



# ILMANLAATUMITTAUKSET TERRAFAMELLA

Hengitettävien hiukkasten, arseenin ja metallien  
pitoisuustulokset vuonna 2022



## **ILMANLAATUMITTAUKSET TERRAFAMELLA**

**Hengitettävien hiukkasten, arseenin ja metallien pitoisuustulokset vuonna 2022**

**Jutta Kesti  
Antti Manninen  
Matias Saunamäki  
Mika Vestenius  
Toni Mattila  
Katja Lovén**

**ILMATIETEEN LAITOS – ASIAANTUNTIJAPALVELUT**

**ILMANLAATU JA ENERGIA**

**Helsinki 26.5.2023**

# SISÄLLYSLUETTELO

<b>OSA I</b> .....	<b>4</b>
1. JOHDANTO .....	4
2. ILMANLAADUN MITTAUSTULOKSET .....	5
2.1 Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet.....	5
2.2 Ilmanlaatuindeksi.....	8
2.3 Pitoisuuksien vertailua ilmanlaadun raja- ja ohjearvoihin .....	10
2.4 Tuulen suunnan ja nopeuden vaikutus mitattuihin pitoisuuksiin .....	13
2.5 Pitoisuuksien ajallinen vaihtelu.....	18
2.6 Hengitettävien hiukkasten sisältämät arseeni- ja metallipitoisuudet .....	20
2.7 Pitoisuuksien vertailua muualla mitattuihin pitoisuuksiin.....	25
3. YHTEENVETO JA SUOSITUKSET .....	27
<b>OSA II</b> .....	<b>30</b>
4. TUTKIMUKSEN SUORITUS .....	30
4.1 Mittausasemien sijainnit .....	30
4.2 Mitatut suureet ja mittausmenetelmät .....	31
4.3 Kalibrointimenetelmät, laadunvarmistus ja laitehuollot .....	33
5. SÄÄTIEDOT VUONNA 2022.....	33
5.1 Tuulitiedot Terrafamella mittausjaksolla.....	33
5.2 Keskilämpötilat Sotkamon seudulla.....	35
5.3 Sademäärät Sotkamon seudulla .....	36
5.4 Ilmanlaatuun vaikuttavat säätekijät .....	37
6. TAUSTATIETOA ILMAN EPÄPUHTAUKSISTA.....	38
6.1 Hiukkaset.....	38
6.2 Arseeni ja metallit.....	40
6.3 Ilman epäpuhtauksien terveysvaikutukset .....	42
6.4 Ilmanlaadun ohje- ja raja-arvot.....	42
6.5 Ilmanlaadun arviointikynnykset .....	44
<b>VIITELUETTELO</b> .....	<b>46</b>
<b>LIITETAULUKOT</b> .....	<b>48</b>
<b>LIITEKUVAT</b> .....	<b>51</b>

# OSA I

---

## 1. JOHDANTO

Ilmatieteen laitos seurasi Terrafame Oy:n ulkoilmanlaatua kalenterivuoden 2022 ajan (1.1.-31.12.2022) kahdessa mittauspisteessä, Tehdasalueen ja Myllyniemen mittauspisteissä. Mittausasemat sijaitsivat Kainuussa Sotkamon kunnassa. Tehdasalueen mittauspaikka sijaitsi aivan kaivosalueen ja tehdasalueen vieressä ja siten keskeisellä paikalla Terrafamen päästölähteisiin nähden (kuva 1). Tehdasalueen mittaukset edustavat pitoisuuksien enimmäistasoa, jolle esimerkiksi työntekijät voivat altistua liikkueensa alueella. Myllyniemen mittauspiste edustaa Terrafamen läheisyydessä sijaitsevaa asutusta, nk. lähintä altistuvaa kohdetta. Mittausasema sijaitsi n. 1,5 kilometriä avolouhoksesta koilliseen. Molemmilla asemilla mitattiin hengitettävien hiukkasten (PM<sub>10</sub>) pitoisuuksia jatkuvatoimisilla automaattisilla analysaattoreilla sekä kerättiin hiukkasten vuorokausinäytteitä joka 6. vuorokausi. Kerätyistä näytteistä analysoitiin laboratoriossa PM<sub>10</sub>-hiukkasten sisältämät arseeni- ja metallipitoisuudet. Mittausten tavoitteena oli kartoittaa kaivos- ja teollisuustoiminnan vaikutuksia ilmanlaatuun kaivospiirin ympäristössä seuraamalla näiden ilmansaasteiden pitoisuustasoa ja hetkellistä vaihtelua kalenterivuoden ajan. Ilmanlaatumittausten tulosten tulkintaa varten asemalla mitattiin myös perussäätiietoja: tuulen suuntaa ja nopeutta, ilman lämpötilaa, ilmanpainetta ja ilman suhteellista kosteutta. Vastaavat ilmanlaadun mittauskampanjat toteutettiin Terrafame Oy:n toimeksiannosta vuosina 2015–2016 (joulukuu 2015 - elokuu 2016) ja 2008–2009 (syyskuu 2008 - helmikuu 2009).



Kuva 1. Ilmakuva Terrafamen kaivospiirin alueesta (Maanmittauslaitoksen ilmakuva, 2022). Tehdasalueen mittausasema on merkitty punaisella ja Myllyniemen mittausasema keltaisella tähdellä.

Tässä raportissa esitetään kaikki seurannan aikaiset ilmanlaadun mittaustulokset. Tuloksia verrataan ilmanlaadun lainsäädännössä asetettuihin raja-, ohje- ja tavoitearvoihin, sekä arviointikynnyksiin (kuvattu tarkemmin kappaleessa 6.4). Lisäksi raportissa verrataan pitoisuuksia muilla Suomen mittausasemilla vastaavana aikana mitattuihin pitoisuusarvoihin sekä aiempiin Terrafame Oy:n teollisuusalueella ja sen ympäristössä mitattuihin pitoisuuksiin.

Ilmatieteen laitoksen Asiantuntijapalvelut-yksikkö vastasi ilmanlaadun mittauksista sekä niihin liittyvästä asiantuntijatyöstä ja työn tilasi Terrafame Oy.

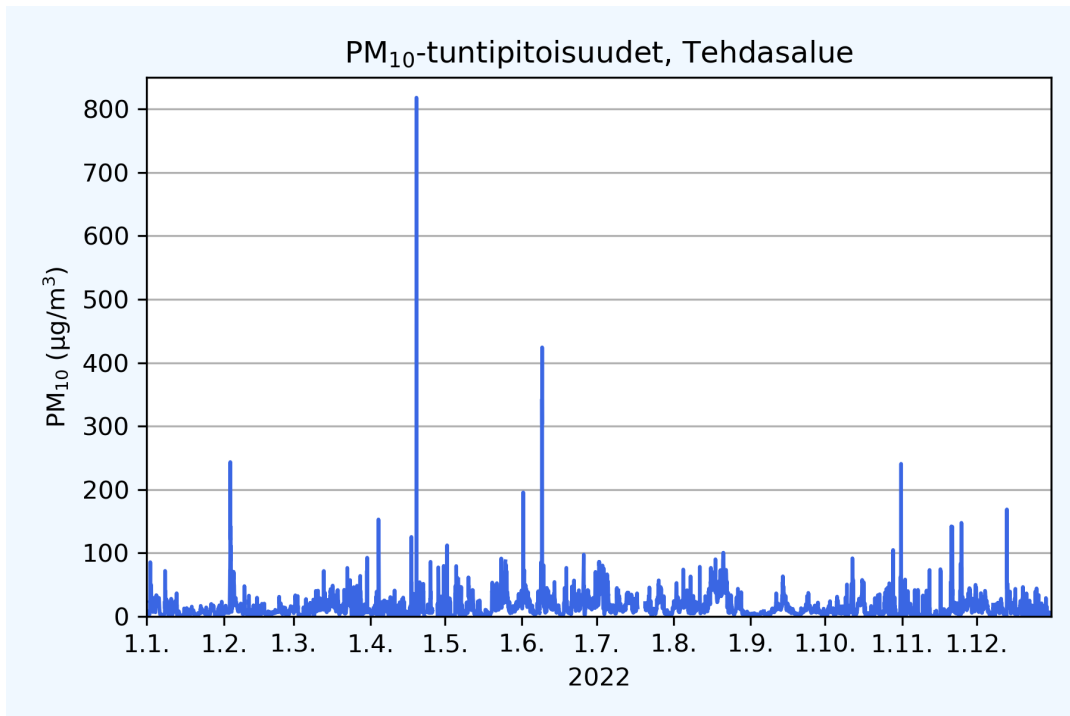
## **2. ILMANLAADUN MITTAUSTULOKSET**

### **2.1 Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet**

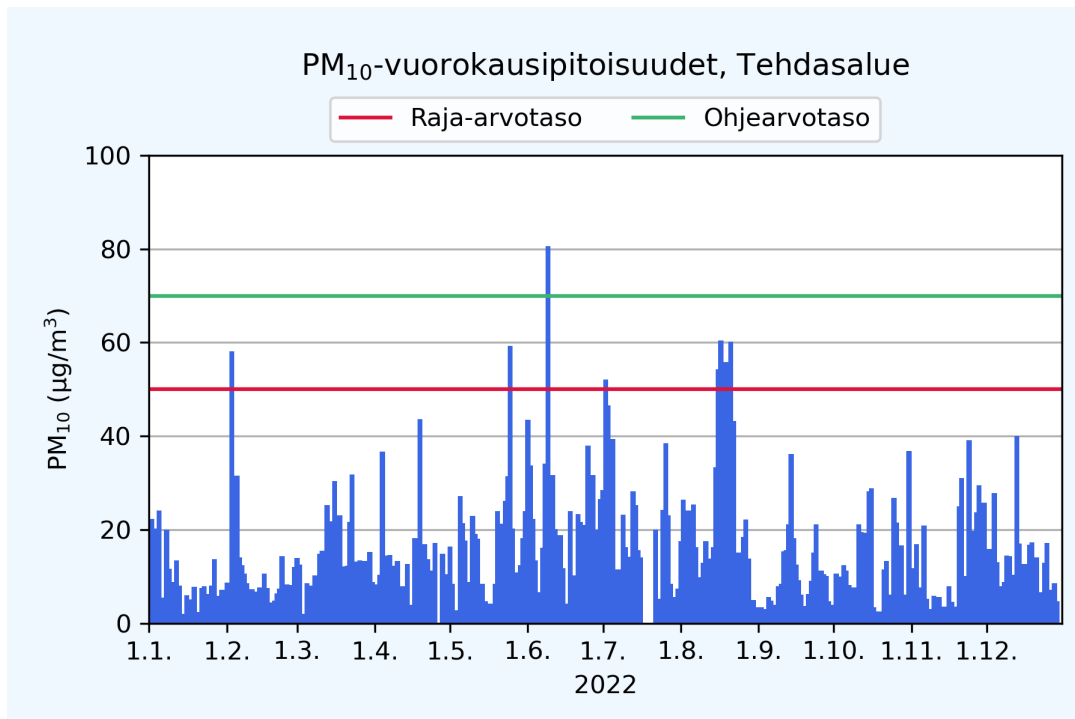
Mitattujen hengitettävien (PM<sub>10</sub>) hiukkasten tunti- ja vuorokausipitoisuudet ajanjaksolla 1.1.-31.12.2022 on esitetty kuvissa 2–5. Raportin lopussa olevaan liitetaulukoon 1 on lisäksi koottu kuukausittaisia tilastotietoja mitatuista PM<sub>10</sub>-hiukkasten pitoisuuksista mittausjaksolta. Mittaukset suoritettiin jatkuvatoimisilla automaattisilla mittalaitteilla. Mittauspaikat on esitelty tarkemmin raportin kappaleessa 4.1 ja mittausmenetelmiä sekä käytettyjä laitteita on kuvattu tarkemmin kappaleessa 4.2.

Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet vaihtelivat vuoden tarkastelujaksolla voimakkaasti sekä Tehdasalueen että Myllyniemen mittauspisteissä. Hetkellisten tuntipitoisuuksien vaihtelu oli merkittävästi suurempaa kuin vuorokausikeskiarvopitoisuuksien vaihtelu. Mittausjakson vuosikeskiarvot 14,3 µg/m<sup>3</sup> Tehdasalueella sekä 9,7 µg/m<sup>3</sup> Myllyniemessä ovat selvästi alle hengitettävien hiukkasten vuosiraja-arvon 40 µg/m<sup>3</sup>. Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet olivat mittausasemilla keskimäärin korkeampia kesäkaudella kuin talvella lumipeitteiseen aikaan. Ilmatieteen laitos on mitannut aiemmin Tehdasalueen ja Myllyniemen mittauskohteissa (hieman eri sijainnilla) hengitettävien hiukkasten pitoisuuksia ajalla 4.9.2008–2.3.2009 sekä 1.12.2015–15.8.2016. Eri vuosina mitatut keskiarvopitoisuudet on esitetty taulukossa 1. Aiempien vuosien ja vuoden 2022 mittausjaksojen vuosikeskiarvopitoisuudet eivät ole suoraan vertailukelpoisia, koska mittausajankohdat sijoittuvat eri aikoihin vuotta eivätkä aiemmat mittausjaksot kestäneet koko vuotta. Ilmanlaatulainsäädäntö edellyttää, että mittauksen ajallinen kattavuus on vähintään 85 % vuoden tunneista, jotta raja-arvoon verrannollista vuosikeskiarvopitoisuutta voidaan arvioida luotettavasti. Mikäli mittauksen ajallinen kattavuus on tätä pienempi, voidaan mittauksen vuosikeskiarvoa pitää indikaatiivisena.

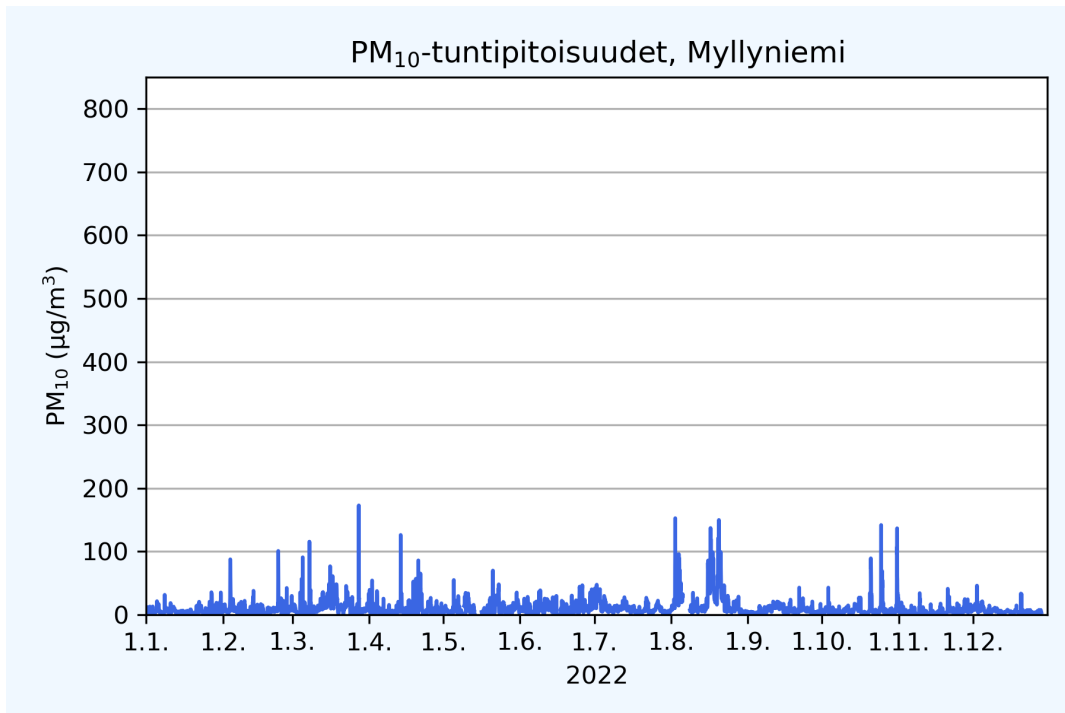
Teollisuuden ja liikenteen päästölähteistä vapautuvien hiukkasten lisäksi ulkoilman hiukkaspitoisuuksiin vaikuttavat merkittävästi maanpinnasta tuulen mukana ilmaan nousevat hiukkaset, joiden määrää säätelevät muun muassa tuulen nopeus, sateisuus, maanpinnan kosteus sekä pintojen kasvillisuuspeitteisyys. Pölyämistä tapahtuu tyypillisesti kevät- ja kesäaikaan maaston ollessa kuivaa, joka edesauttaa korkeiden hiukkaspitoisuuksien syntymistä. Tehdasalueella helmikuussa 3.2.2022 mitattu korkea PM<sub>10</sub>-tuntipitoisuus (n. 250 µg/m<sup>3</sup>) johtui kaivoksella tehdyistä räjäytyksistä sekä akkukemikaalitehtaan ylösajosta. Huhtikuussa mitattu korkea PM<sub>10</sub>-tuntipitoisuus (n. 800 µg/m<sup>3</sup>) johtui tehdaspalokunnan harjoituksesta Tehdasalueen mittauskontin lähistöllä. Kesäkuun alkupuolella korkeita tuntipitoisuuksia on muodostunut, kun mittauskontin lähetyvillä on ajettu kuorma-autoilla, mikä on aiheuttanut pölyämistä. Elokuussa useat vuorokausiraja-arvotason ylitykset (kuva 3) ovat todennäköisesti johtuneet Venäjän metsäpalosavuista kulkeutuneista pienhiukkasista. Helmikuussa räjäytyksistä aiheutuneet korkeammat PM<sub>10</sub>-pitoisuudet havaittiin myös Myllyniemen mittausasemalla. Venäjän metsäpaloista kaukokulkeutuneista pienhiukkasista aiheutuneet korkeat pitoisuudet elokuussa näkyivät myös Myllyniemen asemalla korkeina vuorokausipitoisuuksina.



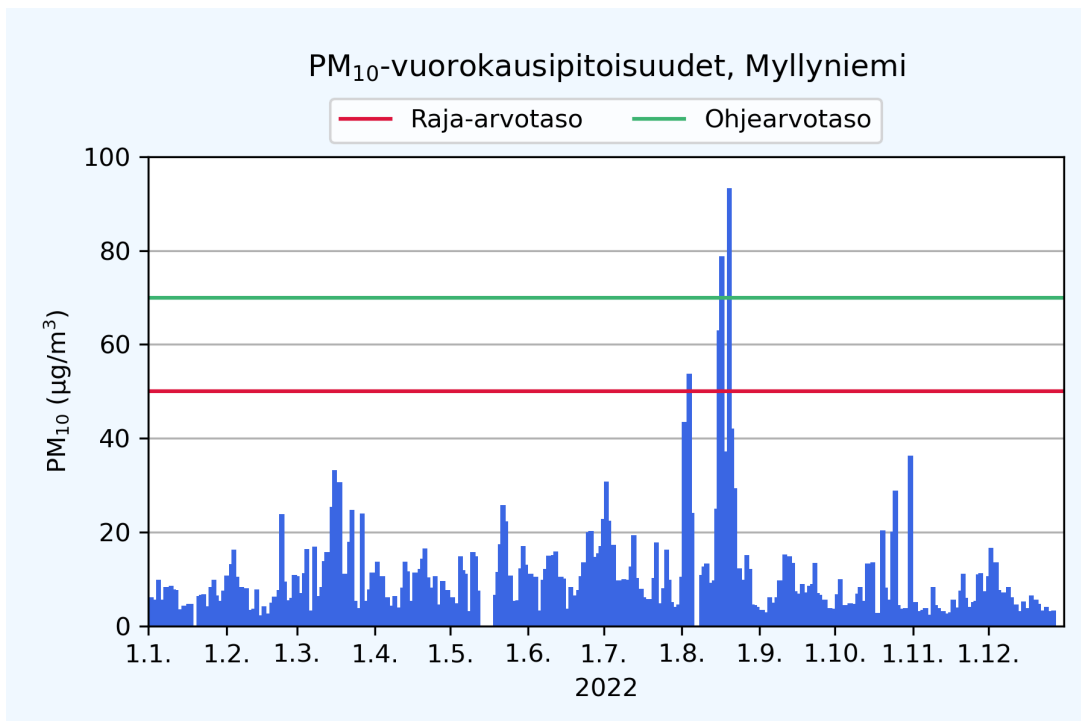
Kuva 2. Terrafame Oy:n Tehdasalueen ilmanlaadun mittausasemalla vuonna 2022 mitatut PM<sub>10</sub>-hiukkasten **tuntipitoisuudet**. Hengitettävien hiukkasten tuntipitoisuuksille ei ole ohje- tai raja-arvoja.



Kuva 3. Terrafame Oy:n Tehdasalueen ilmanlaadun mittausasemalla vuonna 2022 mitatut PM<sub>10</sub>-hiukkasten **vuorokausipitoisuudet**. Kuvaan on merkitty viivoilla hengitettävien hiukkasten ohje- ja raja-arvotasot. Vuorokausiraja-arvotason 50 µg/m<sup>3</sup> ylityksiä saa olla 35 kappaletta vuodessa. Ohje- ja raja-arvotasojen tilastolliset määrittelyt on esitetty taulukoissa 5 ja 6.



Kuva 4. Myllyniemen ilmanlaadun mittausasemalla vuonna 2022 mitatut PM<sub>10</sub>-hiukkasten **tuntipitoisuudet**. Hengitettävien hiukkasten tuntipitoisuuksille ei ole ohje- tai raja-arvoja.



Kuva 5. Myllyniemen ilmanlaadun mittausasemalla vuonna 2022 mitatut PM<sub>10</sub>-hiukkasten **vuorokausipitoisuudet**. Kuvaan on merkitty viivoilla hengitettävien hiukkasten ohje- ja raja-arvotason. Vuorokausiraja-arvotason 50 µg/m<sup>3</sup> ylityksiä saa olla 35 kappaletta vuodessa. Ohje- ja raja-arvotason tilastolliset määrittelyt on esitetty taulukoissa 5 ja 6.

Taulukko 1. Terrafamen Tehdasalueen ja Myllyniemen mittausasemilla vuonna 2022 mitatut hengitettävien hiukkasten vuosikeskiarvopitoisuudet ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) sekä aiempien mittausjaksojen keskiarvopitoisuudet. Huom. aiemmat mittausjaksot ovat olleet lyhyempiä, joten vuosikeskiarvot eivät ole suoraan vertailukelpoisia.

	2008–2009 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	2015–2016 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	2022 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
<b>Tehdasalue</b>			
PM <sub>10</sub>	16*	24**	14
<b>Myllyniemi</b>			
PM <sub>10</sub>	7*	8**	10

\* Mittausjakso 6kk, 4.9.2008–2.3.2009, mittausten ajallinen kattavuus alle 85 %

\*\* Mittausjakso 9kk, 1.12.2015–15.8.2016, mittausten ajallinen kattavuus alle 85 %

## 2.2 Ilmanlaatuindeksi

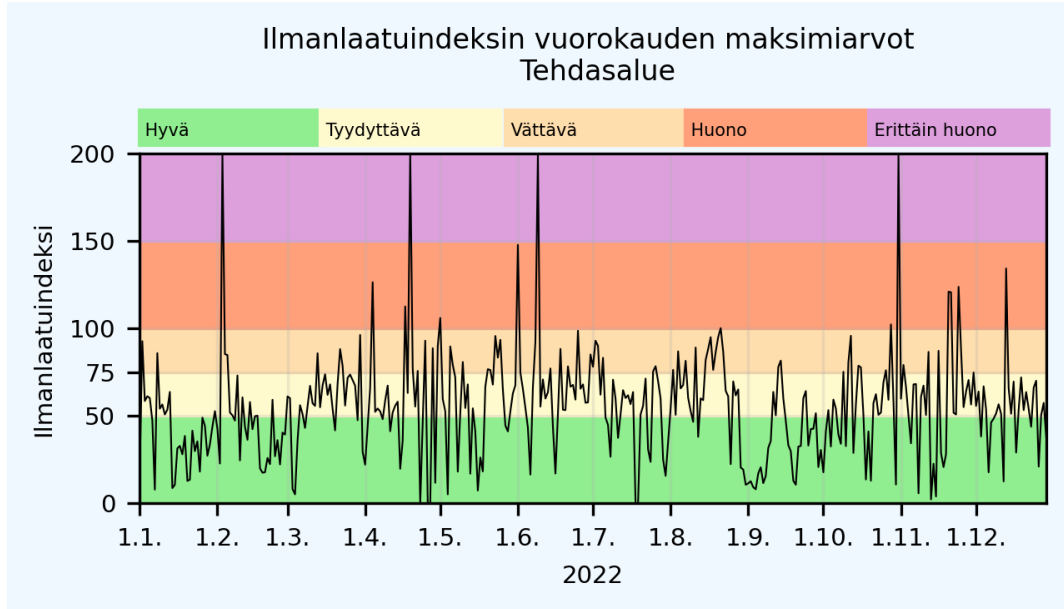
Terrafamen ilmanlaadun mittausasemilla mitattujen PM<sub>10</sub>-hiukkasten pitoisuuksien tuntiarvojen perusteella laskettiin ilmanlaatuindeksi, joka kuvaa vallitsevaa ilmanlaatuilannetta viisiportaisella sannallisella asteikolla: hyvä, tyydyttävä, välttävä, huono tai erittäin huono. Ilmanlaatuindeksi on vertailuluku, joka kuvaa sen hetkistä ilmanlaatua suhteutettuna ilmanlaadun terveysvaikutusperusteisiin raja- tai ohjearvopitoisuuksiin. Yleensä ottaen ilmanlaatuindeksin määrittämiseksi kullekin mitattavalle yhdisteelle lasketaan ensin pitoisuuksien tuntikeskiarvoista ali-indeksi (<https://www.ilmatieteenlaitos.fi/ilmanlaatuindeksi>). Ali-indekseistä korkeimman arvo määrää sen tunnin ilmanlaatuindeksin arvon. Ilmanlaatuindeksiin vaikuttavista yhdisteistä Terrafamen mittausasemilla mitattiin vain PM<sub>10</sub>-hiukkasten pitoisuutta, joten ilmanlaatuindeksi on laskettu PM<sub>10</sub>-pitoisuudesta. Vuorokauden ilmanlaatuindeksi määräytyy puolestaan ilmanlaadultaan huonoimman tunnin mukaan.

