

Kakovost zraka v Sloveniji v letu 2023

Kakovost zraka v Sloveniji

ISSN 1855-0827

Ljubljana, 2024

Izdajatelj: Ministrstvo za okolje, podnebje in energijo, Agencija Republike Slovenije za okolje, Ljubljana, Vojkova 1b

Odgovarja:

mag. Joško Knez, generalni direktor

Avtorji: Damijan Bec, Don Ciglencečki, Luka Matavž, Luka Ravnik, Marijana Murovec, Marko Rus, dr. Martina Logar, Mateja Gjerek, Maša Osojnik, Petra Dolšak Lavrič, Primož Dolenc, Tanja Koleča.

Podatke so posredovali:

Kemijsko analitski laboratorij ARSO

Elektroinštitut Milan Vidmar: EIS TEŠ, EIS TEB, MO Ljubljana, TE-TO Ljubljana, MO Celje, Občina Medvode

Nacionalni laboratorij za zdravje, okolje in hrano Maribor: MO Maribor, MO Ptuj, Občina Ruše

Alpacem cement

Deskriptorji: Slovenija, kakovost zraka, kakovost padavin, onesnaževala, izpusti, delci, ozon, žveplov dioksid, dušikovi oksidi, ogljikov monoksid, benzen, Hg, črni ogljik

Descriptors: Slovenia, air quality, precipitations quality, pollutants, emissions, particulate matter, ozone, nitrogen dioxide, sulphur dioxide, carbon monoxide, benzene, Hg, black carbon

©2024, Agencija Republike Slovenije za okolje

Razmnoževanje publikacije ali njenih delov ni dovoljeno. Objava besedila in podatkov v celoti ali deloma je dovoljena le z navedbo vira.

Kakovost zraka v Sloveniji v letu 2023

AGENCIJA REPUBLIKE SLOVENIJE ZA OKOLJE
Ljubljana, 2024

Povzetek

Onesnaženost zraka z delci PM₁₀ v letu 2023 ostaja na podobni ravni kot v preteklih letih. Ravni delcev PM₁₀ na nobenem merilnem mestu niso presegle dovoljenega števila preseganj (35) dnevne mejne vrednosti za delce PM₁₀ (50 µg/m³). Največje število preseganj, 33, je bilo zabeleženih na prometnem merilnem mestu Murska Sobota Cankarjeva. Letna mejna vrednost za delce PM₁₀, ki znaša 40 µg/m³ v letu 2023 ni bila presežena na nobenem merilnem mestu. Najvišja povprečna letna vrednost, 27 µg/m³, je bila zabeležena na prometnem merilnem mestu Ljubljana Center, kjer se ostalim izpustom pridružijo še sveži izpusti iz prometa. Kljub temu, da so bile ravni delcev PM₁₀ nižje od predpisanih, pa občasno, predvsem ob neugodnih vremenskih razmerah, še vedno izmerimo visoke ravni delcev. Večina preseganj v letu 2023 je bila zabeležena v februarju in decembru, ko so bili pogosti temperaturni obrati, ki onemogočajo razredčevanje izpustov iz malih kurilnih naprav in prometa, ki sta največja vira delcev PM₁₀. V letu 2023 so potekale enoletne meritve kakovosti zraka v Občini Ilirska Bistrica. Meritve so potekale na dveh merilnih mestih. V Rečici pri Ilirski Bistrici so potekale meritve delcev PM₁₀ in PM_{2,5} z avtomatskim merilnikom. Merilno mesto je bilo postavljeno v bližini tovarne Lesonit. Na drugem merilnem mestu v centru Ilirske Bistrice, ob Gregorčičevi cesti, pa meritve delcev PM₁₀ in kemijska analiza le teh. Izmerjene ravni delcev so bile na obeh merilnih mestih med nižjimi v DMKZ. Letna mejna vrednost 20 µg/m³ za PM_{2,5} v letu 2023 ni bila presežena na nobenem merilnem mestu. Najvišja povprečna letna vrednost PM_{2,5} je bila v letu 2023 izmerjena na prometnem merilnem mestu v Murski Soboti ob Cankarjevi cesti in je znašala 19 µg/m³. Kazalnik povprečne izpostavljenosti KPI za PM_{2,5} za Slovenijo je leta 2023 znašal 14 µg/m³. Obveznost glede stopnje izpostavljenosti za leto 2022 znaša 20 µg/m³. V letu 2023 so ravni **benzo(a)pirena** na vseh merilnih mestih podobne kot v prejšnjih letih in povprečne letne vrednosti se na urbanih merilnih mestih gibljejo okoli ciljne vrednosti 1 ng/m³. Letni poteki ravni benzo(a)pirena kažejo, da so najvišje ravni izmerjene v kurilni sezoni. Nižje od predpisane mejne oziroma ciljne vrednosti so bile v letu 2023 povprečne letne ravni arzena, niklja, kadmija in svinca v Ljubljani, Mariboru, Novi Gorici, Celju, Žerjavu in na Iskrbi. Letne ravni **ozona** so bile v letu 2023 na večini merilnih mest približno na istem nivoju kot v letu 2022. Se pa posamezna leta med seboj razlikujejo v preseganju urnih in 8 urnih vrednosti, ki so primerna za oceno vpliva na zdravje in vrednosti AOT40, ki določa oceno vpliva na vegetacijo. Opozorilna urna vrednost 180 µg/m³ je bila v letu 2023 presežena na merilnih mestih na Primorskem, v Kopru 16 krat, Novi Gorici Grčni 4 krat ter na Otlici 11 krat in 5 krat na merilnem mestu Zadobrova. Večina preseganj je bila zabeležena ob prvem vročinskem valu konec junija 2023, ko je nad naše kraje dotekal suh in vroč afriški zrak. Glede na vremensko situacijo bi takrat pričakovali še višje ravni ozona, vendar prašni delci znižajo ravni ozona. Preseganja urnih vrednosti so bila zabeležena še julija in

septembra. Avgusta, ki je je bil v znamenju obsežnih poplav, preseganj takrat ni bilo. Septembra je bilo zabeleženo preseganje opozorilne vrednosti na Otlici, kar se je od leta 2001 zgodilo le dvakrat. Analiza takratne situacije je povzeta v nadaljevanju poročila. Alarmna vrednost za ozon tudi v letu 2023 ni bila presežena. Je pa bila na vseh merilnih mestih presežena dolgoročna ciljna vrednost. Ciljna vrednost za varovanje zdravja, ki je določena kot povprečje treh let in je lahko presežena manj kot 25 krat, je bila v merilni mreži DMKZ presežena v Kopru, NG Grčni, na Otlici in Krvavcu ter v Ljubljani. Še vedno je na vseh merilnih mestih v mestih v neizpostavljenem podolželskem okolju presežena dolgoročna ciljna vrednost za varovanje rastlin (AOT40). Ciljna vrednost za oceno vpliva na vegetacijo AOT40, v povprečju petih let, je bila na merilnih mestih DMKZ, ki so primerna za ocenjevanje skladnosti, nižja od predpisane vrednosti na Iskrbi in v Murski Soboti Rakičan, presežena pa je bila v Kopru. Mejne in kritične vrednosti za **NO₂ oziroma NO_x** v letu 2023 niso bile presežne na nobenem merilnem mestu. Že dolgo pa v Sloveniji ni bila presežena alarmna vrednost. Najvišja letna raven NO₂ je bila zabeležena na prometno zelo obremenjenem merilnem mestu LJ Center ($38 \mu\text{g}/\text{m}^3$) in je le nekoliko nižja od mejne letne vrednosti $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Najvišje urne ravni so bile na vseh merilnih mestih pod mejno urno vrednostjo $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Najvišje vrednosti so izmerjene na prometno bolj obremenjenih lokacijah. Dnevni hodi kažejo, da je na vseh merilnih mestih zaznano povišanje ravni dušikovih oksidov ob jutranji in večerni prometni konici. Urne, dnevne in letne ravni **žveplovega dioksida** so na vseh merilnih mestih v Sloveniji že več let pod mejnimi vrednostmi za varovanje zdravja in kritičnimi vrednostmi za varovanje rastlin. Zaradi nizkih ravni meritve žveplovega dioksida niso potrebne in lahko za ocenjevanje skladnosti uporabimo rezultate modelske ocene. Višje ravni SO₂ občasno izmerimo le okrog TEŠ, kjer je bilo v letu 2023 na merilnem mestu Škale zabeleženo eno preseganje urne mejne vrednosti. Do preseganja je prišlo zaradi zagona bloka 5 v TEŠ. V letu 2023 smo imeli celoletne meritve **CO** le na merilnem mestu Ljubljana Bežigrad in z meritvami smo potrdili da so izmerjene vrednosti zelo nizke. Ravni ogljikovega monoksida so pod mejno vrednostjo za varovanje zdravja in tudi pod spodnjim ocenjevalnim pragom. Zakonodaja določa, da lahko ravni v takem primeru ocenimo z indikativnimi meritvami, subjektivno oceno ali z modelskimi rezultati. Rezultati modelskega izračuna najvišjih 8-urnih vrednosti CO za leto 2023 so prikazani v tem poročilu. V letu 2023 so bile izmerjene povprečne letne ravni **benzena** na vseh merilnih mestih približno enake in tako kot že vsa leta poprej pod mejno vrednostjo. Se je pa v letu 2023 vzpostavilo novo merilno mesto benzena na lokaciji Iskrba, kjer je bila povprečna letna vrednost precej nizka ($0,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$) in izkazuje meritve na neobremenjenem območju. Povprečna letna **koncentracija Hg v zraku** izmerjena v Sloveniji v letu 2023 je znašala $1,2 \text{ ng}/\text{m}^3$, kar je enako kot leto poprej. To nas je glede na lestvico EMEP uvršča med s Hg v zraku manj onesnažena področja v Evropi. Povprečna letna **pH vrednost padavin** se je na merilnih mestih v Sloveniji gibala med 5,40 in 5,82. Daleč najvišjo povprečno letno vrednost pH (kar pomeni najmanjšo kislost) smo zabeležili na merilnem mestu Rateče in je že tretje leto zapored preseгла mejo kislosti, ki znaša 5,6. Glede na lestvico EMEP, so bile padavine v Sloveniji med naj manj kislimi v Evropi. Podobno kot v preteklih letih nas povprečne letne koncentracije amonijevih, sulfatnih in nitratnih ionov v padavinah v letu 2023 na vseh merilnih mestih v Sloveniji skladno z EMEP lestvicami uvrščajo med področja z nižjimi do srednje visokimi koncentracijami posameznega iona. Na edinem merilnem mestu, kjer izvajamo meritve kovin, PAH in Hg v padavinah Iskrba, so bile v letu 2023 povprečne letne koncentracije za težke kovine arzen, krom, nikelj, svinec, kadmij, baker in cink srednje do nizke glede

na EMEP lestvico.

Summary

Air pollution with PM₁₀ particles in 2023 remains at a similar level as in previous years. The levels of PM₁₀ particles at no monitoring site exceeded the allowed number of exceedances (35) of the daily limit value for PM₁₀ particles (50, $\mu\text{g}/\text{m}^3$). The highest number of exceedances, 33, was recorded at the traffic monitoring site Murska Sobota Cankarjeva. The annual limit value for PM₁₀ particles, which is 40, $\mu\text{g}/\text{m}^3$, was not exceeded at any monitoring site in 2023. The highest average annual value, 27, $\mu\text{g}/\text{m}^3$, was recorded at the traffic monitoring site Ljubljana Center, where emissions from traffic contribute to other emissions. Although the levels of PM₁₀ particles were below the prescribed values, occasionally, especially under unfavourable weather conditions, high levels of particles are still measured. Most exceedances in 2023 were recorded in February and December, when frequent temperature inversions prevented the dispersion of emissions from small combustion plants and traffic, the largest sources of PM₁₀ particles. In 2023, one-year air quality measurements were carried out in the Municipality of Ilirska Bistrica. Measurements were conducted at two monitoring sites. In Rečica near Ilirska Bistrica, PM₁₀ and PM_{2.5} particles were measured with an automatic meter. The monitoring site was located near the Lesonit factory. At the second monitoring site in the centre of Ilirska Bistrica, near Gregorčičeva Street, PM₁₀ particle measurements and their chemical analysis were performed. Measured particle levels were among the lowest in the DMKZ at both monitoring sites. The annual limit value of 20, $\mu\text{g}/\text{m}^3$ for PM_{2.5} in 2023 was not exceeded at any monitoring site. The highest average annual value of PM_{2.5} in 2023 was recorded at the traffic monitoring site in Murska Sobota near Cankarjeva Street and amounted to 19, $\mu\text{g}/\text{m}^3$. The KPI average exposure indicator for PM_{2.5} for Slovenia in 2023 was 14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. The exposure level commitment for 2022 is 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. In 2023, the levels of **benzo(a)pyrene** at all monitoring sites were similar to previous years, and average annual values at urban monitoring sites hover around the target value of 1 ng/m^3 . Annual trends of benzo(a)pyrene levels show that the highest levels are measured during the heating season. In 2023, the average annual levels of arsenic, nickel, cadmium, and lead in Ljubljana, Maribor, Nova Gorica, Celje, Žerjav, and Iskrba were below the prescribed limit or target value. Annual levels of **ozone** in 2023 were at approximately the same level at most monitoring sites as in 2022. However, individual years differ in terms of hourly and 8-hour values suitable for assessing health impacts and AOT40 values used to assess vegetation impacts. The hourly information threshold value of 180, $\mu\text{g}/\text{m}^3$ was exceeded in 2023 at monitoring sites in Primorska: 16 times in Koper, 4 times in Nova Gorica Grčna, 11 times in Otlica, and 5 times at the Zadobrova monitoring site. Most exceedances were recorded during the first heat wave at the end of June 2023, when dry and hot African air reached our area. Based on the weather conditions, even higher ozone levels were expected at the time, but dust

particles reduced ozone levels. Hourly exceedances were also recorded in July and September. In August, marked by extensive floods, no exceedances were recorded. In September, an exceedance of the information threshold value was recorded in Otlica, which has only occurred twice since 2001. An analysis of the situation is summarized in the following report. The alarm threshold value for ozone was not exceeded in 2023. However, the long-term target value was exceeded at all monitoring sites. The target value for health protection, determined as a three-year average and which may be exceeded fewer than 25 times, was exceeded in the DMKZ monitoring network in Koper, NG Grčna, Otlica, Krvavec, and Ljubljana. The long-term target value for plant protection (AOT40) is still exceeded at all monitoring sites in cities and rural areas not exposed to emissions. The target value for assessing the impact on vegetation AOT40, as a five-year average, was below the prescribed value at Iskrba and Murska Sobota Rakičan in the DMKZ monitoring sites suitable for compliance assessment but was exceeded in Koper. Limit and critical values for **NO₂ and NO_x** in 2023 were not exceeded at any monitoring site. The alarm value has not been exceeded in Slovenia for a long time. The highest annual level of NO₂ was recorded at the heavily traffic-loaded monitoring site LJ Center (38, μg/m³) and is only slightly below the limit annual value of 40, μg/m³. The highest hourly levels were below the limit hourly value of 200, μg/m³ at all monitoring sites, but the highest values were measured at traffic-heavy locations. Daily patterns show that at all monitoring sites, nitrogen oxide levels rise during morning and evening traffic peaks. Hourly, daily, and annual levels of **sulfur dioxide** have been below limit values for health protection and critical values for plant protection at all monitoring sites in Slovenia for many years. Due to such low levels, SO₂ measurements are unnecessary, and model evaluation results can be used for compliance assessment. Higher SO₂ levels are occasionally measured only near TEŠ, where one exceedance of the hourly limit value was recorded at the Škale monitoring site in 2023. The exceedance occurred due to the start-up of block 5 at TEŠ. In 2023, year-round measurements of **CO** were conducted only at the Ljubljana Bežigrad monitoring site. The measurements confirmed that the recorded values are very low. Carbon monoxide levels are below the limit value for health protection and also below the lower assessment threshold. Legislation stipulates that in such cases, levels can be assessed with indicative measurements, subjective assessment, or model results. The results of the model calculation of the highest 8-hour CO values for 2023 are presented in this report. In 2023, the average annual levels of **benzene** at all monitoring sites were approximately the same and, as in previous years, below the limit value. However, a new benzene monitoring site was established in Iskrba in 2023, where the average annual value was quite low (0.2 μg/m³), indicating measurements in an unpolluted area. The average annual **concentration of Hg in the air** measured in Slovenia in 2023 was 1.2 ng/m³, the same as the previous year. According to the EMEP scale, this ranks Slovenia among the areas in Europe less polluted by Hg in the air. The average annual **pH value of precipitation** at monitoring sites in Slovenia ranged from 5.40 to 5.82. By far the highest average annual pH value (indicating the lowest acidity) was recorded at the Rateče monitoring site, exceeding the acidity limit of 5.6 for the third consecutive year. According to the EMEP scale, precipitation in Slovenia was among the least acidic in Europe. Similar to previous years, the average annual concentrations of ammonium, sulfate, and nitrate ions in precipitation in 2023 at all monitoring sites in Slovenia place the country, according to the EMEP scale, among areas with low to medium-high concentrations of individual ions.

At the only monitoring site where we measure metals, PAHs, and Hg in precipitation, Iskrba, the average annual concentrations of heavy metals arsenic, chromium, nickel, lead, cadmium, copper, and zinc in 2023 were medium to low according to the EMEP scale.

Tabela A: Tabela prikazuje povprečne letne ravni onesnaževal zraka (C_p), število preseganj mejnih (>MV) oziroma ciljnih (>CV) in opozorilnih vrednosti (>OV) v letu 2023. Prikazana je maksimalna povprečna 8-urna vrednost (C_{max}) za ogljikov monoksid.

Rdeča barva predstavlja presežene mejne ali ciljne vrednosti. Ravni PM_{10} , $PM_{2,5}$, ozona, NO_2 , NO_x , SO_2 in benzena so podane v enotah $\mu g/m^3$, CO v mg/m^3 , ravni benzo(a)pirena, arzena, kadmija, niklja in svineca pa v ng/m^3 .

	PM_{10}		$PM_{2,5}$		ozon			NO_2		SO_2				CO	benzen	B(a)P	As	Cd	Ni	Pb
	letno	24 ur	letno	1 ura	8 ur	letno	1 ura	letno	zima	1 ura	24 ur	8 ur	letno	letno	letno	letno	letno	letno	letno	
	C_p	>MV	C_p	C_p	>OV	>CV	C_p	>MV	C_p	C_p	>MV	>MV	C_{max}	C_p	C_p	C_p	C_p	C_p	C_p	
DMKZ																				
CE bolnica	21	12	14	44	0	11	20	0	2	3	0	0			1,3	0,32	0,26	0,99	5,2	
CE Ljubljanska	20	8	16																	
Hrastnik	17	1	13																	
IB Gregorčičeva	21	6													1,2	0,22	0,10	0,76	2,8	
Iskrba	10	0	7	52	0	10	1	0	1	1	0	0		0,2	0,11	0,19	0,05	0,79	1,3	
Koper	17	12	13	72	16	57	14	0												
Kranj	19	6	16																	
Krvavec				92	0	50														
LJ Bežigrad	20	14	13	46	0	20	21	0				1,7	1,0	0,87	0,26	0,15	1,9	4,0		
LJ Celovška	21	16	16				28	0												
LJ Vič	19	10	15												0,95	0,24	0,16	0,71	4,3	
MB Titova	20	1	12				23	0						0,95	0,55	0,40	0,12	1,5	5,1	
MB Vrbanski	14	0	10	51	0	9	7	0												
MS Cankarjeva	26	33	19																	
MS Rakičan	19	6	15	48	0	12	10	0												
NG Grčna	19	13	12	51	4	37	21	0							0,84					
NG Vojkova	22	15																		
Novo mesto	17	0	17	45	0	5	10	0												
Otlica				87	11	54														
Ptuj	20	8	14																	
Trbovlje	17	7	15																	
Velenje	14	0																		
Zagorje	19	5	16	41	0	7	17	0	2	2	0	0								
Žerjav	22	8														1,6	2,2	1,5	270	
Dopolnilna merilna mreža																				
TEŠ																				
Mobilna TEŠ	13	0	10	46	0	8	11	0	5	4	0	0								
Pesje	14	0	10						7	5	0	0								
Škale	11	0	9				6	0	4	4	1	0								
Šoštanj	15	0	9				9	0	3	3	0	0								
Zavodnje				76	0	18	4	0	4	4	0	0								
Velenje				49	0	11			5	5	0	0								
Topolšica									4	3	0	0								
Veliki vrh									5	4	0	0								
Graška gora									4	4	0	0								
OMS MO Ljubljana																				
LJ Center	27	22	18				38	0	3	2	0	0		1,4						
TE TOL																				
Zadobrova	25	9		44	5	13	16	0	4	3	0	0								
Občina Medvode																				
Medvode	19	4												1,3						
MO Celje																				
CE Gaji							16	0	3	3	0	0								
EIS TEB																				
Sv. Mohor				67	0	8	4	0	3	3	0	0								
MO Maribor																				
MB Tezno	19	4		45	0	4	16	0												
Pohorje				75	0	3														
Pobrežje	19	0																		
Radvanje	15	0																		
EIS Anhovo																				
Morsko	14	6																		
Gorenje Polje	16	11																		
MO Ptuj																				
Spuhlja	23	19																		
Občina Ruše																				
Ruše	15	0																		

* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.

Kazalo

1	Uvod	1
2	Ocenjevanje kakovosti zunanjega zraka	4
2.1	Meritve na stalnih merilnih mestih	6
2.2	Ocena kakovosti zraka z modeliranjem in s tehniko združevanja podatkov	10
3	Daljinsko zaznavanje ozračja	12
3.1	Inštrumenti za daljinsko zaznavo ozračja s tal	12
3.2	Uporaba rezultatov meritev na področju kakovosti zraka	16
3.3	Analiza epizode čezmerne onesnaženosti zunanjega zraka	16
4	Delci PM₁₀ in PM_{2,5}	24
4.1	Izpusti delcev	25
4.2	Zahteve za kakovost zraka	28
4.3	Ravni onesnaženosti	29
4.4	Epizode čezmerne onesnaženosti	39
4.5	Kemijska in elementna sestava delcev	43
5	Onesnaževala v delcih - benzo(a)piren in kovine	44
5.1	Benzo(a)piren	44
5.2	Kovine	47
6	Ozon	59
6.1	Zahteve za kakovost zraka	59
6.2	Ravni onesnaženosti	60
6.3	Epizode čezmerne onesnaženosti	71
7	Dušikovi oksidi	73
7.1	Izpusti	73
7.2	Zahteve za kakovost zraka	75
7.3	Ravni onesnaženosti	75
8	Žveplov dioksid	83

8.1	Izpusti	83
8.2	Zahteve za kakovost zraka	85
8.3	Ravni onesnaženosti	85
9	Ogljikov monoksid	96
9.1	Izpusti	96
9.2	Zahteve za kakovost zraka	97
9.3	Ravni onesnaženosti	98
10	Benzen	100
10.1	Izpusti	100
10.2	Zahteve za kakovost zraka	102
10.3	Ravni onesnaženosti	102
11	Živo srebro v zraku	106
11.1	Izpusti	106
11.2	Ravni onesnaženosti	108
12	Kakovost padavin	110
12.1	Raven vrednosti pH, električne prevodnosti in onesnaženosti padavin z nekaterimi anorganskimi ioni	111
12.2	Onesnaženost padavin s težkimi kovinami	121
12.3	Raven onesnaženosti padavin z živim srebrom	125
12.4	Raven onesnaženosti padavin s policikličnimi aromatskimi ogljikovodiki	127
13	Črni ogljik	130
13.1	Zahteve za kakovost zraka	131
13.2	Ravni onesnaženosti	131
14	Literatura	136

1. Uvod

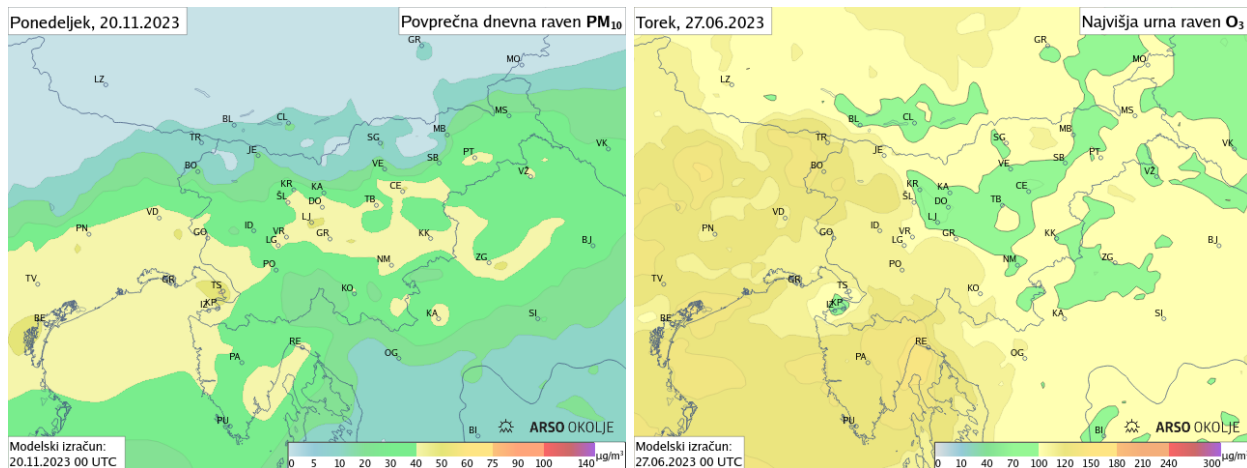
Onesnažen zrak je poleg podnebnih sprememb najbolj pomemben dejavnik tveganja za zdravje in okolje. Čist zrak je osnovna človekova pravica in je poglavitna za zdravo in produktivno družbo. V Evropi predstavlja onesnaženost zraka za zdravje največje okoljsko tveganje, saj povzroča bolezni srca in ožilja ter dihal, zmanjšuje kakovost življenja in povzroča smrti, ki bi jih bilo mogoče preprečiti [1].

