



RAUMAN METSÄTEOLLISUUDEN ILMANLAADUN SEURANTA

Rikkidioksidin ja haisevien rikkiyhdisteiden pitoisuudet Rauman Sinisaarella vuonna 2023



RAUMAN METSÄTEOLLISUUDEN ILMANLAADUN SEURANTA

**Rikkidioksidin ja haisevien rikkiyhdisteiden pitoisuudet
Rauman Sinisaarella 2023**

**Mika Vestenius
Antti Mannisenaho
Toni Mattila
Katja Lovén**

**ILMATIETEEN LAITOS – ASiantuntijapalvelut
ILMANLAATU JA ENERGIA
Helsinki 31.1.2024**

SISÄLLYSLUETTELO

OSA I	4
1. JOHDANTO	4
2. ILMANLAADUN MITTAUSTULOKSET	5
2.1 Mitatut pitoisuudet	5
2.2 Ilmanlaatuindeksi	9
2.3 Pitoisuuksien vertailua raja- ja ohjearvoihin	10
2.4 Hajujen esiintyminen	12
2.5 Tuulitiedot ja pitoisuudet tuulensuunnittain vuodelta 2023	12
2.6 Pitoisuuksien vertailua Sinisaassa aiemmin mitattuihin pitoisuuksiin	16
3. YHTEENVETO MITTAUSTULOKSISTA.....	18
OSA II	20
4. TUTKIMUKSEN SUORITUS	20
4.1 Sinisaaren mittausasema.....	20
4.2 Mitatut suureet ja mittausmenetelmät	21
4.3 Kalibrointimenetelmät, laadunvarmistus ja laitehuollot	22
4.4 Ilmanlaatuun vaikuttavat säätökijät	24
5. TAUSTATIETOA ILMAN EPÄPUHTAUKSISTA	25
5.1 Rikkidioksidi	25
5.2 Haisevat rikkiyhdisteet	25
5.3 Ilman epäpuhtauksien terveysvaikutukset	26
5.4 Ilmanlaadun ohje- ja raja-arvot	26
5.5 Ilmanlaadun arviointikynnykset	28
VIITELUETTELO	29

OSA I

1. JOHDANTO

Rauman Sinisaarella sijaitsevalla ilmanlaadun mittausasemalla mitataan rikkidioksidin (SO₂) ja haisevien rikkiyhdisteiden (TRS) pitoisuuksia sekä säätietoja (tuulen suunta ja nopeus). Mittaus-asema on perustettu Rauman metsäteollisuuden ilmanlaadun tarkkailua varten. Tarkkailuun osallistuvat Metsä-Fibre Oy Rauman tehtaat, Rauman Biovoima Oy ja Forchem Oy. Tässä raportissa esitetään mittaustulokset ajanjaksolta 1.1.–31.12.2023. Kaikki tässä raportissa esitettävät mittaustulokset on validoitu ja tarvittaessa korjattu laitteille säännöllisesti tehtävien kalibrointitulosten perusteella. Tässä raportissa esitetään vuoden 2023 ilmanlaadun mittaustulokset ja verrataan niitä ilmanlaadun lain-säädännössä asetettuihin raja- ja ohjearvoihin. Lisäksi raportissa verrataan pitoisuuksia Sinisaarella mitattuihin aikaisempiin mittaustuloksiin.

Mitattuja ilmanlaatu-tietoja ja sääparametrien arvoja voi seurata reaaliaikaisesti verkkosivujen kautta: <http://ilmanlaatu.fmi.fi/sinisaari/>. Sinisaaren ilmanlaatu-tiedot näkyvät myös Ilmatieteen laitoksen ylläpitämässä kansallisessa ilmanlaatuportaalissa verkko-osoitteessa <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/ilmanlaatu>. Ilmanlaatusivuilla on esitetty myös mitattujen pitoisuuksien perusteella lasketut ilmanlaadun indeksin arvot, jotka kuvaavat vallitsevaa ilmanlaadun tilannetta sanallisella asteikolla hyvä, tyydyttävä, välttävä, huono, erittäin huono. Indeksien laskentaan käytetään rikkidioksidin ja haisevien rikkiyhdisteiden tuntipitoisuuksia. Mitatut pitoisuudet ja ilmanlaatuindeksin arvot ovat nähtävillä verkkosivuilla reaaliaikaisesti ja historiatietoina.

Ilmanlaadun mittauspalvelun tilasivat Metsä Fibre Oy, Forchem Oy ja Rauman Biovoima Oy. Ilmanlaadun mittauksista sekä niihin liittyvästä asiantuntijatyöstä vastasi Ilmatieteen laitoksen Asiantuntijapalvelut-yksikkö.

Selitteet raportissa käytetyille yksiköille ja lyhenteille:

µg/m ³	mikrogrammaa (= gramman miljoonasosa) kuutiometrissä ilmaa (pitoisuus)
µg(S)/m ³	mikrogrammaa kuutiometrissä ilmaa rikkinä ilmaistuna (pitoisuus), haisevien rikkiyhdisteiden kokonaispitoisuus ilmaistaan ko. yksiköissä
SO ₂	rikkidioksidi
TRS	Total Reduced Sulphur = haisevien rikkiyhdisteiden kokonaismäärä
m/s	metriä sekunnissa (tuulen nopeus)
N	pohjoinen (tuulen suunta), kun tuulee pohjoisesta tuulen suunta on 0° tai 360°
E	itä (tuulen suunta), kun tuulee idästä tuulen suunta on 90°
S	etelä (tuulen suunta), kun tuulee etelästä tuulen suunta on 180°
W	länsi (tuulen suunta), kun tuulee lännestä tuulen suunta on 270°

2. ILMANLAADUN MITTAUSTULOKSET

2.1 Mitatut pitoisuudet

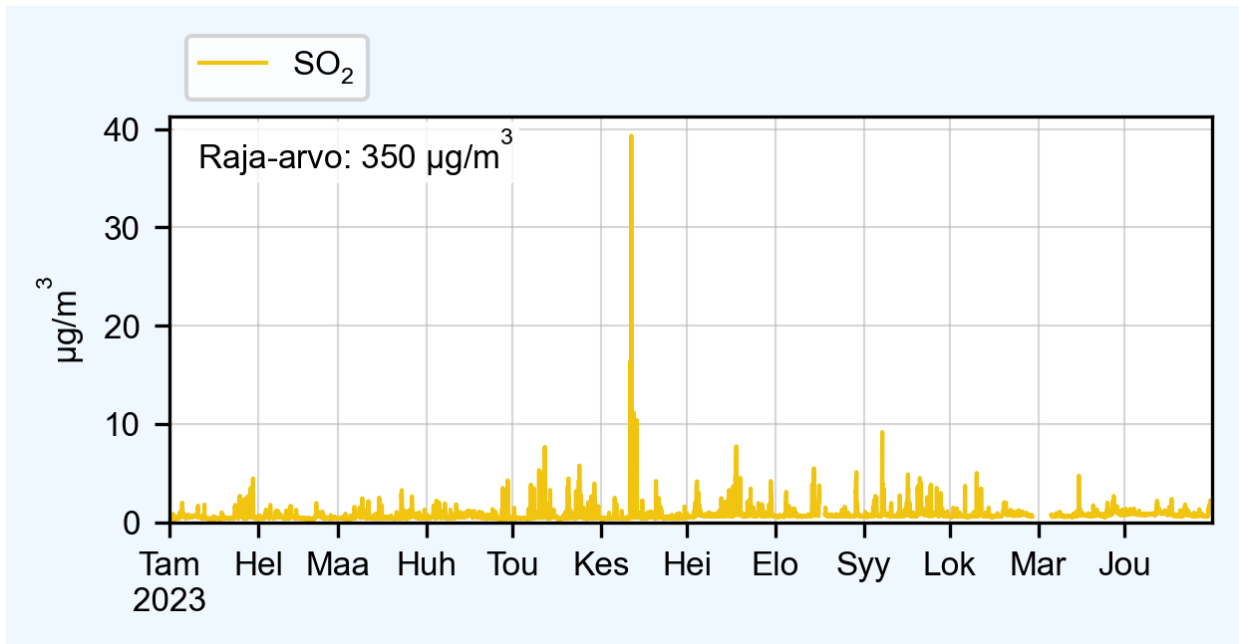
Kuvissa 1–4 on esitetty vuonna 2023 Rauman Sinisaarella mitattujen ilman epäpuhtauksien pitoisuuksien tuntikeskiarvot ja vuorokausikeskiarvot (rikkidioksidi ja haisevat rikkiyhdisteet lämpötilassa 20 °C).

Mitattujen ilman epäpuhtauksien pitoisuuksien vuosikeskiarvot vuonna 2023 olivat: rikkidioksidi (SO₂) 0,8 µg/m³ ja haisevat rikkiyhdisteet (TRS) 0,3 µg/m³ rikkiä ilmaistuna.

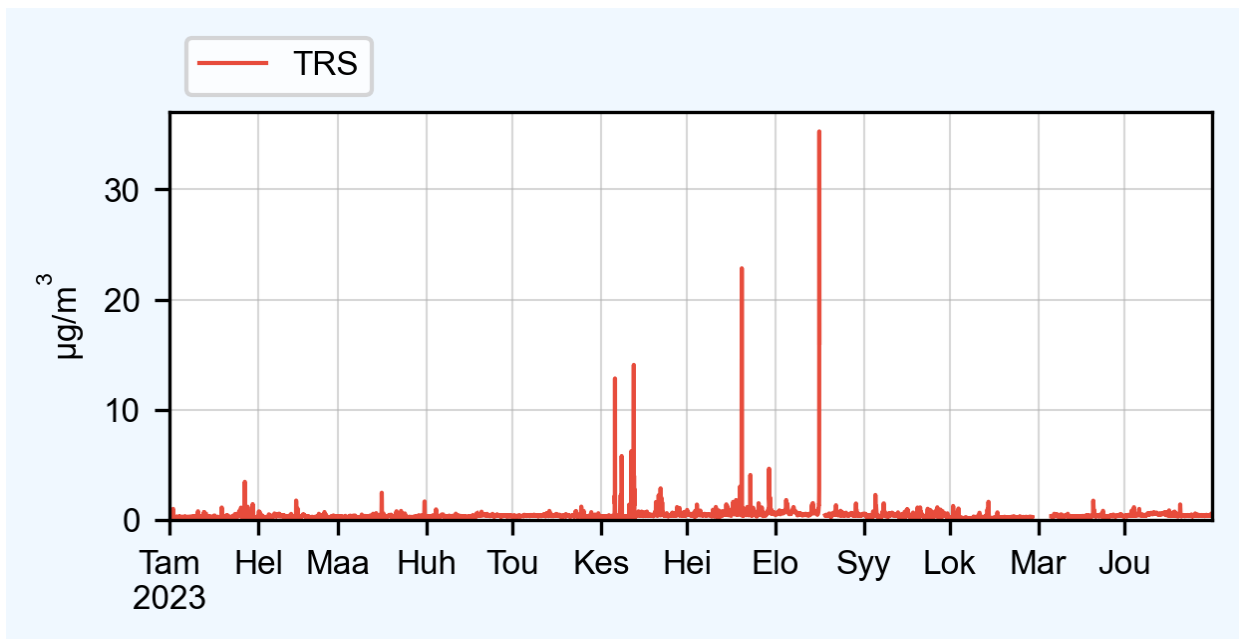
Rauman Sinisaarella mitattuja haisevien rikkiyhdisteiden tuntipitoisuuksia tarkastelemalla voidaan havaita, että vuonna 2023 mitattuja hajutunteja oli 43 kappaletta (tunnin TRS-pitoisuuden keskiarvo ≥ 3 µg(S)/m³). Tällöin tuulensuunta oli yleisimmin lounaasta. Tässä tarkastelussa on oletettu, että kaikki mitattu TRS-pitoisuus on ollut rikkivetyä, joka aiheuttaa tunnistettavaa hajua pitoisuustasolla noin 3–6 µg(S)/m³ ja melko voimakasta tunnistettavissa olevaa hajua, kun pitoisuus on yli 6 µg(S)/m³. Näitä yli 6 µg(S)/m³ mitattuja TRS-pitoisuuksia esiintyi vuonna 2023 yhteensä 16 tunnin aikana. Sinisaaren haisevien rikkiyhdisteiden tuntipitoisuudet olivat vuonna 2023 noin 98 % ajasta alle 1 µg(S)/m³. Tätä TRS-pitoisuuksiin perustuvaa hajutuntien arviointia voidaan kuitenkin pitää vain suuntaa antavana, sillä TRS:n sisältämien eri yhdisteiden hajua havaitaan hyvin eri pitoisuustasoilla eli niillä on eri hajukynnys. Hajun kokemukseen vaikuttaa siis merkittävästi se, missä suhteessa päästö sisältää erilaisia haisevia yhdisteitä ja hajun kokeminen on myös yksilöllistä. Näin ollen kokonais-TRS-pitoisuus ei suoraan kerro hajun esiintyvyydestä.

