



## OUTOKUMPU STAINLESS OY

### ILMANLAATUMITTAUKSET TORNION TEHTAAN YMPÄRISTÖSSÄ

Rikkidioksidin, elohopean, hengitettävien hiukkasten,  
arseenin, metallien, PAH-yhdisteiden ja ionien  
pitoisuudet vuonna 2017

### LOPPURAPORTTI



**OUTOKUMPU STAINLESS OY**

**ILMANLAATUMITTAUKSET TORNION TEHTAAN YMPÄRISTÖSSÄ**

**Rikkidioksidin, elohopean, hengitettävien hiukkasten, arseenin,  
metallien, PAH-yhdisteiden ja ionien pitoisuudet vuonna 2017**

**LOPPURAPORTTI**

**Helena Saari**

**Jatta Salmi**

**Mika Vestenius**

**Katriina Kyllönen**

**Ulla Makkonen**

**Antti Wemberg**

**Jaakko Laakia**

**Jenni Latikka**

**ILMATIETEEN LAITOS – ASiantuntijapalvelut**

**ILMANLAATU JA ENERGIA**

**Helsinki 29.3.2018**

## SISÄLLYSLUETTELO

<b>OSA I</b> .....	<b>4</b>
1. JOHDANTO.....	4
2. MITATUT PITOISUUDET .....	5
2.1 Hengitettävien hiukkasten, rikkidioksidin ja elohopean pitoisuudet.....	5
2.2 Hengitettävien hiukkasten sisältämät alkuaineet ja ionit.....	8
2.3 Hengitettävien hiukkasten sisältämät PAH-yhdisteet.....	13
2.4 Pitoisuuksien vertailua ohje-, raja- ja tavoitearvoihin .....	15
2.5 Pitoisuuksien vertailua Torniossa aiemmin mitattuihin pitoisuuksiin ...	19
2.6 Pitoisuuksien vertailua muualla mitattuihin pitoisuuksiin.....	22
2.7 Pitoisuuksien vertailua päästöjen leviämismallilaskelmilla saatuihin pitoisuuksiin .....	26
3. LÄHTEIDEN ARVIOINTI PMF-ALYYSILLÄ.....	27
4. YHTEENVETO JA SUOSITUKSET .....	33
<b>OSA II</b> .....	<b>37</b>
5. TUTKIMUKSEN SUORITUS.....	37
5.1 Mittauspaikat ja mittausjakso .....	37
5.2 Mittausmenetelmät.....	39
5.3 PMF-lähdeanalyysi .....	42
6. SÄÄTIEDOT .....	43
6.1 Tuulitiedot vuodelta 2017 .....	43
6.2 Keskilämpötilat Torniossa vuonna 2017 .....	46
6.3 Sademäärät Torniossa vuonna 2017 .....	46
6.4 Säätekijöiden vaikutus ilman epäpuhtauksien leviämiseen .....	47
7. OUTOKUMMUN TORNION TEHTAIDEN PÄÄSTÖT.....	48
8. TAUSTATIETOA ILMAN EPÄPUHTAUKSISTA.....	51
8.1 Rikkidioksidi .....	51
8.2 Hiukkaset.....	52
8.3 Elohopea.....	54
8.4 Arseeni ja metallit.....	55
8.5 Ionit.....	57
8.6 PAH-yhdisteet.....	58
9. ILMANLAADUN OHJE-, RAJA- JA TAVOITEARVOT .....	59
VIITELUETTELO .....	62
LIITEKUVAT .....	65
LIITETAULUKOT .....	80

Selitteet raportissa käytetyille tärkeimmille yksiköille ja lyhenteille:

Yksiköt:

$\mu\text{m}$	mikrometri = millimetrin tuhannesosa
$\mu\text{g}/\text{m}^3$	mikrogrammaa (= gramman miljoonasosa) kuutiometrissä ilmaa (pitoisuus)
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

Lyhenteet:

PM <sub>10</sub>	hengitettävät hiukkaset = halkaisijaltaan alle 10 $\mu\text{m}$ :n kokoiset hiukkaset
PM <sub>2,5</sub>	pienhiukkaset = halkaisijaltaan alle 2,5 $\mu\text{m}$ :n kokoiset hiukkaset
TSP	<u>T</u> otal <u>S</u> uspended <u>P</u> articles = kokonaisuutenaan kuuluvat hiukkaset
SO <sub>2</sub>	rikkidioksidi
ICP-MS	analyysilaitte: induktiivisesti kytketty plasma–massaspektrometri
IC	analyysilaitte: ionikromatografi
GC-MS	analyysilaitte: kaasukromatografi–massaspektrometri
PMF	lähdemallinnusmenetelmä ( <u>P</u> ositive <u>M</u> atrix <u>F</u> actorization), jolla pyritään selvittämään ilman epäpuhtauksien päästölähteitä mitatuista ilman epäpuhtauksien aikasarjoista



Kuva Antti Wemberg, Ilmatieteen laitos.

# OSA I

---

## 1. JOHDANTO

Outokumpu Stainless Oy tilasi Ilmatieteen laitokselta Tornion Puuluodossa ja Outokumpu Stainless Oy:n tehdasalueella vuonna 2017 toteutetut ilmanlaatumittaukset. Lähimmällä asuinalueella sijaitsevalla Puuluodon mittausasemalla mitattiin hengittävien hiukkasten, rikkidioksidin, elohopean, arseenin, metallien, PAH-yhdisteiden ja ionien pitoisuuksia. Tehdasalueella puolestaan mitattiin hengittävien hiukkasten, arseenin ja metallien sekä PAH-yhdisteiden pitoisuuksia. Mittaustulosten perusteella laadittiin PMF-lähdeanalyysi.

Tämän loppuraportin osassa I esitetään pitoisuusmittausten tulokset koko mittausjaksolta eli 1.1.–31.12.2017 väliseltä ajalta sekä mittaustulosten perusteella tehty analyysi Tornion tehtaan vaikutuksesta paikalliseen ilmanlaatuun. Raportin osassa II käsitellään tutkimuksen käytännön toteutusta ja alueen paikallisia olosuhteita sekä ilmanlaadun taustatietoa ja lainsäädäntöä. Ensimmäisen puolen vuoden mittaustulokset on raportoitu myös erillisessä väliraportissa (*Saari ym., 2017*).

Tilaaajan yhdyshenkilönä tutkimuksessa toimivat Outokummun Tornion tehtailta ympäristöpäällikkö Juha Kekäläinen sekä ympäristölaborantti Eino Saukko, joka osallistui myös tutkimuksen kenttätöihin mittausasemilla.

Tutkimuksen toteutukseen ovat Ilmatieteen laitoksella osallistuneet Helena Saari ja Jatta Salmi (mittausten valvonta, SO<sub>2</sub>- ja PM<sub>10</sub>-tulosten käsittely ja raportointi), Katriina Kyllönen (elohopeatulosten käsittely ja raportointi), Ulla Makkonen (arseeni-, metalli- ja ionitulosten käsittely ja raportointi), Mika Vestenius (PAH-tulosten käsittely ja raportointi, PMF-lähdeanalyysi), Antti Wemberg ja Jaakko Laakia (kenttätöitä, kalibroinnit ja laadunvarmistus) sekä Jenni Latikka (projektin hallinto ja johto).

## 2. MITATUT PITOISUUDET

### 2.1 Hengitettävien hiukkasten, rikkidioksidin ja elohopean pitoisuudet

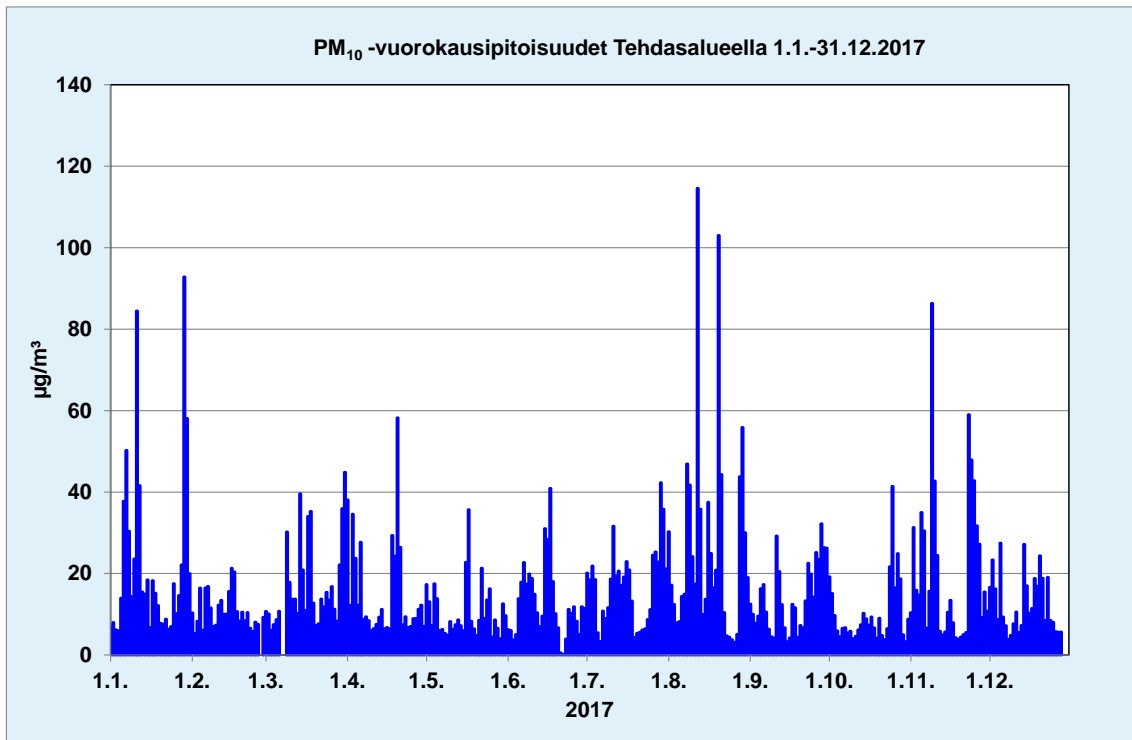
Kuvissa 1–4 on esitetty Tehdasalueen ja Puuluodon mittauspisteissä mitattujen hengitettävien hiukkasten ( $PM_{10}$ ) pitoisuuksien sekä Puuluodossa mitattujen rikkidioksidipitoisuuksien ( $SO_2$ ) ja elohopeapitoisuuksien (Hg) vuorokausiarvojen aikasarjat mittausjaksolta 1.1.–31.12.2017. Raportin lopussa liitekuvuissa 1–4 on esitetty mittaustulosten tuntikeskiarvopitoisuudet vastaavalta jaksolta ja raportin lopun liitetaulukoihin 1–4 on koottu kuukausittaisia tilastotietoja mitatuista hengitettävien hiukkasten ja rikkidioksidin pitoisuuksista tältä jaksolta. Nämä kaikki mittaukset on suoritettu jatkuvatoimisilla automaattisilla mittalaitteilla. Mittausmenetelmistä ja käytetyistä laitteista on kerrottu tarkemmin raportin kappaleessa 5.2.

Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet vaihtelivat vuoden tarkastelujaksolla voimakkaasti. Hetkellinen tuntipitoisuuksien vaihtelu oli suurempaa kuin vuorokausikeskiarvopitoisuuksien vaihtelu. Tehdasalueen mittauspisteessä mitattiin keskimäärin hieman korkeampia hengitettävien hiukkasten pitoisuuksia kuin Puuluodossa. Tehdasalueen hiukkaspitoisuuksissa ei voitu havaita erityistä vuodenaikaisvaihtelua mutta Puuluodon hengitettävien hiukkasten tuntipitoisuudet olivat kesällä keskimäärin hieman pienempiä kuin talvikaudella.

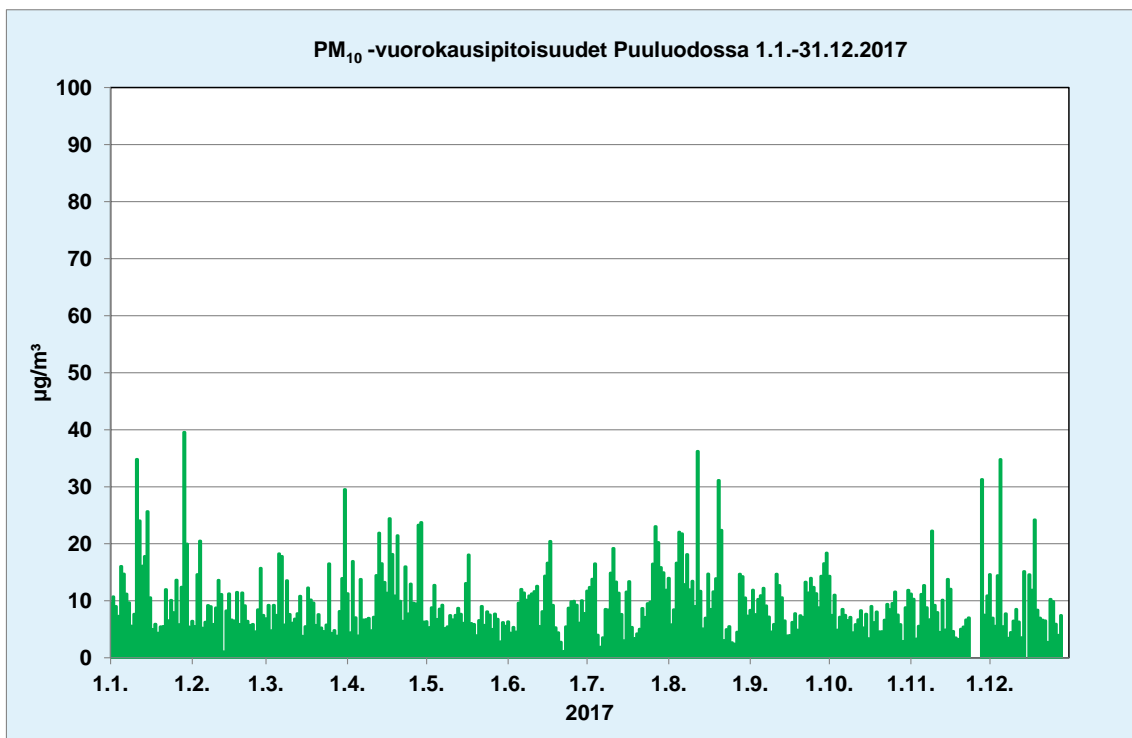
Teollisuuden ja liikenteen päästölähteistä vapautuvien hiukkasten lisäksi ulkoilman hiukkaspitoisuuksiin vaikuttavat merkittävästi maanpinnasta tuulen mukana ilmaan nousevat hiukkaset, joiden määrää säätelevät muun muassa tuulen nopeus, sateisuus, maanpinnan kosteus ja pintojen kasvillisuuspeitteisyys. Pölyämistä tapahtuu tyypillisesti kevät- ja kesäaikaan maaston ollessa kuivaa. Elokuussa 2017 Outokummun tehdasalueella oli useampana päivänä pölyämistilanteita, joissa kova etelätuuli toi pölyä kuonakentältä. Pölyä kantautui Puuluotoon saakka, jossa mitattiin kohonneita hengitettävien hiukkasten pitoisuuksia 12.8., 20.8. ja 21.8.

Puuluodon mittausasemalla mitatut rikkidioksidin pitoisuudet olivat hyvin pieniä. Pitoisuudet olivat samaa tasoa Ilmatieteen laitoksen Sammaltunturin taustailmanlaadun mittausasemalla mitattujen pitoisuuksien kanssa. Tämän mittausjakson aikana rikkidioksidipitoisuutta mitattiin Puuluodossa PMF-analyysiä varten tehtaan päästöjen merkkiaineena.

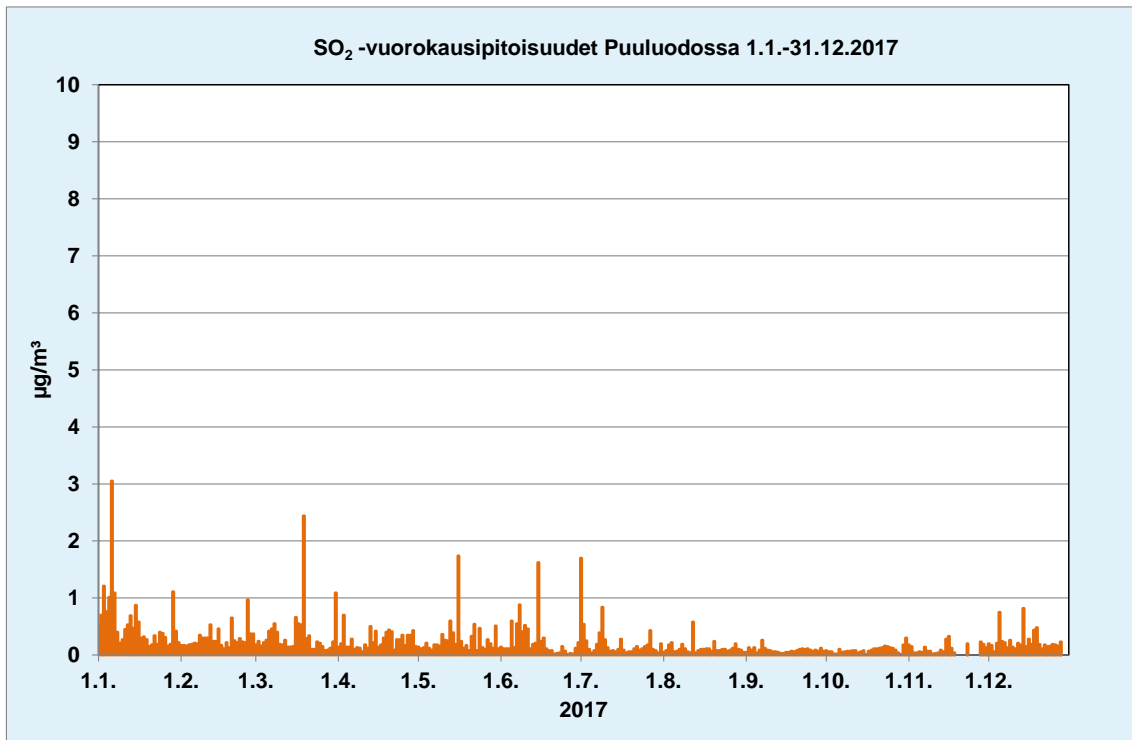
Puuluodossa mitattu elohopeapitoisuus säilyi valtaosan mittausjaksosta tasaisella pitoisuustasolla (noin  $1,4 \text{ ng/m}^3$ ), joka vastaa tyypillistä kaasumaisen elohopean taustapitoisuutta Suomessa. Hetkittäin havaittiin kuitenkin selviä kohonneiden pitoisuuksien piikkejä. Mittausjakson korkeimmat lyhytaikaispitoisuudet mitattiin heti jakson alussa 8.1.2017, jolloin terässulaton elohopean puhdistinlaitteisto oli mennyt epäkuuntoon.



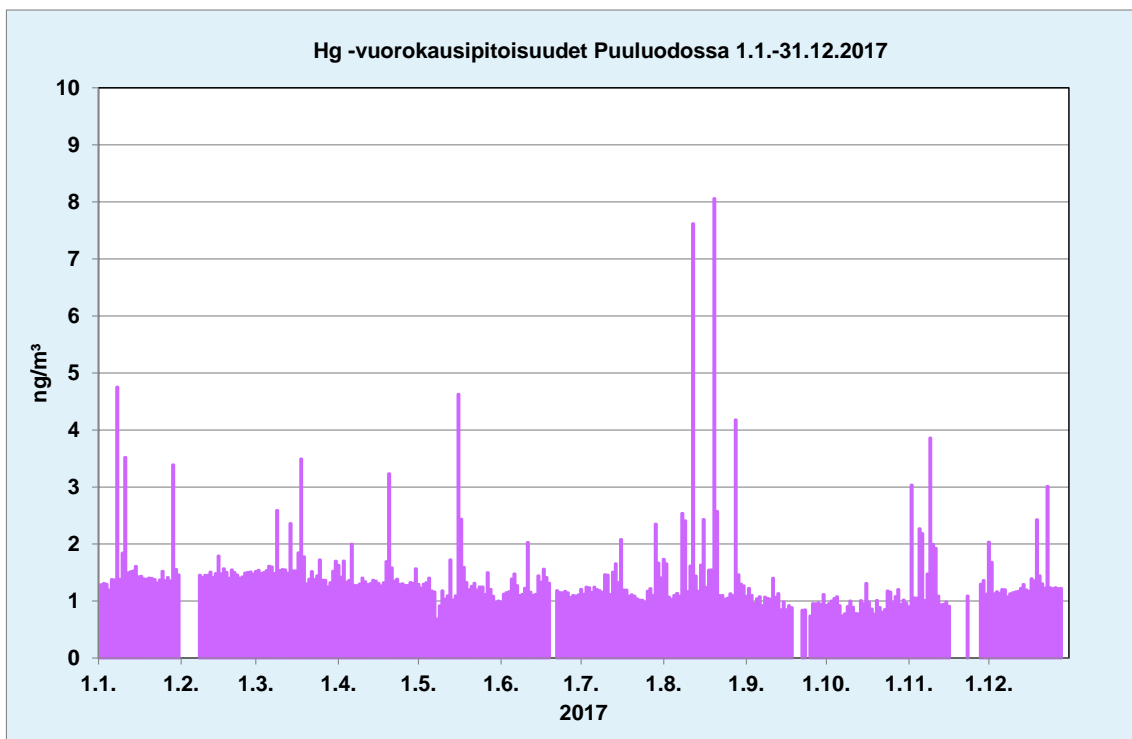
Kuva 1. Hengitettävien hiukkasten (PM<sub>10</sub>) vuorokausipitoisuudet Tehdasalueen mittauspisteessä jaksolla 1.1.-31.12.2017.



Kuva 2. Hengitettävien hiukkasten (PM<sub>10</sub>) vuorokausipitoisuudet Puuluodon mittauspisteessä jaksolla 1.1.-31.12.2017.



Kuva 3. Rikkidioksidin (SO<sub>2</sub>) vuorokausipitoisuudet Puuluodon mittauspisteessä jaksolla 1.1.-31.12.2017.



Kuva 4. Elohopean (Hg) vuorokausipitoisuudet Puuluodon mittauspisteessä jaksolla 1.1.-31.12.2017. Mittauskatkokset aiheutuivat laiterikosta ja sähkökatkoksista.

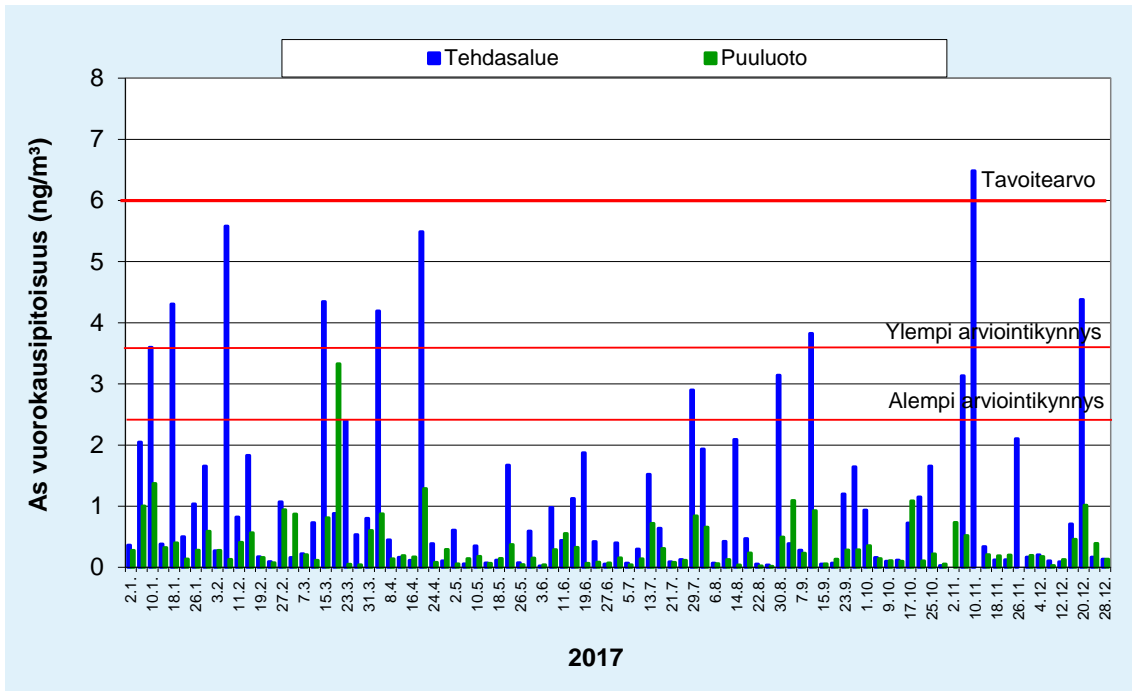


## 2.2 Hengitettävien hiukkasten sisältämät alkuaineet ja ionit

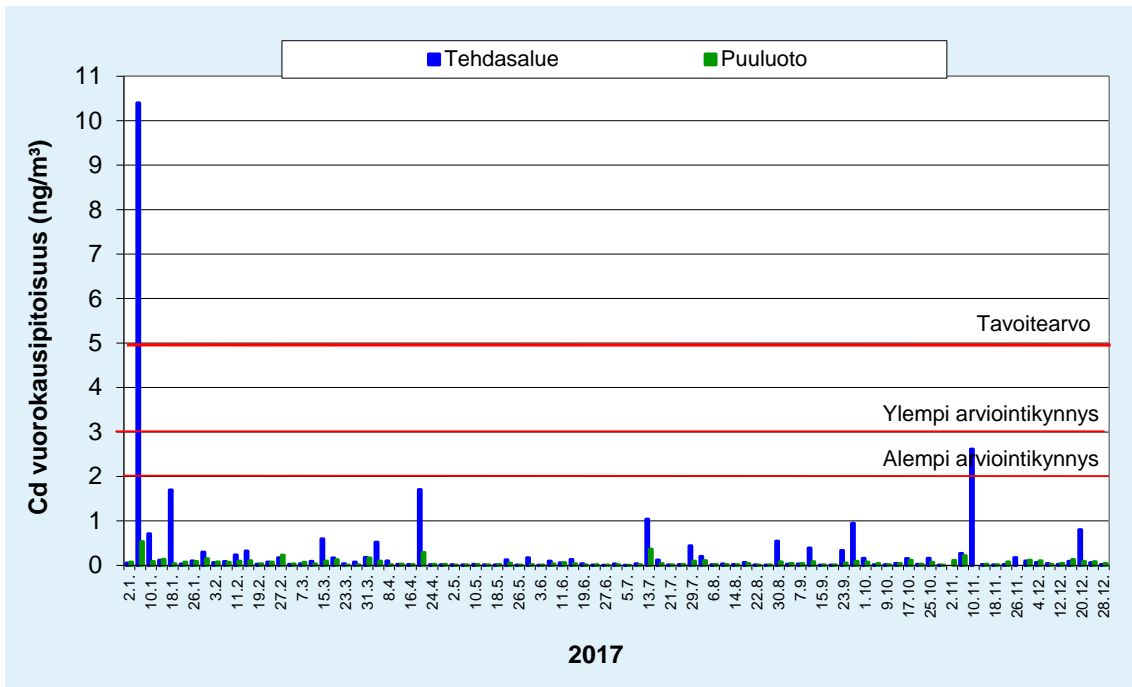
Ilmanlaadun kannalta tärkeimpien metallien ja arseenin pitoisuustulokset vuodelta 2017 on esitetty taulukossa 1, johon on koottu mittausjakson pitoisuuskeskiarvo, suurin ja pienin arvo sekä näytemäärä. Näiden pitoisuustulokset on esitetty lisäksi näytteittäin kuvissa 5–10. Loppujen analysoitujen metallien pitoisuustulokset on esitetty näytteittäin raportin lopussa liitekuvissa 5–10.

Taulukko 1. Hengitettävien hiukkasten (PM<sub>10</sub>) vuorokausinäytteistä analysoidut arseeni- ja metallipitoisuudet Tehdasalueen ja Puuluodon mittauspisteissä tammi-joulukuussa 2017.

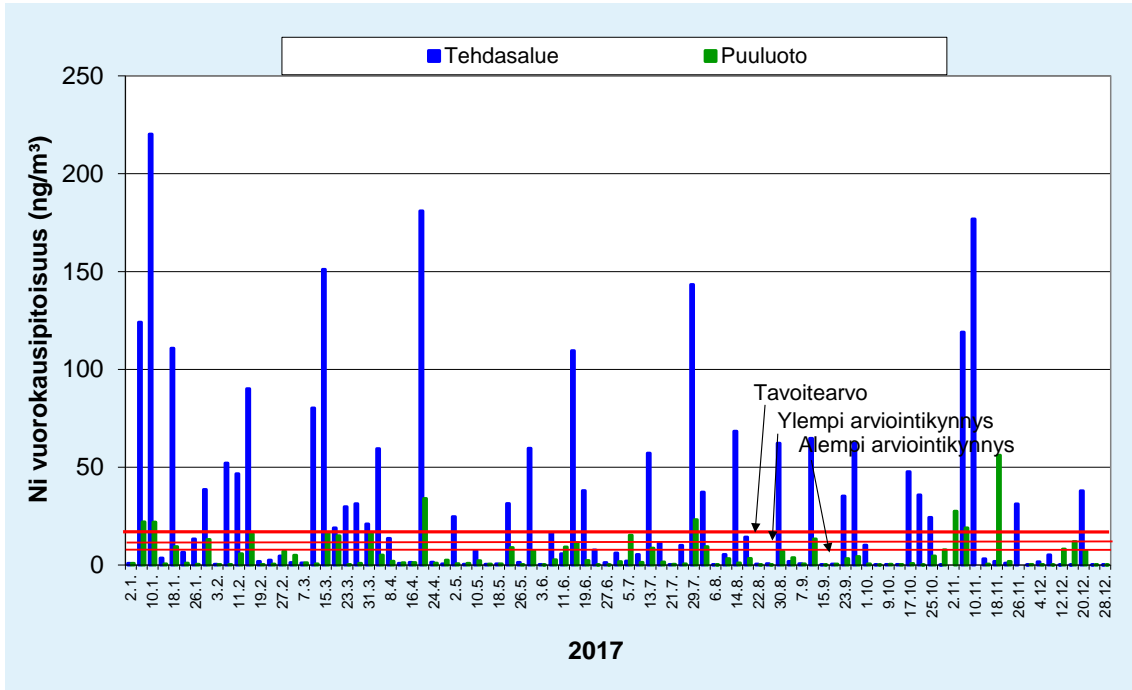
Keräinnäytteiden pitoisuudet	As ng/m <sup>3</sup>	Cd ng/m <sup>3</sup>	Ni ng/m <sup>3</sup>	Pb ng/m <sup>3</sup>	Cr ng/m <sup>3</sup>	Zn ng/m <sup>3</sup>
<b>Tehdasalue</b>						
Näytemäärä	90	90	90	90	90	90
Keskiarvo	1,09	0,31	30	11	326	206
Minimi	0,02	0,00	0,00	0,07	0,16	1,07
Maksimi	6,5	10	220	107	2327	1655
<b>Puuluoto</b>						
Näytemäärä	89	89	89	89	89	89
Keskiarvo	0,36	0,07	5,6	2,7	50	39
Minimi	0,02	0,00	0,00	0,06	0,30	1,0
Maksimi	3,3	0,5	56	16	462	283



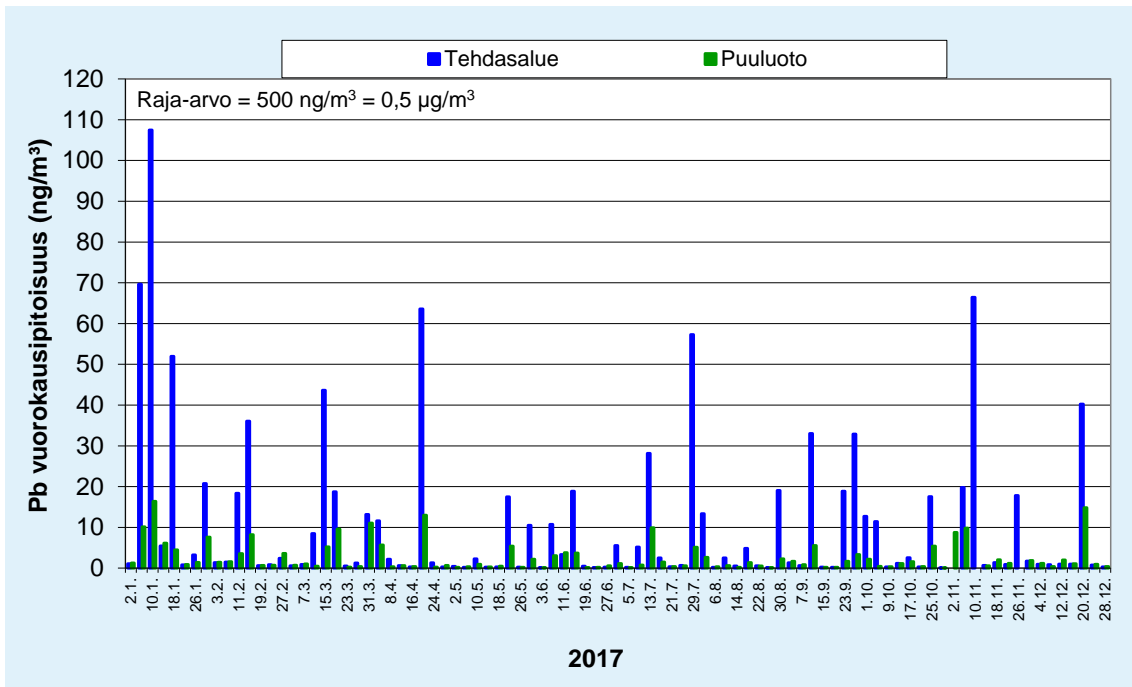
Kuva 5. Hengitettävistä hiukkasista ( $PM_{10}$ ) määritetyt **arseni**pitoisuudet ( $ng/m^3$ ) Tehdasalueen ja Puuluodon mittauspisteissä jaksolla 2.1.–28.12.2017. Huom. Tavoitearvo ja arviointikynnykset koskevat vuosikeskiarvoa, eivät yksittäisiä pitoisuusarvoja, ja ne ovat kuvassa vain havainnollistamassa pitoisuustasoa.



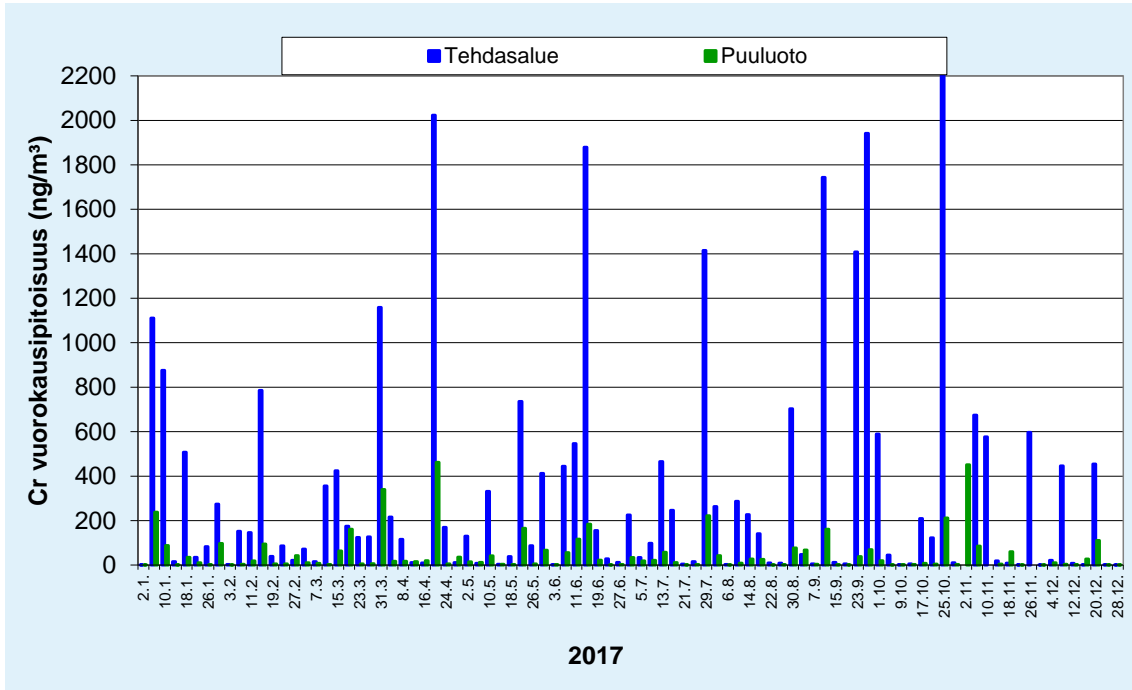
Kuva 6. Hengitettävistä hiukkasista ( $PM_{10}$ ) määritetyt **kadmium**pitoisuudet ( $ng/m^3$ ) Tehdasalueen ja Puuluodon mittauspisteissä jaksolla 2.1.–28.12.2017. Huom. Tavoitearvo ja arviointikynnykset koskevat vuosikeskiarvoa, eivät yksittäisiä pitoisuusarvoja, ja ne ovat kuvassa vain havainnollistamassa pitoisuustasoa.



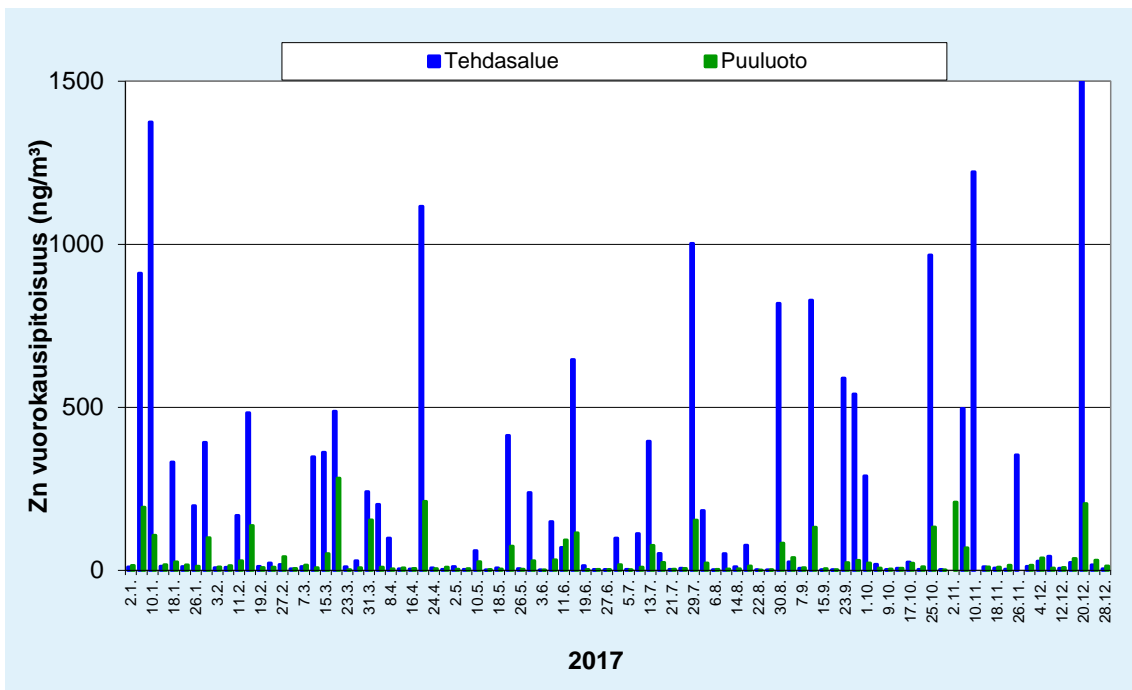
Kuva 7. Hengitettävistä hiukkasista (PM<sub>10</sub>) määritetyt **nikkelipitoisuudet** (ng/m<sup>3</sup>) Tehdasalueen ja Puuluodon mittauspisteissä jaksolla 2.1.–28.12.2017. Huom. Tavoitearvo ja arviointikynnykset koskevat vuosikeskiarvoa, eivät yksittäisiä pitoisuusarvoja, ja ne ovat kuvassa vain havainnollistamassa pitoisuustasoa.