Dolgoročni cilj EU je doseči ravni kakovosti zraka, ki ne povzročajo vplivov na okolje in tveganj za zdravje ljudi. Za zmanjšanje izpostavljenosti onesnaženosti zraka deluje EU na več ravneh : z zakonodajo; sodelovanje s sektorji, odgovornimi za onesnaževanje zraka, ter mednarodnimi, nacionalnimi in regionalnimi organi ter nevladnimi organizacijami. Cilj politik EU je zmanjšati izpostavljenost onesnaženemu zraku z zmanjšanjem izpustov. Ena od nalog pa je tudi določitev mejnih in ciljnih vrednosti za kakovost zraka. Za kakovost zraka pa ni nujno, da se le-ta izboljšuje v skladu s splošnim zmanjšanjem antropogenih izpustov onesnaževal zraka. Razlogi za to so med drugim tudi v tem, da razmerje med zmanjšanjem izpustov in zmanjšanjem ravni onesnaževal zraka ni vedno linearno, kar je v večini primerov posledica prispevka prenosa onesnaževal zraka na dolge razdalje, tudi iz drugih držav. [1]

V Sloveniji je zaradi specifičnih meteoroloških in geografskih pogojev onesnaženost zraka posebej pereč problem. V večjem delu države prevladujejo razmere, ki otežujejo razprševanje onesnaževal, kar pomeni, da že manjši izpusti lahko povzročijo visoke ravni škodljivih snovi v zraku. Pozimi so glavni vzroki onesnaženja izpusti iz neučinkovitih kurilnih naprav, nepravilno kurjenje in uporaba neustreznih goriv, poleg tega pa tudi intenziven tranzitni in lokalni promet. Poleti pa na Primorskem zrak obremenjuje prizemni ozon, katerega nastanek ni povsem odvisen od nas, saj ga deloma spodbuja tudi prenos onesnaženega zraka iz Padske nižine.

V tem poročilu je predstavljeno stanje reguliranih onesnaževal v zunanjem zraku v letu 2023 v Sloveniji glede na veljavne standarde EU za kakovost zraka. V posebnem poglavju so prikazani rezultati spremljanja kakovosti padavin, s katerimi se onesnaževala izpirajo iz zraka in vnašajo v vode in tla. Na več mestih smo za pomoč pri razlagi epizod onesnaženja dodali rezultate modelskih izračunov. Pri posameznih onesnaževalih navajamo podatke o izpustih iz državnih evidenc, ki se vodijo na ARSO [2]. V poročilu je letos dodano tudi poglavje o daljinskem zaznavanju ozračja.

Na Agenciji RS za okolje (ARSO) spremljamo kakovost zraka v Sloveniji že več desetletij. Skladno s Pravilnikom o ocenjevanju kakovosti zunanjega zraka [3] zagotavljamo v okviru državne merilne mreže na stalnih merilnih mestih zanesljive in kakovostne **meritve** delcev PM₁₀ in PM_{2,5}, ozona (O₃), žveplovega dioksida (SO₂), ogljikovega monoksida (CO), dušikovega dioksida (NO₂), dušikovih



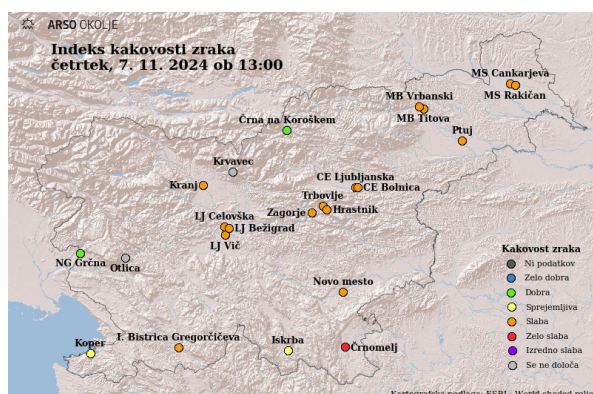
Slika 1.1: Primer javnosti dostopne modelske napovedi dnevnega povprečja delcev PM_{10} (levo) in najvišje urne vrednosti ozona (desno).

oksidov (NO_x), svineca (Pb), benzena (C_6H_6), arzena (As), kadmija (Cd), niklja (Ni) in benzo(a)pirena (B(a)P). Pričenjamo tudi z izvajanjem meritev črnega ogljika in številčne koncentracije delcev. V primeru, da zaradi različnih razlogov, kot so pritožbe prebivalcev, vpliv industrijskih obratov ali izredni dogodki, strokovno prepoznamo potrebo po dodatnih meritvah kakovosti zraka, izvedemo celovito merilno kampanjo na taki lokaciji. To vključuje načrtovanje in izvedbo meritev, ki so usmerjene v zbiranje podatkov za oceno stanja. V letu 2023 smo tako izvedli meritve koncentracije delcev na dveh merilnih mestih v Občini Ilirska Bistrica, kar je omogočilo pridobitev podatkov za oceno vplivov na kakovost zraka v tem območju.

Z namenom sodelovanja pri ugotavljanju regionalnega in kontinentalnega prenosa onesnaženja smo z meritvami udeleženi tudi v programu EMEP, ki deluje v okviru Konvencije o onesnaževanju zraka na velike razdalje preko meja [4], in programu Svetovne meteorološke organizacije o Opazovanju atmosfere zemlje (WMO-GAW).

Kot dopolnitev meritev pri ocenjevanju kakovosti zraka, analizah vzrokov čezmerne onesnaženosti in za potrebe napovedovanja ravni onesnaževal na ARSO uporabljamo **numerične modele**. V regionalni skali imamo vzpostavljen disperzijsko-fotokemijski model CAMx, sklopljen z meteorološkim modelom ALADIN, katerega napovedi ozona in delcev PM_{10} so dnevno dostopne tudi javnosti na naših spletnih straneh (slika 1.1). Prostorsko podrobne ocene onesnaženosti zraka (karte onesnaženja) pripravljamo s pomočjo postopkov združevanja modelskih rezultatov in meritev posameznih onesnaževalih (angl. data-fusion). Za modeliranje disperzije onesnaževal v lokalni skali uporabljamo modelsko orodje GRAMM/GRAL.

Javnosti posredujemo informacije o kakovosti zraka s sprotno **objavo podatkov** avtomatskih merilnih postaj na spletnih straneh ARSO in na teletekstu nacionalne televizije. Mesečno pregledane podatke meritev objavimo v mesečnem biltenu Naše okolje. Rezultati meritev, objavljeni v letnem poročilu so dodatno preverjeni na več stopnjah kontrole in imajo status dokončnih podatkov. Na spletnih straneh ARSO objavljamo tudi druga poročila o dodatnih meritvah, študijah in modeliranju kakovosti zraka. V primeru prekomerne onesnaženosti zraka z delci PM_{10} ali ozona z izdajo obvestil oziroma opozoril prebivalcem omogočimo, da lahko zmanjšajo svojo izpostavljenost onesnaženemu zraku. Ob epizodah povišane onesnaženosti z delci PM_{10} želimo prebivalce tudi nagovoriti, da s



Slika 1.2: Primer objave indeksa kakovosti zunanjega zraka.

svojim ravnanjem pripomorejo k nižjim izpustom onesnaževal. V ta namen dnevno izdajamo **napoved** kakovosti zraka: napoved ravni delcev PM_{10} in napoved ravni ozona. Prikazujemo tudi trenutno stopnjo onesnaženosti zraka z **indeksom** kakovosti zunanjega zraka, ki hkrati upošteva ravni več onesnaževal, in sicer delcev PM_{10} , $PM_{2,5}$, NO_2 , SO_2 in O_3 (slika 1.2).

Ocene kakovosti zraka skupaj z opisom načina ocenjevanja letno **poročamo** Evropski okoljski agenciji (EEA). Poročani podatki so osnova za ugotavljanje skladnosti z mejnimi in ciljnimi vrednostmi ravni onesnaževal v zraku in predstavljajo podlago za določanje ukrepov, pregled njihovih učinkov in politiko za zmanjševanja čezmerne onesnaženosti. Na podlagi poročenih podatkov EEA na spletnih straneh prikazuje različne statistike in podatke o onesnaženosti zraka za evropske države, tudi za Slovenijo (<https://www.eea.europa.eu/themes/air>).

2. Ocenjevanje kakovosti zunanjega zraka

V skladu z Uredbo o kakovosti zunanjega zraka [5] in Pravilnikom o ocenjevanju kakovosti zunanjega zraka [3] lahko ocenjevanje kakovosti zunanjega zraka opravljamo s pomočjo rezultatov meritev na stalnih merilnih mestih, z indikativnimi meritvami, modeliranjem kakovosti zraka ter z objektivnimi ocenami. Za meritve na stalnih merilnih mestih zakonodaja predpisuje strožje zahteve za kakovost in razpoložljivost rezultatov meritev kot za indikativne meritve, ki jih je mogoče opravljati s preprostejšimi metodami in/ali z manjšo časovno pokritostjo.

Slovenija je po Uredbi o kakovosti zunanjega zraka za ocenjevanje kakovosti zunanjega zraka razdeljena na dve aglomeraciji, Ljubljano in Maribor, in dve območji, ki sta različni za težke kovine in za druga onesnaževala (tabeli 2.1 in 2.2). Za ocenjevanje kakovosti zunanjega zraka glede na ravni SO₂, NO₂, CO, O₃, C₆H₆, PM₁₀, PM_{2,5} in BaP je Slovenija razdeljena na celinski (SIC) ter primorski (SIP) del. Za težke kovine je zaradi svoje specifikacije iz območja celotne Slovenije (SITK) izvzeta Zgornja Mežiška dolina (SITK-ZMD).

Način ocenjevanja kakovosti zraka je odvisen od onesnaženosti posameznega območja oziroma aglomeracij. Če je onesnaženost višja, so meritve nujne in morajo biti kakovostnejše. Pravilnik o kakovosti zunanjega zraka določa za posamezno onesnaževalo spodnji in zgornji ocenjevalni prag. Število stalnih merilnih mest je natančno določeno za območja, kjer je presežen spodnji ocenjevalni prag posameznega onesnaževala. Kadar so ravni posameznega onesnaževala pod spodnjim ocenjevalnim pragom, zadostujeta za ocenjevanje kakovosti zraka objektivna ocena ali modeliranje. V primeru, ko so ravni nad spodnjim ocenjevalnim pragom, so v posameznem območju ali aglomeraciji obvezne meritve na stalnih merilnih mestih, lahko pa se dopolnijo s tehnikami modeliranja in/ali z indikativnimi meritvami. V nadaljevanju so predstavljene meritve na stalnih merilnih mestih, uporabljene za potrebe ocenjevanja kakovosti zunanjega zraka v letu 2023.

Tabela 2.1: Območja in aglomeracije v Republiki Sloveniji glede na žveplov dioksid, dušikov dioksid, dušikove okside, delce PM₁₀ in PM_{2,5}, benzen, ogljikov monoksid ter benzo(a)piren.

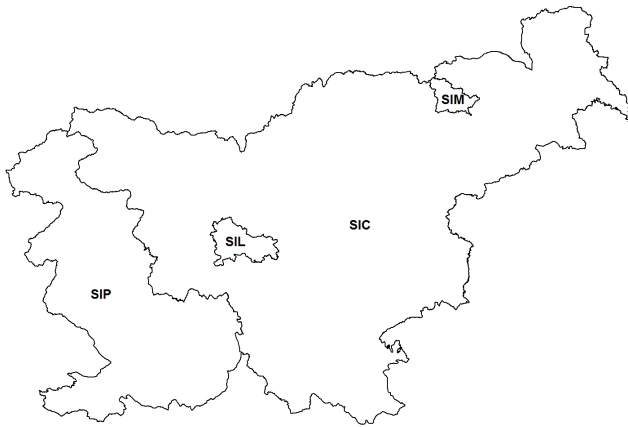

Oznaka območja	Ime območja	Karta območij in aglomeracij					
SIC	celinsko območje						
SIP	primorsko območje						
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Oznaka aglomeracije</th> <th>Ime aglomeracije</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>SIL</td> <td>Ljubljana</td> </tr> <tr> <td>SIM</td> <td>Maribor</td> </tr> </tbody> </table>			Oznaka aglomeracije	Ime aglomeracije	SIL	Ljubljana	SIM
Oznaka aglomeracije	Ime aglomeracije						
SIL	Ljubljana						
SIM	Maribor						

Tabela 2.2: Območja in aglomeracije v Republiki Sloveniji glede na svinec, arzen, kadmij in nikelj.

Oznaka območja	Ime območja	Karta območij in aglomeracij					
SITK	območje težke kovine						
SITK-ZMD	območje Zgornje Mežiške doline						
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Oznaka aglomeracije</th> <th>Ime aglomeracije</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>SIL</td> <td>Ljubljana</td> </tr> <tr> <td>SIM</td> <td>Maribor</td> </tr> </tbody> </table>			Oznaka aglomeracije	Ime aglomeracije	SIL	Ljubljana	SIM
Oznaka aglomeracije	Ime aglomeracije						
SIL	Ljubljana						
SIM	Maribor						

2.1 Meritve na stalnih merilnih mestih

S sistematičnimi meritvami ravni onesnaževal na stalnih merilnih mestih smo v Sloveniji začeli v sredini sedemdesetih let prejšnjega stoletja. Avtomatske merilnike onesnaženosti zraka smo pričeli uvajati v okviru državne mreže ANAS (analitično-nadzorni alarmni sistem) v začetku osemdesetih let, okrog leta 2000 smo merilno mrežo prenovili v okviru projekta Phare. Projekt Sinica, ki smo ga izvajali v letih 2016 do 2021, je vključeval ponovno prenovo državne merilne mreže za spremljanje kakovosti zunanjega zraka (DMKZ) in tudi prenovu informacijskega sistema. V začetnem obdobju delovanja DMKZ je bil poudarek na meritvah ravni žveplovega dioksida. Kasneje smo merilno mrežo postopoma širili in nadgradili še z meritvami drugih onesnaževal. DMKZ je v letu 2023 sestavljalo 24 merilnih mest.

Z meritvami v DMKZ zagotavljamo osnovne podatke o kakovosti zraka v Sloveniji. Poleg meritev v DMKZ se v okviru drugih merilnih mrež izvajajo meritve kakovosti zraka tudi v okolici nekaterih večjih energetskih in industrijskih objektov z namenom spremljanja vplivov le teh na kakovost zraka. Dodatne meritve zagotavljajo tudi nekatere lokalne skupnosti. V tem poročilu so tako poleg rezultatov meritev DMKZ navedeni tudi rezultati meritev merilnih mrež termoelektrarn (TEŠ, TEB in TE-TOL), cementarne Salonit Anhovo, mestnih občin Ljubljana, Maribor, Ptuj in Celje ter občin Ruše in Medvode.

Merilna mesta so klasificirana glede na mikrolokacijo (tabela 2.3), ki je določena v Pravilniku o ocenjevanju kakovosti zunanjega zraka [3]. Merilna mesta mestnega ozadja so reprezentativna za gosteje naseljene predele mest, v katerih živi večina prebivalstva. Z meritvami na prometnih merilnih mestih pridobimo podatke o kakovosti zraka ob prometnih cestah. Merilna mesta predmestnega ozadja podajajo razmere glede kakovosti zraka na obrobju mest ali večjih naselij, za katere je značilna manjša gostota prometa in poselitve. Merilno mesto Iskrba je vključeno v program EMEP, ki se v okviru Konvencije o onesnaževanju zraka na velike razdalje preko meja osredotoča predvsem na daljinski transport onesnaženosti ter na regionalne probleme zakisljevanja, evtrofikacije, fotokemijskega smoga ter na onesnažen zrak s težkimi kovinami, delci in obstojnimi organskimi onesnaževali. Merilno mesto Krvavec je del programov EMEP in WMO GAW in je pomembno predvsem za spremljanje transporta toplogrednih plinov in fotooksidantov. Na obeh merilnih mestih v neobremenjenem okolju se spremlja ozadje onesnaženega zraka. Podrobnejši opis merilnih mest, ki delujejo v okviru DMKZ, je na voljo na spletni strani ARSO v Atlasu okolja. Meritve kakovosti zraka na stalnem merilnem mestu morajo biti točne, natančne in zanesljive ter morajo hkrati izpolnjevati zahteve glede razpoložljivosti rezultatov meritev. Zahteva se uporaba standardiziranih referenčnih metod, ki jih navaja Direktiva o kakovosti zraka in jih povzema Pravilnik o ocenjevanju kakovosti zunanjega zraka. Druge metode se lahko uporabljajo le, če je bila s preizkusi dokazana njihova ekvivalentnost referenčni metodi.

Merilniki na osnovi referenčnih metod za O_3 , NO_x , SO_2 , CO in benzen zagotavljajo rezultate meritev v realnem času s časovno ločljivostjo ene ure ali manj. Referenčna, tako imenovana gravimetrična metoda za delce PM_{10} in $PM_{2,5}$ temelji na laboratorijskem tehtanju filtrov, skozi katere se je 24 ur prečrpaval zrak. Podatki referenčnih meritev delcev zagotavljajo dnevno povprečje in so na razpolago z večtedenskim zamikom. Enako velja tudi za določanje ravni težkih kovin in benzo(a)pirena, kjer se v laboratoriju analizira njihova vsebnost v delcih PM_{10} zbranih na filtrih.

Poleg referenčnih meritev delcev PM_{10} in $PM_{2,5}$ na večini merilnih mestih DMKZ izvajamo meritve delcev tudi z avtomatskimi merilniki. Avtomatska metoda je sicer manj točna, vendar so podatki na

voljo v realnem času. Podatke z avtomatskih merilnikov delcev v DMKZ uporabljamo predvsem za obveščanje javnosti in analizo obdobj s prekomerno onesnaženostjo.

Vsi podatki, izmerjeni z avtomatskimi merilniki, so vsako uro objavljeni na spletni strani Agencije. Z zamikom so na spletni strani objavljeni tudi rezultati vseh drugih meritev.

V tabeli 2.3 so navedeni geografski podatki in klasifikacija posameznih merilnih mest, kjer so leta 2023 potekale meritve kakovosti zunanjega zraka. Nabor merjenih onesnaževal in meteoroloških parametrov po merilnih mestih je prikazan v tabeli 2.4. V nadaljevanju poročila so poleg rezultatov meritev iz leta 2023 predstavljeni tudi podatki za merilna mesta, kjer meritve več ne potekajo. Podatki o teh merilnih mestih so zabeleženi v starejših letnih poročilih o Kakovosti zraka v Sloveniji.

Meritve kakovosti padavin v okviru državne merilne mreže kakovosti padavin (DMKP), ki jih izvaja ARSO, potekajo na petih po Sloveniji enakomerno razporejenih, merilnih mestih. V tabeli 2.5 so podana merilna mesta za meritve kakovosti padavin v letu 2023, ki delujejo v okviru DMKP. Nabor meritev za ugotavljanje kakovosti padavin na merilnih mestih DMKP je podan v tabeli 2.6. Štiri merilna mesta so v podeželskem okolju (Iskrba, Murska Sobota Rakičan, Rateče, Škocjan), v urbanem območju je le merilno mesto Ljubljana Bežigrad. Mreža kakovosti padavin se glede na prejšnja leta ni spremenila.

Tabela 2.3: Nadmorska višina (NV), koordinati (D96_E, D96_N), tip merilnega mesta, tip območja in značilnosti območja za stalna merilna mesta kakovosti zunanje zraka.

Merilno mesto	NV	D96_E	D96_N	Tip merilnega mesta	Tip območja	Značilnost območja
DMKZ						
CE bolnica	240	520244	121674	B	U	R
CE Ljubljanska	240	518991	121797	T	U	R
Hrastnik	290	506434	111574	B	U	IR
IB Gregorčičeva	407	440903	47769	T	U	RC
IB Rečica	407	439724	48078	I	S	RIA
Iskrba	540	488919	46809	B	R(REG)	N
Koper	56	399538	45594	B	U	R
Kranj	388	450817	122647	B	U	R
Krvavec	1740	464047	128731	B	R(REG)	N
LJ Bežigrad	299	462302	102976	B	U	RC
LJ Celovška	305	460326	103717	T	U	R
LJ Vič	293	460468	99869	B	U	R
MB Titova	270	549937	157898	T	U	RC
MB Vrbanški	280	547998	158937	B	U	R
MS Cankarjeva	189	588719	169337	T	U	RC
MS Rakičan	188	591184	168743	B	R(NC)	A
NG Grčna	113	395537	91521	B	U	RC
NG Vojkova	104	395551	91281	T	U	R
Novo mesto	214	513779	73566	B	U	R
Otlica	918	415600	89225	B	R(REG)	N
Ptuj	230	567368	143242	B	U	R
Trbovlje	250	504167	113083	B	U	RC
Zagorje	241	499700	110149	T	U	RCI
Žerjav	543	489979	149528	I	R	RA
Dopolnilna merilna mreža						
EIS TEŠ						
Graška gora	774	509536	141670	I	R(REG)	A
Pesje	391	506143	136292	B	S	IR
Škale	423	507395	138943	B	S	IR
Šoštanj	362	504134	137503	I	S	I
Topolšica	399	501607	140489	B	S	IR
Velenje	389	508613	135633	B	U	RCI
Veliki Vrh	555	503172	134612	I	R(REG)	A
Zavodnje	765	499874	143175	I	R(REG)	A
Mobilna TEŠ	359	503686	137205	I	S	IR
OMS MO Ljubljana						
LJ Center	300	461548	102067	T	U	RC
EIS TE-TOL						
Zadobrova	280	467780	103600	B	S	RA
MO Celje						
CE Gaji	240	522518	122614	B	U	IC
EIS TEB						
Sv. Mohor	390	536929	94420	B	R	A
MO Maribor						
MB Tezno	268	552171	154552	B	U	R
Pobrežje	261	551717	157255	B	U	R
Pohorje	725	544313	149418	B	R	A
Radvanje	302	546258	155397	B	U	R
EIS ANHOVO						
Gorenje Polje	120	393454	103463	B	R	AI
Morsko	130	394205	104433	B	R	AI
MO Ptuj						
Spuhlja	219	569813	141806	T	S	R
Občina Ruše						
Ruše	302	539501	155702	B	R	RC
Občina Medvode						
Medvode	346	454070	111898	B	S	RC

Tip merilnega mesta: B=ozadje (background), T=prometni (traffic), I=industrijski (industrial)
 Tip območja: U=mestni (urban), S=predmestni (suburban), R=podeželjski (rural), NC=primestni (near city)
 REG=regionalno (regional)
 Značilnosti območja: R=stanovanjsko (residential), C=poslovno (commercial), I=industrijsko (industrial),
 A=kmetijsko (agricultural), N=naravno (natural)

Tabela 2.4: Meritve onesnaževal in meteoroloških parametrov na stalnih merilnih mestih v letu 2023.

Merilno mesto	SO ₂	O ₃	NO ₂ , NO _x	PM ₁₀	PM _{2,5}	CO	Benzen	Težke kovine v PM ₁₀	PAH v PM ₁₀	EC/OC in ioni v PM _{2,5}	Hg	Meteorološki parametri
DMKZ												
CE bolnica	+	+	+	+	+			+	+			+
CE Ljubljanska				+	+							+
Hrastnik				+	+							+
IB Gregorčičeva				+				+	+			+
IB Rečica				+	+							+
Iskrba	+	+	+	+	+		+	+	+	+	+	+
Koper		+	+	+	+							+
Kranj				+	+							+
Krvavec		+										+
LJ Bežigrad		+	+	+	+	+	+	+	+			+
LJ Celovška			+	+	+							+
LJ Vič				+	+							+
MB Titova			+	+	+		+	+	+			+
MB Vrbanski		+	+	+	+							+
MS Rakičan		+	+	+	+							+
MS Cankarjeva				+	+							+
NG Grčna		+	+	+	+				+			+
NG Vojkova				+								+
Novo mesto		+	+	+	+							+
Otlica		+										+
Ptuj				+	+							+
Trbovlje				+	+							+
Velenje*				+								+
Zagorje	+	+	+	+	+							+
Žerjav				+				+				+
Dopolnilna merilna mreža												
EIS TEŠ												
Graška gora	+											+
Pesje	+			+	+							+
Škale	+		+	+	+							+
Šoštanj	+		+	+	+							+
Topolšica	+											+
Velenje	+	+										+
Veliki Vrh	+											+
Zavodnje	+	+	+									+
Mobilna TEŠ	+	+	+	+	+							+
OMS MO LJUBLJANA												
LJ Center	+		+	+	+		+					+
EIS TE-TOL												
Zadobrova	+	+	+	+								+
MO Celje												
CE Gaji	+		+									+
EIS TEB												
Sv. Mohor	+	+	+									+
MO MARIBOR												
MB Tezno		+	+	+								+
Pobrežje				+								+
Pohorje		+										+
Radvanje				+								+
EIS ANHOVO												
Gorenje Polje				+								+
Morsko				+								+
MO Ptuj												
Spuhlja				+								+
Občina Ruše												
Ruše				+								+
Občina Medvode												
Medvode				+			+					+

PM₁₀: delci z aerodinamičnim premerom do 10 µm

PM_{2,5}: delci z aerodinamičnim premerom do 2,5 µm

PAH: policiklični aromatski ogljikovodiki v delcih PM₁₀

Težke kovine: arzen, kadmij, nikelj in svinec v delcih PM₁₀ in PM_{2,5}

EC/OC: Elementni in organski ogljik

Meteorološki parametri: temperatura zraka v okolici, hitrost vetra, smer vetra, relativna vlažnost zraka, globalno sončno sevanje, zračni tlak (se ne meri na Iskrbi)

* Z merilnim mestom ne upravlja ARSO.

Tabela 2.5: Nadmorska višina in koordinate merilnih mest (D96_E, D96_N) za meritve kakovosti padavin v DMKP.

	NV	D96_E	D96_N
Iskrba	540	488919	46809
LJ Bežigrad	299	462302	102976
MS Rakičan	188	591184	168743
Rateče	864	401203	151630
Škocjan	420	421540	58710

Tabela 2.6: Nabor meritev za ugotavljanje kakovosti padavin na merilnih mestih DMKP.

	Količina padavin	pH	Električna prevodnost	Osnovni kationi in anioni	Težke kovine	PAH
Iskrba	+	+	+	+	+	+
LJ Bežigrad	+	+	+	+		
MS Rakičan	+	+	+	+		
Rateče	+	+	+	+		
Škocjan	+	+	+	+		

Osnovni kationi in anioni:

Ca^{2+} , Mg^{2+} , NH_4^+ , Na^+ , K^+ , Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-}

Policiklični aromatski ogljikovodiki (PAH):

benzo(a)piren, benzo(a)antracen, benzo(b,j,k)fluoranten, indeno(1,2,3-cd)piren, dibenzo(a,h)antracen

Težke kovine:

As, Cd, Co, Cu, Hg, Pb in Zn

2.2 Ocena kakovosti zraka z modeliranjem in s tehniko združevanja podatkov

Na ARSO imamo za namen ocenjevanja kakovosti zraka na območju Slovenije, analize vzrokov čezmerne onesnaženosti zraka in za podporo pripravi napovedi onesnaženosti zraka z delci PM_{10} in O_3 , vzpostavljen regionalni disperzijsko-fotokemijski model CAMx (Comprehensive Air quality Model with extensions), sklopljen z operativnim meteorološkim modelom ALADIN/SI. Podrobnejši podatki o modelskem sistemu so opisani v letnem poročilu kakovosti zraka za leto 2019 [6].

