



TORNION ILMANLAADUN SEURANTA

**Hengitettävien hiukkasten,
pienhiukkasten ja typen oksidien
sekä PAH-yhdisteiden ja metallien
pitoisuustulokset vuonna 2020**



TORNION ILMANLAADUN SEURANTA

**Hengitettävien hiukkasten, pienhiukkasten ja typen oksidien sekä
PAH-yhdisteiden ja metallien pitoisuustulokset vuonna 2020**

**Jatta Salmi
Birgitta Komppula
Matias Saunamäki
Mika Vestenius
Katja Lovén**

**ILMATIETEEN LAITOS – ASiantuntijapalvelut
ILMANLAATU JA ENERGIA
Helsinki 12.7.2021**

SISÄLLYSLUETTELO

OSA I	4
1. JOHDANTO	4
2. ILMANLAADUN MITTAUSTULOKSET	4
2.1 Mitatut pitoisuudet	4
2.2 Ilmanlaatuindeksi	7
2.3 Pitoisuuksien vertailua ilmanlaadun raja- ja ohjearvoihin	8
2.4 Tuulen suunnan ja nopeuden vaikutus mitattuihin pitoisuuksiin	12
2.5 Pitoisuuksien ajallinen vaihtelu	15
2.6 Hengitettävien hiukkasten sisältämät metallit	17
2.7 Hengitettävien hiukkasten sisältämät PAH-yhdisteet	21
2.8 Pitoisuuksien vertailua Torniossa aiemmin mitattuihin pitoisuuksiin	23
2.9 Pitoisuuksien vertailua muualla mitattuihin pitoisuuksiin	27
3. YHTEENVETO JA SUOSITUKSET	31
OSA II	34
4. TUTKIMUKSEN SUORITUS	34
4.1 Mittausasemien sijainti	34
4.2 Mitatut suureet ja mittausmenetelmät	36
4.3 Kalibrointimenetelmät, laadunvarmistus ja laitehuollot	38
5. SÄÄTIEDOT VUONNA 2020	39
5.1 Tuulitiedot Torniossa mittausjaksolla	39
5.2 Keskilämpötilat Tornion seudulla	40
5.3 Sademäärät Tornion seudulla	41
5.4 Ilmanlaatuun vaikuttavat säätekijät	42
6. TORNION PÄÄSTÖTIEDOT	43
7. TAUSTATIETOA ILMAN EPÄPUHTAUKSISTA	48
7.1 Hiukkaset	48
7.2 Typen oksidit	50
7.3 Arseeni ja metallit	50
7.4 PAH-yhdisteet	52
7.5 Ilman epäpuhtauksien terveysvaikutukset	53
7.6 Ilmanlaadun ohje- ja raja-arvot	53
VIITELUETTELO	56
LIITETAULUKOT	58
LIITEKUVAT	62

OSA I

1. JOHDANTO

Ilmatieteen laitos alkoi seurata Tornion ulkoilman laatua 1.1.2020 kahdessa mittauspisteessä. Toinen mittauspiste sijaitsi Tornion keskustassa ortodoksisen kirkon puistossa, Länsiranta-kadun varrella ja toinen Näätsaaren koulun pihassa, noin 3 km päässä keskustasta etelään. Molemmilla asemilla mitattiin vuonna 2020 hengitettäviä hiukkasia ja pienhiukkasia jatkuvatoimisilla automaattisilla analyysointilaitteilla. Keskustan mittausasemalla mitattiin lisäksi typen oksideja. Molemmilla mittausasemilla kerättiin myös hiukkasten vuorokausinäytteitä joka 6. vuorokausi. Näistä näytteistä analysoitiin laboratoriossa PAH-yhdisteiden pitoisuuksia (ajalta 1.1.–31.12.2020) ja metallien pitoisuuksia (ajalta 10.5.2020–5.5.2021). Typen oksideja ja erikokoisia hiukkasia vapautuu erityisesti autoliikenteestä, metalleja teollisuuden tuotantoprosesseista ja PAH-yhdisteitä erilaisista polttoprosesseista, kuten kotitalouksien puulämmityksestä. Ilmanlaadun mittausten tavoitteena oli kartoittaa näiden ilmansaasteiden pitoisuustasoja ja hetkellistä vaihtelua. Ilmanlaatumittausten tulosten tulkintaa varten asemilla mitattiin myös säätiloja.

Tässä raportissa esitetään kaikki ilmanlaadun mittaustulokset ja verrataan niitä ilmanlaadun lainsäädännössä asetettuihin raja- ja ohjearvoihin. Lisäksi raportissa verrataan pitoisuuksia muilla Suomen mittausasemilla vastaavana aikana mitattuihin pitoisuusarvoihin. Torniossa on suoritettu vastaavalaista ilmanlaadun tarkkailua aikaisemmin useissa mittauspisteissä eri vuosina. Raportissa verrataan nyt havaittuja mittaustuloksia myös aikaisempiin mittaustuloksiin soveltuvin osin.

Ilmanlaadun mittauksista sekä niihin liittyvästä asiantuntijatyöstä vastasi Ilmatieteen laitoksen Asiantuntijapalvelut-yksikkö. Työn tilasi Outokumpu Stainless Oy. Ilmanlaadun seuranta hoidetaan Torniossa ns. yhteistarkkailuna, johon osallistuvat Outokumpu Stainless Oy:n lisäksi Tornion kaupunki, Tornion Voima Oy ja SMA Minerals Oy. Yritykset osallistuvat tarkkailuun aiheuttamisperiaatteen mukaisin kustannuksin.

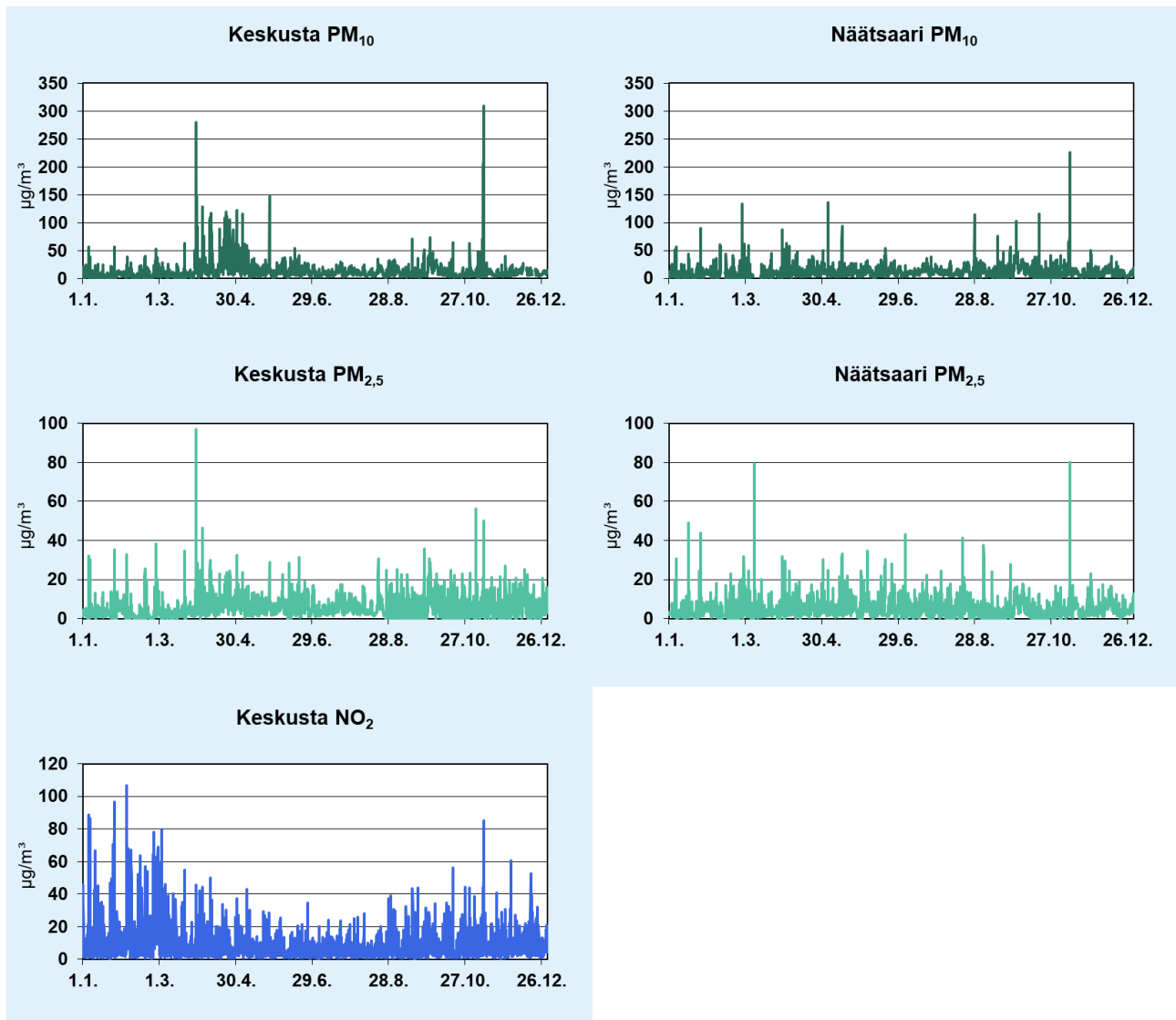
2. ILMANLAADUN MITTAUSTULOKSET

2.1 Mitatut pitoisuudet

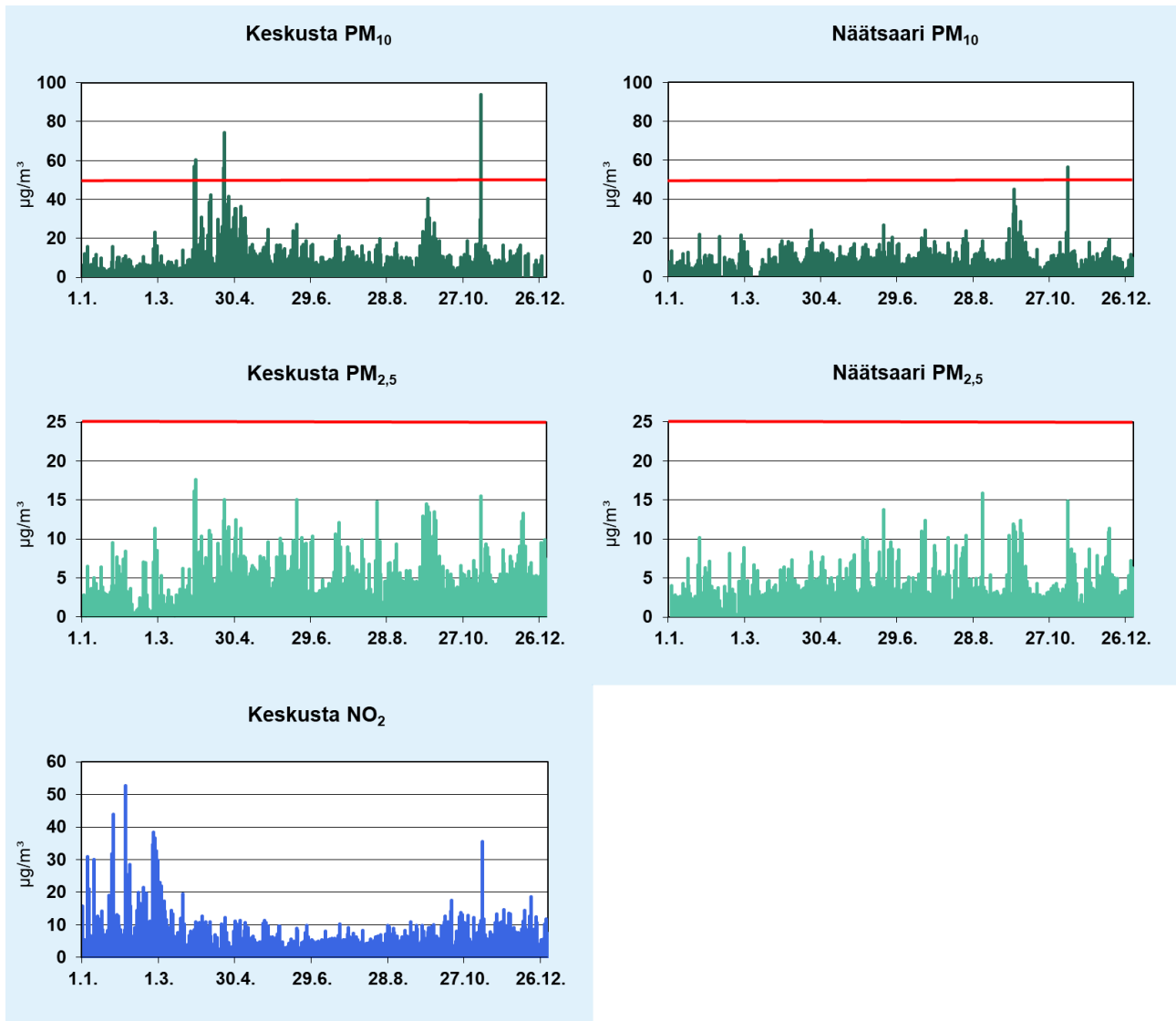
Tornion ilmanlaadun mittausasemilla mitattujen pienhiukkasten ($PM_{2.5}$), hengitettävien hiukkasten (PM_{10}) ja typen oksidien (NO , NO_2 ja NO_x) pitoisuuksien vuosikeskiarvot mittausjaksolla 1.1.–31.12.2020 on esitetty taulukossa 1 ja mittausjakson tuntipitoisuudet ja vuorokausipitoisuudet koosteena kuvissa 1–2. Raportin lopun liitetaulukoihin 1–7 on koottu kuukausittaisia tilastotietoja kaikista mitatuista pitoisuuksista tältä jaksolta. Raportin lopussa olevissa liitekuville 1–10 on esitetty kaikki Tornion keskustan mittausasemalla 1.1.–31.12.2020 mitattujen pitoisuuksien tuntikeskiarvojen ja vuorokausikeskiarvojen aikasarjat ja liitekuville 11–14 puolestaan Näätsaaren mittausasemalla mitatut vastaavat pitoisuudet yksikössä $\mu g/m^3$ (hengitettävät hiukkaset ja pienhiukkaset ulkoilman lämpötilassa, typen oksidit $20\text{ }^{\circ}C$ lämpötilassa). Kaikki mittaukset on suoritettu jatkuvatoimisilla automaattisilla analyysointilaitteilla. Liitekuville 15–21 on esitetty tuulen suunnan ja nopeuden, ulkoilman lämpötilan, suhteellisen kosteuden ja ilmanpaineen tuntikeskiarvot samalta mittausjaksolta. Mittauspaikkaa on esitelty tarkemmin raportin jälkimmäisessä osassa, kappaleessa 4.1 ja mittausmenetelmistä ja käytetyistä laitteista on kerrottu kappaleessa 4.2. Raportin tekstissä keskitytään typen oksideista vain typpidioksidin pitoisuustulosten käsittelyyn, koska lainsäädännön vertailuarvot ihmisten terveyden suojelemiseksi on annettu nimenomaan typpidioksidille (NO_2).

Taulukko 1. Tornion ilmanlaadun mittausasemilla vuonna 2020 mitatut hiukkasten ja typen oksidien vuosikeskiarvopitoisuudet ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Vuosikeskiarvopitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Tornion keskusta	Tornio Näätsaari
PM ₁₀	12	10
PM _{2,5}	5,6	4,5
NO	3,9	–
NO ₂	8,5	–
Kokonais-NO _x (NO ₂ :na ilmaistuna)	15	–



Kuva 1. Tornion ilmanlaadun mittauspisteissä vuonna 2020 mitatut hengitettävien hiukkasten (PM₁₀), pienhiukkasten (PM_{2,5}) ja typpidioksidin (NO₂) tuntipitoisuudet.



Kuva 2. Tornion ilmanlaadun mittauspisteissä vuonna 2020 mitatut hengitettävien hiukkasten (PM₁₀), pienhiukkasten (PM_{2,5}) ja typpidioksidin (NO₂) vuorokausipitoisuudet. Kuvaajiin on punaisella vaakaviivoilla merkitty ilmanlaadun raja-arvot.

Keskustassa mitatut pitoisuudet olivat keskimäärin hiukan korkeampia kuin Näätasaarissa mitatut pitoisuudet. Kaikissa jatkuvatoimisissa mittauksissa pitoisuudet vaihtelivat tarkastelujaksolla voimakkaasti. Hetkellinen tuntipitoisuuksien vaihtelu oli merkittävästi suurempaa kuin vuorokausikeskiarvopitoisuuksien vaihtelu. Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet olivat pääsääntöisesti korkeampia kuin pienhiukkaspitoisuudet, sillä PM₁₀-hiukkasten fraktio sisältää myös PM_{2,5}-hiukkasten osuuden. Siksi näiden kahden hiukkasfraktion pitoisuudet ovat aina joko yhtä suuria tai PM₁₀-pitoisuudet ovat suurempia kuin PM_{2,5}-pitoisuudet.

Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet olivat molemmilla mittausasemilla keskimäärin korkeampia kesäkaudella kuin talvella lumipeitteiseen aikaan. Teollisuuden päästölähteistä, asuinrakennusten lämmityksestä ja autoliikenteen pakokaasuista vapautuvien hiukkasten lisäksi ulkoilman hiukkaspitoisuuksiin vaikuttavat merkittävästi maanpinnasta tuulen mukana ilmaan nousevat hiukkaset, joiden määrää säätelevät muun muassa tuulen nopeus, sateisuus, maanpinnan kosteus ja pintojen kasvilisuuspeiteisyys. Pölyämistä tapahtuu tyypillisesti eniten kevät- ja kesäaikaan maaston ollessa kuivaa. Keskustassa pitoisuudet olivat korkeimmillaan keväällä katupölyaikaan sekä loppusyksyllä syk-

syllä talvirengaskauden jälleen alettua ja pienimmillään tammikuussa. Korkein mitattu PM_{10} -tuntipitoisuus oli $310 \mu g/m^3$. Näätsaaren mittauksissa ei havaittu näin selvää liikenteen ilmaan nostaman katupölyn aiheuttamaa vaihtelua vaan siellä hengitettävien hiukkasten pitoisuudet olivat tasaisempia koko vuoden ajan. Näätsaassa korkein mitattu PM_{10} -tuntipitoisuus oli $226 \mu g/m^3$.

Pienhiukkasten keskimääräisissä pitoisuuksissa ei ollut havaittavissa selkeää vuodenaikaisvaihtelua kummallakaan mittausasemalla. Pienhiukkaspitoisuuksien melko pieni vaihtelu johtuu siitä, että suurin vaikutus pienhiukkaspitoisuustasoihin on alueellisella taustapitoisuudella eli alueelle muualta kaukokulkeutuneilla pienhiukkasilla. Paikallisilla päästölähteillä on pienempi vaikutus pienhiukkasten pitoisuuksiin kuin hengitettävien hiukkasten pitoisuuksiin. Kaikkein korkeimmat pienhiukkasten tuntipitoisuudet havaittiin molemmilla asemilla kuitenkin keväällä katupölyaikaan. Korkeimmillaan pienhiukkasten tuntipitoisuudet olivat keskustassa $98 \mu g/m^3$ ja Näätsaassa $80 \mu g/m^3$. Syyskuun lopussa 23.–30.9.2020 Suomeen kulkeutui hiukkasia kaukokulkeumana eteläisen Euroopan metsä- ja maastopaloista. Tämä havaittiin useiden päivien ajan kohonneina pienhiukkaspitoisuuksina myös Tornion molemmilla mittausasemilla. Tiistaina 10.11. illalla hetkellisesti molemmilla mittausasemilla kaikki mitatut pitoisuudet olivat epätyypillisen korkeita ja tämä näkyi myös $PM_{2,5}$ -pitoisuuksissa erityisesti Näätsaassa. Tälle tilanteelle ei löydetty selvää selitystä, esim. paikallisella teollisuudella ei ollut tällä ajankohdalla häiriöpäästöjä eikä seudulla ollut muutenkaan mitään erityistä poikkeavaa toimintaa käynnissä. Syynä saattoivat olla pitoisuuksien laimenemisen kannalta erittäin epäedulliset sääolosuhteet, esim. voimakas hetkellinen inversio.

Typpidioksidipitoisuudet olivat pienimmillään kesäkaudella ja suurimmillaan talvikaudella, ollen keskimäärin korkeimmillaan tammi-maaliskuussa, jolloin ulkoilman lämpötila oli pakkasen puolella. Talviaikaan on usein sellaisia sääolosuhteita, kuten inversiotilanteita, joissa liikenteen päästöt kerääntyvät ilmakerrokseen päästölähteiden lähelle ja laimentuvat huonosti ympäröivään ilmaan. Keskustassa mitatuissa typpidioksidipitoisuuksissa havaittiin selvästi läheisen autoliikenteen vaikutus. Korkein mitattu typpidioksidin tuntipitoisuus oli $107 \mu g/m^3$. Typpidioksidin pitoisuuksissa on todennäköisesti havaittavissa myös covid-19-pandemian aiheuttama autoliikenteen määrien väheneminen. Tornion raja-asemalla rajan ylittävä liikennemäärä oli vuonna 2020 vain noin puolet normaalitilanteeseen verrattuna. Ajalla 19.3.–18.9.2020 Suomen rajojen yli pääsi matkustamaan vain rajoitetusti ja rajaliikennemäärät olivatkin erityisen pieniä tämän jakson alussa. Nämä rajoitustoimet ovat vaikuttaneet liikennemääriin myös keskustan ilmanlaadun mittausaseman välittömässä läheisyydessä, joten nyt mitatut NO_2 -pitoisuudet ovat todennäköisesti pienempiä kuin olisivat olleet tavanomaisena tarkasteluvuotena. Liikkumisrajoitusten aiheuttama liikenteen päästöjen väheneminen aiheutti ympäri Suomea kaupunki-ilman typpidioksidipitoisuuksien merkittävää pienentymistä. Hiukkaspitoisuuksissa vastaavia muutoksia ei havaittu niin selvästi, koska muutokset peittyivät keväisen katupölykauden ja pienhiukkasten kaukokulkeuman vaikutuksiin.

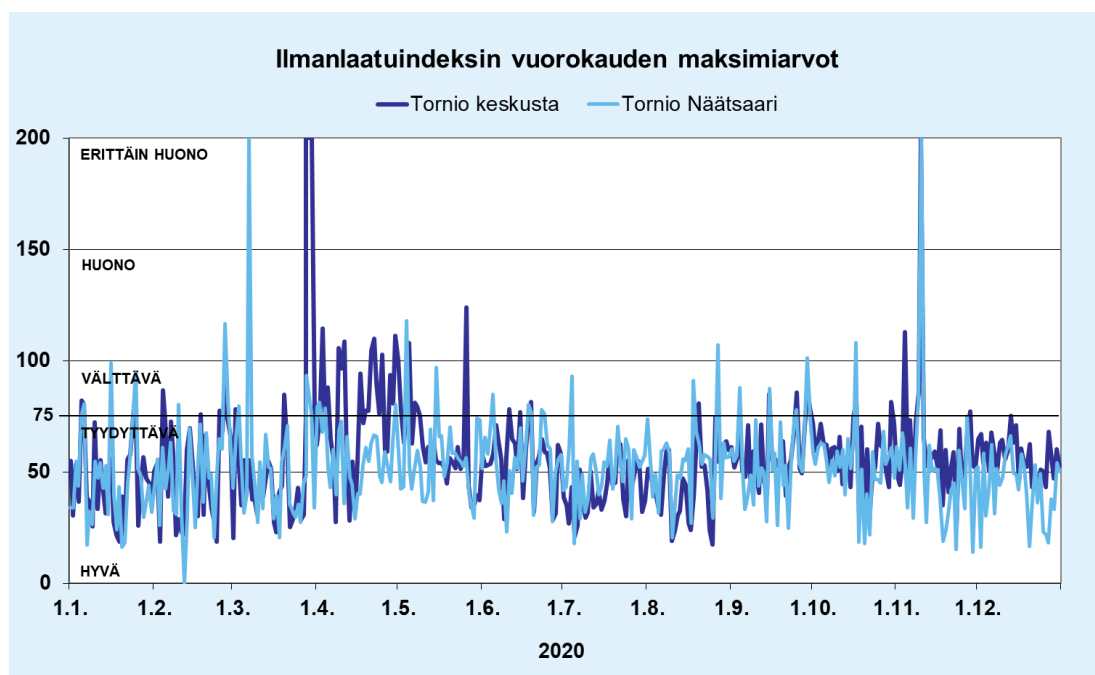
2.2 Ilmanlaatuindeksi

Tornion ilmanlaadun mittausasemilla jatkuvatoimisesti mitattujen pitoisuuksien tuntiarvojen perusteella laskettiin ilmanlaatuindeksi, joka kuvaa vallitsevaa ilmanlaatuutilannetta viisiportaisella sanallisella asteikolla: hyvä, tyydyttävä, välttävä, huono tai erittäin huono. Ilmanlaatuindeksi on vertailuluku, joka kuvaa sen hetkistä ilmanlaatua suhteutettuna ilmanlaadun terveysvaikutusperusteisiin raja- tai ohjearvopitoisuuksiin. Ilmanlaatuindeksin määrittämiseksi kullekin mitattavalle yhdisteelle (PM_{10} , $PM_{2,5}$ ja NO_2) lasketaan ensin pitoisuuksien tuntikeskiarvoista ali-indeksi. Ali-indekseistä korkeimman arvo määrää sen tunnin ilmanlaatuindeksin arvon. Vuorokauden ilmanlaatuindeksi määräytyy puolestaan ilmanlaadultaan huonoimman tunnin mukaan.

Kuvassa 3 on esitetty vuorokauden suurimmat ilmanlaatuindeksin arvot Tornion ilmanlaadun mittausasemilla ajalla 1.1.–31.12.2020. Indeksillä ilmaistuna ilmanlaatu oli Tornion keskustassa hyvää tai tyydyttävää 85 % mittausjakson vuorokausista ja Näätsaassa 91 % vuorokausista eli valtaosan

mittausajasta. Keskustassa ilmanlaatu oli välttävää 11 % päivistä, huonoa 3 % päivistä ja erittäin huonoa 1 % päivistä (3 päivää). Näätsaassa vastaavasti ilmanlaatu oli välttävää 7 % päivistä, huonoa 1 % päivistä (5 päivää) ja erittäin huonoa 1 % päivistä (2 päivää).

Huonon ja erittäin huonon ilmanlaadun päivät ajoittuivat molemmilla mittausasemilla kevään katu-
pölykaudelle ja ne aiheutuivat pääsääntöisesti korkeista hengitettävien hiukkasten pitoisuuksista. Vain kahtena vuorokautena keskustassa (30.3. ja 4.11.) ja yhtenä vuorokautena Näätsaassa (7.3.) huono ilmanlaatu aiheutui korkeista pienhiukkaspitoisuuksista.



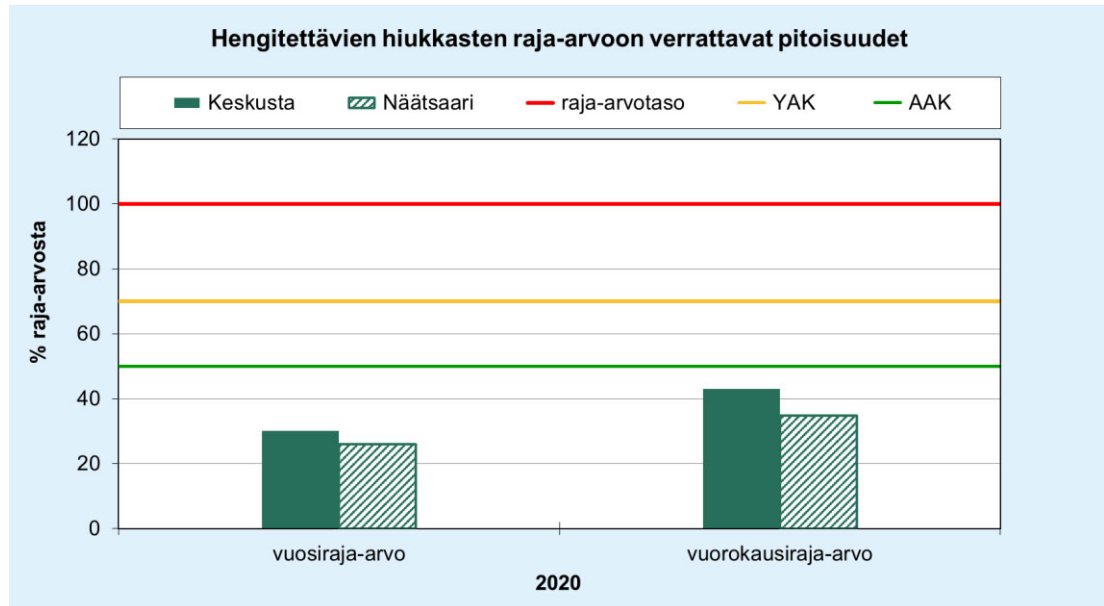
Kuva 3. Vuorokauden suurimmat ilmanlaatuindeksin arvot Tornion ilmanlaadun mittauspisteissä jaksolla 1.1.–31.12.2020.

2.3 Pitoisuuksien vertailua ilmanlaadun raja- ja ohjearvoihin

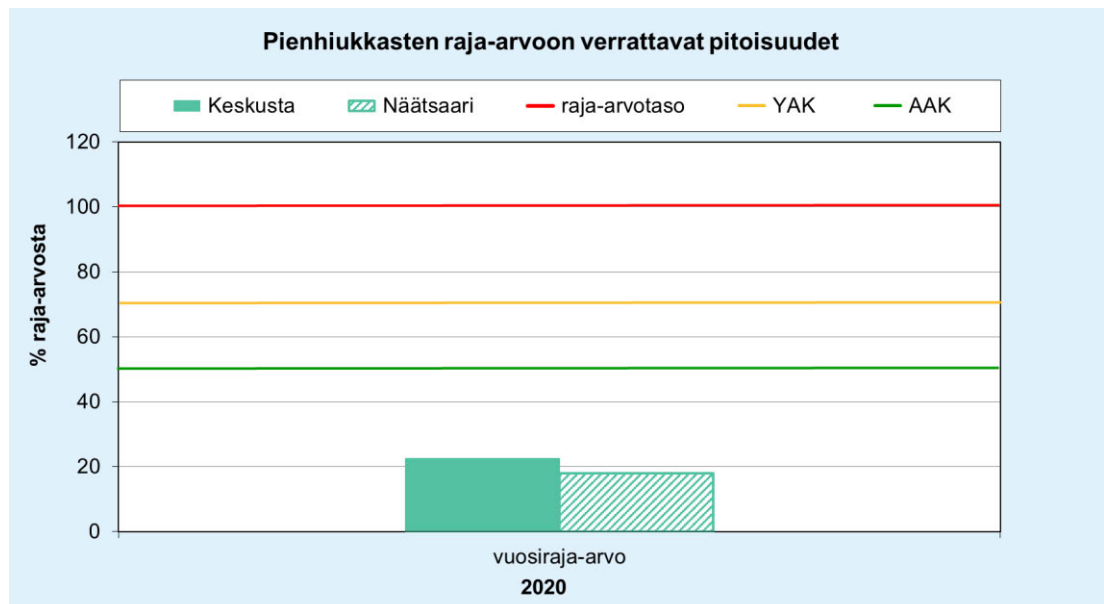
Raja-arvot määrittelevät pitoisuuksille enimmäiskaton, jota ei saa ylittää. Ohjearvojen seuraamisella sen sijaan yritetään ohjata esim. kaavoitusta sellaisille alueille, jossa pitoisuudet ovat ihmisten terveydelle haitattomalla tasolla. Raja- ja ohjearvoilla on erilaiset tilastolliset määrittelyt ja raja-arvopitoisuuksille sallitaan vielä erikseen ylityksiä määritellystä pitoisuustasosta, joten raja- ja ohjearvoja ei voi suoraan lukuarvoina verrata keskenään. Arviointikynnyksiin vertaamisen avulla määritetään ilmanlaadun seurantatarvetta ja käytettäviä seurantamenetelmiä. Ilmanlaadun lainsäädännöstä on kerrottu tarkemmin raportin jälkimmäisessä osassa kappaleessa 7.6. Ilmanlaadun raja-arvotarkasteluissa vertailujakso on yksi kalenterivuosi.

Kuvissa 4–6 on esitetty vertailut Tornion ilmanlaadun mittausasemilla havaituista hengitettävien hiukkasten, pienhiukkasten ja typpidioksidin raja-arvoihin ja arviointikynnyksiin verrannollisista pitoisuuksista. Kaikki mitatut pitoisuudet jäivät selvästi raja-arvojen ja arviointikynnyksien alapuolelle. Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet olivat korkeimmillaan keskustassa 43 % vuorokausiraja-arvosta ja 35 % vuosiraja-arvosta. Hengitettävien hiukkasten vuorokausiraja-arvotason $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ yli-

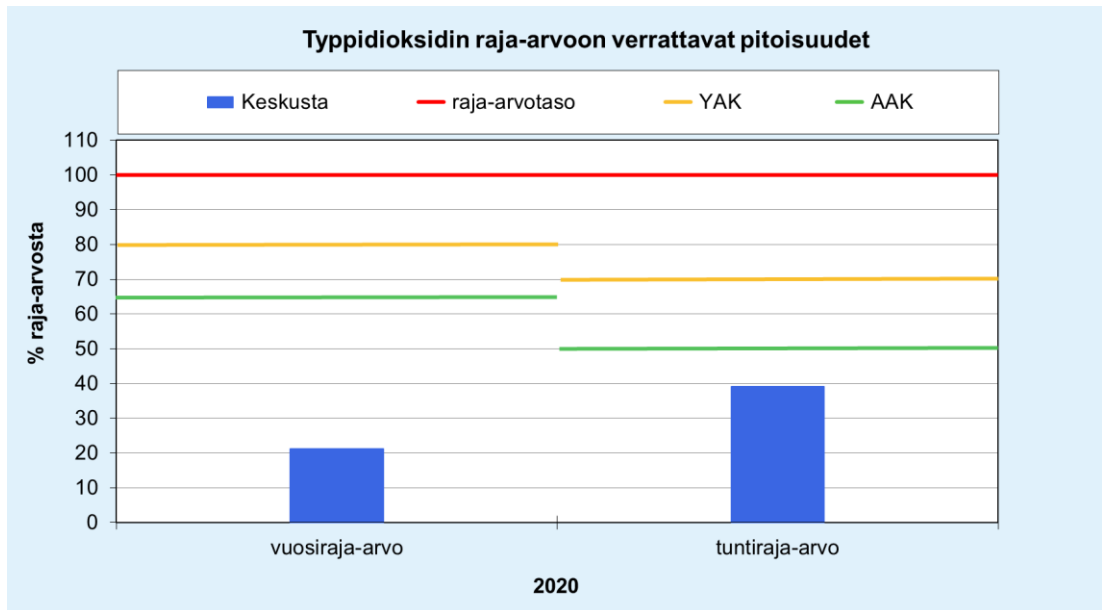
tyksiä esiintyi keskustassa 5 päivänä ja Näätisaassa yhtenä päivänä vuonna 2020. Näitä ylityspäiviä saa olla kullakin mittausasemalla 35 kappaletta vuodessa, ennen kuin raja-arvo katsotaan ylittyneeksi. Pienhiukkasten pitoisuus oli enimmillään keskustassa 22 % vuosiraja-arvosta (kuva 5). Näätisaassa vuosipitoisuus jäi tätä pienemmäksi. Typpidioksidin pitoisuus oli enimmillään keskustassa 39 % tuntiraja-arvosta ja 21 % vuosiraja-arvosta. (kuva 6).



Kuva 4. Hengitettävien hiukkasten raja-arvoon verrattavat pitoisuudet suhteessa (%) raja-arvoihin Tornion ilmanlaadun mittauspisteissä ajalla 1.1.–31.12.2020. Kuvaan on merkitty vaakaviivoilla raja-arvotaso sekä ylempi arviointikynnys (YAK) ja alempi arviointikynnys (AAK).

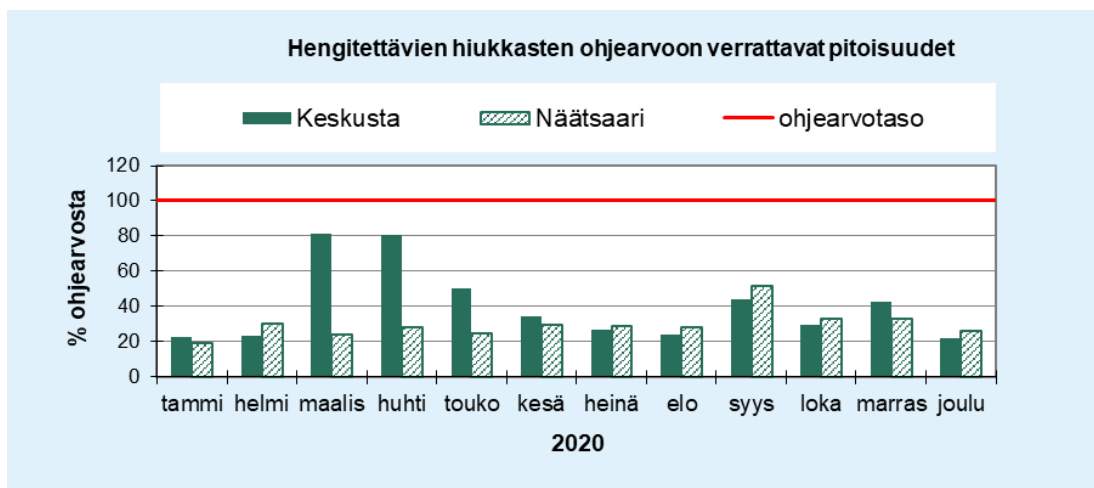


Kuva 5. Pienhiukkasten raja-arvoon verrattavat pitoisuudet suhteessa (%) vuosiraja-arvoon Tornion ilmanlaadun mittauspisteissä ajalla 1.1.–31.12.2020. Kuvaan on merkitty vaakaviivoilla raja-arvotaso sekä ylempi arviointikynnys (YAK) ja alempi arviointikynnys (AAK).

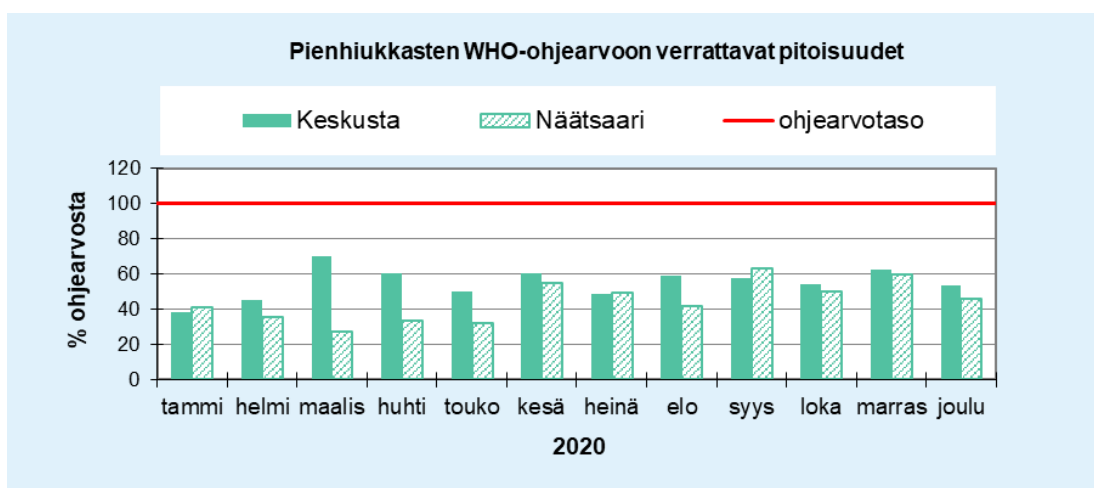


Kuva 6. Typpidioksidin raja-arvoon verrattavat pitoisuudet suhteessa (%) raja-arvoihin Tornion keskustan mittauspisteessä ajalla 1.1.–31.12.2020. Kuvaan on merkitty vaakaviivoilla raja-arvotaso sekä ylempi arviointikynnys (YAK) ja alempi arviointikynnys (AAK).

