanpinnan tasosta.



Kuva 31. Ilmanlaadun mittausaseman sijainti tunnelin itäpäässä Naistenlahdessa punaisella ympyrällä merkittynä. Kartta-aineisto: © OpenStreetMap contributors.



Kuva 32. Naistenlahden ilmanlaadun mittausasema Tunturipuistossa, kesäkuussa 2018. Ulkoilma imetään mittauslaitteisiin mittausaseman katolla sijaitsevien näytteenottosondien kautta. Kuva: Jatta Salmi.

5.3 Mitatut suureet ja mittausmenetelmät

Naistenlahdessa mitattiin jatkuvatoimisilla automaattisilla analysaattoreilla typen oksidien (NO, NO₂ ja NO_x) ja halkaisijaltaan alle 10 µm:n suuruisten hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) sekä halkaisijaltaan alle 2,5 µm:n suuruisten pienhiukkasten (PM_{2,5}) pitoisuuksia. Näytteenotto tapahtui mittausaseman katolla olevista sondeista noin 4 metrin korkeudelta. Typen oksidien pitoisuusmäärittämisessä käytettiin kemiluminesenssiin perustuvaa määrittämenetelmää. Hengitettävien hiukkasten ja pienhiukkasten pitoisuutta mitattiin beetasäteilyn absorptioon ja valon sirontaan perustuvalla menetelmällä. Lisäksi mittausasemalla havainnoitiin tuulen suuntaa ja nopeutta, ulkoilman lämpötilaa, suhteellista kosteutta, painetta ja sademäärää (taulukko 3). Säämittausanturin korkeus oli noin 4 metriä maanpinnan tasosta.

Ilmanlaadun mittaukset suoritettiin kansallisen ilmanlaadun mittausohjeen (*Ilmatieteen laitos, 2017*) sekä Ilmatieteen laitoksen ilmanlaatumittausten laatujärjestelmän mukaisesti. Laatujärjestelmää on kuvattu tarkemmin verkossa:

[http://expo.fmi.fi/ages/public/Ilmatieteen laitoksen ilmanlaatumittausten laatuja_jarjestelmien_kuvaus.pdf](http://expo.fmi.fi/ages/public/Ilmatieteen_laitoksen_ilmanlaatumittausten_laatuja_jarjestelmien_kuvaus.pdf).

Ilmanlaadun ja sääparametrien mittaustulokset kerättiin mittausasemalla minuuttiarvoina mittauksia ohjaavalle tietokoneelle, jolta ne siirrettiin edelleen minuuttiarvoina langattomasti modeemiyhteyden 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 kalibrointitulosten perusteella ja laitteiden toimintahäiriöistä johtuneet virheelliset arvot poistettiin. Mittauksia seurattiin kaukovalvontana Ilmatieteen laitokselta Helsingistä.

Taulukko 3. Tampereen tunnelihankkeen ilmanlaadun mittauksissa käytetyt menetelmät ja laitteet.

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

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

Hengitettävien hiukkasten (PM_{10}) ja pienhiukkasten ($\text{PM}_{2.5}$) jatkuvatoimiset mittaukset perustuvat CEN:n teknisen komitean CEN/TC 264 valmistelevaan tekniseen ohjeeseen EN 16450:2017 *Ambient air – Automated measuring systems for the measurement of the concentration of particulate matter ($\text{PM}_{10}/\text{PM}_{2.5}$)*. $\text{PM}_{10}/\text{PM}_{2.5}$ -hiukkasten gravimetrinen referenssimenetelmä on kuvattu standardissa EN 12341:2014. Ilmatieteen laitoksen tässä tutkimuksessa käyttämien automaattisten hiukkasanalysaattoreiden antamien tulosten vastaavuus $\text{PM}_{10}/\text{PM}_{2.5}$ -hiukkasten gravimetrisiin referenssimenetelmiin on osoitettu tutkimuksessa *Walden ym., 2010*. Kertoimia on päivitetty vuosina 2017 ja 2018 (*Walden ym., 2017 ja Walden ym., 2018*), mutta koko tutkimusjaksolla on käytetty samaa kerrointa jakson eri vuosien välisen vertailtavuuden säilyttämiseksi.

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 kenttälaimenninta. Laimentimesta tuotettiin kalibrointipitoisuusarvot, jotka varmennettiin (kalibroitiin) ilmanlaatumittausten kansallisessa vertailulaboratoriossa jäljitettävästi kalibroitua typen oksidien analysaattoria vastaan. Kenttälaimentimen tuottamien typpimonoksidin (NO) pitoisuuksien jäljitettävyys siirtyi laboratorion oman jäljen kautta ainemäärään (mooli). Laimennuskaasuna käytettiin suodatettua ilmaa. Kalibrointien perusteella Tampereen Naistenlahden ilmanlaadun seurannan typen oksidien pitoisuusmittaukset on jäljitetty kansalliseen mittanormaaliin ja sitä kautta ainemäärään. Ilmatieteen laitoksella sijaitseva kansallinen vertailulaboratorio on Turvallisuus- ja kemikaaliviraston akkreditointiyksikön (FINAS) akkreditoima kalibrointilaboratorio K043.

Typen oksidien mittalaitteet kalibroitiin vuonna 2018 tammikuussa, huhtikuussa, kesäkuussa ja syyskuussa. Koko mittausjakson päättävä loppukalibrointi tehtiin 3.1.2019. Typen oksidien näytteenottolinjat tarkistettiin kalibrointien yhteydessä. Typen oksidien analysaattorien hiukkassuodattimet vaihdettiin kalibrointien yhteydessä. Hiukkasmittalaitteiden näytteenottosondit puhdistettiin mittausasemalla käynnin yhteydessä. Hiukkasmittalaitteet kalibroitiin valmistajan ohjeiden mukaisesti. Hiukkasmittaustulokset korjattiin vertailumittausten (*Walden ym., 2010*) mukaisilla ekvivalenttisuuskertoimilla. Naistenlahden hiukkasmittaustulokset on korjattu koko tarkastelujaksolta 2013–2018 vuoden 2010 mukaisilla ekvivalenttisuuskertoimilla jakson eri vuosien välisen vertailtavuuden säilyttämiseksi.

Naistenlahden mittausasemalla menetettiin kaikkien komponenttien mittaustulokset kahdelta päivältä elokuun lopussa mittausaseman sähköjakelun katkettua viikonloppuna. Pienhiukkasten analysaattori jouduttiin vaihtamaan toiseen samanlaiseen laitteeseen syyskuussa laitteen rikkouduttua. Tällöin menetettiin pienhiukkasten mittaustulokset 7 päivän ajalta. Myös hengitettävien hiukkasten tuloksia menetettiin syyskuussa 2 päivän ajalta analysaattorin toimintahäiriöiden takia. Naistenlahden mittausasemalla typenoksidien analysaattori toimi hyvin koko vuoden ajan. Laatutavoitteet koko vuoden aineistojen vähimmäismäärälle saavutettiin kaikkien mitattujen suureiden osalta laiterikoista huolimatta.

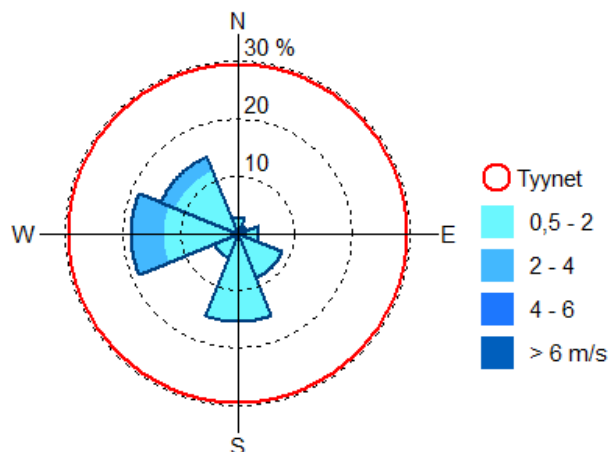
Raja-arvojen ylittymisen valvontaan käytettävissä mittauksissa laatutavoite koko vuoden aineiston vähimmäismäärälle on 90 %, mikä ei kuitenkaan sisällä laitteiden säännöllisestä kalibroinnista tai normaalista kunnossapidosta aiheutuvaa tietohukkaa. Tavoitteen täyttymisen arvioimiseksi vähennetään ensin kalibrointien tai normaalin kunnossapidon vuoksi menetettyjen mittaustulosten yhteismäärä koko vuoden suurimmasta mahdollisesta mittauservojen 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 aseman mittaustuloksia ei käytetä raja-arvojen ylittymisen valvontaan, mutta samoja laatutavoitteita noudatetaan soveltuvin osin myös tämän aseman mittauksissa.

6 SÄÄTIEDOT

6.1 Tuulitiedot vuodelta 2018

Kuvassa 33 on esitetty vuoden 2018 tuulimittausaineistosta piirretty tuuliruusu Naistenlahden mittausasemalta. Tuuliruusujen keskipisteestä lähtevän janan pituus sektorin kehäviivalle vastaa tämän tuulisektorin tuulien prosentuaalista osuutta jakson tuulista. Tyynet tapaukset on kuvattu ympyrällä, jonka säteen pituus kertoo tyynien tilanteiden prosentuaalisen osuuden kaikista tuulihavainnoista. Tuuliruususta nähdään myös tuulten nopeusjakaumat tuulensuuntasektoreittain. Eri tuulennopeuksien prosentuaaliset osuudet saadaan vertaamalla sektoreiden kunkin nopeusluokan pituutta prosenttiasteikkoon.

