



TERRAFAME OY:N ILMANLAADUN TARKKAILU

**Hengitettävien hiukkasten, pienhiukkasten, arseenin ja
metallien pitoisuudet vuonna 2024**



TERRAFAME OY:n ILMANLAADUN TARKKAILU

**Hengitettävien hiukkasten, pienhiukkasten, arseenin ja metallien
pitoisuustulokset vuonna 2024**

Antti Mannisenaho

Maija Peltola

Toni Mattila

Mika Vestenius

Katja Lovén

ILMATIETEEN LAITOS – ASiantuntijapalvelut ilmanlaatu ja energia

Helsinki 28.3.2025

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	4
2. ILMANLAADUN MITTAUSTULOKSET	5
2.1 Mitatut pitoisuudet	5
2.2 Ilmanlaatuindeksi	8
2.3 Pitoisuuksien vertailua raja- ja ohjearvoihin	10
2.4 Pitoisuuksien ajallinen vaihtelu	12
2.5 Tuulen suunnan ja nopeuden vaikutus mitattuihin pitoisuuksiin	13
2.6 Hengitettävien hiukkasten sisältämät arseeni- ja metallipitoisuudet	16
2.7 Pitoisuuksien vertailua muualla mitattuihin pitoisuuksiin	20
3. YHTEENVETO MITTAUSTULOISTA	21
4. TUTKIMUKSEN SUORITUS	24
4.1 Mittausaseman sijainti	24
4.2 Mitatut suureet ja mittausmenetelmät	26
4.3 Hiukkasmittausten vertailukelpoisuus ja epävarmuus	27
4.4 Kalibrointimenetelmät, laadunvarmistus ja laitehuollot	28
5. SÄÄTIEDOT	28
5.1 Tuulitiedot mittausjaksolla	28
5.2 Keskilämpötilat	30
5.3 Sademäärät	30
5.4 Ilmanlaatuun vaikuttavat säätekijät	31
6. TAUSTATIETOA ILMAN EPÄPUHTAUKSISTA	32
6.1 Hiukkaset	32
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

Kannen kuva: Antti Mannisenaho

1. JOHDANTO

Terrafame Oy perusti huhtikuussa 2023 Taattolaan vakituisen ilmanlaadun mittauspisteen, jossa Ilmatieteen laitos seurasi Terrafame Oy:n lähialueen ulkoilmanlaatua vuonna 2024 (1.1.-31.12.2024). 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 jatkuvatomimisella 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 pitoisuustasoja ja hetkellistä vaihtelua mittausjakson ajan. Ilmanlaatumittausten tulosten tulkintaa varten asemalla mitattiin myös perussäätietoja: tuulen suuntaa ja nopeutta, ilman lämpötilaa, ilmanpainetta ja ilman suhteellista kosteutta. Ilmanlaadun mittauskampanjoita on toteutettu Terrafame Oy:n toimeksiantona vuosina 2022, 2023, 2015–2016 (joulukuu 2015–elokuu 2016) ja 2008–2009 (syyskuu 2008–helmikuu 2009) eri mittausasemilla (Tehdasalue ja Myllyniemi).

Tässä raportissa esitetään vuoden 2024 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.



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

2. ILMANLAADUN MITTAUSTULOKSET

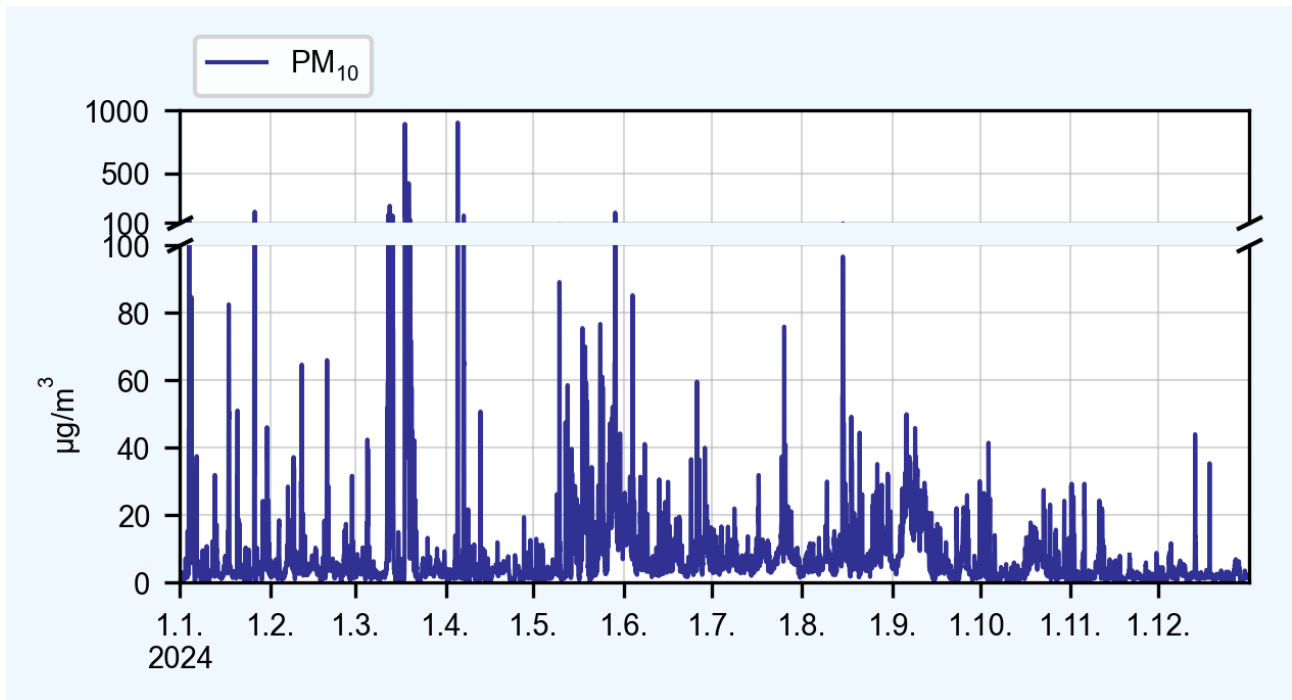
2.1 Mitatut pitoisuudet

Mitattujen hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) ja pienhiukkasten (PM_{2,5}) tunti- ja vuorokausipitoisuudet vuonna 2024 on esitetty kuvissa 2–5. Raportin lopussa oleviin liitetaulukoihin 2–3 on lisäksi koottu kuukausittaisia tilastotietoja mitatuista PM₁₀- ja PM_{2,5}-hiukkasten pitoisuuksista mittausjaksoilta. Mittaukset suoritettiin jatkuvatoimisilla automaattisilla mittalaitteilla. Mittauspaikka on esitelty tarkemmin raportin kappaleessa 4.1 ja mittausmenetelmiä sekä käytettyjä laitteita on kuvattu tarkemmin kappaleessa 4.2.

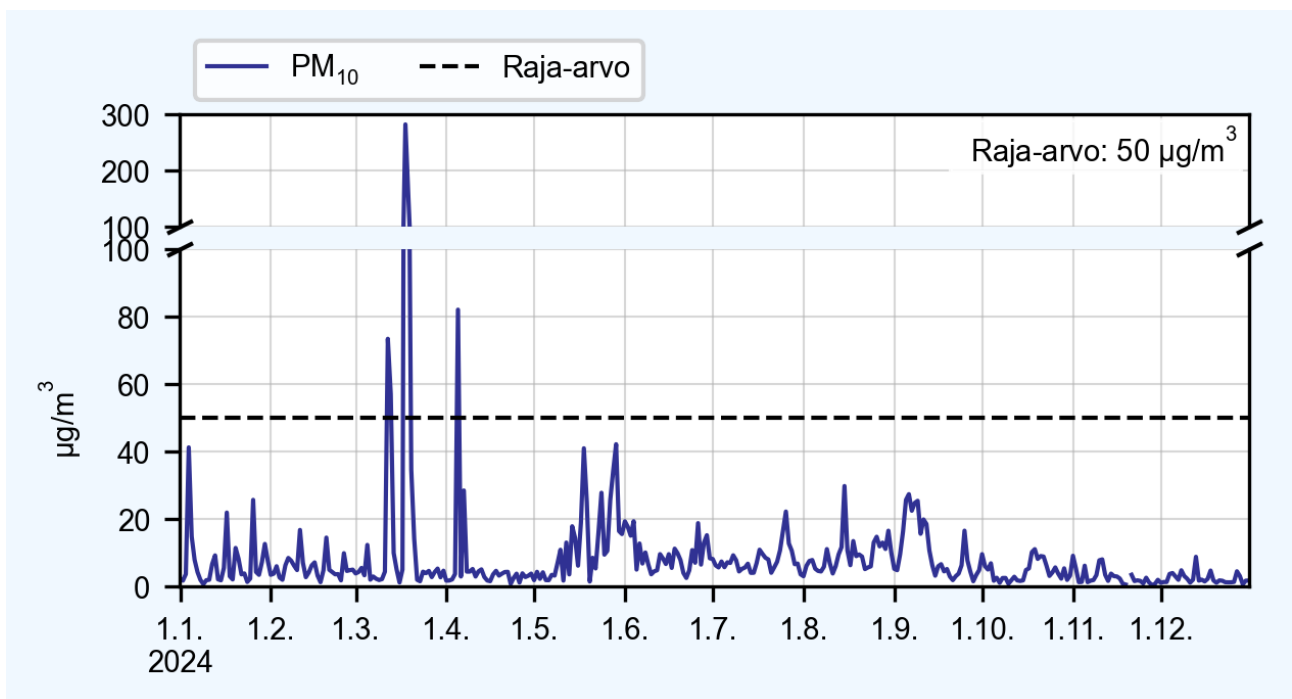
Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet vaihtelivat vuoden tarkastelujaksolla voimakkaasti Taattolan mittauspisteessä. Hetkellisten tuntipitoisuuksien vaihtelu oli merkittävästi suurempaa kuin vuorokausikeskiarvopitoisuuksien vaihtelu. Vuoden 2024 pitoisuuskeskiarvot 8,7 µg/m³ hengitettävillä hiukkasilla (PM₁₀) sekä 3,4 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 mitausasemalla 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), sekä vuonna 2023 samassa paikassa kuin vuonna 2024. Eri vuosina mitatut keskiarvopitoisuudet on esitetty taulukossa 1. Aiempien vuosien ja vuoden 2024 mittausjaksojen vuosikeskiarvopitoisuudet eivät ole suoraan vertailukelpoisia, koska mittausajankohdat sijoittuvat eri vuodenaikoihin ja mittaukset on suoritettu eri paikoissa. Ilmanlaatulainsäädäntö edellyttää, että jatkuvien mitausten ajallinen kattavuus on oltava 100 % kattaen näin ollen kaikki vuodenajat sekä aineiston vähimmäismäärä on oltava vähintään 90 % (85 % ottaen huomioon huollot ja kalibroinnit) vuoden tunneista, jotta raja-arvoon verrannollista vuosikeskiarvopitoisuutta voidaan arvioida luotettavasti. Mikäli mitausten ajallinen kattavuus on tätä pienempi, mittaukset luokitellaan suuntaa antaviksi ja silloin niiden ajallinen kattavuus tulee olla vähintään 14 % vuoden tunneista. Vuoden 2024 ajallisen kattavuuden ja aineiston vähimmäismäärätavoitteet täyttyivät.

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.

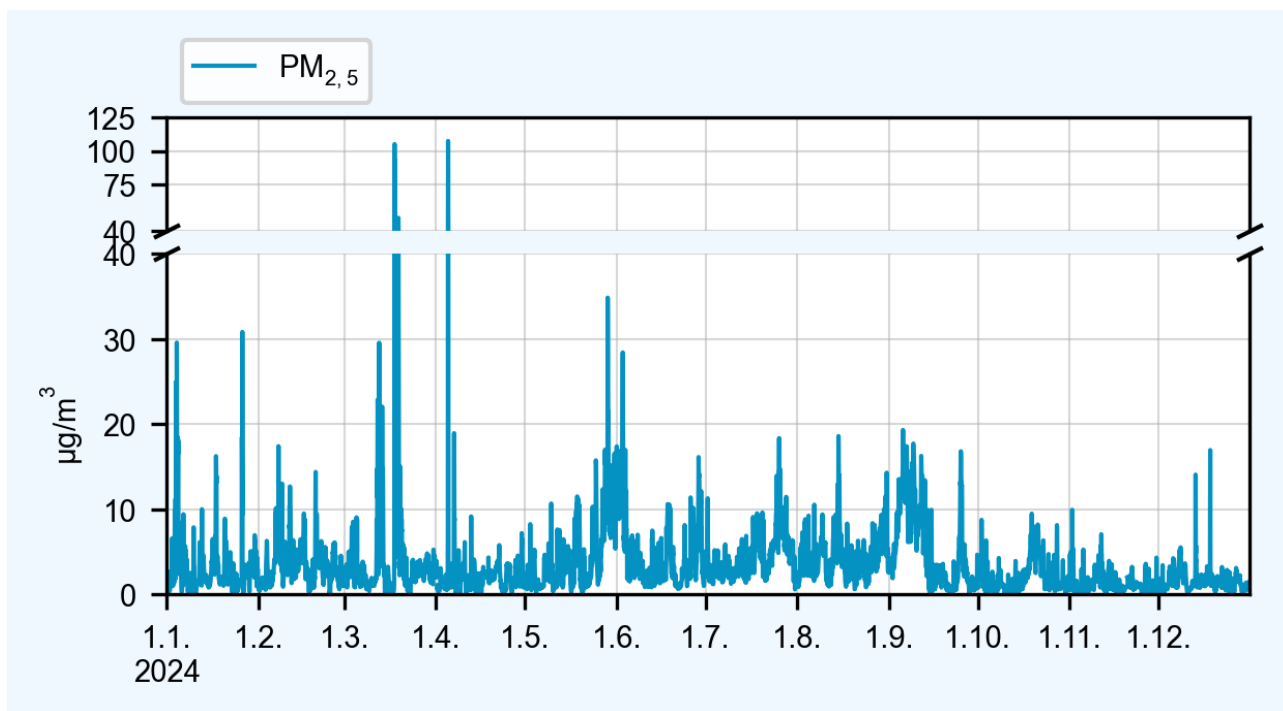
Taattolassa mitattiin kohonneita hengitettävien hiukkasten tuntipitoisuuksia maalis- ja huhtikuussa, ja korkeimmillaan pitoisuudet olivat 18.3. klo 0:00-2:00 (807–893 µg/m³, vrk-pitoisuus 283 µg/m³) ja 5.4. klo 3:00-4:00 (905 µg/m³, vrk-pitoisuus 82 µg/m³) välisinä aikoina (kuva 2). Korkeiden pitoisuuksien aikaan 17.–19.3. suurimmat pitoisuudet mitattiin tuullessa keskimäärin lännen ja lounaan puolelta ja 5.4. aikaan tuullessa lounaan puolelta. Tuulen nopeudet ovat olleet heikkoja ja miltei tyyniä. Korkeat pitoisuudet ovat voineet johtua teollisuusalueen toiminnasta yhdistettynä voimakkaaseen maanpinnan lämpötilainversioon (liitekuvat 11–12). Terrafamelta saadun tiedon mukaan pölynsidontaa ei oltu vielä aloitettu kaivoksella ja teiden kastelu ei ollut mahdollista pakkasten takia. 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. Kaukokulkeumaa raportointiin Suomessa maaliskuun alkupuolella, toukokuun loppupuolella, syyskuun alkupuolella sekä lokakuun loppupuolella, mikä on vaikuttanut myös Taattolassa mitattuihin hiukkaspitoisuuksien pohjatasoihin, varsinkin PM_{2,5}-pitoisuuksiin.



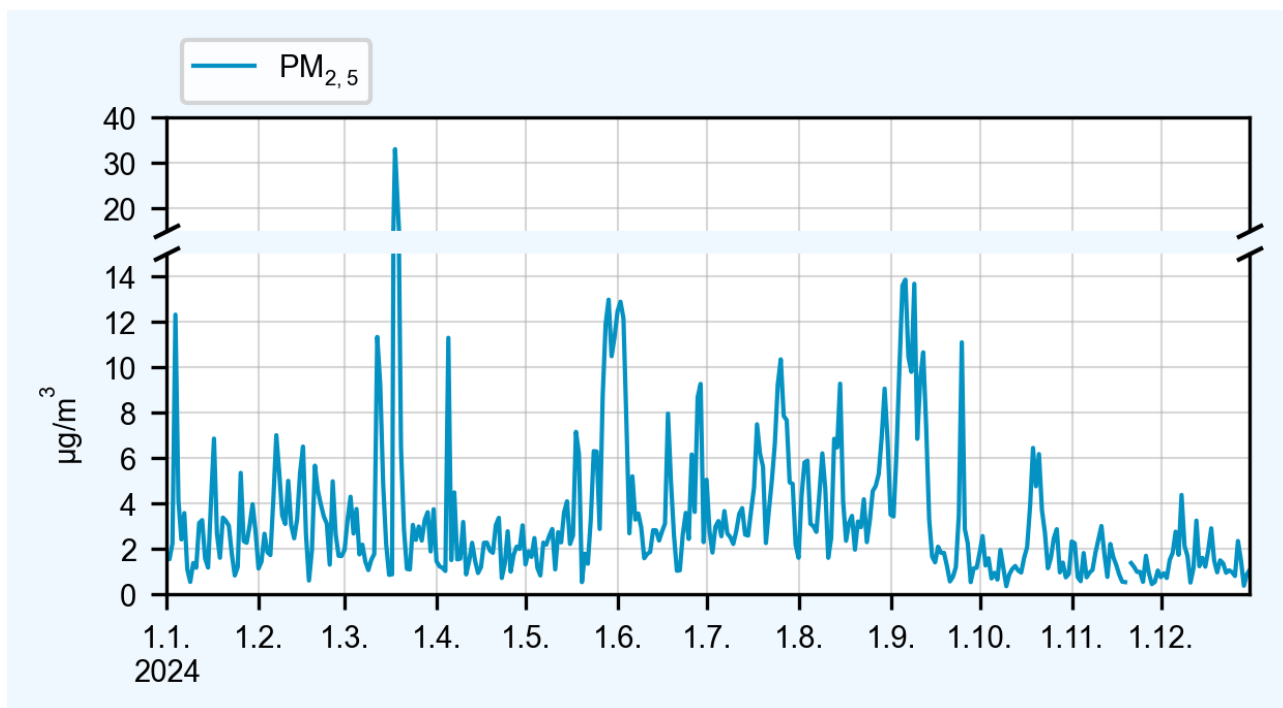
Kuva 2. Terrafame Oy:n Taattolan ilmanlaadun mittausasemalla vuonna 2024 mitatut PM₁₀-hiukkasten tuntipitoisuudet. Hengitettävien hiukkasten tuntipitoisuuksille ei ole raja-arvoja. Tässä kuvassa Y-akseli on katkaistu siten, että pienet ja suurimmat pitoisuudet on saatu skaalattua samaan kuvaajaan. Katkaistu akselien käyttö näkyy kuvatekstissä.



Kuva 3. Terrafame Oy:n Taattolan ilmanlaadun mittausasemalla vuonna 2024 mitatut PM₁₀-hiukkasten vuorokausipitoisuudet. Kuvaan on merkitty katkoviivalla hengitettävien hiukkasten raja-arvotaso. Vuorokausiraja-arvotason 50 µg/m³ ylityksiä saa olla 35 kappaletta vuodessa. Tässä kuvassa Y-akseli on katkaistu siten, että pienet ja suurimmat pitoisuudet on saatu skaalattua samaan kuvaajaan. Katkaistu akselien käyttö näkyy kuvatekstissä.