Kuva 8. Hengitettävistä hiukkasista (PM<sub>10</sub>) määritetyt **lyijypitoisuudet** (ng/m<sup>3</sup>) Tehdasalueen ja Puuluodon mittauspisteissä jaksolla 2.1.–28.12.2017. Lyijypitoisuuksien vuosikeskiarvolle annettu raja-arvo on 500 ng/m<sup>3</sup>.



Kuva 9. Hengitettävistä hiukkasista (PM<sub>10</sub>) määritetyt **kromipitoisuudet** (ng/m<sup>3</sup>) Tehdasalueen ja Puuluodon mittauspisteissä jaksolla 2.1.–28.12.2017.

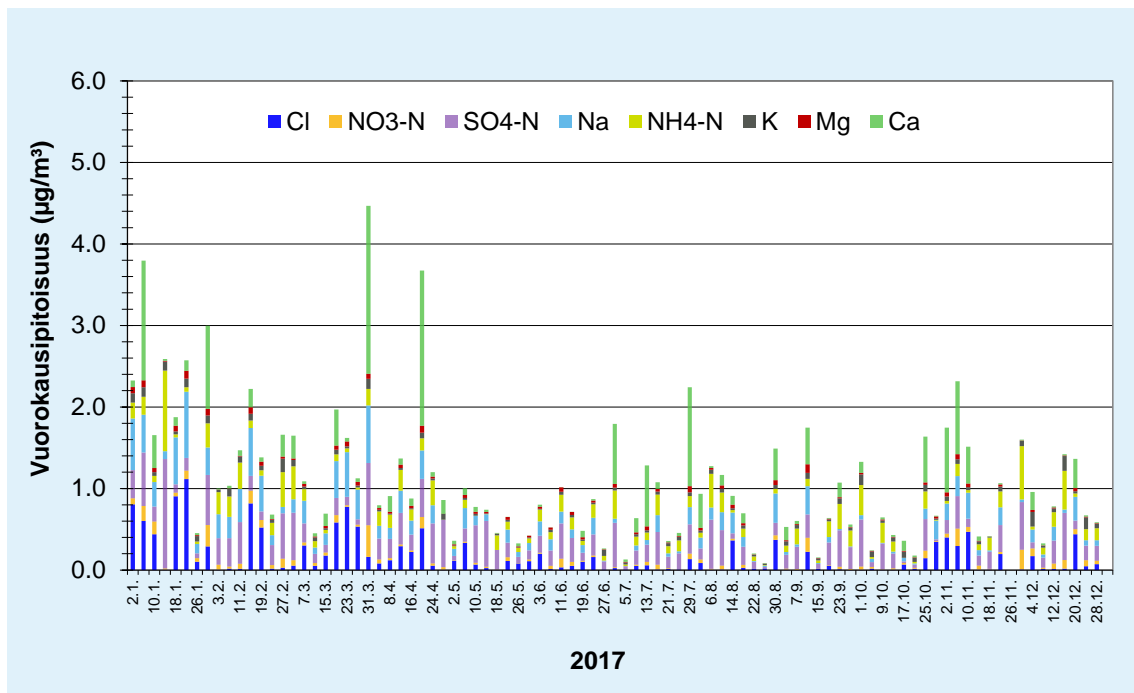


Kuva 10. Hengitettävistä hiukkasista (PM<sub>10</sub>) määritetyt **sinkkipitoisuudet** (ng/m<sup>3</sup>) Tehdasalueen ja Puuluodon mittauspisteissä jaksolla 2.1.–28.12.2017.

Puuluodon mittauspisteessä kerättiin erikseen hengitettävien hiukkasten (PM<sub>10</sub>) vuorokausinäytteitä joka neljäs päivä myös pääionien analysointia varten. Ioneja analysoitiin tässä tutkimuksessa PMF-lähdeanalyysiä varten. Tilastollinen yhteenveto Puuluodon ionipitoisuuksista on esitetty taulukossa 2. Kaikkien analysoitujen ionien pitoisuustulokset on esitetty kuvassa 11.

Taulukko 2. Hengitettävistä hiukkasista (PM<sub>10</sub>) analysoidut ionipitoisuudet **Puuluodon** mittauspisteessä tammi–joulukuussa 2017.

Keräin- näytteiden pitoisuudet	Cl <sup>-</sup> µg/m <sup>3</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N µg/m <sup>3</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> -S µg/m <sup>3</sup>	Na <sup>+</sup> µg/m <sup>3</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N µg/m <sup>3</sup>	K <sup>+</sup> µg/m <sup>3</sup>	Mg <sup>2+</sup> µg/m <sup>3</sup>	Ca <sup>2+</sup> µg/m <sup>3</sup>
Näytemäärä	90	90	90	90	90	90	90	90
Keskiarvo	0,17	0,05	0,27	0,18	0,15	0,05	0,03	0,21
Minimi	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
Maksimi	1,12	0,39	1,34	0,81	0,99	0,18	0,11	2,06



Kuva 11. Hengitettävistä hiukkasista (PM<sub>10</sub>) määritetyt pääionien pitoisuudet (µg/m<sup>3</sup>) Puuluodon mittauspisteissä jaksolla 2.1.–28.12.2017.

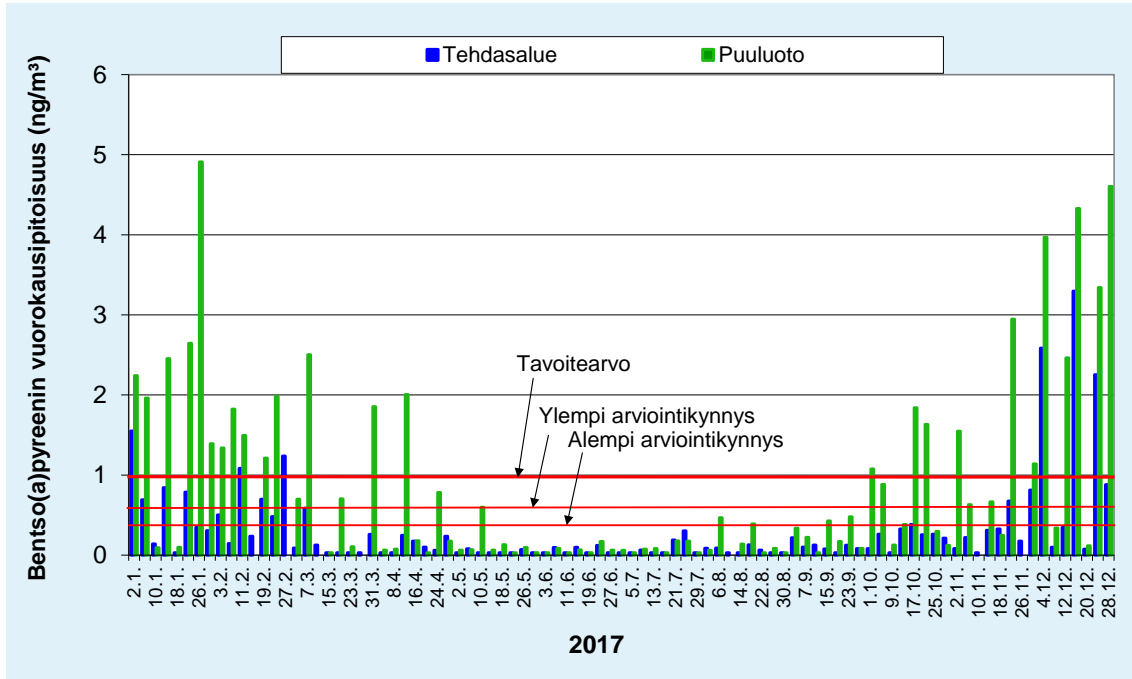
### 2.3 Hengitettävien hiukkasten sisältämät PAH-yhdisteet

Taulukkoon 3 on koottu tilastollinen yhteenveto tavoitearvoon (vuosikeskiarvo) verrattavista bentso(a)pyreenin pitoisuuksista sekä kaikki analysoidut PAH-yhdisteet sisältävästä PAH-summasta, jolle ei ole määritetty tavoitearvoa. Bentso(a)pyreenin ja PAH-summan pitoisuustulokset on esitetty näytteittäin kuvissa 12 ja 13 sekä yhdisteittäin eroteltuna raportin lopussa liitekuvin 11 ja 12.

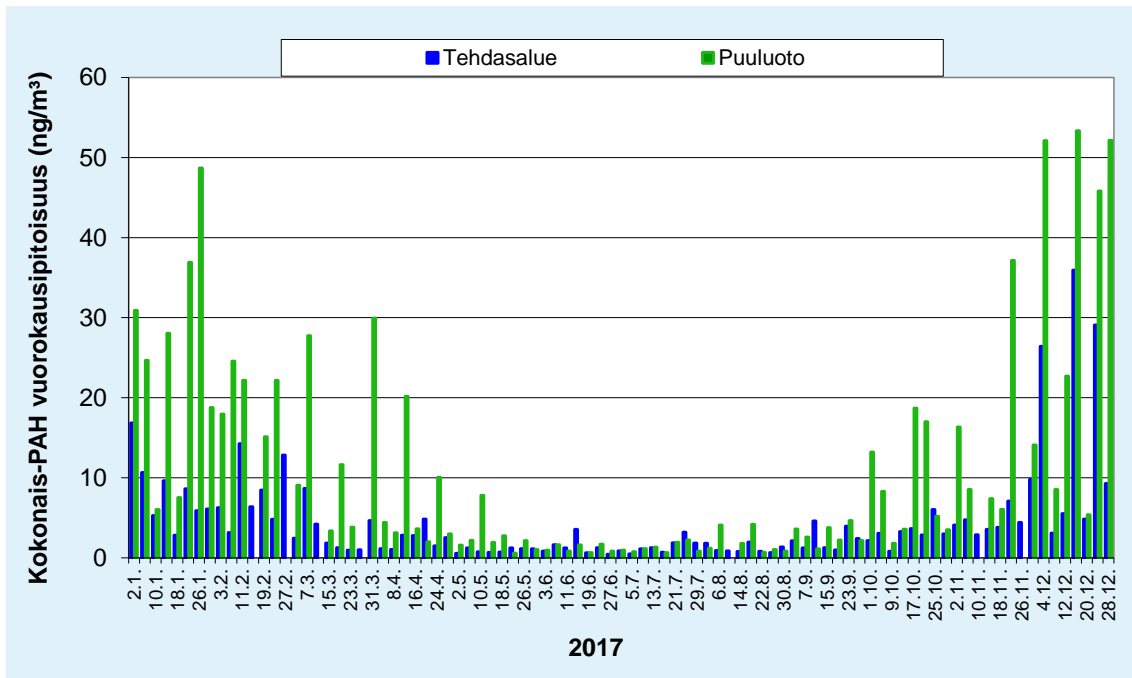
Molemmissa mittauspisteissä on havaittavissa tyypillinen vuodenajan vaikutus PAH-yhdisteiden pitoisuuksiin: Talvella pitoisuudet ovat suurempia kuin kesällä, koska mm. energiantuotannon ja puunpolton takia PAH-yhdisteiden päästöt ovat talvikaudella suuremmat. Toisaalta myös PAH-yhdisteiden muuntuminen ilmakehässä on talvella hitaampaa kesään verrattuna, alemmista lämpötiloista ja vähemmästä valon määrästä johtuen.

Taulukko 3. Hengitettävistä hiukkasista (PM<sub>10</sub>) analysoidut PAH-yhdisteiden pitoisuudet Tehdasalueen ja Puuluodon mittauspisteissä vuonna 2017. Kokonais-PAH tarkoittaa kaikkien analysoitujen PAH-yhdisteiden pitoisuuksien summaa.

Keräinnäytteiden pitoisuudet	Bentso(a)pyreeni ng/m <sup>3</sup>	kokonais-PAH ng/m <sup>3</sup>
<b>Tehdasalue</b>		
Näytemäärä	93	93
Keskiarvo	0,31	4,39
Minimi	0,03	0,45
Maksimi	3,30	35,92
<b>Puuluoto</b>		
Näytemäärä	84	84
Keskiarvo	0,84	10,81
Minimi	0,03	0,54
Maksimi	4,91	65,76



Kuva 12. Hengitettävistä hiukkasista (PM<sub>10</sub>) määritetyt bentso(a)pyreenin pitoisuudet (ng/m<sup>3</sup>) Tehdasalueen ja Puuluodon mittauspisteissä jaksolla 2.1.–28.12.2017. Huom. Tavoitearvo ja arviointikynnykset koskevat vuosikeskiarvoa, eivät yksittäisiä pitoisuusarvoja, ja ne ovat kuvassa vain havainnollistamassa pitoisuustasoa.

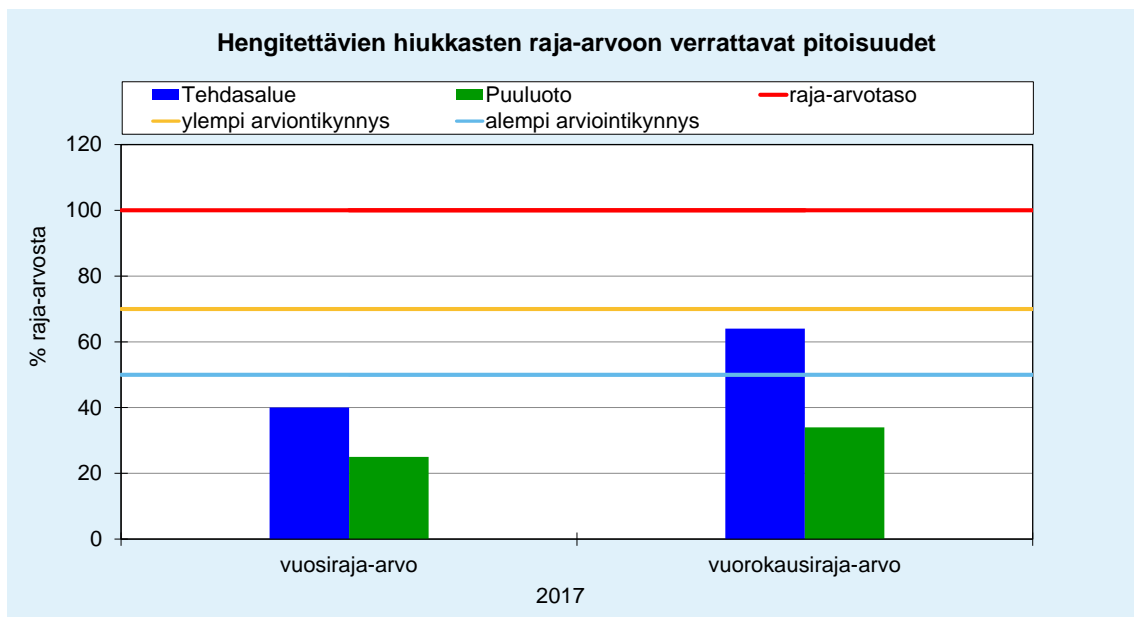


Kuva 13. Hengitettävistä hiukkasista (PM<sub>10</sub>) määritetyt kokonais-PAH pitoisuudet (ng/m<sup>3</sup>) Tehdasalueen ja Puuluodon mittauspisteissä jaksolla 2.1.–28.12.2017. Puuttuvat näytteet on hylätty sisäisessä laadunvalvonnassa.

## 2.4 Pitoisuuksien vertailua ohje-, raja- ja tavoitearvoihin

Raja-arvot määrittelevät pitoisuuksille enimmäiskaton, jota ei saa ylittää. Ohjearvojen seuraamisella sen sijaan yritetään ohjata esim. kaavoitusta sellaisille alueille, jossa pitoisuudet ovat ihmisten terveydelle haitattomalla tasolla. Raja- ja ohjearvoilla on erilaiset tilastolliset määrittelyt ja hiukkasten raja-arvopitoisuudelle sallitaan vielä erikseen ylityksiä määritellystä vuorokausipitoisuustasosta, joten näitä kahta arvoa ei voi suoraan lukuarvoina verrata keskenään. Tavoite-arvolla tarkoitetaan ilmassa olevaa pitoisuutta, joka on mahdollisuuksien mukaan alitettava määräajassa.

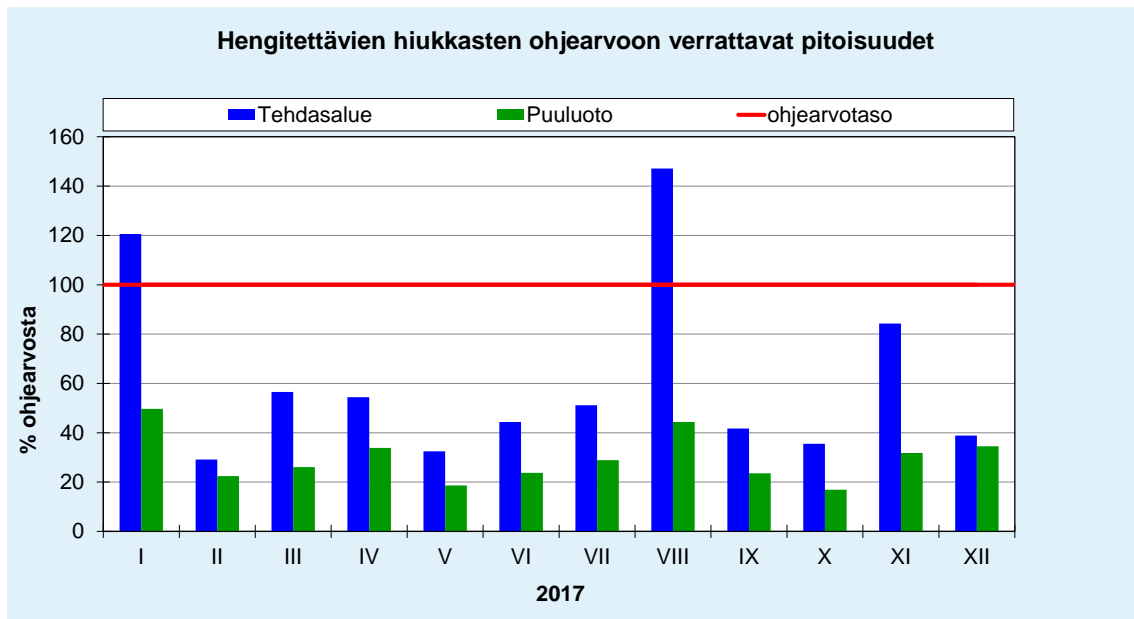
Kuvassa 14 on esitetty mittausjaksolla 1.1.–31.12.2017 havaitut hengitettävien hiukkasten vuosiraja-arvoon ja vuorokausiraja-arvoon verrannolliset pitoisuudet Tehdasalueen ja Puuluodon mittauspisteissä. Vastaavat pitoisuudet on esitetty raportin lopussa liitetaulukossa 4. Hengitettävien hiukkasten pitoisuuksien vuosikeskiarvo oli Tehdasalueen mittauspisteessä  $16 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ja Puuluodossa  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Hengitettävien hiukkasten pitoisuuden vuorokausiraja-arvotasolle,  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , sallitaan kalenterivuoden jaksolla ylityksiä 35 kpl ennen kuin varsinaisen vuorokausiraja-arvon ylityksen katsotaan tapahtuneen. Tehdasalueen mittauspisteessä havaittiin vuoden jaksolla 1.1.–31.12.2017 9 kpl yli  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ :n vuorokausipitoisuutta, Puuluodossa ei yhtään. Mittausjakson suurin vuorokausipitoisuus oli Tehdasalueella  $115 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ja Puuluodossa  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .



Kuva 14. Hengitettävien hiukkasten raja-arvoon verrattavat pitoisuudet suhteessa raja-arvoon Tehdasalueen ja Puuluodon mittauspisteissä ajalta 1.1.–31.12.2017. Kuvaan on merkitty vaakaviivoilla raja-arvotaso sekä ylempi ja alempi arviointikynnys.

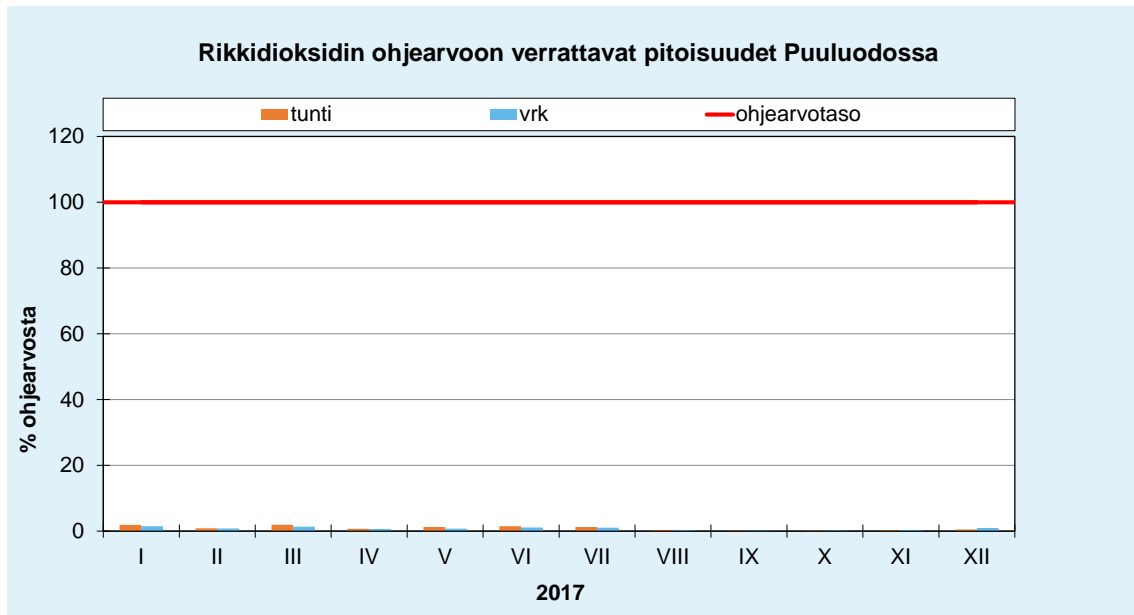


Kuvassa 15 on esitetty hengitettävien hiukkasten ohjearvoon verrannolliset pitoisuudet kuukausittain Tehdasalueen ja Puuluodon mittauspisteissä. Pitoisuudet on ilmoitettu ulkoilman lämpötilassa. Hengitettävien hiukkasten pitoisuuden vuorokausiohjearvo,  $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , ylittyi mittausjaksolla Tehdasalueen mittausasemalla tammikuussa ja elokuussa. Hengitettävien hiukkasten ohjearvoon verrattava pitoisuus oli suurimmillaan Tehdasalueella 147 % ohjearvosta elokuussa ja Puuluodossa 50 % ohjearvosta tammikuussa 2017 (kuva 15). Ohjearvoon vertaaminen edellyttää, että vuorokausipitoisuuksia on vähintään 75 % kuukauden vuorokausien lukumäärästä. Tämä vaatimus täyttyi molemmilla mittausasemilla kaikkina kuukausina.



Kuva 15. Hengitettävien hiukkasten ohjearvoon verrattavat pitoisuudet kuukausittain suhteessa ohjearvoon Tehdasalueen ja Puuluodon mittauspisteissä ajalta 1.1.–31.12.2017. Punaisella vaakaviivalla (100 %) on merkitty ohjearvotasoa  $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Rikkidioksidipitoisuudet olivat 1.1.–31.12.2017 Puuluodossa hyvin pieniä. Kuvassa 16 on esitetty rikkidioksidin ohjearvoon verrannolliset pitoisuudet kuukausittain Puuluodon mittauspisteessä. Mittausjaksolta laskettu rikkidioksidipitoisuuksien vuosikeskiarvo oli  $0,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Rikkidioksidin pitoisuustasot olivat enimmilläänkin vain 2 % rikkidioksidin lyhytaikaispitoisuuksien ohje- ja raja-arvoista ja alittivat näin ollen selvästi alemman arviointikynnyksen. Tämän mittausjakson aikana rikkidioksidipitoisuutta mitattiin Puuluodossa PMF-lähdeanalyysiä varten tehtaan päästöjen merkkiaineena.



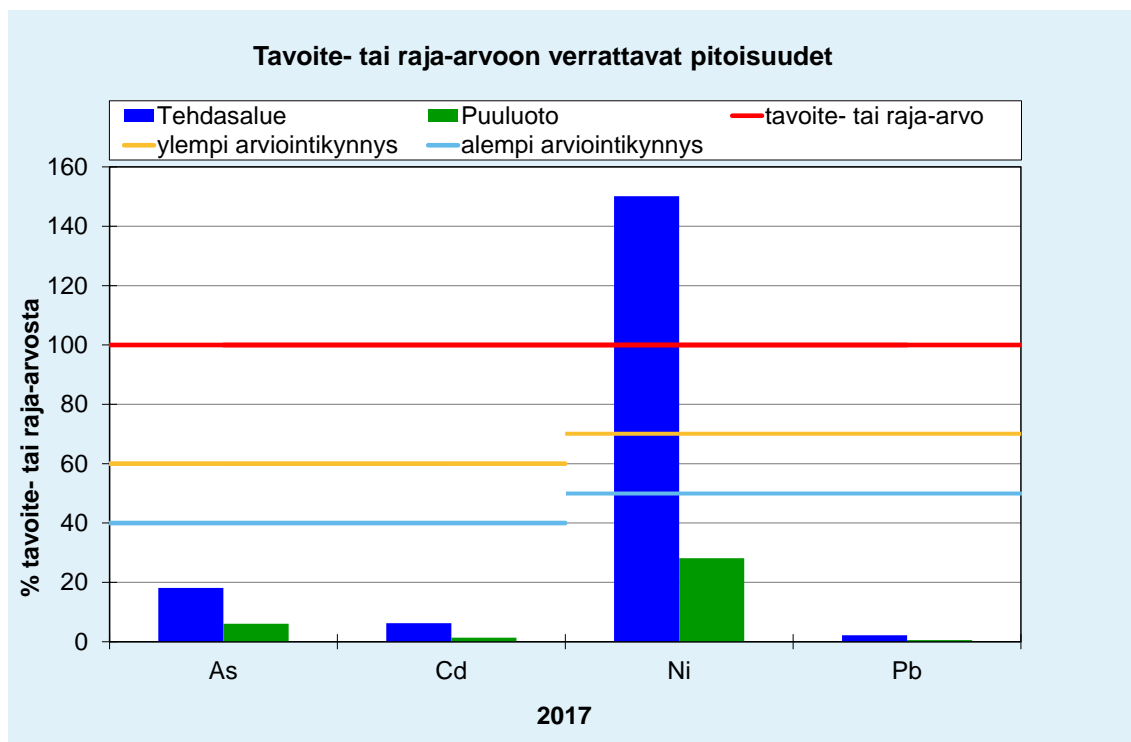
Kuva 16. Rikkidioksidin ohjearvoon verrattavat pitoisuudet suhteessa ohjearvoon Puuluodon mittauspisteissä ajalta 1.1.–30.6.2017. Punaisella vaakaviivalla (100 %) on merkitty vastaavaa ohjearvotasoa.

Kuvassa 17 on esitetty arseenin, kadmiumin ja nikkelin tavoitearvoon sekä lyijyn raja-arvoon verrannolliset vuosikeskiarvopitoisuudet Tehdasalueen ja Puuluodon mittauspisteissä. Hengitettävistä hiukkasista määritetyt arseenin ja raskasmetallien pitoisuustasot olivat yleensä selkeästi korkeampia tehdasalueella kuin Puuluodon mittausasemalla.

Tehdasalueen lyijypitoisuudet olivat selkeästi raja-arvotason ( $500 \text{ ng/m}^3$ ) alapuolella (kuva 17). Lyijypitoisuuksien keskiarvo vuonna 2017 oli Tehdasalueella 2,2 % raja-arvosta ja korkeinkin mitattu vuorokausipitoisuus ( $107 \text{ ng/m}^3$ ) oli noin viidesosa raja-arvosta. Puuluodossa lyijypitoisuuksien keskiarvo oli 0,5 % raja-arvosta ja alitti näin ollen myös selvästi alemman arviointikynnyksen.

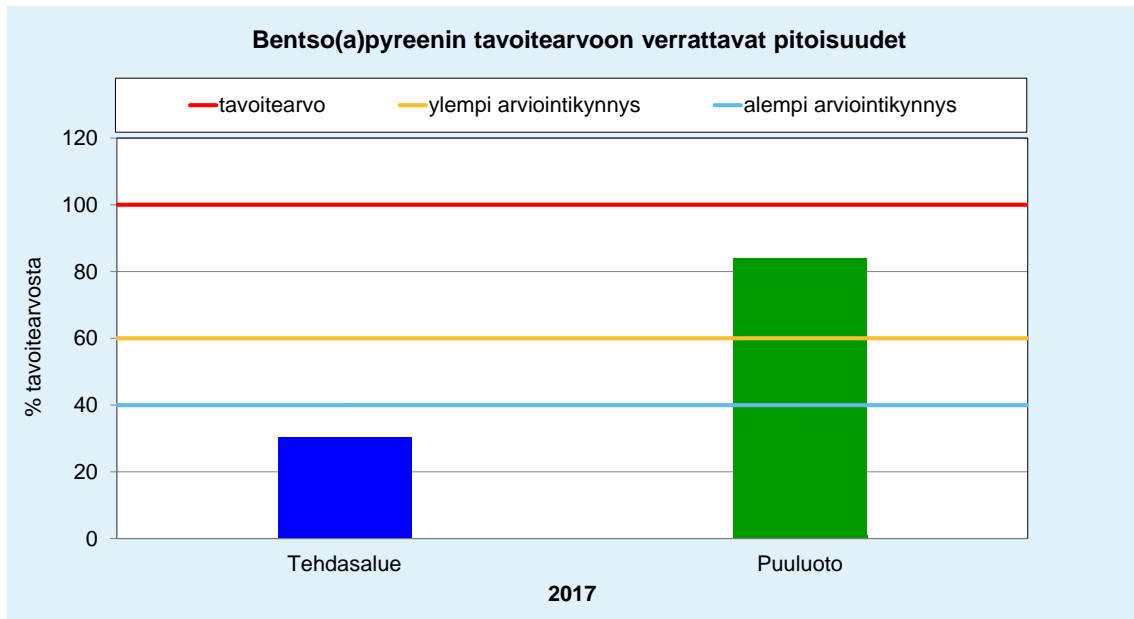
Vuoden 2017 keskiarvo ei ylittänyt kummassakaan mittauspisteessä arseenin ja kadmiumin vuosikeskiarvopitoisuuksille annettuja tavoitearvoja tai arviointikynnyksiä. Mittausjakson keskiarvopitoisuudet olivat Tehdasalueen mittauspisteessä arseenille 18 % ja kadmiumille 6 % tavoitearvoista sekä Puuluodossa vastaavasti 6 % ja 1 % tavoitearvoista. Yksittäinen poikkeuksellisen suuri kadmiumin vuorokausipitoisuus  $10,4 \text{ ng/m}^3$  (tavoitearvo  $5 \text{ ng/m}^3$ ) mitattiin tehdasalueella 6.1.2017.

Nikkelin vuosikeskiarvopitoisuudelle annettu tavoitearvo ( $20 \text{ ng/m}^3$ ) sen sijaan ylittyi selkeästi Tehdasalueella. Mittausjaksolla nikkelin keskiarvopitoisuus oli Tehdasalueen mittauspisteessä 150 % ja Puuluodossa 28 % tavoitearvosta. Lähes puolet kaikista nikkelin vuorokausipitoisuuksista tehdasalueella ylittivät tavoitearvon. Nikkelin pitoisuudet Puuluodossa alittivat alemman arviointikynnyksen. Myös muut raskasmetallipitoisuudet, joille ei ole voimassa olevia tavoite- tai raja-arvoja (mm. kromi ja koboltti), olivat tehdasalueella selkeästi suurempia kuin Puuluodossa. Huhtikuussa mittauksissa havaittiin todennäköisesti myös maaperän pölyämisestä lähöisin olevia kohonneita pitoisuuksia alumiinia, rautaa, mangaania ja kobolttia.



Kuva 17. Arseenin, kadmiumin ja nikkelin tavoitearvoon ja lyijyn raja-arvoon verrattavat pitoisuudet Tehdasalueen ja Puuluodon mittauspisteissä ajalta 1.1.–31.12.2017. Kuvaan on merkitty vaakaviivoilla tavoitearvo sekä ylempi ja alempi arviointikynnys.

Kuvassa 18 on esitetty bentso(a)pyreenin tavoitearvoon verrannolliset vuosikeskiarvopitoisuudet Tehdasalueen ja Puuluodon mittauspisteissä. PAH-yhdisteiden kokonaispitoisuus oli Tehdasalueen mittauspisteessä keskimäärin 40 % ja bentso(a)pyreenin pitoisuus 37 % Puuluodon pitoisuuksiin verrattuna. Bentso(a)pyreenin pitoisuuksien keskiarvo vuoden 2017 mittausjaksolta jäi kummallakin mittauspaikalla alle vuosikeskiarvon tavoitearvon ( $1 \text{ ng/m}^3$ ), ollen Tehdasalueella 31 % ja Puuluodossa 84 % tavoitearvosta. Puuluodossa ylittyi bentso(a)pyreenin ylempi arviointikynnys ( $0,6 \text{ ng/m}^3$ ).



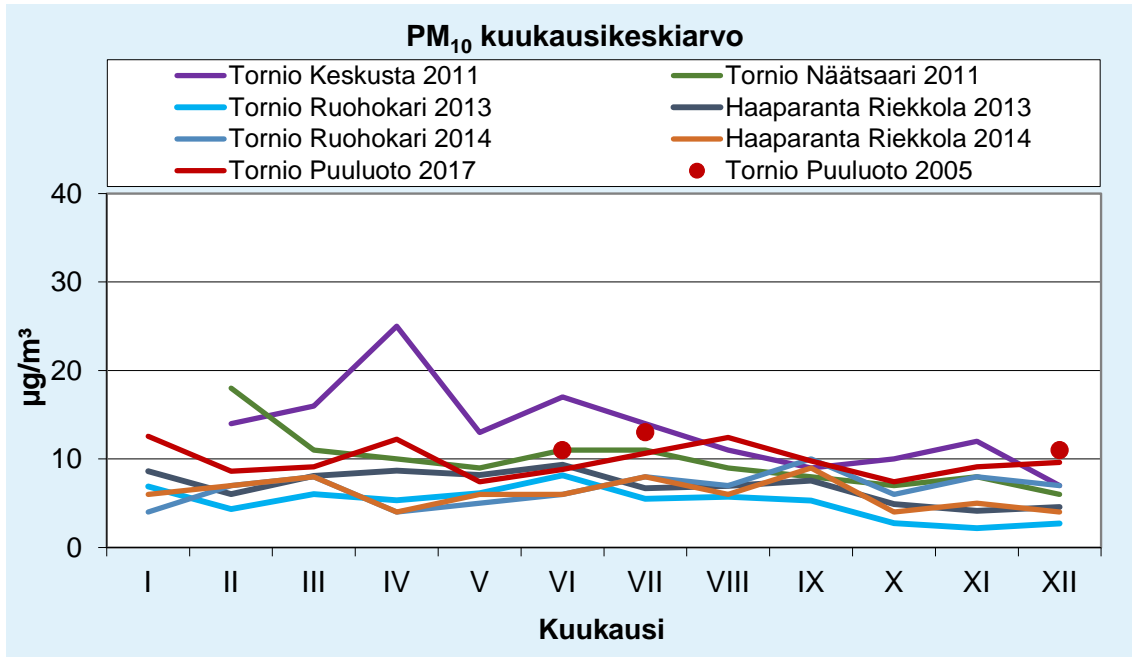
Kuva 18. Bentso(a)pyreenin tavoitearvoon verrattavat pitoisuudet Tehdasalueen ja Puuluodon mittauspisteissä ajalta 1.1.–31.12.2017. Kuvaan on merkitty vaakaviivoilla tavoitearvo sekä ylempi ja alempi arviointikynnys.

## 2.5 Pitoisuuksien vertailua Torniossa aiemmin mitattuihin pitoisuuksiin

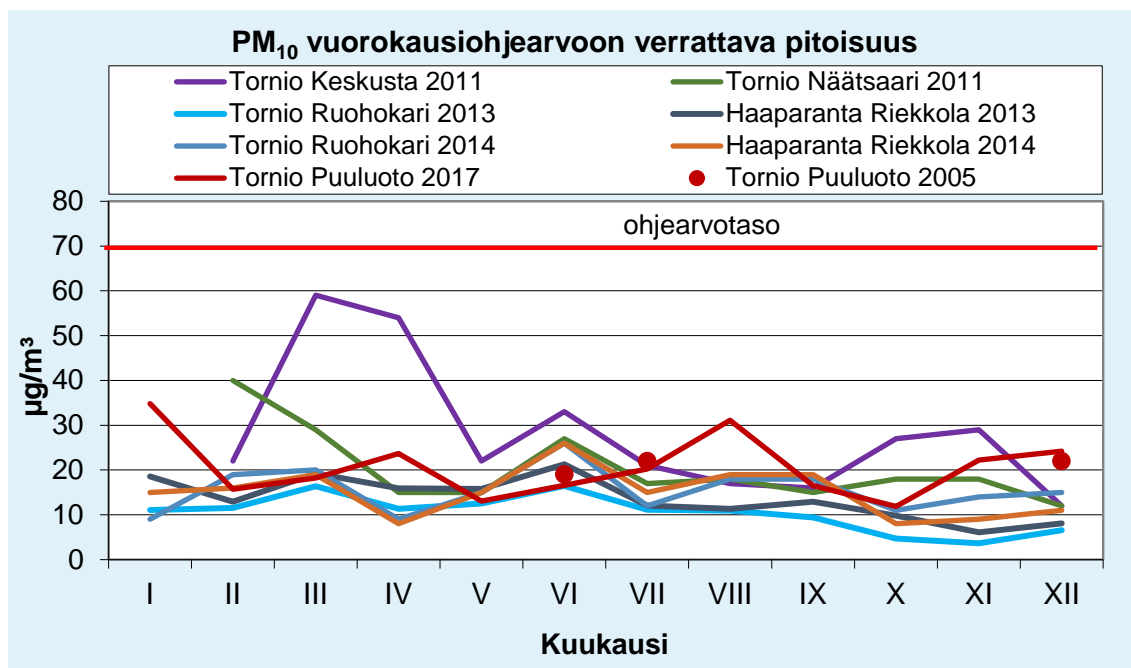
Ilmatieteen laitos on mitannut hiukkaspitoisuuksia Torniossa aikaisemmin vuosina 2005, 2011 sekä 2013 ja 2014 (Saari ym., 2006; Alaviippola ym., 2012; Komppula ym., 2014b; Saari ym., 2015). Vuosina 2005 ja 2011 ilmanlaatumittauksia tehtiin Tornion Keskustassa ja Näätsaaressa ja vuonna 2005 edellä mainittujen lisäksi myös Puuluodossa. Tuolloin mittauspiste ei sijainnut aivan samassa paikassa vaan noin 200 m nykyisestä mittauspisteestä luoteeseen lähellä Koivuleton tien ja Ruonajärventien risteystä. Vuoden 2013–2014 ilmanlaatumittaukset Tornion Ruohokarissa ja Haaparannan Riekkolassa kuvaavat aikaisemmista mittauksista poiketen enemmänkin kaupunkialueen taustailmaa etäällä liikenteestä ja muista taajamien lähipäästölähteistä ja mittauksilla oli tarkoitus kartoittaa lähinnä Outokummun Tornion tehtaiden päästöjen vaikutuksia ympäristöön.