2.2.1 Postopek združevanja meritev in modelskih izračunov

Rezultati modelskih izračunov zaradi vpliva prostorske ločljivosti modela, numeričnih opisov dinamičnih, fizikalnih in kemičnih procesov v atmosferi, ter pogosto pomanjkljivih vhodnih podatkov, niso povsem zanesljivi. Po drugi strani nam meritve zagotavljajo bistveno bolj natančne vrednosti ravni onesnaževal, vendar le na lokacijah merilnih mest. S tehniko združevanja modelskih rezultatov in meritev (angl. data fusion) uporabimo informacijo obeh virov za pripravo optimalne ocene prostorske porazdelitve ravni onesnaževal.

Obstajajo različni statistični in geostatistični pristopi združevanja podatkov. Na ARSO smo se pri izboru metodologije odločili za geostatistični pristop kriging z zunanjim vplivom (angl. kriging with external drift), pri katerem poleg meritev in modelskih izračunov pri pripravi kart onesnaženja upoštevamo tudi nadmorsko višino.

Postopek kriginga z zunanjim vplivom izvedemo v dveh korakih. V prvem koraku interpoliramo modelske rezultate ravni onesnaževal z ločljivostjo 4,4 km na modelsko mrežo z ločljivostjo 1 km, pri čemer kot zunanje spremenljivke upoštevamo polje nadmorske višine ter polje geografskih koordinat

(geografska širina in dolžina) v ločljivosti 1 km. V drugem koraku interpoliramo vrednosti meritev na modelsko mrežo z ločljivostjo 1 km, pri čemer kot zunanje spremenljivke upoštevamo interpolirano polje modelskih vrednosti iz prvega koraka ter geografsko širino in dolžino v ločljivosti 1 km. Geografsko širino in dolžino vključimo le v primeru, če se odvisnost od tega polja izkaže kot statistično značilna.

Ocenjevanje kakovosti zraka s tehniko združevanja podatkov je del projekta LIFE-IP PREPAIR [7]. V postopek so tako vključene vse meritve iz območja projekta, tako meritve iz merilnih mest v Sloveniji kot v Padski nižini. S tehniko združevanja meritev in modelskih izračunov na ARSO pripravljamo letne karte povprečnih vrednosti onesnaževal PM_{10} , $PM_{2,5}$ in NO_2 , ter letna povprečja dnevni maksimumov 8-urnih drsečih povprečij za O_3 . Rezultati za leto 2023 so v poročilu predstavljeni na koncu vsakega posameznega poglavja, kjer so opisana prej omenjena onesnaževala (PM_{10} , $PM_{2,5}$, NO_2 in O_3).

3. Daljinsko zaznavanje ozračja

3.1 Inštrumenti za daljinsko zaznavo ozračja s tal

Poznavanje stanja ozračja je izrednega pomena za spremljanje procesov v ozračju in kakovostno napovedovanje vremena ter analizo kakovosti zraka. Stanje ozračja vzorčimo z množico različnih merilnih metod in inštrumentov, ki zajemajo fizikalne in kemijske spremenljivke ozračja preko neposrednega stika med merilnikom in opazovanim medijem (in situ) ali posredno (na daljavo).

Radiosondaža je glavna »in-situ« metoda za kakovostne meritve vertikalnih profilov temperature, vlage in vetra v ozračju z visoko vertikalno ločljivostjo in je marsikdaj še vedno referenca drugim merilnim metodam. Radiosondažne meritve imajo več kot 100 letno zgodovino. Pri nas se operativno izvajajo od leta 1995 in predstavljajo pomemben vir podatkov o stanju ozračja za numerično napovedovanje vremena, operativno meteorološko prognostično službo in napovedovanje kakovosti zraka.

Merilni inštrumenti za daljinsko zaznavo ozračja (slika 3.1) s tal merijo vertikalne profile temperature, vetra, aerosolov v aktivnem ali pasivnem načinu. Uporabljajo predvsem zvok, vidno in bližnjo infrardečo svetlobo ali mikrovalove. Na meteoroloških satelitih so inštrumenti za daljinsko zaznavo ozračja prisotni že dolgo časa. Prav tako imajo dolgo zgodovino operativnih meritev vremenski radarji (spremljanje padavin in nevihtnih sistemov). V zadnjih dveh desetletjih je močno napredovala tudi daljinska zaznava s tal, ki omogoča meritve vertikalnih profilov vetra, temperature in aerosolov v ozračju, predvsem v spodnjih nekaj kilometrih. Tehnološki napredek je omogočil, da so ti inštrumenti postali dosegljivi operativnim službam in javnim servisom za potrebe rednega monitoringa in razskovanja ozračja.

Daljinske meritve ozračja s tal predstavljajo velik doprinos k popolnitvi opazovanj ozračja na časovnih in prostorskih skalah, ki so vezane predvsem na procese v mejni plasti ozračja. Ti inštrumenti predstavljajo nov samostojen sklop merilne infrastrukture, ki se bo v prihodnje še razvijala in širila. Meritve profilov ozračja z daljinskimi merilniki s tal že danes po svetu predstavljajo pomemben segment meritev za spremljanje, razumevanje in napovedovanje procesov v ozračju.

Na ARSO smo v zadnjih letih poleg obstoječih merilnih metod dopolnili tudi daljinsko zaznavo ozračja s tal. Na novo smo uvedli inštrumente za daljinsko zaznavo ozračja s tal, ki predvsem v prizemni mejni plasti merijo vertikalne profile vetra, temperature, aerosolov in hidrometeorjev – poimenujemo jih »profilerji«. Poznamo več vrst profilerjev, ki se ločijo po načinu delovanja:

- Aktivni profilerji oddajajo umetni signal (elektromagnetni ali akustični) v ozračje in analizirajo odbiti del signala. Aktivni inštrumenti lahko signal oddajajo zvezno ali v kratkih pulzih.



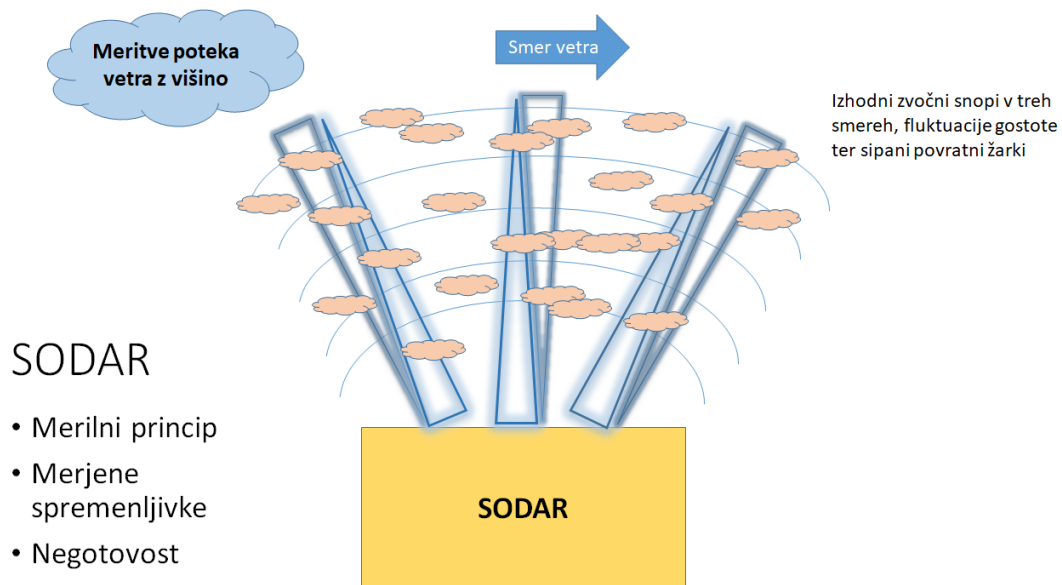
Slika 3.1: Primeri različnih vrst merilnikov za daljinsko zaznavo ozračja s tal, ki merijo profile temperature, vodne pare, vetra in aerosolov. Nekatere od teh merilnikov uporabljamo tudi na ARSO (levo). Primer operativne radiosonde, ki se v Ljubljani spušča vsak dan v jutranjem času s pomočjo balona.. (desno)

- Pasivni profilerji sprejemajo naravni signal iz ozračja (elektromagnetni) in ga analizirajo.

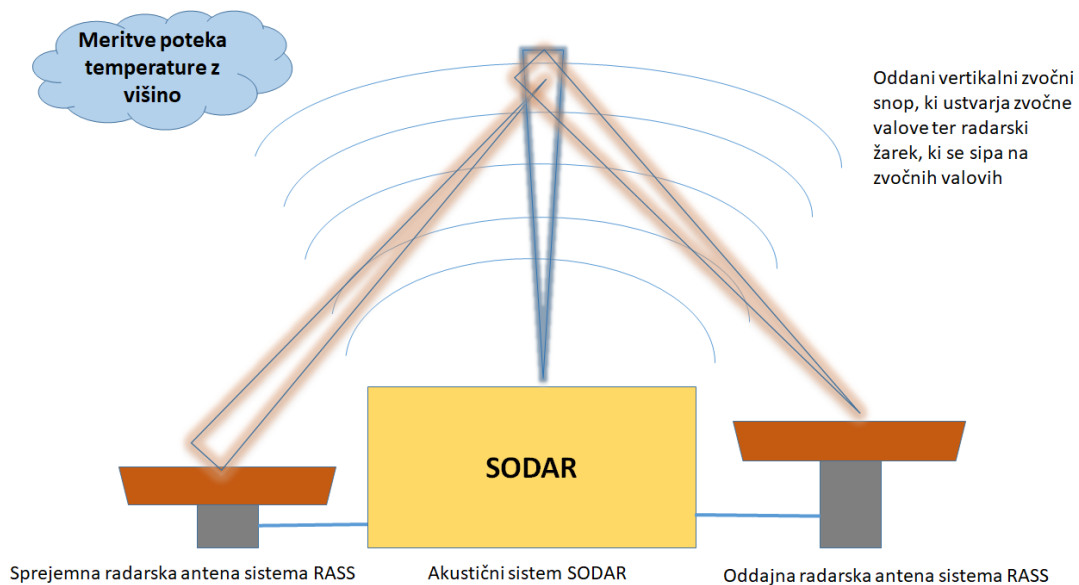
Na ARSO smo v zadnjih nekaj letih obstoječo merilno mrežo dopolnili s tremi profilerji:

- Sodar-rass (aktivni, meritve vetra in temperature po višini) (slika 3.2 merilnik sodar in slika 3.3 merilnik sodar-rass)
- Vetrovni lidar (aktivni, meritve vetra po višini) (slika 3.4)
- Lidar-ceilometer (aktivni, meritve stratifikacije aerosolov in hidrometeorjev v ozračju) (slika 3.5).

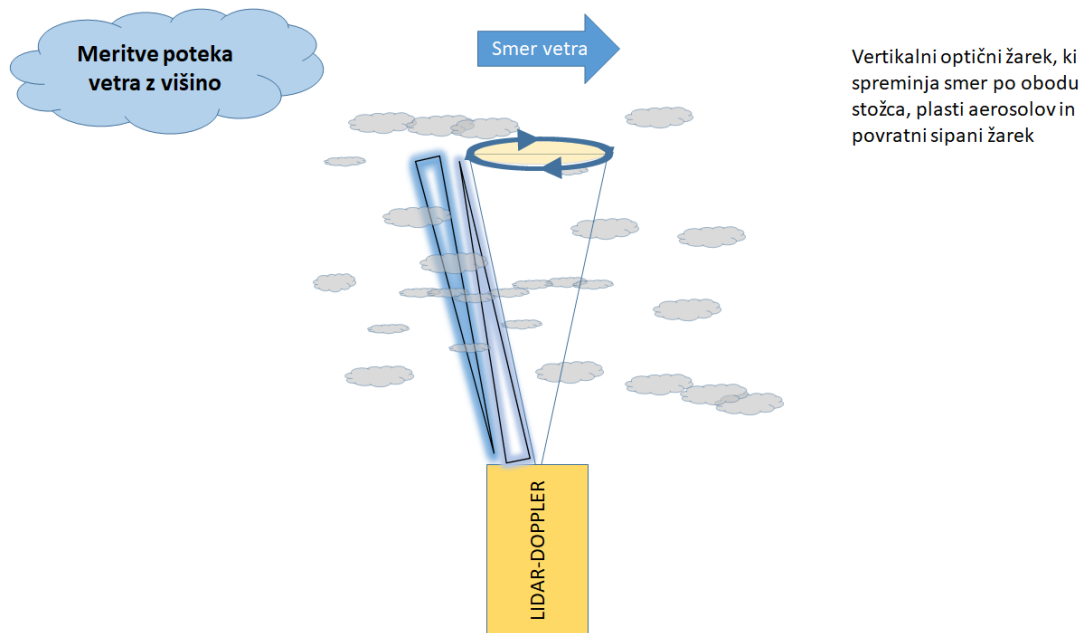
Sodar-rass aktivno oddaja akustični signal v kombinaciji z radarskim signalom, da izmeri vertikalni profil vetra in temperature. Doseg je pogojen z okoljskimi pogoji in se giblje nekje med 200 in 600 m nad tlemi. VETROVNI LIDAR aktivno oddaja elektromagnetni signal v bližnjem infrardečem delu spektra in meri vertikalni profil vetra do višine 200 m nad tlemi. LIDAR-CEILOMETER oddaja signal v bližnjem infrardečem delu spektra v obliki pulzov v navpični smeri in analizira signal, ki se odbije od ozračja nazaj proti merilniku. Tarče so aerosoli in hidrometeorji (oblačne kapljice, dežne kapljice, snežinke, ...).



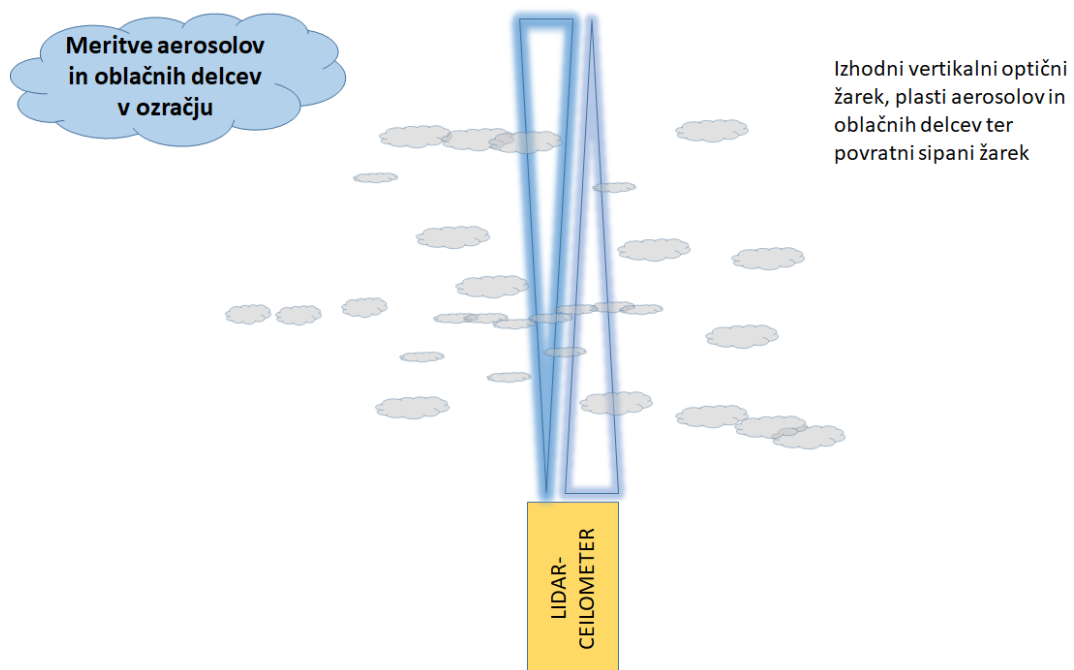
Slika 3.2: Shematični prikaz delovanja merilnika sodar (angl. sound detection and ranging), ki preko zvočnega signala, ki se odbije od turbulentnih nihanj v ozračju, meri potek vetra z višino.



Slika 3.3: Shematični prikaz delovanja merilnika sodar-rass, ki poleg inštrumenta sodar uporablja še oddajno in sprejemno radijsko anteno (rass – radio acoustic sounding system). Iz meritev radarskega signala, ki se odbije na zvočnem signalu iz sodarja, lahko posredno izmerimo potek temperature z višino.



Slika 3.4: Shematični prikaz delovanja optičnega inštrumenta vetrovni lidar za meritve poteka vetra z višino. Signal se odbije od aerosolov, ki se v ozračju gibljejo z vetrom.



Slika 3.5: Shematični prikaz meritev stratifikacije aerosolov in hidrometeorjev v ozračju. Inštrument LIDAR-CELIOMETER v navpični smeri oddaja kratke pulze infrardeče svetlobe in analizira nazaj odbiti signal.

3.2 Uporaba rezultatov meritev na področju kakovosti zraka

Meritve z lidarjem-ceilometrom (stratifikacija hidrometeorjev in aerosolov v prizemni mejni plasti) in s sistemom sodar-rass (vertikalni profil vetra in temperature v prizemni mejni plasti), ki jih izvajamo na ARSO, na lokaciji LJ Bežigrad in Ljubljana Barje, predstavljajo dragocen vir informacij pri opisovanju lokalnih meteoroloških pojavov in razlagi onesnaženosti zraka. Omogočajo meritve vertikalnih profilov termodinamičnih in dinamičnih veličin s periodo 10 minut. V numeričnih modelih so vertikalni profili v spodnjih plasteh zaradi pomanjkanja podatkov in slabe prostorske ločljivosti slabo opisani. Slovenija je geografsko zelo razgibana država, kjer večina prebivalcev živi v dolinah, kotlinah in nižinah. V zimskem času je onesnaženost zraka z delci neposredno povezana s temperaturnim obratom in njegovimi osnovnimi značilnostmi, kot sta jakost (razlika v temperaturi po višini) in višina temperaturnega obrata. Dinamika razvoja in razkroja temperaturnega obrata je na različnih lokacijah, kljub skoraj enaki sinoptični situaciji, lahko zelo različna. Za oceno kakovosti zraka je ključno predvsem poznavanje vertikalnega poteka osnovnih meteoroloških veličin (temperatura, veter) in prisotnost aerosolov v spodnjih plasteh ozračja. V zimskem času se v te plasti iztekajo izpusti iz malih kurišč in prometa, ki v neugodnih vremenskih razmerah najbolj vplivajo na povišane ravni delcev pri tleh.

3.3 Analiza epizode čezmerne onesnaženosti zunanjega zraka

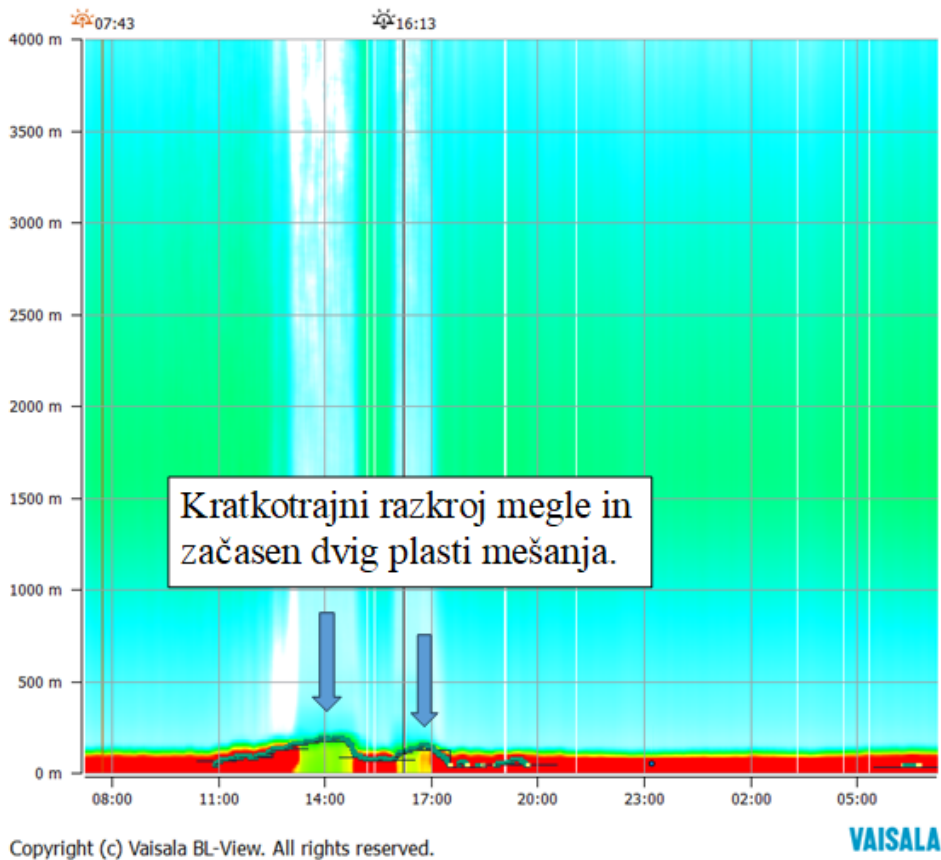
Dodano vrednost daljinskega zaznavanja z merilnikoma lidar-ceilometer in sodar-rass lahko vidimo na primeru visoke onesnaženosti zraka z delci PM_{10} v obdobju od 18. decembra do 21. decembra 2023. To je bilo obdobje z izrazitimi temperaturnimi obrati in šibkimi vetrovi. Zaradi plitvega in izrazitega temperaturnega obrata je bilo zabeleženo preseganje mejnih dnevni vrednosti PM_{10} na večini merilnih mest celinske Slovenije. Pojav temperaturnega obrata je lepo viden na časovnem poteku vertikalnega profila aerosolov in hidrometeorjev, dobljen na podlagi meritev lidarja-ceilometra (slika 3.6) 19. decembra 2023. Slike ceilometra prikazujejo intenziteto signala, ki se od hidrometeorjev in aerosolov v ozračju odbije nazaj proti senzorju. Meritve kažejo na plitvo površinsko plast s prevladujočo meglo (rdeča barva), ki sega do višine med 100 in 200 metri. Razkroj megle čez dan je bil zgolj kratkotrajen, v tem času je lepo vidna meja med spodnjo onesnaženo plastjo zraka in zračno maso nad njo (zelena črta). Višina plasti mešanja aerosolov in s tem tudi volumen sta se čez dan dvakrat prehodno nekoliko povečala, pokazalo se je nekaj sončnih žarkov, vendar je močan temperaturni obrat (zelo toplel zrak nad nami) preprečeval večje spremembe površinske plasti, zato se je megla hitro vrnila.

Pojav megle v Ljubljani lahko hkrati potrdimo z radiosondažnimi meritvami, to je območje, kjer se stikata modra in rdeča črta (slika 3.7), satelitsko sliko oblačnosti v vidnem delu spektra (slika 3.8), ter s fotografijama z Ljubljanskega gradu in s Krvavca (sliki 3.9 in 3.10). Radiosondažne meritve v Ljubljani so v tem obdobju pokazale, da je bilo v jutranjem času približno 500 m višje za 13°C topleje kot pri tleh (slika 3.7). Na hladen zrak v nižinah in kotanjah ter toplel zrak v višinah 19. decembra kaže tudi satelitska slika v infrardečem spektru (slika 3.11).