Kuva 4. Terrafame Oy:n Taattolan ilmanlaadun mittausasemalla vuonna 2024 mitatut PM_{2,5}-hiukkasten tuntipitoisuudet. Pienhiukkasten tuntipitoisuuksille ei ole raja-arvoja. Tässä kuvassa Y-akseli on katkaistu siten, että pienet ja suurimmat pitoisuudet on saatu skaalattua samaan kuvaajaan. Katkaistu akseleiden käyttö näkyy kuvatekstissä.



Kuva 5. Terrafame Oy:n Taattolan ilmanlaadun mittausasemalla vuonna 2024 mitatut PM_{2,5}-hiukkasten vuorokausipitoisuudet. Pienhiukkasten vuorokausipitoisuuksille ei ole raja-arvoja. Tässä kuvassa Y-akseli on katkaistu siten, että pienet ja suurimmat pitoisuudet on saatu skaalattua samaan kuvaajaan. Katkaistu akseleiden käyttö näkyy kuvatekstissä.

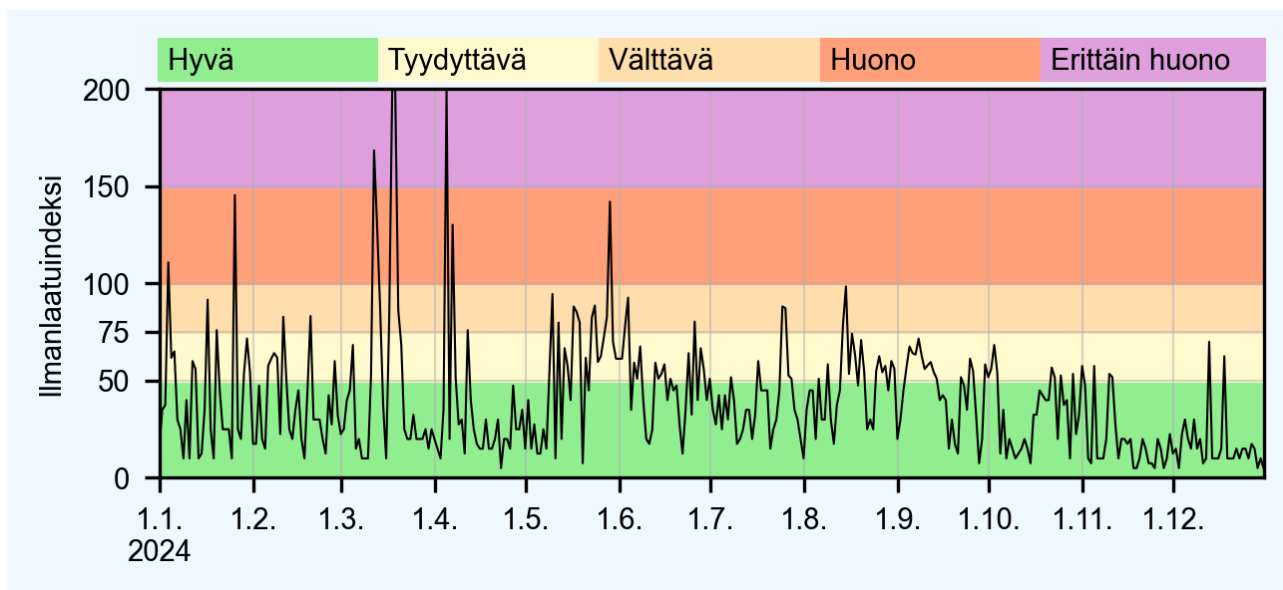
Taulukko 1. Terrafamen Tehdasalueen, Myllyniemen ja Taattolan mittausasemilla eri ajanjaksoina mitatut hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) keskiarvopitoisuudet.

Mittausjakson PM ₁₀ -keskiarvopitoisuus	2008–2009 (6 kk) (µg/m ³)	2015–2016 (8,5 kk) (µg/m ³)	2022 (12 kk) (µg/m ³)	2023 (8,5 kk) (µg/m ³)	2024 (12 kk) (µg/m ³)
Tehdasalue	16	24	14	-	-
Myllyniemi	7	8	10	-	-
Taattola	-	-	-	8	9

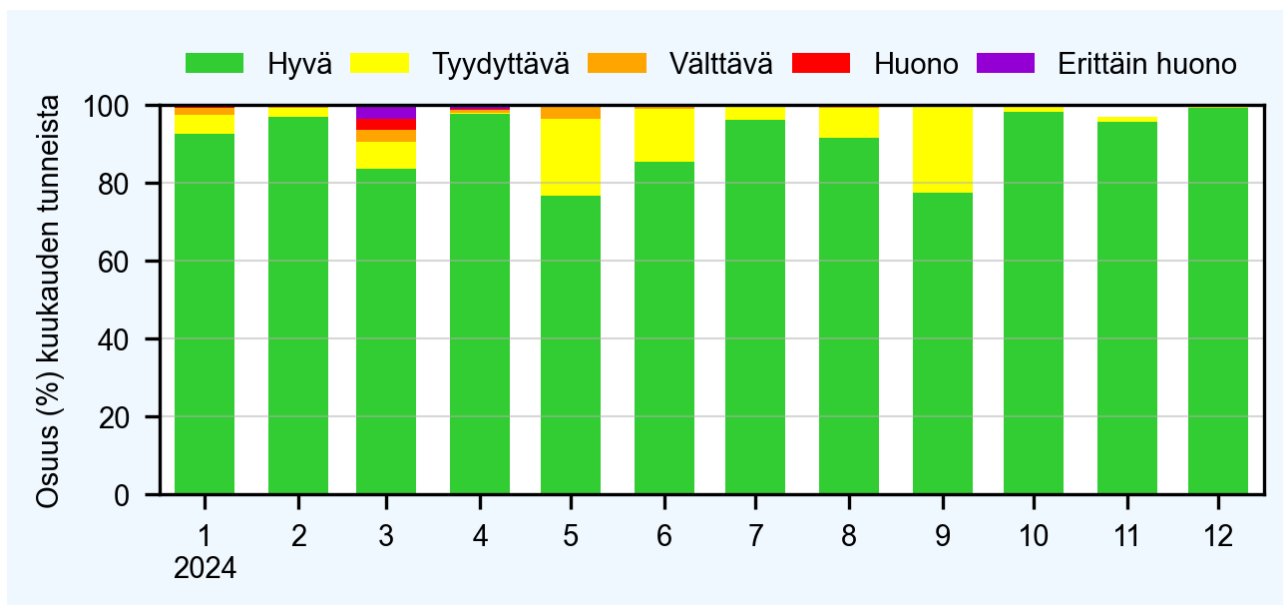
2.2 Ilmanlaatuindeksi

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 sekä kuvassa 7 on esitetty kunkin kuukauden tuntien jakautuminen ilmanlaatuindeksin luokkiin Terrafamen Taattolan ilmanlaadun mittausasemalla vuonna 2024. Indeksillä ilmaistuna ilmanlaatu oli mittausasemalla hyvää 67,8 %, tyydyttävää 23,5 %, välttävää 6,3 %, huonoa 1,4 % ja erittäin huonoa 1,1 % päivistä (4 päivää). Erittäin huonot ilmanlaadun päivät olivat 12.3., 18.3., 19.3. ja 5.4. Hengitettävillä hiukkasilla oli ilmanlaatuun suurempi vaikutus kuin pienhiukkasilla ja ne aiheuttivat huonon ilmanlaadun 58,5 % päivistä, siinä missä pienhiukkaset aiheuttivat 41,5 % huonoista päivistä.



Kuva 6. Vuorokauden suurimmat ilmanlaatuindeksin arvot Taattolan ilmanlaadun mittauspisteessä vuonna 2024.



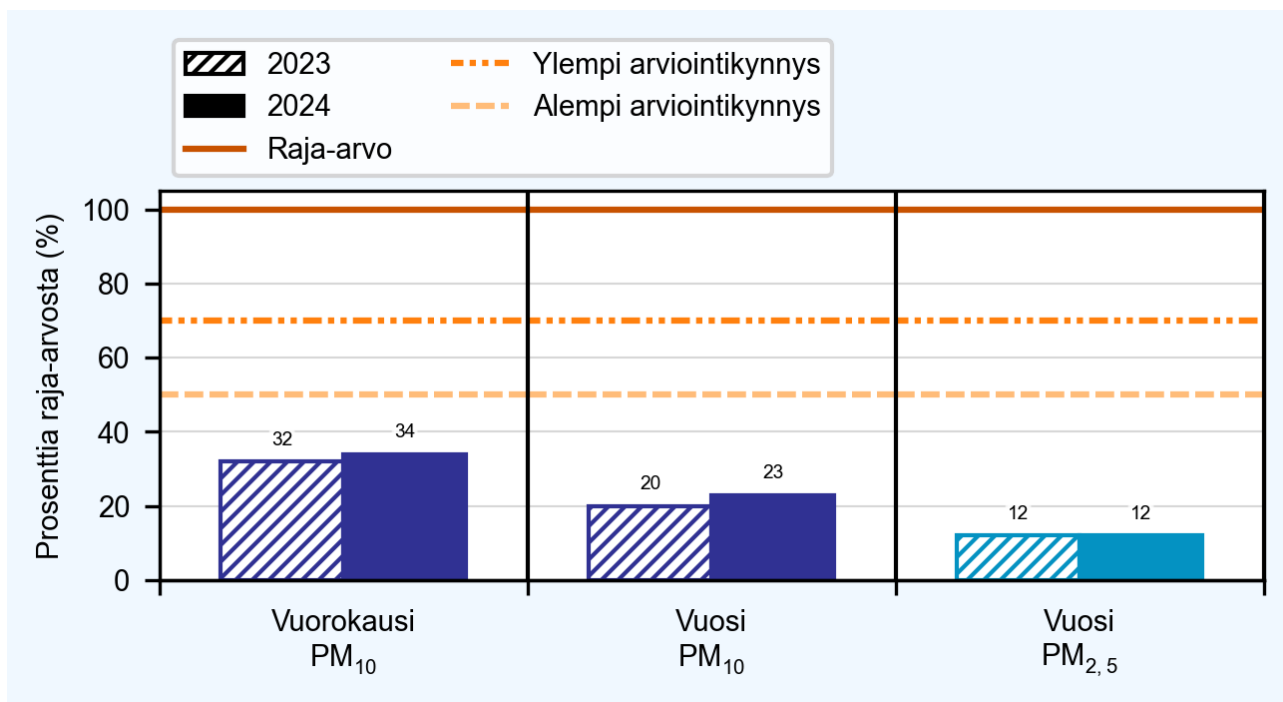
Kuva 7. Ilmanlaatuindeksin tuntiarvojen jakautuminen prosentuaalisesti eri luokkiin (hyvä, tyydyttävä, välttävä, huono, erittäin huono) kuukauden mukaan Taattolan ilmanlaadun mittauspisteessä vuonna 2024.

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, joilla asuu ja oleskelee ihmisiä. Raja-arvot eivät ole voimassa liikenneväylillä ja teollisuusalueilla, jonne ihmisillä ei ole vapaata pääsyä. Kansallisilla ohjearvoilla sen sijaan yritetään ohjata kaavoitusta niin että esim. rakennetaan 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 kappaleessa 6.4 ja 6.5. Ilmanlaadun raja-arvotarkasteluissa vertailujakso on yksi kalenterivuosi.

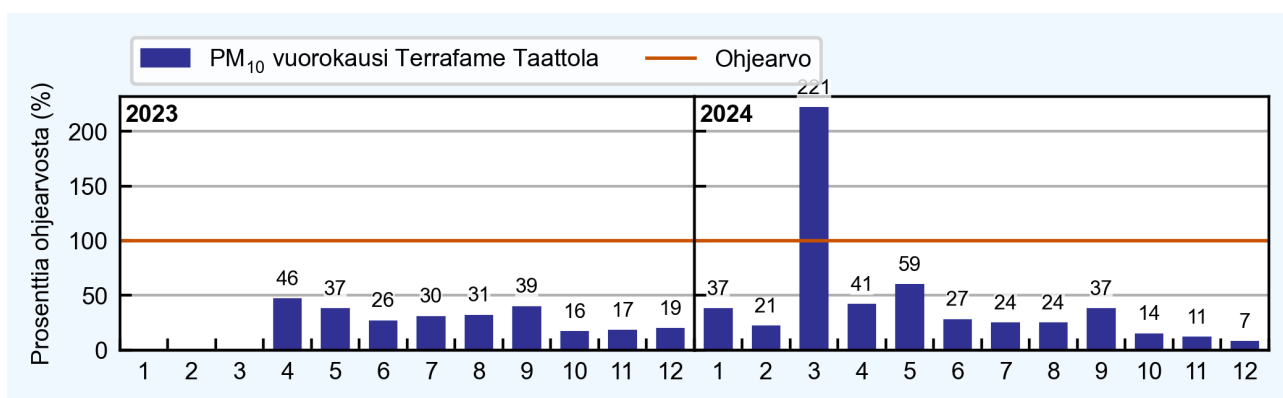
Kuvassa 8 on esitetty vertailut Taattolan ilmanlaadun mittausasemalla havaituista hengitettävien hiukkasten ja pienhiukkasten vuosiraja-arvoon, vuorokausiraja-arvoon ja arviointikynnyksiin verrannollisista pitoisuuksista. Hengitettävien hiukkasten sisältämistä arseeni- ja metallipitoisuuksista ja niiden tavoitearvoihin verrannollisista pitoisuuksista on kerrottu kappaleessa 2.6. Taattolan asemalla mitatut pitoisuudet jäivät selvästi raja-arvojen ja arviointikynnysten alapuolelle. Vuonna 2024 Taattolan asemalla hengitettävien hiukkasten pitoisuudet olivat korkeimmillaan 34 % vuorokausiraja-arvosta ja 23 % vuosiraja-arvosta. Hengitettävien hiukkasten vuorokausiraja-arvotason $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ylityksiä tuli vuonna 2024 5 kpl 12.3., 13.3., 18.3., 19.3. ja 5.4. Ylityspäiviä saa olla mittausasemalla 35 kappaletta vuodessa ennen kuin vuorokausiraja-arvo katsotaan ylittyneeksi. Mitatut pienhiukkaspitoisuudet Taattolan asemalla jäivät myös selvästi vuosiraja-arvon ja arviointikynnyksien alapuolelle. 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. Vuonna 2024 ajallisen kattavuuden ja aineiston vähimmäismäärän tavoitteet täyttivät molemmat.



Kuva 8. Hengitettävien hiukkasten ja pienhiukkasten raja-arvoon verrattavat pitoisuudet suhteessa (%) raja-arvoihin Taattolan mittauspisteessä vuosina 2023–2024. Kuvaan on merkitty vaakaviivoilla raja-arvotaso sekä ylempi ja alempi arviointikynnys. Etukenotaustaviivoitus kuvaa vuotta 2023 ja tasavärinen vuotta 2024.

Kuvassa 9 on esitetty hengitettävien hiukkasten ohjearvoon (70 µg/m³) verrannolliset kuukauden 2. korkeimmat vuorokausikeskiarvopitoisuudet Terrafamen Taattolan ilmanlaadun mittausasemalta. Ohjearvotaso ylittyi maaliskuussa vuonna 2024, jolloin hengitettävien hiukkasten ohjearvoon verrannolliset pitoisuudet olivat korkeimmillaan, 221 % ohjearvosta. Ohjearvoon vertaaminen edellyttää, että vuorokausipitoisuuksia on vähintään 75 % kuukauden vuorokausien lukumäärästä. Tämä vaatimus täyttyi kaikkina kuukausina vuonna 2024.

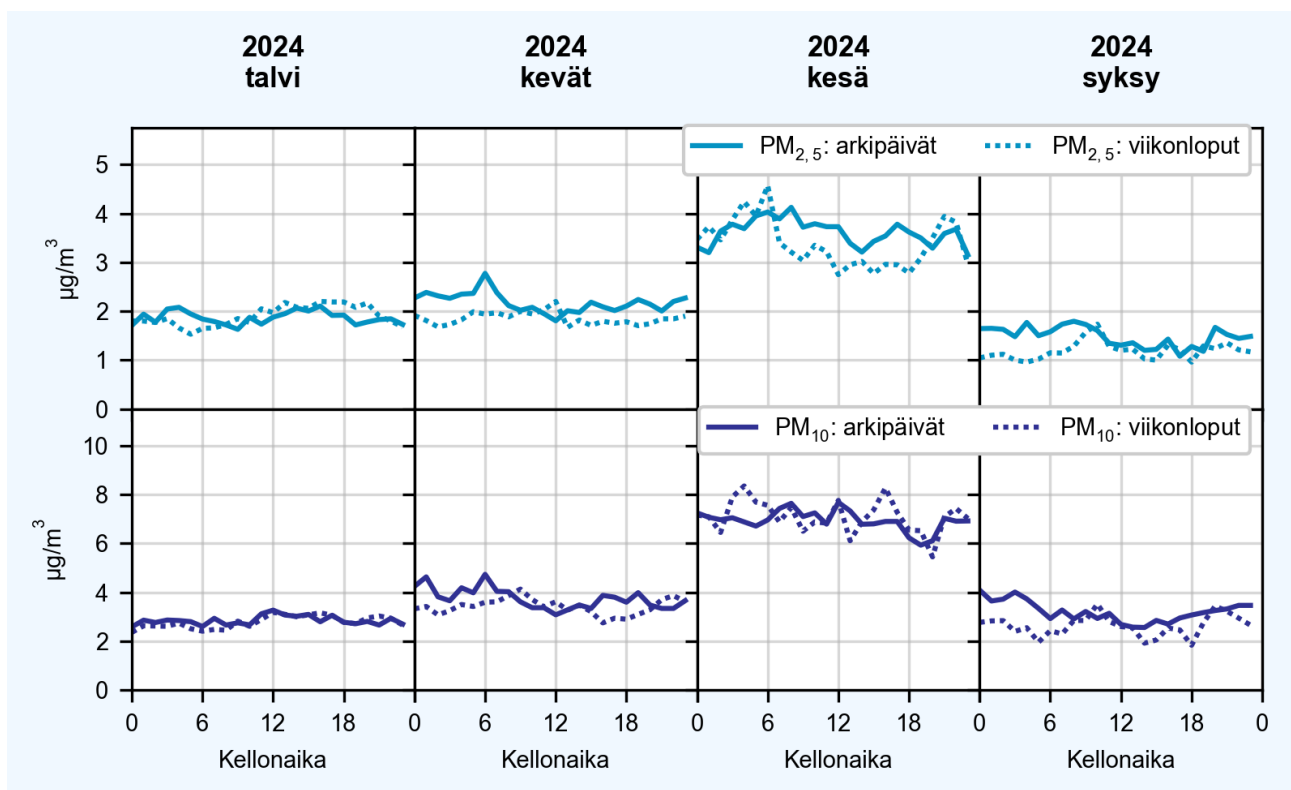


Kuva 9. Hengitettävien hiukkasten ohjearvoon verrattavat vuorokausikeskiarvopitoisuudet kuukausittain Terrafamen Taattolan mittausasemalla ajanjaksona 15.4.–31.12.2023 sekä vuodelta 2024. Vaakaviivalla (100 %) on merkitty ohjearvotaso (70 µg/m³) kuukauden 2. korkeimmille vuorokausipitoisuuksille.

2.4 Pitoisuuksien ajallinen vaihtelu

Kuvassa 10 on tarkasteltu Terrafamen Taattolan ilmanlaadun mittausasemalla mitattujen hengitettävien hiukkasten ja pienhiukkasten pitoisuuksien tuntikohtaisten *keskilukujen* 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 10 on korkeammat pienhiukkasten pitoisuustasot kesällä, joihin on voinut vaikuttaa osaltaan muun muassa metsäpaloista tulleet ja kaukokulkeutuneet hiukkaset, mutta myös kuivan maan herkempi pölyäminen. Myös hengitettävien hiukkasten osalta on nähtävissä, että pitoisuustasot ovat korkeammat kuivan maan aikaan kesällä.