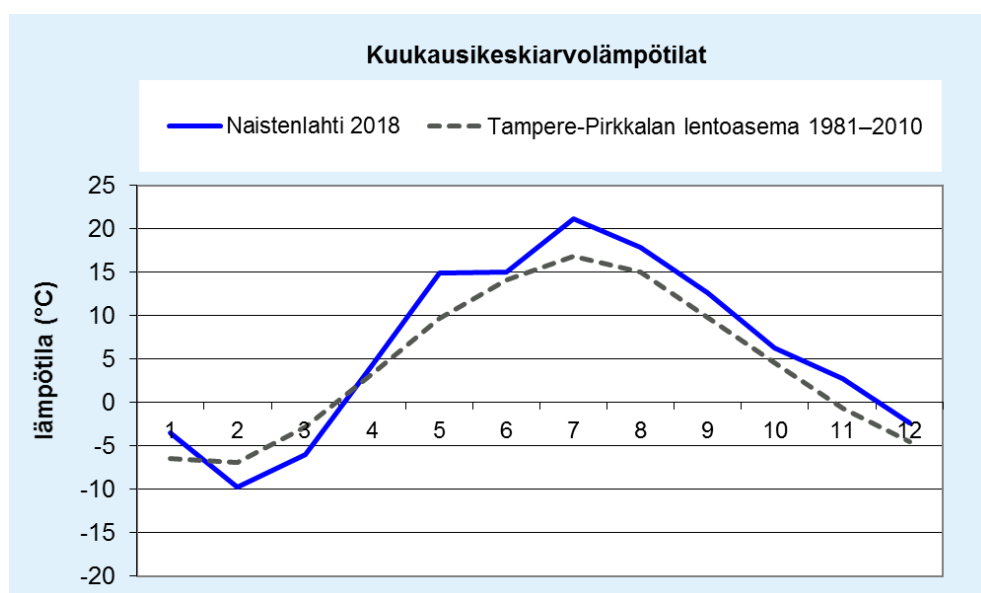
Naistenlahden mittausasema sijaitsi suojaisessa ympäristössä kerrostalojen ja puuston ympäröimänä. Tyyniä tilanteita, jolloin tuulen nopeus oli alle 0,5 m/s, esiintyi mittausaineistossa noin 29 % vuoden tunneista ja mitatut tuulennopeudet olivat jatkuvasti melko pieniä. Yli 6,0 m/s tuulia ei aineistossa havaittu lainkaan. Vallitsevin tuulensuunta oli länsi. Naistenlahden mittausasemalla mitatut tuulen nopeuden tuntikeskiarvot on esitetty raportin lopussa liitekuvassa 11.



Kuva 33. Tuuliruusu Tampereella Naistenlahden ilmanlaadun mittausasemalla havaituista tuulista vuonna 2018.

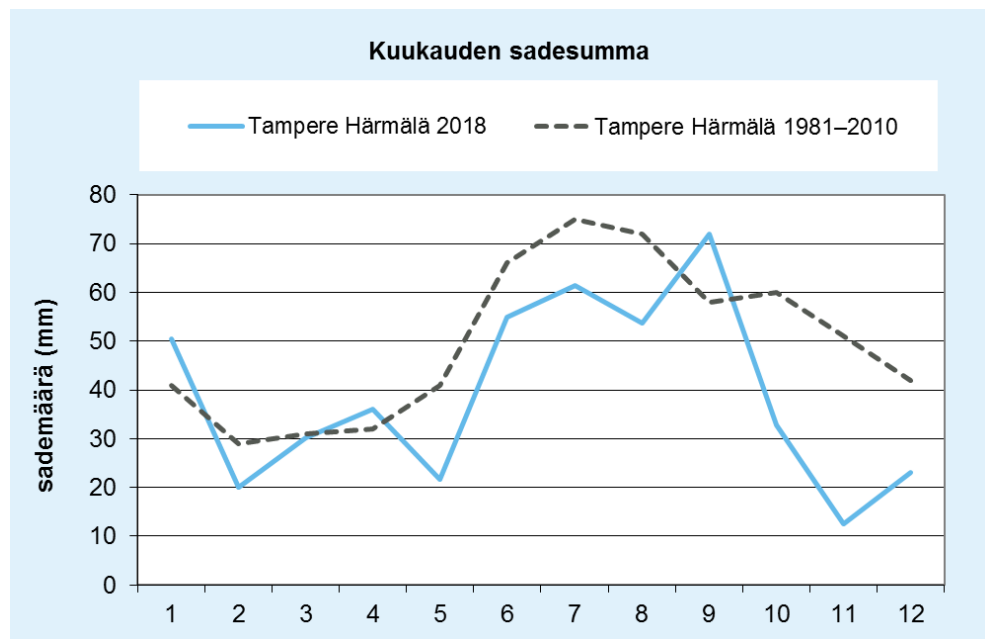
6.2 Keskilämpötilat ja sademäärät Tampereella vuonna 2018

Vuosi 2018 oli lämmin ja kuiva. Vuosi sijoittui Suomen 10 lämpimimmän vuoden joukkoon yli 150 vuoden tilastojen perusteella. Keskilämpötila oli koko maassa 1–2 astetta tavanomaista korkeampi. Kuvassa 34 on vertailtu Naistenlahden ilmanlaadun mittausasemalla mitattuja lämpötilan kuukausikeskiarvoja Ilmatieteen laitoksen Tampere-Pirkkalan lentoaseman sääasemalla mitattuihin vertailukauden 1981–2010 lämpötiloihin (Pirinen, ym., 2012). Vuosi 2018 oli Naistenlahdessa 1,7 astetta vertailukauden 1981–2010 vuosikeskiarvolämpötilaa (4,4 °C) korkeampi. Naistenlahden mittausasemalla mitatut ulkoilman lämpötilan tuntikeskiarvot on esitetty raportin lopussa liitekuvassa 12.



Kuva 34. Kuukauden keskilämpötilat vuonna 2018 Tampereen Naistenlahden ilmanlaadun mittausasemalla sekä Tampere-Pirkkalan lentoaseman sääasemalla vertailukaudella 1981–2010.

Kuvassa 35 on vertailtu Ilmatieteen laitoksen Tampereen Härmälän sääasemalla vuonna 2018 mitattuja kuukausisademääriä vertailukauden 1981–2010 sademääriin (Pirinen, ym., 2012). Tampereen seudulla vuoden 2018 kuukausittaiset sademäärät poikkesivat jonkun verran pitkän ajan keskiarvoista: tammi-, huhti- ja lokakuussa sademäärät olivat pitkän ajan keskiarvoa suurempia ja muun ajan vuodesta puolestaan pitkän ajan keskiarvoa pienempiä. Eryityisesti marraskuun sademäärä poikkesi huomattavasti pitkän ajan keskiarvosta. Vuoden 2018 vuosisademäärä Tampereella oli 469 mm, mikä on 129 mm vähemmän kuin vertailukautena 1981–2010 keskimäärin.



Kuva 35. Kuukausisademäärät Tampereen Härmälässä vuonna 2018 ja vertailukaudella 1981–2010.

6.3 Säätekijöiden 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 tyynä. 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 TAUSTATIEDOA MITATUISTA ILMAN EPÄPUHTAUKSISTA

7.1 Typen oksidit

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

Ulkoilman typpidioksidipitoisuuksille altistuminen on suurinta kaupunkien keskustojen ja taajamien liikenneympäristöissä. Typpidioksidipitoisuudet kohoavat tyypillisesti ruuhka-aikoina. Korkeimmillaan typpidioksidipitoisuudet ovat erityisesti tyyninä ja kylminä talvipäivinä, jolloin myös energiantuotannon päästöt ovat suurimmillaan. Taajamien ja kaupunkien korkeimmat typpidioksidipitoisuudet aiheuttaa pääasiassa ajoneuvoliikenne, vaikka energiantuotannon ja teollisuuden aiheuttamat päästöt (pistemäiset päästölähteet) olisivat määrällisesti jopa suurempia autoliikenteeseen

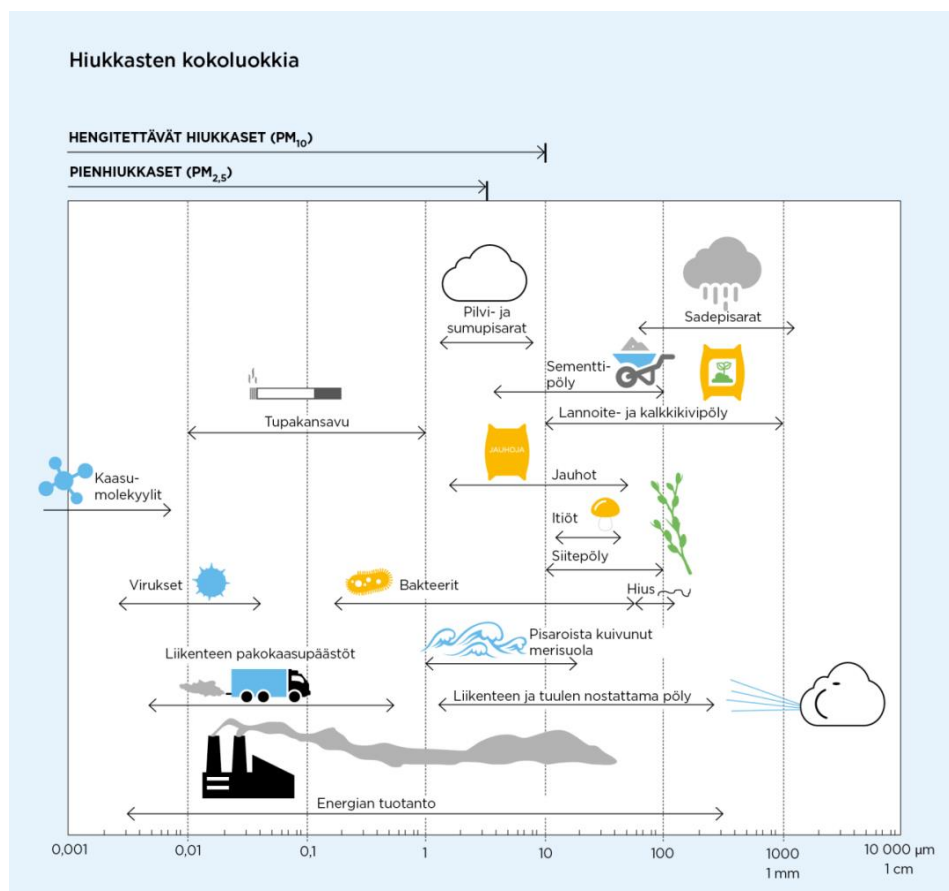
verrattuna. Ihmiset altistuvat helposti liikenteen päästöille, sillä autojen pakokaasupäästöt vapautuvat hengityskorkeudelle.

