



KEMIN ILMANLAADUN SEURANTA

Typen oksidien, hengitettävien hiukkasten,
pienhiukkasten ja haisevien rikkiyhdisteiden
pitoisuustulokset vuonna 2021



KEMIN ILMANLAADUN SEURANTA

**Typen oksidien, hengitettävien hiukkasten, pienhiukkasten ja haisevien rikkiyhdisteiden
pitoisuustulokset vuonna 2021**

Antti Manninen

Maija Ylinen

Matias Saunamäki

Mika Vestenius

Jatta Salmi

Katja Lovén

ILMATIETEEN LAITOS – ASiantuntijapalvelut

ILMANLAATU JA ENERGIA

Helsinki 31.5.2022

OSA I	3
1. JOHDANTO	3
2. ILMANLAADUN MITTAUSTULOKSET	3
2.1 Mitatut pitoisuudet	3
2.2 Ilmanlaatuindeksi	4
2.3 Pitoisuuksien vertailua raja- ja ohjearvoihin	5
2.4 Pitoisuuksien ajallinen vaihtelu	9
2.5 Hajujen esiintyminen	11
2.6 Tuulen suunnan ja nopeuden vaikutus mitattuihin pitoisuuksiin	11
2.7 Pitoisuuksien vertailua muualla mitattuihin pitoisuuksiin	14
3. YHTEENVETO MITTAUSTULOKSISTA JA SUOSITUKSET	16
Osa II	19
4. TUTKIMUKSEN SUORITUS	19
4.1 Mittauspaikka ja sen edustavuus	19
4.2 Mitatut suureet ja mittausmenetelmät	20
4.3 Kalibrointimenetelmät, laadunvarmistus ja laitehuollot	22
5. SÄÄTIEDOT MITTAUSJAKSOLLA	23
5.1 Tuulitiedot	23
5.2 Keskilämpötilat	23
5.3 Sademäärät	24
5.4 Ilmanlaatuun vaikuttavat säätekijät	25
6. TAUSTATietoA ILMAN EPÄPUHTAUKSISTA	26
6.1 Typen oksidit	26
6.2 Hiukkaset	26
6.3 Ilman epäpuhtauksien terveysvaikutukset	28
6.4 Ilmanlaadun ohje- ja raja-arvot	28
6.5 Ilmanlaadun arviointikynnykset	31
VIITELUETTELO	33
Liitetaulukot	34
Liitekuvat	36

1. JOHDANTO

Ilmatieteen laitos seurasi Kemin keskustassa ulkoilman laatua 1.1.–28.12.2021 yhdessä mittauspisteessä. Mittausasema sijaitsi Kirkkopuistonkadulla autokaistojen välisellä tien keskialueella kulkevan pyörätien vieressä. Mittausasemalla mitattiin typen oksideja, pienhiukkasia, hengitettäviä hiukkasia sekä haisevia rikkiyhdisteitä. Näistä typen oksideja ja hiukkasia vapautuu erityisesti autoliikenteestä ja haisevia rikkiyhdisteitä puolestaan teollisuuden tuotantoprosesseista. Myös puun pienpoltto on yleisesti merkittävä pienhiukkaspitoisuuksiin vaikuttava lähde taajama-alueilla. Ilmanlaadun mittauksen tavoitteena on kartoittaa näiden ilmansaasteiden pitoisuustasoja ja hetkellistä vaihtelua väestön altistumisen ja viihtyvyyshaitan arviointia varten.

Ilman epäpuhtauspitoisuuksia mitattiin jatkuvatoimisilla automaattisilla analysointilaitteilla, jotka täyttävät lainsäädännön mukaiset laatuvaatimukset ilmanlaadun mittauksille. Ilmanlaatumittauksen tulosten tulkintaa varten asemalla mitattiin myös säätietoja. Jatkuvat mittaukset julkaistiin Ilmatieteen laitoksen ylläpitämällä avoimella Ilmanlaatu Suomessa verkkosivustolla (<https://www.ilmatieteenlaitos.fi/ilmanlaatu>).

Tässä raportissa esitetään mittauksien tulokset vuoden 2021 mittausjakson ajalta ja verrataan niitä ilmanlaadun lainsäädännössä asetettuihin raja- ja ohjearvoihin. Lisäksi raportissa verrataan pitoisuuksia muilla Suomen mittausasemilla vastaavana aikana mitattuihin pitoisuusarvoihin sekä annetaan suosituksia ilmanlaadun seurannasta Kemin kaupungin alueella. Vuonna 2021 Ilmatieteen laitos seurasi ilmanlaatua myös Kemin Pajusaarentiellä vuoden puolivälin jälkeen joulukuuhun asti. Metsä Fibre Oy:n toimeksiannosta tehtävät mittaukset Pajusaarentiellä jatkuvat ainakin vuoden 2026 loppuun asti.

Ilmanlaadun mittauksista sekä niihin liittyvästä asiantuntijatyöstä vastasi Ilmatieteen laitoksen Asiantuntijapalvelut-yksikkö. Työn tilasi Kemin kaupunki. Mittauksen aikana pidettiin laatuvalvontatapaamisia seurantaryhmän kanssa 25.3., 18.6., 17.9. ja 17.12.2021, joissa tarkasteltiin kunkin ajanjakson tuloksia ja havaintoja erikseen.

2. ILMANLAADUN MITTAUSTULOKSET

2.1 Mitatut pitoisuudet

Kemin keskustassa mitattujen typen oksidien (NO, NO₂ ja NO_x), hengitettävien hiukkasten (PM₁₀), pienhiukkasten (PM_{2,5}) ja haisevien rikkiyhdisteiden (TRS) pitoisuuskeskiarvot vuonna 2021 on esitetty taulukossa 1. Raportin liitetäulukoihin on koottu kuukausittaisia tilastotietoja kaikista mitatuista pitoisuuksista tältä jaksolta. Raportin lopussa olevissa liitekuviissa on esitetty Kemin keskustan mittausasemalla vuonna 2021 mitattujen ilman epäpuhtauksien pitoisuuksien tunti- ja vuorokausikeskiarvojen aikasarjat yksikössä mikrogrammaa kuutiosta ilmaa (µg/m³). Mittauspaikkaa ja sen edustavuutta 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 (NO₂).

Taulukko 1. Kemin keskustan mittausasemalla vuonna 2021 mitatut typen oksidien, hiukkasten ja haisevien rikkiyhdisteiden keskiarvopitoisuudet ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

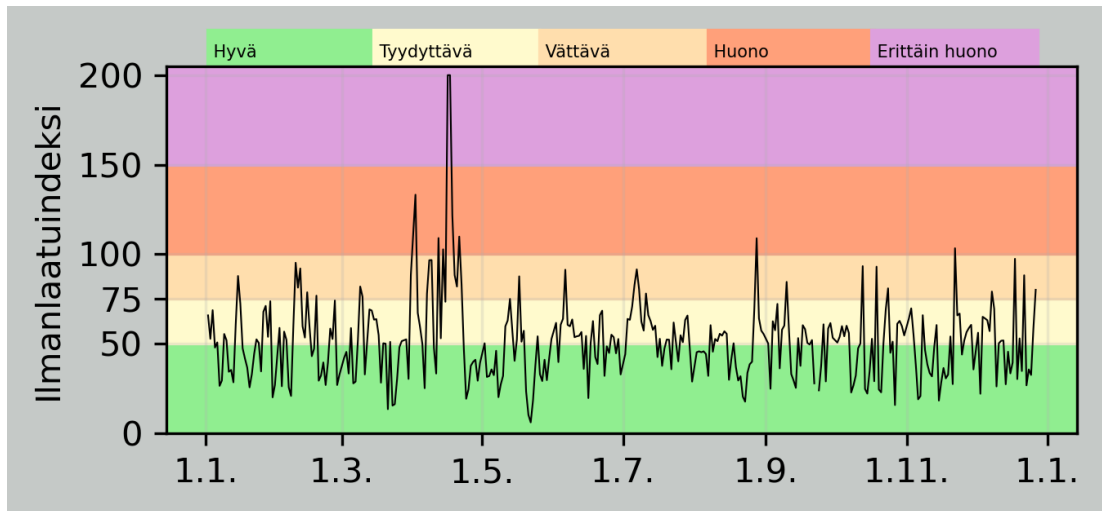
Kemi keskusta	Vuoden 2021 keskiarvopitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
NO	2,3
NO ₂	7,9
Kokonais-NO _x (NO ₂ :na ilmaistuna)	11,4
PM ₁₀	11,4
PM _{2,5}	5,3
TRS (rikkinä)	0,3

2.2 Ilmanlaatuindeksi

Ilmanlaadun mittaustuloksia esitetään usein ilmanlaatuindeksinä, joka kuvaa helposti ymmärrettävässä muodossa millaista ilmanlaatu on. Kemin keskustan mittausasemalla mitattujen pitoisuuksien tunti-arvojen perusteella laskettiin Suomessa käytössä oleva 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. Ilmanlaatuindeksin määrittämiseksi kullekin mitattavalle yhdisteelle (NO₂, PM₁₀, PM_{2,5}, TRS) lasketaan ensin pitoisuuksien tuntikeskiarvoista ali-indeksi. Ali-indekseistä korkeimman arvo määrää sen tunnin ilmanlaatuindeksin arvon. Vuorokauden ilmanlaatuindeksi määräytyy puolestaan ilmanlaadultaan huonoimman tunnin mukaan (<https://www.ilmatieteenlaitos.fi/ilmanlaatuindeksi>).

Kuvassa 1 esitetty vuorokauden suurimmat ilmanlaatuindeksin arvot Kemin keskustan mittausasemalla vuonna 2021. Indeksillä ilmaistuna ilmanlaatu oli hyvää tai tyydyttävää 89 % mittausjakson vuorokausista. Ilmanlaatu oli välttävää 8 % päivistä, huonoa 2 % päivistä ja erittäin huonoa 1 % päivistä. Huonon ja erittäin huonon ilmanlaadun päiviä oli eniten huhtikuussa (7 päivää). Kaikki huonot ja erittäin huonot indeksiarvot johtuivat tarkastelujaksolla hengitettävien hiukkasten korkeista pitoisuuksista.

Ilmanlaadun indeksiarvojen laskenta perustuu mitattujen ilman epäpuhtauksien pitoisuuksien tarkasteluihin suhteessa niiden terveysvaikutusperusteisiin raja- tai ohjearvopitoisuuksiin. Tästä syystä haisevien rikkiyhdisteiden aiheuttamat ilmanlaatuvaikutukset kuvautuvat indeksissä vain mahdollisten terveysvaikutusten osalta, eikä indeksi kuvaa TRS-yhdisteiden aiheuttamaa hajuhaittaa. Kemin keskustassa mitattiin myös hajukynnyksen ylittäneitä TRS-pitoisuuksia. Hajuhaitat osaltaan huonontavat ilmanlaatua muiden ilmanlaatuun vaikuttaneiden tekijöiden lisäksi ja niitä tarkastellaan kappaleessa 2.5.

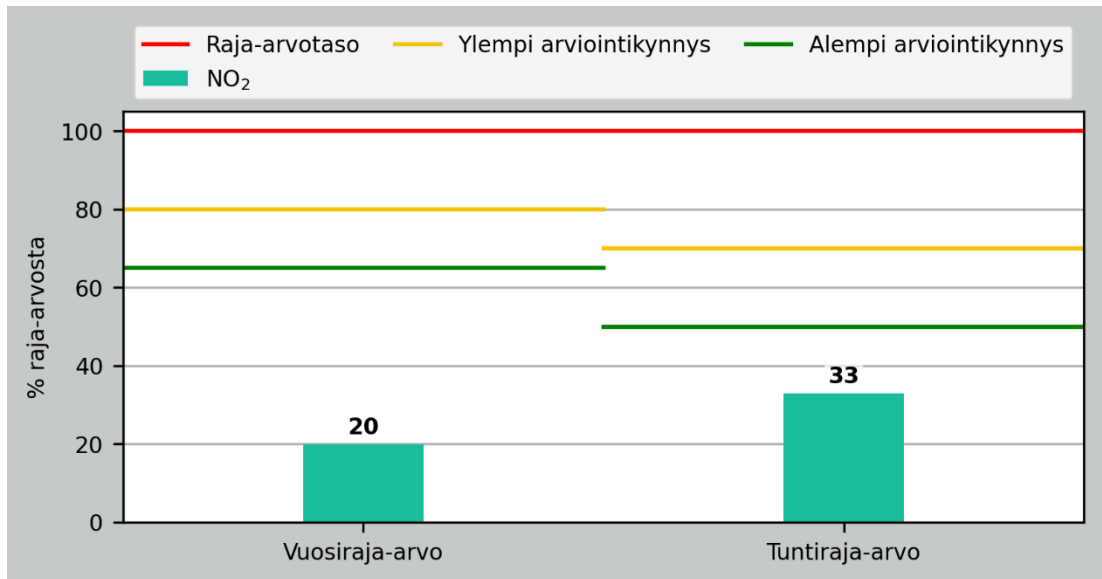


Kuva 1. Vuorokauden suurimmat ilmanlaatuindeksin arvot Kemijärven keskustan mittauspisteessä vuonna 2021.

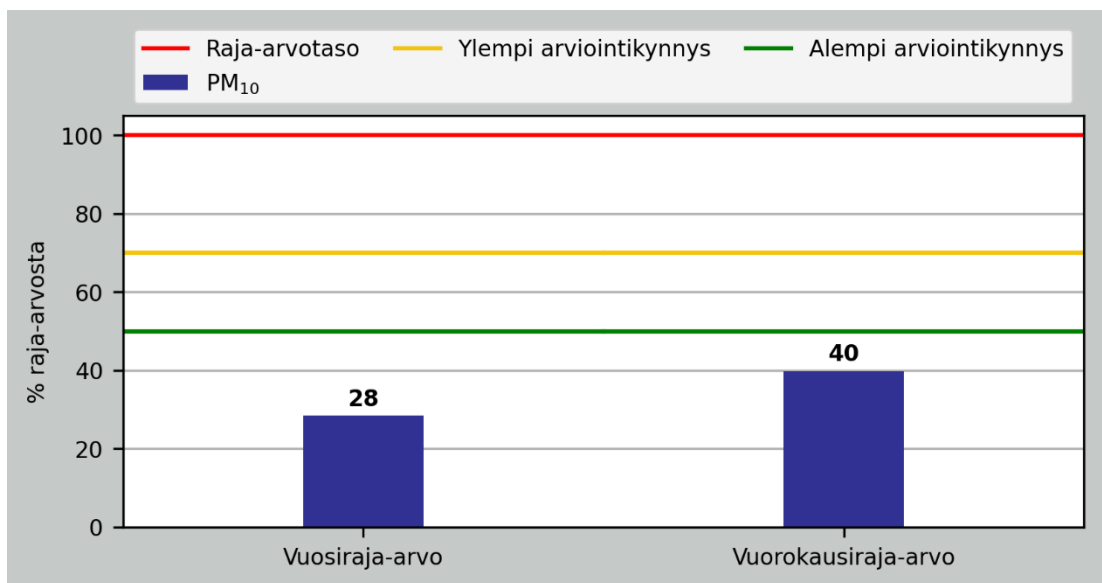
2.3 Pitoisuuksien vertailua raja- ja ohjearvoihin

Raja-arvot määrittelevät pitoisuuksille enimmäiskaton, jota ei saa ylittää. Raja-arvot ovat sitovia ja ne ovat voimassa kaikissa EU-maissa alueilla, jossa asuu ja oleskelee ihmisiä. Raja-arvot eivät ole voimassa liikenneväylillä ja teollisuusalueilla, jonne ihmisillä ei ole vapaata pääsyä. Ohjearvojen seuraamisella sen sijaan yritetään ohjata esimerkiksi kaavoitusta sellaisille alueille, jossa pitoisuudet ovat ihmisten terveydelle haitattomalla tasolla. Raja- ja ohjearvoilla on erilaiset tilastolliset määrittelyt ja raja-arvopitoisuuksille sallitaan vielä erikseen ylityksiä määrittelystä pitoisuustasosta, joten raja- ja ohjearvoja ei voi suoraan lukuarvoina verrata keskenään. Arviointikynnyksiin vertaamisen avulla määritetään ilmanlaadun seurantarvetta ja käytettäviä seurantamenetelmiä. Ilmanlaadun lainsäädännöstä on kerrottu tarkemmin raportin osassa II kappaleessa 6.4. Ilmanlaadun raja-arvotarkasteluissa vertailujakso on yksi kalenterivuosi.