Selkeää eroa ei arkipäivien ja viikonloppujen välillä havaittu. Pitoisuuksiin vaikuttavat teollisuuden pölyvien 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. Mittausaseman lähellä liikenne on vähäistä. Ympäristön pölyämistä voi tapahtua mihin tahansa vuorokaudenaikaan viikon kaikkina päivinä. Lisäksi kuvaajien muotoon vaikuttavat myös kaukokulkeumaepisodien ajankohdat sekä teollisuuden päästöistä peräisin olevat hiukkaset.



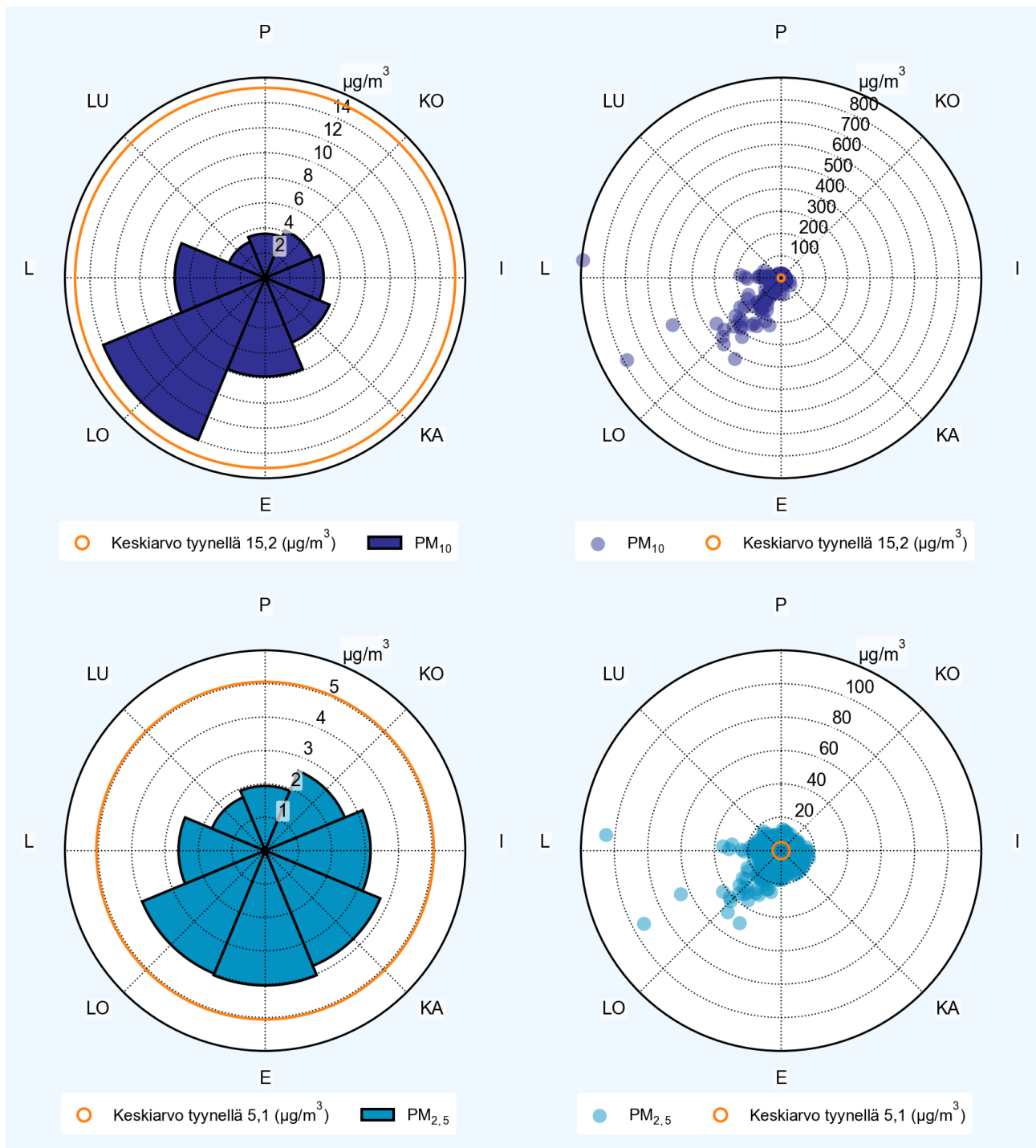
Kuva 10. Mitattujen pitoisuuksien tuntikohtaisten keskilukujen ajallinen vaihtelu vuorokaudenajan, viikonpäivän sekä vuodenaikan mukaan Terrafamen Taattolan mittausasemalla vuonna 2024. Arkipäiviä ovat ma-pe, viikonloppuja ovat la-su ja vuodenaikat ovat talvi: tammi-, helmi- ja joulukuu; kevät: maaliskuu, huhti- ja toukokuu; kesä: kesä-, heinä- ja elokuu; syksy: syys-, loka- ja marraskuu.

2.5 Tuulen suunnan ja nopeuden vaikutus mitattuihin pitoisuuksiin

Kuvassa 11 on havainnollistettu Taattolan ilmanlaadun mittausasemalla mitattujen hengitettävien hiukkasten ja pienhiukkasten pitoisuuksien keskimääräistä riippuvuutta tuulensuunnasta ns. pitoisuusruusun ja napakoordinaatistoon piirretyn pistekaavion avulla. 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 etäisyys keskipisteestä kuvaa pitoisuuden arvoa. Muilla tuulennopeuksilla havaitut pitoisuudet on esitetty tuulen suunnittaisina sektoreina, joissa etäisyys keskipisteestä vastaa tuntipitoisuuksien keskiarvoa.

Vuonna 2024 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 lähdeä ja sijaintia ei pystytä tarkasti määrittelemään. Kovemmilla tuulennopeuksilla pystytään selkeästi päättämään, mistä suunnasta mitatut pitoisuudet ovat peräisin. Taattolan mittausaseman hengitettävien hiukkasten pitoisuusruusun mukaan tuntipitoisuuksien keskiarvot olivat suurimmillaan lounaan puoleisilla tuulilla sekä tyynellä. Aseman etelän ja lounaan välisellä suunnalla on tuotanto- ja kaivosaluetta. Asemasta idän ja etelän välisellä sektorilla on lähirakennuksia sekä peltoja, joissa toiminnat, kuten puunpoltto ja ajot pelloilla, ovat voineet aiheuttaa korkeampia pitoisuuksia mittausjakson aikana. Pienhiukkasten pitoisuusruusun mukaan tuntipitoisuuksien keskiarvot olivat suurimmillaan kaakko-lounassektorilla, mutta selvästi matalammat kuin tyynellä.

Kuvassa 13 on esitetty Terrafamen Taattolan mittausasemalla mitattujen hengitettävien hiukkasten yksittäisten tuntipitoisuuksien riippuvuus tuulen suunnasta alueen ilmakuvan päälle asetettuna. Mittausasemalla eniten korkeampia pitoisuuksia mitattiin lounaan ja lännen suunnista puhaltavilla tuulilla. Lounaassa sijaitsee kaivosalue, mutta lännessä ei ole muita mahdollisia kiinteitä lähteitä lähitöllä kuin pari rakennusta. Kuvassa 12 on esitetty vastaava kuva pienhiukkasille. Pienhiukkasten yksittäiset korkeammat pitoisuudet mitattiin niin ikään lounaan ja lännen suunnilta.



Kuva 11. TerraFame Taattolan mittausasemalla mitattujen hengitettävien hiukkasten ja pienhiukkasten keskiarvot tuulensuunnittain (vasen), sekä yksittäiset tuntipitoisuudet pistekaaviona napakoordinaatistossa (oikea) vuonna 2024. Ympyrällä (oranssi) on merkitty pitoisuuksia, jotka on mitattu tyynissä tilanteissa. Tyyniksi on tässä tarkastelussa luokiteltu tuulet, joiden nopeus on alle 0,5 m/s.

2.6 Hengitettävien hiukkasten sisältämät arseeni- ja metallipitoisuudet

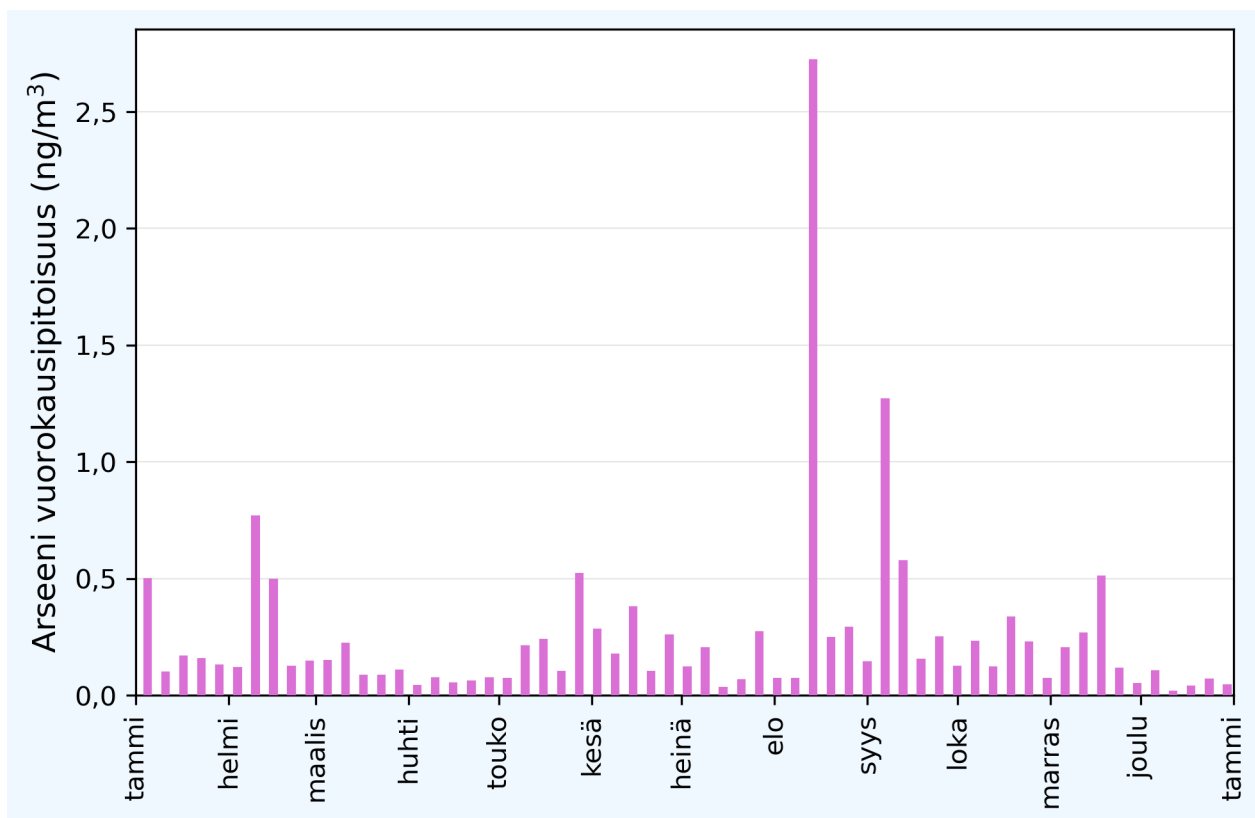
Terrafamen Taattolan mittauspisteessä kerättiin suodattimille hengitettävien hiukkasten vuorokausinäytteitä, joista analysoitiin laboratoriossa arseeni ja metallipitoisuudet. Näytteitä kerättiin joka kuudes päivä vuonna 2024. Asemalta saatiin kerättyä ja analysoitua onnistuneesti kaikki keräyssuunnitelman 61 näytettä.

Raportin päätekstissä keskitytään mitatuista metallipitoisuuksista vain kadmiumin, nikkelin ja lyijyn pitoisuuksiin sekä arseeniin, 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 vuosikeskiarvopitoisuudet olivat selvästi korkeimmat (169 ng/m³ ja 166 ng/m³) ja muuten pitoisuudet olivat alle 10 ng/m³. Muiden metallipitoisuuksien mittaustuloksia tarkastellaan tarkemmin loppuliitteissä. Ilmanlaadun kannalta tärkeimpien metallien ja arseenin pitoisuustulokset vuonna 2024 on esitetty taulukossa 2, johon on koottu mittausjakson pitoisuuskeskiarvo, suurin ja pienin arvo sekä hajonta.

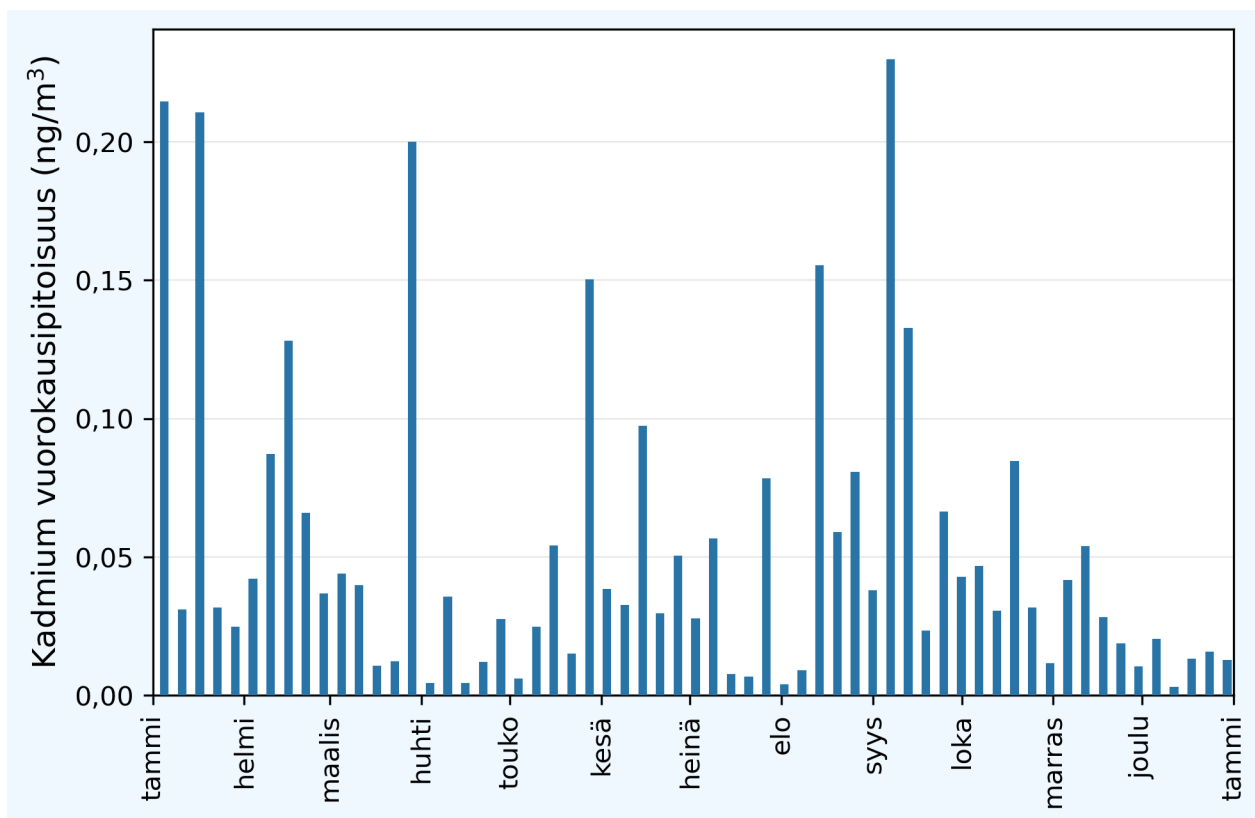
Arseenin, kadmiumin, nikkelin ja lyijyn pitoisuustulokset on esitetty lisäksi näytteittäin kuvissa 14–17. Muiden hengitettävistä hiukkasista analysoitujen metallien (alumiini, koboltti, kupari, kromi, mangaani, rauta, sinkki, vanadiini ja uraani) pitoisuustulokset on esitetty näytteittäin sekä keskiarvona vuodelta 2024 raportin lopussa liitekuvin 1–10. Yksittäisten näytteiden välinen pitoisuuksien vaihtelu oli suurta kaikilla alkuaineilla lukuun ottamatta uraania ja kadmiumia. Yleisesti metallipitoisuuksissa ei ollut havaittavissa selkeää vuodenaikaisvaihtelua. Kesäkuukausina raudan ja lyijyn pitoisuudet olivat selvästi suuremmat kuin kevät talvesta, keväällä ja loppuvuodesta. Vuoden alussa 4.1.2024 havaittiin korkeampi piikki useilla alkuaineilla, sinkillä, mangaanilla, nikkelillä, kuparilla, alumiinilla ja raudalla. Hengitettävien hiukkasten vuorokausipitoisuus oli tällöin 41 µg/m³. Kyseisenä päivänä on ollut hyvin työntä ja tuuli heikkoa. Hiukkaset ovat tulleet asemalle pääasiassa lännen ja luoteen väliseltä suunnalta.

Arseenin pitoisuudet olivat mittausjakson aikana korkeimmillaan 13.8. Hiukkasten vuorokausipitoisuudet olivat kuitenkin alhaiset, alle 10 µg/m³. Kyseisenä päivänä hiukkaset ovat tulleet asemalle idän ja pohjoisen väliseltä sektorilta. Lyijyn pitoisuudet olivat mittausjakson aikana korkeimmillaan 24.9. Kyseisenä päivänä hiukkaset ovat tulleet asemalle etelästä. Mittausjakson pitoisuuskeskiarvot alittivat raja- ja tavoitearvotason sekä alemman arviointikynnyksen tason. Arseeni- ja metallipitoisuuksien koko vuoden 2024 keskiarvojen vertailu tavoite- tai raja-arvoihin on esitetty kuvissa 18–19. Arseeni-, kadmium- ja lyijypitoisuuksien mittausjakson keskiarvot olivat pyöristyssääntöjä käyttäen 0 % raja- tai tavoitearvoista, koska pitoisuuskeskiarvot mittausjaksolla olivat hyvin lähellä nollaa tavoitearvon ollessa arseenille 6 ng/m³ ja kadmiumille 5 ng/m³ sekä raja-arvon ollessa lyijylle 0,5 µg/m³. Nikkelipitoisuuden mittausjakson keskiarvo oli 20 % tavoitearvosta. Näistä johtuen kuvassa 18 ei näy lyijylle prosenttipalkkia ja kuvassa 19 ei näy ollenkaan prosenttipalkkeja, paitsi nikkelille.