Vzroke za nastanek neugodnih vremenskih razmer s povišanimi ravnmi delcev PM_{10} si lahko razložimo tudi z vertikalnimi poteki temperature in vetra iz merilnika sodar-rass. Ugotovimo, da se je

ARSO_Bezigrad_CL51 20 december 23

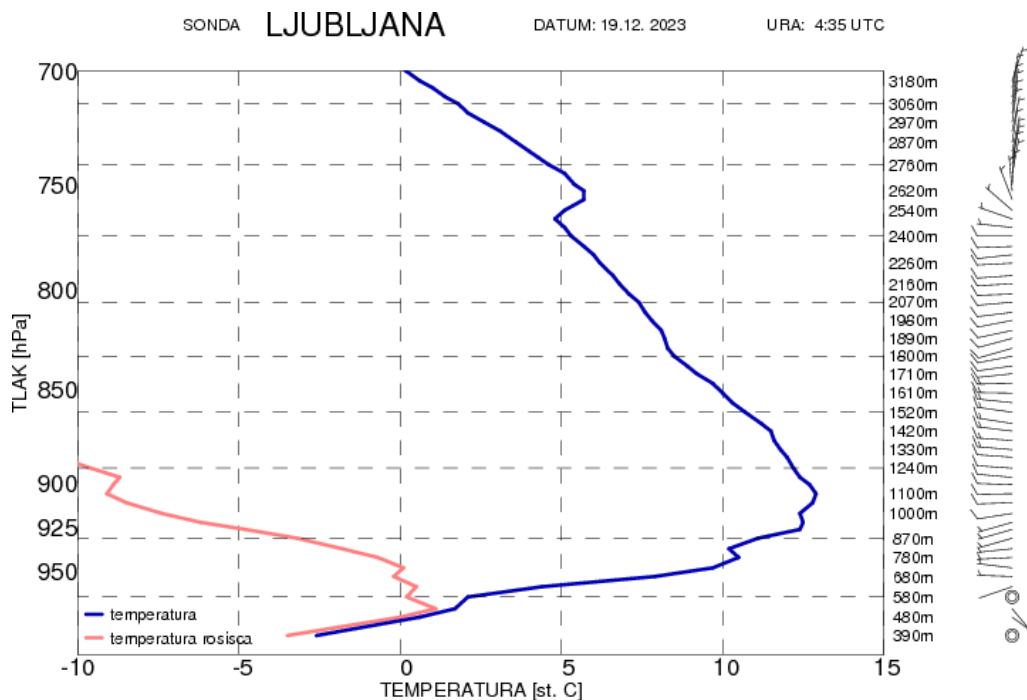
Algorithm method = 0; Algorithm sensitivity = 10; Height averaging = Default; Time averaging = Default; BL he



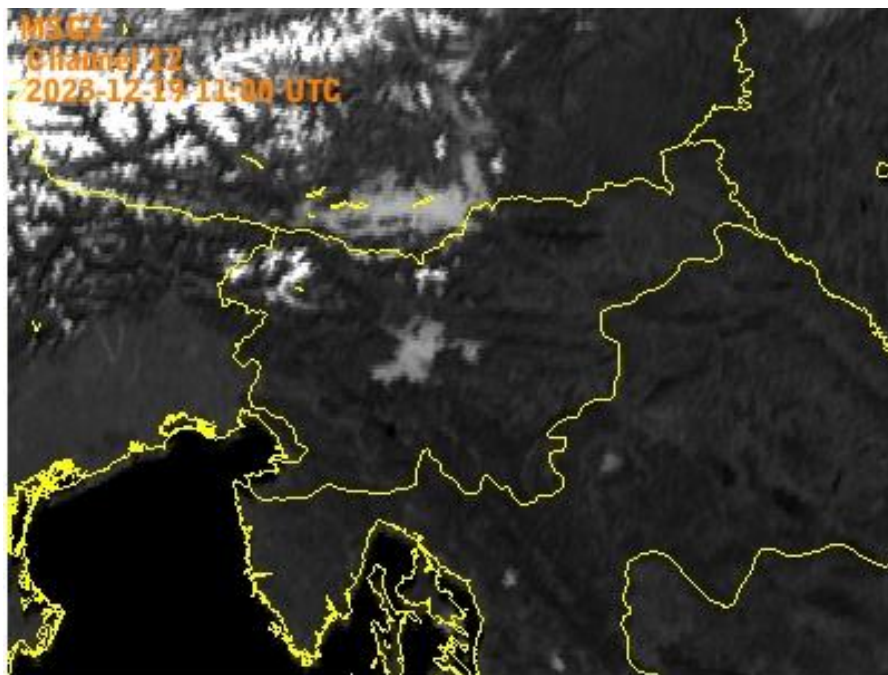
Slika 3.6: Časovni potek aerosolov z lidarjem (ALC), za obdobje 19.12.2023 (08:00) – 20.12.2023 (07:00).

hladen zrak ujel in vztrajal v Ljubljanski kotlini zaradi dotekanja toplejšega zraka v višinah. Dnevni časovni potek vertikalnega profila vetra in temperature za 19. december kaže na brezvetrje do nekje 160 m in vztrajno narivanje tople zračne mase z zahodnikom nad to višino (slika 3.12). Meritve pozno popoldne nakazujejo na dodatno segrevanje v višinah, kar je še okrepilo temperaturni obrat pri tleh (slika 3.6), višina zelene črte, med 17:00 in 20:00 UTC). Zaradi tega so bile urne ravni delcev PM_{10} v večernih terminih (slika 3.13) visoke, na več merilnih mestih višje od $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (LJ Celovška $109 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Trbovlje $113 \mu\text{g}/\text{m}^3$, MS Cankarjeva $114 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Kranj $132 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Naslednji dan (20. december) je naše kraje prešla oslABLJENA hladna fronta. Z njo se je povečala dinamika v višjih plasteh ozračja (nad 2.5 km), kjer je v popoldanskem času prišlo do pojava virge (slika 3.14). Gre za padavine (dežne kaplje ali kristale), ki zaradi suhega zraka na svoji poti izhlapijo, še preden dosežejo tla. Na sliki je padavinska zavesa prikazana z rdečo in rumeno barvo. Čas prehoda frontne linije je na merilniku sodar-rass prikazan s spremembo smeri vetra iz južne v vzhodno smer (slika 3.15). Burnejšo vremensko dogajanje v višinah na spodnje plasti ozračja ni imelo bistvenega vpliva. Megla v Ljubljani se je čez dan sicer popolnoma razkrojila (slika 3.14), vendar so bile najvišje temperature podobne tistim iz prejšnjega dne (slika 3.16). Onesnažen zrak je ostal ujet v spodnji



Slika 3.7: Radiosondažne meritve (19.12.2023 ob 5.35).

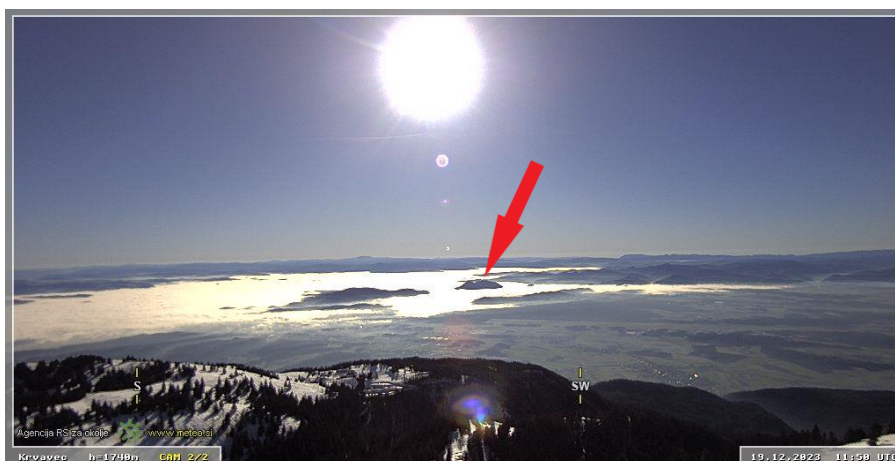


Slika 3.8: Satelitska slika oblačnosti nad Slovenijo in okolico v vidnem delu spektra 19. decembra ob 12. uri. V južnem delu Ljubljanske kotline, v Celovski kotlini, v Litijski kotlini in še ponekod je megla vztrajala večino dneva ali celo ves dan. Drugod je 19. decembra prevladovalo jasno vreme. Vir: EUMETSAT

plasti temperaturnega obrata, višina plasti mešanja (zelena črta na sliki 3.14) se je čez dan nekoliko dvignila. Zvečer je prišlo pri tleh do tvorbe izjemno tanke plasti s temperaturnim obratom, kar je skupaj s povečanimi izpusti iz malih kurišč privedlo do povišanja urnih ravni delcev PM_{10} v Ljubljani in na ostalih merilnih lokacijah ((slika 3.13), LJ Vič $117 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Zagorje $106 \mu\text{g}/\text{m}^3$, MS Rakičan $128 \mu\text{g}/\text{m}^3$,



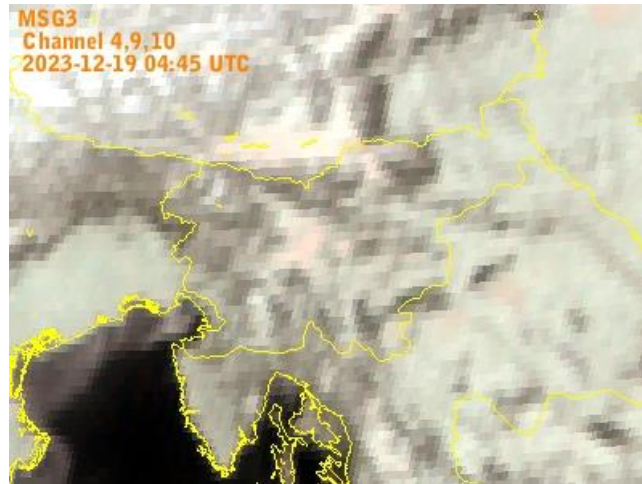
Slika 3.9: Pogled z Ljubljanskega gradu (19.12.2023 ob 15.53).



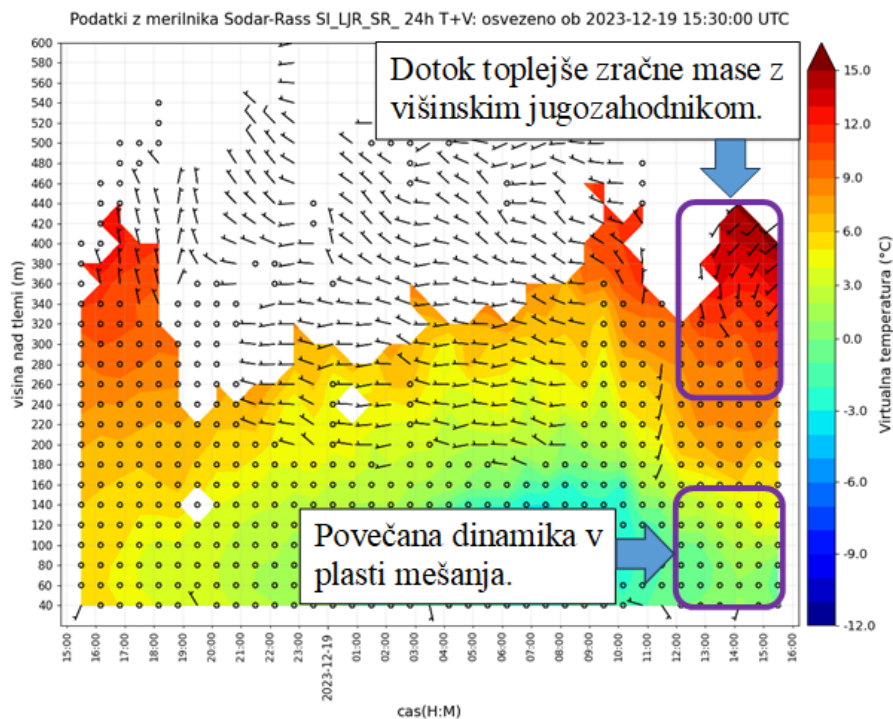
Slika 3.10: Posnetek kamere s Krvavca proti jugu (19.12.2023 ob 12.50). Z rdečo puščico je označena Šmarna gora.

MS Cankarjeva $129 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

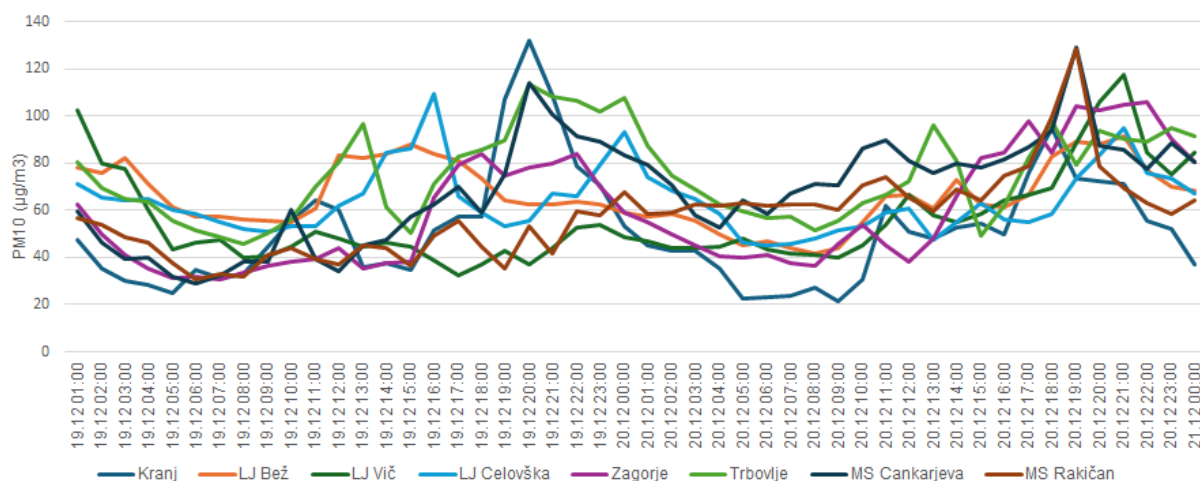
Epizoda visoke onesnaženosti z delci PM_{10} se je zaključila s prehodom vremenske fronte, ki se je 21. decembra bližala Alpam in se hitro pomikala proti vzhodu. Že isti dan se je popoldne in zvečer v višinah krepil jugozahodni veter, ki je prepihal hladen in onesnažen zrak pri tleh. Podatki sodar-rass na lokaciji Ljubljana Barje kažejo, da je tople jugozahodnik prodril do tal nekje ob 16.30 UTC (slika 3.17). Najprej so padle ravni delcev na postaji LJ Vič, v roku dobre pol ure pa na ostalih dveh lokacijah v Ljubljani. Proces mehanske razgradnje temperaturnega obrata je nazorno prikazan s ceilometrom v obliki hitrega dviga višine mešanja in razpada plasti onesnaženega zraka v večernem terminu (slika 3.18). Krajevne padavine, ki so se začele pojavljati naslednji dan (22. december), so na sliki prikazane kot rdeči pasovi.



Slika 3.11: Satelitska slika oblačnosti nad Slovenijo in okolico v infrardečem delu spektra 19. decembra ob 5.45 zjutraj. Sivi odtenki prikazujejo temperaturo tal, temnejši odtenki ustrezajo višji temperaturi. Rožnati odtenki kažejo na meglo ali nizko oblačnost. V južnem delu Ljubljanske kotline, v Celovški kotlini, ob italijanski obali in še ponekod drugod je bila megla ali nizka oblačnost. Drugod je bilo jasno. Najtopleje (temni odtenki) je bilo na morju in v vzpetem svetu izven kotanj, na nadmorski višini okoli 1000 metrov. Svetlejši odtenki v nižinskem svetu kažejo na hladna tla in s tem na močan temperaturni obrat. Vir: EUMETSAT



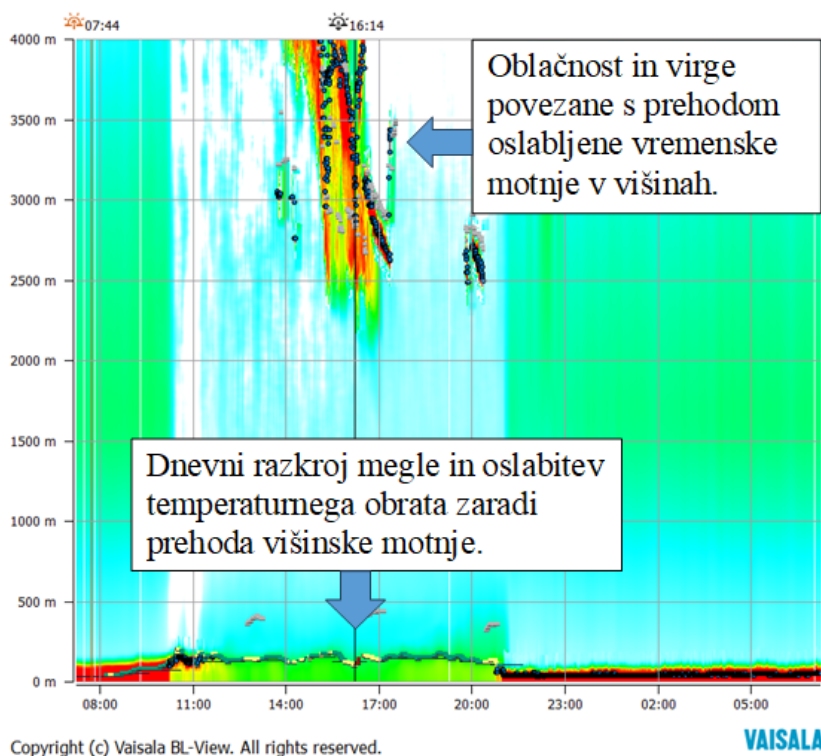
Slika 3.12: Časovni potek vertikalnega profila vetra in temperature z merilnikom sodar-rass, dne 19.12.2023.



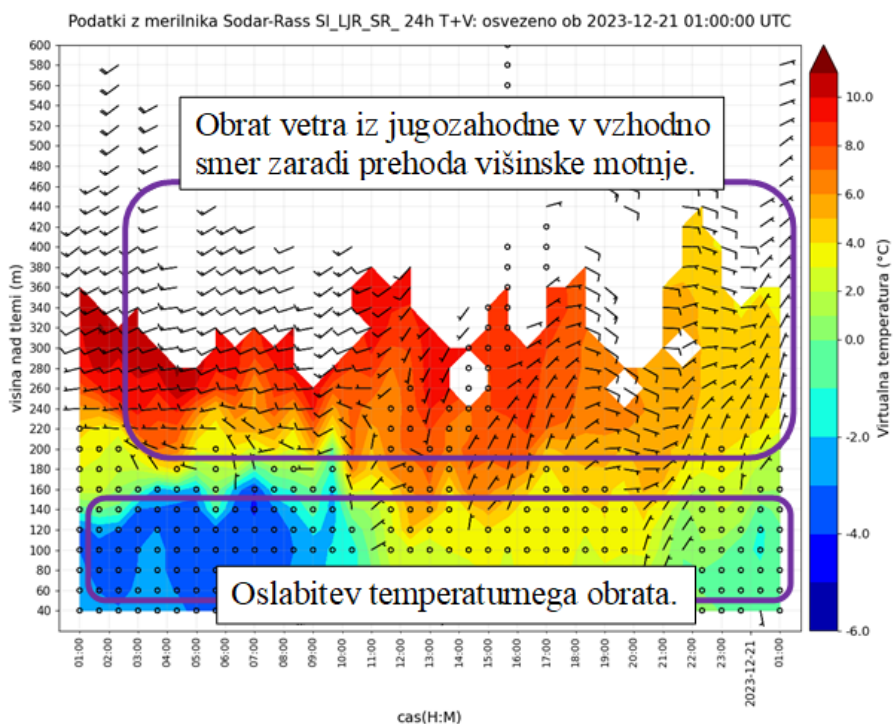
Slika 3.13: Časovni potek urnih ravni delcev PM_{10} na izbranih merilnih lokacijah, za dneva 19.12.2023 in 20.12.2023.

ARSO_Bezigrad_CL51 21 december 23

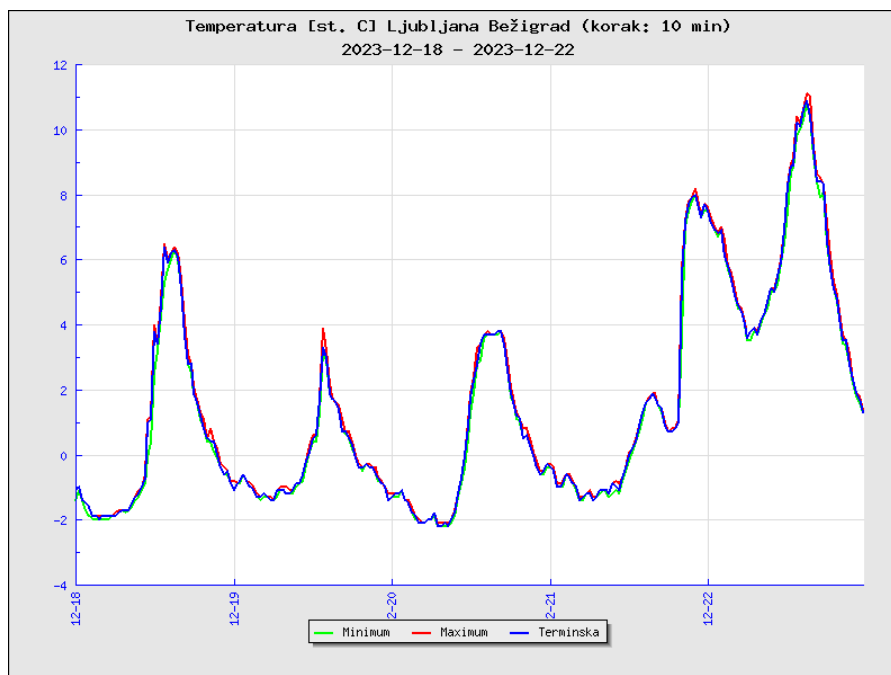
Algorithm method = 0; Algorithm sensitivity = 10; Height averaging = Default; Time averaging = Default; BL he



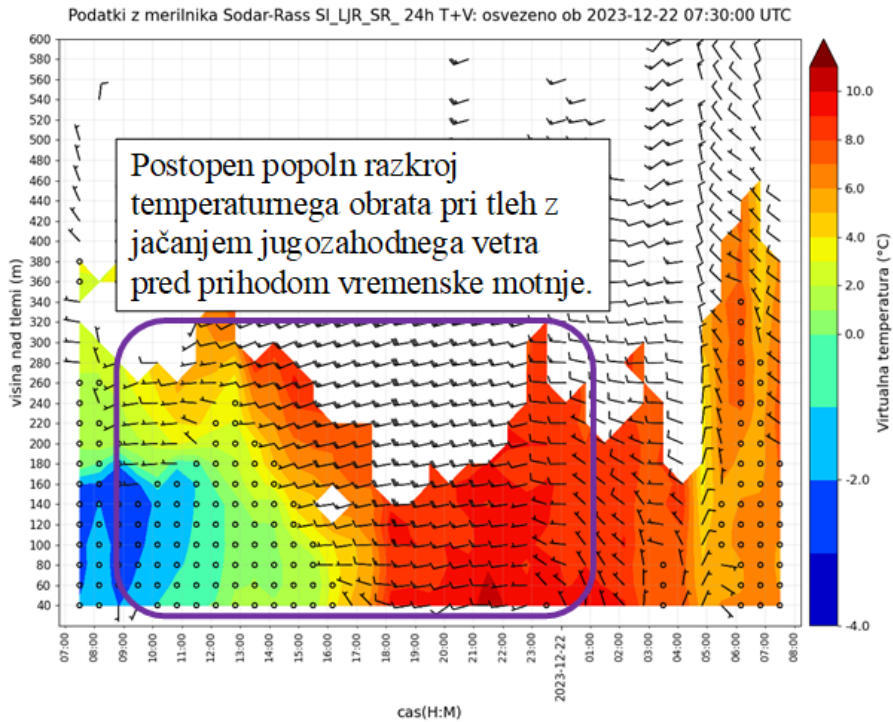
Slika 3.14: Časovni potek aerosolov z lidarjem (ALC), za obdobje 20.12.2023 (08:00) – 21.12.2023 (07:00).



Slika 3.15: Prehod višinske motnje - fronte, viden na profilu vetra in temperature z merilnika sodar-rass (20.12.2023). Dinamika vetra in dotoka hladnejšega zraka je vidna nad površinsko plastjo, ki je zaradi inverzne plasti razklopljena z višjimi plastmi, le nekaj 100 m višje.



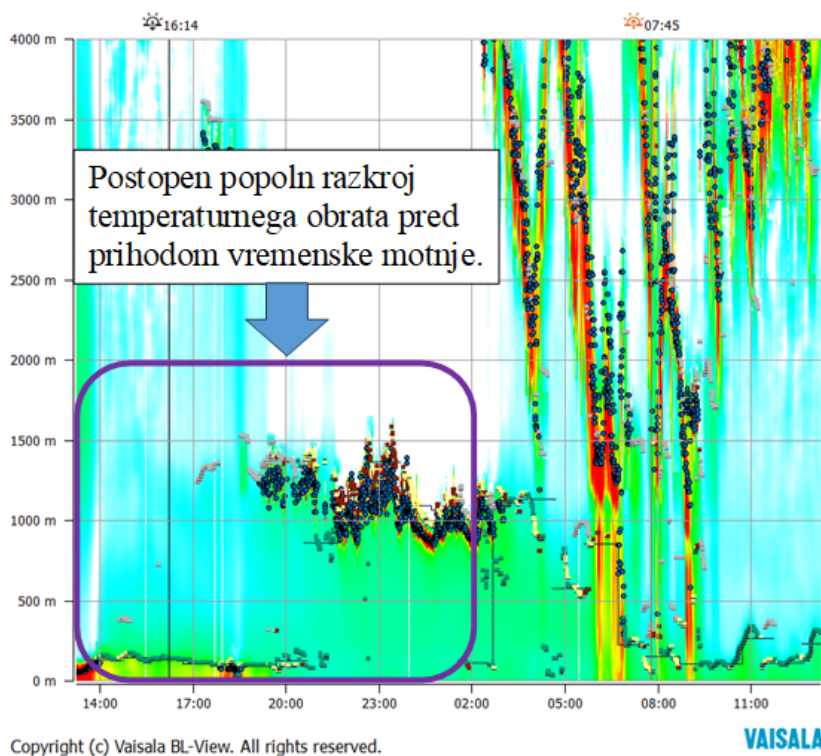
Slika 3.16: Časovni potek temperature zraka v Ljubljani, za obdobje od 18. decembra do 22. decembra 2023.



Slika 3.17: Časovni potek vertikalnega profila vetra in temperature z merilnikom sodar-rass, za obdobje 21.12.2023 (07:30) – 22.12.2023 (07:30) UTC.

ARSO_Bezigrad_CL51 22 december 23

Algorithm method = 0; Algorithm sensitivity = 10; Height averaging = Default; Time averaging = Default; BL he



Slika 3.18: Časovni potek aerosolov z lidarjem (ALC), za obdobje 21.12.2023 (13:30) – 22.12.2023 (13:30).

4. Delci PM₁₀ in PM_{2,5}

Izraz delci (angl. Particulate Matter – PM) uporabljamo kot splošen pojem, ki označuje suspendirane delce (tekoče in trdne) v plinu. S PM_{2,5} označujemo drobne delce (angl. fine particles), ki imajo aerodinamični premer manjši od 2,5 µm, s PM₁₀ pa delce z aerodinamičnim premerom pod 10 µm. Delci PM₁₀ torej poleg drobnih delcev PM_{2,5} vključujejo tudi grobe delce (angl. coarse particles) z aerodinamičnim premerom med 2,5 in 10 µm.

Glede na izvor lahko delce razdelimo na primarne in sekundarne. Primarne delce lahko sproščajo v ozračje viri neposredno, sekundarni delci pa nastajajo v ozračju z oksidacijo in pretvorbo primarnih plinastih onesnaževal. Najpomembnejši plini, ki prispevajo k tvorbi delcev, so SO₂, NO_x, NH₃ in hlapne organske spojine. Imenujemo jih predhodniki delcev. Pri reakcijah z SO₂, NO_x in NH₃ pride do nastanka spojin, ki vsebujejo sulfat, nitrat in amonij. S kondenzacijo le-teh se tvorijo delci, ki jih imenujemo sekundarni anorganski aerosoli. Pri oksidaciji nekaterih hlapnih organskih spojin nastajajo manj hlapne spojine, ki tvorijo sekundarne organske aerosole. Nastanek sekundarnih delcev je odvisen od številnih kemijskih in fizikalnih dejavnikov. Med najpomembnejšimi so ravni predhodnikov, reaktivnost ozračja, ki je odvisna predvsem od ravni visoko reaktivnih spojin (ozon in hidroksilni radikali) in meteorološki pogoji (sončno sevanje, relativna vlaga, oblačnost). Sekundarni anorganski in organski aerosoli, elementarni ogljik, dviganje usedlin s tal (resuspenzija) in morski aerosoli predstavljajo približno 70 % mase PM₁₀ in PM_{2,5}.