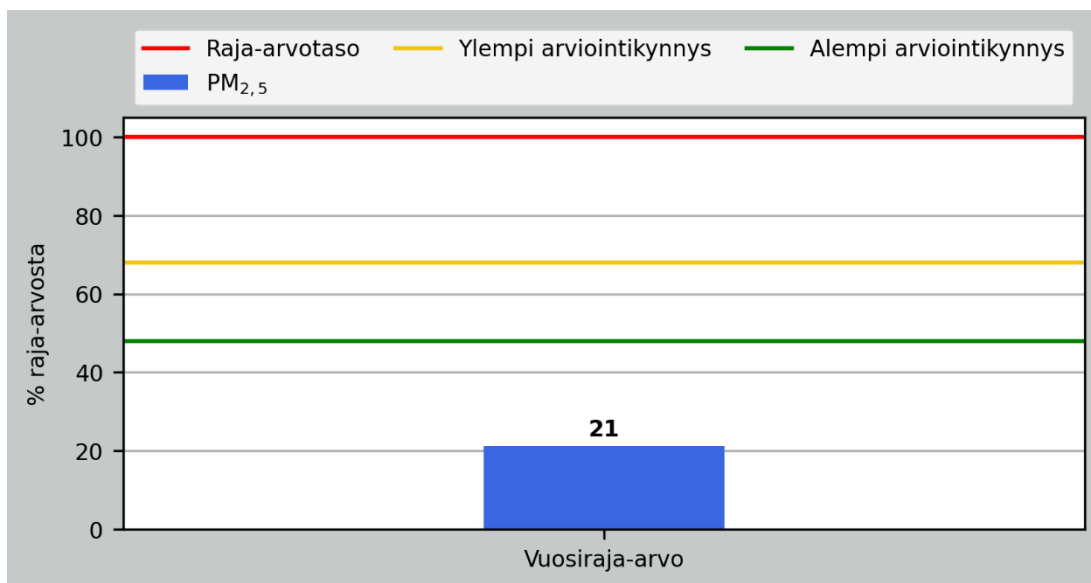
Kaikki raja-arvoihin verrattavat pitoisuudet jäivät raja-arvotasojen ja arviointikynnyksien alapuolelle. Kuvissa 2–4 on esitetty vertailut Kemijärven keskustan ilmanlaadun mittausasemalla vuonna 2021 mitattujen typpidioksidin, hengitettävien hiukkasten ja pienhiukkasten raja-arvoihin verrattavat pitoisuudet prosentteina raja-arvotasosta ja arviointikynnyksistä. Typpidioksidin pitoisuus oli 20 % vuosiraja-arvosta ja 33 % tuntiraja-arvosta. Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet olivat 28 % vuosiraja-arvosta ja 40 % vuorokausiraja-arvosta. Hengitettävien hiukkasten vuorokausiraja-arvotason $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ylityksiä esiintyi neljänä päivänä vuonna 2021. Kaikki vuorokausiraja-arvotason ylityspäivät esiintyivät huhtikuussa. Näitä ylityspäiviä saa olla 35 kappaletta vuodessa, ennen kuin raja-arvo katsotaan ylittyneeksi. Pienhiukkasten pitoisuus oli 21 % vuosiraja-arvosta. Haiseville rikkijyhdisteille ei ilmanlaatulainsäädännössä ole raja-arvoja.



Kuva 2. Typpidioksidin pitoisuudet suhteessa (%) raja-arvoihin Kemin keskustan mittausasemalla vuonna 2021. Kuvaan on merkitty vaakaviivoilla raja-arvotaso sekä ylempi ja alempi arviointikynnys.

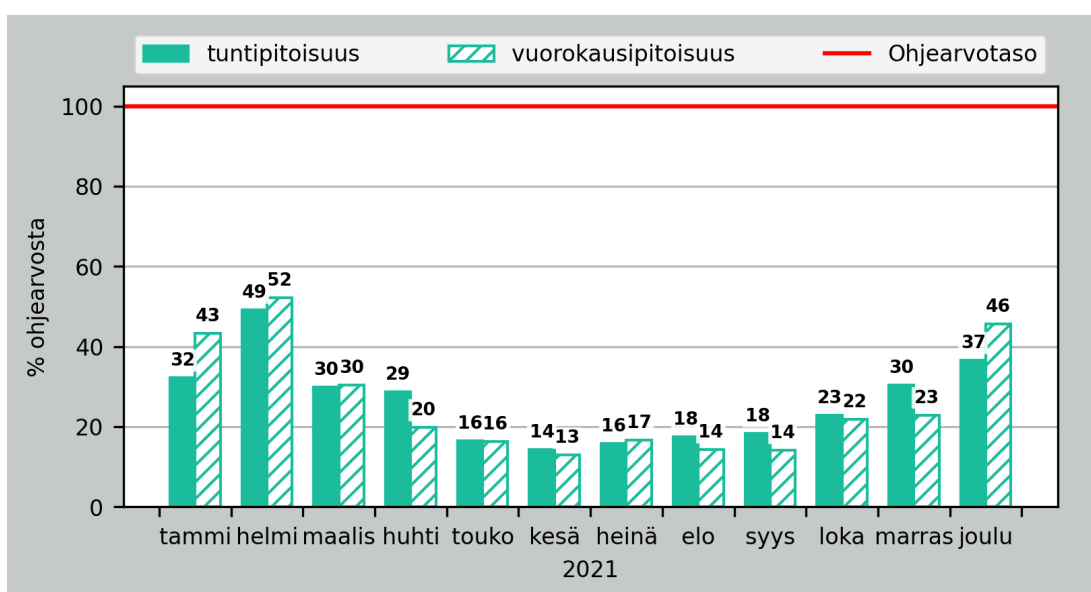


Kuva 3. Hengitettävien hiukkasten raja-arvoon verrattavat pitoisuudet suhteessa (%) raja-arvoihin Kemin keskustan mittausasemalla vuonna 2021. Kuvaan on merkitty vaakaviivoilla raja-arvotaso sekä ylempi ja alempi arviointikynnys.

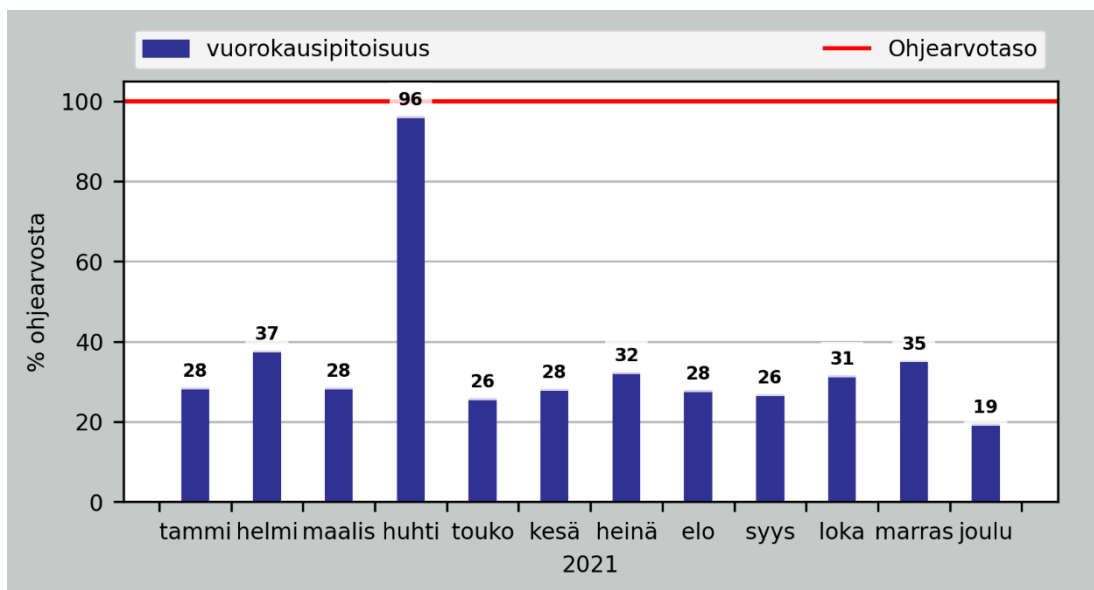


Kuva 4. Pienhiukkasten raja-arvoon verrattavat pitoisuudet suhteessa (%) raja-arvoihin Kemijärven keskustan mittausasemalla vuonna 2021. Kuvaan on merkitty vaakaviivoilla raja-arvotaso sekä ylempi ja alempi arviointikynnys.

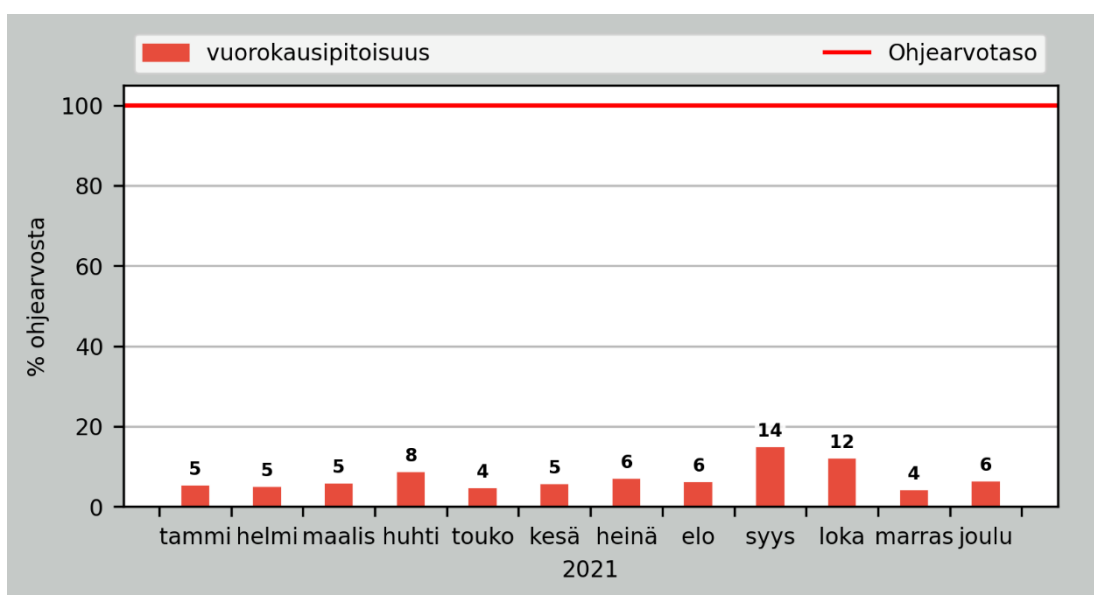
Pitoisuuksien vuorokausiohjearvot eivät ylittyneet mittausjaksolla kertaakaan. Alla olevissa kuvissa (Kuva 5–Kuva 7) on esitetty typpidioksidin, hengitettävien hiukkasten ja haisevien rikkiyhdisteiden ohjearvoon verrannolliset pitoisuudet kuukausittain Kemijärven keskustan ilmanlaadun mittausasemalla vuonna 2021. Typpidioksidin ohjearvoon verrattavat vuorokausi- ja tuntipitoisuudet olivat korkeimmillaan helmikuussa, jolloin vuorokausipitoisuus oli 52 % ja tuntipitoisuus 49 % ohjearvosta. Hengitettävien hiukkasten pitoisuus oli suurimmillaan huhtikuussa 96 % vuorokausiohjearvosta. Huhtikuussa Kemijärven keskustassa oli havaittavissa runsaasti katupölyä, jonka vuoksi hengitettävien hiukkasten pitoisuudet olivat korkeita. Haisevien rikkiyhdisteiden ohjearvoon verrannollinen pitoisuus oli korkeimmillaan syyskuussa, 14 % ohjearvosta.



Kuva 5. Typpidioksidin ohjearvoon verrattavat pitoisuudet kuukausittain Kemijärven keskustan mittausasemalla vuonna 2021. Punaisella vaakaviivalla (100 %) on merkitty ohjearvotaso kuukauden tunti- (150 µg/m³) ja vuorokausipitoisuuksille (70 µg/m³).



Kuva 6. Hengitettävien hiukkasten ohjearvoon verrattavat pitoisuudet kuukausittain Kemijoen keskustan mittausasemalla vuonna 2021. Punaisella vaakaviivalla (100 %) on merkitty ohjearvotaso kuukauden vuorokausipitoisuuksille (70 µg/m³).

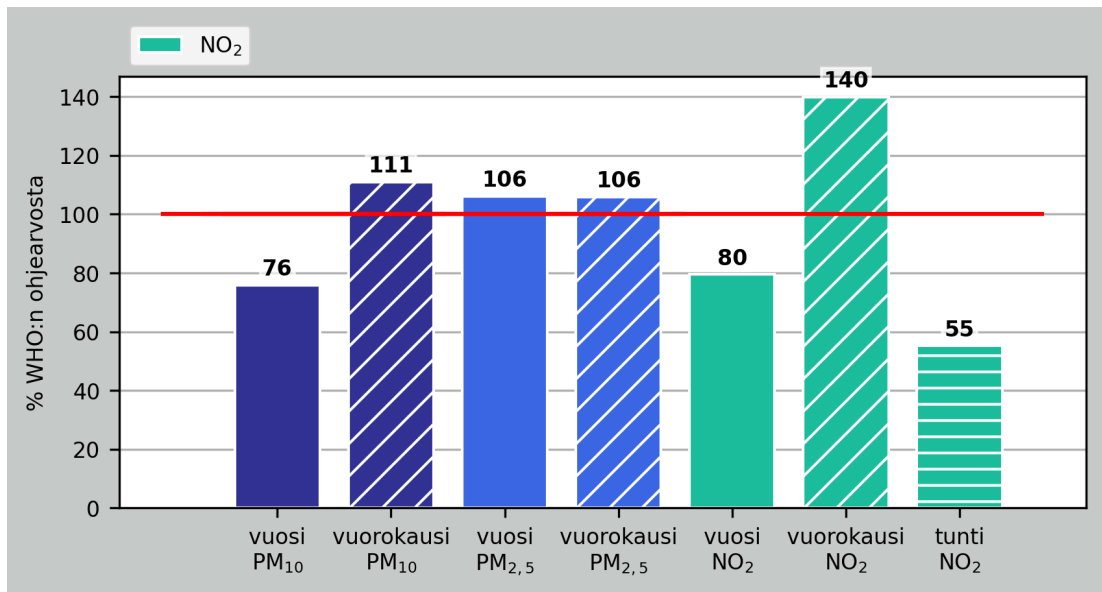


Kuva 7. Haisevien rikkiyhdisteiden ohjearvoon verrattavat pitoisuudet kuukausittain Kemijoen keskustan mittausasemalla vuonna 2021. Punaisella vaakaviivalla (100 %) on merkitty ohjearvotaso kuukauden vuorokausipitoisuuksille 10 µg(S)/m³.

Kuvassa 8 on esitetty typpidioksidin, hengitettävien hiukkasten ja pienhiukkasten Maailman terveysjärjestön (WHO) ohjearvoon (*WHO 2021*) verrannolliset pitoisuudet Kemijoen keskustassa vuonna 2021. WHO ohjearvot eivät ole sitovia, vaan niiden tarkoitus on avustaa valtioiden hallituksia ja yhteiskuntia ilmansaasteiden haitallisten vaikutuksien vähentämisessä. WHO päivitti syksyllä 2021 ilmansaasteiden ohjearvopitoisuudet, joita pienemmillä pitoisuuksilla haitallisia terveysvaikutuksia ei esiinny lainkaan tain ne ovat vain vähäisiä.

WHO:n vuorokausiohjearvot on tilastollisesti määritelty siten, että ne ovat korkeimpien vuorokausikeskiarvopitoisuuksien 99. prosenttipiste, joka tarkoittaa käytännössä sitä, että kalenterivuoden jaksolla sallitaan 3–4 ylityskertaa ennen kuin vuorokausiohjearvon katsotaan

ylittyneen. Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet olivat 76 % WHO:n vuosiohjearvosta. WHO:n hengitettävien hiukkasten vuorokausiohjearvo ($45 \mu\text{g}/\text{m}^3$) puolestaan ylittyi, vuoden 2021 mittausjaksolla mitatut korkeimmat ohjearvoon verrannolliset vuorokausikeskiarvopitoisuudet olivat 111 % ohjearvosta. Pienhiukkasten osalta WHO:n vuosiohjearvo ($5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ja vuorokausiohjearvo ($15 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ylittyivät molempien ollessa noin 106 % ohjearvosta. Typpidioksidin osalta WHO:n vuosiohjearvo ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ja tuntipitoisuuksien ohjearvo ($200 \mu\text{g}/\text{m}^3$) alittuivat, vuosiohjearvoon verrattavat pitoisuudet olivat 80 % ohjearvosta ja tuntipitoisuuksien ohjearvoon verrattavat pitoisuudet 55 % ohjearvosta. Typpidioksidin vuorokausiohjearvoon ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$) verrattava pitoisuustaso ylittyi, ollen 140 % ohjearvosta.



Kuva 8. WHO:n ohjearvoihin verrattavat pitoisuudet Kempeleen keskustassa mitatuista yhdisteistä vuonna 2021. Punaisella vaakaviivalla (100 %) on merkitty ohjearvotaso kullekin pitoisuudelle.