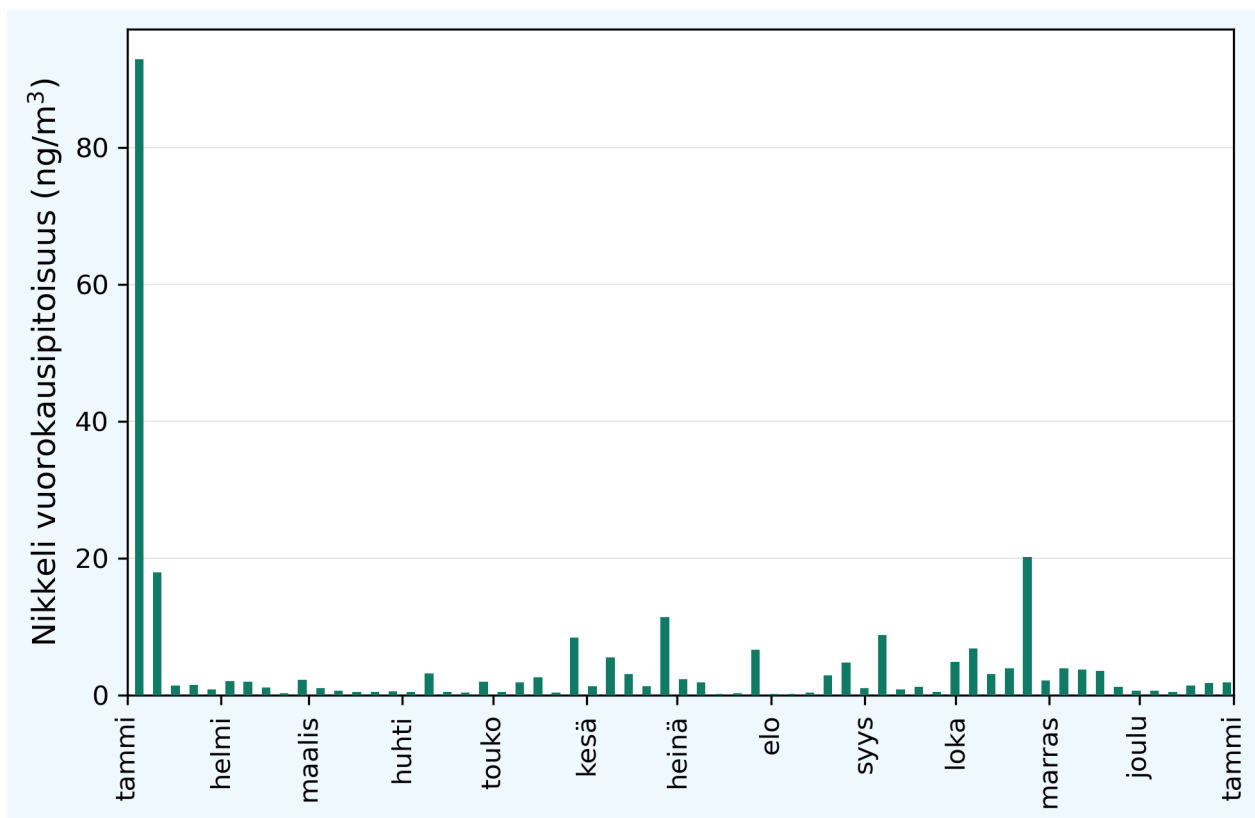
Tarkastellessa suurimpia arseenin, kadmiumin, nikkelin ja lyijyn pitoisuuksia, voidaan sanoa, että suurimpien havaittujen pitoisuuksien aikaan tuuli pääasiassa etelän, lännen ja lounaan puolelta (liitetaulukko 1).



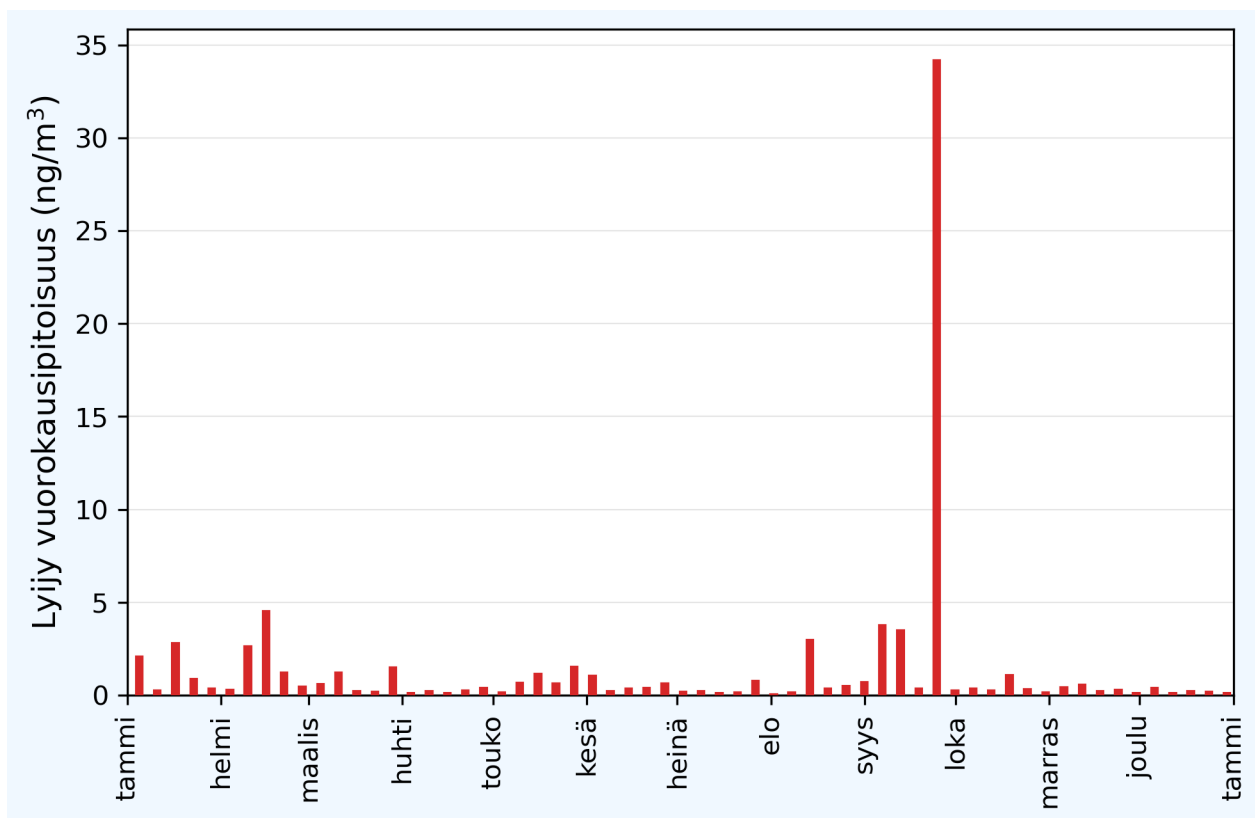
Kuva 14. Terrafame Taattolassa mitatut arseenipitoisuudet vuonna 2024.



Kuva 15. Terrafame Taattolassa mitatut kadmiumpitoisuudet vuonna 2024.



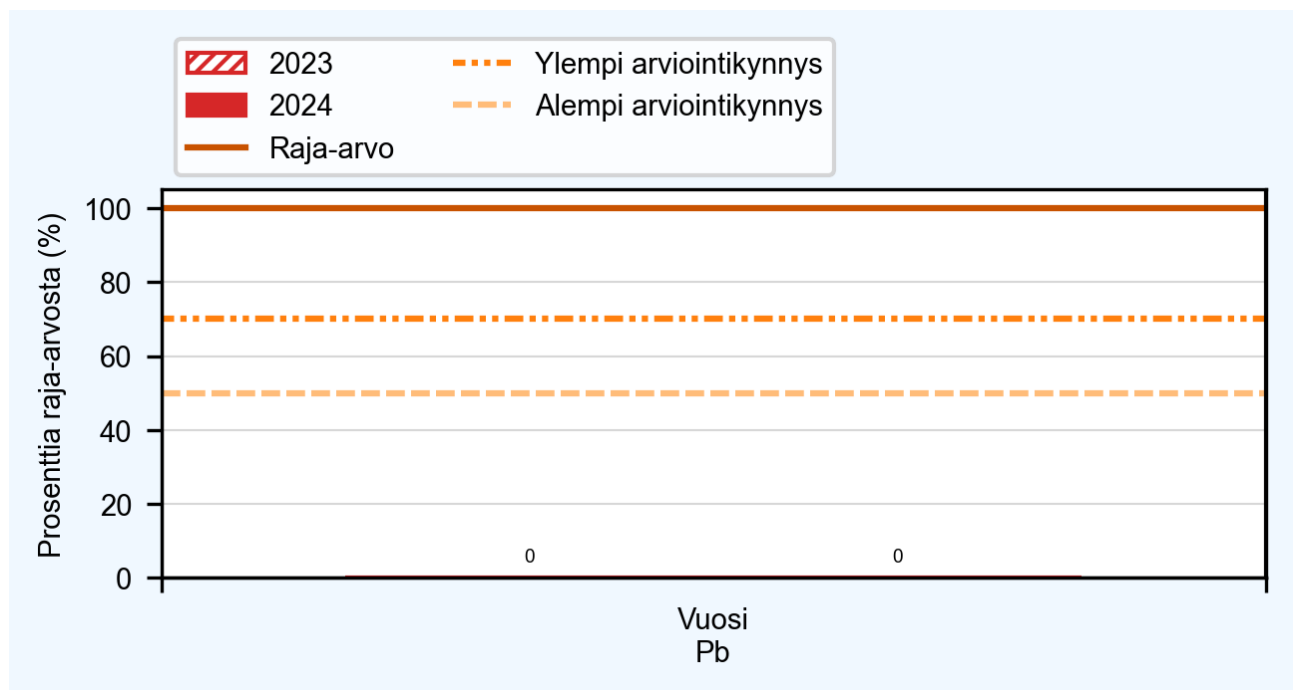
Kuva 16. Terrafame Taattolassa mitatut nikkelpitoisuudet vuonna 2024.



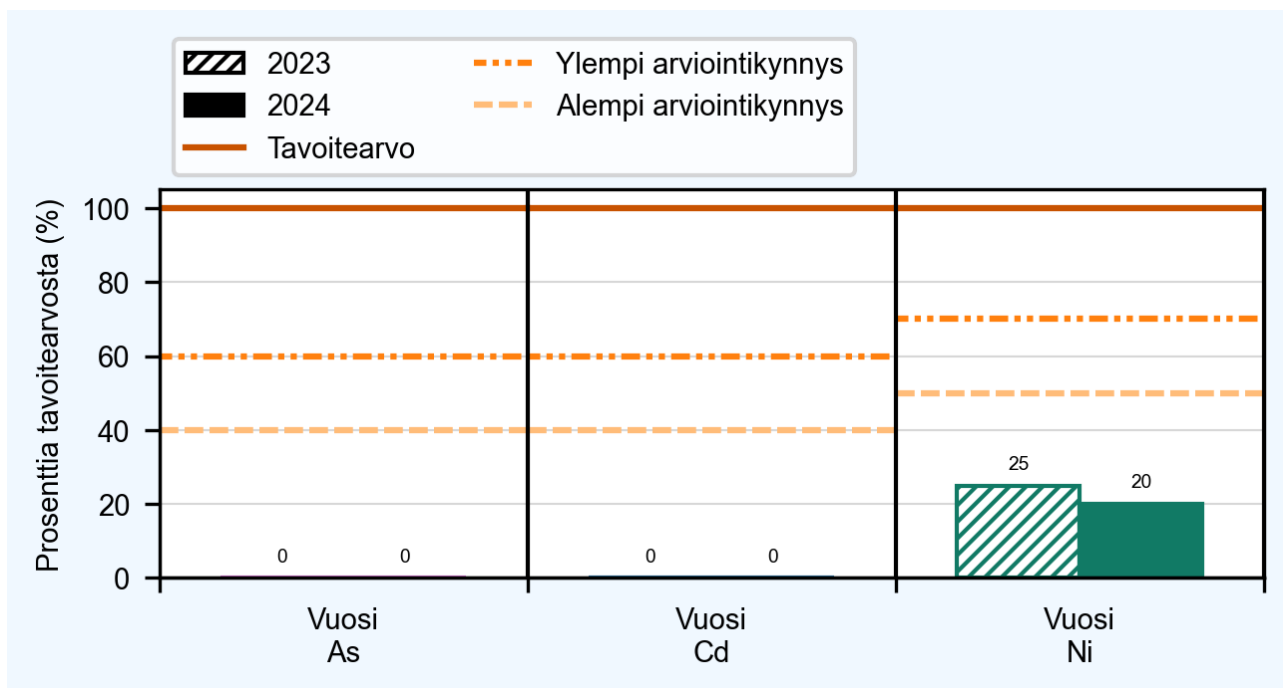
Kuva 17. Terrafame Taattolassa mitatut lyijypitoisuudet vuonna 2024.

Taulukko 2. Terrafamen Taattolan ilmanlaadun mittausasemalla vuonna 2024 kerätyistä hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) vuorokausinäytteistä analysoidut arseeni- ja metallipitoisuudet (vuosikeskiarvo, minimi, maksimi ja hajonta), joista vuosikeskiarvoa verrataan ilmanlaadun yhdisteen tavoite- tai raja-arvoon.

	Arseeni (As) (ng/m ³)	Kadmium (Cd) (ng/m ³)	Nikkeli (Ni) (ng/m ³)	Lyijy (Pb) (ng/m ³)
Raja-arvo	-	-	-	500
Tavoitearvo	6	5	20	-
Vuosikeskiarvo	0,24	0,05	4,09	1,3
Minimi	0,01	0,00	0,02	0,05
Maksimi	2,72	0,23	92,67	34,15
Hajonta	0,38	0,06	12,14	4,39



Kuva 18. Lyijyn pitoisuuskeskiarvot suhteessa (%) vastaavaan ilmanlaadun raja-arvoon Terrafamen Taattolan mittauspisteessä ajalta 15.4.–31.12.2023 sekä vuodelta 2024. Kuvaan on merkitty vaakaviivoilla raja-arvotaso sekä ylempi ja alempi arviointikynnys.

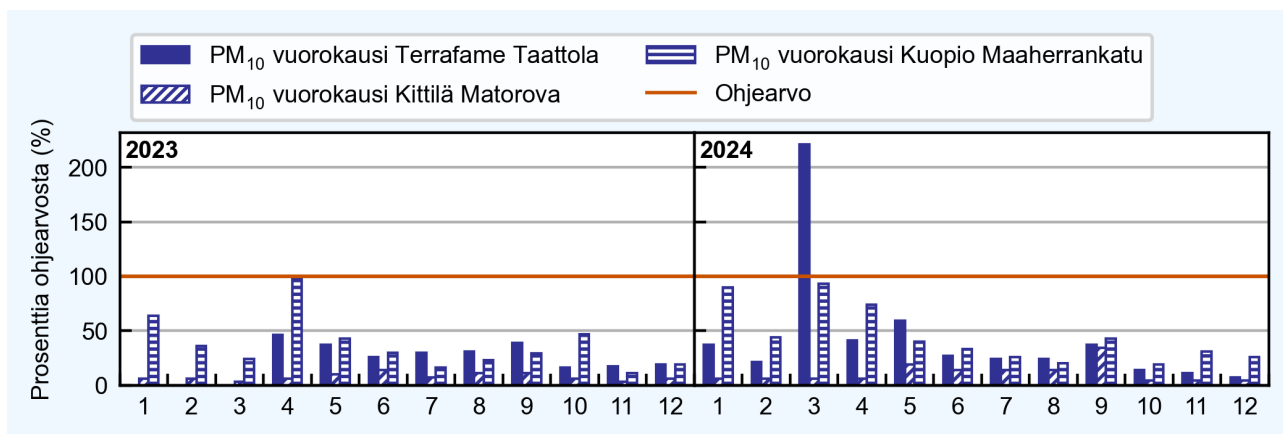


Kuva 19. Arseenin (As), kadmiumin (Cd) ja nikkeli (Ni) pitoisuuskeskiarvot suhteessa (%) vastaavaan ilmanlaadun tavoitearvoon Terrafamen Taattolan mittauspisteessä ajalta 15.4.–31.12.2023 sekä vuodelta 2024. Kuvaan on merkitty vaakaviivoilla tavoitearvotaso sekä ylempi ja alempi arviointikynnys.

2.7 Pitoisuuksien vertailua muualla mitattuihin pitoisuuksiin

Kuvassa 20 on esitetty hengitettävien hiukkasten ohjearvoon verrannollisia pitoisuuksia Terrafamen Taattolan mittausaseman osalta mittausjaksolta 15.4.–31.12.2023 ja vuodelta 2024 sekä Kuopion Maaherrankadulta ja Ilmatieteen laitoksen taustailmanlaadun mittausasemalta Kittilän Matorovalta vuosilta 2023–2024. 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 alhaisempi tai yhtä suuri kuin Kuopion mittausasemalla, lukuun ottamatta maaliskuuta, jolloin Terrafamella mitattiin ohjearvon ylitys.

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 ohjearvoon verrattavat pitoisuudet Matorovalla olivat alhaisempia kaikkina kuukausina verrattuna Terrafamen ympäristössä mitattuihin pitoisuuksiin.



Kuva 20. Terrafamen Taattolan mittausasemalla ajanjaksolla 15.4.–31.12.2023 ja vuonna 2024 sekä Kuopion Maaherrankadulla sekä Kittilässä Matorovan taustamittausasemalla vuosina 2023–2024 mitatut hengitettävien hiukkasten vuorokausiohjearvoon ($70 \mu\text{g}/\text{m}^3$) verrannolliset pitoisuudet ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) kuukausittain. Ohjearvotaso on esitetty punaisella vaakaviivalla.

3. YHTEENVETO MITTAUSTULOKSISTA

Ilmatieteen laitos mittasi Terrafamen kaivospiirin lähialueen ulkoilman laatua vuonna 2024 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 aiemmin 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 pitoisuustasoa 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 67,8 %, tyydyttävää 23,5 %, välttävää 6,3 %, huonoa 1,4 % ja erittäin huonoa 1,1 % päivistä (4 päivää). Erittäin huonot ilmanlaadun päivät olivat 12.3., 18.3., 19.3. ja 5.4. Hengitettävillä hiukkasilla oli ilmanlaatuun suurempi vaikutus ja ne aiheuttivat 58,5 % huonon ilmanlaadun päivistä kun taas pienhiukkaset aiheuttivat 41,5 % 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 raja-arvojen sekä alle arviointikynnysten. Yksi ohjearvon ylitys mitattiin maaliskuussa. Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet olivat 34 % vuorokausiraja-arvosta ja 23 % 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. Taattolassa hengitettävien hiukkasten pitoisuuksille ilmanlaatulainsäädännössä annettu vuorokausiohjearvo ylittyi maaliskuussa ollen 221 % ohjearvosta. 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.

Mitatut hengitettävien hiukkasten pitoisuudet olivat keskimäärin korkeimmat lounaan puoleisilla tuulilla sekä tyynellä, jolloin tuulen nopeus oli alle 0,5 m/s. Tyynellä säällä pitoisuuksien lähdettä 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 mahdollinen puunpoltto ja ajot pelloilla, ovat voineet aiheuttaa hiukkaspitoisuuksia mittausjakson aikana. Suurimmat hiukkaspitoisuudet mitattiin tuullessa kaivokselta päin.

Mitattujen pitoisuuksien tunti- ja vuorokausijakaumien sekä tuulensuuntatarkasteluiden perusteella Taattolan mittauspisteessä pitoisuuksiin vaikutti sekä Terrafamen teollisuusalueen toiminta, että mittauspaikan lähiympäristössä tapahtunut toiminta kuten puunpoltto ja pihapiirin, peltujen ja tien pölyäminen. Tuulen ja liikenteen maanpinnasta ilmaan nostattamat hiukkaset vaikuttavat merkittävästi hiukkasten pitoisuuksiin. Korkeammat metallipitoisuudet havaittiin sekä tuullessa Terrafamen teollisuusalueen suunnalta, etelän, lännen ja lounaan puoleisilla tuulilla, että tyynellä. Osa mitatuista pitoisuuksista johtui siis todennäköisesti Terrafamen teollisuustoiminnasta.

