



TERRAFAME OY:N ILMANLAADUN TARKKAILU

**Hengitettävien hiukkasten, pienhiukkasten, arseenin ja
metallien pitoisuudet vuonna 2023**



TERRAFAME OY:N ILMANLAADUN TARKKAILU

Hengitettävien hiukkasten, pienhiukkasten, arseenin ja metallien pitoisuudet vuonna 2023

**Jutta Kesti
Terhi Laurila
Toni Mattila
Ulla Makkonen
Mika Vestenius
Antti Mannisenaho
Katja Lovén**

**ILMATIETEEN LAITOS - ASiantuntijapalvelut
ILMANLAATU JA ENERGIA
Helsinki 8.5.2024**

OSA I	3
1 JOHDANTO	3
2 ILMANLAADUN MITTAUSTULOKSET	4
2.1 Mitatut pitoisuudet	4
2.2 Ilmanlaatuindeksi	7
2.3 Pitoisuuksien vertailua raja- ja ohjearvoihin	8
2.4 Pitoisuuksien ajallinen vaihtelu	11
2.5 Tuulen suunnan ja nopeuden vaikutus mitattuihin pitoisuuksiin	13
2.6 Hengitettävien hiukkasten sisältämät arseeni- ja metallipitoisuudet	18
2.7 Pitoisuuksien vertailua muualla mitattuihin pitoisuuksiin	21
3 YHTEENVETO MITTAUSTULOKSISTA JA SUOSITUKSET	24
OSA II	26
4 TUTKIMUKSEN SUORITUS	26
4.1 Mittausasemien sijainnit	26
4.2 Mitatut suureet ja mittausmenetelmät	27
4.3 Hiukkasmittausten vertailukelpoisuus ja mittausepävarmuus	28
4.4 Kalibroitimenetelmät, laadunvarmistus ja laitehuollot	29
5 SÄÄTIEDOT VUONNA 2023	29
5.1 Tuulitiedot Terrafamella mittausjaksolla	29
5.2 Keskilämpötilat Sotkamon seudulla	30
5.3 Sademäärät Sotkamon seudulla	31
5.4 Ilmanlaatuun vaikuttavat säätekijät	32
6 TAUSTATIETOA ILMAN EPÄPUHTAUKSISTA	33
6.1 Hiukkaset	33
6.2 Arseeni ja metallit	34
6.3 Ilman epäpuhtauksien terveysvaikutukset	36
6.4 Ilmanlaadun ohje- ja raja-arvot	36
6.5 Ilmanlaadun arviointikynnykset	38
VIITELUETTELO	39
Liitetaulukot	40
Liitekuvat	41

1 JOHDANTO

Terrafame Oy perusti huhtikuussa 2023 Taattolaan vakituisen ilmanlaadun mittauspisteen, jossa Ilmatieteen laitos seurasi Terrafame Oy:n lähialueen ulkoilmanlaatua vuonna 2023 (15.4.-31.12.2023). Mittausasema sijaitsee Kainuussa Sotkamon kunnassa. Taattolan mittauspaikka sijaitsee kaivosalueen koillispuolella, noin 1,3 km:n päässä kaivosalueen lähimmästä reuna-alueesta (kuva 1). Taattolan mittauspiste edustaa Terrafamen läheisyydessä sijaitsevaa asutusta, nk. lähintä altistuvaa kohdetta. Asemalla mitattiin hengitettävien hiukkasten (PM_{10}) ja pienhiukkasten ($PM_{2,5}$) pitoisuuksia jatkuvatoimisella automaattisella analysaattorilla sekä kerättiin hiukkasten (PM_{10}) vuorokausinäytteitä joka 6. vuorokausi. Kerätyistä näytteistä analysoitiin laboratoriossa PM_{10} -hiukkasten sisältämät arseeni- ja metallipitoisuudet. Mittausten tavoitteena oli kartoittaa kaivos- ja teollisuustoiminnan vaikutuksia ilmanlaatuun kaivospiirin ympäristössä seuraamalla näiden ilmansaasteiden pitoisuustasoa ja hetkellistä vaihtelua mittausjakson ajan. Ilmanlaatumittausten tulosten tulkintaa varten asemalla mitattiin myös perussäättietoja: tuulen suuntaa ja nopeutta, ilman lämpötilaa, ilmanpainetta ja ilman suhteellista kosteutta. Ilmanlaadun mittauskampanjoita on toteutettu Terrafame Oy:n toimeksiannosta vuosina 2022, 2015–2016 (joulukuu 2015 - elokuu 2016) ja 2008–2009 (syyskuu 2008 - helmikuu 2009) eri mittausasemilla (Tehdasalue ja Myllyniemi).



Kuva 1: Ilmakuva Terrafamen teollisuusalueesta (Maanmittauslaitoksen ilmakuva, 2022). Taattolan mittausasema on merkitty punaisella tähdellä.

Tässä raportissa esitetään kaikki seurannan aikaiset ilmanlaadun mittaustulokset. Tuloksia verrataan ilmanlaadun lainsäädännössä asetettuihin raja-, ohje- ja tavoitearvoihin, sekä arviointikynnyksiin (kuvattu tarkemmin kappaleissa 6.4 ja 6.5). 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

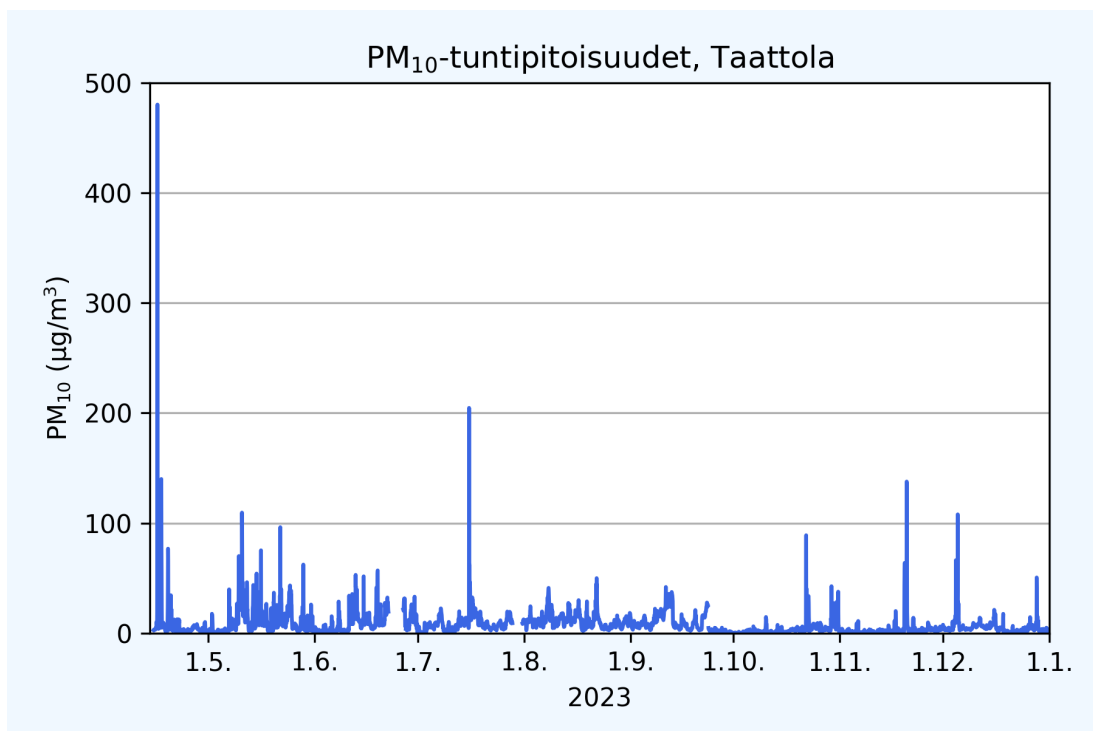
2.1 Mitatut pitoisuudet

Mitattujen hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) ja pienhiukkasten (PM_{2,5}) tunti- ja vuorokausipitoisuudet ajanjaksolla 15.4.–31.12.2023 on esitetty kuvissa 2–5. Raportin lopussa oleviin liitetaulukoihin 1 ja 2 on lisäksi koottu kuukausittaisia tilastotietoja mitatuista PM₁₀- ja PM_{2,5}-hiukkasten pitoisuuksista mittausjaksolta. Mittaukset suoritettiin jatkuvatoimisilla automaattisilla mittalaitteilla. Mittauspaikka on esitelty tarkemmin raportin kappaleessa 4.1 ja mittausmenetelmiä sekä käytettyjä laitteita on kuvattu tarkemmin kappaleessa 4.2.

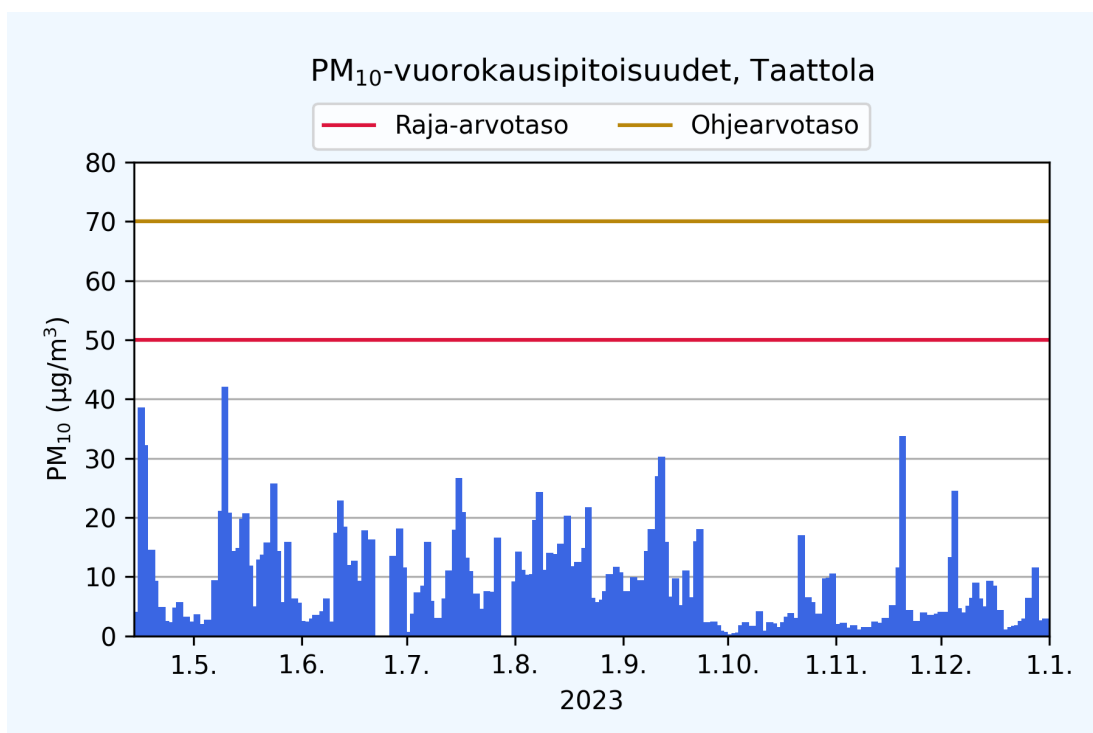
Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet vaihtelivat vuoden tarkastelujaksolla voimakkaasti Taattolan mittauspisteessä. Hetkellisten tuntipitoisuuksien vaihtelu oli merkittävästi suurempaa kuin vuorokausikeskiarvopitoisuuksien vaihtelu. Mittausjakson pitoisuuskeskiarvot 7,9 µg/m³ hengitettävillä hiukkasilla (PM₁₀) sekä 3,5 µg/m³ pienhiukkasilla (PM_{2,5}) ovat selvästi alle hengitettävien hiukkasten vuosiraja-arvon 40 µg/m³ ja pienhiukkasten vuosiraja-arvon 25 µg/m³. Hiukkasten pitoisuudet olivat mittausasemalla keskimäärin hieman korkeampia kesäkaudella kuin talvella lumipeitteiseen aikaan. Ilmatieteen laitos on mitannut aiemmin Terrafame Oy:n teollisuusalueen lähiympäristössä Tehdasalueen ja Myllyniemen mittauskohteissa (hieman eri sijainneilla) hengitettävien hiukkasten pitoisuuksia vuosina 2022, 2015–2016 (joulukuu 2015 - elokuu 2016) ja 2008–2009 (syyskuu 2008 - helmikuu 2009). Eri vuosina mitatut keskiarvopitoisuudet on esitetty taulukossa 1. Aiempien vuosien ja ajanjakson 15.4.–31.12.2023 mittausjaksojen vuosikeskiarvopitoisuudet eivät ole suoraan vertailukelpoisia, koska mittausajankohdat sijoittuvat eri vuodenaikoihin ja mittaukset on suoritettu eri paikoissa. Ilmanlaatulainsäädäntö edellyttää, että jatkuvien mittauksen ajallinen kattavuus on vähintään 85 % vuoden tunneista, jotta raja-arvoon verrannollista vuosikeskiarvopitoisuutta voidaan arvioida luotettavasti. Mikäli mittauksen ajallinen kattavuus on tätä pienempi, mittaukset luokitellaan suuntaa-antaviksi ja silloin niiden ajallinen kattavuus tulee olla vähintään 14 % vuoden tunneista. Taattolan mittausaseman tulokset voidaankin katsoa suuntaa-antaviksi vuoden 2023 osalta. Mittausasema on kuitenkin pysyvä, joten vuoden 2024 osalta ajallisen kattavuuden tavoite on yli 85 % vuoden tunneista.

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, mikä edesauttaa korkeiden hiukkaspitoisuuksien syntymistä. Taattolassa mitattiin kohonneita hengitettävien hiukkasten tuntipitoisuuksia huhtikuussa, jotka olivat korkeimmillaan 16.4. klo 3-5:00 välisenä aikana, 480 µg/m³ (kuva 2, vuorokausipitoisuus 39 µg/m³). Pidempiaikaiset korkeat pitoisuudet 16.–17.4 ovat todennäköisesti voineet johtua teollisuusalueen toiminnasta yhdistettynä voimakkaaseen maanpinnan lämpötilainversioon. Inversiolla tarkoitetaan tilannetta, jossa ilmakehän lämpötila nousee ylöspäin mentäessä. 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. Myös heinäkuun puolessa välissä 15.7. mitattiin yksittäinen korkeampi tuntipitoisuus (205 µg/m³). Kyseisenä ajankohtana tuuli on ollut työntä, joten korkeat pitoisuudet ovat johtuneet mittausaseman lähiympäristön pölyämisestä.

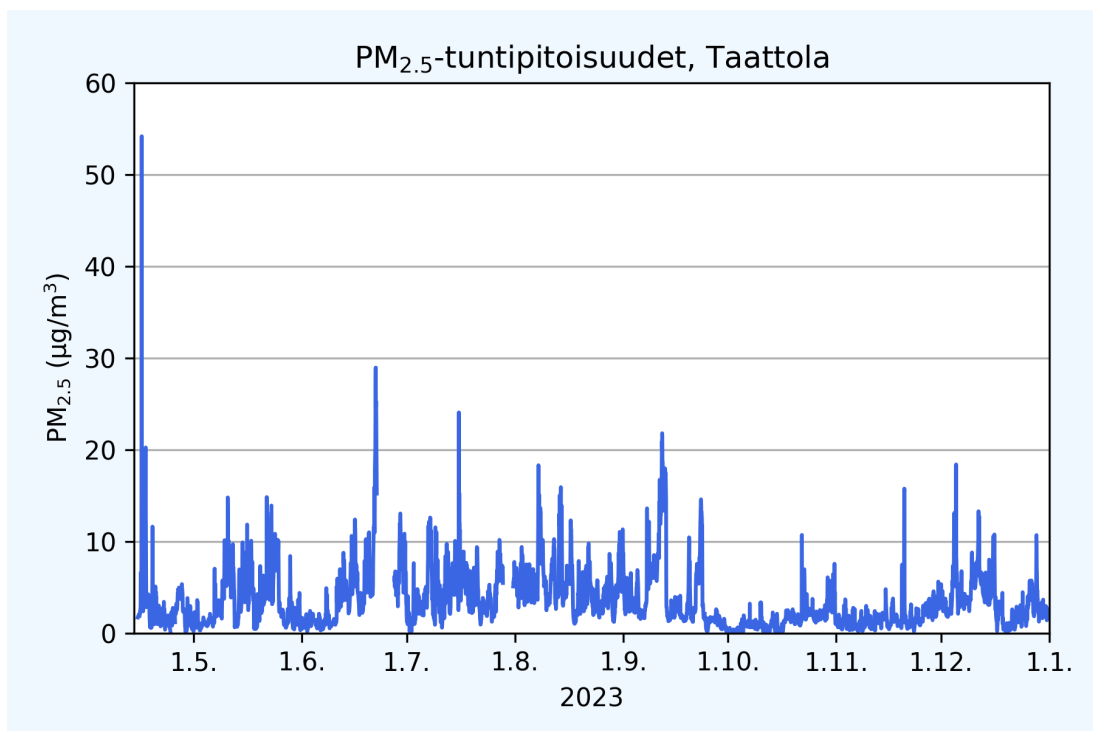
Pienhiukkaspitoisuudet olivat koholla pääasiassa samaan aikaan kuin hengitettävien hiukkasten pitoisuudet (kuva 4). Juhannusviikolla 21.–22.6. mitattiin korkeampia tuntipitoisuuksia. Kyseisenä ajankohtana pitoisuudet mitattiin idän ja kaakon suunnalta, joten nämä korkeat pitoisuudet ovat peräisin lähiasutuksesta tai esimerkiksi tien pölyämisestä. Selkeästi korkeampi PM_{2,5}-hiukkasten vuorokausipitoisuus 17 µg/m³ mitattiin 12.9. (kuva 5). Kyseisenä päivänä tuuli pääasiassa lounaan ja etelän suunnilta. Kyseisissä ilmansuunnissa on sekä lähiasutusta, peltoa että Terrafamen teollisuusalue.



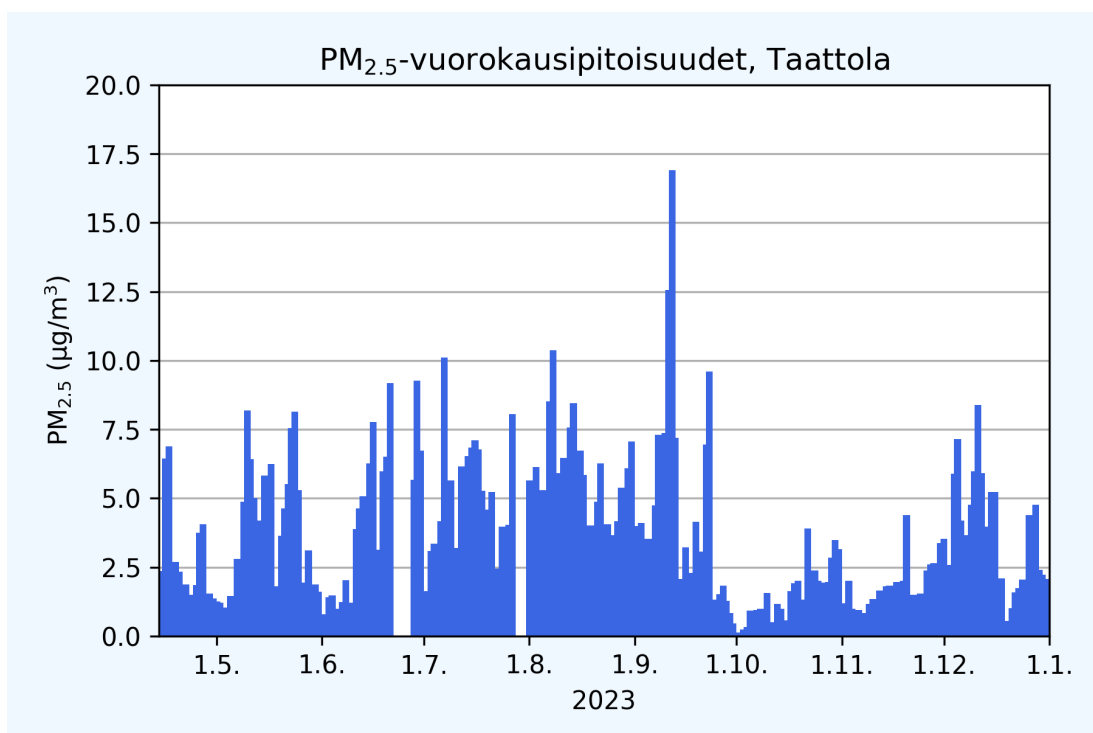
Kuva 2: Terrafame Oy:n Taattolan ilmanlaadun mittausasemalla ajanjaksolla 15.4.–31.12.2023 mitatut PM₁₀-hiukkasten **tuntipitoisuudet**. Hengitettävien hiukkasten tuntipitoisuuksille ei ole ohje- tai raja-arvoja.



