



AGNICO EAGLE FINLAND OY

ILMANLAATUMITTAUKSET KITTILÄN KAIVOSALUEEN YMPÄRISTÖSSÄ

Hiukkasten (PM_{2,5} ja PM₁₀), arseenin ja
metallien pitoisuudet vuonna 2023



ILMANLAATUMITTAUKSET KITTILÄN KAIVOSALUEEN YMPÄRISTÖSSÄ

Hengitettävien hiukkasten, pienhiukkasten, arseenin ja metallien pitoisuudet vuonna 2023

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

**ILMATIETEEN LAITOS - ASiantuntijapalvelut
ILMANLAATU JA ENERGIA
Helsinki 28.3.2024**

OSA I	3
1 JOHDANTO	3
2 ILMANLAADUN MITTAUSTULOKSET	4
2.1 Mitatut pitoisuudet	4
2.2 Ilmanlaatuindeksi.....	9
2.3 Pitoisuuksien vertailua raja- ja ohjearvoihin.....	10
2.4 Pitoisuuksien ajallinen vaihtelu	14
2.5 Tuulen suunnan ja nopeuden vaikutus mitattuihin pitoisuuksiin.....	17
2.6 Hengitettävien hiukkasten sisältämät arseeni- ja metallipitoisuudet.....	23
2.7 Pitoisuuksien vertailua muualla mitattuihin pitoisuuksiin	27
3 YHTEENVETO MITTAUSTULOKSISTA JA SUOSITUKSET.....	29
OSA II	31
4 TUTKIMUKSEN SUORITUS.....	31
4.1 Mittausasemien sijainnit.....	31
4.2 Mitatut suureet ja mittausmenetelmät.....	32
4.3 Hiukkasmittausten vertailukelpoisuus ja mittausepävarmuus	34
4.4 Kalibrointimenetelmät, laadunvarmistus ja laitehuollot	34
5 SÄÄTIEDOT VUONNA 2023.....	35
5.1 Tuulitiedot Kittilässä mittausjaksolla.....	35
5.2 Keskilämpötilat Kittilän seudulla	36
5.3 Sademäärät Kittilän seudulla	37
5.4 Ilmanlaatuun vaikuttavat säätekijät	38
6 TAUSTATIETOA ILMAN EPÄPUHTAUKSISTA.....	39
6.1 Hiukkaset.....	39
6.2 Arseeni ja metallit	40
6.3 Ilman epäpuhtauksien terveysvaikutukset.....	42
6.4 Ilmanlaadun ohje- ja raja-arvot	42
6.5 Ilmanlaadun arviointikynnykset.....	44
VIITELUETTELO	45
Liitetaulukot	46
Liitekuvat.....	48

1 JOHDANTO

Ilmatieteen laitos seurasi Agnico Eagle Finland Oy:n Kittilän kaivosalueen ulkoilmanlaatua vuonna 2023 kahdessa mittauspisteessä, Männikössä ja Molkoselässä. Asemilla mitattiin hengitettävien hiukkasten (PM_{10}) ja pienhiukkasten ($PM_{2,5}$) pitoisuuksia jatkuvatoimisilla automaattisilla analysointilaitteilla sekä kerättiin hengitettävien hiukkasten vuorokausinäytteitä joka 4. vuorokausi. Kerätyistä näytteistä analysoitiin laboratoriossa PM_{10} -hiukkasten sisältämät arseeni- ja metallipitoisuudet. Mittausten tavoitteena oli kartoittaa kaivostoiminnan vaikutuksia ilmanlaatuun kaivosalueen ympäristössä seuraamalla näiden ilmansaasteiden pitoisuustasoa ja hetkellistä vaihtelua mittausjakson ajan. Ilmanlaatumittausten tulosten tulkintaa varten asemilla mitattiin myös perussäättietoja: tuulen suuntaa ja nopeutta, ilman lämpötilaa, ilmanpainetta ja ilman suhteellista kosteutta. Ilmanlaadun mittauskampanjoita on toteutettu Agnico Eagle Finland Oy:n toimeksiannosta vuosina 2008–2009 (toukokuu 2008 - huhtikuu 2009, mittauspaikat Molkoselkä ja Portinvartijan talo, kuva 1), 2009–2010 (huhtikuu 2009 - tammikuu 2010, mittauspaikka Portinvartijan talo), 2013 (kesäkuu - marraskuu, mittauspaikat Molkoselkä ja Portinvartijan talo) ja 2018 (mittauspaikat Molkoselkä ja Männikkö).

Tässä raportissa esitetään kaikki seurannan aikaiset ilmanlaadun mittauksien tulokset. 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 Agnico Eagle Finland Oy:n kaivosalueen ympäristössä mitattuihin pitoisuuksiin.

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



Kuva 1: Ilmakuva Kittilän kaivosalueesta (Maanmittauslaitoksen ilmakuva, 2022). Männikön mittausasema on merkitty keltaisella, Molkoselän mittausasema oranssilla ja aikaisempi Portinvartijan talon mittausasema sinisellä tähdellä.

2 ILMANLAADUN MITTAUSTULOKSET

2.1 Mitatut pitoisuudet

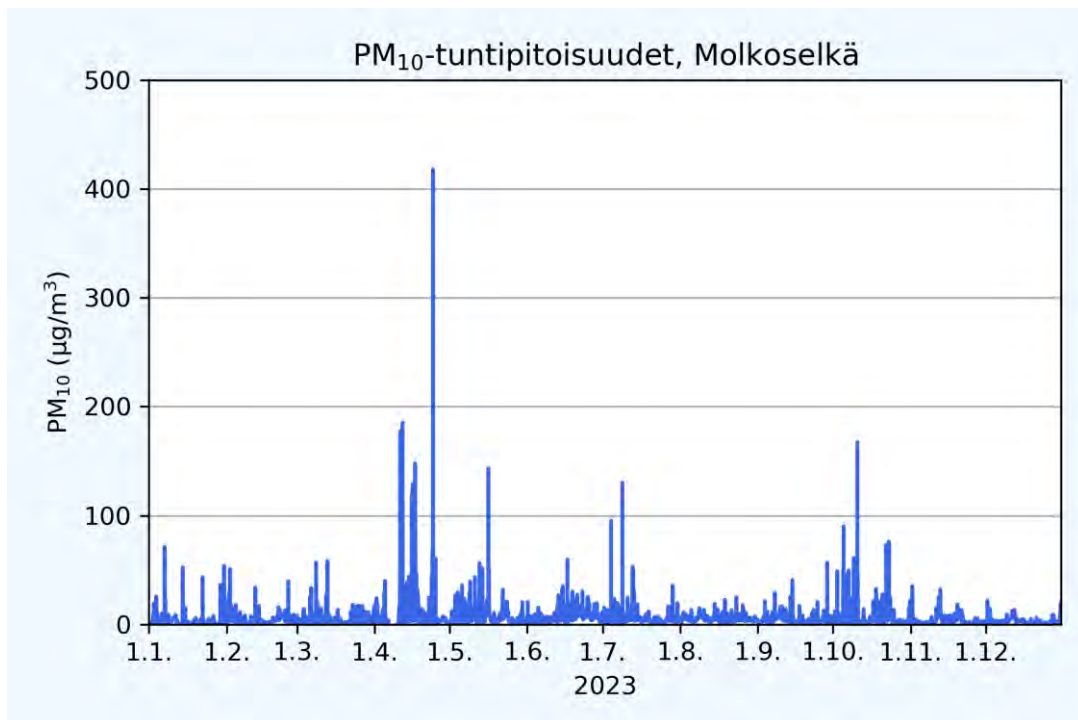
Mitattujen hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) ja pienhiukkasten (PM_{2,5}) tunti- ja vuorokausipitoisuudet vuonna 2023 on esitetty kuvissa 2–9. Raportin lopussa oleviin liitetaulukkoihin 1–4 on lisäksi koottu kuukausittaisia tilastotietoja mitatuista PM₁₀- ja PM_{2,5}-hiukkasten pitoisuuksista mittausjaksolta. Mittaukset suoritettiin jatkuvatoimisilla automaattisilla mittalaitteilla. Mittauspaikat on esitelty tarkemmin raportin kappaleessa 4.1 ja mittausmenetelmiä sekä käytettyjä laitteita on kuvattu tarkemmin kappaleessa 4.2.

Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet vaihtelivat mitatulla vuoden tarkastelujaksolla voimakkaasti molemmissa mittauspisteissä. Hetkellisten tuntipitoisuuksien vaihtelu oli merkittävästi suurempaa kuin vuorokausikeskiarvopitoisuuksien vaihtelu. Mittausjakson pitoisuuskeskiarvot 5,1 µg/m³ hengitettävillä hiukkasilla ja 2,4 µg/m³ pienhiukkasilla Molkoselässä sekä 5,0 µg/m³ hengitettävillä hiukkasilla ja 2,2 µg/m³ pienhiukkasilla Männikössä ovat selvästi alle hengitettävien hiukkasten vuosiraja-arvon 40 µg/m³ ja pienhiukkasten vuosiraja-arvon 25 µg/m³. Hiukkasten pitoisuudet olivat mittausasemilla keskimäärin hieman korkeampia kesäkaudella kuin talvella lumipeitteiseen aikaan. Ilmatieteen laitos on mitannut aiemmin Agnico Eagle Finland Oy:n kaivosalueen lähiympäristössä Männikön, Molkoselän ja Portinvartijan talon

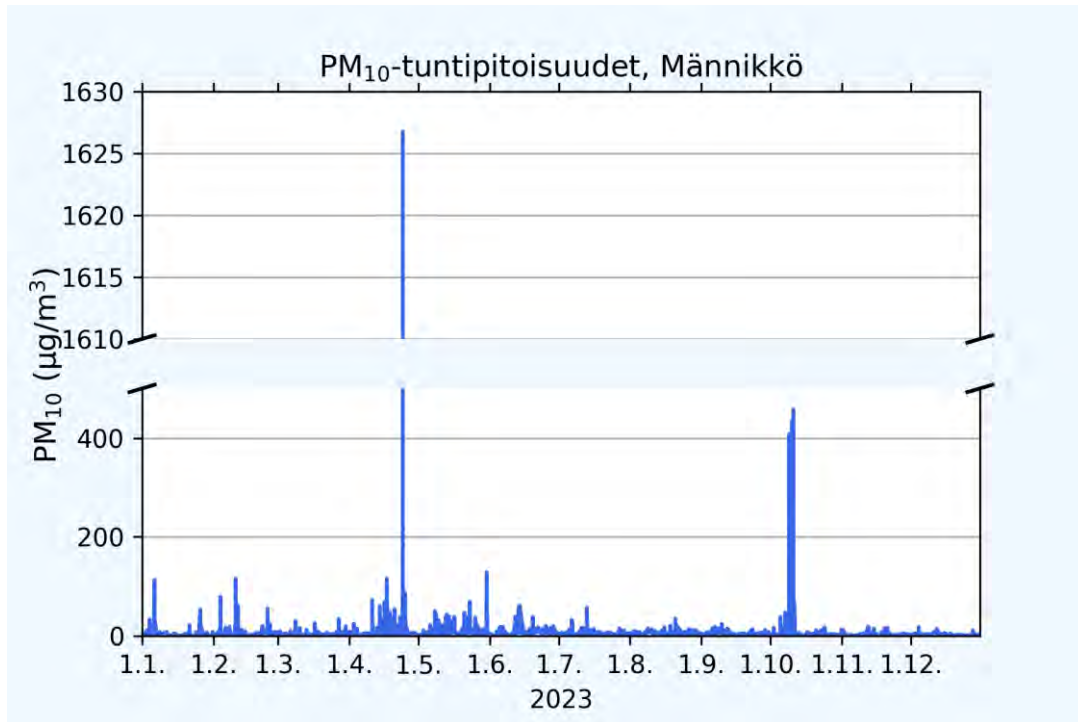
mittauskohteissa hengitettävien hiukkasten pitoisuuksia vuosina 2008–2009 (toukokuu 2008 - huhtikuu 2009, mittauspaikat Molkoselkä ja Portinvartijan talo), 2009–2010 (huhtikuu 2009 - tammikuu 2010, mittauspaikka Portinvartijan talo), 2013 (kesäkuu - marraskuu, mittauspaikat Molkoselkä ja Portinvartijan talo) ja 2018 (mittauspaikat Molkoselkä ja Männikkö). Eri vuosina mitatut keskiarvopitoisuudet on esitetty taulukossa 1. Aiempien ajanjaksojen, lukuunottamatta vuotta 2018, ja vuoden 2023 mittausjaksojen vuosikeskiarvopitoisuudet eivät ole suoraan vertailukelpoisia, koska mittausajankohdat sijoittuvat eri vuodenaikoihin ja mittauksia on suoritettu eri paikoissa. Ilmanlaatulainsäädäntö edellyttää, että jatkuvien mittausten ajallinen kattavuus on vähintään 85 % vuoden tunneista, jotta raja-arvoon verrannollista vuosikeskiarvopitoisuutta voidaan arvioida luotettavasti. Mikäli mittausten ajallinen kattavuus on tätä pienempi, mittaukset luokitellaan suunta-antaviksi ja silloin niiden ajallinen kattavuus tulee olla vähintään 14 % 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. Molemmissa mittauspaikoissa mitattiin kohonneita hengitettävien hiukkasten tuntipitoisuuksia huhtikuun lopulla 24.4. Kyseisenä päivänä hengitettävien hiukkasten tuntipitoisuudet olivat korkeimmillaan klo 5–7:00 välisenä aikana ($1627 \mu\text{g}/\text{m}^3$) Männikössä ja klo 8–9:00 ($418 \mu\text{g}/\text{m}^3$) Molkoselässä (kuvat 2–3). Kyseisenä ajankohtana tuuli on ollut tyyntä, joten mitatut pitoisuudet ovat peräisin ennemminkin mittauspaikkojen lähiympäristöstä kuin kaivokselta. Myös mahdollinen lämpötilan pintainversio on voinut edesauttaa paikallisten korkeiden pitoisuuksien muodostumista.

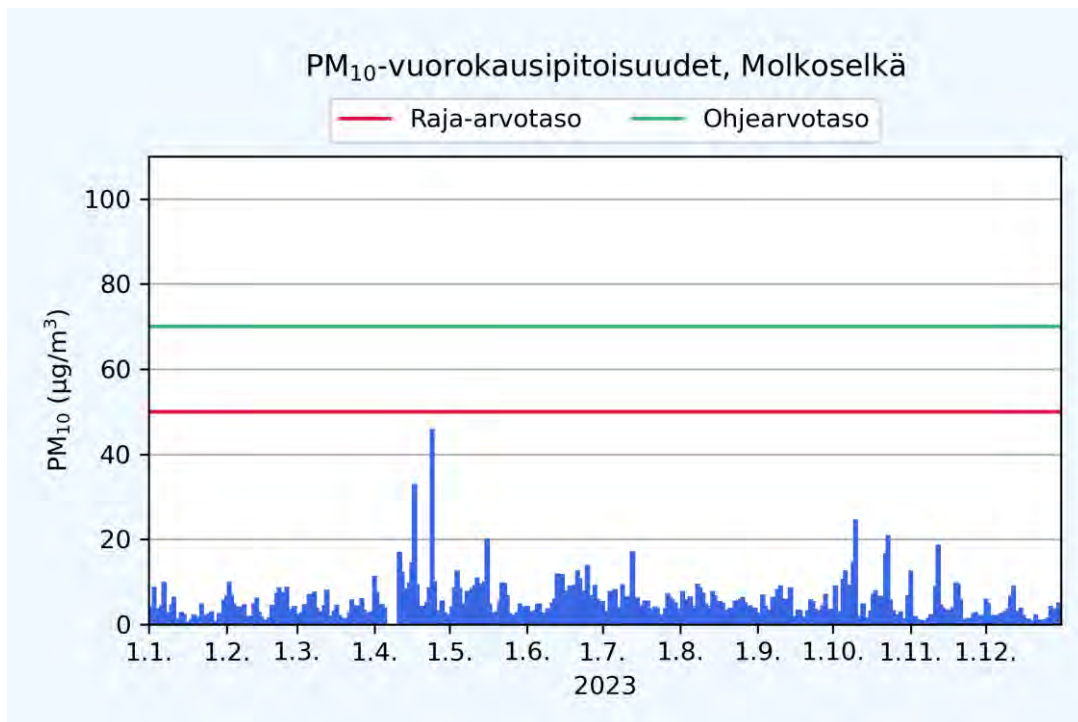
Pienhiukkaspitoisuudet olivat koholla pääasiassa samaan aikaan kuin hengitettävien hiukkasten pitoisuudet (kuvat 6–7). Huhtikuussa 24.4. mitattiin myös selkeästi korkeampia pienhiukkasten tuntipitoisuuksia Männikössä ($188 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ja Molkoselässä ($51 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Korkeat pitoisuudet ovat todennäköisesti aiheutuneet puunpoltosta mittauspaikan lähiympäristössä.



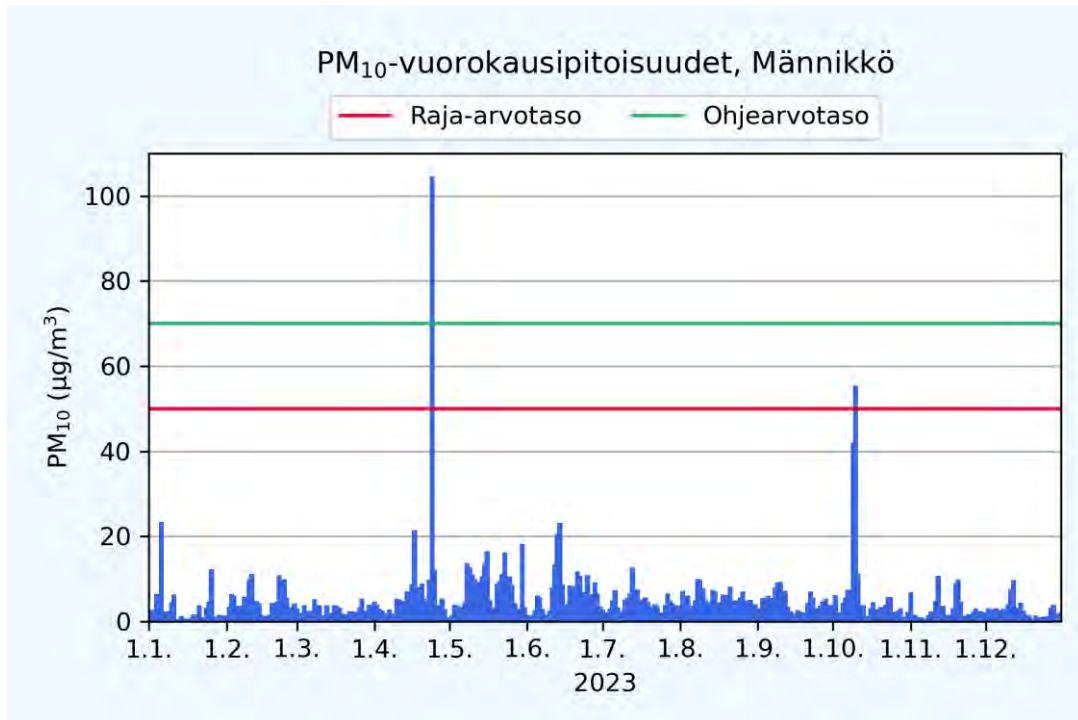
Kuva 2: Kittilän Molkoselän ilmanlaadun mittausasemalla vuonna 2023 mitatut PM₁₀-hiukkasten **tuntipitoisuudet**. Hengitettävien hiukkasten tuntipitoisuuksille ei ole ohje- tai raja-arvoja.



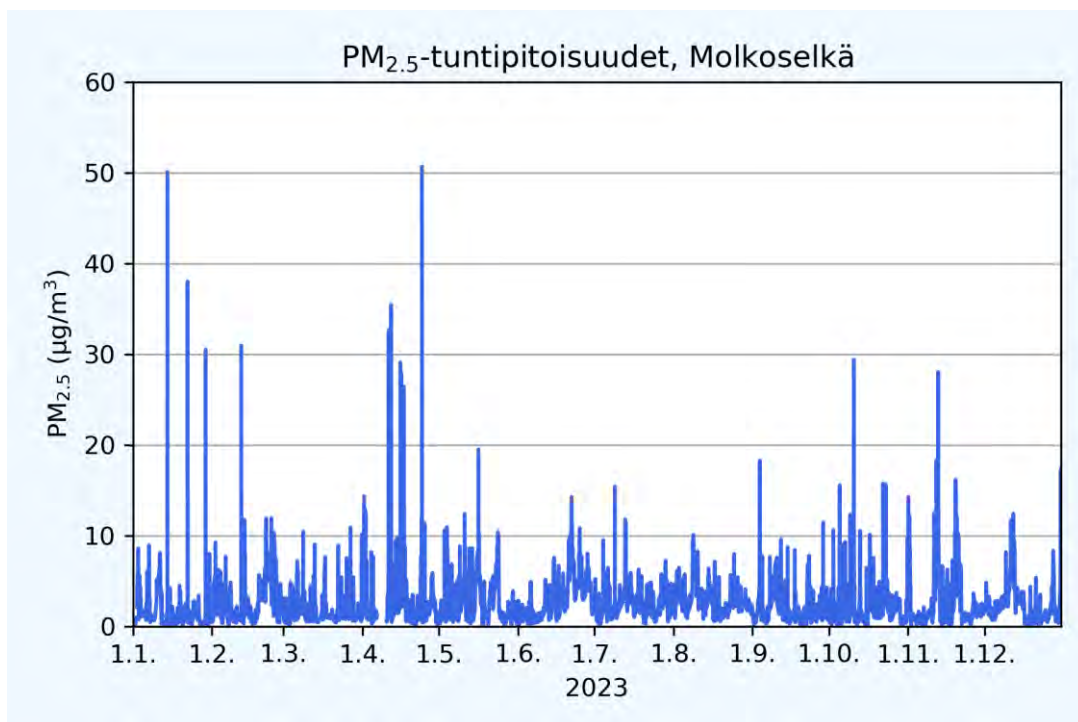
Kuva 3: Kittilän Männikön ilmanlaadun mittausasemalla vuonna 2023 mitatut PM₁₀-hiukkasten **tuntipitoisuudet**. Hengitettävien hiukkasten tuntipitoisuuksille ei ole ohje- tai raja-arvoja.