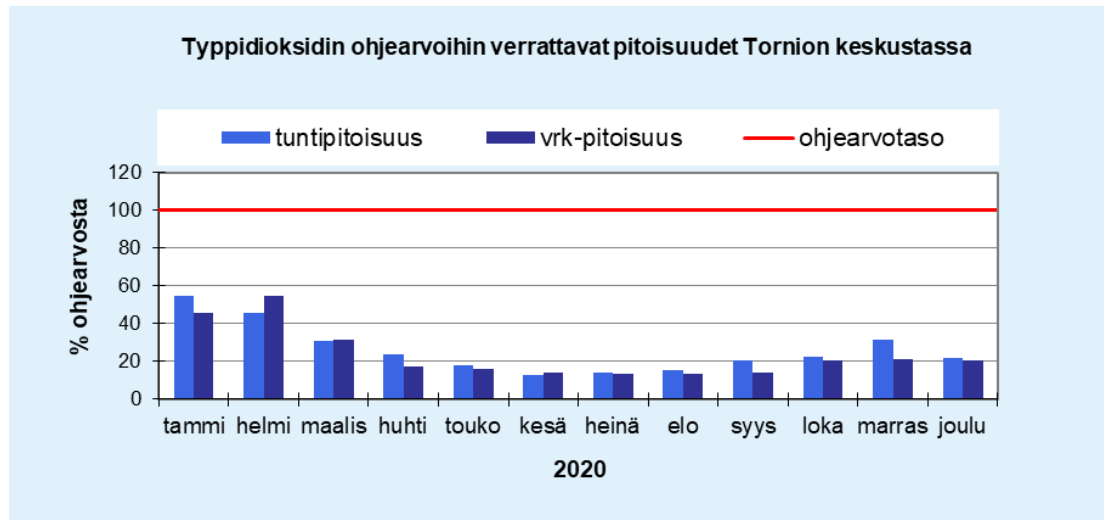
Kuvissa 7–9 on esitetty hengitettävien hiukkasten, pienhiukkasten ja typpidioksidin ohjearvoon verrannolliset pitoisuudet kuukausittain Tornion ilmanlaadun mittausasemilla. Pienhiukkasten osalta vertailu tehtiin WHO:n suosituksenomaiseen ohjearvoon. Pitoisuuksien vuorokausiohjearvot eivät ylittyneet mittausjaksolla kertaakaan. Hengitettävien hiukkasten pitoisuus oli keskustassa suurimmillaan maaliskuussa 81 % ohjearvosta ja Näätsaassa syyskuussa 52 % ohjearvosta (kuva 7). Pienhiukkasten pitoisuudet olivat keskustassa korkeimmillaan maaliskuussa noin 70 % ja Näätsaassa syyskuussa 63 % WHO:n ohjearvosta (kuva 8). Keskustan hiukkasmittaustuloksissa havaittiin maaliskuussa ja huhtikuussa kevään katupölyn aiheuttamia kohonneita pitoisuuksia. Syyskuun lopun kauokulkeumaepisodin aikana koko Suomessa mitattiin keskimääräistä korkeampia hiukkaspitoisuuksia useiden päivien ajan (23.–30.9.2020). Tämä on havaittavissa myös Torniossa hengitettävien hiukkasten ja pienhiukkasten syyskuun mittauksissa. Typpidioksidin tuntipitoisuus oli korkeimmillaan tammikuussa 55 % tuntiohjearvosta ja vuorokausipitoisuus helmikuussa samoin 55 % vuorokausiohjearvosta (kuva 9).



Kuva 7. Hengitettävien hiukkasten ohjearvoon verrattavat pitoisuudet kuukausittain Tornion ilmanlaadun mittausasemilla ajalla 1.1.–31.12.2020. Punaisella vaakaviivalla (100 %) on merkitty ohjearvotasoa $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$.



Kuva 8. Pienhiukkasten vuorokausiohjearvoon (WHO) verrattavat pitoisuudet kuukausittain Tornion ilmanlaadun mittausasemilla ajalla 1.1.–31.12.2020. Punaisella vaakaviivalla (100 %) on merkitty ohjearvotasoa $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

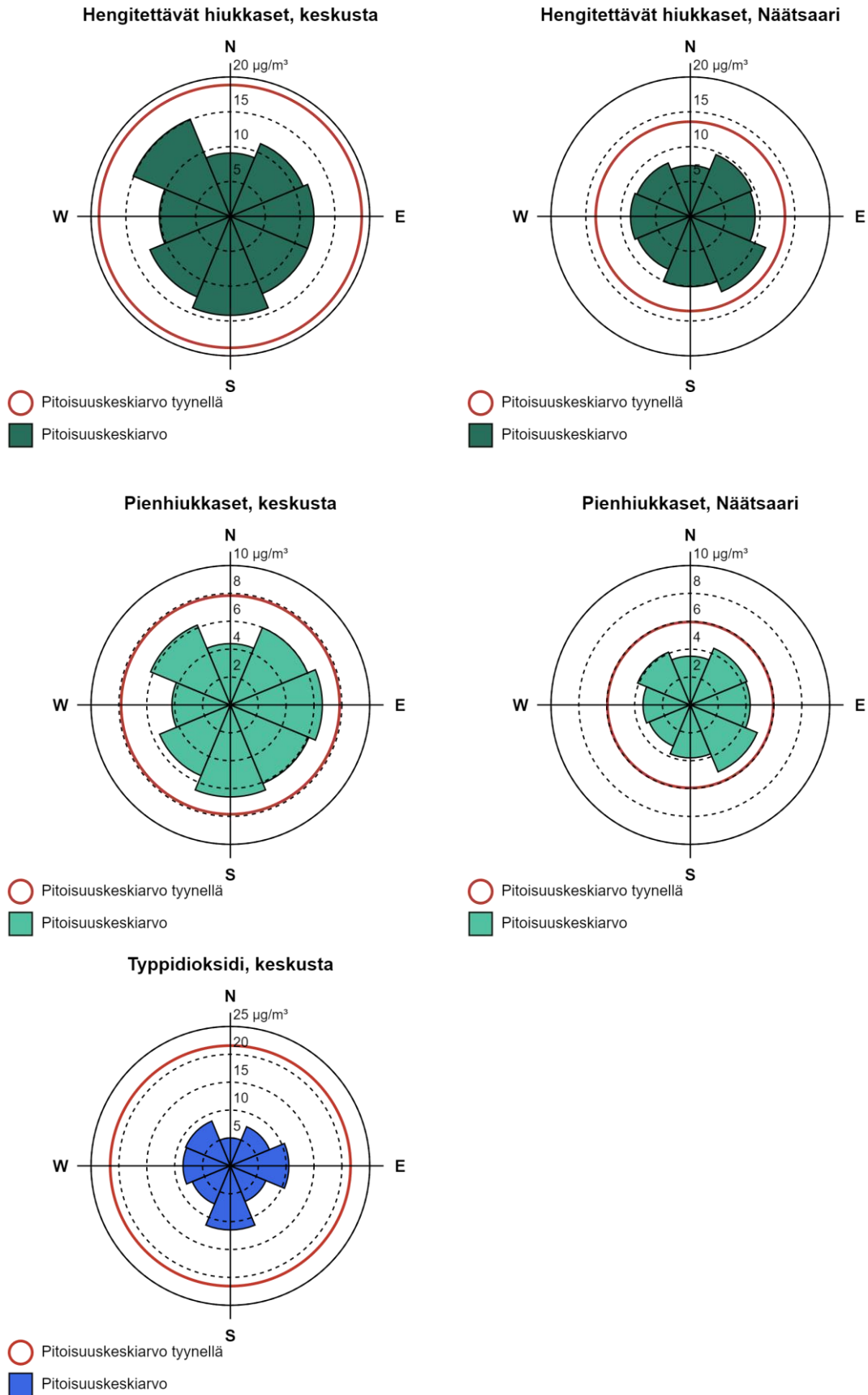


Kuva 9. Typpidioksidin ohjearvoon verrattavat pitoisuudet kuukausittain Tornion keskustan ilmanlaadun mittausasemalla ajalla 1.1.–31.12.2020. Punaisella vaakaviivalla (100 %) on merkitty ohjearvotaso 70 µg/m³.

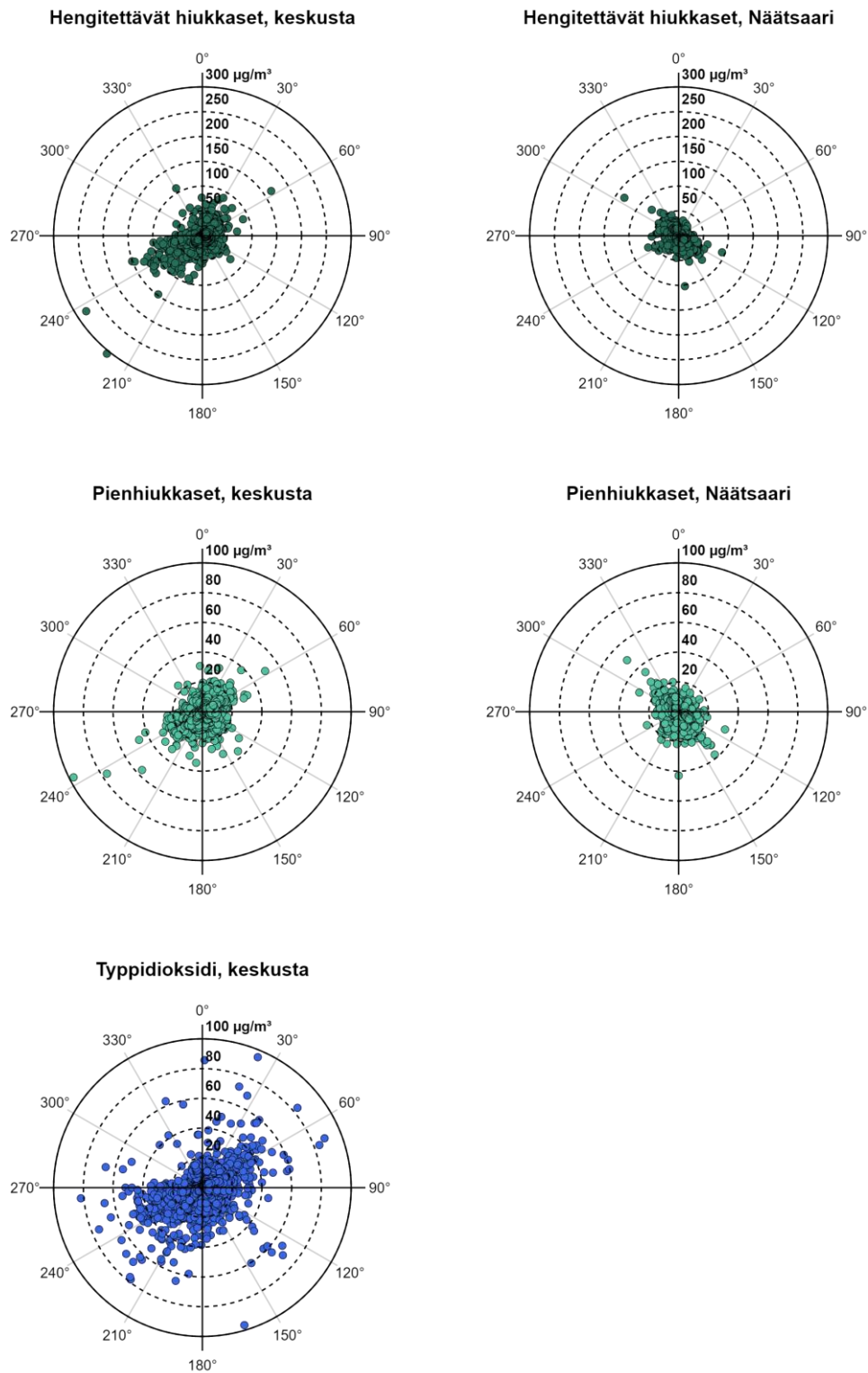
2.4 Tuulen suunnan ja nopeuden vaikutus mitattuihin pitoisuuksiin

Kuvassa 10 on havainnollistettu Tornion ilmanlaadun mittausasemilla mitattujen pitoisuuksien keskimääräistä riippuvuutta tuulensuunnasta ns. pitoisuusruusujen avulla. Pitoisuusruusu kuvaa **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 2020 Tornion keskustan tuulet olivat pääosin lounais- ja länsituulia eikä etelän suunnasta tuullut juuri lainkaan. Näätsaaren mittausasemalla tuulet olivat pääosin kaakkois- ja etelätuulia. Tuulijakaumat on esitetty kappaleessa 5.1.

Molemmilla mittausasemilla kaikkien mittausten pitoisuudet olivat keskimäärin suurimmillaan tyyneissä tilanteissa. Tyynellä säällä havaitut korkeat hiukkasten ja typpidioksidin pitoisuudet kertovat paikallisista lähipäästölähteistä, jonka lähdeä ja sen sijaintia ei tarkemmin pystytä määrittelemään. Kovemmilla tuulennopeuksilla pystytään selkeästi päättämään, mistä suunnasta mitatut pitoisuudet ovat peräisin. Hengitettävien hiukkasten ja pienhiukkasten pitoisuuksissa on yksittäisten päästölähteiden vaikutusta yleensä vaikeampi erottaa kuin typpidioksidilla. Vuodenaika, liikenne, kaukokulkeuma, katujen pölyäminen ja meteorologiset tekijät vaikuttavat hiukkaspitoisuuksiin voimakkaasti. Keskustassa hengitettävien hiukkasten, pienhiukkasten ja typpidioksidin pitoisuudet olivat keskimäärin suurimmillaan etelätuulilla eli tuulen käydessä mittausasemalle Länsirannan ja E4-tien kiertoliitymän suunnasta tai tuulen käydessä luoteesta Länsiranta-kadun suuntaisesti. Etelän suunnasta tuulihavaintoja oli hyvin vähän. Näätsaaren hengitettävien hiukkasten ja pienhiukkasten pitoisuudet olivat puolestaan suurimmillaan kaakon puoleisilla tuulilla eli tuulen käydessä Näätsaaren koulun eteläpuolisilta asuinalueilta. Tästä ilmansuunnasta oli myös eniten tuulihavaintoja mittausjaksolla. Lisäksi hiukkaset olivat koholla koillisen ja idän suunnan asuinalueilta tulevilla tuulilla, vaikka näistä ilmansuunnista tuulihavaintoja oli hyvin vähän.



Kuva 10. Tornion ilmanlaadun mittausasemilla mitattujen **tuntipitoisuuksien keskiarvot** tuulensuunnittain vuonna 2020. Punaisella ympyrällä on merkitty pitoisuuksia, jotka on mitattu tyynissä tilanteissa, jolloin tuulen nopeus on alle 0,5 m/s, eikä suuntaa voida määrittää.



Kuva 11.

Tornion ilmanlaadun mittausasemilla mitatut **yksittäiset tuntipitoisuudet** ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) tuulensuunnittain ($0\text{--}360^\circ$) vuonna 2020. Kuvassa eivät näy tyynellä mitatut tuntipitoisuudet. Tyyniksi on tässä tarkastelussa luokiteltu alle $0,5\text{ m/s}$ tuulen nopeudet. Kukaan ilman epäpuhtaus on esitetty omassa pitoisuusskaalassaan.

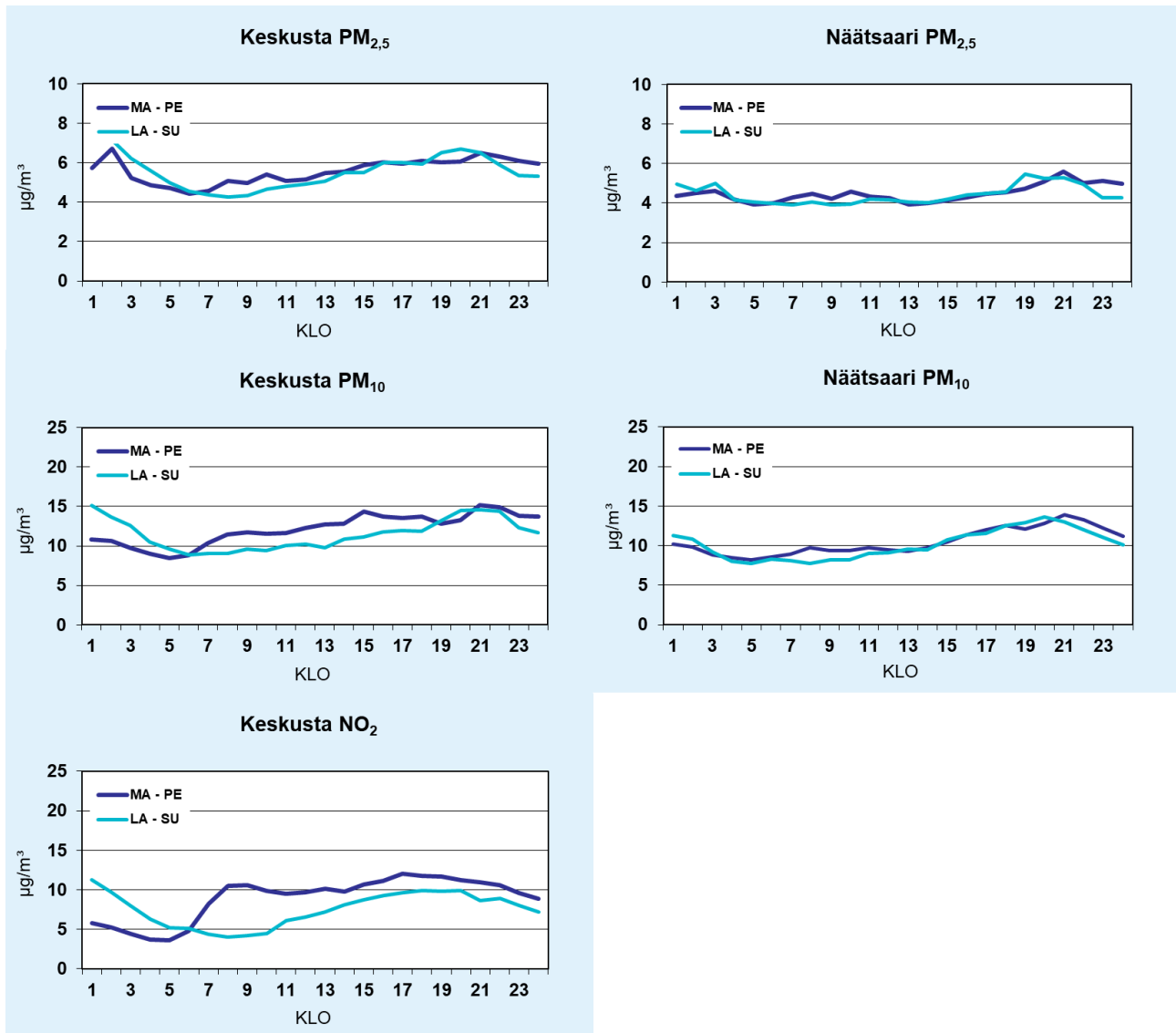
Kuvassa 11 on esitetty Tornion ilmanlaadun mittausasemilla mitattujen **yksittäisten tuntipitoisuuksien** riippuvuus tuulen suunnasta. Kuvassa eivät näy lainkaan tyynellä mitatut tuntipitoisuudet. Näistä kuvaajista nähdään, että yksittäisiä pitoisuushavaintoja on tehty kaikilla tuulensuunnilla. Keskustassa hengitettävien hiukkasten ja pienhiukkasten korkeimmat pitoisuudet havaittiin lounaistuulilla eli tuulen käydessä mittausasemalle Tullinpuistokadun talojen välistä tullin pysäköintialueen suunnalta. Näätasaressa hengitettävillä hiukkasilla ja pienhiukkasilla havaittiin yksittäisiä korkeita pitoisuuksia sekä kaakon että luoteen puoleisilla tuulilla, mutta muuten pitoisuuksissa oli hajontaa kaikkiin eri tuulensuuntiin. Tämä on tyypillistä hiukkasille, koska liikenteen, asuinrakennusten lämmityksen ja teollisuuden päästölähteistä vapautuvien hiukkasten lisäksi ulkoilman hiukkaspitoisuuksiin vaikuttaa merkittävästi maaston pölyäminen ja tuulen ilmaan nostamat hiukkaset. Keskustassa typpidioksidin korkeimmissa tuntipitoisuuksissa oli hajontaa kaikkiin eri tuulensuuntiin koska liikennettä on keskusta-alueella mittausaseman ympärillä kaikissa ilmansuunnissa.

2.5 Pitoisuuksien ajallinen vaihtelu

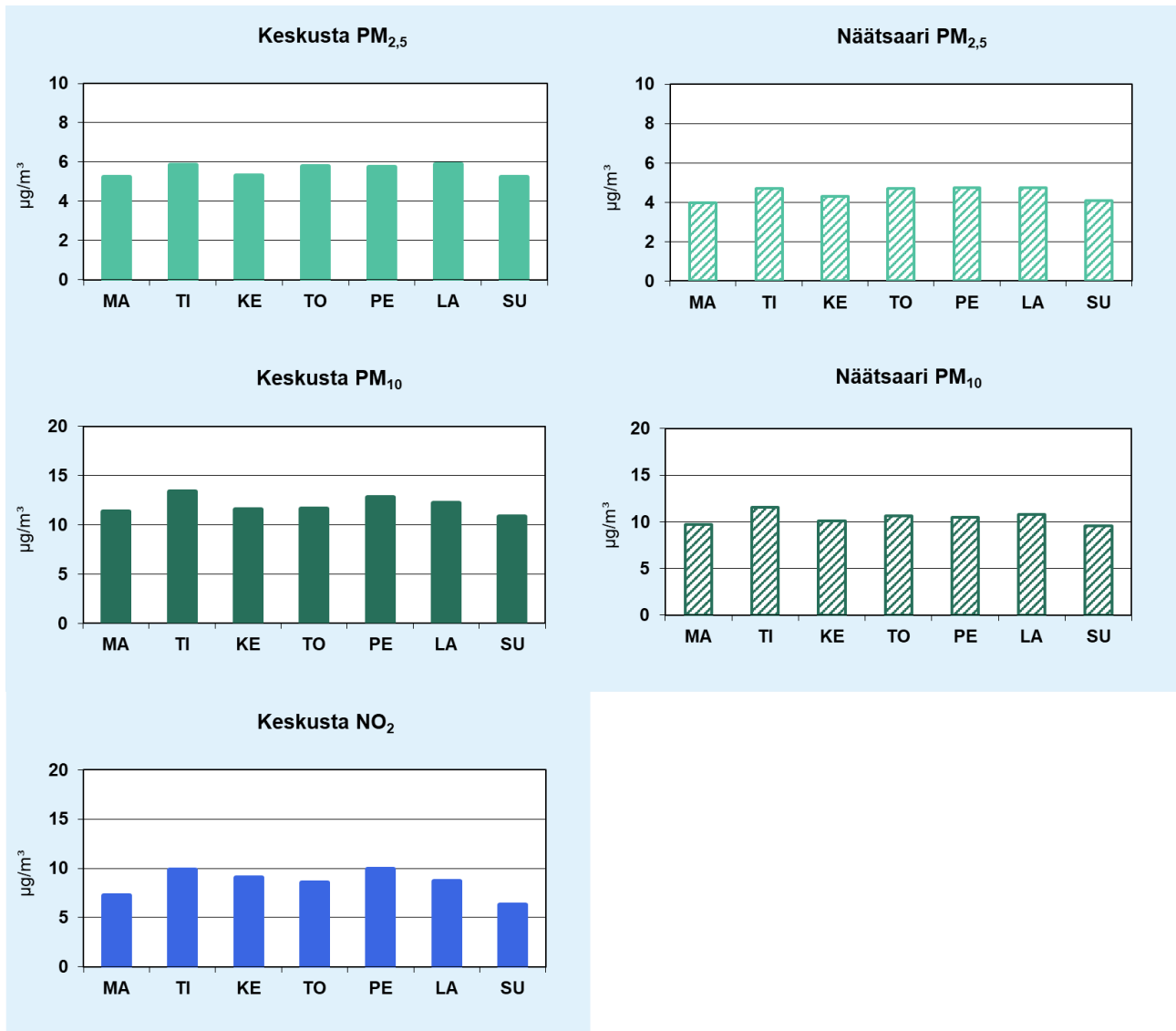
Kuvassa 12 on tarkasteltu Tornion ilmanlaadun mittausasemilla mitattujen hengitettävien hiukkasten, pienhiukkasten ja typpidioksidin tuntipitoisuuksien vaihtelua kellonajan mukaan erikseen arkipäivisin (maanantai–perjantai) ja viikonloppuisin (lauantai–sunnuntai). Kuvassa 13 pitoisuuksia on puolestaan tarkasteltu viikonpäivittäisinä keskiarvoina mittausjaksolta.

Hengitettävillä hiukkasilla ja pienhiukkasilla arkipäivien ja viikonlopun kuvaajat eivät juurikaan eroa toisistaan. Pitoisuudet ovat korkeimmillaan iltaja yöaikaan ja matalammalla tasolla päiväaikaan, eikä ruuhka-aikojen pitoisuushuippuja havaita kuvaajissa lainkaan (kuva 12). Pitoisuuksiin vaikuttavat pakokaasuissa olevien hiukkasten lisäksi tuulen ja liikenteen maanpinnalta ilmaan nostattamat hiukkaset, joiden määrää säätelevät muun muassa liikenteen vilkkaus ja nopeus, tuulen nopeus, 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.

Typpidioksidin tuntipitoisuuksissa havaitaan selvemmin liikenteen päästöjen vaikutus: arkipäivisin pitoisuudet ovat pienimmillään aamuyön tunteina ja pitoisuudet kasvavat nopeasti siten, että pitoisuushuippu saavutetaan aamun ruuhkaliikenteen aikaan ja toinen pitoisuushuippu havaitaan iltapäivän ruuhkaliikenteen aikana. Viikonloppuisin typpidioksidin pitoisuudet ovat yötä lukuun ottamatta matalampia kuin pitoisuudet arkipäivisin. Viikonpäivittäin tarkasteltuna (kuva 13) typpidioksidin keskimääräinen pitoisuustaso vaihteli siten, että sunnuntaisin pitoisuudet olivat hiukan matalampia kuin arkipäivisin, koska silloin myös liikennemäärät ja liikenteen päästöt olivat vähäisempiä. Kaupunkialueilla mitatuissa typpidioksidipitoisuuksissa havaitaan yleensä selvä ero arkipäivien ja viikonlopun pitoisuustasojen välillä. Nyt Torniossa havaittuun pieneen eroon arkipäivien ja viikonlopun välillä on voinut vaikuttaa yleinen liikennemäärien väheneminen covid-19-pandemian tuomien liikennerajoitusten vuoksi.



Kuva 12. Tornion ilmanlaadun mittausasemilla 1.1.–31.12.2020 mitattujen tuntipitoisuuksien keskiarvot kellonajan mukaan arkipäivisin (ma–pe) ja viikonloppuisin (la–su).



Kuva 13. Tornion ilmanlaadun mittausasemilla 1.1.–31.12.2020 mitattujen pitoisuuksien keskiarvot viikonpäivän mukaan.

2.6 Hengitettävien hiukkasten sisältämät metallit

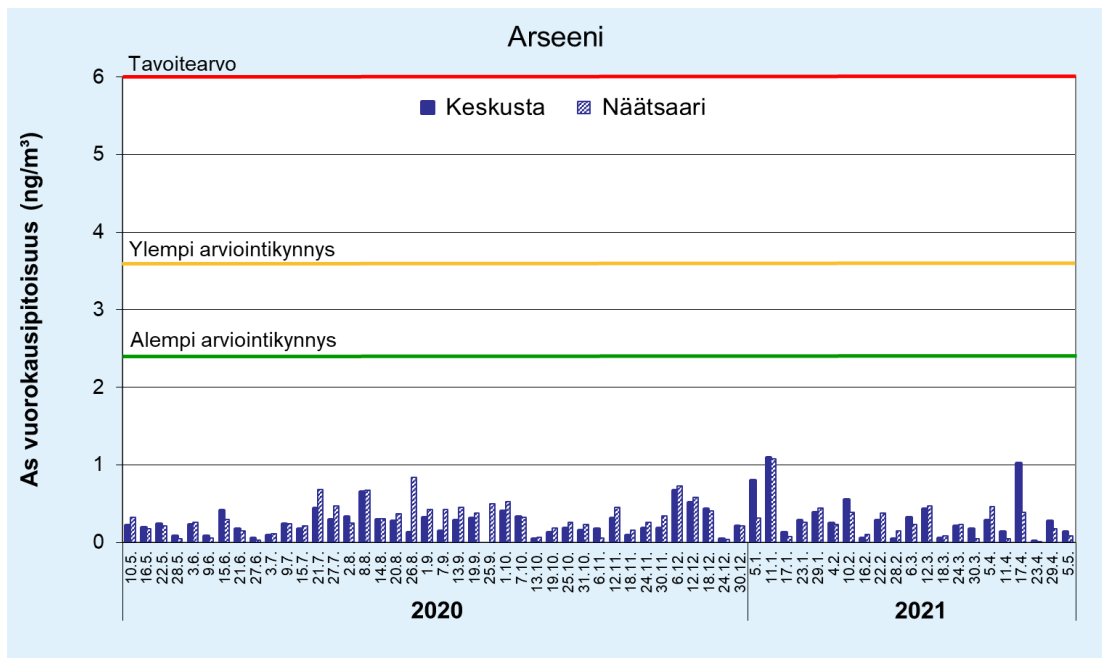
Ilmanlaadun kannalta tärkeimpien metallien ja arseenin pitoisuustulokset mittausjaksolta 10.5.2020–5.5.2021 on esitetty taulukossa 2, johon on koottu mittausjakson pitoisuuskeskiarvo, suurin ja pienin arvo sekä hajonta. Arseenin, kadmiumin, nikkelin ja lyijyn pitoisuustulokset on esitetty lisäksi näytteittäin kuvissa 14–17. Muiden hengitettävistä hiukkasista analysoitujen metallien (alumiini, koboltti, kupari, kromi, mangaani, rauta, sinkki ja vanadiini) pitoisuustulokset on esitetty näytteittäin raportin lopussa liitekuivissa 22–29.

Yksittäisten näytteiden välinen pitoisuuksien vaihtelu oli suurta kaikilla alkuaineilla. Arseeni-, kadmium-, nikkeli-, lyijy-, kromi- ja sinkkipitoisuudet olivat keskimäärin hiukan suurempia Näätsaaren asemalla kuin keskustassa, mikä todennäköisesti johtuu siitä, että Näätsaaren asema sijaitsee lähempänä Tornion Outokummun tehtaan päästölähteitä. Näätsaareissa mitatut pitoisuudet olivat koholla erityisesti loppukesästä (elo-syyskuussa 2020), jolloin hiukkasia nousi ilmaan tuulen nostamana mittausaseman ympäristöstä maaston ollessa kuivaa. Asfaltoidulla keskusta-alueella pitoisuu-

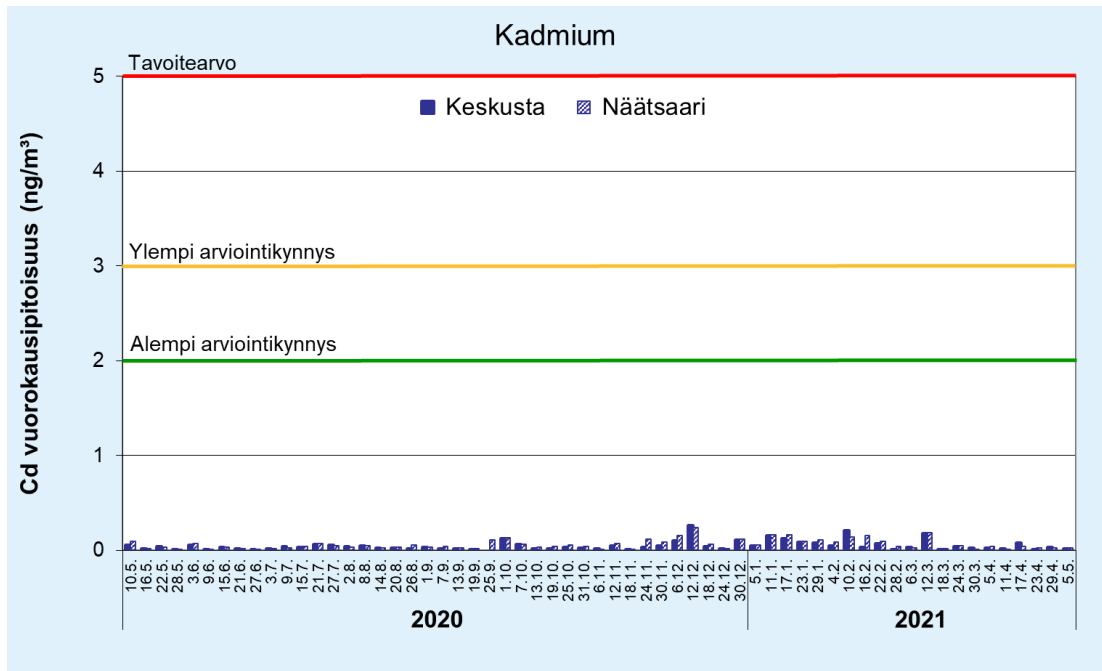
det jäivät loppukesällä pienemmiksi kuin Näätsaassa. Keskustassa pitoisuudet olivat koholla erityisesti kevätpölyaikaan, huhtikuussa 2021, jolloin keskustassa mitattiin kaikkein korkeimmat alumiinin ja raudan pitoisuudet. Kaikki mittausjakson pitoisuuskeskiarvot alittivat selvästi raja- ja tavoitearvotason sekä myös alemman arviointikynnyksen tason. Nikkelillä yksi yksittäinen näyte (21.7.2020) sekä keskustasta että Näätsaasta ylitti alemman arviointikynnyksen tason. Arviointikynnykset sekä raja- ja tavoitearvot koskevat kuitenkin pitoisuuksien vuosikeskiarvoa, eivät yksittäisten näytteiden pitoisuusarvoja, joten nämä vertailuarvot ovat tässä yhteydessä vain havainnollistamassa pitoisuustasoa. Arseeni- ja metallipitoisuuksien koko mittausjakson (12 kk) keskiarvojen vertailu tavoite- tai raja-arvoon on esitetty kuvassa 18.

Taulukko 2. Tornion ilmanlaadun mittausasemilla mittausjaksolla 10.5.2020–5.5.2021 kerätyistä hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) vuorokausinäytteistä analysoidut arseeni- ja metallipitoisuudet, joille on annettu ilmanlaadun tavoite- tai raja-arvo.

Keräinnäytteiden pitoisuudet	As ng/m ³	Cd ng/m ³	Ni ng/m ³	Pb ng/m ³
Keskusta				
Keskiarvo	0,3	0,05	1,4	1,8
Minimi	0,02	0,003	0,01	0,05
Maksimi	1,1	0,26	11	10
Hajonta	0,2	0,05	1,9	1,8
Näätsaari				
Keskiarvo	0,3	0,1	2,0	1,9
Minimi	0,01	0,003	0	0,1
Maksimi	1,1	0,2	11	10
Hajonta	0,2	0,05	3,0	1,9

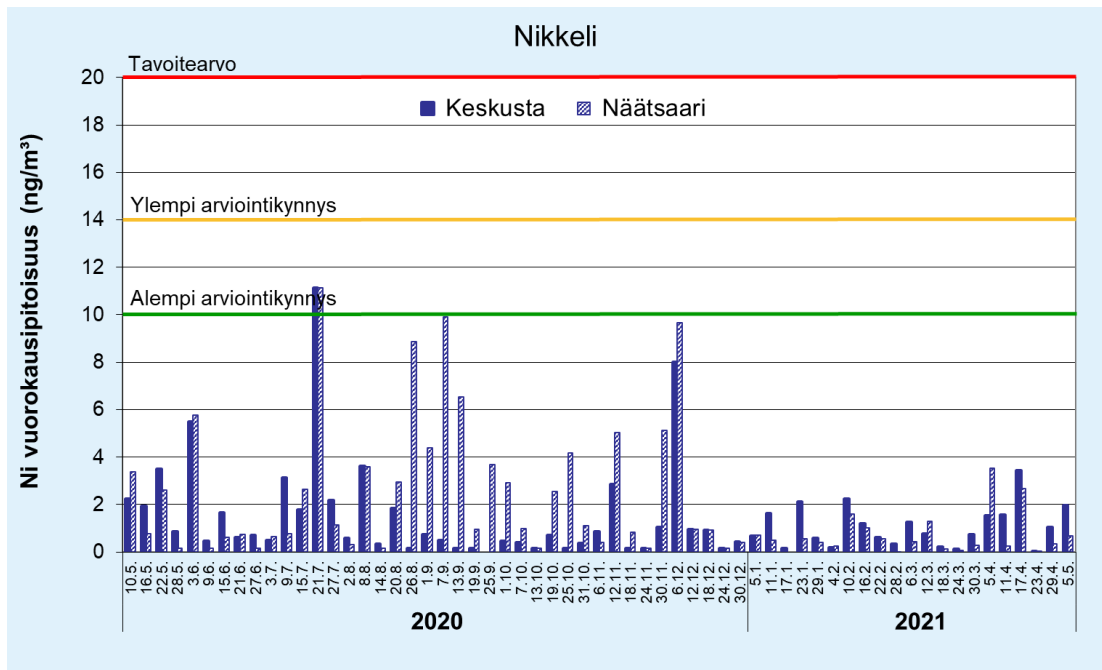


Kuva 14. Hengitettävistä hiukkasista (PM₁₀) määritetyt **arseeni**pitoisuudet (ng/m³) keskustan ja Näätsaaren mittauspisteissä jaksolla 10.5.2020–5.5.2021. Tavoitearvo ja arviointikynnykset koskevat vuosikeskiarvoa, eivät yksittäisiä pitoisuusarvoja, ja ne ovat kuvassa vain havainnollistamassa pitoisuustasoa.