Kuva 3: Terrafame Oy:n Taattolan ilmanlaadun mittausasemalla ajanjaksolla 15.4.–31.12.2023 mitatut PM₁₀-hiukkasten **vuorokausipitoisuudet**. Kuvaa on merkitty viivoilla hengitettävien hiukkasten ohje- ja raja-arvotasot. Vuorokausiraja-arvotason 50 µg/m³ ylityksiä saa olla 35 kappaletta vuodessa. Ohje- ja raja-arvotasojen tilastolliset määrittelyt on esitetty taulukoissa 4 ja 5.



Kuva 4: Terrafame Oy:n Taattolan ilmanlaadun mittausasemalla ajanjaksolla 15.4.–31.12.2023 mitatut PM_{2.5}-hiukkasten **tuntipitoisuudet**. Pienhiukkasten tuntipitoisuuksille ei ole ohje- tai raja-arvoja.



Kuva 5: Terrafame Oy:n Taattolan ilmanlaadun mittausasemalla ajanjaksolla 15.4.–31.12.2023 mitatut PM_{2.5}-hiukkasten **vuorokausipitoisuudet**. Pienhiukkasten vuorokausipitoisuuksille ei ole ohje- tai raja-arvoja.

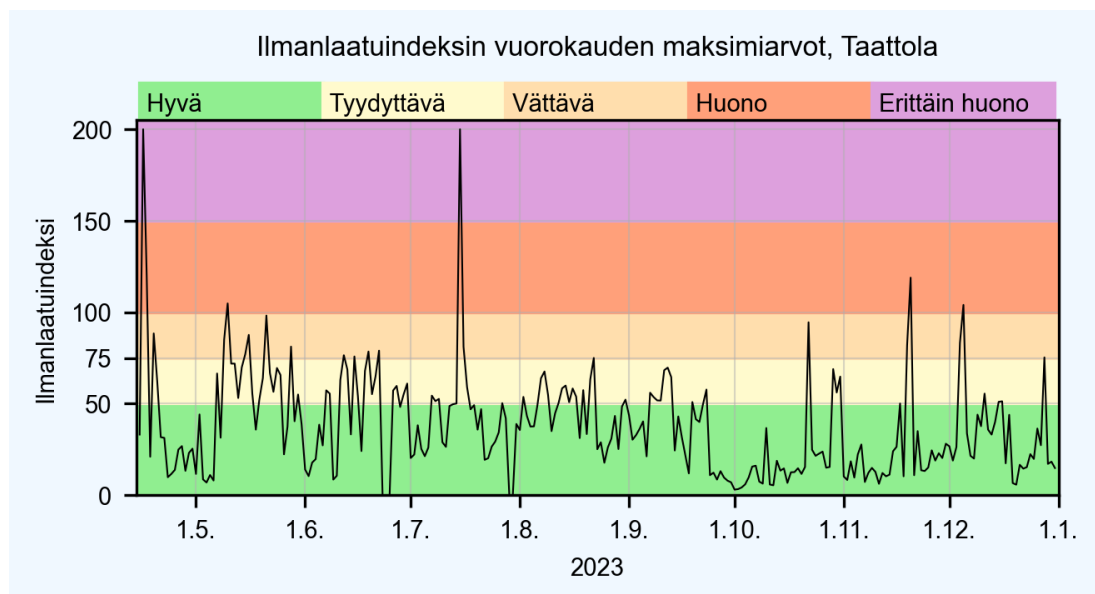
Taulukko 1: Terrafamen Tehdasalueen, Myllyniemen ja Taattolan mittausasemilla eri ajanjaksoina mitatut hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) keskiarvopitoisuudet (µg/m³).

Mittausjakson PM ₁₀ -pitoisuuskeskiarvo (µg/m ³)	Tehdasalue	Myllyniemi	Taattola
2008–2009 (6 kk)	16	7	
2015–2016 (8,5 kk)	24	8	
2022 (12 kk)	14	10	
2023 (8,5 kk)			8

2.2 Ilmanlaatuindeksi

Terrafamen ilmanlaadun mittausasemalla mitattujen PM₁₀- ja PM_{2,5}-hiukkasten pitoisuuksien tuntiarvojen perusteella laskettiin ilmanlaatuindeksi, joka kuvaa vallitsevaa ilmanlaatuilannetta viisiportaisella sanallisella 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. Vuorokauden ilmanlaatuindeksi määräytyy puolestaan ilmanlaadultaan huonoimman tunnin mukaan.

Kuvassa 6 on esitetty vuorokauden suurimmat ilmanlaatuindeksin arvot Terrafamen Taattolan ilmanlaadun mittausasemalla ajalla 15.4.–31.12.2023. Indeksillä ilmaistuna ilmanlaatu oli mittausasemalla hyvää 68,2 %, tyydyttävää 23,8 %, välttävää 5,7 %, huonoa 1,5 % ja erittäin huonoa 0,8 % päivistä (2 päivää). Erittäin huonot ilmanlaadun päivät olivat 16.4. sekä 15.7. Huhtikuun erittäin huonon ilmanlaadun päivänä korkeimpien mitattujen pitoisuuksien aikaan oli maanpintainversio, mikä edesauttoi korkeampien pitoisuuksien muodostumista. Heinäkuun erittäin huonon ilmanlaadun päivä johtui todennäköisesti maaperän pölyämisestä mittausaseman lähiympäristössä, koska tuuli oli tyynä. Hengitettävillä hiukkasilla oli ilmanlaatuun suurempi vaikutus 52 % päivistä ja pienhiukkasilla 48 % päivistä.



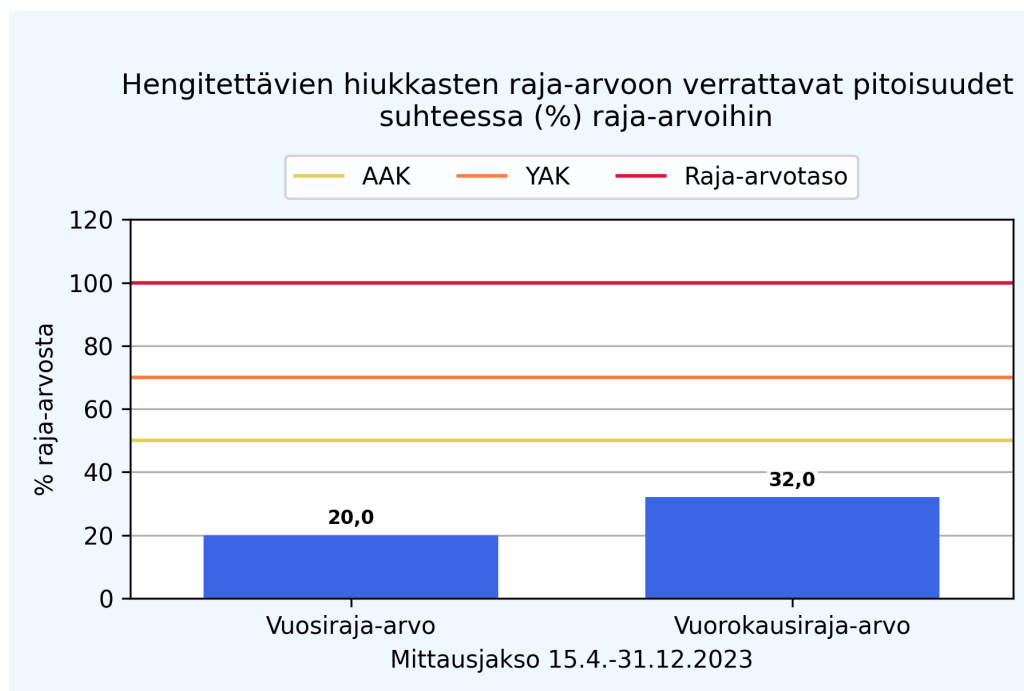
Kuva 6: Vuorokauden suurimmat ilmanlaatuindeksin arvot Taattolan ilmanlaadun mittauspisteessä ajanjaksolla 15.4.–31.12.2023.

2.3 Pitoisuuksien vertailua raja- ja ohjearvoihin

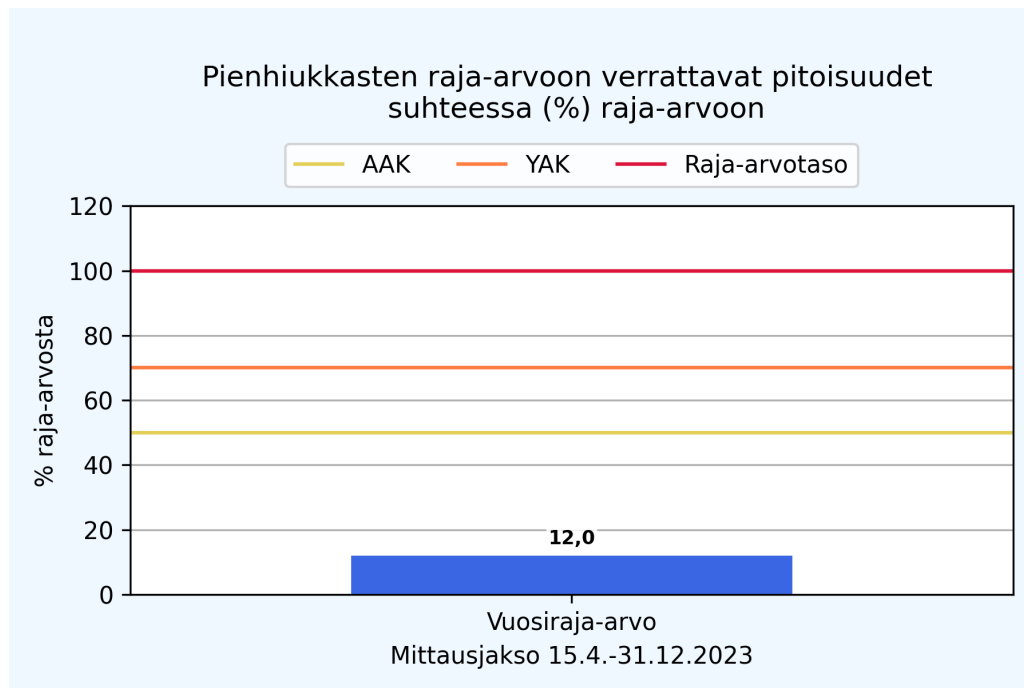
Raja-arvot määrittelevät pitoisuuksille enimmäiskaton, jota ei saa ylittää. Raja-arvot ovat sitovia ja ne ovat voimassa kaikissa EU-maissa alueilla, jossa asuu ja oleskelee ihmisiä. Raja-arvot eivät ole voimassa liikenneväylillä ja teollisuusalueilla, jonne ihmisillä ei ole vapaata pääsyä. Kansallisilla ohjearvoilla sen sijaan yritetään ohjata esimerkiksi 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 seurantatarvetta ja käytettäviä seurantamenetelmiä. Ilmanlaadun lainsäädännöstä on kerrottu tarkemmin raportin osassa II kappaleessa 6.4. Ilmanlaadun raja-arvotarkasteluissa vertailujakso on yksi kalenterivuosi.

Kuvassa 7 on esitetty vertailut Taattolan ilmanlaadun mittausasemalla havaituista hengitettävien hiukkasten vuosiraja-arvoon, vuorokausiraja-arvoon ja arviointikynnyksiin verrannollisista pitoisuuksista. Koska raja-arvotarkasteluissa vertailujakso on yksi kalenterivuosi, voidaan vajaan kalenterivuoden mittausjakson pitoisuuksia tarkastella vain suunta-antavasti suhteessa raja-arvoihin. Taattolan asemalla mitatut pitoisuudet jäivät selvästi raja-arvojen ja arviointikynnysten alapuolelle. Taattolan asemalla hengitettävien hiukkasten pitoisuudet olivat korkeimmillaan 32 % vuorokausiraja-arvosta ja 20 % vuosiraja-arvosta. Hengitettävien hiukkasten vuorokausiraja-arvotason $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ylityksiä ei ollut ollenkaan Taattolan asemalla ajanjaksolla 15.4.–31.12.2023. Näitä ylityspäiviä saa olla mittausasemalla 35 kappaletta vuodessa ennen kuin vuorokausiraja-arvo katsotaan ylittyneeksi. Mitatut pienhiukkaspitoisuudet Taattolan asemalla jäivät myös selvästi vuosiraja-arvon ja arviointikynnysten alapuolelle (kuva 8). Pienhiukkasten pitoisuudet olivat korkeimmillaan 12 % vuosiraja-arvosta.

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 ajanjaksolla 15.4.–31.12.2023 hiukkasten osalta, mutta huomionarvoista on, että kyseessä ei ollut kalenterivuoden pituinen mittausjakso.

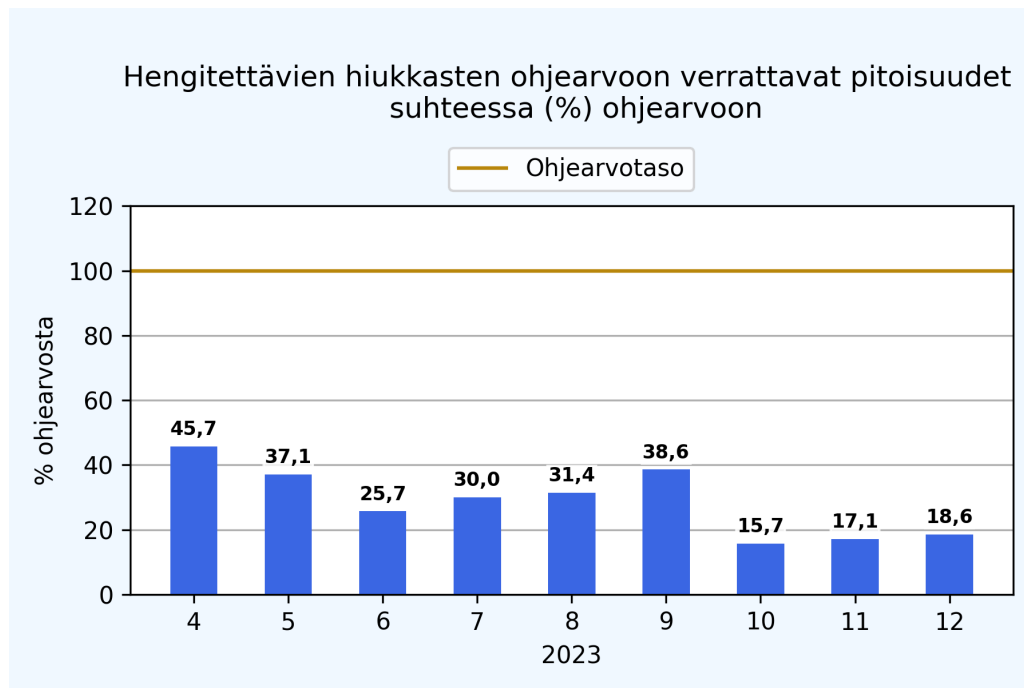


Kuva 7: Hengitettävien hiukkasten raja-arvoon verrattavat pitoisuudet suhteessa (%) raja-arvoihin Terrafamen Taattolan mittausasemalla ajanjaksona 15.4.–31.12.2023. Kuvaan on merkitty vaakaviivoilla raja-arvotaso sekä ylempi (YAK) ja alempi arviointikynnyks (AAK).



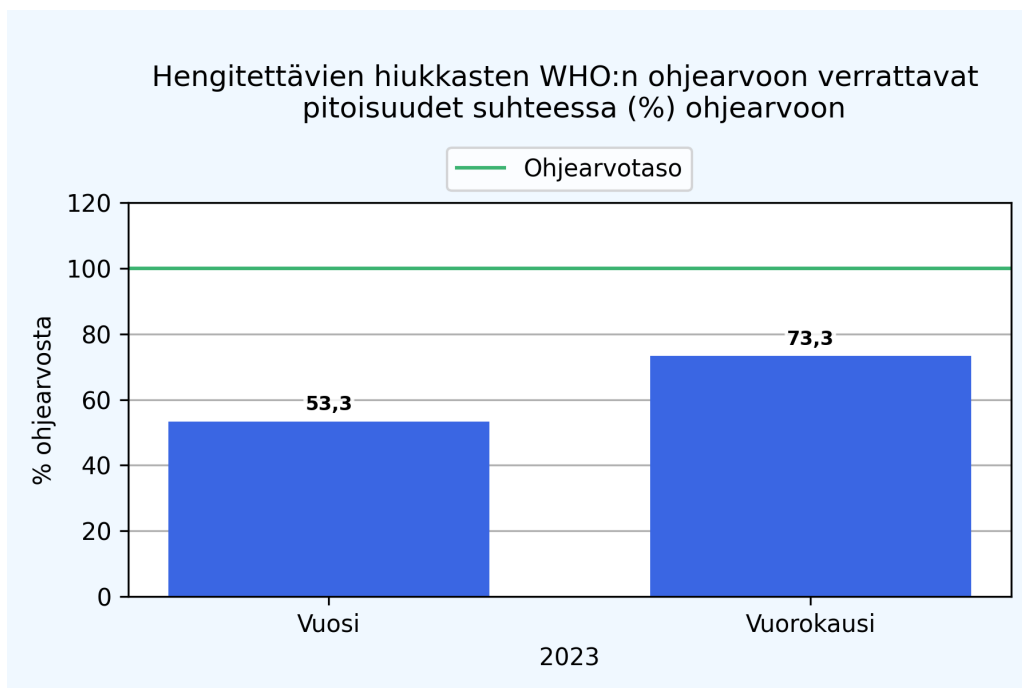
Kuva 8: Pienhiukkasten vuosisiraja-arvoon verrattava pitoisuus suhteessa (%) raja-arvoon Terrafamen Taattolan mittausasemalla ajanjaksona 15.4.–31.12.2023. Kuvaan on merkitty vaakaviivoilla vuosisiraja-arvotaso sekä ylempi (YAK) ja alempi arviointikynnys (AAK).

Kuvassa 9 on esitetty hengitettävien hiukkasten ohjearvoon ($70 \mu\text{g}/\text{m}^3$) verrannolliset kuukauden 2. korkeimmat vuorokausikeskiarvopitoisuudet Terrafamen Taattolan ilmanlaadun mittausasemalta. Ohjearvotaso ei ylittynyt kertaakaan mittausjaksolla 15.4.–31.12.2023. Hengitettävien hiukkasten ohjearvoon verrannolliset pitoisuudet olivat korkeimmillaan loppukeväästä ja alkusyksystä. Taattolassa korkeimmat ohjearvoon verrattavat pitoisuudet mitattiin huhtikuussa (46 % ohjearvosta). Ohjearvoon vertaaminen edellyttää, että vuorokausipitoisuuksia on vähintään 75 % kuukauden vuorokausien lukumäärästä. Tämä vaatimus täyttyi kaikkina kuukausina lukuunottamatta huhtikuuta, jolloin mittausasema perustettiin.

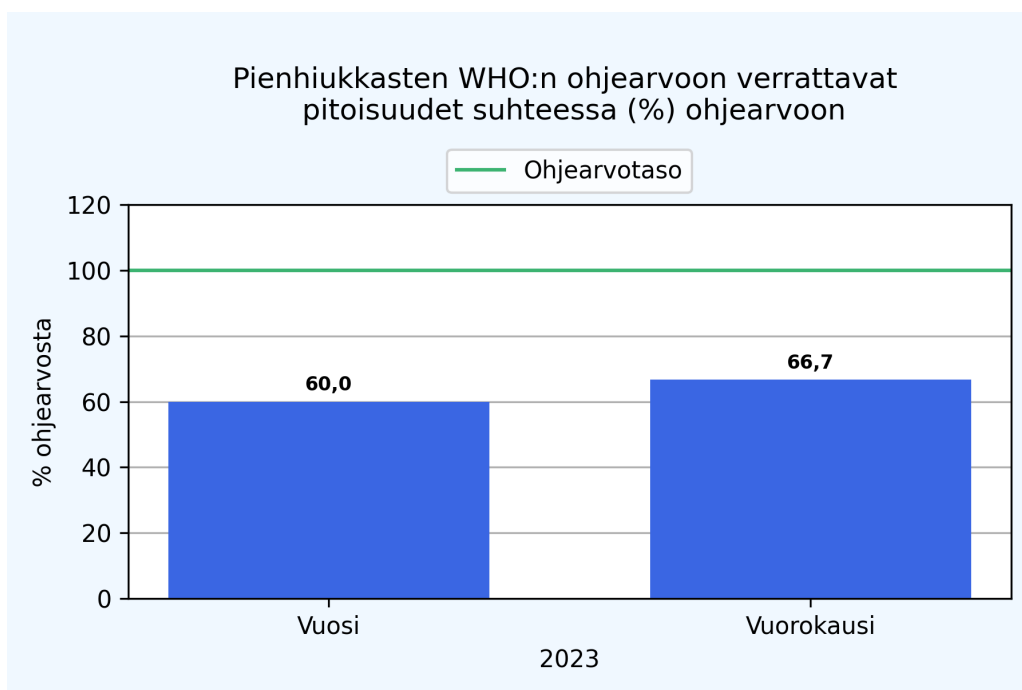


Kuva 9: Hengitettävien hiukkasten ohjearvoon verrattavat vuorokausikeskiarvopitoisuudet kuukausittain Terrafamen Taattolan mittausasemalla ajanjaksona 15.4.–31.12.2023. Ruskealla vaakaviivalla (100 %) on merkitty ohjearvotaso ($70 \mu\text{g}/\text{m}^3$) kuukauden 2. korkeimmille vuorokausipitoisuuksille.