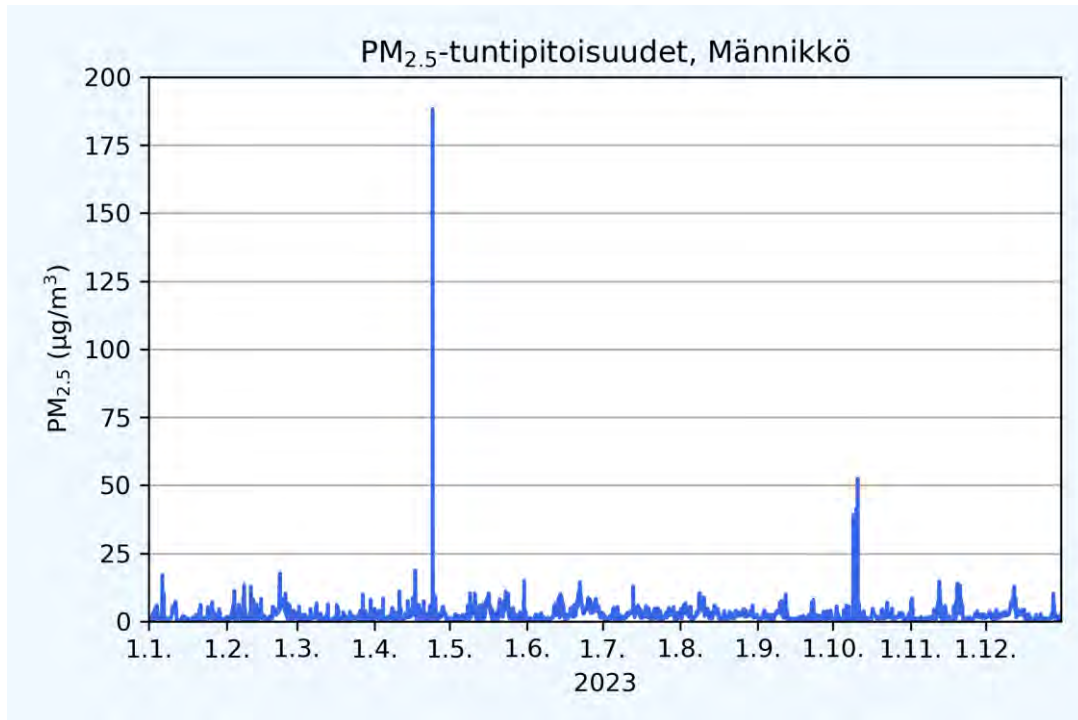
Kuva 4: Kittilän Molkoselän ilmanlaadun mittausasemalla vuonna 2023 mitatut PM₁₀-hiukkasten **vuorokausipitoisuudet**. Kuvaan on merkitty viivoilla hengitettävien hiukkasten ohje- ja raja-arvotasot. Vuorokausiraja-arvotason 50 µg/m³ ylityksiä saa olla 35 kappaletta vuodessa. Ohje- ja raja-arvotasojen tilastolliset määrittelyt on esitetty taulukoissa 5 ja 6.



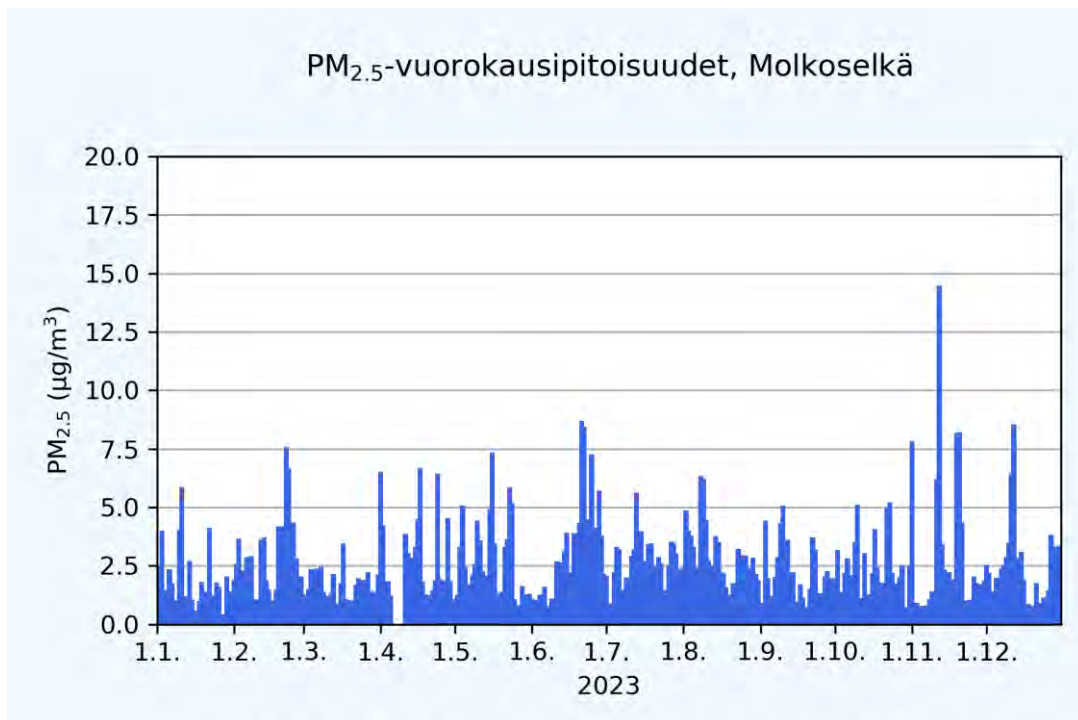
Kuva 5: Kittilän Männikön ilmanlaadun mittausasemalla vuonna 2023 mitatut PM₁₀-hiukkasten **vuorokausipitoisuudet**. Kuvaan on merkitty viivoilla hengitettävien hiukkasten ohje- ja raja-arvotasot. Vuorokausiraja-arvotason 50 µg/m³ ylityksiä saa olla 35 kappaletta vuodessa. Ohje- ja raja-arvotasojen tilastolliset määrittelyt on esitetty taulukoissa 5 ja 6.



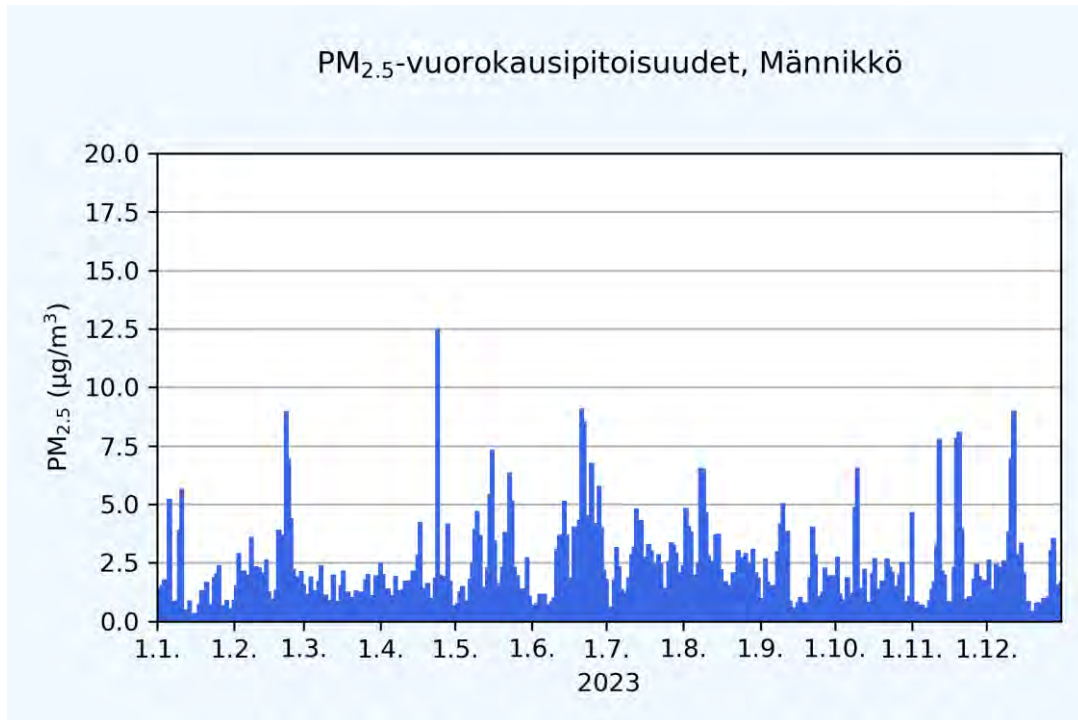
Kuva 6: Kittilän Molkoselän ilmanlaadun mittausasemalla vuonna 2023 mitatut PM_{2.5}-hiukkasten **tuntipitoisuudet**. Pienhiukkasten tuntipitoisuuksille ei ole ohje- tai raja-arvoja.



Kuva 7: Kittilän Männikön ilmanlaadun mittausasemalla vuonna 2023 mitatut $PM_{2.5}$ -hiukkasten **tuntipitoisuudet**. Pienhiukkasten tuntipitoisuuksille ei ole ohje- tai raja-arvoja.



Kuva 8: Kittilän Molkoselän ilmanlaadun mittausasemalla vuonna 2023 mitatut $PM_{2.5}$ -hiukkasten **vuorokausipitoisuudet**. Pienhiukkasten vuorokausipitoisuuksille ei ole ohje- tai raja-arvoja.



Kuva 9: Kittilän Männikön ilmanlaadun mittausasemalla vuonna 2023 mitatut PM_{2,5}-hiukkasten **vuorokausipitoisuudet**. Pienhiukkasten vuorokausipitoisuuksille ei ole ohje- tai raja-arvoja.

Taulukko 1: Kittilän kaivoksen Männikön, Molkoselän ja Portinvartijan talon mittausasemilla eri ajanjaksoina mitatut hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) keskiarvopitoisuudet (µg/m³).

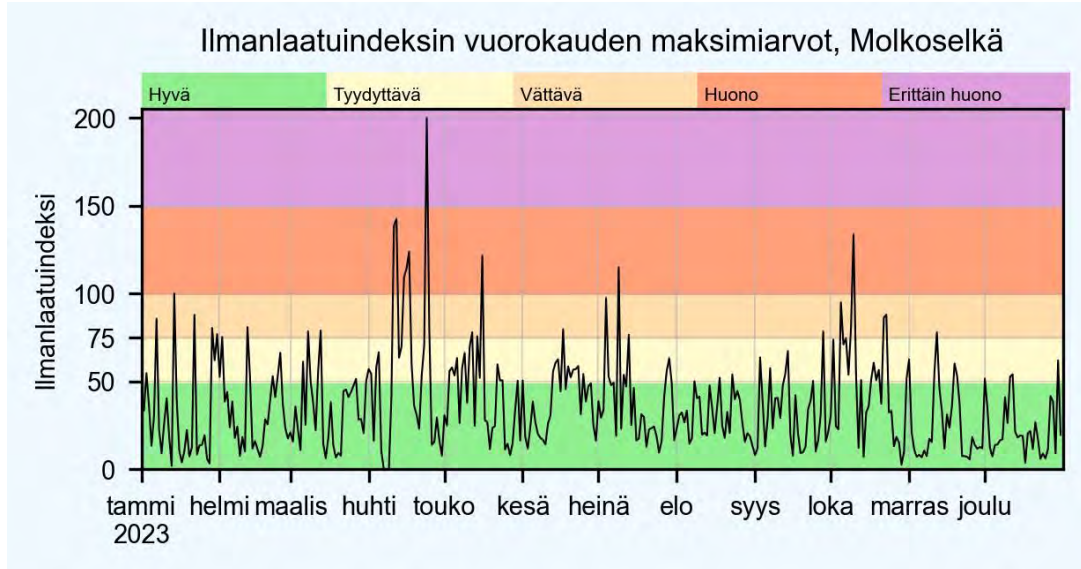
Mittausjakson PM ₁₀ -pitoisuuskeskiarvo (µg/m ³)	Männikkö	Molkoselkä	Portinvartijan talo
2008–2009 (10 kk)		6	5
2009–2010 (10 kk)			7
2013 (6 kk)		6	9
2018 (12 kk)	6	8	
2023 (12 kk)	5	5	

2.2 Ilmanlaatuindeksi

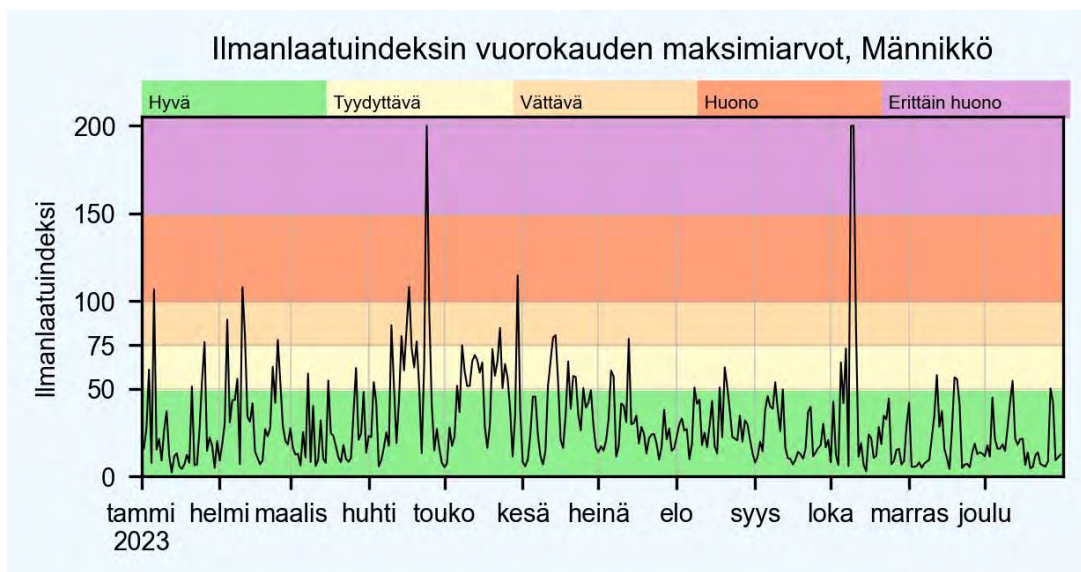
Kittilän Molkoselän ja Männikön ilmanlaadun mittausasemilla mitattujen PM₁₀- ja PM_{2,5}-hiukkasten pitoisuuksien tuntiarvojen perusteella laskettiin ilmanlaatuindeksi, joka kuvaa vallitsevaa ilmanlaatuilannetta viisiportaisella sanallisella asteikolla: hyvä, tyydyttävä, välttävä, huono tai erittäin huono. Ilmanlaatuindeksi on vertailuluku, joka kuvaa sen hetkistä ilmanlaatua suhteutettuna ilmanlaadun terveysvaikutusperusteisiin rajat- 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 määrytyy puolestaan ilmanlaadultaan huonoimman tunnin mukaan.

Kuvissa 10 ja 11 on esitetty vuorokauden suurimmat ilmanlaatuindeksin arvot Kittilän Molkoselän ja Männikön ilmanlaadun mittausasemilla vuonna 2023. Indeksillä ilmaistuna ilmanlaatu oli Molkoselän mittausasemalla hyvää tai tyydyttävää 91,7 %, välttävää 5,5 %, huonoa 2,5 % ja erittäin huonoa 0,3 % päivistä (1 päivä). Vastaavasti ilmanlaatu Männikön mittausasemalla oli hyvää tai tyydyttävää 94,2 %, välttävää 3,9 %, huonoa 1,1 % ja erittäin huonoa 0,8 % päivistä (3 päivää). Erittäin huonot ilmanlaadun päivät olivat 24.4.2023

(molemmilla asemilla) sekä 9.10.2023 ja 10.10.2023 (Männikön asemalla). Sekä huhtikuun että lokakuun erittäin huonon ilmanlaadun päivinä korkeimpien mittattujen pitoisuuksien aikaan tuuli oli tyyntä ja täten päästöt johtuivat todennäköisesti lähiympäristöstä eivätkä kaivosalueen toiminnasta. Hengitettävillä hiukkasilla oli Molkoselän asemalla ilmanlaatuun suurempi vaikutus 55 % päivistä ja pienhiukkasilla 45 % päivistä. Männikön asemalla hengitettävillä hiukkasilla oli ilmanlaatuun suurempi vaikutus 52 % päivistä ja pienhiukkasilla 48 % päivistä.



Kuva 10: Vuorokauden suurimmat ilmanlaatuindeksin arvot Kittilän Molkoselän ilmanlaadun mittausasemalla vuonna 2023.



Kuva 11: Vuorokauden suurimmat ilmanlaatuindeksin arvot Kittilän Männikön ilmanlaadun mittausasemalla vuonna 2023.

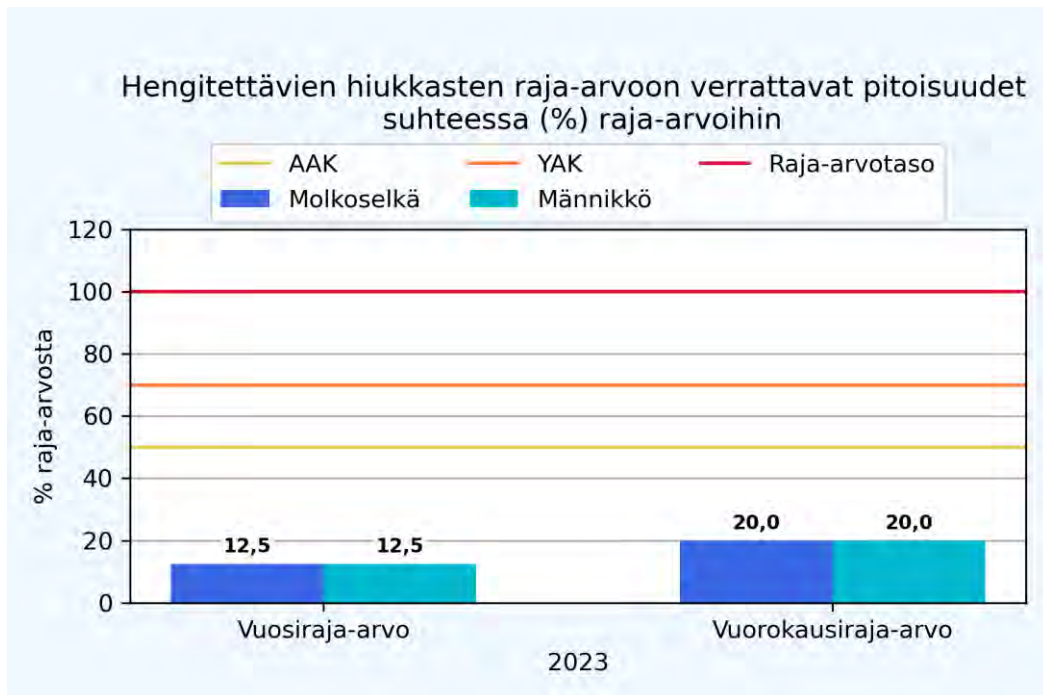
2.3 Pitoisuuksien vertailua raja- ja ohjearvoihin

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. Ohjearvojen seuraamisella 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 seurantarvetta ja käytettäviä

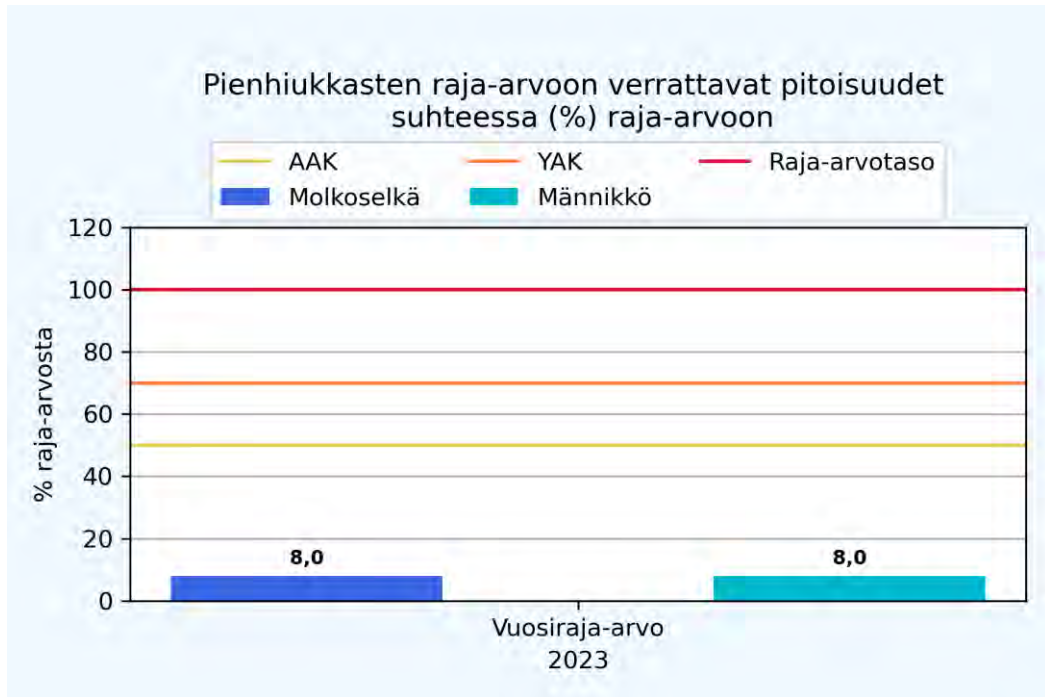
seurantamenetelmiä. Ilmanlaadun lainsäädännöstä on kerrottu tarkemmin raportin osassa II kappaleessa 6.4. Ilmanlaadun raja-arvotarkasteluissa vertailujakso on yksi kalenterivuosi.

Kuvassa 12 on esitetty vertailut Kittilän Molkoselän ja Männikön ilmanlaadun mittausasemilla havaituista hengitettävien hiukkasten vuosiraja-arvoon, vuorokausiraja-arvoon ja arviointikynnyksiin verrannollisista pitoisuuksista. Kittilän asemilla mitatut pitoisuudet jäivät selvästi raja-arvojen ja arviointikynnysten alapuolelle. Kittilän asemilla hengitettävien hiukkasten pitoisuudet olivat korkeimmillaan 20 % vuorokausiraja-arvosta ja 13 % vuosiraja-arvosta. Hengitettävien hiukkasten vuorokausiraja-arvotason 50 µg/m³ ylityksiä ei ollut vuonna 2023 ollenkaan Kittilän Molkoselän asemalla ja Kittilän Männikön asemalla ylityksiä oli 2 kappaletta. Näitä ylityspäiviä saa olla mittausasemalla 35 kappaletta vuodessa ennen kuin vuorokausiraja-arvo katsotaan ylittyneeksi. Mitatut pienhiukkaspitoisuudet Kittilän Molkoselän ja Männikön asemilla jäivät myös selvästi raja-arvon ja arviointikynnysten alapuolelle (kuva 13). Pienhiukkasten pitoisuudet olivat korkeimmillaan 8 % 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 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 vuonna 2023 hiukkasten osalta molemmilla asemilla.