Typpidioksidin vuosiraja-arvo $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ alittuu nykyisin Suomessa. Typpidioksidin vuosikeskiarvopitoisuudet ovat olleet viime vuosina suurimmissa kaupungeissa keskimäärin $15\text{--}25 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Vilkkaimmilla teillä ja katukuiluosuusilla vuosipitoisuudet voivat olla yli $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Pienissä ja keskisuurissa kaupungeissa typpidioksidin vuosikeskiarvot ovat yleensä noin $5\text{--}20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ mittausympäristöstä riippuen. Typpidioksidin tuntipitoisuudet voivat kohota yli raja-arvotason ($200 \mu\text{g}/\text{m}^3$) yksittäisillä mittausasemilla muutamina tunteina vuodessa. Ylitystunteja saa olla vuodessa 18 kpl, ennen kuin raja-arvo katsotaan ylittyneeksi. Puhtailla tausta-alueilla typpidioksidin vuosikeskiarvot ovat olleet Etelä-Suomessa noin $1,5\text{--}4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja Pohjois-Suomessa noin $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (*Ilmatieteen laitos, 2019 a*).

7.2 Hiukkaset

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

Ulkoilman hiukkasten koko on yhteydessä niiden aiheuttamiin erilaisiin vaikutuksiin. Suurempien hiukkasten korkeat pitoisuudet vaikuttavat merkittävimmin viihtyvyyteen ja aiheuttavat likaantumista. Terveysvaikutuksiltaan haitallisempia ovat ns. hengitettävät hiukkaset ja pienhiukkaset, jotka kykenevät tunkeutumaan syvälle ihmisten hengitysteihin. Hengitettävillä hiukkasilla, joiden halkaisija on alle 10 mikrometriä (PM_{10}), on annettu ilmanlaadun ohje- ja raja-arvot. Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet kohoavat erityisesti keväällä, jolloin jauhautunut hiekoitushiekka ja asfalttipöly nousevat ilmaan kuivilta kaduilta liikenteen nostattamana. Pienhiukkaset, joiden halkaisija on alle 2,5 mikrometriä ($\text{PM}_{2,5}$), ovat pääasiassa peräisin suorista autoliikenteen ja teollisuuden päästöistä ja kaukokulkeumasta, jonka lähde voi olla esimerkiksi metsä- ja maastopalot. Hiukkasten kokoluokkia on havainnollistettu kuvassa 36.



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

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

Hengitettävien hiukkasten vuorokausipitoisuuksille asetettu raja-arvotaso ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ylittyy mittausasemilla noin 0–25 kertaa vuoden aikana. Kajaanissa raja-arvotaso on ylittynyt viime vuosina 1–10 kertaa vuodessa. Vuorokausiraja-arvotason ylityksiä saa olla mittausasemalla 35 kappaletta vuodessa, ennen kuin raja-arvo katsotaan ylittyneeksi. Hengitettävien hiukkasten vuorokausipitoisuudelle annettu raja-arvo on ylittynyt vain Helsingin keskustassa, viimeksi vuonna 2006. Katupölyn muodostumiseen voidaan merkittävästi vaikuttaa oikea-aikaisella katujen siivouksella ja kunnossapidolla sekä pölynsidonnalla.

Hengitettävien hiukkasten vuosikeskiarvopitoisuudelle annettu raja-arvo $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ alittuu Suomessa. Hengitettävien hiukkasten pitoisuuden vuosikeskiarvot ovat olleet viime vuosina suurimmissa kaupungeissa noin $10\text{--}20 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Vilkkaimmilla teillä ja

katukuiluosuuksilla vuosipitoisuudet voivat olla yli $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Pienissä ja keskisuurissa kaupungeissa vuosikeskiarvot ovat noin $6\text{--}15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ mittausympäristöstä riippuen. Puhtailla tausta-alueilla vuosikeskiarvopitoisuudet ovat olleet Etelä-Suomessa noin $9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja Pohjois-Suomessa noin $3\text{--}5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (*Ilmatieteen laitos, 2019 a*).

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

7.3 Ilman epäpuhtauksien terveysvaikutukset

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

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

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

7.4 Ilmanlaadun ohje- ja raja-arvot

Ohjearvot ovat ilman epäpuhtauksien pitoisuuksia, joiden alittaminen on tavoitteena. Ohjearvoilla esitetään riittävän hyvän ilmanlaadun tavoitteet. Ohjearvot eivät ole sitovia, mutta niitä sovelletaan maankäytön ja liikenteen suunnittelussa, rakentamisen muussa ohjauksessa sekä ilman pilaantumisen vaaraa aiheuttavien toimintojen sijoittamisessa ja lupakäsittelyssä. Ohjearvojen ylittyminen on pyrittävä estämään ennakolta ja pitkällä aikavälillä alueilla, joilla ilmanlaatu on tai saattaa toistuvasti olla huonompi kuin ohjearvo edellyttäisi. Ilmanlaadun ohjearvot on määriteltä valtioneuvoston päätöksessä ilmanlaadun ohjearvoista ja rikkilaskeuman tavoitearvosta (Vnp 480/1996, taulukko 4).

Raja-arvot ovat ilman epäpuhtauden pitoisuuksia, jotka on alitettava määrääjässä. 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 määriteltä ilmanlaatuasetuksessa (Vna 79/2017, taulukko 5).

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 korkeammissa pitoisuuksissa jatkuvat mittaukset ovat ensisijainen ilmanlaadun seurantamenetelmä ja jota alemmissa pitoisuuksissa jatkuvien mittausten tarve on vähäisempi ja ilmanlaadun arvioinnissa voidaan käyttää jatkuvien mittausten ja mallintamistekniikoiden tai suuntaa-antavien mittausten yhdistelmää. *Alemmalla arviointikynnyksellä* tarkoitetaan ilman epäpuhtauden pitoisuutta, jota alemmissa pitoisuuksissa ilmanlaadun arvioimiseksi riittää, että seuranta-alueella käytetään yksinomaan 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 määriteltä ilmanlaatuasetuksessa (Vna 79/2017).

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

Ilman epäpuhtaus	Ohjearvo µg/m ³ (293 K, 101,3 kPa)	Tilastollinen määrittely
Typpidioksidi (NO ₂)	150	Kuukauden tuntiarvojen 99. prosenttipiste
	70	Kuukauden toiseksi suurin vuorokausiarvo
Hengitettävät hiukkaset (PM ₁₀)	70	Kuukauden toiseksi suurin vuorokausiarvo

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

Ilman epäpuhtaus	Keskiarvon laskenta-aika	Raja-arvo $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Sallittujen ylitysten määrä kalenterivuodessa
Typidioksidi (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

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

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

Ilmatieteen laitos, 2019 a. Ympäristönsuojelun tietojärjestelmän ilmanlaatuosa, tarkistetut mittauksilukset. <https://ilmatieteenlaitos.fi/havaintojen-lataus#!/>

Ilmatieteen laitos, 2019 b. Säähavainnot Ilmatieteen laitoksen havaintoasemilta. <https://ilmatieteenlaitos.fi/havaintojen-lataus#!/>

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, Mittauksilukset vuodelta 2013. Ilmatieteen laitos, Asiantuntijapalvelut, Ilmanlaatu ja energia.

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

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

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

Salmi, J., Saari, H., Laakia, J., Lindgren, K. ja Vestenius, M. 2018. Valtatie 12, Tampereen tunnelin ilmanlaadun seuranta, Mittauksilukset vuodelta 2017. Ilmatieteen laitos, Asiantuntijapalvelut - Ilmanlaatu ja Energia.

SMEAR II, 2019. PM₁₀-tulokset Hyytiälän tausta-asemalta vuodelta 2018. SMEAR II, Hyytiälän metsäasema, Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta, Helsingin yliopisto.

Tampereen kaupunki, 2019. Ilmanlaadun mittauksilukset. Neljännesvuosiraportti 4/2018. Tampereen kaupunki, Ympäristönsuojeluyksikkö.

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.

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

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

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

LIITETAULUKOT

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

NO	2018											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
TUNTIARVOJEN												
lukumäärä	727	672	743	714	744	710	744	703	711	741	709	717
kattavuus (%)	99,6	100	99,9	99,2	100	98,8	100	94,5	98,8	100	99,9	100
keskiarvo (µg/m³)	4	8	8	4	3	2	2	3	3	4	4	2
99. %-piste (µg/m³)	58	117	112	49	20	11	21	21	31	47	36	14
korkein arvo (µg/m³)	119	179	183	109	116	23	42	49	120	79	97	46
VRK-ARVOJEN												
lukumäärä	31	28	31	30	31	29	31	29	29	31	30	31
2. korkein arvo (µg/m³)	15	31	31	15	9	3	5	6	6	10	11	4
korkein arvo (µg/m³)	16	74	50	15	9	4	5	6	21	15	16	6

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

NO ₂	2018											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
TUNTIARVOJEN												
lukumäärä	741	672	743	714	744	711	744	703	710	744	719	744
kattavuus (%)	99,6	100	99,9	99,2	100	98,8	100	94,5	98,8	100	99,9	100
keskiarvo (µg/m³)	15	19	19	18	12	7	9	10	9	15	14	12
99. %-piste (µg/m³)	61	87	95	69	56	24	38	39	39	58	57	36
korkein arvo (µg/m³)	88	116	104	90	78	46	49	61	60	69	93	46
VRK-ARVOJEN												
lukumäärä	31	28	31	30	31	29	31	29	29	31	30	31
2. korkein arvo (µg/m³)	31	41	49	31	22	12	16	18	16	24	25	20
korkein arvo (µg/m³)	32	66	53	37	27	12	22	22	18	29	30	21