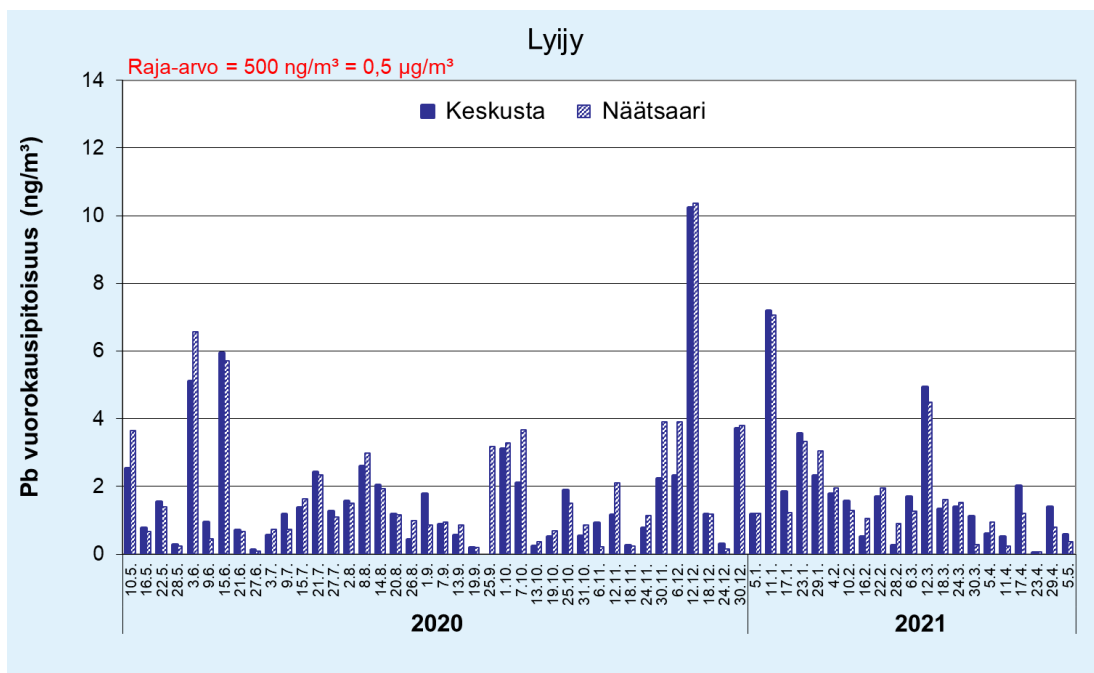
Kuva 15.

Hengitettävistä hiukkasista (PM_{10}) määritetyt **kadmium**pitoisuudet (ng/m^3) keskustan ja Näätasaaren mittauspisteissä jaksolla 10.5.2020–5.5.2021. Tavoitearvo ja arviointikynnykset koskevat vuosikeskiarvoa, eivät yksittäisiä pitoisuusarvoja, ja ne ovat kuvassa vain havainnollistamassa pitoisuustasoja.



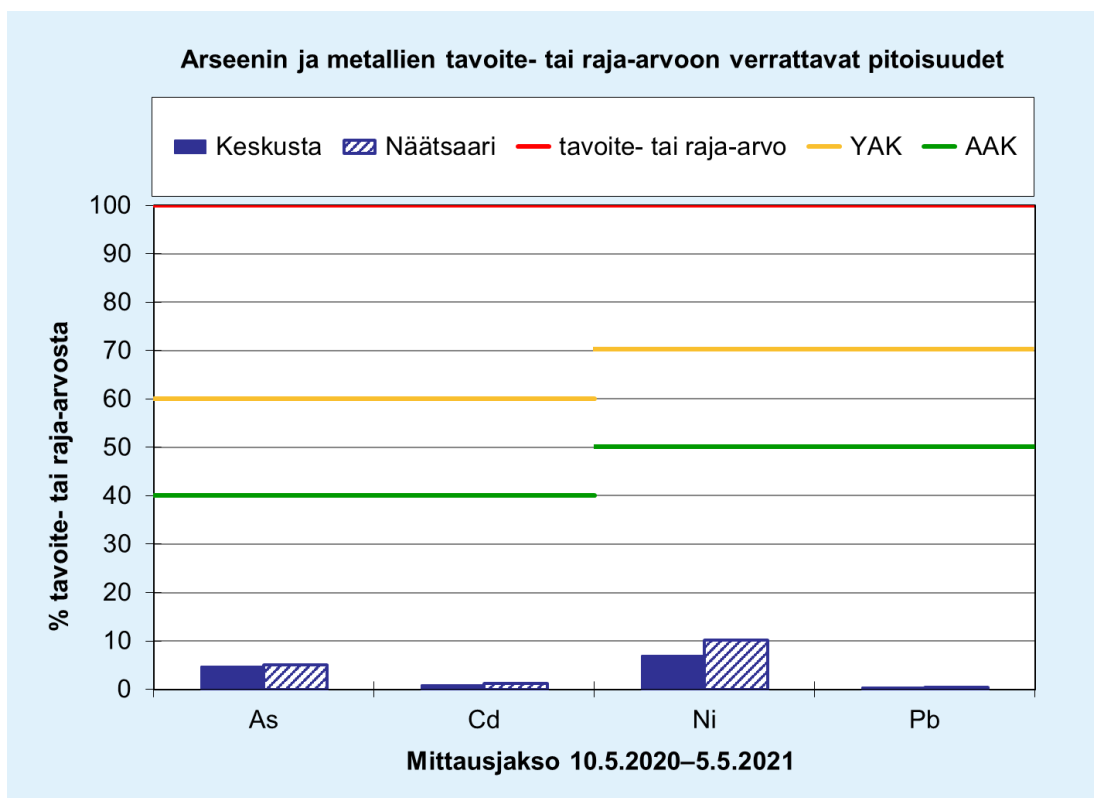
Kuva 16.

Hengitettävistä hiukkasista (PM_{10}) määritetyt **nikkelipitoisuudet** (ng/m^3) keskustan ja Näätasaaren mittauspisteissä jaksolla 10.5.2020–5.5.2021. Tavoitearvo ja arviointikynnykset koskevat vuosikeskiarvoa, eivät yksittäisiä pitoisuusarvoja, ja ne ovat kuvassa vain havainnollistamassa pitoisuustasoja.



Kuva 17.

Hengitettävistä hiukkasista (PM₁₀) määritetyt **lyijypitoisuudet** (ng/m³) keskustan ja Näätsaaren mittauspisteissä jaksolla 10.5.2020–5.5.2021.



Kuva 18.

Arseenin ja metallien mittausjakson keskiarvot suhteessa (%) vastaaviin ilmanlaadun tavoite- ja raja-arvoihin Tornion ilmanlaadun mittauspisteissä. Kuvaan on merkitty vaakaviivoilla tavoite- tai raja-arvotaso sekä ylempi arviointikynnys (YAK) ja alempi arviointikynnys (AAK).

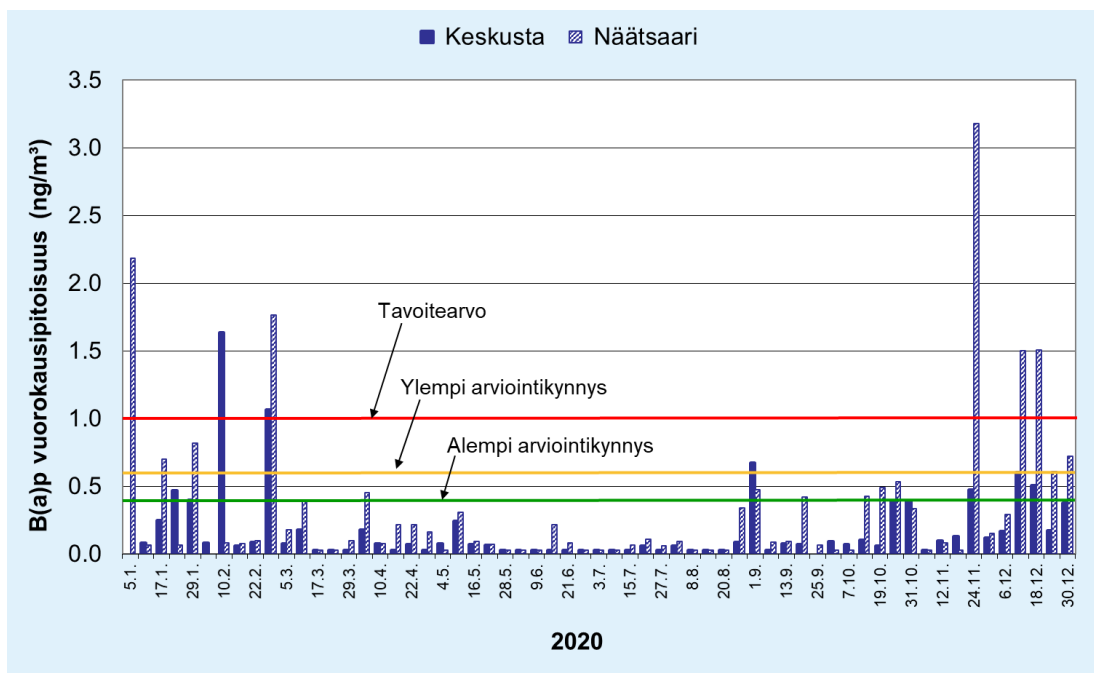
2.7 Hengitettävien hiukkasten sisältämät PAH-yhdisteet

Taulukkoon 3 on koottu tilastollinen yhteenveto Torniossa vuonna 2020 mitatuista tavoitearvoon (vuosikeskiarvo) verrattavista bentso(a)pyreenin pitoisuuksista sekä kaikki analysoidut PAH-yhdisteet sisältävästä PAH-summasta, jolle ei ole määritetty tavoitearvoa. Bentso(a)pyreenin ja PAH-summan pitoisuustulokset on esitetty näytteittäin kuvissa 19 ja 20 sekä yhdisteittäin eroteltuna raportin lopussa liitekuvissa 30–31. Koko mittausjakson bentso(a)pyreenin pitoisuuksien vertailu tavoitearvoon on esitetty kuvassa 21.

Molemmissa mittauspisteissä on havaittavissa tyypillinen vuodenajan vaikutus PAH-yhdisteiden pitoisuuksiin: Talvella pitoisuudet ovat suurempia kuin kesällä, koska mm. energiantuotannon ja kotitalouksien puunpolton takia PAH-yhdisteiden päästöt ovat talvikaudella suuremmat. Toisaalta myös PAH-yhdisteiden muuntuminen ilmakehässä on talvella hitaampaa kesään verrattuna, alemmista lämpötiloista ja vähemmästä valon määrästä johtuen. Pitoisuudet olivat keskimäärin korkeammat Näätsaaren mittausasemalla kuin keskustassa, koska Näätsaaren aseman lähiympäristössä on pientaloasutusta, jossa poltetaan puuta. Näätsaarella havaittiin poikkeavan korkeita bentso(a)pyreenin pitoisuuksia viitenä vuorokautena: 5.1., 28.2., 24.11., 12.12. ja 18.12.2020. Näinä kaikkina päivinä oli joko tyyni pakkaspäivä, tai tuulennopeus oli hyvin pieni ja tuuli kävi pientaloasutuksen suunnasta mittausasemalle päin. Tällaisina päivinä kotitalouksien puunpolton päästöt jäivät helposti lähelle päästölähteitä matalaan ilmakerrokseen ja sekoittuvat huonosti ympäröivään ilmaan. Näiden vuorokausien aikana havaittiin myös kohonneita hengitettävien hiukkasten pitoisuuksia Näätsaaren jatkuvatoimisissa mittauksissa. Bentso(a)pyreenin pitoisuudet jäivät molemmilla mittausasemilla alle alemman arviointikynnyksen.

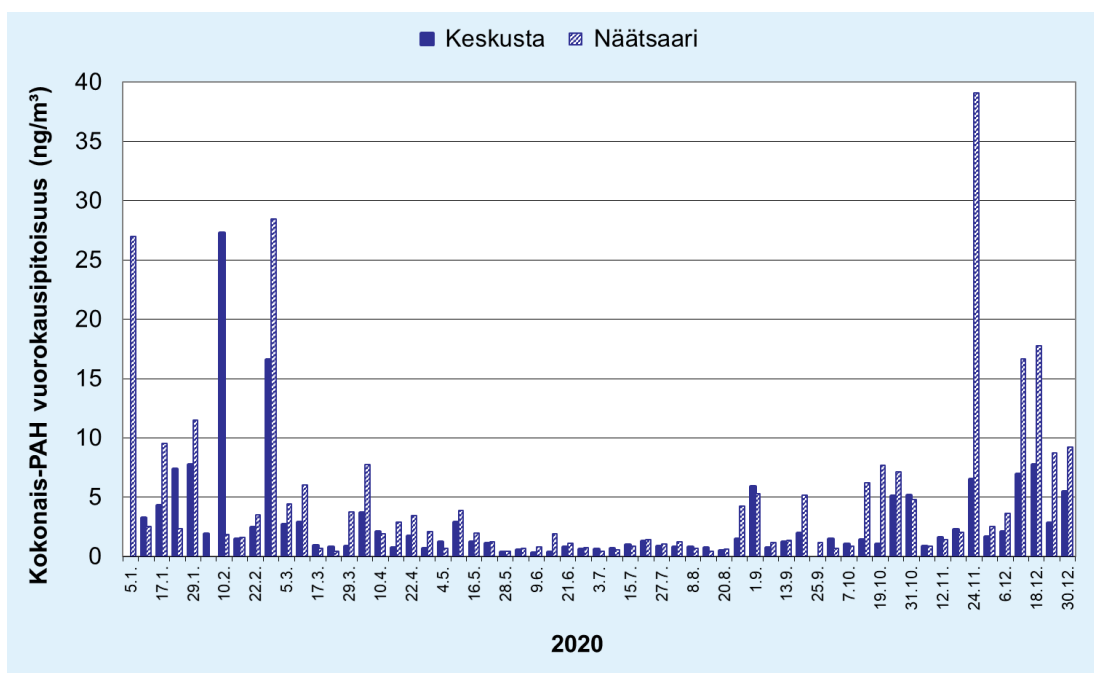
Taulukko 3. Tornion ilmanlaadun mittausasemilla vuonna 2020 kerätyistä hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) vuorokausinäytteistä analysoidut PAH-yhdisteiden pitoisuudet. Kokonais-PAH tarkoittaa kaikkien analysoitujen PAH-yhdisteiden pitoisuuksien summaa.

Keräinnäytteiden pitoisuudet	Bentso(a)pyreeni ng/m ³	kokonais-PAH ng/m ³
Keskusta		
Keskiarvo	0,18	2,9
Minimi	0,03	0,3
Maksimi	1,6	27
Hajonta	0,3	4,3
Näätsaari		
Keskiarvo	0,34	4,8
Minimi	0,03	0,4
Maksimi	3,2	39
Hajonta	0,6	7,3



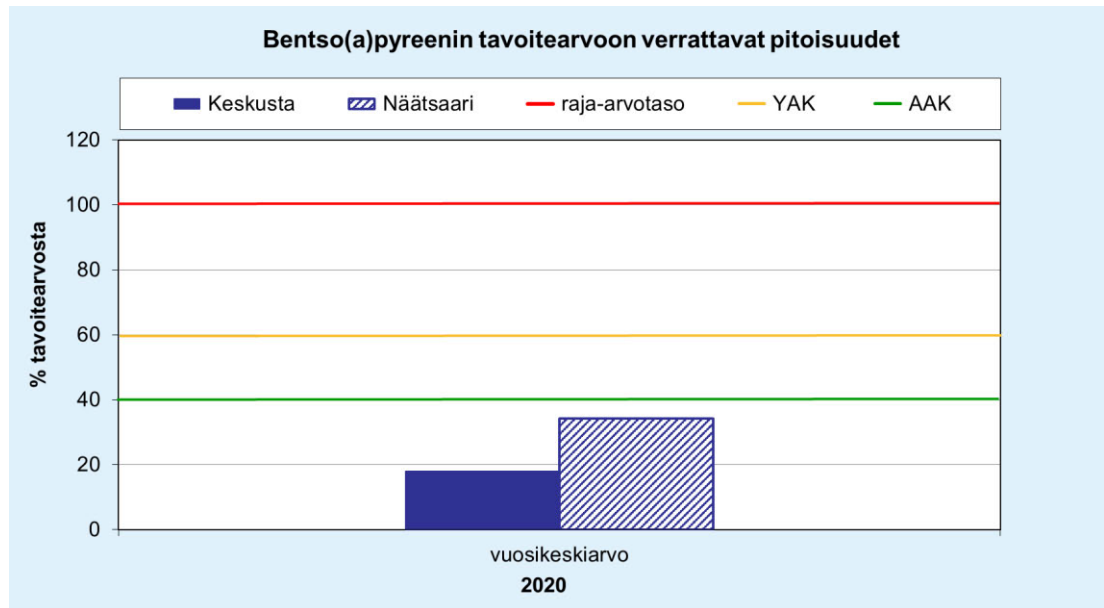
Kuva 19.

Hengitettävistä hiukkasista (PM_{10}) määritetyt bentso(a)pyreenin pitoisuudet (ng/m^3) keskustan ja Näätsaaren mittauspisteissä vuonna 2020. Huom. Tavoitearvo ja arviointikynnykset koskevat vuosikeskiarvoa, eivät yksittäisiä pitoisuusarvoja, ja ne ovat kuvassa vain havainnollistamassa pitoisuustasoa.



Kuva 20.

Hengitettävistä hiukkasista (PM_{10}) määritetyt kokonais-PAH pitoisuudet (ng/m^3) keskustan ja Näätsaaren mittauspisteissä vuonna 2020.



Kuva 21. Bentso(a)pyreenin vuosikeskiarvopitoisuudet suhteessa (%) tavoitearvoon Tornion keskustan ja Näätasaaren mittauspisteissä ajalla 1.1.–31.12.2020. Kuvaan on merkitty vaakaviivoilla tavoitearvotaso sekä ylempi arviointikynnys (YAK) ja alempi arviointikynnys (AAK).

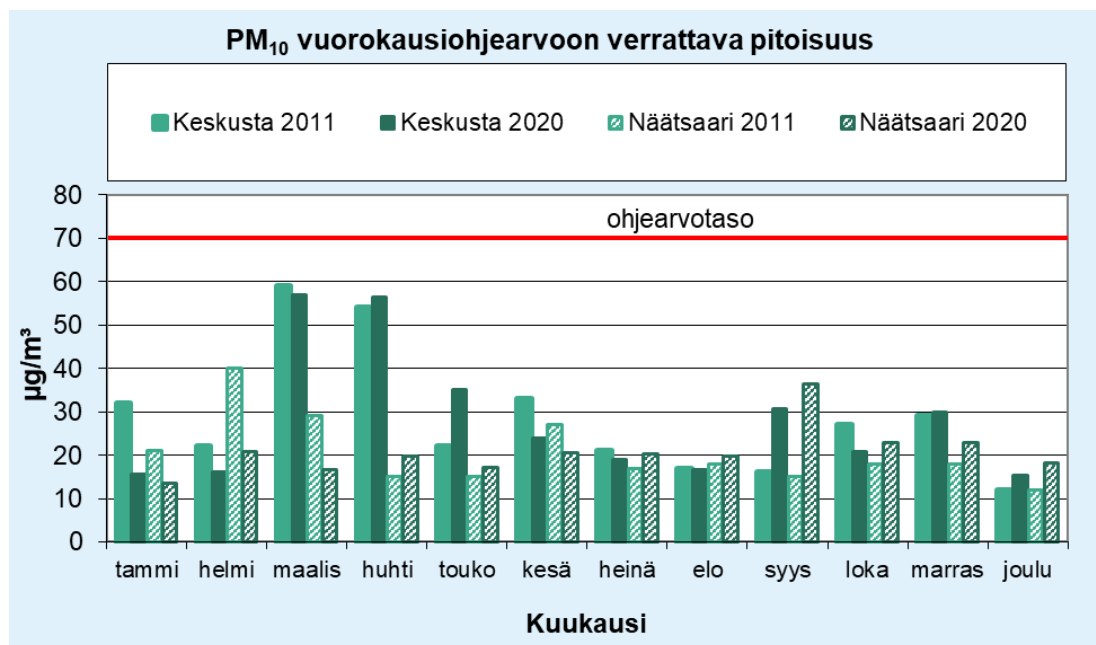
2.8 Pitoisuuksien vertailua Torniossa aiemmin mitattuihin pitoisuuksiin

Torniossa on mitattu ilmanlaatua keskustan ja Näätasaaren mittauspisteissä myös vuosina 2011 ja 2005 (*Alaviippola ym. 2012 ja Saari ym. 2006*). Tämän lisäksi ilmanlaatua on mitattu eri vuosina eri puolilla Torniota: vuonna 2017 Outokummun terästehtaan tehdasalueella ja Puuluodon asuinalueella sekä vuonna 2013–2014 Ruohokarissa ja Haaparannan Riekkolassa. Nyt mitattuja hengitettävien hiukkaspitoisuuksia verrataan seuraavissa kuvaajissa vuoden 2011 tuloksiin ja typpidioksidipitoisuuksia vuoden 2005 tuloksiin, koska typpidioksidia ei mitattu vuonna 2011. Pienhiukkasia ei ole aiemmin mitattu Tornion keskustassa eikä Näätasaassa, joten pitoisuustasoja on vertailtu seuraavassa Ruohokarissa ja Haaparannan Riekkolassa vuonna 2013 mitattuihin pitoisuuksiin (*Kompula ym., 2014*).

Kuvissa 22 ja 23 on esitetty Torniossa vuosina eri vuosina mitatut hengitettävien hiukkasten ohjearvoon verrannolliset pitoisuudet ja kuukausikeskiarvot sekä kuvassa 24 pienhiukkasten kuukausikeskiarvot. Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet ovat molemmilla asemilla eri vuosina samaa suuruusluokkaa eikä mitään selvää muutosta pitoisuustasossa vuosien välillä ole havaittavissa. Eri vuosien välisiä pieniä eroja havaitaan molemmissa kuvaajissa, esim. vuonna 2020 kevät-pölykauden korkeat pitoisuudet jatkuivat maaliskuulta aina toukokuulle saakka ja syyskuun 2020 kaukokulkeuma-episodin aikana havaittiin selvästi korkeampina hetkellisinä pitoisuuksina verrattuna vuoden 2011 syyskuun pitoisuuksiin (kuva 22). Pienhiukkasten pitoisuustasot ovat eri mittausvuosina eri asemilla suunnilleen samaa suuruusluokkaa, paitsi loka-joulukuussa 2013 pitoisuudet olivat lauhana ja sateisena loppuvuotena lähes puhtaan alueen taustapitoisuuden tasoa eli selvästi pienempiä kuin nyt vuonna 2020 mitatut pitoisuudet.

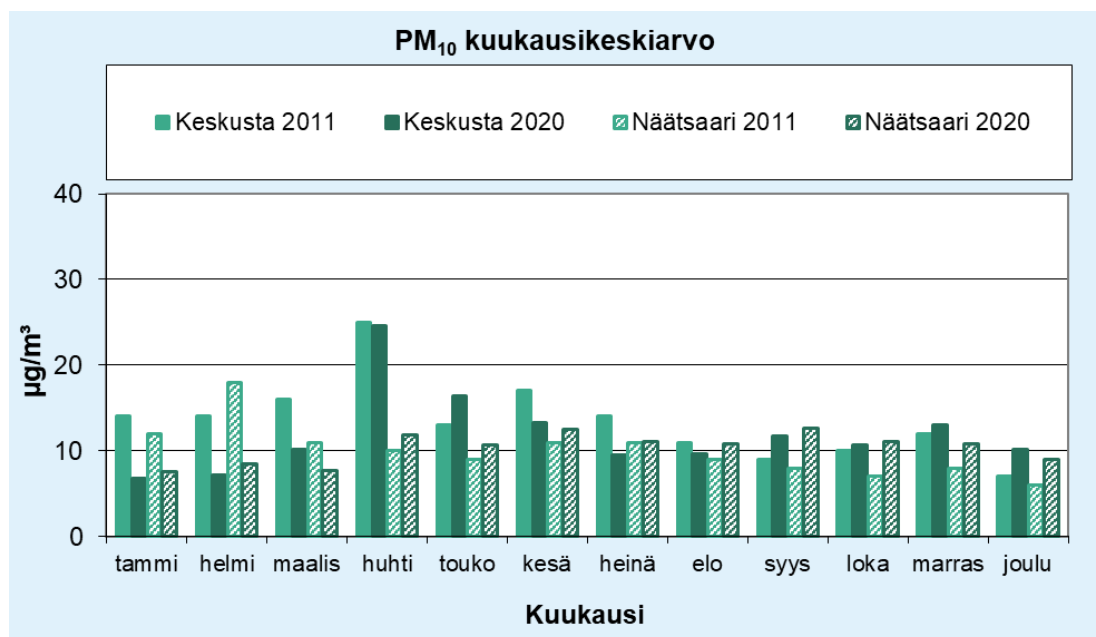
Kuvissa 25 ja 26 on esitetty typpidioksidin ohjearvoon verrannolliset pitoisuudet ja kuukausikeskiarvopitoisuudet. Typpidioksidin pitoisuustaso on vuonna 2020 selvästi matalampi kuin edellisellä mitauskerralla vuonna 2005. Erityisesti tämä havaitaan pitoisuuksien kuukausikeskiarvoista (kuva 26). Merkittävimmin tähän vaikuttaa vuosien varrella tapahtunut yleinen päästökehitys, jossa tieliikenteen

ajoneuvokannan uudistuminen ja teollisuuden päästövähennystoimenpiteet ovat vaikuttaneet typpidioksidin pitoisuuksia alentavasti. Samansuuntainen tulos on voitu havaita yleisesti Suomessa ilmanlaadun mittauksissa pienentyneinä pitoisuuksina (*Ilmatieteen laitos, 2021 a*). Tornion vuoden 2020 typpidioksidin pitoisuuksissa on todennäköisesti kuitenkin havaittavissa pitoisuuksien pieneneminen myös covid-19-pandemian aiheuttaman liikennemäärien vähenemisen seurauksena.



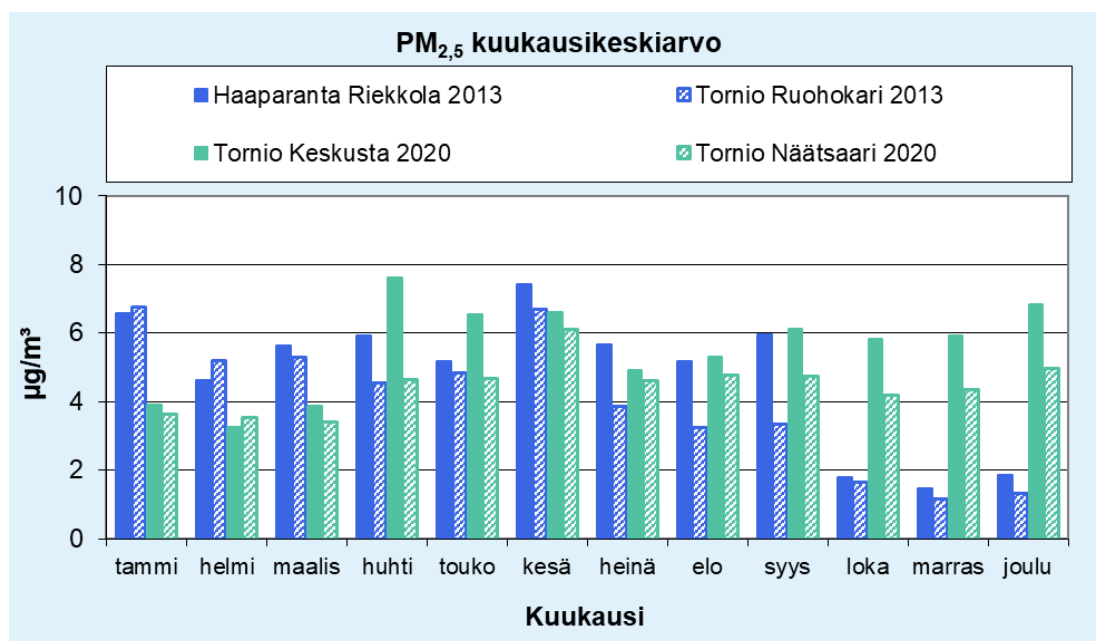
Kuva 22.

Tornion keskustassa ja Näätsaarella vuosina 2011 ja 2020 mitatut hengitettävien hiukkasten ohjearvoon verrattavat pitoisuudet kuukausittain. Punaisella vaakaviivalla (100 %) on merkitty ohjearvotaso 70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.



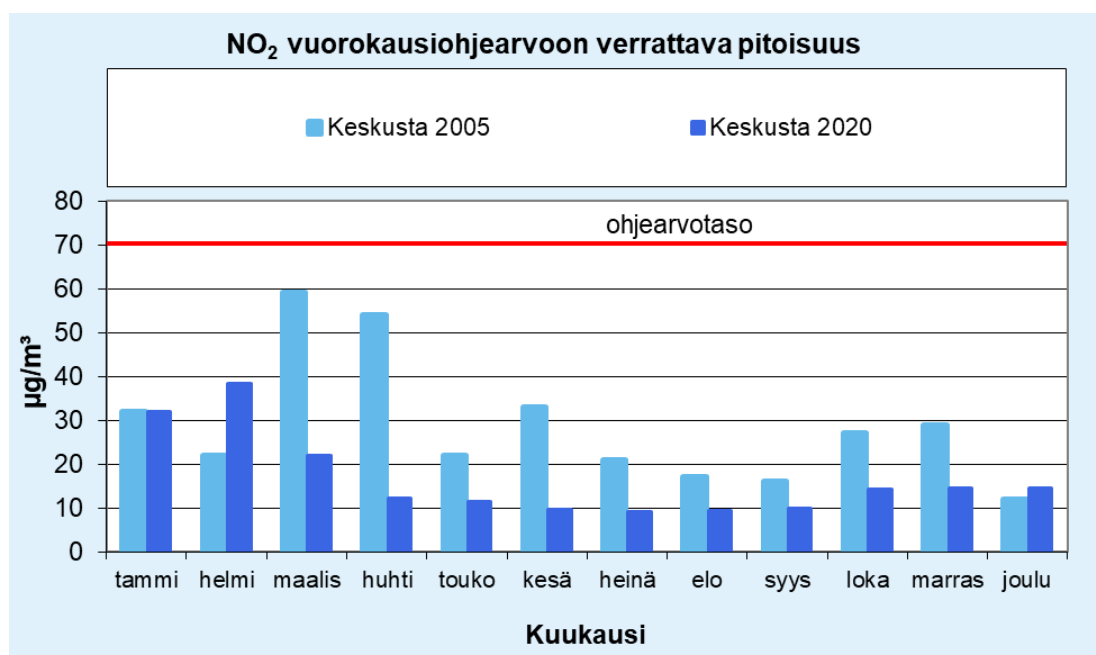
Kuva 23.

Tornion keskustassa ja Näätsaarella vuosina 2011 ja 2020 mitatut hengitettävien hiukkasten kuukausikeskiarvopitoisuudet.



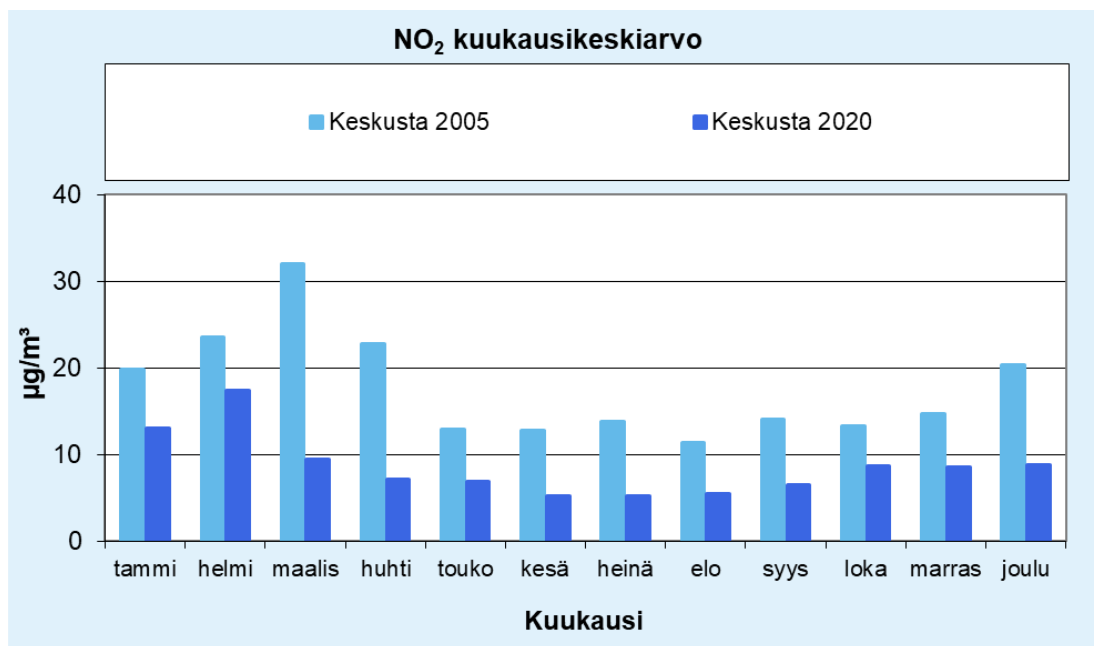
Kuva 24.

Haaparannan Riekkolassa ja Tornion Ruohokarissa vuonna 2013 sekä Tornion keskustassa ja Näätsaarella vuonna 2020 mitatut pienhiukkasten kuukausikeskiarvopitoisuudet.



Kuva 25.

Tornion keskustassa 2005 ja 2020 mitatut typpidioksidin ohjearvoon verrattavat pitoisuudet kuukausittain. Punaisella vaakaviivalla (100 %) on merkitty ohjearvotaso 70 µg/m³.



Kuva 26. Tornion keskustassa 2005 ja 2020 mitatut typpidioksidin kuukausikeskiarvopitoisuudet.

Keskustassa ja Näätsaassa on aiemmin mitattu arseeni- ja metallipitoisuuksia vuonna 2005 helmi–maaliskuussa ja elo–syyskuussa (42 näytettä) sekä vuonna 2011 maaliskuu–huhtikuussa ja elo–syyskuussa (40 näytettä). Vuonna 2020 näytteitä kerättiin ajalla toukokuu–joulukuu ja näytemäärä oli 40 kappaletta. Taulukkoon 4 on koottu näiden kolmen vuoden mittauksista keskiarvot niille alkuaineille, joille on annettu ilmanlaadun tavoite- tai raja-arvo. Keskustan mittauksissa kaikkien alkuaineiden pitoisuus on pienentynyt tasaisesti vuodesta 2005 vuoteen 2020. Näätsaassa vain kadmumpitoisuuksien pienentyminen on ollut tasaista. Vuonna 2011 arseenin ja lyijyn keskiarvopitoisuudet olivat suurempia kuin vuonna 2005, mutta vuonna 2020 ne ovat jälleen pienentyneet alle vuoden 2005 pitoisuuksien. Nikkelin osalta vuonna 2020 mitattiin suurimmat keskiarvopitoisuudet.

Taulukko 4. Tornion ilmanlaadun mittausasemilla eri vuosina kerätyistä hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) vuorokausinäytteistä analysoidut arseeni- ja metallipitoisuudet. Näytemäärä oli 42 kpl vuonna 2005 (keruu aika helmikuu–maaliskuu + elokuu–syyskuu), 40 kpl vuonna 2011 (maaliskuu–huhtikuu + elokuu–syyskuu) ja 40 kpl vuonna 2020 (toukokuu–joulukuu).

Keräinnäytteiden pitoisuudet	As ng/m ³	Cd ng/m ³	Ni ng/m ³	Pb ng/m ³
Keskusta 2005	0,4	0,20	3,3	3,7
Keskusta 2011	0,4	0,08	2,8	2,7
Keskusta 2020	0,3	0,04	1,6	1,7
Näätsaari 2005	0,4	0,20	2,3	2,7
Näätsaari 2011	0,5	0,14	2,3	3,7
Näätsaari 2020	0,3	0,10	2,7	2,0

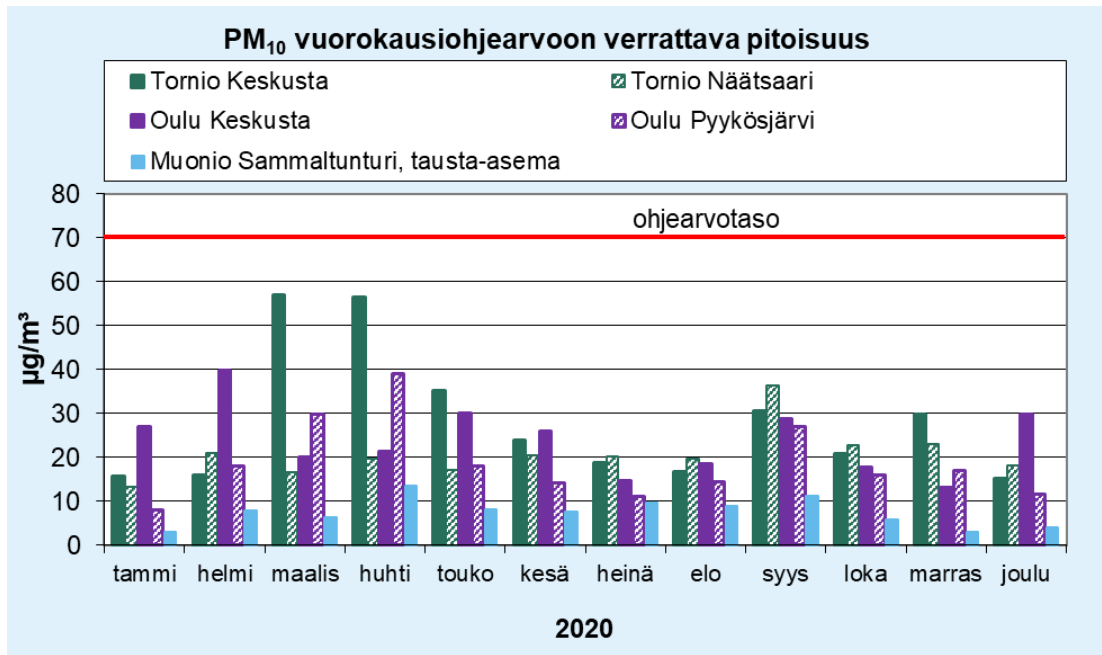
2.9 Pitoisuuksien vertailua muualla mitattuihin pitoisuuksiin

Kuvissa 27–32 on esitetty hengitettävien hiukkasten, pienhiukkasten ja typpidioksidin pitoisuuksia mittausjaksolta Tornion mittauspisteiden lisäksi Oulun keskustasta ja Pyykösjärveltä (*Oulun kaupunki, 2021*) sekä Ilmatieteen laitoksen taustailmanlaadun mittausasemalta Muonion Sammaltunturilta ja Kittilän Matorovalta (*Ilmatieteen laitos, 2021 c*). Kaikki pitoisuustulokset on mitattu jatkuvatoimisilla laitteilla. Oulun keskustan mittausasema sijaitsee vilkkaassa liikenneympäristössä ja mitatut pitoisuudet edustavat tasoa, jolle ihmiset altistuvat liikkeessään suuren kaupungin keskusta-alueella Pohjois-Suomessa. Pyykösjärven mittausasema puolestaan edustaa asuinalueella esikaupunkialueella. Sammaltunturin ja Matorovan mittausasemat edustavat pitoisuuksia Lapissa puhtaalla taustalla, jossa mittausaseman välittömässä läheisyydessä ei ole ihmistoimintoja.

Hengitettävien hiukkasten pitoisuustaso Torniossa oli pääosin samaa suuruusluokkaa kuin Oulussa. Katupölykaudella maalishuhtikuussa Tornion keskustan hiukkaspitoisuudet ovat selvästi korkeampia kuin Oulun keskustassa. Hengitettävien hiukkasten pitoisuuksiin vaikuttavat näissä kaikissa mittauspisteissä autoliikenteen pakokaasupäästöjen lisäksi hiukkasten kaukokulkeuma ja paikallinen mittausaseman ympäristön pölyäminen. Kaupunkialueella pölynsidonta ja mittausaseman ympäristön katujen puhdistus kaduille talven aikana kertyneestä hiekoitushiekasta vaikuttavat nopeasti keväisiin katupölypitoisuuksiin. Tornion keskustan korkeat pitoisuudet maalishuhtikuussa kertovat erityisesti aseman läheisestä lähipäästöstä. Sammaltunturilla hengitettävien hiukkasten pitoisuudet olivat kaikkina kuukausina pienemmät kuin Torniossa tai Oulussa. Pitoisuudet olivat puhtaalla taustalla keskimäärin korkeimmillaan kesäkaudella ja pienimmillään talvella lumisena aikana.