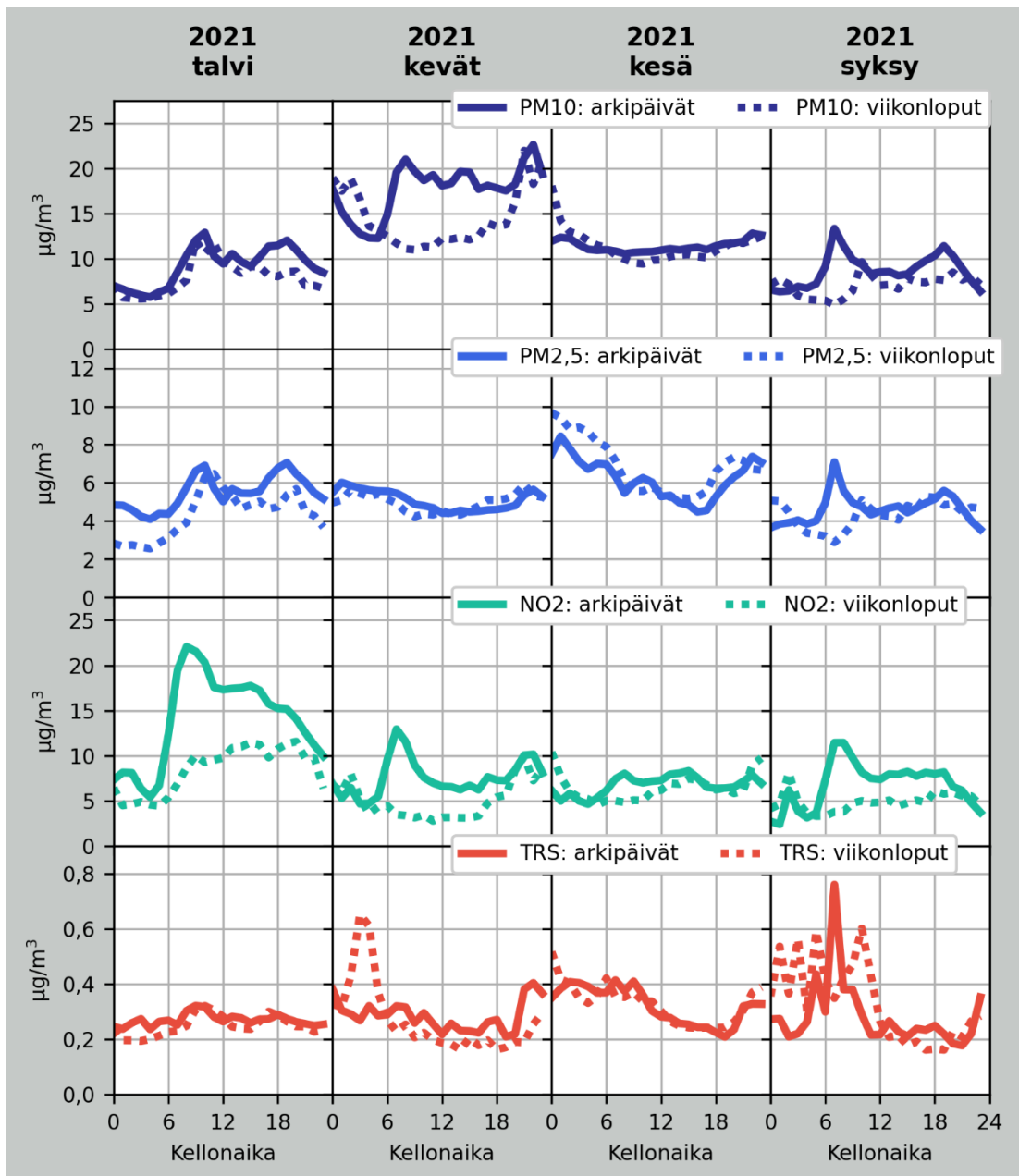
2.4 Pitoisuuksien ajallinen vaihtelu

Kuvassa 9 on tarkasteltu Kempeleen keskustan ilmanlaadun mittausasemalla mitattujen hengitettävien hiukkasten, pienhiukkasten, typpidioksidin ja haisevien rikkiyhdisteiden vuorokausivaihtelua kellonajan mukaan erikseen arkipäivisin (maanantai–perjantai) ja viikonloppuisin (lauantai–sunnuntai) sekä eri vuoden aikoina (talvi: tammi-, helmi- ja joulukuu; kevät: maaliskuu, huhti- ja toukokuu; kesä: kesä-, heinä- ja elokuu; syksy: syys-, loka- ja marraskuu). Huomion arvoista kuvassa 9 on kevään katupölykauden selvä erottuminen hengitettävien hiukkasten osalta, sekä talvikaudella muuta vuoden aikoja korkeammasta liikenteestä peräisin olevat typpidioksidin pitoisuudet. Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet kohoavat tyypillisesti kaupunkialueilla keväällä katupölyaikaan. Keväällä ja kesällä ilmakehän sekoittuminen on voimakkaampaa kuin kylmempinä vuodenaikoina. Ilmakehän sekoittuminen ja tuulet laimentavat pitoisuuksia maanpinnan lähellä (5.4).

Hengitettävien hiukkasilla ja pienhiukkasilla arkipäivien ja viikonloppun kuvaajat eivät juurikaan eroa toisistaan, lukuun ottamatta hengitettävien hiukkasten osalta kevät kuukausia. Kevät on katupölyaikaa, jolloin liikenne ja tuuli nostattavat maasta hiukkasia ilmaan, joiden määrää säätelevät muun muassa liikenteen vilkkaus ja nopeus, nastarenkaiden käyttö, tuulen nopeus, maan- ja tienpinnan kosteus sekä sateisuus. Katupölyn määrään vaikuttavat voimakkaasti myös katujen kunnossapitotoimet ja niiden oikea-aikaisuus; hiekoitushiekan puhdistaminen ja pölyn sidonta. Hiukkaspitoisuudet ovat korkeimmillaan aamu- ja iltapäivä liikenteen ollessa vilkkaimmillaan.

varsinkin talvi- ja syyskuukausina, kun ilmakehän sekoittuminen on heikkoa ja inversiotilanteet mahdollisia (<https://www.ilmatieteenlaitos.fi/talviset-inversiotilanteet>).

Typpidioksidin pitoisuuksissa havaitaan selkeimmin arkipäivien ja viikonloppujen ero. Arkipäivisin on tyypillisesti enemmän liikennettä viikonloppuihin verrattuna ja varsinkin arkaamujen vilkkaampi liikenne näkyy pitoisuuksissa. Talvikuukausina pitoisuudet ovat muita vuodenaikojä korkeampia johtuen ilmakehän heikommasta sekoittumisesta. Yöaikaan kaikkina vuodenaikoina typpidioksidipitoisuudet ovat alimmillaan.



Kuva 9. Mitattujen pitoisuuksien ajallinen vaihtelu vuorokauden ajan, viikonpäivän sekä vuoden ajan mukaan Kemijoen keskustan mittausasemalla vuonna 2021. Arkipäiviä ovat ma-pe, viikonloppuja ovat la-su ja vuodenajat ovat talvi: tammi-, helmi- ja joulukuu; kevät: maali-, huhti- ja toukokuu; kesä: kesä-, heinä- ja elokuu; syksy: syys-, loka- ja marraskuu.

2.5 Hajujen esiintyminen

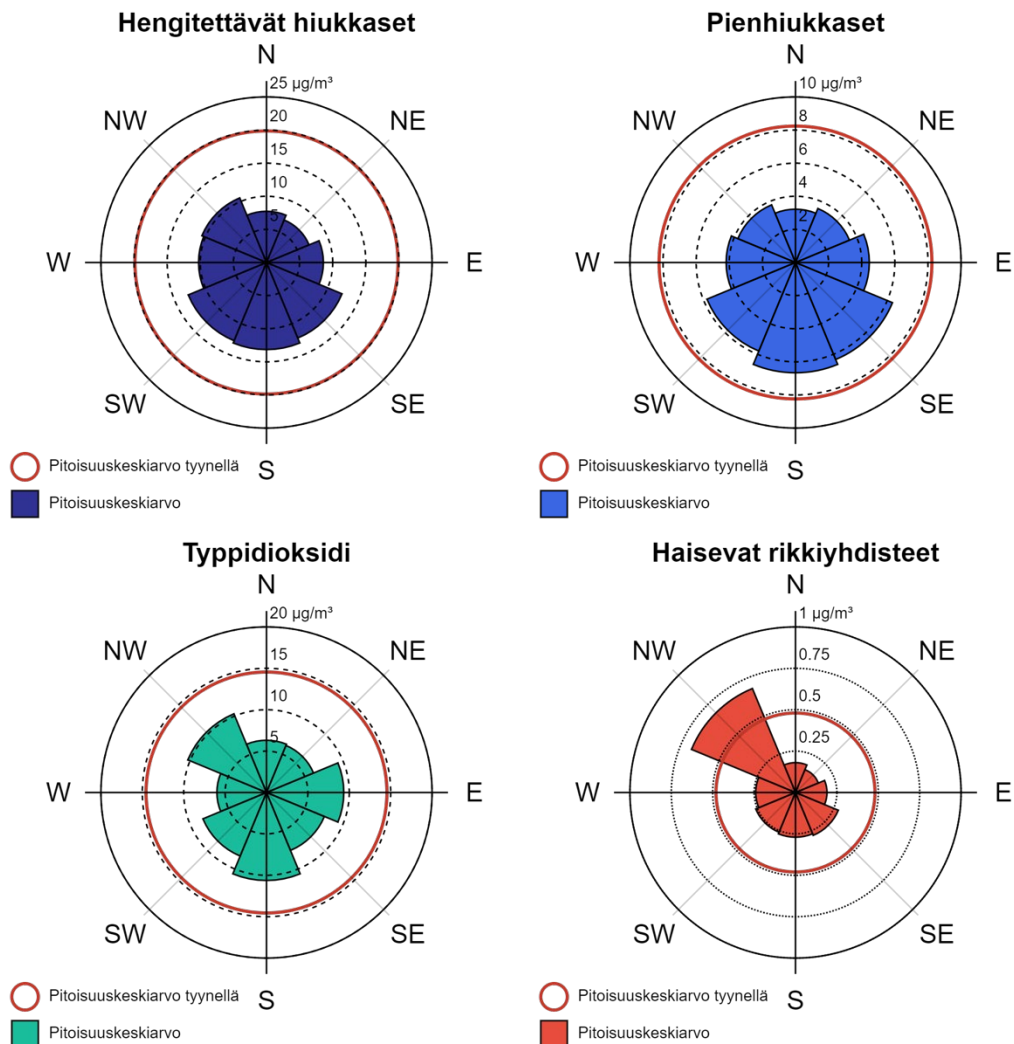
Kemin keskustan mittausasemalla mitattuja haisevien rikkiyhdisteiden tuntipitoisuuksia tarkastelemalla voidaan tilastollisesti arvioida, että mittausjaksolla olisi esiintynyt hajutunteja 47 kpl eli noin 0,5 % koko mittausjakson tunneista. Hajutunneiksi on tässä tarkastelussa määritetty kaikki tunnit, jolloin TRS-pitoisuus on ollut $\geq 3 \mu\text{g(S)}/\text{m}^3$. Näistä tunneista on ollut tunnistettavaa hajua ($\geq 3 \mu\text{g(S)}/\text{m}^3$.) 38 tuntia ja melko voimakasta tunnistettavissa olevaa hajua ($\geq 6 \mu\text{g(S)}/\text{m}^3$). 9 tuntia. Erityisen runsaasti tällä tavalla määriteltyjä hajutunteja esiintyi syys- ja lokakuun puolenvälin välisenä aikana, kun Metsä Fibren nykyinen sellutehdas käynnistettiin vuosi-huoltoseisokin jälkeen syyskuun loppupuolella. TRS-pitoisuus oli koko mittausjaksolla noin 97 % tunneista alle $1 \mu\text{g(S)}/\text{m}^3$, eli enimmäkseen mittausjaksosta pitoisuudet olivat matalia, eikä hajuja esiintynyt.

TRS-pitoisuuksiin perustuvaa hajujen esiintyvyyden arviointia voidaan pitää vain hyvin suuntaa antavana. Tässä hajutuntimäärätarkastelussa on oletettu, että kaikki mitattu TRS-pitoisuus olisi ollut rikkivetyä, joka on kaikista TRS-yhdisteistä herkimmin haiseva, eli sillä on matalin hajukynnys. Rikkivety aiheuttaa tunnistettavaa hajua pitoisuustasolla noin $3\text{--}6 \mu\text{g(S)}/\text{m}^3$ ja melko voimakasta tunnistettavissa olevaa hajua, kun pitoisuus on yli $6 \mu\text{g(S)}/\text{m}^3$. Todellisuudessa mitattu pitoisuus sisältää eri TRS-yhdisteitä. Kaikkien näiden yhdisteiden hajua havaitaan eri pitoisuustasoilla, koska kullakin on eri hajukynnys. Näin ollen kokonais-TRS-pitoisuus ei suoraan kerro hajun esiintyvyydestä.

2.6 Tuulen suunnan ja nopeuden vaikutus mitattuihin pitoisuuksiin

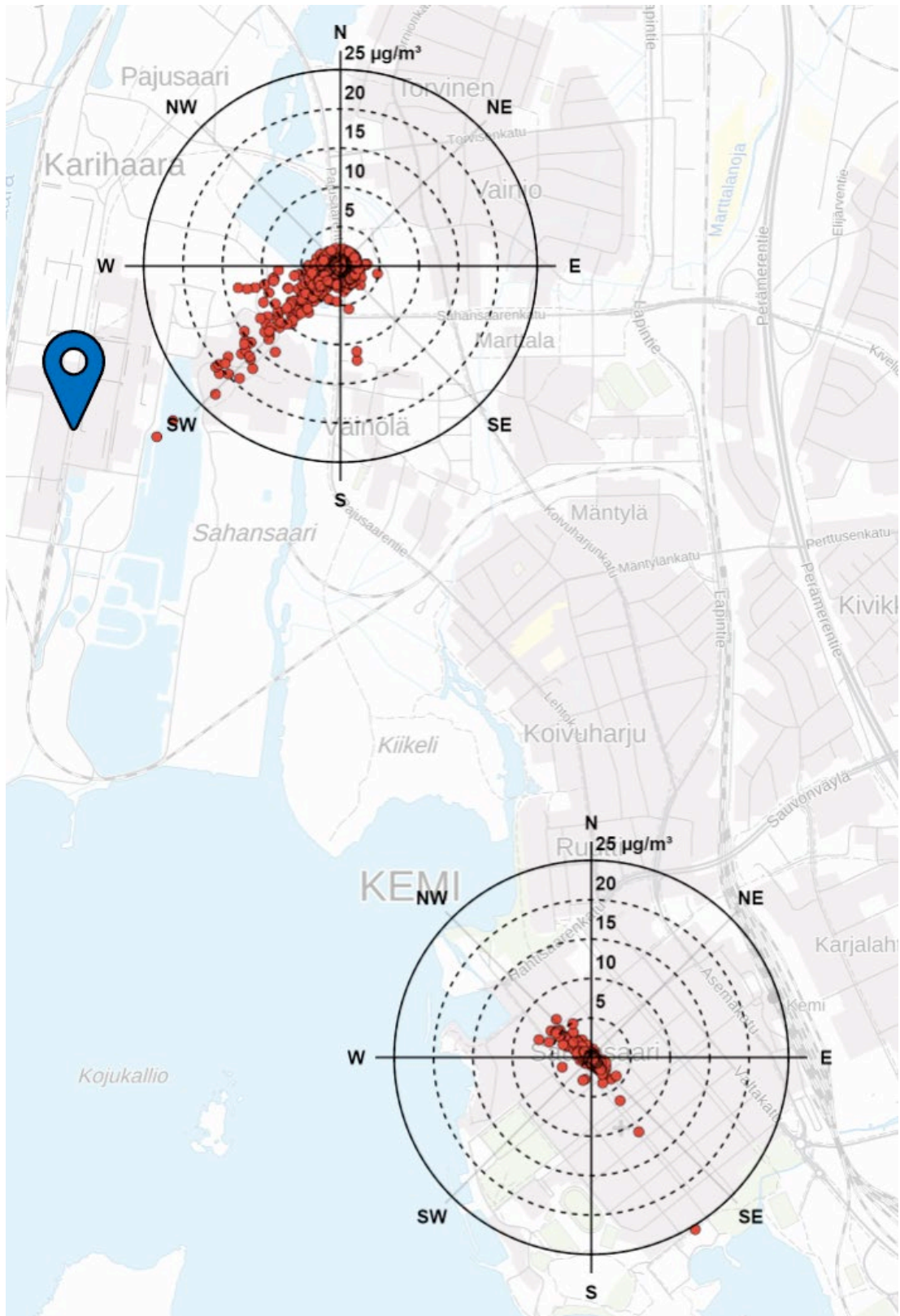
Kuvassa 10 on havainnollistettu Kemin keskustan ilmanlaadun mittausasemalla mitattujen pitoisuuksien keskimääräistä riippuvuutta tuulensuunnasta ns. pitoisuusruusujen avulla. Pitoisuusruusu kuvaa tuntipitoisuuksien keskiarvoa eri tuulensuunnilla. Tyynellä säällä, eli kun tuulen nopeus on alle 0,5 m/s, havaittujen tuntipitoisuuksien keskiarvo on esitetty ympyrällä, jonka kehän etäisyys keskipisteestä kuvaa pitoisuuden arvoa. Tyynellä säällä mitattuihin pitoisuustasoihin vaikuttaa tyypillisesti merkittävimmin lähipäästölähteet. Muilla tuulennopeuksilla havaitut pitoisuudet on esitetty tuulensuuntaisina sektoreina, joissa etäisyys keskipisteestä vastaa tuntipitoisuuksien keskiarvoa. Vuonna 2021 Kemin keskustan mittauspisteessä vallitsevia tuulensuuntia olivat kaakon ja lounaan puoleiset tuulet. Tuulijakauma on esitetty kappaleessa 5.1.