Kuvassa 10 on esitetty mittausjaksolla 15.4.–31.12.2023 havaitut hengitettävien hiukkasten Maailman terveysjärjestön (WHO) ohjearvoon (World Health Organization, 2021) verrattavat pitoisuudet. WHO:n ohjearvot eivät ole sitovia, vaan niiden tarkoitus on avustaa valtioiden hallituksia ja yhteiskuntia ilmansaasteiden haitallisten vaikutuksien vähentämisessä. 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 vuorokausikeskiarvopitoisuuksien 99. prosenttipiste, joka tarkoittaa käytännössä sitä, että kalenterivuoden jaksolla sallitaan 3 ylityskertaa ennen kuin vuorokausiohjearvon katsotaan ylittyneen. WHO:n hengitettävien hiukkasten vuosiohjearvoon ($15 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ja vuorokausiohjearvotasoon ($45 \mu\text{g}/\text{m}^3$) verrattavat pitoisuudet alittuivat Terrafamen mittauspisteessä. Kuvassa 11 on esitetty pienhiukkasten WHO:n vuosiohjearvoon ($5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ja vuorokausiohjearvoon ($15 \mu\text{g}/\text{m}^3$) verrattavat pitoisuudet. Molemmat ohjearvotasot alittuivat myös pienhiukkasten osalta mittausjaksolla.



Kuva 10: Hengitettävien hiukkasten WHO:n ohjearvoon verrattavat pitoisuudet suhteessa (%) ohjearvoon Terrafamen Taattolan mittauspisteessä ajalta 15.4.–31.12.2023. Vihreällä vaakaviivalla (100 %) on merkitty ohjearvotaso (vuosi: $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$, vuorokausi: $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$, vuorokausiarvolle sallittu 3 ylityskertaa).



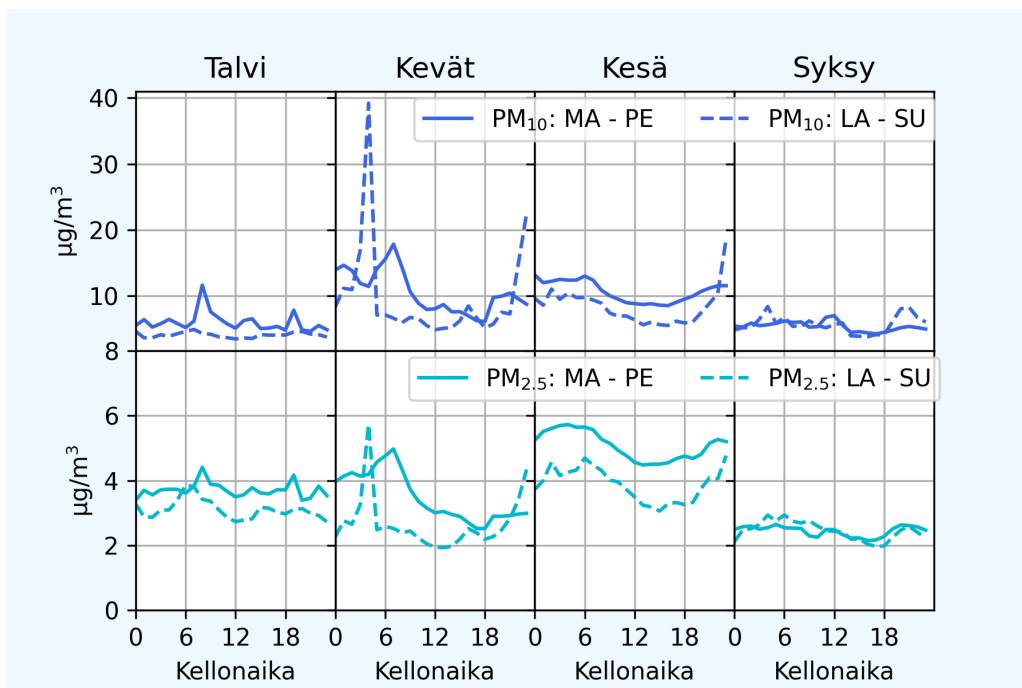
Kuva 11: Pienhiukkasten WHO:n ohjearvoon verrattavat pitoisuudet suhteessa (%) ohjearvoon Terrafamen Taattolan mittauspisteessä ajalta 15.4.–31.12.2023. Vihreällä vaakaviivalla (100 %) on merkitty ohjearvotaso (vuosi: $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, vuorokausi: $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$, vuorokausiarvolle sallittu 3 ylityskertaa).

2.4 Pitoisuuksien ajallinen vaihtelu

Kuvassa 12 on tarkasteltu Terrafamen Taattolan ilmanlaadun mittausasemalla mitattujen hengitettävien hiukkasten ja pienhiukkasten tuntipitoisuuksien vuorokausivaihtelua kellonajan mukaan erikseen arkipäivisin (maanantai–perjantai) ja viikonloppuisin (lauantai–sunnuntai) sekä eri vuodenaikoina (talvi: tammi-, helmi-

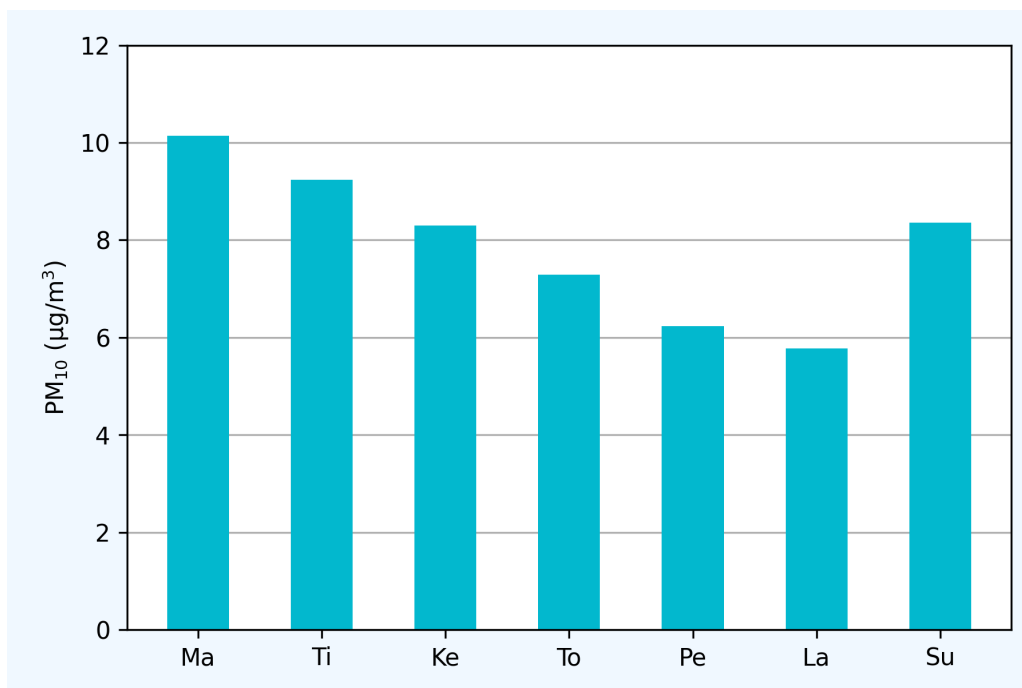
ja joulukuu; kevät: maaliskuu, huhti- ja toukokuu; kesä: kesä-, heinä- ja elokuu; syksy: syys-, loka- ja marraskuu). Huomionarvoista kuvassa on korkeammat pienhiukkasten pitoisuustasot kesällä, mihin on voinut vaikuttaa muun muassa metsäpaloista kaukokulkeutuneet hiukkaset. Myös hengitettävien hiukkasten osalta on nähtävissä, että pitoisuustasot ovat korkeammat pölyämisaikaan eli keväällä ja kesällä.

Hiukkasten tuntipitoisuuksien vuorokaudenaikaisvaihtelussa pitoisuudet olivat pääasiassa pienempiä viikonloppuisin kuin arkipäivinä. Poikkeuksena syksy, jolloin pitoisuudet olivat lähes samat arkipäivisin ja viikonloppuisin sekä hengitettävillä hiukkasilla että pienhiukkasilla. Kuvaajasta on havaittavissa myös ilmakehän sekoittumisolosuhteiden vaikutus pitoisuuksiin erityisesti keväällä ja kesällä. 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 teollisuuden pölyävien toimintojen ja 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.

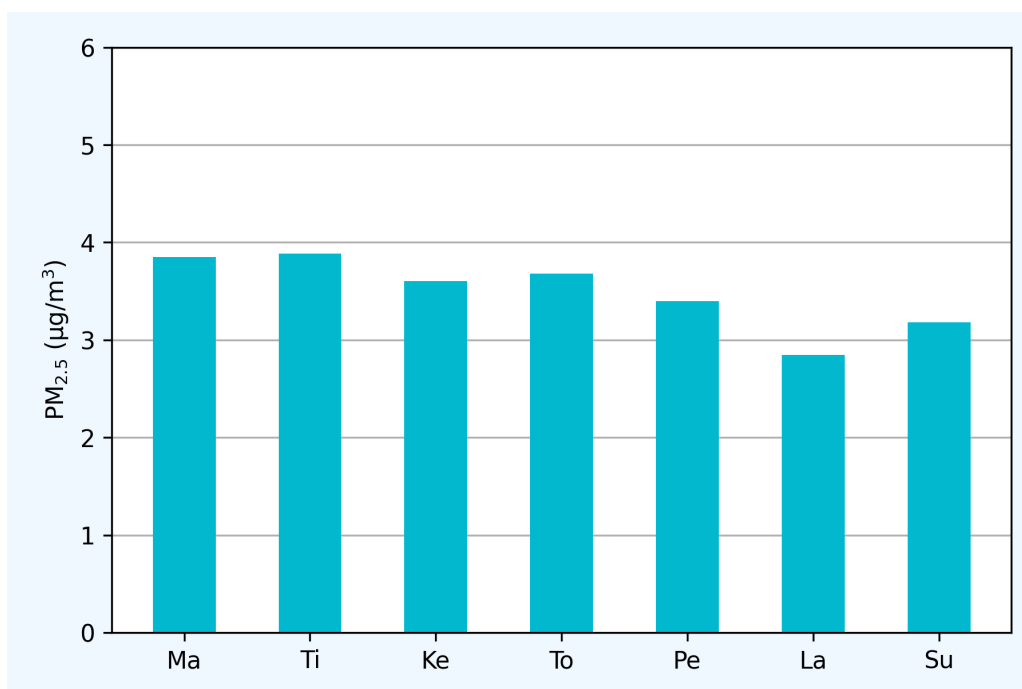


Kuva 12: Mitattujen pitoisuuksien ajallinen vaihtelu vuorokaudenajan, viikonpäivän sekä vuodenajan mukaan Terrafamen Taattolan mittausasemalla ajanjaksolla 15.4.–31.12.2023. Arkipäiviä ovat ma-pe, viikonloppuja ovat la-su ja vuodenajat ovat talvi: tammi-, helmi- ja joulukuu; kevät: maaliskuu, huhti- ja toukokuu; kesä: kesä-, heinä- ja elokuu; syksy: syys-, loka- ja marraskuu.

Viikonpäivittäin tarkasteltuna korkeimmat hengitettävien hiukkasten pitoisuudet havaittiin alkuvuokosta (kuva 13). Pienimmät hengitettävien hiukkasten pitoisuudet havaittiin lauantaisin. Kuvassa 14 on tehty samanlainen tarkastelu pienhiukkasille. Kuvasta nähdään, että PM_{2,5}-pitoisuustasojen vaihtelu eri viikonpäivien välillä on pienempää kuin hengitettävillä hiukkasilla. Hieman suuremmat pitoisuudet havaittiin myös alkuvuokosta ja pienimmät pitoisuudet lauantaisin.



Kuva 13: Terrafamen Taattolan ilmanlaadun mittausasemalla 15.4.–31.12.2023 mitattujen hengitettävien hiukkasten pitoisuuksien keskiarvot viikonpäivän mukaan.



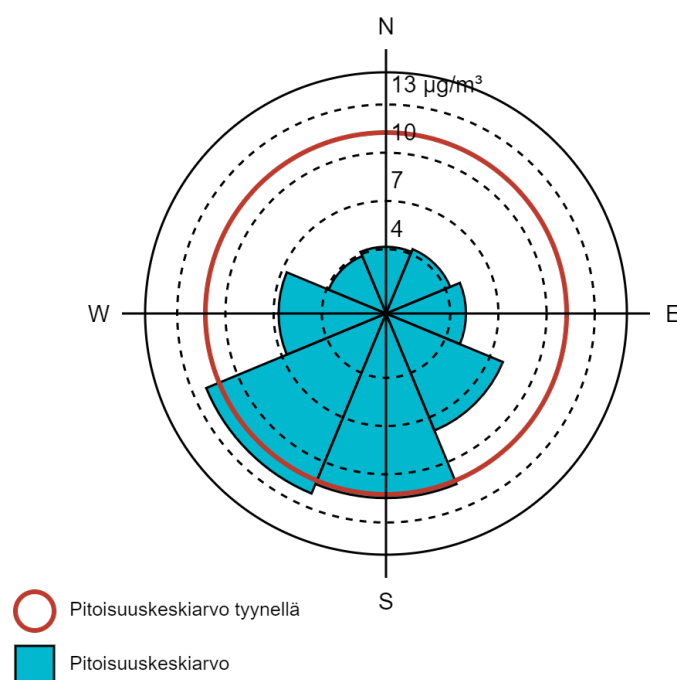
Kuva 14: Terrafamen Taattolan ilmanlaadun mittausasemalla 15.4.–31.12.2023 mitattujen pienhiukkasten pitoisuuksien keskiarvot viikonpäivän mukaan.

2.5 Tuulen suunnan ja nopeuden vaikutus mitattuihin pitoisuuksiin

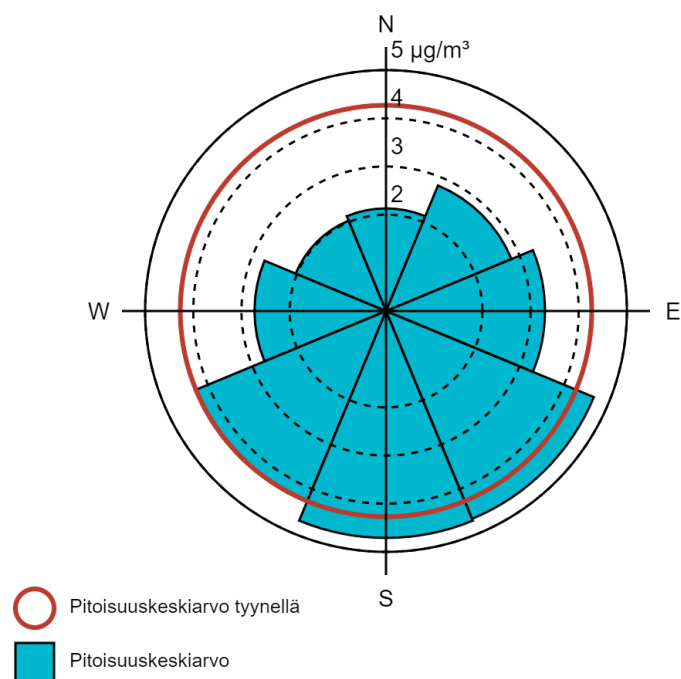
Kuvassa 15 on havainnollistettu Taattolan ilmanlaadun mittausasemalla mitattujen hengitettävien hiukkasten pitoisuuksien keskimääräistä riippuvuutta tuulensuunnasta ns. pitoisuusruusun avulla. Pienhiukkasten pitoisuusruusu on esitetty kuvassa 16. Pitoisuusruusu kuvaa hiukkasten tuntipitoisuuksien keskiarvoa 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. Ajanjaksolla 15.4.–31.12.2023 Terrafamen Taattolan mittausasemalla mitatut tuulet olivat pääosin lounaistuulia. Pohjoisesta tuuli vähiten mittausasemalla. Tuulijakaumat on esitetty kappaleessa 5.1.

Tyynellä säällä havaitut korkeat hiukkasten pitoisuudet kertovat paikallisista lähipäästölähteistä, joiden lähdettä ja sijaintia ei pystytä tarkasti määrittelemään. Kovemmillä tuulennopeuksilla pystytään selkeästi päättämään, mistä suunnasta mitatut pitoisuudet ovat peräisin. Taattolan mittausaseman hengitettävien hiukkasten pitoisuusruusun mukaan tuntipitoisuuksien keskiarvot olivat suurimmillaan lounaan ja etelän puoleisilla tuulilla sekä tyynellä. Aseman etelän ja lounaan välisellä suunnalla on tuotanto- ja kaivosaluetta. Asemasta idän ja etelän välisellä sektorilla on lähirakennuksia sekä pelloja, joissa toiminnat, kuten puunpolto ja ajot pelloilla, ovat voineet aiheuttaa korkeampia pitoisuuksia mittausjakson aikana. Pienhiukkasten pitoisuusruusun mukaan tuntipitoisuuksien keskiarvot olivat suurimmillaan kaakko-lounassektorilla sekä tyynellä säällä.

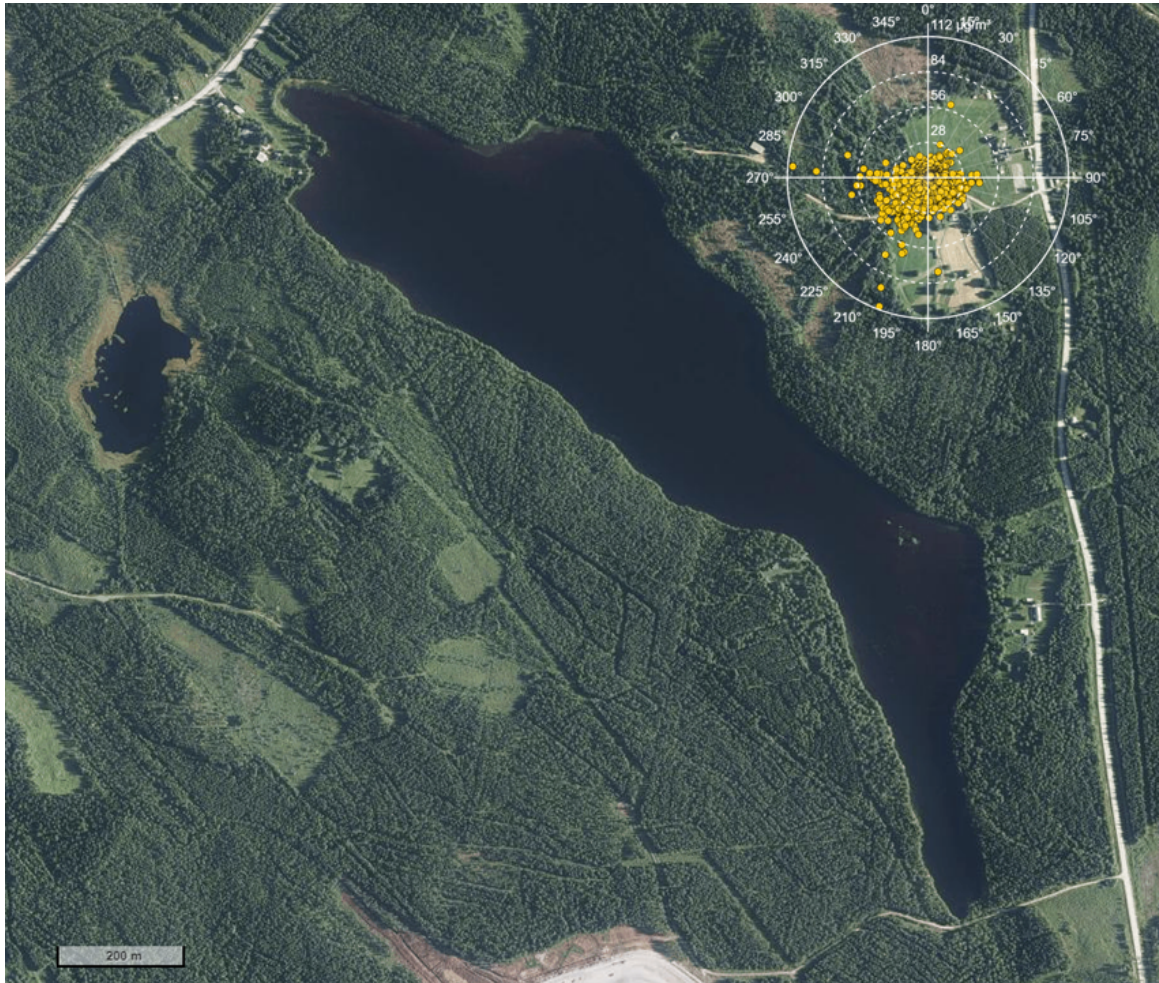


Kuva 15: Taattolan ilmanlaadun mittausasemalla mitattujen hengitettävien hiukkasten **tuntipitoisuuksien keskiarvot** tuulensuunnittain ajanjaksolla 15.4.–31.12.2023. Punaisella ympyrällä on merkitty pitoisuuksia, jotka on mitattu tyynissä tilanteissa, jolloin tuulen nopeus on alle 0,5 m/s, eikä suuntaa voida määrittää.