Rikkidioksidipitoisuuden vuosikeskiarvo oli vuonna 2023 Rauman Sinisaarella 0,8 µg/m³. Rikkidioksidin tuntiohjeeseen (250 µg/m³) verrattavat pitoisuudet (99. prosenttipiste) vaihtelivat välillä 1–7 µg/m³ eli <1–3 % ohjeesta. Vuorokausiohjeeseen (80 µg/m³) verrattavat pitoisuudet (kuukauden toiseksi suurin arvo) vaihtelivat välillä 1–3 µg/m³ eli 1–4 % ohjeesta. Suurin yksittäinen tuntipitoisuus, 39 µg/m³, mitattiin kesäkuun 11. päivä illalla lounaan puoleisella tuulella ja korkein vuorokausipitoisuus 4 µg/m³ samana päivänä. Korkeamman tuntipitoisuuden tunteja esiintyi eniten kesällä ja alkusyksyllä. Tuntiraja-arvon ylityksiä (350 µg/m³, 24 kpl sallittuja ylityksiä, kuva 1) kuten myöskään vuorokausiraja-arvon ylityksiä (125 µg/m³, sallittuja ylityksiä 3 kpl), ei ollut.

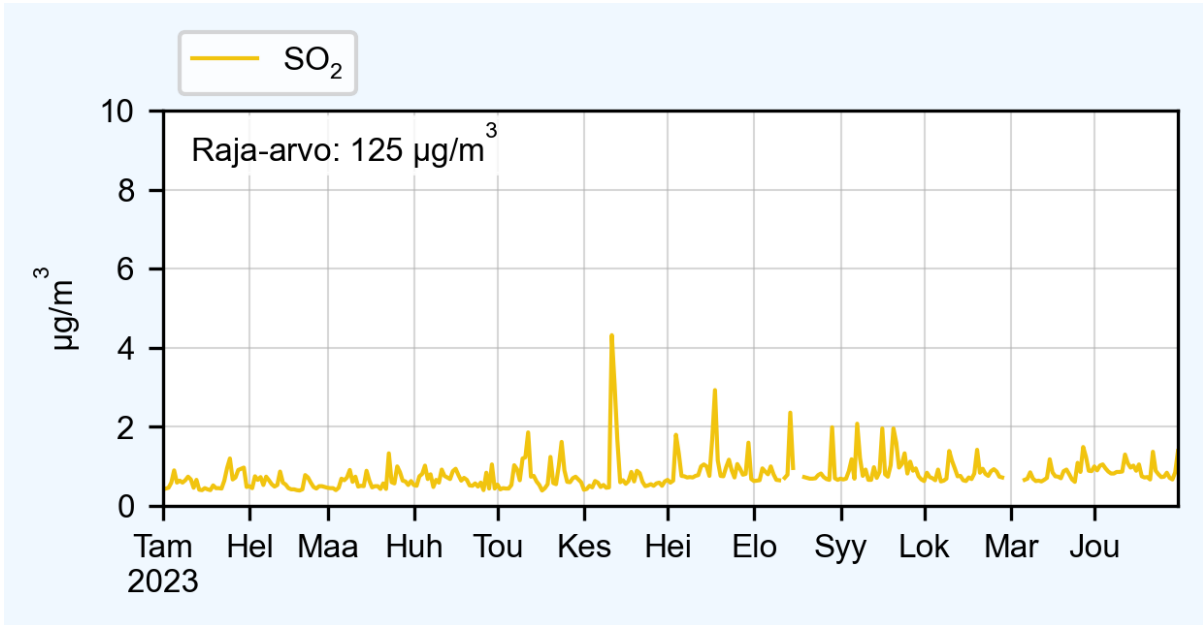
Haisevien rikkiyhdisteiden pitoisuuden vuosikeskiarvo oli 2023 Rauman Sinisaarella 0,3 µg(S)/m³. Suurin yksittäinen TRS-tuntipitoisuus 36 µg(S)/m³ mitattiin 16. elokuuta lounaistuulella ja korkein vuorokausipitoisuus 2,2 µg(S)/m³ 20. heinäkuuta. Vuorokausiohjeeseen 10 µg(S)/m³ (kuukauden toiseksi suurin vuorokausipitoisuus) verrattavat pitoisuudet vaihtelivat vuonna 2023 välillä 0,4–1,1 µg(S)/m³ eli 4–11 % ohjeesta. Suurimmat piikit sekä TRS:n että SO₂:n osalta mitattiin kesällä. Haisevien rikkiyhdisteiden pitoisuudet näyttivät jonkin verran yleisesti kohoavan alkukesällä kevään tasosta (kuvat 2 ja 4).



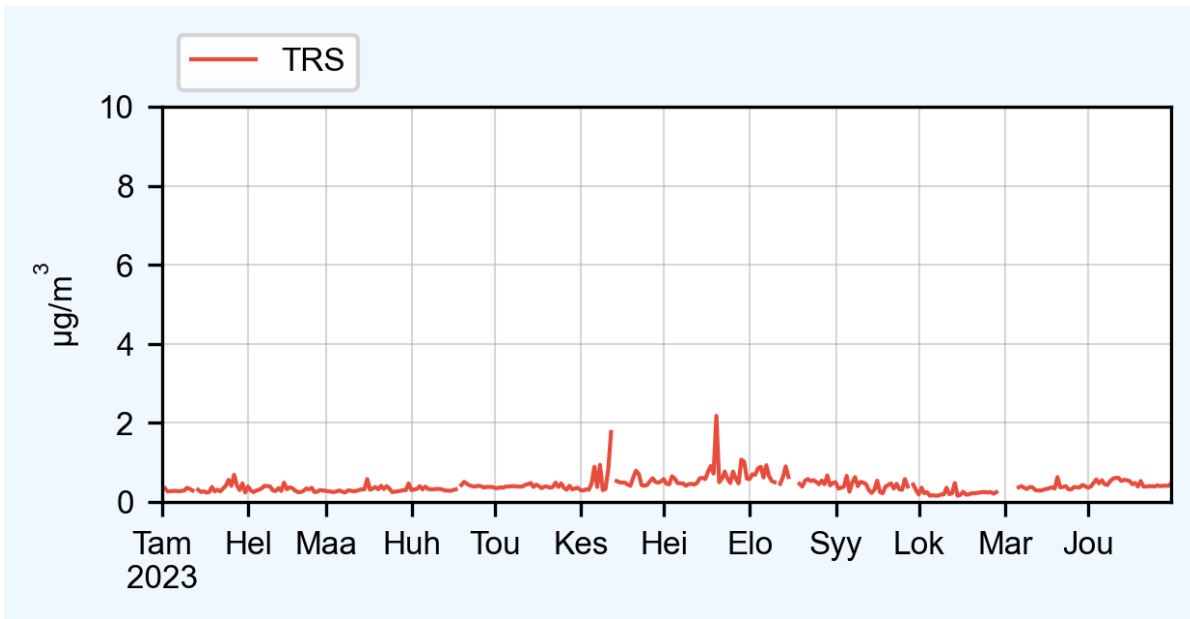
Kuva 1. Rikkidioksidin (SO_2) tuntipitoisuudet ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Rauman sinisaarella vuonna 2023.



Kuva 2. Haisevien rikkiyhdisteiden (TRS) tuntipitoisuudet ($\mu\text{g}(\text{S})/\text{m}^3$) Rauman sinisaarella vuonna 2023.



Kuva 3. Rikkidioksidin (SO₂) vuorokausipitoisuudet (µg/m³) Rauman sinisaarella vuonna 2023.



Kuva 4. Haisevien rikkiyhdisteiden (TRS) vuorokausipitoisuudet (µg(S)/m³) Rauman sinisaarella vuonna 2023.

Rauman Sinisaaren ilmanlaadun tarkkailupisteessä vuonna 2023 mitatut rikkidioksidin ja haisevien rikkiyhdisteiden pitoisuudet on esitetty taulukoissa 1–2 kuukausittaisina tuntipitoisuuksien ja vuorokausipitoisuuksien tilastosuureina.

Taulukko 1. Rikkidioksidipitoisuudet ja ohjearvoihin verrattavat pitoisuudet Sinisaassa 2023.

2023	SO ₂ tuntiarvot					SO ₂ vuorokausiarvot		
	luku- määrä (kpl)	katta- vuus (%)	kes- kiarvo (µg/m ³)	99.%- piste	korkein arvo (µg/m ³)	luku- määrä	2. suurin vrk (µg(S)/m ³)	% ohje- arvosta
Tammikuu	739	99 %	0,6	2,5	4,5	31	1,0	1 %
Helmikuu	672	100 %	0,5	1,4	2,0	28	0,8	1 %
Maaliskuu	743	100 %	0,6	2,5	3,3	31	1,0	1 %
Huhtikuu	717	100 %	0,7	2,0	4,3	30	1,0	1 %
Toukokuu	744	100 %	0,8	4,5	7,7	31	1,6	2 %
Kesäkuu	716	99 %	0,8	6,9	39,3	30	3,1	4 %
Heinäkuu	744	100 %	1,0	4,7	7,8	31	1,8	3 %
Elokuu	681	92 %	0,9	3,9	5,5	27	2,0	2 %
Syyskuu	715	99 %	1,0	4,0	9,2	30	2,0	2 %
Lokakuu	697	94 %	0,8	2,2	5,0	29	1,4	1 %
Marraskuu	609	85 %	0,8	2,0	4,8	25	1,2	1 %
Joulukuu	744	100 %	0,9	1,9	2,4	31	1,4	1 %

Taulukko 2. Haisevien rikkijyhdisteiden (TRS) pitoisuudet ja ohjearvoihin verrattavat pitoisuudet Sinisaassa 2023.