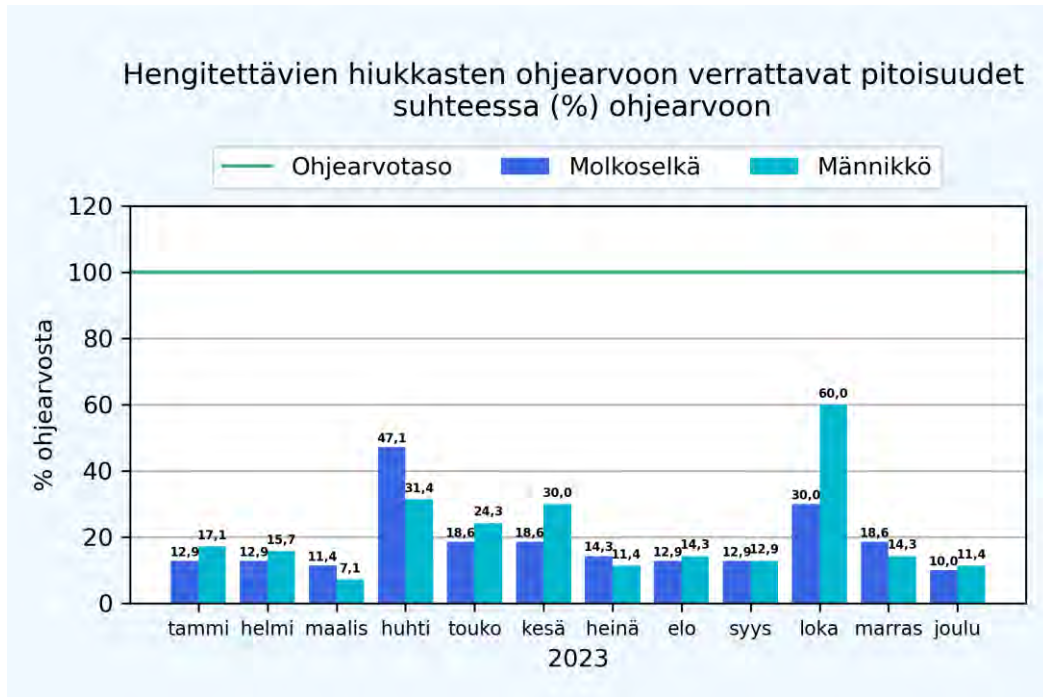


Kuva 12: Hengitettävien hiukkasten raja-arvoon verrattavat pitoisuudet suhteessa (%) raja-arvoihin Kittilän Molkoselän ja Männikön ilmanlaadun mittausasemilla vuonna 2023. Kuvaan on merkitty vaakaviivoilla raja-arvotaso sekä ylempi (YAK) ja alempi arviointikynnys (AAK).



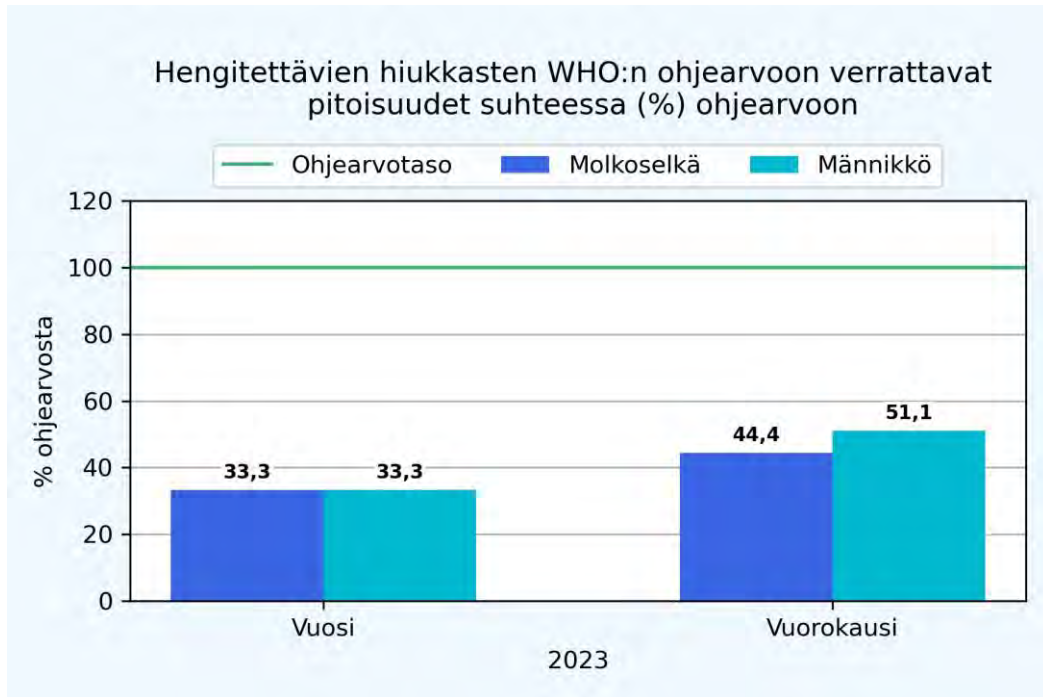
Kuva 13: Pienhiukkasten raja-arvoon verrattava pitoisuus suhteessa (%) raja-arvoon Kittilän Molkoselän ja Männikön ilmanlaadun mittausasemilla vuonna 2023. Kuvaan on merkitty vaakaviivoilla raja-arvotaso sekä ylempi (YAK) ja alempi arviointikynnys (AAK).

Kuvassa 14 on esitetty hengitettävien hiukkasten ohjearvoon ($70 \mu\text{g}/\text{m}^3$) verrannolliset kuukauden 2. korkeimmat vuorokausikeskiarvopitoisuudet Kittilän Molkoselän ja Männikön ilmanlaadun mittausasemilta. Ohjearvotaso ei ylittynyt kummallakaan asemalla kertaakaan vuonna 2023. Hengitettävien hiukkasten ohjearvoon verrannolliset pitoisuudet olivat korkeimmillaan loppukeväästä ja alkusyksystä. Kittilän Molkoselän korkeimmat ohjearvoon verrattavat pitoisuudet mitattiin huhtikuussa (47 % ohjearvosta) ja Männikön korkeimmat pitoisuudet lokakuussa (60 % ohjearvosta). Ohjearvoon vertaaminen edellyttää, että vuorokausipitoisuuksia on vähintään 75 % kuukauden vuorokausien lukumäärästä. Tämä vaatimus täyttyi kaikkina kuukausina vuonna 2023.

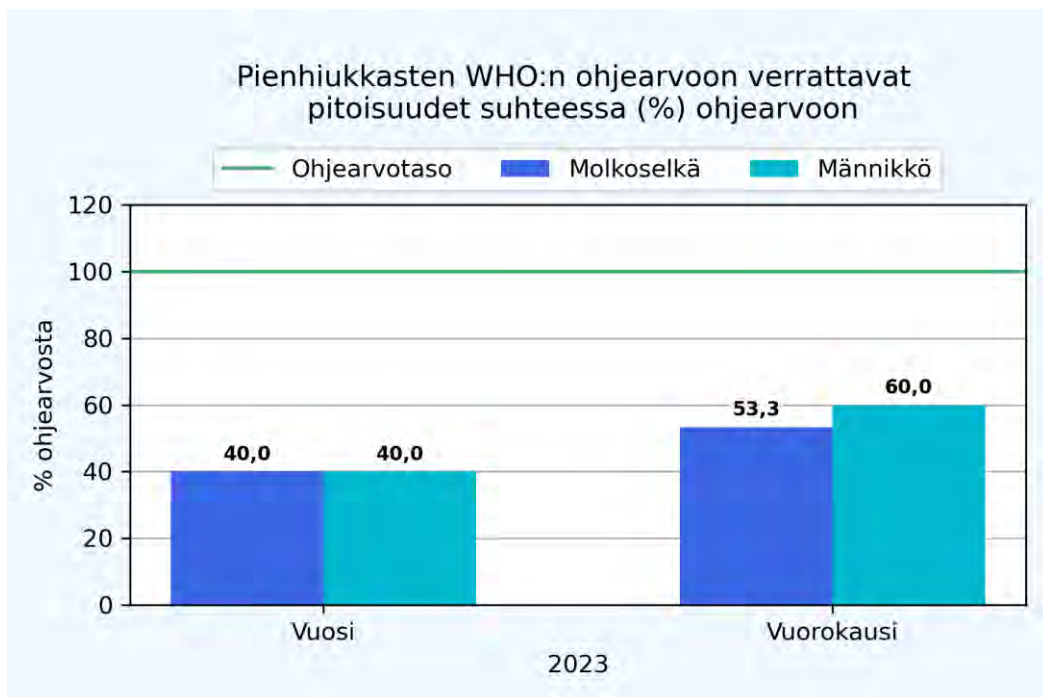


Kuva 14: Hengitettävien hiukkasten ohjearvoon verrattavat vuorokausikeskiarvopitoisuudet kuukausittain Kittilän Molkoselän ja Männikön ilmanlaadun mittausasemilla vuonna 2023. Vihreällä väriviivalla (100 %) on merkitty ohjearvotaso ($70 \mu\text{g}/\text{m}^3$) kuukauden 2. korkeimmille vuorokausipitoisuuksille.

Kuvassa 15 on esitetty vuonna 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 vaikutusten 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 korkeimpien vuorokausikeskiarvopitoisuuksien 99. prosenttipiste, joka tarkoittaa käytännössä sitä, että kalenterivuoden jaksolla sallitaan 3 ylityskertaa ennen kuin vuorokausiohjearvon katsotaan ylittyneen. WHO:n hengitettävien hiukkasten vuosiohjearvoon ($15 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ja vuorokausiohjearvotasoon ($45 \mu\text{g}/\text{m}^3$) verrattavat pitoisuudet alittuivat Kittilän Molkoselän ja Männikön mittausasemilla. Kuvassa 16 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 vuonna 2023.



Kuva 15: Hengitettävien hiukkasten WHO:n ohjearvoon verrattavat pitoisuudet suhteessa (%) ohjearvoon Kittilän Molkoselän ja Männikön ilmanlaadun mittausasemilla vuonna 2023. Vihreällä vaakaviivalla (100 %) on merkitty ohjearvotaso (vuosi: 15 µg/m³, vuorokausi: 45 µg/m³, vuorokausiarvolle sallittu 3 ylityskertaa).



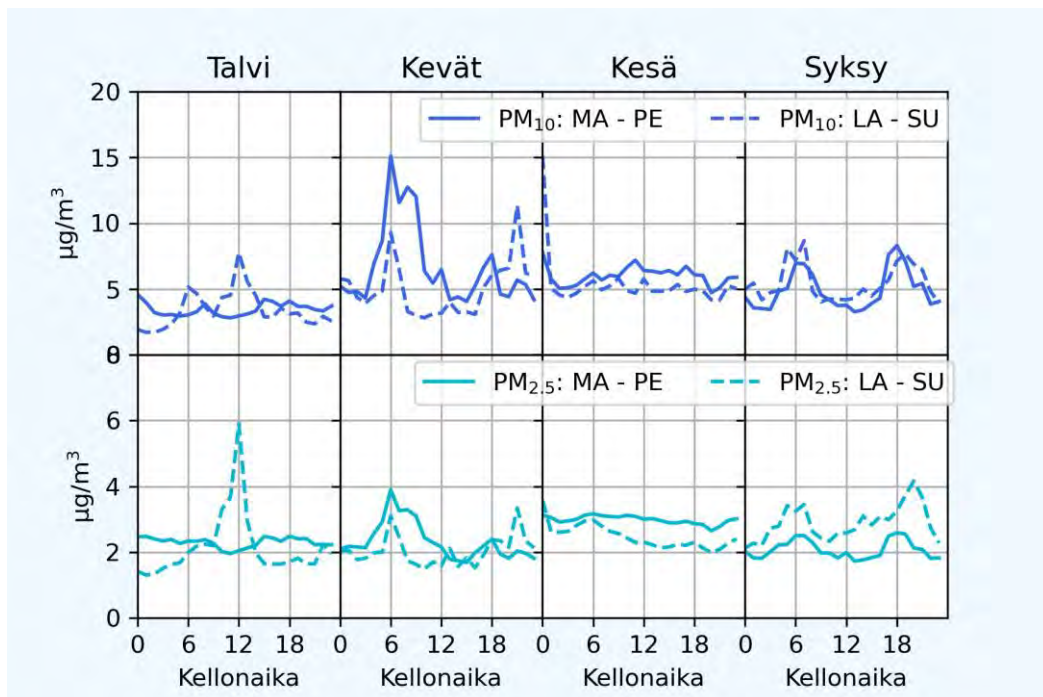
Kuva 16: Pienhiukkasten WHO:n ohjearvoon verrattavat pitoisuudet suhteessa (%) ohjearvoon Kittilän Molkoselän ja Männikön ilmanlaadun mittausasemilla vuonna 2023. Vihreällä vaakaviivalla (100 %) on merkitty ohjearvotaso (vuosi: 5 µg/m³, vuorokausi: 15 µg/m³, vuorokausiarvolle sallittu 3 ylityskertaa).

2.4 Pitoisuuksien ajallinen vaihtelu

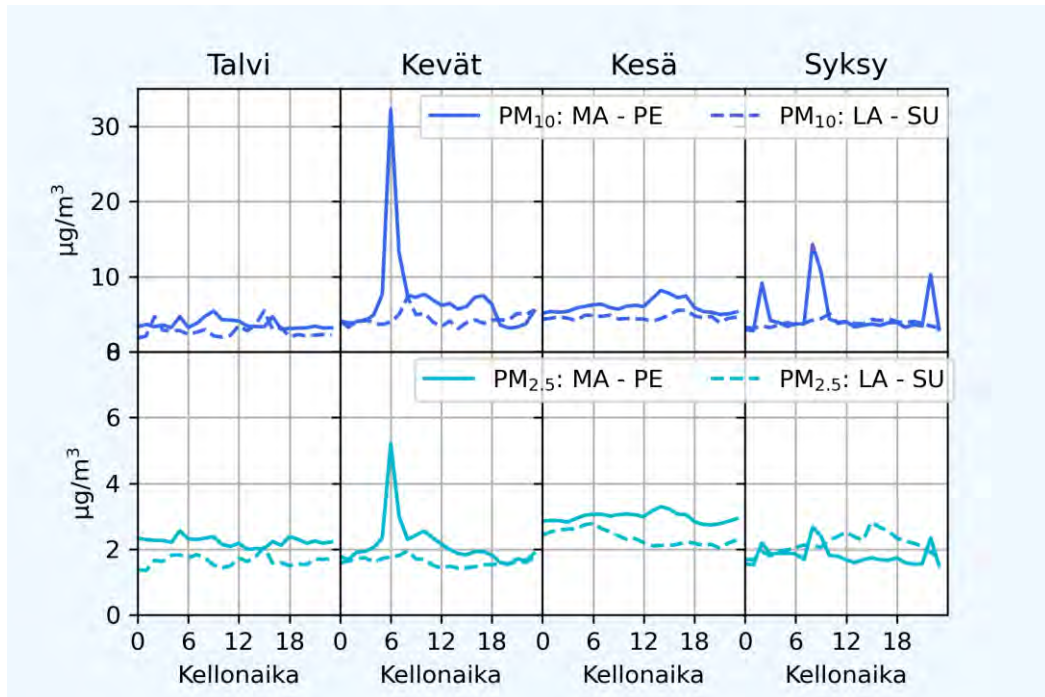
Kuvissa 17 ja 18 on tarkasteltu Kittilän Molkoselän ja Männikön ilmanlaadun mittausasemilla mitattujen hengitettävien hiukkasten ja pienhiukkasten tuntipitoisuuksien vuorokausivaihtelua kellonajan mukaan erikseen arkipäivisin (maanantai–perjantai) ja viikonloppuisin (lauantai–sunnuntai) sekä eri vuodenaikoina (talvi:

tammi-, helmi- ja joulukuu; kevät: maaliskuu, huhti- ja toukokuu; kesä: kesä-, heinä- ja elokuu; syksy: syys-, loka- ja marraskuu). Huomionarvoista kuvissa on korkeammat pienhiukkasten pitoisuustasot kesällä, mihin on voinut vaikuttaa muun muassa metsäpaloista kaukokulkeutuneet hiukkaset. Hengitettävien hiukkasten osalta on nähtävissä, että pitoisuustasot ovat korkeammat keväällä pölyämisaikaan. Erityisesti Männikön asemalla keväällä kello 6 aamulla erottuva pitoisuuspiikki johtuu pääosin maanantaina 24.4.2023 kyseiseen kellonaikaan mitatuista erittäin korkeista pitoisuuksista.

Hiukkasten tuntipitoisuuksien vuorokaudenaikaisvaihtelussa pitoisuudet olivat pääasiassa pienempiä viikonloppuisin kuin arkipäivinä. Poikkeuksena oli syksy, jolloin pienhiukkasten pitoisuudet olivat viikonloppuisin korkeammat tai samalla tasolla kuin arkipäivisin. Myös talvella Molkoselän asemalla näkyy keskipäivällä korkea pitoisuuspiikki viikonloppuisin, jota ei erotu arkipäivinä. Pitoisuuksiin vaikuttavat teollisuuden pölyävien toimintojen ja pakokaasuissa olevien hiukkasten lisäksi tuulen ja liikenteen maanpinnalta ilmaan nostattamat hiukkaset, joiden määrää säätelevät muun muassa liikenteen viikkaus 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.

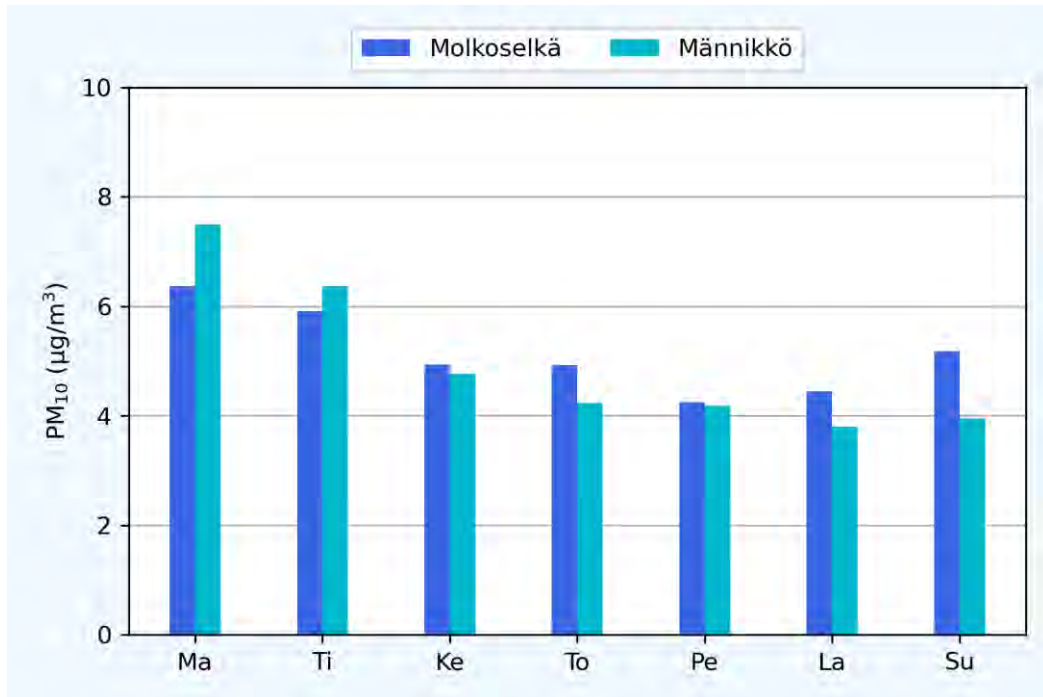


Kuva 17: Mitattujen pitoisuuksien ajallinen vaihtelu vuorokaudenajan, viikonpäivän sekä vuodenajan mukaan Kittilän Molkoselän ilmanlaadun mittausasemalla vuonna 2023. Arkipäiviä ovat ma-pe, viikonloppuja ovat la-su ja vuodenajat ovat talvi: tammi-, helmi- ja joulukuu; kevät: maaliskuu, huhti- ja toukokuu; kesä: kesä-, heinä- ja elokuu; syksy: syys-, loka- ja marraskuu.

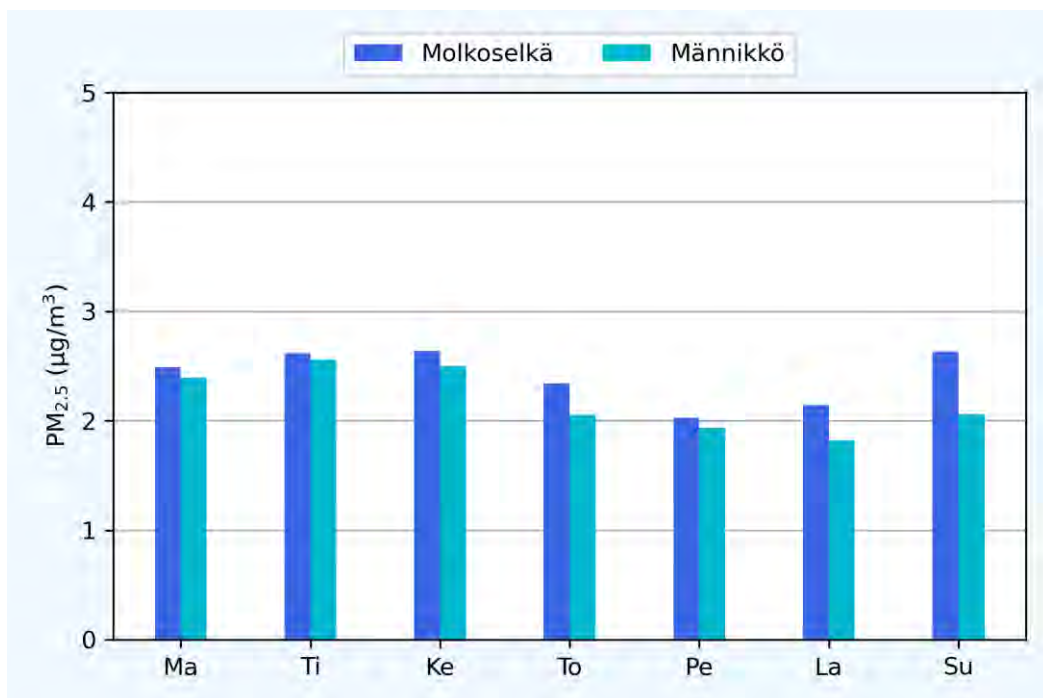


Kuva 18: Mitattujen pitoisuuksien ajallinen vaihtelu vuorokaudenajan, viikonpäivän sekä vuodenajan mukaan Kittilän Männikön ilmanlaadun mittausasemalla vuonna 2023. Arkipäiviä ovat ma-pe, viikonloppuja ovat la-su ja vuodenajat ovat talvi: tammi-, helmi- ja joulukuu; kevät: maaliskuu-, huhti- ja toukokuu; kesä: kesä-, heinä- ja elokuu; syksy: syys-, loka- ja marraskuu.