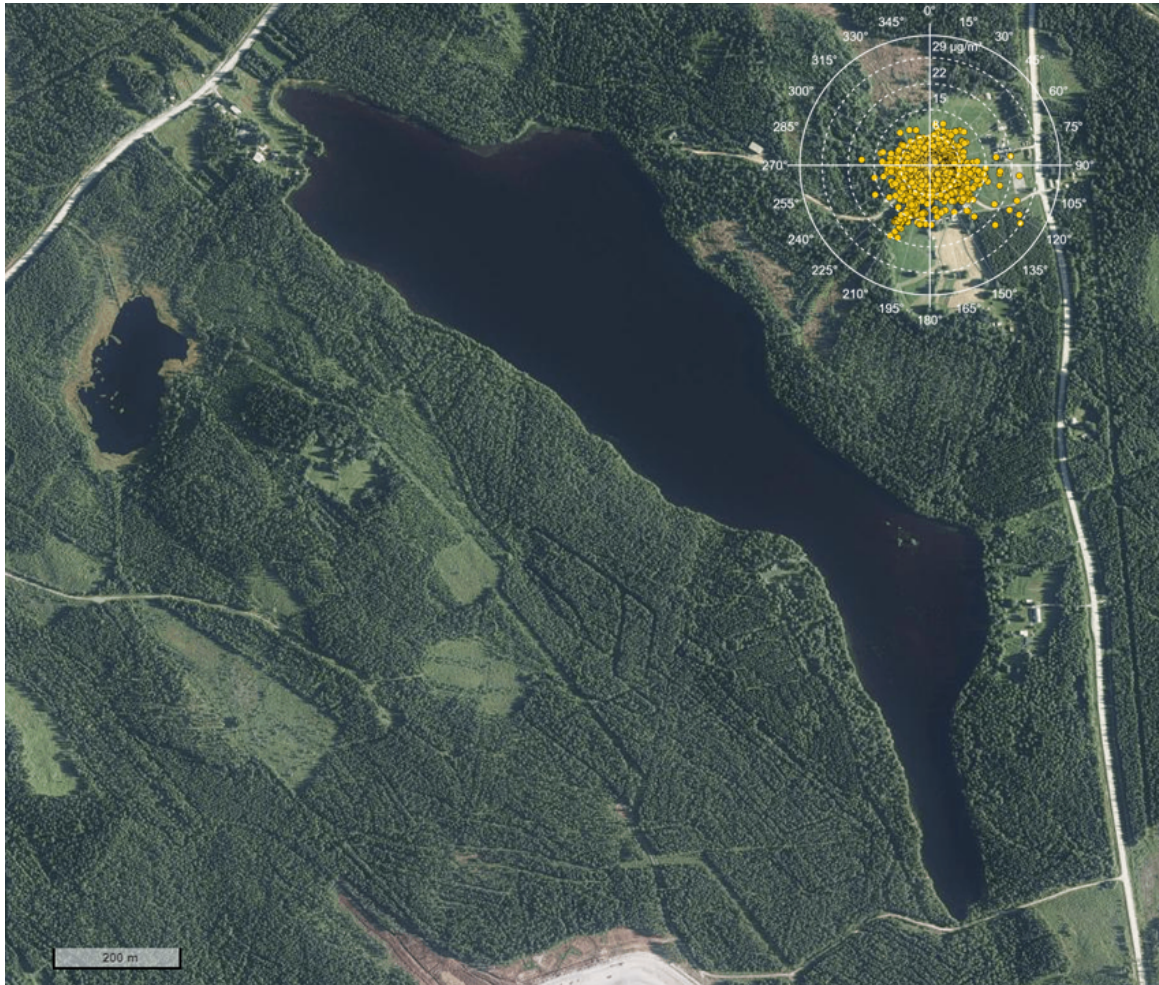


Kuva 16: Taattolan ilmanlaadun mittausasemalla mitattujen pienhiukkasten **tuntipitoisuuksien keskiarvot** tuulensuunnittain ajanjaksolla 15.4.–31.12.2023. Punaisella ympyrällä on merkitty pitoisuuksia, jotka on mitattu tyynissä tilanteissa, jolloin tuulen nopeus on alle 0,5 m/s, eikä suuntaa voida määrittää.

Kuvassa 17 on esitetty Terrafamen Taattolan mittausasemalla mitattujen hengitettävien hiukkasten yksittäisten tuntipitoisuuksien riippuvuus tuulen suunnasta. Mittausasemalla eniten korkeampia pitoisuuksia mitattiin lounaan ja lännen suunnista puhaltavilla tuulilla. Lounaassa sijaitsee kaivosalue, mutta länessä ei ole muita mahdollisia kiinteitä lähteitä lähistöllä kuin pari rakennusta. Kuvassa 18 on esitetty vastaava kuva pienhiukkasille. Pienhiukkasten yksittäiset korkeammat pitoisuudet mitattiin idän ja kaakon suunnilta sekä lounaasta. Kyseisissä ilmansuunnissa sijaitsevat tie, lähiasutusta ja peltoa. Tie ja pelto ovat todennäköisesti pölyämällä aiheuttaneet korkeampia hiukkaspitoisuuksia ja lähiasutuksessa mahdollinen puunpoltto on voinut olla pienhiukkaslähde.



Kuva 17: TerraFamen Taattolan ilmanlaadun mittausasemalla mitatut hengitettävien hiukkasten yksittäiset tuntipitoisuudet ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) tuulensuunnittain ($0\text{--}360^\circ$) ajanjaksolla 15.4.–31.12.2023. Kuvassa eivät näy tyynellä mitatut tuntipitoisuudet. Tyyniksi on tässä tarkastelussa luokiteltu alle $0,5\text{ m/s}$ tuulen nopeudet. Kuvan alareunassa näkyy kaivosalueen reunaa. Kartta Maanmittauslaitoksen ilmapäät, 2022).



Kuva 18: Terrafamen Taattolan ilmanlaadun mittausasemalla mitatut pienhiukkasten yksittäiset tuntipitoisuudet ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) tuulensuunnittain ($0\text{--}360^\circ$) ajanjaksolla 15.4.–31.12.2023. Kuvassa eivät näy tyynellä mitatut tuntipitoisuudet. Tyyniksi on tässä tarkastelussa luokiteltu alle $0,5\text{ m/s}$ tuulen nopeudet. Kuvan alareunassa näkyy kaivosalueen reunaa. Kartta Maanmittauslaitoksen ilmakestä, 2022).

2.6 Hengitettävien hiukkasten sisältämät arseeni- ja metallipitoisuudet

Terrafamen Taattolan mittauspisteessä kerättiin suodattimille hengitettävien hiukkasten vuorokausinäytteitä, joista analysoitiin laboratoriossa arseeni ja metallipitoisuudet. Näytteitä kerättiin joka kuudes päivä aikavälillä 15.4.–29.12.2023. Asemalta hylättiin yksi keruunäyte (26.6.) näytteen kontaminoitumisen takia eli näytteitä oli analysoitavana yhteensä 43 kappaletta. Raportin päätekstissä keskitytään mitatuista metallipitoisuuksista vain kadmiumin, nikkelin ja lyijyn pitoisuuksiin, koska ilmanlaatuun liittyvän lainsäädännön vertailuarvot (raja- ja tavoitearvot) ihmisten terveyden suojelemiseksi ja ympäristöön kohdistuvien haittojen ehkäisemiseksi koskevat nimenomaan niitä. Muiden metallien osalta alumiinin ja raudan pitoisuudet olivat selvästi korkeimmat (151 ng/m^3 ja 164 ng/m^3) ja muuten pitoisuudet olivat alle 10 ng/m^3 . Muiden metallipitoisuuksien mittaustuloksia tarkastellaan tarkemmin loppuliitteissä.

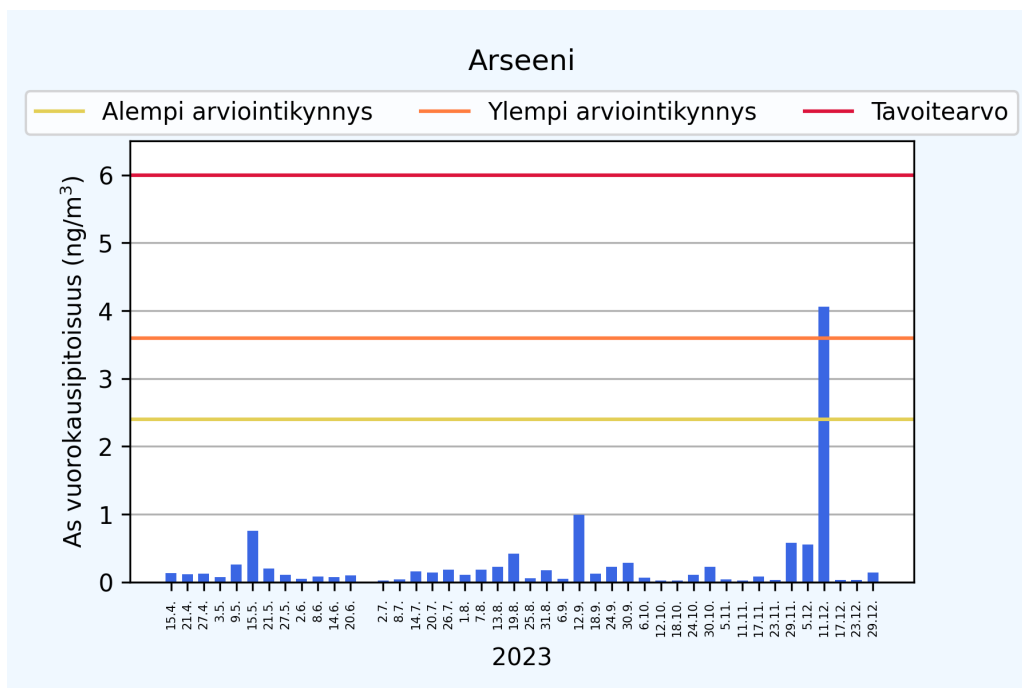
Ilmanlaadun kannalta tärkeimpien metallien ja arseenin pitoisuustulokset mittausjaksolta 15.4.–29.12.2023 on esitetty taulukossa 2, johon on koottu mittausjakson pitoisuuskeskiarvo, suurin ja pienin arvo sekä hajonta. Arseenin, kadmiumin, nikkelin ja lyijyn pitoisuustulokset on esitetty lisäksi näytteittäin kuvissa 19–22. Muiden hengitettävistä hiukkasista analysoitujen metallien (alumiini, koboltti, kupari, kromi, mangaani, rauta, sinkki, vanadiini ja uraani) pitoisuustulokset on esitetty näytteittäin raportin lopussa liitekuvin 2–10.

Yksittäisten näytteiden välinen pitoisuuksien vaihtelu oli suurta kaikilla alkuaineilla lukuunottamatta kadmiumia. Metallipitoisuuksissa ei ollut havaittavissa selkeää vuodenaikaisvaihtelua. 9.5.2023 havaittiin useilla alkuaineilla korkeampi piikki. Hengitettävien hiukkasten vuorokausipitoisuus oli $21 \text{ } \mu\text{g/m}^3$. Kyseisenä päivänä hiukkaset ovat tulleet asemalle pääasiassa lounaan suunnalta. 12.9. havaitun korkeamman pienhiukkaspitoisuuden aikaan (tuuli lounaan ja etelän suunnilta) havaittiin myös hieman suurempia pitoisuuksia lyijyllä, raudalla sekä alumiinilla, mutta pitoisuudet eivät olleet poikkeuksellisia verrattuna koko mittausjaksoon. Myös 5.12. havaittiin useilla alkuaineilla selkeä korkeampi pitoisuuspiikki. Kyseisenä päivänä PM_{10} -pitoisuuksissa oli myös havaittavissa pitoisuuspiikki (suurin tuntipitoisuus $108 \text{ } \mu\text{g/m}^3$). Tuuli on tuolloin ollut tyyntä tai hyvin heikkoa idästä ja kaakosta, suurimpien pitoisuuksien tullessa idästä. Kyseessä on ollut päästölähde mittauskontin lähiympäristössä. Arseenin ja lyijyn pitoisuudet olivat mittausjakson aikana korkeimmillaan 11.12. Hiukkasten vuorokausipitoisuudet olivat kuitenkin alhaiset, alle $10 \text{ } \mu\text{g/m}^3$. Kyseisenä päivänä hiukkaset ovat tulleet asemalle idän ja kaakon suunnilta, hieman suurempien pitoisuuksien tullessa idästä.

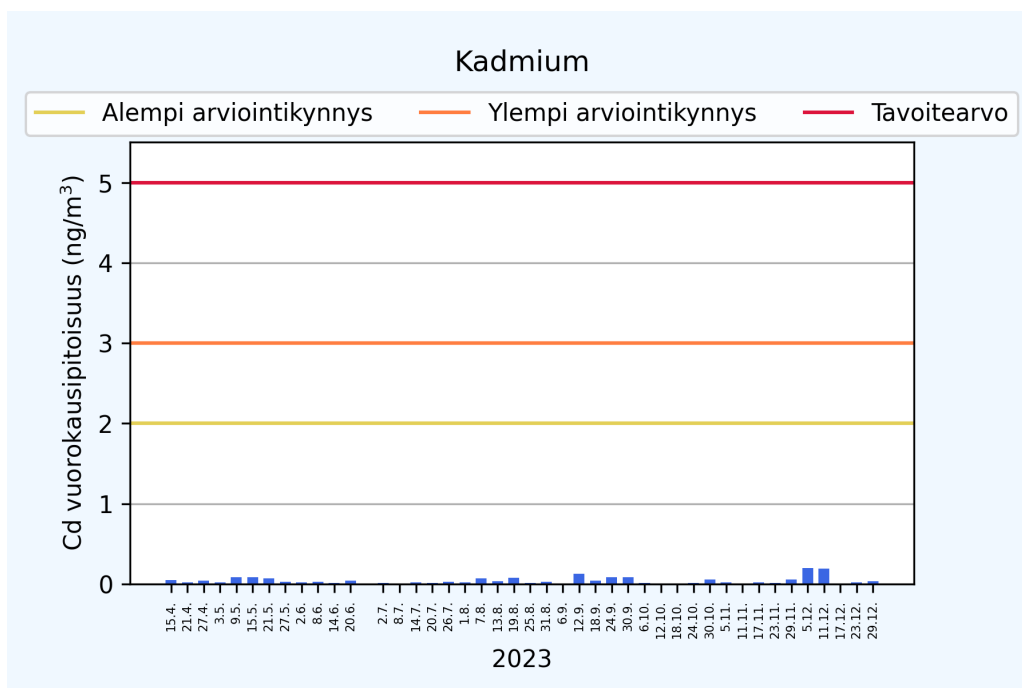
Mittausjakson pitoisuuskeskiarvot alittivat raja- ja tavoitearvotason sekä myös alemman arviointikynnyksen tason. Arseeni- ja metallipitoisuuksien koko mittausjakson (8,5 kk) keskiarvojen vertailu tavoite- tai raja-arvoon on esitetty kuvissa 23–24. Arseeni- ja kadmiumpitoisuuksien mittausjakson keskiarvot olivat pyörityssäätöjä käyttäen 0 % tavoitearvoista, koska pitoisuuskeskiarvot mittausjaksolla olivat hyvin lähellä nollaa tavoitearvon ollessa arseenille 6 ng/m^3 ja kadmiumille 5 ng/m^3 . Nikkelipitoisuuden mittausjakson keskiarvo 25 % tavoitearvosta ja lyijypitoisuuden mittausjakson keskiarvo 0,2 % raja-arvosta. Näistä johtuen kuvassa 23 ei näy ollenkaan prosenttipalkkeja ja kuvassa 24 ei näy lyijylle prosenttipalkkia.

Taulukko 2: Terrafamen Taattolan ilmanlaadun mittausasemalla mittausjaksolla 15.4.–29.12.2023 kerätyistä hengitettävien hiukkasten (PM_{10}) vuorokausinäytteistä analysoidut arseeni- ja metallipitoisuudet, joille on annettu ilmanlaadun tavoite- tai raja-arvo. Tavoite- ja raja-arvot on listattu taulukossa 5.