Delci so lahko naravnega ali antropogenega izvora. Naravni viri so predvsem posledica vnosa morske soli, naravne resuspenzije tal, puščavskega prahu in cvetnega prahu. Antropogeni viri obsegajo izpuste povezane z izgorevanjem goriv v termoenergetskih objektih in industriji, z ogrevanjem stanovanjskih in drugih stavb ter s prometom. V naseljih predstavljajo pomemben vir delcev predvsem izpusti iz individualnih kurišč in prometa ter resuspenzija s cestišč. Značilnost teh virov so nizke višine izpustov, ki so navadno pod 20 m, zato ti viri občutno prispevajo k ravnem onesnaženosti zunanjega zraka pri tleh.

Epidemiološke študije kažejo, da imajo z vidika onesnaženosti zraka najbolj negativen vpliv na zdravje prav delci. Celo ravni pod sedanjimi zakonodajnimi mejnimi vrednostmi predstavljajo zdravstveno tveganje. Poročila Svetovne zdravstvene organizacije kažejo na to, da ne obstaja meja, pod katero ni pričakovati vpliva na zdravje. Do vpliva na zdravje prihaja zaradi vdihavanja delcev in posledičnega vdora v pljuča in krvni sistem, kar povzroča okvare respiratornega, kardiovaskularnega, imunskega in živčnega sistema. Manjši kot so delci, bolj globoko lahko prodrejo v pljuča. Do vnetij ali poškodb tkiva prihaja tako zaradi kemijskih in tudi fizikalnih interakcij med delci in tkivom. Poleg negativnega vpliva na zdravje ima onesnaženost z delci vpliv tudi na podnebje in ekosisteme. Delci v

ozračju zmanjšujejo vidljivost, povzročajo škodo na objektih, vplivajo na padavinski režim in spreminjajo odbojnost zemeljske površine za svetlobo.

Povišane ravni delcev PM_{10} se pri nas tipično pojavljajo v zimskih mesecih, ko se v primeru anticiklonalnih razmer s šibkimi vetrovi v prizemnih plasteh pogosto pojavi temperaturni obrat. V teh plasteh imamo šibko vertikalno mešanje zraka, kar povzroči, da se onesnaževala dlje časa zadržujejo v bližini tal. Obenem so v zimskih mesecih najbolj aktivna mala kurišča, ki imajo največji prispevek k izpustom delcev PM_{10} .

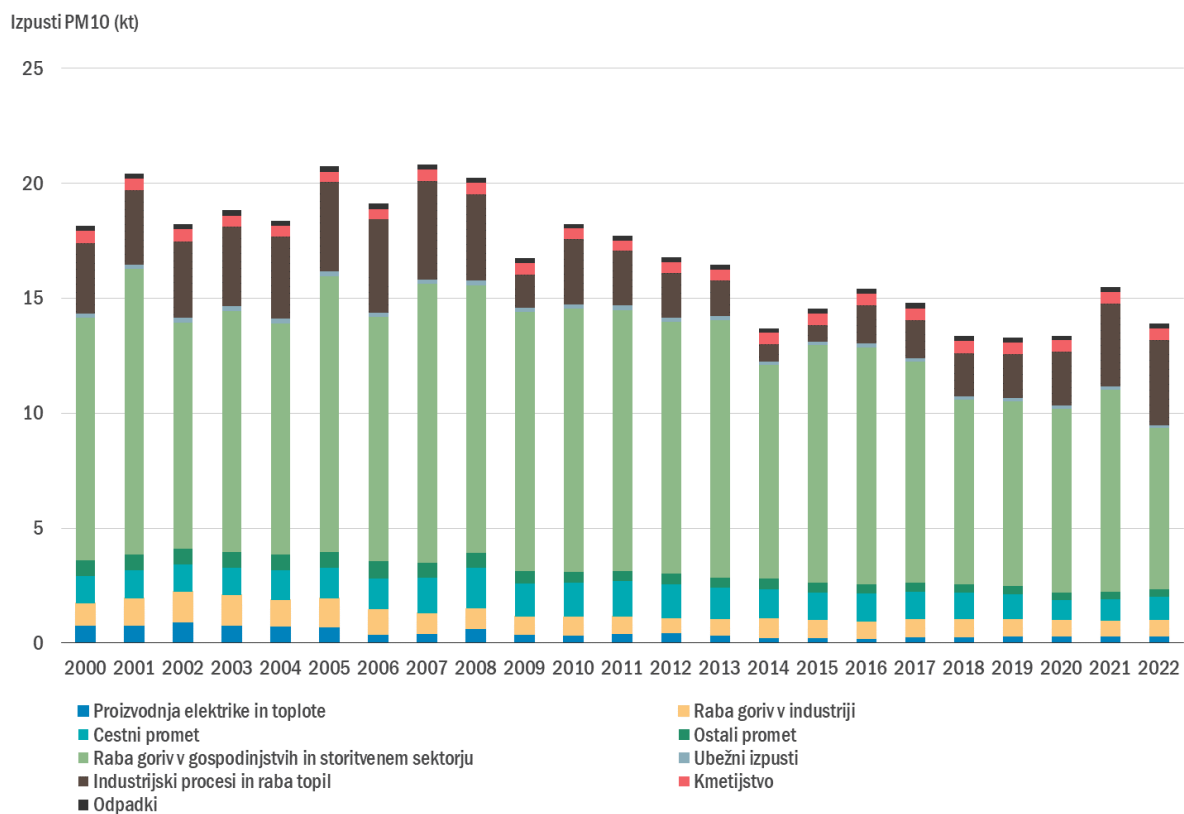
4.1 Izpusti delcev

Letni izpusti delcev PM_{10} so v Sloveniji leta 2022 znašali 14 tisoč ton (slika 4.1), letni izpusti primarnih delcev manjših od $2,5 \mu m$ ($PM_{2,5}$) pa 10 tisoč ton (slika 4.3). V obdobju 2000-2022 so se izpusti delcev PM_{10} zmanjšali za 23 %, delcev $PM_{2,5}$ pa za 33 %. Zmanjšanje izpustov je posledica izboljšanja energetske učinkovitosti in procesov zgorevanja, posodobitve tehnoloških procesov, zamenjave trdih fosilnih goriv z zemeljskim plinom in obnovljivimi viri energije, uvajanja strožjih emisijskih standardov za motorna vozila. Glavni antropogeni vir primarnih delcev je zgorevanje goriv v gospodinjstvih in storitvenem sektorju, predvsem zaradi uporabe lesa v zastarelih kurilnih napravah.

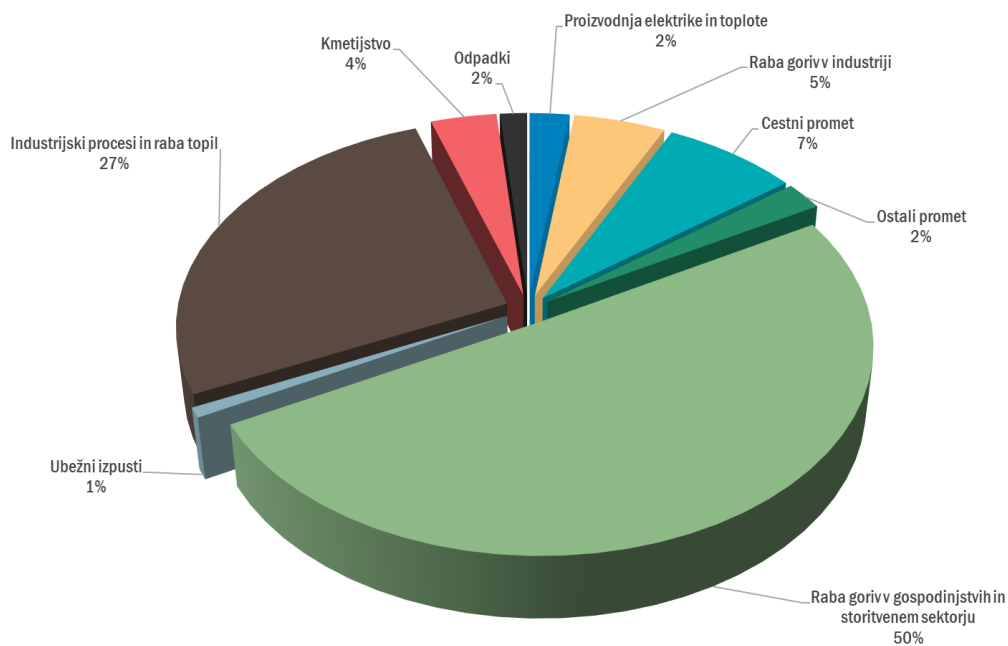
Mala kurišča so k skupnim izpustom PM_{10} na nivoju države v letu 2022 prispevala 50 % (slika 4.2), k skupnim izpustom $PM_{2,5}$ pa kar 71 % (slika 4.4). Iz slike 4.5 je razvidna prevladujoča vloga kurilnih naprav na les v skupnih izpustih malih kurilnih naprav.

K izpustom delcev znatno prispeva tudi cestni promet. Izpusti PM_{10} iz cestnega prometa so leta 2022 predstavljali 7 % skupnih državnih izpustov, prav tako izpusti $PM_{2,5}$. Glavni vir delcev v cestnem prometu je obraba cest, gum in zavor.

Podrobne informacije o izpustih delcev PM_{10} in $PM_{2,5}$, ter metodologiji izračuna izpustov so na voljo v dokumentu Informative Inventory Report 2024 for Slovenia [2].

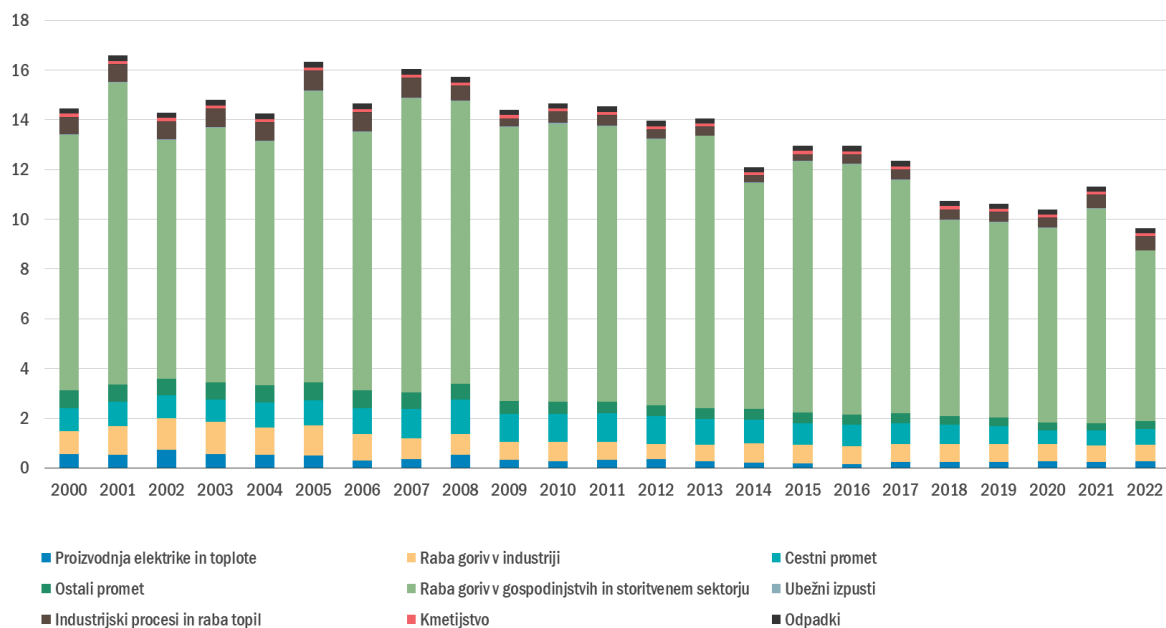


Slika 4.1: Letni izpusti delcev PM₁₀ po sektorjih v Sloveniji.

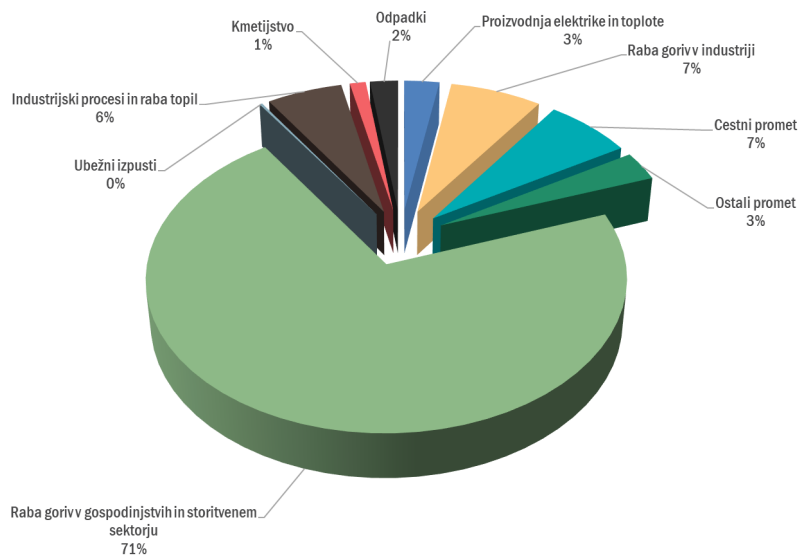


Slika 4.2: Izpusti delcev PM₁₀ po sektorjih v Sloveniji v letu 2022.

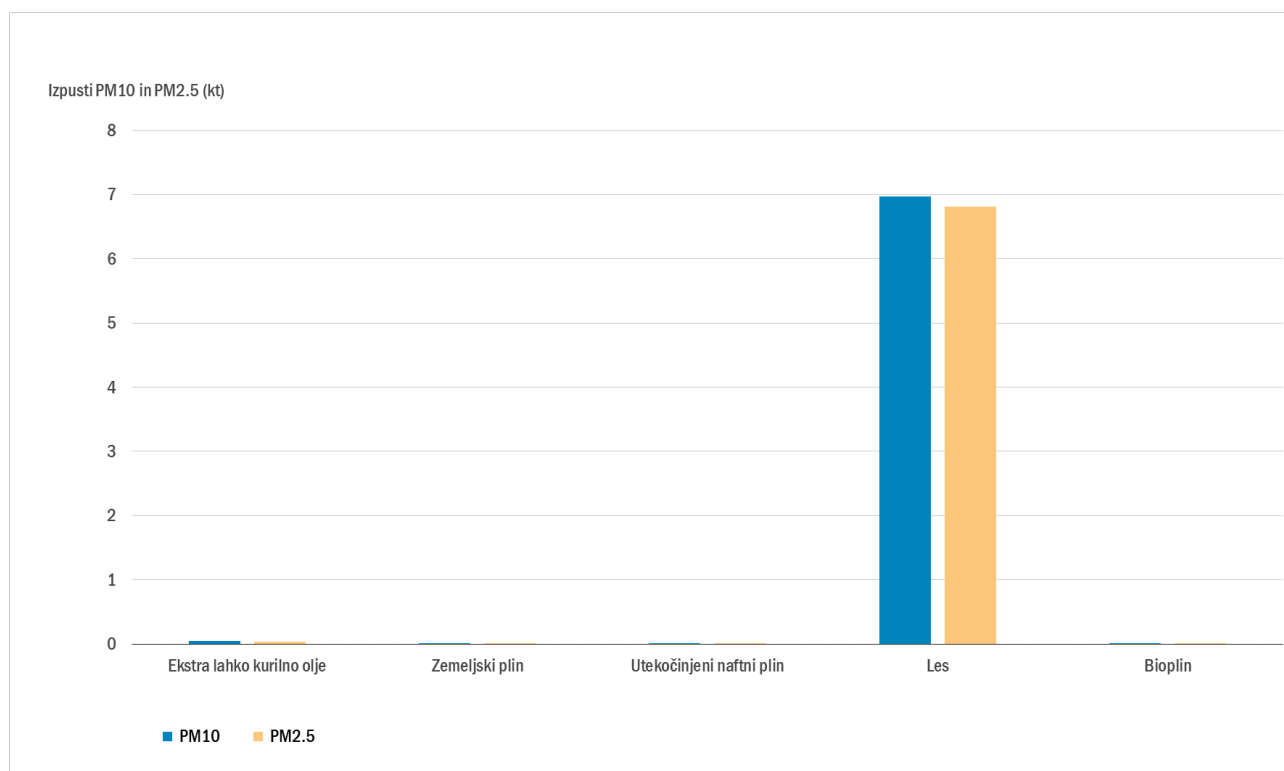
Izpusti PM_{2.5} (kt)



Slika 4.3: Letni izpusti delcev PM_{2.5} po sektorjih v Sloveniji.



Slika 4.4: Izpusti delcev PM_{2.5} po sektorjih v Sloveniji v letu 2022.



Slika 4.5: Izpusti delcev PM₁₀ in PM_{2,5} iz malih kurilnih naprav glede na vrsto uporabljenega goriva v letu 2022.

4.2 Zahteve za kakovost zraka

Mejne vrednosti za delce so predpisane v Uredbi o kakovosti zunanjega zraka [5]. Prikazane so v tabeli 4.1. Za delce PM₁₀ sta predpisani dnevna in letna mejna vrednost. Dnevna mejna vrednost, ki znaša 50 µg/m³, ne sme biti presežena več kot 35-krat v koledarskem letu. Letna mejna vrednost za delce PM₁₀ je 40 µg/m³, za delce PM_{2,5} pa 20 µg/m³ od leta 2020 naprej (tabeli 4.1 in 4.2).

Tabela 4.1: Mejne in ciljne vrednosti za PM₁₀ in PM_{2,5}

	Čas merjenja	Vrednost	Komentar
PM ₁₀ , mejna vrednost	1 dan	50 µg/m ³	Največ 35 preseganj v koledarskem letu.
PM ₁₀ , mejna vrednost	Koledarsko leto	40 µg/m ³	Datum, do katerega je bilo treba doseči mejno vrednost, je 1.1.2005.
PM _{2,5} , sedaj veljavna mejna vrednost	Koledarsko leto	20 µg/m ³	Datum, do katerega je bilo treba doseči mejno vrednost, je 1.1.2020.
PM _{2,5} , obveznost glede stopnje izpostavljenosti	Triletno povprečje	20 µg/m ³	Datum, do katerega je bilo treba doseči mejno vrednost, je 1.1.2015.

Tabela 4.2: Mejna vrednost za delce PM_{2,5} (µg/m³) po letih.

2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
30	29	29	28	27	26	26	25	25	25	25	25	20	20	20	20

Kazalnik povprečne izpostavljenosti KPI za PM_{2,5}, izražen v µg/m³, temelji na meritvah na mestih v neizpostavljenem mestnem okolju, ki pokrivajo območja mestnih občin z več kot 100.000 prebivalci. Mesta v neizpostavljenem mestnem okolju so merilna mesta na lokacijah, na katerih so ravni

reprezentativne za izpostavljenost mestnega prebivalstva in nanje praviloma ne vpliva samo en vir onesnaženja. KPI je potrebno oceniti kot drseče povprečje srednjih vrednosti letnih ravni v treh zaporednih koledarskih letih na relevantnih vzorčevalnih mestih. KPI za leto 2023 je triletno drseče povprečje vrednosti ravni skupaj na vseh teh vzorčevalnih mestih za leta 2021, 2022 in 2023. Predpisana stopnja izpostavljenosti znaša od leta 2015 dalje $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (tabela 4.2). KPI uporabljamo za preverjanje doseganja ciljnega zmanjšanja izpostavljenosti na nacionalni ravni.

4.3 Ravni onesnaženosti

Onesnaženost zraka z delci PM_{10} v letu 2023 ostaja na podobni ravni kot v preteklih letih. Ravni delcev PM_{10} na nobenem merilnem mestu niso presegle dovoljenega števila preseganj (35) dnevne mejne vrednosti za delce PM_{10} ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Največje število preseganj, 33, je bilo zabeleženih na prometnem merilnem mestu Murska Sobota Cankarjeva. Letna mejna vrednost za delce PM_{10} , ki znaša $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ v letu 2023 ni bila presežena na nobenem merilnem mestu. Najvišja povprečna letna vrednost, $27 \mu\text{g}/\text{m}^3$, je bila zabeležena na prometnem merilnem mestu Ljubljana Center, kjer se ostalim izpustom pridružijo še sveži izpusti iz prometa. Pregled izmerjenih ravni delcev PM_{10} v letu 2023 je prikazan v tabelah 4.3, 4.4 in 4.5 ter na slikah 4.6 in 4.8.

Kljub temu, da so bile ravni delcev PM_{10} nižje od predpisanih, pa občasno, predvsem ob neugodnih vremenskih razmerah, še vedno izmerimo visoke ravni delcev. Večina preseganj v letu 2023 je bila zabeležena v februarju in decembru (tabela 4.5), ko so bili pogosti temperaturni obrati, ki onemogočajo razredčevanje izpustov iz malih kurilnih naprav in prometa, ki sta največja vira delcev PM_{10} . V podpoglavju Epizode čezmerne onesnaženosti so podrobno opisana obdobja, ko so bile ravni delcev PM_{10} v letu 2023 povišane.

V letu 2023 so potekale meritve kakovosti zraka v Občini Ilirska Bistrica. Meritve so potekale na dveh merilnih mestih. V Rečici pri Ilirski Bistrici je bila postavljena mini postaja, kjer so potekale meritve delcev PM_{10} in $\text{PM}_{2,5}$ z avtomatskim merilnikom. Merilno mesto je bilo postavljeno v bližini tovarne Lesonit. Na drugem merilnem mestu v centru Ilirske Bistrice, ob Gregorčičevi cesti, je bil postavljen vzorčevalnik delcev PM_{10} Digitel. Ta vzorčevalnik ni avtomatski, ampak se delci PM_{10} 24 ur zbirajo na filtru. Po vzorčenju filtrov se določi dnevna raven delcev PM_{10} , nato se je naredila še kemijska analiza delcev PM_{10} . Vse rezultate kemijske analize (kovine, kationi, anioni, PAH-i, elementni in organski ogljik ter levoglukozan) smo na koncu enoletnega vzorčenja obdelali z receptorskim modelom PMF in določili emisijske vire delcev PM_{10} . V tem poročilu so predstavljene tudi nekatere letne statistike iz obeh merilnih mest. Vsi rezultati in zaključki enoletnih meritev pa so predstavljeni v posebnem poročilu.

Podatki na vseh merilnih mestih DMKZ, razen na Ptuj, v Murski Soboti Cankarjeva in Ilirski Bistrici Rečica, so podani iz referenčnega merilnika. Poleg referenčnih meritev delcev PM_{10} na vseh merilnih mestih DMKZ, razen v Velenju, Žerjavu in v Novi Gorici ob Vojkovi cesti, delce merimo tudi z avtomatskimi merilniki. Sprotni urni podatki iz avtomatskih merilnikov so na voljo vsako uro na spletni strani Agencije. V mesecu maju 2023 je Občina Miklavž na Dravskem polju prenehala z meritvami delcev PM_{10} .

Povprečni dnevni hodi ravni PM_{10} v kurilni sezoni za merilna mesta Ljubljana Bežigrad, Zagorje,

Tabela 4.3: Razpoložljivost podatkov (% pod), povprečne letne (C_p) in maksimalne dnevne (max) ravni ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ter število preseganj mejne vrednosti (>MV) za delce PM_{10} na merilnih mestih v Sloveniji v letu 2023.

Merilna mreža	Merilno mesto	Leto		Dan	
		%pod	C_p	max	>MV
DMKZ	CE bolnica	100	21	77	12
	CE Ljubljanska	100	20	67	8
	Hrastnik	100	17	55	1
	IB Gregorčičeva	95	21	66	6
	IB Rečica	99	16	58	3
	Iskrba	98	10	38	0
	Koper	99	17	75	12
	Kranj	100	19	63	6
	LJ Bežigrad	99	20	72	14
	LJ Celovška	100	21	73	16
	LJ Vič	96	19	69	10
	MB Titova	97	20	51	1
	MB Vrbanski	95	14	39	0
	MS Cankarjeva*	89	26	87	33
	MS Rakičan	100	19	60	6
	NG Grčna	99	19	79	13
	NG Vojkova	100	22	87	15
	Novo mesto	100	17	50	0
	Ptuj	100	20	68	8
	Trbovlje	100	17	65	7
Velenje	100	14	46	0	
Zagorje	99	19	58	5	
Zerjav	97	22	78	8	
TE Šostanj	Pesje	100	14	48	0
	Škale	100	11	39	0
	Šoštanj	100	15	40	0
	Mobilna TEŠ	100	13	41	0
OMS-MOL	LJ Center	96	27	84	22
TE-TOL	Zadobrova	97	25	67	9
Občina Medvode	Medvode	99	19	52	4
MO Maribor	MB Tezno	100	19	55	4
	Radvanje	98	15	39	0
	Pobrežje	98	19	48	0
Občina Miklavž na Dravskem polju	Miklavž*	33	25	66	7
MO Ptuj	Spuhlja	100	23	79	19
Občina Ruše	Ruše	99	15	41	0
Salonit Anhovo	Morsko	100	14	72	6
	Gorenje polje	98	16	77	11

* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.

Maribor Titova in Koper so prikazani na sliki 4.7. Na vseh lokacijah sta opazna jutranji in večerni maksimum. Bolj izrazit je večerni maksimum, ko se prometni konici pridružijo še izpusti zaradi ogrevanja, hkrati pa je v večernem času pogosto prisoten tudi temperaturni obrat, ki zmanjšuje sposobnost redčenja onesnaženega zraka.

V tabelah 4.6 in 4.7 ter na slikah 4.9 in 4.10 so prikazani trendi onesnaženosti v obdobju med 2002 in 2023. Medletna nihanja ravni PM₁₀ so predvsem posledica različnih meteoroloških razmer v posameznem letu. Kljub temu je v obdobju od leta 2005 naprej, predvsem na urbanih lokacijah, opazen trend zmanjševanja ravni delcev. Na kmetijsko podeželskih merilnih mestih ni opaznega večjega trenda zmanjševanja. V Žerjavu smo zabeležili veliko znižanje ravni delcev in preseganj mejne dnevne vrednosti v letu 2014. Razlog je v prestavitvi vzorčevalnika sredi leta 2013 izven neposrednega vpliva izpusta iz dimnika bližnje hiše.

Tabela 4.4: Povprečna mesečna raven PM₁₀ (µg/m³) v letu 2023.