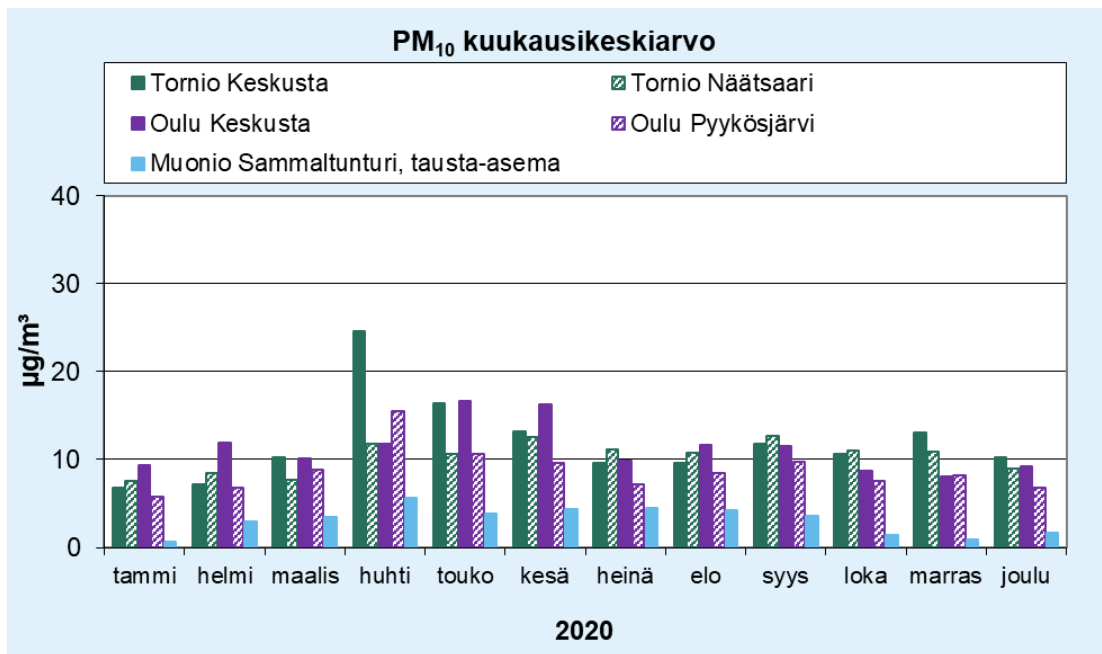
Pienhiukkasten pitoisuustaso Tornion keskustassa oli pääsääntöisesti suurempi kuin Oulun keskustassa. Erityisesti kevätpölyaikaan maalishuhtikuussa kaupunkien välinen pitoisuusero oli suuri. Näätsaaren pitoisuustaso oli suunnilleen samaa tasoa Oulun keskustan pitoisuuksien kanssa. Selvää syytä tähän pitoisuuksien suureen eroon ei löydetty. Kittilän Matorovan taustamittausasemalla pienhiukkasten pitoisuudet olivat pääsääntöisesti pienemmät kuin Torniossa tai Oulussa, mutta heinäkuussa Matorovalla mitattiin yhtä korkea ja syyskuussa vain hiukan matalampi pienhiukkasten vuorokausipitoisuus kuin Oulun keskustassa (kuva 29).

Typpidioksidin pitoisuustaso Torniossa oli kaikkina kuukausina pienempi kuin Oulun keskustan mittausasemalla ja lähellä sitä pitoisuustasoa, joka mitattiin Oulun Pyykösjärvellä. Typpidioksidin pitoisuuksiin vaikuttavat näissä kaikissa kolmessa mittauspisteessä eniten autoliikenteen päästöt, joten pitoisuustaso kertoo erityisesti aseman läheisestä liikennemäärästä. Oulun keskustan liikennemääriin covid-19-pandemia ei todennäköisesti ole vaikuttanut niin selvästi kuin Tornion rajaliikenteeseen. Tavanomaisena tarkasteluvuotena Tornion keskustan typpidioksidipitoisuudet olisivat todennäköisesti lähempänä Oulun keskustan pitoisuuksia kuin Pyykösjärven pitoisuuksia. Paikallisesti pitoisuuksia kohottavat lisäksi otolliset sääolosuhteet, kuten tyynet pakkaspäivät tai inversiotilanteet. Sammaltunturilla typpidioksidipitoisuudet olivat kaikkina kuukausina erittäin pienet.



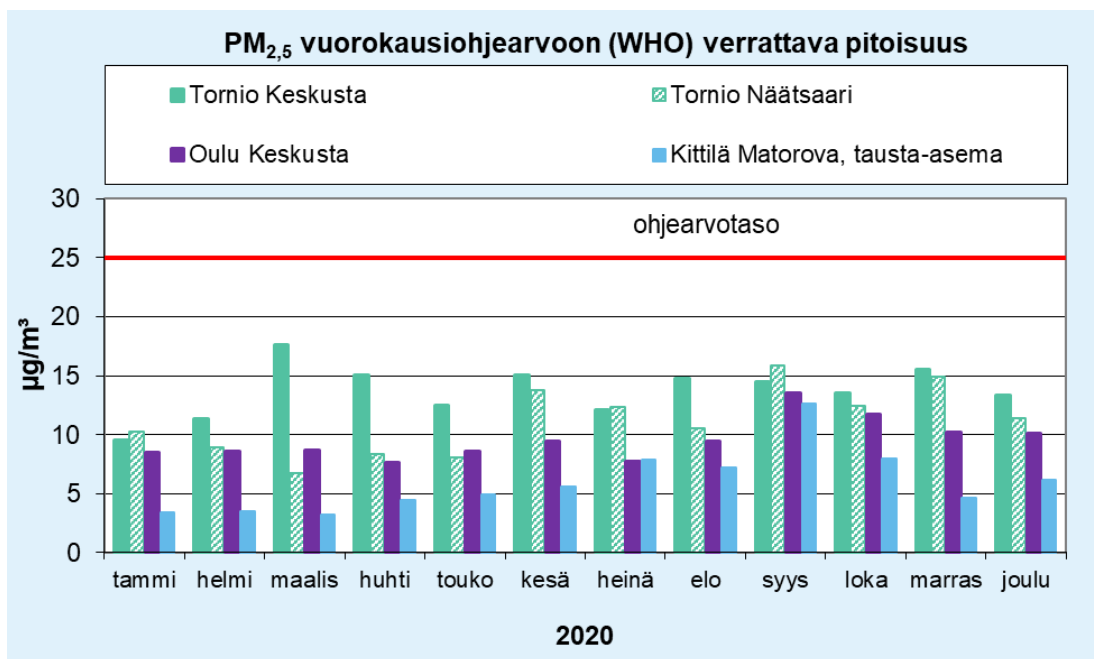
Kuva 27.

Tornion ilmanlaadun mittausasemilla, Oulun kaupungin mittausasemilla ja Muonion Sammaltunturin taustamittausasemalla vuonna 2020 mitatut hengitettävien hiukkasten vuorokausiohjearvoon verrannolliset pitoisuudet ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). Sammaltunturin aineisto puuttui ajalta helmikuutoukokuu 2020, joten se on korvattu edellisen vuoden 2019 aineistolla pitoisuustason havainnollistamiseksi.



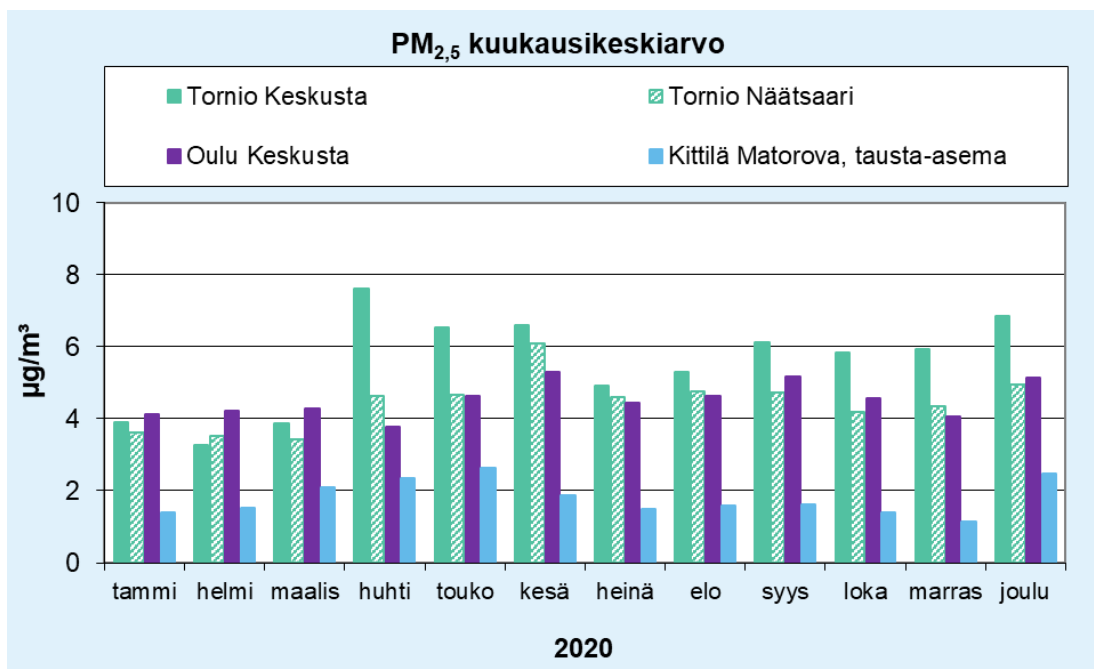
Kuva 28.

Tornion ilmanlaadun mittausasemilla, Oulun kaupungin mittausasemilla ja Muonion Sammaltunturin taustamittausasemalla vuonna 2020 mitatut hengitettävien hiukkasten kuukausikeskiarvopitoisuudet ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). Sammaltunturin aineisto puuttui ajalta helmikuutoukokuu 2020, joten se on korvattu edellisen vuoden 2019 aineistolla pitoisuustason havainnollistamiseksi.



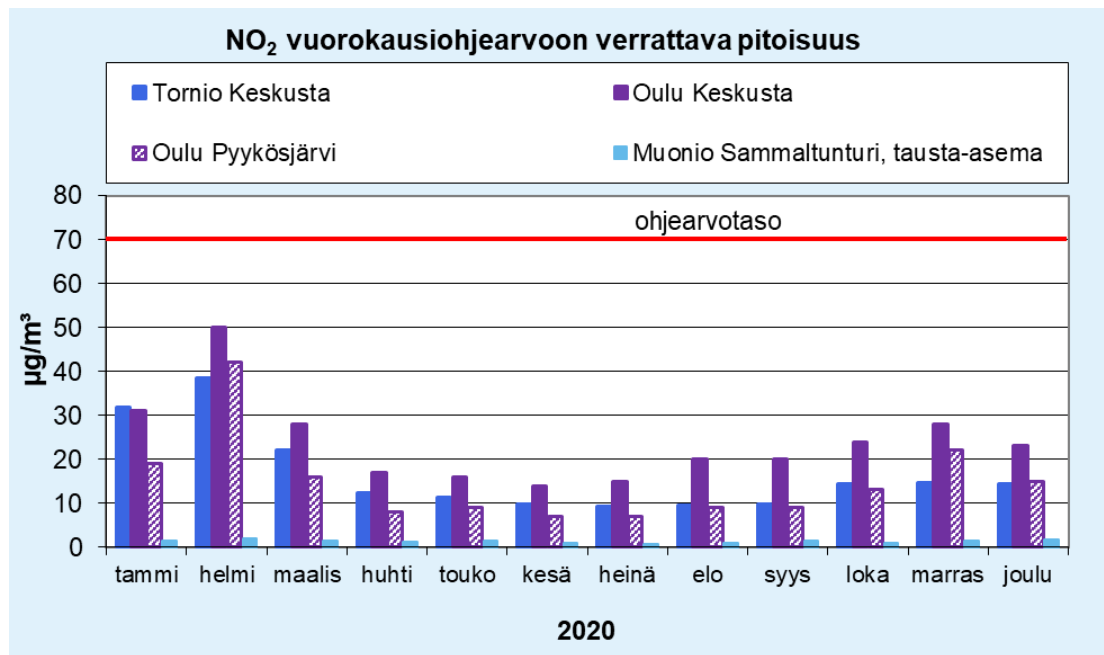
Kuva 29.

Tornion ilmanlaadun mittausasemilla, Oulun keskustan mittausasemalla ja Kittilän Matorovan taustamittausasemalla vuonna 2020 mitatut pienhiukkasten vuorokausiohjearvoon (WHO) verrannolliset pitoisuudet ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).



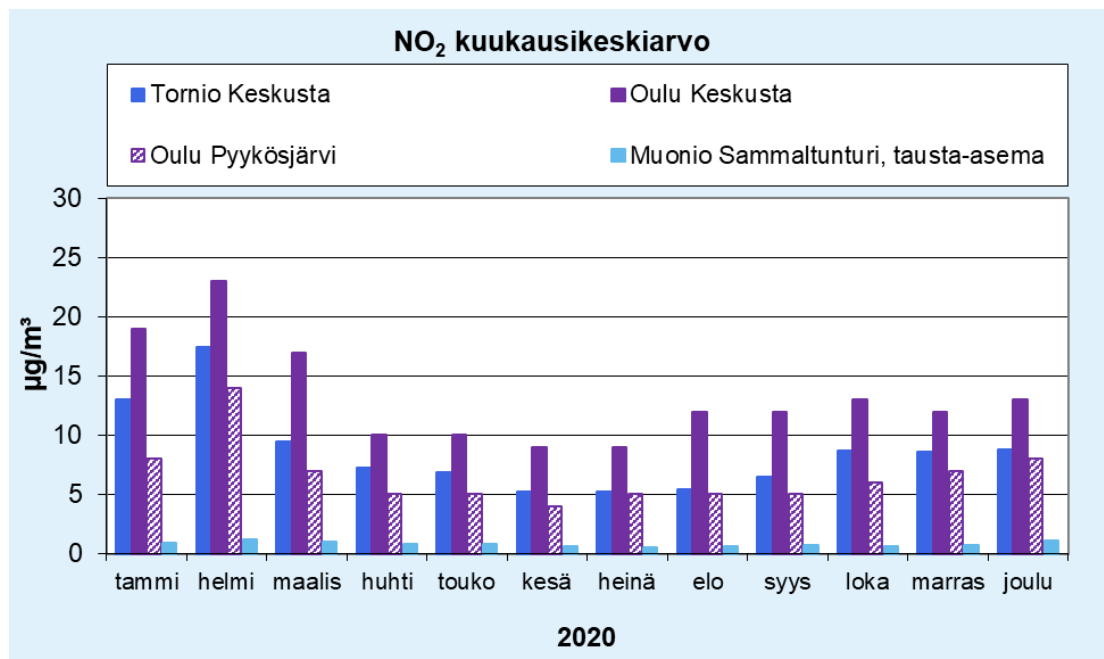
Kuva 30.

Tornion ilmanlaadun mittausasemilla, Oulun keskustan mittausasemalla ja Kittilän Matorovan taustamittausasemalla vuonna 2020 mitatut pienhiukkasten kuukausikeskiarvopitoisuudet ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).



Kuva 31.

Tornion ilmanlaadun mittausasemilla, Oulun kaupungin mittausasemilla ja Muonion Sammaltunturin taustamittausasemalla vuonna 2020 mitatut typpidioksidin vuorokausiohjearvoon verrannolliset pitoisuudet (µg/m³).



Kuva 32.

Tornion ilmanlaadun mittausasemilla, Oulun kaupungin mittausasemilla ja Muonion Sammaltunturin taustamittausasemalla vuonna 2020 mitatut typpidioksidin kuukausikeskiarvopitoisuudet (µg/m³).

3. YHTEENVETO JA SUOSITUKSET

Ilmatieteen laitos tarkkaili Tornion ulkoilman laatua 1.1.–31.12.2020 välisenä aikana kahdessa mitauspisteessä. Ilmanlaadun mittauksen tavoitteena oli kartoittaa hengitettävien hiukkasten, pienhiukkasten ja typen oksidien pitoisuustasoa ja hetkellistä vaihtelua kaupungin alueella sekä arvioida mittaus tulosten perusteella ilmanlaadun seurannan tarvetta tulevaisuudessa. Toinen mittauspiste sijaitsi Tornion keskustassa ortodoksisen kirkon puistossa, Länsiranta-kadun varrella, ja toinen Näätsaaren koulun pihassa, noin 3 km päässä keskustasta etelään. Mittauspaikat olivat samoja kuin vuoden 2011 tarkkailumittauksissa. Keskustan mittausasema edusti tyypillistä keskustan ympäristöä, jossa näkyy selvästi autoliikenteen päästöjen vaikutus. Näätsaaren mittausasema puolestaan edusti esikaupunkialuetta, jossa ilmanlaatuun vaikuttaa liikenteen lisäksi merkittävästi myös ympäröivän pientaloalueen puunpoltto sekä lähellä sijaitsevan teollisuuden päästöt. Molemmilla mittausasemilla kerättiin myös hengitettävien hiukkasten vuorokausinäytteitä joka 6. vuorokausi. Näistä näytteistä analysoitiin laboratorioissa metallien ja PAH-yhdisteiden pitoisuuksia. Typen oksideja ja erikokoisia hiukkasia vapautuu erityisesti autoliikenteestä ja kotitalouksien puulämmityksestä, metalleja puolestaan teollisuuden tuotantoprosesseista ja PAH-yhdisteitä erilaisista polttoprosesseista, kuten kotitalouksien puulämmityksestä. Ilmanlaatumittauksen tulosten tulkintaa varten asemilla mitattiin myös säätietoja.

Ilman epäpuhtauksien pitoisuuksiin vaikuttavat liikenteen, teollisuuden ja energiantuotannon päästöt, hajapäästölähteiden kuten asuinrakennusten tulisijojen päästöt sekä kauempaa kulkeutuneet päästöt, ns. kaukokulkeuma. Autoliikenne on haitallisin päästölähderyhmä useimmissa maamme kaupungeissa. Liikenteen päästöjen osuus monien ilman epäpuhtauksien päästöistä on huomattava ja pakokaasut vapautuvat suoraan ihmisten hengityskorkeudelle. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöt vapautuvat ulkoilmaan yleensä korkeista piipuista ja ehtivät sekoittua ympäröivään ilmaan ja laimentua ennen maanpintatasoa, jolloin ne eivät juuri vaikuta pitoisuuksiin hengityskorkeudella. Autoliikenteen pakokaasupäästöjen pienentyessä, tekniikan kehittymisen ja uusien päästörajoitusten myötä, liikenteen ilmaan nostattaman katupölyn sekä kotitalouksien puunpolton vaikutukset hiukkaspitoisuuksiin tulevat korostumaan. Yksittäisen päästölähteen vaikutusta pitoisuuksiin on yleensä vaikea erottaa. Vuodenaika, kaukokulkeuma ja sääolosuhteet vaikuttavat pitoisuuksiin voimakkaasti. Korkeimmat epäpuhtauspitoisuudet esiintyvät kaupunkialueilla useimmiten stabiileissa heikkotuulissa tilanteissa ja erityisesti inversiotilanteissa, jolloin ilmakehän pystysuuntainen lämpötilajakauma estää tai rajoittaa epäpuhtauksien laimenemista. Hiukkaspitoisuudet ovat tyypillisesti korkeimmillaan keväisin ns. kevätpölyaikaan sekä kesällä sateettomaan aikaan. Katupölyä syntyy, kun lumet sulavat keväällä ja talven aikana tien varsille kerääntynyt hiukkasmassa vapautuu ilmaan tuulen ja liikennevirtojen vaikutuksesta katujen kuivuttua. Lumien sulamisvedet, sateet, katujen oikea-aikaiset puhdistustoimet ja pölynsidonta suolaliuksella hillitsevät keväistä pölyämistä. Sateet alentavat myös muina vuodenaikoina väliaikaisesti ilman epäpuhtauksien pitoisuuksia ja puhdistavat hengitysilmää.

Tornion ilmanlaadun mittausasemilla mitattujen pitoisuuksien tuntiarvojen perusteella laskettiin ilmanlaatuindeksi, joka kuvaa vallitsevaa ilmanlaatuutilannetta viisiportaisella sanallisella asteikolla: hyvä, tyydyttävä, välttävä, huono tai erittäin huono. Ilmanlaatuindeksi on vertailuluku, joka kuvaa sen hetkistä ilmanlaatua suhteutettuna ilmanlaadun ohje- ja raja-arvoihin. Indeksillä ilmaistuna ilmanlaatu oli Tornion keskustassa hyvää tai tyydyttävää 85 % mittausjakson vuorokausista ja Näätsaarella 91 % vuorokausista eli valtaosan mittausajasta. Huonon ja erittäin huonon ilmanlaadun päivät ajoittuivat molemmilla mittausasemilla kevään katupölykaudelle ja ne aiheutuivat pääsääntöisesti korkeista hengitettävien hiukkasten pitoisuuksista ja vain muutamana päivänä korkeista pienhiukkaspitoisuuksista.

Hengitettävien hiukkasten, pienhiukkasten ja typpidioksidin mitatut pitoisuudet jäivät selvästi ilmanlaatulainsäädännössä annettujen raja-arvojen ja arviointikynnyksien alapuolelle. Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet olivat korkeimmillaan keskustassa 43 % vuorokausiraja-arvosta ja 35 % vuosiraja-arvosta. Pienhiukkasten pitoisuus oli enimmillään keskustassa 22 % vuosiraja-arvosta. Typpidioksidin pitoisuus oli enimmillään keskustassa 39 % tuntiraja-arvosta ja 21 % vuosiraja-arvosta.

Näätasaaren asemalla mitatut pitoisuudet olivat keskustan asemaa matalampia. Pitoisuuksien jäädessä alle alemman arviointikynnyksen, ilmanlaatua ei tarvitse seurata kokoaikaisesti jatkuvilla ilmanlaadun mittauksilla.

Hengitettävien hiukkasten, pienhiukkasten ja typpidioksidin vuorokausiohjearvot eivät ylittyneet mitausjaksolla kertaakaan. Hengitettävien hiukkasten pitoisuus oli keskustassa suurimmillaan maaliskuussa 81 % ohjearvosta ja Näätasaassa syyskuussa 52 % ohjearvosta. Keskustan mittaus tuloksissa havaittiin maalisi- ja huhtikuussa keväisen katupölyn aiheuttamia kohonneita pitoisuuksia. Pienhiukkasten pitoisuus oli keskustassa suurimmillaan maaliskuussa 70 % WHO:n ohjearvosta ja Näätasaassa syyskuussa 63 % ohjearvosta. Syyskuun lopun kaukokulkeumaepisodin aikana koko Suomessa mitattiin keskimääräistä korkeampia hiukkaspitoisuuksia useiden päivien ajan (23.–30.9.2020). Tämä oli havaittavissa myös Tornion syyskuun mittaus tuloksissa sekä pienhiukkasilla että hengitettävillä hiukkasilla. Typpidioksidin tuntipitoisuus oli korkeimmillaan tammikuussa 55 % tuntiohjearvosta ja vuorokausipitoisuus helmikuussa samoin 55 % vuorokausiohjearvosta. Typpidioksidilla pitoisuudet ovat tyypillisesti pienimmillään kesäkaudella ja suurimmillaan talvikaudella, jolloin sääolosuhteet ovat usein otolliset korkeiden pitoisuuksien muodostumiselle.

Molemmilla mittausasemilla kaikki mitatut pitoisuudet olivat keskimäärin korkeimmillaan tyyneissä tilanteissa. Tyyneellä säällä havaitut korkeat hiukkasten ja typpidioksidin pitoisuudet kertovat paikallisista lähipäästölähteistä, jonka lähdeä ja sen sijaintia ei tarkemmin pystytä määrittelemään. Kovemmilla tuulennopeuksilla pystytään selkeästi päättämään, mistä suunnasta mitatut pitoisuudet ovat peräisin. Hengitettävien hiukkasten ja pienhiukkasten pitoisuuksissa on yksittäisten päästölähteiden vaikutusta yleensä vaikeampi erottaa kuin typpidioksidilla. Vuodenaika, liikenne, kaukokulkeuma, katujen pölyäminen ja meteorologiset tekijät vaikuttavat hiukkaspitoisuuksiin voimakkaasti. Keskustassa hengitettävien hiukkasten, pienhiukkasten ja typpidioksidin pitoisuudet olivat keskimäärin suurimmillaan tuulen käydessä mittausasemalle läheisten autoteiden suunnasta. Näätasaassa hengitettävien hiukkasten ja pienhiukkasten pitoisuudet olivat puolestaan suurimmillaan tuulen käydessä läheisiltä asuinalueilta. Yksittäisiä korkeita pitoisuushavaintoja tehtiin kaikilla tuulensuunnilla.

Hengitettävien hiukkasten keruunäytteistä analysoitujen arseeni- ja metallipitoisuuksien vaihtelu oli suurta eri näytteiden välillä. Arseeni-, kadmium-, nikkeli-, lyijy-, kromi- ja sinkkipitoisuudet olivat keskimäärin hiukan suurempia Näätasaaren asemalla kuin keskustassa, mikä todennäköisesti johtuu siitä, että Näätasaaren asema sijaitsi lähempänä Tornion Outokummun tehtaan päästölähteitä. Näätasaassa mitatut pitoisuudet olivat koholla erityisesti loppukesästä (elo-syyskuussa 2020), jolloin hiukkasia todennäköisesti nousi ilmaan tuulen nostattamana mittausaseman ympäristöstä maaston ollessa kuivaa. Vaikka teollisen toiminnan päästöt olisivatkin tasaisia ympäri vuoden, niin toiminnan vaikutukset voivat silti korostua sopivissa kuivissa sääolosuhteissa, jolloin ympäristöön pidemmän ajanjakson aikana kerääntynyt pöly nousee ilmaan. Asfaltoidulla keskusta-alueella mitatut metallipitoisuudet jäivät loppukesällä pienemmiksi kuin Näätasaassa. Keskustassa pitoisuudet olivat koholla erityisesti kevätpölyaikaan, huhtikuussa 2021, jolloin keskustassa mitattiin mittausjakson korkeimmat alumiinin ja raudan pitoisuudet. Arseenin, kadmiumin, nikkelin ja lyijyn mittausjakson pitoisuuskeskiarvot alittivat selvästi raja- ja tavoitearvotason sekä myös alemman arviointikynnyksen tason.

Hengitettävien hiukkasten keruunäytteistä analysoitujen PAH-yhdisteiden pitoisuudet olivat talven lämmityskaudella suurempia kuin kesäaikaan. Molemmilla mittauspisteissä oli havaittavissa tämä PAH-yhdisteille tyypillinen vuodenaikaisvaihtelu. Pitoisuudet olivat keskimäärin korkeammat Näätasaaren mittausasemalla kuin keskustassa, koska Näätasaaren aseman lähiympäristössä on pientaloasutusta, jossa poltetaan puuta. Näätasaassa havaittiin poikkeavan korkeita bentso(a)pyreenin pitoisuuksia yksittäisinä vuorokausina, jolloin oli joko tyyne pakkaspäivä, tai tuulennopeus oli hyvin pieni ja tuuli kävi pientaloasutuksen suunnasta mittausasemalle päin. Pientaloalueilla puunpoltto voi heikentää ilmanlaatua merkittävästi. Ongelmallista pientulisijojen päästöille on niiden vapautuminen suhteellisen matalalta, jolloin epäedullisissa sääolosuhteissa ne voivat heikentää ilmanlaatua ihmisten hengityskorkeudella. Huonosti toteutetussa puun pienpoltossa hiukkas- ja PAH-päästöt voivat olla monikymmen- tai jopa monisatakertaiset hyvään, korkean hyötysuhteen polttoon verrattuna. PAH-yhdisteistä vain bentso(a)pyreenille on annettu tavoitearvo ilmanlaatulainsäädännössä.

Bentso(a)pyreenin vuosikeskiarvopitoisuus jäi molemmilla mittausasemilla selvästi alle tämän tavoitearvon ja alitti myös alemman arviointikynnyksen tason.

Mitattujen pitoisuuksien tunti- ja vuorokausijakaumien sekä tuulensuuntatarkasteluiden perusteella Tornion keskustan ilmanlaadun mittauspisteessä pitoisuuksiin vaikuttavat eniten autoliikenteen päästöt. Hiukkasten pitoisuuksiin vaikuttavat autojen pakokaasuista peräisin olevien hiukkasten lisäksi myös tuulen ja liikennevirran maanpinnasta ilmaan nostattamat hiukkaset. Myös hengitettävistä hiukkasista analysoidut arseeni-, metalli- ja PAH-pitoisuudet tukevat tätä analyysiä. Näätsaaren ilmanlaadun mittauspisteessä pitoisuuksiin vaikuttavat liikenteen päästöjen lisäksi myös läheisten asuinalueiden lämmityksen päästöt sekä vähäisessä määrin myös Outokummun terästehtaan päästöt. Vuonna 2020 Torniossa mitattuihin pitoisuuksiin vaikuttivat jossain määrin myös covid-19-pandemian aiheuttamat liikkumisrajoitukset. Tornion raja-asemalla rajan ylittävä liikennemäärä oli vuonna 2020 vain noin puolet normaalitilanteeseen verrattuna. Tämä on vaikuttanut liikennemäärien ja liikenteen pakokaasupäästöjen vähenemiseen myös keskustan ilmanlaadun mittausaseman välittömässä läheisyydessä. Nyt mitatut typpidioksidipitoisuudet ovat todennäköisesti pienempiä kuin olisivat olleet tavanomaisena tarkasteluvuotena. Hiukkaspitoisuuksissa vastaavia ilmiö ei ole niin suoraviivainen, koska liikenteen päästöjen muutosten vaikutukset peittyivät helposti keväisen katupölykauden ja pienhiukkasten kaukokulkeuman vaikutuksiin.

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. Vuonna 2020 tehdyn ilmanlaadun tarkkailujakson perusteella voidaan todeta, että Torniossa ei ole tarvetta hengitettävien hiukkasten, pienhiukkasten ja typenoksidipitoisuuksien kokoaikaisesti jatkuvaan mittaamiseen, vaan pitoisuustasoa voidaan seurata suuntaa antavien mittausten avulla.

Jatkossa ilmanlaadun mittauksissa tulisi keskittyä hengitettävien hiukkasten (PM_{10}) pitoisuusseurantaan 5 vuoden välein, mittauspaikkojen pysyessä samoina. Kalenterivuoden kestävät mittaukset tulisi suorittaa jatkuvatoimisilla menetelmillä, joilla saadaan paitsi asianmukaiset mittaustulokset ohje- ja raja-arvovertailuja varten, mutta myös tietoa lyhytaikaispitoisuuksista ja niiden vaihtelusta. Verrattaessa Tornion hengitettävien hiukkasten pitoisuuksia Oulussa mitattuihin pitoisuuksiin, on merkille pantavaa, että suuressa vilkkaammin liikennöidyssä kaupungissa hengitettävien hiukkasten pitoisuudet ovat keväällä katupölyaikaan selvästi pienemmät kuin Torniossa. Jatkossa Torniossa tulisi katupölyhaittojen ehkäisemiseksi kiinnittää huomiota katupölyn torjuntaan: katujen ja teiden talvikunnossapitoon, oikea-aikaiseen hiekoitushiekan poistoon sekä erityisesti pölynsidontaan katupölykaudella. Oulussa on tehokkaasti vähennetty korkeimpia hiukkaspitoisuuksia pölynsidonnalla jo yli 10 vuoden ajan.

Arseenin ja metallien osalta 5 vuoden määrävälein toistettavat suuntaa antavat mittaukset ovat edelleen jatkossakin luotettavin tapa arvioida niiden pitoisuustasoa. Kalenterivuoden ajan kestäville mittauksilla pystytään tuottamaan pitoisuustuloksia, jotka ovat suoraan verrattavissa vastaaviin ilmanlaadun raja-, ohje- ja tavoitearvoihin. Hengitettävien hiukkasten jatkuvatoimiset pitoisuusmittaukset on järkevää suorittaa samanaikaisesti arseenin ja metallien pitoisuusmääritysten kanssa. Bentso(a)pyreenin pitoisuudet ovat korkeimmillaan asuinalueilla, kuten tämä ilmanlaatuselvitys ja vuonna 2017 Tornion Puuluodossa tehdyt ilmanlaatumittaukset osoittivat (*Saari ym., 2018*). Vuonna 2020 bentso(a)pyreenipitoisuudet alittivat Näätsaareissa ja keskustassa alemman arviointikynnyksen, mutta vuonna 2017 Tornion Puuluodossa terästehtaan läheisyydessä ylempi arviointikynnys ylittyi. Bentso(a)pyreenin pitoisuuksien seurantaan riittävät myös jatkossa 5 vuoden määrävälein toistettavat mittaukset. Bentso(a)pyreenipitoisuudet voidaan määrittää samasta suodatinnäytteestä kuin arseeni- ja metallipitoisuudet, kuten tässä tutkimuksessa tehtiin, mikä vähentää mittauksista aiheutuvia kustannuksia.

OSA II

4. TUTKIMUKSEN SUORITUS

4.1 Mittausasemien sijainti

Ilmatieteen laitos mittasi ilmanlaatua Torniossa kahdella mittausasemalla vuonna 2020. Mittausasemien sijainti on esitetty kartalla kuvissa 34 ja 35 ja valokuvat mittausasemien ympäristöstä on esitetty kuvissa 33 ja 36. Keskustan mittausasema sijaitsi ortodoksisen kirkon puistossa, Länsirannan ja Lukiokadun risteyksessä. Lukiokadun varrella mittausaseman kohdalla oli 8-kerroksinen kerrostalo, joka estää tuulta tästä ilmansuunnasta eli luoteen suunnasta. Mittausaseman etäisyys kerrostalosta oli noin 20 metriä. Etäisyys kaakon suunnassa sijaitsevaan E4-tien kiertoliittymään oli noin 60 metriä. Näätsaaren mittausasema sijaitsi Näätsaaren koulun pihassa, koulun viereisellä nurmialueella. Mittausasemaa ympäröi pientaloasutus kaikissa muissa ilmansuunnissa paitsi lounaan ja lännen suunnissa. Etäisyys koulurakennukseen oli noin 15 metriä, joten rakennus estää koillisen ja lännen suunnasta puhaltavia tuulia. Outokummun Tornion tehtaat sijaitsevat etelän suunnassa molempiin mittausasemiin nähden. Keskustan mittausaseman etäisyys tehdasalueen rajalta oli noin 7 kilometriä ja Näätsaaren aseman etäisyys noin 4 kilometriä.



Kuva 33. Tornion keskustan ilmanlaadun mittauspiste. Valokuva: Matias Saunamäki.



Kuva 36. Tornion Näätsaaren ilmanlaadun mittauspiste. Ulkoilma imetään mittalaitteisiin kontin katolla sijaitsevien näytteenottimien läpi. Lisäksi katolla on säänmittausanturi. Valokuva: Matias Saunamäki.

4.2 Mitatut suureet ja mittausmenetelmät

Tornion keskustan ja Näätsaaren mittauspisteeseen tuotiin mittauskontit, joissa kaikki mittauksiin liittyvät toiminnot tapahtuvat häiriöttä ja mittausolosuhteet pysyvät stabiileina. Mittausasemalla mitattiin jatkuvatoimisilla automaattisilla analysaattoreilla halkaisijaltaan alle $10\text{ }\mu\text{m}$:n suuruisten hengitettävien hiukkasten (PM_{10}) ja alle $2,5\text{ }\mu\text{m}$:n suuruisten pienhiukkasten ($\text{PM}_{2,5}$) pitoisuuksia ja keskustan asemalla myös typen oksidien (NO , NO_2 ja NO_x) pitoisuuksia. Molemmilla mittausasemilla kerättiin myös hengitettävien hiukkasten (PM_{10}) vuorokausinäytteitä joka 6. vuorokausi (suuntaa antavien mittauksien ajallisen kattavuuden vaatimus $> 14\%$, näytteenotto jakautuu tasaisesti koko vuodelle ja eri viikonpäiville). Näistä näytteistä analysoitiin laboratorioissa arseenin, metallien ja PAH-yhdisteiden pitoisuuksia. Mittalaitteet ja mittausmenetelmät on esitelty taulukossa 5. Kaikkien laitteiden näytteenotto tapahtui mittausaseman katolla olevista näytteenottimista noin 3,5 metrin korkeudelta ja hiukkasten näytteenotto tapahtui pystysuoralla näytteenottolinjalla. Lisäksi mittausasemalla havainnoitiin tuulen suuntaa ja nopeutta, ulkoilman lämpötilaa, suhteellista kosteutta ja ilmanpainetta (taulukko 5). Säämittausanturin korkeus oli noin 4 metriä maanpinnan tasosta. Kontin ilmastointi on järjestetty niin, ettei poistoilmavirta häiritse näytteenottoa, eivätkä poistoilman epäpuhtaudet pääse näytteenottimiin.

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

Taulukko 5. Tornion ilmanlaadun mittauksissa käytetyt menetelmät ja laitteet.

Mitattava komponentti	Mittausmenetelmä	Mittalaite
Typen oksidit	Kemiluminesenssi	TEI 42i
Hengitettävät hiukkaset ja pienhiukkaset	Beetasäteilyn absorptio + valon sironta	Thermo Model 5030 SHARP
Hengitettävät hiukkaset, vuorokausinäytteet (24 h)	Pientehokeräin *	Leckel SEQ 47/50
Meteorologiset tiedot		Vaisala WXT530

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

Hengitettävien hiukkasten pitoisuutta mitattiin beetasäteilyn absorptioon ja valon sirontaan perustuvalla menetelmällä. Hengitettävien hiukkasten jatkuvatoimiset mittaukset perustuvat standardiin *SFS-EN 16450:2017 Ambient air – Automated measuring systems for the measurement of the concentration of particulate matter (PM₁₀/PM_{2.5})*. PM₁₀/PM_{2.5}-hiukkasten gravimetrisen referenssimenetelmä on kuvattu standardissa *EN 12341:2014*. Ilmatieteen laitoksen käyttämien automaattisten hiukkasanalysointilaitteiden antamien tulosten vastaavuus PM₁₀/PM_{2.5}-hiukkasten gravimetrisen referenssimenetelmään on osoitettu tutkimuksessa *Walden ym., 2017*. Mittauksissa käytössä olleille Sharp 5030 -analysointilaitteille on käytetty kansallisen vertailulaboratorion suosituksen mukaista ekvivalenssisuuskertoimista 1,242 hengittävälle hiukkasille ja 0,998 pienhiukkasille (*Walden ym., 2017 ja Walden ym., 2018*).

Typen oksidien (NO_x) mittauksissa käytettiin kemiluminesenssiin perustuvaa määritysmenetelmää. Typen oksidien mittaukset perustuvat EU:n referenssimenetelmään, joka on kuvattu standardissa *EN 14211:2012 Ambient air quality – Standard method for the measurement of the concentration of nitrogen dioxide and nitrogen monoxide by chemiluminescence*.