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

NO _x	2018											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
TUNTIARVOJEN												
lukumäärä	741	672	743	714	744	711	744	703	711	744	719	744
kattavuus (%)	99,6	100	99,9	99,2	100	98,8	100	94,5	98,8	100	99,9	100
keskiarvo (µg/m ³)	21	31	31	24	17	10	12	13	14	21	19	15
99. %-piste (µg/m ³)	155	268	255	138	88	41	60	61	74	125	114	54
korkein arvo (µg/m ³)	271	366	382	235	195	68	89	84	180	189	241	116
VRK-ARVOJEN												
lukumäärä	31	28	31	30	31	29	31	29	29	31	30	31
2. korkein arvo (µg/m ³)	55	88	95	53	35	16	21	26	22	38	41	26
korkein arvo (µg/m ³)	55	180	129	56	37	18	29	27	49	52	55	31

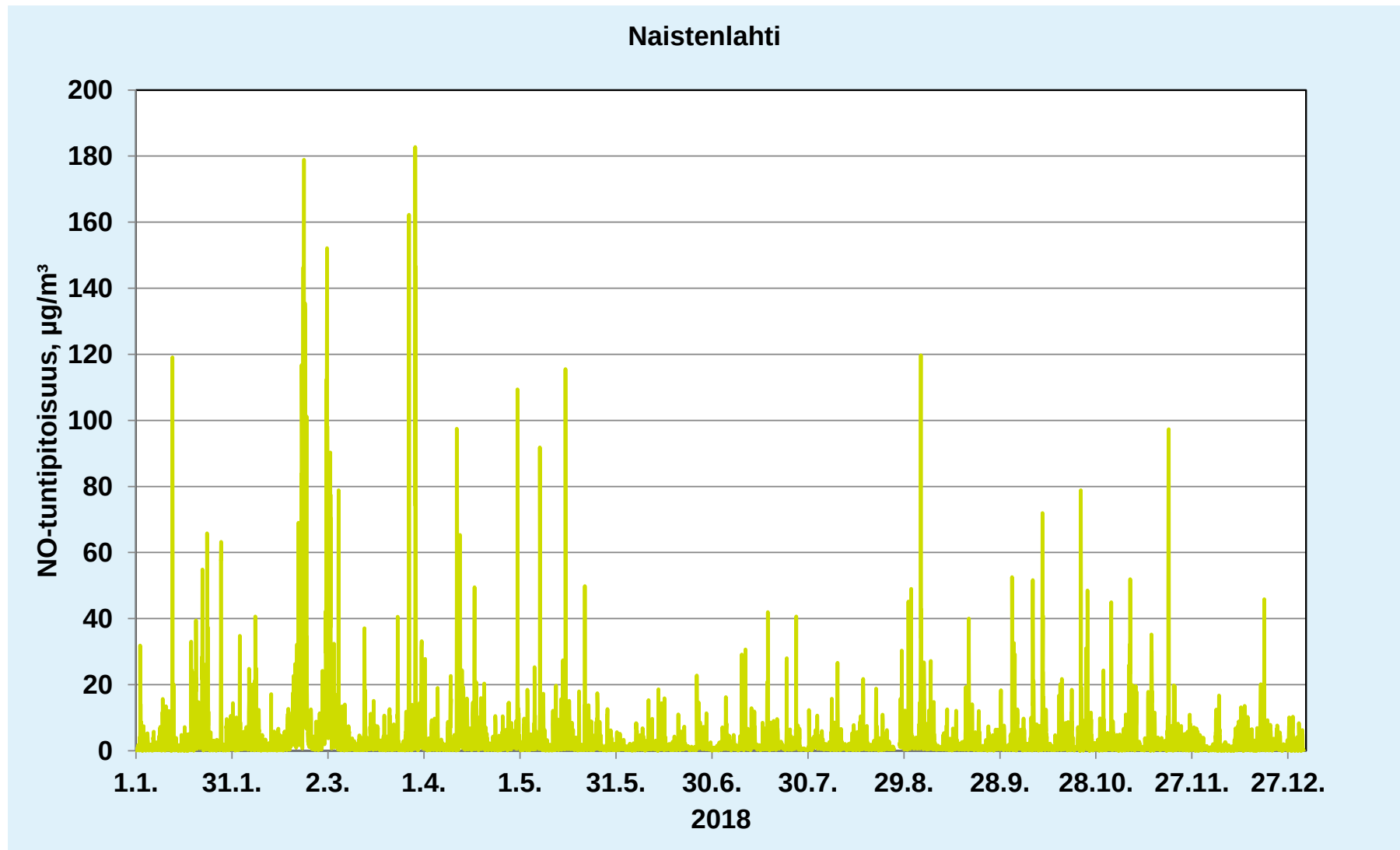
Liitetaulukko 4. Naistenlahdessa mitatut hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) pitoisuudet vuonna 2018.

PM ₁₀	2018											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
TUNTIARVOJEN												
lukumäärä	741	672	743	716	744	715	744	703	698	744	719	744
kattavuus (%)	99,9	100	99,9	99,4	100	99,4	100	94,5	96,9	100	99,9	100
keskiarvo (µg/m ³)	7	15	19	29	17	10	15	11	11	9	9	8
99. %-piste (µg/m ³)	20	82	125	176	54	29	30	26	57	40	34	18
korkein arvo (µg/m ³)	23	124	220	273	117	44	158	29	67	45	117	34
VRK-ARVOJEN												
lukumäärä	31	28	31	30	31	30	31	29	28	31	30	31
2. korkein arvo (µg/m ³)	13	30	58	84	33	20	21	22	20	29	17	13
korkein arvo (µg/m ³)	13	56	73	93	38	22	31	24	22	33	33	16

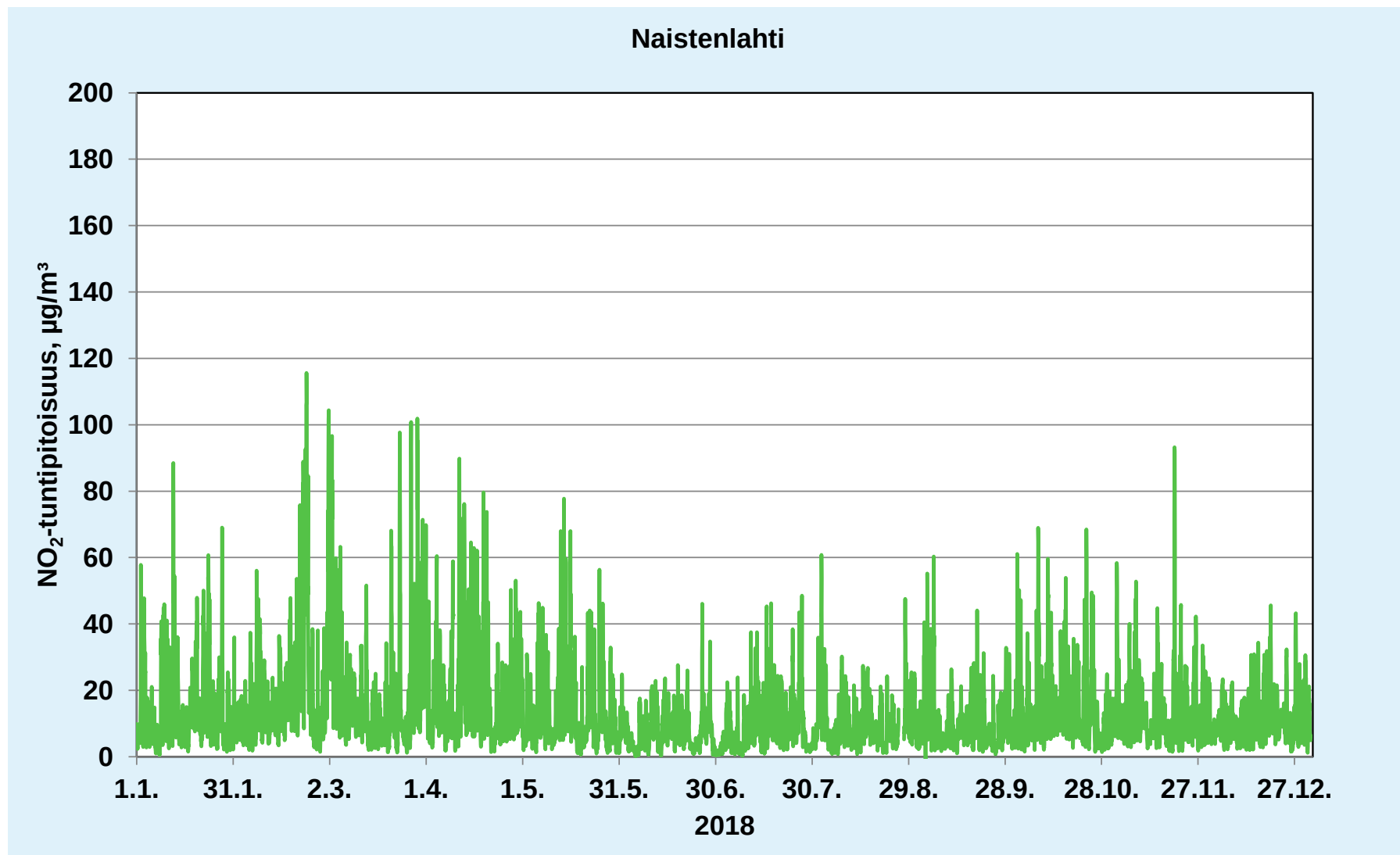
Liitetaulukko 5. Naistenlahdessa mitatut pienhiukkasten (PM_{2.5}) pitoisuudet vuonna 2018.