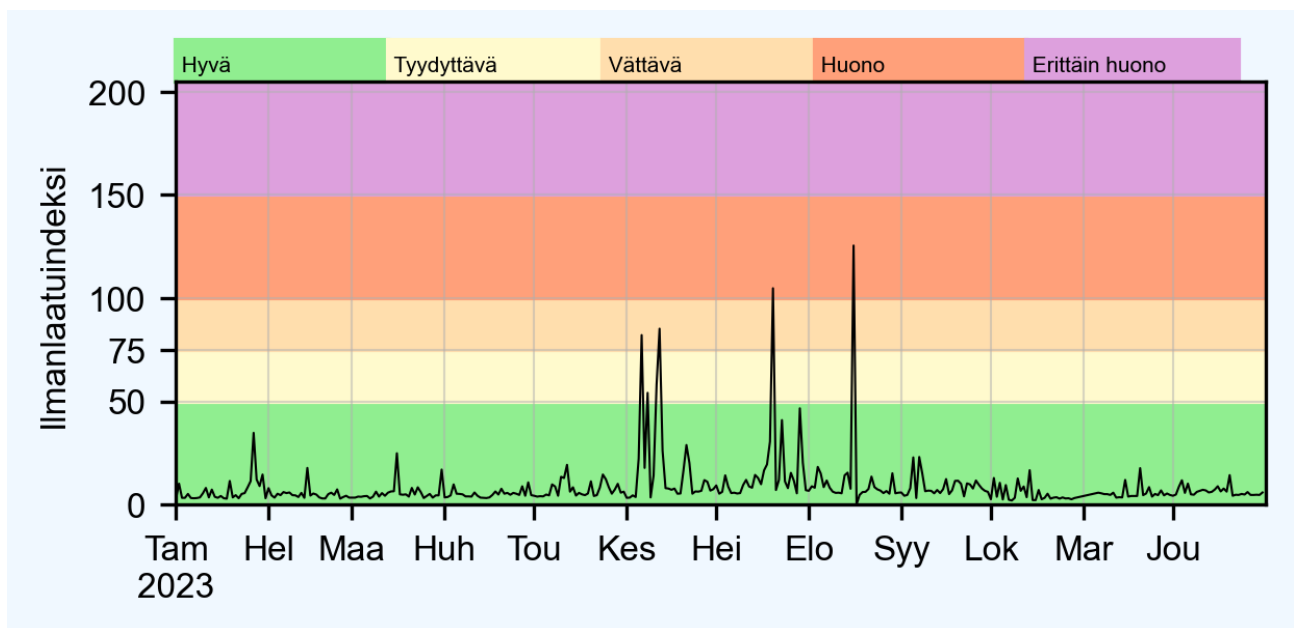
2023	TRS tuntiarvot					TRS vuorokausiarvot		
	luku- määrä (kpl)	katta- vuus (%)	kes- kiarvo (µg/m ³)	99.%- piste	korkein arvo (µg/m ³)	luku- määrä	2. suurin vrk (µg(S)/m ³)	% ohje- arvosta
Tammikuu	736	99 %	0,3	1,2	3,5	31	0,6	6 %
Helmikuu	672	100 %	0,3	0,7	1,8	28	0,4	4 %
Maaliskuu	743	100 %	0,3	0,8	2,5	31	0,5	5 %
Huhtikuu	713	99 %	0,4	0,6	1,0	29	0,5	5 %
Toukokuu	744	100 %	0,4	0,8	1,2	31	0,5	5 %
Kesäkuu	714	99 %	0,5	3,0	14,1	30	0,9	9 %
Heinäkuu	744	100 %	0,7	2,0	22,9	31	1,1	11 %
Elokuu	680	91 %	0,7	1,5	35,3	27	0,9	9 %
Syyskuu	712	99 %	0,4	1,2	2,3	29	0,6	6 %
Lokakuu	697	94 %	0,2	0,8	1,7	29	0,4	4 %
Marraskuu	609	85 %	0,4	0,8	1,8	25	0,4	4 %
Joulukuu	744	100 %	0,5	0,9	1,4	31	0,6	6 %

2.2 Ilmanlaatuindeksi

Rauman Sinisaassa mitattujen ilman epäpuhtauspitoisuuksien perusteella laskettiin ilmanlaatuindeksi, joka kuvaa vallitsevaa ilmanlaatuilannetta sanallisella asteikolla: hyvä, tyydyttävä, välttävä, huono, erittäin huono. Indeksien laskentaan käytettiin rikkidioksidin ja haisevien rikkiyhdisteiden tuntipitoisuuksia. Tässä tarkastelussa mittauspäivän kokonaisindeksi määräytyy ilmanlaadultaan huonoimman tunnin mukaan.

Indeksillä ilmaistuna ilmanlaatu oli Rauman Sinisaassa vuonna 2023 rikkidioksidin ja TRS:n osalta hyvää 98 % päivistä (kuva 5). Muita kuin hyvän ilmanlaadun päiviä oli kuusi kappaletta. Ilmanlaatu oli tyydyttävää kahtena päivänä (8.6 ja 11.6.2023), välttävää kahtena päivänä (6.6. ja 12.6.2023) ja huonoa kahtena päivänä (20.7 ja 16.8.2023). Erittäin huonon ilmanlaadun päiviä ei vuonna 2023 esiintynyt Sinisaassa lainkaan. 11.6. tyydyttävä ilmanlaatu johtui rikkidioksidista, muina mainittuina päivinä ilmanlaadultaan huonoin tunti johtui TRS:sta. Koska ilmanlaatuindeksin arvon määrittelyt perustuvat pääosin mitattujen ilman epäpuhtauksien pitoisuuksista aiheutuviin terveysvaikutuksiin, on Rauman Sinisaassa voinut mittausjaksolla esiintyä hajuhaittoja, vaikka indeksin arvo osoittaisi hyvää tai tyydyttävää ilmanlaatua.

Ilmanlaadun indeksiarvojen laskenta perustuu mitattujen ilman epäpuhtauksien pitoisuuksien tarkasteluihin suhteessa niiden terveysvaikutusperusteisiin ohjearvopitoisuuksiin. Tästä syystä haisevien rikkiyhdisteiden aiheuttamat ilmanlaatuvaikutukset kuvautuvat indeksiarvoissa vain mahdollisten terveysvaikutusten osalta, eikä indeksi kuvaa TRS-yhdisteiden aiheuttamaa hajuhaittaa. Metsä Fibre Oy:n Rauman sellutehtaan rikkivetypäästöt aiheuttivat vuonna 2023 ajoittain kaupungin alueella ihmisten viihtyvyyteen vaikuttaneita hajuhaittoja ja huononsivat tuolloin osaltaan ilmanlaatua muiden ilmanlaatuun vaikuttaneiden tekijöiden lisäksi.



Kuva 5 Vuorokauden suurimmat ilmanlaatuindeksin arvot Rauman Sinisaassa vuonna 2023

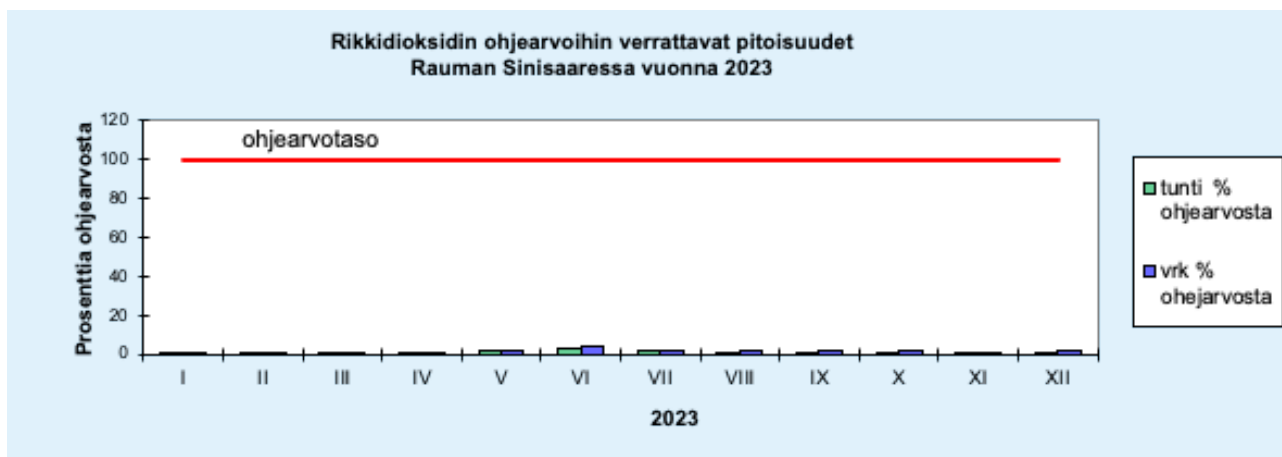
2.3 Pitoisuuksien vertailua raja- ja ohjearvoihin

Raja-arvot määrittelevät pitoisuuksille enimmäiskaton, jota ei saa ylittää. 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-arvo-pitoisuuksille sallitaan vielä erikseen ylityksiä määritellystä 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 jälkimmäisessä osassa kappaleessa 5.4.

Taulukoissa ja kuvissa on esitetty rikkidioksidin ja haisevien rikkiyhdisteiden ohjearvoon verrattavat pitoisuudet kuukausittain sekä pitoisuuksien suhde ohjearvoon Rauman Sinisaarella vuonna 2023. Jos pitoisuuden suhde ohjearvoon on 100 %, on ohjearvoon verrannollinen pitoisuus yhtä suuri kuin ohjearvo. Jos prosenttiluku on yli 100, on ohjearvo ylittynyt.

Taulukko 3. Rikkidioksidin (SO₂) ja haisevien rikkiyhdisteiden (TRS) ohjearvoihin verrattavat pitoisuudet kuukausittain sekä näiden suhde ohjearvoihin Rauman Sinisaaren mittauspisteessä vuonna 2023.