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, nikkelin ja PAH-yhdisteiden määrittämistä varten otettavat hengitettävien hiukkasten näytteet metalliasetuksen (*Vna 113/2017*) mukaan. Suodattimien näytteiden keräys kesti kerrallaan vuorokauden (aloitusaika aina klo 00:00) ja näytteitä otettiin joka kuudes vuorokausi. Suodattimien käsittely (mm. pakkaus ja purkaminen) tapahtui ainoastaan akkreditoidussa laboratorioissa ja mittausasemalla käsiteltiin suodattimia vain suodatinkoteloissaan, keräimen suodatinkasetin vaihdon yhteydessä.

Näytteistä määritettiin PAH-yhdisteet Ilmatieteen laitoksen akkreditoidussa ilmanlaatulaboratoriossa. PAH-yhdisteiden määritysmenetelmä perustuu standardiin *SFS-EN 15549:2008 (Air quality – Standard method for the measurement of the concentration of benzo(a)pyrene in ambient air.)* Muiden polysyklisen aromaattisten hiilivetyjen määrittämisessä käytetään soveltuvin osin myös standardia *ISO 12884:2000 (Ambient air – Determination of total (gas and particle-phase) polycyclic aromatic hydrocarbons – Collection on sorbent-backed filters with gas chromatographic/mass spectrometric analysis)* ja teknistä spesifikaatiota *CEN/TS 16645:2014 (Ambient air – Method for the measurement of benz[a]anthracene, benzo[b]fluoranthene, benzo[k]fluoranthene, benzo[a,h]anthracene, indeno[1,2,3-cd]pyrene and benzo[g,h,i]perylene)*. Menetelmässä suodatimet uutetaan dikloorimetaaniin Soxhlet-uuttolaitteessa ja näytteet analysoidaan GC-MS-menetelmällä (kaasukromatografi-massaspektrometri). Laadunvarmennukseen käytetään varmennettua

vertailumateriaalia (NIST1649a). Menetelmä on akkreditoitu seuraaville yhdisteille: bentso(a)pyreeni, indeno(1,2,3-cd)pyreeni, bentso(b+j+k)fluoranteeni ja dibentso(a,h + a,c)antraseeni.

Näytteistä määritettiin arseeni, kadmium, nikkeli, kromi, lyijy, sinkki, alumiini, koboltti, kupari, rauta, mangaani ja vanadiini Suomen ympäristökeskuksen ympäristökemian tutkimuslaboratoriossa. Laboratorion laatujärjestelmä on standardin SFS-EN ISO/IEC 17025:2017 mukainen ja sen arseeni- ja metallianalyysit on akkreditoitu suodatinnäytteille. Suomen ympäristökeskuksen kemian laboratorio on Turvallisuus- ja kemikaaliviraston akkreditointiyksikön (FINAS) akkreditoima testauslaboratorio T003. Metallien analyysit tehtiin ICP-MS -menetelmällä standardin SFS-EN 14902:2006 mukaan, mikä on metallidirektiivin mukainen menetelmä arseenille, kadmiumille ja nikkelille. Menetelmä sisältää näytteiden typpihiappohajotuksen mikroaaltouunissa. Menetelmällä päästään erittäin pieniin pitoisuuksiin.

4.3 Kalibrointimenetelmät, laadunvarmistus ja laitehuollot

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

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

Typen oksidien mittalaitteen kalibroinnit tehtiin monipistekalibroinnin (4–5 pitoisuutta) avulla noin 3 kk välein. Kalibrointien yhteydessä tehtiin laitehuollot ja näytteenottolinjojen puhdistukset ja analysaattorin hiukkassuodattimet vaihdettiin. Typen oksidien mittalaite kalibroitiin käyttäen typpi-monoksidikaasua (NO), jota laimennettiin erillisen kenttälaimentimen avulla halutuille pitoisuustasoille. Laimentimesta tuotettiin kalibrointipitoisuusarvot, jotka oli varmennettu (kalibroitu) ilmanlaatumittausten kansallisessa vertailulaboratoriossa jäljitettävästi kalibroitua analysaattoria vastaan. Kenttälaimentimen tuottamien pitoisuuksien jäljitettävyyttä siirtyi laboratorion oman jäljen kautta aine-määrään (mooli). Laimennuskaasuna käytettiin suodatettua ilmaa. Typen oksidien kaasunormaalina käytettiin kaasupulloa. Kalibrointien perusteella Tornion ilmanlaadun seurannan typen oksidien pitoisuusmittaukset on jäljitetty kansalliseen mittanormaaliin ja sitä kautta ainemäärään. Ilmatieteen laitoksella sijaitseva kansallinen vertailulaboratorio on Turvallisuus- ja kemikaaliviraston akkreditointiyksikön (FINAS) akkreditoima kalibrointilaboratorio K043. Tulosten validoinnin yhteydessä laitteen toimintahäiriöistä johtuneet virheelliset arvot poistettiin ja mittausaineisto korjattiin matemaattisesti kalibrointitulosten perusteella.

Mittalaitteet toimivat pääsääntöisesti hyvin koko vuoden ajan. Raja-arvojen ylittymisen valvontaan käytettävissä jatkuvissa mittauksissa aineiston vähimmäismäärä on 90 % kalenterivuoden tunneista, mikä ei kuitenkaan sisällä laitteiden säännöllisestä kalibroinnista tai normaalista kunnossapidosta aiheutuvaa tietohukkaa. Tavoitteen täyttymisen arvioimiseksi vähennetään ensin kalibrointien ja normaalin kunnossapidon vuoksi menetettyjen mittaustulosten yhteismäärä koko vuoden suurimmasta mahdollisesta mittausarvojen määrästä. Yleisesti kalibrointien ja normaalin kunnossapidon vuoksi

voidaan katsoa menetettävän 5 % vuoden tunneista eli laatutavoitteena käytetään 85 % vuoden tuntimäärästä. Aineiston vähimmäismäärän laatutavoite täyttyi vuonna 2020 kaikkien mitattujen komponenttien osalta.

Ohjearvoon vertaaminen edellyttää, että vuorokausipitoisuuksia on vähintään 75 % kuukauden vuorokausien lukumäärästä. Tämä vaatimus täyttyi keskustan mittausasemalla pienhiukkasten ja typen oksidien osalta kaikkina kuukausina ja hengitettävien hiukkasten osalta muina kuukausina paitsi joulukuussa. Hengitettävien hiukkasten mittausaineistoa puuttui joulukuussa kaikkiaan 11 vuorokautena laitteen pumpun pysähdelytä satunnaisesti tuntemattomasta syystä. Viikonlopun ajalle osueksaan tällainen katkos kesti vähintään 2 vuorokautta kerrallaan. Näätsaaren molemmissa hiukkasmitauksissa vuorokausipitoisuuksia oli vähintään 75 % kuukauden vuorokausien lukumäärästä kaikkina kuukausina. Näätsaassa jouduttiin vaihtamaan mittausjaksolla 2 kertaa hengitettävän hiukkas-ten mittalaite toiseen, laitteen pumpussa ilmenneiden ongelmien takia. Laitteen vaihdosta aiheutui enimmillään 6 vuorokauden mittainen katkos mittausdataan.

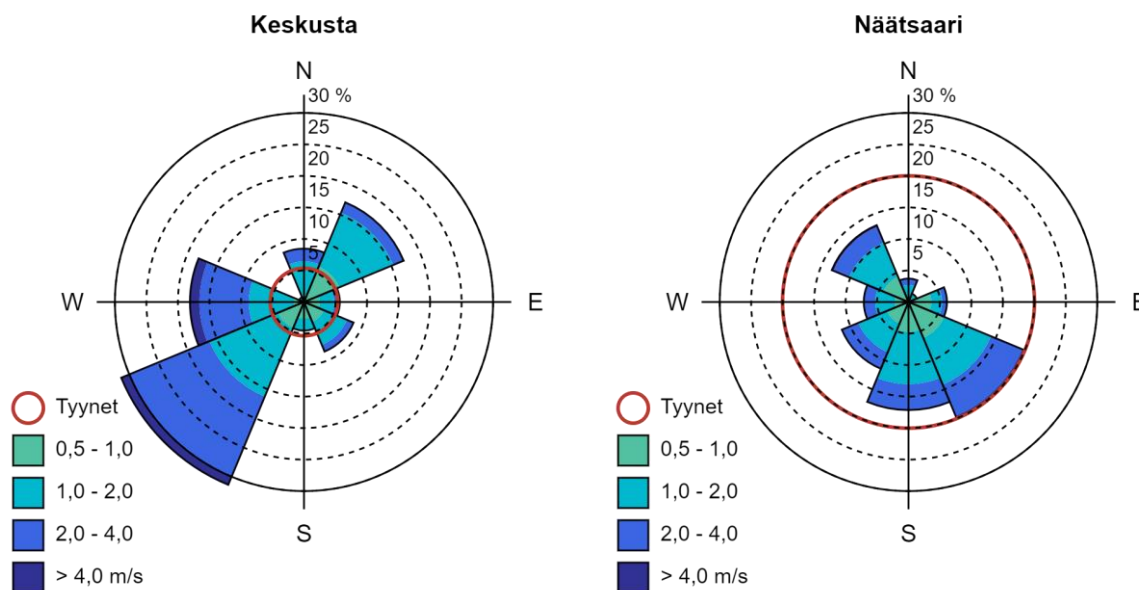
5. SÄÄTIEDOT VUONNA 2020

5.1 Tuulitiedot Torniossa mittausjaksolla

Tornion keskustassa mitattujen tuulennopeuksien keskiarvo mittausjaksolla oli 1,7 m/s ja tyynien tilanteiden osuus oli noin 5 % mittausjakson tunneista. Näätsaassa tuulennopeuksien keskiarvo oli puolestaan 1,3 m/s ja tyynien tilanteiden osuus noin 20 % kaikista tunneista. Tyyniksi katsotaan tässä tarkastelussa tunnit, jolloin tuulen nopeus oli alle 0,5 m/s. Tuulianturit sijaitsivat noin 4 metrin korkeudella maanpinnasta ilmanlaadun mittausasemien katolla.

Kuvassa 37 on esitetty mittausjakson 1.1.–31.12.2020 tuuliruusut eli tuulensuuntien ja -nopeuksien kuvaajat molemmilta mittausasemilta. Tuuliruusun keskipisteestä lähtevän janan pituus sektorin kehäviivalle vastaa kunkin tuulisektorin tuulien prosentuaalista osuutta jakson tuulista. Tyynet tapaukset on kuvattu ympyrällä, jonka säteen pituus kertoo tyynien tilanteiden prosentuaalisen osuuden kaikista tuulihavainnoista. Tuuliruususta nähdään myös tuulten nopeusjakaumat tuulensuuntasektoreittain. Eri tuulennopeuksien prosentuaaliset osuudet saadaan vertaamalla sektoreiden kunkin nopeusluokan pituutta prosenttiasteikkoon.

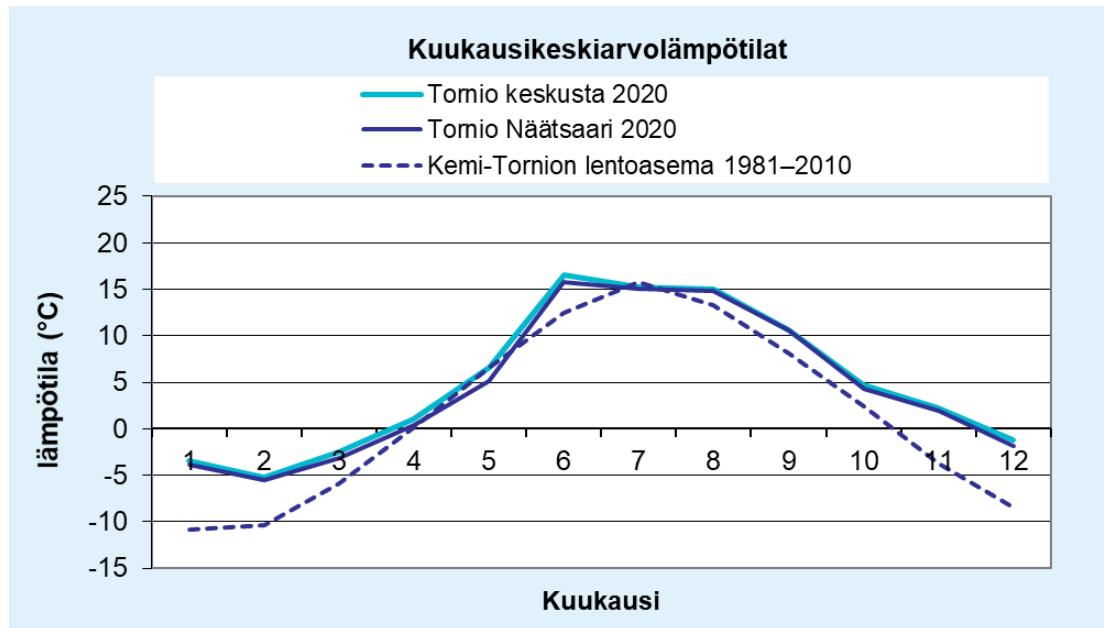
Tuulen suunnalla tarkoitetaan meteorologiassa suuntaa, josta tuuli puhaltaa. Kun tuulta mitataan ja ilmoitetaan tuulen suunta, tarkoitetaan aina, että tuuli puhaltaa kyseisestä ilmansuunnasta havaitsejaa kohti. Niinpä etelätuuli puhaltaa etelästä ja länsituuli lännestä, jne. Tornion ilmanlaadun mittausasemien tuulijakaumat olivat keskenään hyvin erinäköiset. Keskustassa vallitseva tuulensuunta oli lounas ja lounaan ja lännen suunnasta puhaltavat tuulet olivat keskimäärin kovempia kuin muilta ilmansuunnilta puhaltavat tuulet. Luoteen puoleisia tuulia ei esiintynyt juuri lainkaan vuonna 2020, koska viereinen kerrostalo esti tästä suunnasta puhaltavat tuulet. Näätsaassa vallitsevat tuulensuunnat puolestaan olivat kaakko ja etelä, eikä koillisen puoleisia tuulia ei esiintynyt juuri lainkaan. Näätsaaren koulun rakennus esti tuulia koillisen ja lännen suunnasta. Mittausaseman etäisyys koulurakennuksesta oli noin 15 metriä. Tuulennopeudet olivat mittausjaksolla pääosin pieniä, keskustassa hiukan kovempia kuin Näätsaassa. Syyskuun puolivälissä Suomea riepotteli voimakas Aila-myrsky, joka teki puustotuhoja ja katkoi sähköjä laajoilta alueilta. Tornion ilmanlaadun mittausasemille myrskytuulet eivät kuitenkaan osuneet, sillä hetkellinen tuulennopeus oli myrskyn aikana enimmillään vain 7,7 m/s.



Kuva 37. Tornion keskustan ja Näätsaaren ilmanlaadun mittausasemien katolta mitatut tuulensuunnat (ilmansuuntasektorit) ja tuulennopeudet (m/s) vuonna 2020. Tyynien tilanteiden osuus oli keskustassa 5 % ja Näätsaareissa 20 % kaikista tuulista. Tyyniksi on tässä tarkastelussa luokiteltu alle 0,5 m/s tuulen nopeudet.

5.2 Keskilämpötilat Tornion seudulla

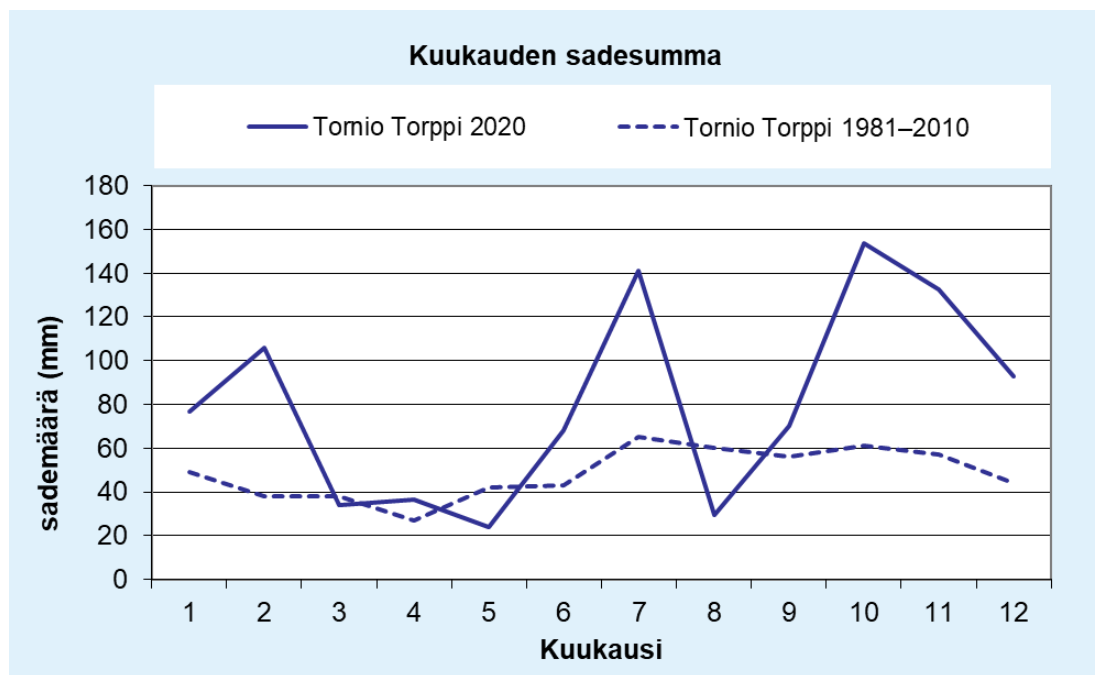
Ilmatieteen laitoksen ylläpitämä Kemi-Tornion lentoaseman sääasema on lähimpänä sijaitseva virallinen sääasema. Kuvassa 38 on vertailtu Tornion ilmanlaadun mittausasemilla mitattuja lämpötiloja tällä sääasemalla mitattuihin ilmastollisen vertailukauden 1981–2010 lämpötiloihin (*Pirinen, ym., 2012*). Tornion lämpötila oli vuonna 2020 noin 3,5 astetta korkeampi kuin vertailukaudella 1981–2010. Tammikuun ja joulukuun keskilämpötila oli yli 7 astetta korkeampi kuin lämpötilan pitkän ajan keskiarvo. Toukokuun ja heinäkuun keskilämpötila oli sen sijaan hiukan matalampi kuin pitkän ajan keskiarvo. Heinäkuu oli tänä vuonna osassa maata kesän kolein kuukausi, vaikka yleensä heinäkuu on kesän lämpimin kuukausi.



Kuva 38. Lämpötilan kuukausikeskiarvot Tornion keskustassa ja Näätsaassa vuonna 2020, Kemi-Tornion lentoasemalla mitattuihin ilmastollisen vertailukauden 1981–2010 pitkäaikaikeskiarvoihin nähden.

5.3 Sademäärät Tornion seudulla

Ilmatieteen laitoksen ylläpitämä Tornion Torpin sääasema on ilmanlaadun mittausasemia lähimpänä sijaitseva sademäärää mittaava virallinen sääasema. Kuvassa 39 on vertailtu tällä sääasemalla mitattuja vuoden 2020 kuukausisademääriä (*Ilmatieteen laitos, 2021 b*) ilmastollisen vertailukauden 1981–2010 sademääriin (*Pirinen, ym., 2012*). Koko vuoden sademäärä Torpissa oli 966 mm, mikä on 67 % suurempi kuin vertailukauden 1981–2010 sademäärä. Heinäkuussa ja loka-marraskuussa Torniossa satoi merkittävästi enemmän kuin seudulla keskimäärin näiden kuukausien aikana sataa. Etenkin kesäisin kuurosateet saattavat olla hyvinkin paikallisia, mikä helposti vaikuttaa myös paikallisiin sademääriin. Elokuun aikana satoi tavanomaista vähemmän lähes koko maassa, myös Torniossa.



Kuva 39. Kuukausisademäärät Ilmatieteen laitoksen Tornion Torpin sääasemalla vuonna 2020 ja ilmastollisella vertailukaudella 1981–2010.

5.4 Ilmanlaatuun vaikuttavat säätekijät

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

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

heikkoa ja näin ollen ilmaa sekoittava pyörteisyys on vähäistä, minkä vuoksi ilmansaasteiden pitoisuudet laimenevat huonosti. Inversiotilanteissa pitoisuudet kohoavat, koska ilmansaasteet kerääntyvät matalaan ilmakerrokseen päästölähteiden lähelle.

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

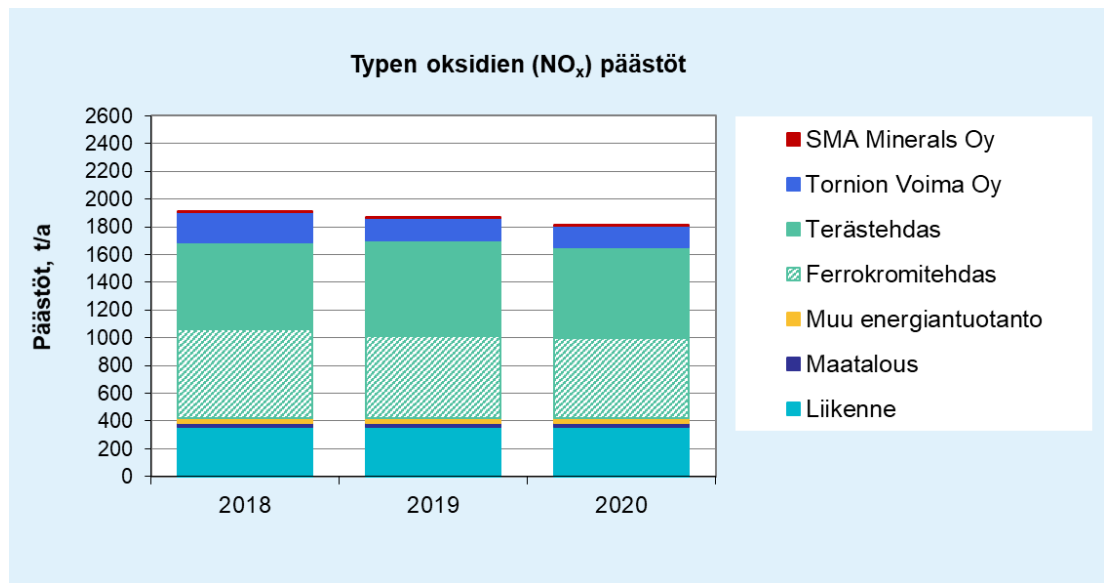
Keväisin merkittävin ilmanlaatuhaittojen aiheuttaja on katupöly. Katupölyä syntyy, kun lumet sulavat keväällä ja talven aikana tien varsille kerääntynyt hiukkasmassa vapautuu ilmaan tuulen ja liikennevirtojen vaikutuksesta katujen kuivuttua. Lumien sulamisvedet, sateet ja pölynsidonta suolaliuoksella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

6. TORNION PÄÄSTÖTIEDOT

Tornion typenoksidien, hiukkasten, PAH-yhdisteiden ja metallien päästötiedot viimeiseltä 3 vuodelta on esitetty kuvissa 40–46. Tornion alueella toimivien yritysten päästötiedot on saatu suoraan toiminnanharjoittajilta. Ilmanlaadun yhteistarkkailuun osallistuvat yritykset ovat Outokumpu Stainless Oy, Tornion Voima Oy ja SMA Minerals Oy. Outokumpu Stainless Oy:n osalta päästöt on esitetty ferrokromitehtaalle ja terästehtaalle erikseen. Päästötiedot sisältävät toteutuneet päästöt eli laitosten kunkin vuoden normaalitoiminnan ja vuoden aikana mahdollisesti tapahtuneiden häiriötilanteiden aikaiset päästöt.

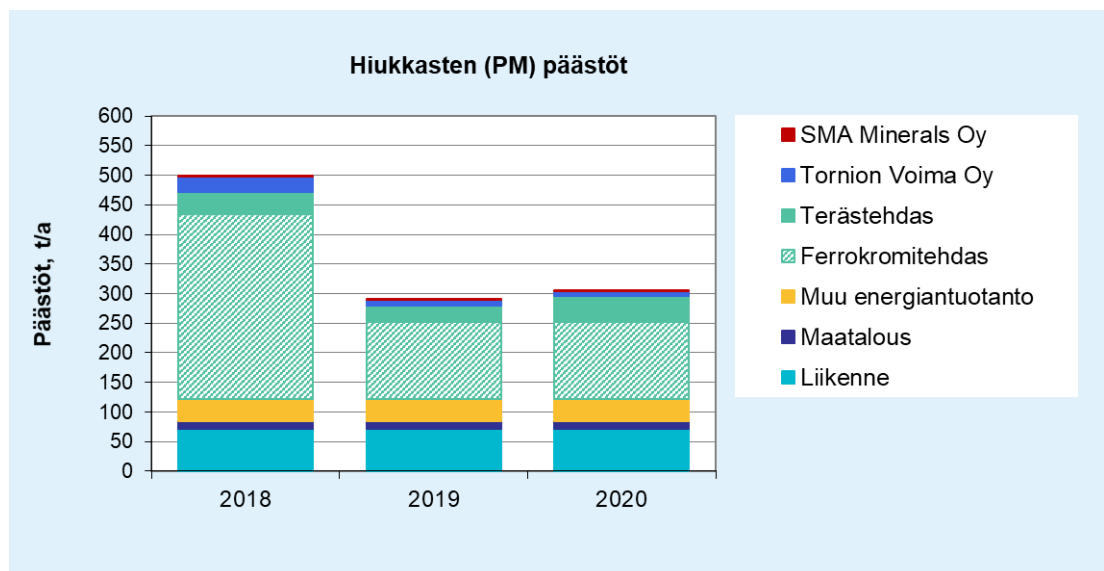
Muut kuvaajissa esitetyt Tornion päästötiedot ovat peräisin Suomen ympäristökeskuksen kuntakohtaisesta päästöinventaariosta (Syke, 2021). Ilman epäpuhtauspäästöjen inventaario tehdään EMEP:n ja Euroopan ympäristökeskuksen ohjeistuksen (EEA Inventory Guidebook 2019) mukaan. Päästöinventaariossa on viisi päästöluokkaa: energiantuotanto ja teollisuus, liikenne, maatalous, muu energiantuotanto sekä tuotteet ja jätteet. Näistä luokka 'energiantuotanto ja teollisuus' on nyt kuvaajissa korvattu toiminnanharjoittajien omilla tiedoilla. Luokkaan 'muu energiantuotanto' sisältyy pieniä lämmityskattiloita, kuten kaupallisten ja julkisten rakennusten sekä asutuksen lämmönlähteitä. Tähän luokkaan kuuluvat myös kiinteistökohtaiset puun pienpolton tulisijat, sekä muuta tilastoitua polttoaineen käyttöä, jota ei voida kohdistaa yksittäisiin polttolaitoksiin. Luokka 'tuotteet ja jätteet' on päästömääriltään kokonaisuudessaan niin pieni, ettei se näy kuvaajissa lainkaan. Syken päästöinventaario ulottuu vuoteen 2018 saakka, joten kaikkina kolmena vuotena kuvaajissa on käytetty vuoden 2018 arvoja.

Typenoksidien kokonaispäästöt ovat hiukan laskeneet viimeisen 3 vuoden aikana (kuva 40). Vuonna 2020 kokonaispäästö määrä oli noin 1 800 t/a. Tornion typenoksidien päästöistä 68 % oli peräisin Outokumpu Stainless Oy:n toiminnoista, 8 % Tornion voima Oy:n ja alle 1 % SMA Minerals Oy:n toiminnoista. Liikenteen osuus oli 20 % päästöistä ja muun energiantuotannon osuus 2 %.



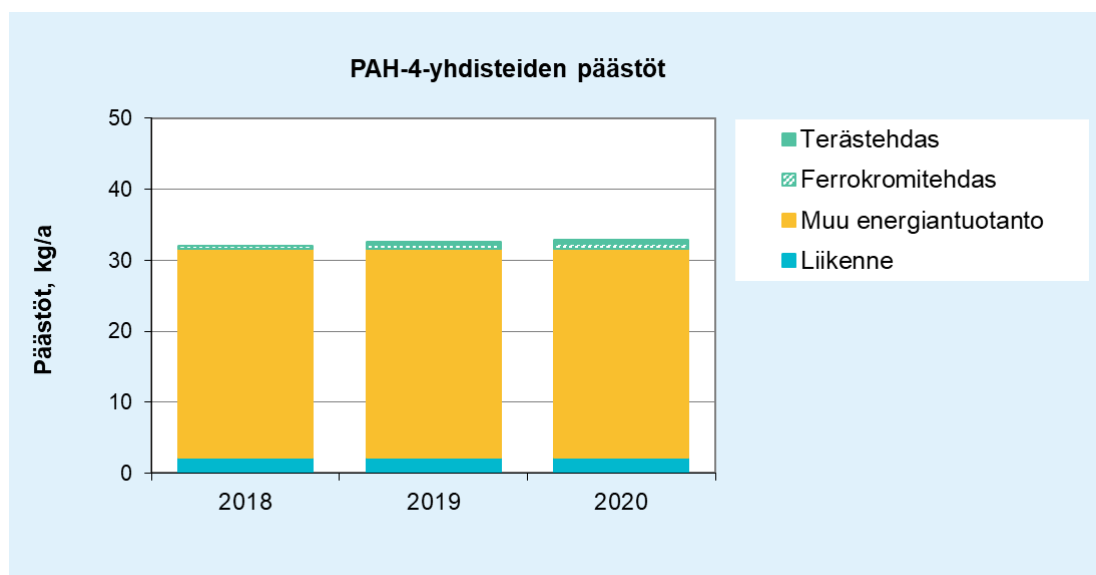
Kuva 40. Typenoksidien päästöt Torniossa vuosina 2018–2020. Outokumpu Stainless Oy:n terästehdas ja ferrokromitehdas on esitetty kuvaajissa eriteltynä. Tuotteet ja jätteet -päästöluokan päästöosuudet ovat niin pieniä (<0,1 t/a), etteivät ne näy kuvaajissa.

Hiukkasten kokonaispäästöt ovat pienentyneet merkittävästi viimeisen kolmen vuoden aikana (kuva 41). Vuonna 2020 kokonaispäästö määrä oli noin 304 t/a. Suurin päästövähennys tapahtui vuonna 2019, jolloin Outokummun Ferrokromitehtaan hiukkaspäästöt putosivat noin alle puoleen edellisvuoden päästö määrästä. Tornion hiukkaspäästöistä 58 % oli kuitenkin edelleen vuonna 2020 peräisin Outokumpu Stainless Oy:n toiminnoista, ja vain 2 % Tornion Voima Oy:n ja alle 1 % SMA Minerals Oy:n toiminnoista. Liikenteen osuus kokonaispäästöistä oli 23 % ja muun energiantuotannon osuus 12 %. Muu energiantuotanto sisältää mm. kiinteistökohtaisen lämmityksen hiukkaspäästöt. Maataloudesta arvioidaan tulevan 4 % Tornion hiukkaspäästöistä.



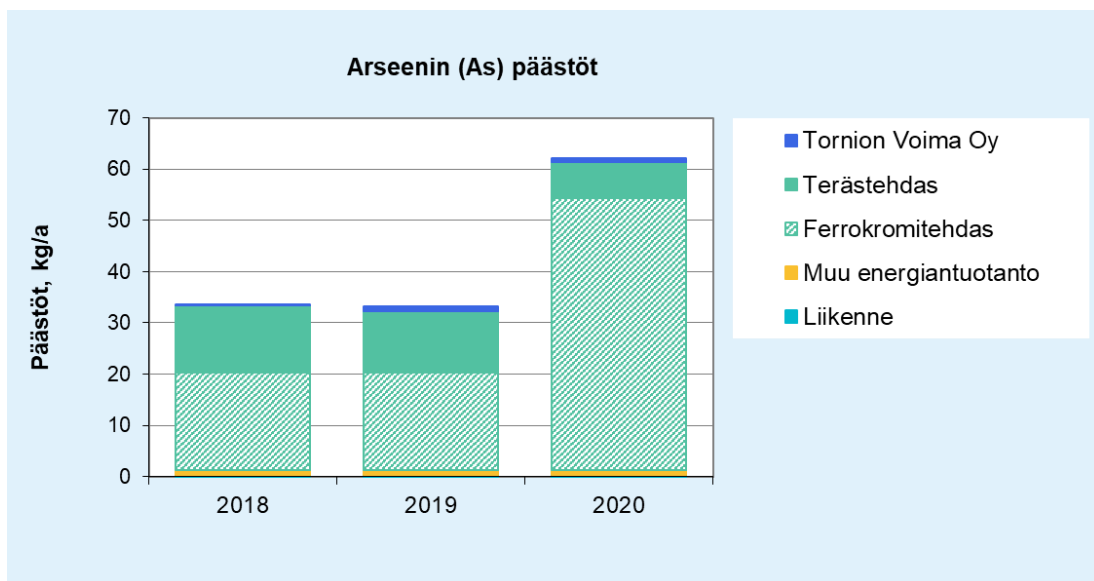
Kuva 41. Hiukkasten päästöt Torniossa vuosina 2018–2020. Outokumpu Stainless Oy:n terästehdas ja ferrokromitehdas on esitetty kuvaajissa eriteltynä. Tuotteet ja jätteet -päästöluokan päästöosuudet ovat niin pieniä (1 t/a), etteivät ne näy kuvaajissa.

PAH-yhdisteiden ilmapäästöt ilmoitetaan päästöinventaarioissa muodossa PAH-4, joka on summa neljän eri yhdisteen päästöistä (bentso(a)pyreeni, bentso(b)fluoranteeni, bentso(k)fluoranteeni ja indeno(1,2,3-cd)pyreeni). PAH-4-yhdisteiden kokonaispäästöt ovat kasvaneet hienoisesti viimeisen kolmen vuoden aikana, mikä johtuu kasvaneista päästöistä sekä terästehtaalla että ferrokromitehtaalla (kuva 42). Suurin osa, noin 89 %, Tornion alueen PAH4-kokonaispäästöstä on kuitenkin peräisin muusta energiantuotannosta, erityisesti kiinteistökohtaisen puun pienpolton päästöistä. Outokumpu Stainless Oy:n toimintojen osuus alueen kokonaispäästöstä on noin 4 % ja liikenteen osuus noin 7 %.

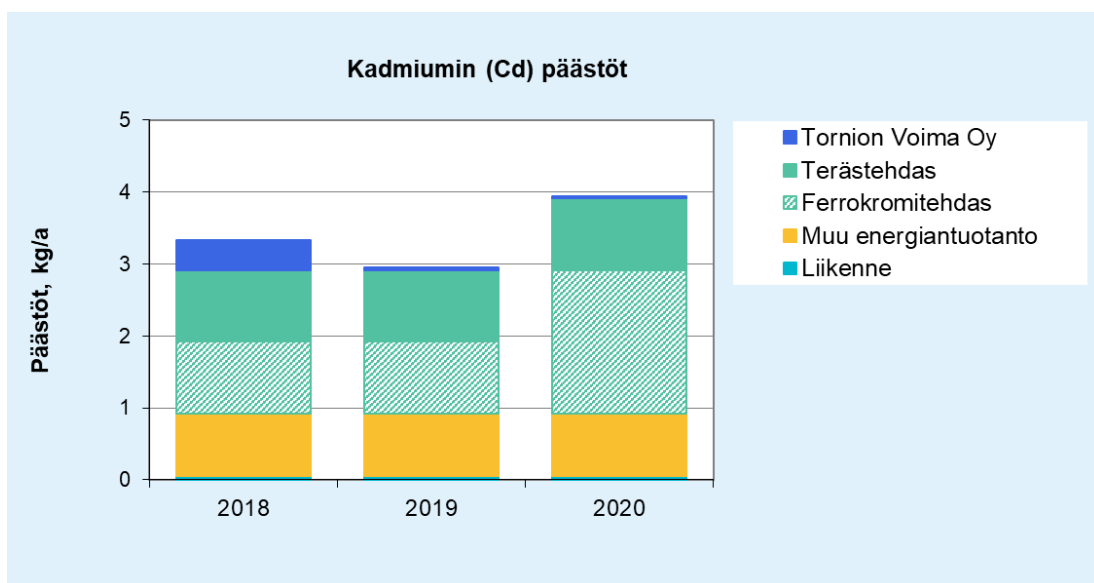


Kuva 42. PAH-4-päästöt Torniossa vuosina 2018–2020. Outokumpu Stainless Oy:n terästehdas ja ferrokromitehdas on esitetty kuvaajissa eriteltynä.

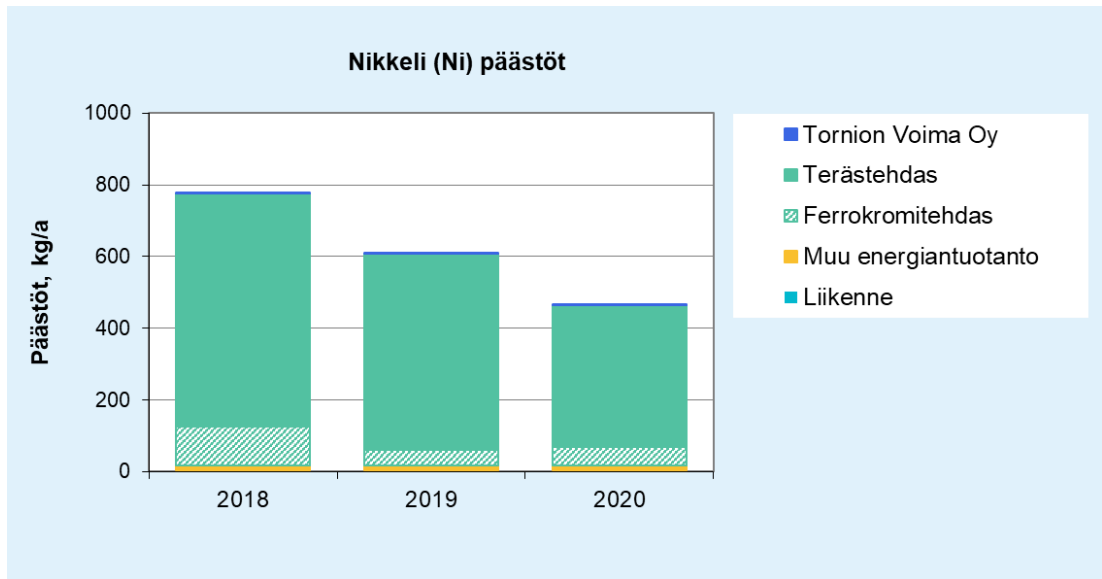
Arseenin, kadmiumin, nikkelin ja lyijyn kokonaispäästöt Torniossa viimeisen kolmen vuoden aikana on esitetty kuvissa 43–46. Nämä päästöt ovat valtaosin peräisin Outokumpu Stainless Oy:n toimintoista. Vain kadmiumin kohdalla muun energiantuotannon osuus on merkittävä, noin 28 % kokonaispäästöstä. Arseeni, nikkelin ja lyijyn osalta muiden päästölähteiden kuin Outokummun toimintojen osuus on alle 3 % kokonaispäästöstä vuonna 2020. Arseenin, kadmiumin ja lyijyn kokonaispäästöt ovat jaksolla kasvaneet ja nikkelin kokonaispäästöt puolestaan pienentyneet. Päästöjen kasvu on tapahtunut ferrokromitehtaalla etenkin vuonna 2020. Nikkelipäästöjen väheneminen on puolestaan aiheutunut terästehtaan päästöjen voimakkaasta vähentymisestä.