Mitatut hiukkaspitoisuudet jakautuvat melko tasaisesti eri tuulensuunnille, hieman korkeampia pitoisuuksia mitattiin etelänpuoleisilla tuulisektoreilla pohjoispuolen sektoreihin verrattuna. Haisevien rikkiyhdisteiden keskimääräistä suuremmat pitoisuudet mitattiin tuullessa luoteen suunnalta, missä ilmansuunnassa noin 3 km etäisyydellä sijaitsee Metsä Fibre sellutehdas. Kaikkien mitattujen suureiden pitoisuuskeskiarvo tyynellä oli suurempi kuin tuullessa yli 0,5 m/s, lukuun ottamatta haisevia rikkiyhdisteitä luoteissektorin osalta.



Kuva 10. Kemijoen keskustan mittausasemalla vuonna 2021 mitattujen tuntipitoisuuksien keskiarvot tuulensuunnittain. Punaisella ympyrällä on merkitty pitoisuuksia, jotka on mitattu tyynissä tilanteissa. Tyyniksi on tässä tarkastelussa luokiteltu tuulet, joiden nopeus on alle 0,5 m/s.

Kuvassa 11 on esitetty karttakuvan päällä Kemijoen keskustassa ja Pajusaarentiellä (16.7.–31.12.2021 ajalla) mitattujen haisevien rikkiyhdisteiden tuntipitoisuudet mittausjakson ajalta pistekaavioina tuulen suuntien mukaan. Suurin osa TRS-pitoisuuksista molemmille asemilla saapui Metsä Fibren sellutehtaan suunnalta. Keskustan asemalla havaittiin TRS pitoisuuksia saapuvan myös kaakon suunnalta, jossa sijaitsee (vuoden 2021 syksyllä suljettu) Stora Enson paperitehdas. Huomion arvoista on myös tuulien suuntautuminen Kirkkopuistonkadun suuntaisesti Kemi keskustan mittausasemalta mitattuna (Kappale 5.1). Kappaleessa 2.5 mainituista hajutunneista ($\text{TRS} > 3 \mu\text{g}/\text{m}^3$) noin 68 % mitattiin tuulleessa luoteen eli Metsä Fibren sellutehtaan suunnalta, noin 15 % tuulleessa kaakon, eli Stora Enson Veitsiluodon paperitehtaan suunnalta ja loput noin 17 % tuulleessa muilta ilmansuunnilta (etelä 2 %, itä: 4 %, länsi: 7 %, pohjoinen: 4 %).



Kuva 11.

Kemin keskustan ja Pajusaarentien mittausasemilla vuonna 2021 (Pajusaarentie 16.7.–31.12.2021) mitattujen haisevien rikkijyhdisteiden tuntipitoisuudet kuvattuna pistekaavioina tuulensuuntien mukaan, jolloin tuulen nopeus on ollut yli 0,5 m/s. Karttaan on merkitty Metsä Fibre sellutehtaan sijainti sinisellä merkinnällä (muokattu Maanmittauslaitoksen selkokarttasarja-aineistosta 5/2022).

2.7 Pitoisuuksien vertailua muualla mitattuihin pitoisuuksiin

Taulukossa 2 ja kuvissa 12–14 on esitetty typpidioksidin, hengitettävien hiukkasten ja haisevien rikkiyhdisteiden pitoisuuksia vuodelta 2021 Kemin keskustan ja Pajusaarentien mittausasemien lisäksi Äänekosken paloasemalta, Helsingin keskustan Mannerheimintieltä, Oulun keskustasta sekä Ilmatieteen laitoksen taustailmanlaadun mittausasemalta Muonion Sammaltunturilta. TRS-pitoisuuksia on verrattu myös Joutsenon keskustan asemaan. Joutsenossa sijaitsee Metsä Fibren sellutehdas ja Äänekoskella biotuotetehdas. Kaikki mitatut pitoisuustulokset on saatu jatkuvatoimisilla laitteilla. Helsingin Mannerheimintie edustaa Suomen mittakaavassa vilkkainta liikenneympäristöä kaupungin keskusta-alueella. Sammaltunturin mittausasema edustaa pitoisuuksia Lapissa puhtaalla tausta-alueella, jossa aseman välittömässä läheisyydessä ei ole ihmistoimintoja. Äänekosken paloasemalla tarkkaillaan läheisen metsäteollisuuden sekä ohikulkutien liikenteen päästöjen vaikutusta ilmanlaatuun.

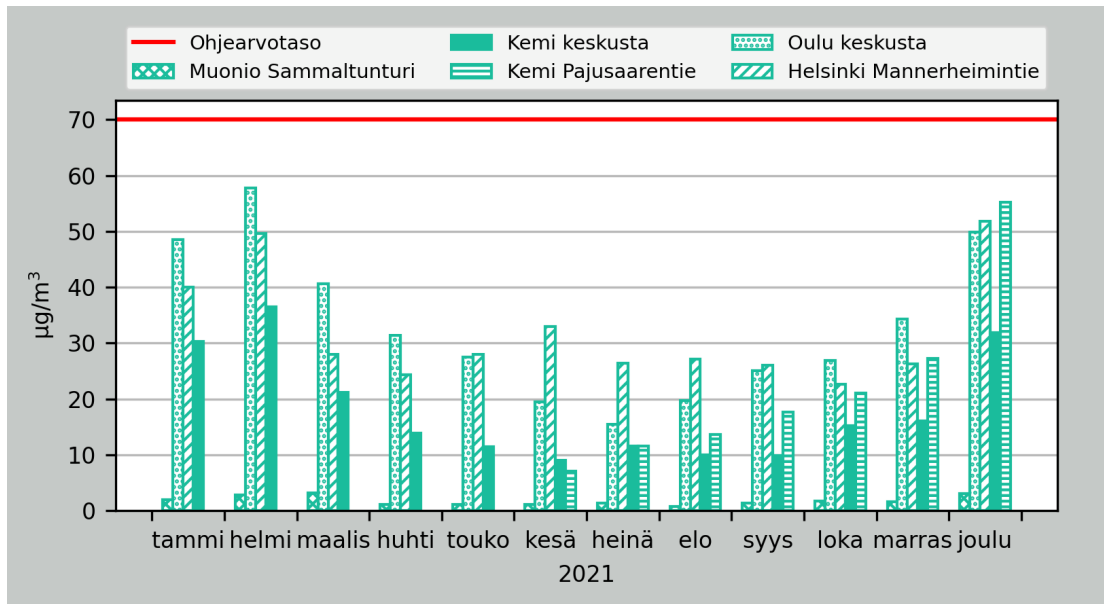
Typpidioksidin vuorokausiohjearvoon verrattuna Kemi Keskustan pitoisuudet olivat vertailukohteista Mannerheimintietä ja Oulun keskustaa pienempiä. Molemmissa kaupungeissa liikennemäärät ovat huomattavasti suurempia kuin Kemissä. Kemissä Pajusaarentiellä typpidioksidipitoisuudet olivat huomattavasti korkeampia kuin keskustassa, ja jopa korkeampia kuin Helsingin Mannerheimintiellä marras- ja joulukuussa. Pajusaarentiellä mitatut korkeat pitoisuudet johtuvat todennäköisesti Metsä Fibren tehdasrakennustyömaalle mittauspisteen ohi kulkevasta raskaasta liikenteestä. Tyypillisesti typpidioksidipitoisuudet ovat korkeimmillaan talvikuukausina. Typpidioksidipitoisuuksiin vaikuttavat paikalliset sääolosuhteet kuten tuuli, tynnet pakkaspäivät ja inversiotilanteet, jolloin ilman sekoittuminen on heikkoa, sekä liikennemäärät.

Hengitettävien hiukkasten ohjearvoon verrannolliset pitoisuudet olivat Kemin keskustassa korkeimmat huhtikuussa, joka on tyypillisesti katupölykauden osalta merkittävin kuukausi. Yleisesti ottaen hengitettävien hiukkasten pitoisuuksiin vaikuttavat liikenteen päästöjen, teollisuuden päästöt ja paikallinen ympäristön pölyäminen. Helmi- ja maaliskuussa Sammaltunturilta ei ollut saatavissa hengitettävien hiukkasten mittausdataa.

Haisevien rikkiyhdisteiden pitoisuuksiin vaikuttavat eniten paikallisen teollisuuden päästöt ja erityisesti sen häiriöpäästöt. Pitoisuudet voivat vaihdella ajallisesti ja paikallisesti hyvinkin paljon, joten yksittäisiä pitoisuuspiikkejä ei ole tarkoituksenmukaista vertailla keskenään. Lokakuussa Metsä Fibren tehtaalla suoritettiin vuosihuolto, jolloin pitoisuudet Kemin Pajusaarentiellä olivat tavanomaista korkeammat.

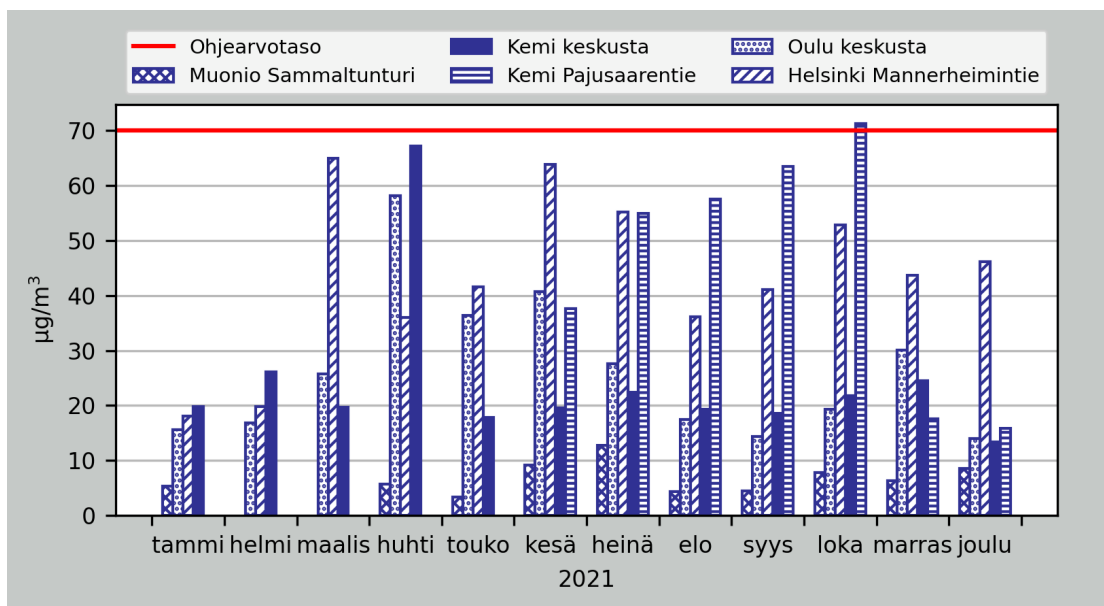
Taulukko 2. Kemin keskustassa, Kemissä Pajusaarentiellä, Helsingin Mannerheimintiellä, Muonion Sammaltunturilla, Oulun keskustassa, Joutsenon keskustassa ja Äänekosken paloasemalla vuonna 2021 mitatut typpi dioksidin, hengitettävien hiukkasten, pienhiukkasten ja haisevien rikkiyhdisteiden keskiarvopitoisuudet ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

keskiarvo-pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Kemi keskusta	Kemi Pajusaarentie	Helsinki Mannerheimintie	Muonio Sammaltunturi	Oulu keskusta	Joutseno keskusta	Äänekoski paloasema
NO ₂	7,9	10,1	17,9	0,9	14,9	–	6,2
PM ₁₀	11,4	18,2	19,9	2,5	12,0	8,6	12,7
PM _{2.5}	5,3	5,6	7,2	–	5,2	–	–
TRS	0,3	0,8	–	–	0,1	0,7	0,5



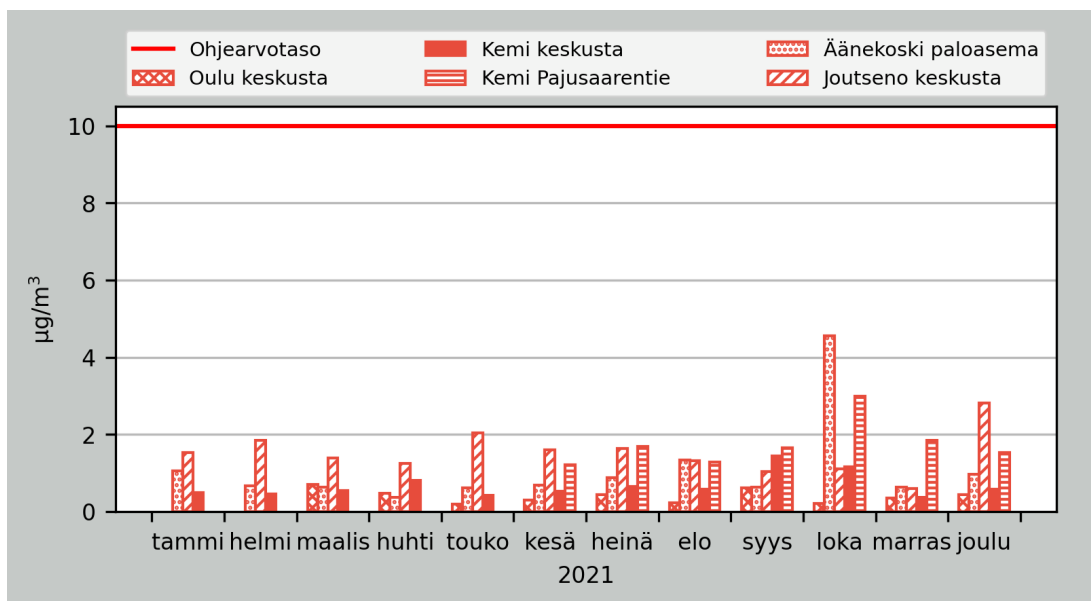
Kuva 12.

Typidioksidipitoisuuden vuorokausiohjeeseen verrattavat pitoisuudet ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) kuukausittain vuonna 2021 eri mittausasemilla. Vuorokausiohje 70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ on esitetty punaisella vaakaviivalla.



Kuva 13.

Hengitettävien hiukkasten pitoisuuden vuorokausiohjeeseen verrattavat pitoisuudet ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) kuukausittain vuonna 2021 eri mittausasemilla. Vuorokausiohje 70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ on esitetty punaisella vaakaviivalla.



Kuva 14. Haisevien rikkiyhdisteiden pitoisuuden vuorokausiohjearvoon verrattavat pitoisuudet kuukausittain vuonna 2021 eri mittausasemilla. Vuorokausiohjearvo 10 µg/m³ on esitetty punaisella.

3. YHTEENVETO MITTAUSTULOKSISTA JA SUOSITUKSET

Ilmatieteen laitos tarkkaili Kemlin ulkoilman laatua 1.1.–28.12.2021 välisenä aikana yhdessä mittauspisteessä. Ilmanlaadun mittauksen tavoitteena oli kartoittaa hengitettävien hiukkasten, pienhiukkasten, typen oksidien ja haisevien rikkiyhdisteiden pitoisuustasoa ja hetkellisiä vaihteluja Kemlin keskustassa sekä arvioida mittaus tulosten perusteella ilmanlaadun seurannan tarvetta tulevaisuudessa. Mittauspiste sijaitsi keskustan yhdellä vilkkaimmin liikennöidyllä kadulla, Kirkkopuistonkadulla ajoratojen välissä. Mittausaseman edusti tyypillistä keskustan ympäristöä, jossa näkyy selvästi tieliikenteen päästöjen vaikutus.

Kemlin keskustan ilmanlaadun mittausasemalla mitattujen pitoisuuksien tuntiarvojen perusteella laskettiin ilmanlaatuindeksi, joka kuvaa vallitsevaa ilmanlaatu tilannetta 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 keskustassa hyvää tai tyydyttävää suurimman osan ajasta, 89 % mittausjakson vuorokausista. Ilmanlaatu oli välttävää 8 % päivistä, huonoa 2 % päivistä ja erittäin huonoa 1 % päivistä. Huonon ja erittäin huonon ilmanlaadun päiviä oli eniten huhtikuussa (7 päivää). Suurin osa huonon ja erittäin huonon ilmanlaadun päivistä johtuivat tarkastelujaksolla hengitettävien hiukkasten korkeista pitoisuuksista kevään katupölykaudella.

Hengitettävien hiukkasten, pienhiukkasten ja typpidioksidin mitatut pitoisuudet jäivät selvästi ilmanlaatulainsäädännössä annettujen raja-arvojen ja arviointikynnyksien alapuolelle. Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet olivat korkeimmillaan 40 % vuorokausiraja-arvosta ja 28 % vuosiraja-arvosta. Pienhiukkasten pitoisuus oli enimmillään keskustassa 21 % vuosiraja-arvosta. Typpidioksidin pitoisuus oli enimmillään keskustassa 33 % tuntiraja-arvosta ja 20 % vuosiraja-arvosta. Pitoisuuksien jäädessä alle alemman arviointikynnyksen, ilmanlaatua ei tarvitse seurata jatkuvatoimisesti kiinteillä ilmanlaadun mittauksilla.