Kuvissa 19 ja 20 on verrattu nyt Puuluodossa mitattuja hengitettävien hiukkasten pitoisuuksia aiemmin vuonna 2011 Torniossa sekä 2013 ja 2014 Torniossa ja Haaparannalla mitattuihin hengitettävien hiukkasten ohjearvoon verrannollisiin pitoisuuksiin ja kuukausikeskiarvopitoisuuksiin. Kuvissa on mukana myös 2005 Tornion Puuluodossa kesä–heinäkuussa ja joulukuussa mitatut pitoisuudet. Vertailusta saadaan suuntaa-antavaa tietoa hiukkasten pitoisuustasoista erilaisissa päästöympäristöissä. Tausta-alueilla Tornion Ruohokarissa ja Haaparannan Riekkolassa mitatut hiukkaspitoisuudet ovat pääosin olleet alhaisempia kuin asuinalueella Tornion Näätsaaressa vuonna 2011 mitatut pitoisuudet. Ruohokarin ja Riekkolan hiukkaspitoisuuksissa ei ole havaittavissa esimerkiksi kevään ja syksyn katupölykauden aiheuttamaa selkeää vuodenaikaisvaihtelua kuten Tornion Keskustassa. Tornion Puuluodossa nyt mitatut pitoisuudet ovat samaa tasoa vuonna 2011 Näätsaaressa mitattujen kanssa.

Puuluodossa vuonna 2017 mitatut pitoisuudet ovat ohjearvoon verrattavina pitoisuuksina tarkasteltuna (kuva 19) samaa tasoa kuin Puuluodossa vuonna 2005 mitatut pitoisuudet ja kuukausikeskiarvoina tarkasteltuna (kuva 20) hieman alhaisempia. Vertailua voidaan tosin tehdä vain kolmelta kuukaudelta, koska vuonna 2005 mittaus toimi kiertävänä mittauksena niin, että mittaus vaihtoi paikkaa kahden kuukauden välein Puuluodon, Keskustan ja Näätsaaren välillä.



Kuva 19. Hengitettävien hiukkasten pitoisuuden kuukausikeskiarvot Tornion Puuluodossa vuonna 2017 ja 2005, Tornion Ruohokarin ja Haaparannan Riekkolan mittauspisteissä vuosina 2013 ja 2014 sekä Tornion Keskustan ja Näätsaaren mittauspisteissä vuonna 2011.



Kuva 20. Hengitettävien hiukkasten pitoisuuden kuukausikeskiarvot Tornion Puuluodossa vuonna 2017 ja 2005, Tornion Ruuhokarin ja Haaparannan Riekkolan mittauspisteissä vuosina 2013 ja 2014 sekä Tornion Keskustan ja Näätsaaren mittauspisteissä vuonna 2011.

Puuluodossa on aiemmin mitattu arseeni- ja metallipitoisuuksia vuonna 2005 helmi–maaliskuussa ja elo–syyskuussa (30 näytettä). Taulukkoon 4 on koottu keskiarvot vuoden 2005 ja 2017 mittauksista. Tarkastelluista aineista arseenin, kadmiumin nikkelin ja lyijyn pitoisuus on pienentynyt, sinkin hieman suurentunut ja kromipitoisuus on yli kaksinkertaistunut vuoteen 2005 nähden.

Taulukko 4. Tornion Puuluodossa vuonna 2005 helmi–maaliskuussa ja elo–syyskuussa (yht. 30 näytettä) ja vuonna 2017 (89 näytettä) mitatut arseenin ja metallien pitoisuudet.

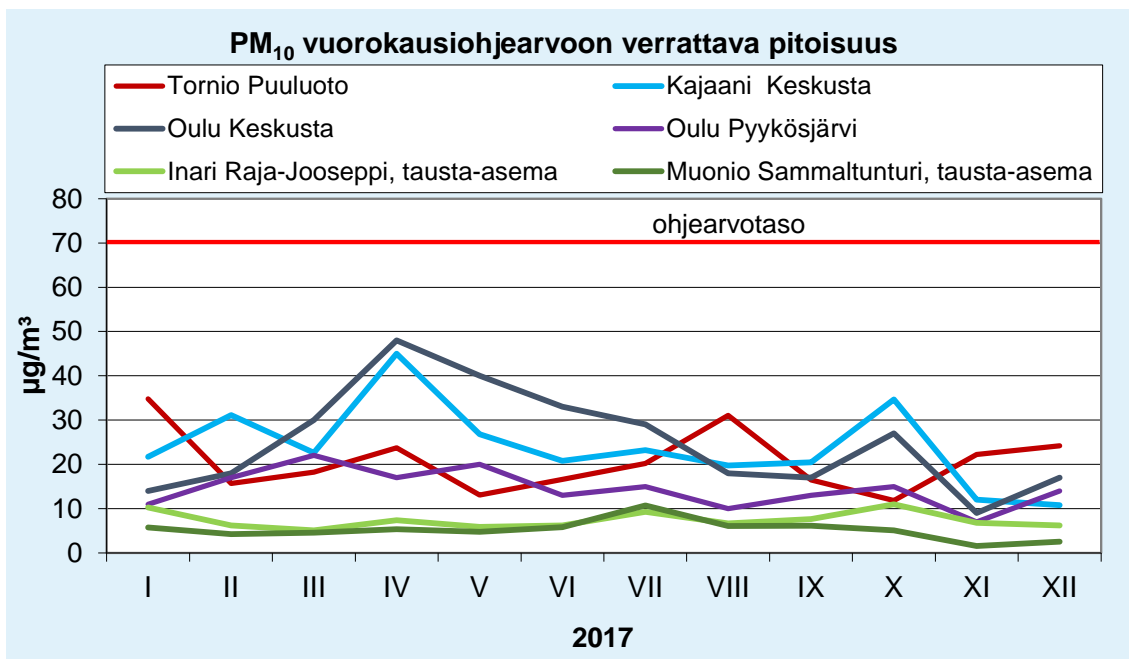
Keräinnäytteiden pitoisuudet	As ng/m <sup>3</sup>	Cd ng/m <sup>3</sup>	Cr ng/m <sup>3</sup>	Ni ng/m <sup>3</sup>	Pb ng/m <sup>3</sup>	Zn ng/m <sup>3</sup>
Puuluoto 2005	0,7	0,3	20	12	5,5	30
Puuluoto 2017	0,4	0,07	50	5,6	2,7	39

## 2.6 Pitoisuuksien vertailua muualla mitattuihin pitoisuuksiin

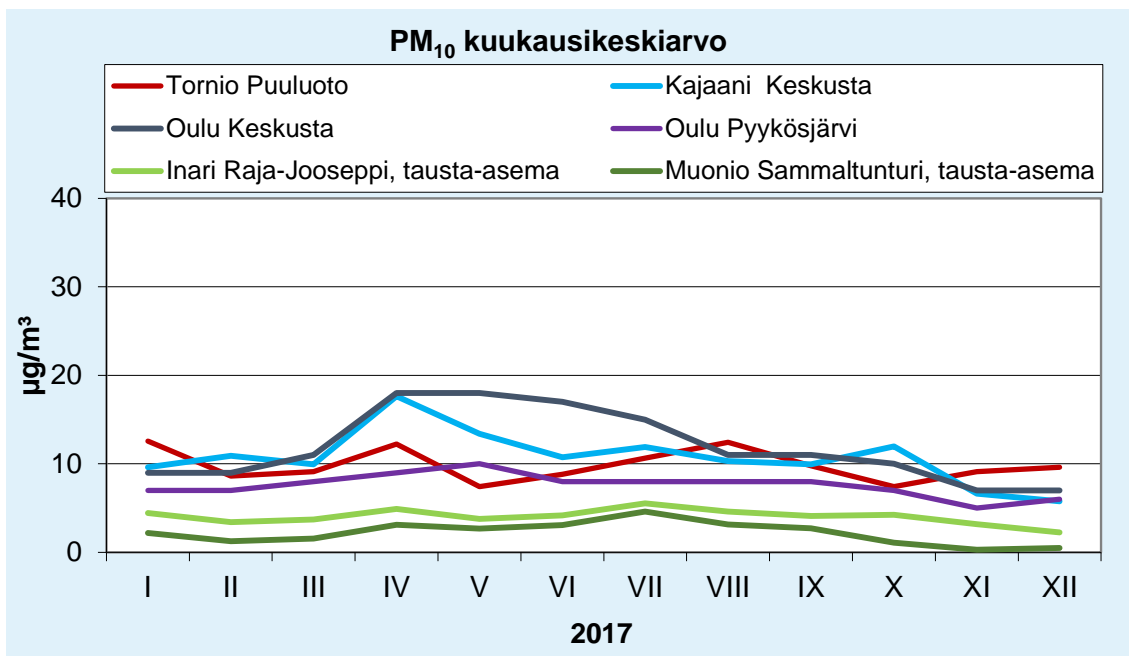
Hengitettävien hiukkasten pitoisuuksia mitataan samaan tapaan kuin tässä tutkimuksessa jatkuvatoimisilla laitteilla useilla paikkakunnilla Suomessa. Mittausasemat sijaitsevat yleensä vilkkaiden liikenneväylien lähellä tai teollisuuden ja energiantuotannon päästöjen vaikutusalueilla. Tyypillisesti vuorokausiohjearvon sekä vuorokausiraja-arvotason ylitykset ovat yleisimpiä maaliskuussa ns. kevätpölyjaksolla, jolloin hiukkaspitoisuudet ovat maassamme suurimmillaan.

Kuvissa 21 ja 22 on verrattu Puuluodossa mitattuja hengitettävien hiukkasten vuorokausiohjearvoon verrattavia pitoisuuksia ja hiukkaspitoisuuden kuukausikeskiarvoja vuonna 2017 vastaaviin arvoihin Kajaanin keskustassa (*Ilmatieteen laitos, 2018a*), Oulun keskustassa (*Oulun kaupunki, 2018*) ja Ilmatieteen laitoksen Sammaltunturin ja Raja-Joosepin tausta-asemilla (*Ilmatieteen laitos, 2018b*). Asemista Kajaanin ja Oulun Keskustan mittausasemat ovat tyypiltään liikenneasemia. Oulun Pyykösjärven mittausasema edustaa ns. esikaupunkitaustaa ja Lapissa Pallaksen alueella sijaitseva Sammaltunturi sekä Inarin Raja-Jooseppi puhdasta maaseutu-tausta-alueelta. Sammaltunturin ja Raja-Joosepin mittausasemilta saadut pitoisuudet olivat tämän raportin laadinta-ajankohtana vielä tarkistamattomia.

Kuvasta 22 havaitaan, että Tornion Puuluodossa hengitettävien hiukkasten pitoisuuksien kuukausikeskiarvot olivat tammi-, elo-, marras- ja joulukuussa selvästi Kajaanin ja Oulun keskustan mittausasemalla mitattuja pitoisuuksia korkeampia, mutta kevätpölykaudella maaliskuussa ja huhtikuussa hiukkaspitoisuudet olivat Kajaanin ja Oulun keskustan tasoa alhaisemmat. Kajaanin ja Oulun keskustojen asemilla pitoisuudet nousevat selvästi kevätpölykaudella, mutta laskevat, kun kadut saadaan puhdistettua ja kasvillisuus alkaa peittää maaperää. Myös loppusyksyllä liikkautentorjunnan alettua kohonneita hiukkaspitoisuuksia esiintyy usein kaupunkien mittausasemilla.



Kuva 21. Hengitettävien hiukkasten vuorokausiohjearvoon verrattavat pitoisuudet ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) kuukausittain vuonna 2017 Tornion Puuluodossa, Kajaanin keskustassa, Oulun keskustassa ja Pyykösjärvellä sekä Ilmatieteen laitoksen Sammaltunturin ja Raja-Joosepin taustailmanlaadun mittausasemilla. Pitoisuudet on ilmoitettu ulkoilman lämpötilassa.



Kuva 22. Hengitettävien hiukkasten pitoisuuden kuukausikeskiarvot ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) vuonna 2017 Tornion Puuluodossa, Kajaanin keskustassa, Oulun keskustassa ja Pyykösjärvellä sekä Ilmatieteen laitoksen Sammaltunturin ja Raja-Joosepin taustailmanlaadun mittausasemilla. Pitoisuudet on ilmoitettu ulkoilman lämpötilassa.



Taulukkoon 5 on koottu tilastollinen yhteenveto Tornion Puuluodossa mitatuista elohopeapitoisuuksista ja Ilmatieteen laitoksen taustailmanlaadun mittausasemalla Pallaksella mitatuista elohopeapitoisuuksista vastaavalta ajalta. Tornion Puuluodossa mitattu elohopean keskiarvopitoisuus  $1,4 \text{ ng/m}^3$  vastaa tyypillistä kaasumaisen elohopean taustapitoisuutta Suomessa, joskin mittausjaksolla on todettu useita selvästi kohonneita pitoisuuksia eteläisillä tuulilla. Korkeimmillaan hetkelliset pitoisuudet ovat olleet yli  $200 \text{ ng/m}^3$  ja mittausajanjakson korkein tuntikeskiarvo on ollut  $42 \text{ ng/m}^3$  (tammikuussa 2017).

Suomessa elohopeaa on mitattu jatkuvatoimisesti Virolahden, Pallaksen ja Hyytiälän tausta-aseilla vuosista 2007, 2008 ja 2009 lähtien. Tausta-aseilla toistaiseksi korkein hetkellinen (5 min.) pitoisuus on mitattu Virolahdella helmikuussa 2017, jolloin elohopeapitoisuus nousi korkeimmillaan pitoisuuteen  $4,6 \text{ ng/m}^3$  johtuen todennäköisesti Viron palavakivitehtaiden päästöstä. Helsingin Isosaarella suoritettiin vuonna 2006–2007 vuoden kestoinen kaupunkitaustapitoisuuksien mittauskampanja, jolloin korkein hetkellinen pitoisuus oli  $15 \text{ ng/m}^3$ , jos ei oteta huomioon aseman vieressä tapahtuneen ammutaharjoituksen aikana havaittuja kohonneita pitoisuuksia (Kyllönen *et al.*, 2014). Vuonna 2007 elohopeaa mitattiin kampanjaluonteisesti kaikilla Suomen suurimmilla paikkakunnilla ja teollisuusalueiden lähistöllä, ja tällöin yli  $3 \text{ ng/m}^3$  (= noin kaksi kertaa elohopean taustapitoisuus) pitoisuuksia mitattiin vain neljällä paikkakunnalla, ja nämäkin tulokset olivat hyvin hetkellisiä ja paikallisia. Aiempiin lyhytkestoisiin kaupunkimittauksiin tai noin kymmenen vuoden taustaseurantaan verrattuna Puuluodossa on mitattu toistaiseksi selvästi korkeimpia elohopean ilmapitoisuuksia Suomessa (pl. Isosaaren edustalla suoritettujen amuntojen aikainen elohopeapitoisuuden nousu, joka aiheutui panoksessa räjähdaineena käytetystä elohopeafulmiinista). Puuluodossa yli  $3 \text{ ng/m}^3$  hetkellisiä pitoisuuksia mitattiin yhteensä 108 päivän aikana, ja yli  $3 \text{ ng/m}^3$  tuntipitoisuuksia mitattiin 63 päivän aikana.

Taulukko 5. Elohopean tuntipitoisuuden ( $\text{ng/m}^3$ ) tilastolliset tunnusluvut Puuluodon mittauspisteessä ja Ilmatieteen laitoksen taustailmanlaadun mittausasemalla Pallaksella ajanjaksolla 1.1.–31.12.2017. Molemmista mittauksista on käytössä samanlainen jatkuvatoiminen mittausmenetelmä.

Pitoisuudet $\text{ng/m}^3$	Tornion Puuluodon mittausasema	Pallaksen taustailmanlaadun mittausasema
Lukumäärä	7950	8203
Keskiarvo	1.41	1.32
Minimi	0.33	0.38
Maksimi	41.82	4.16
Hajonta	1.42	0.18
99. persentiili	7.29	1.65
95. persentiili	1.86	1.58
Kattavuus	91 %	94 %

Tornion Tehdasalueen ja Puuluodon mittauspisteissä mitattuja arseeni- ja metallipitoisuuksia on taulukossa 6 verrattu puhdasta tausta-aluetta edustavan, Ilmatieteen laitoksen Pallaksen ja Virolahden tausta-asemien pitoisuuksiin sekä Harjavallan Kalevassa (vuonna 2016) ja Raahen Lapaluodossa (vuonna 2016) mitattuihin pitoisuuksiin. Suurimmat erot taustapitoisuuksiin havaittiin kromipitoisuuksissa. Puu-

luodon kromipitoisuus oli yli satakertainen verrattuna taustapitoisuuksiin. Myös sinkki- ja nikkelpitoisuudet olivat yli kymmenkertaisia.

Kromipitoisuus oli Tornion molemmilla mittausasemilla merkittävästi suurempi kuin Raahen Lapaluodossa mitattu pitoisuus. Päästöominaisuuksiltaan toisistaan poikkeavien metalliteollisuuspaikkakuntien ilman epäpuhtauspitoisuuksien vertaaminen toisiinsa ei kuitenkaan ole yksikäsitteistä. Tornion terästeollisuuden päästöt, joissa on merkittävässä määrin kromia, poikkeavat selvästi esimerkiksi Raahen ja Harjavallan metalliteollisuuden vastaavista päästöistä.

Taulukko 6. Tornion Tehdasalueella ja Puuluodossa sekä Ilmatieteen laitoksen Pallaksen ja Virolahden tausta-aseilla vuonna 2017 sekä Harjavallan Kalevassa ja Raahen Lapaluodossa vuonna 2016 havaitut arseenin ja metallien pitoisuudet.

Keräinnäytteiden pitoisuudet	As ng/m <sup>3</sup>	Cd ng/m <sup>3</sup>	Cr ng/m <sup>3</sup>	Ni ng/m <sup>3</sup>	Pb ng/m <sup>3</sup>	Zn ng/m <sup>3</sup>
Tornio, Tehdasalue 2017	1.1	0.31	326	30.0	10.9	206
Tornio, Puuluoto 2017	0.4	0.07	50	5.6	2.7	39
Harjavalta, Kaleva 2016	12,0	2,0	–	72	15	32
Raahe, Lapaluoto 2016	0,7	0,10	5,4	2,7	4,7	28
Virolahti 2017	0,2	0,04	1,0	0,3	1,0	4,8
Pallas 2017	0,1	0,01	0,5	0,3	0,5	1,3

Tornion Tehdasalueen ja Puuluodon mittauspisteissä mitattuja ionipitoisuuksia on taulukossa 7 verrattu Ilmatieteen laitoksen Pallaksen ja Virolahden tausta-asemien pitoisuuksiin. Muista pääionipitoisuuksista poiketen Puuluodossa mitattu kalsiumin pitoisuus oli selvästi tausta-aseilla mitattuja pitoisuuksia suurempi. Suuri osa hiukkasten kalsiumista on todennäköisesti peräisin tehtaan päästöistä, mutta osa on myös peräisin maaperästä. Puuluodon kaliumipitoisuus on myös hieman tausta-aseilla mitattuja korkeampi. Kaliumia pidetään biomassan poltosta peräisin olevien hiukkasten merkkiaineena. Sulfaattipitoisuus oli vain vähän tausta-arvoja korkeampi. Ilmaan päässyt rikkidioksidi hapettuu suhteellisen hitaasti ilmassa muodostaen sulfaattia laajemmalla alueella, mikä jälkeen sulfaattihiukkaset leviävät kaukokulkeumana etäälle päästölähteistä. Tämän mittausjakson aikana ionipitoisuuksia mitattiin Puuluodossa PMF-lähdeanalyysiä varten.

Taulukko 7. Hengitettävistä hiukkasista (PM<sub>10</sub>) mitatut ionipitoisuudet.

Keräinnäytteiden pitoisuudet	Cl <sup>-</sup> µg/m <sup>3</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N µg/m <sup>3</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> -S µg/m <sup>3</sup>	Na <sup>+</sup> µg/m <sup>3</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N µg/m <sup>3</sup>	K <sup>+</sup> µg/m <sup>3</sup>	Mg <sup>2+</sup> µg/m <sup>3</sup>	Ca <sup>2+</sup> µg/m <sup>3</sup>
Puuluoto 2017	0,17	0,05	0,27	0,18	0,15	0,05	0,03	0,21
Pallas 2017	0,18	0,02	0,16	0,16	0,05	0,01	0,02	0,01
Virolahti 2017	0,10	0,09	0,23	0,16	0,16	0,04	0,03	0,05

Tornion Tehdasalueen ja Puuluodon mittauspisteissä mitattuja bentso(a)pyreenin pitoisuuksia on taulukossa 8 verrattu Ilmatieteen laitoksen tausta-asevilla, Raahen Lapaluodossa vuonna 2016 ja Kuopion Niiralassa vuonna 2015 (*Kuopio, 2016*) mitattuihin pitoisuuksiin. Torniossa kummallakin mittausasemalla mitatut bentso(a)pyreenin pitoisuudet ovat tausta-asevilla mitattuihin pitoisuuksiin verrattuna korkeat. Puuluodossa mitattu vuosikeskiarvo on korkeampi kuin Kuopion Niiralassa pientaloalueella mitattu bentso(a)pyreenin vuosikeskiarvo, mutta alempi kuin Raahen Lapaluodossa mitattu. Lapaluodon mittausasema sijaitsee SSAB Europe Oy:n terästehdasta lähinnä olevalla pientaloalueella, noin kilometri terästehtaan pohjoispuolella. Raahen Lapaluodon pitoisuudet ovat ylittäneet tavoitearvon useana viime vuotena (*Ilmatieteen laitos, 2018a*).

Taulukko 8. Torniossa mitattujen bentso(a)pyreenin vuosikeskiarvopitoisuuksien vertailu muilla mittauspaikoilla viime vuosina mitattuihin bentso(a)pyreenin pitoisuuksiin.

Mittauspaikka ja -vuosi	Bentso(a)pyreenin tavoitearvoon verrannollinen pitoisuus (ng/m <sup>3</sup> )
Tornio, Tehdasalue 2017	0,31
Tornio, Puuluoto 2017	0,84
Pallas 2017	0,02
Hyytiälä 2017	0,09
Virolahti 2017	0,12
Raahe, Lapaluoto 2016	1,0
Kuopio, Niirala 2015	0,51

## 2.7 Pitoisuuksien vertailua päästöjen leviämismallilaskelmilla saatuihin pitoisuuksiin

Ilmatieteen laitos on tehnyt vuonna 2015 leviämismallilaskelman Tornion terästehtaan normaalitoiminnan typenoksidi-, rikkidioksidi- ja hiukkaspäästöille (*Komppula ja Hannuniemi, 2015*). Mallilaskelmissa oli mukana yhteensä 85 tehtaan päästölähdettä, joiden päästöt vapautuivat piipuista tai hormeista. Päästötietoina käytettiin vuoden 2014 ja 2015 päästömittaustietoja. Mallilaskelmassa ei huomioitu tehtaan mahdollisia hajapäästöjä, jotka vapautuvat muista kuin piipuista tai hormeista eikä tehdasalueella sijaitsevia kuonakasoja.

Mallilaskelmissa saadut vuosikeskiarvopitoisuudet, jotka edustavat vallitsevaa pitoisuustilannetta pitkällä ajanjaksolla, olivat korkeimmillaan tehdasalueella ja sen lähistöllä ja pienivät nopeasti etäisyyden kasvaessa. Korkeimpien pitoisuuksien vyöhykkeet painottuivat pääasiassa tehdasalueen pohjoispuolelle, koska alueella vallitsevat tuulensuunnat ovat etelästä, kaakosta ja lounaasta. Vuorokausi- ja tuntikeskiarvopitoisuudet edustavat lyhytkestoisempia episoditilanteita, jolloin meteorologinen tilanne on paikallisesti päästöjen laimenemisen ja sekoittumisen kannalta epäedullinen. Korkeita hetkellisiä pitoisuuksia havaittiin mallilaskelmissa tehtaan ympärillä kaikissa ilmansuunnissa, koska lyhytaikaiset maksimipitoisuudet muodostuvat yleensä heikkotuulisissa tilanteissa, jolloin vallitsevalla tuulensuunnalla ei ole niin merkittävää vaikutusta.

Leviämismallilaskelmien tulosten mukaan Outokummun Tornion terästehtaan päästöjen aiheuttamat typenoksidi-, rikkidioksidi- ja hiukkaspitoisuudet alittivat terveyden suojelemiseksi annetut ilmanlaadun ohje- ja raja-arvot selvästi koko tarkastellulla 20 × 20 km tutkimusalueella. Leviämismallilaskelman tulosten mukaan Puuluodon asuinalueelle syntyi tehtaan päästöjen vaikutuksesta typpidioksidipitoisuuksia, jotka olivat enimmillään noin 1 % vuosiraja-arvosta ja noin 4–5 % lyhytaikaispitoisuuksien ohje- ja raja-arvoista.

Puuluodon alueelle mallilaskelmissa saadut rikkidioksidipitoisuudet olivat enimmillään noin 3 % vastaavista ohje- ja raja-arvoista. Tässä tutkimuksessa Puuluodon mittausasemalla mitatut rikkidioksidipitoisuudet vastasivat hyvin leviämismalliselvityksen pitoisuustasoja. Mitattuja ja mallinnettuja pitoisuuksia ei voida suoraan lukuarvoina verrata keskenään koska mallilaskelmat on tehty eri vuodelle kuin pitoisuusmittaukset, ja eri vuosien päästötilanteessa ja etenkin meteorologisessa tilanteessa on eroa. Rikkidioksidin pitoisuustulosten yhtenevyys antaa kuitenkin hyvän kuvan siitä, että Puuluodon mittausasemalla havaitun rikkidioksidipitoisuuden voidaan olettaa aiheutuvan pääosin Tornion terästehtaan päästöistä.

Leviämismallilaskelman tulosten mukaan Puuluodon asuinalueelle syntyi tehtaan päästöjen vaikutuksesta hiukkaspitoisuuksia, jotka olivat korkeimmillaankin noin 2 % ilmanlaadun ohje- ja raja-arvoista. Tässä tutkimuksessa mitatut hiukkaspitoisuudet sen sijaan ovat selvästi suurempia. Mallinnetut ja mitatut hiukkaspitoisuudet eivät ole yhtä hyvin vertailukelpoisia kuin rikkidioksidipitoisuudet, koska mallinnuksessa on huomioitu vain tehdaskokonaisuuden normaalitoimintaa edustavien piste-lähteiden päästöt ilman hetkellisiä häiriöpäästöjä tai hajapäästöjä tai muita paikallisia päästölähteitä. Myöskään liikenteen tai sataman päästöjä tai kaukokulkeumaa ei ole mallilaskelmissa otettu huomioon. Mallilaskelmien tulosten mukaan voidaan arvioida, että tehtaan normaalitoimintaa edustavilla piippujen kautta vapautuvilla päästöillä on hyvin pieni vaikutus alueen hiukkaspitoisuuksiin. Mittauksin saadut hiukkaspitoisuustulokset kuitenkin osoittavat, että mittausalueella on Outokummun tehtaiden piippujen lisäksi myös muita hiukkaspäästöjä aiheuttavia toimintoja, kuten tehtaan hajapäästöjä ja puun pienpolttua, joilla on enemmän vaikutusta erityisesti hiukkasten lyhytaikaisiin pitoisuuksiin sekä vuosikeskiarvopitoisuuteen.

### 3. LÄHTEIDEN ARVIOINTI PMF-ALYYSILLÄ

Puuluodon mittauspisteen PM<sub>10</sub>-suodatinnäytteistä mitattujen komponenttien aikasarjat (päääionit, raskasmetallit ja PAH-yhdisteet) sekä jatkuvatoimisilla monitoreilla mitattujen PM<sub>10</sub>-massan ja kaasujen (rikkidioksidi SO<sub>2</sub> ja kaasumainen elohopea TGM) aikasarjat yhdistettiin PMF-lähdemallitusta varten. PMF-analyysissä testattiin 5–12 faktorin yhdistelmiä, joista kahdeksan faktorin ratkaisu osoittautui realistiseksi ja parhaimmaksi ratkaisuksi lähteiden tulkinnan kannalta. Valittu ratkaisu on esitetty taulukossa 9. Kahdeksan faktorin ratkaisun löytämät lähteet olivat PAH + biomassa (F1), merisuola (F2), maaperäpöly (F3), kaasumainen elohopea (TGM, F4), raskasmetallit (F5), kaukokulkeuma (F6), kalsium (F7) sekä ikääntynyt merisuola (F8).

Kuvassa 23 on esitetty saasteruusilla faktoreiden F1–F8 keskimääräisen massapitoisuuden jakauma Puuluodossa tuulensuunnittain vuoden 2017 mittausaineistossa. Raportin lopussa liitekuviissa 13–20 on esitetty faktoreittain kolmen kuvan kokonaisuus, joissa ensimmäisessä (vasen ylänurkka) on komponentteittain kyseisen lähteen (faktorin) osuus kokonaisuudesta. Esimerkiksi liitekuviissa 13 (F1) 85 %

mitatusta bentso(a)pyreenistä tulee tässä faktorissa. Toisessa kuvassa (CPF-kuva, oikea ylänurkka) on todennäköisyysjakauma faktorin mediaanipitoisuuden ylittävistä pitoisuuksista, jotka on luokiteltu tuulen suunnan ja tuulen nopeuden mukaan. Esimerkiksi Liitekuvan 13 (F1) CPF-kuvasta nähdään, että suurimmat pitoisuudet ovat todennäköisimmin tulleet kaakosta tuulennopeuksilla 4–6 m/s ja etelästä tuulennopeuksilla 6–7 m/s. Kolmas kuva (alinna) on lähteen aikasarja, josta nähdään lähteen voimakkuus tai aktiivisuus keräyspäivinä.

Taulukko 9. PMF-analyysin perusteella määritetyt lähteet (faktorit) ja niiden sisältämät tärkeimmät komponentit.

Faktori	Nimi	Tärkeimmät komponentit ja osuus komponentin kokonaismassasta	Osuus PM <sub>10</sub> -massasta
F1	PAH + biomassa	PAH n. 75 %, b(a)p 85 %, K 37 %, Cd 34 %	0,15
F2	merisuola	Cl 85 %, Na 47 %, Mg 37 %	0,05
F3	maaperäpöly	Al 74 %, Fe 41 %, V 37 %, Co 25 %, Mn 18 %	0,16
F4	kaasumainen elohopea	TGM 40 %, Mg 42 %, Cu 12 %, SO <sub>2</sub> 24 %	0,32
F5	raskasmetallit	Ni 74 %, Pb 71 %, Zn 67 %, As 57 %, Co 51 %, Cr 48 %, Cu 50 %, Cd 38 %	0,08
F6	kaukokulkeuma	NH <sub>4</sub> _N 82 %, SO <sub>4</sub> _S 63 %	0,17
F7	kalsium	Ca 87 %, Cr 40 %, Mn 26 %	0,03
F8	ikäntynyt merisuola	Na 40 %, NO <sub>3</sub> _N 30 %	0,04

Faktori F1 sisältää suurimman osan analysoiduista PAH-yhdisteistä, mm. 85 % bentso(a)pyreenin kokonaismassasta ja noin kolmanneksen mitatusta kaliumista (37 %). PAH-yhdisteitä vapautuu polttoprosesseissa ja PAH-yhdisteet yhdessä kaliumin kanssa viittaavat vahvasti biomassan eli puun polttoon. Tätä tukee liitekuvasa 13 esitetty aikasarja, jossa lähde on voimakas talvella ja heikko kesällä. Kesällä lämmitystarpeen ollessa pieni poltetaan vähemmän puuta kuin talvella. Toisaalta kesällä valokemia on voimakasta, minkä vuoksi esimerkiksi PAH-yhdisteet reagoivat ilmakehässä nopeasti. Liitekuvan 13 CPF-kuva osoittaa että faktorin F1 lähteet ovat jakautuneet kahteen osaan Puuluodon kylän ja tehdasalueen välille. Tehdasalueella on biomassaa polttava Tornion Voiman voimalaitos ja toisaalta tässä faktorissa tulee myös vähäisessä määrin (13 %) kuparia ja sinkkiä sekä 34 % kadmiumista, mikä viittaa teollisuusprosesseihin. Faktori sisältää myös 15 % nitraattia, joka syntyy typen oksidien hapettuessa ja on myös polttoperäinen yhdiste. Noin 15 % PM<sub>10</sub>-aerosolin massasta tulee tässä faktorissa.

Faktori F2:n pääkomponentit ovat kloori (85 %), natrium (47 %) sekä magnesium (37 %). Tämä on selkeä merisuolafaktorin koostumus, jollainen löytyy tyypillisesti rannikkoseuduilla mitatusta datasta. Merisuolafaktorin lähteiden suunta on painotunut lounaan ja luoteen välille (kuva 23).

Faktori F3 koostuu pääosin maaperäkomponenteista eli alumiinista (74 %), raudasta (41 %) ja mangaanista (18 %). Tämä on selkeä maaperä(pöly)faktori, joka sisältää epäpuhtautena myös mm. vanadiinia (37 %) ja kobolttia (25 %), jotka tyypillisesti liittyvät teollisuusprosesseihin. Liitekuvasa 15 esitetty aikasarja tukee tätä

oletusta, lähteen aktiivisuuden ollessa kesällä sulan maan aikaan korkea ja talvella matalampi. Noin 16 % PM<sub>10</sub>-hiukkaspitoisuudesta Puuluodossa tulee tässä faktorissa.

Neljäs lähde (faktori F4) on kaasumainen elohopea (TGM), jota tässä faktorissa on 40 % elohopean kokonaismassasta. Faktorissa havaitaan myös magnesiumia (42 %) ja kaliumia sekä rikkidioksidia (24 %). Outokummun terästehdas on oletettavasti ylivoimaisesti suurin elohopealähde alueella. Tehtaalla elohopeaa joutuu sulatukseen vahingossa kierrätysteräksen mukana ja se näkyy päästömittauksessa vasta sulatuksen aikana, jolloin osa elohopeasta ehtii vapautua ilmaan. Faktorin F4 aikasarjan mukaan (liitekuva 16) elohopeapäästöjä tapahtuu melko satunnaisesti. Faktorin tuulensuuntakuvassa (kuva 23) näkyy selvästi elohopealähde tehtaan suunnassa mittauspaikkaan nähden. Kalium ja magnesium viittaavat myös maaperäpölyyn, ja tästä lähteestä tuleekin lähes kolmasosa (32 %) PM<sub>10</sub>-hiukkasista. Tämä lähde on tämän analyysin mukaan suurin yksittäinen maaperäpölyn lähde alueella. Myös faktorin aikasarja (liitekuva 16) tukee tätä pölytulkintaa, lähteen aktiivisuuden ollessa hieman korkeampi kesällä kuin talvella.

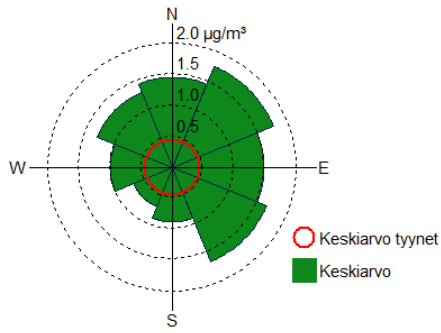
Faktori F5 sisältää suurimman osan raskasmetalleista (Ni 74 %, Pb 71 %, Zn 67 %, As 57 %, Co 51 %, Cr 48 %, Cu 50 %, Cd 38 %) ja viittaa siis raskasmetallilähteeseen alueella. Lähteen aikasarjan (liitekuva 17) mukaan korkeita metallipitoisuuksia mitataan läpi vuoden ilman selvää trendiä ja faktorin tuulensuuntakuva (kuva 23) viittaa selkeästi etelään ja lounaaseen eli tehdasalueen suuntaan.

Faktori F6:ssa ympäristöstä tuleva ammoniakki reagoi rikkidioksidin kanssa muodostaen ammoniumsulfaattia. Tämä on kuitenkin verrattain hidas prosessi ilmakehässä, joten faktori F6 kuvaa kauempaa tulevaa kaukokulkeumaa.

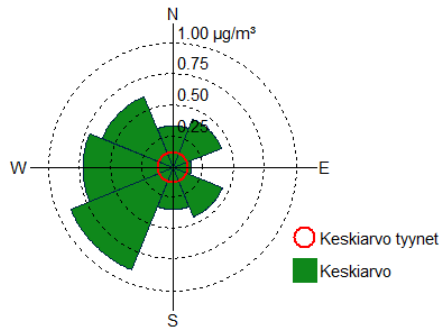
Faktori F7 sisältää lähes kaiken mittauksissa havaitun kalsiumin (87 %) ja 40 % kromista sekä 26 % mangaanista. Faktorin tuulensuuntakuva (kuva 23) viittaa selkeästi lounaaseen ja etelään eli kyseessä on pääosin tehtaan suunnasta peräisin oleva kalsiumlähde.

Faktorissa F8 kauempaa mereltä tulevat merisuolahiukkaset ovat reagoineet typen oksidien kanssa ja muodostaneet natriumnitraattia. Reaktiossa vapautunut kloori on muodostanut typpihappoa, joka on haihtunut pois hiukkasista. Tyypillisen koostumuksen perusteella lähde sanotaan ikäänntyneeksi merisuolaksi. Faktorin tuulensuuntajakauma (kuva 23) on lähes tasainen joka ilmansuuntaan.

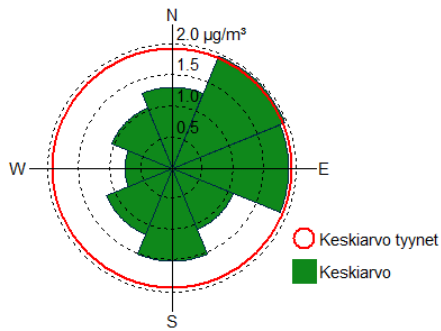
Näistä edellä kuvatuista kolme faktoria eli F4 (TGM), F5 (raskasmetallit) ja F7 (kalsium) liittyvät kokonaan tai pääosin Tornion terästehtaaseen eli niiden lähteet ovat todennäköisesti tehtaan alueella. Lisäksi osa faktoreiden F1 (PAH + biomassa) ja F3 (maaperäpöly) sisältämien komponenttien massasta näyttäisi tuulensuuntakuviensa mukaan tulevan tehdasalueen suunnasta, mikä onkin todennäköistä johtuen tehtaan alueella olevista pölyävistä toiminnoista (mm. kuonakentät) ja biomassaa polttavasta voimalaitoksesta.