2023	SO ₂ tunti		SO ₂ vrk		TRS vrk	
	99 %- piste (µg/m ³)	% ohje-arvosta	2. suurin vrk (µg(S)/m ³)	% ohje- arvosta	2. suurin vrk (µg(S)/m ³)	% ohje- arvosta
Tammikuu	2,5	1 %	1,0	1 %	0,6	6 %
Helmikuu	1,4	1 %	0,8	1 %	0,4	4 %
Maaliskuu	2,5	1 %	1,0	1 %	0,5	5 %
Huhtikuu	2,0	1 %	1,0	1 %	0,5	5 %
Toukokuu	4,5	2 %	1,6	2 %	0,5	5 %
Kesäkuu	6,9	3 %	3,1	4 %	0,9	9 %
Heinäkuu	4,7	2 %	1,8	2 %	1,1	11 %
Elokuu	3,9	2 %	2,0	2 %	0,9	9 %
Syyskuu	4,0	2 %	2,0	2 %	0,6	6 %
Lokakuu	2,2	1 %	1,4	2 %	0,4	4 %
Marraskuu	2,0	1 %	1,2	2 %	0,4	4 %
Joulukuu	1,9	1 %	1,4	2 %	0,6	6 %
Ohjearvo	250		80		10	



Kuva 6. Rikkidioksidin ohjearvopitoisuudet Sinisaassa 2023.



Kuva 1. Haisevien rikkiyhdisteiden vuorokausiohjearvoon verrattavat pitoisuudet.

Rikkidioksidipitoisuuden vuosikeskiarvo oli vuonna 2023 Rauman Sinisaassa $0,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Kriittinen taso rikkidioksidin vuosikeskiarvopitoisuudelle on $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Kriittinen taso on annettu kasvillisuuden ja ekosysteemien suojelemiseksi.

Rikkidioksidipitoisuudet alittivat ohjearvot Rauman Sinisaassa vuonna 2023. Rikkidioksidin tuntiohjearvoon ($250 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 99.-%-piste) verrattavat pitoisuudet vaihtelivat välillä $3\text{--}7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ eli 1–3 % ohjearvosta. Vuorokausiohjearvoon ($80 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 2. suurin vrk-arvo) verratta-

vat pitoisuudet vaihtelivat välillä $<1\text{--}3\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ eli $1\text{--}4\ \%$ ohjeavosta. Suurin yksittäinen tuntipitoisuus, $39\ \mu\text{g}/\text{m}^3$, mitattiin kesäkuun 11 päivä illalla lounaan puoleisella tuulella ja korkein vuorokausipitoisuus $4\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ samana päivänä.

Rauman Sinisaassa vuonna 2023 mitatut rikkidioksidipitoisuudet eivät ylittäneet ilmanlaatuasetuksessa annettuja raja-arvoja. Tuntiraja-arvotaso $350\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ ei ylittynyt kertaakaan, kun ylityksiä sallitaan 24 kpl kalenterivuodessa. Raja-arvomäärittelyn mukainen 25. suurin tuntiarvo oli $5\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ eli $1\ \%$ raja-arvosta. Myöskään rikkidioksidin vuorokausiraja-arvotaso $125\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ ei ylittynyt kertaakaan, kun ylityksiä sallitaan 3 kpl kalenterivuodessa. Neljänneksi korkein vuorokausiarvo oli $10\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ eli $3\ \%$ raja-arvosta.

Haisevien rikkiyhdisteiden suurin yksittäinen tuntipitoisuus, $36\ \mu\text{g}(\text{S})/\text{m}^3$ mitattiin 16. elokuuta lounaistuulella ja korkein vuorokausipitoisuus $2,2\ \mu\text{g}(\text{S})/\text{m}^3$ 20. heinäkuuta. Vuorokausiohjearvoon $10\ \mu\text{g}(\text{S})/\text{m}^3$ (kuukauden toiseksi suurin vuorokausipitoisuus) verrattavat pitoisuudet vaihtelivat vuonna 2023 välillä $0,4\text{--}1,1\ \mu\text{g}(\text{S})/\text{m}^3$ eli $4\text{--}11\ \%$ ohjeavosta.

2.4 Hajujen esiintyminen

Sinisaassa mitattuja haisevien rikkiyhdisteiden tuntipitoisuuksia tarkastelemalla voidaan tilastollisesti arvioida, että mittausjaksolla olisi esiintynyt hajutunteja 43 kpl eli alle yhdessä prosentissa ($0,5\ \%$) koko mittausjakson tunneista (8 508 kpl). Hajutunneiksi on tässä tarkastelussa määritetty kaikki tunnit, jolloin TRS-pitoisuus on ollut $\geq 3\ \mu\text{g}(\text{S})/\text{m}^3$. Näistä tunneista olisi ollut melko voimakasta tunnistettavissa olevaa hajua 16 tuntia. Eniten hajutunteja esiintyi huoltoseisokin aikana ja sen jälkeen kesällä. Valtaosan mittausjaksosta haisevien rikkiyhdisteiden pitoisuudet kuitenkin olivat matalia, eikä hajuja esiintynyt. TRS-pitoisuus oli koko mittausjaksolla noin $98\ \%$ tunneista alle $1\ \mu\text{g}(\text{S})/\text{m}^3$.

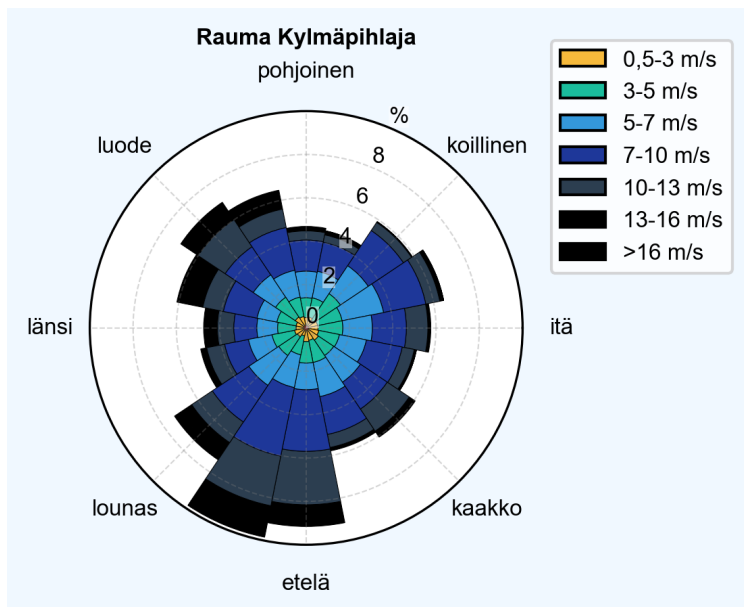
TRS-pitoisuuksiin perustuvaa hajujen esiintyvyyden arviointia voidaan pitää vain hyvin suuntaa antavana. Tässä tarkastelussa on oletettu, että kaikki mitattu TRS-pitoisuus olisi ollut rikkivetyä, joka on kaikista TRS-yhdisteistä herkimmin haiseva, eli sillä on matalin hajukynnys. Rikkivety aiheuttaa tunnistettavaa hajua pitoisuustasolla noin $3\text{--}6\ \mu\text{g}(\text{S})/\text{m}^3$ ja melko voimakasta tunnistettavissa olevaa hajua, kun pitoisuus on yli $6\ \mu\text{g}(\text{S})/\text{m}^3$. Todellisuudessa mitattu pitoisuus sisältää eri TRS-yhdisteitä, ja kaikkien niiden haju havaitaan eri pitoisuustasoilla, koska yhdisteillä on kullakin eri hajukynnys. Hajun kokemukseen vaikuttaa siis merkittävästi se, missä suhteessa päästö kyseisellä hetkellä sisältää erilaisia haisevia rikkiyhdisteitä. Näin ollen kokonais-TRS-pitoisuus ei suoraan kerro hajun esiintyvyydestä.

2.5 Tuulitiedot ja pitoisuudet tuulensuunnittain vuodelta 2023

Tuulen suunnalla tarkoitetaan meteorologiassa suuntaa, josta tuuli puhaltaa. Kun tuulta mitataan ja ilmoitetaan tuulen suunta, tarkoitetaan aina, että tuuli puhaltaa kyseisestä ilmansuunnasta havaitsijaa kohti. Niinpä etelätuuli puhaltaa etelästä ja länsituuli lännestä, jne.

Tuulen suunnat ilmaistaan ns. kompassisuuntina. Tämä tarkoittaa, että kun tuulee idästä, tuulen suunta on 90° , kun tuulee etelästä, tuulen suunta on 180° , jne. Samalla tavoin määräytyvät väliilmansuunnat asteina. Seuraavassa kuvaajassa on esitetty koko mittausjakson tuulen suunta- ja nopeustietojen yhteenveto tuuliruusun muodossa. Tuuliruusun keskipisteestä lähtevän janan pituus sektorin kehäviivalle vastaa ko. tuulisektorin tuulien prosentuaalista osuutta jakson tuulista. Tuuliruususta nähdään myös tuulten nopeusjakaumat tuulensuuntasektoreittain. Eri tuulennopeuksien prosentuaaliset osuudet saadaan vertaamalla sektoreiden kunkin nopeusluokan sektoripituutta prosenttiasteikkoon.

Sinisaaren ilmanlaadun mittausasemalla kerrostalon katolla oleva tuulimittaus rikkoutui kesäkuun lopussa kaapelivaurion takia. Tämän takia koko vuoden tarkastelussa on käytetty Ilmatieteen laitoksen Kylmäpihlajan sääaseman tuulidataa. Kylmäpihlaja sijaitsee noin kymmenen kilometrin päässä Sinisaaresta länteen. Kylmäpihlajan tuulimittaus kuvaa hyvin tuulen alueellista jakaumaa ja sitä voidaan käyttää arvioitaessa päästöjen kulkeutumista läheiseltä tehdasalueelta Sinisaareen, vaikka merellä tyypillisesti mitataankin voimakkaampia tuulia mantereeseen verrattuna. Kuvassa 8 esitetty tuulikuvaja edustaa Kylmäpihlajalla mitattuja tuulia vuonna 2023. Kuvasta nähdään, että Kylmäpihlajassa on tuullut jonkun verran kaikilta suunnilta, mutta voimakkaimmat tuulet on puhaltaneet etelästä ja lounaasta, tältä suunnalta on tuullut noin 25% vuoden tunneista. Myös luoteen suunnalta on tuullut voimakkaasti, noin 20 % mitatuista tunneista. Vähiten on tuullut pohjoisesta ja pohjois-koillisesta, noin 8 % mitatuista tunneista. Tuulianalyysin perusteella Sinisaaren mittauskoppi on sijainniltaan hyvässä paikassa Rauman paperiteollisuuden päästöjen mittauksen kannalta tehtaiden koillispuolella, vallitsevan tuulen suunnan alapuolella.