Kuvassa 6 on esitetty vuorokauden suurimmat ilmanlaatuindeksin arvot Terrafamen Tehdasalueen ilmanlaadun mittausasemalla ajalla 1.1.–31.12.2022. Indeksillä ilmaistuna ilmanlaatu oli mittausasemalla hyvää 38 %, tyydyttävää 43 %, välttävää 15 %, huonoa 3 % ja erittäin huonoa 1 % päivistä (4 päivää). Erittäin huonot ilmanlaadun päivät olivat 3.2., 19.4., 9.6. sekä 31.10. Helmikuun erittäin huonoon ilmanlaatuun vaikutti kaivoksella tehdyt räjäytykset sekä akkukemikaalitehtaan ylösajo. Huhtikuun erittäin huono ilmanlaadun päivä johtui tehdaspalokunnan harjoituksesta ja kesäkuun erittäin huonon ilmanlaadun päivänä asemalle on tuullut kaivoksen suunnalta. Lokakuun lopun erittäin huonon ilmanlaadun päivänä öljykattila on käynyt katkokäyttöä ja on näin ollen vaikuttanut merkittävästi ilmanlaatuun.

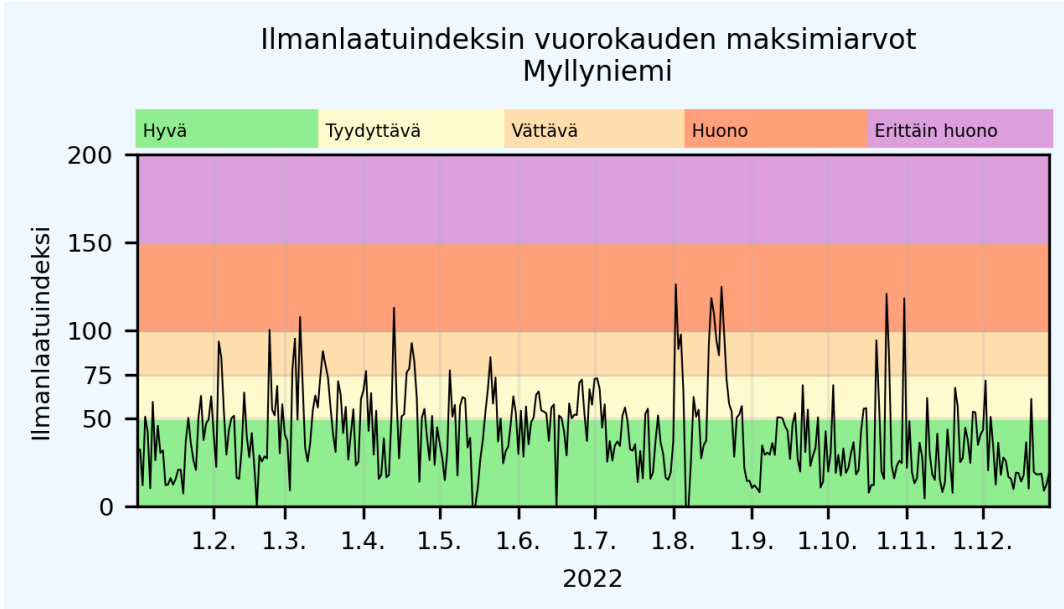
Kuvassa 7 on esitetty vuorokauden suurimmat ilmanlaatuindeksin arvot Myllyniemen ilmanlaadun mittausasemalla ajalla 1.1.–31.12.2022. Indeksillä ilmaistuna ilmanlaatu oli mittausasemalla hyvää 61,5 %, tyydyttävää 30 %, välttävää 6 % ja huonoa 2,5 % päivistä (9 päivää). Myllyniemen asemalla ei mitattu erittäin huonon ilmanlaadun päiviä vuonna 2022. Huonoista ilmanlaadun päivistä suurin osa (4 päivää) oli elokuussa, kaksi päivää lokakuussa ja yhdet päivät helmi-, maaliskuu- ja huhtikuussa. Elokuussa Venäjän puolelta kulkeutui pienhiukkasia metsäpaloista, mikä aiheutti kohonneita hiukkaspitoisuuksia ja siten heikensi ilmanlaatua. Lokakuun lopun huonon ilmanlaadun päivät johtuivat todennäköisesti sääolosuhteista: korkeimpien pitoisuuksien aikaan tuuli on ollut heikkoa ja lämpötila



ollut laskussa, mikä mahdollisesti on aiheuttanut niin sanotun lämpötilainversiotilanteen maanpinnalle ja heikentänyt sekoittumista ilmakehässä.



Kuva 6. Vuorokauden suurimmat ilmanlaatuindeksin arvot Tehdasalueen ilmanlaadun mittauspisteessä jaksolla 1.1.–31.12.2022.



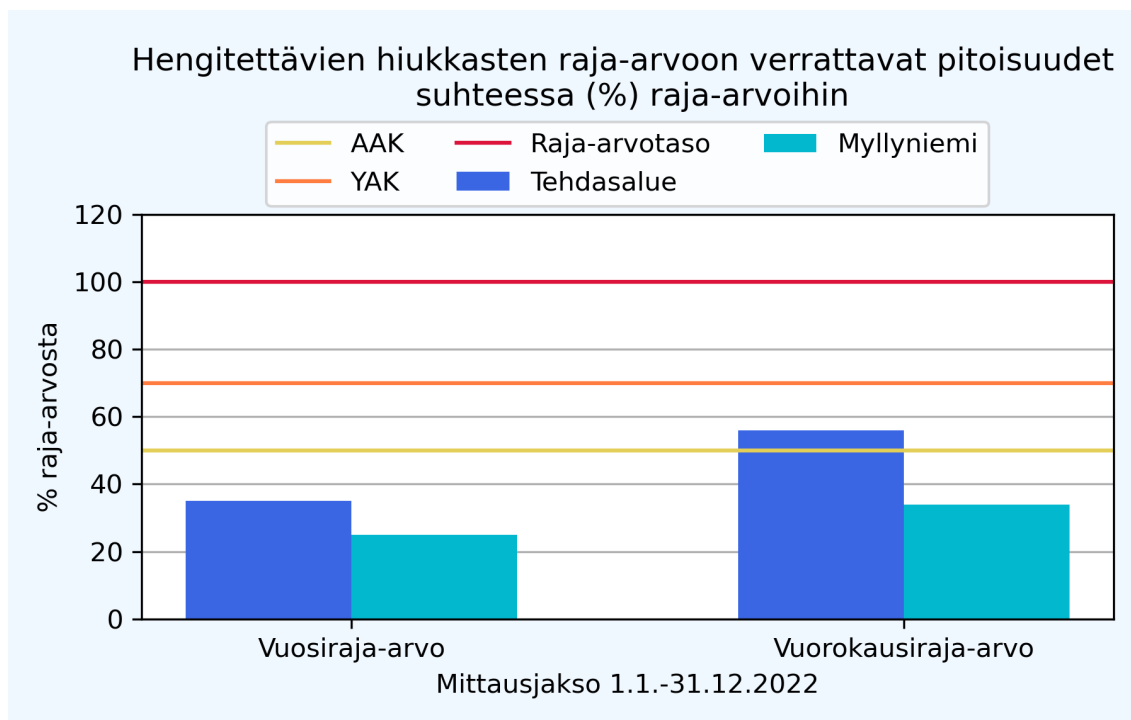
Kuva 7. Vuorokauden suurimmat ilmanlaatuindeksin arvot Myllyniemen ilmanlaadun mittauspisteessä jaksolla 1.1.–31.12.2022.

### 2.3 Pitoisuuksien vertailua ilmanlaadun raja- ja ohjearvoihin

Raja-arvot määrittelevät pitoisuuksille enimmäiskaton, jota ei saa ylittää. Raja-arvot ovat sitovia ja ne ovat voimassa kaikissa Euroopan Unionin jäsenmaissa. Raja-arvot eivät ole voimassa suljetuilla tehdasalueilla tai esimerkiksi liikenneväylillä. 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 raja-arvopitoisuuksille sallitaan vielä erikseen ylityksiä määrittelystä pitoisuustasosta, joten raja- ja ohjearvoja ei voi suoraan lukuarvoina verrata keskenään. Arviointikynnyksiin vertaamisen avulla määritetään ilmanlaadun seurantarvetta ja käytettäviä seurantamenetelmiä. Ilmanlaadun lainsäädännöstä on kerrottu tarkemmin raportin jälkimmäisessä osassa kappaleessa 6.4. Ilmanlaadun raja-arvotarkasteluissa vertailujakso on yksi kalenterivuosi.

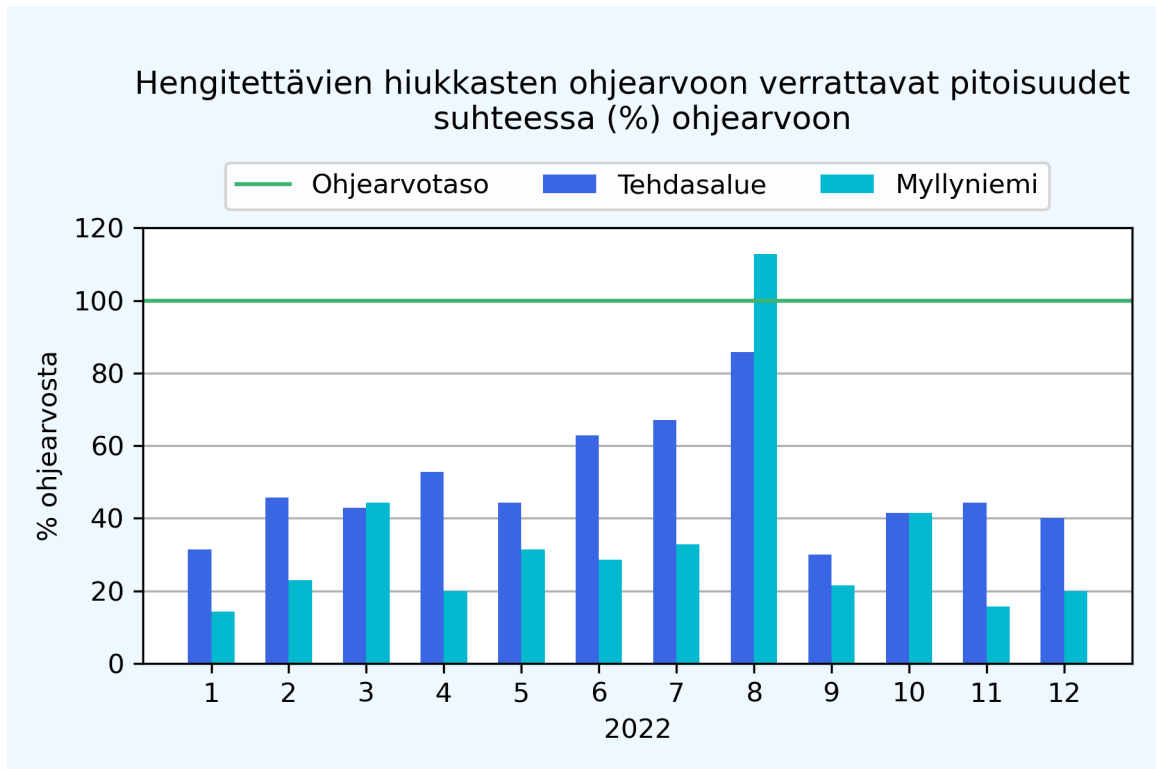
Kuvassa 8 on esitetty vertailut Tehdasalueen ja Myllyniemen ilmanlaadun mittausasemilla havaituista hengitettävien hiukkasten vuosiraja-arvoon, vuorokausiraja-arvoon ja arviointikynnyksiin verrannollisista pitoisuuksista. Vastaavat pitoisuudet on esitetty raportin lopussa liitetaulukossa 3. Tehdasalueen asemalla mitatut pitoisuudet jäivät selvästi raja-arvojen alapuolelle, mutta vuorokausiraja-arvon alempi arviointikynnys ylittyi. Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet olivat korkeimmillaan 56 % vuorokausiraja-arvosta ja 35 % vuosiraja-arvosta. Hengitettävien hiukkasten vuorokausiraja-arvotason  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ylityksiä esiintyi 9 päivänä vuonna 2022. Näitä ylityspäiviä saa olla mittausasemalla 35 kappaletta vuodessa ennen kuin vuorokausiraja-arvo katsotaan ylittyneeksi. Mitatut pitoisuudet Myllyniemen asemalla jäivät selvästi raja-arvojen ja arviointikynnyksien alapuolelle. Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet olivat korkeimmillaan 34 % vuorokausiraja-arvosta ja 25 % vuosiraja-arvosta. Hengitettävien hiukkasten vuorokausiraja-arvotason  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ylityksiä esiintyi 4 päivänä vuonna 2022.

Raja-arvojen ylittymisen valvontaan käytettävissä jatkuvissa mittauksissa aineiston vähimmäismäärä on 90 % kalenterivuoden tunneista, mikä ei kuitenkaan sisällä laitteiden säännöllisestä kalibroinnista tai normaalista kunnossapidosta aiheutuvaa tietohukkaa. Tavoitteen täyttymisen arvioimiseksi vähennetään ensin kalibrointien ja normaalin kunnossapidon vuoksi menetettyjen mittaus tulosten yhteismäärä koko vuoden suurimmasta mahdollisesta mittausarvojen määrästä. Yleisesti kalibrointien ja normaalin kunnossapidon vuoksi voidaan katsoa menetettävän 5 % vuoden tunneista eli laatutavoitteena käytetään 85 % vuoden tuntimäärästä. Aineiston vähimmäismäärän laatutavoite täyttyi vuonna 2022 hengitettävien hiukkasten osalta molemmilla mittausasemilla.



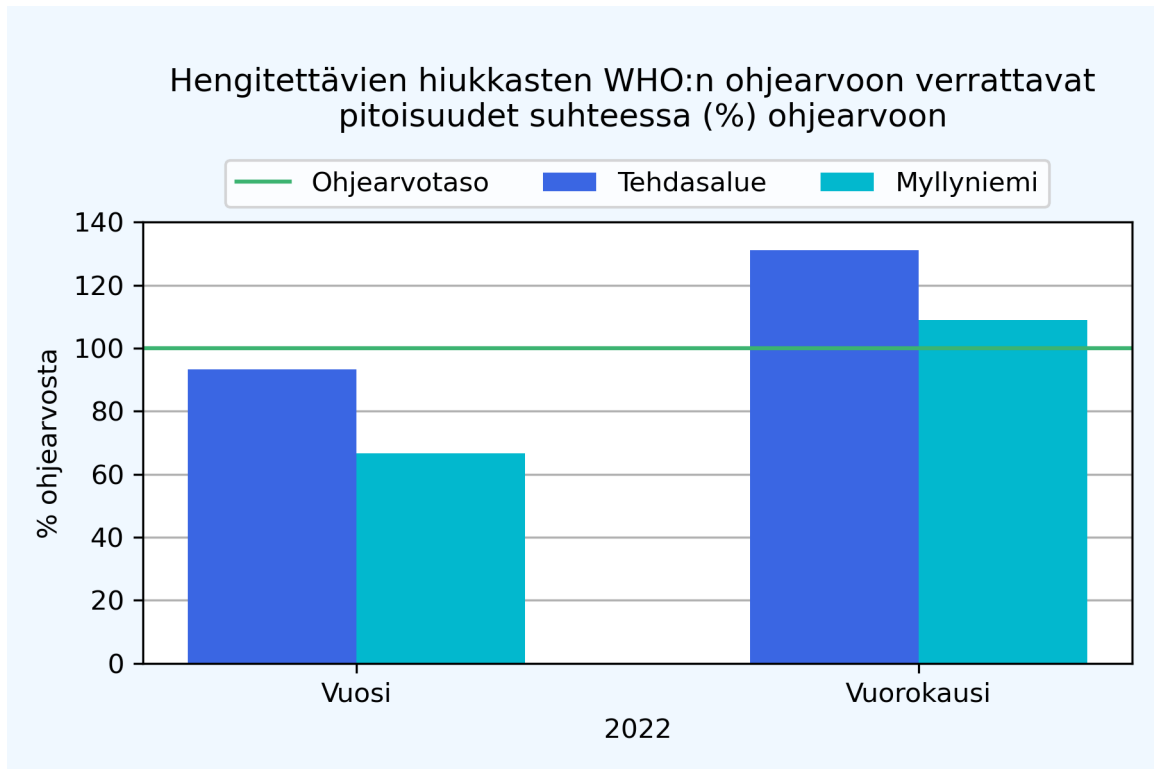
Kuva 8. Hengitettävien hiukkasten raja-arvoon verrattavat pitoisuudet suhteessa (%) raja-arvoihin Terrafamen Tehdasalueen ja Myllyniemen ilmanlaadun mittauspisteissä ajalla 1.1.–31.12.2022. Kuvaan on merkitty vaakaviivoilla raja-arvotaso sekä ylempi arviointikynnys (YAK) ja alempi arviointikynnys (AAK).

Kuvassa 9 on esitetty hengitettävien hiukkasten ohjearvoon verrannolliset pitoisuudet kuukausittain Terrafamen Tehdasalueen ja Myllyniemen ilmanlaadun mittausasemilla. Ohjearvoon verrattavat pitoisuudet eivät ylittyneet mittausjaksolla kertaakaan Tehdasalueen asemalla, kun taas Myllyniemessä ohjearvoon verrattava pitoisuus ylitti ohjearvotason elokuussa. Myllyniemen ohjearvon ylityspäivänä 17.8.2022 tuuli puhalsin etelän ja kaakon suunnalta, ja suurimmat pitoisuudet tulivat kaakon suunnalta. Hengitettävien hiukkasten ohjearvoon verrannolliset pitoisuudet olivat korkeimmillaan kesäkuukausina Tehdasalueen asemalla ja Myllyniemessä kesällä, alkukevästä sekä syksystä. Tehdasalueella ja Myllyniemessä korkeimmat ohjearvoon verrattavat pitoisuudet mitattiin elokuussa, Tehdasalueella 86 % ohjearvosta ja Myllyniemessä 113 % ohjearvosta. Ohjearvoon vertaaminen edellyttää, että vuorokausipitoisuuksia on vähintään 75 % kuukauden vuorokausien lukumäärästä. Tämä vaatimus täyttyi molemmilla mittausasemilla kaikkina kuukausina.



Kuva 9. Hengitettävien hiukkasten ohjearvoon verrattavat pitoisuudet suhteessa (%) ohjearvoon kuukausittain Tehtasalueen ja Myllyniemen ilmanlaadun mittauspisteissä ajalla 1.1.–31.12.2022. Vihreällä vaakaviivalla (100 %) on merkitty ohjearvotaso  $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Kuvassa 10 on esitetty mittausjaksolla 1.1.–31.12.2022 havaitut hengitettävien hiukkasten WHO:n ohjearvoon (*WHO 2021*) verrattavat pitoisuudet. WHO päivitti syksyllä 2021 ilmansaasteiden ohjearvopitoisuudet, joita pienemmillä pitoisuuksilla haitallisia terveysvaikutuksia ei esiinny lainkaan tai ne ovat vain vähäisiä. WHO:n vuorokausiohjearvo on tilastollisesti määritelty siten, että se on korkeimpien vuorokausikeskiarvopitoisuuksien 99. prosenttipiste, joka tarkoittaa käytännössä sitä, että kalenterivuoden jaksolla sallitaan 3 ylityskertaa ennen kuin vuorokausiohjearvon katsotaan ylittyneen. WHO:n hengitettävien hiukkasten vuosiohjearvoon ( $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) verrattavat pitoisuudet alittuvat Terärafamen mittauspisteissä, kun taas WHO:n hengitettävien hiukkasten vuorokausiohjearvotasoon ( $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) verrattavat pitoisuudet ylittyvät.

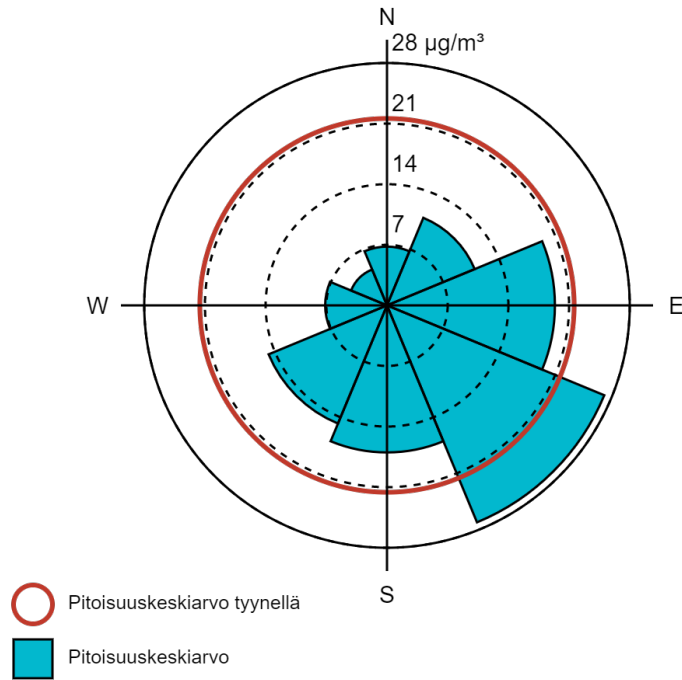


Kuva 10. Hengitettävien hiukkasten WHO:n ohjearvoon verrattavat pitoisuudet suhteessa (%) ohjearvoon Terrafamen Tehdasalueen ja Myllyniemen mittauspisteissä ajalta 1.1.–31.12.2022.

## 2.4 Tuulen suunnan ja nopeuden vaikutus mitattuihin pitoisuuksiin

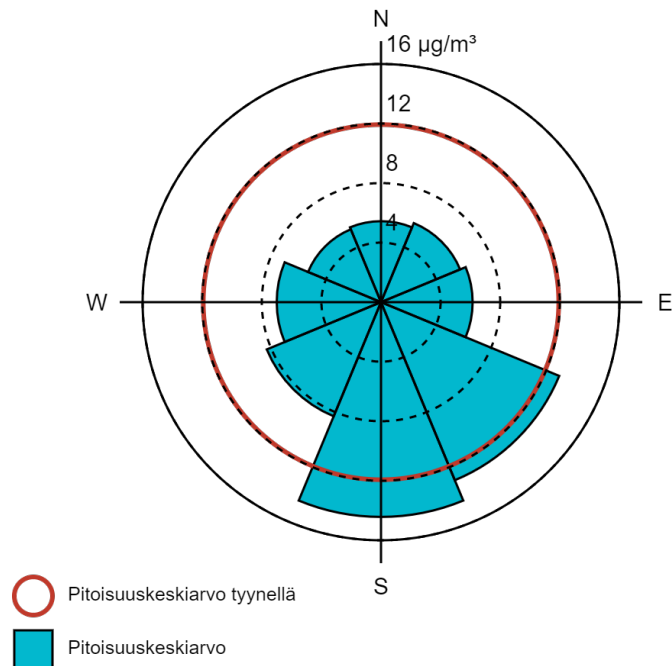
Kuvassa 11 on havainnollistettu Tehdasalueen ilmanlaadun mittausasemalla mitattujen pitoisuuksien keskimääräistä riippuvuutta tuulensuunnasta ns. pitoisuusruusun avulla. Myllyniemen pitoisuusruusu on esitetty kuvassa 12. Pitoisuusruusu kuvaa hiukkasten **tuntipitoisuuksien keskiarvoa** eri tuulensuunnilla. Tyynellä säällä, eli kun tuulen nopeus on alle 0,5 m/s, havaittujen tuntipitoisuuksien keskiarvo on esitetty ympyrällä, jonka säteen pituus kuvaa pitoisuuden arvoa. Muilla tuulennopeuksilla havaitut pitoisuudet on esitetty tuulensuunnittaisina sektoreina, joissa keskipisteestä lähtevän janan pituus sektorin kehäviivalle vastaa tuntipitoisuuksien keskiarvoa. Vuonna 2022 Terrafamen Tehdasalueen mittausasemalla mitatut tuulet olivat pääosin etelätuulia. Idästä tuuli vähiten mittausasemalla. Myllyniemen mittausasemalla mitatut tuulet olivat pääosin lounaistuulia ja luoteesta tuuli vähiten. Tuulijakaumat on esitetty kappaleessa 5.1.

Tyynellä säällä havaitut korkeat hiukkasten pitoisuudet kertovat paikallisista lähipäästölähteistä, joiden lähdettä ja sijaintia ei pystytä tarkasti määrittelemään. Kovemilla tuulennopeuksilla pystytään selkeästi päättelemään, mistä suunnasta mitatut pitoisuudet ovat peräisin. Tehdasalueen mittausaseman pitoisuusruusun mukaan hengitettävien hiukkasten tuntipitoisuuksien keskiarvot olivat suurimmillaan kaakon puoleisilla tuulilla. Asemasta kaakon suunnalla on tuotantoaluetta, kuten primääri- ja sekundaari-alue ja tarvekivenlouhimo, mikä vaikuttaa mitattuihin korkeampiin pitoisuuksiin. Myllyniemen aseman pitoisuusruusun mukaan hengitettävien hiukkasten tuntipitoisuuksien keskiarvot olivat suurimmillaan etelän ja kaakon puoleisilla tuulilla. Aseman eteläpuolella sijaitsevat avolouhos sekä sivukivialue, mikä on todennäköisesti vaikuttanut korkeisiin pitoisuuksiin kyseiseltä suunnalta. Kaakon puolella asemalta sijaitsee asuinrakennuksia, joten niissä tapahtuneet erilaiset toiminnot, kuten puunpoltto, on voinut vaikuttaa mitattuihin korkeisiin pitoisuuksiin kaakon suunnalta.



Kuva 11.