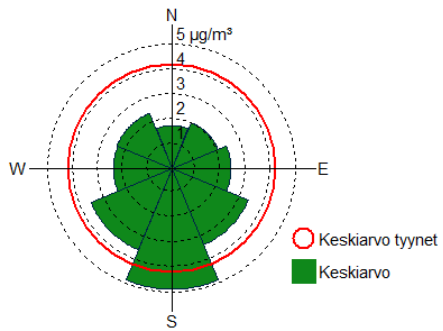
F1 PAH + biomass



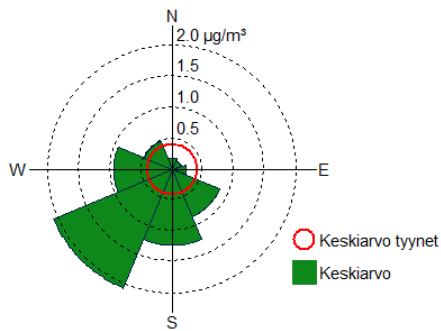
F2 merisuola



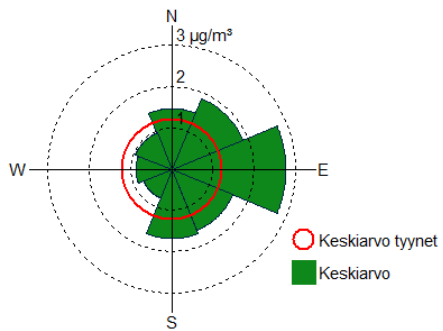
F3 maaperäpöly



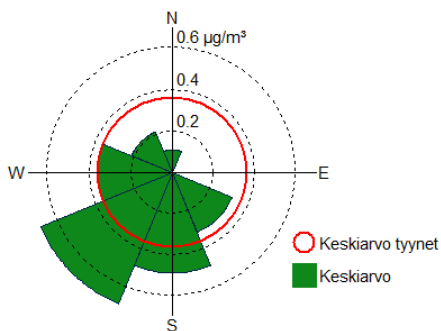
F4 kaasumainen elohopea



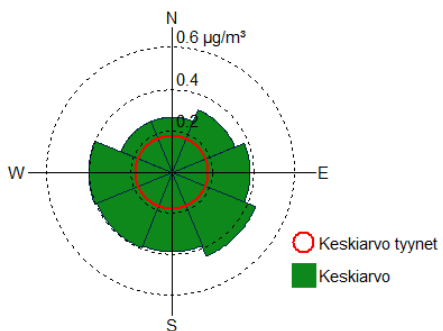
F5 raskasmetallit



F6 kaukokulkeuma



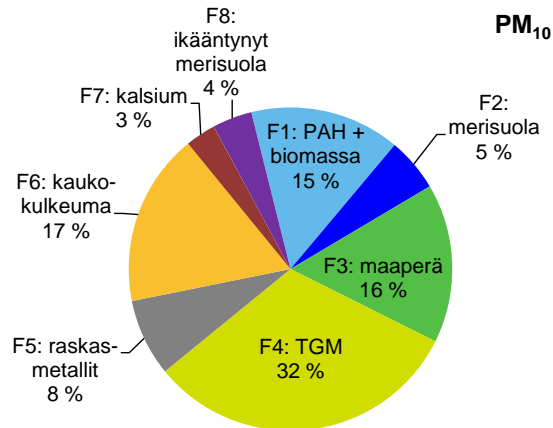
F7 kalsium



F8 ikääntynyt merisuola

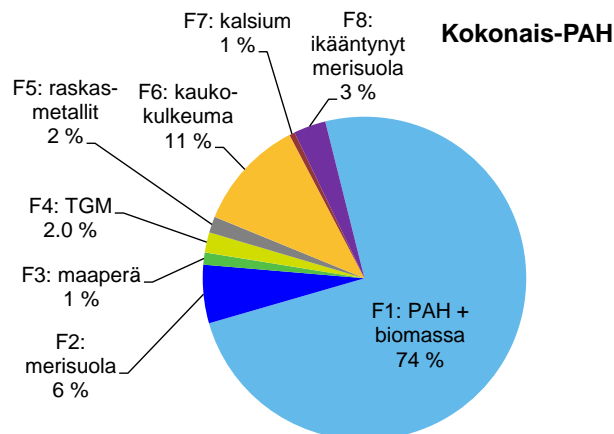
Kuva 23. Faktoreiden F1–F8 keskimääräisen massapitoisuuden jakauma tuulensuunnittain vuoden 2017 mittausaineistossa.

Lähdeanalyysin mukaan vuonna 2017 keskimäärin 43 % (faktorit F4 + F5 + F7) Puuluodon PM<sub>10</sub>-pitoisuuksista tuli suoraan Tornion terästehtaan toiminnoista. Lisäksi osa biomassan poltto -faktoriin (F1) sekä maaperäfaktoriin (F3) tulevasta PM<sub>10</sub>-kokonaisuudesta on tehdasalueen suunnasta peräisin, mutta näissä molemmissa faktoreissa on sekä tehtaan että ympäristön lähteitä sekoittuneena siten, että niitä on vaikea erottaa toisistaan tällä analyysillä (kuva 24).



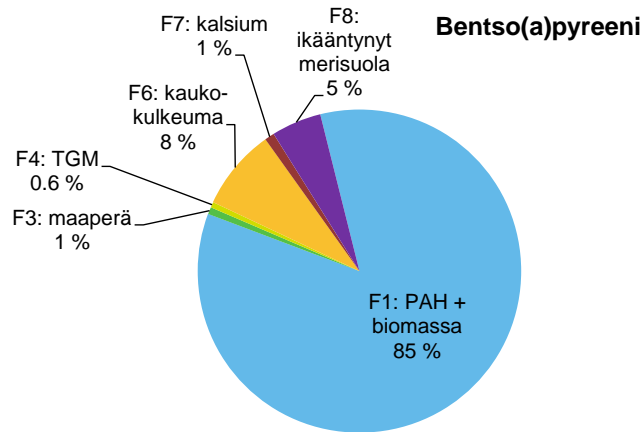
Kuva 24. PM<sub>10</sub>-hiukkasten keskimääräinen koostumus Puuluodossa vuonna 2017.

PAH-yhdisteiden massasta keskimäärin 75 % tuli biomassan poltto -faktoriin, jonka lähteitä ovat lähimmästä Puuluodon asuinalueen pientulisijoista, tehdasalueella sijaitsevan Tornion Voiman voimalaitoksen biomassan poltosta tuleva päästö sekä Outokummun tehtaan prosesseista tulevat PAH-päästöt (kuva 25). Bentso(a)pyreenin kokonaisuudesta 85 % tulee biomassan poltto -faktoriin, loput tulevat pääosin kaukokulkeuman ja ikääntyneen merisuolan mukana (kuva 26).



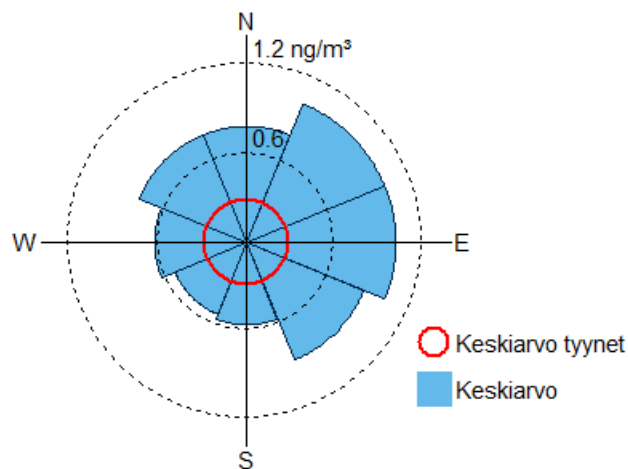
Kuva 25. PAH-yhdisteiden keskimääräiset lähteet Puuluodossa vuonna 2017.





Kuva 26. Bentso(a)pyreenin keskimääräiset lähteet Puuluodossa vuonna 2017.

Vaikka tehtaan PAH-päästöt ovat laskennallisesti huomattavasti suurempia verrattuna Puuluodon kokoisen kylän PAH-päästöön (tehtaan päästö 154 kg/a vs. Puuluodon laskennallinen päästö noin muutama kg/a), Puuluodossa olevat päästölähteet ovat tässä tapauksessa merkittävästi lähempänä mittauspistettä ja niiden päästökorkeus on matalampi verrattuna tehtaan alueella sijaitseviin PAH-lähteisiin. Tehdasalueen päästöt vapautuvat korkeista piipuista tai laitosten kattotasolla sijaitsevista hormeista, ja ne pääsevät tehokkaasti laimenemaan ympäröivään ilmaan ennen leviämistään, jolloin pitoisuudet maanpintatasolla jäävät pieniksi. Tuulianalyysin (kuva 27) perusteella keskimäärin 17 % Puuluodossa mitatusta bentso(a)pyreenin kokonaismassasta tuli terästehtaan suunnalta (etelän ja lounaan suunnat), joten suurin osa Puuluodossa mitatuista bentso(a)pyreenin pitoisuuksista vuonna 2017 olisi peräisin lähipäästöstä Puuluodon kylästä. Tähän viittaa myös se, että tehdasalueen mittauspisteessä mitatut bentso(a)pyreenin pitoisuudet olivat pienemmät (b(a)p vuosikeskiarvo  $0,31 \text{ ng/m}^3$ ) kuin samaan aikaan Puuluodossa mitatut pitoisuudet (b(a)p vuosikeskiarvo  $0,84 \text{ ng/m}^3$ .) Kuvasta 27 nähdään myös, että Puuluodossa etelä- ja lounaistuulilla mitatut b(a)p-pitoisuuskeskiarvot jäävät ylempään ja alemman arviointikynnyksen välille.



Kuva 27. Bentso(a)pyreenin keskimääräiset pitoisuudet tuulensuunnittain Puuluodossa vuonna 2017.

#### 4. YHTEENVETO JA SUOSITUKSET

Ilmatieteen laitos tarkkaili ilmanlaatua vuoden 2017 ajan Tornion Puuluodossa ja Outokumpu Stainless Oy:n Tornion tehdasalueella. Puuluodon mittausasemalla mitattiin jatkuvatoimisesti hengitettävien hiukkasten, rikkidioksidin ja elohopean pitoisuuksia, sekä keräinmenetelmin hengitettävien hiukkasten sisältämien arseenin, metallien, PAH-yhdisteiden ja ionien pitoisuuksia. Puuluodon mittausaseman tulokset edustavat tehdasaluetta lähimmän asuinalueen pitoisuuksia. Tehdasalueella puolestaan mitattiin jatkuvatoimisesti hengitettävien hiukkasten pitoisuuksia, sekä keräinmenetelmin arseenin, metallien ja PAH-yhdisteiden pitoisuuksia. Mitattujen pitoisuuksien perusteella tehtiin PMF-lähdeanalyysi, joka kertoo ilman epäpuhtauksien lähteistä ja näiden lähteiden vaikutusosuudesta mitattuihin pitoisuuksiin.

Terveyshaittojen ehkäisemiseksi annetut ilmanlaadun ohje-, raja- ja tavoitearvot ovat voimassa sellaisilla alueilla, joissa asuu tai oleskelee ihmisiä tai joihin ihmisillä on vapaa pääsy. Näin ollen Puuluodon asuinalueella tehtyjä ilmanlaadun mittauksien pitoisuustuloksia tulee verrata vastaaviin ohje-, raja- ja tavoitearvoihin. Tehdasalueella sovelletaan omia työterveyttä ja työturvallisuutta koskevia säännöksiä, joten ilmanlaadun ohje-, raja- ja tavoitearvot eivät ole siellä voimassa.

Vuoden 2017 mittausjakson perusteella Puuluodon pitoisuudet eivät minkään mitatun komponentin osalta ylitä ohje-, raja- tai tavoitearvoja. Hengitettävien hiukkasten osalta pitoisuudet Puuluodossa olivat korkeimmillaan 50 % vuorokausiohjearvosta eikä vuorokausiraja-arvotason ylityksiä havaittu siellä kertaakaan. Rikkidioksidipitoisuudet olivat Puuluodossa hyvin pieniä, ollen vain joitakin prosentteja vastaavista ohje- ja raja-arvoista ja rikkidioksidipitoisuuksia mitattiinkin tässä tutkimuksessa lähinnä PMF-lähdeanalyysiä varten tehtaan merkkiaineena. Sekä hengitettävien hiukkasten että rikkidioksidin pitoisuudet jäivät alle alemman arviointikynnyksen.

Tehtaan vaikutusta voitiin havaita Puuluodossa mitatuissa pitoisuustasoissa elohopean ja joidenkin metallien osalta. Alkuaineista arseenille, kadmiumille ja nikkelimille on määritetty tavoitearvot ja lyijylle raja-arvo. Vuoden 2017 mittauksien perusteella arseenin, kadmiumin ja lyijyn pitoisuudet Puuluodossa jäivät selvästi alle tavoite- ja raja-arvojen sekä alemman arviointikynnyksen. Puuluodossa nikkelin vuosikeskiarvo oli korkein suhteessa tavoitearvoon, 28 % tavoitearvosta, ja muutamat yksittäiset vuorokausipitoisuudet ylittivät tavoitearvon tason. Nikkelipitoisuuden vuosikeskiarvo jäi Puuluodossa kuitenkin selvästi alle alemman arviointikynnyksen. Lähdeanalyysin perusteella suurin osa Puuluodossa mitatuista raskasmetalli-, elohopea- ja kalsiumpitoisuuksista liittyy tehdasalueen päästöihin.

Elohopealle ei ole asetettu raja-arvoa. Vuonna 2017 elohopean pitoisuus oli Puuluodon mittausasemalla keskimäärin  $1,4 \text{ ng/m}^3$ , joka vastaa Suomen taustailman elohopeapitoisuutta. Mittausajanjaksolla havaittiin kuitenkin usein selvästi korkeita pitoisuuksia Puuluodon mittausasemalla, ja ne olivat enimmillään noin 30-kertaisia taustapitoisuuteen nähden. Tehtaalla elohopeaa joutuu sulatukseen vahingossa kierrätysteräksen mukana ja se näkyy päästömittauksessa vasta sulatuksen aikana, jolloin osa elohopeasta ehtii vapautua ilmaan. Näistä tilanteista vain osa oli havaittu tehtaan omassa päästöseurannassa, koska toinen jatkuvatoimisista elohopean päästömittalaitteista toimii kiertävänä kolmen mittauskohteen välillä.

Kriittisin komponentti Puuluodossa oli vuoden 2017 mittausten perusteella bentso(a)pyreeni, jonka vuosikeskiarvopitoisuus  $0,84 \text{ ng/m}^3$  on melko lähellä tavoitearvoa ( $1 \text{ ng/m}^3$ ) ja ylittää ylemmän arviointikynnyksen ( $0,6 \text{ ng/m}^3$ ). Lähdeanalyysin perusteella keskimäärin 17 % Puuluodossa mitatusta bentso(a)pyreenin kokonaismassasta tuli terästehtaan suunnalta (etelän ja lounaan suunnat), joten suurin osa Puuluodossa mitatuista bentso(a)pyreenin pitoisuuksista vuonna 2017 olisi peräisin lähipäästöstä Puuluodon kylästä. Puuluodossa olevat päästölähteet ovat tässä tapauksessa merkittävästi lähempänä mittauspistettä ja niiden päästökorkeus on matalampi verrattuna tehtaan alueella sijaitseviin PAH-lähteisiin. Tehdasalueen päästöt vapautuvat korkeista piipuista tai laitosten kattotasolla sijaitsevista hormeista, ja ne pääsevät tehokkaasti laimenemaan ympäröivään ilmaan ennen leviämistään, jolloin pitoisuudet maanpintatasolla jäävät pieniksi. Tähän viittaa myös se, että tehdasalueen mittauspisteessä mitatut bentso(a)pyreenin pitoisuudet olivat pienemmät kuin samaan aikaan Puuluodossa mitatut pitoisuudet. Lähdeanalyysin perusteella PAH-yhdisteiden massasta keskimäärin 75 % ja bentso(a)pyreenin kokonaismassasta 85 % tuli biomassan poltosta.

Nyt mitatut rikkidioksidipitoisuudet vastasivat hyvin vuonna 2015 tehdyn Tornion terästehtaan päästöjen leviämismalliselvityksen tuloksia (*Komppula ja Hannuniemi, 2015*). Leviämismallilaskelman tulosten mukaan Puuluodon asuinalueelle syntyi tehtaan päästöjen vaikutuksesta rikkidioksidipitoisuuksia, jotka olivat enimmillään noin 3 % ohje- ja raja-arvoista. Leviämismallilaskelman tulosten mukaan typpidioksidipitoisuudet olivat enimmillään noin 1 % vuosiraja-arvosta ja noin 4–5 % lyhytaikaispitoisuuksien ohje- ja raja-arvoista.

Mitatut hiukkaspitoisuudet sen sijaan olivat nyt selvästi suuremmat kuin mittauspisteeseen mallinnetut pitoisuudet. Mallinnetut ja mitatut pitoisuudet eivät ole täysin vertailukelpoisia, koska mallinnuksessa on huomioitu vain tehdaskokonaisuuden normaalitoimintaa edustavien pistelähteiden päästöt ilman hetkellisiä häiriöpäästöjä tai hajapäästöjä tai paikallisia päästölähteitä. Myöskään liikenteen tai sataman päästöjä eikä kaukokulkeumaa ole mallilaskelmissa otettu huomioon. Mallilaskelmien tulosten mukaan voidaan arvioida, että tehtaan normaalitoimintaa edustavilla piippujen kautta vapautuvilla päästöillä on hyvin pieni vaikutus alueen hiukkaspitoisuuksiin. Mittauksin saadut hiukkaspitoisuustulokset kuitenkin osoittavat, että mitausalueella on Outokummun tehtaiden piippujen lisäksi myös muita hiukkaspäästöjä aiheuttavia toimintoja, kuten tehtaan hajapäästöjä ja puun pienpolttoa, joilla on enemmän vaikutusta erityisesti hiukkasten lyhytaikaisiin pitoisuuksiin sekä vuosikeskiarvopitoisuuteen. Lähdeanalyysin mukaan vuonna 2017 keskimäärin 43 % Puuluodon  $\text{PM}_{10}$ -pitoisuuksista oli peräisin Tornion terästehtaan toiminnoista.

Hiukkaspitoisuuksien ja hiukkasten sisältämien epäpuhtauksien, kuten metallien ja PAH-yhdisteiden kohdalla terästehtaan piippupäästöjä merkittävämmäksi näyttäisivät muodostuvan matalammalta päästökorkeudelta vapautuvat hajapäästöt, kuten kuonakenttien pölyäminen, liikenne ja puun pienpoltto. Näistä erityisesti hajapäästöjä on vaikea mallintaa, sillä esim. pientaloalueen PAH-päästöistä voi olla vaikeaa saada mallilaskelmia varten riittävän luotettavaa tietoa. Pientaloalueilla puun poltto voi heikentää ilman laatua merkittävästi. Ongelmallista pientulisijojen päästöille on niiden vapautuminen suhteellisen matalalta. Huonosti toteutetussa puun pienpoltossa hiukas- ja PAH-päästöt voivat olla monikymmen- tai jopa monisatakertaiset hyvään, korkean hyötysuhteen polttoon verrattuna.

Ilmanlaatuasetuksessa (*Vna 79/2017*) todetaan, että ilmanlaadun seurannan riittävyys ja esimerkiksi ilman epäpuhtauspitoisuuksien suhde raja-arvoihin ja ilmanlaadun arviointikynnyksiin, tulee tarkistaa ainakin viiden vuoden välein. Jos ilman epäpuhtauksien pitoisuudet ovat alemman arviointikynnyksen alapuolella riittää, että ilmanlaatua seurataan yksinomaan suuntaa-antavien mittausten, mallintamistekniikoiden, päästökartoitusten tai muiden vastaavien menetelmien perusteella.

Rikkidioksidin ja typenoksidipitoisuuksien osalta voidaan mittausten ja aiempien leviämismallilaskelmien perusteella todeta, että tehtaan normaalitoimintaa edustavilla piippujen kautta vapautuvilla päästöillä on hyvin pieni vaikutus alueen pitoisuuksiin. Kun päästöt vapautuvat korkeista piipuista tai laitosten kattotasolla sijaitsevista hormeista, pääsevät ne tehokkaasti laimenemaan ympäröivään ilmaan ennen leviämistään ja tällöin pitoisuudet maanpintatasolla jäävät pieniksi. Rikkidioksidin ja typenoksidipitoisuuksien jatkuvatoimiseen mittaamiseen ei ole Torniossa tarvetta, ellei kyseeseen tule jonkin yksittäisen pistelähteen päästövaikutusten seuranta tai valvonta. Näiden kaasumaisten ilman epäpuhtauksien pitoisuustiedot voidaan tarvittaessa tuottaa leviämismallilaskelmin, mikäli siihen tulee tarvetta esimerkiksi ko. päästöjen merkittävästi kasvaessa tai laitospölyjen erillisselvitysten yhteydessä.

Arseenin ja metallien osalta määrävälein toistettavat suuntaa-antavat mittaukset ovat edelleen luotettavin tapa arvioida niiden pitoisuustasoja. Tällaisessa ilmanlaadun tarkkailumittauksessa kyse on suuntaa-antavista mittauksista eikä varsinaisesta raja-arvovalvonnasta, joten mittausten tulee täyttää suuntaa-antavien mittausten laatutavoitteet sallitun mittausepävarmuuden, ajallisen kattavuuden ja aineiston vähimmäismäärän osalta. Nämä laatutavoitteet täyttyvät, jos hiukkaskeruita tehdään kalenterivuoden ajan joka neljäs päivä (*Vna 113/2017*). Kalenterivuoden ajan kestävillä mittauksilla pystytään tuottamaan pitoisuustuloksia, jotka ovat suoraan verrattavissa vastaaviin ilmanlaadun raja-, ohje- ja tavoitearvoihin. Hengitettävien hiukkasten jatkuvatoimiset pitoisuusmittaukset voidaan suorittaa myös määrävälein samanaikaisesti arseenin ja metallien pitoisuusmäärittäysten kanssa.

Bentso(a)pyreenin seurantarpeen arvioimiseksi Suomi on nykyisellään jaettu kahteen seuranta-alueeseen, HSY-alueeseen (pääkaupunkiseutu) ja muuhun Suomeen. HSY-alueen ulkopuolella Suomessa on tällä hetkellä Raahessa kolme bentso(a)pyreenimittausta, joista yksi jatkuva ja kaksi suuntaa-antavaa ja lisäksi Ilmatieteen laitos mittaa bentso(a)pyreenin taustapitoisuuksia kolmella tausta-aseamalla. Lisäksi Uudellamaalla on kiertävä bentso(a)pyreenimittaus, mutta muun Suomen seuranta-alueelta puuttuu metalliasetuksen (*113/2017*) edellyttämä kaupunkitausta-aseamalla tehtävä bentso(a)pyreenimittaus. Tornion Puuluodon mittausasemaa vastaava teollisuuden läheisyydessä pientaloalueella sijaitseva jatkuva bentso(a)pyreenin mittaus on Raahessa. Toisen jatkuvan mittauksen sijoittaminen samankaltaiseen päästöympäristöön suhteellisen lähelle koko muun Suomen seuranta-alueen laajuutta ajatellen ei välttämättä ole järkevää, vaikka Puuluodossa ylempi arviointikynnys ylittyy, mikä edellyttäisi jatkuvia mittauksia. Jatkossa Torniossa bentso(a)pyreenille voisivat riittää arseeni- ja metallimittausten yhteydessä tehtävät määrävälein toistettavat mittaukset. Bentso(a)pyreenipitoisuudet voidaan määrittää samasta suodatinnäytteestä kuin arseeni- ja metallipitoisuudet, kuten tässä tutkimuksessa tehtiin, mikä vähentää mittauksista aiheutuvia kustannuksia.

Useissa Suomen mittausverkoissa ilmanlaadun seuranta hoidetaan yhteistarkkailuna, jolloin kunta yleensä hoitaa mittaus toiminnan ja teollisuus ja energiantuotanto osallistuvat ilmanlaadun tarkkailun rahoitukseen ympäristölupavelvoitteidensa mukaisesti. Ilmanlaadun yhteistarkkailun kustannukset jaetaan yleensä päästöjen suhteessa. Yleisimmin käytetty jakotapa on, että teollisuuden ja energiantuotannon toimijat osallistuvat kustannuksiin päästömääriensä mukaisesti ja kaupungin kustannusosuus vastaa hajapäästölähteiden, kuten liikenteen ja kiinteistökohtaisen lämmityksen, päästöjen määrää. Myös Torniossa voitaisiin jatkossa harkita määrävällein suoritettavien ilmanlaatumittausten hoitamista yhteistarkkailuna. Nyt tehtyjen mittausten perusteella olisi mahdollista miettiä kustannusten jakoa teollisuuden toimijoiden ja kotitalouksista peräisin olevien päästöjen ja etenkin niiden aiheuttamien ilmanlaatuvaikutusten perusteella.

## OSA II

### 5. TUTKIMUKSEN SUORITUS

#### 5.1 Mittauspaikat ja mittausjakso

Ilmatieteen laitos mittasi ilmanlaatua 1.1.–31.12.2017 välisenä aikana Outokumpu Stainless Oy:n tehdasalueella ja sen ympäristössä kahdessa mittauspisteessä, joiden sijaintia on havainnollistettu kuvissa 28–30. Tehdasalueen mittauspiste sijaitsi pääportin edustalla, tehdasalueen koillisosassa. Puuluodon mittauspiste puolestaan sijaitsi lähimmällä asuntoalueella n. 1,5 km tehdasalueelta koilliseen. Mittauspisteiden sijaintikoordinaatit olivat:

- Tehdasalue: N 65° 46' 27.22", E 24° 11' 24.90"
- Puuluoto: N 65° 47' 23.79", E 24° 12' 3.51"



Kuva 28. Ilmanlaadun mittauspisteiden sijainti Outokumpu Stainless Oy:n ympäristössä.

Molemmissa pisteissä mitattiin jatkuvatoimisesti aerodynaamiselta halkaisijaltaan alle 10 mikrometrin suuruisten ns. hengitettävien hiukkasten ( $PM_{10}$ ) pitoisuuksia sekä kerättiin hengitettävien hiukkasten ( $PM_{10}$ ) vuorokausinäytteitä joka neljäs päivä. Näytteistä analysoitiin arseeni- ja metallipitoisuudet sekä PAH-yhdisteiden pitoisuudet. Puuluodossa oli myös toinen keräin, jonka näytteistä analysoitiin ionipitoisuudet. Lisäksi Puuluodossa mitattiin rikkidioksidin ja elohopean pitoisuuksia jatkuvatoimisesti. Molemmissa tutkimuspisteissä mitattiin mittaustulosten seurantaan ja tulkintaa varten lisäksi tuulen suuntaa ja nopeutta, ulkoilman lämpötilaa, suhteellista kosteutta ja ilmanpainetta.



Kuva 29. Ilmanlaadun mittausyksikkö Tehdasalueen mittauspisteessä. Ulkoilma imetään mittauslaitteisiin mittausyksikön katolla sijaitsevien näytteenottosondien kautta.



Kuva 30. Ilmanlaadun mittausyksikkö Puuluodon mittauspisteessä lähimmän asuinalueen vieressä.

## 5.2 Mittausmenetelmät

Hengitettävien hiukkasten (PM<sub>10</sub>), rikkidioksidin (SO<sub>2</sub>) ja kaasumaisen elohopean (Hg) pitoisuuksia ulkoilmassa mitataan jatkuvatoimisilla automaattisilla analysointilaitteilla. Tässä tutkimuksessa käytetyt jatkuvatoimiset mittausmenetelmät ja laitteet on esitetty taulukossa 10. Hiukkasten koostumusta määritetään kemiallisilla analyysillä suodattimille kerätyistä näytteistä. PM<sub>10</sub>-vuorokausinäytteiden keräys- ja analyysimenetelmät on esitetty taulukossa 11.

Ilmanlaadun mittaukset suoritettiin kansallisen ilmanlaadun mittausohjeen (*Ilmatieteen laitos, 2017*) sekä Ilmatieteen laitoksen ilmanlaatumittausten laatujärjestelmän mukaisesti:

[http://expo.fmi.fi/ages/public/Ilmatieteen\\_laitoksen\\_ilmanlaatumittausten\\_laatuja\\_rjestelmien\\_kuvaus.pdf](http://expo.fmi.fi/ages/public/Ilmatieteen_laitoksen_ilmanlaatumittausten_laatuja_rjestelmien_kuvaus.pdf). Mittauksia seurattiin kaukovalvontana Ilmatieteen laitokselta Helsingistä.

Jatkuvatoimisten mittalaitteiden 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 edelleen tunti- ja vuorokausikeskiarvot sekä muut pidemmän jakson keskiarvot. Jatkuvatoimiset laitteet kalibroitiin 3 kk välein. Laitehuollot tehtiin laitetoimittajien ohjeiden mukaisesti ja tarvittaessa vaihdettiin mittalaitteiden kuluvia osia. Näytteenottolinjat tarkistettiin mittausasemalla käynnin yhteydessä. Tulosten validoinnin yhteydessä laitteen toimintahäiriöistä johtuneet virheelliset arvot poistettiin ja mittaustulokset korjattiin kalibrointitulosten perusteella.

Mittalaitteet toimivat hyvin koko vuoden ja laatutavoite koko vuoden aineiston vähimmäismäärälle saavutettiin. Puuluodon elohopeamittauksiin aiheutui helmikuussa viikon katkos, kun laitteen pumppu rikkoontui ja tilalle vaihdettiin uusi pumppu. Lisäksi elohopea- ja rikkidioksidituloksia jouduttiin hylkäämään viikon ajalta marraskuun lopulta, kun laitteiden näytteenottoletku oli irronnut ja luisunut lumihankeen. Puuluodossa kaikkien mittauskomponenttien tulokset jäivät puuttumaan neljältä päivältä, kun perjantai-iltana 24.11. myrsky aiheutti Puuluodon mittausasemalle viikonlopun yli kestäneen sähkökatkon.

Raja-arvojen ylittymisen valvontaan käytettävissä jatkuvissa mittauksissa aineiston vähimmäismäärä on 90 %, mikä ei kuitenkaan sisällä laitteiden säännöllisestä kalibroinnista tai normaalista kunnossapidosta aiheutuvaa tietohukkaa. Tämä laatutavoite täyttyi elohopean, rikkidioksidin ja jatkuvatoimisten hiukkasmittausten osalta molemmissa mittauspisteissä.

Molemmissa mittauspisteessä kerättiin aerodynaamiselta halkaisijaltaan alle 10 mikrometrin kokoisten hengitettävien hiukkasten (PM<sub>10</sub>) vuorokausinäytteitä pientehokeräimellä hiukkasten koostumuksen määrittämiseksi varten referenssimenetelmän EN 12341:2014 mukaisesti. Käytetty menetelmä on ns. vertailu- eli referenssimenetelmä hengitettävien hiukkasten pitoisuusmittauksissa ja sillä tulee kerätä myös arseenin, kadmiumin, nikkelin ja PAH -yhdisteiden määrittämistä varten otettavat hengitettävien hiukkasten näytteet metallidirektiivin (2004/107/EY) ja metalliasetuksen (Vna 113/2017) mukaan.



Keräimillä tehdyissä hengitettävien hiukkasten näytteiden otoissa suodatinnäytteiden keräys kesti vuorokauden (aloitusaika klo 00:00) ja näytteitä otettiin joka neljäs vuorokausi. Suodattimien käsittely (mm. pakkaus ja purkaminen) tapahtui ainoastaan akkreditoitussa laboratorioissa ja mittausasemalla käsiteltiin suodattimia vain suodatinkoteloissa keräimen suodatinkasetin vaihdon yhteydessä. Näytteistä määritettiin pääionit ja PAH-yhdisteet Ilmatieteen laitoksen ilmanlaatulaboratoriossa sekä arseeni, kadmium, nikkeli, kromi, lyijy, sinkki, alumiini, koboltti, kupari, rauta, mangaani ja vanadiini Suomen ympäristökeskuksen ympäristökemian tutkimuslaboratoriossa.

Taulukko 10. Tutkimuksessa käytetyt jatkuvatoimiset mittausmenetelmät ja laitteet.

Mitattava komponentti	Mittausmenetelmä	Mittalaite
Hengitettävät hiukkaset	beetasäteilyn absorptio + valon sironta	Thermo Model 5030 SHARP
Rikkidioksidi	UV-fluoresenssi	Thermo 43i-TLE
Elohopea	Atomifluoresenssi	Tekran 2537B
Meteorologiset tiedot		Vaisala WXT520

Taulukko 11. Ilmanlaatumittausten keräys- ja analyysimenetelmät.

Mitattava komponentti	Keräysmenetelmä	Keräysaika	Analyysimenetelmä
Arseeni ja metallit	Pientehokeräin, esierotin (10 µm), suodatin*)	1 vrk	ICP-MS
Ionit	Pientehokeräin, esierotin (10 µm), suodatin*)	1 vrk	IC
PAH-yhdisteet	Pientehokeräin, esierotin (10 µm), suodatin*)	1 vrk	GC-MS

\*) näytteet kerättiin EN 12341:2014-standardin mukaisella vertailumenetelmällä

Hengitettävien hiukkasten (PM<sub>10</sub>) 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 (PM<sub>10</sub>/PM<sub>2.5</sub>)*. PM<sub>10</sub>/PM<sub>2.5</sub>-hiukkasten gravimetrinen referenssimenetelmä on kuvattu standardissa EN 12341:2014. Ilmatieteen laitoksen käyttämien automaattisten hiukkasanalysaattoreiden antamien tulosten vastaavuus PM<sub>10</sub>/PM<sub>2.5</sub> gravimetrisiin referenssimenetelmiin on osoitettu tutkimuksessa *Walden ym., 2017*.

Rikkidioksidin jatkuvatoimiset mittaukset perustuvat EU:n referenssimenetelmään, joka on kuvattu standardissa EN 14212:2012 *Ambient air quality – Standard method for the measurement of the concentration of sulphur dioxide by UV fluorescence*. Ilmatieteen laitos käyttää SO<sub>2</sub>-mittauksissa mahdollisuuksien mukaan tyyppihyväksytyjä analysaattoreita. Kenttämittausten laadunvarmistuskäytännöt sekä huolto ja kalibrointi on järjestetty soveltuvin osin standardin vaatimusten mukaisesti. Ka-

librointiin käytetään jäljitettävästi kalibroitua kenttäkalibraattoria. Kalibraattoriin otetaan jälki säännöllisesti FINAS-akkreditoidusta kalibrointilaboratoriosta K043 (<https://www.finas.fi/toimijat/Sivut/default.aspx#k=K043>). Ilmatieteen laitoksen Asiantuntijapalvelut-yksikkö ja tausta-asemaverkko osallistuvat kansallisen ilmanlaadun vertailulaboratorion järjestämiin vertailumittauksiin (<http://www.ilmanlaatu.fi/mittaaminen/laatu/laadunvarmennus.html>)

Kaasumaisen elohopean mittaukset perustuvat mukaillusti EU:n referenssimenetelmään, joka on kuvattu standardissa EN 15852:2010 *Ambient air quality. Standard method for the determination of total gaseous mercury*. Elohopeaanalysointilaboratorio kalibroidaan laitteen sisäisellä permeaatiolähteellä 71 tunnin välein. Permeaatiolähteen toimivuus tarkistettiin mittausten alussa, puolivälissä ja lopussa. Mittausten jäljitettävyys perustuu manuaaliseen kalibrointiin elohopean puhdasaineella (Merck Mercury Suprapur 99,9999 %). Kalibrointiin yhteydessä tarkistettiin laitteiden toimintakunto ja suoritettiin ylläpitotoimenpiteitä.

Hiukkasnäytteiden pääionit ja PAH-yhdisteet analysoitiin Ilmatieteen laitoksen Ilmanlaadun laboratoriossa. Laboratorio on FINAS-akkreditointiyksikön akkreditoima testauslaboratorio T097 ja laboratorion laatujärjestelmä on standardin SFS-EN ISO/IEC 17025:2005 mukainen.

Pääionien pitoisuudet määritettiin hiukkasnäytteistä kemiallisin analyysin IC-menetelmällä (ionikromatografia). Ionien analyysimenetelmä perustuu standardeihin SFS-EN ISO 10304-1:2009 (anionit) ja ISO 14911:1998 (kationit). Ilmanlaadun laboratorion ionien analyysimenetelmä on akkreditoitu. Ioninäytteistä analysoitiin kationit kalsium, kalium, magnesium, natrium ja ammonium sekä anionit kloridi, nitraatti ja sulfaatti. Analyysimenetelmien oikeellisuus taataan osallistumalla vuosittain kansainvälisiin WMO:n ja EMEP:n vertailumittauksiin. Ionikromatografitt kalibroidaan NIST-jäljitettävillä liuoksilla jokaisessa analyysisarjassa. Kalibrointi tarkistetaan sisäisillä kontrollinäytteillä. Kenttänäytteiden ja rinnakkais-analyysien erotusta seurataan jatkuvasti.

PAH-yhdisteiden määrittäminen perustuu standardiin SFS-EN 15549:2008 (*Air quality – Standard method for the measurement of the concentration of benzo(a)pyrene in ambient air*.) Muiden polysyklisen aromaattisten hiilivetyjen määrittämisessä käytetään soveltuvin osin myös standardia ISO 12884:2000 (*Ambient air – Determination of total (gas and particle-phase) polycyclic aromatic hydrocarbons – Collection on sorbent-backed filters with gas chromatographic/mass spectrometric analysis*) ja teknistä spesifikaatiota CEN/TS 16645:2014 (*Ambient air – Method for the measurement of benz[a]anthracene, benzo[b]fluoranthene, benzo[j]fluoranthene, benzo[k]fluoranthene, dibenz[a,h]anthracene, indeno[1,2,3-cd]pyrene and benzo[g,h,i]perylene*). Menetelmässä suodatimet uutetaan dikloorimetaniin Soxhlet-uuttolaitteessa ja näytteet analysoidaan GC-MS -menetelmällä (kaasukromatografi-massaspektrometri). Laadunvarmennukseen käytetään varmennettua vertailumateriaalia (NIST1649a). Menetelmä on akkreditoitu seuraaville yhdisteille: bentso(a)pyreeni, indeno(1,2,3-cd)pyreeni, bentso(b+j+k)fluoranteeni ja dibentso(a,h + a,c)antraseeni.

Suomen ympäristökeskuksen ympäristökemian tutkimuslaboratorion laatujärjestelmä on standardin SFS-EN ISO/IEC 17025:2005 mukainen ja sen arseeni- ja metallianalyysit on akkreditoitu suodatinnäytteille. Suomen ympäristökeskuksen kemian laboratorio on Turvallisuus- ja kemikaaliviraston akkreditointiyksikön (FINAS) akkreditoima testauslaboratorio T003. Metallien analyysit tehtiin standardin SFS-

EN 14902:2006 mukaan, mikä on metallidirektiivin mukainen menetelmä arseenille, kadmiumille ja nikkelimille. Menetelmä sisältää näytteiden typpihappohajotuksen mikroalutouunissa. Menetelmällä päästään erittäin pieniin pitoisuuksiin.