PM _{2,5}	2018											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
TUNTIARVOJEN												
lukumäärä	642	623	693	685	739	679	732	698	526	680	704	743
kattavuus (%)	98,9	100	99,9	99	100	95,8	99,6	94,5	79,9	100	99,9	100
keskiarvo (µg/m³)	4	9	8	10	9	5	9	5	6	5	3	4
99. %-piste (µg/m³)	15	31	57	49	26	20	21	20	20	29	14	13
korkein arvo (µg/m³)	18	64	95	73	63	23	58	23	23	31	27	14
VRK-ARVOJEN												
lukumäärä	29	26	30	30	31	29	31	29	22	30	30	31
2. korkein arvo (µg/m³)	9	21	22	25	18	14	14	14	13	22	8	9
korkein arvo (µg/m³)	10	26	27	28	18	15	16	15	15	23	10	10

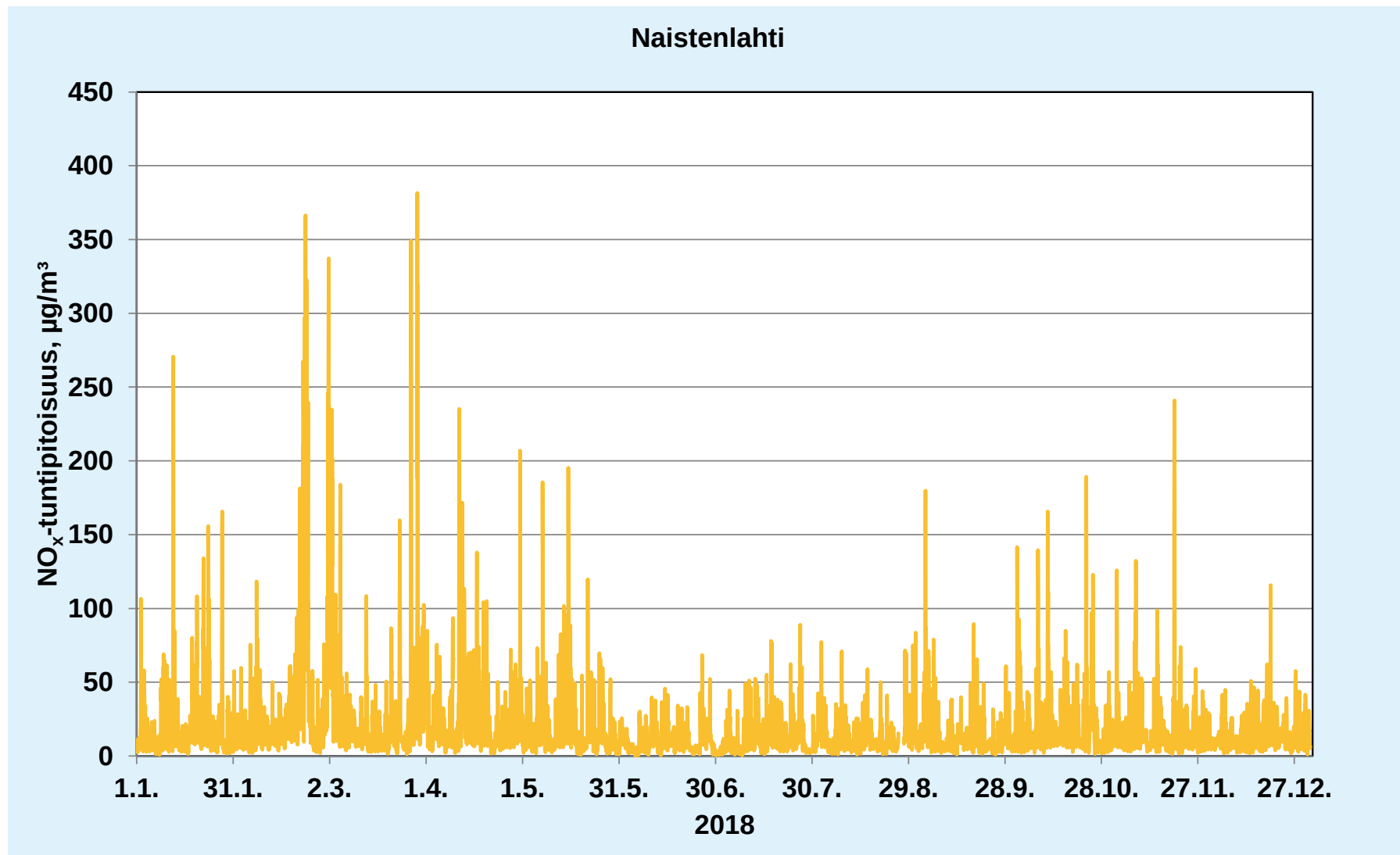
LIITEKUVAT



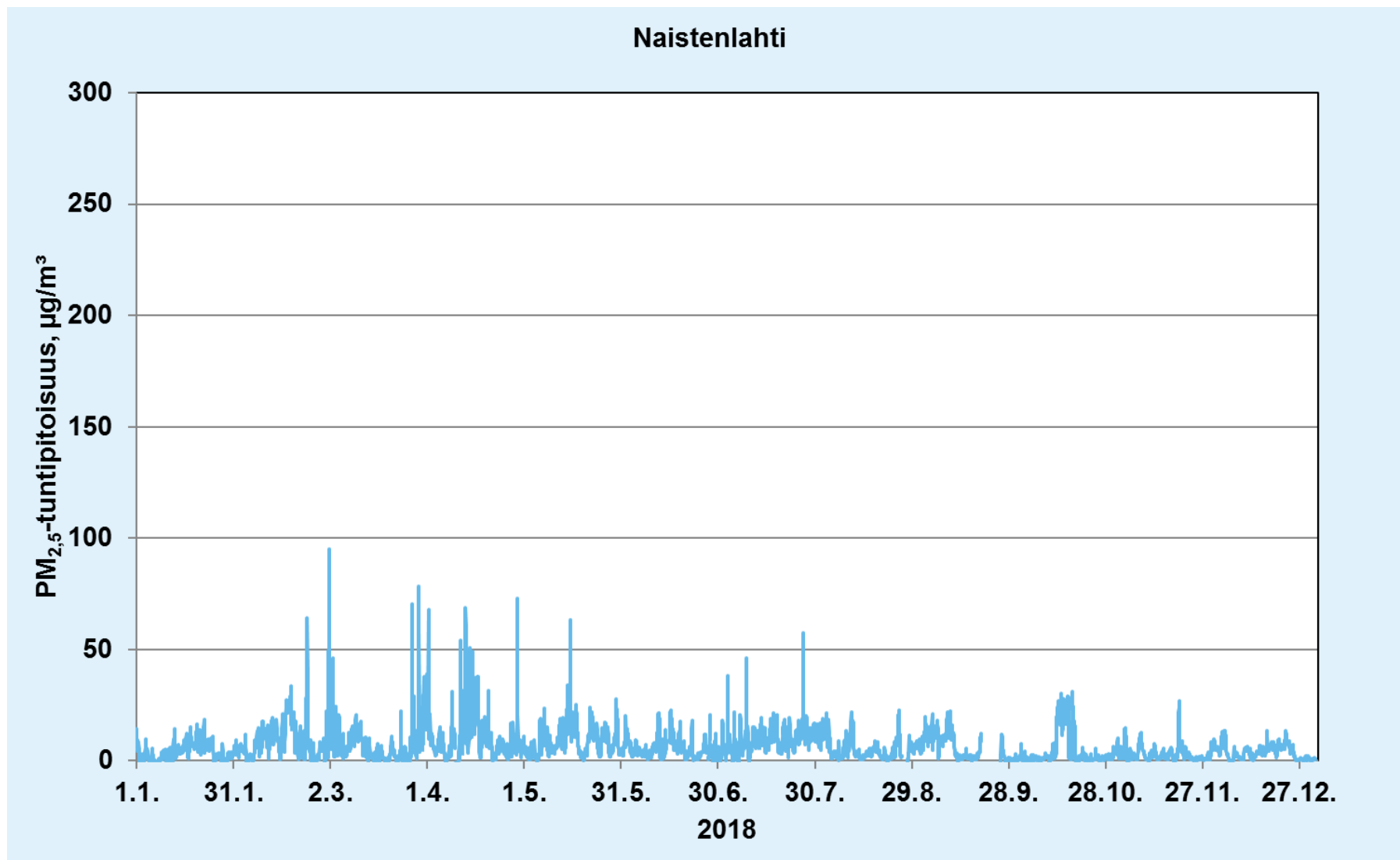
Liitekuva 1. Typpimonoksidin (NO) tuntipitoisuudet Naistenlahdessa 1.1.–31.12.2018.



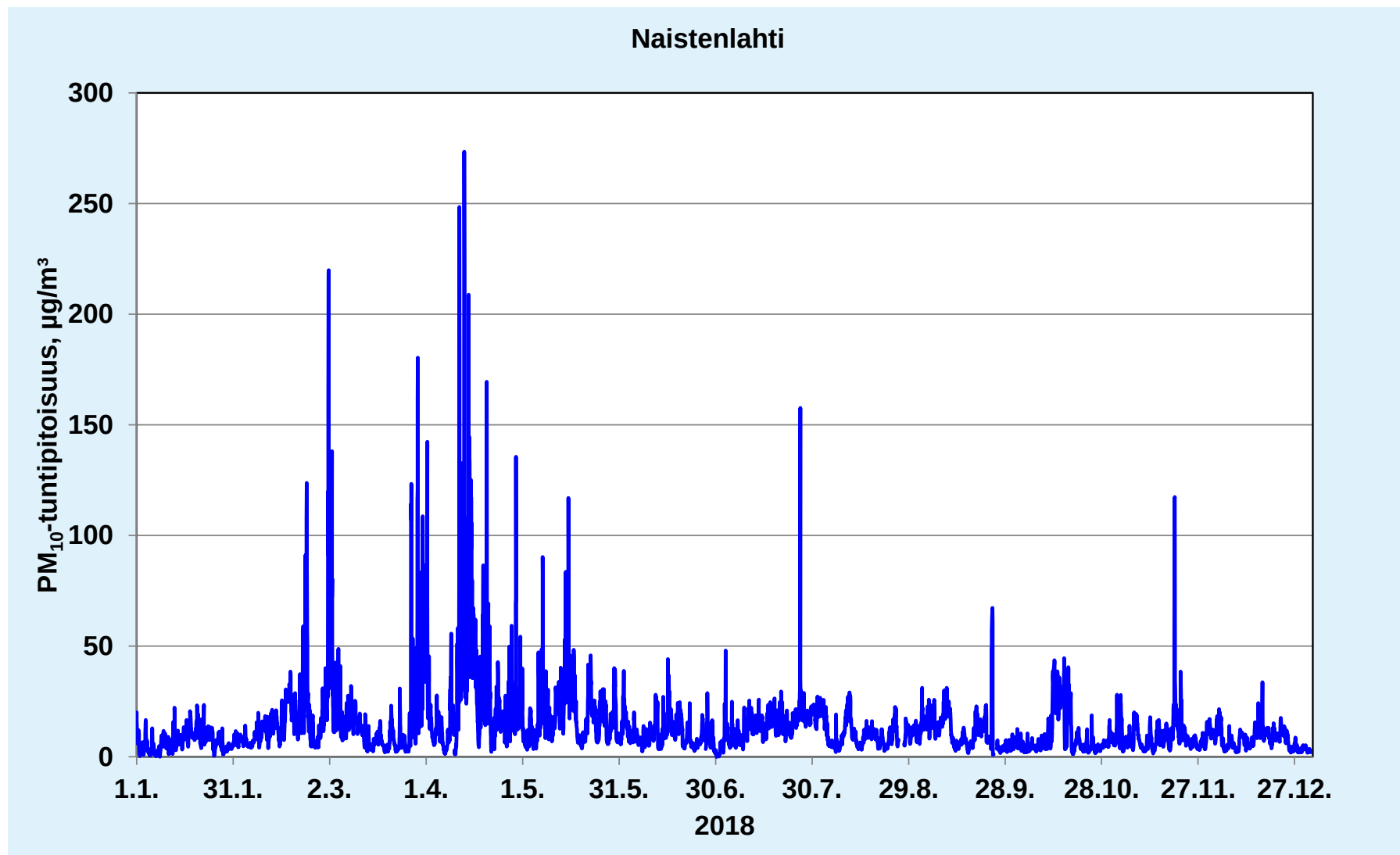
Liitekuva 2. Typpidioksidin (NO₂) tuntipitoisuudet Naistenlahdessa 1.1.–31.12.2018.