Kaikkien mitattujen pitoisuuksien ohjearvoon verrattavat pitoisuudet jäivät alle ohjearvotason kaikkina kuukausina. Typpidioksidin ohjearvoon verrattavat pitoisuudet olivat enimmillään helmikuussa, jolloin tuntipitoisuus oli 49 % ja vuorokausipitoisuus 52 % ohjearvotasosta.

Hengitettävien hiukkasten ohjearvoon verrattavissa pitoisuuksissa kevätpölykausi näkyi selvästi huhtikuun vuorokausipitoisuuksien ollessa 96 % ohjearvosta. Haisevien rikkiyhdisteiden ohjearvoon verrattavissa pitoisuuksissa Metsä Fibren sellutehtaan vuosihuolto erottui syyskuun pitoisuuksien ollessa 14 % ja lokakuun 12 % ohjearvosta. Muina kuukausina haisevien rikkiyhdisteiden pitoisuudet jäivät noin tai alle kahdeksaan % ohjearvotasosta.

Haisevia rikkiyhdisteitä lukuun ottamatta kaikki mitatut pitoisuudet olivat keskimäärin korkeimmat tyynellä, jolloin tuulen nopeus oli alle 0,5 m/s. Tyynellä säällä pitoisuuksien lähde tai lähteen ilmansuuntaa ei pysty päättelemään. Tyynissä tilanteissa korostuu lähipäästölähteiden vaikutus ilmanlaatuun. Haisevien rikkiyhdisteiden pitoisuuksissa suurin keskimääräinen pitoisuus mitattiin koko mittausjakson aikana tulevan luoteen suunnalta, jossa sijaitsee Metsä Fibren sellutehdas ja jonne rakentuu Metsä Fibren biotuotetehdas. Kovemmilla tuulenopeuksilla pystytään selkeämmin päättelemään, 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 ja pienhiukkasten pitoisuudet olivat keskimäärin suurimmillaan tuullessa eteläiseltä sektorilta. Lisäksi hengitettävien hiukkasten pitoisuuksissa niin ikään suurimpia keskimääräisiä pitoisuuksia mitattiin tuullessa luoteisesta sektorista. Typpidioksidin osalta suurimmat keskimääräiset pitoisuudet mitattiin tuullessa etelän, idän ja luoteen sektoreista.

Mitattujen pitoisuuksien, ajallisen vaihtelun sekä tuulensuuntatarkasteluiden perusteella Kemin keskustan ilmanlaadunmittauspisteessä merkittävimmät ilmanlaatuun vaikuttavat tekijät ovat autoliikenne sekä katupöly. Hiukkasten pitoisuuksiin vaikuttavat autojen pakokaasuista peräisin olevien hiukkasten lisäksi myös tuulen ja liikennevirran maanpinnasta ilmaan nostattamat hiukkaset. Myös Metsä Fibren vuosihuollon vaikutus erottui selvästi ilmanlaatuindeksissä sekä mitatuissa haisevien rikkiyhdisteiden pitoisuuksissa.

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 2021 tehdyn ilmanlaadun tarkkailujakson perusteella voidaan todeta, että Kemin kaupungissa ei ole tarvetta hengitettävien hiukkasten, pienhiukkasten, typenoksidipitoisuuksien ja haisevien rikkiyhdisteiden kokoaikaisesti jatkuvaan mittaamiseen, vaan pitoisuustasoja voidaan seurata suuntaa antavien mittausten avulla. Poikkeuksena tähän ovat teollisuuslaitosten erilliset ilmanlaatuvaikutusten tarkkailut.

Jatkossa ilmanlaadun mittauksissa tulisi keskittyä hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) pitoisuusseurantaan 5 vuoden välein, mittauspaikan pysyessä samana. 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 Kemin hengitettävien hiukkasten pitoisuuksia Oulussa mitattuihin pitoisuuksiin, on merkille pantavaa, että suuressa vilkkaammin liikennöidyssä kaupungissa hengitettävien hiukkasten pitoisuudet ovat keväällä katupölyaikaan pienemmät kuin Kemissä. Jatkossa Kemissä tulisi katupölyhaittojen ehkäisemiseksi kiinnittää huomiota katupölyn torjuntaan: katujen ja teiden talvikunnossapitoon, oikea-aikaiseen hiekoitushiekan poistoon sekä erityisesti pölynsidontaan katupölykaudella (*Ritola ym., 2021*). Esimerkiksi Oulussa on tehokkaasti vähennetty korkeimpia hiukkaspitoisuuksia pölynsidonnalla jo yli 10 vuoden ajan.

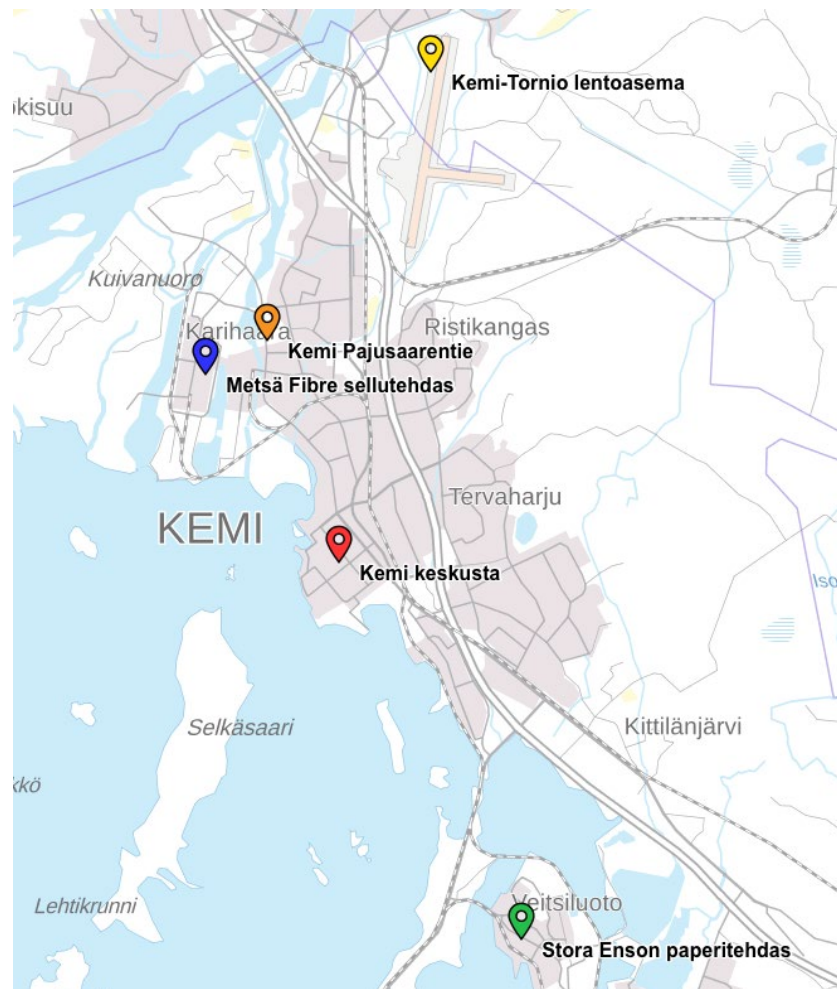
Pientaloalueilla, joissa on merkittävässä määrin puunpientaltoa, suositellaan myös bentso(a)pyreeni yhdisteiden suuntaa antavien pitoisuusmittauksien tekemistä kalenterivuoden ajan. Kohonneita bentso(a)pyreeni pitoisuuksia esiintyy erityisesti asuinalueilla, joilla on paljon talokohtaista puulämmitystä. Liikenteen päästöjen vaikutus bentso(a)pyreeni pitoisuuksiin on vähäinen.

Suomessa bentso(a)pyreeni on tyypillisesti pientaloalueiden ongelma, jolloin ihmiset altistuvat sille etupäässä kotona ollessaan. Asuinalueilla, joilla poltetaan paljon puuta, mitatut pitoisuuksien vuosikeskiarvot ovat usein tavoitearvon tuntumassa. Bentso(a)pyreenin mittauksia on Suomessa vielä toistaiseksi tehty melko vähän, mutta mallilaskelmien mukaan tavoitearvoa lähellä olevia tai jopa sen ylittäviä pitoisuuksia esiintyy melko tasaisesti ympäri Suomea asutuskeskuksissa alueilla, joissa on paljon puunpolttoa (*Horálek ym, 2020*). Kustannustehokasta on toteuttaa bentso(a)pyreenimittaukset olemassa olevalla ilmanlaadun mittausasemalla, jonka voidaan katsoa edustavan pientaloalueen puunpolton päästöjen vaikutuksia ilmanlaatuun. Puunpolton vaikutuksia arvioitaessa ilmanlaadun mittauksin, suositeltavaa on seurata bentso(a)pyreenin lisäksi myös jatkuvatoimisesti pienhiukkaspitoisuuksia.

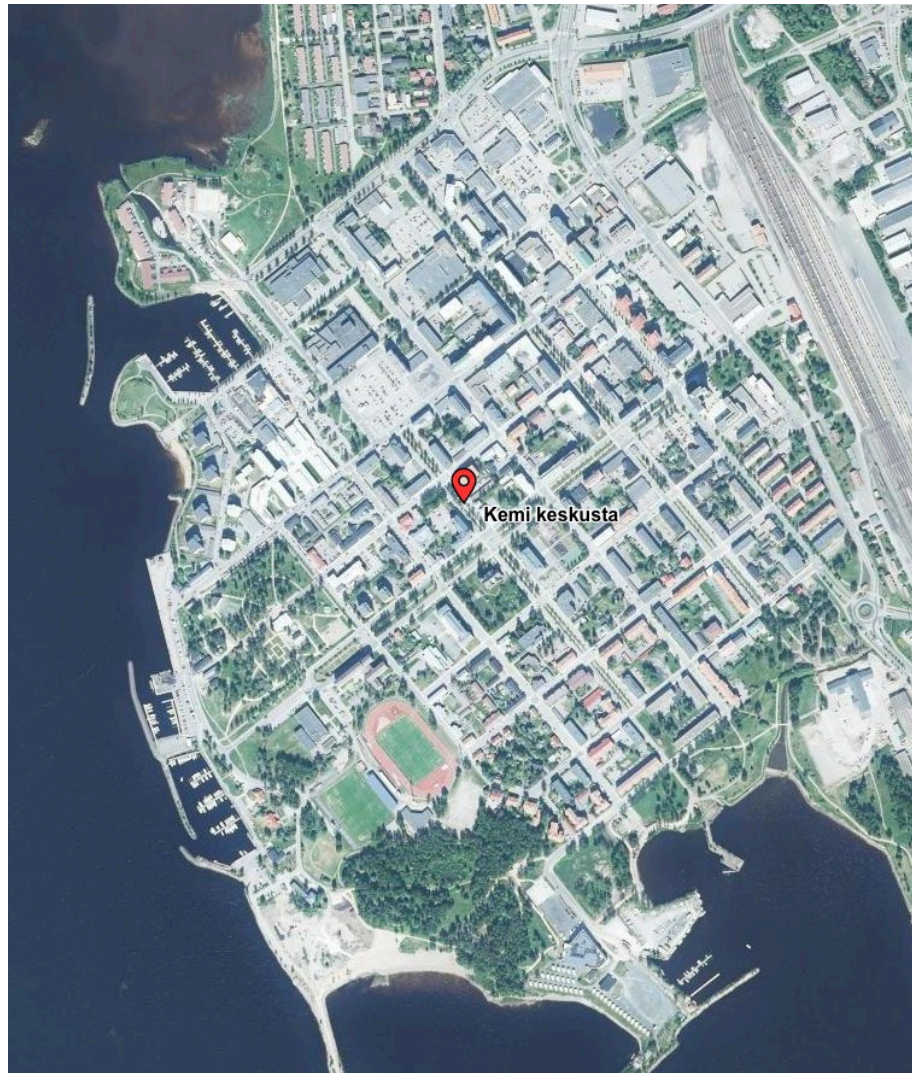
4. TUTKIMUKSEN SUORITUS

4.1 Mittauspaikka ja sen edustavuus

Ilmatieteen laitos mittasi ulkoilmanlaatua Kemi keskustassa Kirkkopuistonkadulla 1.1.–28.12.2021. Mittausasema sijaitsi autokaistojen välisellä tien keskialueella kulkevan pyörätien vieressä. Aseman sijaitsi keskeisellä paikalla ydinkeskustassa ruutukaava-alueella. Mittauspiste edustaa ulkoilman pitoisuuksia erityisesti keskustan liikennealueella Kirkkopuistonkadun ollessa yksi Kemien keskustan vilkkaimmin liikennöidyistä kaduista. Lähin teollisuuslaitos sijaitsee noin 3 km luoteeseen, jossa sijaitsee Metsä Fibren sellutehdas. Stora Enson Veitsiluodon tehdas, joka suljettiin syksyllä 2021, sijaitsi mittausasemalta noin 5 km kaakkoon.



Kuva 15. Kartta alueesta, johon on merkitty Kemien keskustan ilmanlaadun mittausasema punaisella, Pajusaarentien asema oranssilla, Metsä Fibren sellutehdas sinisellä, Stora Enson paperitehdas vihreällä ja lähin Ilmatieteen laitoksen automaattinen säasema keltaisella symbolilla (muokattu Maanmittauslaitoksen selkokarttasarja-aineistosta 4/2022).



Kuva 16. Kemin keskustan ilmanlaadun mittausasema merkittynä punaisella merkinnällä (Maanmittauslaitos, ortokuvasarja-ainesto, 4/2022).

4.2 Mitatut suureet ja mittausmenetelmät

Kemin keskustan mittauspisteeseen tuotiin mittauskontti, jossa kaikki mittauksiin liittyvät toiminnot tapahtuivat häiriöttä ja mittausolosuhteet stabiileina. Mittausasemalla mitattiin jatkuvatoimisilla automaattisilla analysointilaitteilla typen oksidien (NO , NO_2 ja NO_x), halkaisijaltaan alle $10\ \mu\text{m}$ suuruisten hengitettävien hiukkasten (PM_{10}) ja alle $2,5\ \mu\text{m}$ suuruisten pienhiukkasten ja haisevien rikkiyhdisteiden (TRS). Mittalaitteet ja mittausmenetelmät on esitelty taulukossa 3. Kaikkien laitteiden näytteenotto tapahtui mittausaseman katolla olevista näytteenottimista noin 3,5 metrin korkeudelta. Lisäksi mittausasemalla havainnoitiin tuulen suuntaa ja nopeutta, ulkoilman lämpötilaa, suhteellista kosteutta ja ilmanpainetta. Säämittausanturin korkeus oli noin 4 metriä maanpinnan tasosta. Kontin ilmasto on järjestetty niin, ettei poistoilmavirta häiritse näytteenottoa, eivätkä poistoilman epäpuhtaudet pääse näytteenottiin.

Taulukko 3. Kemin keskustan mittausasemalla ilmanlaadun mittauksissa käytetyt menetelmät ja laitteet.

Mitattava komponentti	Mittausmenetelmä	Mittalaite
Typen oksidit	Kemiluminesenssi	TEI 42i
Hengitettävät hiukkaset ja pienhiukkaset	Valon sironta + Beetasäteilyn absorptio	Thermo Model 5030 SHARP
Haisevat rikkiyhdisteet	UV-fluoresenssi + konvertteri	TEI 43i + PPM891 konvertteri
Meteorologiset tiedot		Vaisala WXT530



Kuva 17. Ilmanlaadun mittausasema Kemin keskustassa kuvassa oleva vasemman puoleinen harmaa kontti, jossa on turvakaiteet katolla.. Ulkoilma imetään mittalaitteisiin kontin katolla sijaitsevien näytteenottimien läpi. Lisäksi katolla on säämittausanturi. Valokuva: Matias Saunamäki & Mika Vestenius.

Typen oksidien (NO_x) mittauksissa käytettiin kemiluminesenssiin perustuvaa määrittämenetelmää. 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*.

Hiukkasten pitoisuutta mitattiin valon sirontaan perustuvalla menetelmällä. Hiukkasten jatkuvatoimiset mittaukset perustuvat standardiin *SFS-EN 16450:2017 Ambient air – Automated measuring systems for the measurement of the concentration of particulate matter ($\text{PM}_{10}/\text{PM}_{2.5}$)*. $\text{PM}_{10}/\text{PM}_{2.5}$ -hiukkasten gravimetrinen referenssimenetelmä on kuvattu standardissa *EN 12341:2014*. Ilmatieteen laitoksen käyttämien automaattisten hiukkasanalysaattoreiden antamien tulosten vastaavuus $\text{PM}_{10}/\text{PM}_{2.5}$ -hiukkasten gravimetrisen referenssimenetelmään on osoitettu tutkimuksessa Saarnio ym. 2021.