Raskasmetallisuodatinnäytteiden yhdessä erässä (Puuluodon näytteet 25.10.–28.12.2017 ja Tehtaan näytteet 25.10.–18.11.2017) oli ongelmia näytteiden esikäsittelyssä, mistä on voinut mahdollisesti aiheutua tavallista suurempaa epätarkkuutta tuloksiin. Mikroaaltomärkäpolttolaitteistossa, jossa suodatinnäytteet hajotettiin, oli viallinen tiivisterengas. Tämän vuoksi tavoitelämpötilassa paine oli vain noin 30 bar, kun se normaalisti on noin 70–80 bar. Näytteiden kanssa samanaikaisesti hajotetuissa laadunvalvontanäytteissä ei kuitenkaan havaittu poikkeavia tuloksia, mistä voidaan olettaa, että paine on ollut riittävän korkea hajottamaan näytteet. Näytteiden kanssa hajotetuissa nollanäytteissä ei havaittu kontaminaatiota.

### 5.3 PMF-lähdeanalyysi

PMF (Positive Matrix Factorization) on reseptorimallinnusmenetelmä, jolla pyritään selvittämään ilman epäpuhtauksien päästölähteitä ja näiden lähteiden vaikutusosuutta mitatuista ilman epäpuhtauksien aikasarjoista mittauspaikalla eli reseptorilla. Tämä tehdään käyttäen hyväksi mittauspaikalla samanaikaisesti mitattuja eri ilmansaasteiden pitkiä pitoisuusaikasarjoja joista pyritään havaitsemaan eri päästölähteille tyypillisiä yhdisteitä ja alkuaineita eli ns. lähteiden merkkiaineita tai sormenjälkiä. Näitä voidaan yhdistää säähavaintoihin, esimerkiksi tuulen suuntaan ja nopeuteen. Tässä tutkimuksessa reseptorimallinnus on tehty käyttäen EPA:n kehittämää PMF 5.0 -ohjelmaa (EPA, 2018). EPA:n PMF-malli on monimuuttujafaktori-analyysi, jota voidaan käyttää myös monien muiden ympäristönäytetietojen kuin ulkoilman mittaustulosten analysointiin.

Perinteiset päästöjen leviämismallit seuraavat päästöjen leviämistä, laimenemista ja muuntumista ilmakehässä siten, että päästöjen aiheuttamia pitoisuuksia laskeetaan suureen joukkoon hilapisteitä eri puolilla päästölähteen ympärillä. Reseptorimallin lähestymistapa on päinvastainen, eli malli keskittyy ympäristökijöiden käyttäytymiseen yhdessä reseptoripisteessä eli mittauspaikalla. Reseptorimallilla yritetään löytää reseptoripisteellä havaituissa aikasarjoissa korrelaatiota, joiden perusteella voidaan päätellä mitkä yhdisteet esiintyvät samanaikaisesti ja mitkä eivät. Malli pyrkii etsimään muuttujajoukosta faktoreita eli lähteitä, jotka pystyvät selittämään havaittujen muuttujien vaihtelua. Analyysin tuloksena voidaan löytää yksi tai useampia lähteitä, joita käytetään hyväksi tulosten tulkinnassa (Hopke, 2010).

PMF-mallin lähtötiedoiksi tarvitaan reseptoripisteestä mahdollisimman pitkiä ja kattavia mitattujen pitoisuuksien aikasarjoja. Mallin tulokset ovat sitä luotettavampia, mitä kattavammasta ja laajemmasta lähtöaineistosta mallia ajetaan. Minimissään mallin lähtötiedoksi tarvitaan mallitettavan päästölähteen merkkiaine ja sen yhdisteen aikasarja mitä mallitetaan. Suodatinkeruiden PM<sub>10</sub>-hiukkasista analysoitujen pääionien, raskasmetallien ja PAH-yhdisteiden pitoisuuksien eli PM<sub>10</sub>-hiukkasmassan lisäksi voidaan mallituksessa käyttää jatkuvatoimisilla analysaattoreilla mitattuja hiukkasten pitoisuusaikasarjoja (PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>) ja kaasumaisten ilman epäpuhtauksien aikasarjoja (esim. NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>). Faktorianalyysillä löydettyjen lähteiden aikasarjaan voidaan yhdistää samanaikaisesti mitattuja säätietoja (tuulen nopeus, tuulen suunta) joilla päästölähteiden tunnistusta voidaan edelleen parantaa (Vestenius ym., 2011).

PMF-malliin syötetään lähtötietoina mitatut pitoisuudet ja kullekin pitoisuudelle arvioidut epävarmuudet. Ne pitoisuusarvot, joiden epävarmuus on suuri, saavat mallissa pienemmän painoarvon kuin ne arvot joiden epävarmuus on pieni. Mallin käytännöllä onkin oltava runsaasti tietoa mitatuista yhdisteistä ja niiden mittausten menetelmistä, jotta hän pystyy tekemään realistisen epävarmuusarvion, koska sillä on suora vaikutus mallin lopputulokseen (*Vestenius ym., 2011*). Tavallisesti tehdään useita malliajoja eri faktorimäärillä, joista analyysin tekijä valitsee parhaan ratkaisun. Selittävyys ja mielekkyys ovat tärkeimmät kriteerit faktorien lukumäärän määrittämiseksi (*Hopke & Cohen, 2011*). Käytävissä olevilla taustatiedoilla (mm. paikallisten olosuhteiden tuntemus) ja mallittajan kokemuksella on myös suuri merkitys.

Mallin tuloksena saatujen faktorien aikasarjat kertovat milloin lähde on ollut aktiivinen ja milloin ei. Lähteen aikasarjasta ilmenevän vaihtelun perusteella voidaan päätellä esimerkiksi, että PAH-lähde on ollut aktiivinen talvella ja vähemmän aktiivinen kesällä. Tämä voi tarkoittaa sitä että kesällä PAH-päästöjä on vähemmän tai sitä, että kesällä valokemia toimii nopeammin hajottaen PAH-yhdisteitä ilmakehässä, jolloin niiden pitoisuudet ovat pienemmät. Todennäköisesti molemmat vaikuttavat, jolloin PAH-lähteen aikasarjassa näkyy näiden tekijöiden yhteisvaikutus.

Pitoisuusajaksarjoja ja säädataa, esimerkiksi tuulidataa, yhdistämällä voi tehdä lähteen suunta-analyysejä. Tässä työssä piirrettiin alkuperäisten mittausajaksarjojen sekä lähteiden aikasarjojen ja tuulidatan perusteella saasteruusuja sekä niin sanottu CPF-funktio eli conditional probability function, ehdollinen todennäköisyysfunktio (*Ashbaugh et al. 1985*). CPF on menetelmä, jossa tuulisektoriin ja tietylle nopeusvälille osuvien tuntien, jolloin kyseisen ilmansaasteen tai faktorin pitoisuus on ollut korkea (tietyn kynnyksen yläpuolella), summaa verrataan kaikkien samaan tuulisektoriin ja nopeusvälille osuvien tuntien summaan. Tähän työhön käytettiin r-ympäristössä toimivaa OpenAir-ohjelmistopakettia (*Carslaw & Ropkins, 2012; Carslaw, 2015*), jolla laskettiin CPF-analyysi faktoriaikasarjoille ja piirrettiin niistä CPF-kuvat lämpökarttana. CPF-kuvissa tummemmat kohdat osoittavat suurempia todennäköisyyksiä käytetyn kynnyksen yläpuolella oleville pitoisuuksille eri sektoreissa ja eri tuulen nopeuksilla.

## 6. SÄÄTIEDOT

### 6.1 Tuulitiedot vuodelta 2017

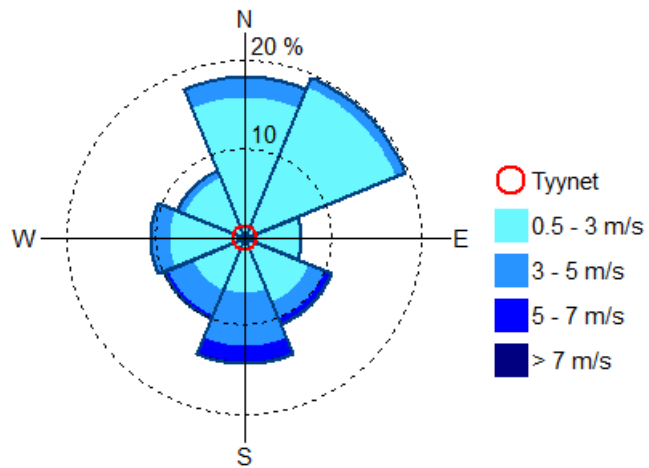
Molemmilla mittausasemilla oli tuulimittaus samassa mittauspisteessä kuin ilma-laadun mittauksetkin. Puuluodon mittausasema sijaitsee Tehdasalueen mittausasemaa suojaisammassa ympäristössä korkean puuston ympäröimänä. Puuluodossa tyyniä tilanteita esiintyi noin 43 % ajasta. Tehdasalueen mittauspiste sijaitsi avoimemmalla paikalla. Molempien mittausasemien tuulianturi sijaitsee noin 4 metrin korkeudella maanpinnasta.

Tuulen suunnalla tarkoitetaan meteorologiassa suuntaa, josta tuuli puhaltaa. Kun tuulta mitataan ja ilmoitetaan tuulen suunta, tarkoitetaan aina, että tuuli puhaltaa kyseisestä ilmansuunnasta havaitsijaa kohti. Niinpä etelätuuli puhaltaa etelästä ja länsituuli lännestä, jne. Tuulen suunnat ilmaistaan ns. kompassisuuntina. Tämä tarkoittaa, että kun tuulee idästä, tuulen suunta on 90°, kun tuulee etelästä, tuulen

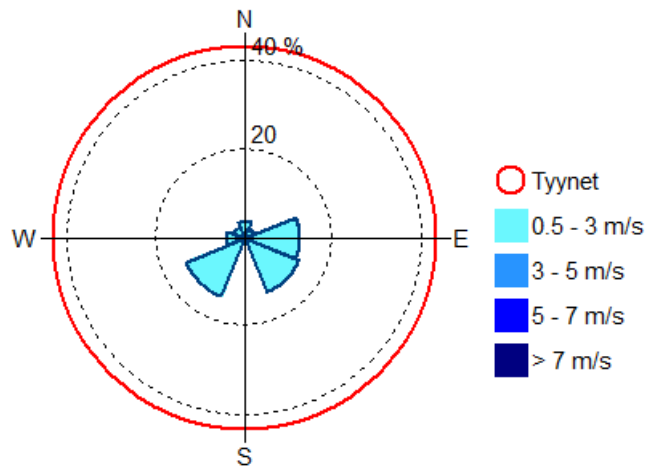
suunta on  $180^{\circ}$ , kun tuulee lännestä, tuulen suunta on  $270^{\circ}$ , jne. Samalla tavoin määräytyvät väli-ilmansuunnat asteina.

Kuvassa 26 on esitetty vuoden 2017 tuuliruusu Tehdasalueen mittausaseman tuulista ja kuvassa 27 Puuluodon mittausasemalta. Vallitsevat tuulensuunnat olivat Tehdasalueella vuonna 2017 pohjoisesta ja koillisesta. Puuluodon mittausasemalla oli pääasiassa tyyntä.

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



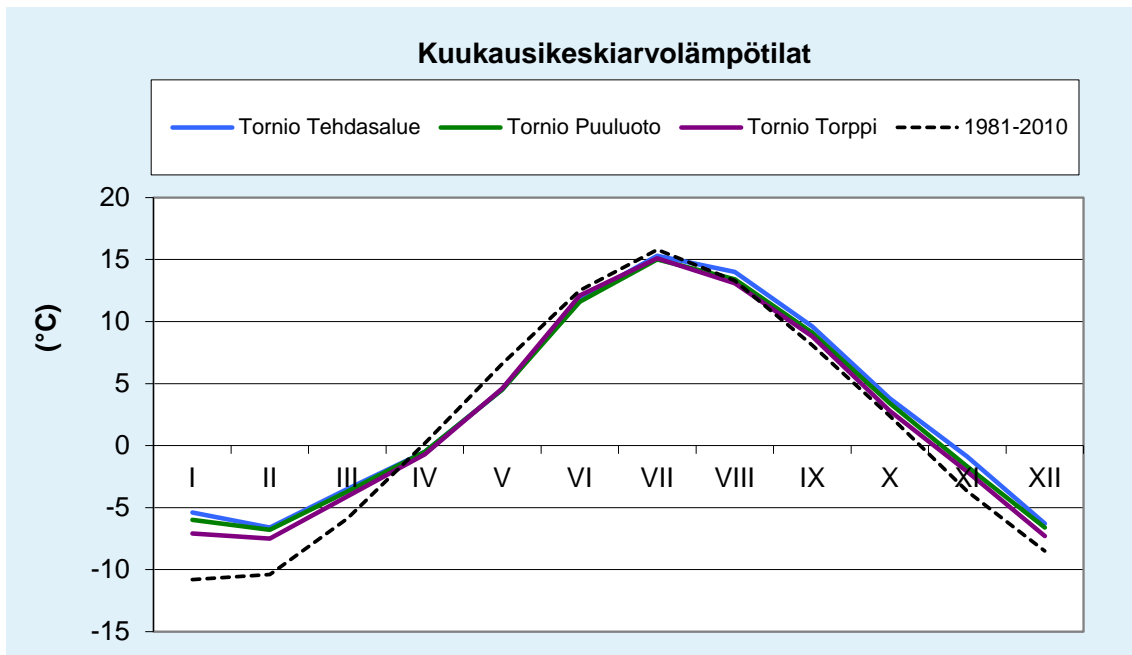
Kuva 31. Tehdasalueen ilmanlaadun mittausaseman tuuliolosuhteet vuonna 2017. Tyynien tilanteiden osuus oli 1,5 % kaikista tuulista.



Kuva 32. Puuluodon ilmanlaadun mittausaseman tuuliolosuhteet vuonna 2017. Tyynien tilanteiden osuus oli 43 % kaikista tuulista.

## 6.2 Keskilämpötilat Torniossa vuonna 2017

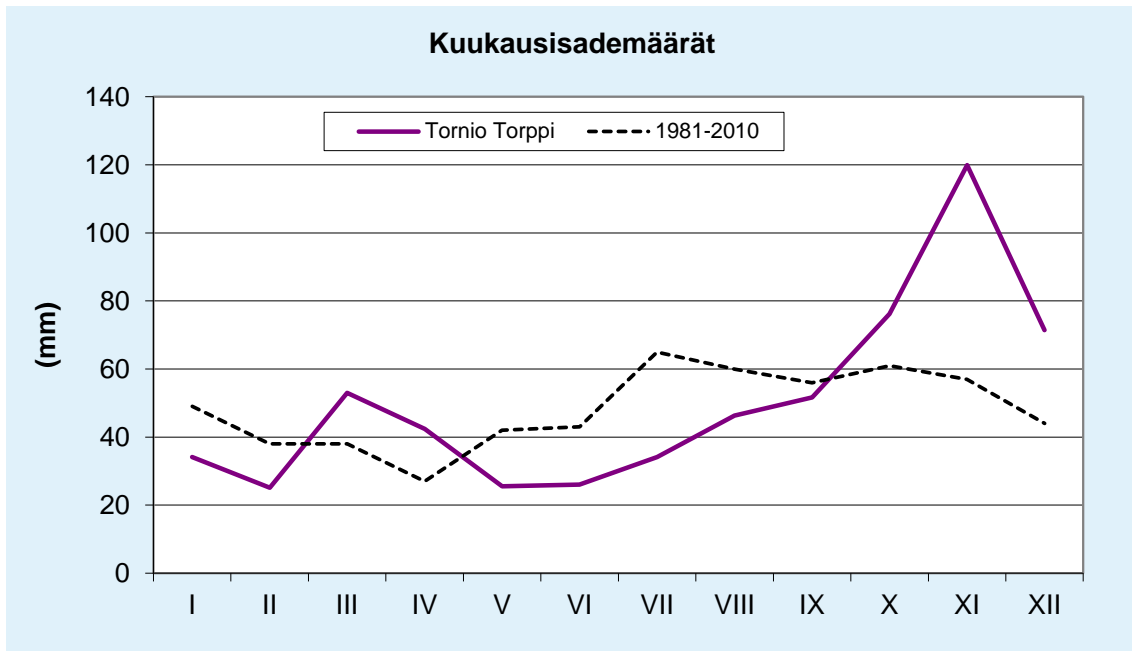
Vuosi 2017 oli Suomessa hieman tavanomaista lämpimämpi. Keskilämpötila oli suuressa osassa maata 0,5-1 astetta tavanomaista korkeampi. Kuvassa 28 on verrattu Tornion Puuluodon ja Tehdasalueen lämpötilan kuukausikeskiarvoja Ilmatieteen laitoksen Tornion Torpin sääaseman lämpötilahavaintoihin vuodelta 2017 (*Ilmatieteen laitos, 2018*) ja Kemi–Tornion lentoaseman pitkäaikaiskeskiarvoihin vuosilta 1981–2010 (*Pirinen ym., 2012*). Tornion seudulla lämpötila oli vuonna 2017 noin 0,7 astetta korkeampi kuin vertailukaudella 1981–2010. Suhteessa vertailukauteen lämpimämpää oli talvikuukausina ja kylmempää keväällä ja kesällä.



Kuva 33. Lämpötilan kuukausikeskiarvot Torniossa vuonna 2017 sekä vertailukauden 1981–2010 pitkäaikaiskeskiarvot Kemi-Tornion lentoasemalla.

## 6.3 Sademäärät Torniossa vuonna 2017

Kuvassa 34 on vertailtu vuoden 2017 kuukausisademääriä Ilmatieteen laitoksen Tornion Torpin sääasemalta (*Ilmatieteen laitos, 2018*) Kemi–Tornion lentoaseman vertailukauden 1981–2010 sademääriin (*Pirinen, ym., 2012*). Maan etelä- ja itäosassa vuosi oli tavanomaista sateisempi, etenkin maan eteläosassa paikoin harvinaisen sateinen. Tornion seudulla vuoden 2017 kuukausittaiset sademäärät poikkesivat jonkun verran pitkän ajan keskiarvoista: Tammi-helmikuussa ja toukokuussa sademäärät olivat pitkän ajan keskiarvoa pienemmät ja maaliskuussa ja etenkin loka-joulukuussa sademäärät olivat selvästi pitkän ajan keskiarvoa suurempia. Vuoden 2017 vuosisademäärä oli Tornion Torpissa 26 mm vertailukauden 1981–2010 vuosisademäärää suurempi ja marraskuussa satoi kaksinkertainen määrä normaalikauden marraskuuhun verrattuna.



Kuva 34. Kuukausisademäärät vuonna 2017 Tornion Torpin sääasemalla vuonna 2017 ja Kemi–Tornion lentoasemalla vertailukaudella 1981–2010.

#### 6.4 Säätekijöiden vaikutus ilman epäpuhtauksien leviämiseen

Päästöistä suurin osa vapautuu ilmakehän alimpaan kerrokseen, jossa päästöt sekoittuvat ympäröivään ilmaan ja niiden pitoisuudet ilmassa laimenevat. Päästöt voivat levitä liikkuvien ilmassa mukana laajoille alueille. Tämän kulkeutumisen aikana ilman epäpuhtaudet voivat reagoida keskenään ja muiden ilmassa olevien yhdisteiden kanssa muodostaen uusia yhdisteitä. Ilman epäpuhtaudet poistuvat ilmasta sateen huuhtomina (märkälasseuma), kuivalasseumana erilaisille pinnoille tai kemiallisen muutoksen kautta.

Päästöjen leviäminen tapahtuu pääosin ilmakehän alimmassa osassa, rajakerroksessa. Rajakerroksen tuuliolosuhteet määräävät karkeasti ilmansaasteiden kulkeutumissuunnan, mutta ilmavirtausten pyörteisyys ja kerroksen korkeus vaikuttavat merkittävästi ilmansaasteiden sekoittumiseen ja pitoisuuksien laimenemiseen kulkeutumisen aikana. Kerroksen korkeus määrää ilmatilavuuden, johon päästöt voivat välittömästi sekoittua. Rajakerroksen korkeus on Suomessa tyypillisesti alle kilometri, mutta varsinkin kesällä se voi nousta yli kahteen kilometriin. Matalimmat rajakerroksen korkeudet havaitaan yleensä talvella kovilla pakkasilla.

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, nimetään tasapainoa epävakaaksi eli labiiliksi. Kun taas lämpötila laskee vähemmän kuin neutraalissa tilanteessa, tila on vakaa eli stabiili. Tasapainotilaan vaikuttavat lämpötilan lisäksi muun muassa auringon säteily, tuuli ja maanpinnan laatu. Stabiiliustilan ollessa vakaa ilmakehän sekoittuminen on vähäistä. Jos tila on epävaka, sekoittuminen on voimakasta ja ilmaan päässeet epäpuhtaudet laimenevat nopeas-



ti. 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. 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.

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 heikokuulisissa tilanteissa voimakkaan maanpintainversion vallitessa. Inversiotilanteessa erityisesti matalalta vapautuvat liikenteen päästöt hajaantuvat hyvin huonosti. Liikenteen päästöjen osuus monien ilman epäpuhtauksien päästöistä on huomattava ja pakokaasut pääsevät suoraan ihmisten hengityskorkeudelle. Sen sijaan korkeista piipuista tulevat energiantuotannon ja teollisuuden päästöt saattavat purkautua matalien maanpintainversioiden yläpuolelle, jolloin ne eivät juuri vaikuta pitoisuuksiin lähellä maanpintaa lähialueellaan.

Keväisin merkittävin ilmanlaatuhaittojen aiheuttaja on katupöly. Katupölyä syntyy, kun lumen sulavat keväällä ja talven aikana teille ja tien varsille kerääntynyt hiukkasmassa nousee 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.

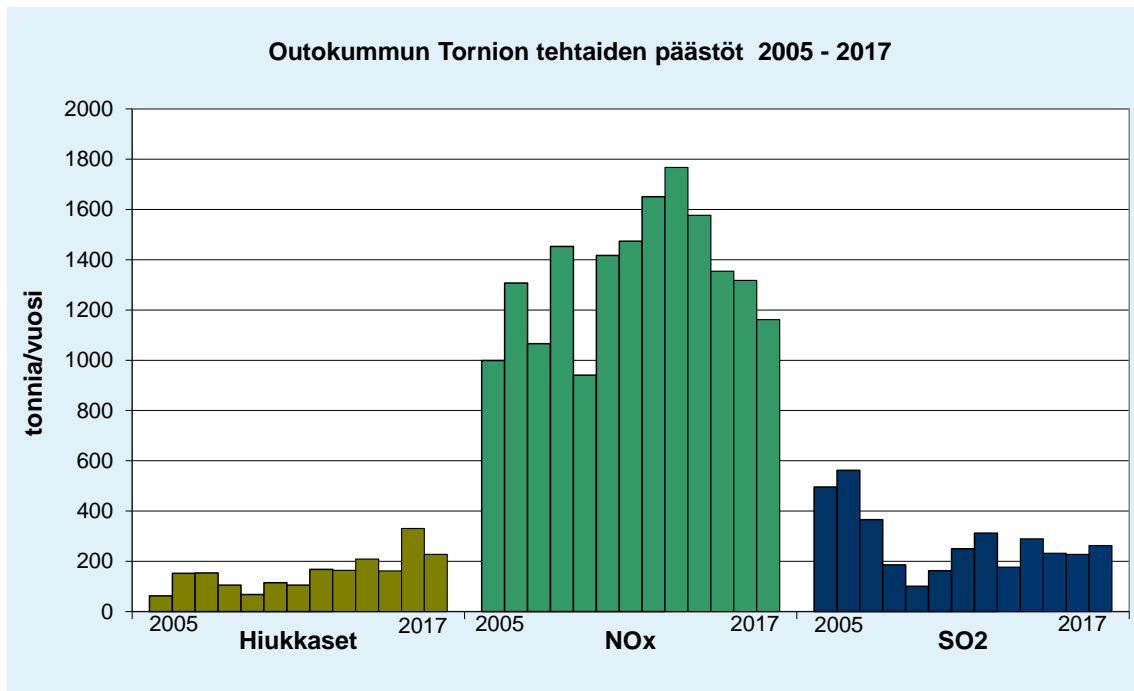
## **7. OUTOKUMMUN TORNION TEHTAIDEN PÄÄSTÖT**

Outokummun Tornion tehtaiden päästöt olivat vuonna 2017: rikkidioksidi 263 tonnia, typen oksidit 1 162 tonnia ja hiukkaset 228 tonnia. Lisäksi Tornion tehtailla muodostui vuonna 2017 noin 3,3 tonnia kromipäästöjä, 0,8 tonnia nikkelpäästöjä ja 1,5 tonnia sinkkipäästöjä. Outokummun Tornion tehtaiden PAH-yhdisteiden päästöt olivat vuonna 2017 154 kg ja elohopeapäästöt 80 kg.

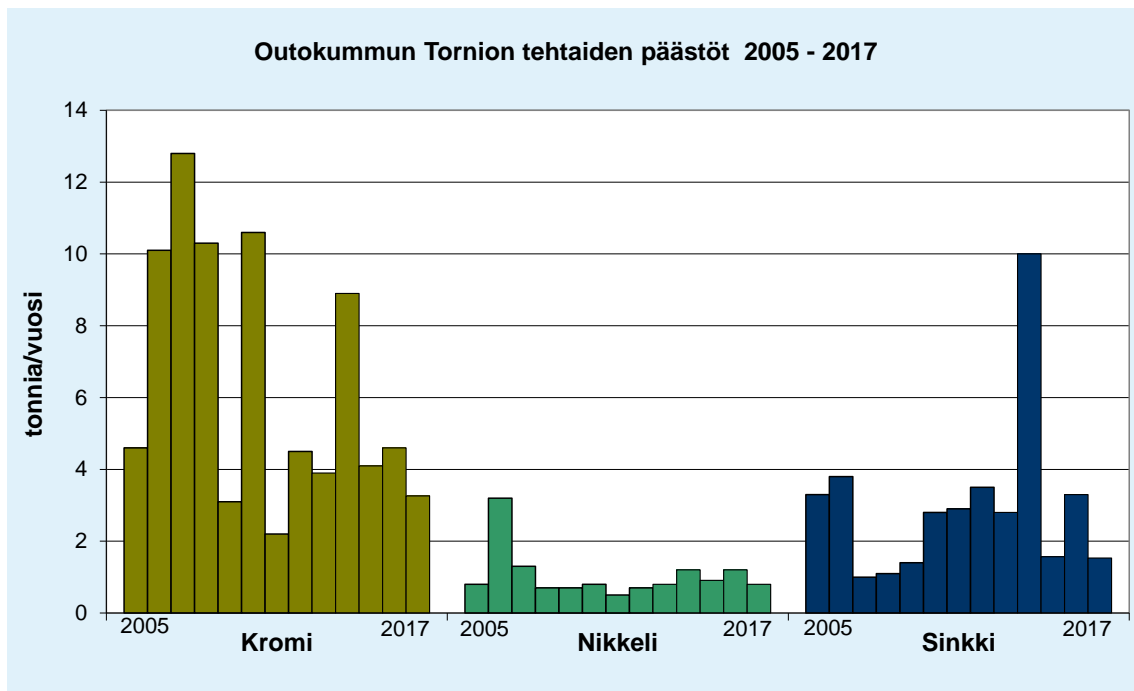
Vuonna 2005, jolloin Ilmatieteen laitos edellisen kerran mittasi ilmanlaatua Tornion Puuluodossa, Outokummun Tornion tehtaiden päästöt olivat: rikkidioksidi 496 tonnia, typen oksidit 1 000 tonnia ja hiukkaset 63 tonnia. Vuoden 2005 metallipäästöt olivat: kromi 4,6 tonnia, nikkeli 0,8 tonnia ja sinkki 3,3 tonnia.

Kuvissa 35–37 on esitetty Outokummun Tornion tehtaiden rikkidioksidi-, typenoksidi-, hiukas-, kromi-, nikkeli-, sinkki-, arseeni-, kadmium-, lyijy- ja elohopeapäästöjen kehitys vuosina 2005–2017 sekä PAH-päästöjen kehitys vuosina 2014–2017.

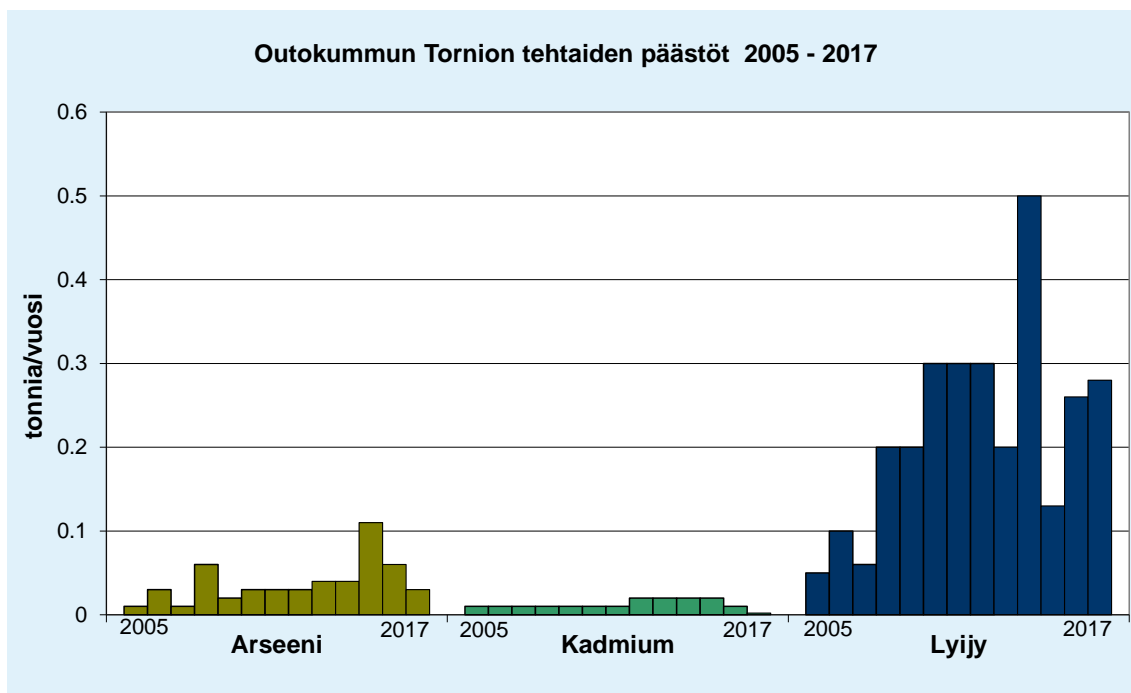
Päästöjen vuotuiset vaihtelut ovat olleet melko suuria. Erityisesti kromipäästöt ovat vaihdelleet paljon vuosittain. Vuonna 2014 kromi-, nikkeli- ja sinkkipäästöt olivat edellisvuosia suuremmat.



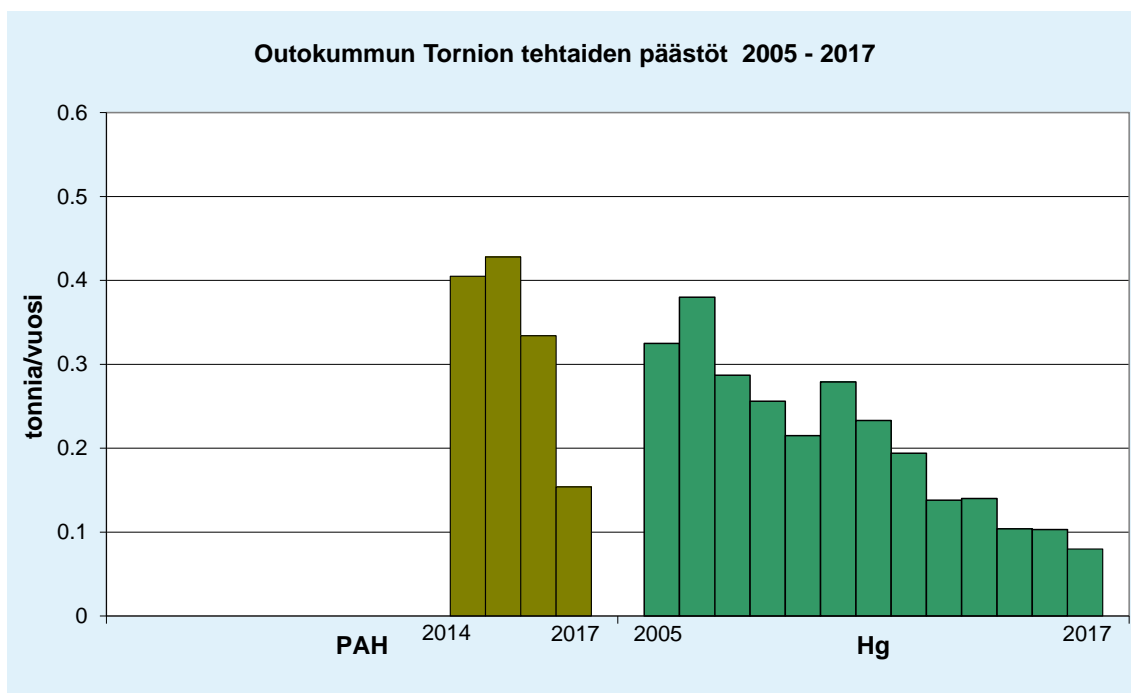
Kuva 35. Outokummun Tornion tehtaiden hiukkas-, typenoksidi- ja rikkidioksidipäästöt vuosina 2005–2017. Päästötiedot on saatu toiminnanharjoittajalta.



Kuva 36. Outokummun Tornion tehtaiden kromi-, nikkeli- ja sinkkipäästöt vuosina 2005–2017. Päästötiedot on saatu toiminnanharjoittajalta.



Kuva 37. Outokummun Tornion tehtaiden arseeni-, kadmium- ja lyijypäästöt vuosina 2005–2017. Päästötiedot on saatu toiminnanharjoittajalta.



Kuva 38. Outokummun Tornion tehtaiden PAH- ja elohopeapäästöt vuosina 2005–2017. PAH-päästöjä on mitattu vasta vuodesta 2014 lähtien. Päästötiedot on saatu toiminnanharjoittajalta.

Lisäksi alueella toimii Tornion Voiman CHP-voimalaitos, jonka PAH-päästö vuonna 2017 oli 4,2 kg.

## 8. TAUSTATIETOA ILMAN EPÄPUHTAUKSISTA

### 8.1 Rikkidioksidi

Rikkidioksidi on väritön, vesiliukoinen kaasu, joka oksidoiduu helposti ilmassa esiintyvien hiukkasten ja pisaroiden pinnalla rikkitrioksidiksi ja sitä kautta rikkihapoksi. Rikkidioksidin pääasialliset lähteet ovat fossiilisten polttoaineiden poltto, rikkipitoisten malmien sulatus ja muut teollisuusprosessit. Kohonneita rikkidioksidipitoisuuksia muodostuu teollisuuspaikkakunnilla usein prosessihäiriöiden seurauksena. Suomessa autoliikenteen polttoaineiden rikkipitoisuus on nykyisin niin alhainen, etteivät autoliikenteen rikkidioksidipäästöt ole enää merkittävät ja altistuminen rikkidioksidille liikenneympäristöissä on vähäistä.

Hengitystiet ovat ainoa merkityksellinen altistumistie rikkidioksidille. Rikkidioksidin aiheuttamia äkillisiä oireita ovat yskä, hengenahdistus ja keuhkoputkien supistuminen. Rikkidioksidin on todettu lisäävän lasten ja aikuisten hengitystieinfektioita ja astmaatikkojen kohtauksia. Astmaatikot ovat selvästi muita herkempiä rikkidioksidin vaikutuksille ja kylmä ilma voi pahentaa rikkidioksidista johtuvia oireita. Useissa tutkimuksissa on havaittu korkeiden rikkidioksidipitoisuuksien ja hiukkasten yhteisvaikutus lisääntyneeseen kuolleisuuteen, hengityselinsairastavuuteen ja keuhkofunktioiden heikkenemiseen.

Rikkidioksidi happamoittaa maaperää ja vesistöjä. Maaperän happamoitumisesta on seurauksena kasveille tärkeiden ravinteiden huuhtoutumista ja niille haitallisten aineiden rikastumista (muun muassa alumiini). Vesistöissä happamoituminen voi muuttaa kasvi- ja eläinlajistoa. Rikkidioksidilla voi olla myös suoria haittavaikutuksia kasvien neulasiin ja lehtiin. Rikkilaskeuma ylittää paikoitellen varsinkin Etelä-Suomessa edelleen elollisen luonnon sietokykyä kuvaavan ns. kriittisen kuormituksen tason.

Ulkoilman rikkidioksidipitoisuudet ovat nykyisin alhaisella tasolla Suomessa. Rikkidioksidipäästöjen voimakkaan vähenemisen seurauksena taajama-alueiden rikkidioksidipitoisuudet ovat laskeneet lähelle tausta-alueiden pitoisuuksia, eivätkä maassamme voimassa olevat ohje- ja raja-arvot pääsääntöisesti ylity. Kohonneita rikkidioksidipitoisuuksia on havaittu ajoittain lähinnä teollisuusympäristöissä, energiantuotantolaitosten läheisyydessä ja satamissa.

Valtaosalla ilmanlaadun seuranta-alueista rikkidioksidipitoisuudet alittavat alemman arviointikynnyksen. Rikkidioksidipitoisuuksille annettu alempi arviointikynnys ylittyy ainoastaan Varsinais-Suomen ja Satakunnan seuranta-alueella Harjavallan Kalevassa. Lisäksi yksittäisinä vuosina rikkidioksidin vuorokausipitoisuuksille määritetyn arviointikynnyksen taso on ylittynyt pääkaupunkiseudun (Helsingin Länsisatama) ja Uudenmaan seuranta-alueilla (Porvoon Riemari), mutta ei kolmea kertaa viiden vuoden aikana. Myös seuranta-alueilla, joilla ei ole rikkidioksidipitoisuusmittauksia, voidaan arvioida alemman arviointikynnyksen alittuvan. Puhtailla tausta-alueilla rikkidioksidipitoisuuden vuosikeskiarvot ovat olleet noin 1–2 µg/m<sup>3</sup> (Komppula ym., 2014).