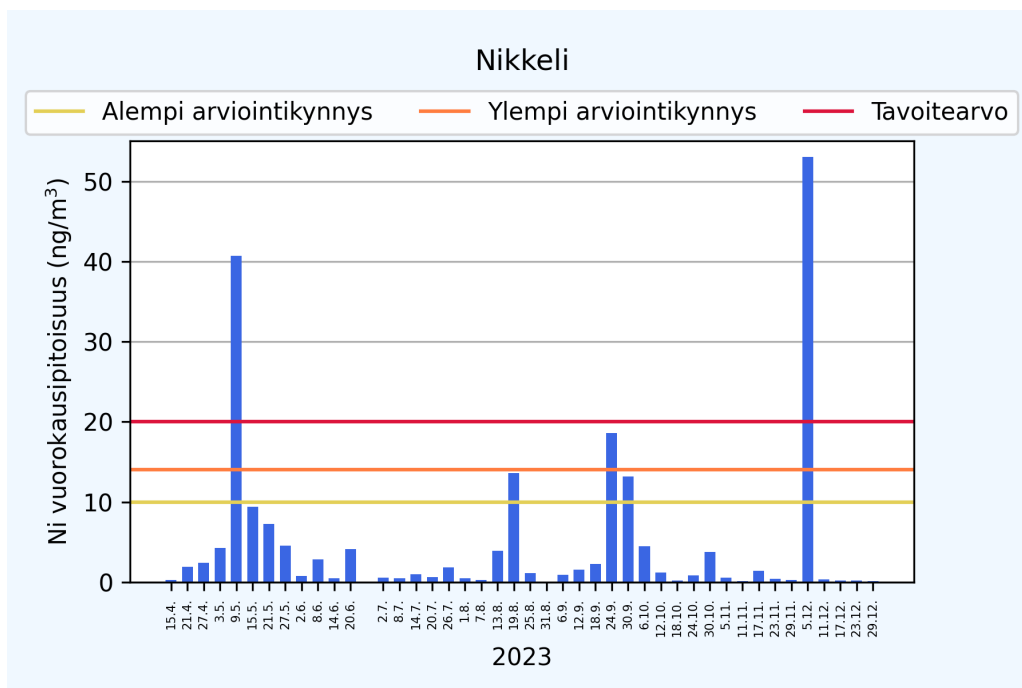
Keräinnäytteiden pitoisuudet	Arseeni (As) ng/m^3	Kadmium (Cd) ng/m^3	Nikkeli (Ni) ng/m^3	Lyijy (Pb) ng/m^3
Keskiarvo	0,27	0,04	4,81	0,74
Minimi	0,02	0,00	0,08	0,03
Maksimi	4,06	0,06	53,01	6,27
Hajonta	0,63	0,04	10,31	1,07



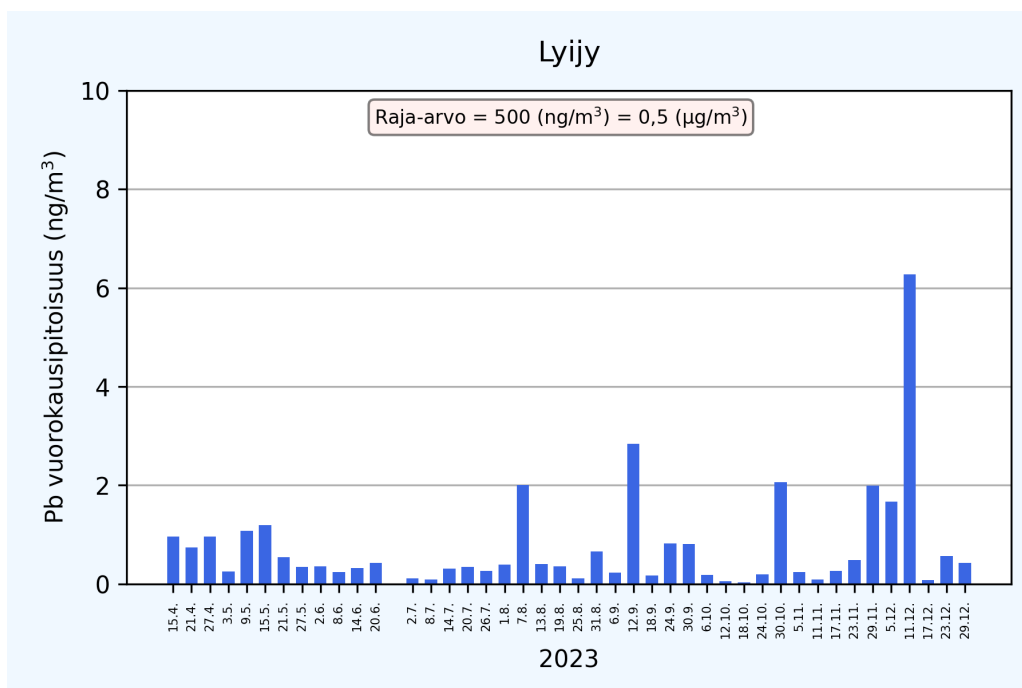
Kuva 19: Hengitettävistä hiukkasista (PM₁₀) määritetyt **arseenipitoisuudet** (ng/m³) Terrafamen Taattolan mittauspisteessä jaksolla 15.4.–29.12.2023. Tavoitearvo (6 ng/m³) ja arviointikynnykset (2,4 ja 3,6 ng/m³) koskevat vuosikeskiarvoa, eivät yksittäisiä pitoisuusarvoja, ja ne ovat kuvassa vain havainnollistamassa pitoisuustasoja.



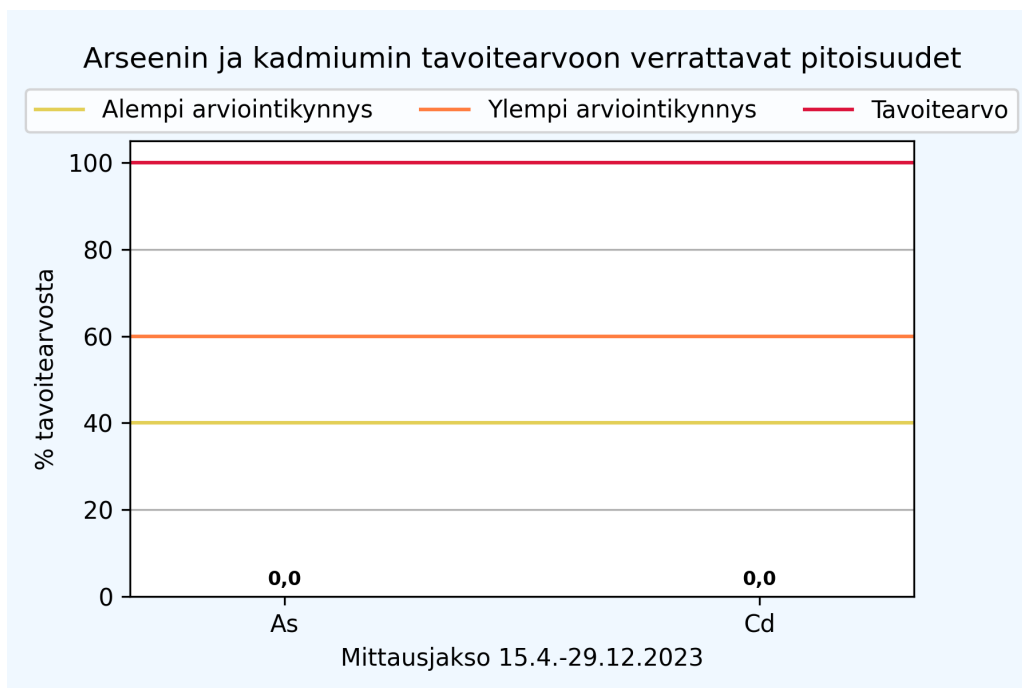
Kuva 20: Hengitettävistä hiukkasista (PM₁₀) määritetyt **kadmiumpitoisuudet** (ng/m³) Terrafamen Taattolan mittauspisteessä jaksolla 15.4.–29.12.2023. Tavoitearvo (5 ng/m³) ja arviointikynnykset (2 ja 3 ng/m³) koskevat vuosikeskiarvoa, eivät yksittäisiä pitoisuusarvoja, ja ne ovat kuvassa vain havainnollistamassa pitoisuustasoja.



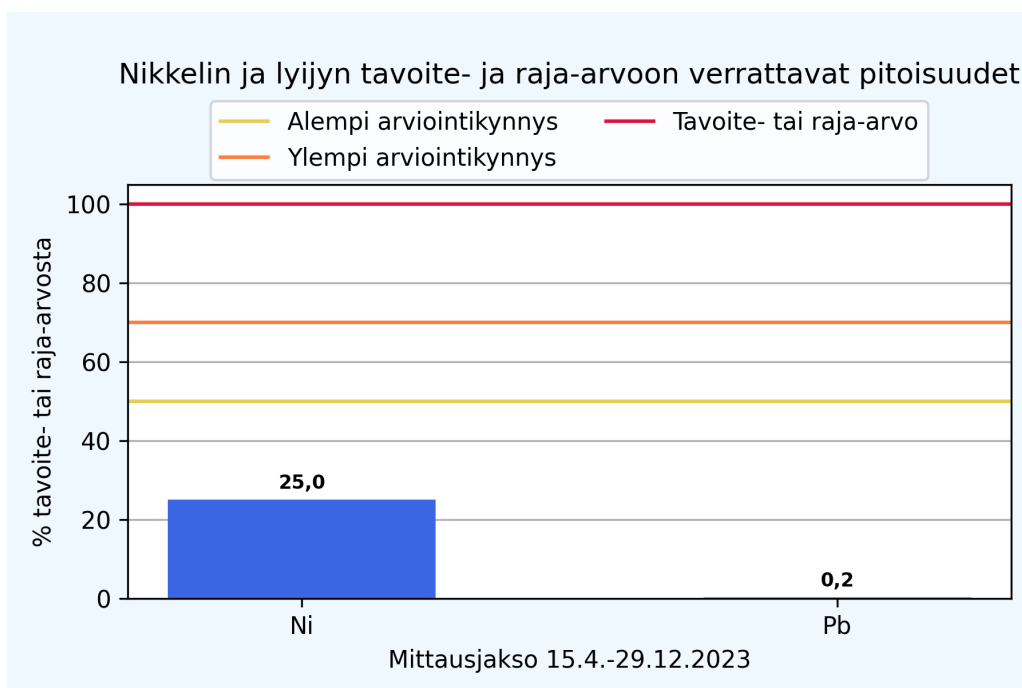
Kuva 21: Hengitettävistä hiukkasista (PM₁₀) määritetyt **nikkelipitoisuudet** (ng/m³) Terrafamen Taattolan mittauspisteessä jaksolla 15.4.–29.12.2023. Tavoitearvo (20 ng/m³) ja arviointikynnykset (2 ja 3 ng/m³) koskevat vuosikeskiarvoa, eivät yksittäisiä pitoisuusarvoja, ja ne ovat kuvassa vain havainnollistamassa pitoisuustasoja.



Kuva 22: Hengitettävistä hiukkasista (PM₁₀) määritetyt **lyijypitoisuudet** (ng/m³) Terrafamen Taattolan mittauspisteessä jaksolla 15.4.–29.12.2023.



Kuva 23: Arseenin ja kadmiumin mittausjakson pitoisuuskeskiarvot suhteessa (%) vastaavaan ilmanlaadun tavoitearvoon Terrafamen Taattolan mittauspisteessä. Kuvaan on merkitty vaakaviivoilla tavoitearvotaso sekä ylempi arviointikynnys ja alempi arviointikynnys.



Kuva 24: Nikkelin ja lyijyn mittausjakson pitoisuuskeskiarvot suhteessa (%) vastaavaan ilmanlaadun tavoite- ja raja-arvoihin Terrafamen Taattolan mittauspisteessä. Kuvaan on merkitty vaakaviivoilla tavoite- tai raja-arvotaso sekä ylempi arviointikynnys ja alempi arviointikynnys.

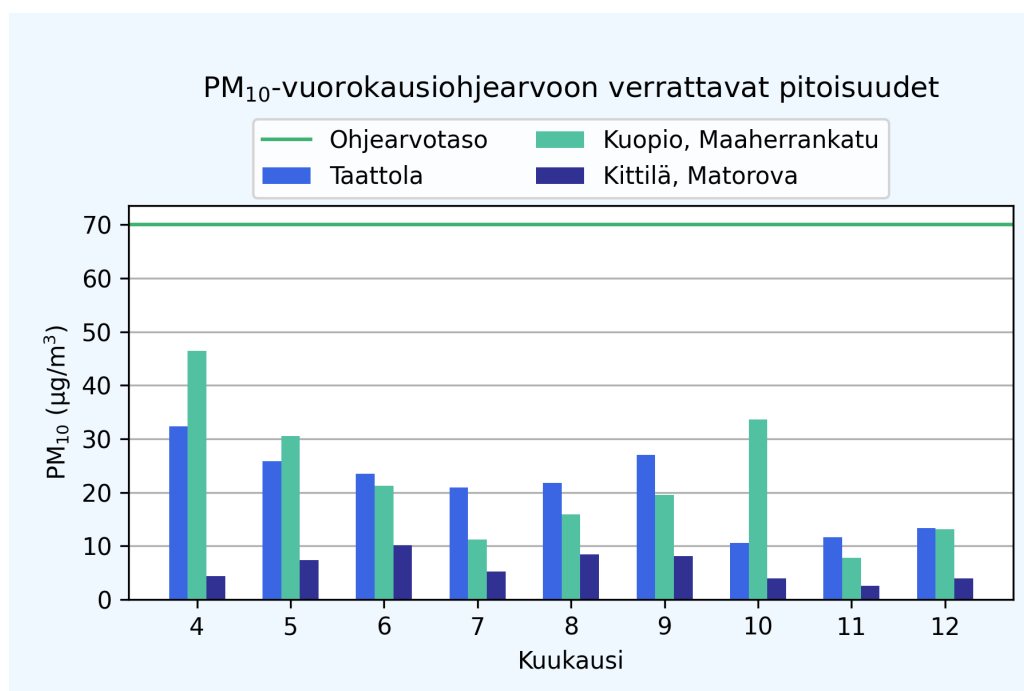
2.7 Pitoisuuksien vertailua muualla mitattuihin pitoisuuksiin

Kuvissa 25–27 on esitetty hengitettävien hiukkasten ja pienhiukkasten pitoisuuksia mittausjaksolta Terrafamen lähialueen lisäksi Kuopion Maaherrankadulta sekä Ilmatieteen laitoksen taustailmanlaadun mittausasemalta Kittilän Matorovalta (Ilmatieteen laitos, 2023c). Kaikki pitoisuustulokset on mitattu jatkuvatoimisilla laitteilla.

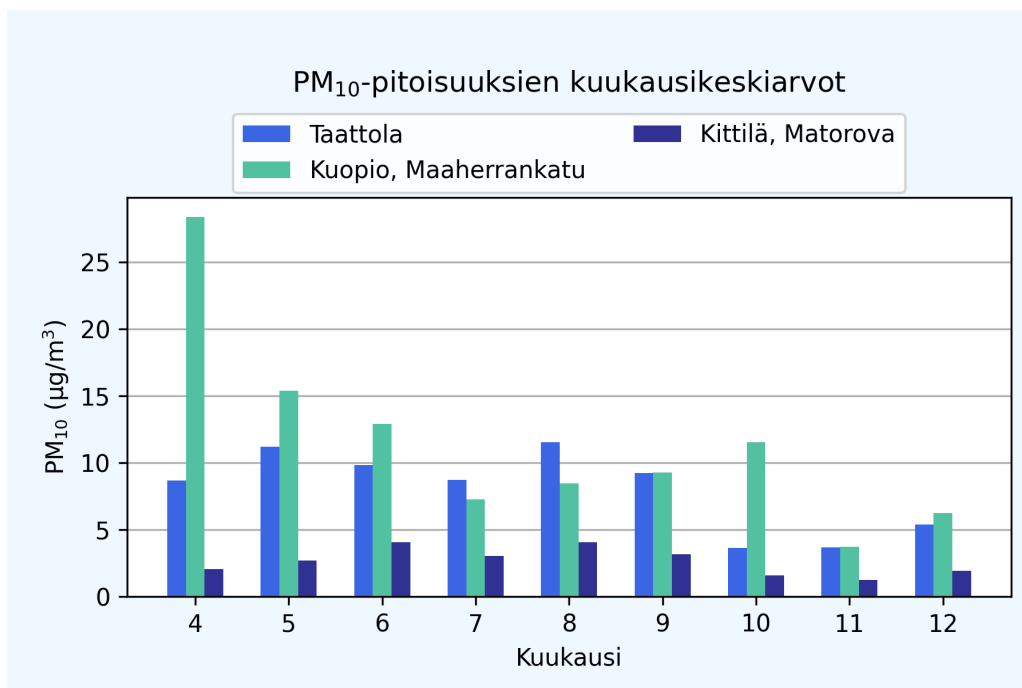
Kuopio on noin 123 000 asukkaan kaupunki, ja Maaherrankadun mittausasema sijaitsee Kuopion keskustassa. Kittilän Matorovan mittausasema edustaa pitoisuuksia Lapissa puhtaalla tausta-alueella, jossa mittausaseman välittömässä läheisyydessä ei ole ihmistoimintoja.

Hengitettävien hiukkasten pitoisuustaso Terrafamen mittausasemalla oli ohjearvoon verrattavina pitoisuuksina (kuva 25) alhaisempi kuin Kuopion mittausasemalla kevätaikaan, ja pääasiassa korkeampi kesällä ja syksyllä Kuopiossa mitattuihin pitoisuuksiin verrattuna. Kuukausikeskiarvoina (kuva 26) pitoisuustasot olivat Taattolassa pääasiassa alhaisempia kuin Kuopion mittausasemalla. Poikkeuksena olivat heinä- ja elokuu, jolloin kuukausikeskiarvopitoisuudet olivat korkeammat Taattolassa. Hengitettävien hiukkasten pitoisuuksiin vaikuttavat näissä 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. Matorovalla hengitettävien hiukkasten ohjearvoon verrattavat pitoisuudet olivat pienemmät kaikkina kuukausina kuin Terrafamen mittausasemalla. Hengitettävien hiukkasten kuukausikeskiarvot Matorovalla olivat alhaisempia kaikkina kuukausina verrattuna Terrafamen ympäristössä mitattuihin pitoisuuksiin.

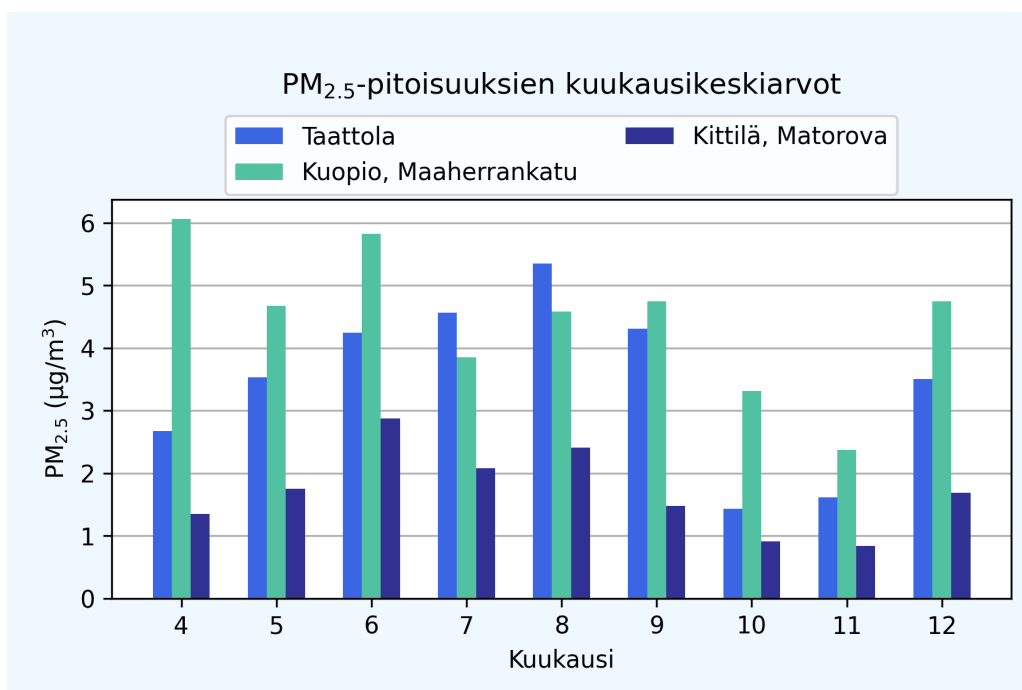
Pienhiukkasten pitoisuustaso kuukausikeskiarvoina Terrafamen mittausasemalla oli pääasiassa alhaisempi kuin Kuopion mittausasemalla. Poikkeuksia olivat heinä- ja elokuu. Matorovalla pienhiukkasten kuukausikeskiarvot olivat Terrafamen lähiympäristössä mitattuja pitoisuuksia alhaisempia kaikkina kuukausina.



Kuva 25: Terrafamen Taattolan mittausasemalla, Kuopion Maaherrankadulla sekä Kittilässä Matorovan taustamittausasemalla ajanjaksolla 15.4.–31.12.2023 mitatut hengitettävien hiukkasten vuorokausiohjearvoon (70 µg/m³) verrannolliset pitoisuudet (µg/m³) kuukausittain. Ohjearvotaso on esitetty vihreällä vaakaviivalla.



Kuva 26: Terrafamen Taattolan mittausasemalla, Kuopion Maaherrankadulla sekä Kittilässä Matorovan taustamittausasemalla ajanjaksolla 15.4.–31.12.2023 mitatut hengitettävien hiukkasten kuukausikeskiarvopitoisuudet (µg/m³).



Kuva 27: Terrafamen Taattolan mittausasemalla, Kuopion Maaherrankadulla sekä Kittilässä Matorovan taustamittausasemalla ajanjaksolla 15.4.–31.12.2023 mitatut pienhiukkasten kuukausikeskiarvopitoisuudet (µg/m³).

3 YHTEENVETO MITTAUSTULOKSISTA JA SUOSITUKSET

Ilmatieteen laitos mittasi Terrafamen kaivospiirin lähialueen ulkoilman laatua 15.4.–31.12.2023 välisenä aikana yhdessä mittauspisteessä Taattolan asemalla. 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, 2022 sekä 2023. Ilmanlaadun mittausten tavoitteena oli kartoittaa kaivos- ja teollisuustoiminnan vaikutuksia ilmanlaatuun Terrafamen kaivospiirin ympäristössä mittaamalla hengitettävien hiukkasten ja pienhiukkasten pitoisuustasoja ja hetkellistä vaihtelua kaivoksen lähialueella, sekä arvioida mittaustulosten perusteella ilmanlaadun seurannan tarvetta tulevaisuudessa. Hiukkasten pitoisuuksia mitattiin jatkuvatoimisilla hiukkasanalysaattoreilla koko mittausjakson ajan. Mittausasemalla kerättiin myös hengitettävien hiukkasten vuorokausinäytteitä joka 6. vuorokausi. Näistä näytteistä analysoitiin laboratoriossa arseenin ja metallien pitoisuuksia. Ilmanlaatumittausten tulosten tulkintaa varten asemalla mitattiin myös säätietoja.