Haisevien rikkiyhdisteiden kokonaispitoisuutta määritetään hapettamalla rikkiyhdisteet korkeassa lämpötilassa ns. konvertterissa rikkidioksidiksi. Tämän jälkeen myös TRS-laitteessa mitataan rikkidioksidin kokonaispitoisuutta UV-fluoresenssimenetelmällä. Rikkidioksidin mittauksissa käytettiin UV-fluoresenssiin perustuvaa määritysmenetelmää. Mittaukset perustuvat EU:n referenssimenetelmään, joka on kuvattu standardissa SFS-EN 14212:2012. *Ambient air – Standard method for the measurement of the concentrations of sulphur dioxide by ultraviolet fluorescence.*

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

4.3 Kalibroitimenetelmät, laadunvarmistus ja laitehuollot

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_kuva_us.pdf). Ilmanlaadun seurannan laadunvarmennuksessa kiinnitettiin huomiota kalibroitien suorittamiseen, kalibroitien jäljitettävyyteen ja laitteiden toimintaan. Typen oksidien, rikkidioksidin, haisevien rikkiyhdisteiden ja hiilimonoksidin mittalaitteiden kalibroinnit tehtiin monipistekalibroinnin (4–5 pitoisuutta) avulla noin 3 kk välein. Mittausaineisto korjattiin matemaattisesti kalibroitulosten perusteella. Kalibroitien yhteydessä tehtiin laitehuollot ja näytteenottolinjojen puhdistukset. Analysaattorien hiukkassuodattimet vaihdettiin kalibroitien yhteydessä.

Typen oksidien mittalaite kalibroitettiin käyttäen typpimonoksidikaasua (NO) ja haisevien rikkiyhdisteiden mittalaite käyttäen rikkivetykaasua (H₂S), joita laimennettiin erillisen kenttälaimentimen avulla halutuille pitoisuustasoille. Laimentimesta tuotettiin kalibroitipitoisuusarvot, jotka oli varmennettu (kalibroitu) ilmanlaatumittausten kansallisessa vertailulaboratoriossa jäljitettävästi kalibroitu analysaattoria vastaan. Kenttälaimentimen tuottamien pitoisuuksien jäljitettävyyttä siirtyi laboratorion oman jäljen kautta ainemäärään (mooli). Laimennuskaasuna käytettiin suodatettua ilmaa. Typen oksidien kaasunormaalina käytettiin kaasupulloa ja rikkidioksidin ja haisevien rikkiyhdisteiden kaasunormaalina käytettiin permeaatioputkia. Kalibroitien perusteella ilmanlaadun seurannan typen oksidien, rikkidioksidin ja haisevien rikkiyhdisteiden pitoisuusmittaukset on jäljitetty kansalliseen mittanormaaliiin ja sitä kautta ainemäärään. Ilmatieteen laitoksella sijaitseva kansallinen vertailulaboratorio on Turvallisuus- ja kemikaaliviraston akkreditointiyksikön (FINAS) akkreditoima kalibrointilaboratorio K043. Hiukkasmittalaite kalibroitettiin valmistajan ja standardin SFS-EN 16450:2017 ohjeiden mukaisesti. Hiukkasmittaustulokset korjattiin vertailumittausten (Walden ym., 2017 ja Walden ym., 2018) mukaisella ekvivalenttisuuskertoimella.

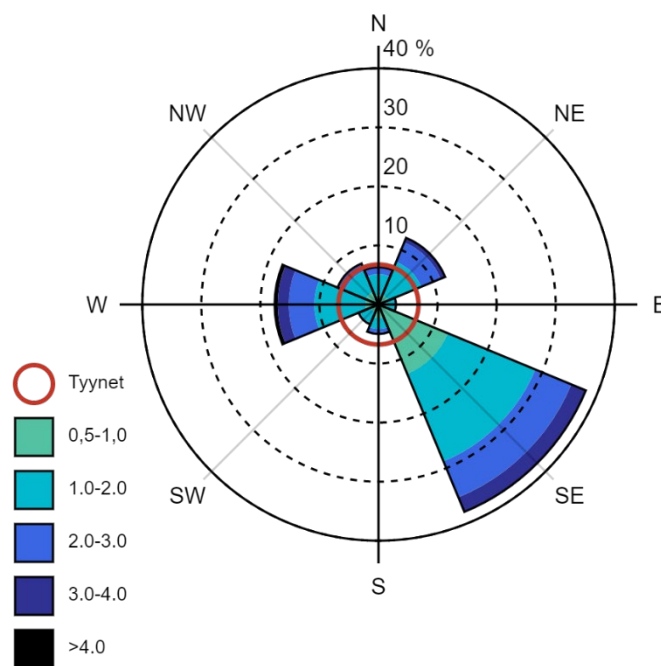
Ohjearvoon vertaaminen edellyttää, että vuorokausipitoisuuksia on vähintään 75 % kuukauden vuorokausien lukumäärästä. Tämä vaatimus täyttyi mittausasemalla kaikkien komponenttien osalta kaikkina kuukausina virallisen seurantajakson alettua.

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. Aineiston vähimmäismäärän laadutavoite täyttyi mittausjaksolla kaikilla raja-arvoihin verrattavilla ilman epäpuhtauksilla.

5. SÄÄTIEDOT MITTAUSJAKSOLLA

5.1 Tuulitiedot

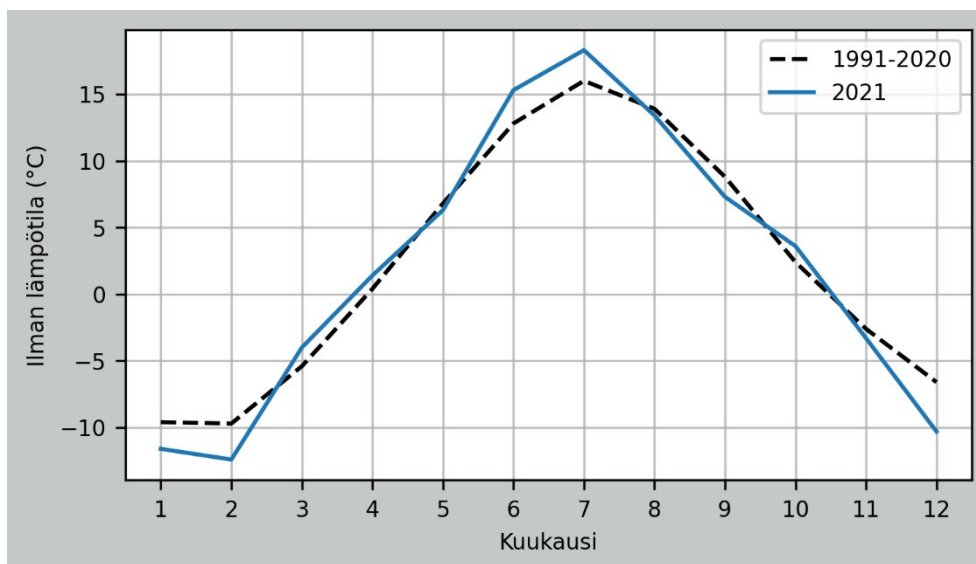
Kemin keskustan asemalla mitatuista tuulista tyynien tilanteiden osuus oli hieman alle 7 % mittausjakson tunneista. Tyyniksi katsotaan tässä tarkastelussa tunnit, jolloin tuulen nopeus oli alle 0,5 m/s. Tuulisensiru sijaitsi noin 4 metrin korkeudella maanpinnasta mittausaseman katolla. Tuulet Kemin keskustan mittausasemalla kanavoituivat voimakkaasti kadun suuntaisesti sekä talojen välien mukaisesti. Tuulet olivat mittauspisteessä pääsääntöisesti heikkoja mittausjakson ajan. Yli kolmannes ajasta ilmavirrat saapuivat kaakon suunnalta.



Kuva 18. Kemin keskustan mittausasemalla mitatut tuulensuunnat (ilmansuuntasuuntasektorit) ja tuulennopeudet (m/s) vuonna 2021. Tyyniksi on tässä tarkastelussa luokiteltu alle 0,5 m/s tuulen nopeudet.

5.2 Keskilämpötilat

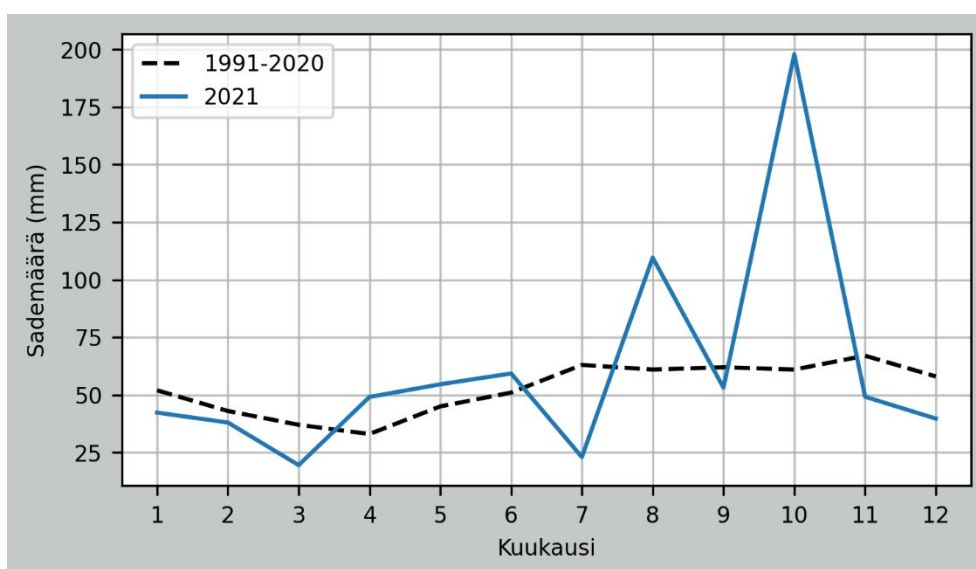
Ilmatieteen laitoksen ylläpitämä Kemi-Tornio lentoaseman sääasema on Kemiä lähimpänä sijaitseva virallinen sääasema. Alla olevassa kuvassa (Kuva 19) on vertailtu tällä sääasemalla mitattuja vuoden 2021 keskilämpötiloja (*Ilmatieteen laitos, 2022 a*) ilmastollisen vertailukauden 1991–2020 lämpötiloihin (*Jokinen, ym., 2021*). Lämpötila oli mittausjaksolla vertailukautta vastaava keväällä (maalis-, huhti- ja toukokuu) ja syksyllä (syys-, loka- ja marraskuu), mutta noin kaksi astetta lämpimämpi kesällä kesä- ja heinäkuun osalta, sekä noin kaksi astetta kylmempi talvella (tammi-, helmi- ja joulukuu).



Kuva 19. Lämpötilan kuukausikeskiarvot Ilmatieteen laitoksen Kemi-Tornion lentoaseman sääasemalla vuonna 2021 ja ilmastollisella vertailukaudella 1991–2020.

5.3 Sademäärät

Ilmatieteen laitoksen ylläpitämä Tornion Torppi sääasema on Kemiä lähimpänä sijaitseva sademäärää mittaava virallinen sääasema. Alla olevassa kuvassa (Kuva 20) on vertailtu tällä sääasemalla mitattuja vuoden 2021 kuukausisademääriä (*Ilmatieteen laitos, 2022 a*) ilmastollisen vertailukauden 1991–2020 sademääriin (*Jokinen, ym., 2021*). Vuoden sademäärä Tornion Torppi sääasemalla oli 735 mm, mikä on 19 % suurempi kuin vertailukauden 1991–2020 vastaavan jakson sademäärä. Erityisesti elokuu ja lokakuu olivat vuonna 2021 vertailukautta selvästi runsassateisempia sekä heinäkuu oli vertailukautta vähäsateisempi.



Kuva 20. Kuukausisademäärät Ilmatieteen laitoksen Tornio Torppi sääasemalla vuonna 2021 ja ilmastollisella vertailukaudella 1991–2020.

5.4 Ilmanlaatuun vaikuttavat säätekijät

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

Ilman epäpuhtauksien leviämisen ja laimenemisen kannalta keskeisiä meteorologisia tekijöitä ovat tuulen suunta ja nopeus, ilmakehän stabiilisuus ja sekoituskorkeus. Rajakerroksen tuuliolosuhteet määräävät karkeasti ilmansaasteiden kulkeutumissuunnan, mutta rajakerroksen ilmavirtausten pyörteisyys ja kerroksen korkeus vaikuttavat merkittävästi ilmansaasteiden sekoittumiseen ja pitoisuuksien laimenemisen kulkeutumisen aikana. Rajakerroksen korkeus määrittää sen ilmatilavuuden, johon päästöt voivat välittömästi sekoittua ja laimentua. Rajakerroksen korkeus on Suomessa tyypillisesti alle kilometrin, mutta varsinkin kesällä se voi nousta yli kahteen kilometriin. Matalimmat rajakerroksen korkeudet havaitaan yleensä talvella kovilla pakkasilla. Ilmakehän stabiilisuudella tarkoitetaan ilmakehän herkkyyttä pystysuuntaiseen sekoittumiseen. Stabiilisuuden määrää ilmakehän pystysuuntainen lämpötilarakenne, mutta siihen vaikuttavat myös auringon säteily, tuuli ja maanpinnan laatu. Stabiiliustilan ollessa vakaa ilmakehän sekoittuminen on vähäistä. Jos tila on 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 yläpuolellaan olevan lämpimän kerroksen läpi, ja ilmakehän pystysuuntainen liike estyy. Inversiokerroksessa tuuli on hyvin heikkoa ja näin ollen ilmaa sekoittava pyörteisyys on vähäistä, minkä vuoksi ilmansaasteiden pitoisuudet laimenevat huonosti. Inversiotilanteissa pitoisuudet kohoavat, koska ilmansaasteet kerääntyvät matalaan ilmakerrokseen päästölähteiden lähelle.

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

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

6. TAUSTATIETOA ILMAN EPÄPUHTAUKSISTA

6.1 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.

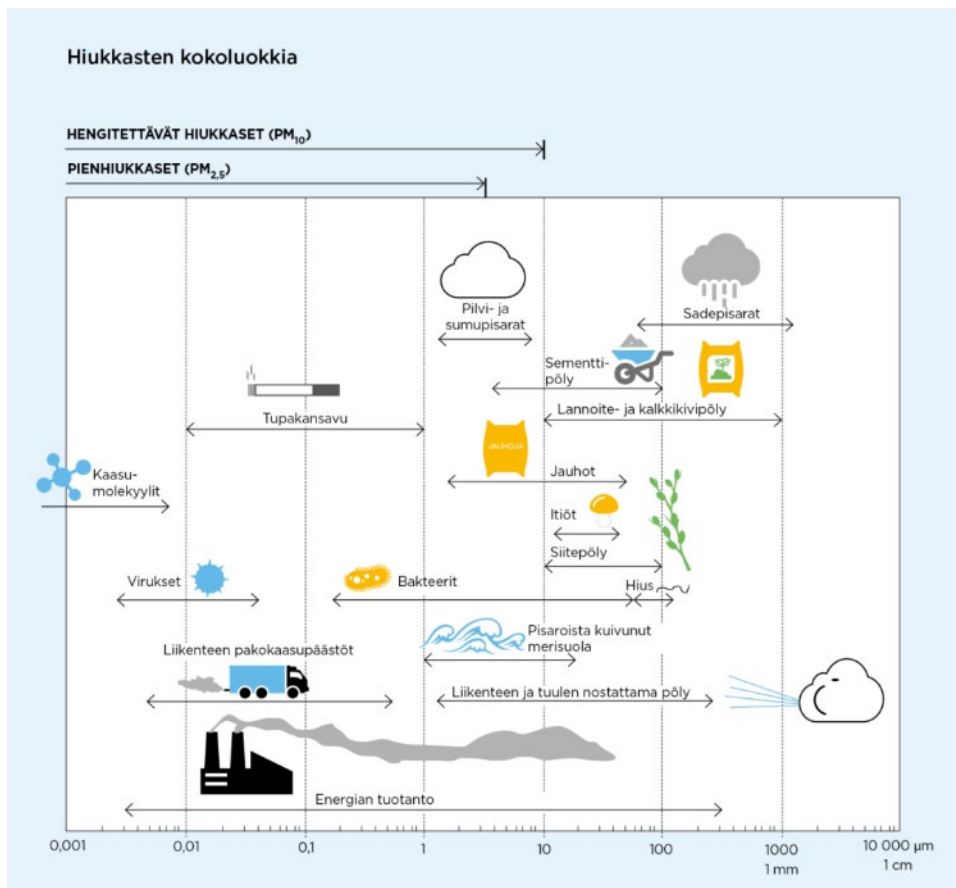
Ulkoilman typpidioksidipitoisuuksille altistuminen on suurinta kaupunkien keskustojen ja taajamien liikenneympäristöissä. Typpidioksidipitoisuudet kohoavat tyypillisesti ruuhka-aikoina. Korkeimmillaan typpidioksidipitoisuudet ovat erityisesti tyyninä ja kylminä talvipäivinä, jolloin myös energiantuotannon päästöt ovat suurimmillaan. Taajamien ja kaupunkien korkeimmat typpidioksidipitoisuudet aiheuttavat 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. Viikkaimmilla 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 mittausasemilla 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, 2022 b*).