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. Vuoden aika, liikenne, kaukokulkeuma, maan pinnasta tuulen ja liikenteen vaikutuksesta ilmaan nouseva pöly ja sääolosuhteet vaikuttavat hiukkaspitoisuuksiin voimakkaasti. Esimerkiksi sateet alentavat väliaikaisesti ilman epäpuhtauksien pitoisuuksia ja puhdistavat hengitysilmaa. Ilman epäpuhtauksien pitoisuudet nousevat yleensä korkeiksi tyynen tai heikkotuulisen sään aikana ja erityisesti ns. inversiotilanteissa, kun ilmakehän pystysuuntainen lämpötilajakauma estää tai rajoittaa epäpuhtauksien laimenemista pystysuunnassa. Hiukkaspitoisuudet ovat tyypillisesti korkeimmillaan keväisin ns. kevät-pölyaikaan 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 mittausarve Terrafame Oy:n ilmanlaatuvaikutusten arvioimiseksi jatkossa arvioida tehtyjen jatkuvatoimisten mittaustulosten perusteella uudelleen. Jatkuvatoimisten mittausten avulla pystytään arvioimaan kattavasti erilaisten sääolosuhteiden ja vuodenaikojen vaikutuksia pitoisuuksiin. Pitkäaikaiset, useiden vuoden mittaukset mahdollistavat myös ilmanlaadun pitkäaikaistrendien ja kehittymisen seurannan mittauspaikassa. Jatkuvatoimisia mittauksia voidaan hyödyntää myös ilmanlaadun parantamistoimenpiteiden tarpeen arviointiin, toimenpiteiden suunnitteluun ja niiden oikea-aikaiseen toteuttamiseen.

4. TUTKIMUKSEN SUORITUS

4.1 Mittausaseman sijainti

Ilmatieteen laitos mittasi ilmanlaatua Terrafamen kaivospiirin lähialueella Sotkamossa yhdellä mittausasemalla vuonna 2024. Mittausaseman sijainti on esitetty kuvassa 1, ja valokuvia mittausaseman ympäristöstä on esitetty kuvissa 21–22. Taattolan mittauspiste sijaitsee Hakosen järven itäpuolella noin 1,3 kilometrin päässä kaivosalueelta pohjois-koillissuuntaan 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 21. Taattolan ilmanlaadun mittauspiste huhtikuussa 2023. Mittausasema sijaitsee peltoaukealla sorapintaisen tienpäässä. Kuva: Mika Vestenius.



Kuva 22. 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. Mittausasemalla 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/PM2.5)*. PM₁₀/PM_{2,5} hiukkasten gravimetrisen referenssimenetelmä on kuvattu standardissa EN 12341:2014. Ilmatieteen laitoksen käyttämien automaattisten hiukkasanalysointilaitteiden 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 keräimen menetelmä on referenssimenetelmä (EN 12341:2014) hengitettävien hiukkasten pitoisuusmittauksissa ja sillä tulee kerätä myös arseenin, kadmiumin ja nikkelin määrittystä varten otettavat hengitettävien hiukkasten näytteet metalliasetuksen (Vna 113/2017) mukaan. Suodatinnäytteiden keräys kesti kerrallaan vuorokauden (aloitusaika aina klo 00:00) ja näytteitä otettiin joka kuudes vuorokausi. Suodattimien käsittely (mm. pakkaus ja purkaminen) tapahtui ainoastaan akkreditoidussa laboratoriossa ja mittausasemalla käsiteltiin suodatimia vain suodatinkoteloissaan, keräimen suodatinkasetin vaihdon yhteydessä. Näytteistä määritettiin arseenin, kadmiumin, nikkelin, kromin, lyijyn, sinkin, alumiinin, kobolttin, kuparin, raudan, mangaanin, vanadiinin ja uraanin pitoisuudet Suomen ympäristökeskuksen ympäristökemian tutkimuslaboratoriossa. Laboratorion laatujärjestelmä on standardin *SFS-EN ISO/IEC 17025:2017* mukainen ja sen arseeni- ja metallianalyysit on akkreditoitu suodatinnäytteille. Suomen ympäristökeskuksen kemian laboratorio on Turvallisuus- ja kemikaaliviraston akkreditointiyksikön (FINAS) akkreditoima testauslaboratorio T003. Metallien analyysit tehtiin ICP-MS-menetelmällä standardin *SFS-EN 14902:2006* mukaan, mikä on metallidirektiivin mukainen menetelmä arseenille, kadmiumille ja nikkelille. Menetelmä sisältää näytteiden typpihappohajotuksen mikroaaltouunissa. Menetelmällä päästään erittäin pieniin pitoisuuksiin.

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

Taulukko 3. Taattolan asemalla ilmanlaadun mittauksissa käytetyt menetelmät ja laitteet.

Mitattava komponentti	Mittausmenetelmä	Mittalaite
Hengitettävät hiukkaset	Valon sironta	Palas Fidas 200E
Pienhiukkaset	Valon sironta	Palas Fidas 200E
Hengitettävät hiukkaset, vuorokausinäytteet (24 t)	Pientehokeräin	Leckel SEQ 47/50
Meteorologiset tiedot		Vaisala WXT530

4.3 Hiukkasmittausten vertailukelpoisuus ja epävarmuus

Hiukkasmassan määrittämisen standardissa (*EN 12341:2014*) määritetty ns. referenssimenetelmä on gravimetrisen määrittämenetelmä vuorokausikeskiarvolle. Kullekin Suomessa käytettävälle jatkuva-toimimiselle hiukkasmittalaitteelle on osoitettu laitteen ekvivalenttisuus eli vertautuvuus referenssimenetelmään, ja kertoimia käyttämällä eri mittalaitteilla mitatut hiukkasmittaustulokset ovat keskenään vertailukelpoisia. Määritettyjä korjauskertoimia käyttämällä tässä tutkimuksessa käytettyjen hiukkasmittalaitteiden 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 mittaustuloksesta ei voida luotettavasti tehdä johtopäätelmiä (Hiltunen ym., 2011). Jatkuva-toimisilla 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 PM_{10} -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 PM_{10} -hiukkasmassalle on 1,242 ja $PM_{2,5}$ -hiukkasmassalle 0,998. Vastaavat mittausepävarmuudet ovat 15,2 % ja 24,9 %.

Tutkimuksessa käytettävien hiukkanalysointilaitteiden 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 mittausohjeen (Ilmatieteen laitos, 2017) sekä Ilmatieteen laitoksen ilmanlaatumittausten laatujärjestelmän mukaisesti (Ilmatieteen laitos, 2025b). 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 kalibrointi-arvot tallennettiin kalibrointiraportteihin. Mittauspäiväkirjaan kirjattiin 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 analysaattoreille tehtävät nolla-span-tarkistukset (testifolioiden 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 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 laatutavoitteena käytetään 85 % vuoden tuntimäärästä. Aineiston vähimmäismäärän laatutavoite täyttyi mittausjaksolla hengitettävien hiukkasten ja pienhiukkasten osalta Taattolan mittausasemalla. Ohjearvoon vertaaminen edellyttää, että vuorokausipitoisuuksia on vähintään 75 % kuukauden vuorokausien lukumäärästä. Tämä vaatimus täyttyi mittausasemalla hengitettävien hiukkasten osalta kaikkina mitattuina kuukausina.

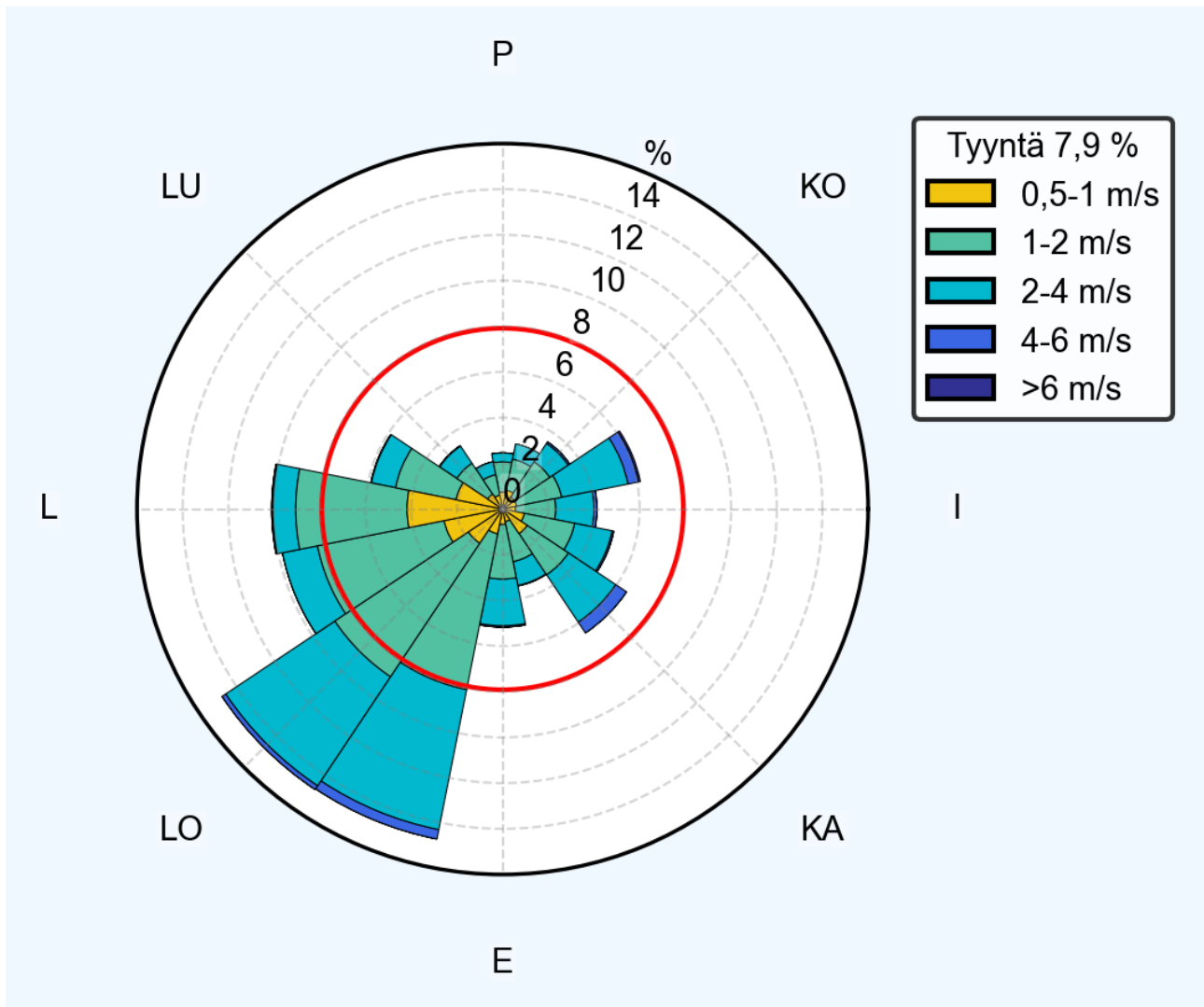
5. SÄÄTIEDOT

5.1 Tuulitiedot mittausjaksolla

Terrafamen Taattolan mittausasemalla mitattujen tuulennopeuksien keskiarvo mittausjaksolla oli 1,6 m/s ja tyynien tilanteiden osuus oli noin 7,9 % 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 23 on esitetty mittausjakson 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.

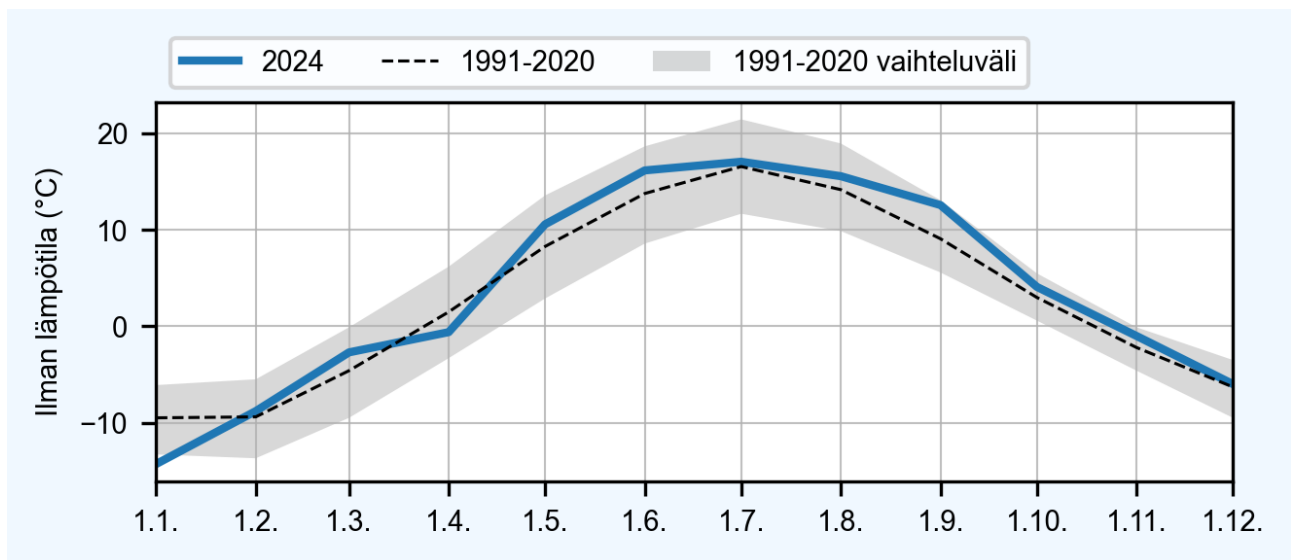
Tuulen suunnalla tarkoitetaan meteorologiassa suuntaa, josta tuuli puhaltaa. Kun tuulta mitataan ja ilmoitetaan tuulen suunta, tarkoitetaan aina, että tuuli puhaltaa kyseisestä ilmansuunnasta havaittija kohti. Terrafamen Taattolan mittausasemalla vallitseva tuulensuunta oli mittausjaksolla lounas, ja myös lännestä sekä idästä tuuli usein. Kaikkein vähiten tuuli pohjoisesta. Taattolan asemalla tuulennopeudet olivat yleisimmin heikkoja jääden pääosin alle 4 m/s kaikissa tuulensuuntasektoreissa.



Kuva 23. Terrafame Taattolan mittausasemalla mitatut tuulensuunnat (ilmansuuntasektorit) ja tuulennopeudet (m/s) vuonna 2024. Tyynien tilanteiden osuus oli 7,9 % kaikista tuulista. Tyyniksi on tässä tarkastelussa luokiteltu alle 0,5 m/s tuulen nopeudet.

5.2 Keskilämpötilat

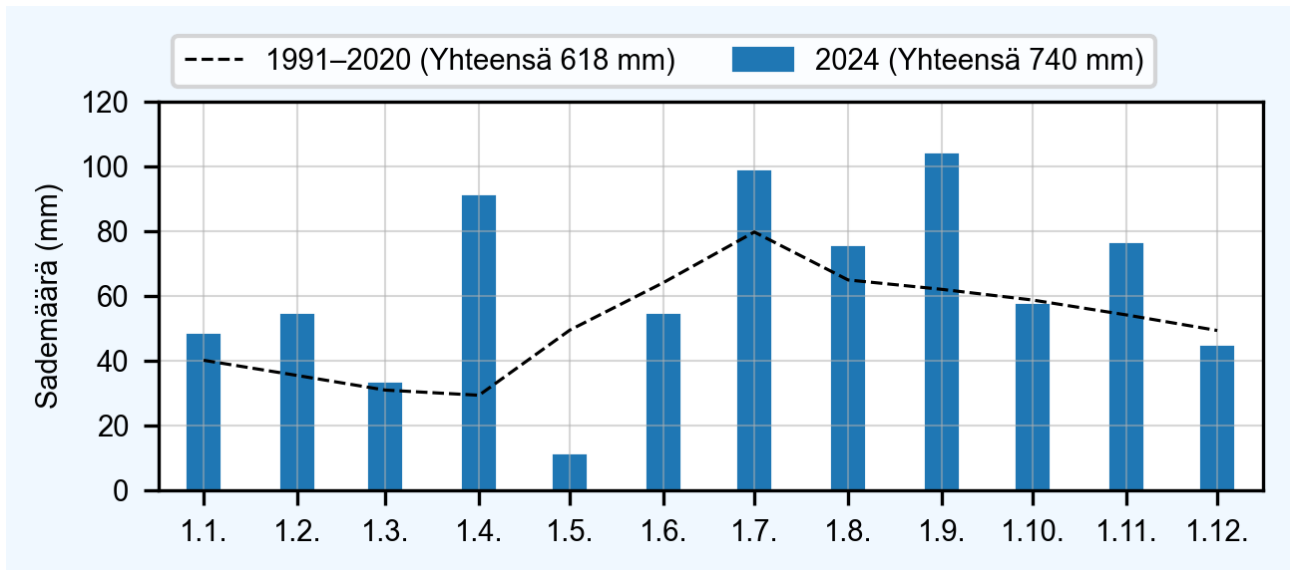
Ilmatieteen laitoksen ylläpitämä sääasema Nurmes Valtimo on Terrafamen Taattolaa lähimpänä sijaitseva virallinen sääasema, jolta on saatavilla ilmastollisen vertailukauden 1991–2020 lämpötilatiedot (Jokinen ym., 2021). Kuvassa 24 on vertailtu Terrafamen Taattolan ilmanlaadun mittausasemalla mitattuja vuoden 2024 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 24. Lämpötilan kuukausikeskiarvot Terrafamen Taattolan ilmanlaadun mittausasemalla vuonna 2024 verrattuna Nurmes Valtimon sääasemalla mitattuihin ilmastollisen vertailukauden 1991–2020 pitkäaikaiskeskiarvoihin.

5.3 Sademäärät

Ilmatieteen laitoksen ylläpitämät sääasemat Sotkamo Tuhkakylä ja Sotkamo Kuolaniemi ovat Terrafamen Taattolan mittausasemaa lähimpänä sijaitsevat viralliset sademääriä mittaavat sääasemat. Sotkamo Kuolaniemen asemalta on saatavilla ilmastollisen vertailukauden 1991–2020 sademäärät (Jokinen ym., 2021). Kuvassa 25 on vertailtu Sotkamo Tuhkakylän sääasemalla mitattuja vuoden 2024 kuukausisademääriä (Ilmatieteen laitos, 2025b) Sotkamo Kuolaniemen sääaseman ilmastollisen vertailukauden 1991–2020 sademääriin. Koko mittausjakson sademäärä Sotkamo Tuhkakylän asemalla oli yhteensä 740 mm, mikä on noin 19 % suurempi kuin Sotkamo Kuolaniemen vertailukauden 1991–2020 sademäärä. Mittausjaksolla lähes joka kuukautena Sotkamo Tuhkakylässä satoi enemmän kuin seudulla keskimäärin näiden kuukausien aikana sataa. Varsinkin huhti-, heinä- ja syyskuussa sademäärä oli merkittävästi suurempi keskimääräiseen verrattuna. Etenkin kesäisin kuurosateet saattavat olla hyvinkin paikallisia, mikä helposti vaikuttaa myös paikallisiin sademääriin. Toukokuu oli vastaavasti vähäsateisempi vertailukauteen nähden.



Kuva 25. Kuukausisademäärät Ilmatieteen laitoksen Sotkamo Tuhkakylän ja Kuolaniemen sääasemilla vuonna 2024 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 ilmastasta sateen huuhtomina, kuivalaskeumana erilaisille pinnoille tai kemiallisen muuntuman 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 ilmapirtausten 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 epävaka, sekoittuminen on voimakasta ja ilmaan päässeet epäpuhtaudet laimenevat nopeasti.

Inversiolla tarkoitetaan tilannetta, jossa ilmakehän lämpötila nousee ylöspäin mentäessä. Erityisesti maanpintainversion aikana ilmanlaatu voi paikallisesti huonontua nopeasti. Maanpintainversiossa maanpinta ja sen lähellä oleva ilmakerros jäähtyy niin, että kylmempi ilma jää ylempänä olevan lämpimämmän ilman alle. Kylmä pintailma ei raskaampana pääse kohoamaan yläpuolellaan olevan lämpimän kerroksen läpi, ja ilmakehän pystysuuntainen liike estyy. Inversiokerroksessa tuuli on hyvin heikkoa ja näin ollen ilmaa sekoittava pyörteisyys on vähäistä, minkä vuoksi ilmansaasteiden pitoisuudet laimenevat huonosti. Inversiotilanteissa pitoisuudet kohoavat, koska ilmansaasteet kerääntyvät matalaan ilmakerrokseen päästölähteiden lähelle.