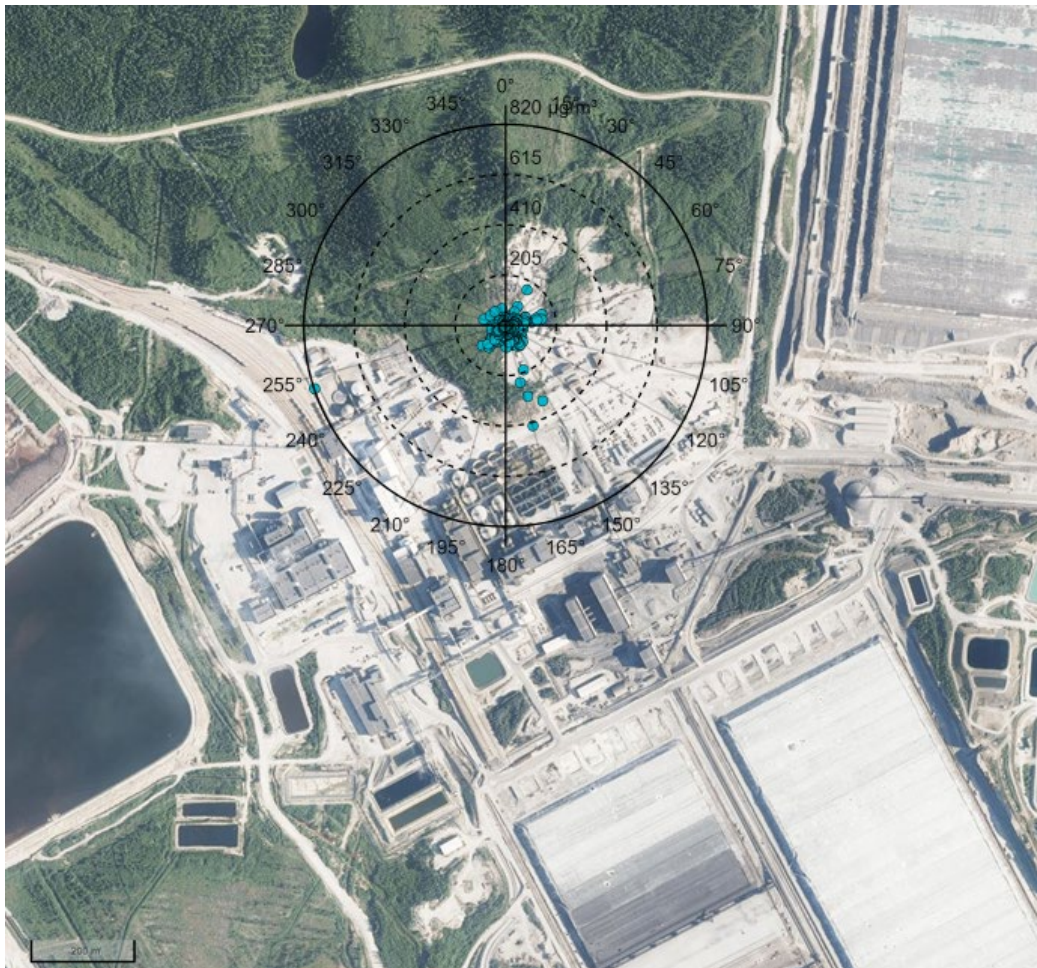
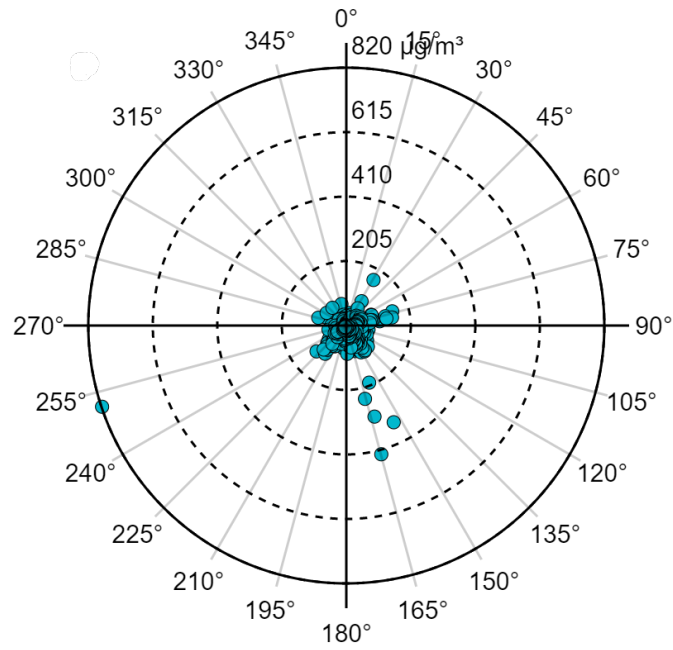
Tehdasalueen ilmanlaadun mittausasemalla mitattujen **tuntipitoisuuksien keskiarvot** tuulensuunnittain vuonna 2022. Punaisella ympyrällä on merkitty pitoisuuksia, jotka on mitattu tyynissä tilanteissa, jolloin tuulen nopeus on alle 0,5 m/s, eikä suuntaa voida määrittää.



Kuva 12.

Myllyniemen ilmanlaadun mittausasemalla mitattujen **tuntipitoisuuksien keskiarvot** tuulensuunnittain vuonna 2022. Punaisella ympyrällä on merkitty pitoisuuksia, jotka on mitattu tyynissä tilanteissa, jolloin tuulen nopeus on alle 0,5 m/s, eikä suuntaa voida määrittää.

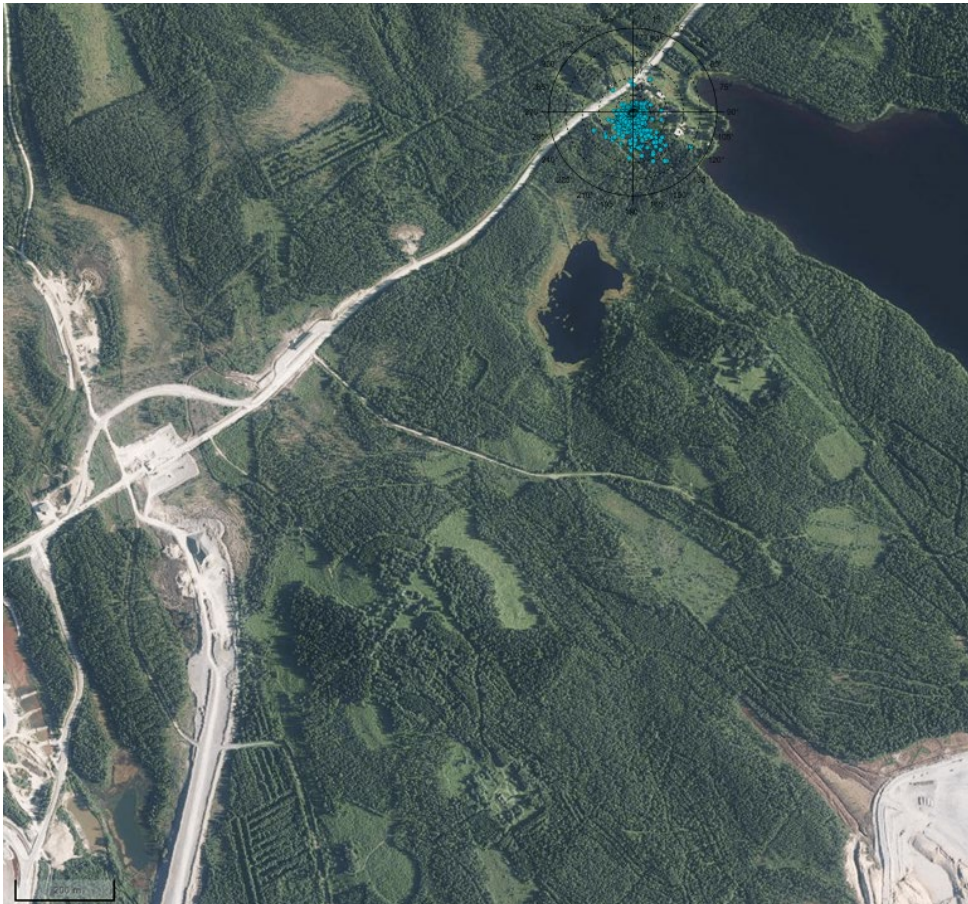
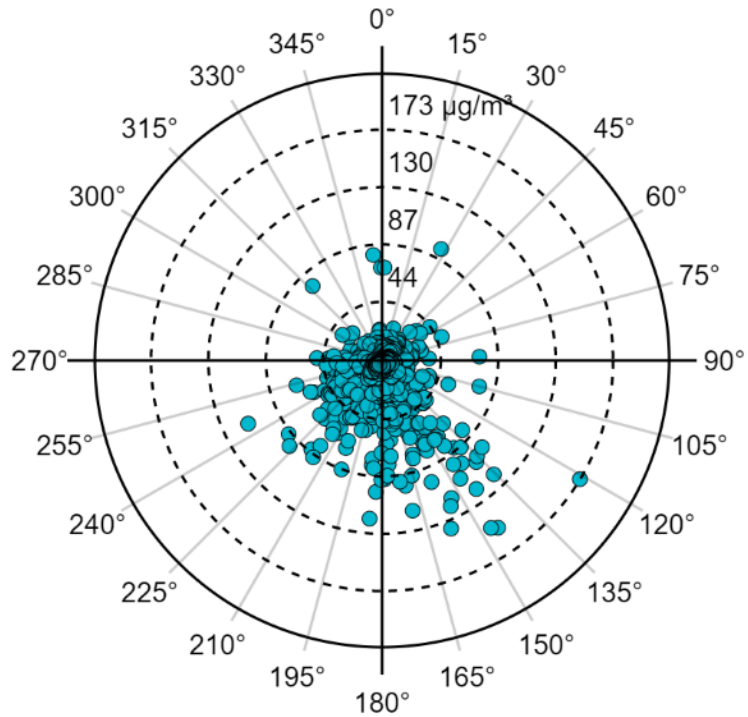
Kuvassa 13 on esitetty Terrafamen Tehdasalueen mittausasemalla mitattujen **yksittäisten tuntipitoisuuksien** riippuvuus tuulen suunnasta. Mittausasemalla eniten korkeampia pitoisuuksia mitattiin etelä-kaakon suunnasta puhaltavilla tuulilla, eli tuulen käydessä primääriliuotusalueen ja sen eteläpuoleisen tarvekivilouhoksen suunnalta. Yksittäinen korkeampi tuntipitoisuus mitattiin länsi-lounaan suunnalta. Kuvassa 14 on esitetty vastaavat kuvaajat Myllyniemen asemalle. Myllyniemessä eniten korkeampia pitoisuuksia mitattiin lounas-etelä-kaakko-akselilla. Kyseisissä ilmansuunnissa sijaitsee avolouhosalue, sivukivialue, karkeamurska ja sekundääriliuotusalue. Lisäksi alueella on rakennettu Rahvaantietä avolouhokselta uudelle sekundääriliuotusalueelle SH5-8 malmtien pohjoispuolelle. Kaakon suunnalla on myös muutamia rakennuksia, joiden toiminnasta, kuten esimerkiksi puunpolto, voi myös aiheutua päästöjä.



Kuva 13.

TerraFamen Tehdasalueen ilmanlaadun mittausasemalla mitatut **yksittäiset tuntipitoisuudet** ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) tuulensuunnittain ( $0\text{--}360^\circ$ ) vuonna 2022. Kuvassa eivät näy tyynellä mitatut tuntipitoisuudet. Tyyniksi on tässä tarkastelussa luokiteltu alle  $0,5\text{ m/s}$  tuulen nopeudet.





Kuva 14.

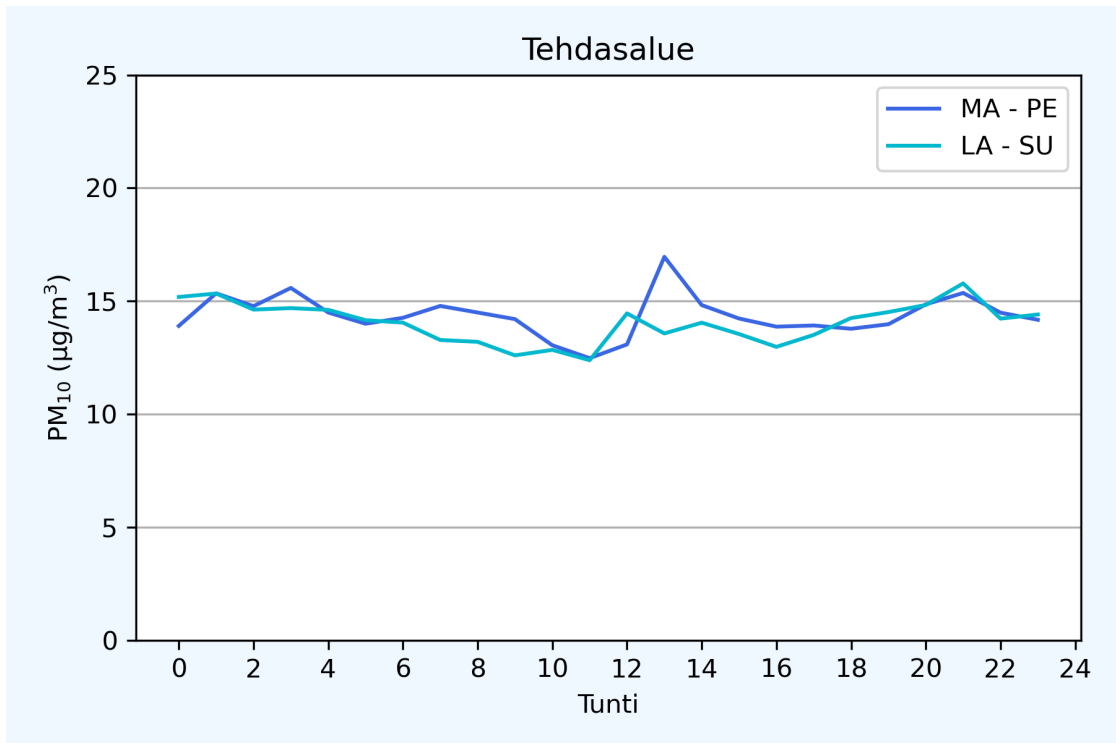
Myllyniemen ilmanlaadun mittausasemalla mitatut **yksittäiset tuntipitoisuudet** ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) tuulensuunnittain ( $0\text{--}360^\circ$ ) vuonna 2022. Kuvassa eivät näy tyynellä mitatut tuntipitoisuudet. Tyyniksi on tässä tarkastelussa luokiteltu alle  $0,5\text{ m/s}$  tuulen nopeudet. Kuvassa sivukivialue KL2 näkyy oikeassa alakulmassa. Vasemmassa reunassa näkyy vuonna 2022 rakenteilla ollut Rahvaantie malmitien eteläpuolella.

## 2.5 Pitoisuuksien ajallinen vaihtelu

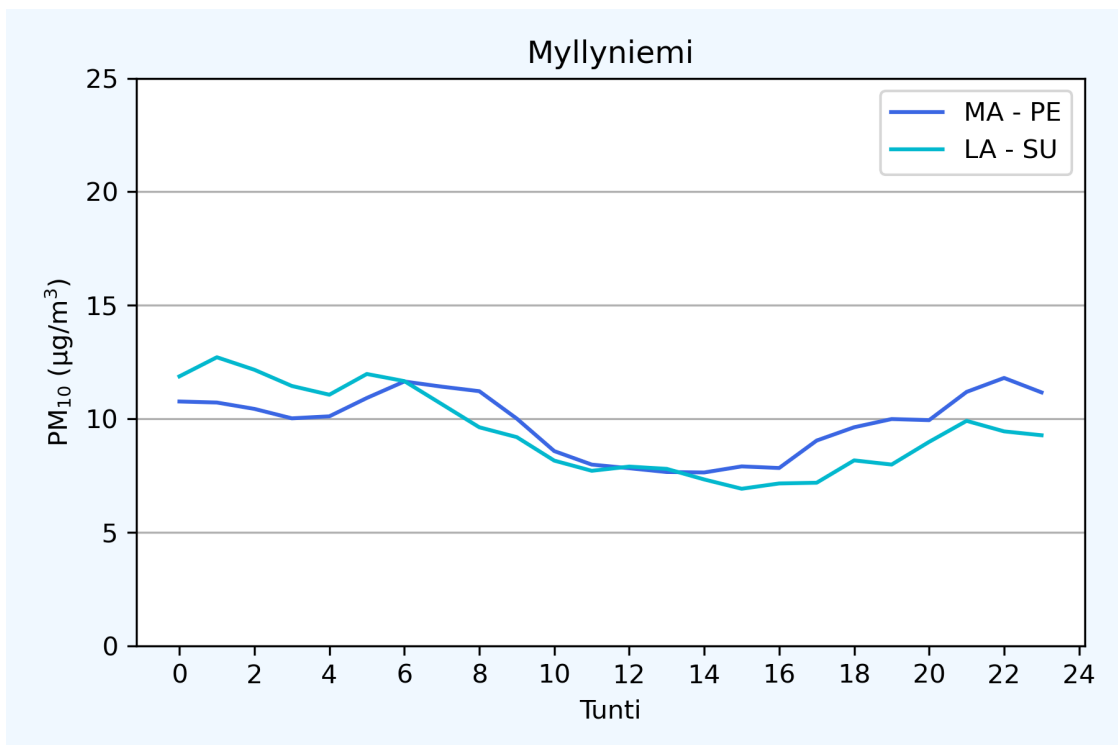
Kuvassa 15 on tarkasteltu Terrafamen Tehdasalueen ilmanlaadun mittausasemalla mitattujen hengitettävien hiukkasten tuntipitoisuuksien vuorokaudenaikaisvaihtelua kellonajan mukaan erikseen arkipäivisin (maanantai–perjantai) ja viikonloppuisin (lauantai–sunnuntai). Samanlainen kuvaaja Myllyniemen asemalle on kuvassa 16. Kuvassa 17 pitoisuuksia on puolestaan tarkasteltu viikonpäivittäisinä keskiarvoina mittausjaksolta molemmilta asemilta.

Hengitettävien hiukkasten tuntipitoisuuksien vuorokaudenaikaisvaihtelussa ei ollut merkittäviä eroja arkipäivien ja viikonloppun välillä Tehdasalueen asemalla (kuva 15). Selkeimmät erot arkipäivien ja viikonloppun välillä olivat noin klo 7–16, jolloin arkipäivisin oli pääasiassa korkeampia hiukkaspitoisuuksia verrattuna viikonloppun pitoisuuksiin. Tähän todennäköisesti vaikuttaa arkipäivisin ollut mahdollinen aktiivisempi toiminta kaivospiirillä verrattuna viikonloppuihin. Korkeimmillaan pitoisuudet olivat arkipäivinä puolenpäivän jälkeen ja matalimmillaan ennen puoltapäivää sekä arkipäivinä että viikonloppuina. Kuvaajista on hieman havaittavissa myös ilmakehän sekoittumisolosuhteiden vaikutusta pitoisuuksiin. Yöaikaan sekoittumiskerros on ohuempi ja tuulet yleensä kevyitä, jolloin pitoisuudet maanpinnalla pääsevät kasvamaan. Päiväsaikaan sekoittumiskerros on paksumpi ja tuulet yleensä voimakkaampia, jolloin hiukkaset laimenevat tehokkaammin suurempaan ilmamäärään. Pitoisuuksiin vaikuttavat pakokaasuissa olevien hiukkasten lisäksi tuulen ja liikenteen maanpinnalta ilmaan nostattamat hiukkaset, joiden määrää säätelevät muun muassa liikenteen vilkkaus ja nopeus, tuulen nopeus, maanpinnalla olevan sekoittumiskerroksen korkeus ja sekoittumisen voimakkuus, maan- ja tienpinnan kosteus sekä sateisuus. Ympäristön pölyämistä voi tapahtua mihin tahansa vuorokaudenaikaan viikon kaikkina päivinä. Lisäksi kuvaajien muotoon vaikuttavat myös kaukokulkeumaepisodien ajankohdat sekä teollisuuden päästöistä peräisin olevat hiukkaset. Myllyniemen mittausasemalla (kuva 16) päiväaikaisen voimakkaamman sekoittumisen vaikutus pitoisuuksiin on selkeämmin näkyvässä. Korkeimmat pitoisuudet havaittiin viikonloppuisin puolen yön jälkeen ja pienimmät pitoisuudet viikonloppuisin iltapäivästä. Aamuyöllä pitoisuudet olivat suuremmat viikonloppuisin, kun taas aamuisin todennäköisesti aktiivisemmän työmatkaliikenteen aikaan sekä iltapäivisin ja iltaisin pitoisuudet olivat korkeampia arkipäivinä.

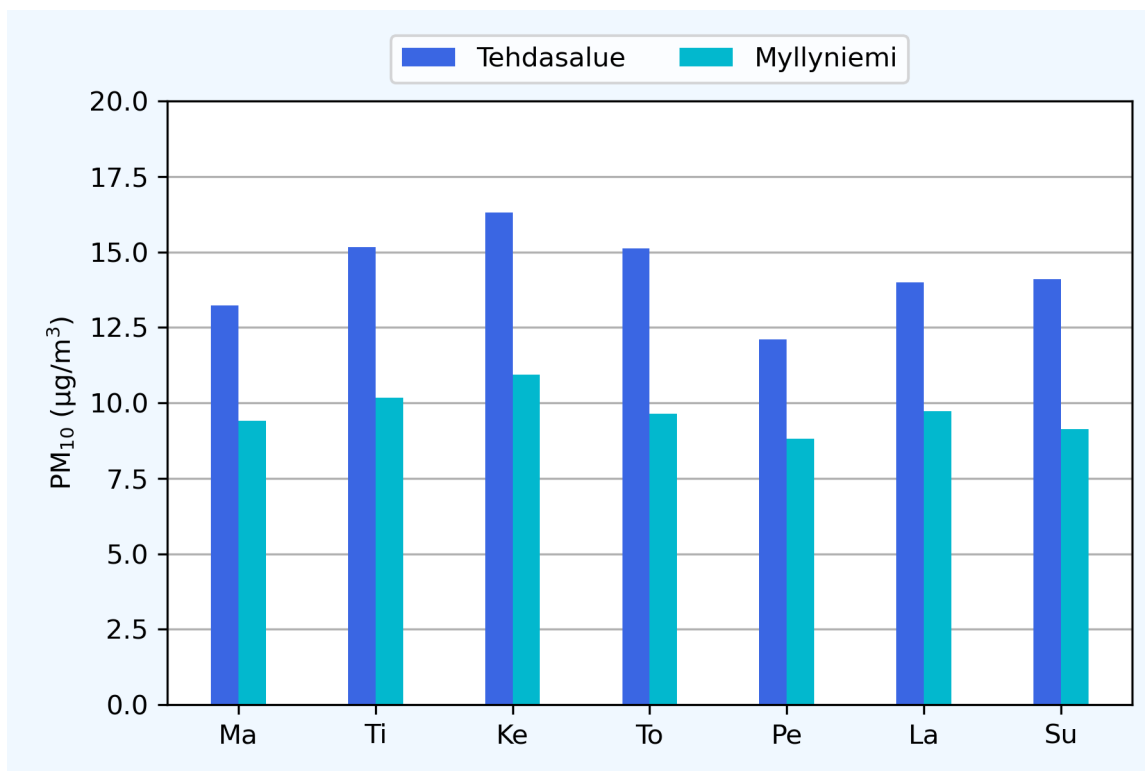
Viikonpäivittäin tarkasteltuna (kuva 17) korkeimmat hengitettävien hiukkasten pitoisuudet havaittiin keskiviikkoisin sekä Tehdasalueen että Myllyniemen mittausasemilla. Pitoisuudet olivat ylipäätään korkeampia ti-to Tehdasalueen asemalla ja ti-ke Myllyniemen asemalla. Pienimmät pitoisuudet havaittiin perjantaisin molemmilla asemilla.



Kuva 15. Terrafamen Tehdasalueen ilmanlaadun mittausasemalla 1.1.–31.12.2022 mitattujen tuntipitoisuuksien keskiarvot kellonajan mukaan arkipäivisin (ma–pe) ja viikonloppuisin (la–su).



Kuva 16. Myllyniemen ilmanlaadun mittausasemalla 1.1.–31.12.2022 mitattujen tuntipitoisuuksien keskiarvot kellonajan mukaan arkipäivisin (ma–pe) ja viikonloppuisin (la–su).



Kuva 17. TerraFamen Tehdasalueen ja Myllyniemen ilmanlaadun mittausasemilla 1.1.–31.12.2022 mitattujen pitoisuuksien keskiarvot viikonpäivän mukaan.

## 2.6 Hengitettävien hiukkasten sisältämät arseeni- ja metallipitoisuudet

TerraFamen mittauspisteissä kerättiin suodattimille hengitettävien hiukkasten vuorokausinäytteitä, joista analysoitiin laboratoriossa arseeni ja metallipitoisuudet. Näytteitä kerättiin joka kuudes päivä vuoden ajan. Molemmilta asemilta jäi yksi keruu välistä (Tehdasalueella 19.7. ja Myllyniemessä 6.8.) eli näytteitä otettiin vuoden aikana yhteensä 60 asemaa kohden. Raportin päätekstissä keskitytään mitatuista metallipitoisuuksista vain kadmiumin, nikkelin ja lyijyn pitoisuuksiin, koska ilmanlaatuun liittyvän lainsäädännön vertailuarvot ihmisten terveyden suojelemiseksi ja ympäristöön kohdistuvien haittojen ehkäisemiseksi koskevat nimenomaan niitä. Muiden metallipitoisuuksien mittaustuloksia tarkastellaan loppuliitteissä.

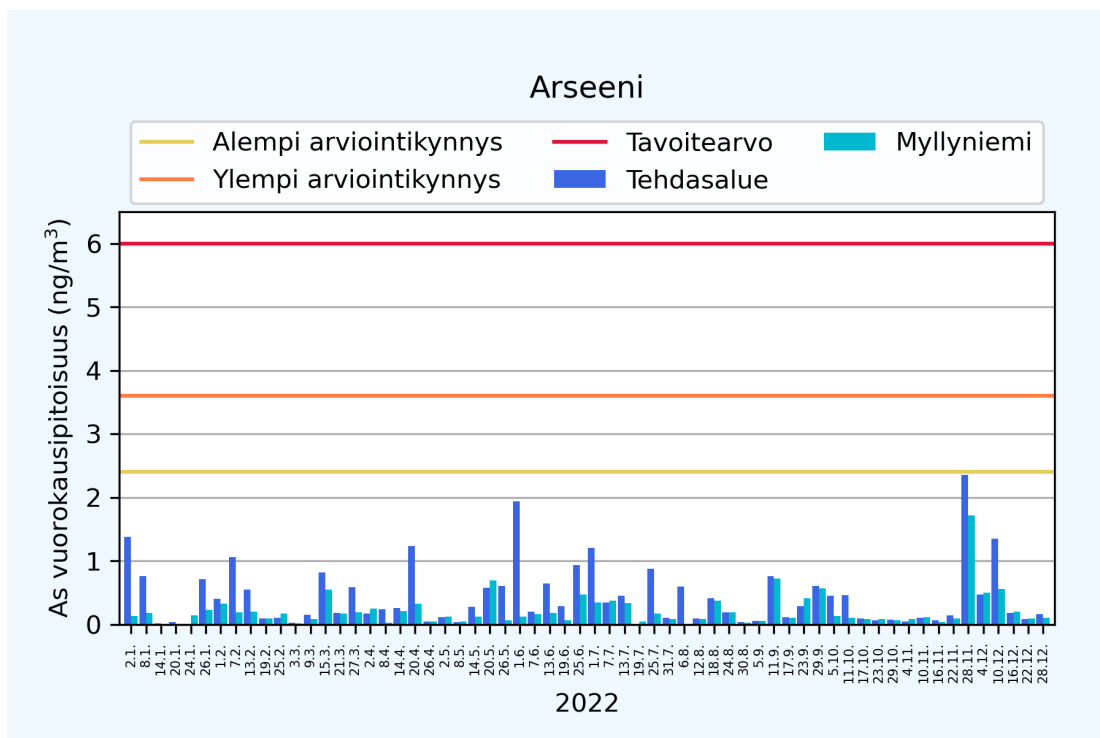
Ilmanlaadun kannalta tärkeimpien metallien ja arseenin pitoisuustulokset mittausjaksolta 2.1.2022–28.12.2022 on esitetty taulukossa 2, johon on koottu mittausjakson pitoisuuskeskiarvo, suurin ja pienin arvo sekä hajonta molemmilta asemilta. Arseenin, kadmiumin, nikkelin ja lyijyn pitoisuustulokset on esitetty lisäksi näytteittäin kuvissa 18–21. Muiden hengitettävistä hiukkasista analysoitujen metallien (alumiini, koboltti, kupari, kromi, mangaani, rauta, sinkki, vanadiini ja uraani) pitoisuustulokset on esitetty näytteittäin raportin lopussa liitekuviissa 1–9.