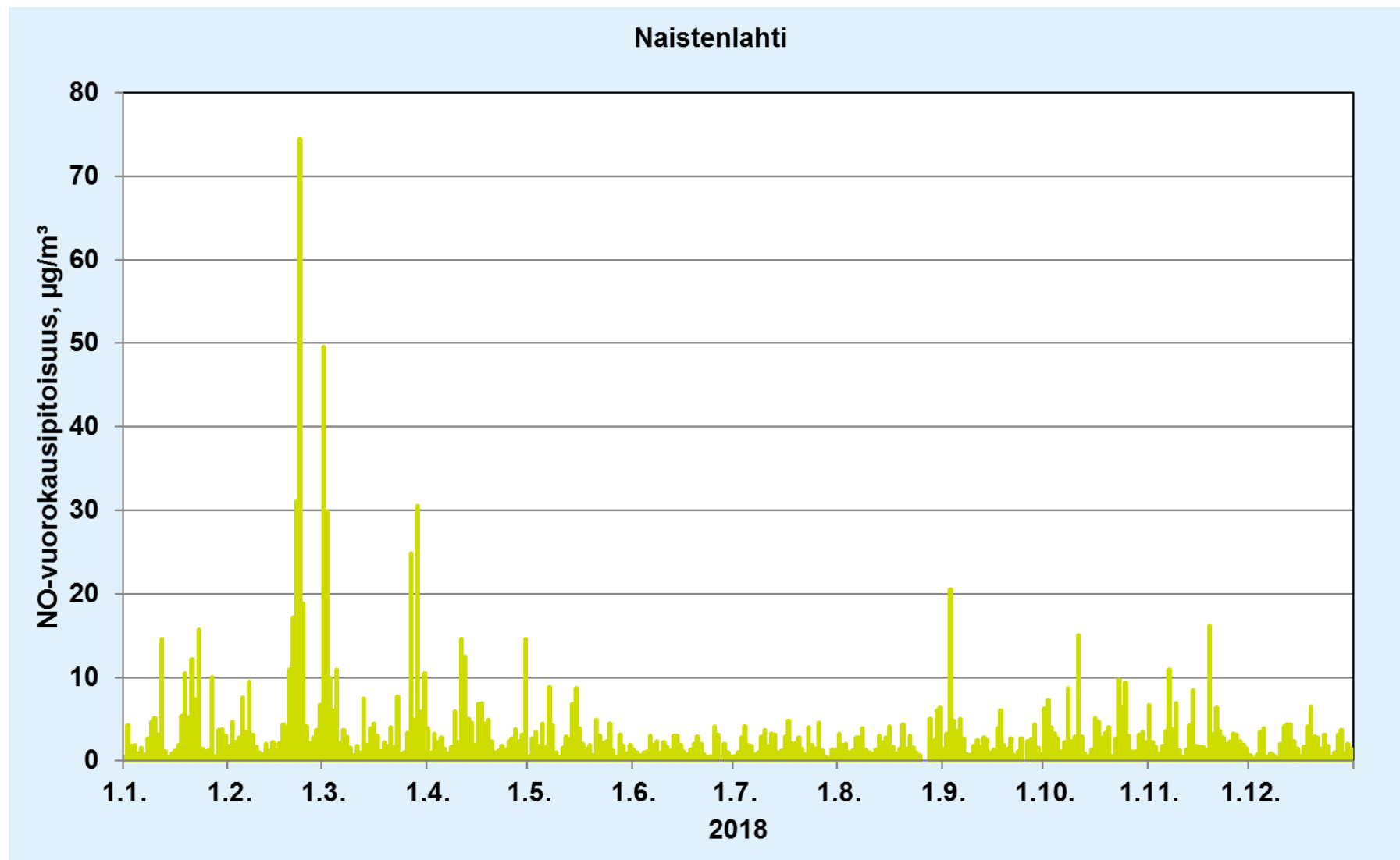
Liitekuva 3. Typen oksidien (NO_x) tuntipitoisuudet Naistenlahdessa 1.1.–31.12.2018.



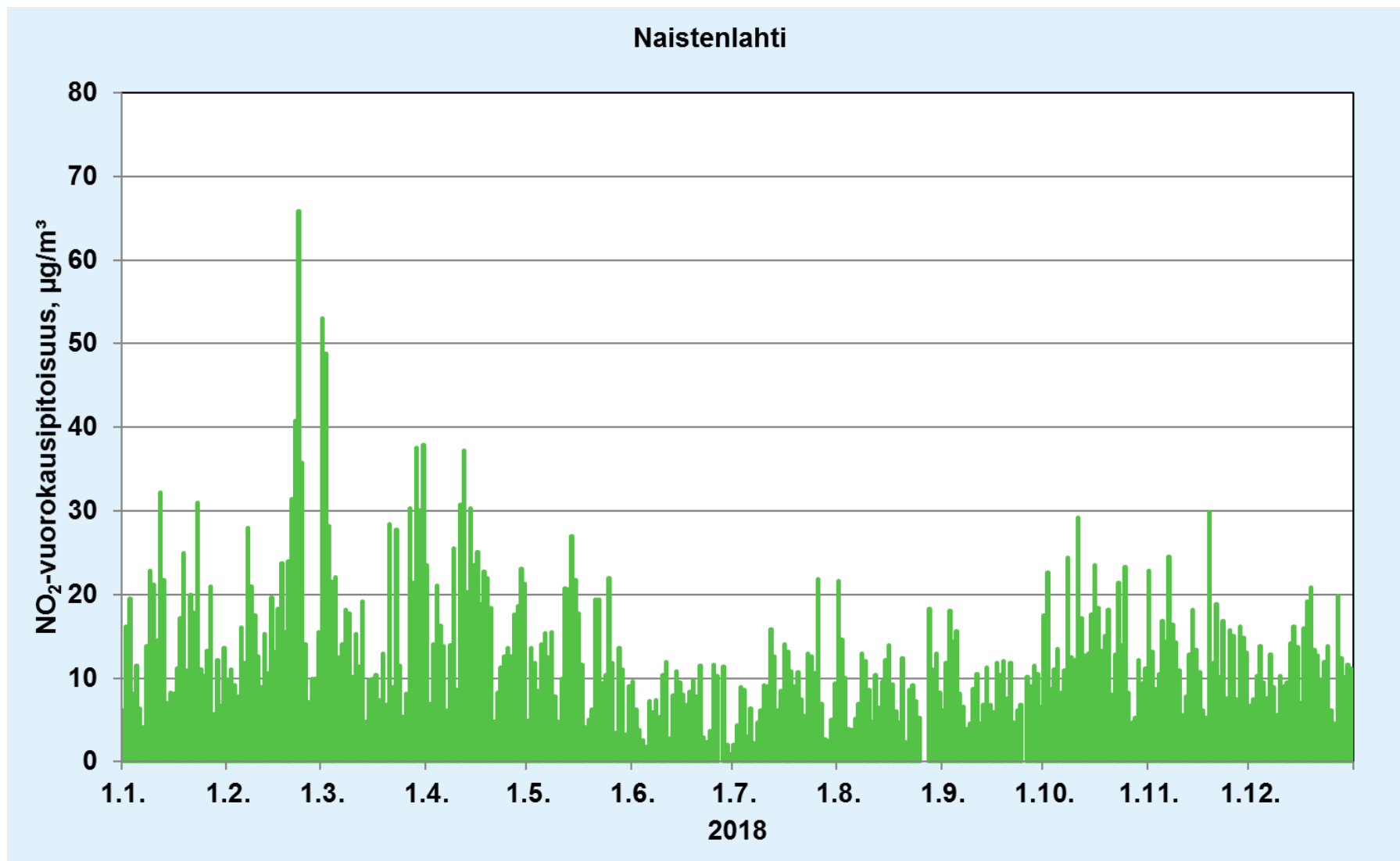
Liitekuva 4. Pienhiukkasten (PM_{2.5}) tuntipitoisuudet Naistenlahdessa 1.1.–31.12.2018.