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

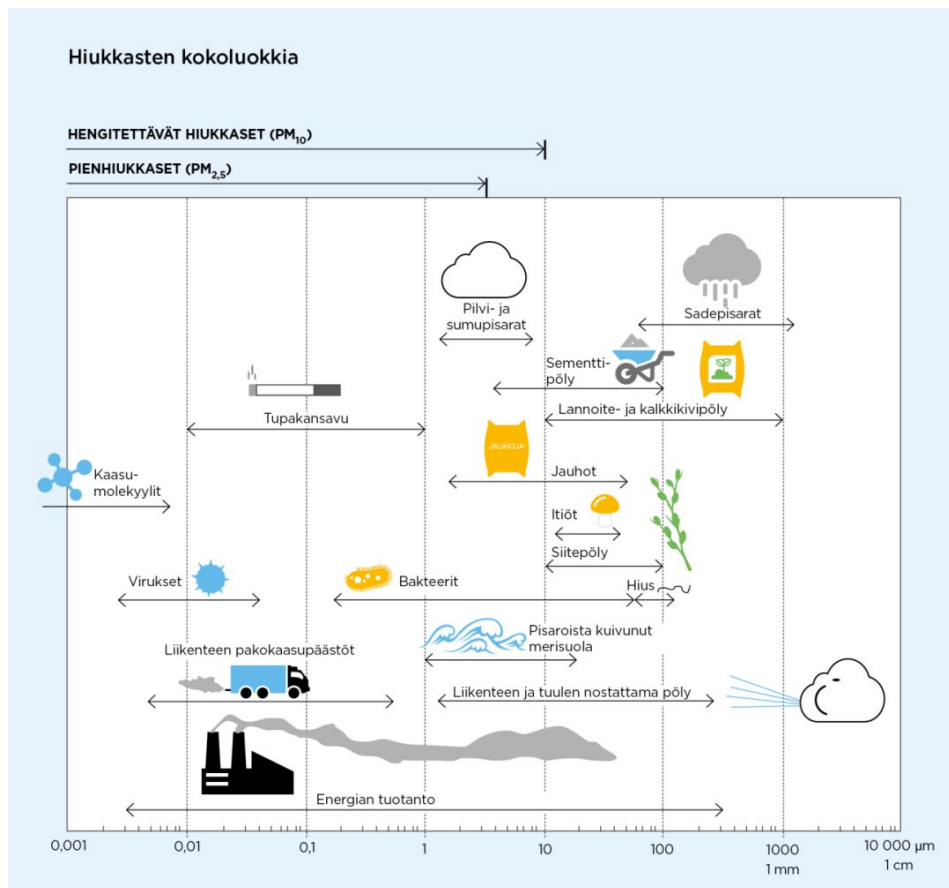
Keväisin merkittävin ilmanlaatuhaittojen aiheuttaja on katupöly. Katupölyä syntyy, kun lumet sulavat keväällä ja talven aikana tien varsille kerääntynyt hiukkasmassa vapautuu ilmaan tuulen ja liikennevirtojen vaikutuksesta katujen kuivuttua. Lumien sulamisvedet, sateet ja pölynsidonta suolaliuoksella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

6. TAUSTATIETOA ILMAN EPÄPUHTAUKSISTA

6.1 Hiukkaset

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

Ulkoilman hiukkasten koko on yhteydessä niiden aiheuttamiin erilaisiin vaikutuksiin. Suurempien hiukkasten korkeat pitoisuudet vaikuttavat merkittävimmin viihtyvyyteen ja aiheuttavat likaantumista. Terveysvaikutuksiltaan haitallisempia ovat ns. hengitettävät hiukkaset ja pienhiukkaset, jotka kykenevät tunkeutumaan 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. Hiukkasten kokoluokkia on havainnollistettu kuvassa 26.



Kuva 26. Hiukkasten kokoluokkia. Hiukkasten koko ilmaistaan halkaisijana mikrometreissä (µm). Mikro (µ) etuliite tarkoittaa miljoonasosaa. 1 µm on siten metrin miljoonasosa eli millimetrin tuhannesosa.

Suomessa hiukaspitoisuudet kohoavat yleensä voimakkaasti keväällä maaliskuusta huhtikuuhun, kun maanpinnan kuivumisen myötä 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 hiukaspitoisuudet esiintyvät vilkkaasti liikennöidyissä kaupunkikeskustoissa. Liikenteen vaikutukset korostuvat matalan päästökorkeuden vuoksi.

Hengitettävien hiukkasten vuorokausipitoisuuksille asetettu raja-arvotaso (50 µg/m³) ylittyy Suomen mittausasemilla tyypillisesti 0–25 kertaa vuoden aikana. Vuorokausiraja-arvotason ylityksiä saa olla mittausasemalla 35 kappaletta vuodessa, ennen kuin raja-arvo katsotaan ylittyneeksi. Hengitettävien hiukkasten vuorokausipitoisuudelle annettu raja-arvo on ylittynyt vain Helsingin keskustassa, viimeksi vuonna 2006. Katupölyn muodostumiseen voidaan merkittävästi vaikuttaa oikea-aikaisella katujen siivouksella ja kunnossapidolla sekä pölynsidonnalla.

Hengitettävien hiukkasten vuosikeskiarvopitoisuudelle annettu raja-arvo 40 µg/m³ alittuu Suomessa. Hengitettävien hiukkasten pitoisuuden vuosikeskiarvot ovat olleet viime vuosina Suomen kaupungeissa noin 5–20 µg/m³. Vilkkaimmilla teillä ja katukuiluosuusilla vuosipitoisuudet voivat olla yli 20 µg/m³. Puhtailla tausta-alueilla vuosikeskiarvopitoisuudet ovat olleet Etelä-Suomessa noin 9–14 µg/m³ ja Pohjois-Suomessa noin 3–5 µg/m³ (Ilmatieteen laitos, 2024 c).

Pienhiukkaspitoisuuden vuosikeskiarvolle määritetty raja-arvo $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ alittuu selvästi kaikkialla Suomessa. Viime vuosina pienhiukkasten vuosikeskiarvopitoisuus on ollut pääkaupunkiseudun kaupunkialueilla noin $5\text{--}9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja muilla kaupunkialueilla noin $2\text{--}8 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Pitoisuuserot erityyppisten mittausympäristöjen välillä ovat muutamia mikrogrammoja. Puhtailla tausta-alueilla vuosikeskiarvopitoisuudet ovat olleet Etelä-Suomessa noin $4\text{--}6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja Pohjois-Suomessa noin $2\text{--}3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Ilmatieteen laitos, 2024 c). Pienhiukkasten taustapitoisuudesta valtaosa on kaukokulkeutunutta hiukkasainesta. Kaukokulkeuma muodostaa huomattavan osan myös kaupunki-ilman pienhiukkaspitoisuuksista.

6.2 Arseeni ja metallit

Arseenia ja metalleja pääsee ulkoilmaan sekä kaasuina että hiukkasiin sitoutuneina pääasiassa erilaisista metalliteollisuusprosesseista, energiantuotannosta, jätteenpoltosta ja liikenteestä sekä luonnollisista lähteistä, kuten metsäpalojen, tuulieroosion ja tulivuorten purkausten vaikutuksesta. Poltto- ja teollisuusprosesseista peräisin olevat hiukkaset sisältävät useita terveydelle haitallisia alkuaineita, kuten arseenia, kadmiumia, nikkeliä ja lyijyä. Näitä aineita voi myös rikastua maaperään, jolloin niitä löytyy myös maasta takaisin ilmaan nousseista hiukkasista. Kadmium (Cd), nikkeli (Ni) ja arseeni (As) ovat tässä tutkimuksessa hiukkasnäytteistä määritetyistä alkuaineista terveys- ja ympäristövaikutuksiltaan merkittävimpiä. Niiden vuosikeskiarvopitoisuuksille on Suomessa säädetty tavoitearvot (Vna 113/2017). Myös ulkoilman lyijyn (Pb) vuosipitoisuuksille on annettu raja-arvo (Vna 79/2017), mutta raja-arvo alittuu selkeästi kaikkialla Suomessa eikä lyijy ole enää keskeinen ilmanlaatutekijä maassamme. Arseenin, kadmiumin, lyijyn ja nikkelin pitoisuudet ilmassa ovat yleensä alhaiset Euroopassa, ja raja- tai tavoitearvojen ylityksiä esiintyy vain muutamissa paikoissa. Nämä epäpuhtaudet aiheuttavat kuitenkin laskeumaa ja myrkyllisten metallitasojen kertymistä maaperään, sedimentteihin ja organismeihin (EEA, 2020).

6.2.1 Arseeni

Arseeni esiintyy ympäristössä kolmi- tai viisiarvoisina epäorgaanisina, vesiliukoisina ja heikosti vesiliukoisina suoloina sekä kaasumaisina epäorgaanisina ja orgaanisina arseeniyhdisteinä. Luonnossa arseeni on sulfidina monien kaivannaismetallien sulfidien yhteydessä. Arseeni esiintyy pääasiassa ulkoilman pienissä hiukkasissa, jotka ovat kooltaan luokkaa $1 \mu\text{m}$ tai sitä pienempiä. Arseenin keskeisiä päästölähteitä Suomessa ovat energiantuotanto, teollisuusprosessit ja jätehuolto. Arseenin kokonaispäästöiksi Suomessa on arvioitu 2,1 tonnia vuonna 2019 (Syke, 2022). Helsingin Kallion kaupunkitaustaa edustavalla ilmanlaadun mittausasemalla arseenin vuosikeskiarvot ovat vuosina 2009–2015 vaihdelleet välillä $0,3\text{--}0,9 \text{ ng}/\text{m}^3$ (HSY, 2016). Raahen Lapaluodon teollisuutta edustavalla ilmanlaadun mittausasemalla pitoisuudet puolestaan ovat olleet $0,3\text{--}0,8 \text{ ng}/\text{m}^3$ vuosina 2012–2019 (Raahen kaupunki, 2020). Tavoitearvon $6 \text{ ng}/\text{m}^3$ ylityksiä on viime vuosina Suomessa tapahtunut ainoastaan Harjavallan Kalevan ja Pirkkalan mittausasemilla (Ilmatieteen laitos, 2025a). Arseenille altistutaan pääasiallisesti ruoansulatuskanavan kautta ruoan ja juomaveden välityksellä. Eurooppalaisissa arvioissa on esitetty, että vain alle 1 % kokonaisannoksesta saataisiin normaalioloissa hengitysilma. Työperäisissä altistuksissa, joissa arseenipitoisuudet ovat merkittävästi korkeampia kuin ulkoilmassa, on arseenin todettu lisäävän sydänkuoleman riskiä, aiheuttavan maksasairauksia, ruoansulatuskanavan, keskus- ja ääreishermoston oireita, allergisia ja muita iho-oireita sekä vaikuttavan verisolujen muodostumiseen luuytimessä. Epäorgaaniset arseeniyhdisteet ovat ihmisille iho- ja keuhkosyöpää aiheuttavia aineita. Hengitysteitse saatavien arseeniannosten kannalta keuhkosyöpä on merkittävin pitkäaikaisen altistumisen lopputila.

6.2.2 Kadmium

Kadmium on pehmeä, hopeanvalkea metalli, joka höyrystyessään hapettuu nopeasti kadmiumoksiidiksi. 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-aseamalla 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 mitta-asemilla on mitattu viime vuosina Suomen korkeimmat pitoisuudet, noin 1–3 ng/m³ (Ilmatieteen laitos, 2025a). 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 altistustaan. 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.

6.2.3 Nikkeli

Nikkeli on hopeanvalkoinen, kova metalli, joka esiintyy pääasiassa kaksiarvoisena sekä orgaanisissa että epäorgaanisissa yhdisteissä. Nikkeliä esiintyy yleisesti maaperässä ja sitä on rikastuneena raakaöljyyn. Nikkeliä käytetään runsaasti teräksen ja metallisekoitteiden tuotannossa. Muita käyttöalueita ovat muun muassa keramiikka, paristot, elektroniikka sekä lasin ja muovien värjäys. Toisin kuin arseenia ja kadmiumia, nikkeliä esiintyy ulkoilmassa melko runsaasti myös karkeammassa hiukkasissa, jotka ovat kooltaan muutamasta mikrometristä ylöspäin. Nikkeliä vapautuu ulkoilmaan pääasiassa polttoaineiden ja jäteöljyn poltossa sekä nikkelimalmin louhinnassa ja jalostuksessa. Ulkoilman tärkeitä nikkeliyhdisteitä ovat nikkelisulfaatti ja nikkelioksidi, joita syntyy esimerkiksi energiantuotannossa. Öljyn ja hiilen poltossa muodostuvat hiukkaset sisältävät lisäksi myös monimutkaisia metallioksideja ja metalliteollisuuden päästöissä esiintyy myös metallista nikkeliä. Nikkelin kokonaispäästöiksi Suomessa on arvioitu 12 tonnia vuonna 2019 (Syke, 2022). Helsingin Kallion kaupunkitausta-aseamalla nikkelin vuosikeskiarvot ovat vuosina 2009–2015 vaihdelleet välillä 2–4 ng/m³ (HSY, 2016). Raahen Lapaluodon teollisuusasemalla 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 ainoastaan Harjavallan Kalevan mitta-asemalla (Ilmatieteen laitos, 2025a). Kun otetaan huomioon ulkoilman nikkelipitoisuuksien 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 ennen aikaista kuolemantapausta vuodessa (*Hänninen ym. 2016*). Lisäksi ilmansaasteet aiheuttavat haittoja lisääntyneen sairastamisen takia. Haitalliset vaikutukset ilmenevät siitä huolimatta, että ilmanlaadun raja- tai ohjearvot eivät Suomessa ylity laajassa mitassa. Terveyshaitat aiheutuvat suurelta osin pienhiukkasista ja pienemältä osin hengitettävistä hiukkasista sekä typpidioksidista. Yksilöiden herkkyys ilmansaasteille vaihtelee. Herkkiä väestöryhmiä ovat kaikenikäiset astmaatikot, 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 määritellyt valtioneuvoston päätöksessä ilmanlaadun ohjearvoista ja rikkilaskeuman tavoitearvosta (*Vnp 480/1996*, taulukko 4).

Raja-arvot ovat ilman epäpuhtauden pitoisuuksia, jotka on alitettava määräajassa. Kun raja-arvo on alitettu, sitä ei enää saa ylittää. Raja-arvot ovat sitovia ja ne eivät saa ylittyä alueilla, joissa asuu tai oleskelee ihmisiä. 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 määritellyt ilmanlaatuasetuksessa (*Vna 79/2017*, taulukko 5).

Tavoitearvolla tarkoitetaan ilmassa olevaa pitoisuutta, joka on mahdollisuuksien mukaan alitettava määräajassa ja jolla pyritään välttämään, ehkäisemään tai vähentämään ihmisten terveyteen ja ympäristöön kohdistuvia haitallisia vaikutuksia. Tavoitearvoja on annettu muun muassa hiukkasten sisältämien arseenin, nikkelin ja kadmiumin pitoisuuksille. Näiden aineiden tavoitearvot on määritellyt valtioneuvoston asetuksessa Vna 113/2017 ja ne on esitetty taulukossa 6. Seuranta-alueen ilmanlaadun seurannan suunnittelussa on otettava huomioon ilmanlaatuasetuksessa määritellyt arviointikynnykset (Vna 79/2017). Jatkuvia mittauksia on tehtävä seuranta-alueilla, joilla ylempi arviointikynnyks ylittyy sekä seuranta-alueilla, joilla ilman epäpuhtauksien pitoisuudet ovat ylempään 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. Ylempään ja alemman arviointikynnyksen ylittyminen määritetään viiden edellisen vuoden pitoisuuksien perusteella. Arviointikynnyksen katsotaan ylittyneen, kun se on ylittynyt vähintään kolmena vuotena viidestä. Arviointikynnykset on määritellyt ilmanlaatuasetuksessa (Vna 79/2017).

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

Ilman epäpuhtaus	Ohjearvo $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Tilastollinen määrittely
Hengitettävät hiukkaset (PM_{10})	70 ¹⁾	Kuukauden toiseksi suurin vuorokausiarvo

¹⁾ Tulokset ilmaistaan ulkoilman lämpötilassa ja paineessa.

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

Ilman epäpuhtaus	Keskiarvon laskenta-aika	Raja-arvo $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (293 K, 101,3 kPa)	Sallittujen ylitysten määrä kalenterivuodessa
Hengitettävät hiukkaset (PM_{10})	1 vuorokausi	50 ¹⁾	35
	kalenterivuosi	40 ¹⁾	–

¹⁾ Tulokset ilmaistaan ulkoilman lämpötilassa ja paineessa.

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

Ilman epäpuhtaus	Tilastollinen tunnusluku	Ylempi arviointikynnys		Alempi arviointikynnys	
Hengitettävät hiukkaset (PM ₁₀ , µg/m ³)	Raja-arvo				
24 tuntia (saa ylittyä 35 krt/vuosi)	50	35	70 %	25	50 %
vuosi	40	28	70 %	20	
Pienhiukkaset (PM _{2,5} , µg/m ³)	Raja-arvo				
	25	17	70 %	12	50 %
Lyijy (Pb, µg/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 %

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. 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.



Kuva 27. Ilmanlaadun seurantatarve seuranta-alueella määräytyy mitattujen pitoisuuksien suhteesta ylempään ja alempaan arviointikynnyskseen. 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. MIKESJulkaisu 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-ilmastotiedot/6-2016-ilmanlaatu-pks-2015.pdf>

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/YMra_16_2016.pdf

Ilmatieteen laitos (2017). Ilmanlaadun mittausohje. *Raportteja 017:6.* <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/228440>

Ilmatieteen laitos (2025a). 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 (2025b). Säähavainnot. <https://ilmatieteenlaitos.fi/havaintojen-lataus#!/>

Ilmatieteen laitos (2025c). Ympäristönsuojelun tietojärjestelmän ilmanlaatuosa. https://expo.fmi.fi/ages/public/Ilmatieteen_laitoksen_ilmanlaatumittausten_laatuja_rjestelmien_kuvaus.pdf

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>

Raahen kaupunki (2020). Raahen ilmanlaatu 2019. *Ilmanlaadun seurantaraportti, Raahen 2019.* <https://www.raahe.fi/sites/raahe.fi/files/liitetiedostot/Elinymp%c3%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). Annettu Helsingissä 19.6.1996. Valtioneuvoston päätös ilmanlaadun ohjearvoista ja rikkilaskeuman tavoitearvosta.

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/ages/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/ages/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. Arseeni ja metalliyhdisteinen kolme suurinta pitoisuutta, hengitettävien hiukkasten maksimi tuntiarvo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), tuulensuunnan ja -nopeuden tuntiarvot korkeimman hengitettävien hiukkasten tuntiarvon aikaan.