Terrafamen teollisuusalueen ilmanlaadun mittausasemalla 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, 2023). Indeksillä ilmaistuna ilmanlaatu Taattolassa oli hyvää tai tyydyttävää 92 % mittausjakson vuorokausista. Ilmanlaatu oli välttävää 5,7 % päivistä, huonoa 1,5 % ja erittäin huonoa 0,8 % 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. Hengitettävien hiukkasten mitatut pitoisuudet jäivät selvästi alle ohje- ja raja-arvojen sekä alle arviointikynnysten. Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet olivat 32 % vuorokausiraja-arvosta ja 20 % vuosiraja-arvosta. Myös pienhiukkasten pitoisuudet jäivät selvästi alle vuosiraja-arvon ja arviointikynnysten ollen 12 % vuosiraja-arvosta. Arviointikynnykset määrittävät minimikriteerit ilmanlaadun seurannalle ja seurantamenetelmille. Arviointikynnyksien ylittymisen tarkastelussa käytetään viiden kalenterivuoden mittausjaksoja. Hengitettävien hiukkasten pitoisuuksille ilmanlaatulainsäädännössä annetut vuorokausiohjearvot eivät ylittyneet mittausjaksolla kertaakaan Taattolan asemalla.

Mitatut hengitettävien hiukkasten pitoisuudet olivat keskimäärin korkeimmat lounaan ja etelän puoleisilla tuulilla sekä tyynellä, jolloin tuulen nopeus oli alle 0,5 m/s. Tyynellä säällä pitoisuuksien lähde tai lähteen ilmansuuntaa ei pysty päättämään. Tyynissä tilanteissa korostuu lähipäästölähteiden vaikutus ilmanlaatuun. Asemasta etelän ja lounaan suunnilla on kaivosaluetta ja etelässä on myös asuinrakennuksia ja peltoa. Pienhiukkasten pitoisuudet olivat suurimmillaan kaakko-lounassektorilla sekä tyynellä säällä. Asemasta idän ja etelän välisellä sektorilla on lähirakennuksia sekä peltoja, joissa toiminnat, kuten puunpolto ja ajot pelloilla, ovat voineet aiheuttaa korkeampia hiukkaspitoisuuksia mittausjakson aikana.

Mitattujen pitoisuuksien tunti- ja vuorokausijakaumien sekä tuulensuuntatarkasteluiden perusteella Taattolan mittauspisteessä pitoisuuksiin vaikutti sekä Terrafamen teollisuusalueen toiminta, että mittauspaikan lähiympäristössä tapahtunut toiminta kuten puunpolto ja pihapiirin, peltojen ja tien pölyäminen. Tuulen ja liikenteen maanpinnasta ilmaan nostattamat hiukkaset vaikuttavat merkittävästi hiukkasten pitoisuuksiin. Korkeammat metallipitoisuudet havaittiin sekä tuulen käydessä Terrafamen teollisuusalueen suunnalta että tyynellä, ja idän ja kaakon puoleisilla tuulilla. Osa mitatuista pitoisuuksista johtui siis todennäköisesti Terrafamen teollisuustoiminnasta ja osa mittausaseman lähiympäristössä tapahtuneesta toiminnasta.

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 heikotuulisen sään aikana ja erityisesti ns. inversiotilanteissa, 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 arviointikynnyksiin tulee tarkistaa ainakin viiden vuoden välein. Jos ilman epäpuhtauksien pitoisuudet ovat alemman arviointikynnyksen alapuolella, riittää, että ilmanlaatua seurataan yksinomaan suuntaa antavien mittausten, mallintamistekniikoiden, päästökartoitusten tai muiden vastaavien menetelmien perusteella. Taattolan ilmanlaatumittaukset tulevat jatkumaan toistaiseksi useita vuosia. Niin pitkään, kun Terrafame Oy:n teollisuusalueen läheisyydessä Taattolassa tehdään jatkuvatoimisia hiukkasmittauksia sekä arseeni- ja metallimittauksia, lisämittausten tekemiselle säännöllisin välein muissa mittauspisteissä ei ole tarvetta. Mikäli toiminta kaivosalueella merkittävästi muuttuu tai jatkuvatoimiset hiukkasmittaukset Taattolan mittauspisteessä lopetetaan, tulee mittaustarve Terrafame Oy:n ilmanlaatuvaikutusten arvioimiseksi jatkossa arvioida tehtyjen jatkuvatoimisten mittauksien 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 suunnitteluun ja niiden oikea-aikaiseen toteuttamiseen.

4 TUTKIMUKSEN SUORITUS

4.1 Mittausasemien sijainnit

Ilmatieteen laitos mittasi ilmanlaatua Terrafamen kaivospiirin lähialueella Sotkamossa yhdellä mittausasemalla vuonna 2023 (15.4.–31.12.2023). Mittausaseman sijainti on esitetty kuvassa 1, ja valokuvia mittausaseman ympäristöstä on esitetty kuvissa 28–29.

Taattolan mittauspiste sijaitsee Hakosen järven itäpuolella noin 2,5 kilometrin päässä kaivosalueelta pohjoiskoillisuuntaan lähiasutusta edustavan kiinteistön alueella. Mittausasemaa lähinnä olevat rakennukset ovat Terrafamen omistuksessa. Kyseiset rakennukset eivät ole häiriintyvää aluetta ja niistä ei aiheudu esimerkiksi savuhaittoja. Tutkimuspisteessä mitattiin hiukkasmittausten tulosten tulkintaa varten lisäksi tuulen suuntaa ja nopeutta, ulkoilman lämpötilaa, suhteellista kosteutta ja ilmanpainetta.



Kuva 28: Taattolan ilmanlaadun mittauspiste huhtikuussa 2023. Mittausasema sijaitsee peltoaukealla sorapintaisen tien päässä. Kuva: Mika Vestenius.



Kuva 29: Taattolan ilmanlaadun mittauspiste huhtikuussa 2023. Mittausaseman ympäristössä on rakennuksia sekä länsipuolella metsää. Kuva: Mika Vestenius.

4.2 Mitatut suureet ja mittausmenetelmät

Terrafamen ilmanlaadun mittauspisteeseen tuotiin mittauskontti, jossa kaikki mittauksiin liittyvät toiminnot tapahtuivat häiriöttä ja mittausolosuhteet pysyivät stabiileina. Mittausasemalla mitattiin jatkuvatoimisilla automaattisilla analysaattoreilla halkaisijaltaan alle 10 µm suuruisten hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) sekä alle 2,5 µm suuruisten pienhiukkasten (PM_{2,5}) pitoisuuksia. Mittausasemilla kerättiin myös hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) 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 3. Kaikkien laitteiden näytteenotto tapahtui mittausaseman 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. Säämittausanturin korkeus oli noin 4 metriä maanpinnan tasosta. Kontin ilmastointi järjestettiin niin, ettei poistoilmavirta häirinnyt näytteenottoa, eivätkä poistoilman epäpuhtaudet päässeet näytteenottimiin.

Hiukkasten pitoisuutta mitattiin valon sirontaan perustuvalla menetelmällä. Hiukkasten jatkuvatoimiset mittaukset perustuvat standardiin *SFS EN 16450:2017 Ambient air – Automated measuring systems for the measurement of the concentration of particulate matter (PM₁₀/PM_{2,5})*. PM₁₀/PM_{2,5} hiukkasten gravimetrinen referenssimenetelmä on kuvattu standardissa *EN 12341:2014*. Ilmatieteen laitoksen käyttämien automaattisten hiukkasanalysaattoreiden antamien tulosten vastaavuus PM₁₀/PM_{2,5}-hiukkasten gravimetrisen referenssimenetelmään on osoitettu tutkimuksessa Walden ym. (2017).

Näytekeräykset (PM₁₀) suoritettiin automaattisella hiukkaskeräimellä, joka huolehtii näytesuodattimien vaihdosta laitteen sisällä laitteeseen ennalta ohjelmoidun syklin mukaisesti. Käytetty keräinmenetelmä 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 suodattimia 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

Taulukko 3: Terrafamen ilmanlaadun mittauksissa käytetyt menetelmät ja laitteet.

Mitattava komponentti	Mittausmenetelmä	Mittalaite
Hengitettävät hiukkaset	Valon sironta	Palas Fidas 200E
Hengitettävät hiukkaset	Beetasäteilyn absorptio ¹⁾ + valon sironta	Thermo Model 5030 SHARP
Pienhiukkaset	Valon sironta	Palas Fidas 200E
Pienhiukkaset	Beetasäteilyn absorptio ²⁾ + valon sironta	Thermo Model 5030 SHARP
Hengitettävät hiukkaset, vuorokausinäytteet (24h)	Pientehokeräin ³⁾	Leckel SEQ 47/50
Meteorologiset tiedot		Vaisala WXT530

¹⁾ käytössä 26.6.–23.9.2023

²⁾ käytössä 27.6.–23.9.2023

³⁾ näytteet kerättiin EN 12341:2014-standardin mukaisella vertailumenetelmällä

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.

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.

4.3 Hiukkasmittausten vertailukelpoisuus ja mittausepävarmuus

Hiukkasmassan määrittämisen standardissa (EN 12341:2014) määritetty ns. referenssimenetelmä on gravimetrinen määrittäminen vuorokausikeskiarvolle. Kullekin Suomessa käytettävälle jatkuvatoimimiselle hiukkasmittalaitteelle on osoitettu laitteen ekvivalenttisuus eli vertautuvuus referenssimenetelmään, ja kertoimia käyttämällä eri mittalaitteilla mitatut hiukkasmittauksien tulokset ovat keskenään vertailukelpoisia. Määritettyjä korjauskertoimia käyttämällä tässä tutkimuksessa käytettyjen hiukkaslaitteiden tuottamat tulokset ovat vastaavia referenssimenetelmää vastaan.

Mittausarvojen oletettu vaihtelu eli mittausepävarmuus on positiivinen luku, joka on saatu käytettävissä olevien tietojen perusteella. Yleisesti, mittausten yhteydessä on tärkeää tietää mittauksen epävarmuus, koska muuten mittauksista ei voida luotettavasti tehdä johtopäätelmiä (Hiltunen ym., 2011). Jatkuvatoimimisella hiukkasmittalaitteilla mittausepävarmuus saa olla korkeintaan 25 %. Tämä kriteeri täyttyy tämän raportin kuvaamissa mittauksissa ja käytettyjen monitorien osalta.

Palas Fidas 200E-hiukkasmonitorin kertoimet ja mittausepävarmuudet on määritetty Ilmatieteen laitoksen raportissa Saarnio ym. (2021). Raportin mukaan Fidaksen korjauskerroin PM₁₀-hiukkasmassalle on 0,95 ja PM_{2,5}-hiukkasmassalle 0,915. Vastaavat mittausepävarmuudet ovat 15,8 % ja 7,2 %.

Thermo Model 5030 SHARP-hiukkasmonitorin kertoimet ja mittausepävarmuudet on määritetty Ilmatieteen laitoksen raportissa Walden ja Vestenius (2018). Raportin mukaan SHARP:n korjauskerroin PM₁₀-hiukkasmassalle on 1,242 ja PM_{2,5}-hiukkasmassalle 0,998. Vastaavat mittausepävarmuudet ovat 15,2 % ja 24,9 %.

Tutkimuksessa käytettävien hiukkasanalysointilaitteiden vastaavuus eli ekvivalenttisuus vertailumenetelmään ja laitteen soveltuvuus Suomen oloihin on osoitettu Ilmatieteen laitoksen toimesta standardin EN 16450:2014 ja

EN 16450:2017 mukaisesti SHARP:lle (Walden ja Vestenius, 2018). Fidas on uudempi laite Suomessa, mutta laajalti käytössä. Fidaksen soveltuvuus Suomen oloihin on osoitettu (Saarnio ym., 2021).

Ilmatieteen laitoksen vertailulaboratorio on hyväksynyt molemmat tutkimuksessa käytettävät hiukkasmittalaitteet käytettäväksi Suomessa.

4.4 Kalibrointimenetelmät, laadunvarmistus ja laitehuollot

Terrafamen ilmanlaadun mittaukset suoritettiin kansallisen ilmanlaadun mittaushjeen (Ilmatieteen laitos, 2017) sekä Ilmatieteen laitoksen ilmanlaatumittausten laatujärjestelmän mukaisesti (https://expo.fmi.fi/aqes/public/Ilmatieteen_laitoksen_ilmanlaatumittausten_laatujaarjestelmien_kuvaus.pdf). Mittausten aikana suoritettiin mittalaitteiden säännölliset laadunvarmistus- ja ylläpitotoimenpiteet. Lisäksi mittausten toimintaa ja laatua valvottiin päivittäin, jolloin mahdollisiin toimintahäiriöihin voitiin puuttua mahdollisimman nopeasti. Ilmanlaadun mittausasemalla tehtävät toimenpiteet dokumentoitiin mittauspäiväkirjaan ja kalibrointiarvot tallennettiin kalibrointiraportteihin. Mittauspäiväkirjaan kirjattiin ylös myös häiriötilanteet ja niihin liittyvät toimenpiteet. Mittausaseman varustus dokumentoitiin Ilmatieteen laitoksen mittausasema- ja laiterekistereihin.

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

Mittalaitteet toimivat pääsääntöisesti hyvin koko mittausjakson (15.4.2023–31.12.2023) 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 mittausjaksolla hengitettävien hiukkasten ja pienhiukkasten osalta Taattolan mittausasemalla, mutta kalenterivuosi-mittausjaksomääritelmä ei täytynyt.

Ohjearvoon vertaaminen edellyttää, että vuorokausipitoisuuksia on vähintään 75 % kuukauden vuorokausien lukumäärästä. Tämä vaatimus täyttyi mittausasemalla hengitettävien hiukkasten osalta kaikkina muina mitattuina kuukausina lukuunottamatta huhtikuuta.

5 SÄÄTIEDOT VUONNA 2023

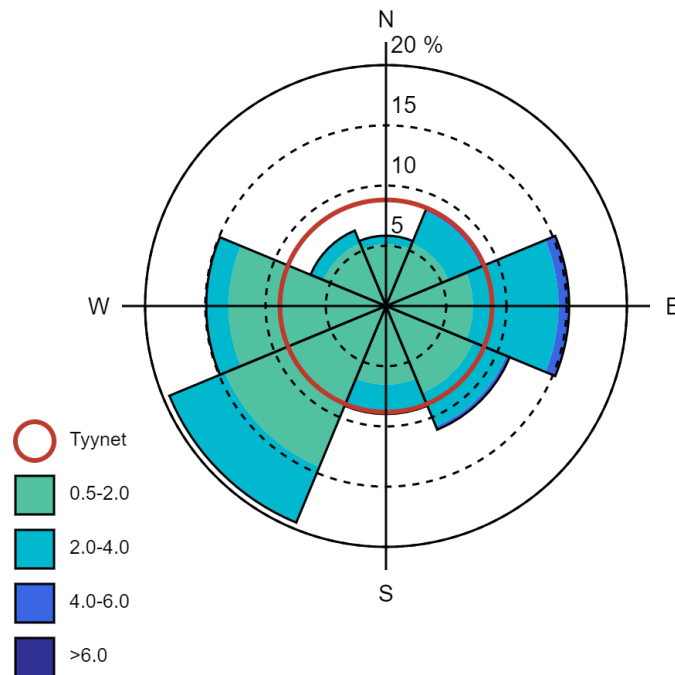
5.1 Tuulitiedot Terrafamella mittausjaksolla

Terrafamen Taattolan mittausasemalla mitattujen tuulennopeuksien keskiarvo mittausjaksolla 15.4.2023–31.12.2023 oli 1,6 m/s ja tyynien tilanteiden osuus oli noin 9 % mittausjakson tunneista. Tyyniksi katsotaan tässä tarkastelussa tunnit, jolloin tuulen nopeus oli alle 0,5 m/s. Tuulianturit sijaitsivat noin 4 metrin korkeudella maanpinnasta ilmanlaadun mittausaseman katolla.

Kuvassa 30 on esitetty mittausjakson 15.4.2023–31.12.2023 tuuliruusu eli tuulensuuntien ja -nopeuksien kuvaaja Taattolan mittausasemalta. 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. Tuuliruususta 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 havaitsijaa kohti. Terrafamen Taattolan mittausasemalla vallitseva tuulensuunta oli mittausjaksolla lounas, ja myös lännestä sekä idästä tuuli

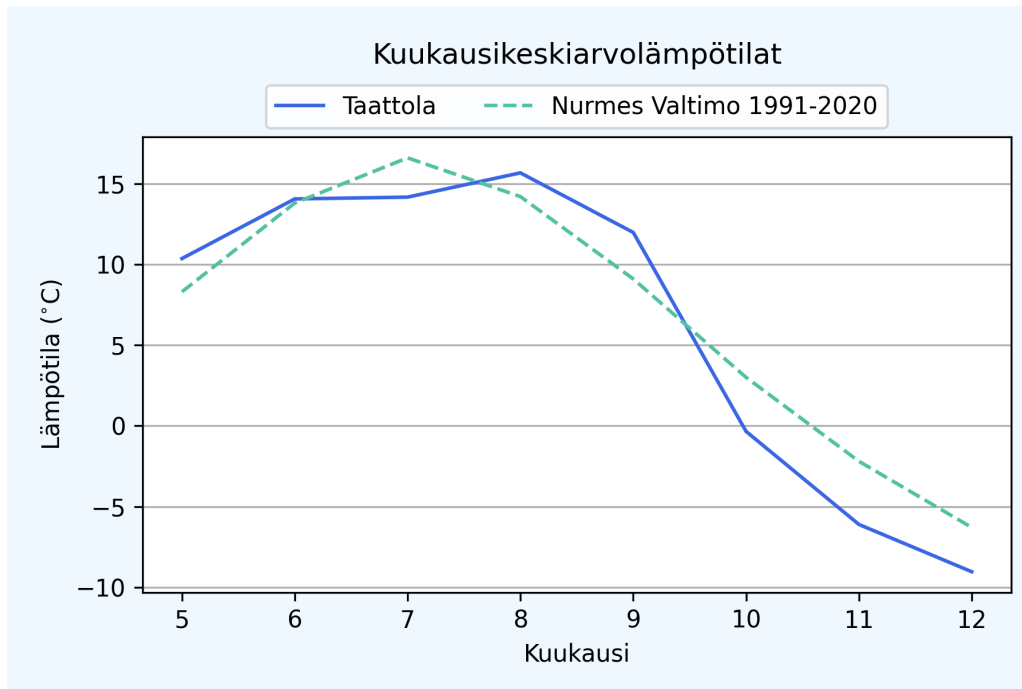
usein. Kaikkein vähiten tuuli pohjoisesta. Taattolan asemalla tuulennopeudet olivat yleisimmin heikkoja jään pääosin alle 4 m/s kaikissa tuulensuuntasektoreissa.



Kuva 30: Terrafamen Taattolan ilmanlaadun mittausaseman katolta mitatut tuulensuunnat (ilmansuuntasektorit) ja tuulennopeudet (m/s) mittausjaksolla 15.4.2023–31.12.2023. Tyynien tilanteiden osuus oli 9 % kaikista tuulista. Tyyniksi on tässä tarkastelussa luokiteltu alle 0,5 m/s tuulen nopeudet.