Yksittäisten näytteiden välinen pitoisuuksien vaihtelu oli suurta kaikilla alkuaineilla. Alumiini- ja rautapitoisuudet olivat hieman korkeampia kevät- ja kesäaikaan, kun taas lyijyllä oli korkeampia pitoisuuksia loppuvuodesta 2022. Muuten selkeää vuodenaikaisvaihtelua pitoisuuksissa ei ollut havaittavissa. 1.6.2022 havaittiin lähes kaikilla alkuaineilla selkeä korkeampi pitoisuuspiikki Tehdasalueen mittausasemalla. Kyseisenä päivänä havaittiin huomattavasti korkeampia PM<sub>10</sub>-pitoisuuksia (tuntipitoisuus 195 µg/m<sup>3</sup>). Mittauskontin lähetyksillä oli ajettu kuorma-autoilla, mikä on aiheuttanut pölyä-

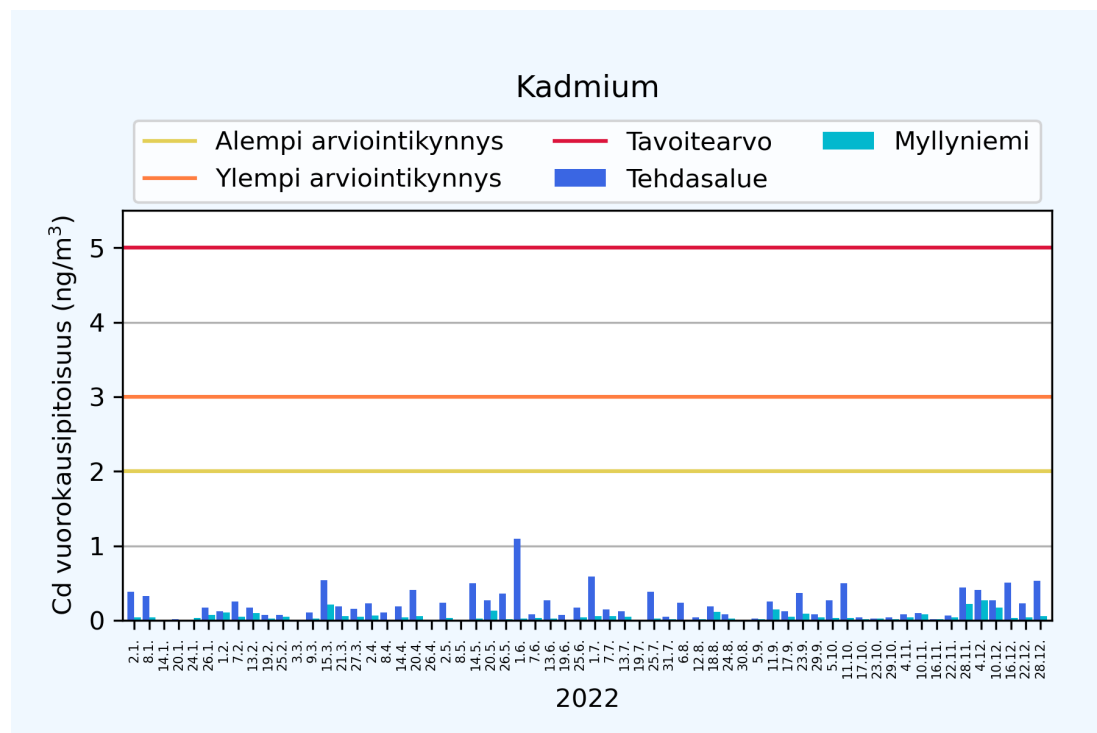
mistä. Tehdasalueella nikkelpitoisuus ylitti tavoitearvon, mutta muuten mittausjakson pitoisuuskeskiarvot alittivat raja- ja tavoitearvotason sekä myös alemman arviointikynnyksen tason. Arseeni- ja metallipitoisuuksien koko mittausjakson (12 kk) keskiarvojen vertailu tavoite- tai raja-arvoon on esitetty kuvissa 22–23. Arseenipitoisuuden vuoden keskiarvo oli pyörityssäätöjä käyttäen 0 % tavoitearvosta molemmilla asemilla, kadmiumpitoisuuden vuosikeskiarvo 0 % tavoitearvosta molemmilla asemilla ja lyijypitoisuuden vuoden keskiarvo 0,2 % raja-arvosta molemmilla asemilla. Näistä johtuen kuvassa 22 ei näy ollenkaan prosenttipalkkeja ja kuvassa 23 ei näy lyijylle prosenttipalkkeja.

Taulukko 2. Terrafamen Tehdasalueen ja Myllyniemen ilmanlaadun mittausasemilla mittausjaksolla 2.1.2022–28.12.2022 kerätyistä hengitettävien hiukkasten (PM<sub>10</sub>) vuorokausinäytteistä analysoidut arseeni- ja metallipitoisuudet, joille on annettu ilmanlaadun tavoite- tai raja-arvo.

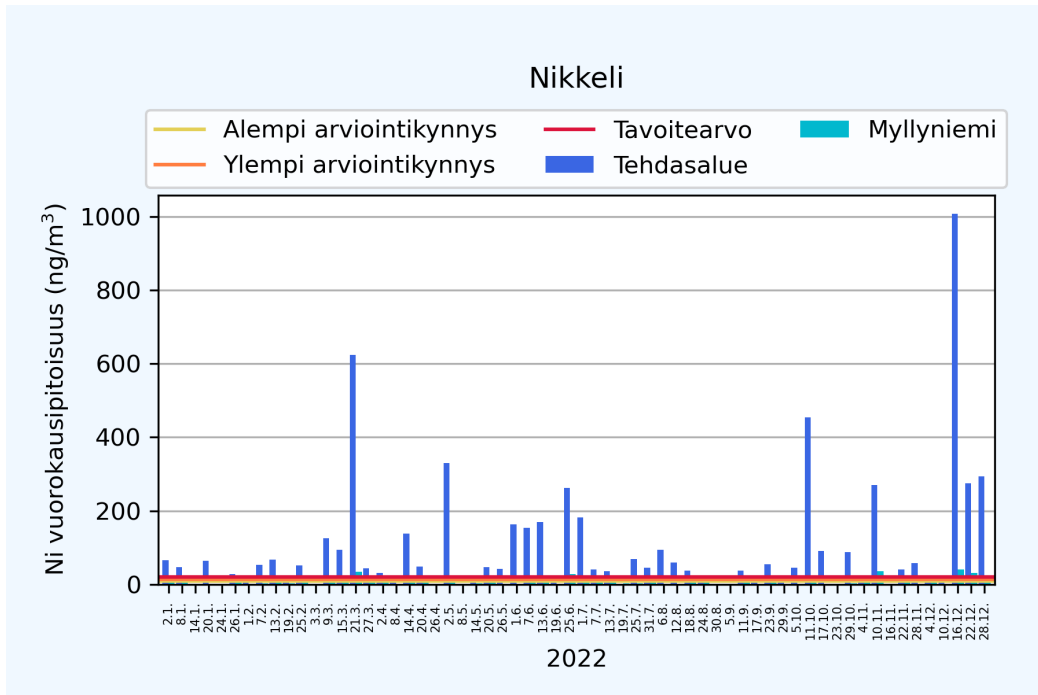
Keräinnäytteiden pitoisuudet	Arseeni (As) ng/m <sup>3</sup>	Kadmium (Cd) ng/m <sup>3</sup>	Nikkeli (Ni) ng/m <sup>3</sup>	Lyijy (Pb) ng/m <sup>3</sup>
<b>Tehdasalue</b>				
Keskiarvo	0,45	0,21	101,43	1,07
Minimi	0,02	0,00	0,08	0,09
Maksimi	2,36	1,09	1006,95	9,04
Hajonta	0,48	0,20	166,86	1,39
<b>Myllyniemi</b>				
Keskiarvo	0,23	0,05	7,49	0,80
Minimi	0,01	0,00	0,03	0,08
Maksimi	1,72	0,27	40,42	8,17
Hajonta	0,26	0,06	0,03	1,25



Kuva 18. Hengitettävistä hiukkasista (PM<sub>10</sub>) määritetyt **arsenipitoisuudet** (ng/m<sup>3</sup>) Terrafamen Tehdasalueen ja Myllyniemen mittauspisteissä jaksolla 2.1.2022–28.12.2022. Tavoitearvo ja arviointikynnykset koskevat vuosikeskiarvoa, eivät yksittäisiä pitoisuusarvoja, ja ne ovat kuvassa vain havainnollistamassa pitoisuustasoja.

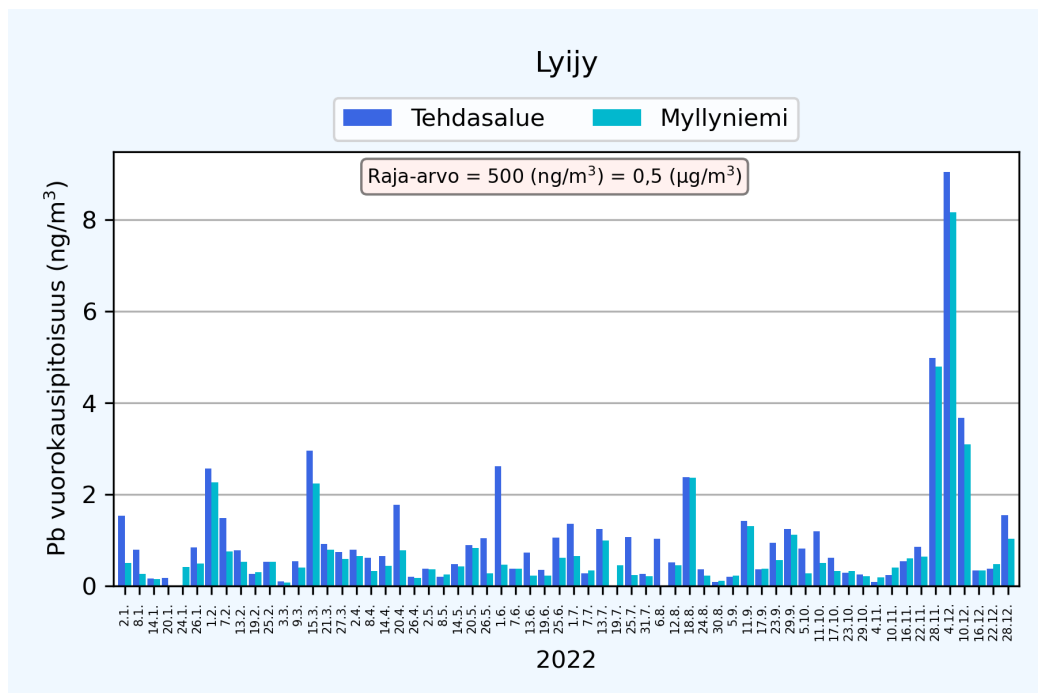


Kuva 19. Hengitettävistä hiukkasista (PM<sub>10</sub>) määritetyt **kadmiumpitoisuudet** (ng/m<sup>3</sup>) Terrafamen Tehdasalueen ja Myllyniemen mittauspisteissä jaksolla 2.1.2022–28.12.2022. Tavoitearvo ja arviointikynnykset koskevat vuosikeskiarvoa, eivät yksittäisiä pitoisuusarvoja, ja ne ovat kuvassa vain havainnollistamassa pitoisuustasoja.



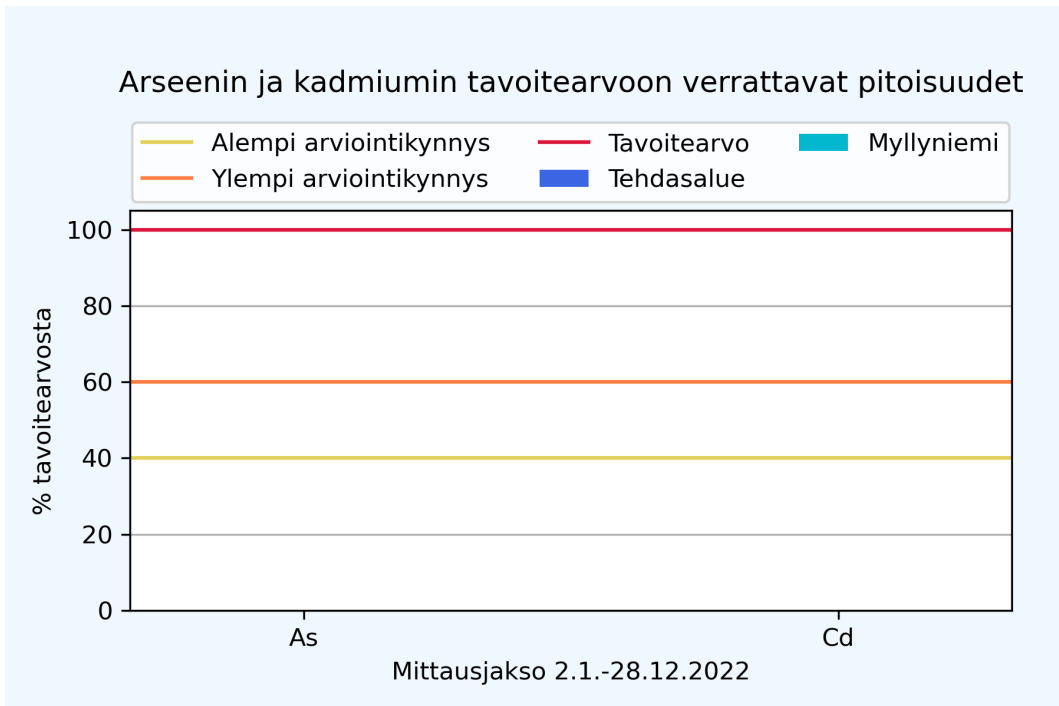
Kuva 20.

Hengitettävistä hiukkasista (PM<sub>10</sub>) määritetyt **nikkelipitoisuudet** (ng/m<sup>3</sup>) Terrafamen Tehdasalueen ja Myllyniemen mittauspisteissä jaksolla 2.1.2022–28.12.2022. Tavoitearvo ja arviointikynnykset koskevat vuosikeskiarvoa, eivät yksittäisiä pitoisuusarvoja, ja ne ovat kuvassa vain havainnollistamassa pitouustasoja.



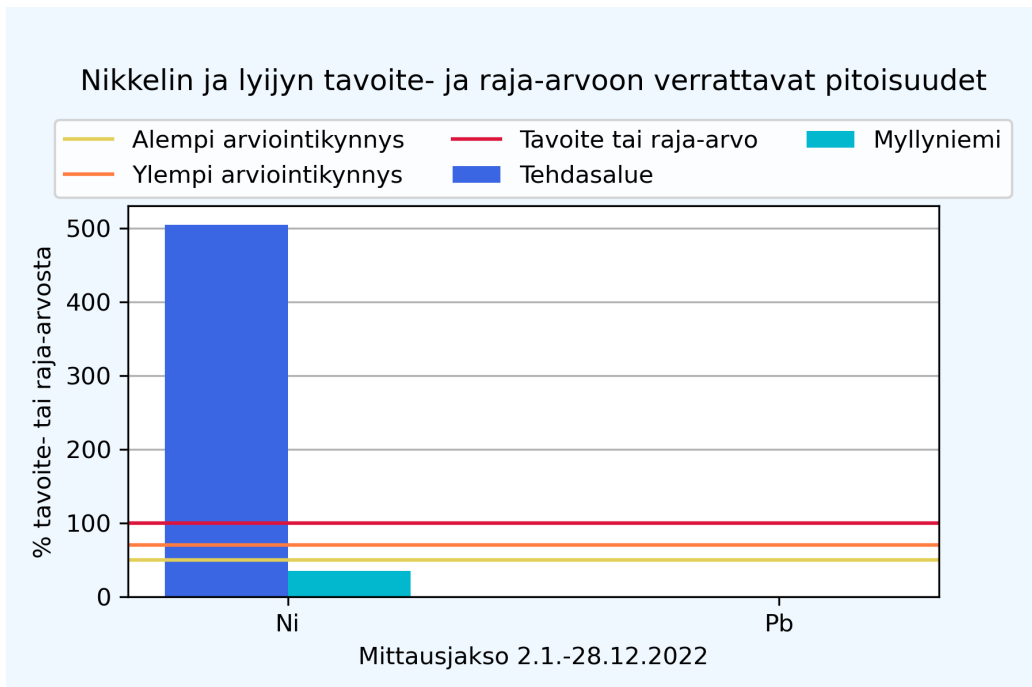
Kuva 21.

Hengitettävistä hiukkasista (PM<sub>10</sub>) määritetyt **lyijypitoisuudet** (ng/m<sup>3</sup>) Terrafamen Tehdasalueen ja Myllyniemen mittauspisteissä jaksolla 2.1.2022–28.12.2022.



Kuva 22.

Arseenin ja kadmiumin mittausjakson pitoisuuskeskiarvot suhteessa (%) vastaavaan ilmanlaadun tavoitearvoon Terrafamen Tehdasalueen ja Myllyniemen mittauspisteissä. Kuvaan on merkitty vaakaviivoilla tavoitearvotaso sekä ylempi arviointikynnys ja alempi arviointikynnys.



Kuva 23.

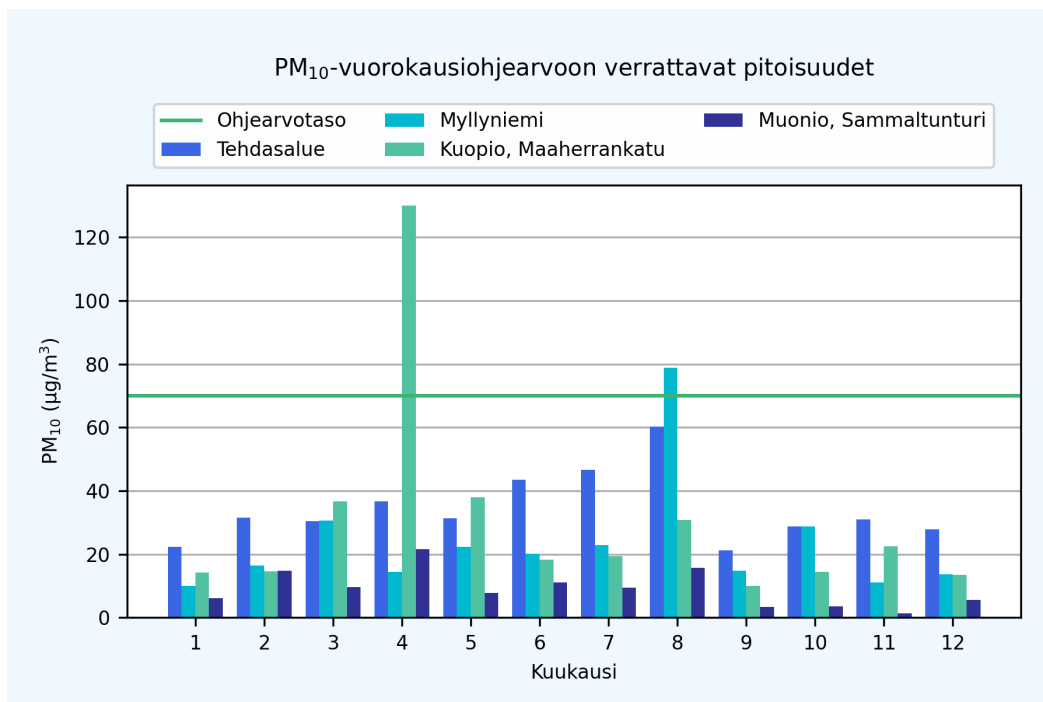
Nikkelin ja lyijyn mittausjakson pitoisuuskeskiarvot suhteessa (%) vastaavaan ilmanlaadun tavoite- ja raja-arvoihin Terrafamen Tehdasalueen ja Myllyniemen mittauspisteissä. Kuvaan on merkitty vaakaviivoilla tavoite- tai raja-arvotaso sekä ylempi arviointikynnys ja alempi arviointikynnys.



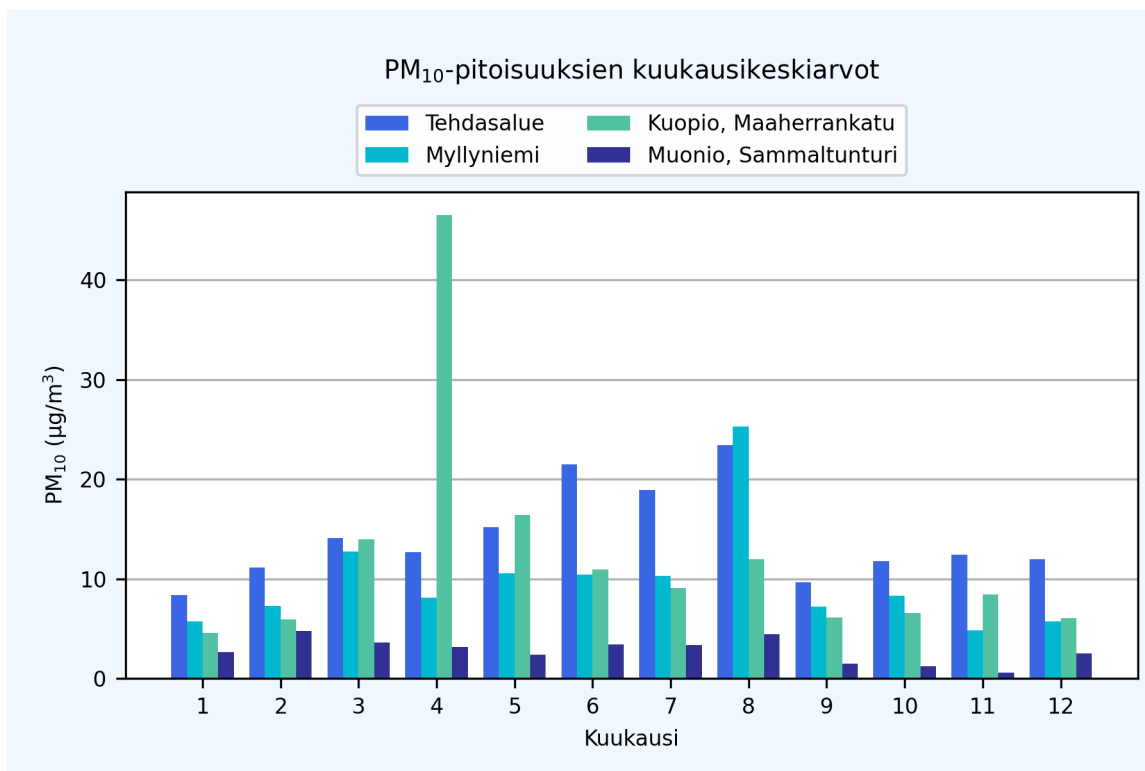
## 2.7 Pitoisuuksien vertailua muualla mitattuihin pitoisuuksiin

Kuvissa 24–25 on esitetty hengitettävien hiukkasten pitoisuuksia mittausjaksolta Terrafamen kairospiirin ja lähialueen lisäksi Kuopion Maaherrankadulta sekä Ilmatieteen laitoksen taustailmanlaadun mittausasemalta Muonion Sammaltunturilta (*Ilmatieteen laitos, 2023 c*). Kaikki pitoisuustulokset on mitattu jatkuvatoimisilla laitteilla. Kuopio on noin 123 000 asukkaan kaupunki, ja Maaherrankadun mittausasema sijaitsee Kuopion keskustassa. Sammaltunturin mittausasema edustaa pitoisuuksia Lapissa puhtaalla tausta-alueella, jossa mittausaseman välittömässä läheisyydessä ei ole ihmistointoja.

Hengitettävien hiukkasten pitoisuustaso Terrafamen mittausasemilla oli sekä ohjearvoon verrattavina pitoisuuksina (kuva 24) että kuukausikeskiarvoina (kuva 25) korkeampi kuin Kuopion mittausasemalla talvella ja kesällä. Poikkeuksena oli kevätkuukaudet, jolloin katupölyaikaan Kuopiossa mitattiin korkeampia, etenkin huhtikuussa huomattavasti korkeampia, hiukkaspitoisuuksia. Hengitettävien hiukkasten pitoisuuksiin vaikuttavat näissä kaikissa mittauspisteissä autoliikenteen pakokaasupäästöjen lisäksi hiukkasten kaukokulkeuma ja paikallinen mittausaseman ympäristön pölyäminen. Kaupunkialueella pölynsidonta ja mittausaseman ympäristön katujen puhdistus kaduille talven aikana kertyneestä hiekoitushiekasta vaikuttavat nopeasti keväisiin katupölypitoisuuksiin. Sammaltunturilla hengitettävien hiukkasten pitoisuudet olivat kaikkina kuukausina pienemmät kuin Terrafamen mittausasemilla tai Kuopiossa.



Kuva 24. Terrafamen Tehdasalueen ja Myllyniemen mittausasemilla, Kuopion Maaherrankadulla sekä Muoniossa Sammaltunturin taustamittausasemalla vuonna 2022 mitatut hengitettävien hiukkasten vuorokausiohjearvoon ( $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) verrannolliset pitoisuudet ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).