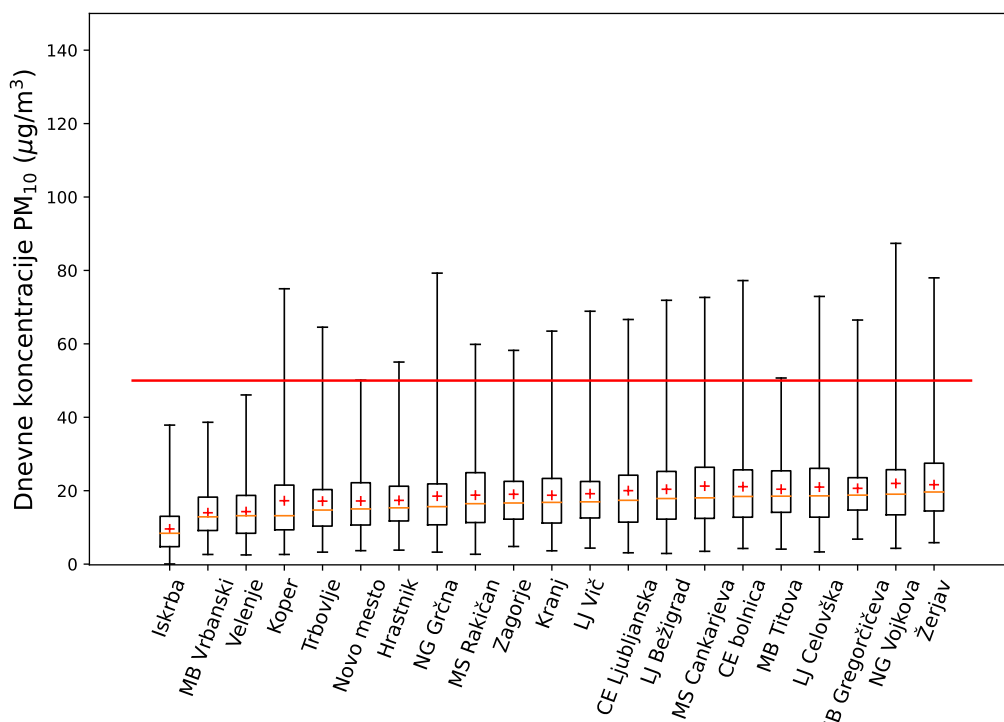
Merilna mreža	Merilno mesto	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
DMKZ	CE bolnica	25	40	25	15	17	19	15	16	18	17	20	28
	CE Ljubljanska	25	38	25	15	15	16	12	14	17	16	20	28
	Hrastnik	16	31	20	12	14	16	14	16	17	16	15	21
	IB Gregorčičeva	18*	34	19	16	18	20	19	17	20	19	20	27
	IB Rečica	10*	28	13	13	15	18	14	14	16	15	10	16
	Iskrba	5	9	7	6	10	14	15	14	14	12	4	5
	Koper	19	36	14	11	13	15	16	15	17	20	13	20
	Kranj	24	36	22	12	13	14	13	15	16	17	19	26
	LJ Bežigrad	19	39	21	13	14	17	16	18	19	19	21	29
	LJ Celovška	23	41	23	14	15	17	14	17	19	19	21	30
	LJ Vič	21	37	20	14	16	17	14	16	16	16	20	26
	MB Titova	21	30	24	15	20	21	18	17	21	20	18	22
	MB Vrbanski	15	20	16	10	13	14	13	12	16	15	12	13
	MS Cankarjeva	36	46	29	15	15	17	14	16	20	20	27	44
	MS Rakičan	20	30	20	13	13	17	14	14	18	17	19	31
	NG Grčna	20	39	19	12	11	14	14	14	17	19	17	29
	NG Vojkova	25	43	22	15	14	17	16	17	20	23	21	32
	Novo mesto	22	30	18	12	12	14	13	14	15	15	18	24
	Ptuj	21	37	22	15	18	22	14	16	18	17	17	27
	Trbovlje	19	35	19	11	13	14	12	13	14	14	17	26
Velenje	13	26	17	9	12	14	11	14	15	15	11	15	
Zagorje	22	36	20	13	14	16	14	16	17	16	19	26	
Žerjav	22	25	22	15	18	20	15	37	24	21	20	24	
TE Šostanj	Pesje	13	26	17	11	13	15	11	14	16	15	11	14
	Škale	13	22	13	9	10	11	8	10	10	8	8	11
	Šoštanj	14	24	17	12	15	17	11	15	18	14	12	17
	Mobilna TEŠ	15	25	16	9	11	12	8	12	13	11	10	15
OMS MOL	LJ Center	26	45	32	19	20	22	18	22	24	24	28	38
TE-TOL	Zadobrova	23	31	28	18	22	26	25	28	23	24	27	26
Občina Medvode	Medvode	25	36	21	13	13	12	9	15	16	17	20	28
MO Maribor	MB Tezno	22	32	21	13	15	17	14	15	17	18	19	29
	Pobrežje	20	29	21	13	15	18	15	16	19	19	18	22
	Radvanje	16	24	18	11	14	16	12	14	15	15	14	17
Občina Miklavž na Dravskem p.	Miklavž	26	37	22	14	/	/	/	/	/	/	/	/
MO Ptuj	Spuhlja	26	44	27	17	17	19	15	17	17	18	21	34
Občina Ruše	Ruše	17	20	17	11	13	15	12	13	14	17	14	13
Salonit Anhovo	Morsko	15	30	14	9	9	13	12	12	13	14	10	20
	Gorenje polje	18	35	19	11	12	14	12	12	16	17	12	21

* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.

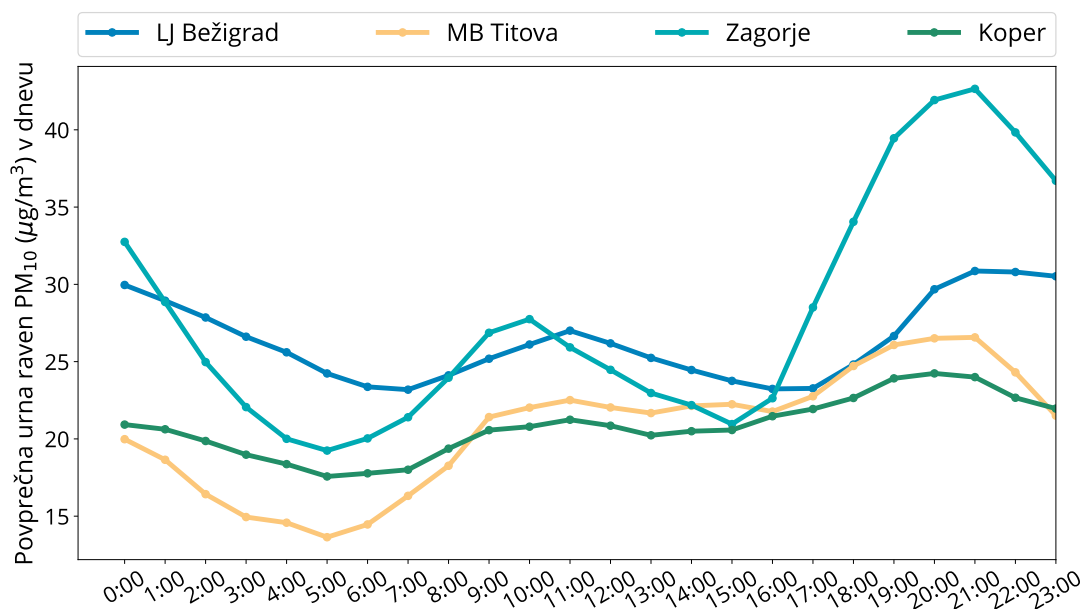
Tabela 4.5: Število preseganj dnevne mejne vrednosti PM₁₀ po mesecih v letu 2023.

Merilna mreža	Merilno mesto	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
DMKZ	CE bolnica	1	9	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
	CE Ljubljanska	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	Hrastnik	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	IB Gregorčičeva	1*	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
	IB Rečica	1*	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Iskrba	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Koper	2	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Kranj	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	LJ Bežigrad	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	LJ Celovška	2	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	LJ Vič	1	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	MB Titova	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	MB Vrbanski	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	MS Cankarjeva	5	12	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2
	MS Rakičan	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	NG Grčna	1	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	NG Vojkova	2	11	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
	Novo mesto	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Ptuj	0	5	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
	Trbovlje	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Velenje	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Zagorje	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Žerjav	0	0	0	0	0	0	0	0	6	2	0	0	
TE Šostanj	Pesje	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Škale	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Šoštanj	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Mobilna TEŠ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
OMS MOL	LJ Center	2	11	2	0	0	0	0	0	0	0	2	5
TE-TOL	Zadobrova	1	1	0	0	0	3	0	0	0	0	2	2
Občina Medvode	Medvode	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
MO Maribor	MB Tezno	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Pobrežje	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Radvanje	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Občina Miklavž na Dravskem p.	Miklavž	0	7	0	0	/	/	/	/	/	/	/	/
MO Ptuj	Spuhlja	0	12	2	0	0	0	0	0	0	0	0	5
Občina Ruše	Ruše	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Salonit Anhovo	Morsko	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Gorenje polje	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2

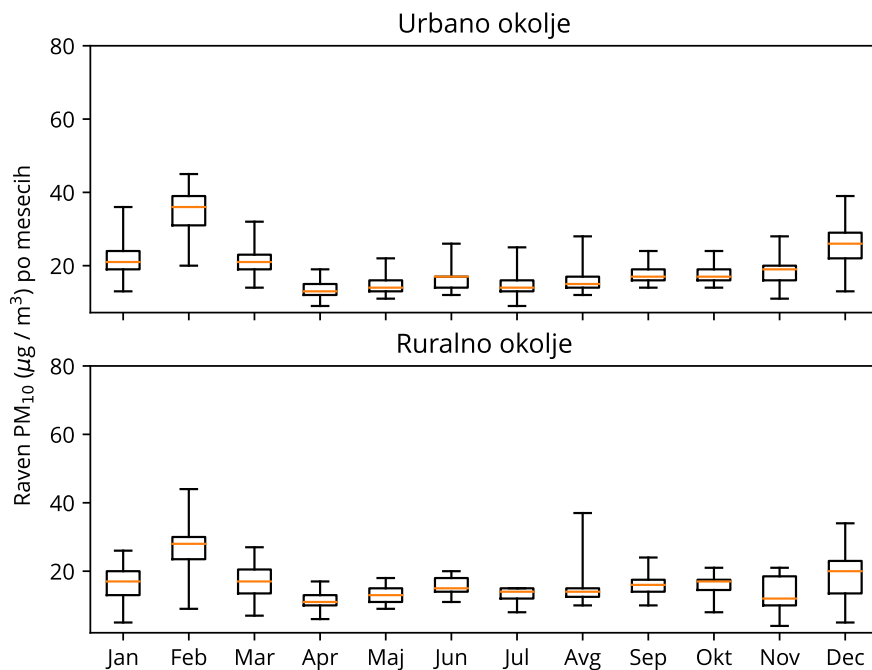
* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.



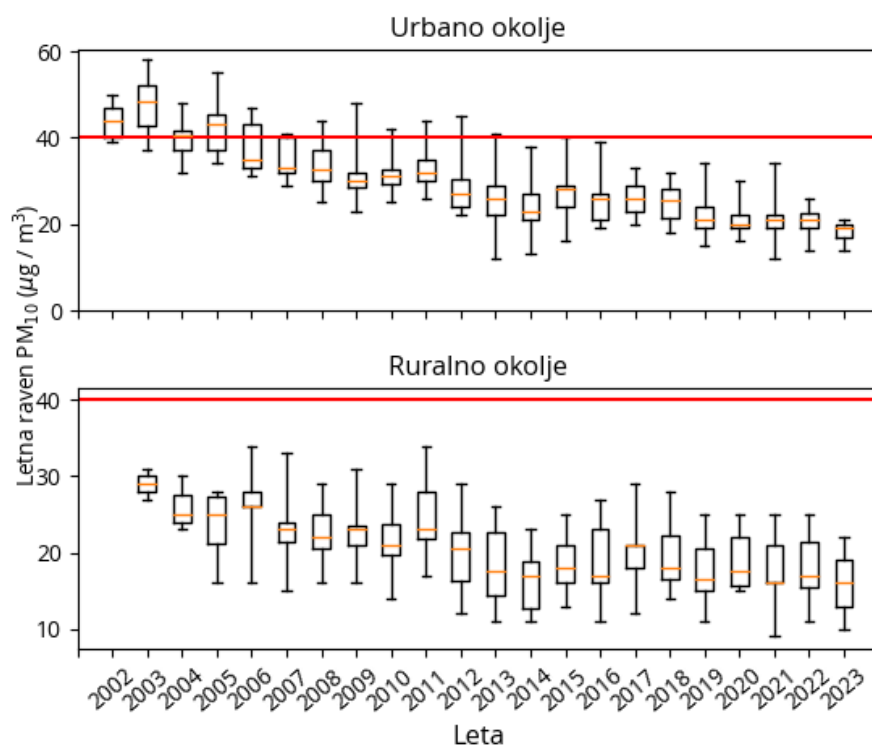
Slika 4.6: Dnevne vrednosti PM_{10} izmerjene z referenčnimi merilniki na merilnih mestih DMKZ v letu 2023. Prikazani so najvišja in najnižja izmerjena raven (spodnja in zgornja vodoravna črtica), oba kvartila (vrh in dno pravokotnika) in mediana (rdeča vodoravna črtica v pravokotniku). S + označujemo povprečno letno raven. Rdeča črta prikazuje dnevno mejno vrednost.



Slika 4.7: Dnevni potek povprečne urne ravni PM_{10} na izbranih merilnih mestih v kurilni sezoni leta 2023 (januar do marec in oktober do december).



Slika 4.8: Povprečna mesečna raven PM₁₀ na urbanih in ruralnih merilnih mestih v letu 2023. Prikazano je najnižje in najvišje mesečno povprečje na merilnih mestih (spodnja in zgornja vodoravna črtica), oba kvartila (vrh in dno pravokotnika) in mediana (rdeča vodoravna črtica v pravokotniku).



Slika 4.9: Povprečna letna raven PM₁₀ na merilnih mestih urbanega in ruralnega okolja. Prikazano je najnižje in najvišje letno povprečje na skupini merilnih mest (spodnja in zgornja vodoravna črtica), oba kvartila (vrh in dno pravokotnika) in mediana (rdeča vodoravna črtica v pravokotniku). Rdeča črta prikazuje letno mejno vrednost.

Tabela 4.6: Povprečne letne ravni PM₁₀ (µg/m³). Vrednosti, ki presegajo letno mejno vrednost, so napisane s krepko pisavo.

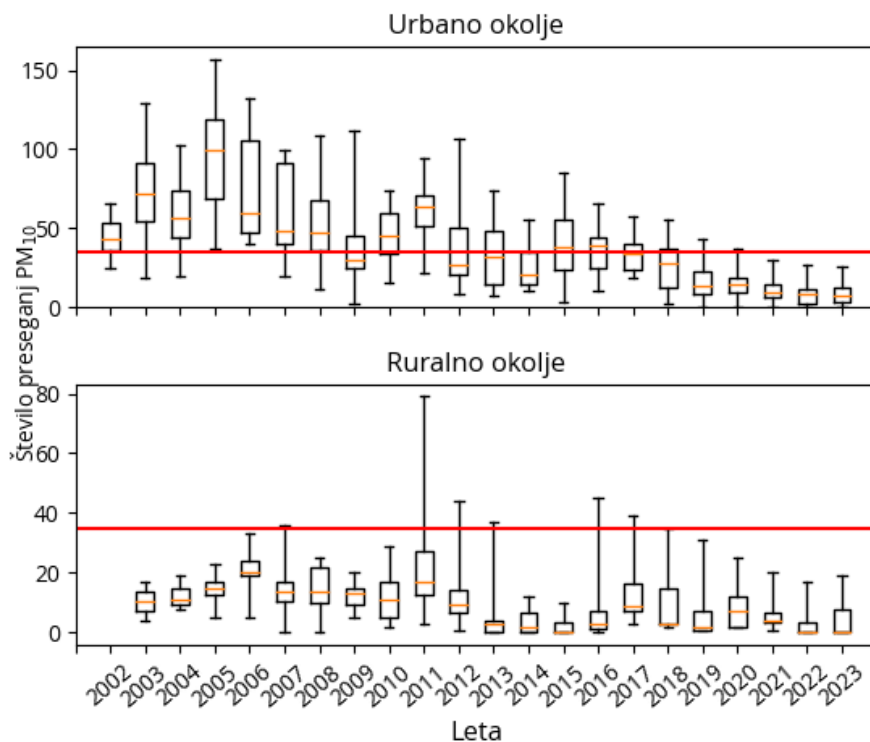
Merilno mesto	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	
CE bolnica	46	53	41	43	35	32	30	31	32	35	31	29	28	32	32	30	28	26	21	24	24	21	
CE Ljubljanska	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	21*	23	20
Gorenje Polje	/	/	/	/	/	24	26	23	20	23	21	18	17	20	17	19	17	17	18	16	16	17	16
Hrastnik	/	/	/	/	/	/	/	/	27	30	24	23	21	24	22	23	22	20	18	19	19	19	17
Iskrba	/	/	/	16	16	15	16	16	14	17	15	13	11	13	11	12	14	11	9*	9	11	10	10
Koper	/	/	/	/	31	29	25	23	25	27	24	20	19	23	19	20	18	17	19	16	12	17	17
Kranj	/	/	/	/	/	/	/	/	32	30	26	25	22	26	23	26	22	19	19	20	20	19	19
LJ Bežigrad	42	46	41	37	33	32	30	29	30	32	26	24	23	28	24	25	27	21	22	21	21	21	20
LJ Celovška	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	19*	22	22	22	21
LJ Center	/	/	/	/	/	/	44	48	42	44	45	41	38	40	40	33	35	34	30	29	26	27	27
LJ Vič	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	21*	21	21	19
MB Tezno	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	20	21	21	19
MB Titova	50	58	48	43	43	40	34	30	33	34	30	30	27	28	27	28	28	23	22	22	22	23	20
MB Vrbsanski	/	/	/	/	/	/	/	/	/	26	24	20	19	21	20	20	21	18	16	16	16	16	14
Medvode	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	20	15	17	19	22	19	19
Miklavž	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	27	29	28	25	22	23	22	22	25*
Morsko	/	/	/	/	/	23	22	20	19	21	20	16	15	18	16	18	15	15	15	14	15	14	14
MS Cankarjeva	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	30	26	24	25	28	26	26
MS Rakičan	40	43	32	37	34	30	30	29	30	33	29	28	25	29	26	29	26	21	21	21	21	21	19
NG Grčna	39	37	35	34	32	33	31	28	29	27	24	22	21	24	21	23	20	20	20	20	17	19	19
NG Vojkova	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	25	24	23	22	21	24	22	22
Novo mesto	/	/	/	/	/	/	/	/	31	32	28	27	23	28	26	27	26	21	19	19	19	19	17
Pesje	/	31	25	27	28	21	20	22	22	22	20	23	23	24	23	24	19	16	15	16	16	16	14
Ptuj	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	26	25	22	20	21	22	20	20
Ruše	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	21	22	22	18	16	17	15	15
Spuhlja	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	25	25	25	23	23
Škale	/	27	23	23	26	24	22	24	23	23	22	17	17	17	16	17	17	15	16	17	15	11	11
Šoštanj	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	12	13	16	19	20	21	18	18	16	14	15	15
Trbovje park	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	18*	19	17	17
Velenje	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	22	21	20	22	19	21	19	17	16	15	16	14	14
Zagorje	47	51	44	52	46	41	44	36	36	37	32	29	28	32	29	29	32	25	23	22	21	19	19
Žerjav	/	/	/	/	/	/	/	/	26	34	29	26	21	25	23	21	23	20	22	21	21	21	22
CE Gaji	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	26	29	35	27	25	29	24	22	21*	21*	21	22
CE Mariborska	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	33	31	29	26	34*	34*	34*	34*
Dobovec	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	12	11	11	12*	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Grosuplje	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	28	26	26	26	26
Kovk	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	15	14	12	13*	/	/	/	/	/	/	/	/	/
LJ Biotehniška	/	/	/	/	/	/	/	26	27	30	27	26	22	27	27	25	21	19	19	24*	24*	24*	24*
LJ Gospodarsko	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	29	24	24	56*	56*	56*	56*	56*
MB Tabor	40	42	38	43	47	40	35	30	31	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Prapretno	/	/	30	28	34	33	29	31	29	34	28	22	19	21	18	/	/	/	/	/	/	/	/
Trbovje Nasipi	47	52	40	55	40	37	38	33	34	35	32	30	27	29	26	29	27	22	21	22*	22*	22*	22*
Vnainjarje	/	/	/	/	26	22	/	23	20	26	23	24	18	16	17	21	/	/	/	/	/	/	/

* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.

Tabela 4.7: Letno število preseganj dnevne mejne vrednosti PM₁₀ po letih. Število preseganj, ki je večje od dopustnega, je napisano s krepko pisavo.

Merilno mesto	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
CE bolnica	58	100	62	97	59	48	37	42	58	73	55	51	41	70	53	49	35	23	23	18	13	12
CE Ljubljanska	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	9*	13	8
Gorenje Polje	/	/	/	/	/	16	24	16	13	18	11	5	11	10	3	7	3	7	9	7	2	11
Hrastnik	/	/	/	/	/	/	/	/	30	51	17	15	10	22	25	19	11	9	7	8	1	1
Iskrba	/	/	/	5	5	0	0	5	5	3	1	0	0	0	0	3	2	2	0	1	0	0
Koper	/	/	/	/	40	19	11	2	15	21	23	10	16	28	11	18	4	8	17	8	12	12
Kranj	/	/	/	/	/	/	/	/	37	55	27	28	12	17	27	28	13	8	6	5	6	6
LJ Bežigrad	36	64	71	70	47	46	36	30	43	63	27	22	19	43	36	30	28	16	18	12	11	14
LJ Celovška	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	3*	15	11	16
LJ Center	/	/	/	/	/	/	101	112	74	94	107	74	55	85	66	51	51	37	37	30	27	22
LJ Vič	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	8*	11	11
MB Tezno	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	9	11	4	4
MB Titova	66	129	102	101	108	91	54	35	47	64	34	36	25	34	43	35	30	13	15	13	3	1
MB Vrbanški	/	/	/	/	/	/	/	/	/	25	8	7	10	3	21	21	12	0	3	4	0	0
Medvode	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	7	2	2	9	5	4	4
Miklavž	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	45	39	35	31	24	18	8	7*
Morsko	/	/	/	/	/	18	16	14	5	13	10	3	8	7	6	6	3	5	7	4	0	6
MS Cankarjeva	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	46	28	19	29	39	33
MS Rakičan	33	58	19	65	54	37	42	30	52	71	44	38	33	47	42	44	34	14	11	14	10	6
NG Grčna	24	18	33	37	47	40	33	24	25	28	19	12	19	24	15	24	6	10	14	6	9	13
NG Vojkova	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	21	5	10	16	12	10	15
Novo mesto	/	/	/	/	/	/	/	/	60	69	45	49	22	40	41	33	31	10	10	3	0	0
Pesje	/	17	11	23	24	14	9	12	10	16	2	6	12	9	8	20	3	1	2	4	0	0
Ptuj	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	38	25	15	14	13	9	8
Ruše	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	17	15	11	12	3	0	0
Spuhija	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	25	20	17	19
Škale	/	4	8	15	19	11	12	13	12	20	9	0	5	0	1	9	3	1	2	4	0	0
Šoštanj	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	0	0	0	3	14	4	1	2	2	0	0
Trbovije park	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	5*	8	7
Velenje	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	11	8	15	9	10	19	2	2	0	5	0	0
Zagorje	48	79	82	143	106	99	109	56	68	75	62	48	38	70	51	46	55	28	24	14	11	5
Žerjav	/	/	/	/	/	/	/	/	29	79	44	37	3	6	19	9	5	1	5	6	2	8
CE Gaji	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	35	41	76	45	39	43	25	17	6*	/	/
CE Mariborska	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	57	45	43	34	16*	/	/
Dobovec	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	1	0	0	/	/	/	/	/	/	/	/
Grosuplje	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	32	22	/	/
LJ Biotehniška	/	/	/	/	/	/	/	25	32	51	21	24	12	35	40	32	16	8	12	4*	/	/
LJ Gospodarsko	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	39	20	21	16*	/	/
Kovk	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	1	0	0	0	/	/	/	/	/	/	/	/
MB Tabor	38	42	51	111	132	94	52	24	38	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Prapretno	/	/	19	15	33	36	25	20	29	49	25	3	2	0	1	/	/	/	/	/	/	/
Trbovije Nasipi	52	88	48	157	86	81	72	48	64	68	65	50	33	50	38	39	37	16	18	5*	/	/
Vnainarje	/	/	/	/	20	10	7	2	2	12	8	3	0	1	2	8	/	/	/	/	/	/

* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.



Slika 4.10: Število preseganj PM₁₀ po letih. Prikazano je najnižje in najvišje število preseganj na skupini merilnih mest (spodnja in zgornja vodoravna črtica), oba kvartila (vrh in dno pravokotnika) in mediana (rdeča vodoravna črtica v pravokotniku). Rdeča črta prikazuje dovoljeno letno število preseganj dnevne mejne vrednosti.

Letna mejna vrednost 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ za PM_{2,5} v letu 2023 ni bila presežena na nobenem merilnem mestu. Najvišja povprečna letna vrednost PM_{2,5} je bila v letu 2023 izmerjena na prometnem merilnem mestu v Murski Soboti ob Cankarjevi cesti in je znašala 19 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Pregled izmerjenih vrednosti z referenčnimi merilniki za delce PM_{2,5} v letu 2023 je prikazan v tabeli 4.8 ter na sliki 4.11. Letni trendi ravni delcev PM_{2,5}, ki so prikazani v tabeli 4.10, kažejo, da nivo onesnaženosti ostaja približno enak. V preteklih nekaj letih smo avtomatske merilnike delcev zamenjali z novimi, ki poleg ravni PM₁₀ merijo tudi PM_{2,5}. V tabeli 4.9 so prikazani podatki ravni PM_{2,5} iz avtomatskih merilnikov za leto 2023.

Kazalnik povprečne izpostavljenosti KPI za PM_{2,5} je leta 2023 za Slovenijo znašal 14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Obveznost glede stopnje izpostavljenosti za leto 2023 znaša 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ in za Slovenijo ni bila presežena. V tabeli 4.11 je prikazan KPI po letih. KPI je izračunan kot triletno povprečje letnega povprečja PM_{2,5} iz vseh ustreznih merilnih mest. Za izračun KPI se upoštevajo letna povprečja PM_{2,5} z merilnih mest tipa mestno ozadje, ki pokrivajo območja mestnih občin z več kot 100.000 prebivalci. V Sloveniji sta takšni občini le dve in sicer Ljubljana in Maribor. Za izračun smo za Ljubljano do vključno leta 2017 vzeli podatke z merilnega mesta Biotehniška, od leta 2018 pa z merilnega mesta Bežigrad. V Mariboru pa smo za izračun za vsa leta vzeli podatke z merilnega mesta Vrbanski plato. Za leto 2010 je KPI izračunan le iz dveh let 2009 in 2010, ker pred letom 2009 nismo izvajali meritev PM_{2,5}.