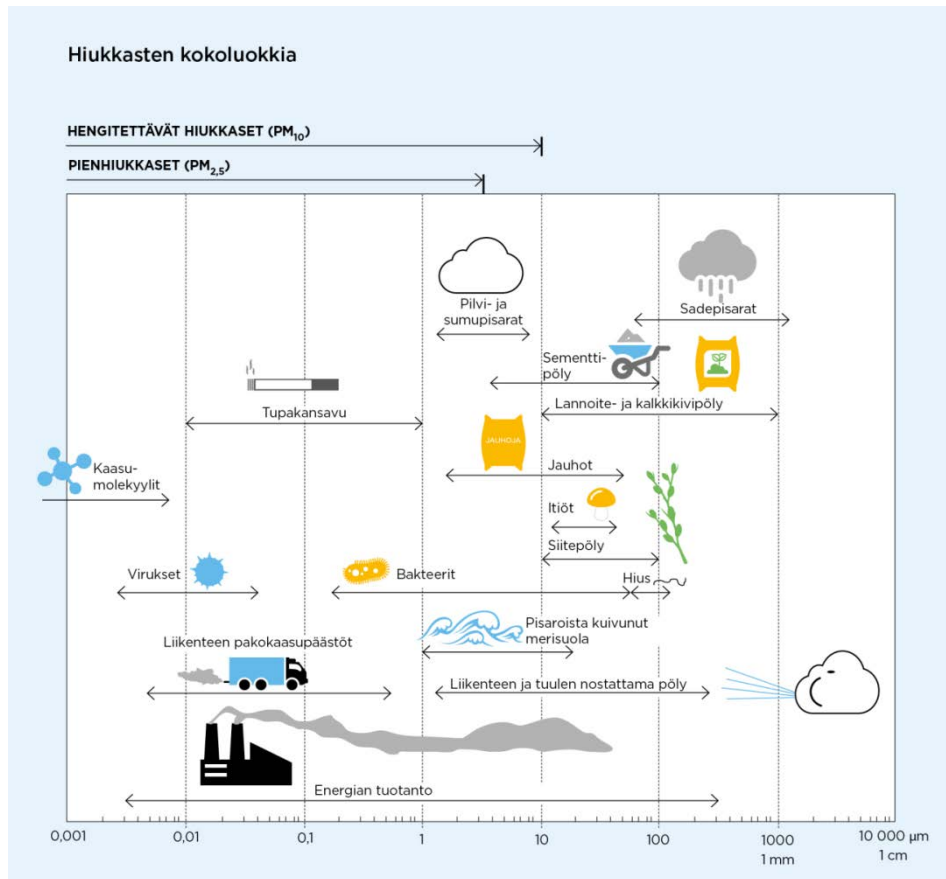
## 8.2 Hiukkaset

Hiukkaset ovat nykyisin tyypin oksidien ja selluntuotantopaikkakuntien haisevien rikkiyhdisteiden ohella merkittävin ilmanlaatuun vaikuttava tekijä maassamme. 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 sekä autojen pakokaasuista. Suorat hiukkaspäästöt ovat pääasiassa pieniä hiukkasia, joiden massa on varsin pieni ja lukumäärä suuri. Myös kaasumaisista yhdisteistä muodostuu ilmakehässä hiukkasia. Hiukkasiin on sitoutunut erilaisia haitallisia yhdisteitä kuten metalleja ja hiilivetyjä. Liikenteen pakokaasuhiukkaset ovat suurelta osin peräisin dieselajoneuvoista. Näiden hiukkasten 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 hengitysteihin ja poistuvat terveillä henkilöillä melko tehokkaasti elimistöstä. Kokonaisleijumasta käytetään lyhennettä TSP, joka tulee sanoista Total Suspended Particles.

Terveysvaikutuksiltaan haitallisempia ovat hengitettävät hiukkaset ja pienhiukkaset, jotka kykenevät tunkeutumaan syväälle ihmisten hengitysteihin: hengitettävät hiukkaset alempiin hengitysteihin eli henkitorveen ja keuhkoputkiin asti ja pienhiukkaset aina keuhkorakkuloihin saakka. Hengitettävälle hiukkasille, joiden aerodynaaminen halkaisija on alle 10 mikrometriä, on annettu kotimaiset ohje- ja raja-arvot ja pienhiukkasille vuosikeskiarvoa koskeva raja-arvo. Hengitettävistä ja pienhiukkasista käytetään lyhenteitä PM<sub>10</sub> ja PM<sub>2,5</sub> (PM = 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 kaasu-hiukkasmuuntuman 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 39.



Kuva 39. Hiukkasten kokoluokkia. Hiukkasten koko ilmaistaan halkaisijana mikrometreissä ( $\mu\text{m}$ ). Mikro ( $\mu$ ) etuliite tarkoittaa miljoonasosaa. 1  $\mu\text{m}$  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 astmakohtauksia 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.

Suurimmat hiukkaspitoisuudet esiintyvät vilkkaasti liikennöidyissä kaupunkikeskustoissa. Suomessa hiukkaspitoisuudet kohoavat yleensä voimakkaasti keväällä maaliskuun huhtikuun, kun maanpinnan kuivuu tuuli ja liikenne nostattavat katupölyä ilmaan. Pitoisuuksien kohoamista esiintyy taajamissa usein myös syys-

marraskuussa talvirengaskauden alettua. Liikenteen vaikutukset korostuvat matkailan päästökorkeuden vuoksi. Hiukkasten pitoisuuksien kohoamiseen vaikuttaa ajoittain merkittävästi myös ulkomailta peräisin oleva kaukokulkeuma.

Hengitettävälle hiukkasille annettu vuorokausiohjearvo ylittyy keväisin yleisesti Suomen kaupungeissa. Hengitettävien hiukkasten vuorokausipitoisuudelle annettu raja-arvo sen sijaan ei ole ylittynyt viime vuosina mutta raja-arvoa vastaava pitoisuustaso,  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , ylittyy vuosittain yleisesti maamme kaupungeissa lähinnä keväisin. Suomen kuntien ilmanlaadun mittausverkkojen tulosten mukaan näitä raja-arvotason ylityksiä esiintyi vuonna 2016 yhteensä yli 300 (*Ilmanlaatuportaali, 2018*). Hengitettävien hiukkasten vuosikeskiarvopitoisuudelle annettu raja-arvo alittuu Suomessa. Suurimpien kaupunkien keskusta-alueilla on mitattu useina vuosina yli  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ :n hengitettävien hiukkasten pitoisuuden vuosikeskiarvoja. Pienempienkin kaupunkien keskusta-alueilla hengitettävien hiukkasten pitoisuuden vuosikeskiarvot voivat ylittää  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (*Komppula ym., 2014*). Puhtailla tausta-alueilla vuosikeskiarvopitoisuudet ovat olleet Etelä-Suomessa noin  $9\text{--}12 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ja Pohjois-Suomessa noin  $3\text{--}6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Pienhiukkaspitoisuuden ( $\text{PM}_{2,5}$ ) vuosikeskiarvolle määritetty raja-arvo  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$  alittuu kaikkialla Suomessa. Korkeimmillaan vuosipitoisuus on ollut Helsingin vilkkaasti liikennöidyillä keskusta-alueilla noin  $12\text{--}14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Maaseututausta-alueilla pitoisuustaso on Etelä-Suomessa noin  $7\text{--}10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , Keski-Suomessa noin  $4\text{--}7 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ja Pohjois-Suomessa noin  $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Pitoisuuserot erityyppisten mittausympäristöjen välillä ovat melko pieniä: kaupunkiympäristön päästölähteet kohottavat vuositasolla pitoisuuksia liikenneympäristöissä noin  $3\text{--}4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ja kaupunkitausta-alueilla noin  $1\text{--}2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  taustapitoisuuksista. Pienhiukkasten taustapitoisuudesta valtaosa on kaukokulkeutunutta hiukkasainesta. Kaukokulkeuma muodostaa huomattavan osan myös kaupunki-ilman pienhiukkaspitoisuuksista (*Komppula ym., 2014*).

### 8.3 Elohopea

Elohopea esiintyy ilmassa pääasiallisesti kaasuna, joka on väritön ja veteen liukenematon. Tausta-alueilla kaasumainen elohopea koostuu lähes kokonaan metallisesta elohopeasta. Metallisen elohopean elinaika on puolesta vuodesta kahteen vuoteen ja se voi levitä ilmakehässä maailmanlaajuisesti. Lähellä päästölähteitä elohopea voi esiintyä myös kaasumaisina elohopeayhdisteinä ja hiukkasiin sitoutuneena. Suomessa elohopean pääasialliset lähteet ovat energiantuotanto ja teollisuusprosessit. Liikenteen elohopeapäästöt ovat hyvin vähäiset. Suomen elohopeapäästöt ovat olleet 2010-luvulla  $600\text{--}900 \text{ kg}$  vuodessa (SYKE, 2017).

Kaasumaiselle elohopealle ei ole annettu ilmanlaadun ohje-, raja- tai tavoitearvoa lainsäädännössä. Suomessa elohopeaa mitataan jatkuvatoimisesti kolmella tausta-asemalla (Virolahti, Hyytiälä, Pallas) EU:n ilmanlaatudirektiivien mukaisesti Ilmatieteen laitoksen toimesta. Näiden asemien vuosikeskiarvot ovat olleet  $1,1\text{--}1,5 \text{ ng}/\text{m}^3$  viiden viimeisen vuoden aikana, ja pitoisuus edustaa tyypillistä kaasumaisen elohopean taustapitoisuutta. Tyypillisesti tausta-asemilla korkeimmat hetkelliset pitoisuudet ovat alle  $5 \text{ ng}/\text{m}^3$ . Helsingissä ilman kaasumaista elohopeaa on mitattu vuonna 2006–2007 Isosaaren kaupunkitausta-asemalla, ja tällöin vuoden mittaisen kampanjan keskiarvoinen elohopeapitoisuus oli  $1,5 \pm 0,2 \text{ ng}/\text{m}^3$  (*Kyllönen et al., 2014*). Suomen merkittävimmillä kaupunki- ja teollisuusalueilla on myös tehty lyhytkestoinen kampanja, jossa mitattiin kaasumaista elohopeaa liikkuvasta autosta käsin jatkuvatoimisella analysointilaitteella (*Kyllönen et al., 2014*). Tällöin korkeimmat pi-

toisuudet mitattiin Äetsän ja Kuusankosken kemikaalitehtaiden, Riihimäen jätteenkäsittelylaitoksen ja Oulun teollisuusalueen läheisyydessä hetkellisen maksimipitoisuuden ollessa 14 ng/m<sup>3</sup>. Tällöin Tornion teollisuusalueen läheisyydessä mitattiin korkeimmillaan 3 ng/m<sup>3</sup>. Koska kunkin alueen mittaus oli kyseisen kampanjan aikana hyvin lyhytkestoinen (20–60 min), se ei anna todellista kuvaa alueen ilman yleisestä elohopeapitoisuudesta.

Maailman terveysjärjestö WHO on nostanut elohopean kymmenen terveydelle haitallisimman kemiallisen aineen listalle. Vaikka amalgaamipaikoista irtoava metallinen elohopea on ollut pitkään elohopean kokonaissaannin kannalta tärkein, joskin väistynyt lähde, niin tärkeimmät terveysvaikutukset liittyvät ravinnon ja ennen kaikkea järvi- ja merialueiden petokaloista saatavaan metyylielohopeaan (Mannio et al., 2016). Kalojen metyylielohopea on peräisin ilmakehän epäorgaanisen elohopean päästöistä, kun ilman elohopea päätyy laskeuman mukana maaperään ja vesistöihin ja muuntuu hapettomissa oloissa erityisen vaaralliseksi metyylielohopeaksi. Hengitysteitse tapahtuvasta altistuksesta metallinen elohopea imeytyy noin 80 prosenttisesti elimistöön, kun taas elohopean yhdisteet imeytyvät vähäisemmin (TTL, 2016). Tästä suurin osa kertyy munuaisiin, noin 50–90 % elimistön kuormasta. Elohopea on tunnettu hermosto- ja munuaismyrky, ja metyylielohopea on luokiteltu mahdollisesti syöpävaaralliseksi aineeksi ihmiselle. Terveysvaikutustutkimuksissa elohopean haitalliset seuraukset on kuitenkin yhdistetty korkeaan elohopea-altistukseen, esim. työpaikoilla tai runsaasti kalaa sisältävän ruokavalion myötä.

#### 8.4 Arseeni ja metallit

Arseenia ja metalleja pääsee ulkoilmaan sekä kaasuina että hiukkasiin sitoutuneina pääasiassa erilaisista metalliteollisuusprosesseista, energiantuotannosta, jätteenpoltosta ja liikenteestä sekä myös luonnollisista lähteistä, kuten metsäpalojen, tuulieroosion ja tulivuorten purkausten vaikutuksesta. Poltto- ja teollisuusprosesseista peräisin olevat hiukkaset sisältävät useita terveydelle haitallisia alkuaineita, kuten arseenia, kadmiumia, nikkeliä ja lyijyä. Näitä aineita voi myös rikastua maaperään, jolloin niitä löytyy myös maasta takaisin ilmaan nousseista hiukkasista.

Kadmium (Cd), nikkeli (Ni) ja arseeni (As) ovat tässä tutkimuksessa hiukkasnäytteistä määritetyistä alkuaineista terveys- ja ympäristövaikutuksiltaan merkittävimpiä. Niiden vuosikeskiarvopitoisuuksille on Suomessa säädetty tavoitearvot (Vna 113/2017). Myös ulkoilman lyijyn (Pb) vuosipitoisuuksille on annettu raja-arvo (Vna 79/2017), mutta raja-arvo alittuu selkeästi kaikkialla Suomessa eikä lyijy ole enää keskeinen ilmanlaatutekijä maassamme. Arseenin, kadmiumin, lyijyn ja nikkelin pitoisuudet ilmassa ovat yleensä alhaiset Euroopassa, ja raja- tai tavoitearvojen ylityksiä esiintyy vain muutamissa paikoissa. Nämä epäpuhtaudet aiheuttavat kuitenkin laskeumaa ja myrkyllisten metallitasojen kertymistä maaperään, sedimentteihin ja organismeihin (EEA, 2017).

##### Arseeni

Arseeni esiintyy ympäristössä kolmi- tai viisiarvoisina epäorgaanisina, vesiliukoisina ja heikosti vesiliukoisina suoloina sekä kaasumaisina epäorgaanisina ja orgaanisina arseeniyhdisteinä. Luonnossa arseeni on sulfidina monien kaivannaismetallien sulfidien yhteydessä. Arseeni esiintyy pääasiassa ulkoilman pienissä hiukkasissa, jotka ovat kooltaan luokkaa 1 µm tai sitä pienempiä. Arseenin keskeisiä päästöläh-



teitä Suomessa ovat energiantuotanto, teollisuusprosessit ja jätehuolto. Arseenin kokonaispäästöiksi Suomessa on arvioitu 2,4 tonnia (Syke, 2017). Helsingin Kallion kaupunkitaustaa edustavalla ilmanlaadun mittausasemalla kadmiumin vuosikeskiarvot ovat vuosina 2009–2015 vaihdelleet välillä 0,3–0,9 ng/m<sup>3</sup> (HSY, 2016). Raahen Lapaluodon teollisuutta edustavalla ilmanlaadun mittausasemalla pitoisuudet puolestaan ovat olleet 0,4–1,5 ng/m<sup>3</sup> vuosina 2009–2016 (Ramboll, 2017).

Arseenille altistutaan pääasiallisesti ruoansulatuskanavan kautta ruoan ja juomaveden välityksellä. Eurooppalaisissa arvioissa on esitetty, että vain alle 1 % kokonaisannoksesta saataisiin normaalioloissa hengitysilma. Työperäisissä altistuksissa, joissa arseenipitoisuudet ovat merkittävästi korkeampia kuin ulkoilmassa, on arseenin todettu lisäävän sydänkuoleman riskiä, aiheuttavan maksasairauksia, ruoansulatuskanavan, keskus- ja ääreishermoston oireita, allergisia ja muita iho-oireita sekä vaikuttavan verisolujen muodostumiseen luuytimessä. Epäorgaaniset arseeniyhdisteet ovat ihmisille iho- ja keuhkosityöpää aiheuttavia aineita. Hengitysteitse saatavien arseeniannosten kannalta keuhkosityöpä on merkittävin pitkäaikaisen altistumisen lopputila.

## Kadmium

Kadmium on pehmeä, hopeanvalkea metalli, joka höyrystyessään hapettuu nopeasti kadmiumoksidiksi. Monet epäorgaaniset kadmiumyhdisteet liukenevat hyvin veteen. Kadmium rikastuu pääasiassa ulkoilman pieniin hiukkasiin, jotka ovat kooltaan luokkaa 1 µm tai sitä pienempiä. Kadmiumin keskeisiä päästölähteitä Suomessa ovat energiantuotanto, teollisuusprosessit, jätehuolto ja liikenne. Kadmiumin kokonaispäästöiksi Suomessa on arvioitu 0,9 tonnia (Syke, 2017). Helsingin Kallion kaupunkitausta-asemalla kadmiumin vuosikeskiarvot ovat vuosina 2009–2015 olleet 0,1–0,2 ng/m<sup>3</sup> (HSY, 2016). Raahen Lapaluodon teollisuusasemalla pitoisuudet ovat vastaavasti olleet 0,1–1,4 ng/m<sup>3</sup> vuosina 2009–2016 (Ramboll, 2017).

Ihmiset altistuvat kadmiumille hengitysilman, juomaveden ja ravinnon kautta. Koska kadmiumyhdisteet imeytyvät ruoansulatuskanavaan melko huonosti, on hengityselinten kautta saatu altistus terveysvaikutusten kannalta tärkeä. Tupakointi lisää merkittävästi kadmiumin altistusannosta. Korkeilla, pitkäaikaisilla työperäisillä kadmiumpitoisuuksilla on havaittu olevan yhteyttä eturauhasen sekä ylähengitysteiden ja keuhkojen syöpien lisääntymiseen ja krooniselle keuhkotulehdukselle ominaisiin oireisiin ja löydöksiin. Kadmium kertyy maksaan ja munuaisiin, joista se poistuu vasta vuosikymmenien kuluessa. Munuaisiin kertymiseen voi myös liittyä elinten vajaatoimintaa. Kansainvälinen syöpätutkimuskeskus, IARC, on luokitellut kadmiumin ihmisille syöpävaaralliseksi. Myös Euroopan unionin luokittelun mukaan kadmium ja sen monet yhdisteet katsotaan syöpää aiheuttaviksi, mutta kadmiumin merkitystä eurooppalaisissa ulkoilmapitoisuuksissa syöpää aiheuttavana tekijänä ei ole yleisesti hyväksytty. Maailman Terveysjärjestö, WHO, määrittelee kadmiumin pitkäaikaisvaikutuksien rajoittamista varten viimeksi esittämänsä ohjearvon lähtien kadmiumin väestölle aiheuttamista munuaisiin kohdistuvista haitoista.

## Nikkeli

Nikkeli on hopeanvalkoinen, kova metalli, joka esiintyy pääasiassa kaksiarvoisena sekä orgaanisissa että epäorgaanisissa yhdisteissä. Nikkeliä esiintyy yleisesti maaperässä ja sitä on rikastuneena raakaöljyyn. Nikkeliä käytetään runsaasti teräksen ja metallisekoitteiden tuotannossa. Muita käyttöalueita ovat muun muassa

keramiikka, paristot, elektroniikka sekä lasin ja muovien värjäys. Toisin kuin arseenia ja kadmiumia, nikkeliä esiintyy ulkoilmassa melko runsaasti myös karkeammissa hiukkasissa, jotka ovat kooltaan muutamasta mikrometristä ylöspäin.

Nikkeliä vapautuu ulkoilmaan pääasiassa polttoaineiden ja jäteöljyn poltossa sekä nikkelimalmiin louhinnassa ja jalostuksessa. Ulkoilman tärkeitä nikkeliyhdisteitä ovat nikkelisulfaatti ja nikkelioksidi, joita syntyy esimerkiksi energiantuotannossa. Öljyn ja hiilen poltossa muodostuvat hiukkaset sisältävät lisäksi myös monimutkaisia metallioksiedeja ja metalliteollisuuden päästöissä esiintyy myös metallista nikkeliä. Nikkelin kokonaispäästöiksi Suomessa on arvioitu 17 tonnia (Syke, 2017). Helsingin Kallion kaupunkitausta-asemalla nikkelin vuosikeskiarvot ovat vuosina 2009–2015 vaihdelleet välillä 2–4 ng/m<sup>3</sup> (HSY, 2016). Raahen Lapaluodon teollisuusasemalla pitoisuudet ovat vastaavasti olleet 2,7–9,0 ng/m<sup>3</sup> vuosina 2009–2016 (Ramboll, 2017).

Kun otetaan huomioon ulkoilman nikkelpitoisuuksien taso, merkittävin nikkeli-altistus saadaan Suomessa ja koko Euroopassa yleensä ruoan välityksellä. Keuhkoihin kohdistuvassa altistuksessa tupakoinnilla on erittäin suuri merkitys: tupakoitsijan saama annos voi olla jopa monikymmenkertainen tupakoimattoman henkilön saamaan nähden. Nikkelin aiheuttamia yleisiä terveyshaittoja ovat myös allergiset kontakti-ihottumat, hengitysteihin kohdistuvat vaikutukset, limakalvojen ärsytys sekä elimistön immuuni- ja puolustusjärjestelmään kohdistuvat vaikutukset. Euroopan unionin luokittelun mukaan useat nikkeliyhdisteet on todettu syöpää aiheuttaviksi ja monet nikkeliyhdisteet arvioitu mahdollisiksi karsinogeeneiksi. Lukuun ottamatta metallista nikkeliä, myös Kansainvälinen syöpätutkimuskeskus, IARC, on luokitellut nikkeliyhdisteet ihmisille syöpävaarallisiksi. Maailman Terveysjärjestö, WHO, määrittelee nikkelin ohjearvon lähtien nikkelin ihmisille aiheuttamasta keuhkosityöpärisistä.

## 8.5 Ionit

Ulkoilman hiukkasissa on huomattava osuus epäorgaanisia suoloja, jotka koostuvat ioneista. Tässä tutkimuksessa hengitettävistä hiukkasista määritettiin pääionit eli anioneista kloridi, nitraatti ja sulfaatti sekä kationit natrium, ammonium, kalium, magnesium ja kalsium. Epäorgaanisten suolojen lisäksi ilman hiukkasissa on runsaasti epäorgaanista hiiltä ja orgaanisia hiiliyhdisteitä.

Teollisuudesta ja energiantuotannosta päässyt rikkidioksidi hapettuu vähitellen ilmakehässä rikkihapoksi ja reagoi muodostaen happamia sulfaatteja. Ulkoilman tärkein emäksinen kaasu, ammoniakki, reagoi hyvin nopeasti muodostaen ammoniumvetysulfaattia ja ammoniumsulfaattia. Mikäli ammoniakkia on ylimäärin, syntyy myös ammoniumnitraattia. Ammoniumsulfaatti ja -nitraatti voivat myös kulkea ilmassa kaukokulkeutumana pitkiäkin matkoja päästölähteestä.

Ilman hiukkasten sisältämä natriumkloridi on yleensä pääasiassa peräisin merisuolasta. Lisäksi merisuolassa on hyvin vähäisiä määriä magnesiumsulfaattia ja kaliumsuoloja. Maaperästä ilmaan emittoituneet hiukkaset sisältävät etenkin kalsiumia, rautaa ja alumiinia. Puunpolton yhteydessä syntyvissä hiukkasissa on kaliumia.

## 8.6 PAH-yhdisteet

Polysykliset aromaattiset hiilivedyt eli PAH-yhdisteet ovat orgaanisia yhdisteitä, jotka muodostuvat vähintään kahdesta toisiinsa yhdistyneestä kokonaan hiilestä ja vedystä koostuvasta aromaattisesta renkaasta. PAH-yhdisteitä muodostuu palamisprosesseissa orgaanisen aineksen epätäydellisen palamisen seurauksena. PAH-yhdisteitä syntyy siten energiantuotannossa, liikenteessä (dieselmoottorit), kotitalouksien puun pienpoltossa, kulutuksessa, jätteenpoltossa, öljynjalostuksessa, alumiinin tuotannossa sekä kaksin valmistuksessa. Liikenne on merkittävin ilmanlaatuun vaikuttava PAH-yhdisteiden lähde kaupunkien keskustoissa ja vilkkaasti liikennöityjen teiden varsilla matalasta päästökorkeudesta johtuen. Pientaloalueilla kotitalouksien puunpoltto on merkittävin PAH-päästöjen lähde. Arkielämässä merkittävimpiä PAH-yhdisteiden lähteitä ovat muun muassa pakokaasut, tupakansavu, noki sekä ruoanvalmistus paahtamalla ja grillaamalla. Luonnollisia lähteitä ovat metsäpalot ja tulivuoren purkaukset.

PAH-yhdisteiden fysikaalis-kemialliset ominaisuudet vaihtelevat huomattavasti, mutta osa PAH-yhdisteistä on helposti haihtuvia. Ne vapautuvat ilmaan ja kulkeutuvat ilmakehässä pitkiä matkoja. PAH-yhdisteet esiintyvät joko kaasumaisessa olomuodossa tai sitoutuneina ilmassa oleviin pienhiukkasiin. PAH-yhdisteet, jotka sisältävät viisi rengasta tai enemmän havaitaan lähinnä hiukkasiin sitoutuneina kun taas 2–3 rengasta sisältävät ovat lähes ainoastaan kaasumaisessa olomuodossa. Vaihtelevuudet olomuodossa liittyvät pääasiassa 4 rengasta sisältäviin PAH-yhdisteisiin, kuten fluoranteeniin, pyreeniin, bentso(a)antraseeniin ja kryseeniin (*European Commission, 2001*). Bentso(a)pyreeni on viisirenkainen hiilivety, joka kiinnittyy palamisessa syntyviin pienhiukkasiin. PAH-yhdisteet ovat karsinogeenisiä ja ulkoilman PAH-yhdisteet lisäävät erityisesti keuhkosityöpään sairastumisen riskiä. PAH-altistuksen ja yhdisteiden aiheuttaman syöpäriskin merkkiaineena käytetään bentso(a)pyreeniä.

Bentso(a)pyreenin pitoisuudet ja vuodenaikaisvaihtelu kuvaavat hyvin muidenkin PAH-yhdisteiden ominaisuuksia. Talvella PAH-yhdisteiden pitoisuudet ovat suurempia kuin kesällä, koska mm. energiantuotannon ja puunpolton takia PAH-yhdisteiden päästöt ovat talvikaudella suuremmat. Toisin kuin monet muun ilmaansaasteen päästöt, bentso(a)pyreenin päästöt ilmaan ovat kasvaneet Euroopassa viime vuosina. Tämä johtuu suurimmaksi osaksi lisääntyneestä biomassan poltosta. Noin neljäsosa Euroopan kaupunkien väestöstä altistui EU:n tavoitearvon  $1 \text{ ng/m}^3$  ylittävälle bentso(a)pyreenipitoisuuksille (*EEA, 2017*).

Suomessa bentso(a)pyreeni on tyypillisesti pientaloalueiden ongelma. Näillä alueilla poltetaan paljon puuta ja mitatut pitoisuuksien vuosikeskiarvot ovat usein tavoitearvon tuntumassa. Korkeita pitoisuuksia esiintyy erityisesti talvisin. Virallisesti EU:n bentso(a)pyreenin tavoitearvon  $1 \text{ ng/m}^3$  ylityksiä ( $1,5 \text{ ng/m}^3$  tai sen yli) ei Suomessa mitattu vuonna 2016. Suomen korkein vuosikeskiarvo  $1,0 \text{ ng/m}^3$  mitattiin Raahessa. bentso(a)pyreenin mittauksia on Suomessa melko harvassa, mutta mallilaskelmien mukaan tavoitearvoa lähellä olevia tai jopa sen ylittäviä pitoisuuksia esiintyisi melko tasaisesti ympäri Suomea asutuskeskuksissa alueilla, joissa on paljon puunpolttoa (*Ilmatieteen laitos, 2018*).

## 9. ILMANLAADUN OHJE-, RAJA- JA TAVOITEARVOT

*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*). Hengitettävien hiukkasten ja rikkidioksidin pitoisuutta koskevat ohjearvot tilastollisine määrittelyineen on esitetty taulukossa 12.

*Raja-arvot* ovat ilman epäpuhtauden pitoisuuksia, jotka on alitettava määräajassa. Kun raja-arvo on alitettu, sitä ei enää saa ylittää. Raja-arvot ovat sitovia. Raja-arvon ylittyessä on kunnan ryhdyttävä ympäristönsuojelulain mukaisiin toimiin ja laadittava ilmansuojelusuunnitelma ilmanlaadun parantamiseksi ja raja-arvon ylitysten estämiseksi. Tällaisia toimia voivat olla esimerkiksi määräykset liikenteen tai päästöjen rajoittamisesta. Ilmanlaadun raja-arvot on määritelty valtioneuvoston antamassa ilmanlaatuasetuksessa (*Vna 79/2017*). Ilmanlaatuasetuksen mukaiset hengitettävien hiukkasten, rikkidioksidin ja lyijyn pitoisuuksia koskevat raja-arvot on esitetty taulukossa 13.

*Tavoitearvolla* tarkoitetaan ilmassa olevaa pitoisuutta, joka on mahdollisuuksien mukaan alitettava määräajassa ja jolla pyritään välttämään, ehkäisemään tai vähentämään ihmisten terveyteen ja ympäristöön kohdistuvia haitallisia vaikutuksia. Tavoitearvoja on annettu muun muassa hiukkasten sisältämien arseenin, nikkelin ja kadmiumin pitoisuuksille. Näiden aineiden tavoitearvot on määritelty valtioneuvoston asetuksessa *Vna 113/2017* ja ne on esitetty taulukossa 13.

*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 mallintamista tai muita menetelmiä kuten päästökartoituksia.

Ylemmän ja alemman arviointikynnyksen ylittyminen määritetään viiden edellisen vuoden pitoisuuksien perusteella. Arviointikynnyksen katsotaan ylittyneen, kun se on ylittynyt vähintään kolmena vuotena viidestä. Arviointikynnykset on määritelty ilmanlaatuasetuksessa (*Vna 79/2017*).

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

Taulukko 12. Ulkoilman hengitettävien hiukkasten ja rikkidioksidin pitoisuutta koskevat ohjearvot (Vnp 480/1996).

Epäpuhtaus	Ohjearvo $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (20 °C, 1 atm)	Tilastollinen määrittely
Hengitettävät hiukkaset (PM <sub>10</sub> )	70	kuukauden toiseksi suurin vuorokausiarvo
Rikkidioksidi (SO <sub>2</sub> )	250	Kuukauden tuntiarvojen 99. prosenttipiste
	80	Kuukauden toiseksi suurin vuorokausiarvo

Taulukko 13. Ilmanlaadun raja-arvot, tavoitearvot ja arviointikynnykset (Vna 79/2017; Vna 113/2017).

Ilman epäpuhtaus	Tilastollinen tunnusluku	Ylempi arviointikynnys		Alempi arviointikynnys	
<b>Rikkidioksidi (SO<sub>2</sub>)</b> (µg/m <sup>3</sup> )	<b>Raja-arvo</b>				
24 tuntia (saa ylittyä 3 krt/vuosi)	125	75	(60 %)	50	(40 %)
	<b>Kriittinen taso</b>				
talvikausi (1.10.–31.3.) <sup>1)</sup>	20	12	(60 %)	8	(40 %)
<b>Typidioksidi (NO<sub>2</sub>)</b> (µg/m <sup>3</sup> )	<b>Raja-arvo</b>				
1 tunti (saa ylittyä 18 krt/vuosi)	200	140	(70 %)	100	(50 %)
Kalenterivuosi	40	32	(80 %)	26	(65 %)
<b>Typen oksidit (NO<sub>x</sub>)</b> (µg/m <sup>3</sup> ) <sup>1)</sup>	<b>Kriittinen taso</b>				
Kalenterivuosi	30	24	(80 %)	19,5	(65 %)
<b>Hengitettävät hiukkaset (PM<sub>10</sub>)</b> (µg/m <sup>3</sup> )	<b>Raja-arvo</b>				
24 tuntia (saa ylittyä 35 krt/vuosi)	50	35	(70 %)	25	(50 %)
vuosi	40	28	(70 %)	20	(50 %)
<b>Pienhiukkaset (PM<sub>2,5</sub>)</b> (µg/m <sup>3</sup> )	<b>Raja-arvo</b>				
kalenterivuosi	25	17	(70 %)	12	(50 %)
<b>Lyijy (Pb)</b> (µg/m <sup>3</sup> )	<b>Raja-arvo</b>				
kalenterivuosi	0,5	0,35	(70 %)	0,25	(50 %)
<b>Arseeni (As)</b> (ng/m <sup>3</sup> )	<b>Tavoitearvo</b>				
kalenterivuosi	6	3,6	(60 %)	2,4	(40 %)
<b>Kadmium (Cd)</b> (ng/m <sup>3</sup> )	<b>Tavoitearvo</b>				
kalenterivuosi	5	3	(60 %)	2	(40 %)
<b>Nikkeli (Ni)</b> (ng/m <sup>3</sup> )	<b>Tavoitearvo</b>				
kalenterivuosi	20	14	(70 %)	10	(50 %)
<b>Bentso(a)pyreeni (BaP)</b> (ng/m <sup>3</sup> )	<b>Tavoitearvo</b>				
kalenterivuosi	1	0,6	(60 %)	0,4	(40 %)

<sup>1)</sup> Kriittinen taso kasvillisuuden ja ekosysteemien suojelemiseksi

<sup>2)</sup> Kaasumaisilla yhdisteillä tulokset ilmaistaan 293 K lämpötilassa ja 101,3 kPa paineessa. Lyijyn ja hiukkasten tulokset ilmaistaan ulkoilman lämpötilassa ja paineessa.

## VIITELUETTELO

*Ashbaugh et al. 1985: ASHBAUGH, L.L., W.C. MALM and W.Z. SADEH, 1985. "A residence time probability analysis of sulfur concentrations at grand Canyon National Park". In: Atmospheric Environment (1967) 19.8, pp. 1263–1270. DOI: 10.1016/0004-6981(85)90256-2(cit.onpp.116,135).*

*Carslaw & Ropkins 2012. OpenAir – an R package for air quality data analysis. Environmental Modelling & Software. Volume 27–28, pp. 52–61.*

*Carslaw, D.C., 2015. The OpenAir manual – Opensource tools for analysing air pollution data. Manual for version 1.1–4, King's College London.*

*EEA, 2017. Air quality in Europe – 2017 report. EEA Report, No 13/2017. ISSN 1725-9177. <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2017>*

*EPA, 2018. PMF 5.0 <https://www.epa.gov/air-research/positive-matrix-factorization-model-environmental-data-analyses>*

*European Commission, 2001. Ambient air pollution by Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAH). Position Paper. Working group on Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. July 2001. Office for official publications of the European Communities.*

*European Commission, 2000. Ambient air pollution by As, Cd and Ni compounds. Position paper. Final version. Working group on arsenic, cadmium and nickel compounds. October 2000. Office for official publications of the European Communities.*

*Hopke, P. K., 2010. Receptor model methods – introduction and principles, parts 1 and 2. Receptor modeling workshop in IAC2010, Helsinki, Finland*

*Hopke, P.K. & Cohen, D.D., 2011. Application of receptor modeling methods, Atmospheric Pollution Research 2 (2011) 122–125.*

*HSY, 2016. Ilmanlaatu pääkaupunkiseudulla vuonna 2015. Helsingin seudun ympäristöpalvelut – kuntayhtymä, HSY:n julkaisuja 6/2016. <https://www.hsy.fi/sites/Esitteet/EsitteetKatalogi/Julkaisusarja/6-2016-Ilmanlaatu-pks-2015.pdf>*

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

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

*Ilmatieteen laitos, 2018a. Verkkosivu <http://ilmatieteenlaitos.fi/pah-yhdisteet>*

*Ilmatieteen laitos, 2018b. Tiedot Samsaltunturin ja Raja-Joosepin tausta-asemilla vuonna 2017 mitatuista hengitettävien hiukkasten pitoisuuksista.*

*Komppula, B. ja Hannuniemi, H., 2015.* Outokummun Tornion terästehtaan päästöjen leviämismalliselvitys. Ilmatieteen laitos, Asiantuntijapalvelut, Ilmanlaatu ja energia, Helsinki. 24 s. + 16 liites.

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

*Komppula, B., Saari, H. ja Pesonen, R., 2014b.* Ilmanlaatumittaukset Tornion Ruohokarissa ja Haaparannan Riekkolassa. Pienhiukkasten, hengitettävien hiukkasten, arseenin ja metallien pitoisuudet vuonna 2013. Ilmatieteen laitos, Asiantuntijapalvelut, Ilmanlaatu ja energia. Helsinki. 53 s. + 8 liites.

*Kuopio, 2016.* Kuopion ilmanlaatu vuonna 2015. Kuopion kaupunki, Alueelliset ympäristöpalvelut. <https://www.kuopio.fi/ilmanlaatu>

*Kyllönen, K., Paatero, J., Aalto, T., Hakola, H., 2014.* Nationwide survey of airborne mercury in Finland. *Boreal Environment Research* 19 (suppl. B): 355–367.

*Mannio, J., Rantakokko, P., Kyllönen, K., Anttila, P., Kauppi, S., Ruokojärvi, P., Hakola, H., Kiviranta, H., Korhonen, M., Salo, S., Seppälä, T., Viluksela, M., 2016.* Kaukokulkeutuvat ympäristömyrkyt Suomen pohjoisilla alueilla – LAPCON, Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 33/2016, 70+16 s.

*Oulun kaupunki, 2018.* Tiedot vuoden 2017 ilmanlaadusta Oulun Keskustan ja Pyykösjärven mittausasemilta. Heikki Orava, Oulun seudun ympäristötoimi. Sähköposti 28.2.2018.

*Ramboll, 2017.* Raahen alueen ilmanlaatu 2016. Ramboll Finland Oy.

*Saari, H., Kartastenpää, R. ja Lindgren, K., 1999.* Hiukkasmittaukset Torniossa. Ilmatieteen laitos, Ilmanlaadun tutkimus, Helsinki. 43 s. + 5 liites.

*Saari, H., Haaparanta, S. ja Pesonen, R., 2006.* Ilmanlaatumittaukset Torniossa vuonna 2005. Ilmatieteen laitos, Ilmanlaadun asiantuntijapalvelut, Helsinki. 60 s. + 10 liites.

*Saari, H., Komppula, B. ja Pesonen, R., 2015.* Ilmanlaatumittaukset Tornion Ruohokarissa ja Haaparannan Riekkolassa. Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet vuonna 2014. Ilmatieteen laitos, Asiantuntijapalvelut, Ilmanlaatu ja energia. Helsinki. 33 s. + 10 liites.

*Saari, H., Salmi, J., Kyllönen, K., Makkonen, U., Vestenius, M., Wemberg, A., Laakia, J. ja Latikka J., 2017.* Outokumpu Stainless Oy. Ilmanlaatumittaukset Tornion tehtaan ympäristössä. Rikkidioksidin, elohopean, hengitettävien hiukkasten, arseenin, metallien, PAH-yhdisteiden ja ionien pitoisuudet jaksolla tammikuu–kesäkuu 2017. Väliraportti. Asiantuntijapalvelut - Ilmanlaatu ja Energia, 37 s. + 5 liites.

*Syke, 2017.* Ilman epäpuhtauksien päästöt Suomessa. Suomen ympäristökeskus. [http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kartat\\_ja\\_tilastot/Ilman\\_epapuhtauksien\\_paastot](http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kartat_ja_tilastot/Ilman_epapuhtauksien_paastot)

*TTL, 2016.* Perustelumuihisto virtsan ja veren elohopean toimenpiderajoiksi. URL: <https://www.ttl.fi/wp-content/uploads/2016/11/Elohopea.pdf>



*Vestenius, M., Leppänen, S., Anttila, P., Kyllönen, K., Hatakka, J., Hellen, H., Hyvärinen, A-P., Hakola, H., 2011.* Background concentrations and source apportionment of polycyclic aromatic hydrocarbons in South-Eastern Finland. *Atmospheric Environment* (2011), 45, s. 3391–3399.