6.2 Hiukkaset

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

Ulkoilman hiukkasten koko on yhteydessä niiden aiheuttamiin erilaisiin vaikutuksiin. Suurempien hiukkasten korkeat pitoisuudet vaikuttavat merkittävimmin viihtyvyyteen ja aiheuttavat likaantumista. Terveysvaikutuksiltaan haitallisempia ovat ns. hengitettävät hiukkaset ja pienhiukkaset, jotka kykenevät tunkeutumaan syväälle ihmisten hengitysteihin. Hengitettäville hiukkasille, joiden halkaisija on alle 10 mikrometriä (PM₁₀), on annettu ilmanlaadun ohje- ja raja-arvot. Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet kohoavat erityisesti keväällä, jolloin jauhautunut hiekoitushiekka ja asfalttipöly nousevat ilmaan kuivilta kaduilta liikenteen nostattamana. Pienhiukkaset, joiden halkaisija on alle 2,5 mikrometriä (PM_{2,5}), ovat pääasiassa peräisin suorista autoliikenteen ja teollisuuden päästöistä ja kaukokulkeumasta, jonka lähde voi olla esimerkiksi metsä- ja maastopalot. Hiukkasten kokoluokkia on havainnollistettu kuvassa 21.



Kuva 21. Hiukkasten kokoluokkia. Hiukkasten koko ilmaistaan halkaisijana mikrometreissä (µm). Mikro (µ) etuliite tarkoittaa miljoonasosaa. 1 µm on siten metrin miljoonasosa eli millimetrin tuhannesosa.

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

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

Hengitettävien hiukkasten vuosikeskiarvopitoisuudelle annettu raja-arvo 40 µg/m³ alittuu Suomessa. Hengitettävien hiukkasten pitoisuuden vuosikeskiarvot ovat olleet viime vuosina Suomen kaupungeissa noin 5–20 µg/m³. Vilkkaimmilla teillä ja katukuiluosuusilla vuosipitoisuudet voivat olla yli 20 µg/m³. Puhtailla tausta-alueilla vuosikeskiarvopitoisuudet ovat olleet Etelä-Suomessa noin 9–14 µg/m³ ja Pohjois-Suomessa noin 3–5 µg/m³ (*Ilmatieteen laitos, 2022 b*).

Pienhiukkaspitoisuuden vuosikeskiarvolle määritetty raja-arvo 25 µg/m³ alittuu selvästi kaikkialla Suomessa. Viime vuosina pienhiukkasten vuosikeskiarvopitoisuus on ollut pääkaupunkiseudun kaupunkialueilla noin 5–9 µg/m³ ja muilla kaupunkialueilla noin 2–8 µg/m³. Pitoisuuserot

erityyppisten mittausympäristöjen välillä ovat muutamia mikrogrammoja. Puhtailla tausta-alueilla vuosikeskiarvopitoisuudet ovat olleet Etelä-Suomessa noin 4–6 µg/m³ ja Pohjois-Suomessa noin 2–3 µg/m³ (*Ilmatieteen laitos, 2022 b*). Pienhiukkasten taustapitoisuudesta valtaosa on kaukokulkeutunutta hiukkasainesta. Kaukokulkeuma muodostaa huomattavan osan myös kaupunki-ilman pienhiukkaspitoisuuksista.

6.3 Ilman epäpuhtauksien terveysvaikutukset

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

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

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

6.4 Ilmanlaadun ohje- ja raja-arvot

Ohjearvot ovat ilman epäpuhtauksien pitoisuuksia, joiden alittaminen on tavoitteena. Ohjearvoilla esitetään riittävän hyvän ilmanlaadun tavoitteet. Ohjearvot eivät ole sitovia, mutta niitä sovelletaan maankäytön ja liikenteen suunnittelussa, rakentamisen muussa ohjauksessa sekä ilman pilaantumisen vaaraa aiheuttavien toimintojen sijoittamisessa ja lupakäsittelyssä. Ohjearvojen ylittyminen on pyrittävä estämään ennakolta ja pitkällä aikavälillä alueilla, joilla ilmanlaatu on tai saattaa toistuvasti olla huonompi kuin ohjearvo edellyttäisi. Ilmanlaadun ohjearvot on määritelty valtioneuvoston päätöksessä ilmanlaadun ohjearvoista ja rikkilaskeuman tavoitearvosta (*Vnp 480/1996, Taulukko 4*).

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

Taulukko 4. 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
Rikkidioksidi (SO_2)	250 ¹⁾	Kuukauden tuntiarvojen 99. prosenttipiste
	80 ¹⁾	Kuukauden toiseksi suurin vuorokausiarvo
Haisevat rikkiyhdisteet (TRS)	10 ¹⁾	Kuukauden toiseksi suurin vuorokausiarvo

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

²⁾ Tulokset ilmaistaan ulkoilman lämpötilassa ja paineessa.

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

Ilman epäpuhtaus	Keskiarvon laskenta-aika	Raja-arvo $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (293 K, 101,3 kPa)	Sallittujen ylitysten määrä kalenterivuodessa
Typpidioksidi (NO_2)	1 tunti	200 ¹⁾	18
	kalenterivuosi	40 ¹⁾	–
Hengitettävät hiukkaset (PM_{10})	1 vuorokausi	50 ²⁾	35
	kalenterivuosi	40 ²⁾	–
Pienhiukkaset ($\text{PM}_{2,5}$)	kalenterivuosi	25	
Rikkidioksidi (SO_2)	1 tunti	350 ¹⁾	24
	1 vuorokausi	125 ¹⁾	3

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

²⁾ Tulokset ilmaistaan ulkoilman lämpötilassa ja paineessa.

Ilmanlaadun ohje- ja raja-arvoja 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.

Typenoksidi- ja rikkidioksidipitoisuuksien kriittisen tason ylittyessä pitoisuudet saattavat aiheuttaa haitallisia vaikutuksia kasvillisuudelle tai ekosysteemeille. Kriittisiä tasoja (taulukko 6) sovelletaan rakennetun ympäristön ulkopuolella olevilla laajoilla maa- ja metsätalousalueilla sekä luonnonsuojelun kannalta merkityksellisillä alueilla.

Taulukko 6. Ulkoilman typenoksidien ja rikkidioksidin pitoisuuksia koskevat ilmanlaadun kriittiset tasot (Vna 79/2017)

Ilman epäpuhtaus	Kriittinen taso $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Tilastollinen määrittely
Typen oksidit (NO_x)	30 ¹⁾	Vuosikeskiarvo
Rikkidioksidi (SO_2)	20 ¹⁾	Vuosikeskiarvo

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

Taulukko 7. Maailman terveysjärjestön (WHO) ohjearvot (WMO, 2021)

Ilman epäpuhtaus	Keskiarvon laskenta-aika	Ohjearvo
Pienhiukkaset $\text{PM}_{2.5}$	Vuosi	5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	Vuorokausi*	15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Hengitettävät hiukkaset PM_{10}	Vuosi	15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	Vuorokausi*	45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Typpidioksidi NO_2	Vuosi	10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	Vuorokausi*	25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	Tunti	200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Rikkidioksidi SO_2	Vuorokausi*	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	10 minuuttia	500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Otsoni O_3	6 kuukautta**	60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	8 tuntia	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Hiilimonoksidi CO	Vuorokausi*	4 mg/m^3
	Tunti	30 mg/m^3
Lyijy Pb	Vuosi	0,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Kadmium Cd	Vuosi	5 ng/m^3

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

***) Vuorokauden korkeimpien kahdeksan tunnin keskiarvojen keskiarvo 6 kuukauden ajalta.

6.5 Ilmanlaadun arviointikynnykset

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

Ylempään ja alemman arviointikynnyksen ylittyminen määritetään viiden edellisen vuoden pitoisuuksien perusteella. Arviointikynnyksen katsotaan ylittyneen, kun se on ylittynyt vähintään kolmena vuotena viidestä. Taulukossa 8 on esitetty typpidioksidin, hengitettävien hiukkasten ja rikkidioksidin pitoisuuksille määritetyt ylempät ja alemmat arviointikynnykset sekä niiden osuus raja-arvopitoisuuksista.



Kuva 22. Ilmanlaadun seurantarave seuranta-alueella määräytyy mitattujen pitoisuuksien suhteesta ylempään ja alempaan arviointikynnykseen. Seurantatarve kasvaa pitoisuuksien kasvaessa.

Taulukko 8. Ilmanlaadun seurannan suunnittelussa käytettävät ilmanlaadun ylemmät ja alemmat arviointikynnykset typpidioksidille, hengitettävälle hiukkasille ja pienhiukkasille (Vna 79/2017). Suluissa on esitetty arviointikynnyksen osuus raja-arvopitoisuudesta.

Ilman epäpuhtaus	Keskiarvon laskenta-aika	Ylempi arviointikynnys ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Alempi arviointikynnys ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Typpidioksidi (NO_2)	1 tunti	140 (70 %)	100 (50 %)
	kalenterivuosi	32 (80 %)	26 (65 %)
Hengitettävät hiukkaset (PM_{10})	24 tuntia	35 (70 %)	25 (50 %)
	kalenterivuosi	28 (70 %)	20 (50 %)
Pienhiukkaset ($\text{PM}_{2,5}$)	kalenterivuosi	17 (70 %)	12 (50 %)
Rikkidioksidi (SO_2)	1 tunti	75 (60 %)	50 (40 %)

VIITELUETTELO

- Horálek, J., Schreiberová, M., Schneider, P., 2022.* Benzo(a)pyrene (BaP) annual mapping Evaluation of its potential regular updating. Euroopan Ympäristökeskuksen raportteja 2021/18. <https://www.eionet.europa.eu/etcs/etc-atni/products/etc-atni-reports/etc-atni-report-18-2021-benzo-a-pyrene-bap-annual-mapping-evaluation-of-its-potential-regular-updating/@@download/file/ETC-ATNI-2021-18-Eionet-Report-BaP-mapping-version-for-publication%2021-01-2022.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 017:6. <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/228440>
- Ilmatieteen laitos, 2022 a.* Säähavainnot. <https://ilmatieteenlaitos.fi/havaintojen-lataus#!/>
- Ilmatieteen laitos, 2022 b.* Ympäristönsuojelun tietojärjestelmän ilmanlaatuosa, tarkistetut mittaukset. <https://ilmatieteenlaitos.fi/havaintojen-lataus#!/>
- Jokinen, P., Pirinen, P., Kaukoranta, J.-P., Kangas, A., Alenius, P., Eriksson, P., Johansson, M., Wilkman, S., 2021.* Tilastoja Suomen ilmastosta ja merestä 1991–2020. Ilmatieteen laitos, raportteja 2021:8. Ilmatieteen laitos, Helsinki. <http://hdl.handle.net/10138/336063>
- Vna 79/2017.* Valtioneuvoston asetus ilmanlaadusta. Annettu Helsingissä 26.1.2017.
- 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
- Saarnio, K. Vestenius, M. ja Kyllönen, K., 2021.* Hiukkasmittausten vaatimuksenmukaisuuden todentaminen (HIVATO) 2019–2020. Ilmatieteen laitos, Raportteja 2021:2 <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/338137>
- World Health Organization, 2021.* WHO global air quality guidelines. Particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240034228?ua=1>
- Ritola, R., Kulovuori, S., Stojiljkovic, A., Karvosenoja, N., 2021.* Katupölyn lähteet, päästövähennyskeinot ja ilmanlaatuvaikutukset. KALPA3-tutkimushankkeen loppuraportti. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 28/2021. <http://hdl.handle.net/10138/329698>

LIITETAULUKOT

Liitetaulukko 1. Kemin keskustassa mitatut typpimonoksidin (NO) tunti- ja vuorokausipitoisuudet ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) kuukausittain vuonna 2021. Pitoisuudet on ilmoitettu 293 K lämpötilassa ja 101,3 kPa paineessa.

NO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	2021											
	tammi	helmi	maalis	huhti	touko	kesä	heinä	elo	syys	loka	marras	joulu
TUNTIARVOJEN												
lukumäärä	744	666	738	720	738	720	744	742	720	743	715	657
kattavuus (%)	100,0	99,1	99,3	100,0	99,2	100,0	100,0	99,7	100,0	100,0	99,3	88,3
keskiarvo	3,4	4,7	1,8	1,2	0,9	1,8	2,5	1,8	1,9	2,2	2,1	3,6
99. %-piste	34,0	65,5	14,7	9,5	5,4	7,1	9,7	7,8	10,8	25,5	20,2	41,3
korkein arvo	81,6	167,6	62,0	48,4	51,9	15,4	16,3	39,2	38,2	48,8	112,2	123,5
VRK-ARVOJEN												
lukumäärä	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	27
2. korkein arvo	13,0	17,0	6,3	3,4	1,8	2,8	4,3	3,4	4,3	8,5	7,2	8,7
korkein arvo	13,7	28,0	6,7	7,2	4,0	3,7	4,5	3,5	4,5	11,1	16,6	30,6

Liitetaulukko 2. Kemin keskustassa mitatut typpidioksidin (NO_2) tunti- ja vuorokausipitoisuudet ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) kuukausittain vuonna 2021. Pitoisuudet on ilmoitettu 293 K lämpötilassa ja 101,3 kPa paineessa.

NO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	2021											
	tammi	helmi	maalis	huhti	touko	kesä	heinä	elo	syys	loka	marras	joulu
TUNTIARVOJEN												
lukumäärä	744	666	738	720	738	720	744	742	720	743	715	657
kattavuus (%)	100,0	99,1	99,3	100,0	99,2	100,0	100,0	99,7	100,0	100,0	99,3	88,3
keskiarvo	10,2	15,0	9,3	6,5	4,8	6,5	7,8	5,7	5,8	5,9	7,0	11,9
99. %-piste	48,3	73,6	44,9	43,0	24,7	21,4	23,6	26,3	27,5	34,2	45,6	54,8
korkein arvo	63,9	95,2	78,6	70,1	110,4	39,5	33,8	42,2	36,0	52,2	67,8	71,8
VRK-ARVOJEN												
lukumäärä	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	27
2. korkein arvo	30,3	36,5	21,2	13,8	11,4	9,0	11,6	10,0	9,9	15,2	16,0	31,9
korkein arvo	34,8	49,1	21,4	21,8	12,0	11,4	12,0	11,8	12,5	15,5	22,3	36,8

Liitetaulukko 3. Kemin keskustassa mitatut typen oksidien (NO_x) tunti- ja vuorokausipitoisuudet ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) kuukausittain vuonna 2021. Pitoisuudet on ilmoitettu 293 K lämpötilassa ja 101,3 kPa paineessa.

NO _x ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	2021											
	tammi	helmi	maalis	huhti	touko	kesä	heinä	elo	syys	loka	marras	joulu
TUNTIARVOJEN												
lukumäärä	744	666	738	720	738	720	744	742	720	743	715	657
kattavuus (%)	100,0	99,1	99,3	100,0	99,2	100,0	100,0	99,7	100,0	100,0	99,3	88,3
keskiarvo	15,4	22,2	12,1	8,4	6,2	9,2	11,6	8,4	8,6	9,1	10,2	17,3
99. %-piste	93,6	173,4	65,4	62,4	28,7	32,6	31,2	37,5	38,9	71,7	69,4	107,9
korkein arvo	188,8	351,7	169,6	101,3	189,8	48,7	45,8	101,8	94,2	122,6	234,6	260,0
VRK-ARVOJEN												
lukumäärä	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	27
2. korkein arvo	48,4	62,5	31,0	16,1	14,8	14,5	16,8	15,2	15,7	26,4	21,4	42,7
korkein arvo	50,2	92,0	31,6	33,0	17,6	15,2	17,0	15,4	17,5	32,1	47,5	83,3

Liitetaulukko 4. Kemin keskustassa mitatut hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) tunti- ja vuorokausipitoisuudet (µg/m³) kuukausittain vuonna 2021. Pitoisuudet on ilmoitettu 293 K lämpötilassa ja 101,3 kPa paineessa.

PM ₁₀ (µg/m ³)	2021											
	tammi	helmi	maalis	huhti	touko	kesä	heinä	elo	syys	loka	marras	joulu
TUNTIARVOJEN												
lukumäärä	744	669	743	720	738	720	744	742	720	743	713	644
kattavuus (%)	100,0	99,6	100,0	100,0	99,2	100,0	100,0	99,7	100,0	100,0	99,0	86,6
keskiarvo	8,5	10,0	10,6	30,3	9,9	12,6	12,0	9,6	8,6	8,2	7,9	7,9
99. %-piste	40,8	54,8	59,2	163,4	30,3	33,8	30,1	24,7	30,0	41,3	42,1	43,7
korkein arvo	75,6	83,3	76,6	249,9	44,9	55,8	33,4	117,8	225,0	86,5	106,7	94,8
VRK-ARVOJEN												
lukumäärä	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	29	26
2. korkein arvo	19,8	26,2	19,7	67,1	17,9	19,5	22,4	19,3	18,5	21,8	24,5	13,3
korkein arvo	28,4	36,5	44,5	105,4	28,5	19,9	26,1	20,0	22,9	22,8	27,3	22,5

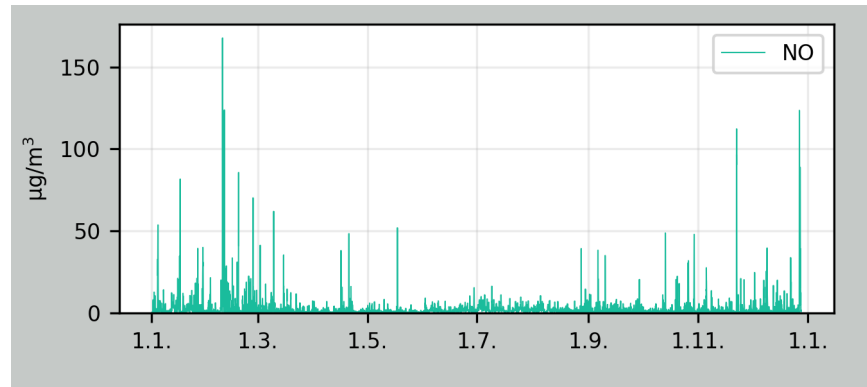
Liitetaulukko 5. Kemin keskustassa mitatut pien hiukkasten (PM_{2,5}) tunti- ja vuorokausipitoisuudet (µg/m³) kuukausittain vuonna 2021. Pitoisuudet on ilmoitettu 293 K lämpötilassa ja 101,3 kPa paineessa.