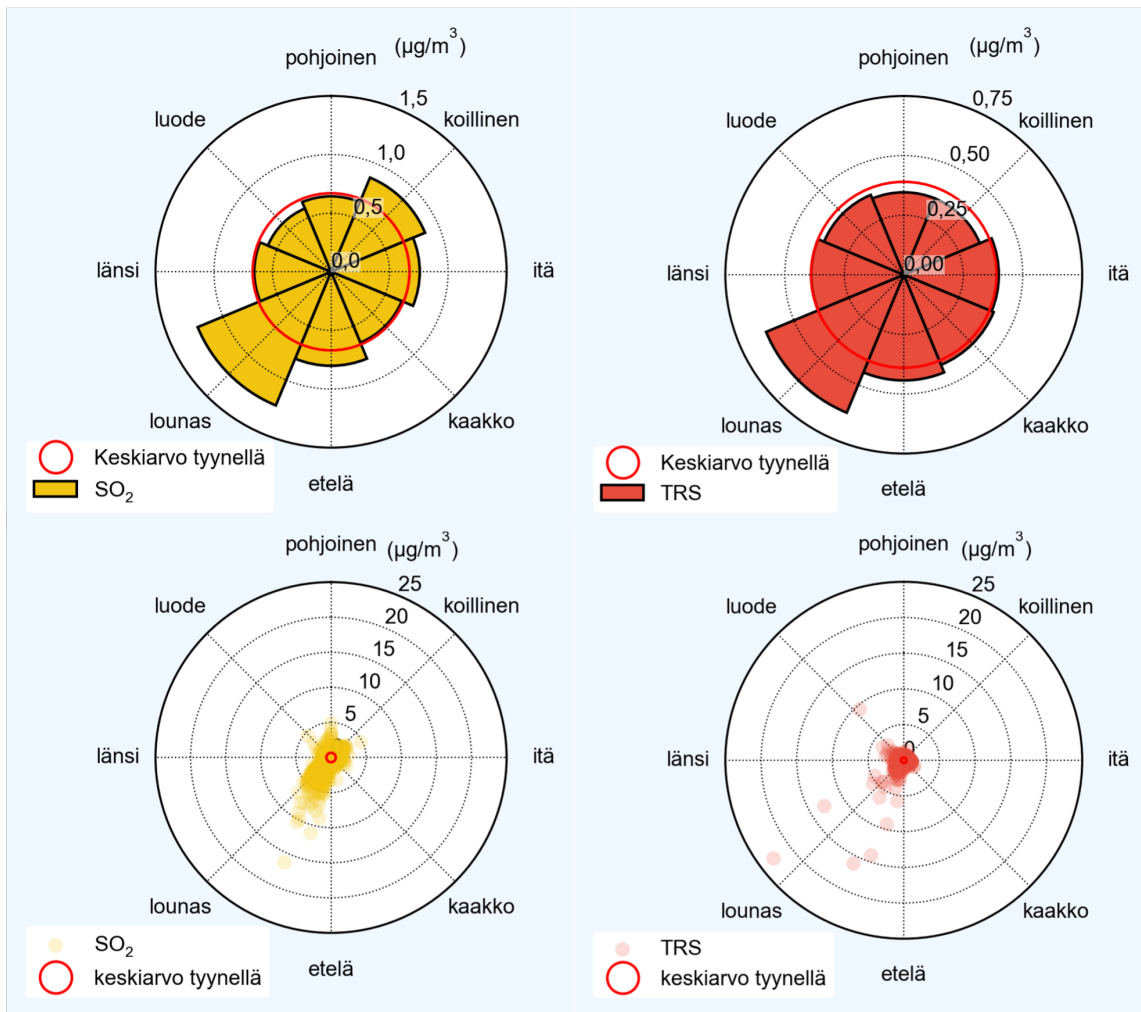
Kuva 8. Tuulen suunta ja nopeus Kylmäpihlajassa mittausjaksolla 1.1.–31.12.2023.

Seuraavissa kuvaajissa on esitetty tuulen suunnan vaikutus rikkidioksidin ja haisevien rikkiyhdisteiden pitoisuuksiin Sinisaassa pitoisuusruusujen avulla. Kuvissa esitetään mitatut pitoisuuksien tuntikeskiarvot mittausaineistoissa eri tuulensuunnilla. Pisteiden etäisyys kuvaajan keskipisteestä vastaa epäpuhtauden tuntikeskiarvopitoisuutta ko. tuulisektorissa.

Vallitsevat tuulensuunnat olivat Sinisaassa vuonna 2023 laajalla alueella idästä luoteeseen. Sekä rikkidioksidin että haisevien rikkiyhdisteiden korkeimmat tuntipitoisuudet painottuivat lounaan puoleisille tuulille (kuva 9) eli tuuli toi korkeampia SO₂- ja TRS-pitoisuuksia lounaan suunnalta selkeästi eniten verrattuna muihin ilmansuuntiin. Yksittäisiä pitoisuushavaintoja tehtiin lähes kaikilla tuulensuunnilla mutta suurimmat rikkidioksidin pitoisuudet painottuvat eniten lounaan puoleisille tuulille. Haisevien rikkiyhdisteiden tuntipitoisuuksissa on hieman enemmän hajontaa eri tuulensuuntiin, mutta niissäkin suurimmat pitoisuudet painottuvat lounaan puoleisille tuulille.

Haisevat rikkiyhdisteet ovat peräisin yleensä pääasiassa teollisuudesta, jätekeskuksista ja jätevesien käsittelystä. Rauman seudulla merkittävin haisevien rikkiyhdisteiden päästölähde on Metsä Fibre Oy:n Rauman sellutehdas, joka sijaitsee Sinisaaren mittauspisteestä noin 2 km lounaaseen.

Rikkidioksidin merkittävimpiä päästölähteitä Rauman seudulla ovat Metsä Fibre Oy:n Rauman sellutehtaan ohella Rauman Biovoima Oy ja Forchem Oy, jotka sijaitsevat myös lounaaseen Sinisaaren mittauspisteestä, Rauman Biovoima noin kilometrin päässä ja Forchem Oy noin 2 km päässä. Kuvassa 16 on esitetty mittausaseman sijainti suhteessa merkittävimpiin päästölähteisiin.

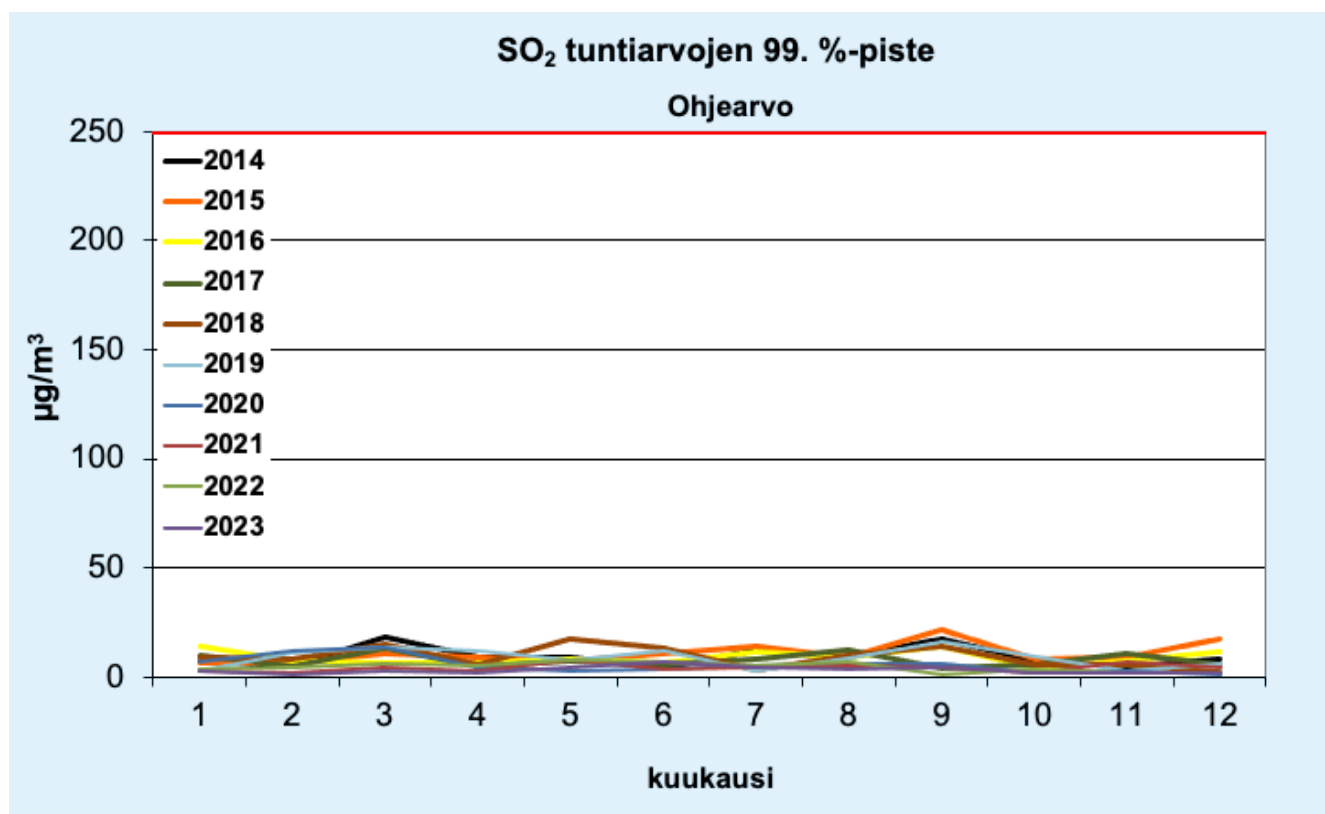


Kuva 9. Sinisaaren mittasemalla mitatut SO_2 :n ja TRS:n pitoisuudet tuulensuunnittain mittausjaksolla 1.1.–31.12.2023. Punainen ympyrä kuvaa pitoisuuksia tyyneellä (tuulen nopeus $<0,5$ m/s).

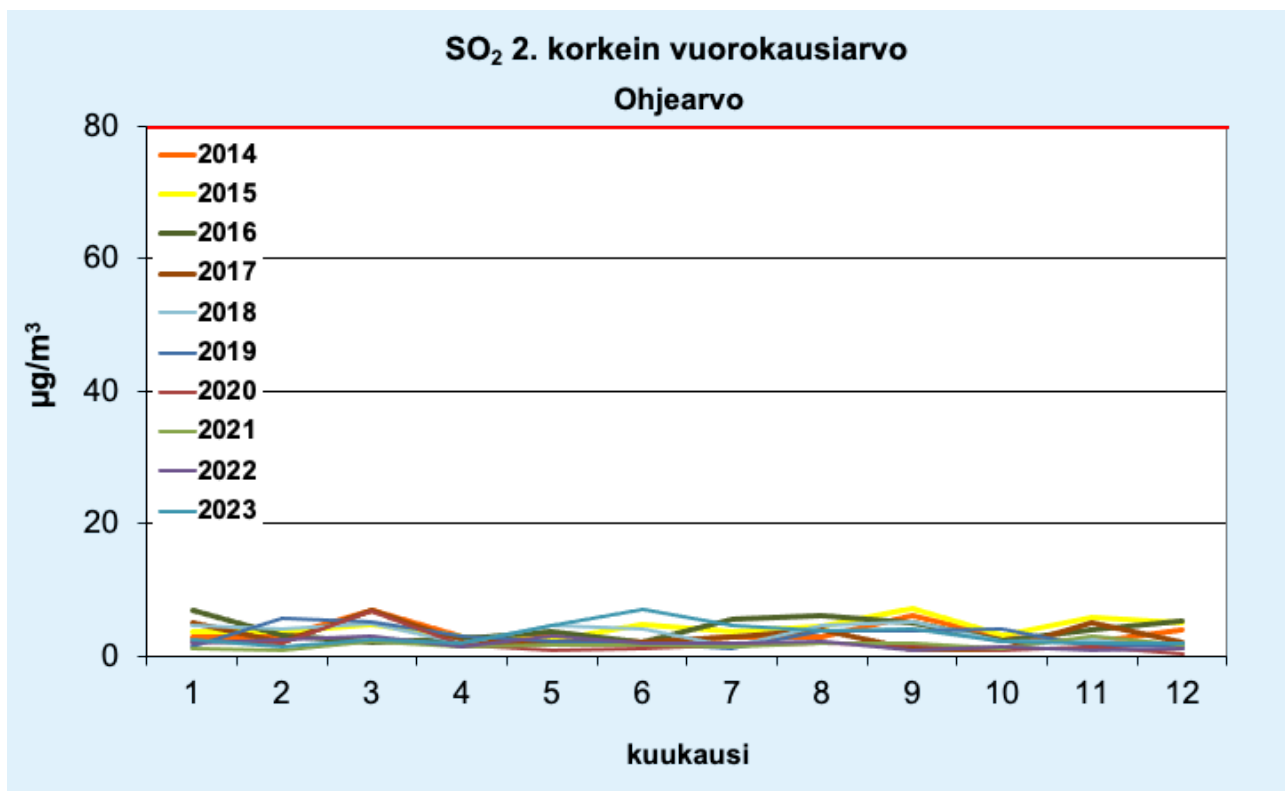
2.6 Pitoisuuksien vertailua Sinisaassa aiemmin mitattuihin pitoisuuksiin