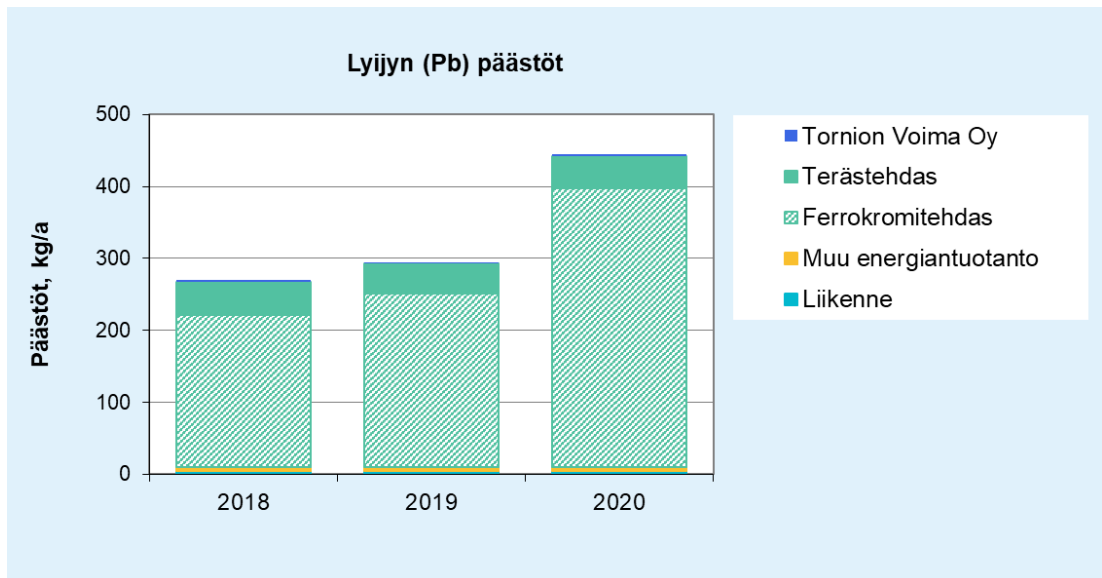
Kuva 43. Arseenin päästöt Torniossa vuosina 2018–2020. Outokumpu Stainless Oy:n terästehdas ja ferrokromitehdas on esitetty kuvaajissa eriteltynä.



Kuva 44. Kadmiumin päästöt Torniossa vuosina 2018–2020. Outokumpu Stainless Oy:n terästehdas ja ferrokromitehdas on esitetty kuvaajissa eriteltynä.



Kuva 45. Nikkelin päästöt Torniossa vuosina 2018–2020. Outokumpu Stainless Oy:n terästehdas ja ferrokromitehdas on esitetty kuvaajissa eriteltynä.



Kuva 46. Lyijyn päästöt Torniossa vuosina 2018–2020. Outokumpu Stainless Oy:n terästehdas ja ferrokromitehdas on esitetty kuvaajissa eriteltynä.

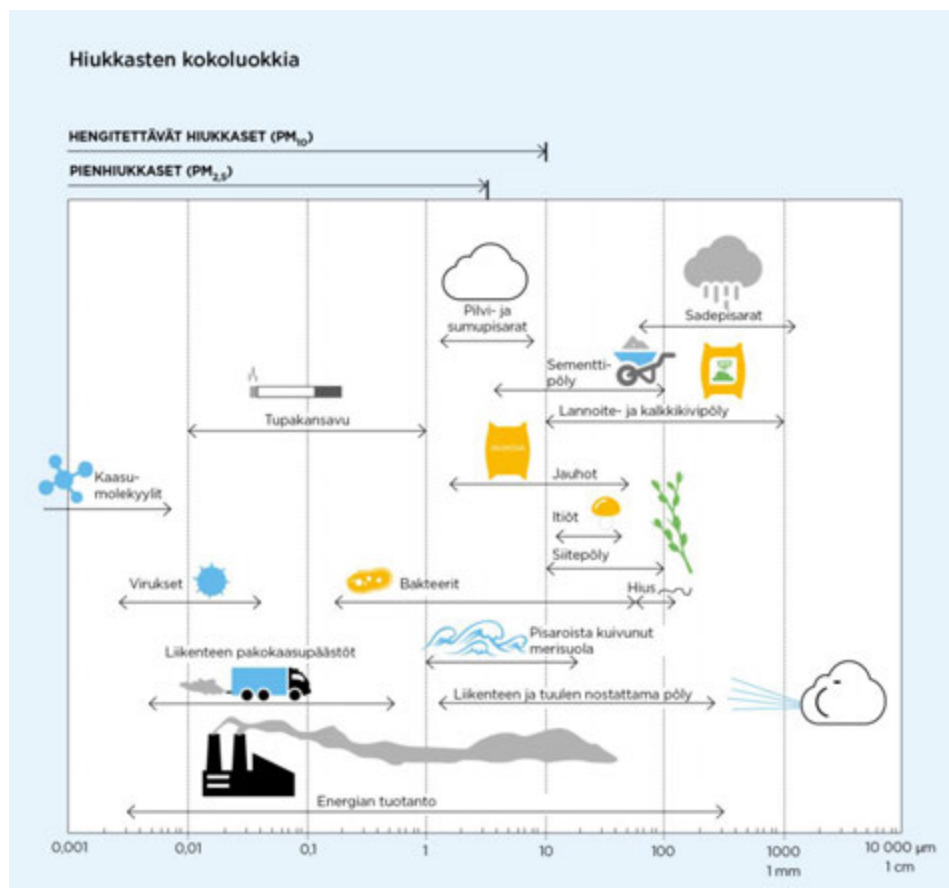
7. TAUSTATIETOA ILMAN EPÄPUHTAUKSISTA

7.1 Hiukkaset

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

Ulkoilman hiukkasten koko on yhteydessä niiden aiheuttamiin erilaisiin vaikutuksiin. Suurempien hiukkasten korkeat pitoisuudet vaikuttavat merkittävimmin viihtyvyyteen ja aiheuttavat likaantumista. Terveysvaikutuksiltaan haitallisempia ovat ns. hengitettävät hiukkaset ja pienhiukkaset, jotka kykenevät tunkeutumaan syvälle ihmisten hengitysteihin. Hengitettäville hiukkasille, joiden halkaisija on alle 10 mikrometriä (PM_{10}), on annettu ilmanlaadun ohje- ja raja-arvot. Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet kohoavat erityisesti keväällä, jolloin jauhautunut hiekoitushiekka ja asfalttipöly nousevat ilmaan kuivilta kaduilta liikenteen nostattamana. Pienhiukkaset, joiden halkaisija on alle 2,5 mikrometriä ($PM_{2,5}$), ovat pääasiassa peräisin suorista autoliikenteen ja teollisuuden päästöistä ja kaukokulkeumasta, jonka lähde voi olla esimerkiksi metsä- ja maastopalot. Hiukkasten kokoluokkia on havainnollistettu kuvassa 47.

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.



Kuva 47. Hiukkasten kokoluokkia. Hiukkasten koko ilmaistaan halkaisijana mikrometreissä (μm). Mikro (μ) etuliite tarkoittaa miljoonasosaa. 1 μm on siten metrin metrin miljoonasosa eli millimetrin tuhannesosa.

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 $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ alittuu Suomessa. Hengitettävien hiukkasten pitoisuuden vuosikeskiarvot ovat olleet viime vuosina Suomen kaupungeissa noin $5\text{--}20 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Vilkkaimmilla teillä ja katukuiluosuuksilla vuosipitoisuudet voivat olla yli $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Puhtailla tausta-alueilla vuosikeskiarvopitoisuudet ovat olleet Etelä-Suomessa noin $9\text{--}14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja Pohjois-Suomessa noin $3\text{--}5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Ilmatieteen laitos, 2021 c).

Pienhiukkaspitoisuuden vuosikeskiarvolle määritetty raja-arvo $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ alittuu selvästi kaikkialla Suomessa. Viime vuosina pienhiukkasten vuosikeskiarvopitoisuus on ollut pääkaupunkiseudun kaupunkialueilla noin $5\text{--}9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja muilla kaupunkialueilla noin $2\text{--}8 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Pitoisuuserot erityyppisten mittausympäristöjen välillä ovat muutamia mikrogrammoja. Puhtailla tausta-alueilla vuosikeskiarvopitoisuudet ovat olleet Etelä-Suomessa noin $4\text{--}6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja Pohjois-Suomessa noin $2\text{--}3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (*Ilmatieteen laitos, 2021 c*). Pienhiukkasten taustapitoisuudesta valtaosa on kaukokulkeutunutta hiukkasainesta. Kaukokulkeuma muodostaa huomattavan osan myös kaupunki-ilman pienhiukkaspitoisuuksista.

7.2 Typen oksidit

Typen yhdisteitä vapautuu päästölähteistä ilmaan typen oksideina eli typpimonoksidina (NO) ja typpidioksidina (NO₂). Näistä yhdisteistä terveysvaikutuksiltaan haitallisempaa on typpidioksidi, jonka pitoisuuksia ulkoilmassa säädellään ilmanlaadun ohje- ja raja-arvoilla. Typpidioksidin määrään ilmassa vaikuttavat myös kemialliset muutuntareaktiot, joissa typpimonoksidi hapettuu typpidioksidiksi.

Ulkoilman typpidioksidipitoisuuksille altistuminen on suurinta kaupunkien keskustojen ja taajamien liikenneympäristöissä. Typpidioksidipitoisuudet kohoavat tyypillisesti ruuhka-aikoina. Korkeimmillaan typpidioksidipitoisuudet ovat erityisesti tyyneinä ja kylminä talvipäivinä, jolloin myös energiantuotannon päästöt ovat suurimmillaan. Taajamien ja kaupunkien korkeimmat typpidioksidipitoisuudet aiheuttaa pääasiassa ajoneuvoliikenne, vaikka energiantuotannon ja teollisuuden aiheuttamat päästöt (pistemäiset päästölähteet) olisivat määrällisesti jopa suurempia autoliikenteeseen verrattuna. Ihmiset altistuvat helposti liikenteen päästöille, sillä autojen pakokaasupäästöt vapautuvat hengityskorkeudelle.

Typpidioksidin vuosiraja-arvo 40 µg/m³ alittuu nykyisin Suomessa. Typpidioksidin vuosikeskiarvopitoisuudet ovat olleet viime vuosina suurimmissa kaupungeissa keskimäärin 15–25 µg/m³. Vilkkaimmilla teillä ja katukuiluosuuksilla vuosipitoisuudet voivat olla yli 25 µg/m³. Pienissä ja keskisuurissa kaupungeissa typpidioksidin vuosikeskiarvot ovat yleensä noin 5–15 µg/m³ mittausympäristöstä riippuen. Typpidioksidin tuntipitoisuudet voivat kohota yli raja-arvotason (200 µg/m³) yksittäisillä mitausasemilla muutamina tunteina vuodessa. Ylitystunteja saa olla vuodessa 18 kpl, ennen kuin raja-arvo katsotaan ylittyneeksi. Puhtailla tausta-alueilla typpidioksidin vuosikeskiarvot ovat olleet Etelä-Suomessa noin 1,5–4 µg/m³ ja Pohjois-Suomessa noin 1 µg/m³ (*Ilmatieteen laitos, 2021 c*).

7.3 Arseeni ja metallit

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

Kadmium (Cd), nikkeli (Ni) ja arseeni (As) ovat tässä tutkimuksessa hiukkasnäytteistä määritetyistä alkuaineista terveys- ja ympäristövaikutuksiltaan merkittävimpiä. Niiden vuosikeskiarvopitoisuuksille on Suomessa säädetty tavoitearvot (*Vna 113/2017*). Myös ulkoilman lyijyn (Pb) vuosipitoisuuksille on annettu raja-arvo (*Vna 79/2017*), mutta raja-arvo alittuu selkeästi kaikkialla Suomessa eikä lyijy ole enää keskeinen ilmanlaatu-tekijä 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, 2021*). 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, 2021 a).

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

Kadmium

Kadmium on pehmeä, hopeanvalkea metalli, joka höyrystyessään hapettuu nopeasti kadmiumdiksi. 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, 2021). 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, 2021 a).

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

Nikkeli

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

Nikkeliä vapautuu ulkoilmaan pääasiassa polttoaineiden ja jäteöljyn poltossa sekä nikkelimalmin louhinnassa ja jalostuksessa. Ulkoilman tärkeitä nikkeliyhdisteitä ovat nikkelisulfaatti ja nikkelioksidi,

joita syntyy esimerkiksi energiantuotannossa. Öljyn ja hiilen poltossa muodostuvat hiukkaset sisältävät lisäksi myös monimutkaisia metallioksideja ja metalliteollisuuden päästöissä esiintyy myös metallista nikkeliä. Nikkelin kokonaispäästöiksi Suomessa on arvioitu 12 tonnia vuonna 2019 (Syke, 2021). Helsingin Kallion kaupunkitausta-aseamalla nikkelin vuosikeskiarvot ovat vuosina 2009–2015 vaihdelleet välillä 2–4 ng/m³ (HSY, 2016). Raahen Lapaluodon teollisuusasemalla pitoisuudet ovat vastaavasti olleet 1,6–4,5 ng/m³ vuosina 2012–2019 (Raahen kaupunki, 2020). Tavoitearvon 20 ng/m³ ylityksiä on viime vuosina Suomessa mitattu ainoastaan Harjavallan Kalevan mittausasemalla (Ilmatieteen laitos, 2021 a).

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

7.4 PAH-yhdisteet

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

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

Bentso(a)pyreenin pitoisuudet ja vuodenaikaisvaihtelu kuvaavat hyvin muidenkin PAH-yhdisteiden ominaisuuksia. Talvella PAH-yhdisteiden pitoisuudet ovat suurempia kuin kesällä, koska mm. energiantuotannon ja puunpolton takia PAH-yhdisteiden päästöt ovat talvikaudella suuremmat. Toisin kuin monet muun ilmansaasteen päästöt, bentso(a)pyreenin päästöt ilmaan ovat kasvaneet Euroo-

passa viime vuosina. Tämä johtuu suurimmaksi osaksi lisääntyneestä biomassan poltosta. Noin neljäsosa Euroopan kaupunkien väestöstä altistui EU:n tavoitearvon 1 ng/m^3 ylittävälle bentso(a)pyreenipitoisuuksille (EEA, 2020).

Suomessa bentso(a)pyreeni on tyypillisesti pientaloalueiden ongelma. Näillä alueilla poltetaan paljon puuta ja mitatut pitoisuuksien vuosikeskiarvot ovat usein tavoitearvon tuntumassa. Korkeita pitoisuuksia esiintyy erityisesti talvisin. Bentso(a)pyreenin tavoitearvon 1 ng/m^3 ylityksiä on Suomessa mitattu viime vuosina ainoastaan Raahen Lapaluodon mittausasemalla. Siellä tavoitearvo on ylittynyt vuosina 2018 ja 2019. Bentso(a)pyreenin mittauksia on Suomessa melko harvassa, mutta mallilaskelmien mukaan tavoitearvoa lähellä olevia tai jopa sen ylittäviä pitoisuuksia esiintyisi melko tasaisesti ympäri Suomea asutuskeskuksissa alueilla, joissa on paljon puunpolttoa (*Ilmatieteen laitos, 2021 a*).

7.5 Ilman epäpuhtauksien terveysvaikutukset

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

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

Tieteellinen näyttö pienhiukkasten haitallisista terveysvaikutuksista on erittäin laaja. Hiukkaset kulkeutuvat ilman mukana kaikkiin osiin hengitysteistä, 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.

7.6 Ilmanlaadun ohje- ja raja-arvot

Ohjearvot ovat ilman epäpuhtauksien pitoisuuksia, joiden alittaminen on tavoitteena. Ohjearvoilla esitetään riittävän hyvän ilmanlaadun tavoitteet. Ohjearvot eivät ole sitovia, mutta niitä sovelletaan maankäytön ja liikenteen suunnittelussa, rakentamisen muussa ohjauksessa sekä ilman pilaantumisen vaaraa aiheuttavien toimintojen sijoittamisessa ja lupakäsittelyssä. Ohjearvojen ylittyminen on pyrittävä estämään ennakolta ja pitkällä aikavälillä alueilla, joilla ilmanlaatu on tai saattaa toistuvasti olla huonompi kuin ohjearvo edellyttäisi. Ilmanlaadun ohjearvot on määritelty valtioneuvoston päätöksessä ilmanlaadun ohjearvoista ja rikkilaskeuman tavoitearvosta (*Vnp 480/1996, taulukko 6*).

Raja-arvot ovat ilman epäpuhtauden pitoisuuksia, jotka on alitettava määräajassa. Kun raja-arvo on alitettu, sitä ei enää saa ylittää. Raja-arvot ovat sitovia. Raja-arvon ylityksessä 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 7.

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 määritetty valtioneuvoston asetuksessa *Vna 113/2017* ja ne on esitetty taulukossa 7.

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 määritetty ilmanlaatuasetuksessa (*Vna 79/2017*).

Taulukko 6. Ilmanlaadun ohjearvot terveyshaittojen ehkäisemiseksi (*Vnp 480/1996*).

Ilman epäpuhtaus	Ohjearvo $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Tilastollinen määrittely
Typpidioksidi (NO_2)	150 ¹⁾	Kuukauden tuntiarvojen 99. prosenttipiste
	70 ¹⁾	Kuukauden toiseksi suurin vuorokausiarvo
Hengitettävät hiukkaset (PM_{10})	70 ²⁾	Kuukauden toiseksi suurin vuorokausiarvo
Pienhiukkaset ($\text{PM}_{2,5}$)	25 ^{2 ja 3)}	Korkein vuorokausiarvo

¹⁾ Tulokset ilmaistaan lämpötilassa 293 K ja paineessa 101,3 kPa.

²⁾ Tulokset ilmaistaan ulkoilman lämpötilassa ja paineessa.

³⁾ WHO:n suosituksenomainen ohjearvo, ei ole osa Suomen ilmanlaatulainsäädäntöä.

Taulukko 7. Ilmanlaadun raja-arvot, tavoitearvot ja arviointikynnykset (Vna 79/2017; Vna 113/2017). Kaasumaisilla yhdisteillä tulokset ilmaistaan 293 K lämpötilassa ja 101,3 kPa paineessa. Lyijyn ja hiukkasten tulokset ilmaistaan ulkoilman lämpötilassa ja paineessa.

Ilman epäpuhtaus	Tilastollinen tunnusluku	Ylempi arviointikynnys		Alempi arviointikynnys	
Typpidioksidi (NO₂) (µg/m³)	Raja-arvo				
1 tunti (saa ylittyä 18 krt/vuosi)	200	140	(70 %)	100	(50 %)
Kalenterivuosi	40	32	(80 %)	26	(65 %)
Hengitettävät hiukkaset (PM₁₀) (µg/m³)	Raja-arvo				
24 tuntia (saa ylittyä 35 krt/vuosi)	50	35	(70 %)	25	(50 %)
vuosi	40	28	(70 %)	20	(50 %)
Pienhiukkaset (PM_{2,5}) (µg/m³)	Raja-arvo				
kalenterivuosi	25	17	(70 %)	12	(50 %)
Lyijy (Pb) (µg/m³)	Raja-arvo				
kalenterivuosi	0,5	0,35	(70 %)	0,25	(50 %)
Arseeni (As) (ng/m³)	Tavoitearvo				
kalenterivuosi	6	3,6	(60 %)	2,4	(40 %)
Kadmium (Cd) (ng/m³)	Tavoitearvo				
kalenterivuosi	5	3	(60 %)	2	(40 %)
Nikkeli (Ni) (ng/m³)	Tavoitearvo				
kalenterivuosi	20	14	(70 %)	10	(50 %)
Bentso(a)pyreeni (BaP) (ng/m³)	Tavoitearvo				
kalenterivuosi	1	0,6	(60 %)	0,4	(40 %)

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

VIITELUETTELO

Alaviippola, B., Saari, H. ja Pesonen, R., 2012. Ilmanlaatumittaukset Tornion Keskustassa ja Näät-saaressa. Mittaustulokset jaksolta helmikuu 2011–helmikuu 2012. Ilmatieteen laitos, Ilmanlaadun asiantuntijapalvelut, 49 s. + 10 liites.

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>

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

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

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>

Hänninen, O., Korhonen, A., Lehtomäki, H., Asikainen, A., Rumrich, I., 2016. Ilmansaasteiden terveysvaikutukset. Ympäristöministeriön raportteja 16/2016.
https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/74861/YMra_16_2016.pdf

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

Ilmatieteen laitos, 2021 a. Ilmatieteen laitoksen ylläpitämä Ilmanlaatu Suomessa -sivusto, josta on saatavilla mittauksien ja historiatietoja pitoisuuksista lähes kaikilta Suomen ilmanlaadun seuranta-asemilta, lisäksi sivustolla teematietoa ilmansaasteista: <https://ilmatieteenlaitos.fi/ilmanlaatu>

Ilmatieteen laitos, 2021 b. Säähavainnot. <https://ilmatieteenlaitos.fi/havaintojen-lataus#!/>

Ilmatieteen laitos, 2021 c. Ympäristönsuojelun tietojärjestelmän ilmanlaatuosa, tarkistettut mittauks-
 lokset. <https://ilmatieteenlaitos.fi/havaintojen-lataus#!/>

Komppula, B., Saari, H. ja Pesonen, R., 2014. Ilmanlaatumittaukset Tornion Ruohokarissa ja Haa-parannan Riekkolassa. Pienhiukkasten, hengitettävien hiukkasten, arseenin ja metallien pitoisuudet vuonna 2013. Ilmatieteen laitos, Asiantuntijapalvelut, Ilmanlaatu ja energia. 53 s. + 16 liites.

Oulun kaupunki, 2021. Tiedot vuoden 2020 ilmanlaadusta Oulun Keskustan ja Pyykösjärven mit-tausasemilta. Heikki Orava, Oulun seudun ympäristötoimi.

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

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

Saari, H., Salmi, J., Vestenius, M., Kyllönen, K., Makkonen, U., Wemberg, A., Laakia, J. ja Latikka, J., 2018. Outokumpu Stainless Oy. Ilmanlaatumittaukset Tornion tehtaan ympäristössä. Rikkidioksidin, elohopean, hengitettävien hiukkasten, arseenin, metallien, PAH-yhdisteiden ja ionien pitoisuudet vuonna 2017. Loppuraportti. Ilmatieteen laitos, Asiantuntijapalvelut - Ilmanlaatu ja energia, Helsinki. 64 s. + 18 liites.

Syke, 2021. Ilman epäpuhtauksien päästöt Suomessa. Suomen ympäristökeskus.
http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kartat_ja_tilastot/Ilman_epapuhtauksien_paastot

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

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

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

Walden, J., Waldén, T., Laurila, S. ja Hakola, H., 2017. Demonstration of the equivalence of PM_{2.5} and PM₁₀ measurement methods in Kuopio 2014–2015. Reports 2017:1. Finnish Meteorological Institute, Helsinki, 137 p.
http://expo.fmi.fi/ages/public/PM_Equivalence%20report%20Kuopio_2017.pdf

Walden, J. ja Vestenius, M., 2018. Verification of PM-analyzers for PM₁₀ and PM_{2.5} with the PM reference method. Finnish Meteorological Institute, Reports 2018:2.
http://expo.fmi.fi/ages/public/Raportteja_2018_2_Verification_of_PM-analyzers.pdf

LIITETAULUKOT

Liitetaulukko 1. Tornion **keskustan** ilmanlaadun mittausasemalla mitatut pienhiukkasten (PM_{2,5}) tunti- ja vuorokausipitoisuudet (µg/m³) kuukausittain mittausjaksolla 1.1.–31.12.2020. Pitoisuudet on ilmoitettu ulkoilman lämpötilassa ja paineessa.

PM _{2,5} (µg/m ³)	Tornio keskusta 2020											
	tammi	helmi	maalis	huhti	touko	kesä	heinä	elo	syys	loka	marras	joulu
TUNTIARVOJEN												
lukumäärä	705	696	702	712	744	714	744	739	709	734	710	731
kattavuus (%)	94,8	100	94,4	98,9	100	99,2	100	99,3	98,5	98,7	98,6	98,3
keskiarvo	3,9	3,3	3,9	7,6	6,5	6,6	4,9	5,3	6,1	5,8	5,9	6,8
99. %-piste	17	22	26	24	19	22	14	18	24	19	25	18
korkein arvo	35	38	97	47	29	31	17	31	36	25	96	25
VRK-ARVOJEN												
lukumäärä	28	29	29	29	31	30	31	31	30	31	30	31
2. korkein arvo	7,7	8,6	16	12	11	10	11	9,9	14	12	9,4	12
korkein arvo	9,5	11	18	15	12	15	12	15	14	14	16	13

Liitetaulukko 2. Tornion **Näätasaaren** ilmanlaadun mittausasemalla mitatut pienhiukkasten (PM_{2,5}) tunti- ja vuorokausipitoisuudet (µg/m³) kuukausittain mittausjaksolla 1.1.–31.12.2020. Pitoisuudet on ilmoitettu ulkoilman lämpötilassa ja paineessa.

PM _{2,5} (µg/m ³)	Tornio Näätasaari 2020											
	tammi	helmi	maalis	huhti	touko	kesä	heinä	elo	syys	loka	marras	joulu
TUNTIARVOJEN												
lukumäärä	680	637	739	720	742	681	687	739	711	729	698	744
kattavuus (%)	91,4	91,5	99,3	100	99,7	94,6	92,3	99,3	98,8	98	96,9	100
keskiarvo	3,6	3,5	3,4	4,6	4,7	6,1	4,6	4,8	4,7	4,2	4,3	5,0
99. %-piste	18	18	15	17	21	25	16	17	24	15	19	14
korkein arvo	49	32	79	30	33	35	43	41	38	18	80	17
VRK-ARVOJEN												
lukumäärä	27	27	31	30	31	28	28	31	30	31	29	31
2. korkein arvo	7,5	8,2	6,1	7,4	7,8	10	11	10	12	11	9	11
korkein arvo	10	8,9	6,8	8,3	8,0	14	12	10	16	12	15	11

Liitetaulukko 3. Tornion **keskustan** ilmanlaadun mittausasemalla mitatut hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) tunti- ja vuorokausipitoisuudet (µg/m³) kuukausittain mittausjaksolla 1.1.–31.12.2020. Pitoisuudet on ilmoitettu ulkoilman lämpötilassa ja paineessa.

PM ₁₀ (µg/m ³)	Tornio keskusta 2020											
	tammi	helmi	maalis	huhti	touko	kesä	heinä	elo	syys	loka	marras	joulu
TUNTIARVOJEN												
lukumäärä	743	696	727	720	744	714	744	743	720	744	715	566
kattavuus (%)	99,9	100	97,7	100	100	99,2	100	99,9	100	100	99,3	76,1
keskiarvo	6,7	7,1	10	25	16	13	10	10	12	11	13	10
99. %-piste	34	38	94	109	62	37	25	27	52	37	89	22
korkein arvo	57	53	279	129	148	54	30	35	74	64	310	27
VRK-ARVOJEN												
lukumäärä	31	29	30	30	31	30	31	31	30	31	30	20
2. korkein arvo	16	16	57	56	35	24	19	17	31	21	30	15
korkein arvo	16	23	60	74	36	27	21	20	41	28	94	17

Liitetaulukko 4. Tornion **Näätasaaren** ilmanlaadun mittausasemalla mitatut hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) tunti- ja vuorokausipitoisuudet (µg/m³) kuukausittain mittausjaksolla 1.1.–31.12.2020. Pitoisuudet on ilmoitettu ulkoilman lämpötilassa ja paineessa.

PM ₁₀ (µg/m ³)	Tornio Näätasaari 2020											
	tammi	helmi	maalis	huhti	touko	kesä	heinä	elo	syys	loka	marras	joulu
TUNTIARVOJEN												
lukumäärä	729	613	590	720	744	712	737	738	699	680	717	729
kattavuus (%)	98	88,1	79,3	100	100	98,9	99,1	99,2	97,1	91,4	99,6	98
keskiarvo	7,5	8,4	7,7	12	11	13	11	11	13	11	11	9
99. %-piste	39	50	45	42	28	41	32	29	56	34	67	24
korkein arvo	90	133	87	63	136	54	38	114	103	116	226	39
VRK-ARVOJEN												
lukumäärä	30	26	25	30	31	30	31	31	28	28	30	30
2. korkein arvo	13	21	17	20	17	20	20	20	36	23	23	18
korkein arvo	22	21	19	24	18	27	24	24	45	29	57	19

Liitetaulukko 5. Tornion **keskustan** ilmanlaadun mittausasemalla mitatut typpimonoksidin (NO) tunti- ja vuorokausipitoisuudet ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) kuukausittain mittausjaksolla 1.1.–31.12.2020. Pitoisuudet on ilmoitettu 293 K lämpötilassa ja 101,3 kPa paineessa.

NO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Tornio keskusta 2020											
	tammi	helmi	maalis	huhti	touko	kesä	heinä	elo	syys	loka	marras	joulu
TUNTIARVOJEN												
lukumäärä	732	696	736	720	744	712	744	739	720	744	713	736
kattavuus (%)	98,4	100	98,9	100	100	98,9	100	99,3	100	100	99	98,9
keskiarvo	6,3	8,3	3,7	2,6	2,6	2,2	2,4	2,8	3,6	4,3	4,7	4,1
99. %-piste	100	63	24	16	9	10	11	15	20	21	44	18
korkein arvo	161	217	73	19	12	27	18	36	42	59	243	101
VRK-ARVOJEN												
lukumäärä	30	29	31	30	31	29	31	31	30	31	30	31
2. korkein arvo	34	21	9,2	4,5	4,0	3,5	3,9	4,5	7,0	9,3	6,3	8,6
korkein arvo	36	49	14	4,8	4,2	3,7	4,7	6,6	7,4	10,2	41,3	10,9

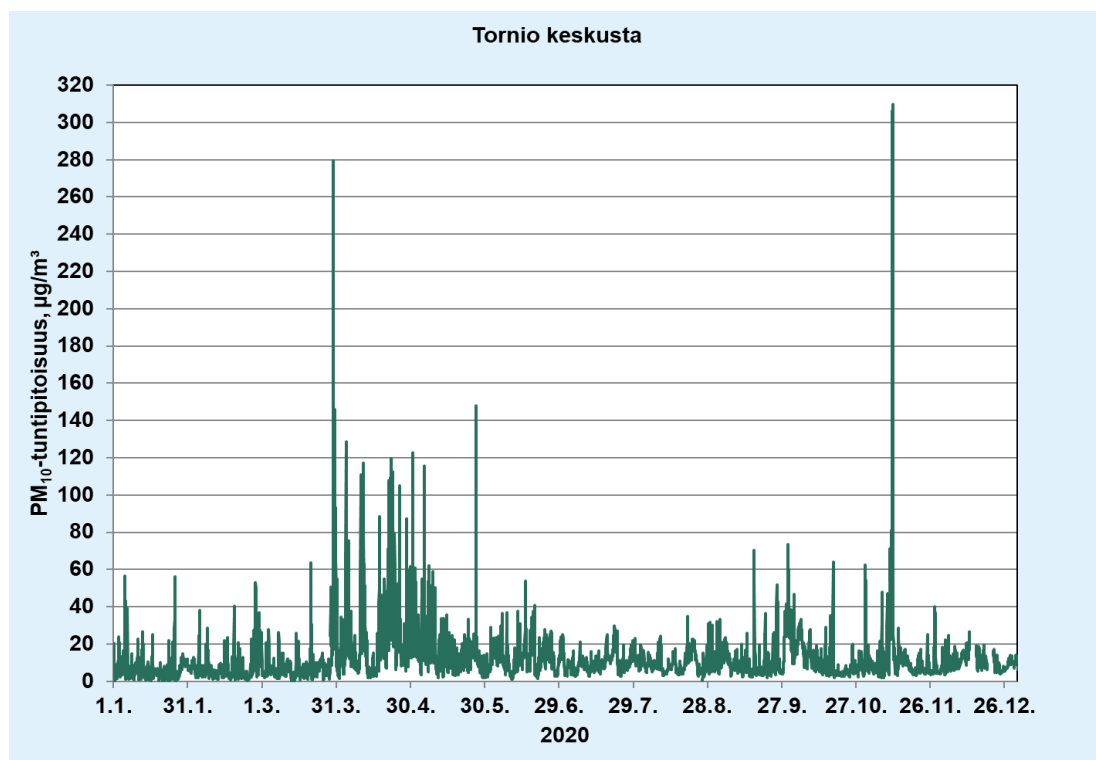
Liitetaulukko 6. Tornion **keskustan** ilmanlaadun mittausasemalla mitatut typpidioksidin (NO_2) tunti- ja vuorokausipitoisuudet ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) kuukausittain mittausjaksolla 1.1.–31.12.2020. Pitoisuudet on ilmoitettu 293 K lämpötilassa ja 101,3 kPa paineessa.

NO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Tornio keskusta 2020											
	tammi	helmi	maalis	huhti	touko	kesä	heinä	elo	syys	loka	marras	joulu
TUNTIARVOJEN												
lukumäärä	732	696	736	720	744	712	744	739	720	744	713	736
kattavuus (%)	98,4	100	98,9	100	100	98,9	100	99,3	100	100	99	98,9
keskiarvo	13	17	10	7,2	6,9	5,2	5,3	5,4	6,5	8,7	8,6	8,8
99. %-piste	82	68	46	36	27	19	21	23	31	34	47	32
korkein arvo	97	107	80	50	43	35	25	39	44	56	85	60
VRK-ARVOJEN												
lukumäärä	30	29	31	30	31	29	31	31	30	31	30	31
2. korkein arvo	32	38	22	12	11	10	9	10	10	14	15	14
korkein arvo	44	53	23	13	11	10	10	10	11	18	36	19

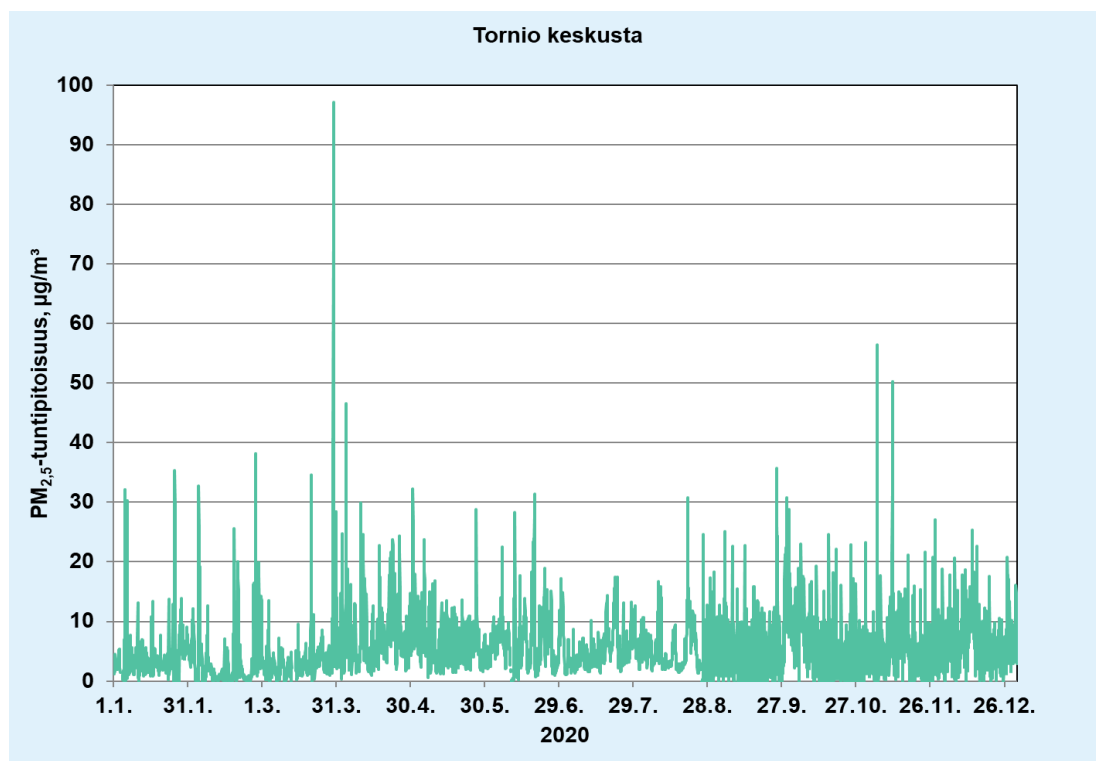
Liitetaulukko 7. Tornion **keskustan** ilmanlaadun mittausasemalla mitatut kokonaistypenoksidien (NO_x) tunti- ja vuorokausipitoisuudet (µg/m³) kuukausittain mittausjaksolla 1.1.–31.12.2020. Pitoisuudet on ilmoitettu 293 K lämpötilassa ja 101,3 kPa paineessa.