Kuva 25. Terrafamen Tehdasalueen ja Myllyniemen mittausasemilla, Kuopion Maaherrankadulla sekä Muoniossa Sammaltunturin taustamittausasemalla vuonna 2022 mitatut hengitettävien hiukasten kuukausikeskiarvopitoisuudet ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

Taulukossa 3 on verrattu Terrafamen mittausasemalla mitattuja arseeni- ja metallipitoisuuksia Ilmatieteen laitoksen kolmen tausta-aseman pitoisuuksiin vuodelta 2022. Tausta-asemat edustavat ihmistoimintojen välittömän vaikutuksen ulkopuolella olevaa puhdasta tausta-aluetta, ja ne sijaitsevat eri puolilla Suomea. Matorovan mittausasema sijaitsee Kittilässä ja Virolahti sijaitsee Kaakkois-Suomessa lähellä Vaalimaan raja-asemaa. Hyytiälä sijaitsee Juupajoella Pirkanmaalla ja on tausta-ase- mista maantieteellisesti lähimpänä.

Terrafamen Tehdasalueen mittausasemalla mitatut pitoisuudet olivat suurempia kuin tausta-ase- milla mitatut pitoisuudet lukuun ottamatta lyijypitoisuutta, joka oli hieman korkeampi Virolahden asemalla. Tehdasalueen asemalla mitatut nikkelpitoisuudet olivat selvästi korkeampi verrattuna muihin ase- miin (yli 630-kertaisia Matorovan puhtaalla tausta-ase- malla mitattuihin pitoisuuksiin verrattuna). Teh- dasalueella mitattu sinkkipitoisuus oli noin 50-kertainen verrattuna Matorovan tausta-ase- malla mi- tattuun pitoisuuteen. Myllyniemen asemalla mitattu nikkelpitoisuus oli noin 47-kertainen verrattuna Matorovan asemalla mitattuun pitoisuuteen ja sinkkipitoisuus noin 8-kertainen Matorovan pitoisuu- teen verrattuna. Taulukosta havaitaan, että tausta-ase- mien välillä on myös suuria pitoisuuseroja ja esimerkiksi Virolahden tausta-ase- malla on mitattu vuonna 2022 suurempia alumiini- ja rautapitoi- suuksia kuin muilla tausta-ase- milla vuonna 2022. Taulukossa on myös esitetty mitatut metallipitoi- suudet Tehdasalueen ja Myllyniemen asemilla aikavälillä tammi-heinäkuu vuonna 2016. Vuoden 2022 pitoisuudet eivät ole suoraan verrattavissa aiemmin mitattuihin pitoisuuksiin, koska vuonna 2016 ei mitattu koko kalenterivuotta.

Taulukko 3. Terrafamen Tehdasalueen ja Myllyniemen mittauspisteissä vuonna 2022 havaitut pitoisuuskeskiarvot sekä Ilmatieteen laitoksen kolmella eri puolella Suomea sijaitsevalla tausta-aseamalla vuonna 2022 mitatut arseenin ja metallien vuosikeskiarvot. Lisäksi taulukossa esitetty Tehdasalueen ja Myllyniemen asemilla mitatut pitoisuudet tammi-heinäkuussa vuonna 2016.

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>	Al ng/m <sup>3</sup>	Fe ng/m <sup>3</sup>	Zn ng/m <sup>3</sup>
Tehdasalue	0,45	0,21	101,43	1,07	346,67	563,89	69,53
Myllyniemi	0,23	0,05	7,49	0,80	223,54	251,11	11,72
Kittilä, Matorova 2022	0,06	0,01	0,16	0,31	17,28	17,46	1,40
Virolahti 2022	0,22	0,05	0,37	1,48	154,65	121,32	6,11
Hyytiälä 2022	0,17	0,03	0,20	0,74	42,85	37,35	4,48
Tehdasalue tammi-heinäkuu 2016	0,9	0,4	37	1,8	839,9	1188,2	107
Myllyniemi tammi-heinäkuu 2016	0,2	0,1	2,4	1,2	172,2	177,6	9,3

### 3. YHTEENVETO JA SUOSITUKSET

Ilmatieteen laitos mittasi Terrafamen kaivospiirin ja lähialueen ulkoilman laatua 1.1.–31.12.2022 välisenä aikana kahdessa mittauspisteessä Tehdasalueen ja Myllyniemen asemilla. Kaivos- ja teollisuustoiminta on alkanut alueella vuonna 2008. Vuodesta 2015 lähtien Terrafame Oy on ollut kaivos- ja teollisuustoiminnan harjoittaja. Ilmatieteen laitos on tehnyt ilmanlaadun tarkkailua alueella vuosina 2008–2009, 2015–2016 sekä 2022. Ilmanlaatumittausten Tehdasalueen mittausasema sijaitsi keskeisellä paikalla aivan kaivos- ja tehdasalueen vieressä avoimessa ympäristössä. Aseman kaakon suunnalla oli tuotantoaluetta, kuten primääriluotusalue ja tarvekivenlouhimo. Tehdasalueen mittaukset edustavat pitoisuuksien enimmäistasoa, jolle esimerkiksi työntekijät voivat altistua liikkueensa alueella. Myllyniemen mittausasema sijaitsi lähimmän asutuksen piirissä noin 1,5 km kaivoksen alueelta luoteeseen. Asema sijaitsi avoimella peltoaukealla. Ilmanlaadun mittausten tavoitteena oli kartoittaa kaivostoiminnan vaikutuksia ilmanlaatuun kaivosalueen ympäristössä mittaamalla hengitettävien hiukkasten pitoisuustasoja ja hetkellistä vaihtelua kaivoksen lähialueella, sekä arvioida mittaus tulosten perusteella ilmanlaadun seurannan tarvetta tulevaisuudessa. Hengitettävien hiukkasten pitoisuuksia mitattiin jatkuvatoimisilla hiukkasanalysointilaitteilla koko mittausjakson ajan. Mittausasemilla kerättiin myös hengitettävien hiukkasten vuorokausinäytteitä joka 6. vuorokausi. Näistä näytteistä analysoitiin laboratoriossa arseenin ja metallien pitoisuuksia. Ilmanlaatumittausten tulosten tulkintaa varten asemilla mitattiin myös säätietoja.

Terrafamen teollisuusalueen ilmanlaadun mittausasemilla mitattujen hiukkaspitoisuuksien tuntiarvojen perusteella laskettiin ilmanlaatuindeksi, joka kuvaa vallitsevaa ilmanlaatuilannetta viisiportaisella sanallisella asteikolla: hyvä, tyydyttävä, välttävä, huono tai erittäin huono. Mittauspäivän indeksi määräytyy ilmanlaadultaan huonoimman tunnin mukaan. Ilmanlaatuindeksi on vertailuluku, joka kuvaa sen hetkistä ilmanlaatua suhteutettuna ilmanlaadun ohje- ja raja-arvoihin. Ilmanlaadun ollessa hyvää tai tyydyttävää terveysvaikutukset ovat epätodennäköisiä (HSY, 2022). Indeksillä ilmaistuna

ilmanlaatu Tehdasalueella oli hyvää tai tyydyttävää 81 % mittausjakson vuorokausista. Ilmanlaatu oli välttävää 15 % päivistä, huonoa 3 % ja erittäin huonoa 1 % päivistä. Myllyniemen asemalla ilmanlaatu oli hyvää tai tyydyttävää 92 % mittausjakson vuorokausista. Ilmanlaatu oli välttävää 6 % ja huonoa 3 % päivistä.

Mitattuja pitoisuuksia verrattiin lainsäädännössä annettuihin ilmanlaadun raja-, ohje- ja tavoitearvoihin sekä pitoisuuksien seurantarvetta määrittäviin arviointikynnyksiin. Terveyshaittojen ehkäisemiseksi annetut ilmanlaadun ohje-, raja- ja tavoitearvot ovat voimassa sellaisilla alueilla, joissa asuu tai oleskelee ihmisiä tai joihin ihmisillä on vapaa pääsy. Terrafamalla sovelletaan toiminnan teollisesta luonteesta johtuen asiaan kuuluvia työterveyttä ja työturvallisuutta koskevia säännöksiä, joten ilmanlaadun ohje-, raja- tavoitearvot eivät ole siellä sellaisenaan voimassa. Yhtiö seuraa säännöllisesti henkilöstön mahdollista altistumista ja työympäristön olosuhteita mm. työhygieenisillä mittauksilla.

Hengitettävien hiukkasten mitatut pitoisuudet jäivät ilmanlaatulainsäädännössä annettujen raja-arvojen ja arviointikynnyksien alapuolelle Myllyniemen asemalla. Tehdasalueella hengitettävien hiukkasten vuorokausiraja-arvon alempi arviointikynnys ylittyi. Tehdasalueella mitatut pitoisuudet edustavat koko kaivos- ja tehdasalueen pitoisuustasoja, jossa sovelletaan työterveyttä ja työturvallisuutta koskevia säännöksiä ja arviointikynnyksen ylittyminen ei siten johda erillisiin toimenpiteisiin. Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet olivat korkeimmillaan 56 % vuorokausiraja-arvosta ja 35 % vuosiraja-arvosta Tehdasalueella ja Myllyniemessä 34 % vuorokausiraja-arvosta ja 25 % vuosiraja-arvosta. Pitoisuuksien jäädessä alle alemman arviointikynnyksen ilmanlaatua ei tarvitse seurata kokonaisesti jatkuvilla ilmanlaadun mittauksilla.

Hengitettävien hiukkasten pitoisuuksille ilmanlaatulainsäädännössä annetut vuorokausiohjearvot eivät ylittyneet mittausjaksolla kertaakaan Tehdasalueen asemalla, mutta Myllyniemen asemalla ohjearvoon verrattava pitoisuus ylitti ohjearvotason elokuussa. Myllyniemen ohjearvon ylityspäivänä 17.8.2022 tuuli puhalsin etelän ja kaakon suunnalta, ja suurimmat pitoisuudet tulivat kaakon suunnalta. Myös Tehdasalueen asemalla mitattiin elokuussa korkein ohjearvoon verrattava pitoisuus. Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet olivat elokuussa 86 % ohjearvosta Tehdasalueella ja 113 % ohjearvosta Myllyniemessä.

Tuulensuunnittain tarkasteltuna Terrafamen teollisuusalueella Tehdasalueen mittausaseman hengitettävien hiukkasten pitoisuudet olivat suurimmillaan kaakon puoleisilla tuulilla. Asemasta kaakon suunnalla sijaitsee primääriiutusalue ja tarvekivenlouhimo, jotka vaikuttavat mitattuihin korkeampiin pitoisuuksiin. Myllyniemen asemalla hengitettävien hiukkasten pitoisuudet olivat suurimmillaan etelän ja kaakon puoleisilla tuulilla. Aseman eteläpuolella sijaitsee avolouhosalue ja sivukivialue, mitkä ovat todennäköisesti vaikuttaneet korkeisiin pitoisuuksiin kyseiseltä suunnalta. Kaakon puolella asemalta sijaitsee asuinrakennuksia, joten niissä tapahtuneet erilaiset toiminnot, kuten puunpoltto, on voinut vaikuttaa mitattuihin korkeisiin pitoisuuksiin kaakon suunnalta.

Hengitettävien hiukkasten keruunäytteistä analysoitujen arseeni- ja metallipitoisuuksien vaihtelu oli suurta eri näytteiden välillä. Alumiini- ja rautapitoisuudet olivat hieman korkeampia kevät- ja kesäaikaan, kun taas lyijypitoisuudet olivat korkeampia loppuvuodesta 2022. Muuten selkeää vuodenaikavaihtelua pitoisuuksissa ei ollut havaittavissa. Vaikka teollisen toiminnan päästöt olisivatkin taasaisia ympäri vuoden, niin toiminnan vaikutukset voivat silti korostua sopivissa kuivissa sääolosuhteissa, jolloin ympäristöön pidemmän ajanjakson aikana kerääntynyt pöly nousee ilmaan. Arseenin, kadmiumin, nikkelin ja lyijyn mittausjakson pitoisuuskeskiarvot alittivat selvästi raja- ja tavoitearvotason sekä myös alemman arviointikynnyksen tason Myllyniemen asemalla. Tehdasalueen asemalla nikkelin pitoisuuskeskiarvo ylitti reilusti nikkelin tavoitearvotason ollen noin 510 % tavoitearvosta.

Mitattujen pitoisuuksien tunti- ja vuorokausijakaumien sekä tuulensuuntatarkasteluiden perusteella Tehdasalueen mittauspisteessä pitoisuuksiin vaikutti eniten mittauspaikan ympäristössä tapahtunut toiminta kuten paloharjoitukset sekä tuotantoalueilta kulkeutuvat hiukkaset. Myllyniemen mittauspisteessä pitoisuuksiin vaikutti eniten avolouhosalueelta ja sivukivialueelta kulkeutuneet hiukkaset sekä

mahdollinen lähiasutuksessa tapahtunut toiminta, kuten puunpoltto. Tuulen ja liikennevirran maanpinnasta ilmaan nostattamat hiukkaset vaikuttavat merkittävästi hiukkasten pitoisuuksiin.

Ulkoilman epäpuhtauksien pitoisuuksiin vaikuttavat kiinteiden lähteiden kuten teollisuuden ja energiantuotannon päästöt, ja liikenteen sekä hajapäästölähteiden kuten asuinrakennusten tulisijojen päästöt. Yksittäisen päästölähteen vaikutusta hiukkaspitoisuuksiin on yleensä vaikea erottaa. Vuodenaika, liikenne, kaukokulkeuma, maan pinnasta tuulen ja liikenteen vaikutuksesta ilmaan nouseva pöly ja sääolosuhteet vaikuttavat hiukkaspitoisuuksiin voimakkaasti. Esimerkiksi sateet alentavat väliaikaisesti ilman epäpuhtauksien pitoisuuksia ja puhdistavat hengitysilmaa. Ilman epäpuhtauksien pitoisuudet nousevat yleensä korkeiksi tyynen tai heikkotuulisen sään aikana ja erityisesti ns. inverssiolanteissa, kun ilmakehän pystysuuntainen lämpötilajakauma estää tai rajoittaa epäpuhtauksien laimenemista pystysuunnassa. Hiukkaspitoisuudet ovat tyypillisesti korkeimmillaan keväisin ns. kevätpölyaikaan sekä kesällä sateettomaan aikaan.

Ilmanlaatuasetuksessa (*Vna 79/2017*) todetaan, että ilmanlaadun seurannan riittävyys ja esimerkiksi ilman epäpuhtauspitoisuuksien suhde raja-arvoihin ja ilmanlaadun arviointikyynnyksiin tulee tarkistaa ainakin viiden vuoden välein. Jos ilman epäpuhtauksien pitoisuudet ovat alemman arviointikyynnyksen alapuolella, riittää, että ilmanlaatua seurataan yksinomaan suuntaa antavien mittausten, mallintamistekniikoiden, päästökartoitusten tai muiden vastaavien menetelmien perusteella. Vuonna 2022 tehdyn ilmanlaadun tarkkailujakson perusteella voidaan todeta, että Terrafamella ei ole tarvetta hengitettävien hiukkasten kokoaikaiseen jatkuvaan mittaamiseen Myllyniemen asemalla, vaan pitoisuustasoja voidaan seurata suuntaa antavien mittausten avulla kampanjaluontoisesti. Tehdasalueen asema sijaitsee kaivosalueella ja siten terveysthaittojen ehkäisemiseksi säädetyt ilmanlaadun raja-arvot eivät ole voimassa.

Terrafamen kaivospiirin läheisyydessä, Taattolassa, on keväällä 2023 käynnistetty jatkuvatoimiset ilmanlaatumittaukset, jotka tulevat jatkumaan toistaiseksi useita vuosia Taattolan mittauspaikalla, joka edustaa kaivospiirin lähiasutusta. Mittausasemalla mitataan jatkuvatoimisesti hengitettävien hiukkasten ja pienhiukkasten pitoisuuksia sekä kerätään hiukkasten vuorokausinäytteitä, joista analysoidaan arseeni ja raskasmetallit. Niin pitkään, kun Terrafame Oy:n tehdasalueen läheisyydessä Taattolassa tehdään jatkuvatoimisia hiukkasmittauksia sekä arseeni- ja metallimittauksia, lisämittausten tekemiselle säännöllisin välein tehdasalueella ja tehdasalueen läheisyydessä ei ole tarvetta. Mikäli jatkuvatoimiset hiukkasmittaukset Taattolan mittauspisteessä lopetetaan, tulee mittausarve Terrafame Oy:n ilmanlaatuvaikutusten arvioimiseksi jatkossa arvioida tehtyjen jatkuvatoimisten mittaustulosten perusteella uudelleen.

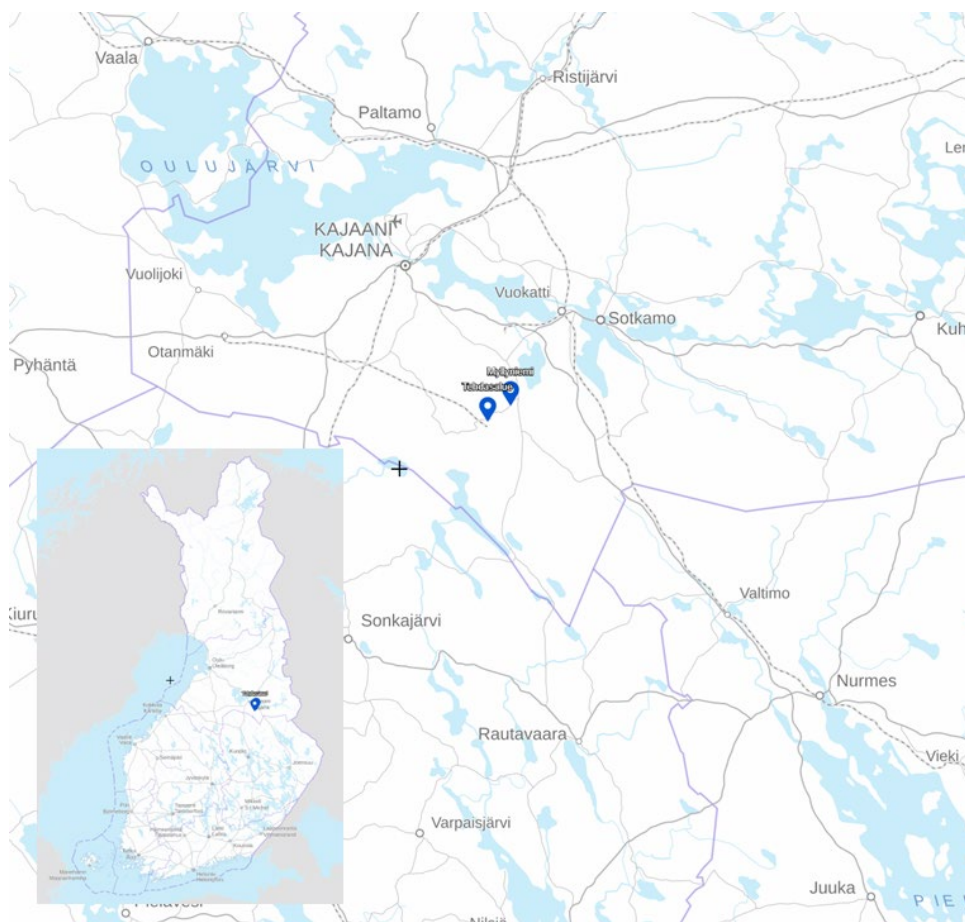
Jatkuvatoimisten mittausten avulla pystytään arvioimaan kattavasti erilaisten sääolosuhteiden ja vuodenaikojen vaikutuksia pitoisuuksiin. Pitkäaikaiset, useiden vuoden mittaukset mahdollistavat myös ilmanlaadun pitkäaikaistrendien ja kehittymisen seurannan mittauspaikassa. Jatkuvatoimisia mittauksia voidaan hyödyntää myös ilmanlaadun parantamistoimenpiteiden tarpeen arviointiin, toimenpiteiden suunniteluun ja niiden oikea-aikaiseen toteuttamiseen.

## Osa II

### 4. TUTKIMUKSEN SUORITUS

#### 4.1 Mittausasemien sijainnit

Ilmatieteen laitos mittasi ilmanlaatua Terrafamen kaivospiirillä ja sen lähialueella Sotkamossa kahdella mittausasemalla vuonna 2022. Mittausasemien sijainnit on esitetty kartalla ja ilmakuvassa kuvissa 26 ja 1, ja valokuvia mittausasemien ympäristöistä on esitetty kuvissa 27–28. Myllyniemen mittausasema sijaitsi Hakonen-järven luoteispuolella ja Tehdasalueen mittausasema noin 4 km Hakosesta lounaaseen päin. Tehdasalueen aseman läheisyydessä itäpuolisella pohjois-eteläsektorilla oli erikokoisia rakennuksia ja piha-aluetta ja länsipuolisella pohjois-eteläsektorilla erikorkuista puustoa ja muuta kasvustoa. Myllyniemen aseman itä-eteläsektorilla oli sekä puustoa että asuinrakennuksia, pohjois-länsipuolella sijaitsi autotie, lounaispuolella oli peltoaukeaa ja eteläpuolella myös metsää. Tehdasalueen mittausasema sijaitsi aivan teollisuusalueen vieressä. Kaivos- ja teollisuustoiminnot sijaitsivat etelä- ja lounaissuunnassa Myllyniemen asemaan nähden lähimmän avolouhosalueen ollessa noin 1,5 km eteläkaakossa. Kaivospiirille kohdistuva liikenne kulkee Myllyniemen aseman vierestä kulkenutta Malmitietä pitkin, joten tiellä oli liikennettä ympäri vuoden mittausjakson aikana.



Kuva 26. Terrafamen ilmanlaadun mittauspisteiden sijainnit kartalla (muokattu Maanmittauslaitoksen taustakarttasarja-aineistosta, 10/2021).



Kuva 27. Terrafamen Tehdasalueen ilmanlaadun mittauspiste. Valokuvat: Matias Saunamäki.



Kuva 28. Terrafamen ilmanlaadun Myllyniemen mittauspiste. Ulkoilma imetään mittalaitteisiin kontin katolla sijaitsevien näytteenottimien läpi. Lisäksi katolla on säämittausanturi. Valokuva: Matias Saunamäki.

## 4.2 Mitatut suureet ja mittausmenetelmät

Terrafamen ilmanlaadun mittauspisteisiin tuotiin mittauskontit, joissa kaikki mittauksiin liittyvät toiminnot tapahtuvat häiriöttä ja mittausolosuhteet pysyvät stabiileina. Mittausasemilla mitattiin jatkuvatoimisilla automaattisilla analysaattoreilla halkaisijaltaan alle  $10\ \mu\text{m}$ :n suuruisten hengitettävien hiukkasten ( $\text{PM}_{10}$ ) pitoisuuksia. Mittausasemilla kerättiin myös hengitettävien hiukkasten ( $\text{PM}_{10}$ ) vuorokausinäytteitä joka 6. vuorokausi (suuntaa antavien mittauksien ajallisen kattavuuden vaatimus

> 14 %, näytteenotto jakautuu tasaisesti koko vuodelle ja eri viikonpäiville). Näistä näytteistä analysoitiin laboratoriossa arseenin ja metallien pitoisuuksia. Mittalaitteet ja mittausmenetelmät on esitelty taulukossa 4. Kaikkien laitteiden näytteenotto tapahtui mittausasemien katolla olevista näytteenottimista noin 4 metrin korkeudelta ja hiukkasten näytteenotto tapahtui pystysuoralla näytteenottolinjalla. Lisäksi mittausasemilla havainnoitiin tuulen suuntaa ja nopeutta, ulkoilman lämpötilaa, suhteellista kosteutta ja ilmanpainetta (taulukko 4). Säämittausanturin korkeus oli noin 4 metriä maanpinnan tasosta. Konttien ilmastoinnit järjestettiin niin, ettei poistoilmavirta häirinyt näytteenottoa, eivätkä poistoilman epäpuhtaudet päässeet näytteenottiin.

Jatkuvatoimisten mittalaitteiden mittauksien tulokset kerättiin minuuttiarvoina mittauksia ohjaavalle tietokoneelle, jolta ne siirrettiin edelleen minuuttiarvoina langattomasti modeemiyhteyden kautta Ilmatieteen laitoksen palvelimelle raakadatietokantaan ja siitä edelleen tallennettavaksi muihin tietokantoihin. Raakadatietokannassa mittauksien tulokset pysyvät aina muuttumattomina, jolloin alkuperäiset arvot ovat myöhemminkin tarvittaessa saatavilla. Minuuttiarvoista määritettiin tuntikeskiarvot ja vuorokausikeskiarvot ja muut pidemmän jakson keskiarvot. Laitteiden toimintahäiriöistä johtuneet virheelliset arvot poistettiin. Mittauksia seurattiin etävalvontana Ilmatieteen laitokselta Helsingistä.

Taulukko 4. Terrafamen ilmanlaadun mittauksissa käytetyt menetelmät ja laitteet.

Mitattava komponentti	Mittausmenetelmä	Mittalaite
Hengitettävät hiukkaset	Beetasäteilyn absorptio + valon sironta	Thermo Model 5030 SHARP
Hengitettävät hiukkaset, vuorokausinäytteet (24 h)	Pientehokeräin *	Leckel SEQ 47/50
Meteorologiset tiedot		Vaisala WXT530

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

Hengitettävien hiukkasten pitoisuutta mitattiin beetasäteilyn absorptioon ja valon sirontaan perustuvalla menetelmällä. Hengitettävien hiukkasten jatkuvatoimiset mittaukset perustuvat standardiin *SFS-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>-hiukkasten gravimetrisen referenssimenetelmään on osoitettu tutkimuksessa *Walden ym., 2017*. Mittauksissa käytössä olleelle Sharp 5030 -analysaattorille on käytetty kansallisen vertailulaboratorion suosituksen mukaista ekvivalenttisuuskorjainta 1,242 hengittäville hiukkasille (*Walden ym., 2017 ja Walden ym., 2018*).