Tabela 4.8: Razpoložljivost podatkov (% pod), povprečne letne ravni (C_p) ter najvišje dnevne ravni (C_{max}) $PM_{2,5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), izmerjene z referenčnimi merilniki na merilnih mestih v letu 2023.

	% pod	C_p	C_{max}
CE bolnica	100	14	54
Iskrba	98	7	20
LJ Bežigrad	99	13	52
MB Vrbanski	98	10	37
NG Grčna	100	12	68

* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.

Tabela 4.9: Razpoložljivost podatkov (% pod) in povprečne letne ravni (C_p) $PM_{2,5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) na merilnih mestih v letu 2023 izmerjene z avtomatskimi merilniki.

Merilna Mreža	Merilno mesto	Leto %pod	Dan C_p
DMKZ	CE Ljubljanska	100	16
	Hrastnik	100	13
	IB Rečica	99	10
	Koper	99	13
	Kranj	100	16
	LJ Celovška	100	16
	LJ Vič	100	15
	MB Titova	96	12
	MS Cankarjeva*	89	19
	MS Rakičan	100	15
	Novo mesto	100	17
	Ptuj	100	14
	Trbovlje	100	15
Zagorje	100	16	
TE Šostanj	Pesje	100	10
	Škale	100	9
	Šoštanj	100	9
	Mobilna TEŠ	100	9
OMS MOL	LJ Center	95	18

* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.

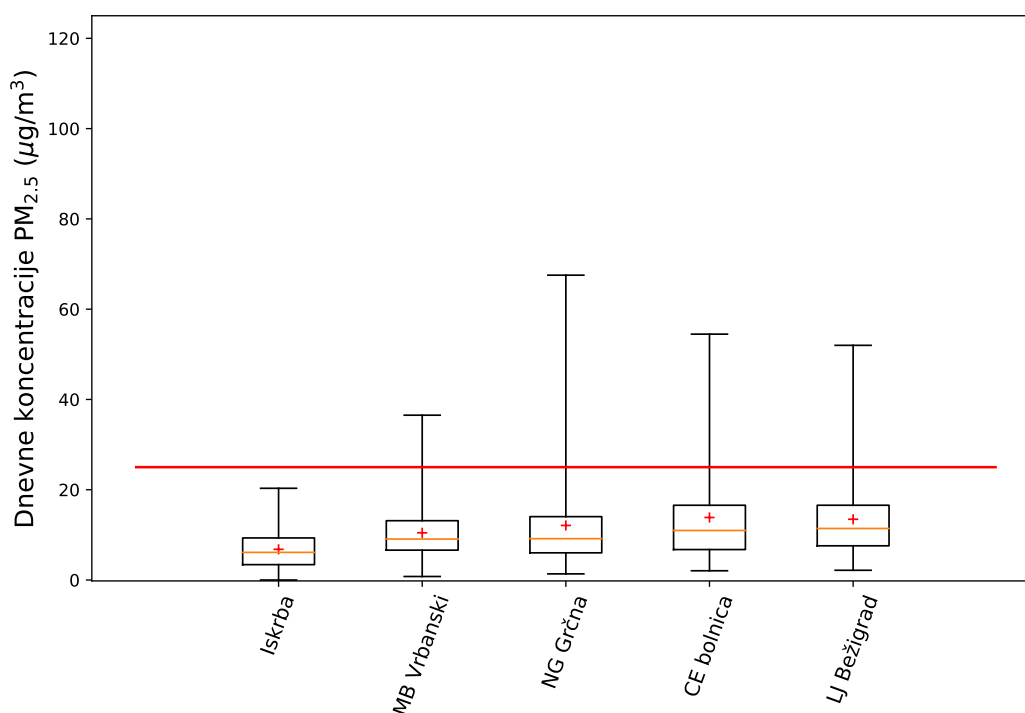
Tabela 4.10: Povprečna letna raven delcev PM_{2,5} (µg/m³) na izbranih merilnih mestih po letih.

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
CE bolnica	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	17	16	16	14
Iskrba	10	11	12	12	14	13	11	9	10	9	10	11	8	7*	7	9	7
LJ Bežigrad	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	19	16	16	15	14	13
LJ Biotehniška	/	/	18	22	25	21	20	18	23	23	20	/	/	/	/	/	/
MB Titova	/	/	22	24	26	21	22	19	21	21	20	/	/	/	/	/	/
MB Vrbanski	/	/	20	22	23	18	20	17	19	19	18	17	13	12	12	12	10
NG Grčna	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	14	13	14	12	13	12

* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.

Tabela 4.11: Kazalnik povprečne izpostavljenosti PM_{2,5} (µg/m³) za Slovenijo.

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Slovenija	21	22	22	21	19	20	20	20	19	17	16	14	14	14



Slika 4.11: Dnevne vrednosti PM_{2,5} na merilnih mestih v letu 2023. Prikazane so najnižja in najvišja izmerjena vrednost (spodnja in zgornja vodoravna črtica), oba kvartila (vrh in dno pravokotnika) in mediana (rdeča vodoravna črtica v pravokotniku). S križcem je označena povprečna letna raven, ki jo lahko primerjamo z letno mejno vrednostjo, ki je prikazana z rdečo črto.

4.4 Epizode čezmerne onesnaženosti

Kot že omenjeno, v letu 2023 na nobenem merilnem mestu ni bilo zabeleženih več preseganj mejne dnevne vrednosti delcev PM₁₀ od dovoljenega števila (35). Prav tako ni bila nikjer presežena letna mejna vrednost 40 µg/m³. Kljub temu pa občasno, zlasti ob neugodnih vremenskih razmerah, še vedno beležimo visoke ravni delcev. Večina preseganj mejne dnevne vrednosti delcev PM₁₀ v letu 2023 se je zgodila februarja in decembra. Delci v zraku izvirajo iz lokalnih virov in vplivajo na bližnjo okolico, lahko pa se s premikanjem zračnih mas razširijo tudi na velike razdalje, kar pomeni, da njihov vpliv sega daleč od prvotnih virov onesnaženja.

Na kakovost zraka poleg izpustov močno vplivajo tudi vremenske in geografske razmere, ki določajo, kako učinkovito se onesnaževala redčijo v ozračju. V preteklih letih je bil januar običajno najbolj onesnažen mesec z delci PM_{10} . V letu 2023 so bile ravni delcev januarja zaradi pogostih padavin bistveno nižje kot v prejšnjih letih. Na merilnem mestu Celje bolnica so v januarju 2023 zabeležili le eno preseganje mejne dnevne vrednosti PM_{10} , medtem ko je bilo v letu 2020 teh preseganj kar 17, v letu 2017 pa celo 22. Na Primorskem so se v prvih dneh leta 2023 ravni delcev močno povišale zaradi prenosa onesnaženega zraka iz zelo obremenjene Padske nižine.

Februarja je prišlo do porasta števila preseganj mejne vrednosti delcev PM_{10} v primerjavi z januarjem. Na več merilnih mestih je bila mejna dnevna vrednost $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ presežena več kot 10-krat, največ, kar 12-krat, na prometih merilnih mestih Murska Sobota Cankarjeva in Spuhlja pri Ptujju. Najvišja dnevna vrednost PM_{10} je v februarju znašala $87 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in je bila izmerjena 10. februarja v Murski Soboti na Cankarjevi ulici ter 17. februarja v Novi Gorici na Vojkovi cesti. Obe merilni mesti sta prometnega tipa, kjer se k drugim izpustom pridružijo še izpusti iz prometa. Je bilo pa v februarju kar nekaj merilnih mest, kjer do preseganj mejne dnevne vrednosti sploh ni prišlo: Maribor Vrbanski plato, Novo mesto, Velenje in Zagorje. Ta porazdelitvena pestrost onesnaženosti zraka v Sloveniji je neposreden odraz razgibanega vremena znotraj te majhne regije na južni strani Alp.

V mesecu februarju smo imeli tri obdobja s povišanimi ravnmi delcev PM_{10} . Prvo obdobje, ki je trajalo le prve tri dni februarja, je bilo zaznamovano z vplivom Padske nižine. V Novi Gorici in Kopru je bila v tem času mejna dnevna vrednost $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ presežena vsak dan. Do preseganja je v prvih dveh dneh meseca prišlo tudi v Ilirski Bistrici. Na začetku obdobja so bile ravni delcev v celinski Sloveniji povišane tudi zaradi dotoka toplega zraka v višinah, ki je preprečeval razkroj temperaturnega obrata. Kljub temu mejne vrednosti, razen v Ljubljani, niso bile presežene. Do menjave zračne mase je prišlo 4. februarja, ko je Slovenijo zajel okrepljen severni veter. Tega dne so se ravni delcev po vsej Sloveniji bistveno znižale. Nekaj dni pozneje se je začelo drugo obdobje s povišanimi ravnmi delcev PM_{10} , ki je trajalo do 12. februarja, ko je Slovenijo oplazila vremenska fronta. V tem času so prevladovali dnevi z mrzlimi jutri ter posledično značilnimi jutranjimi in še posebej izrazitimi večernimi porasti ravni delcev PM_{10} . Do preseganj mejne dnevne vrednosti je prišlo le v celinski Sloveniji. Najvišje ravni delcev PM_{10} so bile izmerjene 10. in 11. februarja (Murska Sobota Cankarjeva, Celje in Ljubljana), ko je v višinah s severozahodnikom začel dotekati toplejši zrak. Tretje obdobje je bilo sicer najtoplejše, vendar kljub vetru tudi najbolj onesnaženo. Od 14. do 24. februarja je v višinah prevladoval zahodni do severozahodni veter, v spodnjih plasteh pa jugozahodnik. Radiosondažne meritve so pokazale, da je bil ves čas prisoten temperaturni obrat do višine med 800 in 1300 metri, kar je povzročalo postopno akumulacijo onesnaževal. V tej plasti zraka kljub zmernemu vetru in pogostim močnejšim sunkom pri tleh ravni delcev niso bistveno upadle, saj je toplejši zrak v višinah oteževal razredčevanje onesnaženja v vertikalni smeri. K večji onesnaženosti zraka pri tleh so dodatno prispevali plitvi temperaturni obrati v večernih urah, ko se je veter umiril in je bilo razredčevanje izpustov onemogočeno. Za to obdobje je bilo značilno, da sta bila ves čas hkrati onesnažena tako Primorska kot celinski del Slovenije. Zahodni veter je na Primorsko redno zanašal onesnaženje iznad Padske nižine, v celinski Sloveniji pa je z dotokom toplega zraka v višinah vzdrževal temperaturni obrat. Ravni delcev so se po vsej Sloveniji znižale v noči na 25. februar, ob prehodu izrazite hladne fronte.

Podobno kot v lanskem juniju je tudi letos v zadnji dekadi junija Slovenijo zajela zračna masa z

jugo zahoda, ki je vsebovala puščavski prah iz Sahare. Od 19. do 23. junija so bile na vseh merilnih mestih povišane ravni delcev, ampak do preseganj mejne dnevne vrednosti ni prišlo. V juniju so bile zaradi gradbenih del povišane ravni delcev na merilnem mestu Ptuj. Pri Splošni bolnišnici Ptuj se gradi nov urgentni center in občasno prihaja do prašenja.

V avgustu so bile ravni delcev zaradi obilnega deževja povsod nizke, razen v Žerjavu. V drugi polovici meseca je bila v zraku v Žerjavu večja količina prahu zaradi prašenja posušenih poplavljenih površin. Po 13. avgustu so bile ravni delcev na tem merilnem mestu znatno višje kot na drugih merilnih mestih po Sloveniji, zabeleženih je bilo šest preseganj mejne dnevne vrednosti $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Najvišja dnevna raven, $78 \mu\text{g}/\text{m}^3$, je bila izmerjena 16. avgusta. 28. avgusta je Slovenijo prešla vremenska fronta z močnejšimi nalivi, ki so osvežili ozračje in povzročili znižanje ravni delcev tudi v Žerjavu.

V septembru so bile ravni delcev nizke povsod, razen v Zgornji Mežiški dolini. Zaradi visokih vrednosti delcev PM_{10} v avgustu na merilnem mestu Žerjav, ki jih pripisujemo prašenju posušenih poplavljenih površin, smo 1. septembra namestili vzorčevalnik delcev PM_{10} tudi v središče Črne na Koroškem. Ravni PM_{10} v Črni na Koroškem so bile septembra zelo visoke, saj so devetkrat presegle mejno dnevno vrednost $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Najvišja izmerjena dnevna vrednost je bila 6. septembra in je znašala $99 \mu\text{g}/\text{m}^3$. V drugi polovici meseca, ko je prevladovalo deževno vreme, so se ravni delcev znižale tudi v Zgornji Mežiški dolini. Poleg Črne je do preseganj mejne dnevne vrednosti prišlo dvakrat tudi v Žerjavu. Na drugih merilnih mestih po Sloveniji v septembru ni bilo preseganj mejne dnevne vrednosti.

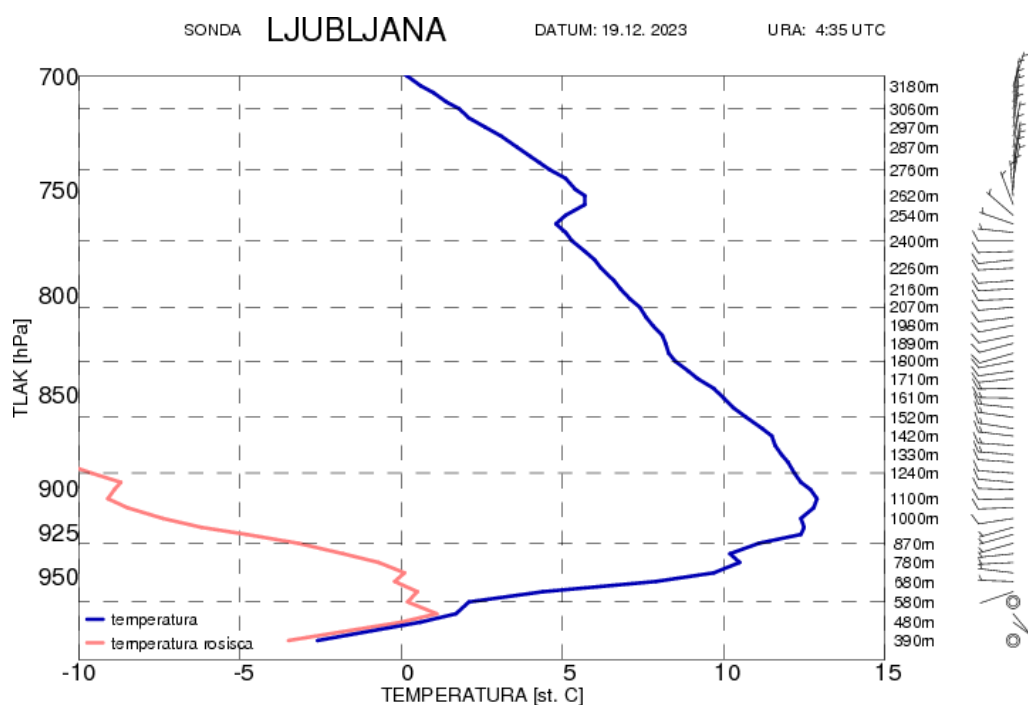
20. oktobra je Slovenijo zopet prešel puščavski prah. Na vseh merilnih mestih so se ravni delcev PM_{10} za nekaj ur povišale ampak do preseganja mejne dnevne vrednosti, predvsem zaradi hkratnih padavin, ni prišlo. Najvišja dnevna raven PM_{10} je bila ta dan zabeležena v Kopru, $39 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

V novembru je bila zaradi pestrega vremenskega dogajanja s pogostimi padavinami kakovost zraka razmeroma dobra. Izjema so bila kratkotrajna obdobja s toplejšim zrakom v višinah in spremljajočimi temperaturnimi obrati, ki so vodila do zadrževanja onesnaževal pri tleh. Obdobje z najslabšo kakovostjo zraka je trajalo od 19. novembra do 21. novembra. Na sedmih merilnih mestih je prišlo do preseganja dnevne mejne vrednosti $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ki je predpisana za delce PM_{10} . Najbolj onesnažen zrak smo imeli 20. novembra, ko je bil temperaturni obrat najbolj izrazit, višina obrata pa zelo nizka (nekje med 500 m in 700 m). To je povzročilo nabiranje onesnaževal v razmeroma plitvi plasti pri tleh, še posebej v večernih urah. Do preseganja mejne vrednosti $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ je ta dan prišlo na šestih merilnih mestih: Ljubljana Center, Ljubljana Bežigrad, Zadobrova, Murska Sobota (Cankarjeva), Murska Sobota – Rakičan in Celje bolnica. Ravni delcev so se že naslednji dan (21. novembra) postopno znižale s prehodom hladne fronte.

Kakovost zraka je bila v decembru glede na prejšnje mesece slabša. Zaradi večje potrebe po ogrevanju in vremenske situacije s temperaturnim obratom, ki onemogoča razredčevanje izpustov, so bile povišane ravni delcev. Na večini merilnih mest je prišlo do preseganja mejne dnevne vrednosti za delce PM_{10} . Največ, 12-krat, v Črni na Koroškem. V decembru so bile tri epizode povišanih ravni delcev. V prvi epizodi povišanih ravni delcev, od 6. decembra do 8. decembra, smo zabeležili visoke ravni delcev PM_{10} zgolj na območju Murske Sobote (Cankarjeva in Rakičan). Podrobnejša analiza je pokazala, da so bile na severovzhodu Slovenije v primerjavi s preostalimi lokacijami v Sloveniji temperature občutno nižje, kar je posledično privedlo do povečanih izpustov in temperaturnega obrata.

Še posebej se je to odražalo v porastu ravni delcev PM_{10} v večernih terminih, ko je temperaturni obrat najbolj izrazit in se izpusti akumulirajo predvsem pri tleh. Zaradi tega so bile na lokaciji Murska Sobota Cankarjeva prav vse tri dni presežene dnevne mejne vrednosti ravni delcev PM_{10} . V preostalem delu Slovenije so bile na lokacijah merilne mreže temperature ves čas višje, kar se je odražalo v nižjih ravneh delcev PM_{10} .

Druga epizoda s prevladujočim stabilnim ozračjem, ki so jo spremljali izraziti temperaturni obrati in šibki vetrovi, je trajala od 18. decembra do 20. decembra. Radiosondažne meritve v Ljubljani so v tem obdobju pokazale, da je bilo v jutranjem času približno 500 m nad kopnim celo do $12^{\circ}C$ topleje kot pri tleh (slika 4.12). To je bil tudi vzrok za preseganje mejnih dnevnih vrednosti PM_{10} na večini merilnih mest celinske Slovenije. Izjema je bila lokacija v Celju, kjer smo zabeležili preseganje mejne vrednosti zgolj 20. decembra. Razlog je bil jugozahodni veter, ki je 18. in 19. decembra čez dan prepihal Celjsko kotlino.



Slika 4.12: Radiosondaža 19. december, 2023.

V tretji epizodi je prišlo do preseganj dnevne mejne vrednosti na Primorskem (Nova Gorica in Koper). Od 27. decembra do 30. decembra so bili naši kraji pod vplivom območja visokega zračnega tlaka, ki je vztrajalo nad južno Evropo in Sredozemljem. Od jugozahoda je dotekal k nam topel in razmeroma vlažen zrak. S prevladujočimi zahodnimi vetrovi po celotni višini zračnega stolpca je na Primorsko zanašalo onesnaženje iznad Padske nižine. Kakovost zraka se je najbolj poslabšala 29. decembra, ko je bila na prometnem merilnem mestu ob Vojkovi cesti v Novi Gorici izmerjena dnevna vrednost $71 \mu g/m^3$.

4.5 Kemijska in elementna sestava delcev

Sekundarni aerosoli so glavna sestavina delcev v zraku, tako pozimi kot tudi poleti. Pozimi nastajajo kot posledica visokih izpustov primarnih antropogenih virov, predvsem prometa in malih kurilnih naprav, v poletnem času pa zaradi povišanih izpustov iz biogenih virov. Sestava sekundarnih aerosolov vključuje anorganske spojine (predvsem amonij, nitrat in sulfat) in organske spojine (mešanica številnih različnih družin organskih spojin). Kemijska sestava sekundarnih aerosolov kaže na prevladovanje različnih virov predhodnikov glede na letni čas in na različne fizikalne in vremenske pogoje, ki spodbujajo reakcije njihovega nastanka v ozračju. V delcih PM_{2,5} smo na merilnem mestu Iskrba spremljali vsebnost ionov (nitrata, sulfata in amonija) ter elementarnega in organskega ogljika. Rezultati so prikazani ločeno za zimsko obdobje (od januarja do marca in od oktobra do decembra) in poletno obdobje (od aprila do septembra) v tabeli 4.12.

Tabela 4.12: Sestava delcev PM_{2,5} na merilnem mestu Iskrba v letu 2023.

		zimsko obdobje	poletno obdobje
Iskrba	NH ₄ ⁺ +NO ₃ ⁻ +SO ₄ ²⁻ (µg/m ³)	1,5	2,1
	Organski ogljik (µg/m ³)	1,9	2,2
	Elementarni ogljik (µg/m ³)	0,21	0,12

5. Onesnaževala v delcih - benzo(a)piren in kovine

5.1 Benzo(a)piren

Benzo(a)piren (BaP) je policiklična aromatska spojina s petimi obroči. Nastaja pri nepopolnem zgorevanju goriv, tako fosilnega izvora kakor tudi biomase. Glavni vir predstavljajo izpusti iz zastarelih malih kurilnih naprav gospodinjstev na trdna goriva, za katere so značilni slabši proces zgorevanja, slab energetski izkoristek ter posledično visok izpust delcev in organskih spojin. Pomemben vir benzo(a)pirena je tudi promet.

Benzo(a)piren je kancerogen. Prenatalna izpostavljenost je povezana z nizko porodno težo ter vplivom na kognitivni razvoj otrok.

5.1.1 Zahteve za kakovost zraka

Ciljna vrednost za benzo(a)piren je predpisana v Uredbi o arzeniu, kadmiju, živem srebru, niklju in policikličnih aromatskih ogljikovodikih v zunanjem zraku [8]. Prikazana je v tabeli 5.1.

Tabela 5.1: Ciljna vrednost za benzo(a)piren (ng/m^3).

	Cilj	Čas merjenja	Vrednost
Ciljna vrednost	Zdravje	Koledarsko leto	1

5.1.2 Ravni onesnaženosti

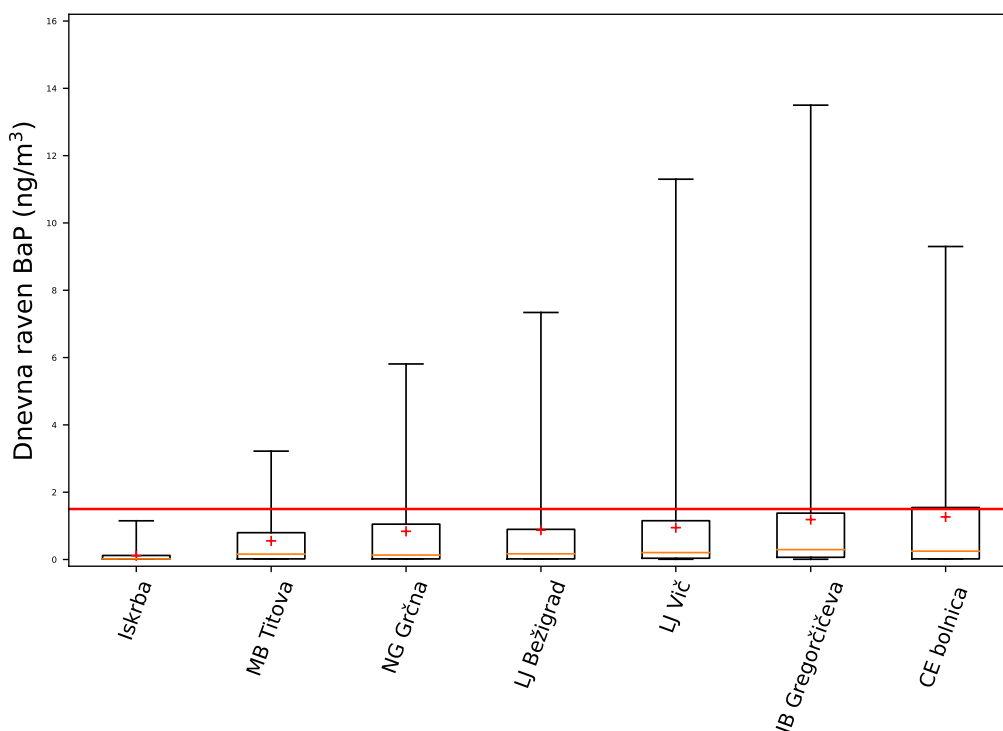
Pregled izmerjenih vrednosti benzo(a)pirena (BaP) v letu 2023 je prikazan v tabeli 5.2 ter na sliki 5.1. V letu 2018 smo v Ljubljani meritve benzo(a)pirena predstavili z merilnega mesta Biotehniška fakulteta na merilno mesto Bežigrad. Poleg tega izvajamo stalne meritve še v Mariboru, Novi Gorici, Celju in na Iskrbi. V letu 2023 so potekale meritve benzo(a)pirena še v Ilirski Bistrici ob Gregorčičevi cesti in na merilnem mestu Ljubljana Vič. Najvišja povprečna letna raven benzo(a)pirena je bila v letu 2023 izmerjena na merilnem mestu v Celju pri bolnici in je dosegla ciljno vrednost. Na Iskrbi je bila povprečna letna vrednost po pričakovanjih najnižja. V letu 2023 so ravni benzo(a)pirena na vseh merilnih mestih podobne kot v prejšnjih letih (tabela 5.3 in slika 5.2).

Najvišje izmerjene ravni benzo(a)pirena so v kurilni sezoni. Takrat so izpusti zaradi ogrevanja večji, dodatno pa so za to obdobje značilni tudi neugodni meteorološki pogoji (slaba prevetrenost in dlje

časa trajajoči temperaturni obrati). Poleti so ravni na vseh lokacijah znatno nižje.