Viikonpäivittäin tarkasteltuna korkeimmat hengitettävien hiukkasten pitoisuudet havaittiin alkuvuokasta (kuva 19). Pienimmät hengitettävien hiukkasten pitoisuudet havaittiin Molkoselällä perjantaisin ja Männikössä lauantaisin. Kuvassa 20 on samanlainen tarkastelu pienhiukkasille. Kuvasta nähdään, että pitoisuustasojen vaihtelu eri viikonpäivien välillä on pienempää kuin hengitettävillä hiukkasilla. Hieman suuremmat pitoisuudet havaittiin myös alkuvuokasta ja Molkoselällä myös sunnuntaisin. Pienimmät pienhiukkasten pitoisuudet havaittiin Molkoselällä perjantaisin ja Männikössä lauantaisin.



Kuva 19: Kittilän Molkoselän ja Männikön ilmanlaadun mittausasemilla vuonna 2023 mitattujen hengitettävien hiukkasten pitoisuuksien keskiarvot viikonpäivän mukaan.



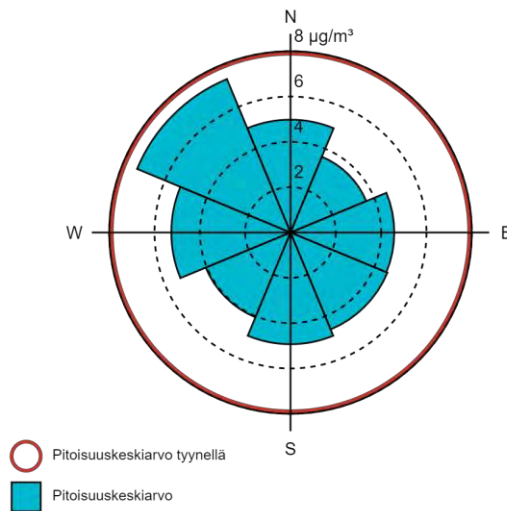
Kuva 20: Kittilän Molkoselän ja Männikön ilmanlaadun mittausasemilla vuonna 2023 mitattujen pienhiukkasten pitoisuuksien keskiarvot viikonpäivän mukaan.

2.5 Tuulen suunnan ja nopeuden vaikutus mitattuihin pitoisuuksiin

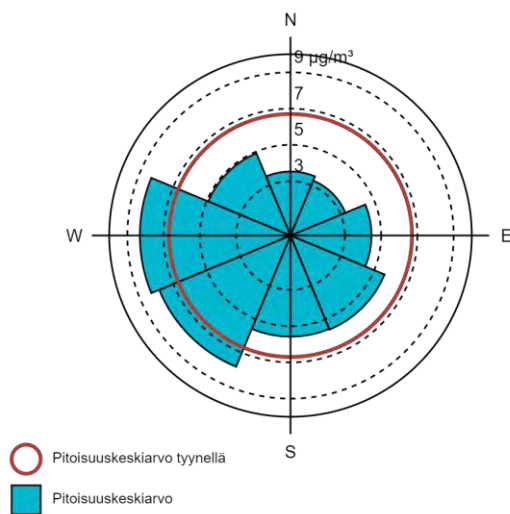
Kuvissa 21 ja 22 on havainnollistettu Kittilän ilmanlaadun mittausasemilla mitattujen hengitettävien hiukkasten pitoisuuksien keskimääräistä riippuvuutta tuulensuunnasta ns. pitoisuusruusujen avulla. Pienhiukkasten pitoisuusruusut on esitetty kuvissa 23 ja 24. Kuvassa 25 on myös havainnollistettu pitoisuusruusuja suhteutettuna mittausasemien sijainteihin. Pitoisuusruusu kuvaa hiukkasten tuntipitoisuuksien keskiarvoa eri tuulensuunnilla. Tyynellä säällä, eli kun tuulen nopeus on alle 0,5 m/s, havaittujen tuntipitoisuuksien keskiarvo

on esitetty ympyrällä, jonka säteen pituus kuvaa pitoisuuden arvoa. Muilla tuulennopeuksilla havaitut pitoisuudet on esitetty tuulensuunnittaisina sektoreina, joissa keskipisteestä lähtevän janan pituus sektorin kehäviivalle vastaa tuntipitoisuuksien keskiarvoa. Vuonna 2023 Kittilän mittausasemilla mitatut tuulet olivat pääosin tyyniä. Molkoselän asemalla tuuli eniten etelästä ja koillisesta ja Männikön asemalla pohjoisesta ja etelästä. Idästä tuuli vähiten molemmilla asemilla. Tuulijakaumat on esitetty kappaleessa 5.1.

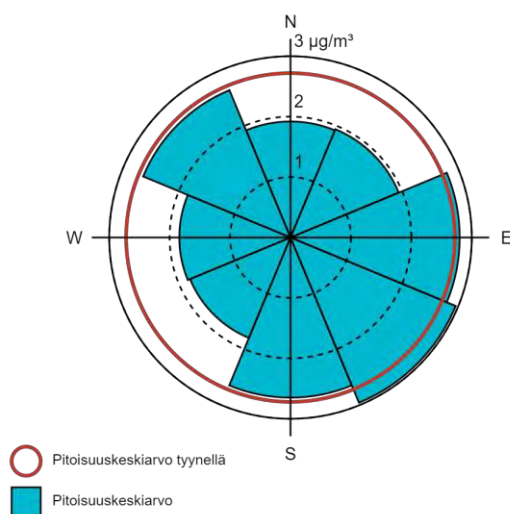
Tyynellä säällä havaitut korkeat hiukkasten pitoisuudet kertovat paikallisista lähipäästölähteistä, joiden lähdeä ja sijaintia ei pystytä tarkasti määrittelemään. Kovemilla tuulennopeuksilla pystytään selkeästi päättämään, mistä suunnasta mitatut pitoisuudet ovat peräisin. Hengitettävien hiukkasten pitoisuusruusun mukaan tuntipitoisuuksien keskiarvot olivat suurimmillaan Molkoselän asemalla tyynellä ja luoteisen puoleisilla tuulilla ja Männikön asemalla lännen ja lounaan puoleisilla tuulilla sekä tyynellä. Kittilän kaivosalue sijaitsee mittausasemien itä- ja luoteispuolella. Molkoselän aseman itä-eteläsektorilla on lähirakennuksia ja Männikössä rakennuksia on länsi-eteläsektorilla. Toiminnot lähirakennuksissa, kuten puunpoltto, ovat voineet aiheuttaa korkeampia pitoisuuksia mittausjakson aikana. Pienhiukkasten pitoisuusruusujen mukaan tuntipitoisuuksien keskiarvot olivat suurimmillaan Molkoselällä itä-eteläsektorilla, luoteistuulilla sekä tyynellä säällä ja Männikössä tyynen sään lisäksi kaakko-eteläsektorilla.



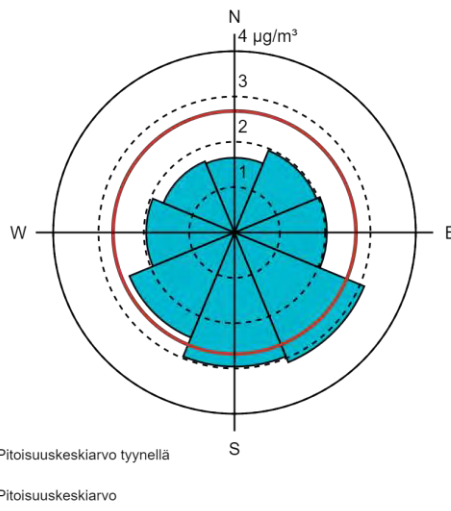
Kuva 21: Kittilän Molkoselän ilmanlaadun mittausasemalla mitattujen hengitettävien hiukkasten **tuntipitoisuuksien keskiarvot** tuulensuunnittain vuonna 2023. Punaisella ympyrällä on merkitty pitoisuuksia, jotka on mitattu tyynissä tilanteissa, jolloin tuulen nopeus on alle 0,5 m/s, eikä suuntaa voida määrittää.



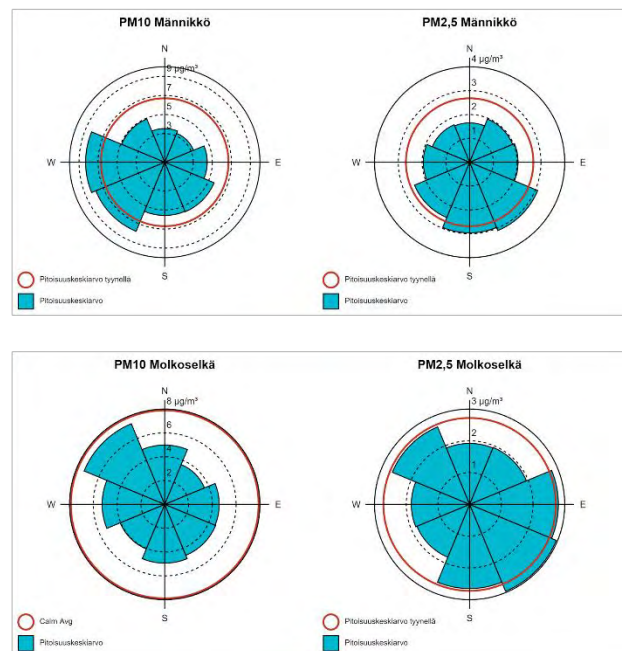
Kuva 22: Kittilän Männikön ilmanlaadun mittausasemalla mitattujen hengitettävien hiukkasten **tuntipitoisuuksien keskiarvot** tuulensuunnittain vuonna 2023. Punaisella ympyrällä on merkitty pitoisuuksia, jotka on mitattu tynnissä tilanteissa, jolloin tuulen nopeus on alle 0,5 m/s, eikä suuntaa voida määrittää.



Kuva 23: Kittilän Molkoselän ilmanlaadun mittausasemalla mitattujen pienhiukkasten **tuntipitoisuuksien keskiarvot** tuulensuunnittain vuonna 2023. Punaisella ympyrällä on merkitty pitoisuuksia, jotka on mitattu tynnissä tilanteissa, jolloin tuulen nopeus on alle 0,5 m/s, eikä suuntaa voida määrittää.



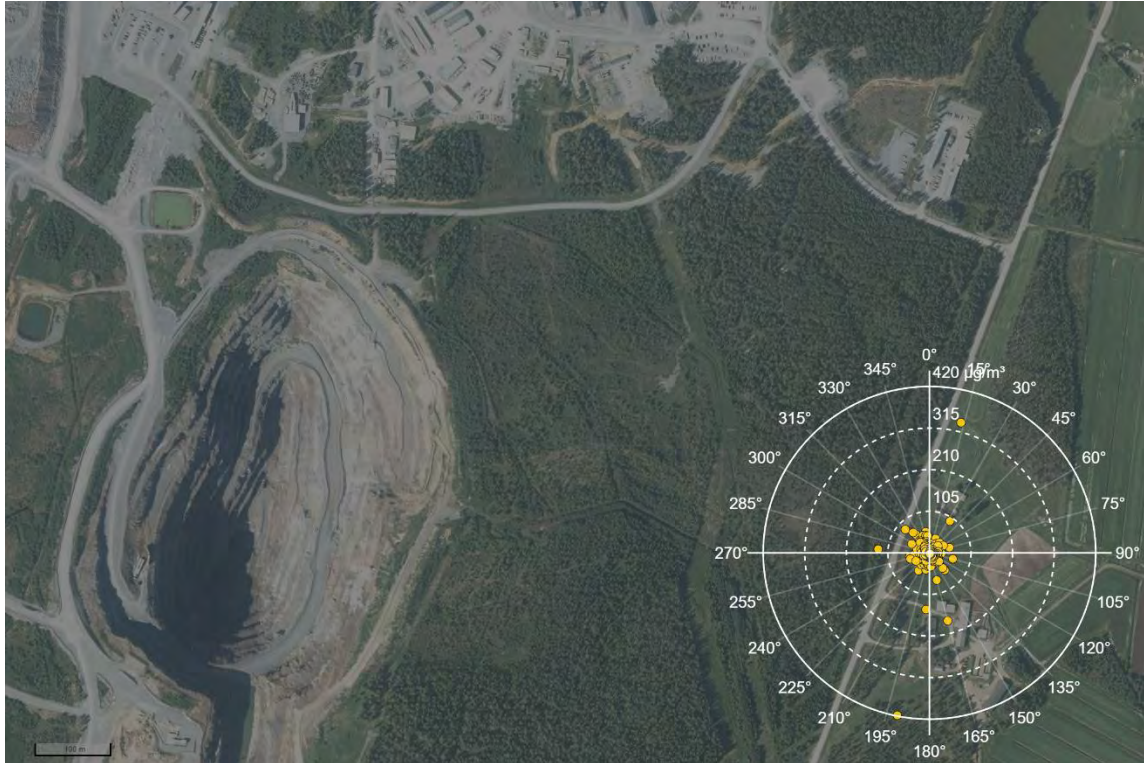
Kuva 24: Kittilän Männikön ilmanlaadun mittausasemalla mitattujen pienhiukkasten **tuntipitoisuuksien keskiarvot** tuulensuunnittain vuonna 2023. Punaisella ympyrällä on merkitty pitoisuuksia, jotka on mitattu tyyneissä tilanteissa, jolloin tuulen nopeus on alle 0,5 m/s, eikä suuntaa voida määrittää.



Kuva 25: Ilmakuva Kittilän kaivosalueesta (Maanmittauslaitoksen ilmakuva, 2022). Männikön mittausasema on merkitty keltaisella ja Molkoselän mittausasema oranssilla tähdellä. Hengitettävien hiukkasten ja pienhiukkasten pitoisuusruusut ovat havainnollistamassa hiukkaspitoisuuksien lähteitä suhteessa mittausasemien sijainteihin.

Kuvissa 26 ja 27 on esitetty Kittilän mittausasemilla mitattujen hengitettävien hiukkasten yksittäisten tuntipitoisuuksien riippuvuus tuulen suunnasta. Molkoselän mittausasemalla eniten korkeampia pitoisuuksia mitattiin etelän suunnasta puhaltavilla tuulilla. Etelässä sijaitsee pihapiirin asuinrakennus sekä pihatie, joka on voinut pölytä kesäaikaan. Männikön mittausasemalla yksi selkeästi korkeampi tuntipitoisuus on mitattu pohjoisesta ja yksittäiset hieman korkeammat tuntipitoisuudet on mitattu myös lounaasta ja luoteesta.

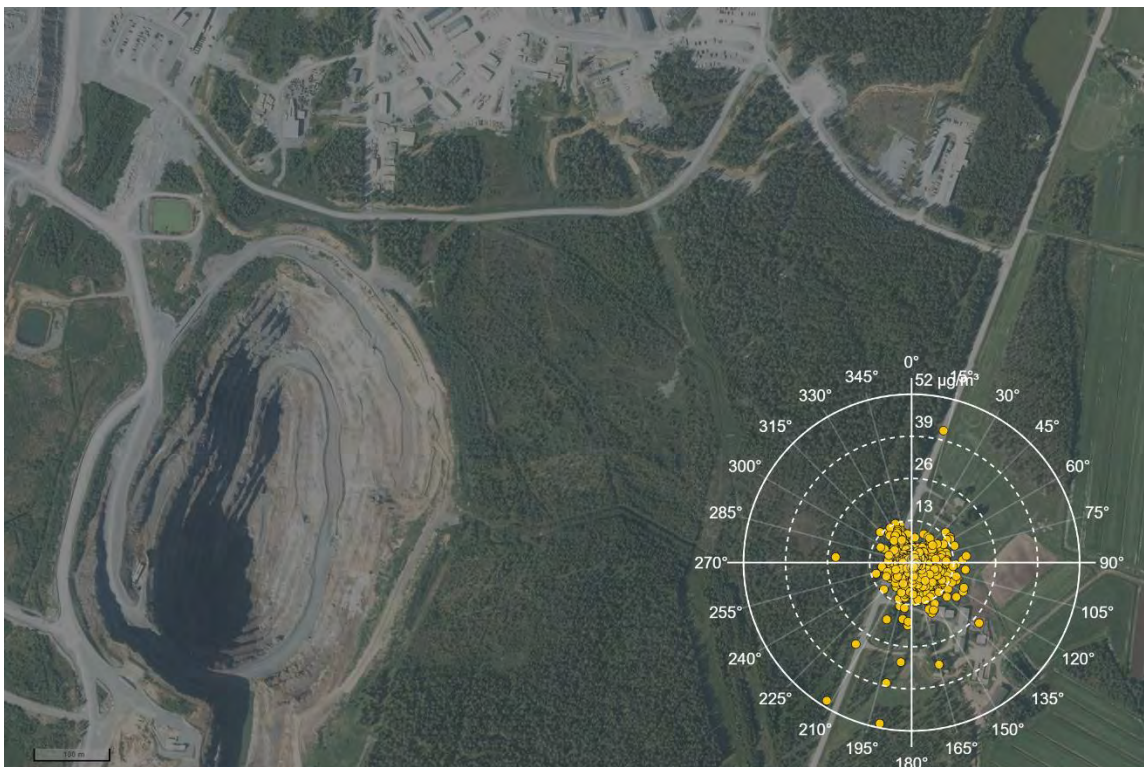
Asemasta pohjoisessa sijaitsee peltoa, metsää ja kaivosalue. Lounaassa sijaitsee rakennuksia sekä piha-alue ja luoteen suunnalla on peltoa, metsää sekä kaivosaluetta. Kuvissa 28 ja 29 on esitetty vastaavat kuvat pienhiukkasilte. Pienhiukkasten yksittäiset korkeammat pitoisuudet mitattiin pääasiassa etelän ja lounaan suunnilta Molkoselässä. Männikössä suurimmat yksittäiset tuntipitoisuudet mitattiin koillisen, lounaan ja luoteen suunnilta.



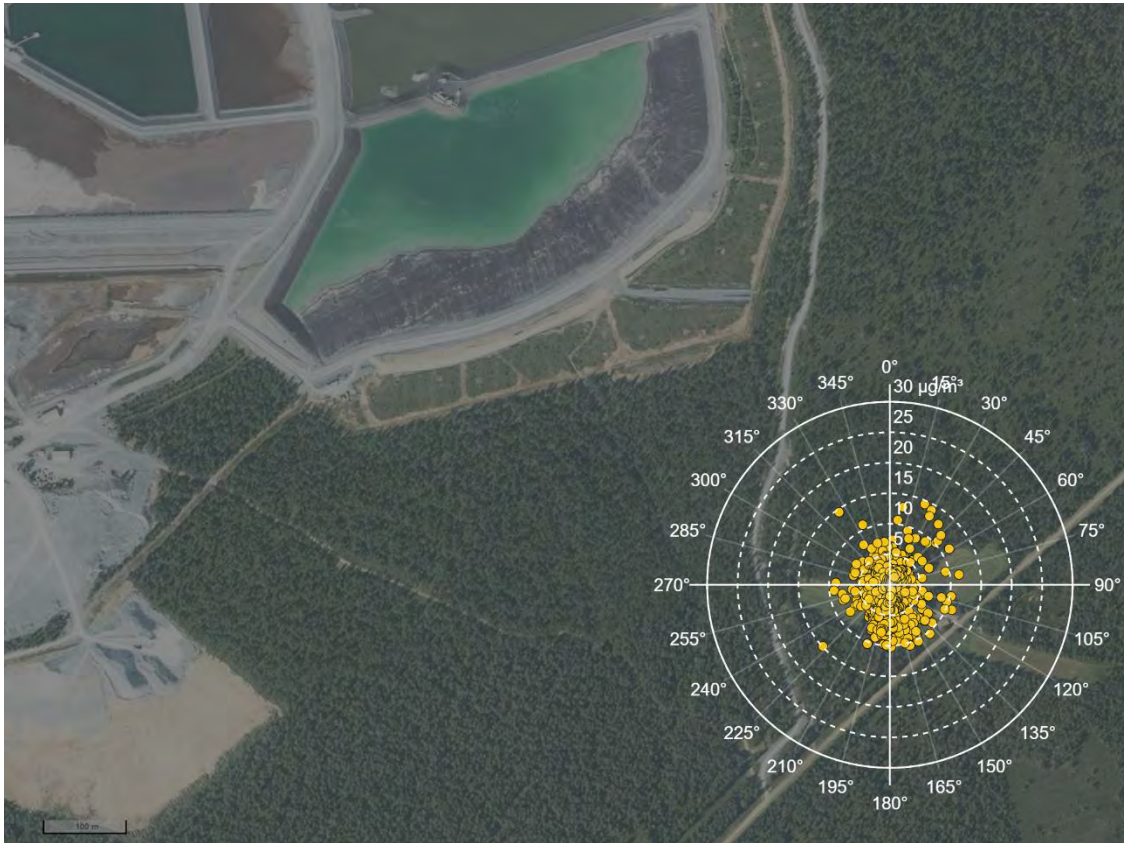
Kuva 26: Kittilän Molkoselän ilmanlaadun mittausasemalla mitatut hengitettävien hiukkasten yksittäiset tuntipitoisuudet ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) tuulensuunnittain (0–360°) vuonna 2023. Kuvassa eivät näy tynnellä mitatut tuntipitoisuudet. Tynniksi on tässä tarkastelussa luokiteltu alle 0,5 m/s tuulen nopeudet. Kuvassa vasemmalla näkyy Kittilän kaivosalue. Kartta Maanmittauslaitoksen ilmakekuva, 2022).



Kuva 27: Kittilän Männikön ilmanlaadun mittausasemalla mitatut hengitettävien hiukkasten yksittäiset tuntipitoisuudet ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) tuulensuunnittain ($0\text{--}360^\circ$) vuonna 2023. Kuvassa eivät näy tyynellä mitatut tuntipitoisuudet. Tyyniksi on tässä tarkastelussa luokiteltu alle $0,5$ m/s tuulen nopeudet. Kuvassa vasemmalla näkyy Kittilän kaivosalue. Kartta Maanmittauslaitoksen ilmapäivitys, 2022).



Kuva 28: Kittilän Molkoselän ilmanlaadun mittausasemalla mitatut pienhiukkasten yksittäiset tuntipitoisuudet ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) tuulensuunnittain ($0\text{--}360^\circ$) vuonna 2023. Kuvassa eivät näy tyynellä mitatut tuntipitoisuudet. Tyyniksi on tässä tarkastelussa luokiteltu alle $0,5$ m/s tuulen nopeudet. Kuvassa vasemmalla näkyy Kittilän kaivosalue. Kartta Maanmittauslaitoksen ilmapäivitys, 2022).