Näytekeräykset (PM<sub>10</sub>) suoritettiin automaattisella hiukkaskeräimellä, joka huolehtii näytesuodattimien vaihdosta laitteen sisällä laitteeseen ennalta ohjelmoidun syklin mukaisesti. Käytetty keräimen menetelmä on referenssimenetelmä (EN 12341:2014) hengitettävien hiukkasten pitoisuusmittauksissa ja sillä tulee kerätä myös arseenin, kadmiumin ja nikkelin määrittystä varten otettavat hengitettävien hiukkasten näytteet metalliasetuksen (*Vna 113/2017*) mukaan. Suodatinnäytteiden keräys kesti kerrallaan vuorokauden (aloitusaika aina klo 00:00) ja näytteitä otettiin joka kuudes vuorokausi. Suodattimien käsittely (mm. pakkaus ja purkaminen) tapahtui ainoastaan akkreditoidussa laboratoriossa ja mittausasemalla käsiteltiin suodatimia vain suodatinkoteloissaan, keräimen suodatinkasetin vaihdon yhteydessä. Näytteistä määritettiin arseenin, kadmiumin, nikkelin, kromin, lyijyn, sinkin,



alumiinin, koboltin, kuparin, raudan, mangaanin, vanadiinin ja uraanin pitoisuudet Suomen ympäristökeskuksen ympäristökemian tutkimuslaboratoriossa. Laboratorion laatujärjestelmä on standardin SFS-EN ISO/IEC 17025:2017 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 ICP-MS -menetelmällä standardin SFS-EN 14902:2006 mukaan, mikä on metallidirektiivin mukainen menetelmä arseenille, kadmiumille ja nikkelille. Menetelmä sisältää näytteiden typpihappohajotuksen mikroaaltouunissa. Menetelmällä päästään erittäin pieniin pitoisuuksiin.

### 4.3 Kalibrointimenetelmät, laadunvarmistus ja laitehuollot

Terrafamen ilmanlaadun mittaukset suoritettiin kansallisen ilmanlaadun mittausohjeen (*Ilmatieteen laitos, 2017*) sekä Ilmatieteen laitoksen ilmanlaatumittausten laatujärjestelmän mukaisesti ([https://expo.fmi.fi/ages/public/Ilmatieteen\\_laitoksen\\_ilmanlaatumittausten\\_laatuja\\_rjestelmien\\_kuvaus.pdf](https://expo.fmi.fi/ages/public/Ilmatieteen_laitoksen_ilmanlaatumittausten_laatuja_rjestelmien_kuvaus.pdf)). Mittausten aikana suoritettiin mittalaitteiden säännölliset laadunvarmistus- ja ylläpitotoimenpiteet. Lisäksi mittausten toimintaa ja laatua valvotaan päivittäin, jolloin mahdollisiin toimintahäiriöihin voitiin puuttua mahdollisimman nopeasti. Ilmanlaadun mittausasemalla tehtävät toimenpiteet dokumentoitiin mittauspäiväkirjaan ja kalibrointi-arvot tallennettiin kalibrointiraportteihin. Mittauspäiväkirjaan kirjattiin myös häiriötilanteet ja niihin liittyvät toimenpiteet. Mittausasemien varustus dokumentoitiin Ilmatieteen laitoksen mittausasema- ja laiterestereihin.

Hiukkasmittalaitteet kalibroitiin valmistajan ja standardin *SFS-EN 16450:2017* ohjeiden mukaisesti. Hiukkaslaitteilla laadunvarmennus- ja ylläpitotoimiin sisältyvät jatkuvatoimisille analysointilaitteille tehtävät nolla-span tarkistukset (testifolioiden ja HEPA-suodattimen avulla), virtauksen tarkistukset ja näytteenottimien puhdistukset noin kolmen kuukauden välein. Hiukkasmittaus tulokset korjattiin vertailumittausten (*Walden ym., 2017 ja Walden ym., 2018*) mukaisella ekvivalenttisuuskertoimella. Tulosten validoinnin yhteydessä laitteen toimintahäiriöistä johtuneet virheelliset arvot poistettiin.

Mittalaitteet toimivat pääsääntöisesti hyvin koko vuoden ajan. Raja-arvojen ylittymisen valvontaan käytettävissä jatkuvissa mittauksissa aineiston vähimmäismäärä on 90 % kalenterivuoden tunneista, mikä ei kuitenkaan sisällä laitteiden säännöllisestä kalibroinnista tai normaalista kunnossapidosta aiheutuvaa tietohukkaa. Tavoitteen täyttymisen arvioimiseksi vähennetään ensin kalibrointien ja normaalin kunnossapidon vuoksi menetettyjen mittaustulosten yhteismäärä koko vuoden suurimmasta mahdollisesta mittausarvojen määrästä. Yleisesti kalibrointien ja normaalin kunnossapidon vuoksi voidaan katsoa menetettävän 5 % vuoden tunneista eli laatuavoitteena käytetään 85 % vuoden tuntimäärästä. Aineiston vähimmäismäärän laatuavoite täyttyi vuonna 2022 hengitettävien hiukkasten osalta molemmilla asemilla.

Ohjearvoon vertaaminen edellyttää, että vuorokausipitoisuuksia on vähintään 75 % kuukauden vuorokausien lukumäärästä. Tämä vaatimus täyttyi mittausasemilla hengitettävien hiukkasten osalta kaikkina kuukausina.

## 5. SÄÄTIEDOT VUONNA 2022

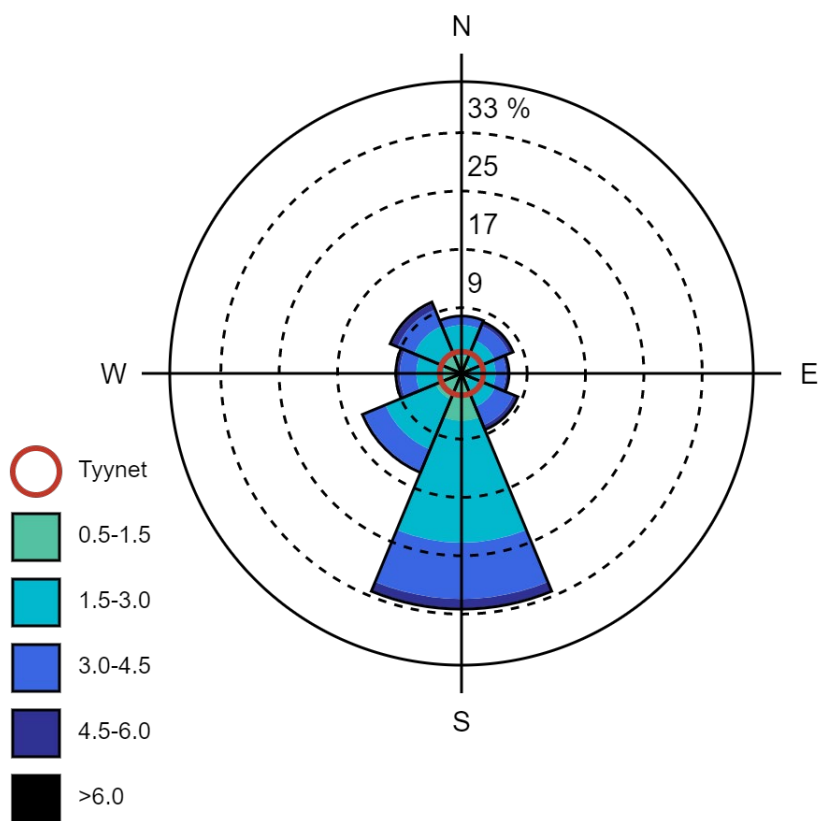
### 5.1 Tuulitiedot Terrafamalla mittausjaksolla

Terrafamen Tehdasalueen mittausasemalla mitattujen tuulennopeuksien keskiarvo mittausjaksolla oli 2,4 m/s ja tyynien tilanteiden osuus oli noin 3 % mittausjakson tunneista. Tyyniksi katsotaan tässä

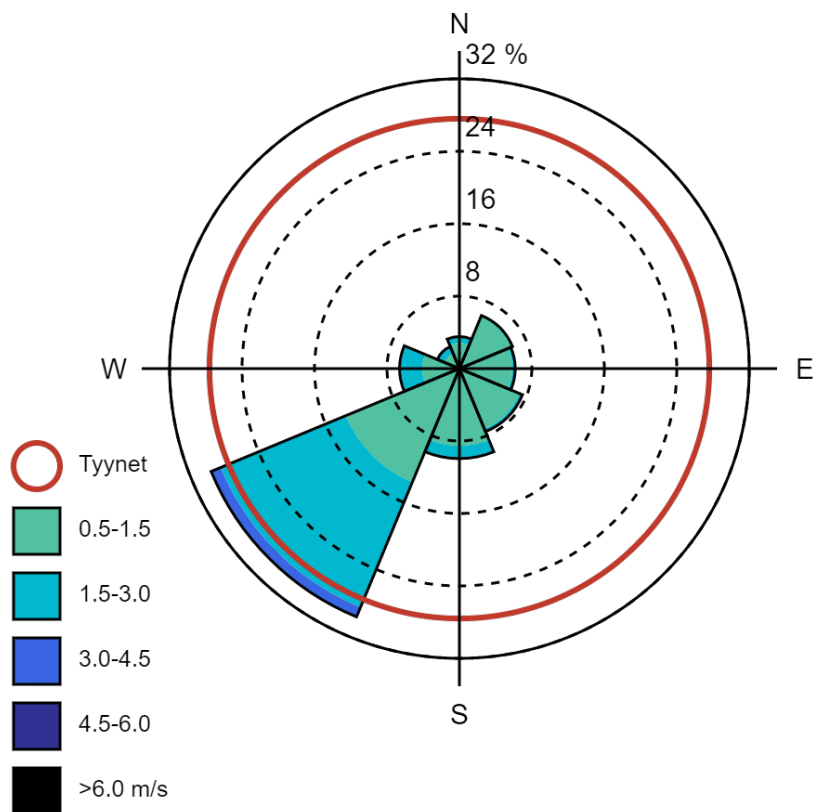
tarkastelussa tunnit, jolloin tuulen nopeus oli alle 0,5 m/s. Myllyniemen asemalla mitattujen tuulennopeuksien keskiarvo oli 1,0 m/s ja tyynien tilanteiden osuus oli noin 28 %. Tuulianturit sijaitsivat noin 4 metrin korkeudella maanpinnasta ilmanlaadun mittaussasemien katolla.

Kuvassa 29 on esitetty mittausjakson 1.1.–31.12.2022 tuuliruusu eli tuulensuuntien ja -nopeuksien kuvaaja Tehdasalueen mittaussasemalta. Vastaava tuuliruusu Myllyniemen asemalle on esitetty kuvassa 30. Tuuliruusun keskipisteestä lähtevän janan pituus sektorin kehäviivalle vastaa kunkin tuulisektorin tuulien prosentuaalista osuutta jakson tuulista. Tyynet tapaukset on kuvattu ympyrällä, jonka säteen pituus kertoo tyynien tilanteiden prosentuaalisen osuuden kaikista tuulihavainnoista. Tuuliruusuusta nähdään myös tuulten nopeusjakaumat tuulensuuntasektoreittain. Eri tuulennopeuksien prosentuaaliset osuudet saadaan vertaamalla sektoreiden kunkin nopeusluokan pituutta prosenttiasteikkoon.

Tuulen suunnalla tarkoitetaan meteorologiassa suuntaa, josta tuuli puhaltaa. Kun tuulta mitataan ja ilmoitetaan tuulen suunta, tarkoitetaan aina, että tuuli puhaltaa kyseisestä ilmansuunnasta havaitsi- jaa kohti. Niinpä etelätuuli puhaltaa etelästä ja länsituuli lännestä, jne. Terrafamen Tehdasalueen mittaussasemalla vallitseva tuulensuunta oli tällä mittausjaksolla etelä ja Myllyniemen asemalla lounas. Tehdasalueen asemalla kaikkein vähiten tuuli idästä ja Myllyniemen asemalla luoteesta. Tehdasalueen asemalla tuulennopeudet olivat mittausjaksolla heikkoja tai kohtalaisia ja Myllyniemen asemalla heikkoja jääden pääosin alle 3 m/s kaikissa tuulensuuntasektoreissa.



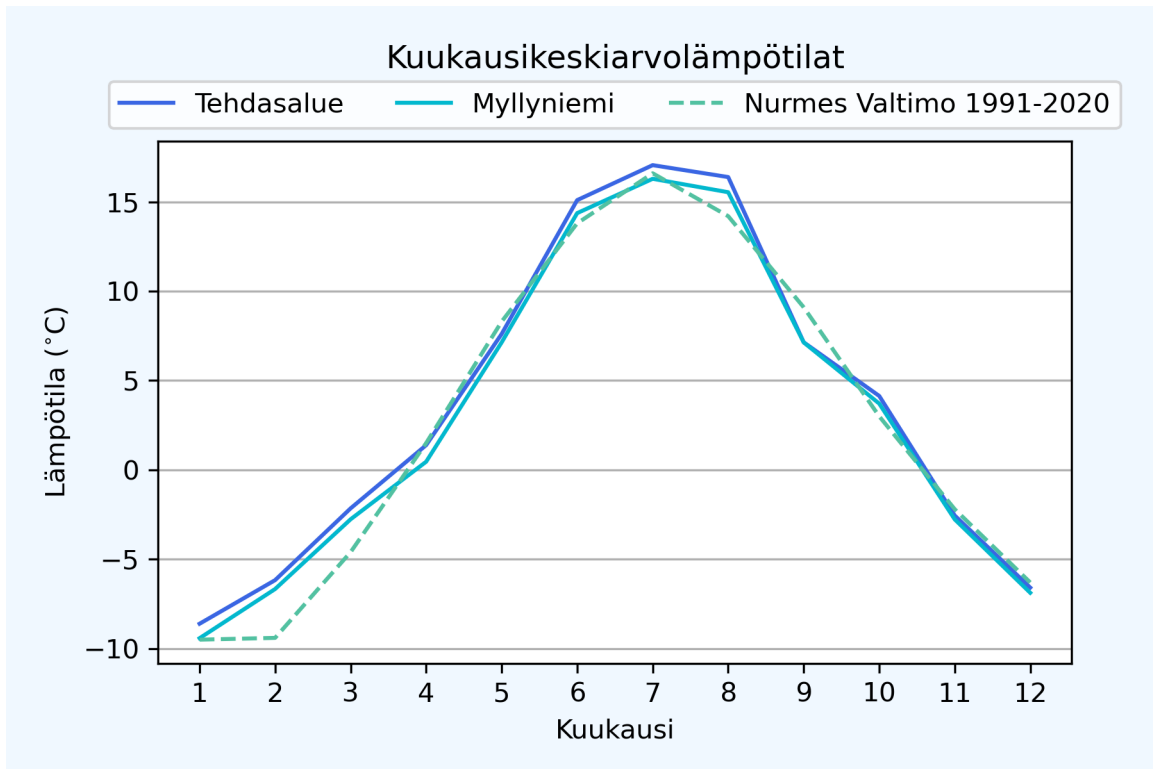
Kuva 29. Terrafamen Tehdasalueen ilmanlaadun mittaussaseman katolta mitatut tuulensuunnat (ilman-suuntasuuntasektorit) ja tuulennopeudet (m/s) vuonna 2022. Tyynien tilanteiden osuus oli 3 % kaikista tuulista. Tyyniksi on tässä tarkastelussa luokiteltu alle 0,5 m/s tuulen nopeudet.



Kuva 30. Myllyniemen ilmanlaadun mittausaseman katolta mitatut tuulensuunnat (ilmansuunta- ja tuulennopeudet (m/s) vuonna 2022. Tyynien tilanteiden osuus oli 28 % kaikista tuulista. Tyyniksi on tässä tarkastelussa luokiteltu alle 0,5 m/s tuulen nopeudet.

## 5.2 Keskilämpötilat Sotkamon seudulla

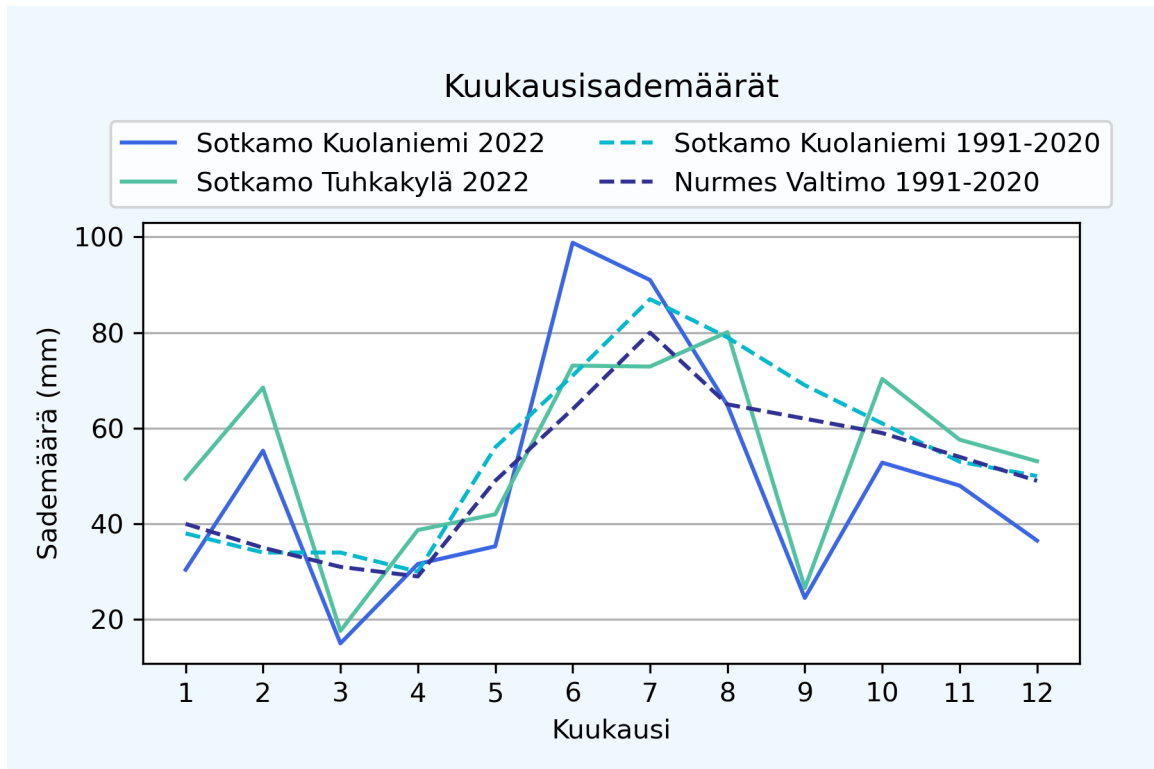
Ilmatieteen laitoksen ylläpitämä sääasema Nurmes Valtimo on Terrafamen teollisuusaluetta lähimpänä sijaitseva virallinen sääasema, jolta on saatavilla ilmastollisen vertailukauden 1991–2020 lämpötilatiedot (Jokinen, ym., 2021). Kuvassa 31 on vertailtu Terrafamen Tehdasalueen ja Myllyniemen ilmanlaadun mittausasemilla mitattuja vuoden 2022 keskilämpötiloja kyseisellä sääasemalla mitattuihin ilmastollisen vertailukauden 1991–2020 lämpötiloihin. Lämpötilat Terrafamen ilmanlaadun mittausasemilla olivat mittausjaksolla vertailukautta vastaava keväällä ja kesällä (huhti-heinäkuu), mutta muutamia asteita lämpimämpi loppupalvesta ja alkukevästä (helmi-maaliskuu). Elokuu oli hieman lämpimämpi ja syyskuu viileämpi suhteessa vertailukauteen, mutta loppuvuosi oli lämpötiloiltaan vertailukauden mukainen.



Kuva 31. Lämpötilan kuukausikeskiarvot Terrafamen Tehdasalueen ja Myllyniemen ilmanlaadun mittausasemilla vuonna 2022 verrattuna Nurmes Valtimon sääasemalla mitattuihin ilmastollisen vertailukauden 1991–2020 pitkäaikaiskeskiarvoihin nähden.

### 5.3 Sademäärät Sotkamon seudulla

Ilmatieteen laitoksen ylläpitämät sääasemat Sotkamo Tuhkakylä, Sotkamo Kuolaniemi ja Nurmes Valtimo ovat Terrafamen mittausasemia lähimpänä sijaitsevat viralliset sademäärää mittaavat sääasemat. Kuolaniemen ja Valtimon asemilta on saatavilla ilmastollisen vertailukauden 1991–2020 sademäärät (Jokinen, *ym.*, 2021). Kuvassa 32 on vertailtu Tuhkakylän ja Kuolaniemen sääasemilla mitattuja vuoden 2022 kuukausisademääriä (Ilmatieteen laitos, 2023 b) ilmastollisen vertailukauden 1991–2020 sademääriin. Koko vuoden sademäärä Sotkamo Kuolaniemen asemalla oli 584 mm, mikä on 12 % pienempi kuin Kuolaniemen vertailukauden 1991–2020 vastaavan jakson sademäärä. Vastaavasti koko vuoden sademäärä Sotkamo Tuhkakylän asemalla oli 650 mm, mikä on 5 % suurempi kuin Nurmes Valtimon vertailukauden 1991–2020 vastaavan jakson sademäärä. Kesäkuussa Kuolaniemessä satoi merkittävästi enemmän kuin seudulla keskimäärin näiden kuukausien aikana sataa. Etenkin kesäisin kuurosateet saattavat olla hyvinkin paikallisia, mikä helposti vaikuttaa myös paikallisiin sademääriin. Helmikuussa satoi myös keskimääräistä enemmän sekä Kuolaniemessä että Tuhkakylässä. Maalis- ja syyskuu olivat vastaavasti selvästi vähäsateisempia vertailukauteen nähden molemmilla mittausasemilla.



Kuva 32. Kuukausisademäärät Ilmatieteen laitoksen Sotkamo Tuuskakylän ja Sotkamo Kuolaniemen sääasemilla vuonna 2022 ja kuukausisademäärät Sotkamo Kuolaniemen ja Nurmes Valtimon sääasemilla ilmastollisella vertailukaudella 1991–2020.

#### 5.4 Ilmanlaatuun vaikuttavat säätekijät

Ilman epäpuhtauksien päästöistä suurin osa vapautuu ilmakehän alimpaan kerrokseen, jota kutsutaan rajakerrokseksi. Rajakerroksessa päästöt sekoittuvat ympäröivään ilmaan ja ilman epäpuhtauksien pitoisuudet laimenevat. Päästöt voivat levitä liikkuvien ilmassojen mukana laajoille alueille. Tämän kulkeutumisen aikana ilmansaasteet voivat reagoida keskenään sekä muiden ilmassa olevien yhdisteiden kanssa muodostaen uusia yhdisteitä. Ilman epäpuhtaudet poistuvat ilmasta sateen huuhtomina, kuivalaskeumana erilaisille pinnoille tai kemiallisen muuntumisen kautta.

Ilman epäpuhtauksien leviämisen ja laimenemisen kannalta keskeisiä meteorologisia tekijöitä ovat tuulen suunta ja nopeus, ilmakehän stabiilisuus ja sekoituskorkeus. Rajakerroksen tuuliolosuhteet määräävät karkeasti ilmansaasteiden kulkeutumissuunnan, mutta rajakerroksen ilmavirtausten pyörteisyys ja kerroksen korkeus vaikuttavat merkittävästi ilmansaasteiden sekoittumiseen ja pitoisuuksien laimenemisen kulkeutumisen aikana. Rajakerroksen korkeus määrittää sen ilmatilavuuden, johon päästöt voivat välittömästi sekoittua ja laimentua. Rajakerroksen korkeus on Suomessa tyypillisesti alle kilometrin, mutta varsinkin kesällä se voi nousta yli kahteen kilometriin. Matalimmat rajakerroksen korkeudet havaitaan yleensä talvella kovilla pakkasilla. Ilmakehän stabiilisuudella tarkoitetaan ilmakehän herkkyyttä pystysuuntaiseen sekoittumiseen. Stabiilisuuden määrää ilmakehän pystysuuntainen lämpötilarakenne, mutta siihen vaikuttavat myös auringon säteily, tuuli ja maanpinnan laatu. Stabiiliustilan ollessa vakaa ilmakehän sekoittuminen on vähäistä. Jos tila on epävakaa, sekoittuminen on voimakasta ja ilmaan päässeet epäpuhtaudet laimenevat nopeasti.

Inversiolla tarkoitetaan tilannetta, jossa ilmakehän lämpötila nousee ylöspäin mentäessä. Erityisesti maanpintainversion aikana ilmanlaatu voi paikallisesti huonontua nopeasti. Maanpintainversiossa

maanpinta ja sen lähellä oleva ilmakerros jäähtyy niin, että kylmempi ilma jää ylempänä olevan lämpimämmän ilman alle. Kylmä pintailma ei raskaampana pääse kohoamaan yläpuolellaan olevan lämpimän kerroksen läpi, ja ilmakehän pystysuuntainen liike estyy. Inversiokerroksessa tuuli on hyvin heikkoa ja näin ollen ilmaa sekoittava pyörteisyys on vähäistä, minkä vuoksi ilmansaasteiden pitoisuudet laimenevat huonosti. Inversiotilanteissa pitoisuudet kohoavat, koska ilmansaasteet kerääntyvät matalaan ilmakerrokseen päästölähteiden lähelle.

Korkeimmat pitoisuudet esiintyvät kaupunkialueilla useimmiten stabiileissa heikkotuulisissa tilanteissa voimakkaan maanpintainversion vallitessa. Autoliikenne on haitallisin päästölähderyhmä korkeiden pitoisuuksien muodostumisen kannalta useimmissa maamme kaupungeissa. Liikenteen päästöjen osuus monien ilman epäpuhtauksien päästöistä on huomattava ja pakokaasut pääsevät suoraan ihmisten hengityskorkeudelle. Korkeista piipuista vapautuvat energiantuotannon ja teollisuuden päästöt saattavat joskus purkautua matalien maanpintainversioiden yläpuolelle, jolloin ne eivät juuri vaikuta pitoisuuksiin lähellä maanpintaa lähialueellaan.