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

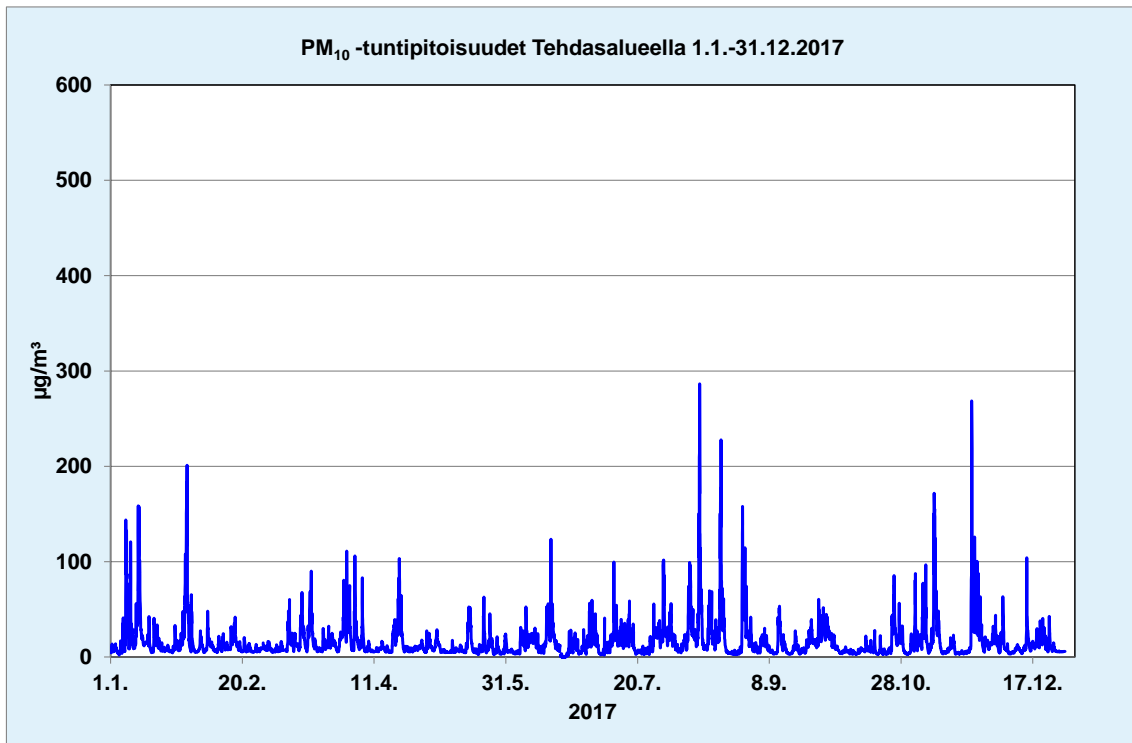
*Vna 113/2017.* Valtioneuvoston asetus ilmassa olevasta arseenista, kadmiumista, elohopeasta, nikkelistä ja polysyklisistä aromaattisista hiilivedyistä. Annettu Helsingissä 16.2.2017.

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

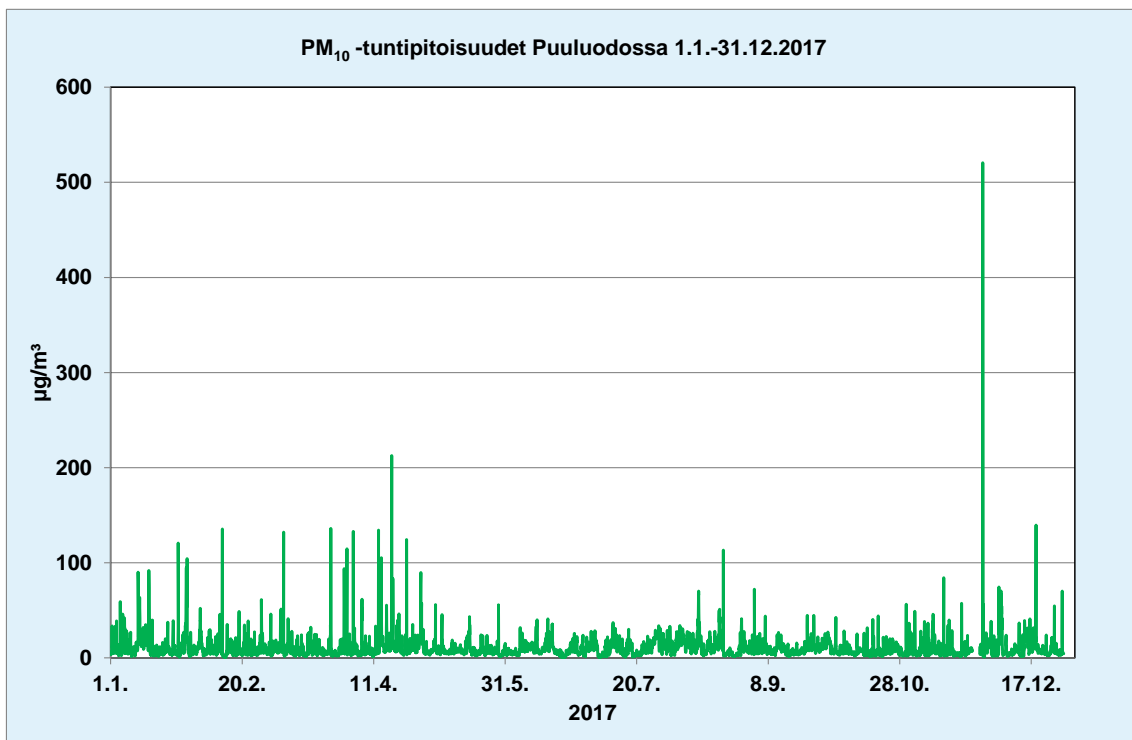
*Waldén, J., Waldén, T., Laurila, S., Hakola, H., 2017.* Demonstration of the equivalence of PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> measurement methods in Kuopio 2014–2015. Reports 2017:1. Finnish Meteorological Institute, Helsinki, 137 p.

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

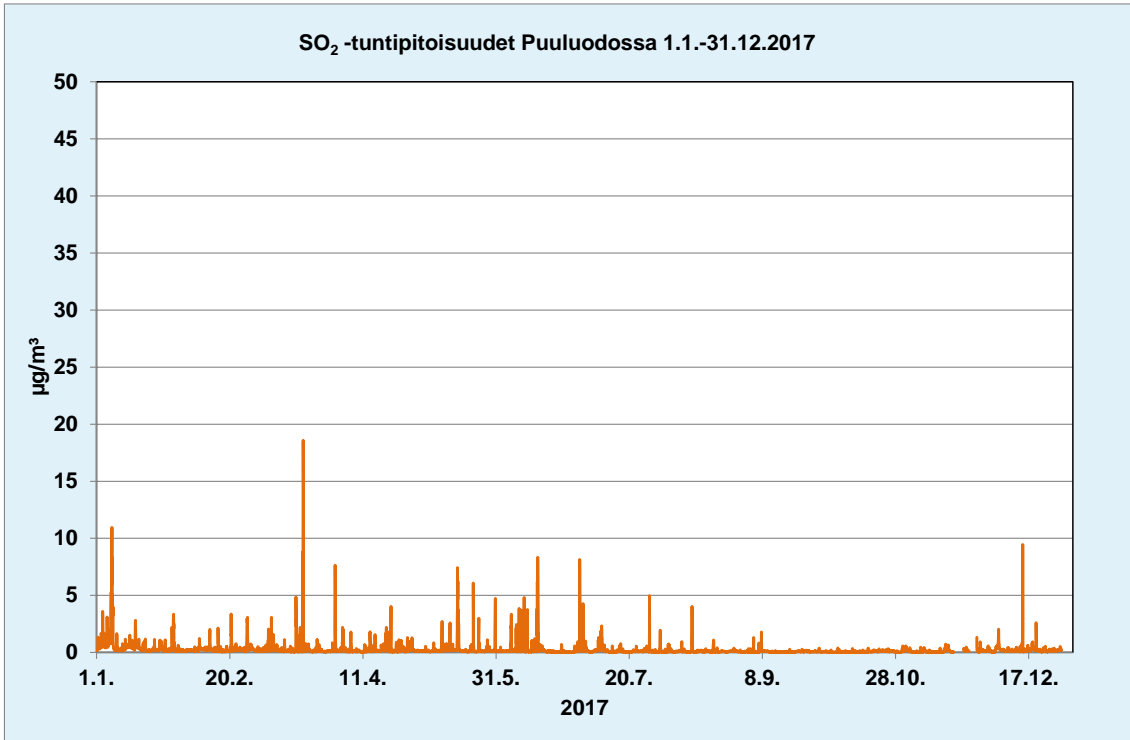
**LIITEKUVAT**



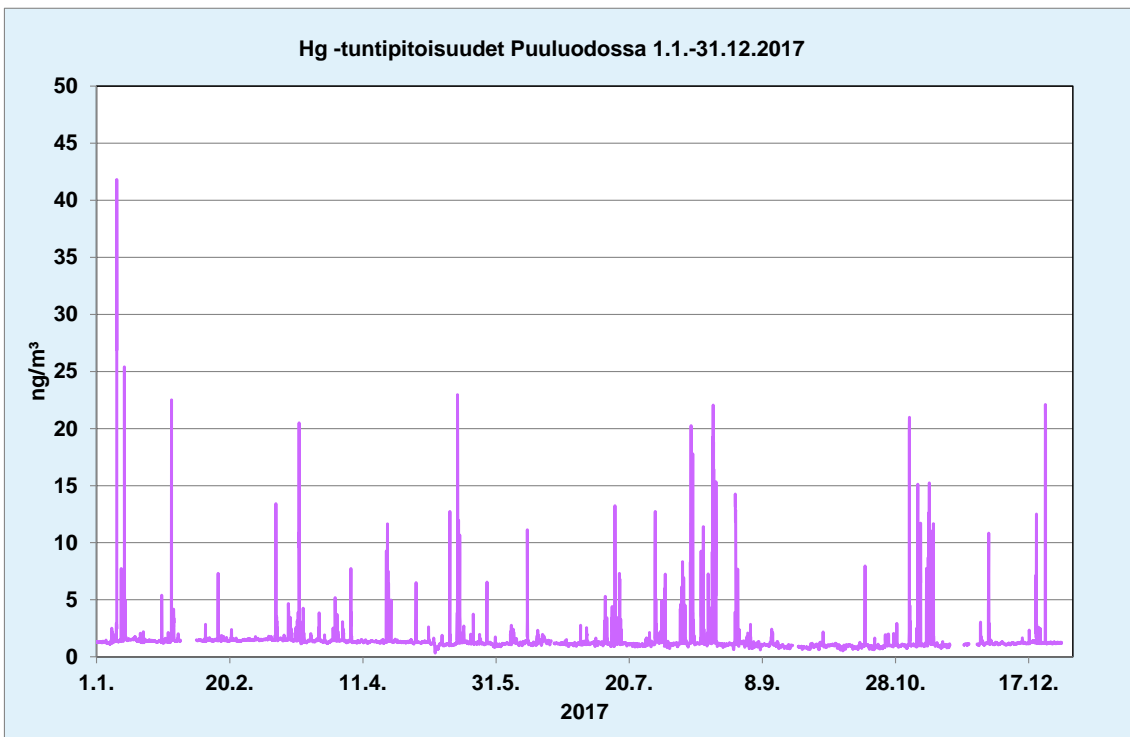
Liitekuva 1 Hengitettävien hiukkasten (PM<sub>10</sub>) tuntipitoisuudet Tornion Tehdasalueen mittauspisteessä vuonna 2017.



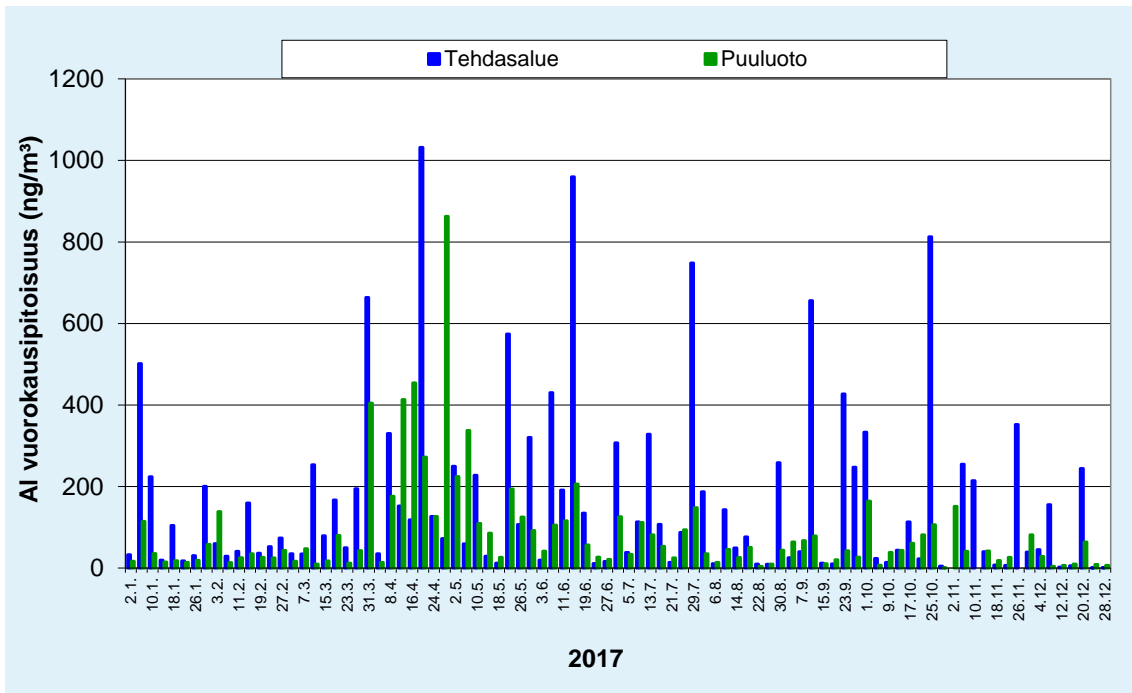
Liitekuva 2 Hengitettävien hiukkasten (PM<sub>10</sub>) tuntipitoisuudet Tornion Puuluodon mittauspisteessä vuonna 2017.



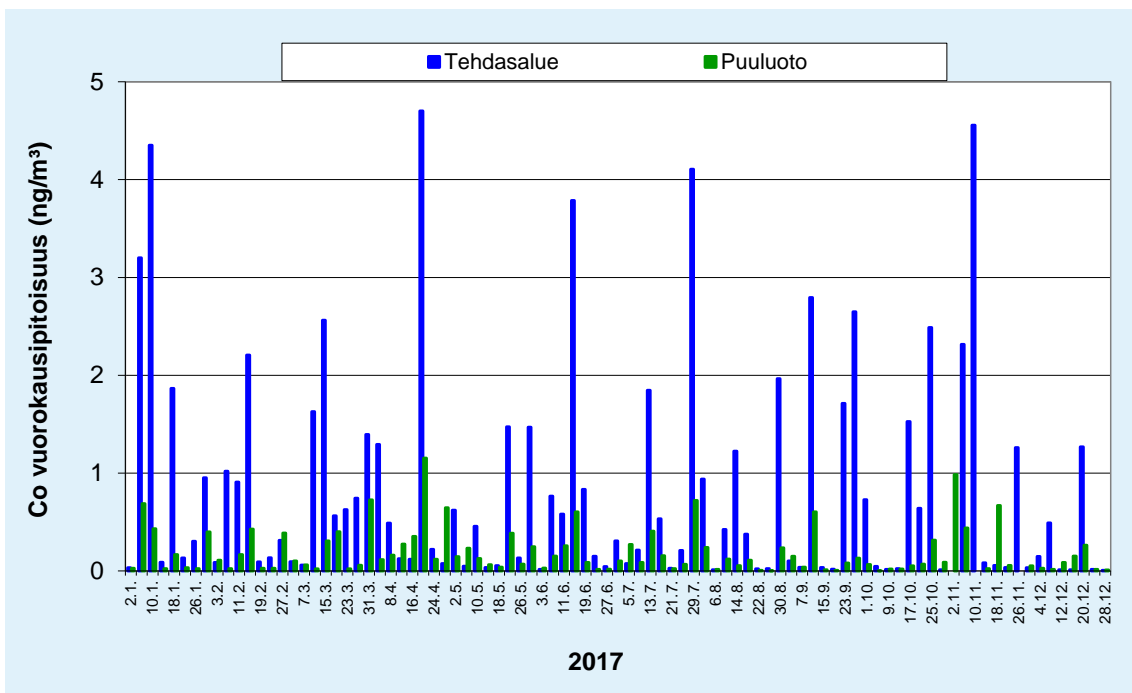
Liitekuva 3 Rikkidioksidin (SO<sub>2</sub>) tuntipitoisuudet Tornion Puuluodon mittauspisteessä vuonna 2017.



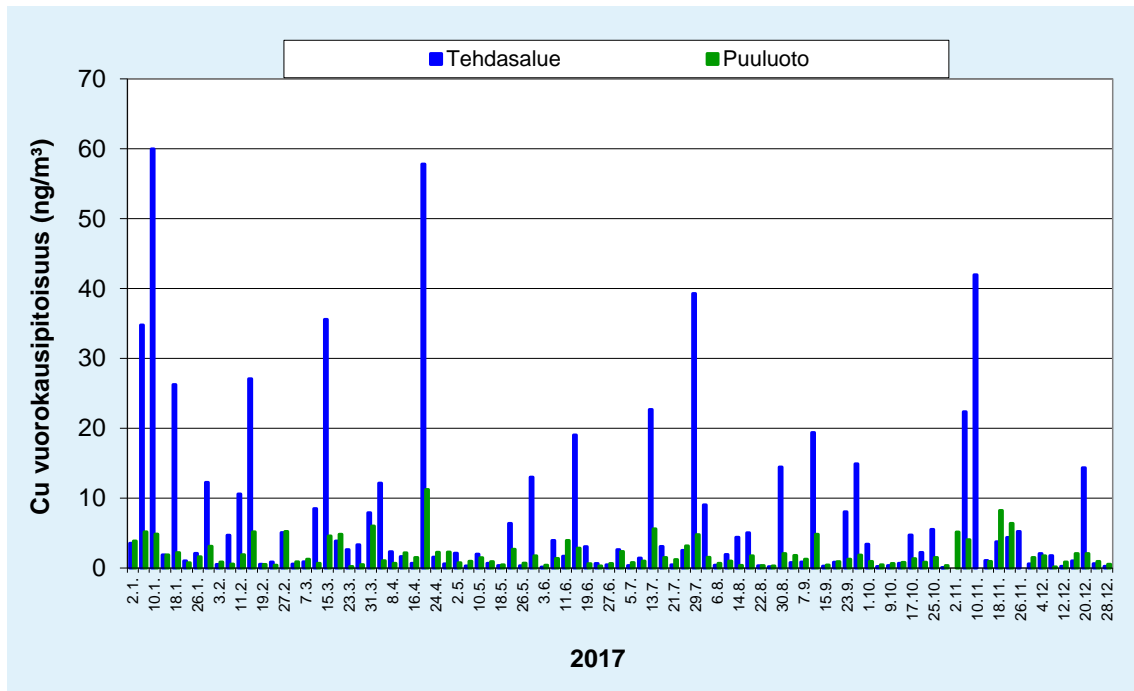
Liitekuva 4 Elohopean (Hg) tuntipitoisuudet Tornion Puuluodon mittauspisteessä vuonna 2017.



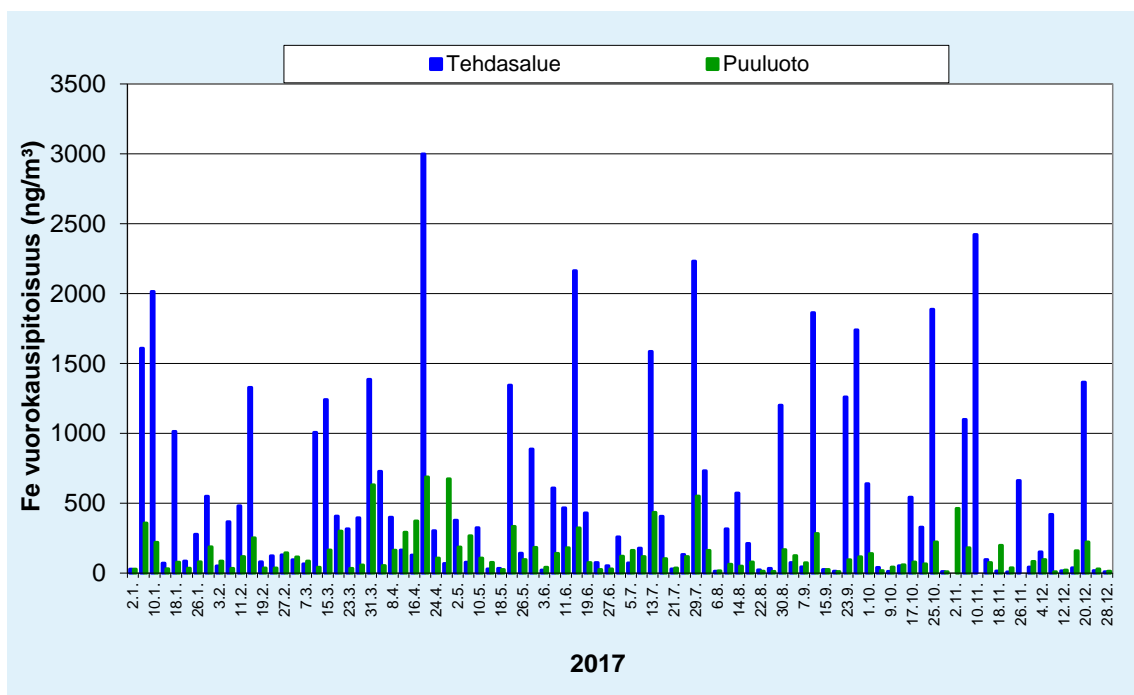
Liitekuva 5 Hengitettävistä hiukkasista ( $\text{PM}_{10}$ ) määritetyt **alumiinipitoisuudet** ( $\text{ng/m}^3$ ) Tehdasalueen ja Puuluodon mittauspisteissä jaksolla 2.1.–28.12.2017.



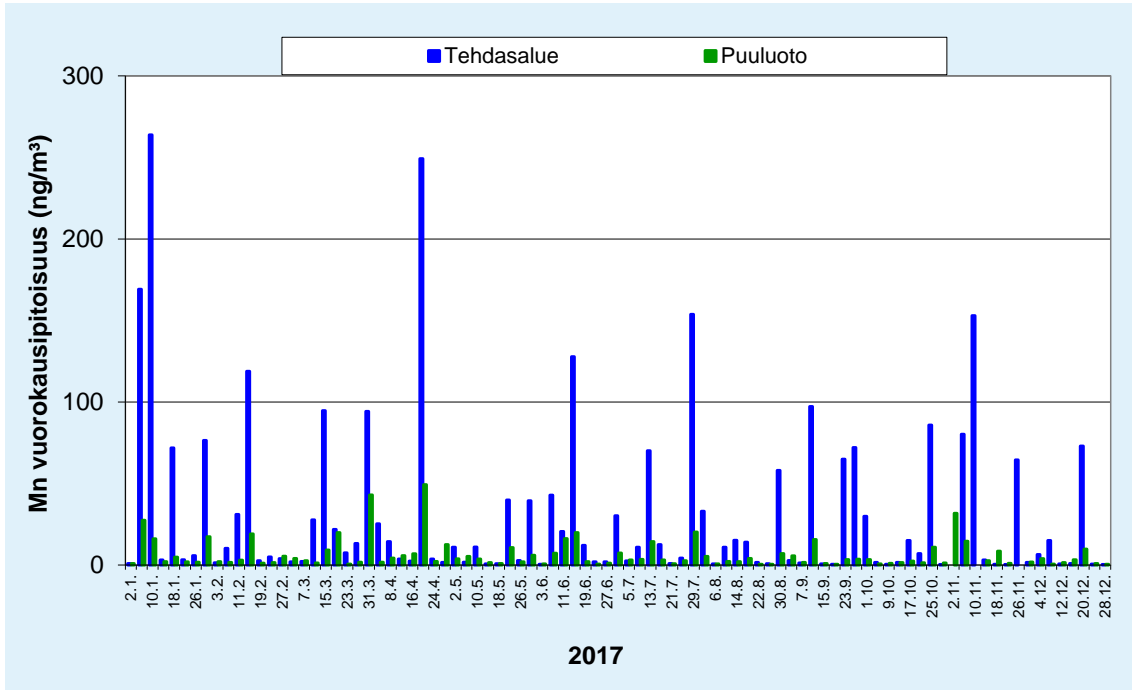
Liitekuva 6 Hengitettävistä hiukkasista ( $\text{PM}_{10}$ ) määritetyt **kobolttipitoisuudet** ( $\text{ng/m}^3$ ) Tehdasalueen ja Puuluodon mittauspisteissä jaksolla 2.1.–28.12.2017.



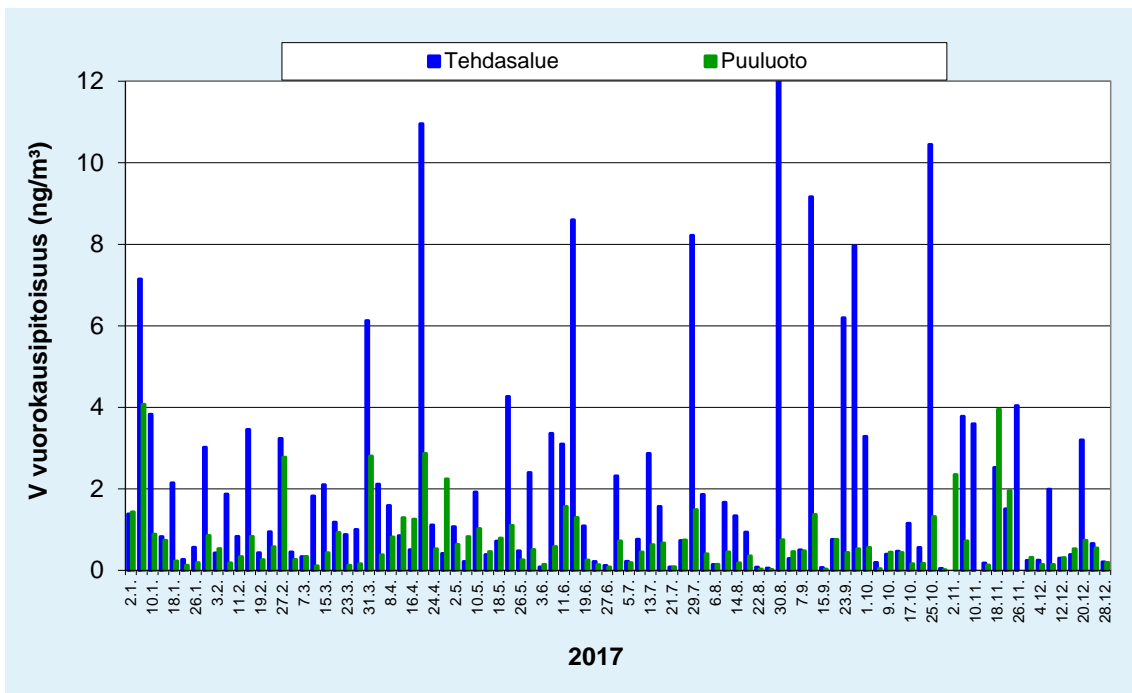
Liitekuva 7 Hengitettävistä hiukkasista (PM<sub>10</sub>) määritetyt **kuparipitoisuudet** (ng/m<sup>3</sup>) Tehdasalueen ja Puuluodon mittauspisteissä jaksolla 2.1.–28.12.2017.



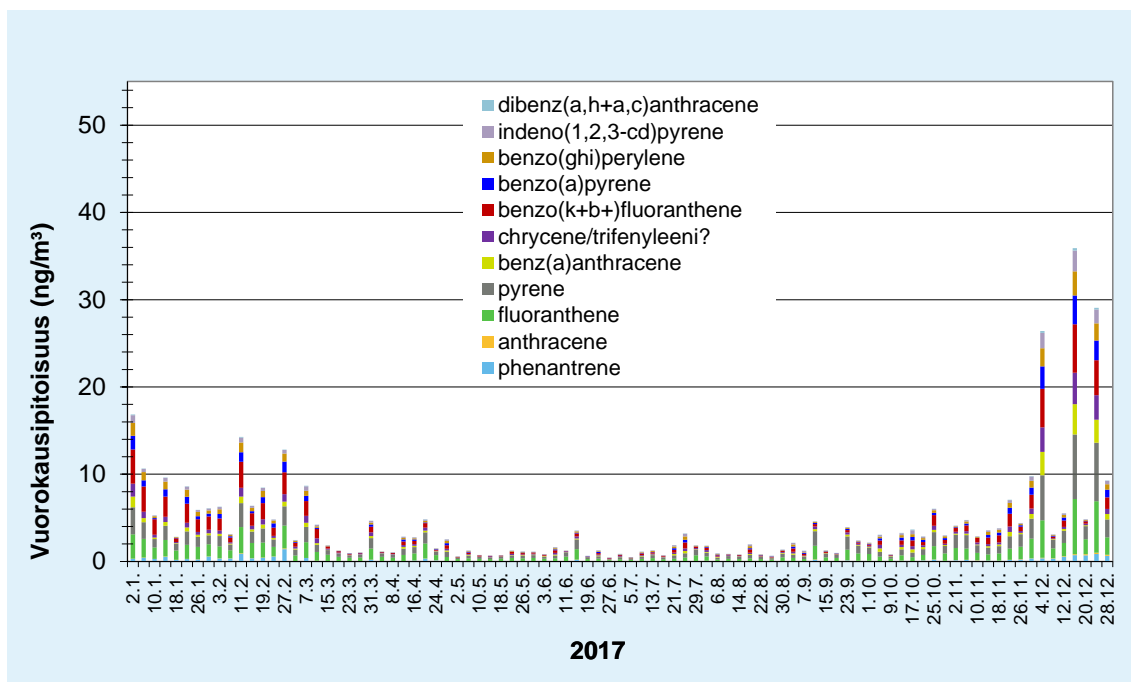
Liitekuva 8 Hengitettävistä hiukkasista (PM<sub>10</sub>) määritetyt **rautapitoisuudet** (ng/m<sup>3</sup>) Tehdasalueen ja Puuluodon mittauspisteissä jaksolla 2.1.–28.12.2017.



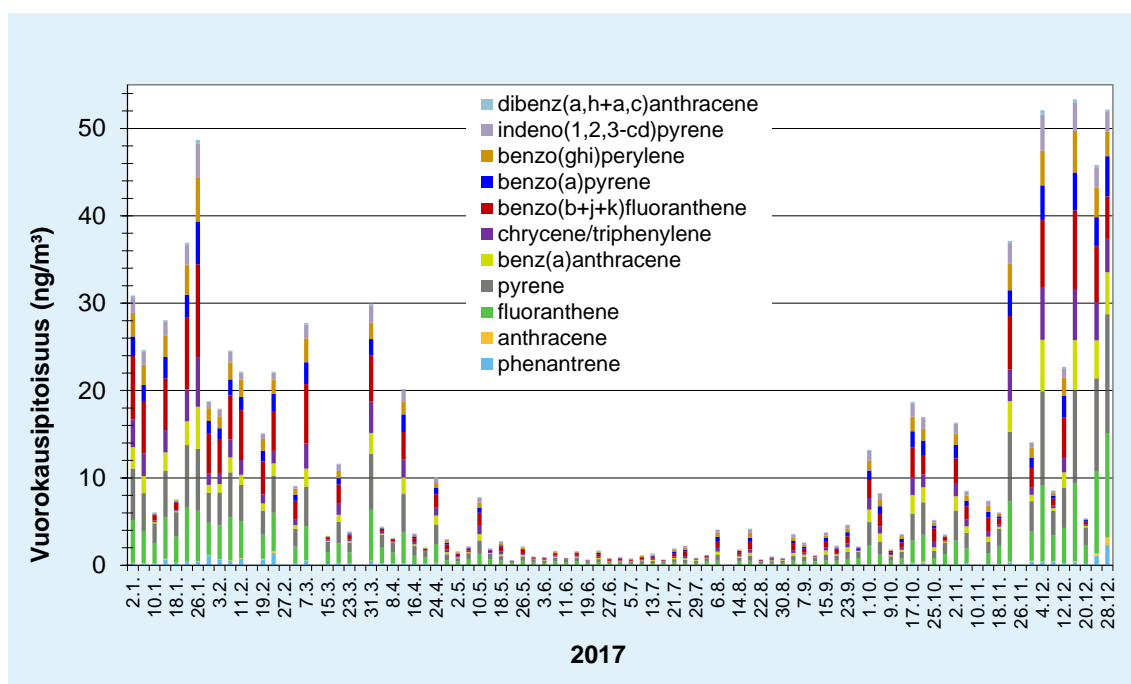
Liitekuva 9 Hengitettävistä hiukkasista (PM<sub>10</sub>) määritetyt **mangaanipitoisuudet** (ng/m<sup>3</sup>) Tehdasalueen ja Puuluodon mittauspisteissä jaksolla 2.1.–28.12.2017.



Liitekuva 10 Hengitettävistä hiukkasista (PM<sub>10</sub>) määritetyt **vanadiinipitoisuudet** (ng/m<sup>3</sup>) Tehdasalueen ja Puuluodon mittauspisteissä jaksolla 2.1.–28.12.2017.

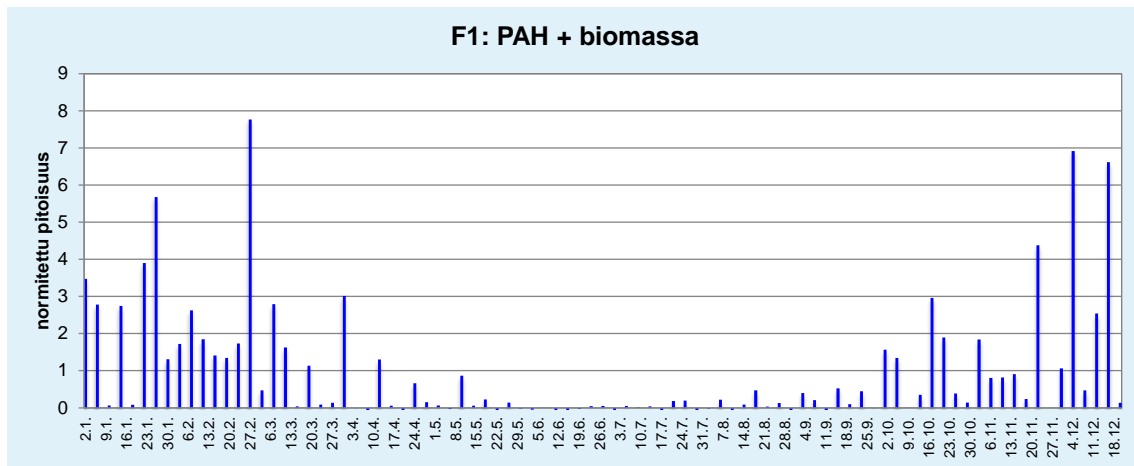
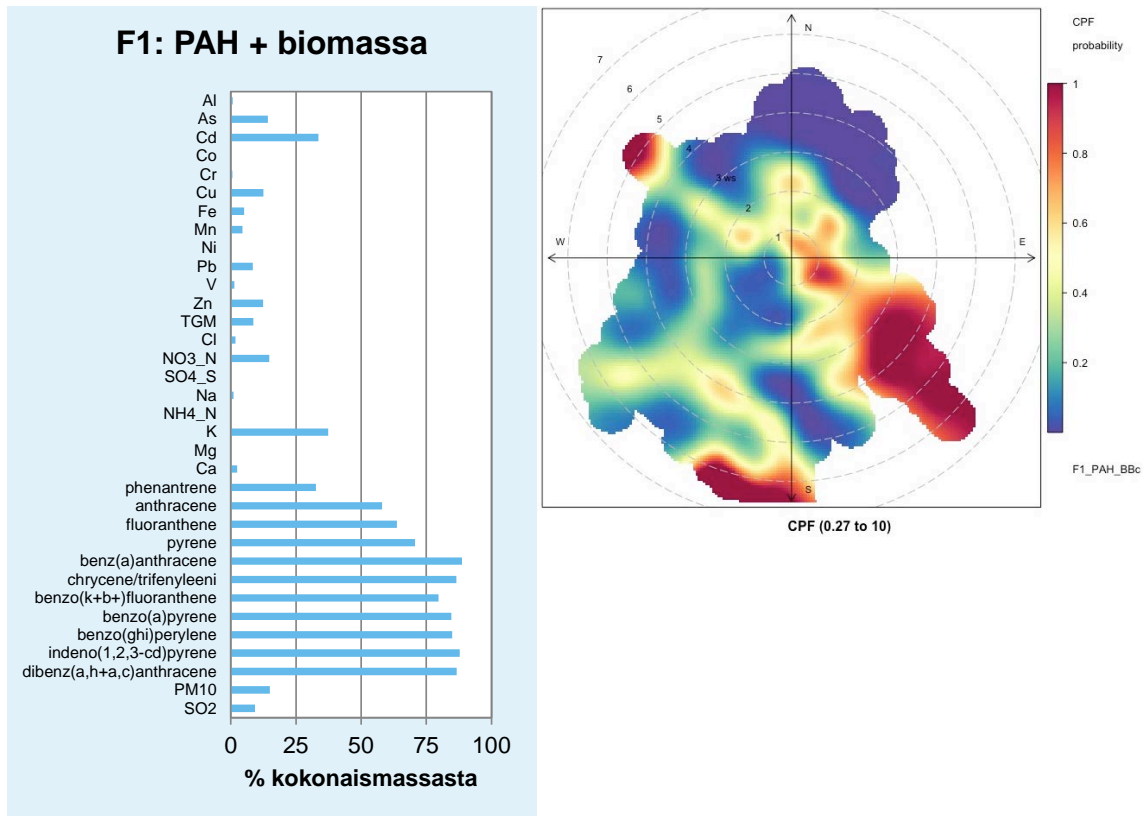


Liitekuva 11 Hengitettävistä hiukkasista (PM<sub>10</sub>) määritetyt eri PAH-yhdisteiden osuudet pitoisuuksista (ng/m<sup>3</sup>) **Tehdasalueen** mittauspisteissä jaksolla 2.1.–28.12.2017.