Kuva 29: Kittilän Männikön ilmanlaadun mittausasemalla mitatut pienhiukkasten yksittäiset tuntipitoisuudet ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) tuulensuunnittain ($0\text{--}360^\circ$) vuonna 2023. Kuvassa eivät näy tyynellä mitatut tuntipitoisuudet. Tyyniksi on tässä tarkastelussa luokiteltu alle $0,5\text{ m/s}$ tuulen nopeudet. Kuvassa vasemmalla näkyy Kittilän kaivosalue. Kartta Maanmittauslaitoksen ilmakuva, 2022).

2.6 Hengitettävien hiukkasten sisältämät arseeni- ja metallipitoisuudet

Kittilän Molkoselän ja Männikön mittausasemilla kerättiin suodattimille hengitettävien hiukkasten vuorokausinäytteitä, joista analysoitiin laboratoriossa arseeni- ja metallipitoisuudet. Näytteitä kerättiin joka neljäs päivä vuoden 2023 ajan. Molkoselän asemalla jäi välistä yksi keruunäyte (8.4.) sähkökatkon takia eli näytteitä oli analysoitavana yhteensä 90 kappaletta Molkoselältä ja 91 kappaletta Männiköstä. Raportin päätekstissä keskitytään mitatuista metallipitoisuuksista vain kadmiumin, nikkelin ja lyijyn pitoisuuksiin, koska ilmanlaatuun liittyvän lainsäädännön vertailuarvot ihmisten terveyden suojelemiseksi ja ympäristöön kohdistuvien haittojen ehkäisemiseksi koskevat nimenomaan niitä. Muiden metallipitoisuuksien mittaustuloksia tarkastellaan loppuliitteissä.

Ilmanlaadun kannalta tärkeimpien metallien ja arseenin pitoisuustulokset vuonna 2023 on esitetty taulukoissa 2 ja 3, joihin on koottu vuoden 2023 pitoisuuskeskiarvo, suurin ja pienin arvo sekä hajonta. Arseenin, kadmiumin, nikkelin ja lyijyn pitoisuustulokset on esitetty lisäksi näytteittäin kuvissa 30–33. Muiden hengitettävistä hiukkasista analysoitujen metallien (alumiini, koboltti, kupari, kromi, mangaani, rauta, sinkki ja vanadiini) pitoisuustulokset on esitetty näytteittäin raportin lopussa liitekuvin 1–8.

Yksittäisten näytteiden välinen pitoisuuksien vaihtelu oli suurta kaikilla alkuaineilla lukuunottamatta kadmiumia. Metallipitoisuuksissa ei ollut havaittavissa selkeää vuodenaikaisvaihtelua. 24.4.2023 havaittiin useilla alkuaineilla selkeä korkeampi pitoisuuspiikki. Kyseisenä päivänä PM_{10} -pitoisuuksissa oli myös havaittavissa pitoisuuspiikki (suurin tuntipitoisuus $1627\ \mu\text{g}/\text{m}^3$). Tuuli on ollut tyynä kyseisenä ajanhetkenä, joten kyseessä on ollut paikallinen päästölähde mittausasemien lähiympäristössä. Vuoden 2023 pitoisuuskeskiarvot alittivat raja- ja tavoitearvotason sekä myös alemman arviointikynnyksen tason. Arseeni- ja metallipitoisuuksien vuosikeskiarvojen vertailu tavoite- tai raja-arvoon on esitetty kuvissa 34 ja 35. Arseenipitoisuuksien vuosikeskiarvot olivat pyöristyssääntöjä käyttäen $16,7\ \%$ ja kadmiumipitoisuuksien $0,0\ \%$ tavoitearvoista (arsenin tavoitearvo $6\ \text{ng}/\text{m}^3$, kadmiumin tavoitearvo $5\ \text{ng}/\text{m}^3$). Lyijypitoisuuden vuosikeskiarvo oli $0,2\ \%$ raja-arvosta molemmilla Kittilän asemilla (lyijyn raja-arvo $500\ \text{ng}/\text{m}^3$). Nikkelipitoisuuden vuosikeskiarvo oli Molkoselällä $0,0\ \%$ ja Männikössä $5,0\ \%$ tavoitearvosta (nikkelin tavoitearvo $20\ \text{ng}/\text{m}^3$). Pienistä pitoisuuksista johtuen kuvien 34 ja 35 prosentipalkit eivät näy muiden kuin arseenin osalta molemmilla asemilla ja nikkelin

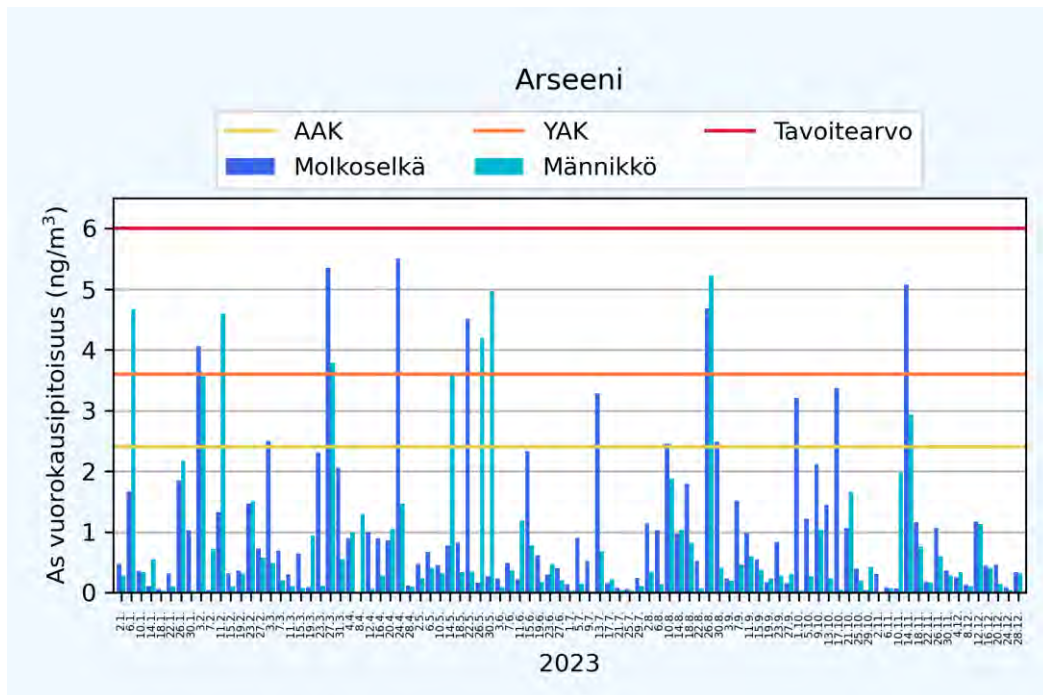
osalta Männikön asemalla.

Taulukko 2: Kittilän Molkoselän ilmanlaadun mittausasemalla vuonna 2023 kerätyistä hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) vuorokausinäytteistä analysoidut arseeni- ja metallipitoisuudet, joille on annettu ilmanlaadun tavoite- tai raja-arvo.

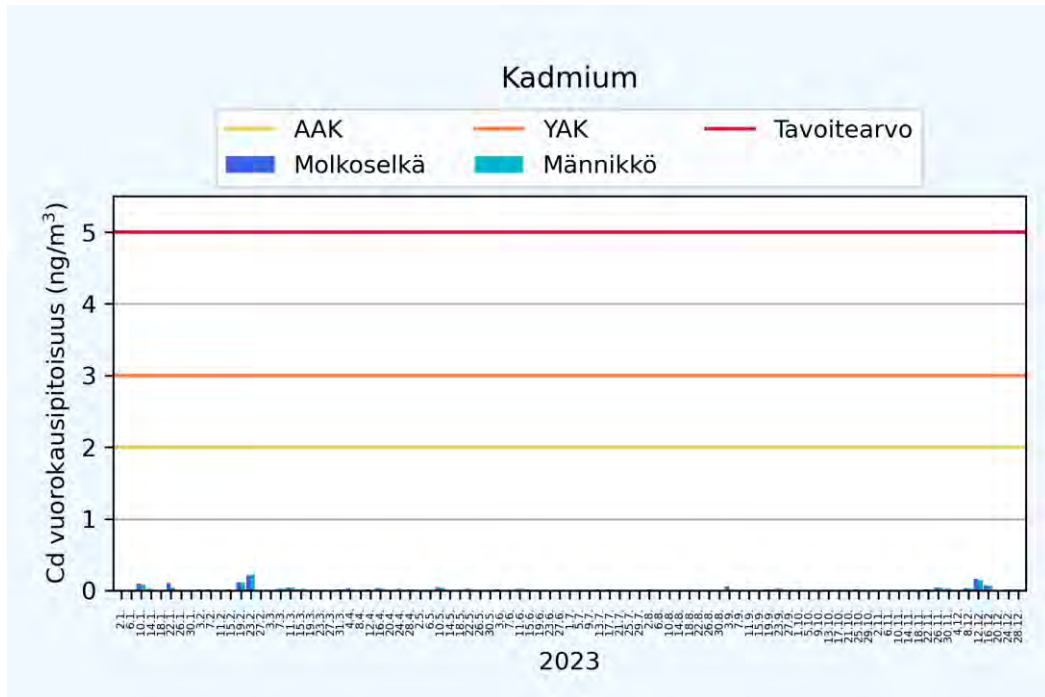
Keräinnäytteiden pitoisuudet	Arseeni (As) ng/m ³	Kadmium (Cd) ng/m ³	Nikkeli (Ni) ng/m ³	Lyijy (Pb) ng/m ³
Keskiarvo	1,10	0,02	0,46	0,60
Minimi	0,04	0,00	0,01	0,02
Maksimi	5,50	0,22	4,17	6,23
Hajonta	1,28	0,03	0,62	0,95

Taulukko 3: Kittilän Männikön ilmanlaadun mittausasemalla vuonna 2023 kerätyistä hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) vuorokausinäytteistä analysoidut arseeni- ja metallipitoisuudet, joille on annettu ilmanlaadun tavoite- tai raja-arvo.

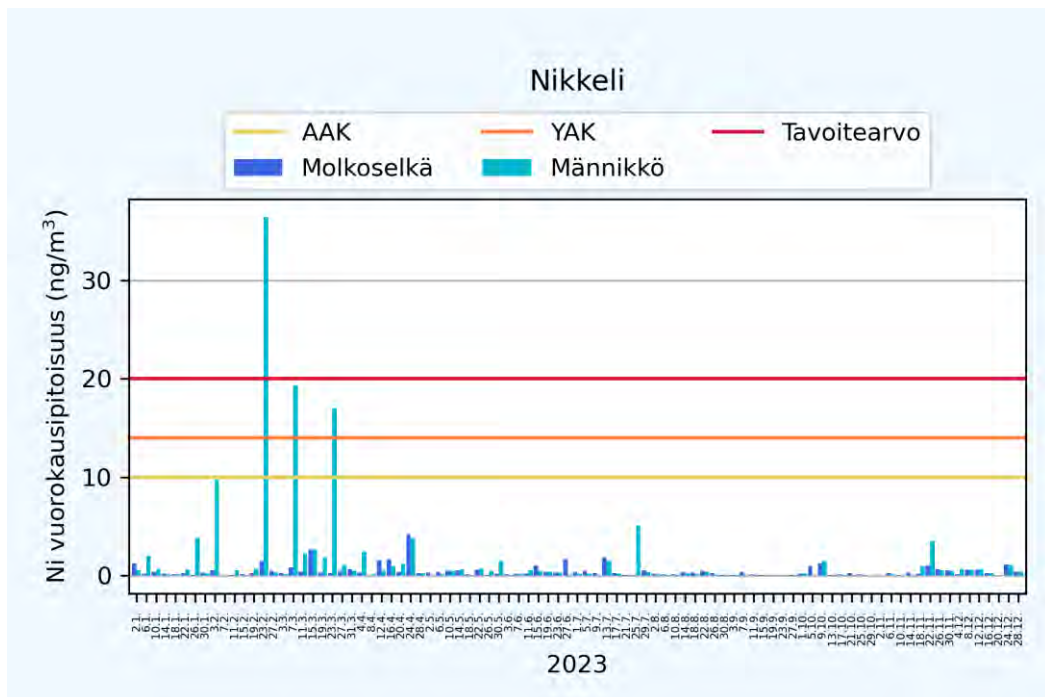
Keräinnäytteiden pitoisuudet	Arseeni (As) ng/m ³	Kadmium (Cd) ng/m ³	Nikkeli (Ni) ng/m ³	Lyijy (Pb) ng/m ³
Keskiarvo	0,83	0,02	1,49	0,54
Minimi	0,01	0,00	0,01	0,01
Maksimi	5,23	0,23	36,44	6,44
Hajonta	1,23	0,03	4,71	0,94



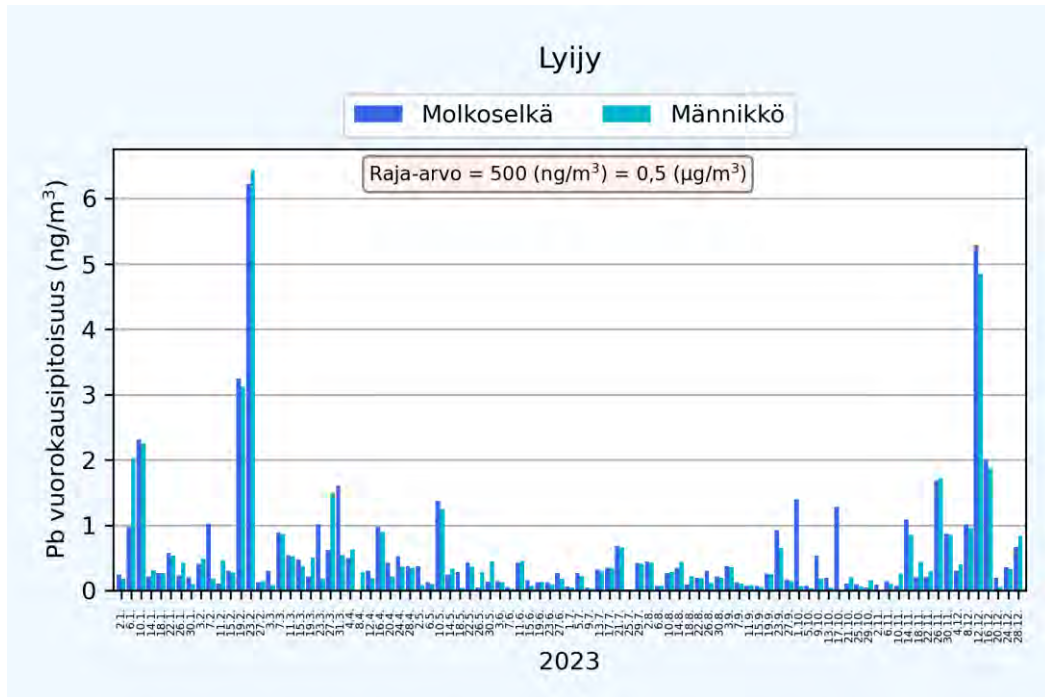
Kuva 30: Hengitettävistä hiukkasista (PM₁₀) määritetyt arseenipitoisuudet (ng/m³) Kittilän Molkoselän ja Männikön ilmanlaadun mittausasemilla vuonna 2023. Tavoitearvo ja arviointikynnykset koskevat vuosikeskiarvoa, eivät yksittäisiä pitoisuusarvoja, ja ne ovat kuvassa vain havainnollistamassa pitoisuustasoja.



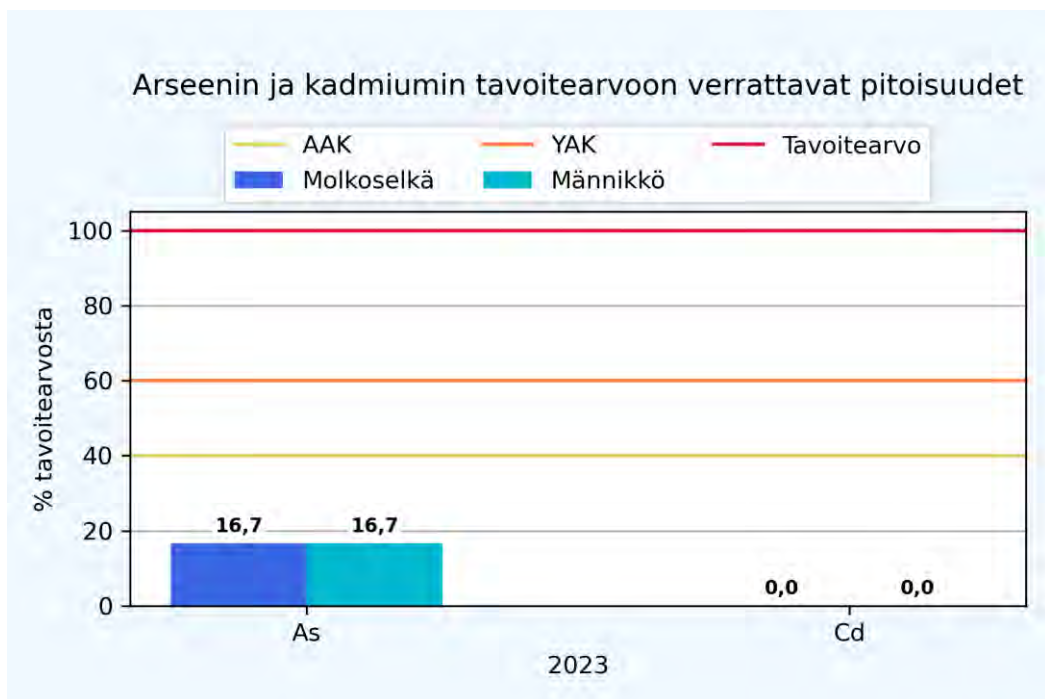
Kuva 31: Hengitettävistä hiukkasista (PM₁₀) määritetyt **kadmium**pitoisuudet (ng/m³) Kittilän Molkoselän ja Männikön ilmanlaadun mittausasemilla vuonna 2023. Tavoitearvo ja arviointikynnykset koskevat vuosikeskiarvoa, eivät yksittäisiä pitoisuusarvoja, ja ne ovat kuvassa vain havainnollistamassa pitoisuustasoja.



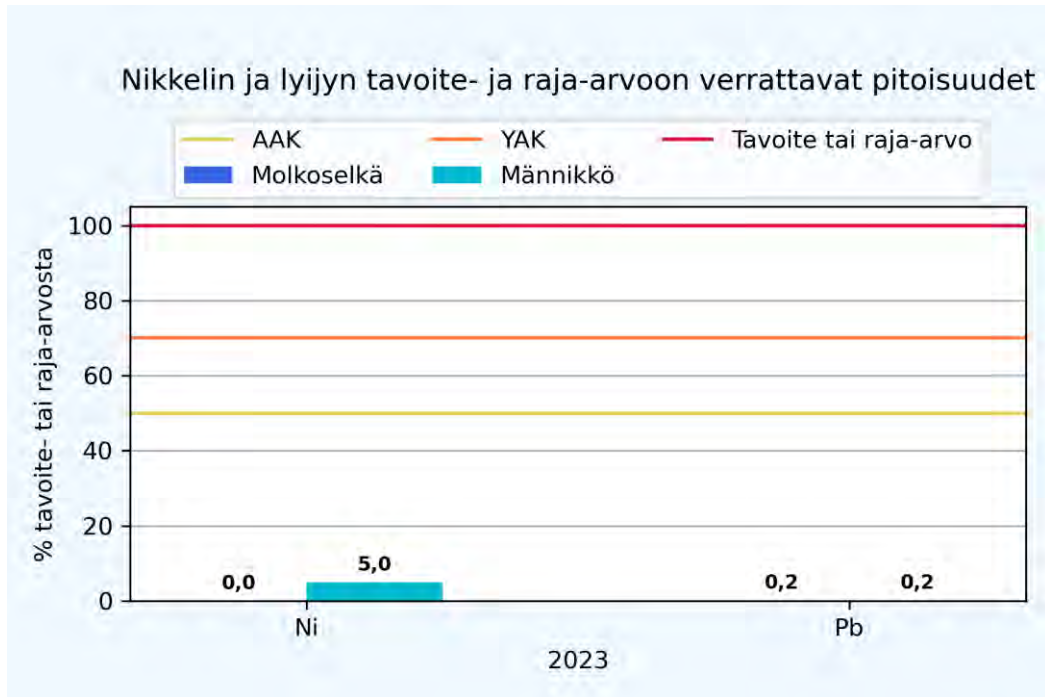
Kuva 32: Hengitettävistä hiukkasista (PM₁₀) määritetyt **nikkelipitoisuudet** (ng/m³) Kittilän Molkoselän ja Männikön ilmanlaadun mittausasemilla vuonna 2023. Tavoitearvo ja arviointikynnykset koskevat vuosikeskiarvoa, eivät yksittäisiä pitoisuusarvoja, ja ne ovat kuvassa vain havainnollistamassa pitoisuustasoja.



Kuva 33: Hengitettävistä hiukkasista (PM₁₀) määritetyt lyijypitoisuudet (ng/m³) Kittilän Molkoselän ja Männikön ilmanlaadun mittausasemilla vuonna 2023.



Kuva 34: Arseenin ja kadmiumin mittausjakson pitoisuuskeskiarvot suhteessa (%) vastaavaan ilmanlaadun tavoitearvoon Kittilän Molkoselän ja Männikön ilmanlaadun mittausasemilla vuonna 2023. Kuvaan on merkitty vaakaviivoilla tavoitearvotasot sekä ylempi arviointikynnys (YAK) ja alempi arviointikynnys (AAK).