5.2 Keskilämpötilat Sotkamon seudulla

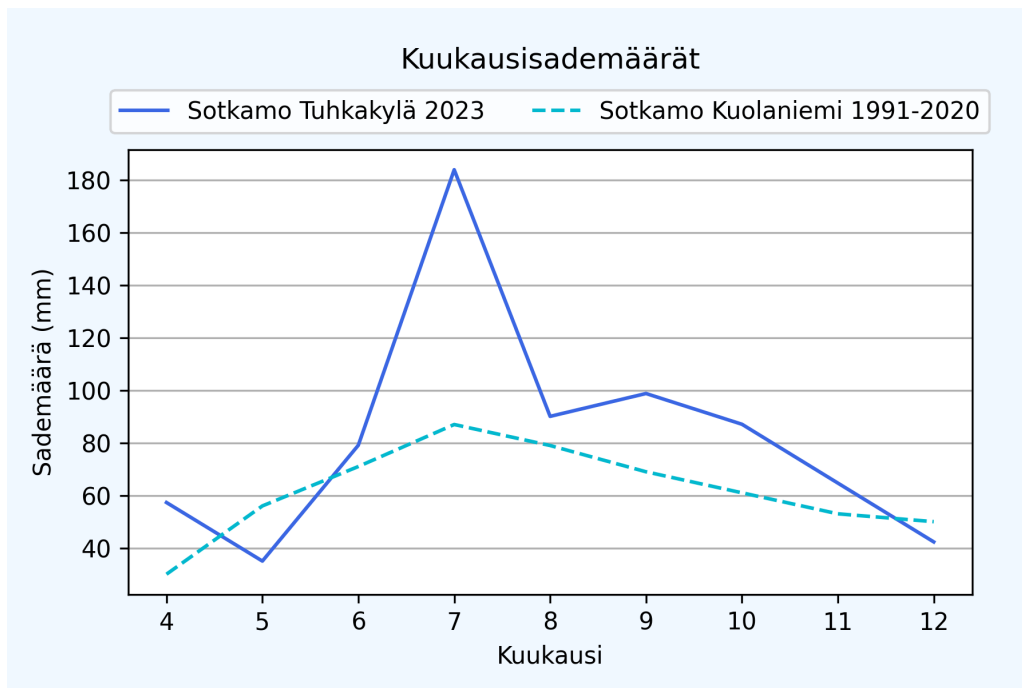
Ilmatieteen laitoksen ylläpitämä sääasema Nurmes Valtimo on Terrafamen Taattolaa lähimpänä sijaitseva virallinen sääasema, jolta on saatavilla ilmastollisen vertailukauden 1991–2020 lämpötilatiedot (Jokinen ym., 2021). Kuvassa 31 on vertailtu Terrafamen Taattolan ilmanlaadun mittausasemalla mitattuja touko-joulukuun 2023 keskilämpötiloja Nurmes Valtimon sääaseman ilmastollisen vertailukauden 1991–2020 lämpötiloihin. Lämpötilat Terrafamen Taattolan ilmanlaadun mittausasemalla olivat mittausjaksolla vertailukautta 1,5–2,9 astetta lämpimämpiä touko-, elo- ja syyskuussa, ja 2,7–3,9 astetta kylmempiä heinä-, loka-, marras- ja joulukuussa. Kesäkuun lämpötila oli Taattolan mittausasemalla vertailukautta vastaava.



Kuva 31: Lämpötilan kuukausikeskiarvot Terrafamen Taattolan ilmanlaadun mittausasemalla vuonna 2023 verrattuna Nurmes Valtimon sääasemalla mitattuihin ilmastollisen vertailukauden 1991–2020 pitkäaikaikeskiarvoihin.

5.3 Sademäärät Sotkamon seudulla

Ilmatieteen laitoksen ylläpitämät sääasemat Sotkamo Tuhkakylä ja Sotkamo Kuolaniemi ovat Terrafamen Taattolan mittausasemaa lähimpänä sijaitsevat viralliset sademäärää mittaavat sääasemat. Sotkamo Kuolaniemen asemalta on saatavilla ilmastollisen vertailukauden 1991–2020 sademäärät (Jokinen ym., 2021). Kuvassa 32 on vertailtu Sotkamo Tuhkakylän sääasemalla mitattuja ajanjakson 15.4.2023–31.12.2023 kuukausisademääriä (Ilmatieteen laitos, 2023b) Sotkamo Kuolaniemen sääaseman ilmastollisen vertailukauden 1991–2020 sademääriin. Koko mittausjakson sademäärä Sotkamo Tuhkakylän asemalla oli 738 mm, mikä on noin 33 % suurempi kuin Sotkamo Kuolaniemen vertailukauden 1991–2020 huhti–joulukuun keskiarvosademäärä. Mittausjaksolla lähes joka kuukautena Sotkamo Tuhkakylässä satoi enemmän kuin seudulla keskimäärin näiden kuukausien aikana sataa. Varsinkin heinäkuussa sademäärä oli merkittävästi suurempi, hieman yli kaksinkertainen keskimääräiseen verrattuna. Etenkin kesäisin kuurosateet saattavat olla hyvinkin paikallisia, mikä helposti vaikuttaa myös paikallisiin sademääriin. Touko- ja joulukuu olivat vastaavasti vähäsateisempia vertailukauteen nähden.



Kuva 32: Kuukausisademäärät Ilmatieteen laitoksen Sotkamo Tuhkakylän ja Kuolaniemen sääasemilla vuonna 2023 ja kuukausisademäärät Sotkamo Kuolaniemen sääasemalla 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 ilmamassojen 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 muutoksen kautta.

Ilman epäpuhtauksien leviämisen ja laimenemisen kannalta keskeisiä meteorologisia tekijöitä ovat tuulen suunta ja nopeus, ilmakehän stabiilisuus ja sekoituskorkeus. Rajakerroksen tuuliolosuhteet määräävät karkeasti ilmansaasteiden kulkeutumis suunnan, 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 päästölähde ryhmä 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 suolaliuoksella hillitsevät keväistä pölyämistä. Sateet alentavat myös muina vuodenaikoina väliaikaisesti ilman epäpuhtauksien pitoisuuksia ja puhdistavat hengitysilmaa.

6 TAUSTATIEDOA 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 syvälle ihmisten hengitysteihin. Hengitettävälle 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. PM_{10} -pitoisuus sisältää aina myös $PM_{2,5}$ -hiukkaset. Hiukkasten kokoluokkia on havainnollistettu kuvassa 33.

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

Hengitettävien hiukkasten vuorokausipitoisuuksille asetettu raja-arvotaso ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ylittyy 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 $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ alittuu Suomessa. Hengitettävien hiukkasten pitoisuuden vuosikeskiarvot ovat olleet viime vuosina Suomen kaupungeissa noin $5\text{--}20 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Vilkkaimmilla teillä ja katukuiluosuuksilla vuosipitoisuudet voivat olla yli $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Puhtailla taustalueilla vuosikeskiarvopitoisuudet ovat olleet Etelä-Suomessa noin $9\text{--}14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja Pohjois-Suomessa noin $3\text{--}5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Ilmatieteen laitos, 2023c).

Arseeni

Arseeni esiintyy ympäristössä kolmi- tai viisiarvoisina epäorgaanisina, vesiliukoisina ja heikosti vesiliukoisina suoloina sekä kaasumaisina epäorgaanisina ja orgaanisina arseeniyhdisteinä. Luonnossa arseeni on sulfidina monien kaivannaismetallien sulfidien yhteydessä. Arseeni esiintyy pääasiassa ulkoilman pienissä hiukkasissa, jotka ovat kooltaan luokkaa 1 µm tai sitä pienempiä. Arseenin keskeisiä 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 ng/m³ (HSY, 2016). Raahen Lapaluodon teollisuutta edustavalla ilmanlaadun mittausasemalla pitoisuudet puolestaan ovat olleet 0,3–0,8 ng/m³ vuosina 2012–2019 (Raahen kaupunki, 2020). Tavoitearvon 6 ng/m³ ylityksiä on viime vuosina Suomessa tapahtunut ainoastaan Harjavallan Kalevan ja Pirkkalan mittausasemilla (Ilmatieteen laitos, 2023a).

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

Kadmium

Kadmium on pehmeä, hopeanvalkea metalli, joka höyrystyessään hapettuu nopeasti kadmiumoksidiksi. Monet epäorgaaniset kadmiumyhdisteet liukenevat hyvin veteen. Kadmium rikastuu pääasiassa ulkoilman pieniin hiukkasiin, jotka ovat kooltaan luokkaa 1 µm tai sitä pienempiä. Kadmiumin keskeisiä päästölähteitä Suomessa ovat energiantuotanto, teollisuusprosessit, jätehuolto ja liikenne. Kadmiumin kokonaispäästöiksi Suomessa on arvioitu 0,8 tonnia vuonna 2019 (Syke, 2022). Helsingin Kallion kaupunkitausta- asemalla kadmiumin vuosikeskiarvot ovat vuosina 2009–2015 olleet 0,1–0,2 ng/m³ (HSY, 2016). Raahen Lapaluodon teollisuusasemalla pitoisuudet ovat vastaavasti olleet 0,05–0,3 ng/m³ vuosina 2012–2019 (Raahen kaupunki, 2020). Harjavallan Kalevan ja Pirkkalan mittausasemilla on mitattu viime vuosina Suomen korkeimmat pitoisuudet, noin 1–3 ng/m³ (Ilmatieteen laitos, 2023a).

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

Nikkeli

Nikkeli on hopeanvalkoinen, kova metalli, joka esiintyy pääasiassa kaksiarvoisena sekä orgaanisissa että epäorgaanisissa yhdisteissä. Nikkeliä esiintyy yleisesti maaperässä ja sitä on rikastuneena raakaöljyyn. Nikkeliä käytetään runsaasti teräksen ja metallisekoitteiden tuotannossa. Muita käyttöalueita ovat muun muassa keramiikka, paristot, elektroniikka sekä lasin ja muovien värjäys. Toisin kuin arseenia ja kadmiumia, nikkeliä esiintyy ulkoilmassa melko runsaasti myös karkeammissa hiukkasissa, jotka ovat kooltaan muutamasta mikrometristä ylöspäin.

Nikkeliä vapautuu ulkoilmaan pääasiassa polttoaineiden ja jäteöljyn poltossa sekä 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-ajamalla nikkelin vuosikeskiarvot ovat vuosina 2009–2015 vaihdelleet välillä 2–4 ng/m³ (HSY, 2016). Raahen Lapaluodon teollisuusajamalla pitoisuudet ovat vastaavasti olleet 1,6–4,5 ng/m³ vuosina 2012–2019 (Raahen kaupunki, 2020). Tavoitearvon 20 ng/m³ ylityksiä on viime vuosina Suomessa mitattu ajnoastaan Harjavallan Kalevan mittausajamalla (Ilmatieteen laitos, 2023a).

Kun otetaan huomioon ulkoilman nikkelpitoisuuksien taso, merkittävin nikkelialtistus 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 keuhkosyöpäriskistä.

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 ennenajakaista kuolemantapausta vuodessa (Hänninen ym., 2016). Lisäksi ilmansaasteet aiheuttavat haittoja lisääntyneen sairastamisen takia. Haitalliset vaikutukset ilmenevät siitä huolimatta, että ilmanlaadun raja- tai ohjearvot eivät Suomessa ylitä 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 ennakolta ja pitkällä aikavälillä alueilla, joilla ilmanlaatu on tai saattaa toistuvasti olla huonompi kuin ohjearvo edellyttäisi. Ilmanlaadun ohjearvot on määritelty valtioneuvoston päätöksessä ilmanlaadun ohjearvoista ja rikkilaskeuman tavoitearvosta (Vnp 480/1996, Taulukko 4).

Raja-arvot ovat ilman epäpuhtauden pitoisuuksia, jotka on alitettava määrääjassa. 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 5.

Tavoitearvolla tarkoitetaan ilmassa olevaa pitoisuutta, joka on mahdollisuuksien mukaan alitettava määrääjassa 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 5.

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 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. Arviointikynnykset on määritelty ilmanlaatuasetuksessa (Vna 79/2017).

Taulukko 4: Ilmanlaadun ohjearvo terveyshaittojen ehkäisemiseksi (Vnp 480/1996). Tulokset ilmaistaan ulkoilman lämpötilassa ja paineessa.

Ilman epäpuhtaus	Ohjearvo $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Tilastollinen määrittely
Hengitettävät hiukkaset (PM_{10})	70	Kuukauden toiseksi suurin vuorokausiarvo

Taulukko 5: 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	
Hengitettävät hiukkaset (PM_{10}) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Raja-arvo				
24 tuntia (saa ylittyä 35 krt/vuosi)	50	35	(70 %)	25	(50 %)
vuosi	40	28	(70 %)	20	(50 %)
Pienhiukkaset ($\text{PM}_{2,5}$) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Raja-arvo				
vuosi	25	17	(70 %)	12	(50 %)
Lyijy (Pb) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Raja-arvo				
kalenterivuosi	0,5	0,35	(70 %)	0,25	(50 %)
Arseeni (As) (ng/m^3)	Tavoitearvo				
kalenterivuosi	6	3,6	(60 %)	2,4	(40 %)
Kadmium (Cd) (ng/m^3)	Tavoitearvo				
kalenterivuosi	5	3	(60 %)	2	(40 %)
Nikkeli (Ni) (ng/m^3)	Tavoitearvo				
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 6: Maailman terveysjärjestön (WHO) ulkoilman hengitettävien hiukkasten pitoisuutta koskevat ohjearvot (World Health Organization, 2021).

Ilman epäpuhtaus	Keskiarvon laskenta-aika	Ohjearvo
Hengitettävät hiukkaset (PM ₁₀)	Vuosi	15 µg/m ³
	Vuorokausi *	45 µg/m ³
Pienhiukkaset (PM _{2,5})	Vuosi	5 µg/m ³
	Vuorokausi *	15 µg/m ³

*) Vuorokausiarvojen osalta WHO suosittaa, että ohjearvoa noudatetaan 99-prosenttisesti (3 ylityskertaa).

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 ylemmän ja alemman arviointikynnyksen välissä (kuva 34). Alemman arviointikynnyksen ylittyessä jatkuvien mittausten tarve on vähäisempi ja voidaan käyttää jatkuvien mittausten ja mallintamistekniikoiden tai suuntaa antavien mittausten yhdistelmää. Jos ilman epäpuhtauksien pitoisuudet ovat alemman arviointikynnyksen alapuolella, riittää, että ilmanlaatua seurataan yksinomaan suuntaa antavien mittausten, mallintamistekniikoiden, päästökartoitusten tai muiden vastaavien menetelmien perusteella.

Ylemmän ja alemman arviointikynnyksen ylittyminen määritetään viiden edellisen vuoden pitoisuuksien perusteella. Arviointikynnyksen katsotaan ylittyneen, kun se on ylittynyt vähintään kolmena vuotena viidestä. Taulukossa 5 on esitetty hengitettävien hiukkasten, pienhiukkasten, arseenin ja metallien pitoisuuksille määritetyt ylemmät ja alemmat arviointikynnykset sekä niiden osuus raja- ja tavoitearvopitoisuuksista.



Kuva 34: Ilmanlaadun seurantatarve seuranta-alueella määräytyy mitattujen pitoisuuksien suhteesta ylempään ja alempaan arviointikynnykseen. 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>.
- Hiltunen, E., Linko, L., Hemminki, S., Hägg, M., Järvenpää, P., Saarinen, S., Simonen, P., ja Kärhä, P. (2011). Laadukkaan mittaamisen perusteet. *Metrologian neuvottelukunta ja Mittatekniikan keskus, MIKES. MIKES Julkaisu J4/2011*. <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/MIKES/2011-J4.pdf>.
- 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 (2023). Ilmanlaatuindeksi. <https://www.hsy.fi/ilmanlaatu-ja-ilmasto/mika-on-ilmanlaatuindeksi/>.
- Hänninen, O., Korhonen, A., Lehtomäki, H., Asikainen, A., ja Rumrich, I. (2016). Ilmansaasteiden terveysvaikutukset. *Ympäristöministeriön raportteja 16/2016*. https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/74861/YMr_16_2016.pdf.
- Ilmatieteen laitos (2017). Ilmanlaadun mittausohje. *Raportteja 017:6*. <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/228440>.
- Ilmatieteen laitos (2023a). 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 (2023b). Säähavainnot. <https://ilmatieteenlaitos.fi/havaintojen-lataus#!/>.
- Ilmatieteen laitos (2023c). Ympäristönsuojelun tietojärjestelmän ilmanlaatuosa. <https://ilmatieteenlaitos.fi/havaintojen-lataus#!/>.
- Jokinen, P., Pirinen, P., Kaukoranta, J.-P., Kangas, A., Alenius, P., Eriksson, P., Johansson, M., ja Wilkman, S. (2021). Tilastoja Suomen ilmastosta ja merestä 1991–2020. *Ilmatieteen laitos, Raportteja 2021:8*. <http://hdl.handle.net/10138/336063>.
- Raahan kaupunki (2020). Raahan ilmanlaatu 2019. *Ilmanlaadun seurantaraaportti, Raahe 2019*. <https://www.raahe.fi/sites/raahe.fi/files/liitetiedostot/Elinymp%a4rist%c3%b6/Ilmanlaaturaportti%202019.pdf>.
- Saarnio, K., Vestenius, M., ja Kyllönen, K. (2021). Hiukkasmittausten vaatimuksenmukaisuuden todentaminen (HIVATO) 2019–2020. *Ilmatieteen laitos, Raportteja 2021:2*. <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/338137>.
- Syke (2022). Ilman epäpuhtauksien päästöt Suomessa. *Suomen ympäristökeskus SYKE*. http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kartat_ja_tilastot/Ilman_epapuhtauksien_paastot.
- Vna 113/2017 (2017). Valtioneuvoston asetus ilmassa olevasta arseenista, kadmiumista, elohopeasta, nikkelistä ja polysyklisistä aromaattisista hiilivedyistä. Annettu Helsingissä 16.2.2017.
- Vna 79/2017 (2017). Valtioneuvoston asetus ilmanlaadusta. Annettu Helsingissä 26.1.2017.
- Vnp 480/1996 (1996). Valtioneuvoston päätös ilmanlaadun ohjearvoista ja rikkilaskeuman tavoitearvosta. Annettu Helsingissä 19.6.1996.
- Walden, J. ja Vestenius, M. (2018). Verification of PM-analyzers for PM10 and PM2.5 with the PM reference method. *Finnish Meteorological Institute, Reports 2018:2*. http://expo.fmi.fi/aqes/public/Raportteja_2018_2_Verification_of_PM-analyzers.pdf.
- Walden, J., Waldén, T., Laurila, S., ja Hakola, H. (2017). Demonstration of the equivalence of PM2.5 and PM10 measurement methods in Kuopio 2014–2015. *Finnish Meteorological Institute, Reports 2017:1*. http://expo.fmi.fi/aqes/public/PM_Equivalence%20report%20Kuopio_2017.pdf.
- World Health Organization (2021). WHO global air quality guidelines. Particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240034228?ua=1>.

LIITETAULUKOT

Liitetaulukko 1: Terrafamen Taattolan ilmanlaadun mittausasemalla mitatut hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) tunti- ja vuorokausipitoisuudet (µg/m³) kuukausittain mittausjaksolla 15.4.-31.12.2023. Pitoisuudet on ilmoitettu ulkoilman lämpötilassa ja paineessa.

	2023								
PM ₁₀ (µg/m ³)	huhti	touko	kesä	heinä	elo	syys	loka	marras	joulu
TUNTIARVOJEN									
lukumäärä	384	744	614	675	744	716	741	720	744
kattavuus (%)	53,3	100	85,3	90,7	100	99,4	99,6	100	100
keskiarvo		11,2	9,8	8,7	11,5	9,2	3,6	3,7	5,39
99. %-piste		54,2	41,4	37,0	39,1	35,3	32,5	45,9	34,4
korkein arvo	480,3	109,6	57,0	204,7	50	42,0	89,0	137,8	108,0
VRK-ARVOJEN									
lukumäärä	16	31	25	27	31	30	31	30	31
2. korkein arvo	32,3	25,8	18,4	20,9	21,8	27,0	10,6	11,6	13,3
korkein arvo	38,6	42,1	22,9	26,6	24,4	30,3	17,0	33,8	24,5

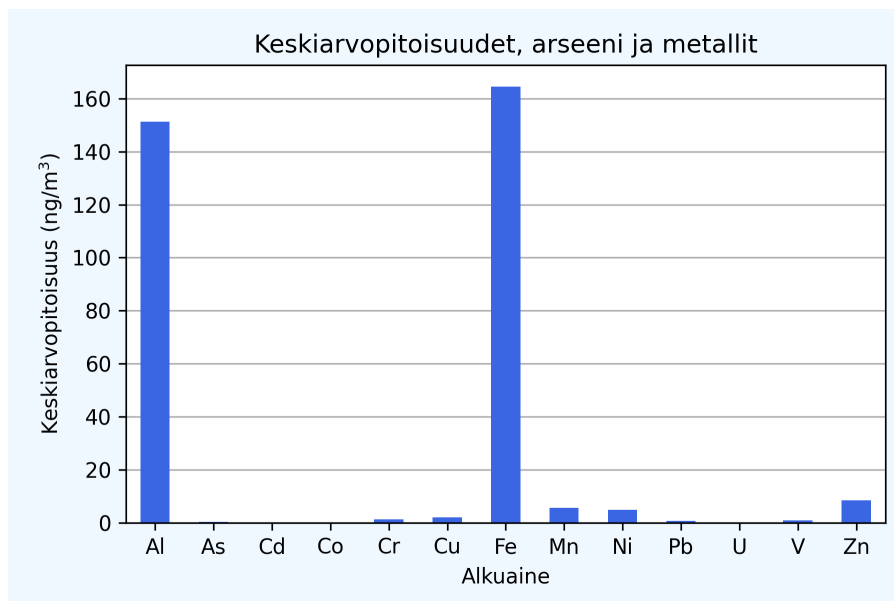
Liitetaulukko 2: Terrafamen Taattolan ilmanlaadun mittausasemalla mitatut pienhiukkasten (PM_{2,5}) tunti- ja vuorokausipitoisuudet (µg/m³) kuukausittain mittausjaksolla 15.4.-31.12.2023. Pitoisuudet on ilmoitettu ulkoilman lämpötilassa ja paineessa.