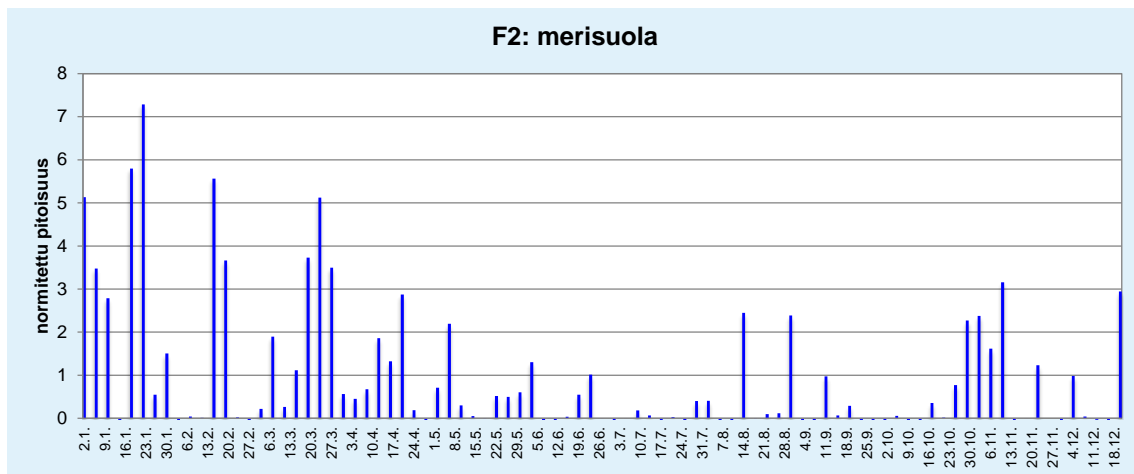
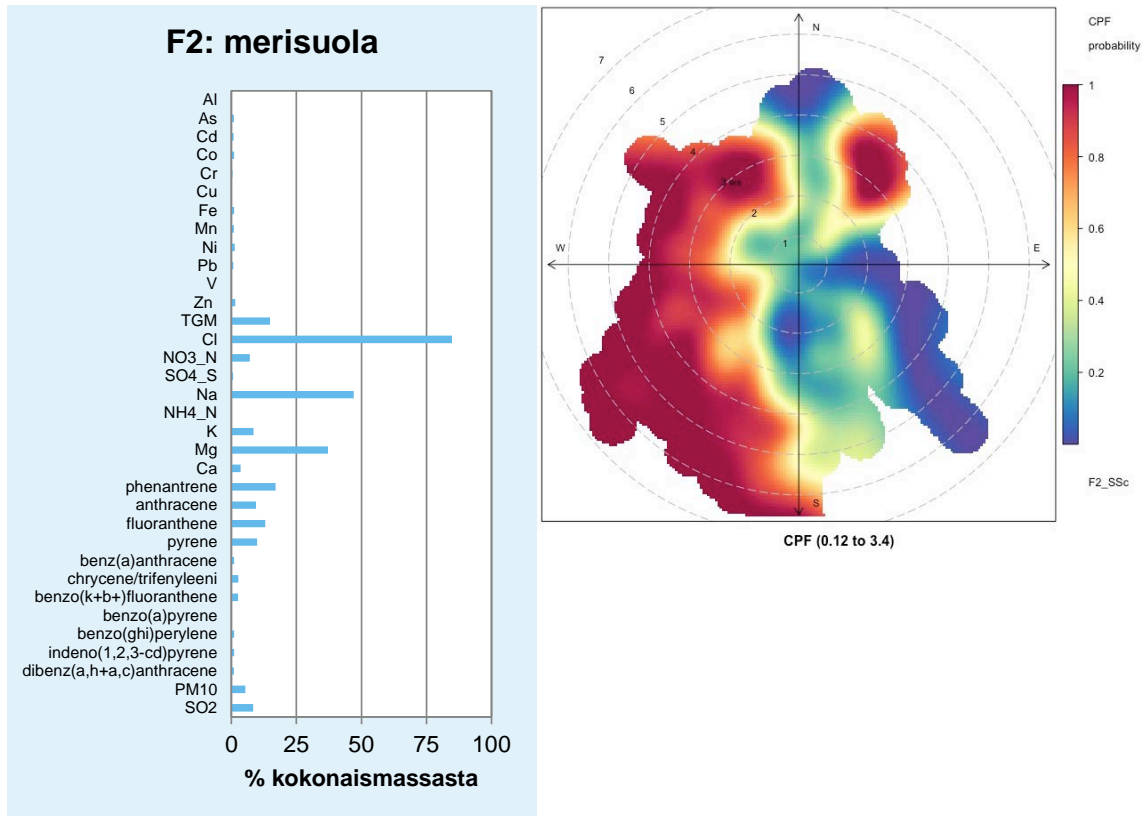


Liitekuva 12 Hengitettävistä hiukkasista (PM<sub>10</sub>) määritetyt eri PAH-yhdisteiden osuudet pitoisuuksista (ng/m<sup>3</sup>) **Puuluodon** mittauspisteissä jaksolla 2.1.–28.12.2017. Puutuvat näytteet on hylätty sisäisessä laadunvalvonnassa.

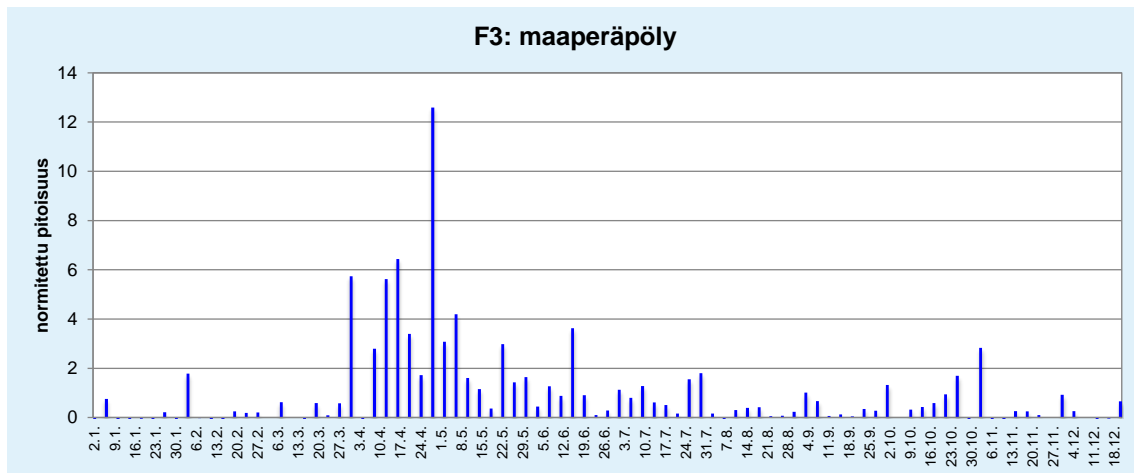
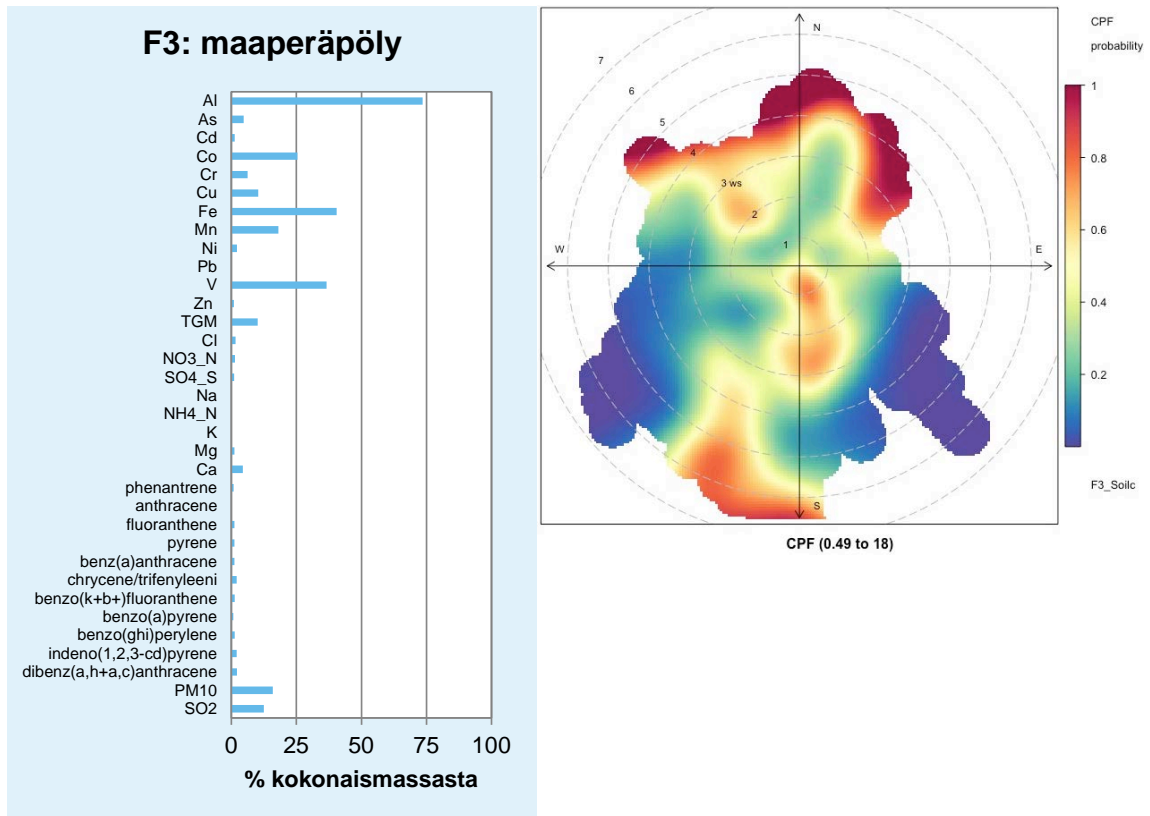




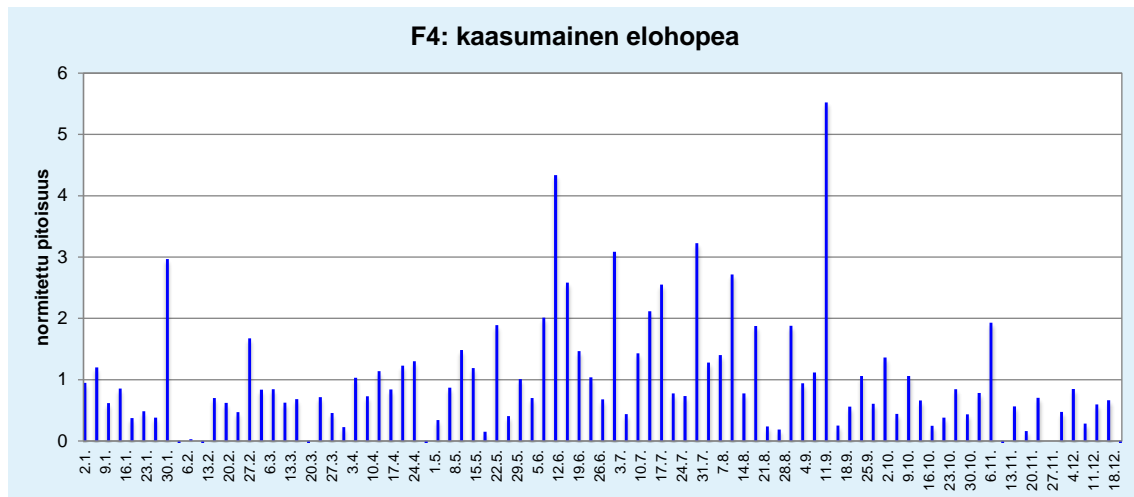
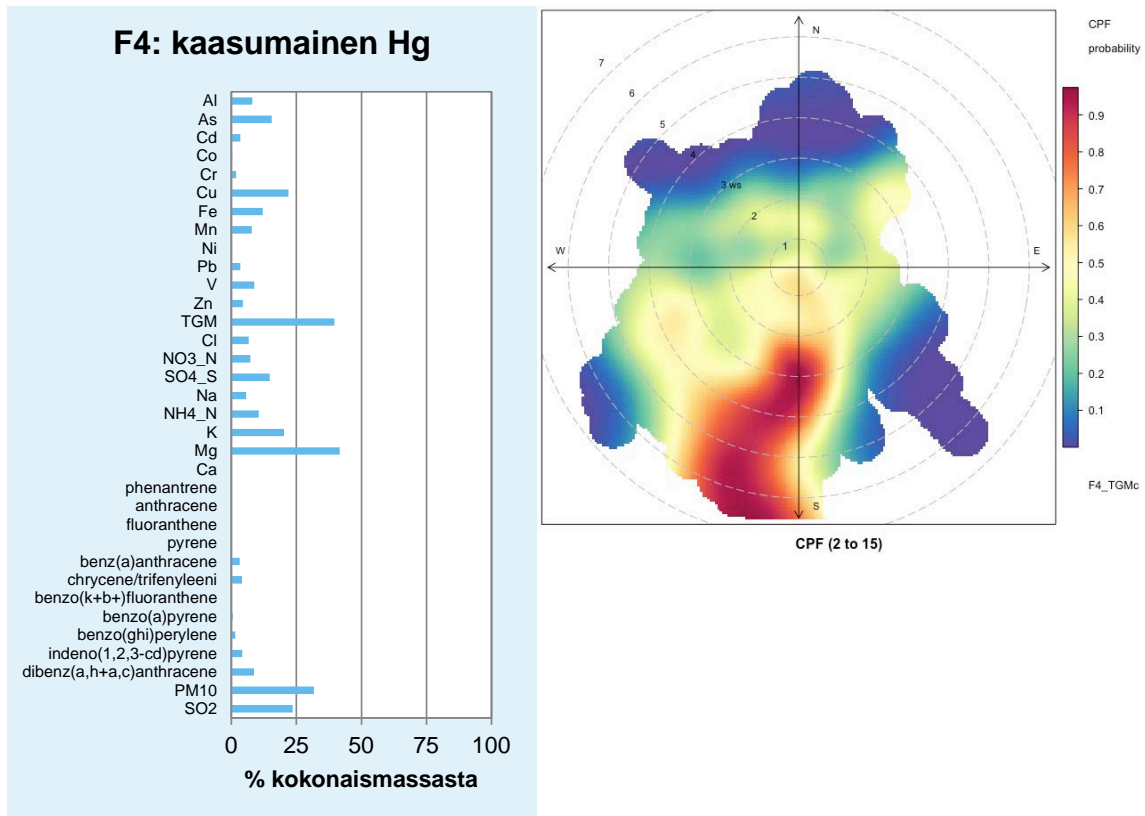
Liitekuva 13 Eri alkuaineiden ja yhdisteiden osuudet (%) kokonaismassasta, CPF-kuva (todennäköisyysjakauma faktorin mediaanipitoisuuden ylittävistä pitoisuuksista) sekä aikasarjakuva faktorista F1 (PAH + biomassa).



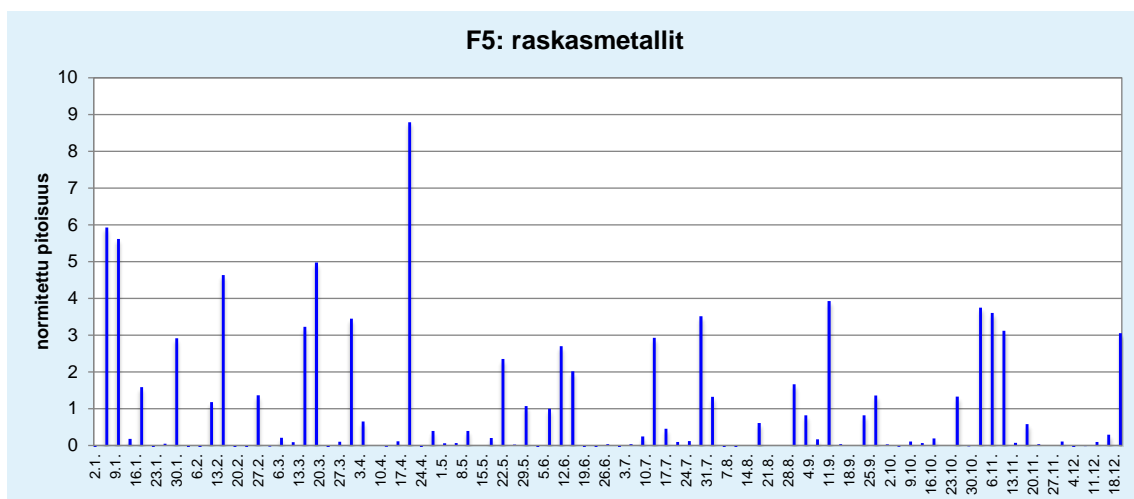
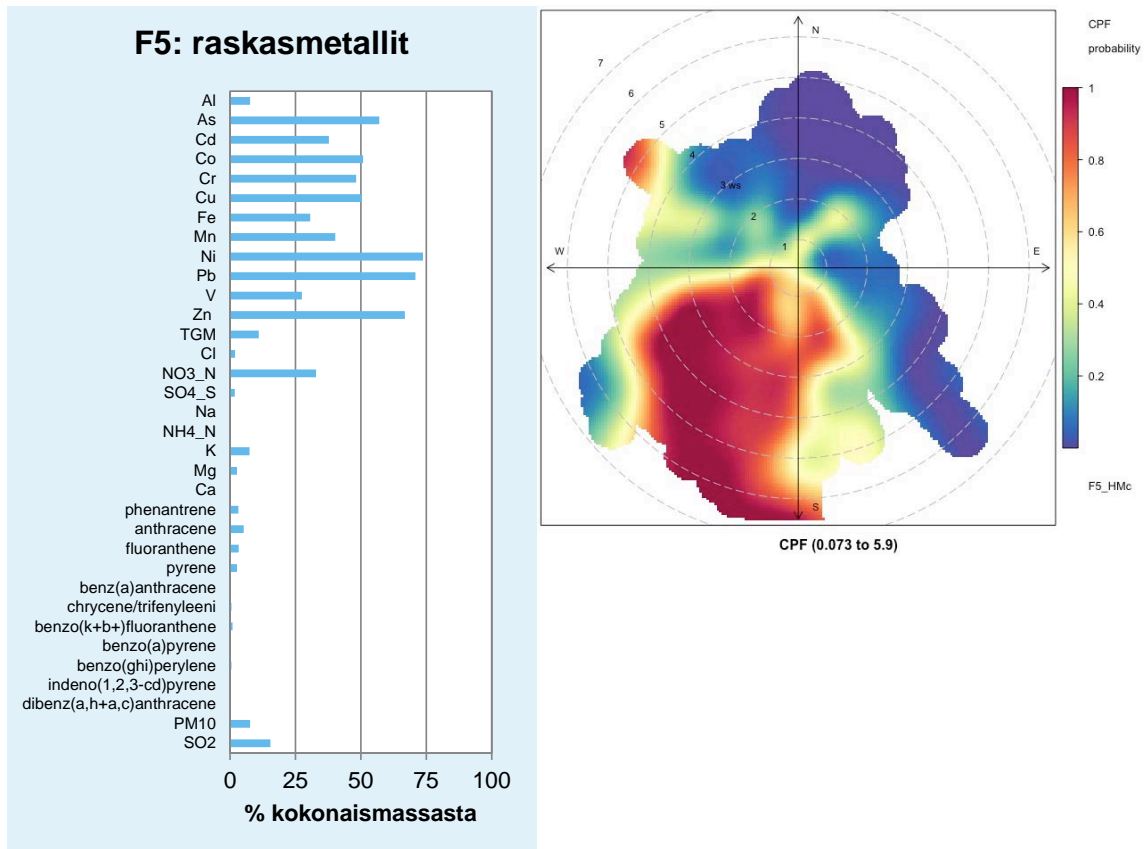
Liitekuva 14 Eri alkuaineiden ja yhdisteiden osuudet (%) kokonaismassasta, CPF-kuva (todennäköisyysjakauma faktorin mediaanipitoisuuden ylittävistä pitoisuuksista) sekä aikasarjakuva faktorista F2 (merisuola).



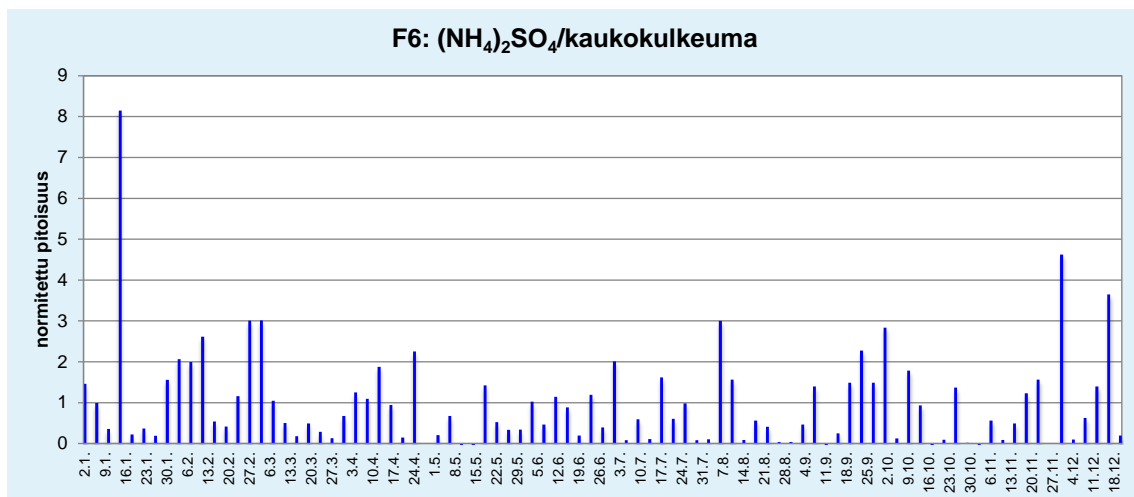
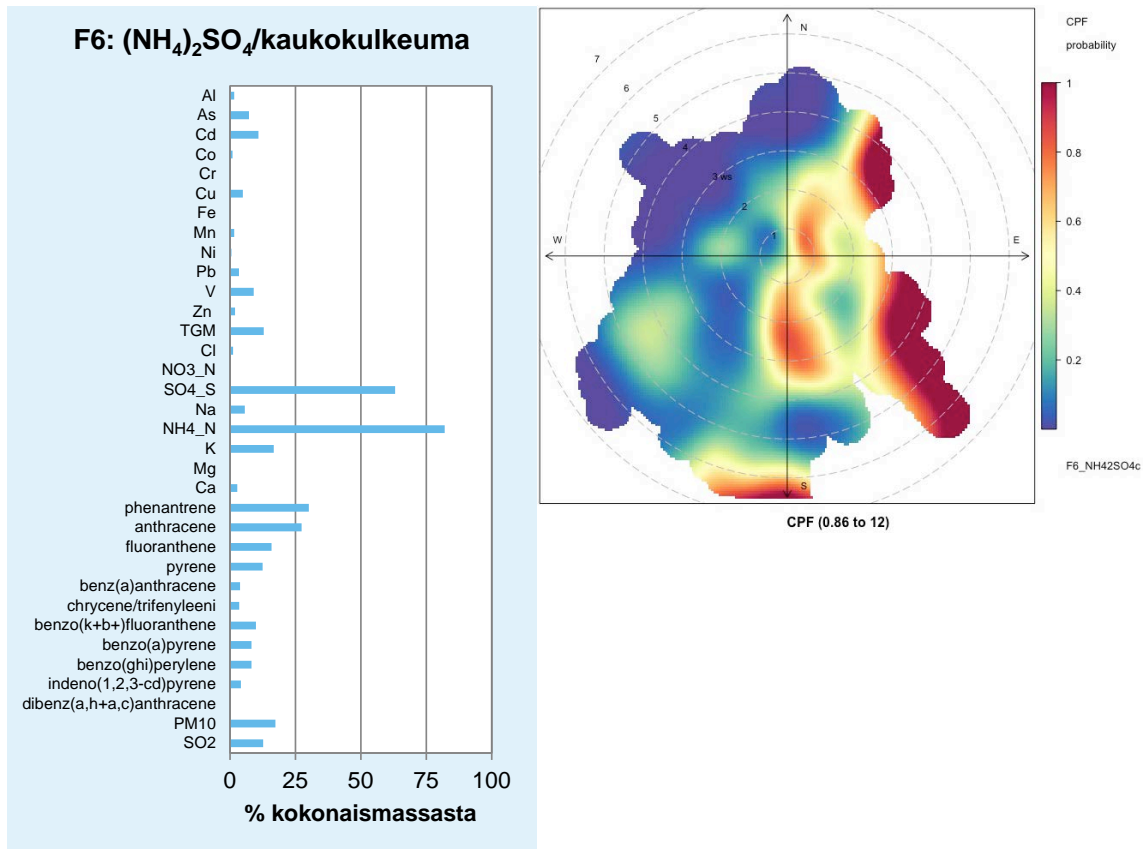
Liitekuva 15 Eri alkuaineiden ja yhdisteiden osuudet (%) kokonaismassasta, CPF-kuva (todennäköisyysjakauma faktorin mediaanipitoisuuden ylittävistä pitoisuuksista) sekä aikasarjakuva faktorista F3 (maaperäpöly).



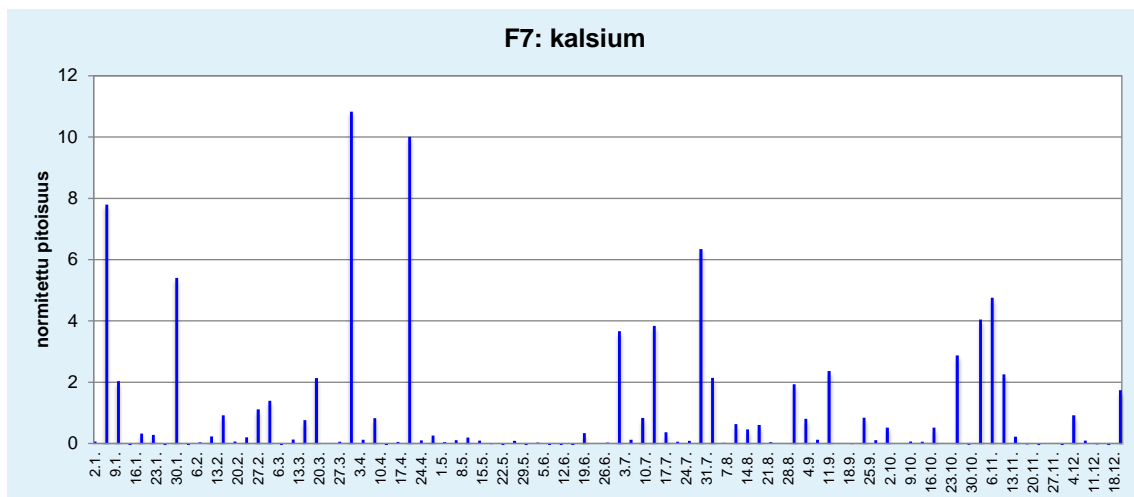
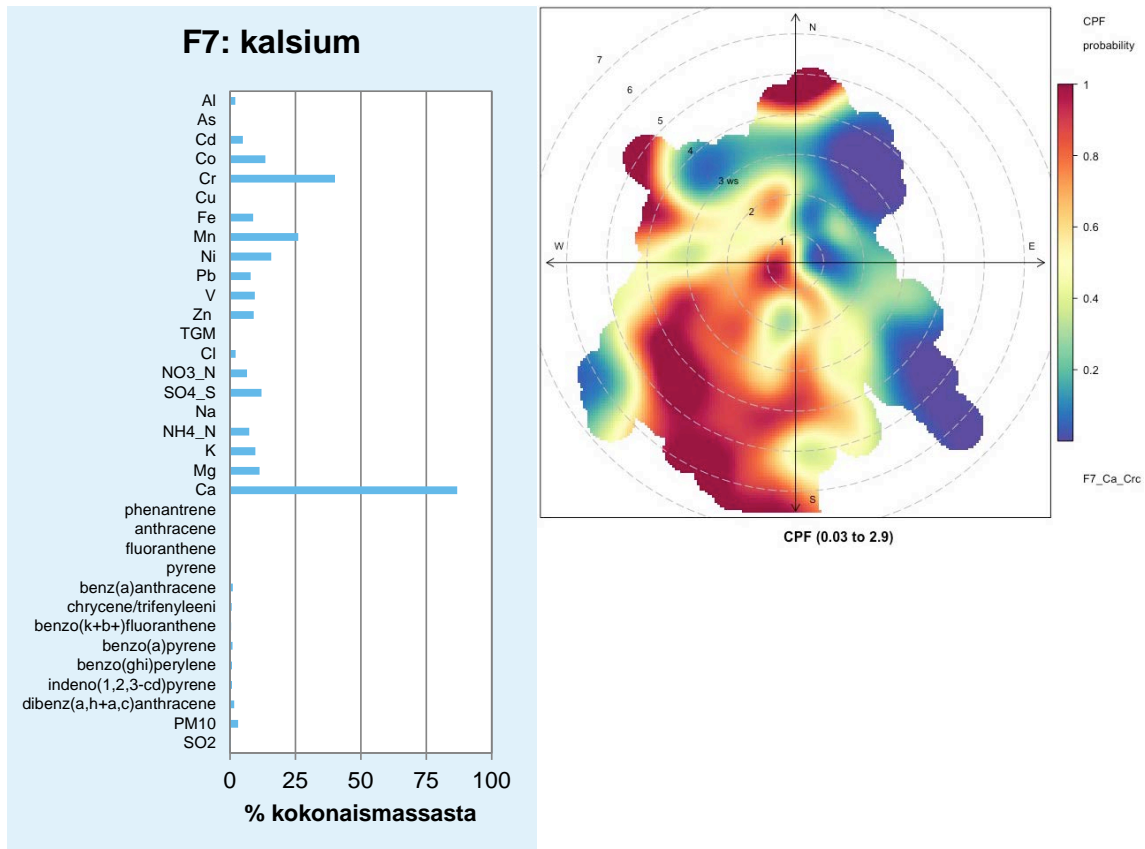
Liitekuva 16 Eri alkuaineiden ja yhdisteiden osuudet (%) kokonaismassasta, CPF-kuva (todennäköisyysjakauma faktorin mediaanipitoisuuden ylittävistä pitoisuuksista) sekä aikasarjakuva faktorista F4 (kaasumainen elohopea).



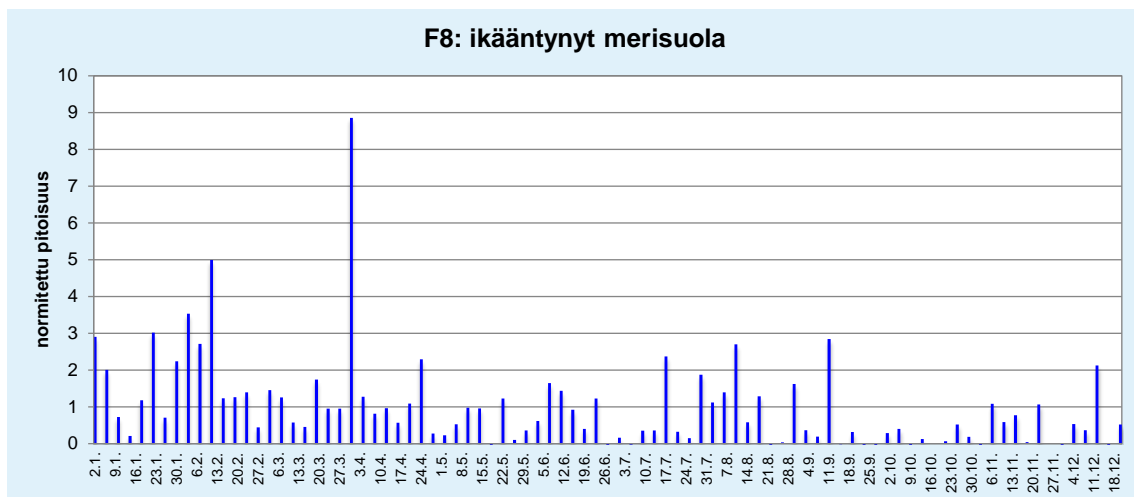
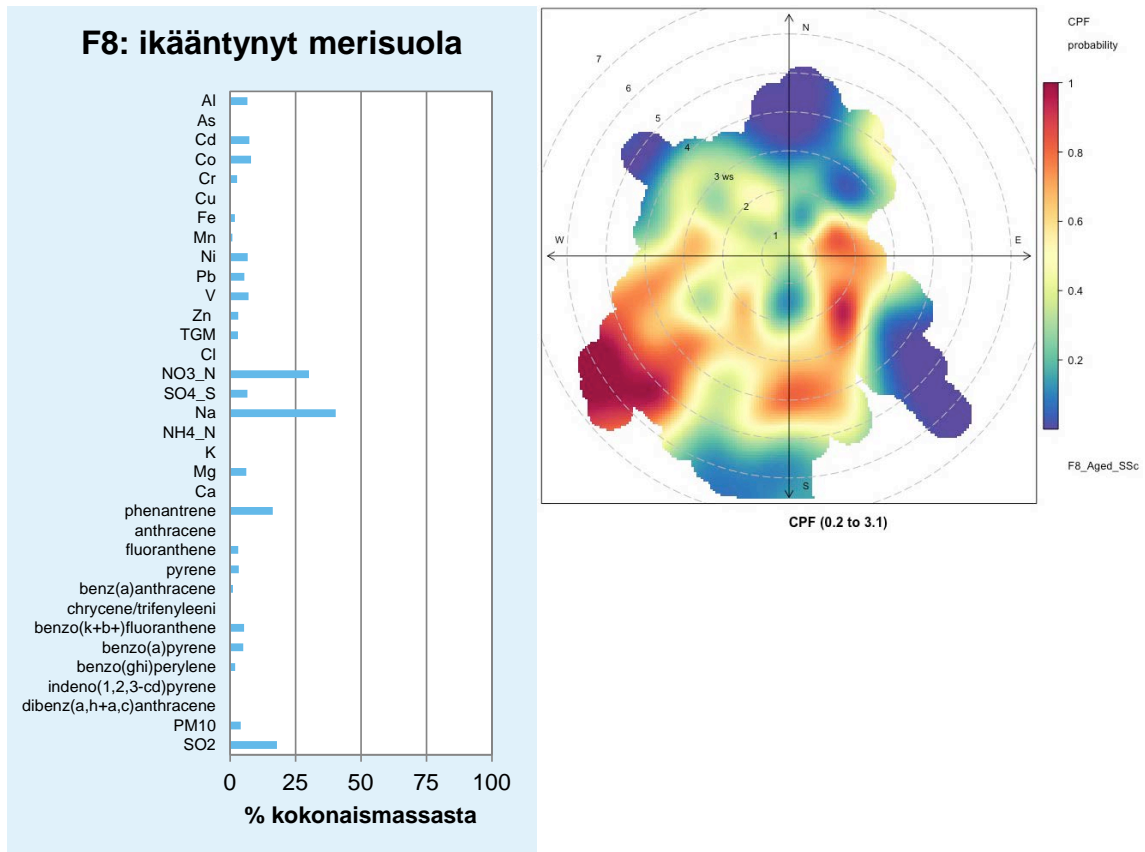
Liitekuva 17 Eri alkuaineiden ja yhdisteiden osuudet (%) kokonaismassasta, CPF-kuva (todennäköisyysjakauma faktorin mediaanipitoisuuden ylittävistä pitoisuuksista) sekä aikasarjakuva faktorista F5 (raskasmetallit).



Liitekuva 18 Eri alkuaineiden ja yhdisteiden osuudet (%) kokonaismassasta, CPF-kuva (todennäköisyysjakauma faktorin mediaanipitoisuuden ylittävistä pitoisuuksista) sekä aikasarjakuva faktorista F6 (ammoniumsulfaatti/kaukokulkeuma).



Liitekuva 19 Eri alkuaineiden ja yhdisteiden osuudet (%) kokonaismassasta, CPF-kuva (todennäköisyysjakauma faktorin mediaanipitoisuuden ylittävistä pitoisuuksista) sekä aikasarjakuva faktorista F7 (kalsium).



Liitekuva 20 Eri alkuaineiden ja yhdisteiden osuudet (%) kokonaismassasta, CPF-kuva (todennäköisyysjakauma faktorin mediaanipitoisuuden ylittävistä pitoisuuksista) sekä aikasarjakuva faktorista F8 (ikäntynyt merisuola).



**LIITETAULUKOT**

Liitetaulukko 1. Tehdasalueen mittauspisteessä mitatut hengitettävien hiukkasten (PM<sub>10</sub>) tunti- ja vuorokausipitoisuudet (µg/m<sup>3</sup>) kuukausittain mittausjaksolla 1.1.–31.12.2017. Pitoisuudet on ilmoitettu ulkoilman lämpötilassa.

Tehdasalue	2017											
PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
TUNTIARVOJEN												
Lukumäärä	744	659	721	720	744	719	744	744	720	744	720	679
kattavuus (%)	100	98.1	96.9	100	100	99.9	100	100	100	100	100	91.3
keskiarvo	22	11	17	15	11	13	17	27	14	10	21	13
99. %-piste	148	32	68	75	44	52	85	174	50	48	150	44
korkein arvo	201	48	111	106	63	124	102	286	61	85	269	104
VRK-ARVOJEN												
Lukumäärä	31	27	29	30	31	30	31	31	30	31	30	28
2. korkein arvo	84	20	40	38	23	31	36	103	29	25	59	27
korkein arvo	93	21	45	58	36	41	42	115	32	41	86	27

Liitetaulukko 2. Puuluodon mittauspisteessä mitatut hengitettävien hiukkasten (PM<sub>10</sub>) tunti- ja vuorokausipitoisuudet (µg/m<sup>3</sup>) kuukausittain mittausjaksolla 1.1.–31.12.2017. Pitoisuudet on ilmoitettu ulkoilman lämpötilassa.

Puuluoto	2017											
PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
TUNTIARVOJEN												
Lukumäärä	744	672	737	720	744	717	744	744	717	744	651	655
kattavuus (%)	100	100	99.1	100	100	99.6	100	100	99.6	100	90.4	88
keskiarvo	13	9	9	12	7	9	11	12	10	7	9	10
99. %-piste	77	39	51	83	30	33	29	50	26	28	42	51
korkein arvo	121	136	136	213	56	41	37	113	72	56	520	139
VRK-ARVOJEN												
Lukumäärä	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	26	27
2. korkein arvo	35	16	18	24	13	17	20	31	17	12	22	24
korkein arvo	40	20	29	24	18	20	23	36	18	14	31	35

Liitetaulukko 3. Puuluodon mittauspisteessä j mitatut rikkidioksidin (SO<sub>2</sub>) tunti- ja vuorokausipitoisuudet (µg/m<sup>3</sup>) kuukausittain mittausjaksolla 1.1.–31.12.2017.

Puuluoto	2017											
SO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
TUNTIARVOJEN												
Lukumäärä	744	672	738	720	744	708	744	744	715	744	561	674
kattavuus (%)	100	100	99.2	100	100	98.3	100	100	99.3	100	77.9	90.6
keskiarvo	1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
99. %-piste	5	2	5	2	3	4	3	1	<1	<1	1	1
korkein arvo	11	3	19	4	7	8	8	4	2	1	1	9
VRK-ARVOJEN												
Lukumäärä	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	22	28
2. korkein arvo	1	1	1	1	1	1	1	<1	<1	<1	<1	1
korkein arvo	3	1	2	1	2	2	2	1	<1	<1	<1	1

Liitetaulukko 4. Tehdasalueen ja Puuluodon mittauspisteissä mitatut hengitettävien hiukkasten (PM<sub>10</sub>) raja-arvoon verrannolliset pitoisuudet (µg/m<sup>3</sup>) mittausjaksolla 1.1.-31.12.2017.

PM <sub>10</sub> -pitoisuus	Tehdasalue		Puuluoto	
	Raja-arvoon verrannollinen pitoisuus	Osuus raja-arvosta	Raja-arvoon verrannollinen pitoisuus	Osuus raja-arvosta
Vuosiraja-arvo 40 µg/m <sup>3</sup>	16 µg/m	40 %	10 µg/m	25 %
Vuorokausiraja-arvo 50 µg/m <sup>3</sup>	32 µg/m	64 %	17 µg/m	34 %



ILMATIETEEN LAITOS  
METEOROLOGISKA INSTITUTET  
FINNISH METEOROLOGICAL INSTITUTE

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

[WWW.ILMATIETEENLAITOS.FI](http://WWW.ILMATIETEENLAITOS.FI)