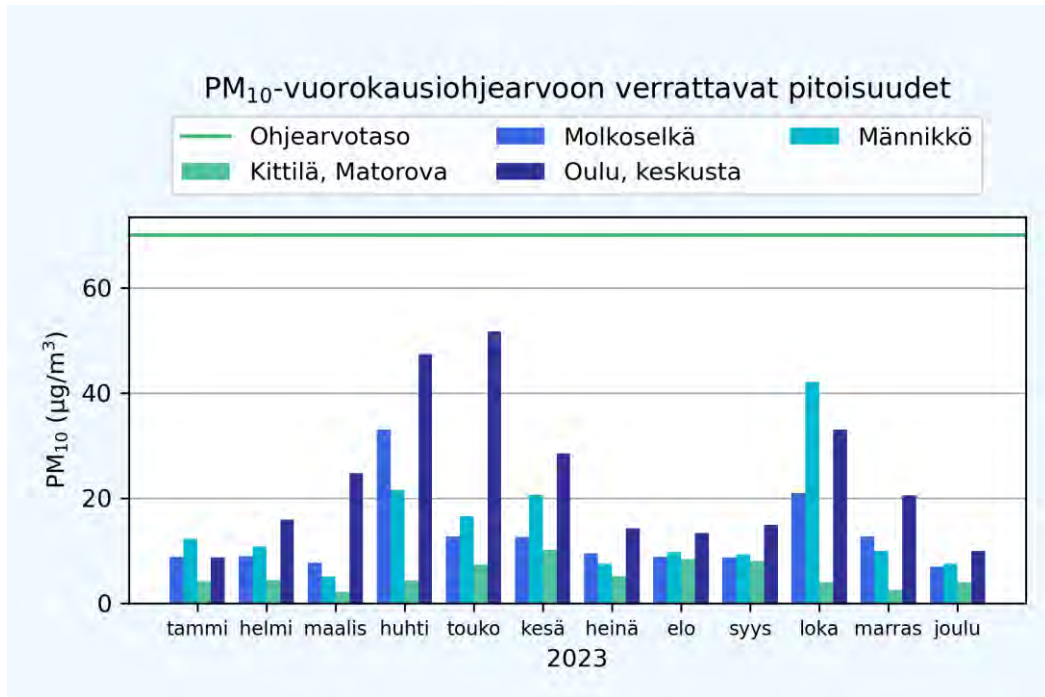
Kuva 35: Nikkelin ja lyijyn mittausjakson pitoisuuskeskiarvot suhteessa (%) vastaavaan ilmanlaadun tavoite- ja raja-arvoihin Kittilän Molkoselän ja Männikön ilmanlaadun mittausasemilla vuonna 2023. Kuvaan on merkitty vaakaviivoilla tavoite- tai raja-arvotaso sekä ylempi arviointikynnys (YAK) ja alempi arviointikynnys (AAK).

2.7 Pitoisuuksien vertailua muualla mitattuihin pitoisuuksiin

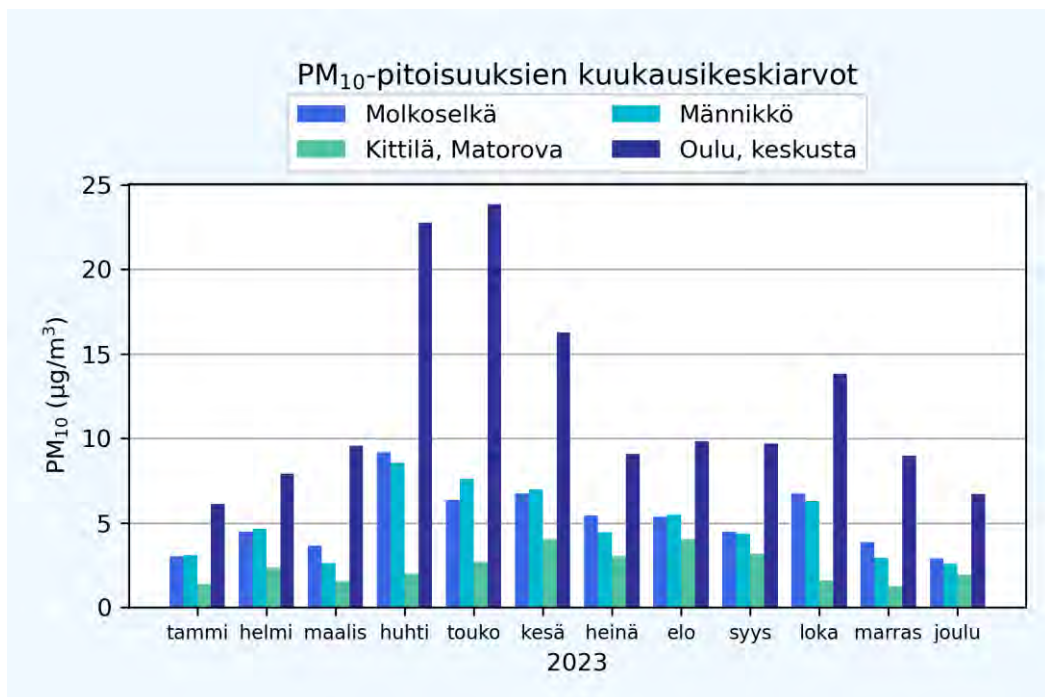
Kuvissa 36–38 on esitetty hengitettävien hiukkasten ja pienhiukkasten pitoisuuksia vuonna 2023 Kittilän kaivosalueen mittausasemien lisäksi Oulun keskustasta ja Nokelasta sekä Ilmatieteen laitoksen taustailmanlaadun mittausasemalta Kittilän Matorovalta (Ilmatieteen laitos, 2023c). Kaikki pitoisuustulokset on mitattu jatkuvatoimisilla laitteilla. Oulu on noin 215 000 asukkaan kaupunki, keskustan mittausasema on tyypiltään liikenneasema ja Nokelan mittausasema sijaitsee asuinalueella noin 3 km:n päässä Oulun keskustasta. Kittilän Matorovan mittausasema edustaa pitoisuuksia Lapissa puhtaalla tausta-alueella, jossa mittausaseman välittömässä läheisyydessä ei ole ihmistoimintoja.

Hengitettävien hiukkasten pitoisuustaso Kittilän ilmanlaadun mittausasemilla oli ohjearvoon verrattavina pitoisuuksina (kuva 36) alhaisempi kuin Oulun keskustan mittausasemalla lähes koko vuoden, lukuunottamatta tammikuuta ja lokakuuta, jolloin Männikön pitoisuudet olivat jonkin verran korkeammat kuin Oulun keskustassa mitatut pitoisuudet. Kuukausikeskiarvoina (kuva 37) pitoisuustasot olivat Kittilän ilmanlaadun asemilla kaikkina kuukausina alhaisempia kuin Oulun keskustan mittausasemalla. 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. Kittilän Matorovalta hengitettävien hiukkasten ohjearvoon verrattavat pitoisuudet olivat pienemmät kaikkina kuukausina kuin Kittilän kaivosalueen mittausasemilla. Hengitettävien hiukkasten kuukausikeskiarvot Matorovalta olivat alhaisempia kaikkina kuukausina verrattuna Kittilän kaivosalueen ympäristössä mitattuihin pitoisuuksiin.

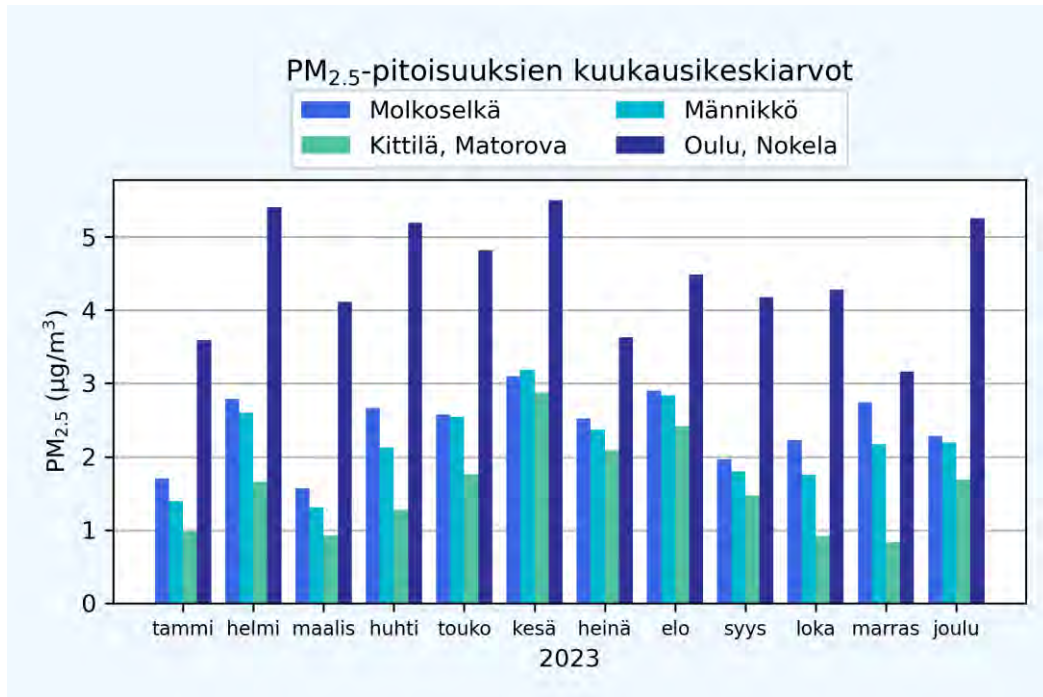
Pienhiukkasten pitoisuustaso kuukausikeskiarvoina Kittilän kaivosalueen mittausasemilla oli kaikkina kuukausina alhaisempi kuin Oulun Nokelan mittausasemalla. Kittilän Matorovalta pienhiukkasten kuukausikeskiarvot olivat Kittilän kaivosalueen lähiympäristössä mitattuja pitoisuuksia alhaisempia kaikkina kuukausina.



Kuva 36: Kittilän ilmanlaadun mittausasemilla, Oulun keskustassa sekä Kittilän Matorovan taustamittausasemalla vuonna 2023 mitatut hengitettävien hiukkasten vuorokausiohjearvoon (70 µg/m³) verrannolliset pitoisuudet (µg/m³) kuukausittain. Ohjearvotaso on esitetty vihreällä vaakaviivalla.



Kuva 37: Kittilän ilmanlaadun mittausasemilla, Oulun keskustassa sekä Kittilän Matorovan taustamittausasemalla vuonna 2023 mitatut hengitettävien hiukkasten kuukausikeskiarvopitoisuudet (µg/m³).



Kuva 38: Kittilän ilmanlaadun mittausasemilla, Oulun Nokelassa sekä Kittilän Matorovan taustamittausasemalla vuonna 2023 mitatut pienhiukkasten kuukausikeskiarvopitoisuudet (µg/m³).

3 YHTEENVETO MITTAUSTULOKSISTA JA SUOSITUKSET

Ilmatieteen laitos mittasi Agnico Eagle Finland Oy:n Kittilän kaivosalueen ympäristössä ulkoilman laatua vuonna 2023 kahdessa mittauspisteessä, Männikössä ja Molkoselässä. Ilmatieteen laitos on tehnyt ilmanlaadun tarkkailua alueella vuosina 2008–2009, 2009–2010, 2013, 2018 sekä 2023. Ilmanlaadun mittauksen tavoitteena oli kartoittaa kaivostoiminnan vaikutuksia ilmanlaatuun Kittilän kaivosalueen ympäristössä mittaamalla hengitettävien hiukkasten ja pienhiukkasten pitoisuustasoja ja hetkellistä vaihtelua kaivoksen lähialueilla, sekä arvioida mittaustulosten perusteella ilmanlaadun seurannan tarvetta tulevaisuudessa. Hiukkasten pitoisuuksia mitattiin jatkuvatoimisilla hiukkasanalysointilaitteilla koko mittausjakson ajan. Mittausasemalla kerättiin myös hengitettävien hiukkasten vuorokausinäytteitä joka 4. vuorokausi. Näistä näytteistä analysoitiin laboratorioissa arseenin ja metallien pitoisuuksia. Ilmanlaatumittauksen tulosten tulkintaa varten asemalla mitattiin myös säätietoja.

Kittilän kaivosalueen ilmanlaadun mittausasemilla mitattujen hiukkaspitoisuuksien tuntiarvojen perusteella laskettiin ilmanlaatuindeksi, joka kuvaa vallitsevaa ilmanlaatuilannetta viisiportaisella sanallisella asteikolla: hyvä, tyydyttävä, välttävä, huono tai erittäin huono. Mittauspäivän indeksi määräytyy ilmanlaadultaan huonoimman tunnin mukaan. Ilmanlaatuindeksi on vertailuluku, joka kuvaa sen hetkistä ilmanlaatua suhteutettuna ilmanlaadun ohje- ja raja-arvoihin. Ilmanlaadun ollessa hyvää tai tyydyttävää terveysvaikutukset ovat epätodennäköisiä (HSY, 2023). Indeksillä ilmaistuna ilmanlaatu Molkoselän mittausasemalla oli hyvää tai tyydyttävää 91,7 % mittausjakson vuorokausista. Ilmanlaatu oli välttävää 5,5 % päivistä, huonoa 2,5 % ja erittäin huonoa 0,3 % päivistä. Vastaavasti ilmanlaatu Männikön mittausasemalla oli hyvää tai tyydyttävää 94,2 %, välttävää 3,9 %, huonoa 1,1 % 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 20 % vuorokausiraja-arvosta ja 12,5 % vuosiraja-arvosta molemmilla asemilla. Myös pienhiukkasten pitoisuudet jäivät selvästi alle vuosiraja-arvon ja arviointikynnysten ollen 8 % vuosiraja-arvosta molemmilla asemilla. Arviointikynnykset määrittävät minimikriteerit ilmanlaadun seurannalle ja seurantamenetelmille. Arviointikynnyksien ylittymisen tarkastelussa käytetään viiden kalenterivuoden mittausjaksoja. Hengitettävien hiukkasten pitoisuuksille ilmanlaatulainsäädännössä annetut vuorokausiohjearvot eivät ylittyneet mittausjaksolla kertaakaan.

kummallakaan asemalla.

Mitatut hengitettävien hiukkasten pitoisuudet olivat keskimäärin korkeimmat tyynellä ja luoteen puoleisilla tuulilla Molkoselässä ja lännen ja lounaan puoleisilla tuulilla sekä tyynellä Männikössä. Tyynellä säällä pitoisuuksien lähdettä tai lähteen ilmansuuntaa ei pysty päättämään. Tyynissä tilanteissa korostuu lähipäästölähteiden vaikutus ilmanlaatuun. Molkoselän aseman itä-eteläsektorissa on rakennuksia sekä pihapiiriä ja länsi-pohjoissektorilla kaivosaluetta sekä autotie. Männikön aseman länsi-eteläsektorissa on rakennuksia sekä pihapiiri ja lounas-koillissektorissa kaivosaluetta, peltoa sekä metsää. Pienhiukkasten pitoisuudet olivat suurimmillaan Molkoselässä itä-eteläsektorilla, luoteistuulilla sekä tyynellä säällä ja Männikössä tyynen sään lisäksi kaakko-eteläsektorilla.

Mitattujen pitoisuuksien tunti- ja vuorokausijakaumien sekä tuulensuuntatarkasteluiden perusteella Kittilän kaivoksen mittauspisteissä pitoisuuksiin vaikutti sekä Kittilän kaivosalueen toiminta että mittauspaikkojen lähiympäristössä tapahtunut toiminta kuten puunpolto ja pihapiirin, peltojen ja tien pölyäminen. Tuulen ja liikenteen maanpinnasta ilmaan nostattamat hiukkaset vaikuttavat merkittävästi hiukkasten pitoisuuksiin.

Ulkoilman epäpuhtauksien pitoisuuksiin vaikuttavat kiinteiden lähteiden, kuten teollisuuden ja energiantuotannon, päästöt ja liikenteen sekä hajapäästölähteiden, kuten asuinrakennusten tulisijojen, päästöt. Yksittäisen päästölähteen vaikutusta hiukkaspitoisuuksiin on yleensä vaikea erottaa. Vuodenaika, liikenne, kaukokulkeuma, maan pinnasta tuulen ja liikenteen vaikutuksesta ilmaan nouseva pöly ja sääolosuhteet vaikuttavat hiukkaspitoisuuksiin voimakkaasti. Esimerkiksi sateet alentavat väliaikaisesti ilman epäpuhtauksien pitoisuuksia ja puhdistavat hengitysilmaa. Ilman epäpuhtauksien pitoisuudet nousevat yleensä korkeiksi tyynen tai heikkotuulisen sään aikana ja erityisesti ns. inversiotilanteissa, kun ilmakehän pystysuuntainen lämpötilajakautuma 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. Vuoden 2023 mittaustulosten perusteella Ilmatieteen laitos suosittelee ilmanlaadun seurantaa viiden vuoden kuluttua Kittilän kaivosalueen ympäristössä. Mikäli toiminta kaivosalueella merkittävästi muuttuu, tulee mittaustarve Agnico Eagle Finland Oy:n ilmanlaatuvaikutusten arvioimiseksi jatkossa arvioida tehtyjen jatkuvatoimisten mittaustulosten perusteella uudelleen.

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

4 TUTKIMUKSEN SUORITUS

4.1 Mittausasemien sijainnit

Ilmatieteen laitos mittasi ilmanlaatua Kittilän kaivosalueen ympäristössä kahdella mittausasemalla vuonna 2023 (1.1.–31.12.2023). Mittausasemien sijainnit on esitetty kuvassa 39, ja valokuvat mittausasemista on esitetty kuvissa 40–41.



Kuva 39: Ilmakuva Kittilän kaivosalueesta (Maanmittauslaitoksen ilmakuva, 2022). Männikön mittausasema on merkitty keltaisella ja Molkoselän mittausasema oranssilla tähdellä.

Molkoselän mittauspiste sijaitsi kaivokselle johtavan tien risteyksestä vajaat 500 metriä etelään Kittilä–Inari tien itäpuolella. Mittauspiste oli sijoitettu niin, että kiinteistön pihapiiri rakennuksineen jäi mittauspisteen itä–eteläpuolelle. Kittilän kaivoksen sivukiven läjitysalueet sijaitsevat n. 1,5 kilometrin päässä mittauspisteestä länsi-luoteeseen ja pintamaiden läjitysalue n. 1,5 km länteen ja rikastushiekkaaltaat n. 2 km pohjoiseen. Männikön mittauspiste sijaitsi Kittilä–Inari tien länsipuolella noin 1,5 km kaivokselle johtavan tien risteyksestä pohjoiseen. Mittauspiste oli sijoitettu niin, että kiinteistön piha-alue ja rakennukset jäivät mittauspisteen länsi-

eteläpuolelle. Kaivoksen rikastushiekka-altaat sijaitsevat noin kilometrin päässä mittauspisteestä luoteeseen ja sivukiven läjitysalue noin 2,5 km lounaaseen.



Kuva 40: Molkoselän ilmanlaadun mittauspiste huhtikuussa 2023. Mittausasema sijaitti lähiasutuksen pihapiirissä. Kuva: Toni Mattila.



Kuva 41: Männikön ilmanlaadun mittauspiste huhtikuussa 2023. Mittausaseman ympäristössä on rakennuksia sekä länsipuolella metsää. Kuva: Toni Mattila.

4.2 Mitatut suureet ja mittausmenetelmät

Kittilän Molkoselän ja Männikön ilmanlaadun mittauspisteille tuotiin mittauskontit, joissa kaikki mittauksiin liittyvät toiminnot tapahtuivat häiriöttä ja mittausolosuhteet pysyivät stabiileina. Mittausasemilla 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 4. vuorokausi (suuntaa antavien mittauksien ajallisen kattavuuden vaatimus > 14 %, näytteenotto jakautuu tasaisesti koko vuodelle ja eri viikonpäiville). Näistä näytteistä analysoitiin laboratoriossa arseenin ja metallien pitoisuuksia. Mittalaitteet ja mittausmenetelmät on esitelty taulukossa 4. Kaikkien laitteiden näytteenotto tapahtui mittausasemien katoilla olevista näytteenottimista noin 4 metrin korkeudelta ja hiukkasten näytteenotto tapahtui pystysuoralla näytteenottolinjalla. Lisäksi mittausasemilla havainnointiin 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.

Taulukko 4: Kittilän kaivoksen 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 (24h)	Pientehokeräin ¹⁾	Leckel SEQ 47/50
Meteorologiset tiedot		Vaisala WXT530

¹⁾ näytteet kerättiin EN 12341:2014-standardin mukaisella vertailumenetelmällä

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 tutkimuksissa Walden ym. (2017), Walden ja Vestenius (2018) ja Saarnio ym. (2021).

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 neljäs vuorokausi. Suodattimien käsittely (mm. pakkaus ja purkaminen) tapahtui ainoastaan akkreditoitussa laboratoriossa ja mittausasemalla käsiteltiin suodattimia vain suodatinkoteloissaan, keräimen suodatinkasetin vaihdon yhteydessä. Näytteistä määritettiin arseenin, kadmiumin, nikkelin, kromin, lyijyn, sinkin, alumiinin, kobolttin, kuparin, raudan, mangaanin ja vanadiinin pitoisuudet Suomen ympäristökeskuksen ympäristökemian tutkimuslaboratoriossa. Laboratorion laatu järjestelmä 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 tyyppihappohajotuksen 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.

4.3 Hiukkasmittausten vertailukelpoisuus ja mittausepävarmuus

Hiukkasmassan määrittämisen standardissa (EN 12341:2014) määritetty ns. referenssimenetelmä on gravimetrinen määrittäminen vuorokausikeskiarvolle. Kullekin Suomessa käytettävälle jatkuvatoimiselle hiukkasmittalaitteelle on osoitettu laitteen ekvivalenttisuus eli vertautuvuus referenssimenetelmään, ja kertoimia käyttämällä eri mittalaitteilla mitatut hiukkasmittaustulokset 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 mittaustuloksesta ei voida luotettavasti tehdä johtopäätelmiä (Hiltunen ym., 2011). Jatkuvatoimisilla hiukkasmittalaitteilla mittausepävarmuus saa olla korkeintaan 25 %. Tämä kriteeri täyttyi 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 korjauskerron PM_{10} -hiukkasmassalle on 0,95 ja $PM_{2,5}$ -hiukkasmassalle 0,915. Vastaavat mittausepävarmuudet ovat 15,8 % ja 7,2 %.

Fidas on uudempi laite Suomessa, mutta laajalti käytössä. Fidaksen soveltuvuus Suomen oloihin on osoitettu (Saarnio ym., 2021). Ilmatieteen laitoksen vertailulaboratorio on hyväksynyt tutkimuksessa käytetyn hiukkasmittalaitteen käytettäväksi Suomessa.

4.4 Kalibrointimenetelmät, laadunvarmistus ja laitehuollot

Kittilän ilmanlaadun mittaukset suoritettiin kansallisen ilmanlaadun mittausohjeen (Ilmatieteen laitos, 2017) sekä Ilmatieteen laitoksen ilmanlaatumittausten laatuja järjestelmän mukaisesti (https://expo.fmi.fi/aqes/public/Ilmatieteen_laitoksen_ilmanlaatumittausten_laatuja_jarjestelmien_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 myös häiriötilanteet ja niihin liittyvät toimenpiteet. Mittausaseman varustus dokumentoitiin Ilmatieteen laitoksen mittausasema- ja laiterakenteisiin.

Hiukkasmittalaitteet kalibroitiin valmistajan ja standardin *SFS-EN 16450:2017* ohjeiden mukaisesti. Hiukkaslaitteilla laadunvarmennus- ja ylläpitotoimiin sisältyvät jatkuvatoimisille analysointilaitteille tehtävät nolla-span -tarkistukset (testifolioiden ja HEPA-suodattimen avulla), virtauksen tarkistukset ja näytteenottimien puhdistukset noin kolmen kuukauden välein. 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 vuoden 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 vuonna 2023 hengitettävien hiukkasten ja pienhiukkasten osalta Kittilän molemmilla mittausasemilla.