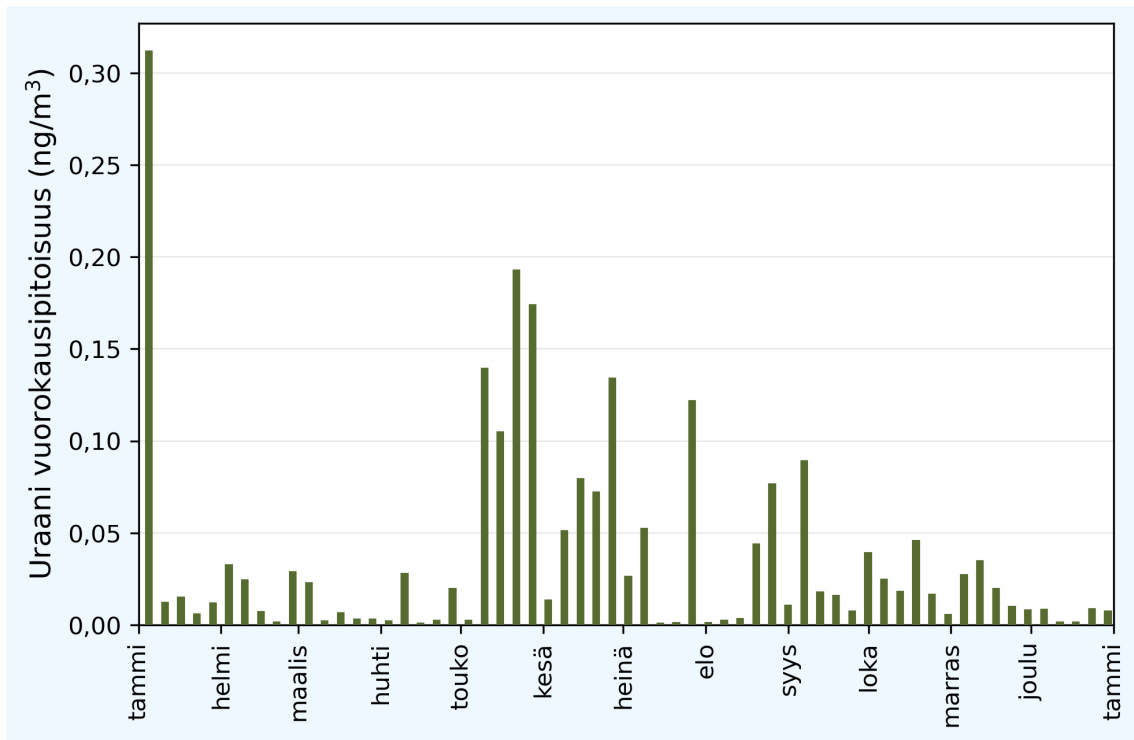
Päivämäärä	Yhdiste	Pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM ₁₀ , maks. 1 t ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Tuulensuunta (maks. PM ₁₀ 1 t) (°)	Tuulennopeus (maks. PM ₁₀ 1 t) (m/s)
13.08.2024	As	2,7	12,8	I	2,0
06.09.2024	As	1,3	37,4	LO	0,8
09.02.2024	As	0,8	34,0	LU	0,3
06.09.2024	Cd	0,2	37,4	LO	0,8
04.01.2024	Cd	0,2	121,0	L	0,3
16.01.2024	Cd	0,2	8,0	P	1,1
04.01.2024	Co	2,4	121,0	L	0,3
27.05.2024	Co	0,5	47,4	LO	1,8
06.09.2024	Co	0,5	37,4	LO	0,8
26.07.2024	Cr	6,5	74,4	P	0,2
04.01.2024	Cr	2,9	121,0	L	0,3
22.01.2024	Cr	2,8	5,4	E	3,4
04.01.2024	Cu	24,7	121,0	L	0,3
27.05.2024	Cu	7,9	47,4	LO	1,8
06.09.2024	Cu	6,9	37,4	LO	0,8
04.01.2024	Mn	97,2	121,0	L	0,3
06.09.2024	Mn	24,7	37,4	LO	0,8
27.05.2024	Mn	22,3	47,4	LO	1,8
04.01.2024	Ni	92,7	121,0	L	0,3
24.10.2024	Ni	20,0	8,1	L	1,0
10.01.2024	Ni	17,8	10,9	L	0,6
24.09.2024	Pb	34,2	10,7	E	1,7
15.02.2024	Pb	4,5	8,1	KA	1,6
06.09.2024	Pb	3,7	37,4	LO	0,8
04.01.2024	U	0,3	121,0	L	0,3
21.05.2024	U	0,2	34,3	L	0,8
27.05.2024	U	0,2	47,4	LO	1,8
04.01.2024	V	5,2	121,0	L	0,3
27.05.2024	V	4,3	47,4	LO	1,8
06.09.2024	V	2,9	37,4	LO	0,8
04.01.2024	Zn	80,4	121,0	L	0,3
06.09.2024	Zn	33,7	37,4	LO	0,8
27.05.2024	Zn	28,8	47,4	LO	1,8
04.01.2024	Al	1593,3	121,0	L	0,3
27.05.2024	Al	696,1	47,4	LO	1,8
06.09.2024	Al	669,9	37,4	LO	0,8
04.01.2024	Fe	1281,8	121,0	L	0,3
27.05.2024	Fe	863,9	47,4	LO	1,8
06.09.2024	Fe	714,3	37,4	LO	0,8

Liitetaulukko 2. Terrafame Taattolan mittausasemalla mitatut hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) tunti- ja vuorokausipitoisuudet (µg/m³) kuukausittain vuonna 2024. Pitoisuudet on ilmoitettu ulkoilman lämpötilassa ja paineessa.

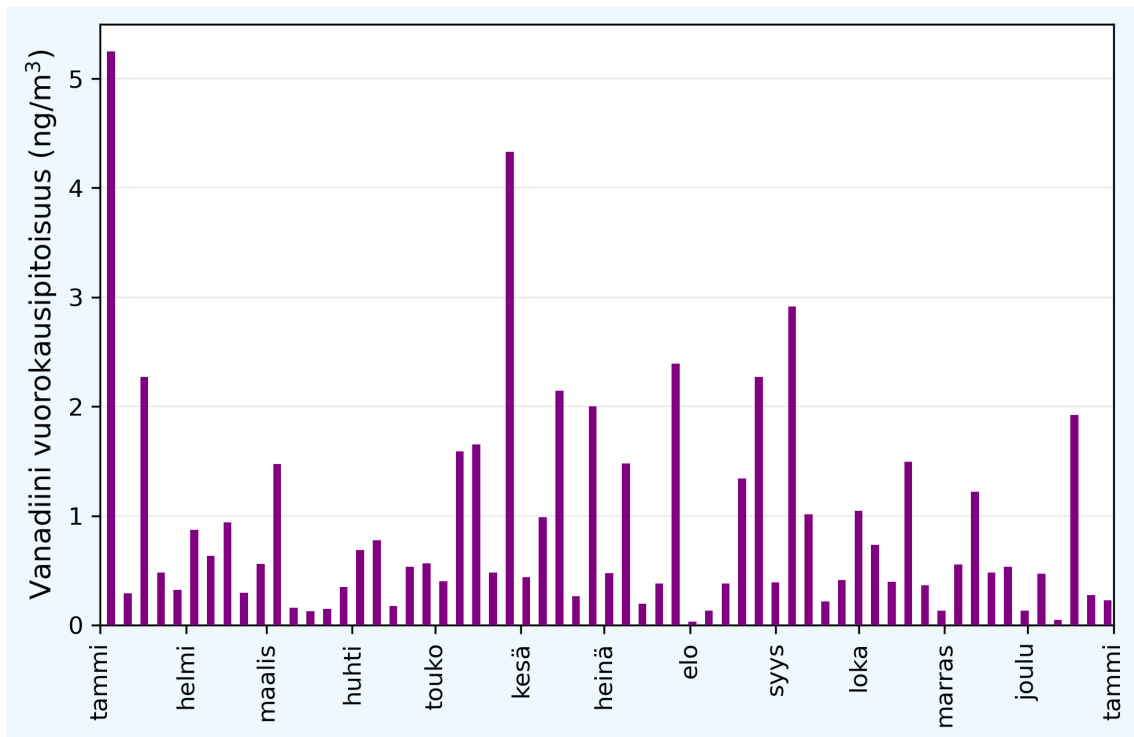
PM ₁₀	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Tuntiarvojen												
Lukumäärä (kpl)	742	696	742	717	744	718	743	743	720	742	698	744
Korkein arvo (µg/m ³)	191,3	66,0	893,8	904,7	184,0	85,3	76,0	96,7	50,0	41,5	29,4	44,0
99. % -piste (µg/m ³)	80,7	34,0	372,6	83,9	76,4	36,7	34,9	44,5	35,9	23,2	22,1	13,7
Keskiarvo (µg/m ³)	7,4	5,7	23,3	6,8	12,9	9,6	8,0	9,4	10,6	4,7	2,9	2,5
Aineiston määrä (%)	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Vrk-arvojen												
Lukumäärä (kpl)	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	29	31
Korkein arvo (µg/m ³)	41,3	16,9	282,7	82,2	42,3	19,4	22,3	29,9	27,5	11,2	9,2	8,9
2. korkein arvo (µg/m ³)	25,8	14,6	154,9	28,6	41,1	19,4	16,6	16,6	25,8	10,3	8,1	4,9

Liitetaulukko 3. Terrafame Taattolan mittausasemalla mitatut pienhiukkasten (PM_{2,5}) tunti- ja vuorokausipitoisuudet (µg/m³) kuukausittain vuonna 2024. Pitoisuudet on ilmoitettu ulkoilman lämpötilassa ja paineessa.

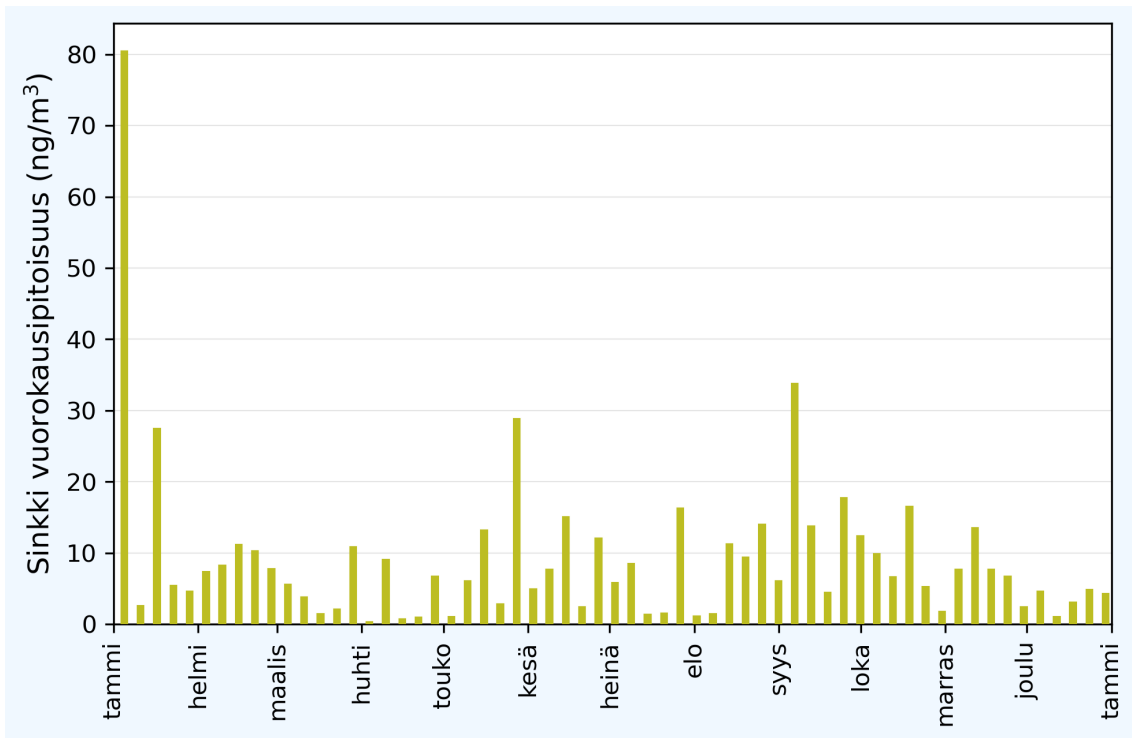
PM _{2,5}	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Tuntiarvojen												
Lukumäärä (kpl)	742	696	742	717	744	718	743	743	720	742	698	744
Korkein arvo (µg/m ³)	30,9	17,4	105,3	107,6	34,9	28,4	18,4	18,6	19,3	9,5	10,0	17,0
99. % -piste (µg/m ³)	18,3	10,7	42,8	10,7	17,0	17,4	13,6	13,2	17,4	7,8	5,3	5,4
Keskiarvo (µg/m ³)	2,9	3,3	4,6	2,2	4,2	4,6	4,4	4,4	5,3	2,0	1,3	1,5
Aineiston määrä (%)	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Vrk-arvojen												
Lukumäärä (kpl)	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	29	31
Korkein arvo (µg/m ³)	12,3	7,0	33,1	11,3	13,0	12,9	10,4	9,3	13,9	6,5	3,0	4,4
2. korkein arvo (µg/m ³)	6,9	6,5	19,4	4,5	11,9	12,5	9,2	9,1	13,7	6,2	2,4	3,3



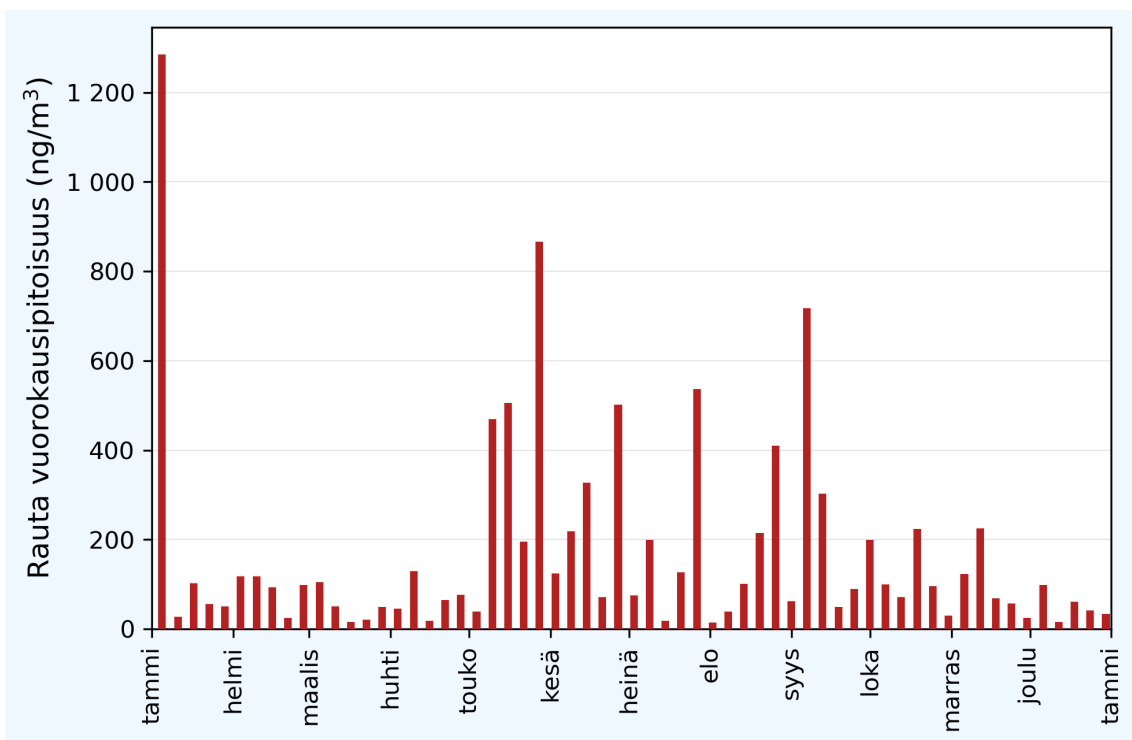
Liitekuva 1. TerraFame Taattolassa mitatut uraanipitoisuudet vuonna 2024.



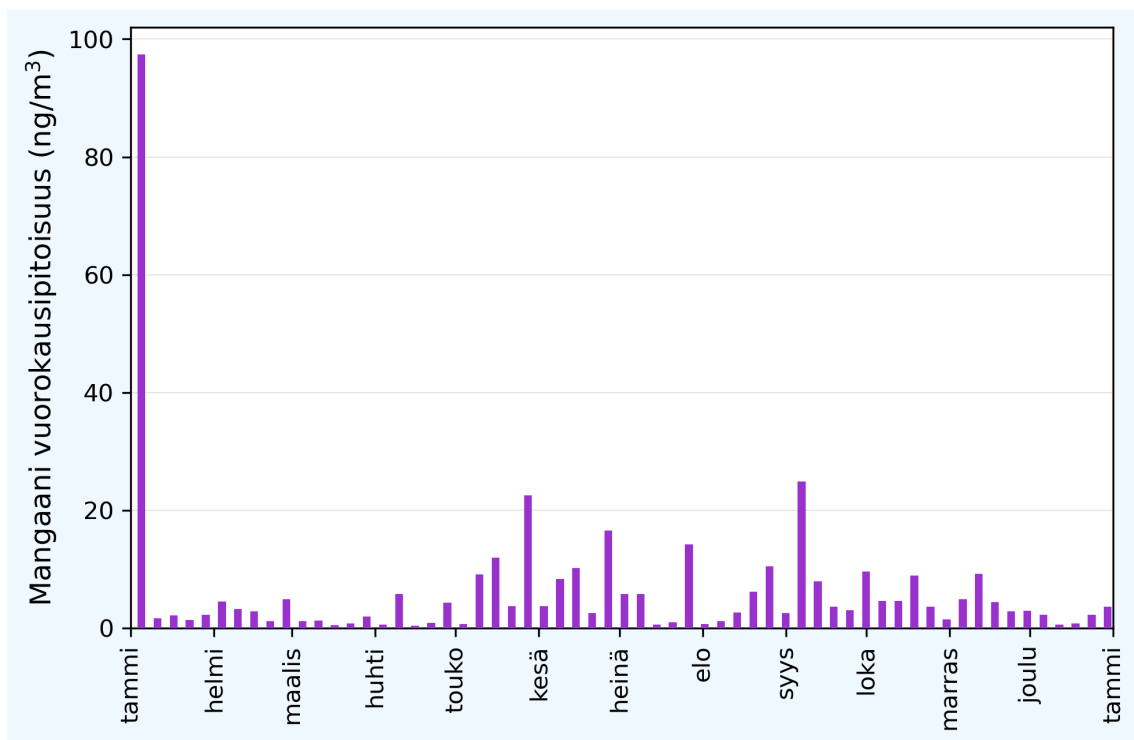
Liitekuva 2. TerraFame Taattolassa mitatut vanadiinipitoisuudet vuonna 2024.



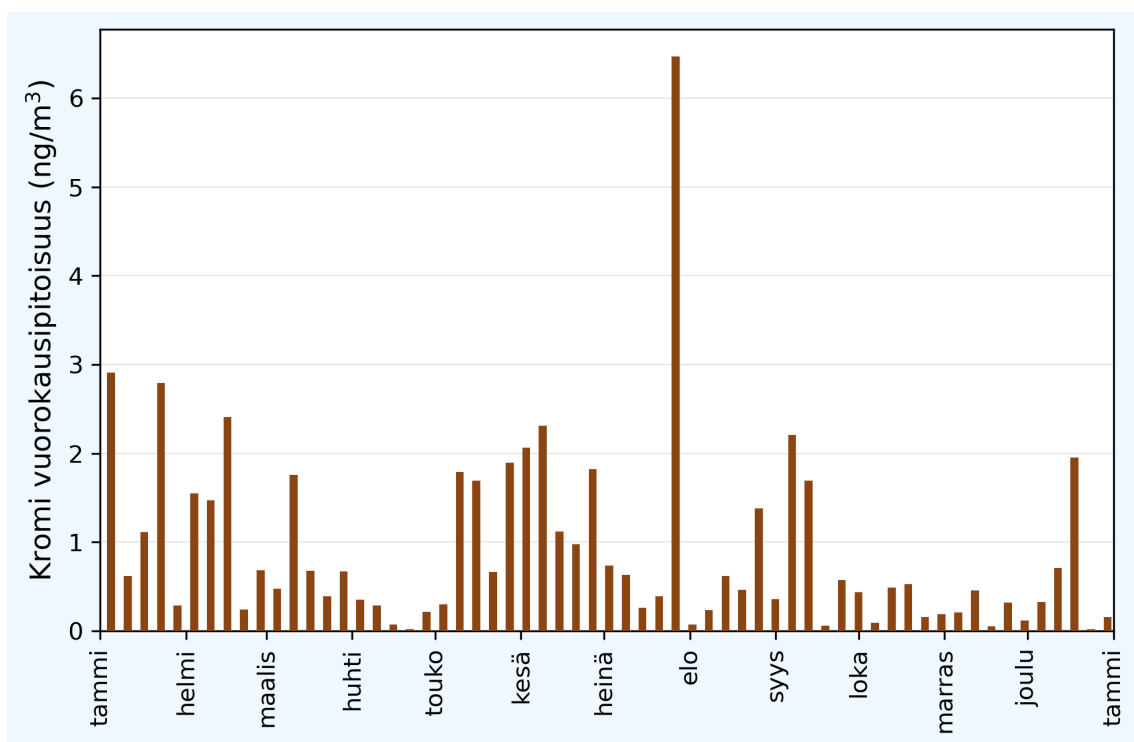
Liitekuva 3. Terrafame Taattolassa mitatut sinkkipitoisuudet vuonna 2024.