	2023								
PM _{2,5} (µg/m ³)	huhti	touko	kesä	heinä	elo	syys	loka	marras	joulu
TUNTIARVOJEN									
lukumäärä	384	744	599	675	744	719	741	720	744
kattavuus (%)	53,3	100	83,2	90,7	100	99,9	99,6	100	100
keskiarvo		3,5	4,3	4,6	5,4	4,3	1,4	1,6	3,5
99. %-piste		12,1	21,9	11,6	14,7	18,0	6,1	5,6	10,7
korkein arvo	54,2	14,8	29,0	24,1	18,3	21,8	10,7	15,8	18,4
VRK-ARVOJEN									
lukumäärä	16	31	24	27	31	30	31	30	31
2. korkein arvo	6,4	8,2	9,2	8,1	8,5	12,6	3,5	3,4	7,2
korkein arvo	6,9	8,2	9,3	10,1	10,4	16,9	3,9	4,4	8,4

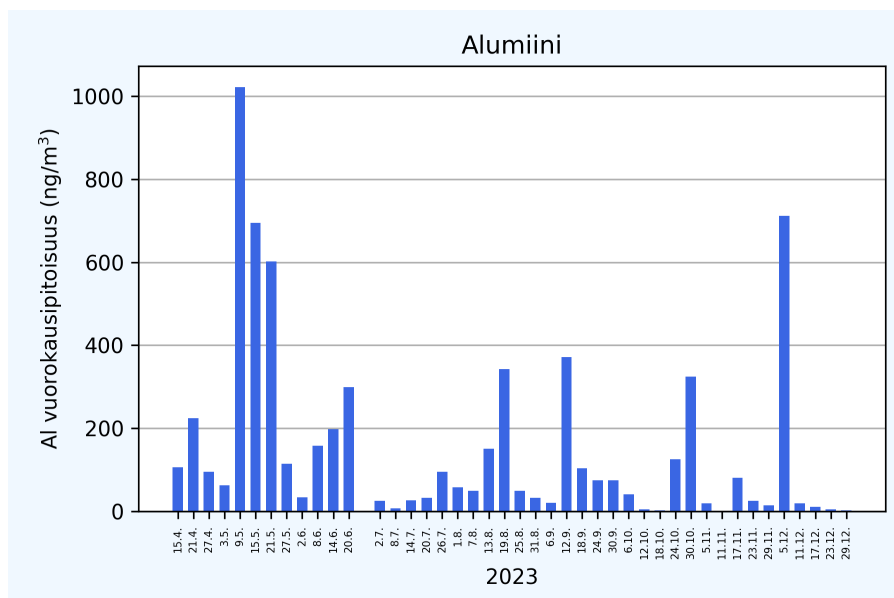
Liitetaulukko 3: Terrafamen Taattolan ilmanlaadun mittausasemalla 15.4.-31.12.2023 mitatut arseeni- ja metallipitoisuudet koko mittausjakson keskiarvona.

Mitattu pitoisuus	Mittausjakson keskiarvo (ng/m ³)
Alumiini (Al)	151,28
Arseeni (As)	0,27
Kadmium (Cd)	0,04
Koboltti (Co)	0,18
Kromi (Cr)	1,29
Kupari (Cu)	2,05
Rauta (Fe)	164,46
Mangaani (Mn)	5,68
Nikkeli (Ni)	4,81
Lyijy (Pb)	0,74
Uraani (U)	0,02
Vanadiini (V)	0,82
Sinkki (Zn)	8,48

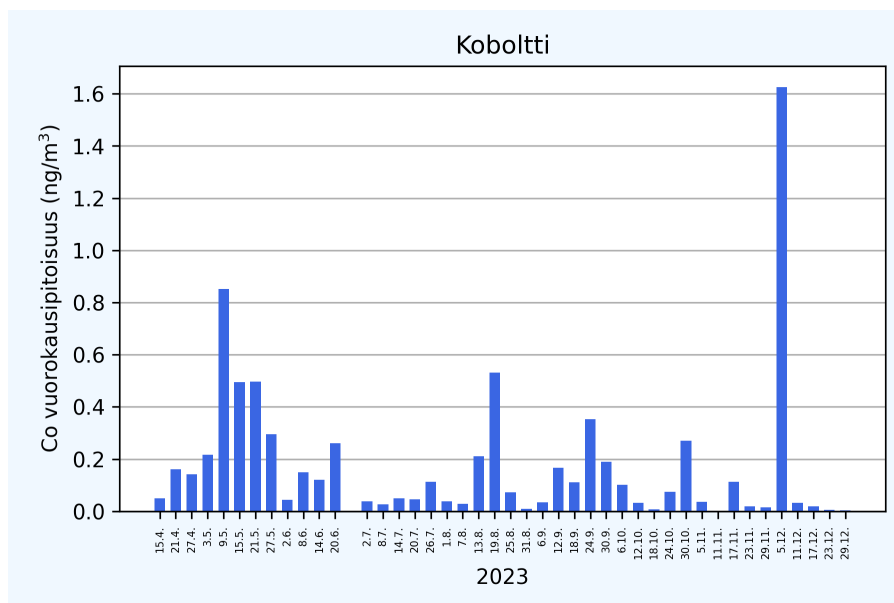
..



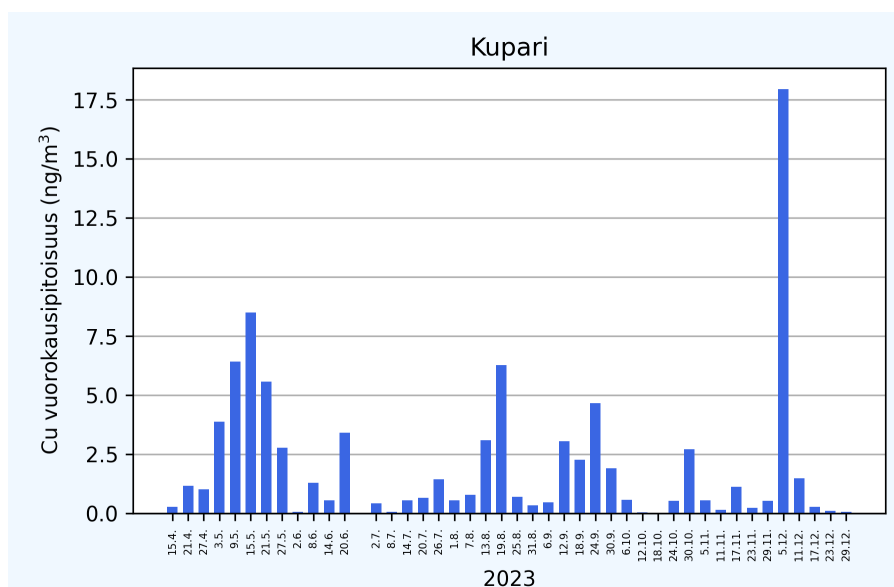
Liitekuva 1: Terrafamen Taattolan ilmanlaadun mittausasemalla 15.4.-31.12.2023 mitatut arseeni- ja metallipitoisuudet koko mittausjakson keskiarvona (ng/m³).



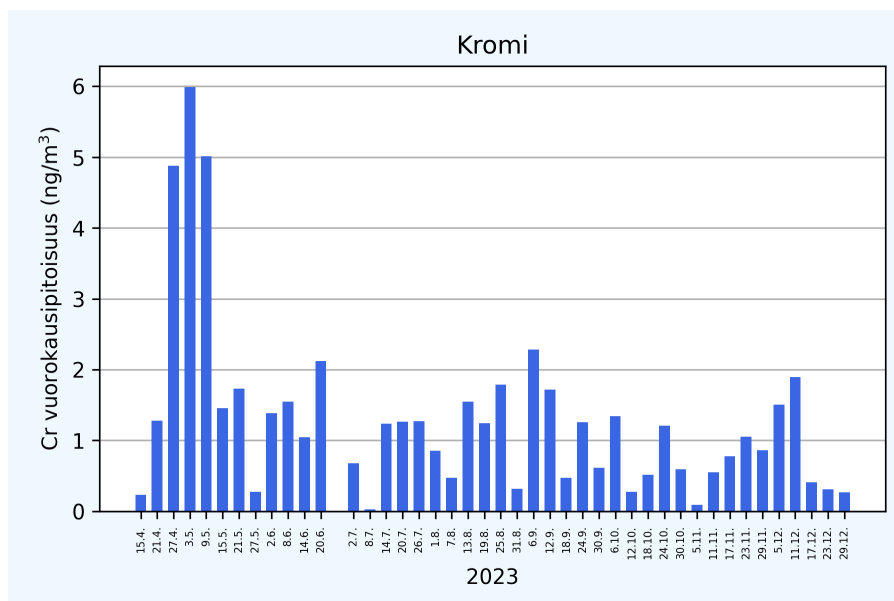
Liitekuva 2: Hengitettävistä hiukkasista (PM₁₀) määritetyt **alumiinipitoisuudet** (ng/m³) Terrafamen Taattolan mittauspisteessä jaksolla 15.4.—31.12.2023. Alumiinille ei ole määritelty ilmanlaadun vertailuarvoja.



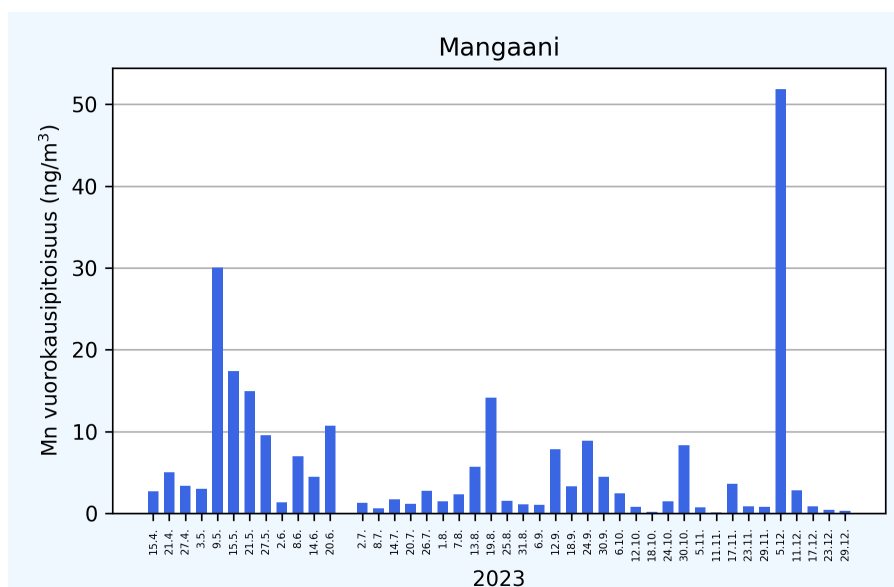
Liitekuva 3: Hengitettävistä hiukkasista (PM₁₀) määritetyt **kobolttipitoisuudet** (ng/m³) TerraFamen Taattolan mittauspisteessä jaksolla 15.4.—31.12.2023. Koboltille ei ole määritetty ilmanlaadun vertailuarvoja.



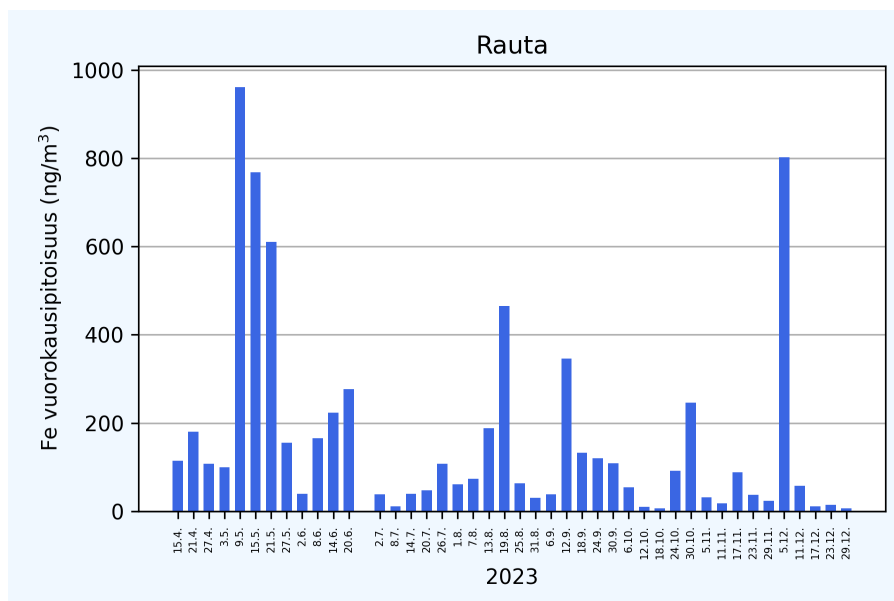
Liitekuva 4: Hengitettävistä hiukkasista (PM₁₀) määritetyt **kuparipitoisuudet** (ng/m³) TerraFamen Taattolan mittauspisteessä jaksolla 15.4.—31.12.2023. Kuparille ei ole määritetty ilmanlaadun vertailuarvoja.



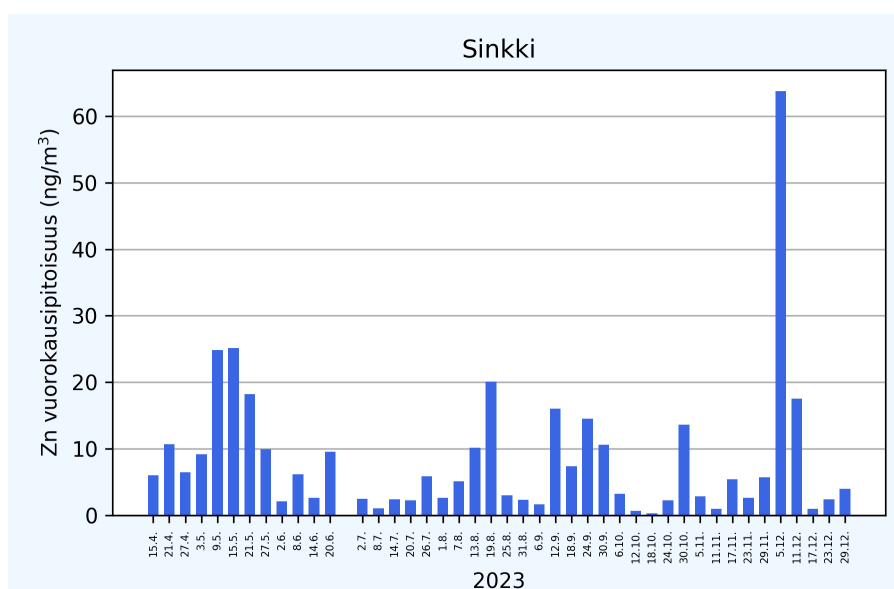
Liitekuva 5: Hengitettävistä hiukkasista (PM₁₀) määritetyt **kromipitoisuudet** (ng/m³) Terrafamen Taattolan mittauspisteessä jaksolla 15.4.—31.12.2023. Kromille ei ole määritelty ilmanlaadun vertailuarvoja.



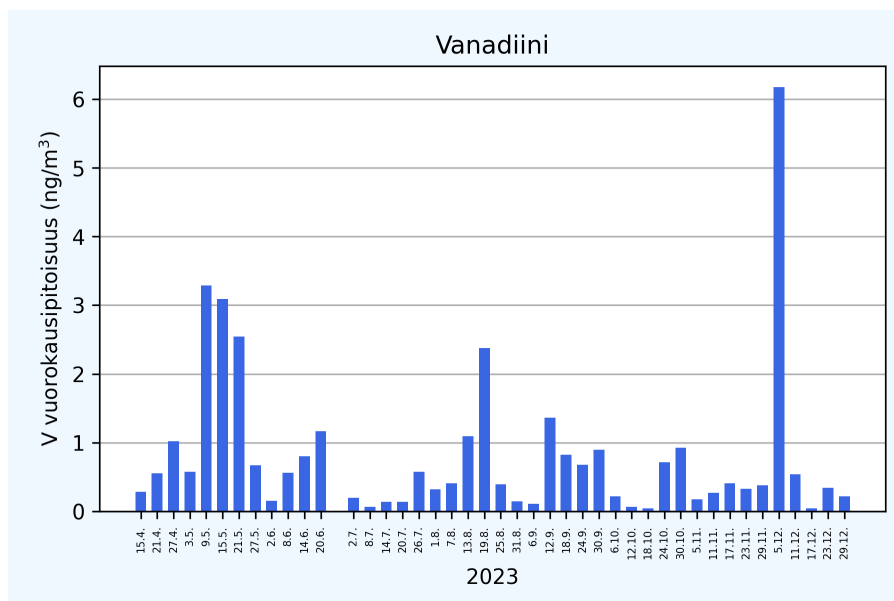
Liitekuva 6: Hengitettävistä hiukkasista (PM₁₀) määritetyt **mangaanipitoisuudet** (ng/m³) Terrafamen Taattolan mittauspisteessä jaksolla 15.4.—31.12.2023. Mangaanille ei ole määritelty ilmanlaadun vertailuarvoja.



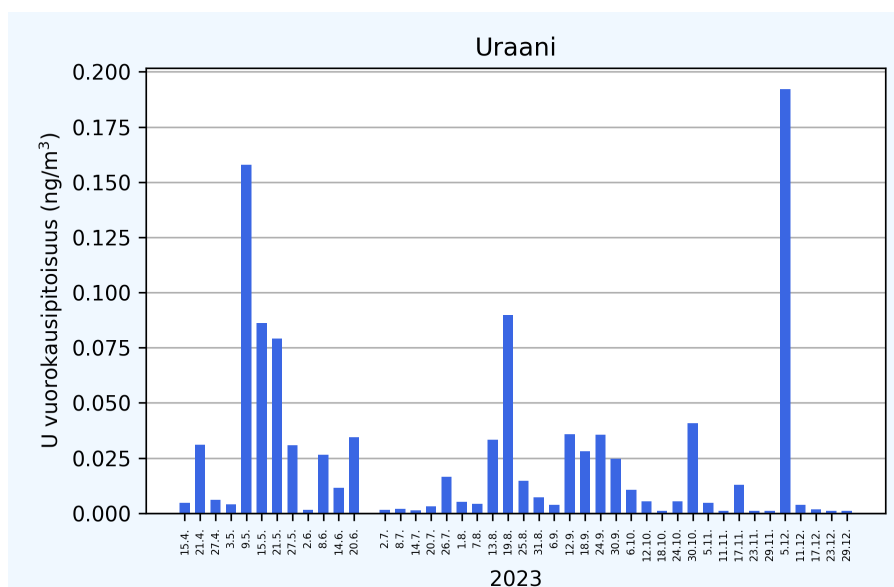
Liitekuva 7: Hengitettävistä hiukkasista (PM₁₀) määritetyt **rautapitoisuudet** (ng/m³) Terrafamen Taattolan mittauspisteessä jaksolla 15.4.—31.12.2023. Raudalle ei ole määritetty ilmanlaadun vertailuarvoja.



Liitekuva 8: Hengitettävistä hiukkasista (PM₁₀) määritetyt **sinkkipitoisuudet** (ng/m³) Terrafamen Taattolan mittauspisteessä jaksolla 15.4.—31.12.2023. Sinkille ei ole määritetty ilmanlaadun vertailuarvoja.



Liitekuva 9: Hengitettävistä hiukkasista (PM₁₀) määritetyt **vanadiinipitoisuudet** (ng/m³) Terrafamen Taattolan mittauspisteessä jaksolla 15.4.—31.12.2023. Vanadiinille ei ole määritelty ilmanlaadun vertailuarvoja.



Liitekuva 10: Hengitettävistä hiukkasista (PM₁₀) määritetyt **uraanipitoisuudet** (ng/m³) Terrafamen Taattolan mittauspisteessä jaksolla 15.4.—31.12.2023. Uraanille ei ole määritelty ilmanlaadun vertailuarvoja.



ILMATIETEEN LAITOS

ILMATIETEEN LAITOS

puh. 029 539 1000

Ilmanlaatu ja energia

ilmanlaatupalvelut@fmi.fi

www.ilmatieteenlaitos.fi/ilmanlaatupalvelut

WWW.ILMATIETEENLAITOS.FI