Rikkidioksidi

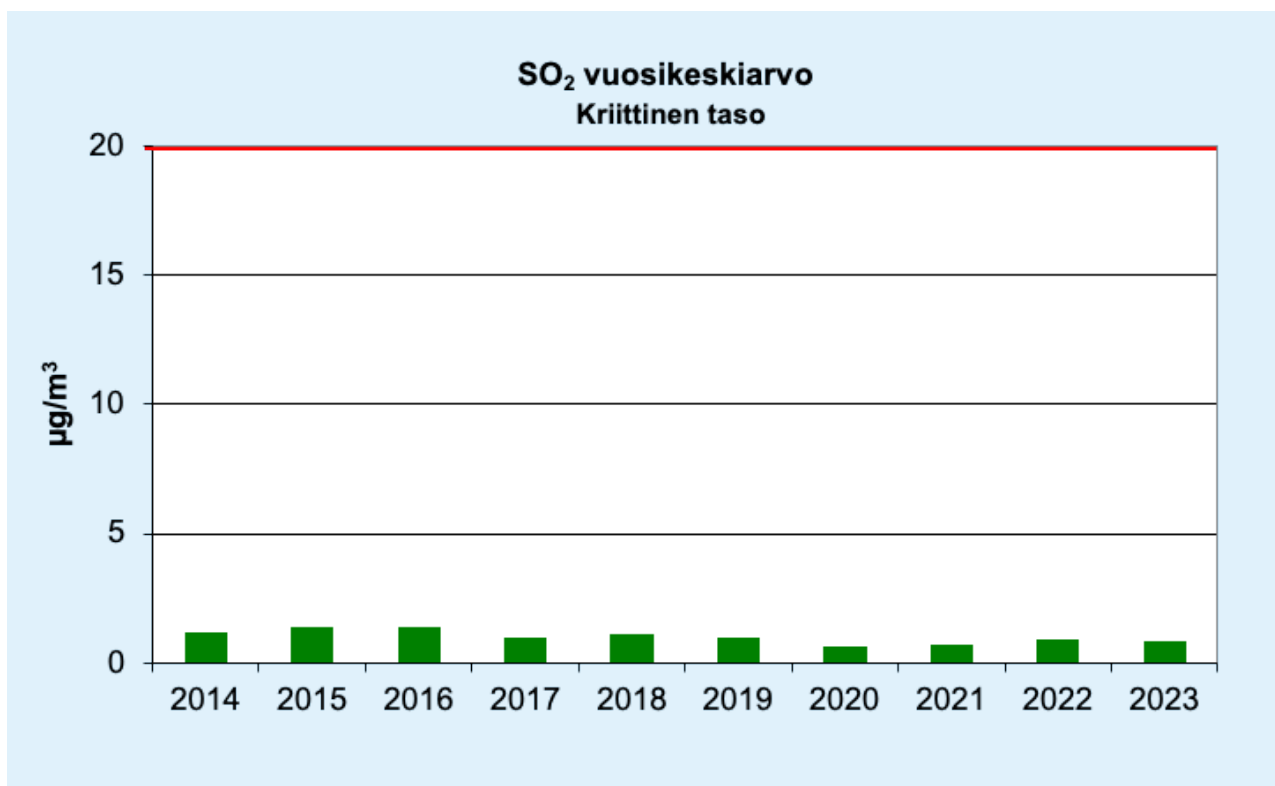
Rauman Sinisaassa rikkidioksidin ohjearvoihin verrannolliset pitoisuudet ovat vaihdelleet kymmenen viime vuoden tarkastelujaksolla (2014–2023) melko vähän (kuvat 10 ja 11). Rikkidioksidin tuntiohjearvoon verrattavat pitoisuudet ovat vaihdelleet Rauman Sinisaassa vuosina 2014–2023 välillä $1\text{--}21\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja vuorokausiohjearvoon verrattavat pitoisuudet välillä $<1\text{--}7\ \mu\text{g}/\text{m}^3$. Vuosikeskiarvo on ollut Rauman Sinisaassa $0,6\text{--}1,4\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ vuosina 2014–2023 (kuva 12). Vuosikeskiarvo ($0,8\ \mu\text{g}/\text{m}^3$) oli vuonna 2023 keskimäärin samalla tasolla verrattuna kahteen edelliseen vuoteen. Rikkidioksidipitoisuudet ovat olleet laskusuunnassa ja ohje- ja raja-arvot ovat alittuneet selvästi kaikkina vuosina Rauman Sinisaassa kymmenen viime vuoden tarkastelujaksolla.



Kuva 10. Rikkidioksidin tuntiohjearvoon ($250\ \mu\text{g}/\text{m}^3$) verrannolliset pitoisuudet Rauman Sinisaassa vuosina 2014–2023.



Kuva 11. Rikkidioksidin tuntiohjearvoon ($250 \mu\text{g}/\text{m}^3$) verrannolliset pitoisuudet Ruman Sinisaarella vuosina 2014–2023.



Kuva 12. Rikkidioksidipitoisuuden vuosikeskiarvot Rauman Sinisaarella vuosina 2014–2023.

3. YHTEENVETO MITTAUSTULOKSISTA

Vuonna 2023 Rauman metsäteollisuuden ilmanlaadun tarkkailusta on vastannut Ilmatieteen laitos. Rauman Sinisaassa sijaitsevalla mittausasemalla mitattiin ulkoilmasta rikkidioksidin (SO_2) ja haisevien rikkiyhdisteiden (TRS) pitoisuuksia.

Rauman Sinisaassa vuonna 2023 mitatut rikkidioksidipitoisuudet eivät ylittäneet ohjearvoja. Rikkidioksidipitoisuuden vuosikeskiarvoksi mitattiin vuonna 2023 $0,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Rikkidioksidin tuntiohjearvoon ($250 \mu\text{g}/\text{m}^3$) verrattavat pitoisuudet (99. prosenttipiste) vaihtelivat välillä $1\text{--}7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ eli $<1\text{--}3 \%$ ohjearvosta. Vuorokausiohjearvoon ($80 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 2. suurin vrk-arvo) verrattavat pitoisuudet vaihtelivat välillä $1\text{--}3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ eli $1\text{--}4 \%$ ohjearvosta. Suurin yksittäinen tuntipitoisuus, $39 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mitattiin kesäkuun 11 päivä illalla lounaan puoleisella tuulella ja korkein vuorokausipitoisuus $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ samana päivänä. Korkeamman tuntipitoisuuden tunteja esiintyi eniten kesällä ja alkusyksyllä. (kuva 1).

Haisevien rikkiyhdisteiden pitoisuudet eivät myöskään ylittäneet ohjearvoa. Vuorokausiohjearvoon $10 \mu\text{g}(\text{S})/\text{m}^3$ (kuukauden toiseksi suurin vuorokausipitoisuus) verrattavat pitoisuudet vaihtelivat vuonna 2023 välillä $0,4\text{--}1,1 \mu\text{g}(\text{S})/\text{m}^3$ eli $4\text{--}11 \%$ ohjearvosta. Suurin yksittäinen TRS-tuntipitoisuus $36 \mu\text{g}(\text{S})/\text{m}^3$ mitattiin 16. elokuuta lounaistuulella ja korkein vuorokausipitoisuus $2,2 \mu\text{g}(\text{S})/\text{m}^3$ 20. heinäkuuta. Haisevien rikkiyhdisteiden pitoisuudet näyttivät jonkin verran yleisesti kohoavan alkukesällä kevään tasosta.

Rauman Sinisaassa vuonna 2023 mitatut rikkidioksidipitoisuudet eivät ylittäneet ilmanlaatuasetuksessa annettuja raja-arvoja. Tuntiraja-arvotaso $350 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ei ylittynyt kertaakaan, kun ylityksiä sallitaan 24 kpl kalenterivuodessa. Raja-arvomäärittelyn mukainen 25. suurin tuntiarvo oli $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ eli 1% raja-arvosta. Myöskään rikkidioksidin vuorokausiraja-arvotaso $125 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ei ylittynyt kertaakaan, kun ylityksiä sallitaan 3 kpl kalenterivuodessa. Neljänneksi korkein vuorokausiarvo oli $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ eli 3% raja-arvosta.

Rikkidioksidin pitoisuus oli kesällä Sinisaassa keskimäärin hieman korkeampi kuin syksyllä ja keväällä ja korkeamman tuntipitoisuuden tunteja esiintyi tuolloin myös eniten.

Suurimpia tuntipitoisuudet sekä rikkidioksidin että haisevien rikkiyhdisteiden osalta mitattiin alkukesällä. Haisevilla rikkiyhdisteillä mitattiin kylläkin korkein tunti elokuussa. Nämä hieman Sinisaassa normaalista poikkeavat kohonneet pitoisuudet voivat ainakin osittain liittyä normaaliin kesän huoltoseisokkiin.