[illegible]

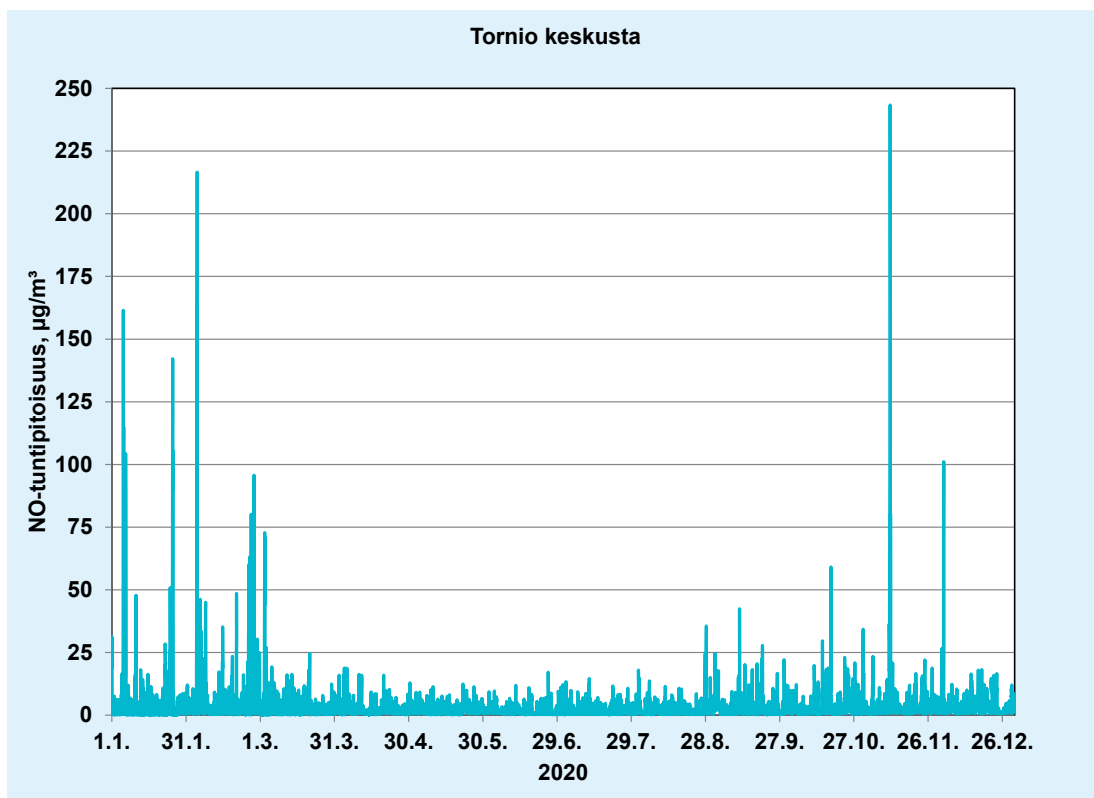
LIITEKUVAT



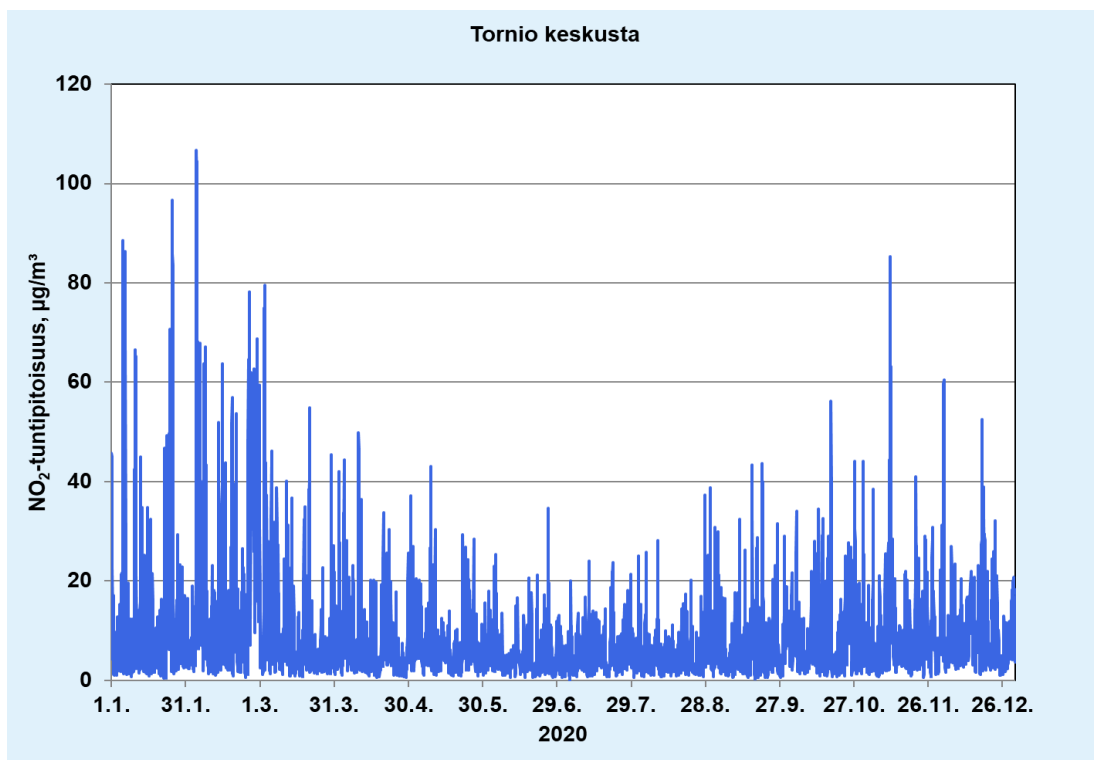
Liitekuva 1. Hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) **tuntipitoisuudet** Tornion keskustan ilmanlaadun mittauspisteessä tarkastelujaksolla 1.1.–31.12.2020.



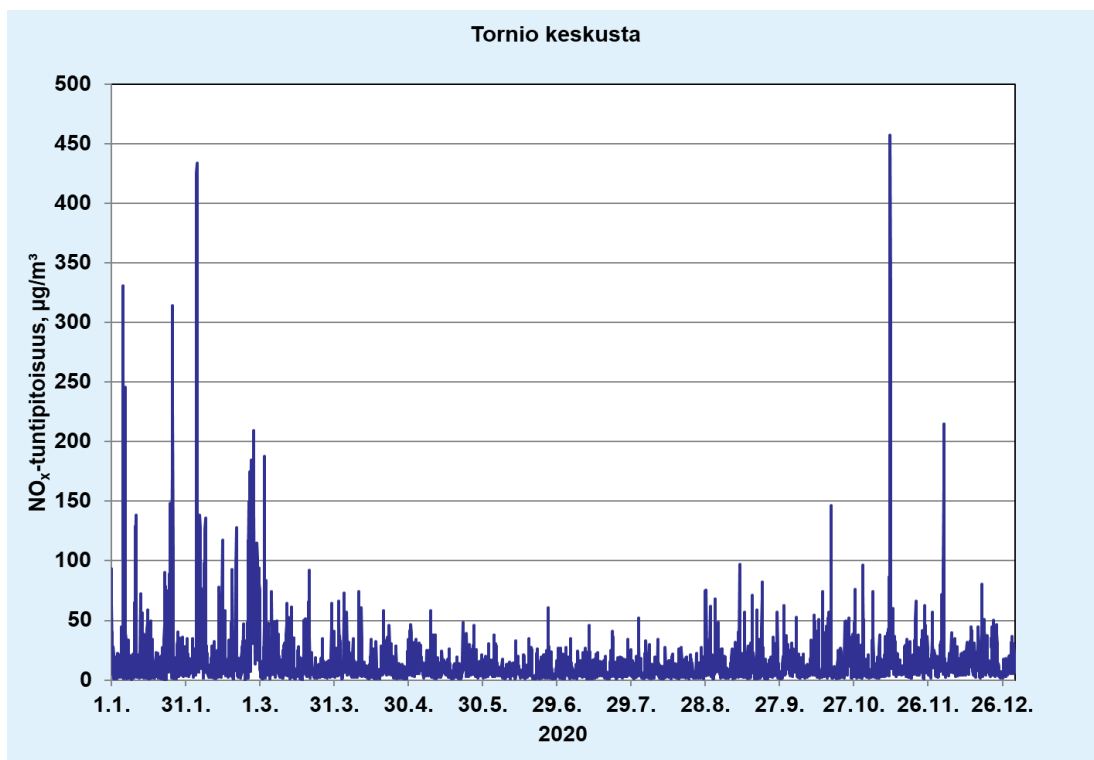
Liitekuva 2. Pienhiukkasten (PM_{2,5}) **tuntipitoisuudet** Tornion keskustan ilmanlaadun mittauspisteessä tarkastelujaksolla 1.1.–31.12.2020.



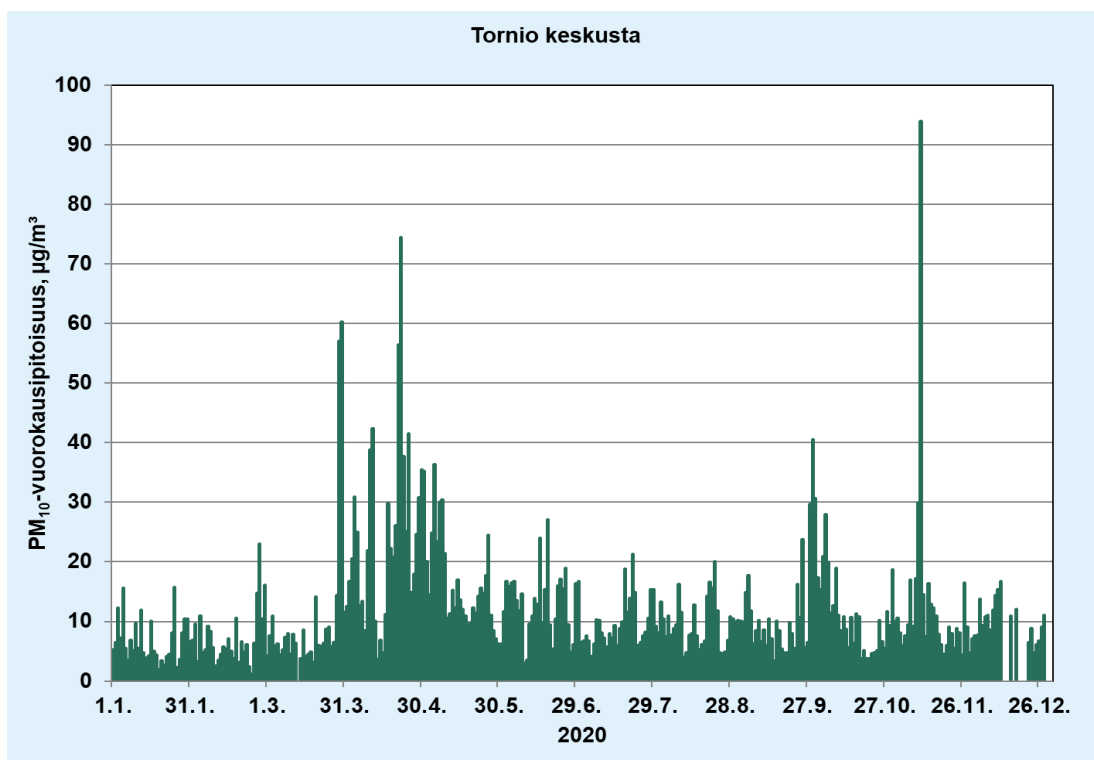
Liitekuva 3. Typpimonoksidin (NO) **tuntipitoisuudet** Tornion keskustan ilmanlaadun mittauspisteessä tarkastelujaksolla 1.1.–31.12.2020.



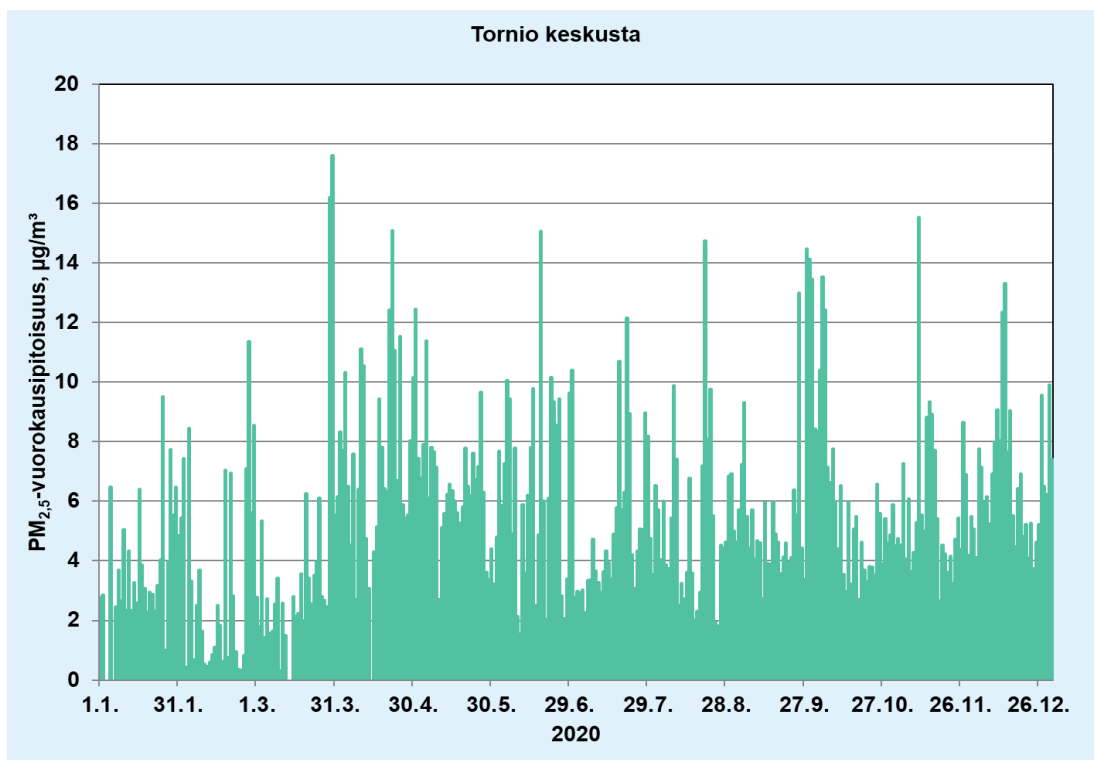
Liitekuva 4. Typpidioksidin (NO₂) **tuntipitoisuudet** Tornion keskustan ilmanlaadun mittauspisteessä tarkastelujaksolla 1.1.–31.12.2020.



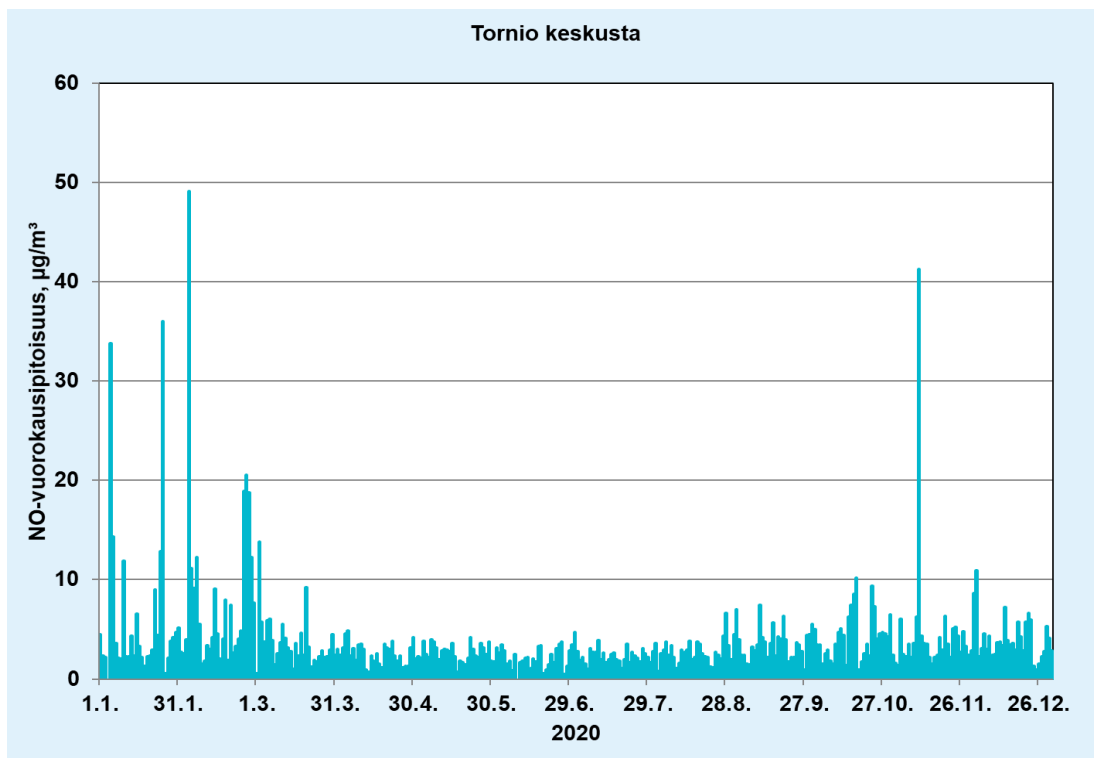
Liitekuva 5. Kokonaistypenoksidien (NO_x) **tuntipitoisuudet** Tornion keskustan ilmanlaadun mittauspisteessä tarkastelujaksolla 1.1.–31.12.2020.



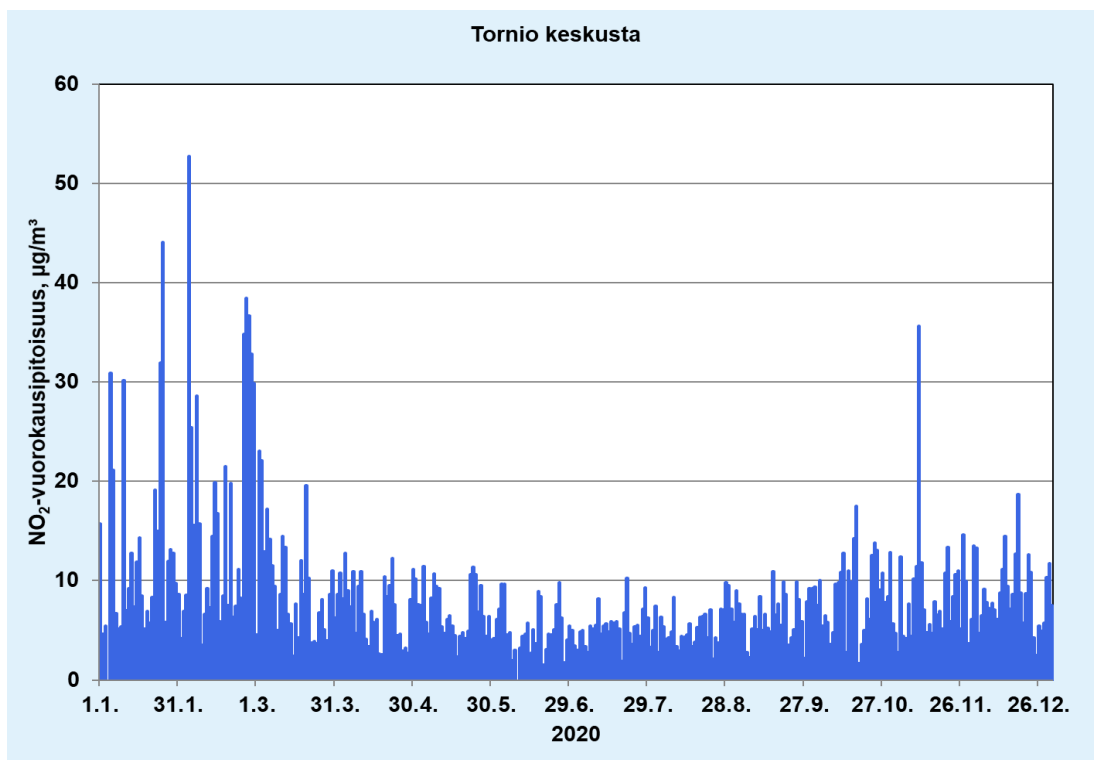
Liitekuva 6. Hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) **vuorokausipitoisuudet** Tornion keskustan mittauspisteessä tarkastelujaksolla 1.1.–31.12.2020.



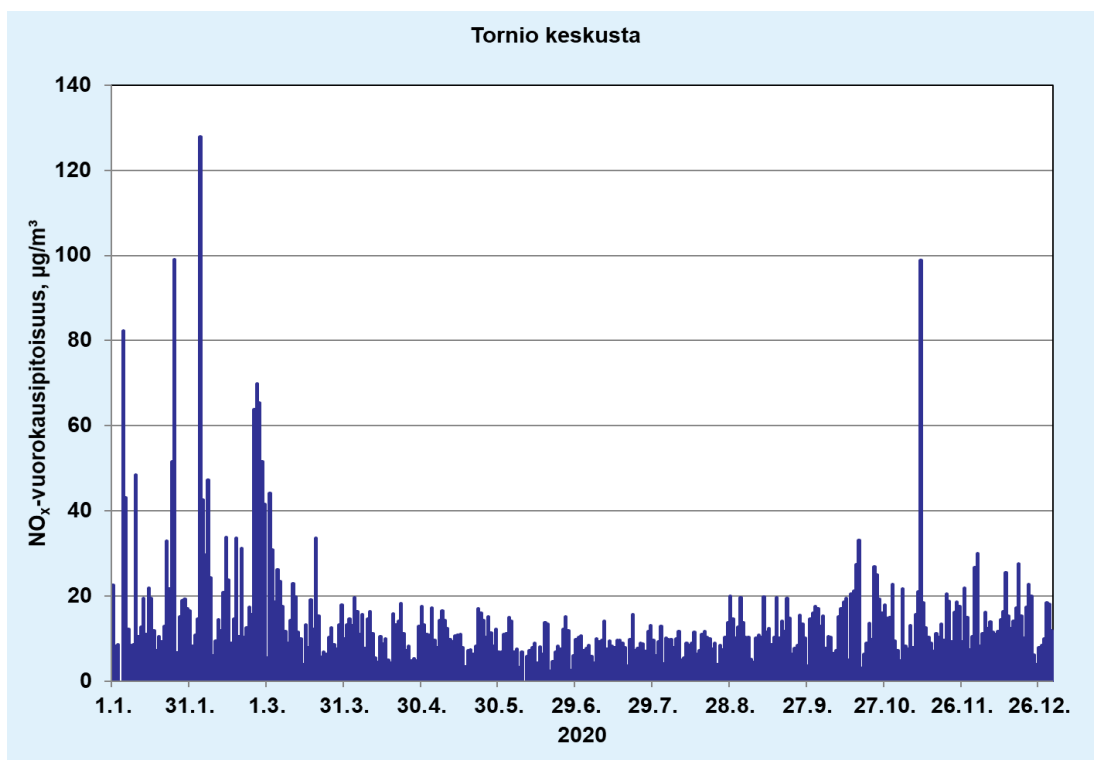
Liitekuva 7. Pienhiukkasten (PM_{2,5}) **vuorokausipitoisuudet** Tornion keskustan ilmanlaadun mittauspisteessä tarkastelujaksolla 1.1.–31.12.2020.



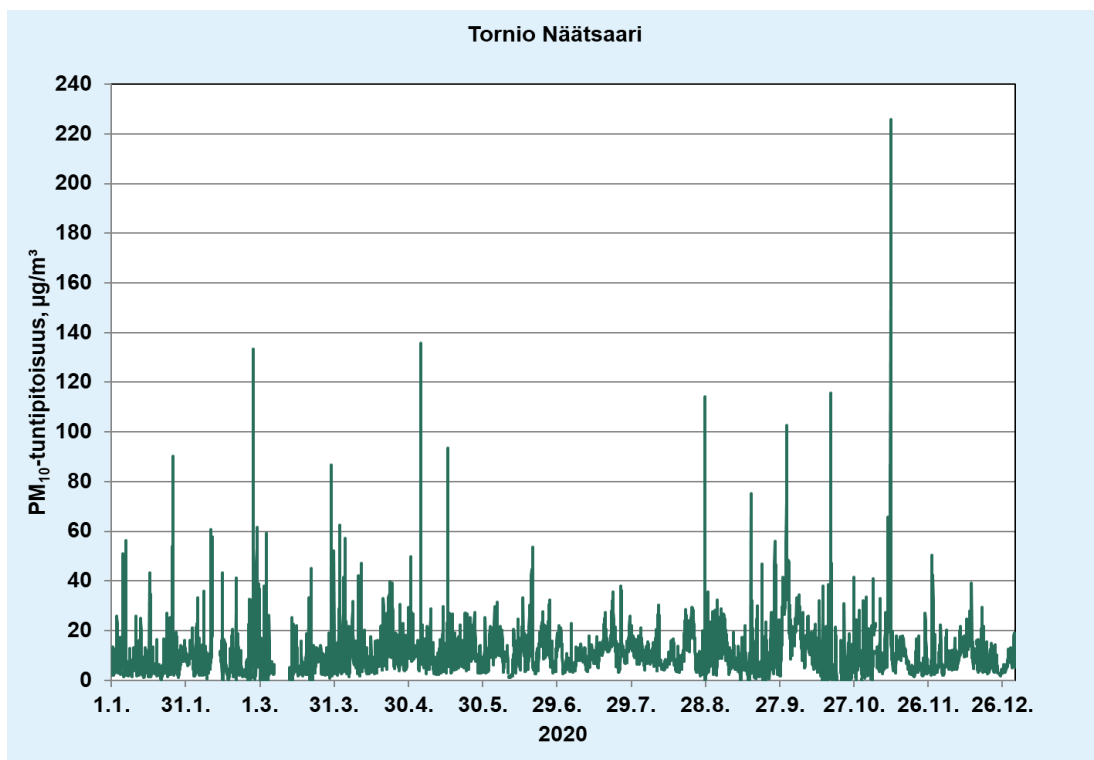
Liitekuva 8. Typpimonoksidin (NO) **vuorokausipitoisuudet** Tornion keskustan ilmanlaadun mittauspisteessä tarkastelujaksolla 1.1.–31.12.2020.



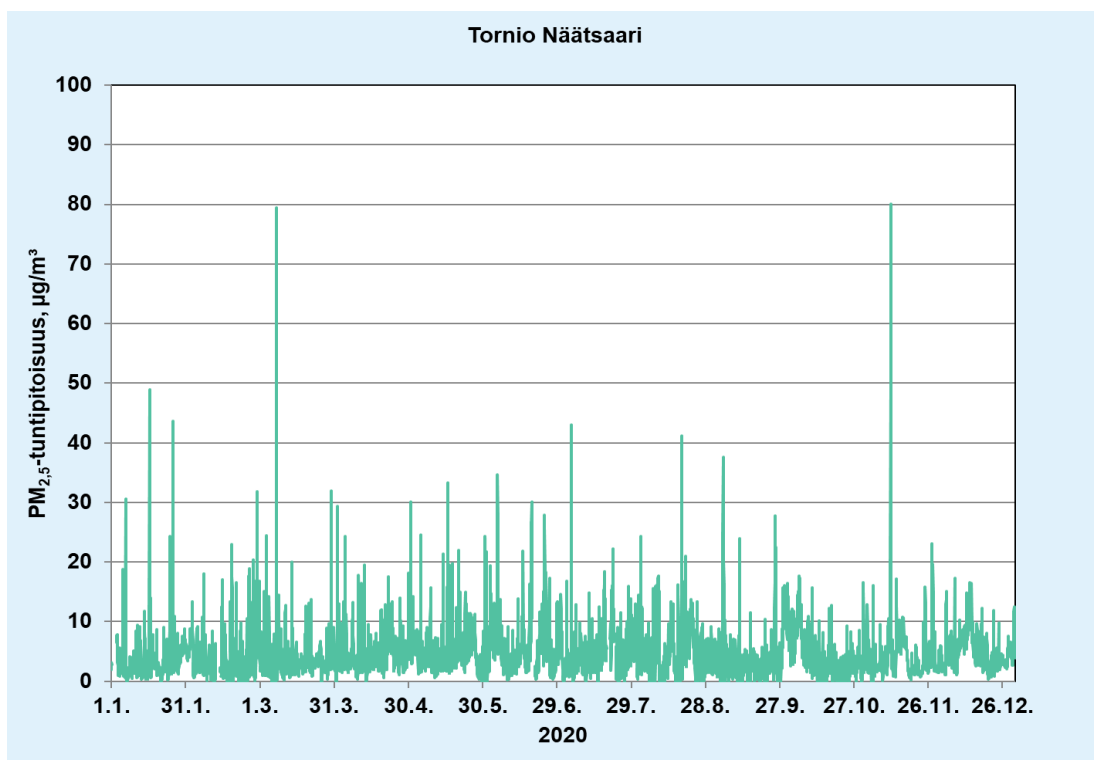
Liitekuva 9. Typpidioksidin (NO_2) **vuorokausipitoisuudet** Tornion keskustan ilmanlaadun mittauspisteessä tarkastelujaksolla 1.1.–31.12.2020.



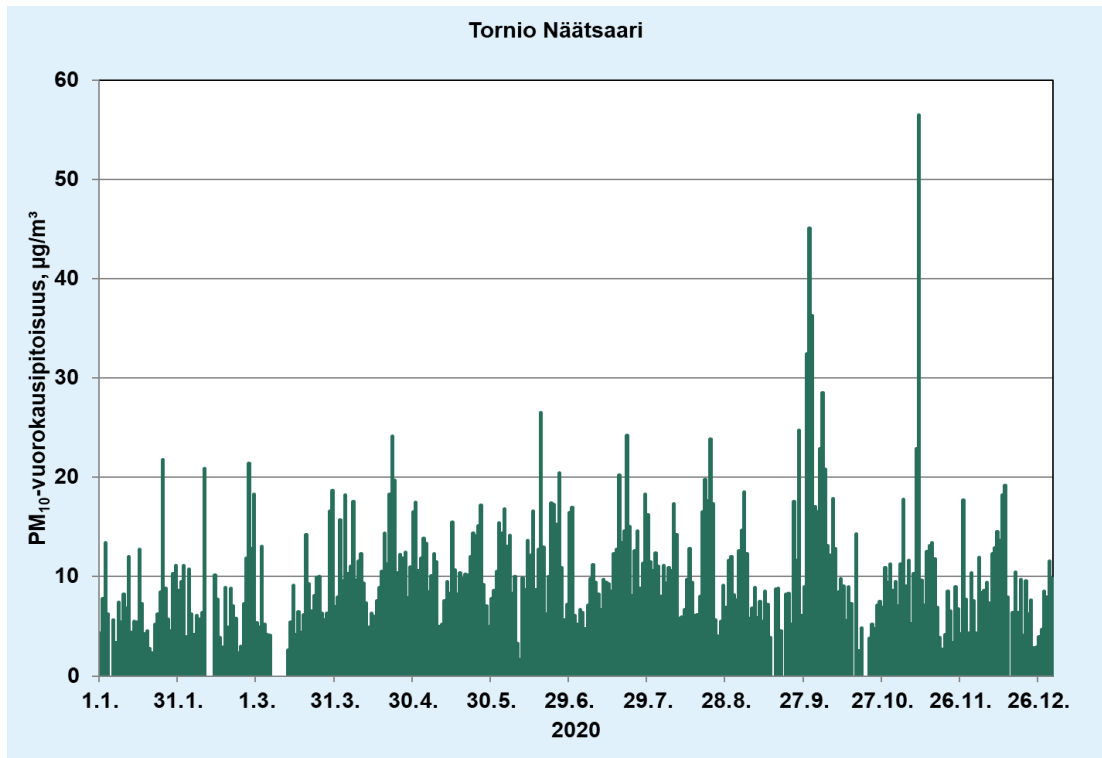
Liitekuva 10. Kokonaistypenoksidien (NO_x) **vuorokausipitoisuudet** Tornion keskustan ilmanlaadun mittauspisteessä tarkastelujaksolla 1.1.–31.12.2020.



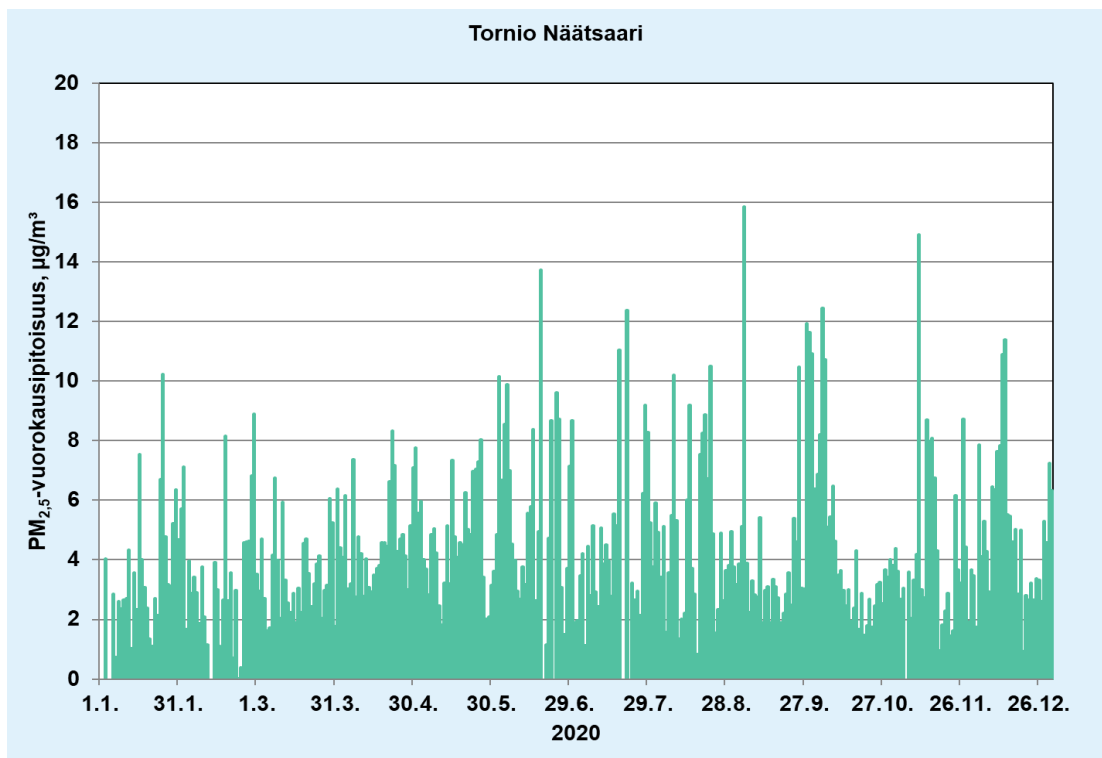
Liitekuva 11. Hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) **tuntipitoisuudet** Tornion Näätsaaren mittauspisteessä tarkastelujaksolla 1.1.–31.12.2020.



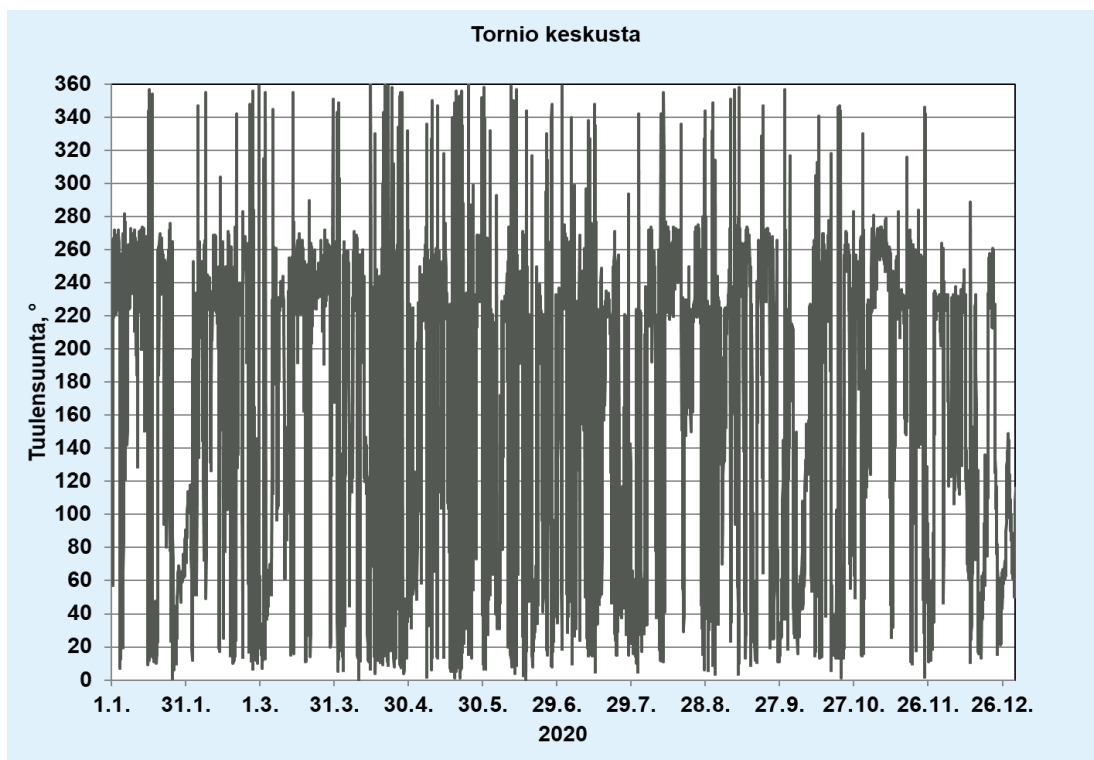
Liitekuva 12. Pienhiukkasten (PM_{2,5}) **tuntipitoisuudet** Tornion Näätsaaren ilmanlaadun mittauspisteessä tarkastelujaksolla 1.1.–31.12.2020.



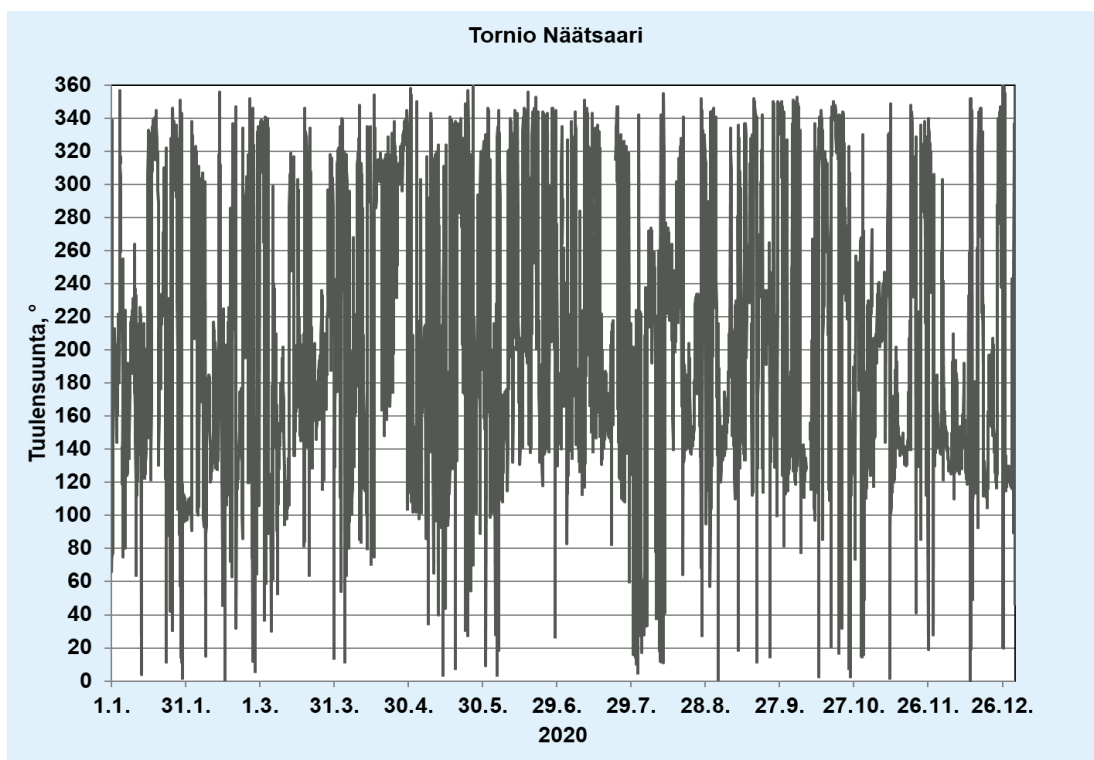
Liitekuva 13. Hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) **vuorokausipitoisuudet** Tornion Näätsaaren mittauspisteessä tarkastelujaksolla 1.1.–31.12.2020.



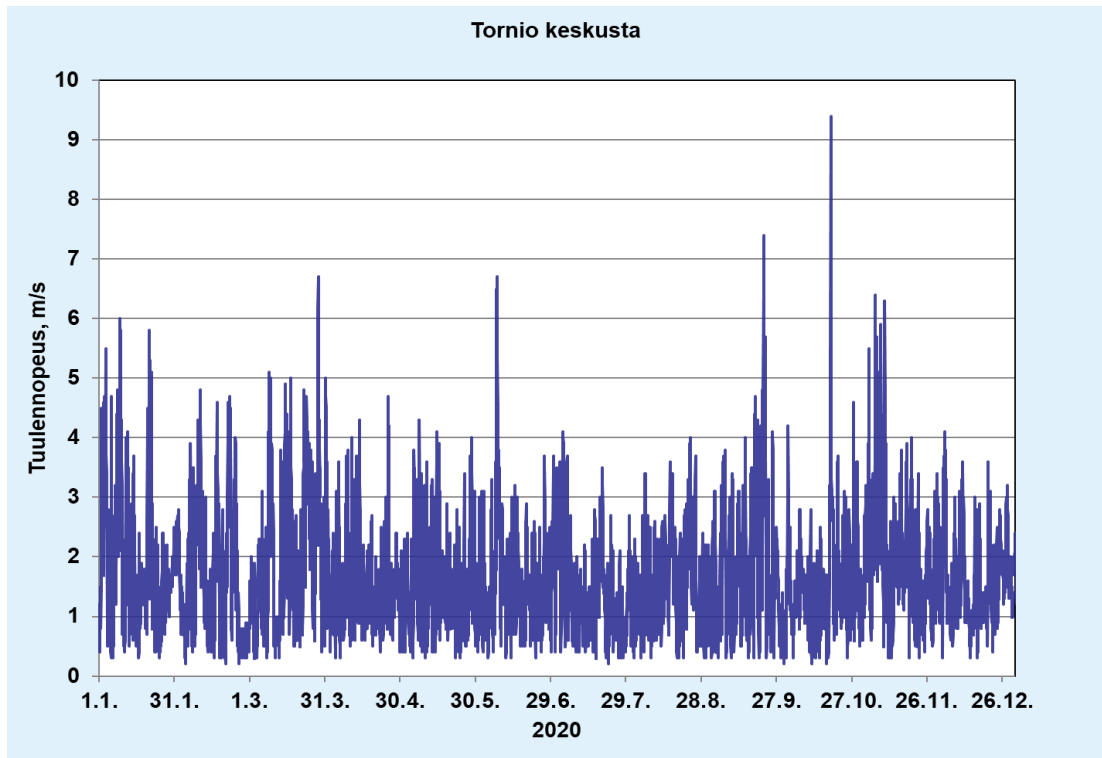
Liitekuva 14. Pienhiukkasten (PM_{2,5}) **vuorokausipitoisuudet** Tornion Näätsaaren ilmanlaadun mittauspisteessä tarkastelujaksolla 1.1.–31.12.2020.