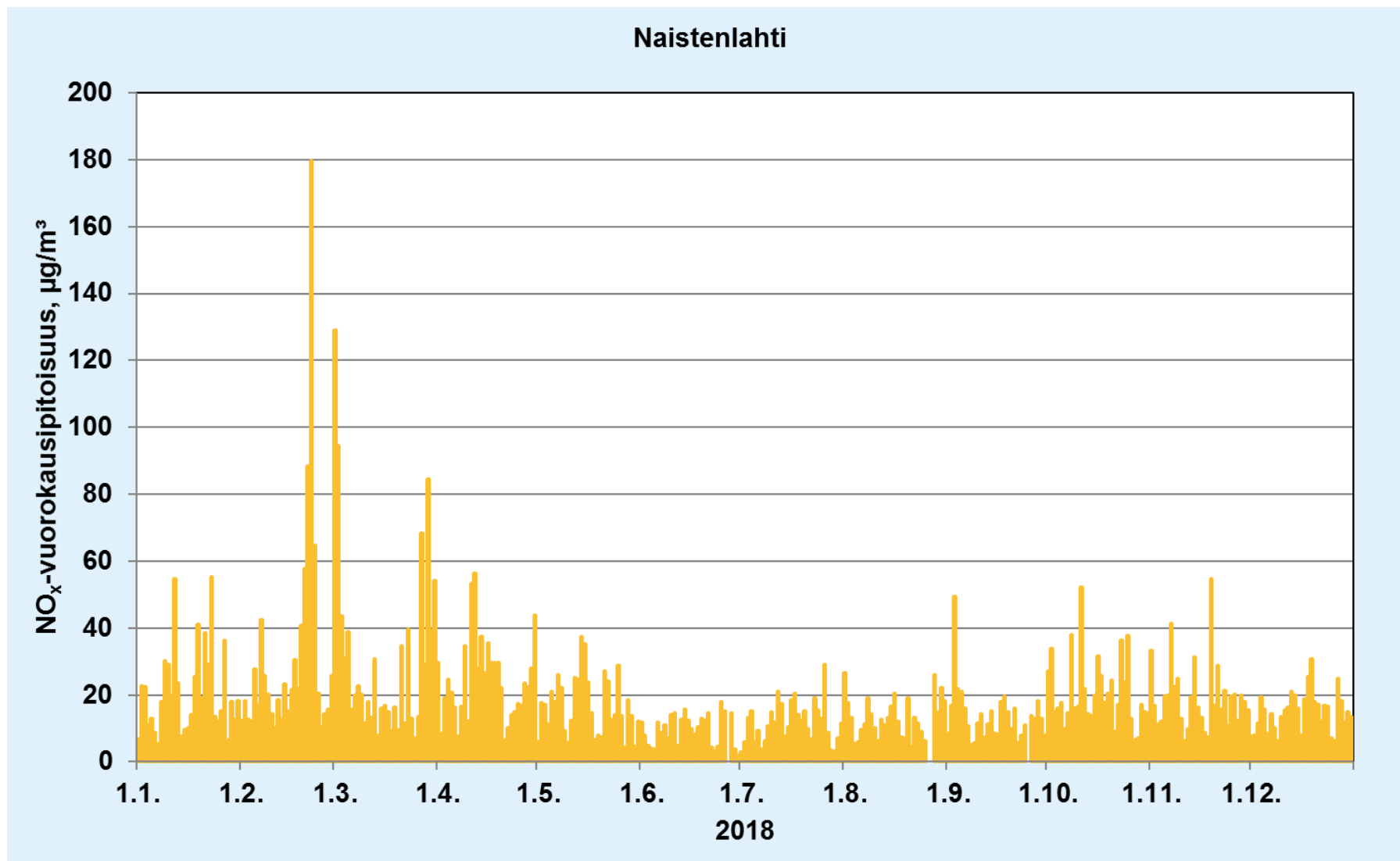
Liitekuva 5. Hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) tuntipitoisuudet Naistenlahdessa 1.1.–31.12.2018.



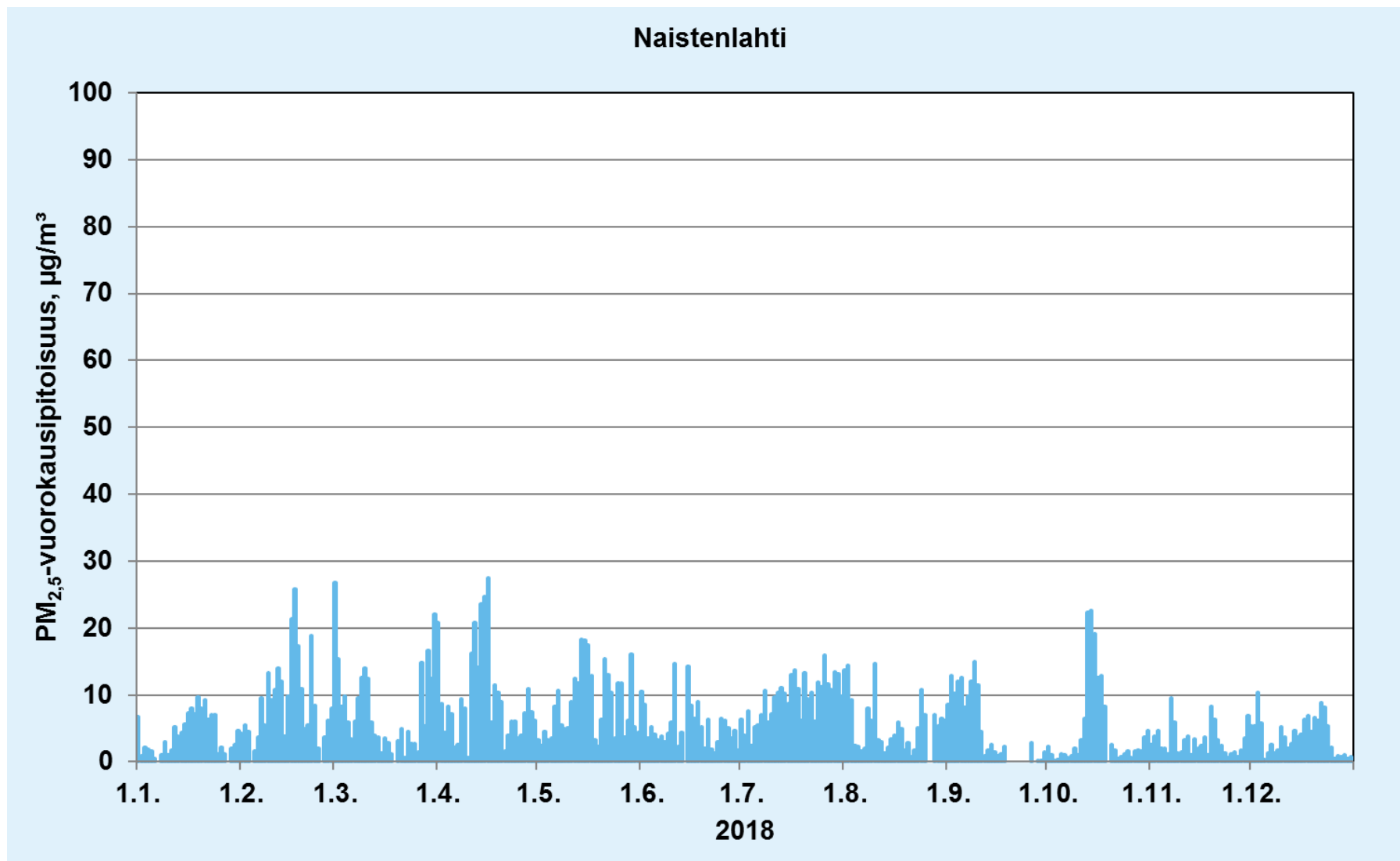
Liitekuva 6. Typpimonoksidin (NO) vuorokausipitoisuudet Naistenlahdessa 1.1.–31.12.2018.



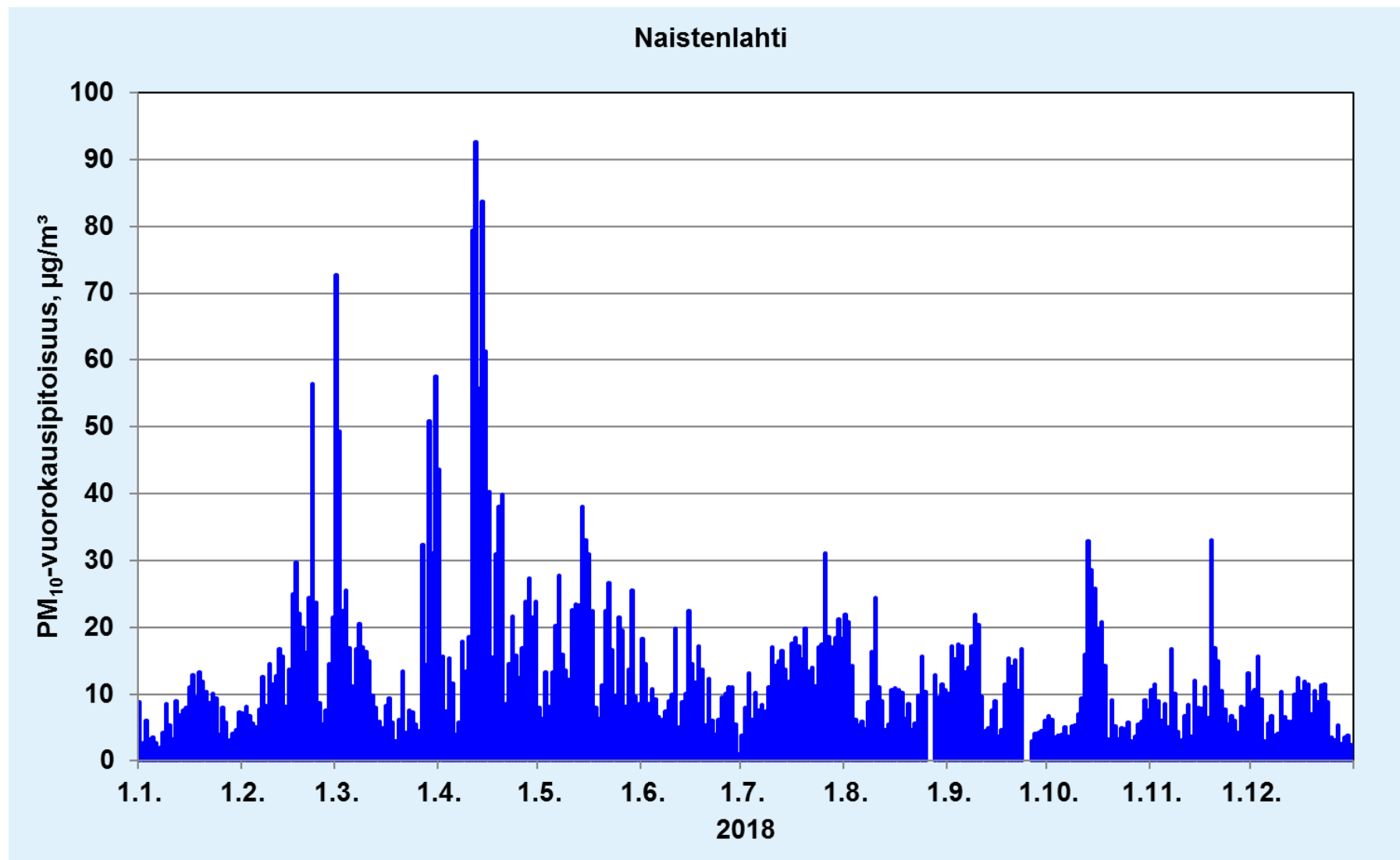
Liitekuva 7. Typpidioksidin (NO₂) vuorokausipitoisuudet Naistenlahdessa 1.1.–31.12.2018.