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

## **6. TAUSTATIETOA ILMAN EPÄPUHTAUKSISTA**

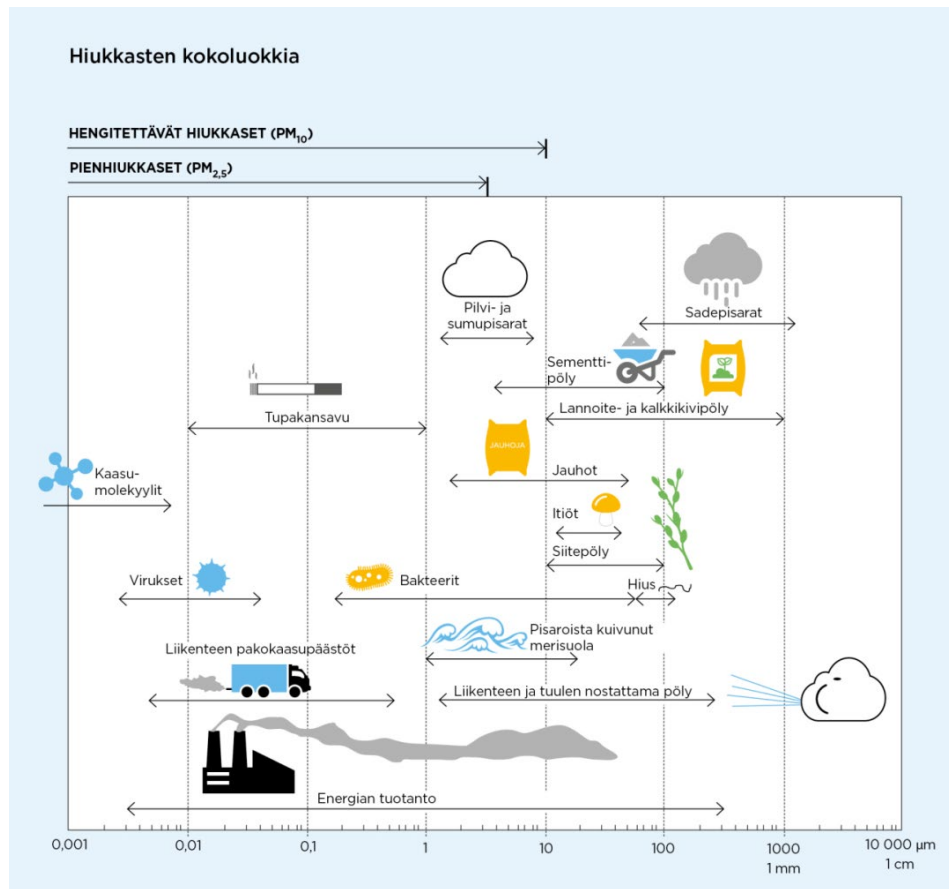
### **6.1 Hiukkaset**

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

Ulkoilman hiukkasten koko on yhteydessä niiden aiheuttamiin erilaisiin vaikutuksiin. Suurempien hiukkasten korkeat pitoisuudet vaikuttavat merkittävimmin viihtyvyyteen ja aiheuttavat likaantumista. Terveysvaikutuksiltaan haitallisempia ovat ns. hengitettävät hiukkaset ja pienhiukkaset, jotka kykenevät tunkeutumaan syväälle ihmisten hengitysteihin. Hengitettäville hiukkasille, joiden halkaisija on alle 10 mikrometriä ( $PM_{10}$ ), on annettu ilmanlaadun ohje- ja raja-arvot. Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet kohoavat erityisesti keväällä, jolloin jauhautunut hiekoitushiekka ja asfalttipöly nousevat ilmaan kuivilta kaduilta liikenteen nostattamana. Pienhiukkaset, joiden halkaisija on alle 2,5 mikrometriä ( $PM_{2,5}$ ), ovat pääasiassa peräisin suorista autoliikenteen ja teollisuuden päästöistä ja kaukokulkeumasta, jonka lähde voi olla esimerkiksi metsä- ja maastopalot. Hiukkasten kokoluokkia on havainnollistettu kuvassa 33.

Suomessa hiukkaspitoisuudet kohoavat yleensä voimakkaasti keväällä maaliskuussa, kun maanpinnan kuivuessa tuuli ja liikenne nostattavat talven aikana kertynyttä katupölyä ilmaan. Pitoisuuksien kohoamista esiintyy taajamissa katupölyn vuoksi usein myös syksyllä talvirengaskauden alettua. Pienten hiukkasten pitoisuuksien kohoamiseen vaikuttaa ajoittain merkittävästi myös ulko-

mailta peräisin oleva kaukokulkeuma. Suurimmat hiukkaspitoisuudet esiintyvät vilkkaasti liikennöidyissä kaupunkikeskustoissa. Liikenteen vaikutukset korostuvat matalan päästökorkeuden vuoksi.



Kuva 33. Hiukkasten kokoluokkia. Hiukkasten koko ilmaistaan halkaisijana mikrometreissä (µm). Mikro (µ) etuliite tarkoittaa miljoonasosaa. 1 µm on siten metrin miljoonasosa eli millimetrin tuhannesosa.

Hengitettävien hiukkasten vuorokausipitoisuuksille asetettu raja-arvotaso (50 µg/m<sup>3</sup>) ylittyy Suomen mittausasemilla tyypillisesti 0–25 kertaa vuoden aikana. Vuorokausiraja-arvotason ylityksiä saa olla mittausasemalla 35 kappaletta vuodessa, ennen kuin raja-arvo katsotaan ylittyneeksi. Hengitettävien hiukkasten vuorokausipitoisuudelle annettu raja-arvo on ylittynyt vain Helsingin keskustassa, viimeksi vuonna 2006. Katupölyn muodostumiseen voidaan merkittävästi vaikuttaa oikea-aikaisella katujen siivouksella ja kunnossapidolla sekä pölynsidonnalla.

Hengitettävien hiukkasten vuosikeskiarvopitoisuudelle annettu raja-arvo 40 µg/m<sup>3</sup> alittuu Suomessa. Hengitettävien hiukkasten pitoisuuden vuosikeskiarvot ovat olleet viime vuosina Suomen kaupungeissa noin 5–20 µg/m<sup>3</sup>. Vilkkaimmilla teillä ja katukuiluosuuksilla vuosipitoisuudet voivat olla yli 20 µg/m<sup>3</sup>. Puhtailla tausta-alueilla vuosikeskiarvopitoisuudet ovat olleet Etelä-Suomessa noin 9–14 µg/m<sup>3</sup> ja Pohjois-Suomessa noin 3–5 µg/m<sup>3</sup> (Ilmatieteen laitos, 2023 c).

Pienhiukkaspitoisuuden vuosikeskiarvolle määritetty raja-arvo 25 µg/m<sup>3</sup> alittuu selvästi kaikkialla Suomessa. Viime vuosina pienhiukkasten vuosikeskiarvopitoisuus on ollut pääkaupunkiseudun kaupunkialueilla noin 5–9 µg/m<sup>3</sup> ja muilla kaupunkialueilla noin 2–8 µg/m<sup>3</sup>. Pitoisuuserot erityyppisten mittausympäristöjen välillä ovat muutamia mikrogrammoja. Puhtailla tausta-alueilla vuosikeskiarvo-

pitoisuudet ovat olleet Etelä-Suomessa noin 4–6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ja Pohjois-Suomessa noin 2–3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (*Ilmatieteen laitos, 2023 c*). Pienhiukkasten taustapitoisuudesta valtaosa on kaukokulkeutunutta hiukkasainesta. Kaukokulkeuma muodostaa huomattavan osan myös kaupunki-ilman pienhiukkaspitoisuuksista.

## 6.2 Arseeni ja metallit

Arseenia ja metalleja pääsee ulkoilmaan sekä kaasuna että hiukkasiin sitoutuneina pääasiassa erilaisista metalliteollisuusprosesseista, energiantuotannosta, jätteenpoltosta ja liikenteestä sekä myös luonnollisista lähteistä, kuten metsäpalojen, tuulieroosion ja tulivuorten purkauksen 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, 2020*).

### 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  $\mu\text{m}$  tai sitä pienempiä. Arseenin keskeisiä päästölähteitä Suomessa ovat energiantuotanto, teollisuusprosessit ja jätehuolto. Arseenin kokonaispäästöiksi Suomessa on arvioitu 2,1 tonnia vuonna 2019 (*Syke, 2022*). Helsingin Kallion kaupunkitaustaa edustavalla ilmanlaadun mittausasemalla arseenin vuosikeskiarvot ovat vuosina 2009–2015 vaihdelleet välillä 0,3–0,9  $\text{ng}/\text{m}^3$  (*HSY, 2016*). Raahen Lapaluodon teollisuutta edustavalla ilmanlaadun mittausasemalla pitoisuudet puolestaan ovat olleet 0,3–0,8  $\text{ng}/\text{m}^3$  vuosina 2012–2019 (*Raahen kaupunki, 2020*). Tavoitearvon 6  $\text{ng}/\text{m}^3$  ylityksiä on viime vuosina Suomessa tapahtunut ainoastaan Harjavallan Kalevan ja Pirkkalan mittausasemilla (*Ilmatieteen laitos, 2023 a*).

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 keuhkosyöpää aiheuttavia aineita. Hengitysteitse saatavien arseeniannosten kannalta keuhkosyöpä on merkittävin pitkäaikaisen altistumisen lopputila.

### Kadmium

Kadmium on pehmeä, hopeanvalkea metalli, joka höyrystyessään hapettuu nopeasti kadmiumoksiidiksi. Monet epäorgaaniset kadmiumiyhdisteet liukenevat hyvin veteen. Kadmium rikastuu pääasiassa ulkoilman pieniin hiukkasiin, jotka ovat kooltaan luokkaa 1  $\mu\text{m}$  tai sitä pienempiä. Kadmiumin keskeisiä päästölähteitä Suomessa ovat energiantuotanto, teollisuusprosessit, jätehuolto ja liikenne.



Kadmiumin kokonaispäästöiksi Suomessa on arvioitu 0,8 tonnia vuonna 2019 (Syke, 2022). 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 0,05–0,3 ng/m<sup>3</sup> vuosina 2012–2019 (Raahen kaupunki, 2020). Harjavallan Kalevan ja Pirkkalan mittausasemilla on mitattu viime vuosina Suomen korkeimmat pitoisuudet, noin 1–3 ng/m<sup>3</sup> (Ilmatieteen laitos, 2023 a).

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 lähengitysteiden ja keuhkojen syöpien lisääntymiseen ja krooniselle keuhkotulehdukselle ominaisiin oireisiin ja löydöksiin. Kadmium kertyy maksaan ja munuasiin, joista se poistuu vasta vuosikymmenien kuluessa. Munuasiin 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 muunlaisiin 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 karkeammassa hiukkasissa, jotka ovat kooltaan muutamasta mikrometristä ylöspäin.

Nikkeliä vapautuu ulkoilmaan pääasiassa polttoaineiden ja jäteöljyn poltossa sekä nikkelimalmin louhinnassa ja jalostuksessa. Ulkoilman tärkeitä nikkeliyhdisteitä ovat nikkelisulfaatti ja nikkelioksidi, joita syntyy esimerkiksi energiantuotannossa. Öljyn ja hiilen poltossa muodostuvat hiukkaset sisältävät lisäksi myös monimutkaisia metallioksideja ja metalliteollisuuden päästöissä esiintyy myös metallista nikkeliä. Nikkelin kokonaispäästöiksi Suomessa on arvioitu 12 tonnia vuonna 2019 (Syke, 2022). 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 1,6–4,5 ng/m<sup>3</sup> vuosina 2012–2019 (Raahen kaupunki, 2020). Tavoitearvon 20 ng/m<sup>3</sup> ylityksiä on viime vuosina Suomessa mitattu ainoastaan Harjavallan Kalevan mittausasemalla (Ilmatieteen laitos, 2023 a).

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 keuhkosyöpä-riskistä.

### 6.3 Ilman epäpuhtauksien terveysvaikutukset

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

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

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

### 6.4 Ilmanlaadun ohje- ja raja-arvot

*Ohjearvot* ovat ilman epäpuhtauksien pitoisuuksia, joiden alittaminen on tavoitteena. Ohjearvoilla esitetään riittävän hyvän ilmanlaadun tavoitteet. Ohjearvot eivät ole sitovia, mutta niitä sovelletaan maankäytön ja liikenteen suunnittelussa, rakentamisen muussa ohjauksessa sekä ilman pilaantumisen vaaraa aiheuttavien toimintojen sijoittamisessa ja lupakäsittelyssä. Ohjearvojen ylittyminen on pyrittävä estämään ennakoita ja pitkällä aikavälillä alueilla, joilla ilmanlaatu on tai saattaa toistuvasti olla huonompi kuin ohjearvo edellyttäisi. Ilmanlaadun ohjearvot on määritelty valtioneuvoston päätöksessä ilmanlaadun ohjearvoista ja rikkilaskeuman tavoitearvosta (*Vnp 480/1996*, taulukko 5).

*Raja-arvot* ovat ilman epäpuhtauden pitoisuuksia, jotka on alitettava määräajassa. Kun raja-arvo on alitettu, sitä ei enää saa ylittää. Raja-arvot ovat sitovia. Raja-arvon ylittyessä on kunnan ryhdyttävä ympäristönsuojelulain mukaisiin toimiin ja laadittava ilmansuojelusuunnitelma ilmanlaadun parantamiseksi ja raja-arvon ylitysten estämiseksi. Tällaisia toimia voivat olla esimerkiksi määräykset liikenteen tai päästöjen rajoittamisesta. Ilmanlaadun raja-arvot on määritelty valtioneuvoston antamassa ilmanlaatuasetuksessa (*Vna 79/2017*). Ilmanlaatuasetuksen mukaiset hengitettävien hiukkasten, typpidioksidin ja lyijyn pitoisuuksia koskevat raja-arvot on esitetty taulukossa 6.

*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 6.

Seuranta-alueen ilmanlaadun seurannan suunnittelussa on otettava huomioon ilmanlaatuasetuksessa määritellyt arviointikynnykset (*Vna 79/2017*). Jatkuvia mittauksia on tehtävä seuranta-alueilla, joilla *ylempi arviointikynnys* ylittyy sekä seuranta-alueilla, joilla ilman epäpuhtauksien pitoisuudet ovat ylemmän ja alemman arviointikynnyksen välissä. *Alemman arviointikynnyksen* ylittyessä jatku-

vien mittausten tarve on vähäisempi ja voidaan käyttää jatkuvien mittausten ja mallintamistekniikoiden tai suuntaa antavien mittausten yhdistelmää. Jos ilman epäpuhtauksien pitoisuudet ovat alemman arviointikynnyksen alapuolella, riittää, että ilmanlaatua seurataan yksinomaan suuntaa antavien mittausten, mallintamistekniikoiden, päästökartoitusten tai muiden vastaavien menetelmien perusteella. Ylemmän ja alemman arviointikynnyksen ylittyminen määritetään viiden edellisen vuoden pitoisuuksien perusteella. Arviointikynnyksen katsotaan ylittyneen, kun se on ylittynyt vähintään kolmena vuotena viidestä. Arviointikynnykset on määritelty ilmanlaatuasetuksessa (Vna 79/2017).

Taulukko 5. Ilmanlaadun ohjearvo terveyshaittojen ehkäisemiseksi (Vnp 480/1996). Tulokset ilmaistaan ulkoilman lämpötilassa ja paineessa.

Ilman epäpuhtaus	Ohjearvo	Tilastollinen määrittely
Hengitettävät hiukkaset (PM <sub>10</sub> )	70 µg/m <sup>3</sup>	Kuukauden toiseksi suurin vuorokausiarvo

Taulukko 6. Ilmanlaadun raja-arvot, tavoitearvot ja arviointikynnykset (Vna 79/2017; Vna 113/2017). Tulokset ilmaistaan ulkoilman lämpötilassa ja paineessa.

Ilman epäpuhtaus	Tilastollinen tunnusluku	Ylempi arviointikynnys		Alempi arviointikynnys	
<b>Hengitettävät hiukkaset (PM<sub>10</sub>) (µg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Raja-arvo</b>				
24 tuntia (saa ylittyä 35 krt/vuosi)	50	35	(70 %)	25	(50 %)
vuosi	40	28	(70 %)	20	(50 %)
<b>Lyijy (Pb) (µg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Raja-arvo</b>				
kalenterivuosi	0,5	0,35	(70 %)	0,25	(50 %)
<b>Arseeni (As) (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Tavoitearvo</b>				
kalenterivuosi	6	3,6	(60 %)	2,4	(40 %)
<b>Kadmium (Cd) (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Tavoitearvo</b>				
kalenterivuosi	5	3	(60 %)	2	(40 %)
<b>Nikkeli (Ni) (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Tavoitearvo</b>				
kalenterivuosi	20	14	(70 %)	10	(50 %)

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

Taulukko 7. Ulkoilman hengitettävien hiukkasten pitoisuutta koskevat ilmanlaadun ohjearvot (WHO, 2021).

Ilman epäpuhtaus	Ohjearvo $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Tilastollinen määrittely
<b>Hengitettävät hiukkaset (PM<sub>10</sub>)</b>		
Vuorokausi	45	Vuoden vuorokausiarvojen 99. prosenttipiste (sallii 3–4 ylityskertaa vuodessa)
Vuosi	15	Vuoden keskiarvo

## 6.5 Ilmanlaadun arviointikynnykset

Seuranta-alueen ilmanlaadun seurannan suunnittelussa on otettava huomioon ilmanlaatuasetuksessa määritellyt arviointikynnykset (*Vna 79/2017*). Jatkuvia mittauksia on tehtävä seuranta-alueilla, joilla ylempi arviointikynnys ylittyy sekä seuranta-alueilla, joilla ilman epäpuhtauksien pitoisuudet ovat ylempään ja alemman arviointikynnyksen välissä (kuva 34). Alemman arviointikynnyksen ylityksessä jatkuvien mittausten tarve on vähäisempi ja voidaan käyttää jatkuvien mittausten ja mallintamistekniikoiden tai suuntaa antavien mittausten yhdistelmää. Jos ilman epäpuhtauksien pitoisuudet ovat alemman arviointikynnyksen alapuolella, riittää, että ilmanlaatua seurataan yksinomaan suuntaa antavien mittausten, mallintamistekniikoiden, päästökartoitusten tai muiden vastaavien menetelmien perusteella.

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



Kuva 34.

Ilmanlaadun seurantarve seuranta-alueella määräytyy mitattujen pitoisuuksien suhteesta ylempään ja alempaan arviointikynnökseen. Seurantatarve kasvaa pitoisuuksien kasvaessa.

## VIITELUETTELO

---

EEA, 2020. *Air quality in Europe – 2020 report*. EEA Report 09/2020, ISSN 1977-8449  
<https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2020-report>

HSY, 2016. Ilmanlaatu pääkaupunkiseudulla vuonna 2015. Helsingin seudun ympäristöpalvelut –kuntayhtymä, HSY:n julkaisuja 6/2016.  
<https://www.hsy.fi/globalassets/ilmanlaatu-ja-ilmasto/tiedostot/6-2016-ilmanlaatu-pks-2015.pdf>

HSY, 2022. Ilmanlaatuindeksi.  
<https://www.hsy.fi/ilmanlaatu-ja-ilmasto/mika-on-ilmanlaatuindeksi/>

Hänninen, O., Korhonen, A., Lehtomäki, H., Asikainen, A., Rumrich, I., 2016. Ilmansaasteiden terveysvaikutukset. Ympäristöministeriön raportteja 16/2016.  
[https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/74861/YMra\\_16\\_2016.pdf](https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/74861/YMra_16_2016.pdf)

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

Ilmatieteen laitos, 2023 a. Ilmatieteen laitoksen ylläpitämä Ilmanlaatu Suomessa -sivusto, josta on saatavilla mittaustiedot ja historiatietoja pitoisuuksista lähes kaikilta Suomen ilmanlaadun seuranta- asemilta, lisäksi sivustolla teematietoa ilmansaasteista: <https://ilmatieteenlaitos.fi/ilmanlaatu>

Ilmatieteen laitos, 2023 b. Säähavainnot. <https://ilmatieteenlaitos.fi/havaintojen-lataus#!/>

Ilmatieteen laitos, 2023f c. Ympäristönsuojelun tietojärjestelmän ilmanlaatuosa, tarkistetut mittaus- tulokset. <https://ilmatieteenlaitos.fi/havaintojen-lataus#!/>

Jokinen, P., Pirinen, P., Kaukoranta, J.-P., Kangas, A., Alenius, P., Eriksson, P., Johansson, M., Wilkman, S., 2021. Tilastoja Suomen ilmastosta ja merestä 1991–2020. Ilmatieteen laitos, Raport- teja 2021:8.  
<https://helda.helsinki.fi/handle/10138/336063>

Raahen kaupunki, 2020. Raahen ilmanlaatu 2019. Ilmanlaadun seurantaraportti, Raahe 2019.  
<https://www.raahe.fi/sites/raahe.fi/files/liitetiedostot/Elinymp%c3%a4rist%c3%b6/Ilmanlaatura- portti%202019.pdf>

Syke, 2022. Ilman epäpuhtauksien päästöt Suomessa. Suomen ympäristökeskus SYKE.  
[http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kartat\\_ja\\_tilastot/Ilman\\_epapuhtauksien\\_paastot](http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kartat_ja_tilastot/Ilman_epapuhtauksien_paastot)

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

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

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

Walden, J., Waldén, T., Laurila, S. ja Hakola, H., 2017. Demonstration of the equivalence of PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> measurement methods in Kuopio 2014–2015. Reports 2017:1. Finnish Meteorological In- stitute, Helsinki, 137 p.  
[http://expo.fmi.fi/ages/public/PM\\_Equivalence%20report%20Kuopio\\_2017.pdf](http://expo.fmi.fi/ages/public/PM_Equivalence%20report%20Kuopio_2017.pdf)

*Walden, J. ja Vestenius, M., 2018.* Verification of PM-analyzers for PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> with the PM reference method. Finnish Meteorological Institute, Reports 2018:2.

[http://expo.fmi.fi/ages/public/Raportteja\\_2018\\_2\\_Verification\\_of\\_PM-analyzers.pdf](http://expo.fmi.fi/ages/public/Raportteja_2018_2_Verification_of_PM-analyzers.pdf)

*WHO 2021.* WHO Air quality guidelines. Particulate matter (PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub>), ozone, nitrogen dioxide, sulphur dioxide and carbon monoxide. Geneva, World Health Organization.

## Liitetaulukot

Liitetaulukko 1. Terrafamen Tehdasalueen ja Myllyniemen ilmanlaadun mittausasemilla mitatut hengitettävien hiukkasten (PM<sub>10</sub>) tunti- ja vuorokausipitoisuudet (µg/m<sup>3</sup>) kuukausittain mittausjaksolla 1.1.–31.12.2022. Pitoisuudet on ilmoitettu ulkoilman lämpötilassa ja paineessa.

Tehdasalue	2022											
	PM10 (µg/m <sup>3</sup> )	tammi	helmi	maalis	huhti	touko	kesä	heinä	elo	syys	loka	marras
<b>TUNTIARVOJEN</b>												
lukumäärä	744	672	743	640	734	716	662	742	715	742	715	707
kattavuus (%)	100	100	99,9	88,9	98,7	99,4	89,0	99,7	99,3	99,7	99,3	95,0
keskiarvo	8,4	11,2	14,1	12,7	15,2	21,5	18,9	23,4	9,7	11,8	12,5	12,0
99. %-piste	36	89	49	86	71	83	70	78	43	59	79	45
korkein arvo	85	243	93	818	112	424	86	100	63	241	148	169
<b>VRK-ARVOJEN</b>												
lukumäärä	31	28	31	27	31	30	26	31	30	31	30	29
2. korkein arvo	22	32	30	37	31	44	47	60	21	29	31	28
korkein arvo	24	58	32	44	59	81	52	60	36	37	39	40

Myllyniemi	2022											
	PM10 (µg/m <sup>3</sup> )	tammi	helmi	maalis	huhti	touko	kesä	heinä	elo	syys	loka	marras
<b>TUNTIARVOJEN</b>												
lukumäärä	701	648	730	718	644	695	744	676	718	744	720	651
kattavuus (%)	94,2	96,4	98,1	99,7	86,6	96,5	100	90,9	99,7	100	100	87,5
keskiarvo	5,7	7,3	12,8	8,1	10,6	10,5	10,3	25,3	7,2	8,3	4,8	5,7
99. %-piste	23	53	60	42	42	40	39	120	20	73	25	21
korkein arvo	35	101	173	126	70	47	47	153	43	142	41	46
<b>VRK-ARVOJEN</b>												
lukumäärä	28	27	30	30	24	29	31	28	30	31	30	26
2. korkein arvo	10	16	31	14	22	20	23	79	15	29	11	14
korkein arvo	10	24	33	17	26	20	31	93	15	36	11	17



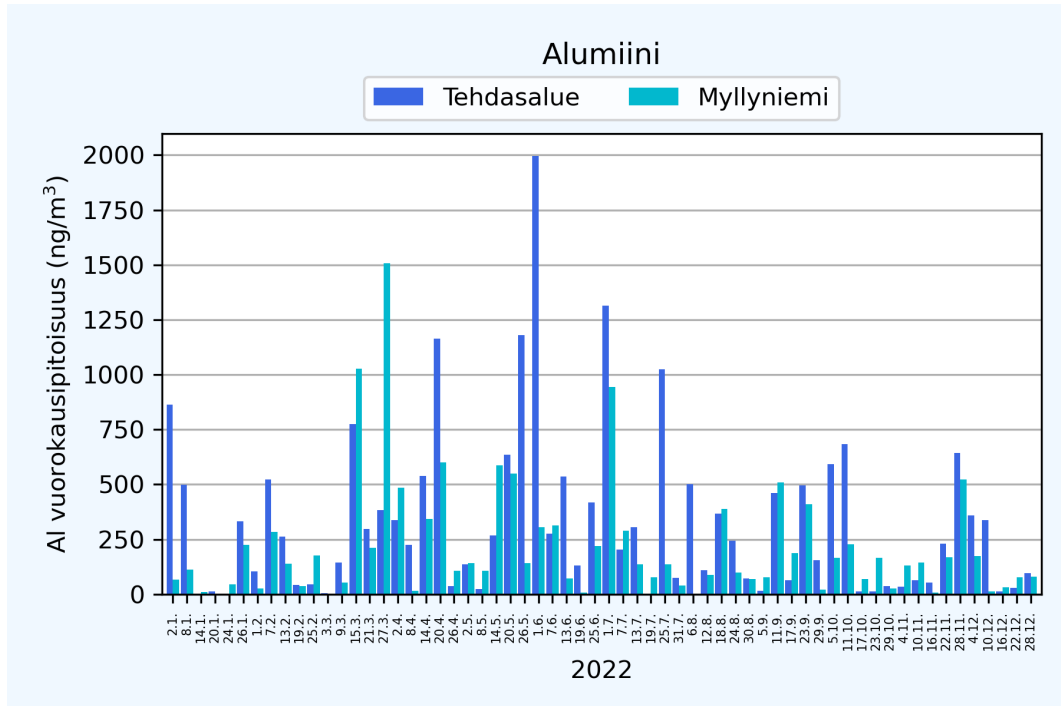
Liitetaulukko 2. Terrafamen Tehdasalueen ja Myllyniemen ilmanlaadun mittausasemilla kalenterivuonna 2022 mitatut arseeni- ja metallipitoisuudet vuosikeskiarvona.