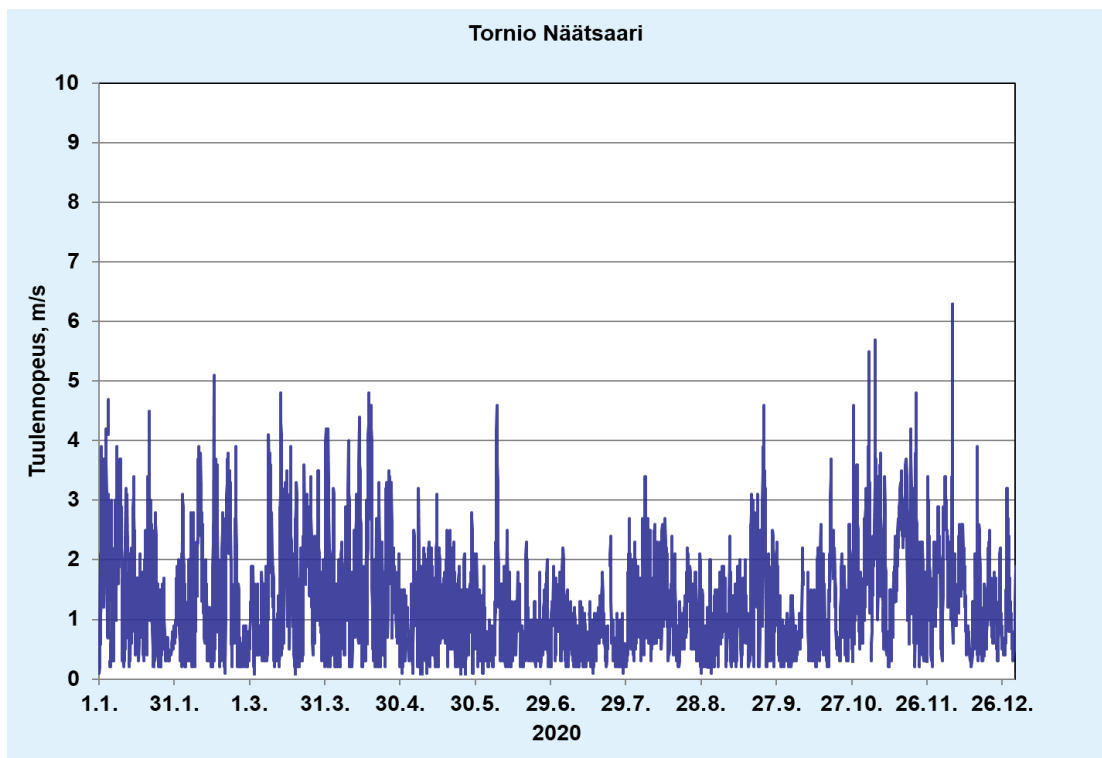
Liitekuva 15. Tuulen suunta (asteina 0–360 °) Tornion keskustan mittauspisteessä tarkastelujaksolla 1.1.–31.12.2020.



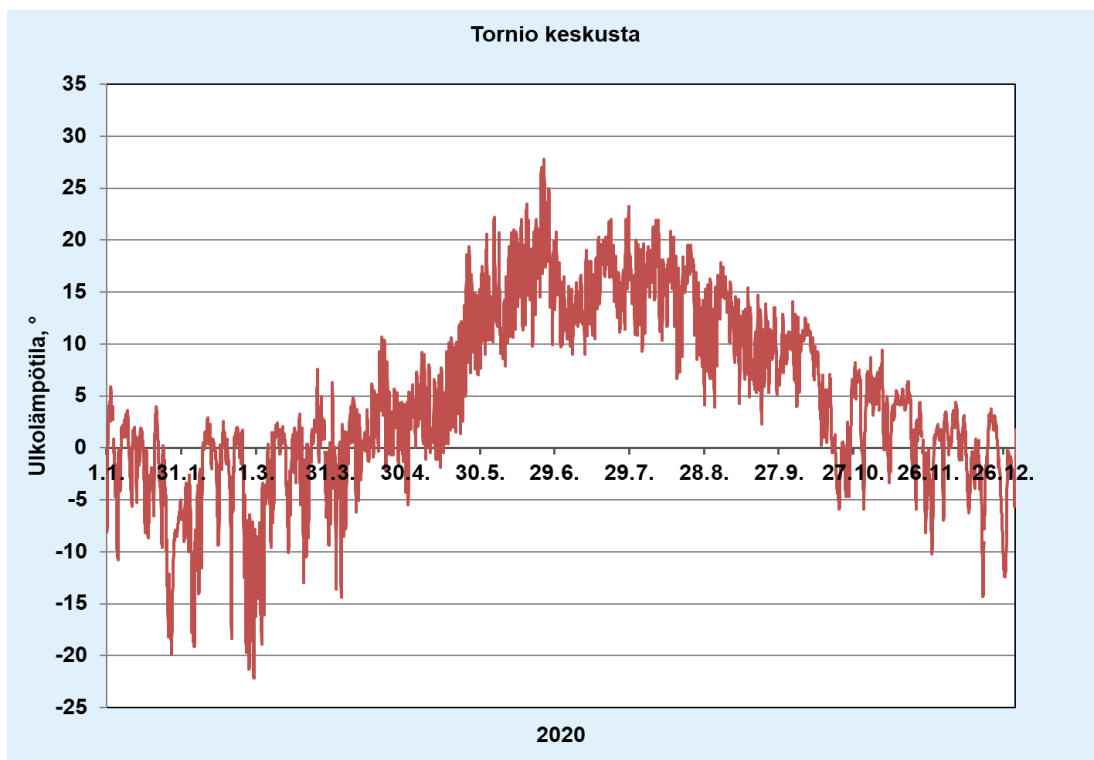
Liitekuva 16. Tuulen suunta (asteina 0–360 °) Tornion Näätsaaren mittauspisteessä tarkastelujaksolla 1.1.–31.12.2020.



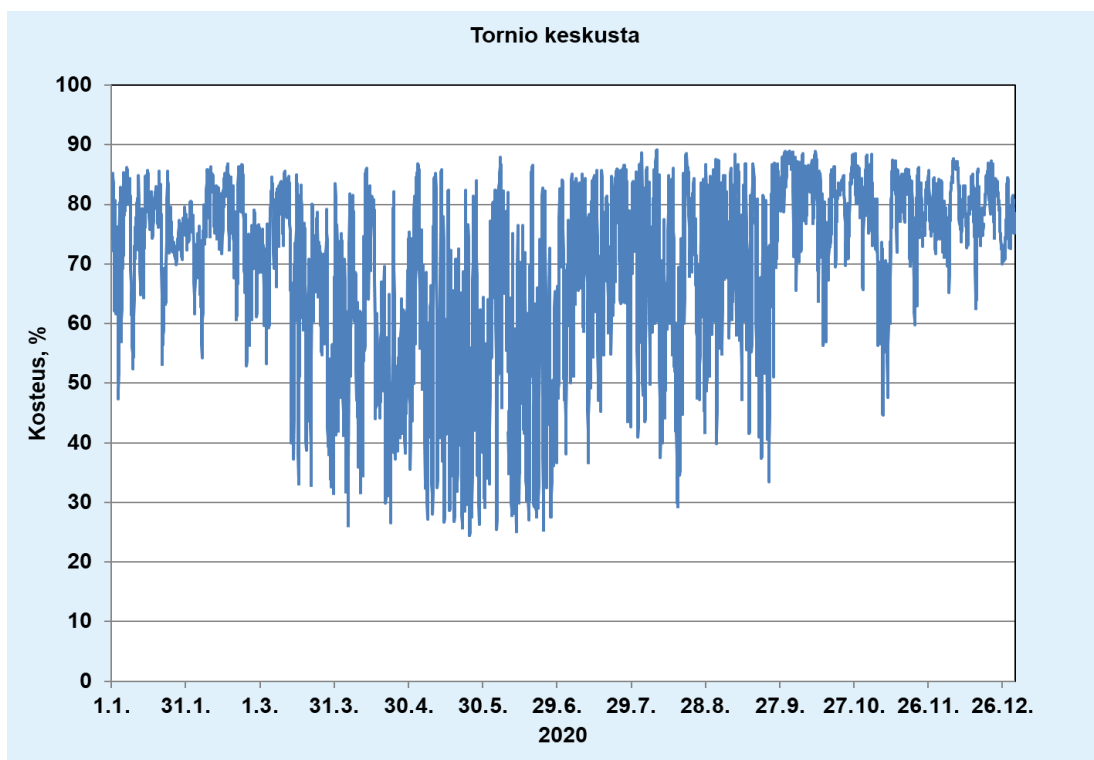
Liitekuva 17. Tuulen nopeus (m/s) Tornion keskustan mittauspisteessä tarkastelujaksolla 1.1.–31.12.2020.



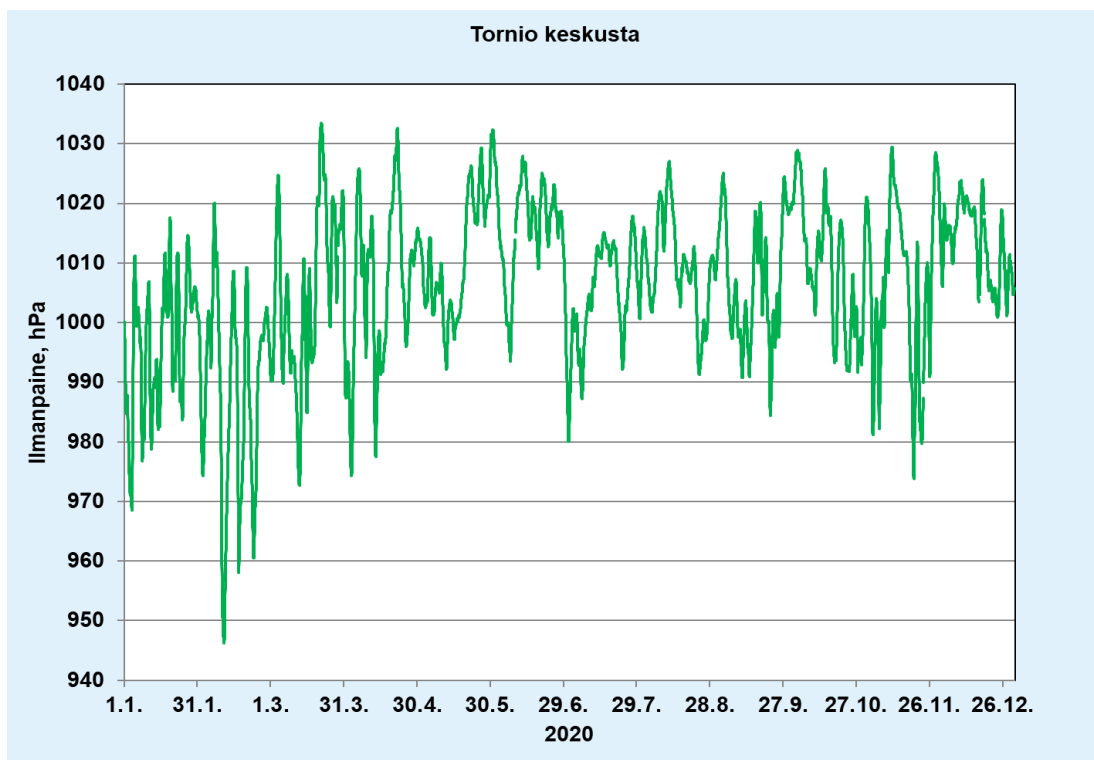
Liitekuva 18. Tuulen nopeus (m/s) Tornion Näätasaaren mittauspisteessä tarkastelujaksolla 1.1.–31.12.2020.



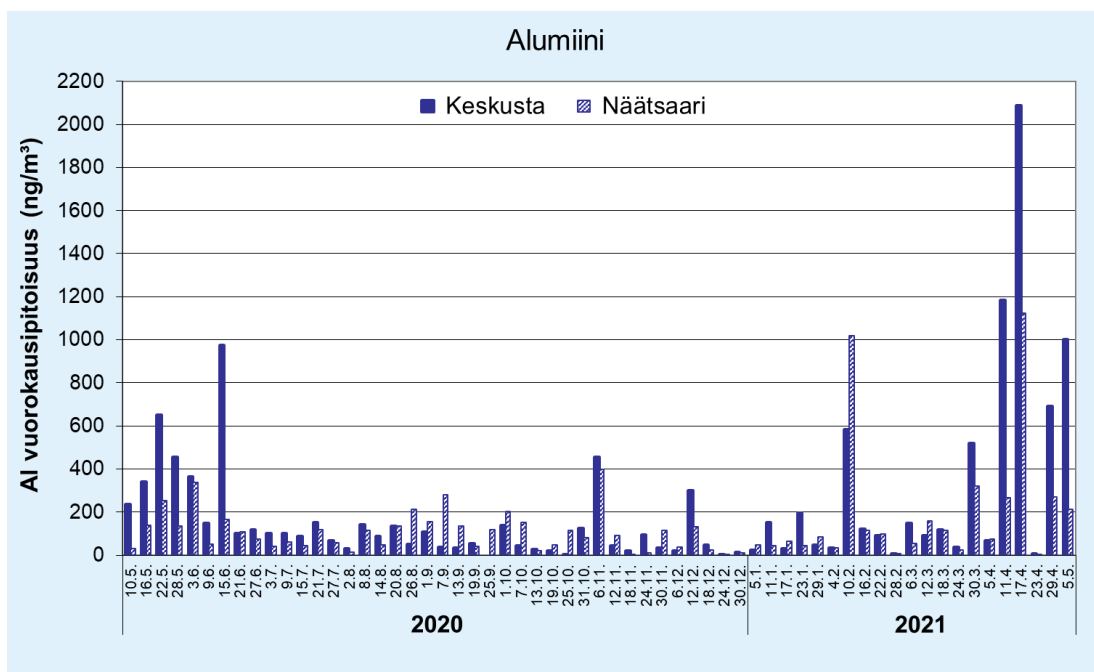
Liitekuva 19. Ulkolämpötila (C °) Tornion keskustan ilmanlaadun mittauspisteessä tarkastelujaksolla 1.1.–31.12.2020.



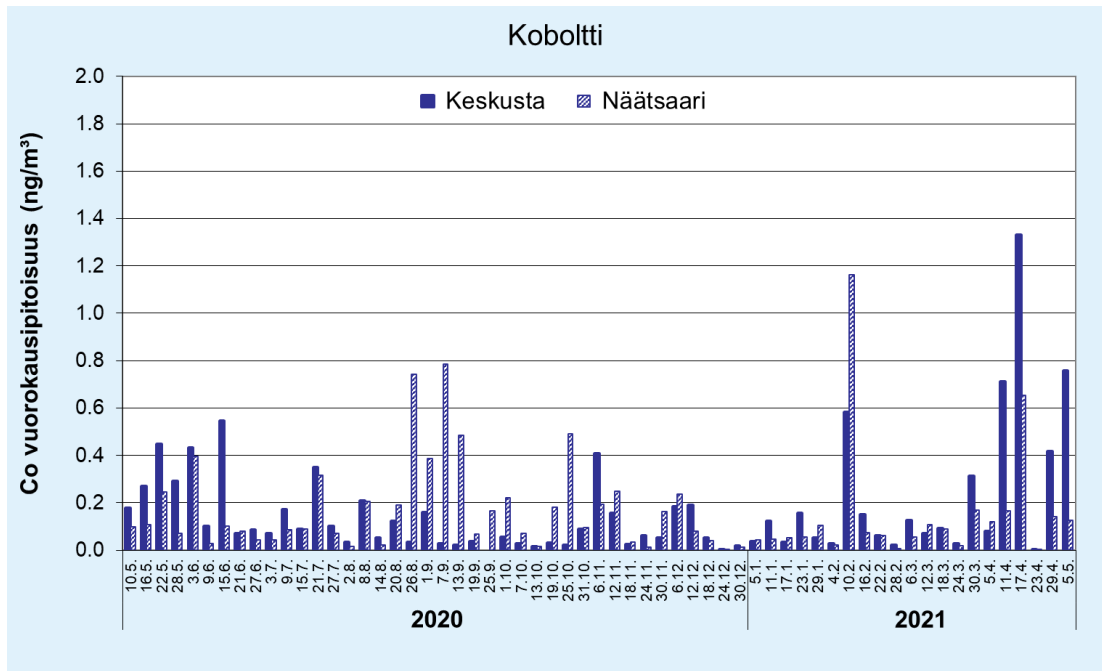
Liitekuva 20. Ilmankosteus (%) Tornion keskustan ilmanlaadun mittauspisteessä tarkastelujaksolla 1.1.–31.12.2020.



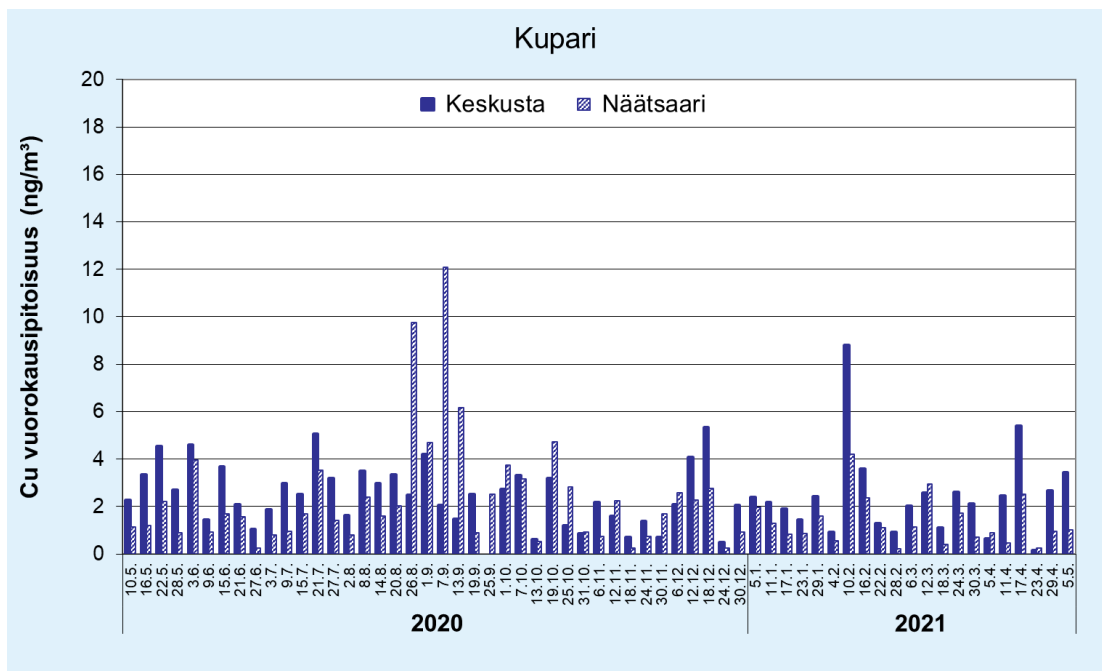
Liitekuva 21. Ilmanpaine (hPa) Tornion keskustan ilmanlaadun mittauspisteessä tarkastelujaksolla 1.1.–31.12.2020.



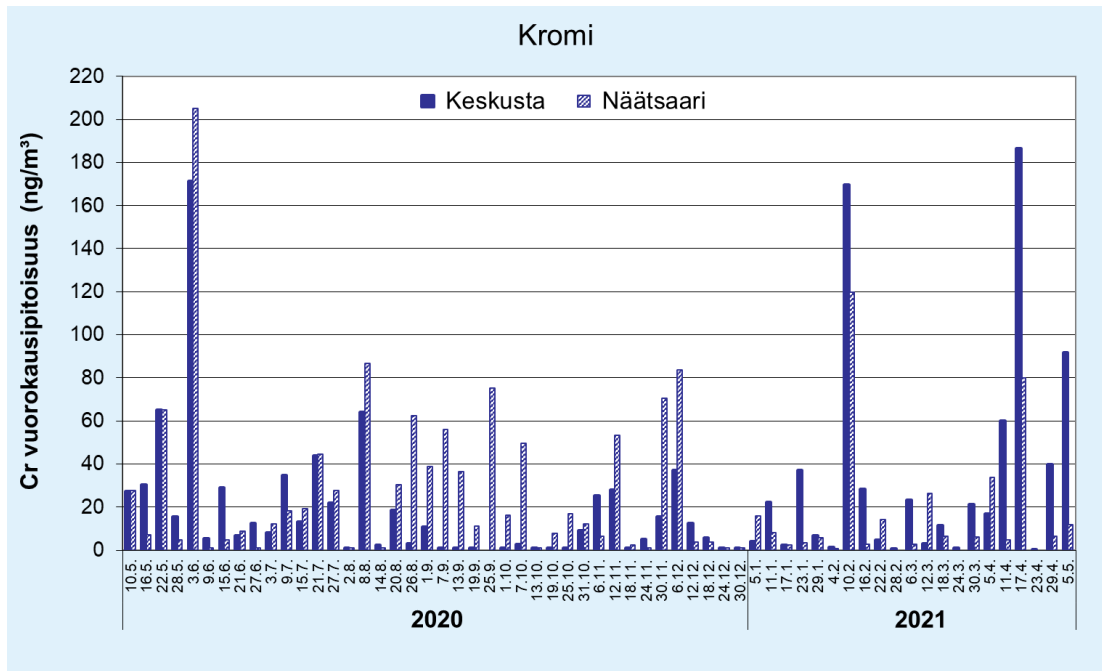
Liitekuva 22. Hengitettävistä hiukkasista (PM₁₀) määritetyt **alumiinipitoisuudet** (ng/m³) Tornion keskustan ja Näätasaaren mittauspisteissä jaksolla 10.5.2020–5.5.2021.



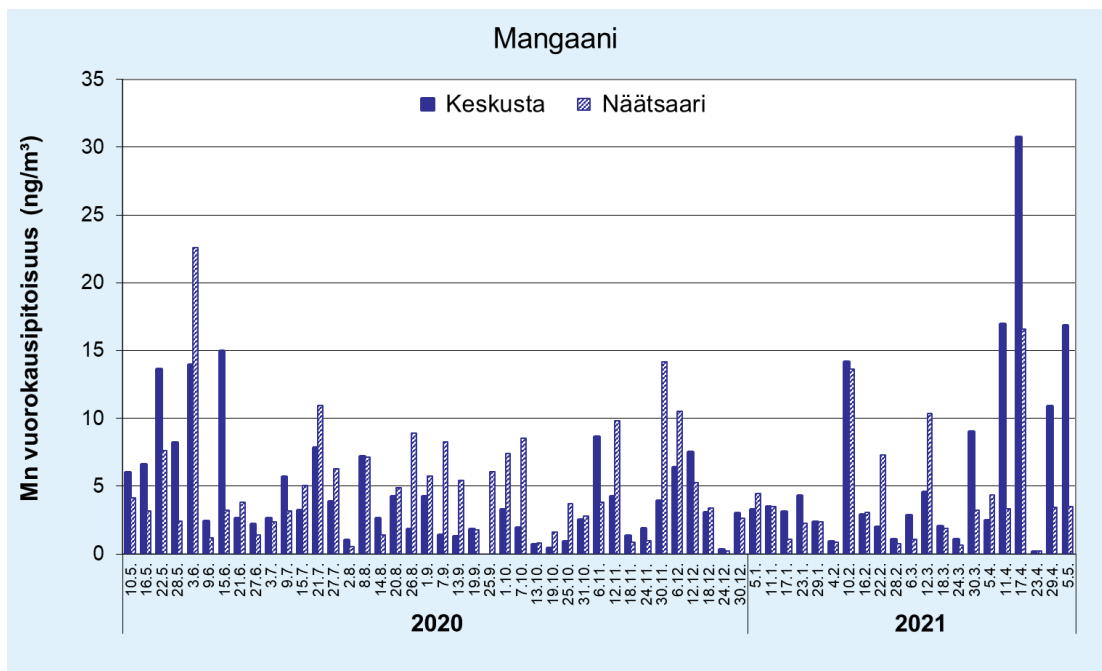
Liitekuva 23. Hengitettävistä hiukkasista (PM₁₀) määritetyt **kobolttipitoisuudet** (ng/m³) Tornion keskustan ja Näätsaaren mittauspisteissä jaksolla 10.5.2020–5.5.2021.



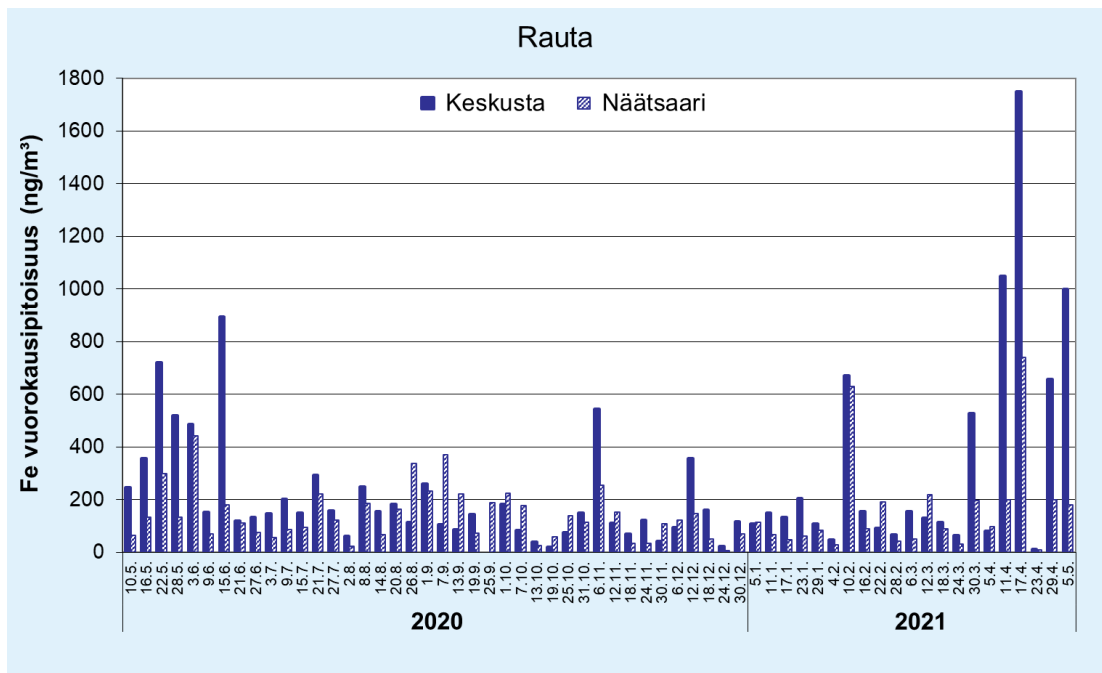
Liitekuva 24. Hengitettävistä hiukkasista (PM₁₀) määritetyt **kuparipitoisuudet** (ng/m³) Tornion keskustan ja Näätsaaren mittauspisteissä jaksolla 10.5.2020–5.5.2021.



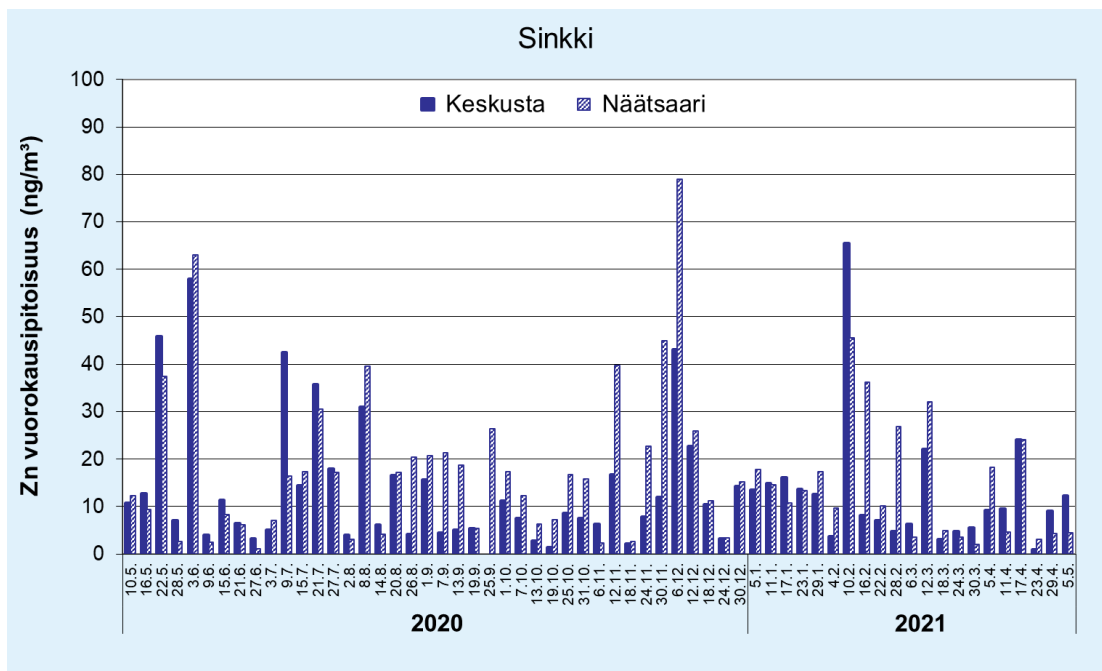
Liitekuva 25. Hengitettävistä hiukkasista (PM₁₀) määritetyt **kromipitoisuudet** (ng/m³) Tornion keskustan ja Näätsaaren mittauspisteissä jaksolla 10.5.2020–5.5.2021.



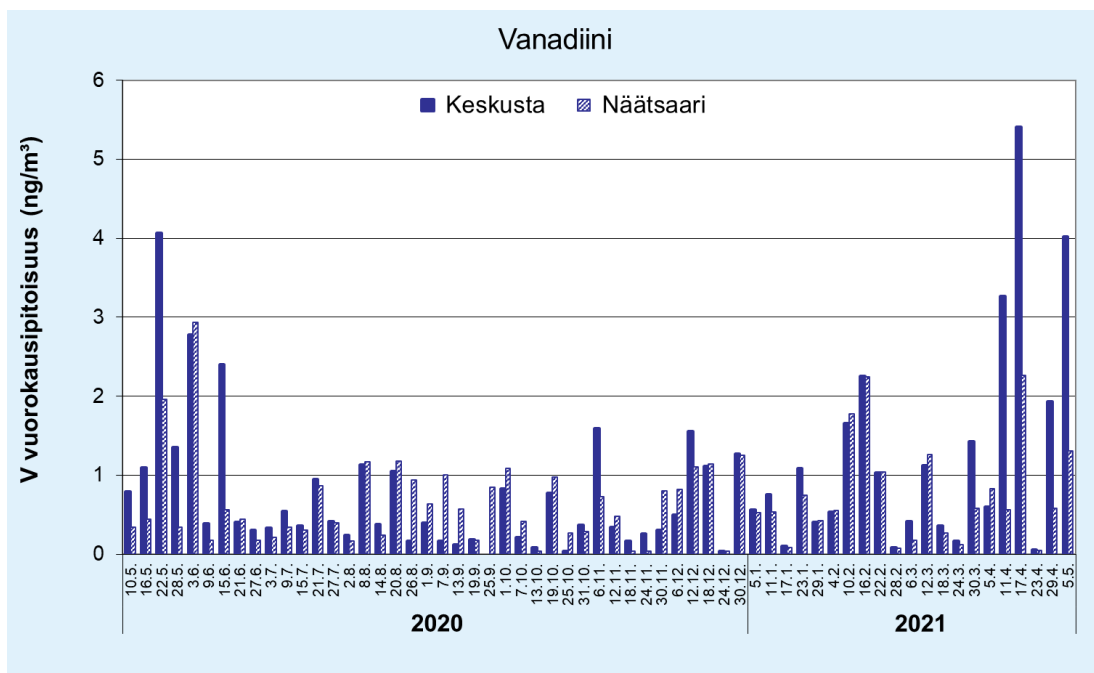
Liitekuva 26. Hengitettävistä hiukkasista (PM₁₀) määritetyt **mangaanipitoisuudet** (ng/m³) Tornion keskustan ja Näätsaaren mittauspisteissä jaksolla 10.5.2020–5.5.2021.



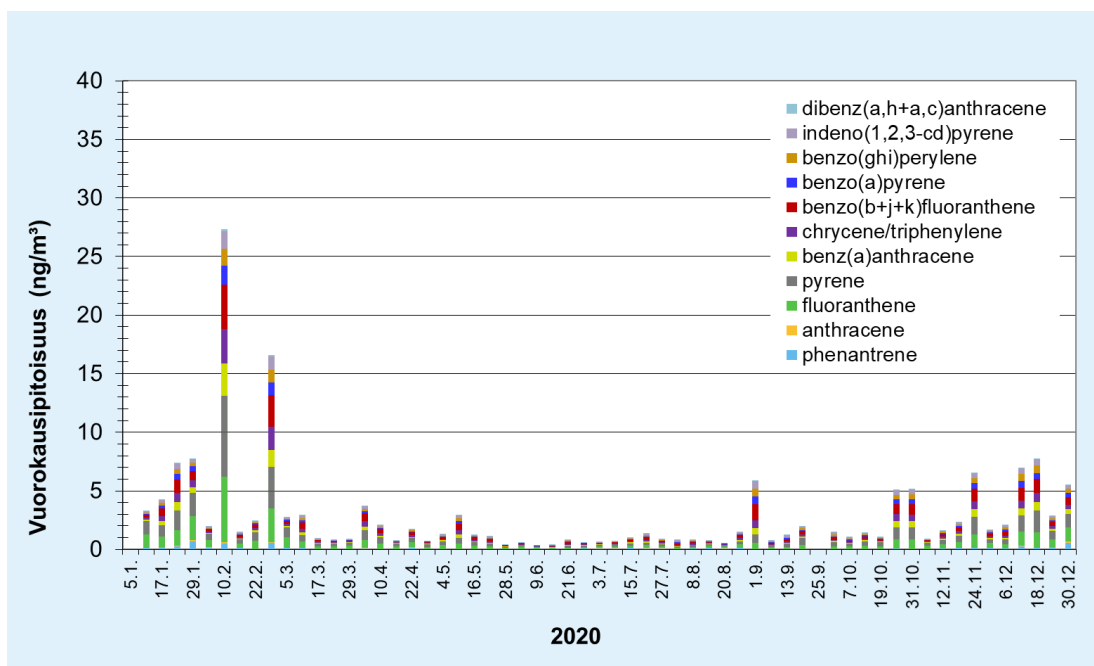
Liitekuva 27. Hengitettävistä hiukkasista (PM₁₀) määritetyt **rauta**pitoisuudet (ng/m³) Tornion keskustan ja Näätsaaren mittauspisteissä jaksolla 10.5.2020–5.5.2021.



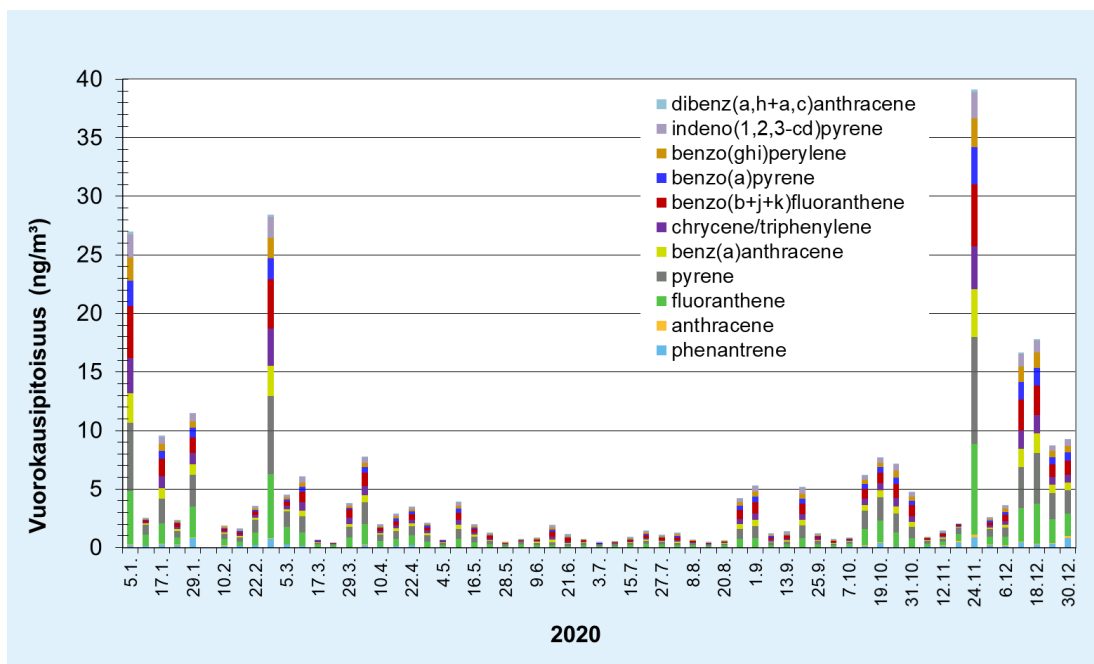
Liitekuva 28. Hengitettävistä hiukkasista (PM₁₀) määritetyt **sinkki**pitoisuudet (ng/m³) Tornion keskustan ja Näätsaaren mittauspisteissä jaksolla 10.5.2020–5.5.2021.



Liitekuva 29. Hengitettävistä hiukkasista (PM₁₀) määritetyt **vanadiinipitoisuudet** (ng/m³) Tornion keskustan ja Näätsaaren mittauspisteissä jaksolla 10.5.2020–5.5.2021.



Liitekuva 30. Hengitettävistä hiukkasista (PM₁₀) määritetyt eri PAH-yhdisteiden osuudet kokonaispitoisuuksista (ng/m³) **Keskustan** mittauspisteessä vuonna 2020.



Liitekuva 31 Hengitettävistä hiukkasista (PM₁₀) määritetyt eri PAH-yhdisteiden osuudet kokonaispitoisuuksista (ng/m³) **Naätsaaren** mittauspisteessä vuonna 2020.



ILMATIETEEN LAITOS

ILMATIETEEN LAITOS

puh. 029 539 1000

Ilmanlaatu ja energia

ilmanlaatupalvelut@fmi.fi

www.ilmatieteenlaitos.fi/ilmanlaatupalvelut

WWW.ILMATIETEENLAITOS.FI