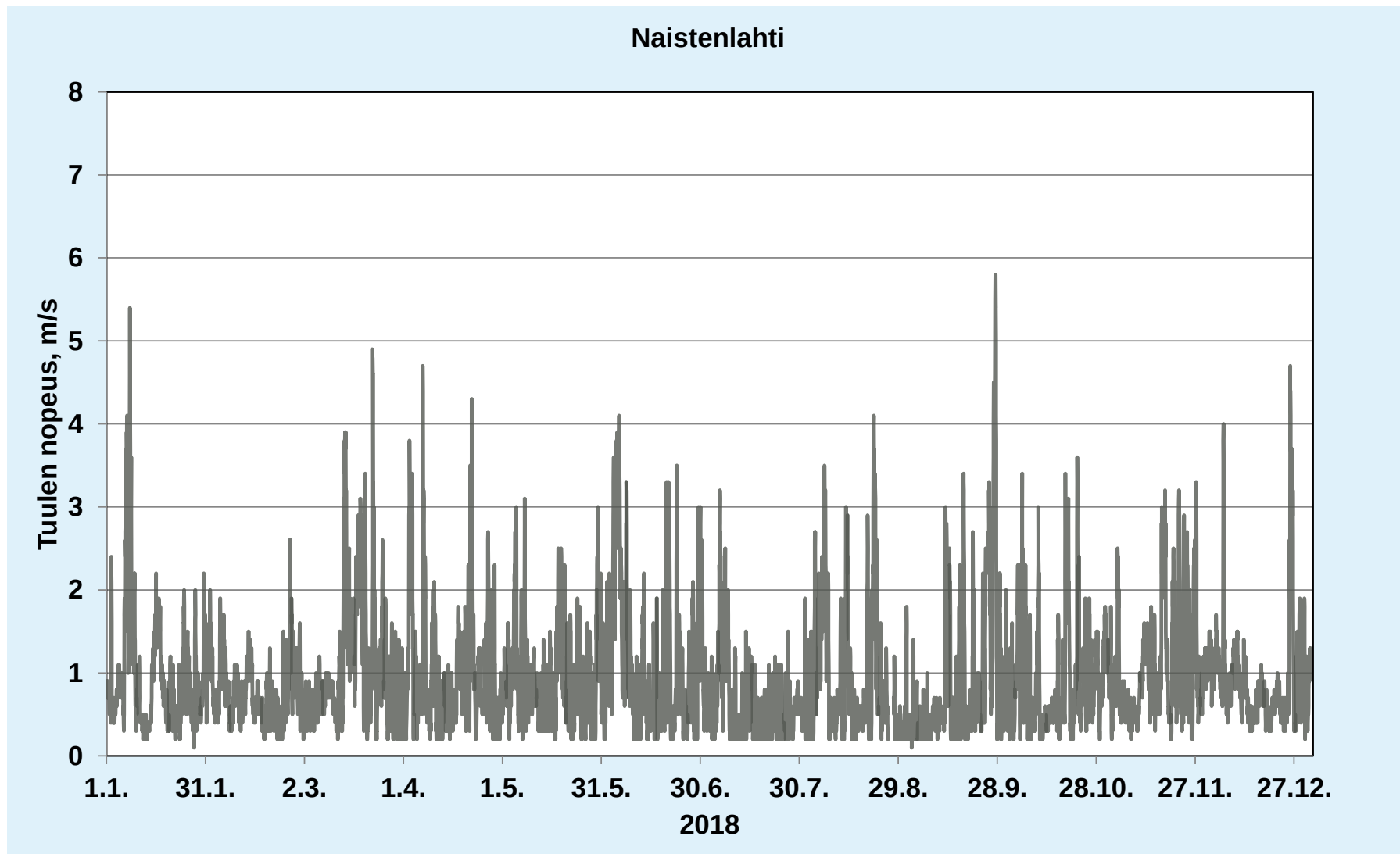
Liitekuva 8. Typen oksidien (NO_x) vuorokausipitoisuudet Naistenlahdessa 1.1.–31.12.2018.



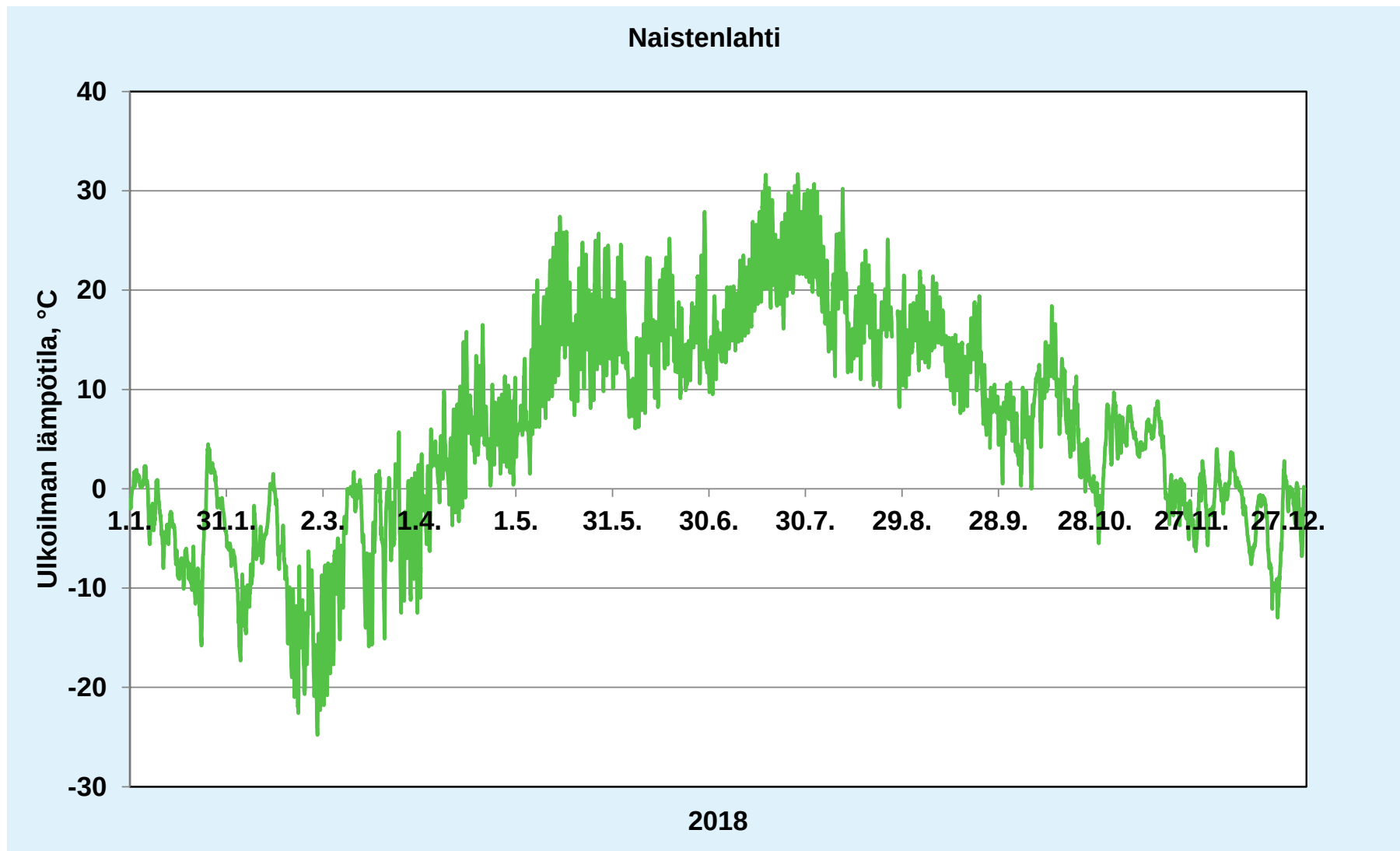
Liitekuva 9. Pienhiukkasten (PM_{2.5}) vuorokausipitoisuudet Naistenlahdessa 1.1.–31.12.2018.



Liitekuva 10. Hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) vuorokausipitoisuudet Naistenlahdessa 1.1.–31.12.2018.



Liitekuva 11. Tuulen nopeuden tunti-arvot (m/s) Naistenlahdessa 1.1.–31.12.2018.



Liitekuva 12. Ulkoilman lämpötilan tunti-arvot (°C) Naistenlahdessa 1.1.–31.12.2018.



ILMATIETEEN LAITOS

ILMATIETEEN LAITOS

puh. 029 539 1000

Ilmanlaatu ja energia

ilmanlaatupalvelut@fmi.fi

www.ilmatieteenlaitos.fi/ilmanlaatupalvelut

WWW.ILMATIETEENLAITOS.FI