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

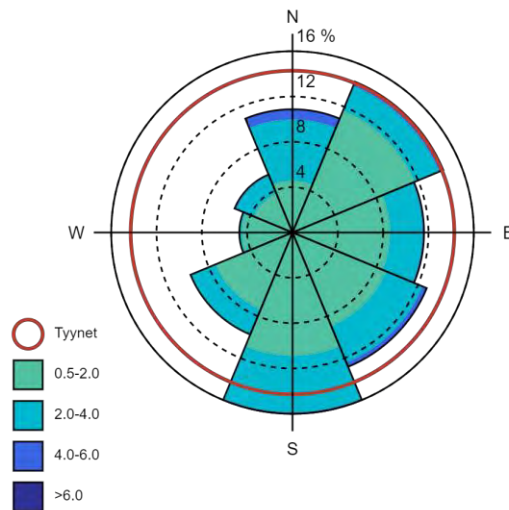
5 SÄÄTIEDOT VUONNA 2023

5.1 Tuulitiedot Kittilässä mittausjaksolla

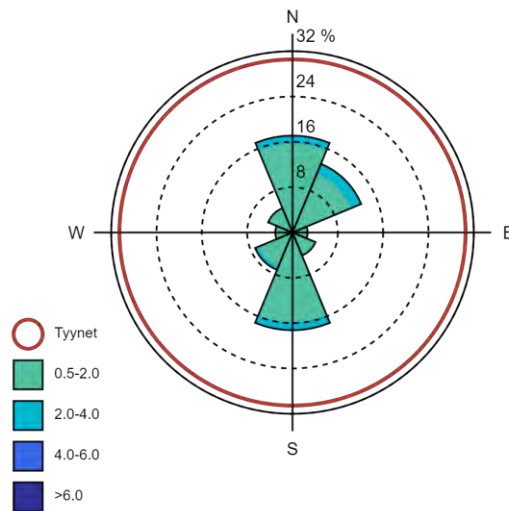
Kittilässä mitattujen tuulenopeuksien keskiarvot vuonna 2023 olivat 1,5 m/s Molkoselän asemalla ja 1,1 m/s Männikön asemalla. Tyynien tilanteiden osuus oli noin 14 % vuoden 2023 tunneista Molkoselällä ja noin 31 % Männikössä. Tyyniksi katsotaan tässä tarkastelussa tunnit, jolloin tuulen nopeus oli alle 0,5 m/s. Tuulianturit sijaitsivat noin 4 metrin korkeudella maanpinnasta ilmanlaadun mittausaseman katolla.

Kuvissa 42 ja 43 on esitetty vuoden 2023 tuuliruusut eli tuulensuuntien ja -nopeuksien kuvaajat Kittilän Molkoselän ja Männikön mittausasemilla. 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 tuulenopeuksien 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. Kittilän Molkoselän mittausasemalla vallitsevat tuulensuunnat olivat vuonna 2023 etelä ja koillinen ja Männikön mittausasemalla pohjoinen ja etelä. Kaikkein vähiten tuuli idästä molemmilla asemilla. Molkoselän asemalla oli pääosin tyyntä tai heikkoa tuulta ja Männikön asemalla tyyntä.



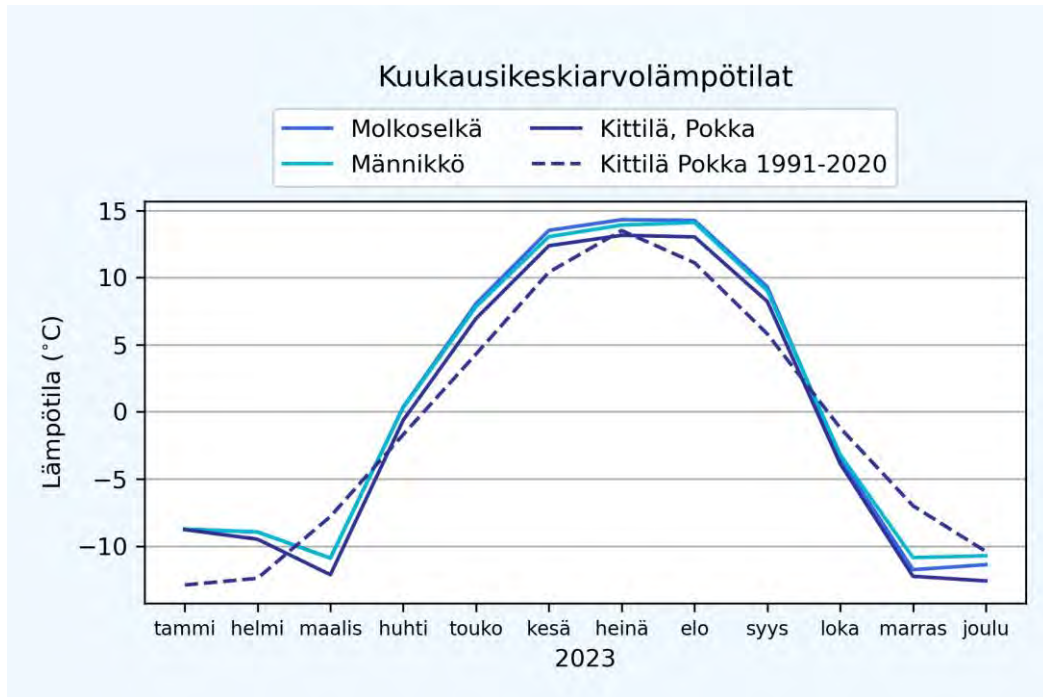
Kuva 42: Kittilän Molkoselän ilmanlaadun mittausaseman katolta mitatut tuulensuunnat (ilmansuuntasektorit) ja tuulenopeudet (m/s) vuonna 2023. Tyynien tilanteiden osuus oli 14 % kaikista tuulista. Tyyniksi on tässä tarkastelussa luokiteltu alle 0,5 m/s tuulen nopeudet.



Kuva 43: Kittilän Männikön ilmanlaadun mittausaseman katolta mitatut tuulensuunnat (ilmansuuntasuuntasektorit) ja tuulennopeudet (m/s) vuonna 2023. Tyynien tilanteiden osuus oli 31 % kaikista tuulista. Tyyniksi on tässä tarkastelussa luokiteltu alle 0,5 m/s tuulen nopeudet.

5.2 Keskilämpötilat Kittilän seudulla

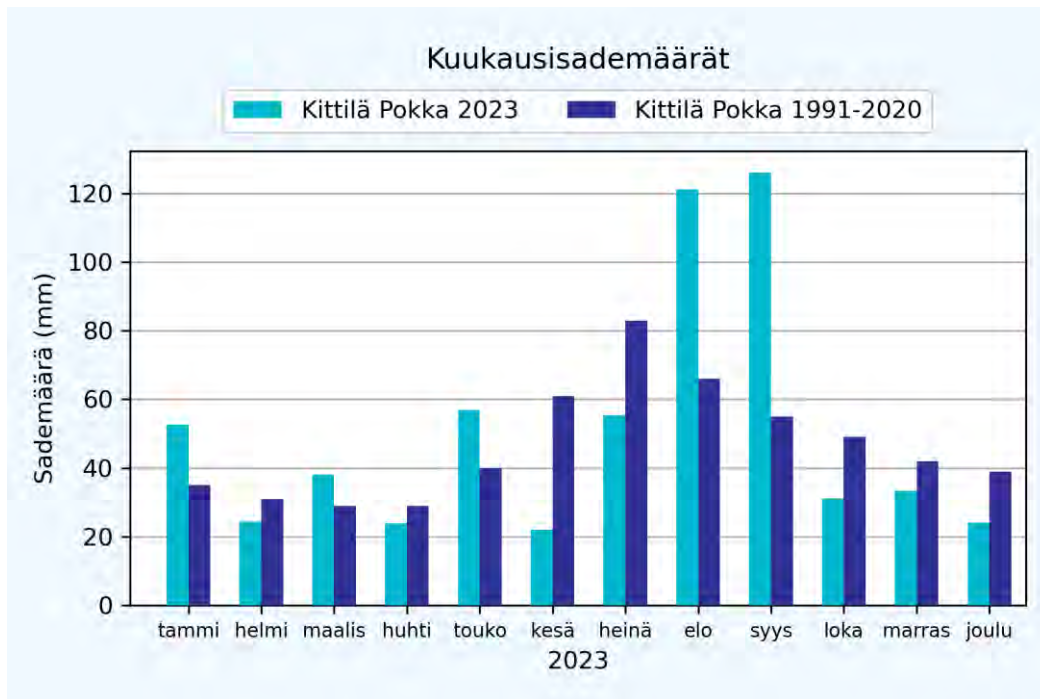
Ilmatieteen laitoksen ylläpitämä sääasema Kittilä Pokka on Kittilän kaivosaluetta lähimpänä sijaitseva virallinen sääasema, jolta on saatavilla ilmastollisen vertailukauden 1991–2020 lämpötilatiedot (Jokinen ym., 2021). Kuvassa 44 on vertailtu Kittilän Molkoselän ja Männikön ilmanlaadun mittausasemilla mitattuja vuoden 2023 keskilämpötiloja Kittilä Pokkan sääaseman vuoden 2023 keskilämpötiloihin ja ilmastollisen vertailukauteen 1991–2020. Lämpötilat Kittilän Molkoselän ja Männikön ilmanlaadun mittausasemilla olivat vuonna 2023 vertailukautta 2,0–4,2 astetta lämpimämpiä tammi-helmikuussa, huhti-kesäkuussa ja elosyyskuussa. Vastaavasti vertailukautta 2,0–4,8 astetta kylmempiä kuukausia olivat maaliskuu, lokakuu ja marraskuu. Heinäkuun ja joulukuun lämpötilat olivat Kittilän mittausasemilla vertailukautta vastaavat.



Kuva 44: Lämpötilan kuukausikeskiarvot Kittilän Molkoselän ja Männikön ilmanlaadun mittausasemilla vuonna 2023 verrattuna Kittilän Pokan sääasemalla mitattuihin vuoden 2023 lämpötiloihin sekä ilmastollisen vertailukauden 1991–2020 pitkäaikaiskeskiarvoihin.

5.3 Sademäärät Kittilän seudulla

Ilmatieteen laitoksen ylläpitämä sääasema Kittilä Pokka on Kittilän kaivosaluetta lähimpänä sijaitseva virallinen sademäärää mittaava sääasema. Kittilä Pokan asemalta on saatavilla ilmastollisen vertailukauden 1991–2020 sademäärät (Jokinen ym., 2021). Kuvassa 45 on vertailtu Kittilän Pokan sääasemalla mitattuja vuoden 2023 kuukausisademääriä (Ilmatieteen laitos, 2023b) saman sääaseman ilmastollisen vertailukauden 1991–2020 sademääriin. Koko vuoden sademäärä Kittilä Pokan sääasemalla oli 609 mm, mikä on noin 9 % suurempi kuin vertailukauden 1991–2020 vuoden keskiarvosademäärä. Vuonna 2023 Kittilän Pokassa satoi enemmän kuin seudulla keskimäärin tammikuussa, maaliskuussa, toukokuussa ja elo-syyskuussa. Varsinkin elo- ja syyskuiden sademäärä oli selvästi suurempi, noin kaksinkertainen keskimääräiseen verrattuna. Etenkin kesäisin kuurosaateet saattavat olla hyvinkin paikallisia, mikä helposti vaikuttaa myös paikallisiin sademääriin. Kesä-heinäkuu ja loka-joulukuu olivat vastaavasti vähäsateisempia vertailukauteen nähden.



Kuva 45: Kuukausisademäärät Ilmatieteen laitoksen Kittilän Pokan sääasemalla vuonna 2023 ja ilmastollisella vertailukaudella 1991–2020.

5.4 Ilmanlaatuun vaikuttavat säätekijät

Ilman epäpuhtauksien päästöistä suurin osa vapautuu ilmakehän alimpaan kerrokseen, jota kutsutaan rajakerrokseksi. Rajakerroksessa päästöt sekoittuvat ympäröivään ilmaan ja ilman epäpuhtauksien pitoisuudet laimenevat. Päästöt voivat levitä liikkuvien ilmassojen mukana laajoille alueille. Tämän kulkeutumisen aikana ilmansaasteet voivat reagoida keskenään sekä muiden ilmassa olevien yhdisteiden kanssa muodostaen uusia yhdisteitä. Ilman epäpuhtaudet poistuvat ilmasta sateen huuhtomina, kuivalaskeumana erilaisille pinnoille tai kemiallisen 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 kulkeutumissuunnan, mutta rajakerroksen ilmavirtausten pyörteisyys ja kerroksen korkeus vaikuttavat merkittävästi ilmansaasteiden sekoittumiseen ja pitoisuuksien laimenemisen kulkeutumisen aikana. Rajakerroksen korkeus määrittää sen ilmatilavuuden, johon päästöt voivat välittömästi sekoittua ja laimentua. Rajakerroksen korkeus on Suomessa tyypillisesti alle kilometrin, mutta varsinkin kesällä se voi nousta yli kahteen kilometriin. Matalimmat rajakerroksen korkeudet havaitaan yleensä talvella kovilla pakkasilla. Ilmakehän stabiilisuudella tarkoitetaan ilmakehän herkkyyttä pystysuuntaiseen sekoittumiseen. Stabiilisuuden määrää ilmakehän pystysuuntainen lämpötilarakenne, mutta siihen vaikuttavat myös auringon säteily, tuuli ja maanpinnan laatu. Stabiiliustilan ollessa vakaa ilmakehän sekoittuminen on vähäistä. Jos tila on epävakaa, sekoittuminen on voimakasta ja ilmaan päässeet epäpuhtaudet laimenevat nopeasti.

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

Korkeimmat pitoisuudet esiintyvät kaupunkialueilla useimmiten stabiileissa heikkotuulisissa tilanteissa voimakkaan maanpintainversion vallitessa. Autoliikenne on haitallisin päästölähde 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

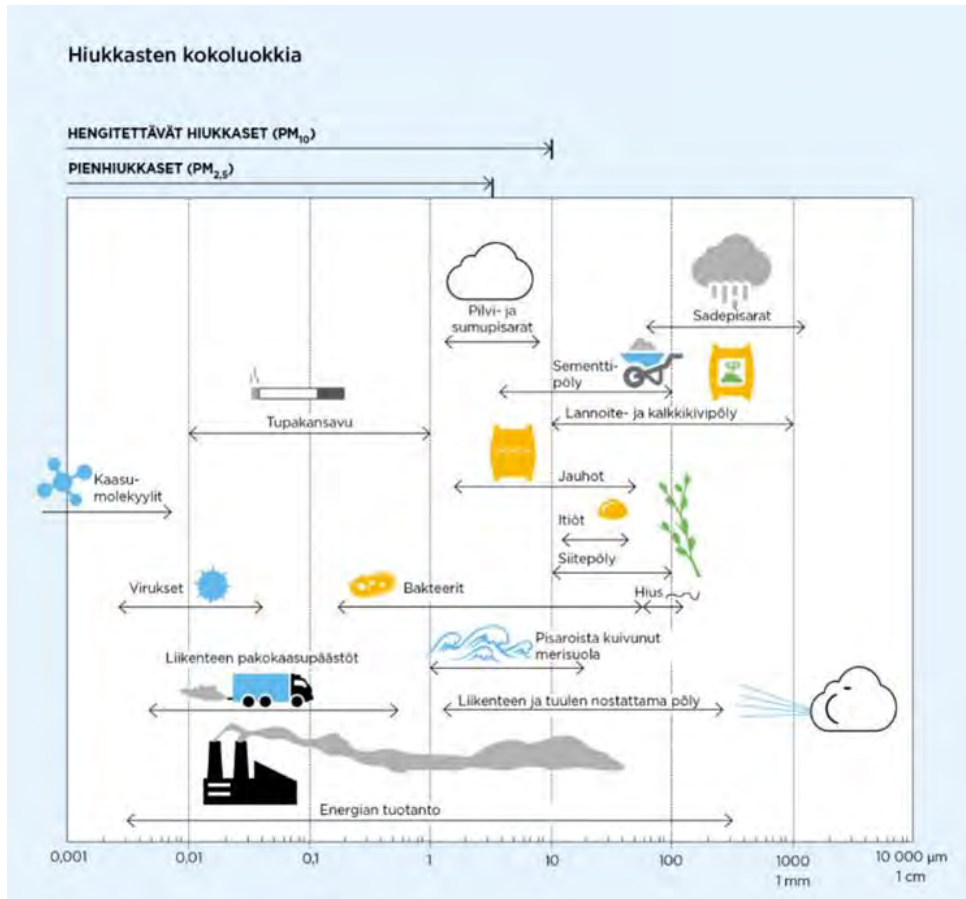
Ulkoilman hiukkaset ovat nykyisin merkittävimpiä ilmanlaatuun vaikuttavia tekijöitä Suomen kaupungeissa. Pienhiukkasia pidetään haitallisimpana ilmaperäisenä ympäristötekijänä ihmisten terveydelle. Ulkoilman hiukkaset ovat taajamissa suurelta osin peräisin liikenteen ja tuulen nostattamasta katupölystä (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 syväälle ihmisten hengitysteihin. Hengitettävälle hiukkasille, joiden halkaisija on alle 10 mikrometriä (PM₁₀), 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 46.

Suomessa hiukkaspitoisuudet kohoavat yleensä voimakkaasti keväällä maaliskuussa, kun maanpinnan kuivuessa tuuli ja liikenne nostattavat talven aikana kertynyttä katupölyä ilmaan. Pitoisuuksien kohoamista esiintyy taajamissa katupölyn vuoksi usein myös syksyllä talvirengaskauden alettua. Pienten hiukkasten pitoisuuksien kohoamiseen vaikuttaa ajoittain merkittävästi myös ulkomailta peräisin oleva kaukokulkeuma. Suurimmat hiukkaspitoisuudet 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 katukuiluosuuksilla 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, 2023c).



Kuva 46: Hiukkasten kokoluokkia. Hiukkasten koko ilmaistaan halkaisijana mikrometreissä (µm). Mikro (µ) etuliite tarkoittaa miljoonasosaa. 1 µm on siten metrin miljoonasosa eli millimetrin tuhannesosa.

Pienhiukkaspitoisuuden vuosikeskiarvolle määritetty raja-arvo 25 µg/m³ alittuu selvästi kaikkialla Suomessa. Viime vuosina pienhiukkasten vuosikeskiarvopitoisuus on ollut pääkaupunkiseudun kaupunkialueilla noin 5–9 µg/m³ ja muilla kaupunkialueilla noin 2–8 µg/m³. Pitoisuuserot erityyppisten mittausympäristöjen välillä ovat muutamia mikrogrammoja. Puhtailla tausta-alueilla vuosikeskiarvopitoisuudet ovat olleet Etelä-Suomessa noin 4–6 µg/m³ ja Pohjois-Suomessa noin 2–3 µg/m³ (Ilmatieteen laitos, 2023c). 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 myös luonnollisista lähteistä, kuten metsäpalojen, tulieroosion 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).

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 karkeammassa hiukkasissa, jotka ovat kooltaan muutamasta mikrometristä ylöspäin.

Nikkeliä vapautuu ulkoilmaan pääasiassa polttoaineiden ja jäteöljyn poltossa sekä nikkelimalmiin louhinnassa ja jalostuksessa. Ulkoilman tärkeitä nikkeliyhdisteitä ovat nikkelisulfaatti ja nikkelioksidi, joita syntyy esimerkiksi

energiantuotannossa. Öljyn ja hiilen poltossa muodostuvat hiukkaset sisältävät lisäksi myös monimutkaisia metallioksideja ja metalliteollisuuden päästöissä esiintyy myös metallista nikkeliä. Nikkelin kokonaispäästöiksi Suomessa on arvioitu 12 tonnia vuonna 2019 (Syke, 2022). Helsingin Kallion kaupunkitausta-ajemalla nikkelin vuosikeskiarvot ovat vuosina 2009–2015 vaihdelleet välillä 2–4 ng/m³ (HSY, 2016). Raahen Lapaluodon teollisuusajemalla 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 mittausajemalla (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 keuhkosityöpäriskistä.

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

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

6.4 Ilmanlaadun ohje- ja raja-arvot

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

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

Tavoitearvolla tarkoitetaan ilmassa olevaa pitoisuutta, joka on mahdollisuuksien mukaan alitettava määrääjässä ja jolla pyritään välttämään, ehkäisemään tai vähentämään ihmisten terveyteen ja ympäristöön kohdistuvia

haitallisia vaikutuksia. Tavoitearvoja on annettu muun muassa hiukkasten sisältämien arseenin, nikkelin ja kadmiumin pitoisuuksille. Näiden aineiden tavoitearvot on määritelty valtioneuvoston asetuksessa Vna 113/2017 ja ne on esitetty taulukossa 6.

Seuranta-alueen ilmanlaadun seurannan suunnittelussa on otettava huomioon ilmanlaatuasetuksessa määritellyt arviointikynnykset (Vna 79/2017). Jatkuvia mittauksia on tehtävä seuranta-alueilla, joilla ylempi arviointikynnys ylittyy sekä seuranta-alueilla, joilla ilman epäpuhtauksien pitoisuudet ovat ylemmän ja alemman arviointikynnyksen välissä. Alemman arviointikynnyksen ylittyessä 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 5: 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 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}) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	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 7: 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 47). 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 6 on esitetty hengitettävien hiukkasten, pienhiukkasten, arseenin ja metallien pitoisuuksille määritetyt ylemmät ja alemmat arviointikynnykset sekä niiden osuus raja- ja tavoitearvopitoisuuksista.



Kuva 47: Ilmanlaadun seurantarve seuranta-alueella määräytyy mitattujen pitoisuuksien suhteesta ylempään ja alemmaan 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/YMra_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>.
- Raahen kaupunki (2020). Raahen ilmanlaatu 2019. *Ilmanlaadun seurantaraportti, 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: Kittilän Molkoselän ilmanlaadun mittausasemalla mitatut hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) tunti- ja vuorokausipitoisuudet (µg/m³) kuukausittain vuonna 2023. Pitoisuudet on ilmoitettu ulkoilman lämpötilassa ja paineessa.