Rauman Sinisaassa mitattujen ilman epäpuhtauspitoisuuksien perusteella laskettiin ilmanlaatuindeksi, joka kuvaa vallitsevaa ilmanlaatuutilannetta asteikolla hyvä, tyydyttävä, välttävä, huono ja erittäin huono. Indeksillä ilmaistuna ilmanlaatu oli Rauman Sinisaassa vuonna 2023 hyvää 98% päivistä Ilmanlaatu oli tyydyttävää kahtena päivänä (8.6 ja 11.6.2023), välttävää kahtena päivänä (6.6. ja 12.6.2023) ja huonoa kahtena päivänä (20.7 ja 16.8.2023). 11.6. tyydyttävä ilmanlaatu johtui rikkidioksidista, muina mainittuina päivinä ilmanlaadultaan huonoin tunti johtui

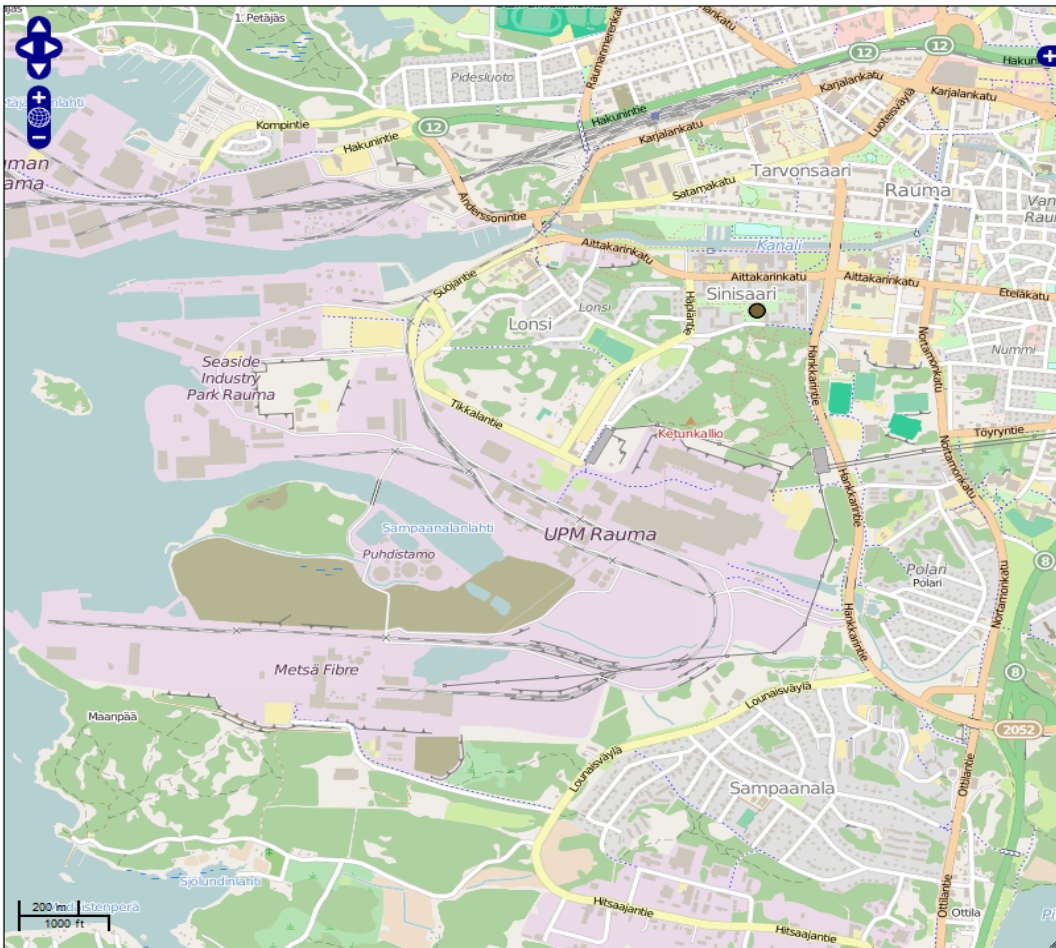
TRS:sta. Erittäin huonoa ilmanlaatua ei esiintynyt vuoden 2023 tarkastelujaksolla yhtenäkkään päivänä. Tässä tarkastelussa mittauspäivän indeksi määräytyy ilmanlaadultaan huonoimman tunnin mukaan. Rauman Sinisaarella esiintyi Metsä Fibre Oy:n Rauman sellutehtaan päästöistä johtuvia ihmisten viihtyvyyteen vaikuttaneita hajuhaittoja vuonna 2023 noin 46 hajutunnin aikana, joka on 0,6% mitatusta vuoden tunneista. Hajutunniksi on tässä työssä arvioitu sellaiset tunnit, jolloin mitattu TRS-tuntipitoisuus oli vähintään 3,0 µg(S)/m³.

OSA II

4. TUTKIMUKSEN SUORITUS

4.1 Sinisaaren mittausasema

Raumalla Sinisaaren puistossa sijaitsevalla ilmanlaadun mittausasemalla on vuodesta 1998 lähtien mitattu rikkidioksia ja haisevia rikkiyhdisteitä. Haisevien rikkiyhdisteiden ja rikkidioksidin näytteenottimet sijaitsevat noin 3 metrin korkeudella maanpinnasta. Mittauspaikan sijaintia ja ympäristöä on havainnollistettu kuvissa 16 ja 17. Kylmäpihlajan sääasema sijaitsee noin 10 kilometrin päässä mittauspaikasta koilliseen.



Kuva 2. Sinisaaren ilmanlaadun mittausaseman (●) sijainti Raumalla. Kartta-aineisto: OpenStreetMap.org (Creative Commons Attribution-ShareAlike 2.0)



Kuva 17. Sinisaaren ilmanlaadun mittausasema. Kuva: Mika Vestenius.

4.2 Mitatut suureet ja mittausmenetelmät

Rikkidioksin ja haisevien rikkiyhdisteiden pitoisuuksia mitattiin Raumalla jatkuvatoimisilla automaattisilla analysaattoreilla (taulukko 4). Ilmanlaadun mittauksien tulokset kerättiin mittausasemilla mittaussensoreille minuuttiarvoina, joista ne siirrettiin edelleen minuuttiarvoina langattomasti modeemiyhteyden kautta Ilmatieteen laitoksen palvelimelle raakadatatietokantaan. Raakadatatietokannassa mittauksien tulokset pysyvät aina muuttumattomina, jolloin alkuperäiset arvot ovat myöhemminkin tarvittaessa saatavilla. Minuuttiarvoista määritettiin tuntikeskiarvot ja vuorokausikes-

kiarvot. Mittaustulokset korjattiin kalibroitulosten perusteella ja mahdolliset laitteiden toimintahäiriöistä ja kalibroinneista johtuneet virheelliset arvot poistettiin. Mittauksia seurattiin kaukovaivontana Ilmatieteen laitokselta Helsingistä.

Taulukko 1.
ilmanlaadun mittauksissa käytetyt menetelmät ja laitteet.

Sinisaaren

Mitattava komponentti	Mittausmenetelmä	Mittalaite
Rikkidioksidi	UV-fluoresenssi	TEI 43i TLE
Haisevat rikkiyhdisteet	UV-fluoresenssi + konvertteri	TEI 43S + PPM891 konvertteri
Meteorologiset tiedot	Akustinen tuulimittari (Kylmäpihlajalla, FMISID 101061)	Thies UA2D

Rikkidioksidin mittauksissa käytettiin UV-fluoresenssiin perustuvaa määrittämenetelmää. 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. Haisevien rikkiyhdisteiden kokonaispitoisuutta määritetään hapettamalla rikkiyhdisteet korkeassa lämpötilassa ns. konvertterissa rikkidioksidiksi. Tämän jälkeen myös TRS-laitteessa mitataan rikkidioksidin kokonaispitoisuutta UV-fluoresenssimenetelmällä.

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

4.3 Kalibroitimenetelmät, laadunvarmistus ja laitehuollot

Sinisaaren ilmanlaadun tarkkailun laadunvarmennuksessa kiinnitettiin huomiota kalibroitien suorittamiseen, kalibroitien jäljitettävyyteen ja laitteiden toimintaan. Rikkidioksidin ja haisevien rikkiyhdisteiden mittalaitteiden kalibroinnit tehtiin monipistekalibroinnin (4–5 pitoisuutta) avulla. Mittausaineisto korjattiin matemaattisesti kalibroitulosten perusteella. Kalibroitien yhteydessä tehtiin tarvittavat huollot ja näytteenottoinjojen tarkastukset. Ilmanlaadun mittaukset suoritettiin kansallisen ilmanlaadun mittausohjeen (*Ilmatieteen laitos, 2017*) sekä Ilmatieteen laitoksen ilmanlaatumittausten laatu järjestelmän mukaisesti:

(https://expo.fmi.fi/ages/public/Ilmatieteen_laitoksen_ilmanlaatumittausten_laatujajestelmien_kuvaus.pdf). Mittauksia seurattiin kaukovalvontana Ilmatieteen laitokselta Helsingistä.

Rikkidioksidin mittalaite kalibroitiin käyttäen rikkidioksidikaasua (SO₂), joka laimennettiin erillisen laimentimen avulla halutuille pitoisuustasoille. Kalibrointipisteet kattoivat pitoisuusalueen 0–100 ppb. Laimentimena käytettiin kenttälaimenninta. Kaasunormaalina käytettiin SO₂-permeaatioputkea. Laimentimella tuotetut kalibrointipitoisuudet varmennettiin ilmanlaatumittausten kansallisessa vertailulaboratoriossa Ilmatieteen laitoksella jäljitettävästi kalibroidulla rikkidioksidianalysaattorilla. Ilmatieteen laitoksen vertailulaboratorio on FINAS-akkreditointipalvelun akreditoima kalibrointilaboratorio K043. Kalibrointien perusteella Sinisaaren ilmanlaadun tarkkailun rikkidioksidin pitoisuusmittaukset on jäljitetty kansalliseen mittanormaaliin ja sitä kautta ai-nemäärään.

TRS-mittalaite kalibroitiin käyttäen rikkivetykaasua (H₂S), joka laimennettiin erillisen laimentimen avulla halutuille pitoisuustasoille. Kalibrointipisteet kattoivat pitoisuusalueen 0–100 ppb. Laimentimena käytettiin kenttälaimenninta. Kaasunormaalina käytettiin H₂S-permeaatioputkea. Laimentimesta tuotettiin kalibrointipitoisuusarvot, jotka varmennettiin ilmanlaatumittausten kansallisessa vertailulaboratoriossa Ilmatieteen laitoksella jäljitettävästi kalibroitua rikkidioksidianalysaattoria vastaan.

Rikkidioksidin ja haisevien rikkiyhdisteiden mittalaitteet kalibroitiin tammikuussa, huhtikuussa, kesäkuussa ja syyskuussa 2023 sekä tammikuussa 2024. Analysaattoreiden näytteenottolinjat tarkistettiin ja analysaattoreiden hiukkassuodattimet vaihdettiin jokaisella kalibrointikerralla. Näytteenottolinjat uusittiin kesäkuun kalibrointien ja huollon yhteydessä.

Mittaukset toimivat yleensä ottaen hyvin lukuun ottamatta lyhyitä katkoja vuoden aikana johtuen paikallisista sähkökatkoista tai mittauskoneen viasta.

Esimerkiksi 16.-18.8 oli puiston huoltotöiden takia sähkökatko ja 30.10–5.11 katkon syynä oli mit-taustietokoneen rikkoutuminen.