	Mitattu pitoisuus	Vuosikeskiarvo (ng/m <sup>3</sup> )
<b>Tehdasalue</b>	Alumiini (Al)	346,67
	Koboltti (Co)	1,50
	Kromi (Cr)	1,61
	Kupari (Cu)	12,44
	Mangaani (Mn)	31,43
	Rauta (Fe)	563,89
	Sinkki (Zn)	69,53
	Vanadiini (V)	3,58
	Arseeni (As)	0,45
	Kadmium (Cd)	0,21
	Lyijy (Pb)	1,07
	Nikkeli (Ni)	101,43
	Uraani (U)	0,15
<b>Myllyniemi</b>	Alumiini (Al)	223,54
	Koboltti (Co)	0,26
	Kromi (Cr)	0,71
	Kupari (Cu)	2,81
	Mangaani (Mn)	9,02
	Rauta (Fe)	251,11
	Sinkki (Zn)	11,72
	Vanadiini (V)	1,12
	Arseeni (As)	0,23
	Kadmium (Cd)	0,05
	Lyijy (Pb)	0,80
	Nikkeli (Ni)	7,49
	Uraani (U)	0,04

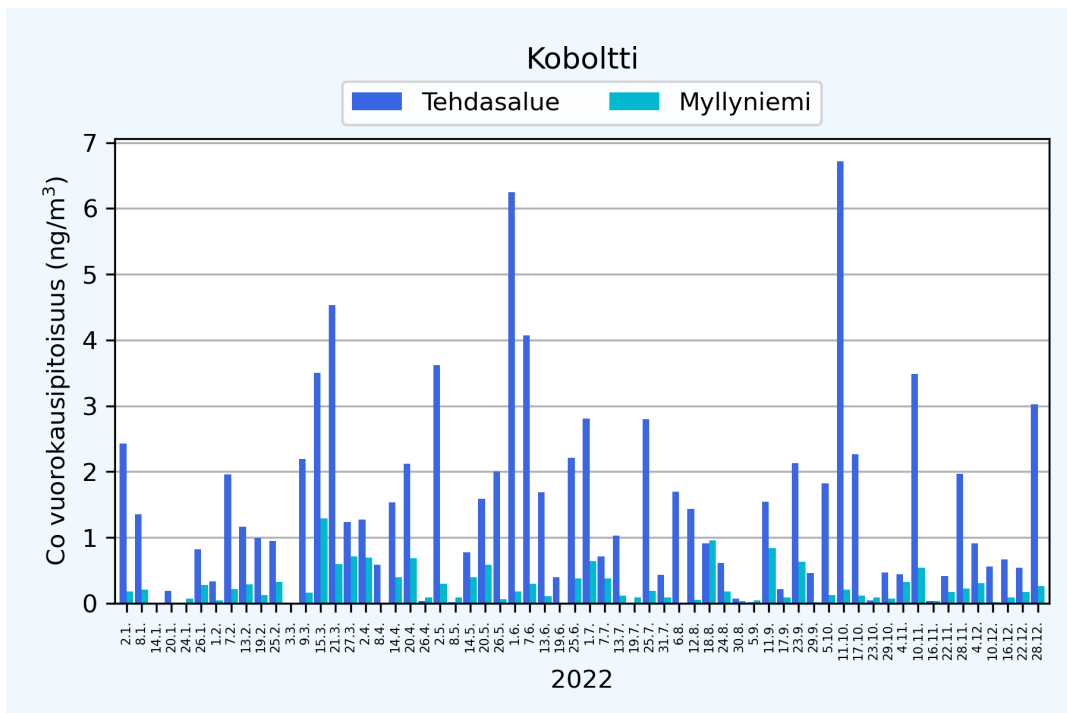
Liitetaulukko 3. Terrafamen Tehdasalueen ja Myllyniemen ilmanlaadun mittausasemilla vuonna 2022 mitatut PM<sub>10</sub>-hiukkasten raja-arvoihin verrannolliset pitoisuudet (µg/m<sup>3</sup>) mittausjaksolla 1.1–31.12.2022.

	<b>PM<sub>10</sub>-pitoisuus</b>	<b>Raja-arvoon verrannollinen pitoisuus</b>	<b>Osuus raja-arvosta</b>
<b>Tehdasalue</b>	Vuosiraja-arvo 40 µg/m <sup>3</sup>	14,3 µg/m <sup>3</sup>	35 %
	Vuorokausiraja-arvo 50 µg/m <sup>3</sup>	28,3 µg/m <sup>3</sup>	56 %
<b>Myllyniemi</b>	Vuosiraja-arvo 40 µg/m <sup>3</sup>	9,7 µg/m <sup>3</sup>	25 %
	Vuorokausiraja-arvo 50 µg/m <sup>3</sup>	17,11 µg/m <sup>3</sup>	34 %

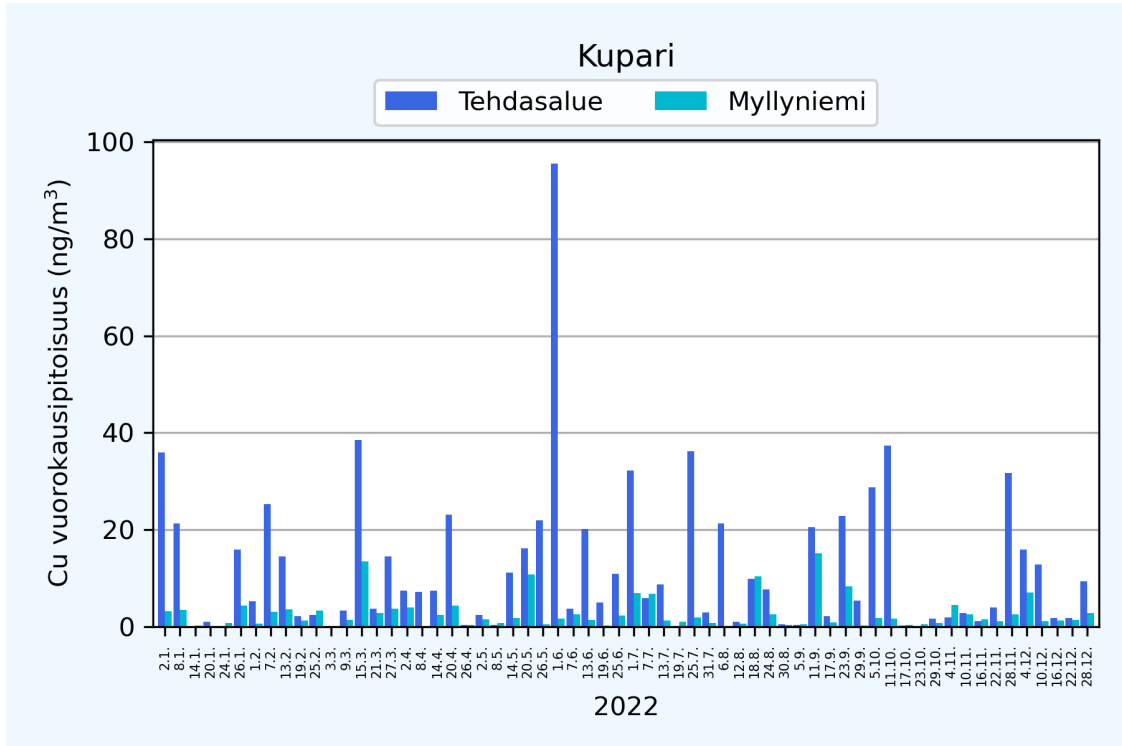
## Liitekuvat



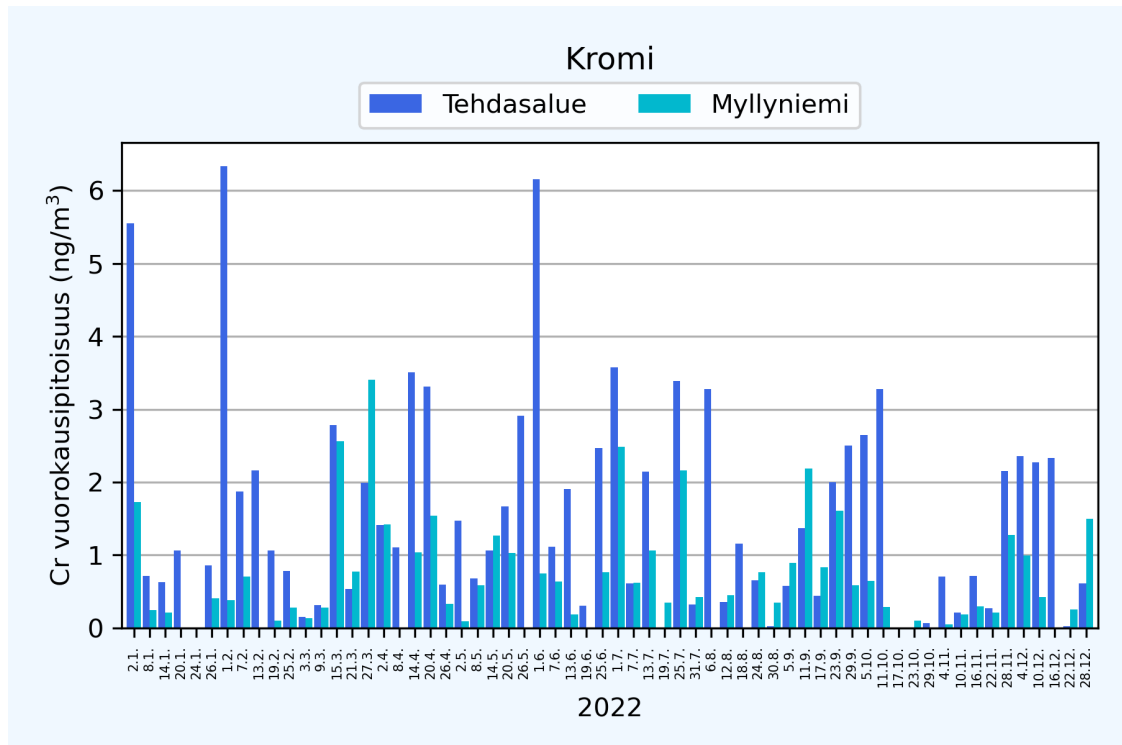
Liitekuva 1. Hengitettävistä hiukkasista (PM<sub>10</sub>) määritetyt **alumiinipitoisuudet** (ng/m<sup>3</sup>) Terrafamen Tehdasalueen ja Myllyniemen mittauspisteissä jaksolla 2.1.–28.12.2022. Alumiinille ei ole määritelty ilmanlaadun vertailuarvoja.



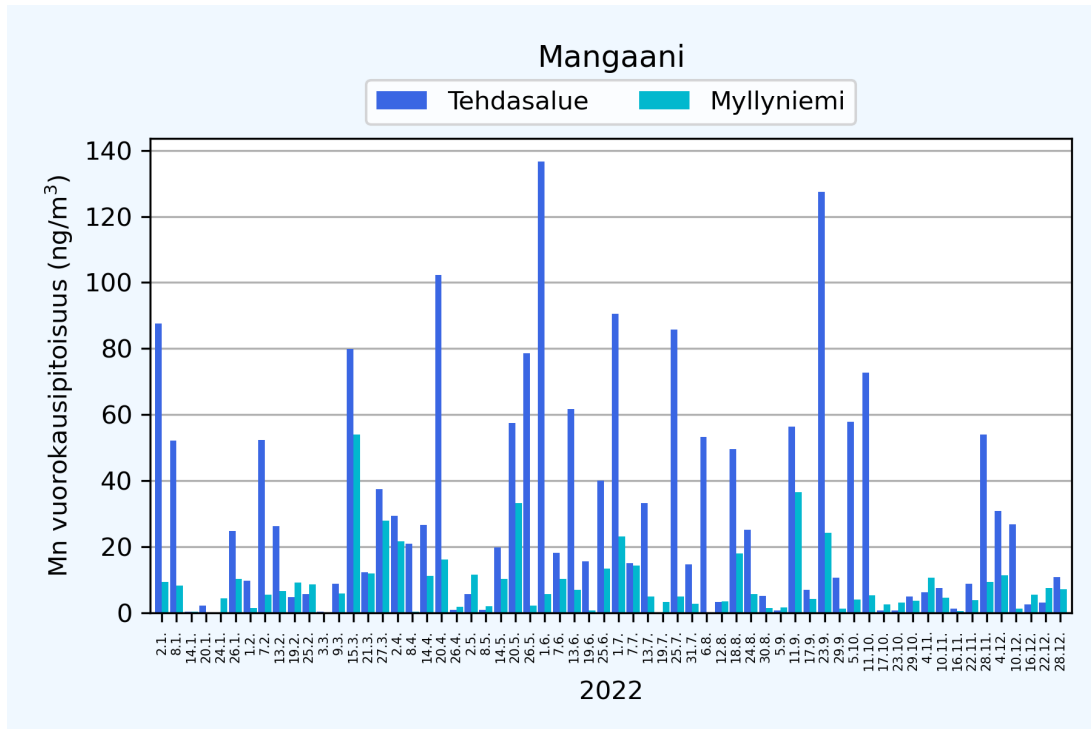
Liitekuva 2. Hengitettävistä hiukkasista (PM<sub>10</sub>) määritetyt **kobolttipitoisuudet** (ng/m<sup>3</sup>) Terrafamen Tehdasalueen ja Myllyniemen mittauspisteissä jaksolla 2.1.–28.12.2022. Koboltille ei ole määritelty ilmanlaadun vertailuarvoja.



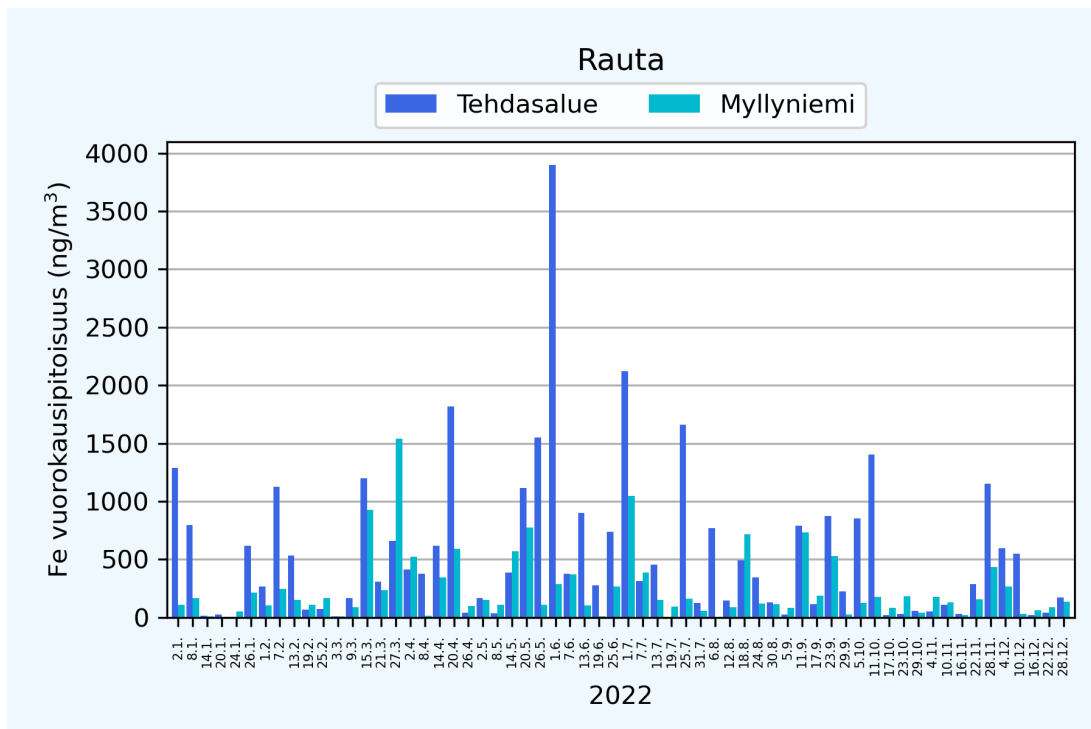
Liitekuva 3. Hengitettävistä hiukkasista (PM<sub>10</sub>) määritetyt **kuparipitoisuudet** (ng/m<sup>3</sup>) Terrafamen Tehdasalueen ja Myllyniemen mittauspisteissä jaksolla 2.1.–28.12.2022. Kuparille ei ole määritelty ilmanlaadun vertailuarvoja.



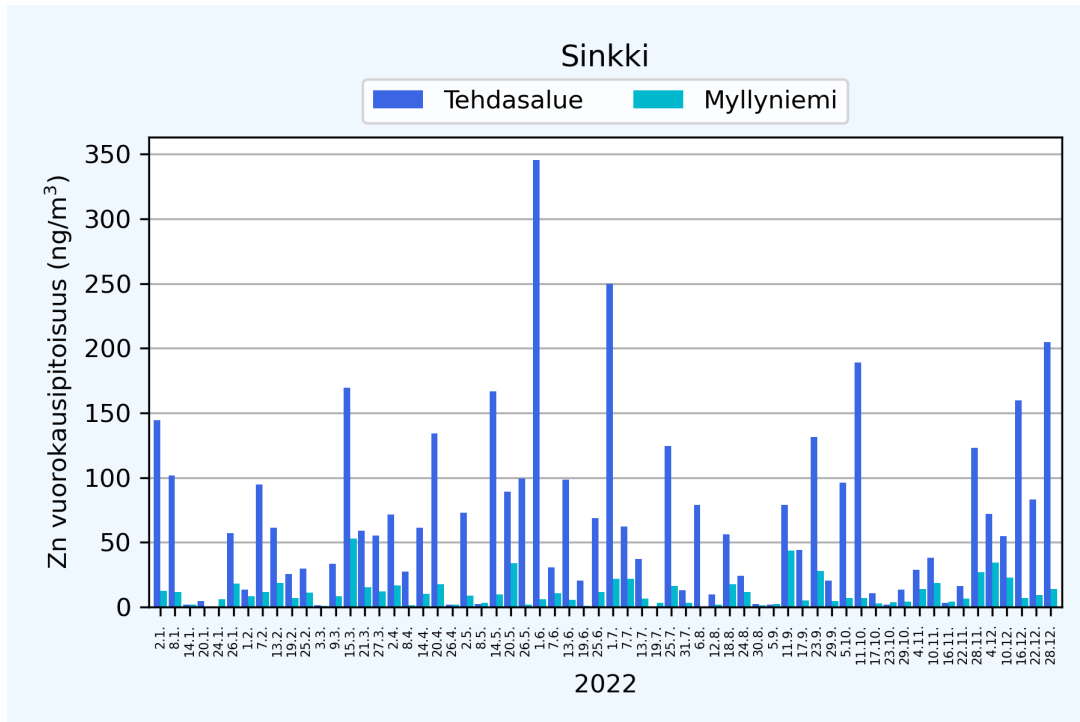
Liitekuva 4. Hengitettävistä hiukkasista (PM<sub>10</sub>) määritetyt **kromipitoisuudet** (ng/m<sup>3</sup>) Terrafamen Tehdasalueen ja Myllyniemen mittauspisteissä jaksolla 2.1.–28.12.2022. Kromille ei ole määritelty ilmanlaadun vertailuarvoja.



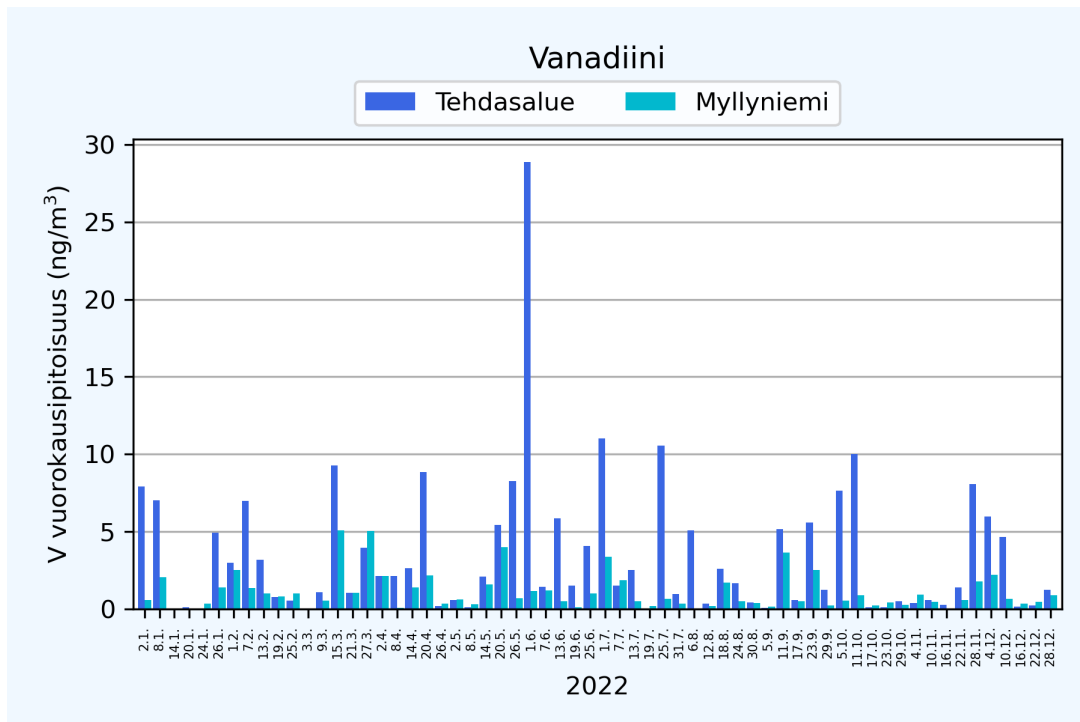
Liitekuva 5. Hengitettävistä hiukkasista (PM<sub>10</sub>) määritetyt **mangaanipitoisuudet** (ng/m<sup>3</sup>) Terrafamen Tehdasalueen ja Myllyniemen mittauspisteissä jaksolla 2.1.–28.12.2022. Mangaanille ei ole määritetty ilmanlaadun vertailuarvoja.



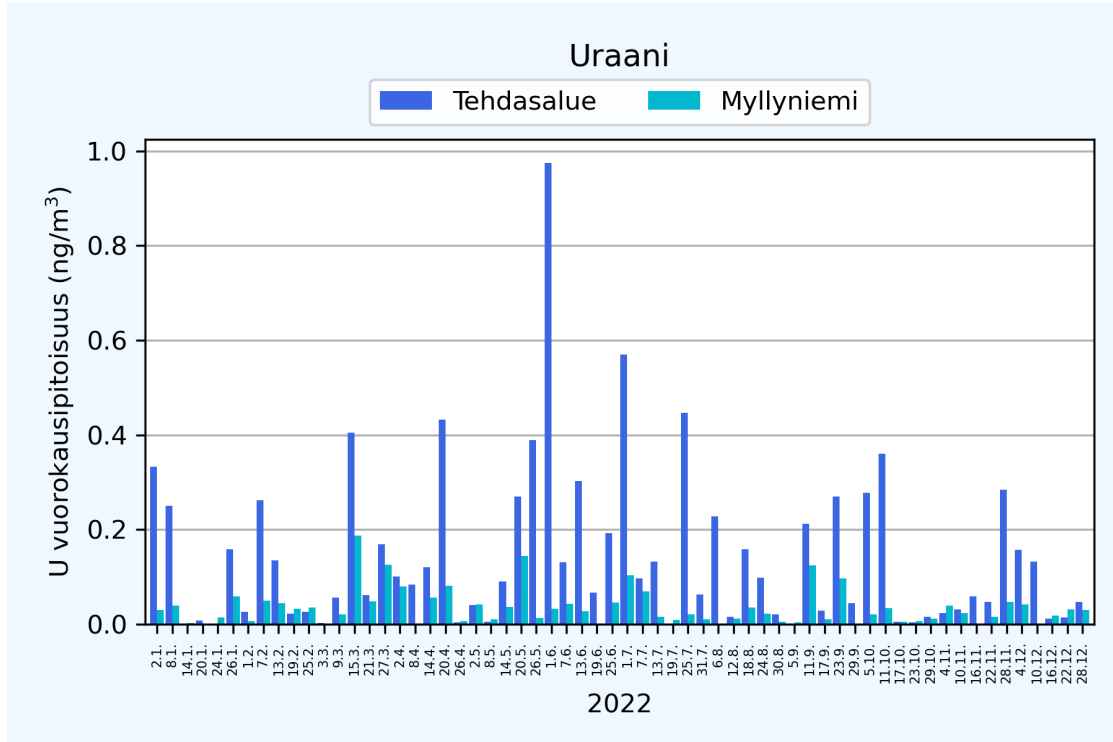
Liitekuva 6. Hengitettävistä hiukkasista (PM<sub>10</sub>) määritetyt **rautapitoisuudet** (ng/m<sup>3</sup>) Terrafamen Tehdasalueen ja Myllyniemen mittauspisteissä jaksolla 2.1.–28.12.2022. Raudalle ei ole määritetty ilmanlaadun vertailuarvoja.



Liitekuva 7. Hengitettävistä hiukkasista (PM<sub>10</sub>) määritetyt **sinkkipitoisuudet** (ng/m<sup>3</sup>) Terrafamen Tehdasalueen ja Myllyniemen mittauspisteissä jaksolla 2.1.–28.12.2022. Sinkille ei ole määritelty ilmanlaadun vertailuarvoja.



Liitekuva 8. Hengitettävistä hiukkasista (PM<sub>10</sub>) määritetyt **vanadiinipitoisuudet** (ng/m<sup>3</sup>) Terrafamen Tehdasalueen ja Myllyniemen mittauspisteissä jaksolla 2.1.–28.12.2022. Vanadiinille ei ole määritelty ilmanlaadun vertailuarvoja.



Liitekuva 9. Hengitettävistä hiukkasista (PM<sub>10</sub>) määritetyt **uraanipitoisuudet** (ng/m<sup>3</sup>) Terrafamen Tehdasalueen ja Myllyniemen mittauspisteissä jaksolla 2.1.–28.12.2022. Uraanille ei ole määritelty ilmanlaadun vertailuarvoja.



ILMATIETEEN LAITOS

**ILMATIETEEN LAITOS**

puh. 029 539 1000

Ilmanlaatu ja energia

[ilmanlaatupalvelut@fmi.fi](mailto:ilmanlaatupalvelut@fmi.fi)

[www.ilmatieteenlaitos.fi/ilmanlaatupalvelut](http://www.ilmatieteenlaitos.fi/ilmanlaatupalvelut)

**WWW.ILMATIETEENLAITOS.FI**