PM ₁₀ (µg/m ³)	2023											
	tammi	helmi	maalis	huhti	touko	kesä	heinä	elo	syys	loka	marras	joulu
TUNTIARVOJEN												
lukumäärä	711	671	743	629	744	720	743	744	719	744	716	744
kattavuus (%)	95,6	99,9	99,9	87,4	100	100	99,9	100	99,9	100	99,4	100
keskiarvo	3,0	4,5	3,6	9,2	6,4	6,7	5,4	5,4	4,5	6,8	3,9	2,9
99. %-piste	33,0	20,5	25,0	128,6	36,1	25,2	30,7	15,0	21,5	61,1	22,6	13,3
korkein arvo	71,3	50,8	58,2	418,3	143,3	59,7	130,3	25,0	57,1	167,6	35,1	22,0
VRK-ARVOJEN												
lukumäärä	30	28	31	26	31	30	31	31	30	31	30	31
2. korkein arvo	8,9	8,9	7,8	33,0	12,7	12,6	9,5	8,8	8,8	21,0	12,7	6,9
korkein arvo	10,0	10,0	8,2	46,0	20,1	13,9	17,2	9,6	9,2	24,7	18,7	9,1

Liitetaulukko 2: Kittilän Männikön ilmanlaadun mittausasemalla mitatut hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) tunti- ja vuorokausipitoisuudet (µg/m³) kuukausittain vuonna 2023. Pitoisuudet on ilmoitettu ulkoilman lämpötilassa ja paineessa.

PM ₁₀ (µg/m ³)	2023											
	tammi	helmi	maalis	huhti	touko	kesä	heinä	elo	syys	loka	marras	joulu
TUNTIARVOJEN												
lukumäärä	709	671	743	718	744	720	743	744	717	744	718	744
kattavuus (%)	95,3	99,9	99,9	99,7	100	100	99,9	100	99,6	100	99,7	100
keskiarvo	3,1	4,6	2,6	8,6	7,6	7,0	4,4	5,5	4,4	6,3	2,9	2,6
99. %-piste	38,4	24,9	14,5	74,0	43,2	37,4	24,8	16,0	14,7	52,4	15,8	12,9
korkein arvo	113,3	116,1	34,4	1626,8	129,3	61,2	57,3	34,8	24,5	457,5	19,0	18,0
VRK-ARVOJEN												
lukumäärä	30	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
2. korkein arvo	12,2	10,8	5,1	21,5	16,5	20,6	7,5	9,8	9,2	42,1	9,9	7,5
korkein arvo	23,4	11,1	5,3	104,6	18,2	23,2	12,7	10,0	9,3	55,5	10,7	9,8

Liitetaulukko 3: Kittilän Molkoselän ilmanlaadun mittausasemalla mitatut pienhiukkasten (PM_{2.5}) tunti- ja vuorokausipitoisuudet (µg/m³) kuukausittain vuonna 2023. Pitoisuudet on ilmoitettu ulkoilman lämpötilassa ja paineessa.

PM _{2,5} (µg/m ³)	2023											
	tammi	helmi	maalis	huhti	touko	kesä	heinä	elo	syys	loka	marras	joulu
TUNTIARVOJEN												
lukumäärä	711	671	743	629	744	720	743	744	719	744	716	744
kattavuus (%)	95,6	99,9	99,9	87,4	100	100	99,9	100	99,9	100	99,4	100
keskiarvo	1,7	2,8	1,6	2,7	2,6	3,1	2,5	2,9	2,0	2,2	2,7	2,3
99. %-piste	8,6	10,9	7,7	26,4	9,5	10,9	7,6	8,8	8,3	11,4	16,2	10,7
korkein arvo	50,1	31,0	10,9	50,7	19,5	14,3	15,4	10,1	18,3	29,4	28,1	17,3
VRK-ARVOJEN												
lukumäärä	30	28	31	26	31	30	31	31	30	31	30	31
2. korkein arvo	4,1	6,7	2,5	6,4	5,9	8,5	4,0	6,2	4,4	5,1	8,2	6,4
korkein arvo	5,9	7,6	3,5	6,7	7,3	8,7	5,6	6,3	5,1	5,2	14,5	8,5

Liitetaulukko 4: Kittilän Männikön ilmanlaadun mittausasemalla mitatut pienhiukkasten (PM_{2.5}) tunti- ja vuorokausipitoisuudet (µg/m³) kuukausittain vuonna 2023. Pitoisuudet on ilmoitettu ulkoilman lämpötilassa ja paineessa.

PM _{2.5} (µg/m ³)	2023											
	tammi	helmi	maalis	huhti	touko	kesä	heinä	elo	syys	loka	marras	joulu
TUNTIARVOJEN												
lukumäärä	709	671	743	718	744	720	743	744	717	744	718	744
kattavuus (%)	95,3	99,9	99,9	99,7	100	100	99,9	100	99,6	100	99,7	100
keskiarvo	1,4	2,6	1,3	2,1	2,5	3,2	2,4	2,8	1,8	1,7	2,2	2,2
99. %-piste	7,4	12,7	5,5	10,8	10,1	11,4	5,7	9,3	7,4	6,8	13,1	10,7
korkein arvo	17,0	17,6	9,9	188,3	14,9	14,4	12,9	10,5	9,9	52,5	14,7	12,8
VRK-ARVOJEN												
lukumäärä	30	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
2. korkein arvo	5,2	7,0	2,2	4,3	6,4	8,6	4,3	6,5	4,2	4,9	7,8	7,0
korkein arvo	5,7	9,0	2,4	12,5	7,3	9,1	4,8	6,6	5,1	6,6	8,1	9,0

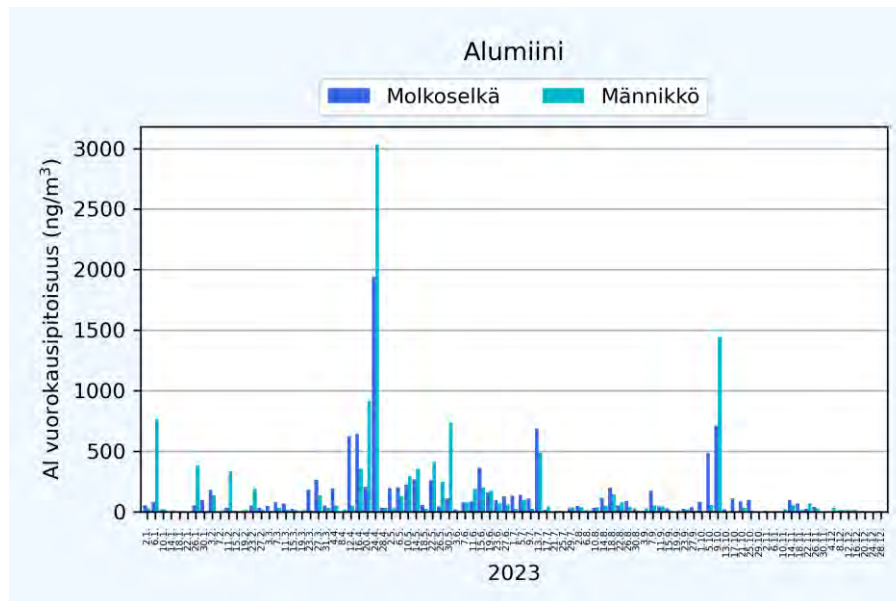
Liitetaulukko 5: Kittilän Molkoselän ilmanlaadun mittausasemalla vuonna 2023 mitatut arseeni- ja metallipitoisuudet koko vuoden keskiarvona.

Mitattu pitoisuus	Mittausjakson keskiarvo (ng/m ³)
Alumiini (Al)	128,48
Arseeni (As)	1,10
Kadmium (Cd)	0,02
Koboltti (Co)	0,11
Kromi (Cr)	0,67
Kupari (Cu)	0,86
Rauta (Fe)	182,73
Mangaani (Mn)	3,45
Nikkeli (Ni)	0,46
Lyijy (Pb)	0,60
Vanadiini (V)	0,80
Sinkki (Zn)	3,62

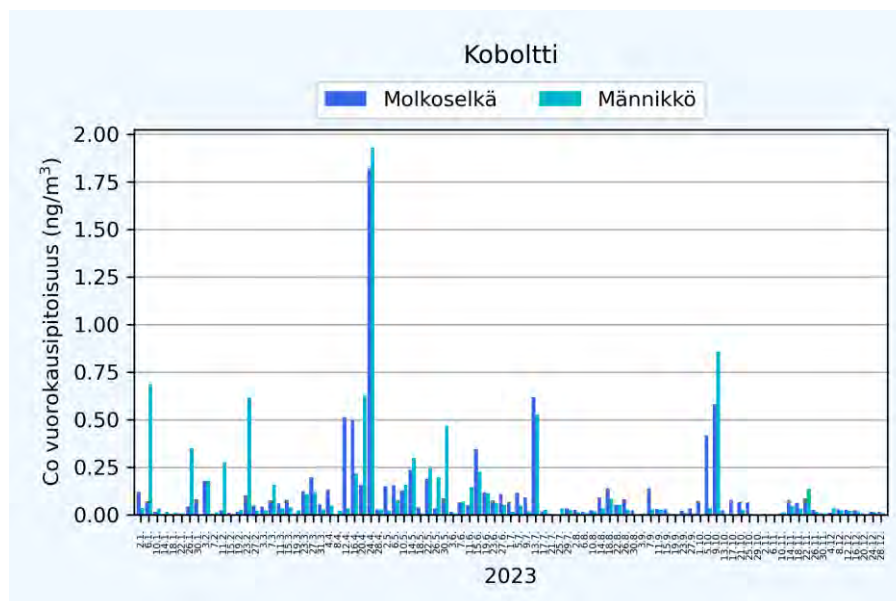
Liitetaulukko 6: Kittilän Männikön ilmanlaadun mittausasemalla vuonna 2023 mitatut arseeni- ja metallipitoisuudet koko vuoden keskiarvona.

Mitattu pitoisuus	Mittausjakson keskiarvo (ng/m ³)
Alumiini (Al)	141,42
Arseeni (As)	0,83
Kadmium (Cd)	0,02
Koboltti (Co)	0,11
Kromi (Cr)	2,04
Kupari (Cu)	0,63
Rauta (Fe)	193,10
Mangaani (Mn)	3,78
Nikkeli (Ni)	1,49
Lyijy (Pb)	0,54
Vanadiini (V)	0,81
Sinkki (Zn)	2,21

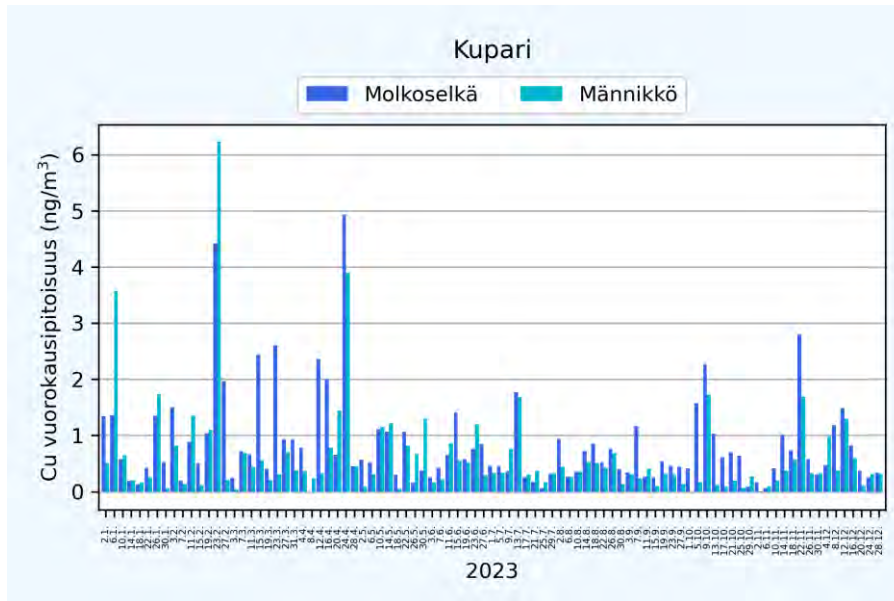
LIITEKUVAT



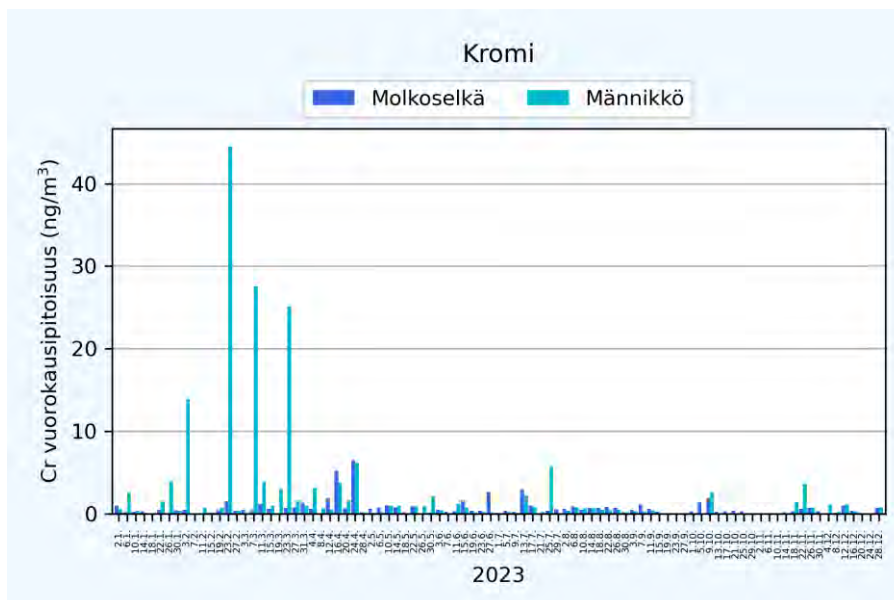
Liitekuva 1: Hengitettävistä hiukkasista (PM₁₀) määritetyt **alumiinipitoisuudet** (ng/m³) Kittilän Molkoselän ja Männikön mittauspisteissä vuonna 2023. Alumiinille ei ole määritelty ilmanlaadun vertailuarvoja.



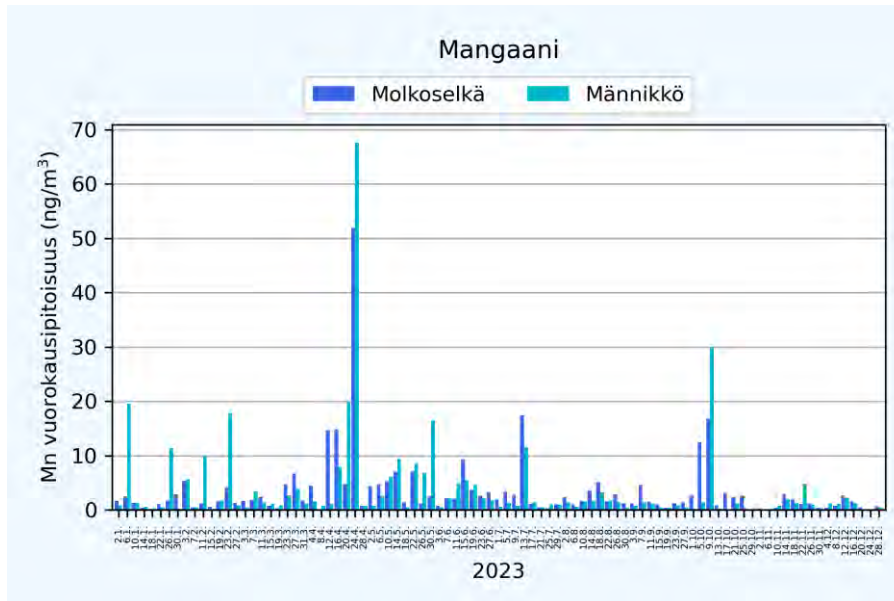
Liitekuva 2: Hengitettävistä hiukkasista (PM₁₀) määritetyt **kobolttipitoisuudet** (ng/m³) Kittilän Molkoselän ja Männikön mittauspisteissä vuonna 2023. Koboltille ei ole määritelty ilmanlaadun vertailuarvoja.



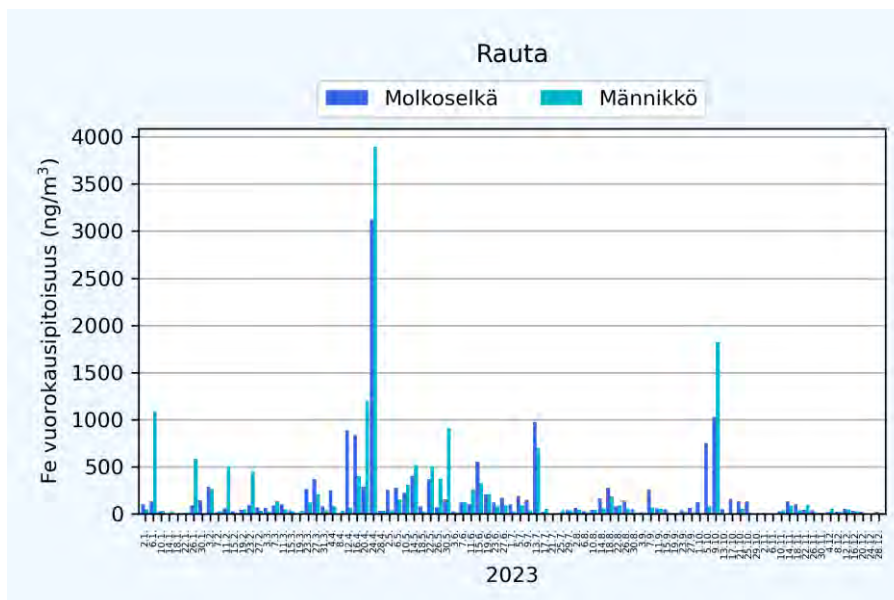
Liitekuva 3: Hengitettävistä hiukkasista (PM₁₀) määritetyt **kuparipitoisuudet** (ng/m³) Kittilän Molkoselän ja Männikön mittauspisteissä vuonna 2023. Kuparille ei ole määritetty ilmanlaadun vertailuarvoja.



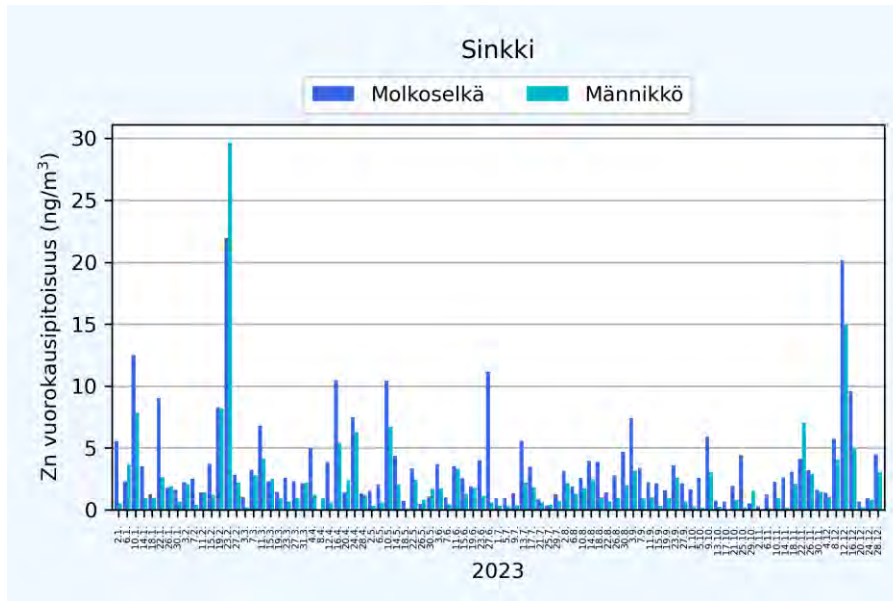
Liitekuva 4: Hengitettävistä hiukkasista (PM₁₀) määritetyt **kromipitoisuudet** (ng/m³) Kittilän Molkoselän ja Männikön mittauspisteissä vuonna 2023. Kromille ei ole määritetty ilmanlaadun vertailuarvoja.



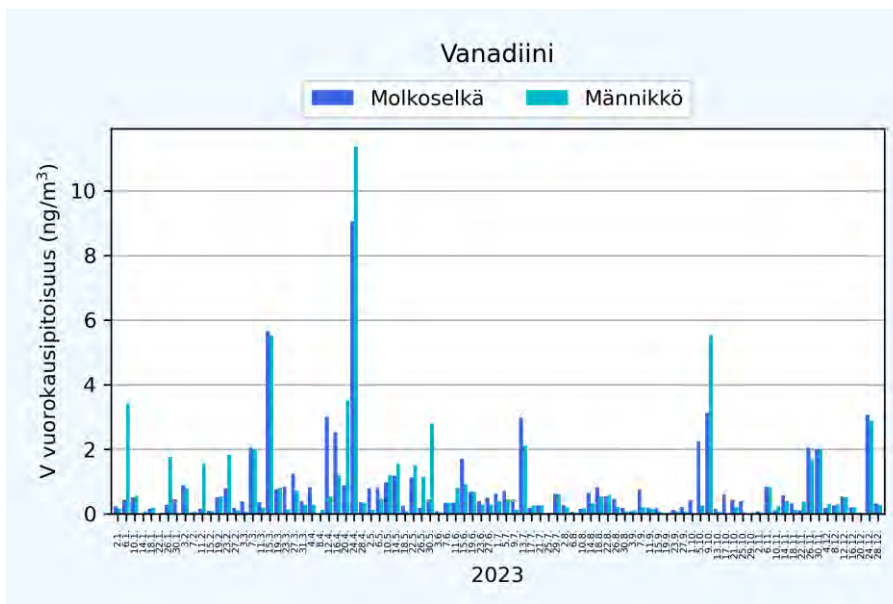
Liitekuva 5: Hengitettävistä hiukkasista (PM₁₀) määritetyt mangaanipitoisuudet (ng/m³) Kittilän Molkoselän ja Männikön mittauspisteissä vuonna 2023. Mangaanille ei ole määritelty ilmanlaadun vertailuarvoja.



Liitekuva 6: Hengitettävistä hiukkasista (PM₁₀) määritetyt rautapitoisuudet (ng/m³) Kittilän Molkoselän ja Männikön mittauspisteissä vuonna 2023. Raudalle ei ole määritelty ilmanlaadun vertailuarvoja.



Liitekuva 7: Hengitettävistä hiukkasista (PM₁₀) määritetyt sinkkipitoisuudet (ng/m³) Kittilän Molkoselän ja Männikön mittauspisteissä vuonna 2023. Sinkille ei ole määritetty ilmanlaadun vertailuarvoja.



Liitekuva 8: Hengitettävistä hiukkasista (PM₁₀) määritetyt vanadiinipitoisuudet (ng/m³) Kittilän Molkoselän ja Männikön mittauspisteissä vuonna 2023. Vanadiinille ei ole määritetty ilmanlaadun vertailuarvoja.



ILMATIETEEN LAITOS

ILMATIETEEN LAITOS

puh. 029 539 1000

Ilmanlaatu ja energia

ilmanlaatupalvelut@fmi.fi

www.ilmatieteenlaitos.fi/ilmanlaatupalvelut

WWW.ILMATIETEENLAITOS.FI