Sinisaaren tuulimittaus vaurioitui 27.6. kaivinkoneen rikottua mittauksen maakaapelin. Kaapelivauriota ei saatu korjattua syksyn aikana, joten tässä raportissa on käytetty Kylmäpihlajan sääaseman tuulidataa.

Laatutavoite koko vuoden aineiston vähimmäismäärälle saavutettiin mittausaineiston ajallisen kattavuuden ollessa 97 %. Raja-arvojen ylittymisen valvontaan käytettävissä mittauksissa aineiston vähimmäismäärä on 90 %, mikä ei kuitenkaan sisällä laitteiden säännöllisestä kalibroinista tai normaalista kunnossapidosta aiheutuvaa tietohukkaa. Tämä laatutavoite täyttyi Rau-man Sinisaaren ilmanlaatumittausten osalta, tosin Sinisaaren mittausasema ei kuulu minkään komponentin osalta raja-arvoa valvoviin mittausasemiin.

Rikkidioksidin mittauksissa käytettiin UV-fluoresenssiin perustuvaa määrittämenetelmää. Mit-taukset 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.*

Haisevien rikkiyhdisteiden kokonaispitoisuutta määritetään hapettamalla rikkiyhdisteet korkeassa lämpötilassa ns. konvertterissa rikkidioksidiksi. Tämän jälkeen myös TRS-laitteessa mitataan rikkidioksidin kokonaispitoisuutta UV-fluoresenssimenetelmällä.

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 kalibrointitulosten perusteella ja laitteiden toimintahäiriöistä johtuneet virheelliset arvot poistettiin. Mittauksia seurattiin etävalvontana Ilmatieteen laitokselta Helsingistä.

4.4 Ilmanlaatuun vaikuttavat säätekijät

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

Ilman epäpuhtauksien leviämisen ja laimenemisen kannalta keskeisiä meteorologisia tekijöitä ovat tuulen suunta ja nopeus, ilmakehän stabiilisuus ja sekoituskorkeus. Rajakerroksen tuuliolosuhteet määräävät karkeasti ilmansaasteiden kulkeutumissuunnan, mutta rajakerroksen ilmavirtausten pyörteisyys ja kerroksen korkeus vaikuttavat merkittävästi ilmansaasteiden sekoittumiseen ja pitoisuuksien laimenemisen kulkeutumisen aikana. Rajakerroksen korkeus määrittää sen ilmatilavuuden, johon päästöt voivat välittömästi sekoittua ja laimentua. Rajakerroksen korkeus on Suomessa tyypillisesti alle kilometrin, mutta varsinkin kesällä se voi nousta yli kahden kilometriin. Matalimmat rajakerroksen korkeudet havaitaan yleensä talvella kovilla pakkasilla. Ilmakehän stabiilisuudella tarkoitetaan ilmakehän herkkyyttä pystysuuntaiseen sekoittumiseen. Stabiilisuuden määrää ilmakehän pystysuuntainen lämpötilarakenne, mutta siihen vaikuttavat myös auringon säteily, tuuli ja maanpinnan laatu. Stabiiliustilan ollessa vakaa ilmakehän sekoittuminen on vähäistä. Jos tila on epävakaa, sekoittuminen on voimakasta ja ilmaan päässeet epäpuhtaudet laimenevat nopeasti.

Inversiolla tarkoitetaan tilannetta, jossa ilmakehän lämpötila nousee ylöspäin mentäessä. Erityisesti maanpintainversion aikana ilmanlaatu voi paikallisesti huonontua nopeasti. Maanpintainversiossa maanpinta ja sen lähellä oleva ilmakerros jäähtyy niin, että kylmempi ilma jää ylem-

pänä olevan lämpimämmän ilman alle. Kylmä pintailma ei raskaampana pääse kohoamaan yläpuolellaan olevan lämpimän kerroksen läpi, ja ilmakehän pystysuuntainen liike estyy. Inversio-kerroksessa 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 päästölähteryhmä korkeiden pitoisuuksien muodostumisen kannalta useimmissa maamme kaupungeissa. Liikenteen päästöjen osuus monien ilman epäpuhtauksien päästöistä on huomattava ja pako-kaasut 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.

5. TAUSTATIETOA ILMAN EPÄPUHTAUKSISTA

5.1 Rikkidioksidi

Ulkoilman rikkidioksidipitoisuudet ovat nykyisin alhaisella tasolla Suomessa. Rikkidioksidipäästöjen tehokkaan ja pitkäjänteisen rajoittamisen seurauksena kaupunkialueiden rikkidioksidipitoisuudet ovat laskeneet lähelle tausta-alueiden pitoisuuksia. Ulkoilmassa oleva rikkidioksidi on pääosin peräisin energiantuotannosta, teollisuudesta ja laivojen päästöistä. Teollisuuspaikkakunnilla rikkidioksidipitoisuudet voivat kohota lyhytaikaisesti ja paikallisesti epäedullisissa meteorologisissa tilanteissa ja häiriöpäästötilanteissa. Myös satamien ja huippulämpökusten lähellä voi ajoittain esiintyä korkeita lyhytaikaispitoisuuksia. Korkeat rikkidioksidipitoisuudet voivat lisätä hengitystieinfektioita ja astmaatikkosten kohtauksia. Äkillisiä oireita ovat yskä, hengenahdistus ja keuhkoputkien supistuminen. Pakkanen voi pahentaa rikkidioksidin aiheuttamia oireita. Puhtailla tausta-alueilla rikkidioksidipitoisuuden vuosikeskiarvot ovat olleet jo useiden vuosien ajan noin 1–2 µg/m³ (Ilmatieteen laitos, 202).

5.2 Haisevat rikkiyhdisteet

Haisevat rikkiyhdisteet eli TRS-yhdisteet (Total Reduced Sulphur) aiheuttavat suomalaisille tutun selluteollisuuden pahan hajun. Samanlaisia rikkiyhdisteitä syntyy myös orgaanisen aineen hapettomassa hajoamisessa eli mätänemisessä. Näitä hajuja esiintyy myös esimerkiksi kaatopaikoilla ja

jätevedenkäsittelyssä, mutta myös soiden ja järvien pohjamudista voi purkautua haisevia rikkiyhdisteitä.

TRS-yhdisteillä tarkoitetaan pelkistyneitä rikkiyhdisteitä, kuten rikkivety H_2S , metyylimerkaptani CH_3SH , dimetyylisulfidi $(CH_3)_2S$ ja dimetyylidisulfidi $(CH_3)_2S_2$. Näitä yhdisteitä esiintyy selluteollisuuden päästöissä vaihtelevina osuuksina. Useimmiten rikkiyhdisteitä käsitellään kokonais-TRS-päästöinä ja -pitoisuuksina. Kullakin yhdistellä on sille ominainen hajukynnys, eli pitoisuus, jossa puolet ihmisistä aistii hajua. Haisevat rikkiyhdisteet aiheuttavat jo pieninä pitoisuuksina yhdyskuntailmassa viihtyvyyshaittaa epämiellyttävän hajunsa takia. Ulkoilman TRS-pitoisuuksia ei Suomessa seurata puhtailla tausta-alueilla, vaan TRS-pitoisuuksien mittauksia tehdään ainoastaan teollisuuspäästöjen vaikutusalueilla (*Ilmatieteen laitos, 2022*).

5.3 Ilman epäpuhtauksien terveysvaikutukset

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

Ilmansaasteiden arvioidaan aiheuttavan Suomessa noin 1 600 ennen aikaista kuolemantapausta vuodessa (*Hänninen ym. 2016*). Lisäksi ilmansaasteet aiheuttavat haittoja lisääntyneen sairastamisen takia. Haitalliset vaikutukset ilmenevät siitä huolimatta, että ilmanlaadun raja- tai ohjearvot eivät Suomessa ylity laajassa mitassa. Terveyshaitat aiheutuvat suurelta osin pienhiukkasista ja 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.

5.4 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 2*).

Raja-arvot ovat ilman epäpuhtauden pitoisuuksia, jotka on alitettava määräajassa. Kun raja-arvo on alitettu, sitä ei enää saa ylittää. Raja-arvot ovat sitovia ja ne eivät saa ylittyä alueilla, joissa asuu tai oleskelee ihmisiä. Raja-arvon ylittyessä on kunnan ryhdyttävä ympäristönsuojelulain mukaisiin toimiin ja laadittava ilmansuojelusuunnitelma ilmanlaadun parantamiseksi ja raja-arvon ylitysten estämiseksi. Tällaisia toimia voivat olla esimerkiksi määräykset liikenteen tai päästöjen rajoittamisesta. Ilmanlaadun raja-arvot on määritelty ilmanlaatuasetuksessa (*Vna 79/2017*, taulukko 3).

Taulukko 2. Ilmanlaadun ohjearvot terveyshaittojen ehkäisemiseksi (*Vnp 480/1996*).

Ilman epäpuhtaus	Ohjearvo $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Tilastollinen määrittely
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 3. Ilmanlaadun raja-arvot terveyshaittojen ehkäisemiseksi (*Vna 79/2017*).

Ilman epäpuhtaus	Keskiarvon las- kenta-aika	Raja-arvo $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (293 K, 101,3 kPa)	Sallittujen ylitysten määrä kalenterivuodessa
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.

Rikkidioksidipitoisuuksien kriittisen tason ylittyessä pitoisuudet saattavat aiheuttaa haitallisia vaikutuksia kasvillisuudelle tai ekosysteemeille. Kriittisiä tasoja (taulukko 4) sovelletaan rakennetun ympäristön ulkopuolella olevilla laajoilla maa- ja metsätalousalueilla sekä luonnonsuojelun kannalta merkityksellisillä alueilla.

Taulukko 4. Ulkoilman rikkidioksidin pitoisuuksia koskeva ilmanlaadun kriittinen taso (Vna 79/2017)

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

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

5.5 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.

Ylemmän ja alemman arviointikynnyksen ylittyminen määritetään viiden edellisen vuoden pitoisuuksien perusteella. Arviointikynnyksen katsotaan ylittyneen, kun se on ylittynyt vähintään kolmena vuotena viidestä. Taulukossa 5 on esitetty rikkidioksidin pitoisuuksille määritetyt ylempät ja alemmat arviointikynnykset sekä niiden osuus raja-arvopitoisuuksista.

Taulukko 5. Ilmanlaadun seurannan suunnittelussa käytettävät ilmanlaadun ylempät ja alemmat arviointikynnykset rikkidioksidille (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 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Rikkidioksidi (SO_2)	kalenterivuosi	28 (70 %)	20 (50 %)
	1 tunti	75 (60 %)	50 (40 %)

VIITELUETTELO

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, 2023. Ympäristönsuojelun tietojärjestelmän ilmanlaatuosa, tarkistetut mittaus-tulokset. <https://ilmatieteenlaitos.fi/havaintojen-lataus#!/>

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



ILMATIETEEN LAITOS

ILMATIETEEN LAITOS

puh. 029 539 1000

Ilmanlaatu ja energia

ilmanlaatupalvelut@fmi.fi

www.ilmatieteenlaitos.fi/ilmanlaatupalvelut

WWW.ILMATIETEENLAITOS.FI