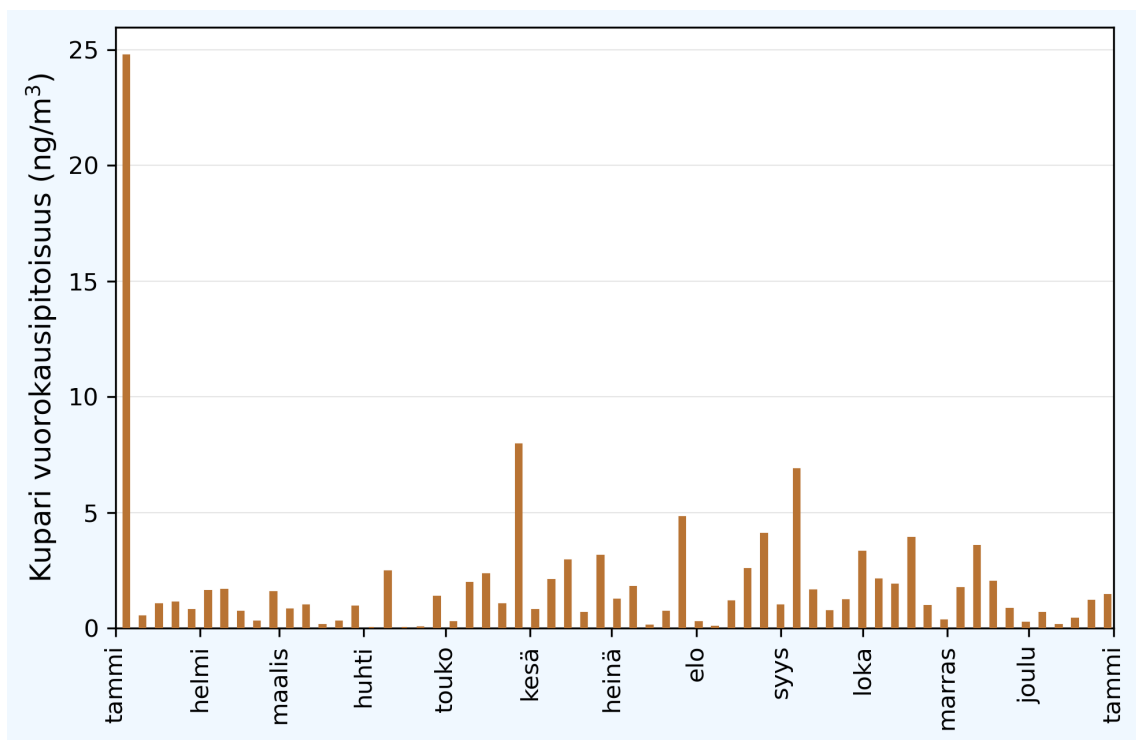
Liitekuva 4. Terrafame Taattolassa mitatut rautapitoisuudet vuonna 2024.



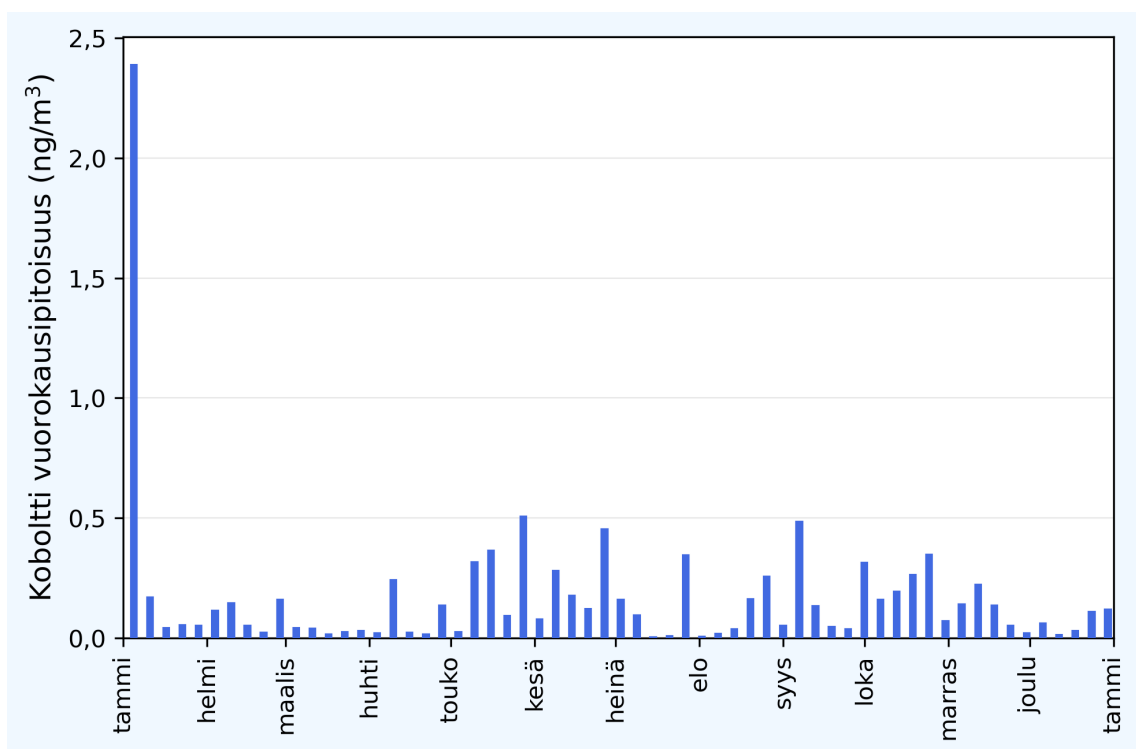
Liitekuva 5. TerraFame Taattolassa mitatut mangaanipitoisuudet vuonna 2024.



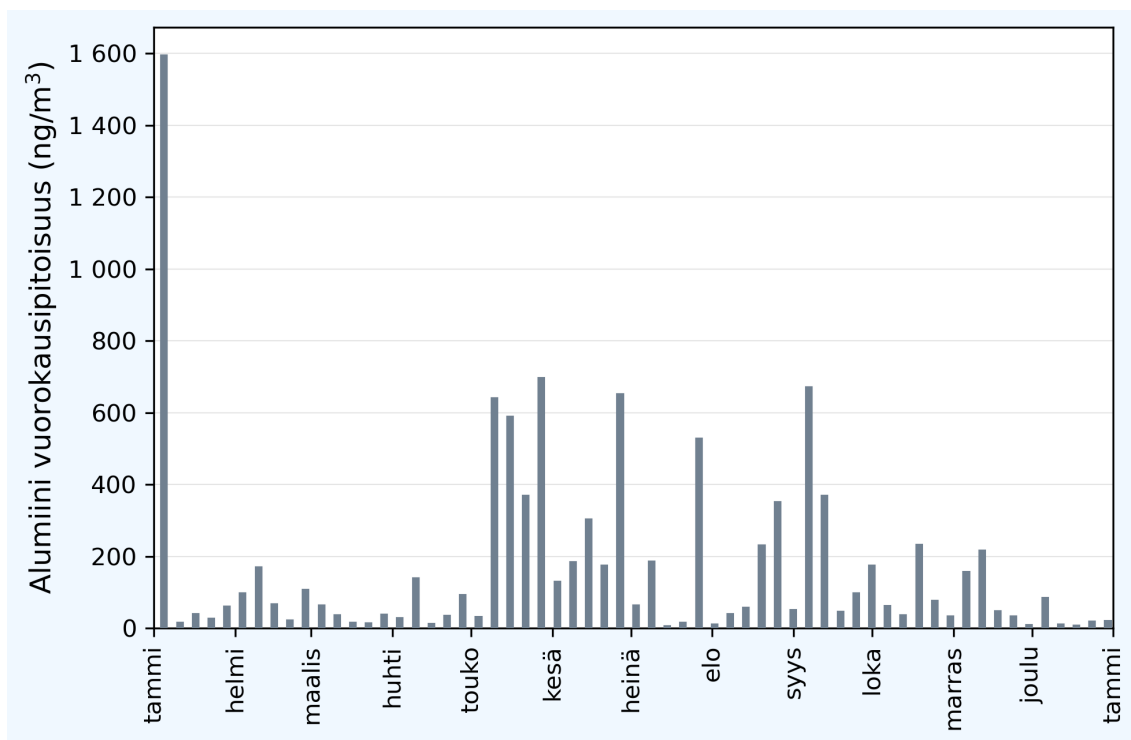
Liitekuva 6. TerraFame Taattolassa mitatut kromipitoisuudet vuonna 2024.



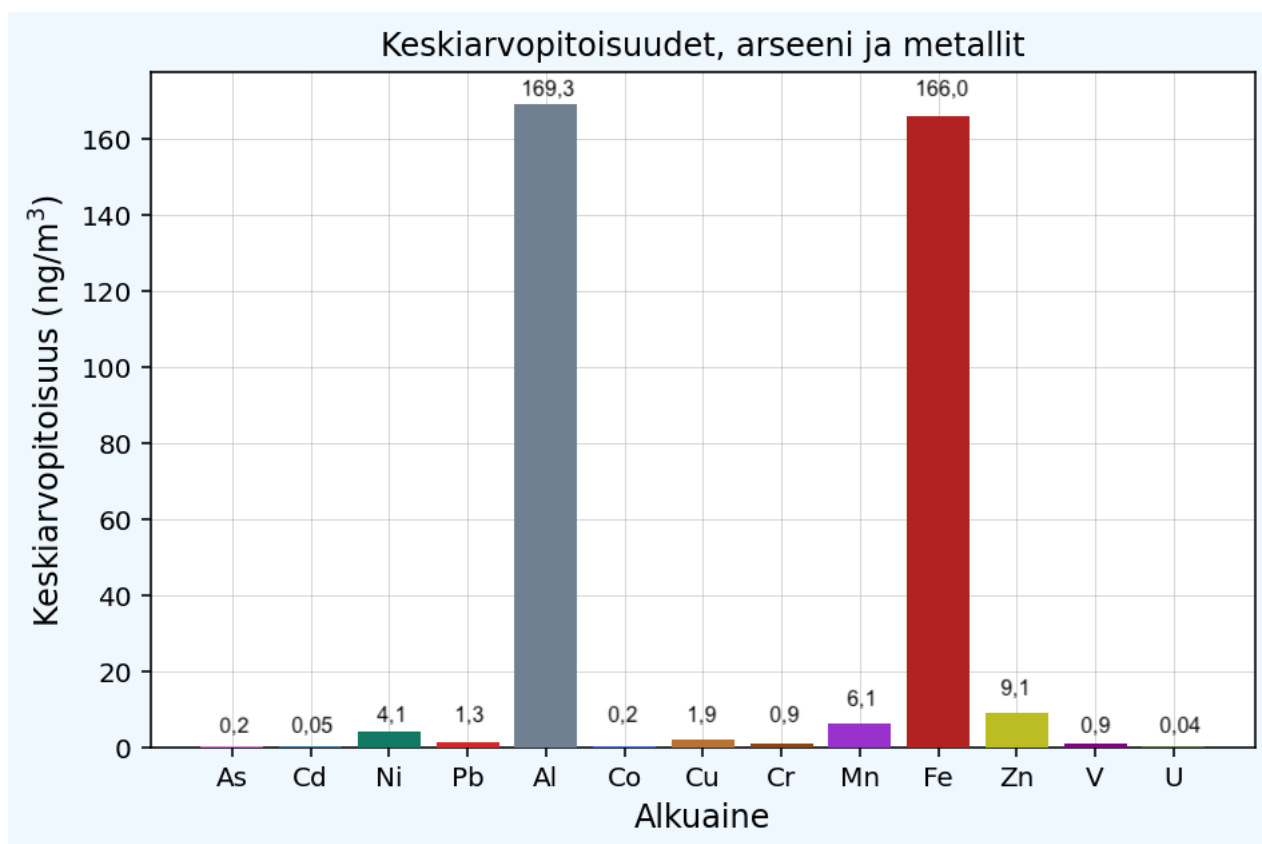
Liitekuva 7. Terrafame Taattolassa mitatut kuparipitoisuudet vuonna 2024.



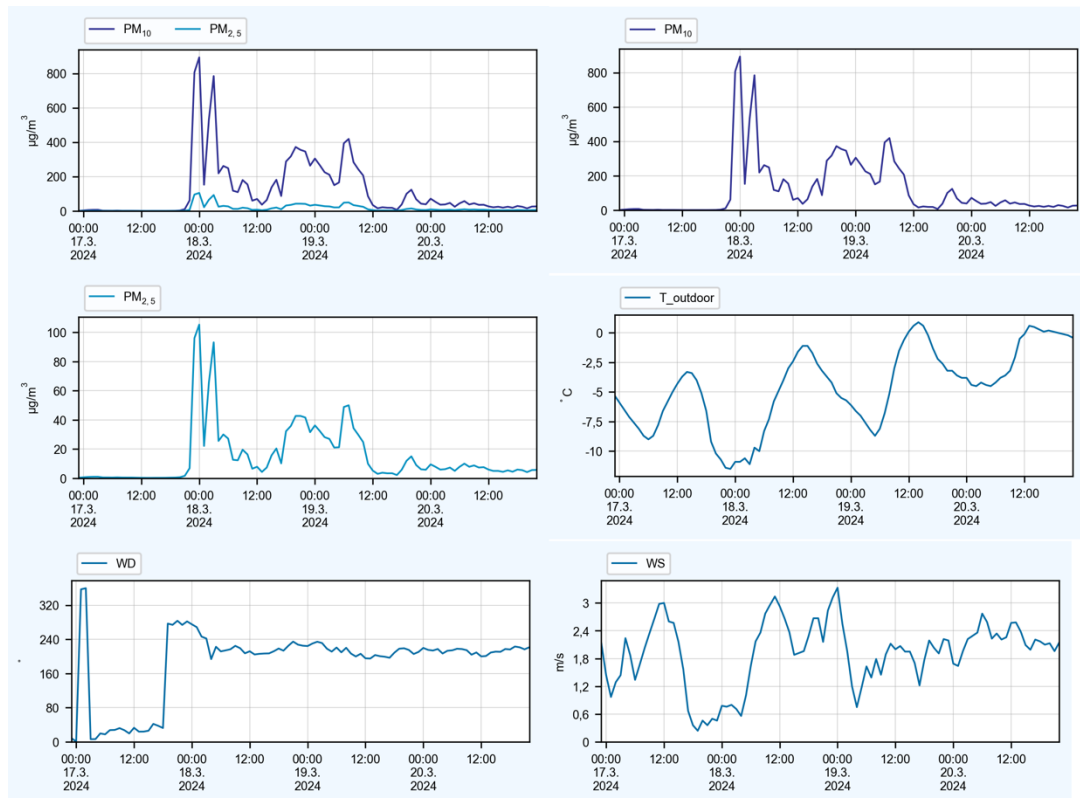
Liitekuva 8. Terrafame Taattolassa mitatut kobolttipitoisuudet vuonna 2024.



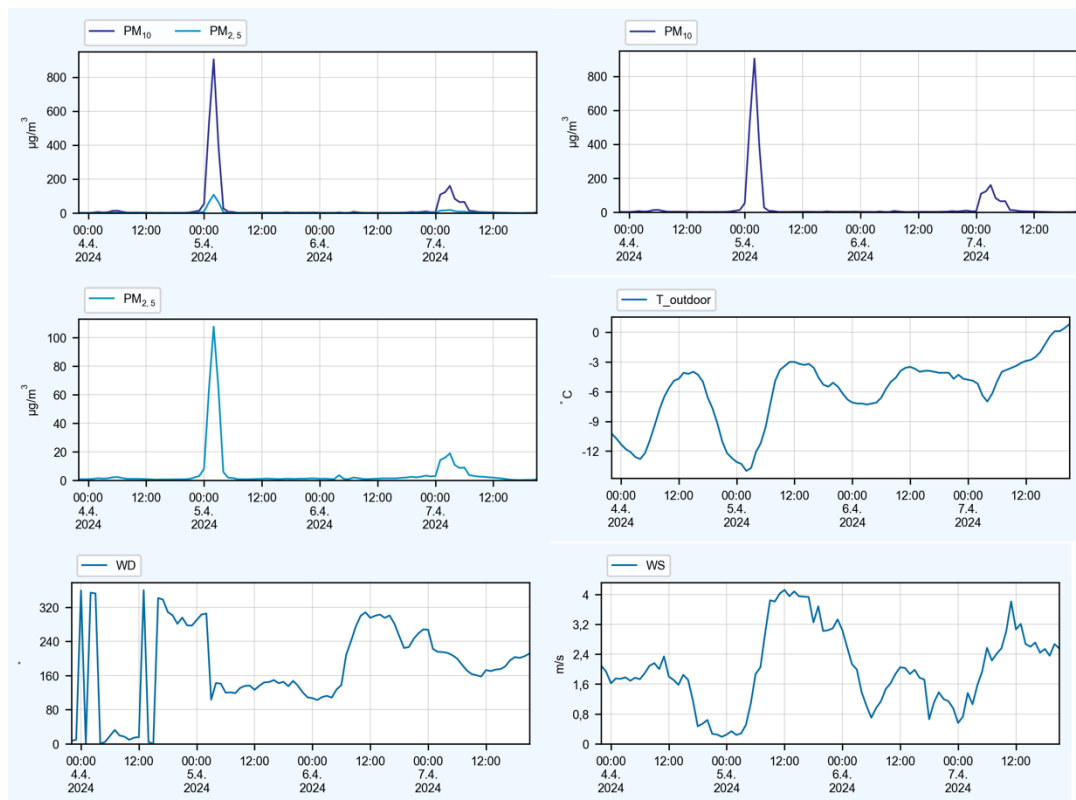
Liitekuva 9. TerraFame Taattolassa mitatut alumiinipitoisuudet vuonna 2024.



Liitekuva 10. TerraFame Taattolassa mitatut metallien ja arseenin keskiarvopitoisuudet vuonna 2024.



Liitekuva 11. Terrafame Taattola mittausasemalla mitattujen PM₁₀- ja PM_{2,5}-pitoisuudet, ulkoilmanlämpötila, tuulen nopeus ja suunta 17.3.–20.3.2024 aikavälillä.



Liitekuva 12. Terrafame Taattola mittausasemalla mitattujen PM₁₀- ja PM_{2,5}-pitoisuudet, ulkoilmanlämpötila, tuulen nopeus ja suunta 4.4.–7.4.2024 aikavälillä.



ILMATIETEEN LAITOS

ILMATIETEEN LAITOS

puh. 029 539 1000

Ilmanlaatu ja energia

ilmanlaatupalvelut@fmi.fi

www.ilmatieteenlaitos.fi/ilmanlaatupalvelut

WWW.ILMATIETEENLAITOS.FI