PM _{2,5} (µg/m ³)	2021											
	tammi	helmi	maalis	huhti	touko	kesä	heinä	elo	syys	loka	marras	joulu
TUNTIARVOJEN												
lukumäärä	744	665	743	720	738	720	743	743	720	743	713	658
kattavuus (%)	100,0	99,0	100,0	100,0	99,2	100,0	99,9	99,9	100,0	100,0	99,0	88,4
keskiarvo	5,2	5,7	6,2	4,9	4,1	7,0	7,1	5,2	4,8	4,4	4,4	4,5
99. %-piste	21,1	29,6	20,7	16,2	14,1	19,5	24,3	14,7	17,4	16,4	23,3	23,1
korkein arvo	29,2	45,2	30,4	22,7	25,0	41,3	41,5	23,3	133,8	24,5	28,7	32,2
VRK-ARVOJEN												
lukumäärä	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	29	27
2. korkein arvo	10,4	15,4	14,7	10,8	9,3	11,3	15,6	11,1	12,3	9,5	13,4	7,8
korkein arvo	11,4	19,1	16,3	10,9	13,5	11,8	17,4	11,3	14,1	13,3	17,2	12,7

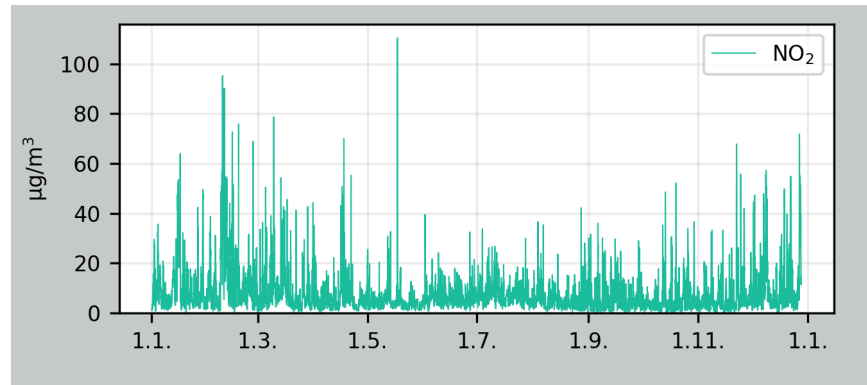
Liitetaulukko 6. Kemin keskustassa mitatut haisevien rikkiyhdisteiden (TRS) tunti- ja vuorokausipitoisuudet (µg/m³) kuukausittain vuonna 2021. Pitoisuudet on ilmoitettu 293 K lämpötilassa ja 101,3 kPa paineessa.

TRS (µg/m ³)	2021											
	tammi	helmi	maalis	huhti	touko	kesä	heinä	elo	syys	loka	marras	joulu
TUNTIARVOJEN												
lukumäärä	744	659	735	720	739	720	744	739	720	743	715	657
kattavuus (%)	100,0	98,1	98,9	100,0	99,3	100,0	100,0	99,3	100,0	100,0	99,3	88,3
keskiarvo	0,2	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3	0,4	0,3	0,5	0,2	0,2	0,3
99. %-piste	0,8	0,9	1,7	3,3	2,0	1,5	1,9	1,1	6,0	3,8	1,3	1,8
korkein arvo	1,5	1,7	3,4	6,8	6,1	2,8	3,9	2,9	25,5	5,5	5,4	3,1
VRK-ARVOJEN												
lukumäärä	31	27	30	30	31	30	31	31	30	31	30	27
2. korkein arvo	0,5	0,5	0,5	0,8	0,4	0,5	0,6	0,6	1,4	1,2	0,4	0,6
korkein arvo	0,7	0,5	0,8	1,2	1,0	0,6	0,9	0,6	2,0	1,8	1,0	1,0

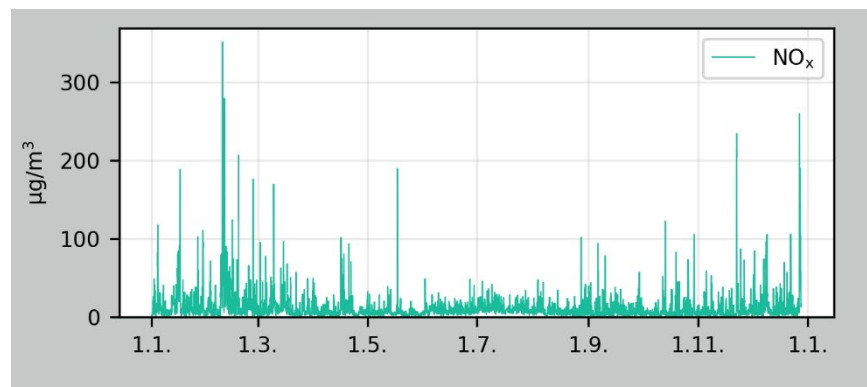
LIITEKUVAT



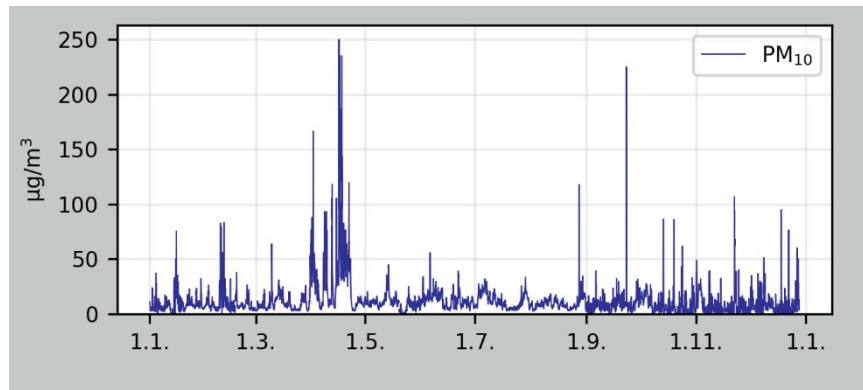
Liitekuva 1. Typpimonoksidin (NO) **tuntipitoisuudet** Kemijärven keskustassa vuonna 2021.



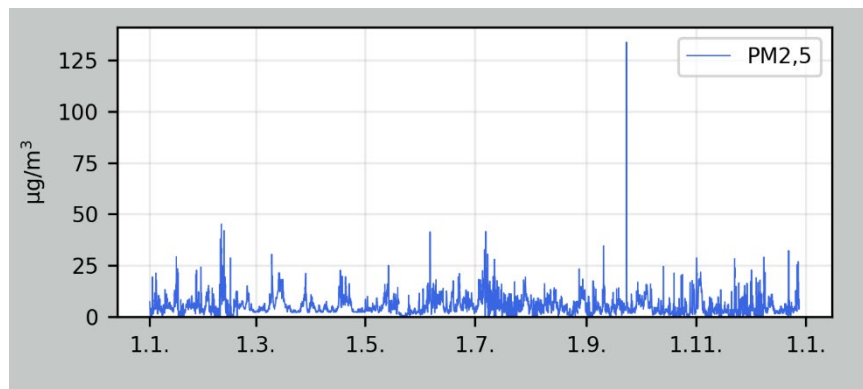
Liitekuva 2. Typpidioksidin (NO₂) **tuntipitoisuudet** Kemijärven keskustassa vuonna 2021.



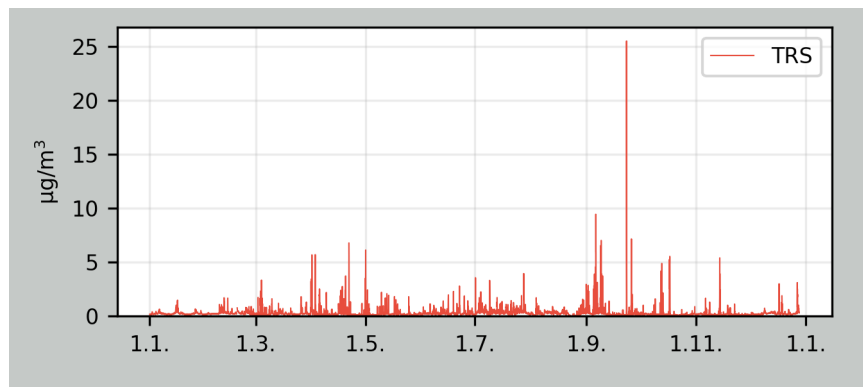
Liitekuva 3. Kokonaistypenoksidien (NO_x) **tuntipitoisuudet** Kemijärven keskustassa vuonna 2021.



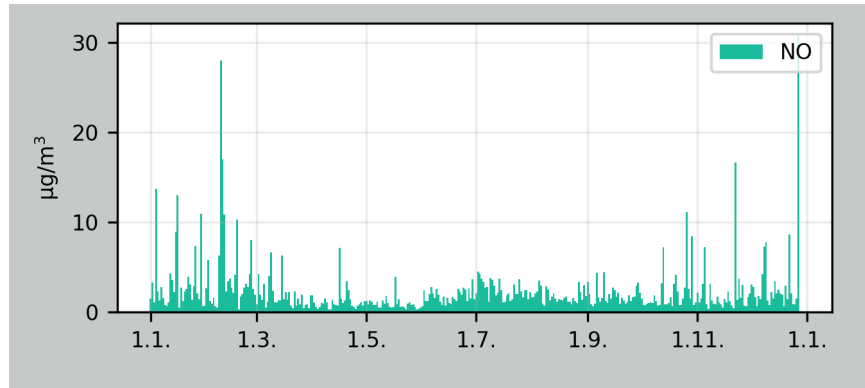
Liitekuva 4. Hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) **tuntipitoisuudet** Kemijärven keskustassa vuonna 2021.



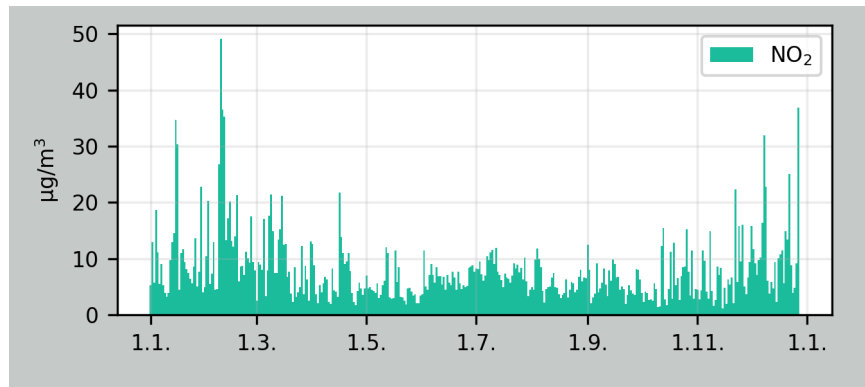
Liitekuva 5. Pienihiukkasten (PM_{2,5}) **tuntipitoisuudet** Kemijärven keskustassa mittauspisteessä vuonna 2021.



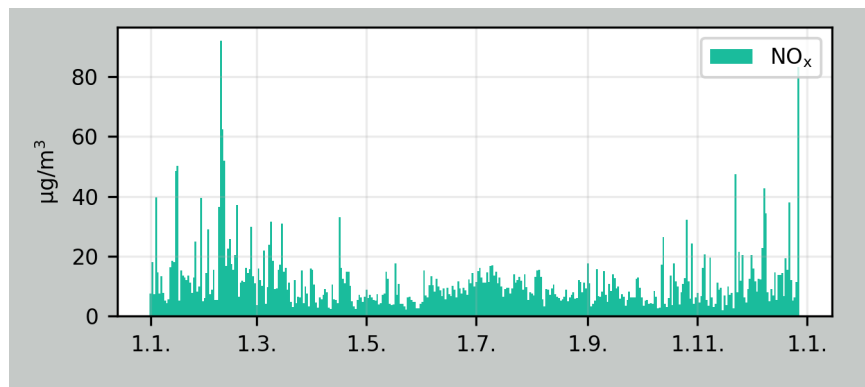
Liitekuva 6. Haisevien rikkiyhdisteiden (TRS) **tuntipitoisuudet** Kemijärven keskustassa vuonna 2021.



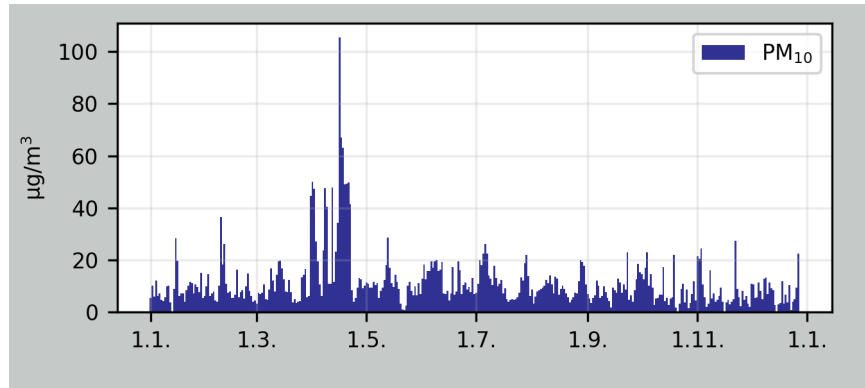
Liitekuva 7. Typpimonoksidin (NO) **vuorokausipitoisuudet** Kemijärven keskustassa vuonna 2021.



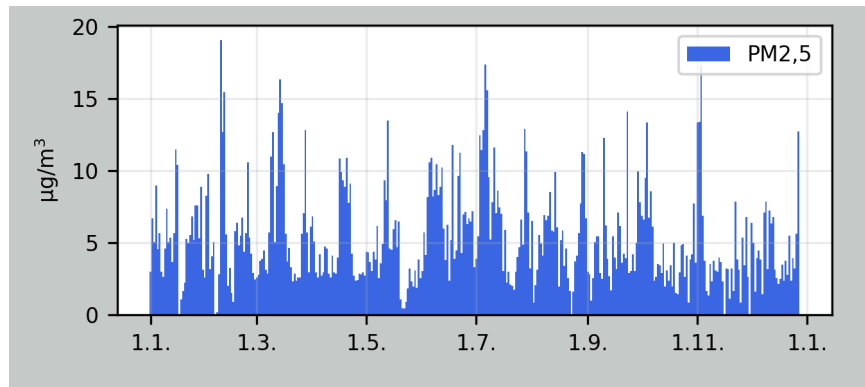
Liitekuva 8. Typpidioksidin (NO₂) **vuorokausipitoisuudet** Kemijärven keskustassa vuonna 2021.



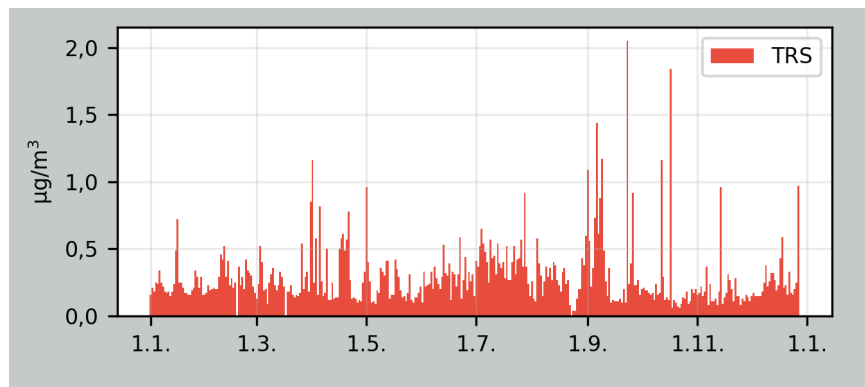
Liitekuva 9. Kokonaistypenoksidien (NO_x) **vuorokausipitoisuudet** Kemijärven keskustassa vuonna 2021.



Liitekuva 10. Hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) **vuorokausipitoisuudet** Kemijärvi keskustassa vuonna 2021.



Liitekuva 11. Pienihiukkasten (PM_{2,5}) **vuorokausipitoisuudet** Kemijärvi keskustassa vuonna 2021.



Liitekuva 12. Haisevien rikkiyhdisteiden (TRS) **vuorokausipitoisuudet** Kemijärvi keskustassa vuonna 2021.



ILMATIETEEN LAITOS

ILMATIETEEN LAITOS

puh. 029 539 1000

Ilmanlaatu ja energia

ilmanlaatupalvelut@fmi.fi

www.ilmatieteenlaitos.fi/ilmanlaatupalvelut

WWW.ILMATIETEENLAITOS.FI