Tabela 5.2: Letna razpoložljivost z dnevnimi podatki (% pod) in povprečna letna raven (C_p) benzo(a)pirena v ng/m^3 v letu 2023.

	% pod.	C_p
CE bolnica	33	1,3
Iskrba	33	0,11
IB Gregorčičeva	95	1,2
LJ Bežigrad	33	0,87
LJ Vič	92	0,95
MB Titova	33	0,55
NG Grčna	35	0,84

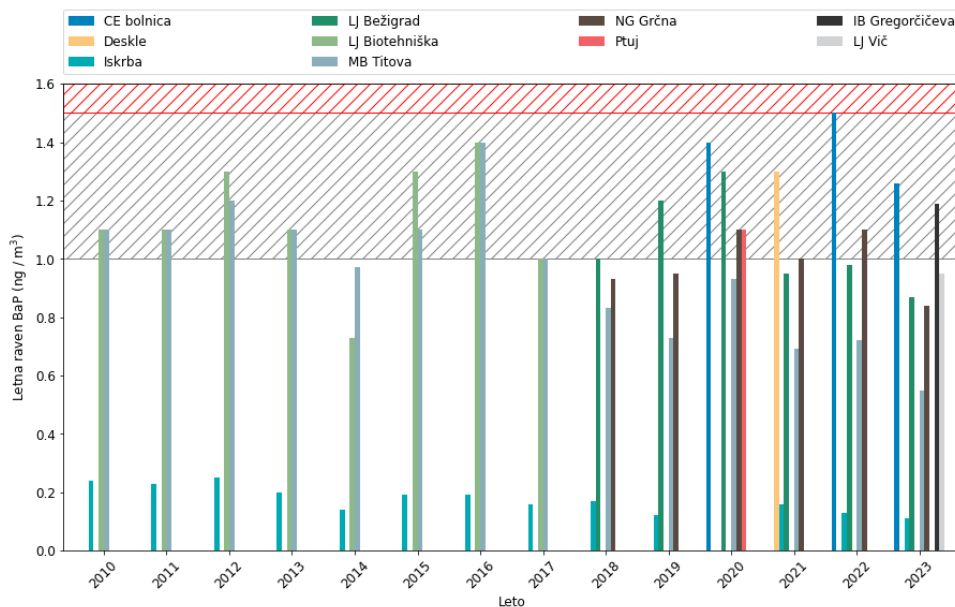


Slika 5.1: Prikaz dnevnih ravni benzo(a)pirena na merilnih mestih v letu 2023. Prikazani so najnižja in najvišja dnevna raven (spodnja in zgornja vodoravna črtica), oba kvartila (vrh in dno pravokotnika) in mediana (rdeča vodoravna črtica v pravokotniku). Križci označujejo povprečno letno raven. Rdeča črta prikazuje letno ciljno vrednost.

Tabela 5.3: Povprečna letna raven benzo(a)pirena (ng/m^3) na merilnih mestih po letih.

	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
CE bolnica	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	1,4	/	1,5	1,3
Deskle	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	1,3	/	/
IB Gregorčičeva	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	1,2
Iskrba	0,23	0,24	0,23	0,25	0,20	0,14	0,19	0,19	0,16	0,17	0,12	0,17*	0,16	0,13	0,11
LJ Bežigrad	/	/	/	/	/	/	/	/	/	1,0	1,2	1,3	0,95	0,98	0,87
LJ Biotehniška	0,87	1,1	1,1	1,3	1,1	0,73	1,3	1,4	1,0	/	/	/	/	/	/
LJ Vič	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	0,95
MB Titova	0,92	1,1	1,1	1,2	1,1	0,97	1,1	1,4	1,0	0,83	0,73	0,93	0,69	0,72	0,55
NG Grčna	/	/	/	/	/	/	/	/	/	0,93	0,95	1,1	1,0	1,1	0,84
Ptuj	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	1,1	/	/	/

* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.



Slika 5.2: Prikaz povprečnih letnih ravni benzo(a)pirena na različnih postajah po letih. Ciljna vrednost je $1 \text{ ng}/\text{m}^3$.

5.2 Kovine

Izpusti arzena (As), kadmija (Cd), svınca (Pb) in niklja (Ni) so posledica aktivnosti več industrijskih dejavnosti in zgorevanja premoga. Čeprav so v ozračju njihove ravni nizke, pride z odlaganjem iz zraka na tla do njihovega kopičenja v zemlji, vodah in sedimentih kot tudi v organizmih. Kovine v okolju ostajajo, nakopičene v živih organizmih pa lahko predstavljajo grožnjo za človekovo zdravje (npr. prek prehranske verige, če so nakopičene v ribah).

Arzen v ozračju je posledica tako naravnih kot antropogenih virov. Antropogeni izpusti izvirajo iz taljenja kovin, zgorevanja goriv, še posebno iz slabšega rjavega premoga in uporabe pesticidov. Precej bolj toksičen je anorgansko vezan arzen. Povezujejo ga s povečanim tveganjem za razvoj raka kože in pljuč.

Nikelj je kovina, ki je splošno razširjena in se v nizkih ravneh tudi sicer pojavlja v naravi. Zgorevanje oljnih ostankov in kurilnih olj, rudarjenje in rafiniranje niklja ter sežig gospodinjskih odpadkov so glavni antropogeni viri izpustov niklja v ozračje. Nikelj pri višjih vrednostih povzroča povišano dovzetnost za nastanek raka pljuč, nosu in prostate. Poleg tega povzroča alergične reakcije na koži, motnje hormonske regulacije ter negativno vpliva na respiratorni in imunski sistem. Najbolj izražene so alergične reakcije, saj naj bi bilo približno 10–20 % populacije občutljive na nikelj.

Kadmij je kovina, ki se v majhnih količinah nahaja v zraku, vodi, tleh in hrani. V preteklosti so kadmij uporabljali v glavnem pri galvanizaciji kovin in v pigmentih ali stabilizatorjih plastike. Danes kadmij v številnih pogledih predstavlja ključno komponento moderne tehnologije; proizvodnja kadmij-nikljevih baterij na primer porabi 55 % vsega proizvedenega kadmija, pričakovano pa je, da se bo ta poraba zaradi električnih vozil še povečala. V Evropski uniji in po svetu približno 85-90 % vseh izpustov kadmija v zrak izvira iz antropogenih virov, največ iz taljenja in rafinacije barvnih kovin, zgorevanja fosilnih goriv in sežiganja gospodinjskih odpadkov. Nevaren je predvsem kostem in ledvicam, poveča pa tudi tveganje za pljučnega raka. Kadmij ima izjemno dolgo naravno razpolovno dobo, kar rezultira v praktično nepovratni akumulaciji kovine v telesu tekom življenja.

Antropogeni viri svınca na globalni ravni so rezultat zgorevanja fosilnih goriv v prometu, proizvodnje cementa, sežiganja odpadkov in proizvodnje barvnih kovin, železa ter jekla. V Evropi so se izpusti iz prometa zaradi obvezne uporabe katalizatorjev v novih avtomobilih in s tem omejitve uporabe osvinčenega bencina po letu 2001 precej znižali. Svinec spada med kovine, ki imajo toksičen vpliv na možgane. Poleg možganov in živčevja se kopiči tudi v ledvicah, jetrih in kosteh.

5.2.1 Izpusti

Letni izpusti arzena so v Sloveniji leta 2022 znašali 0,5 ton. V primerjavi z letom 1990 so se zmanjšali za 44 % (slika 5.3). Najpomembnejši vir izpustov arzena je proizvodnja elektrike in toplote. Oskrba z energijo je v letu 2022 prispevala k skupnim državnim izpustom arzena kar 82 % (slika 5.4).

Letni izpusti niklja so v Sloveniji leta 2022 znašali 1,3 ton. V obdobju 1990-2022 so se izpusti zmanjšali za 57 % (slika 5.5). Glavni viri izpustov niklja so bili v letu 2022 industrijski procesi in raba topil (40 %), proizvodnja elektrike (25 %) in mala kurišča (18 %) (slika 5.6).

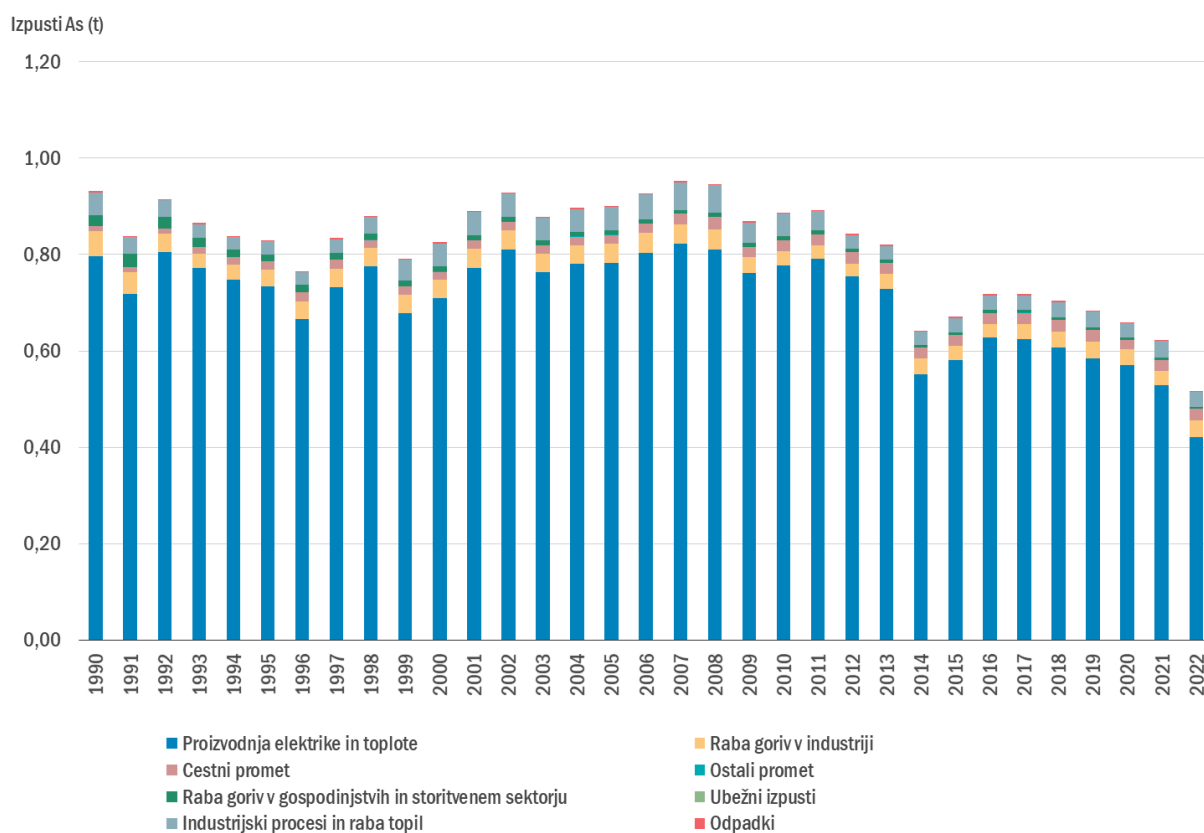
Letni izpusti kadmija so v Sloveniji leta 2022 znašali 0,5 ton. V primerjavi z letom 1990 so se zmanjšali za 20 % (slika 5.7). Glavni razlog za nižje izpuste kadmija v zadnjih letih je posodobitev

tehnoloških procesov. Največji delež k skupnim izpustom kadmija je v letu 2022 prispevala raba goriv v gospodinjstvih in storitvenem sektorju (40 %) (slika 5.8).

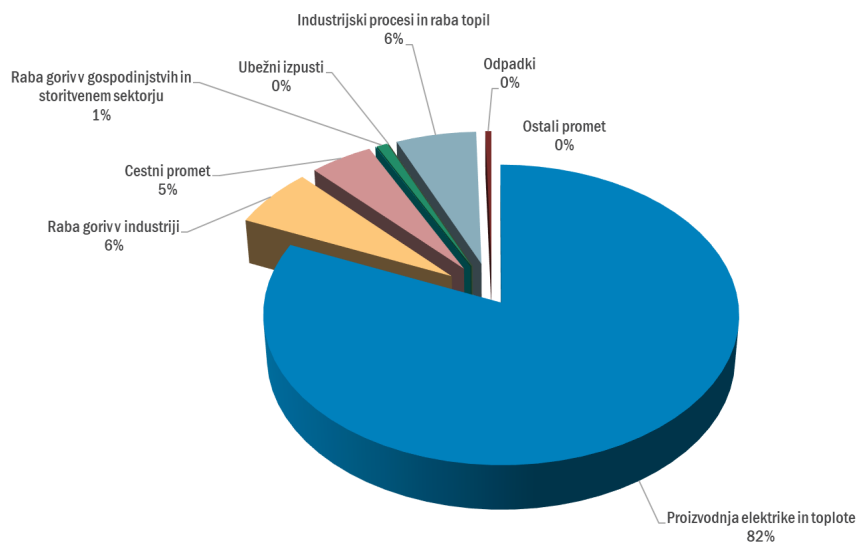
Letni izpusti svinca so v Sloveniji leta 2022 znašali 5,4 ton. V obdobju 1990-2022 so se zmanjšali za 87 %, predvsem zaradi opustitve osvinčenih motornih bencinov (slika 5.9). Največji delež k skupnim izpustom svinca je prispeval cestni promet (39 %. Industrijski procesi so prispevali 37 % (slika 5.10).

Slovenija izpolnjuje zahteve iz Protokola o kovinah h Konvenciji o onesnaževanju zraka na velike razdalje preko meja [26]. Skupne državne vrednosti izpustov kadmija in svinca ne presegajo vrednosti iz izhodiščnega leta 1990.

Podrobne informacije o izpustih kovin in metodologiji izračuna izpustov so na voljo v dokumentu Informative Inventory Report 2024 for Slovenia [2].

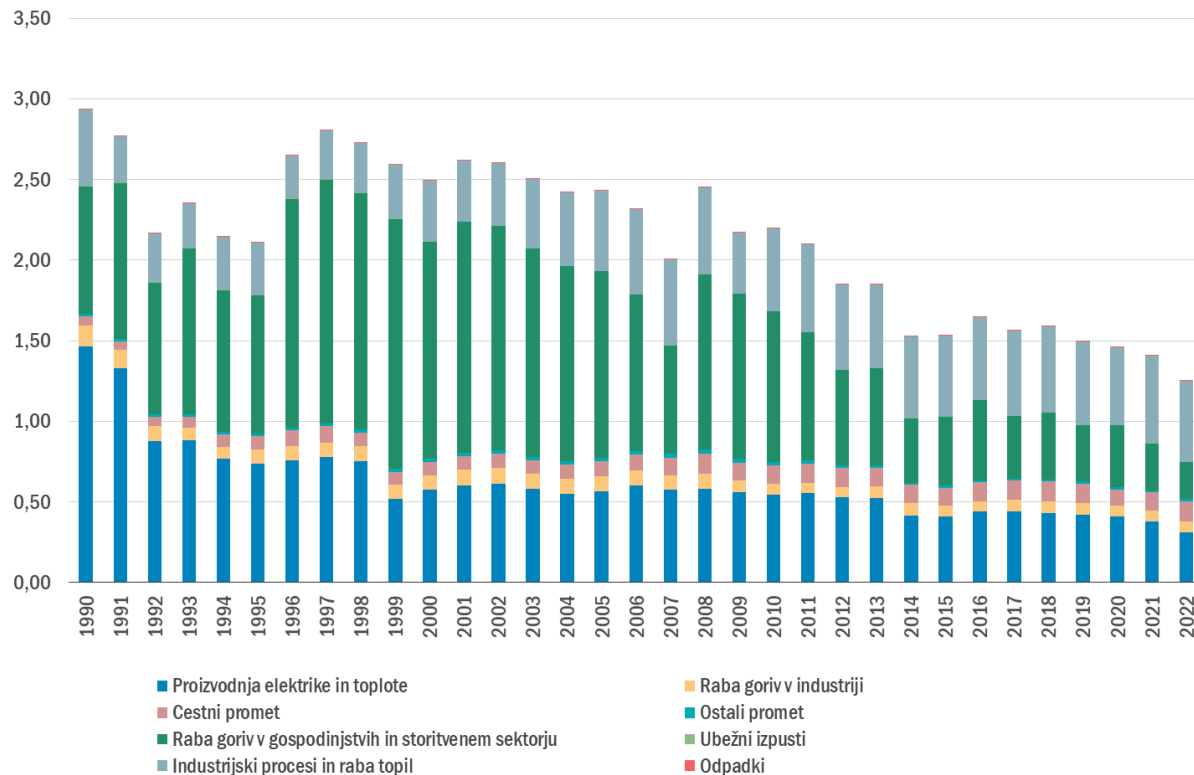


Slika 5.3: Letni izpusti arzena po sektorjih v Sloveniji.

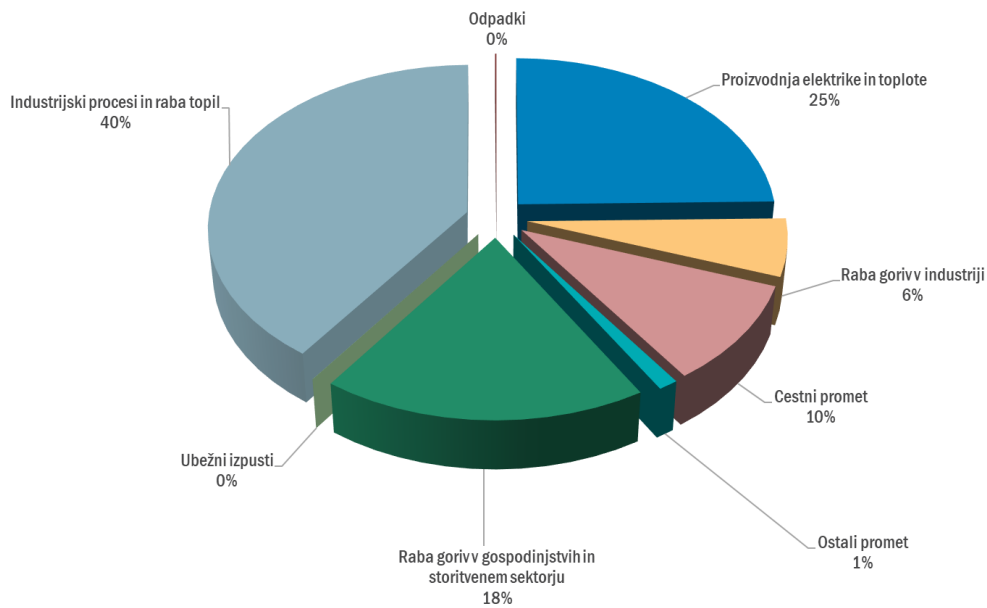


Slika 5.4: Izpusti arzena po sektorjih v Sloveniji v letu 2022.

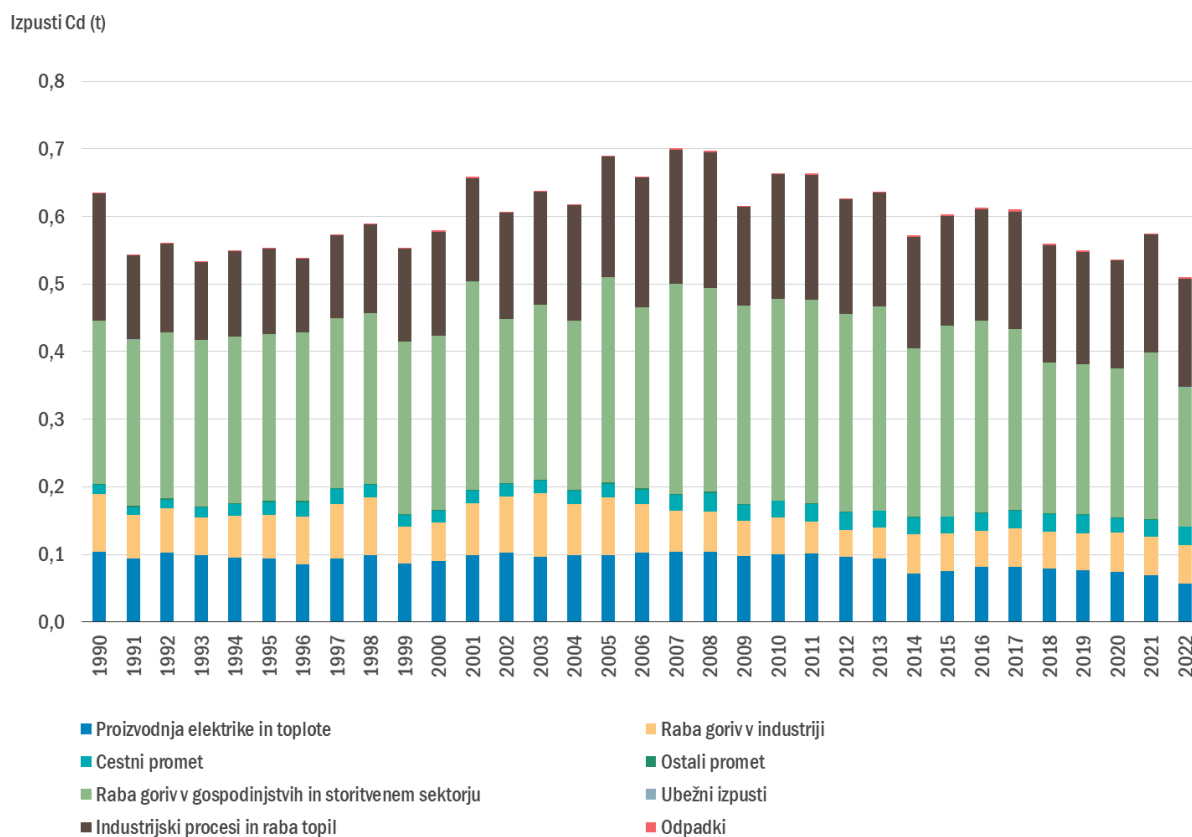
Izpusti Ni (t)



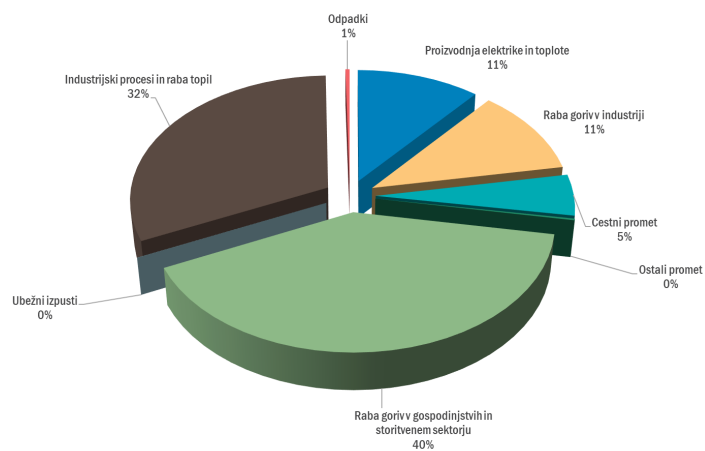
Slika 5.5: Letni izpusti niklja po sektorjih v Sloveniji.



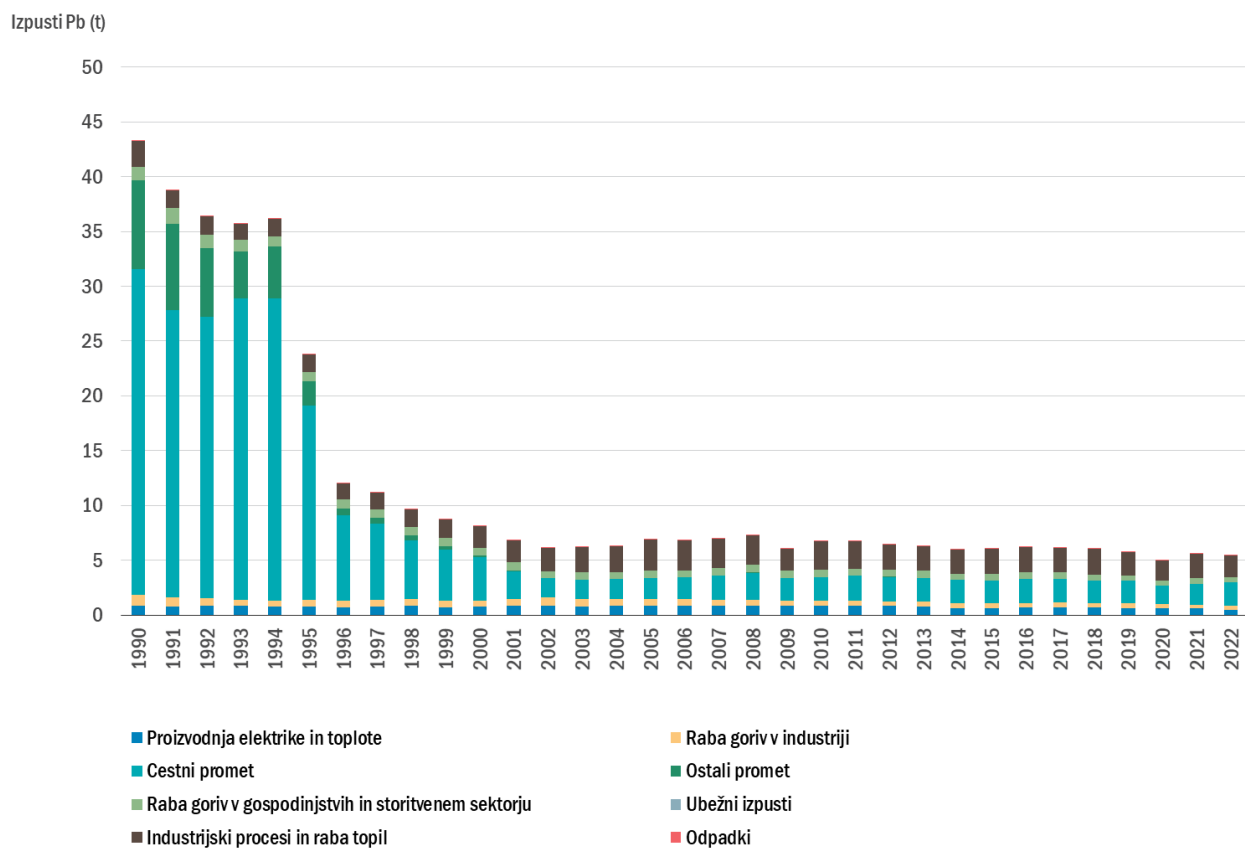
Slika 5.6: Izpusti niklja po sektorjih v Sloveniji v letu 2022.



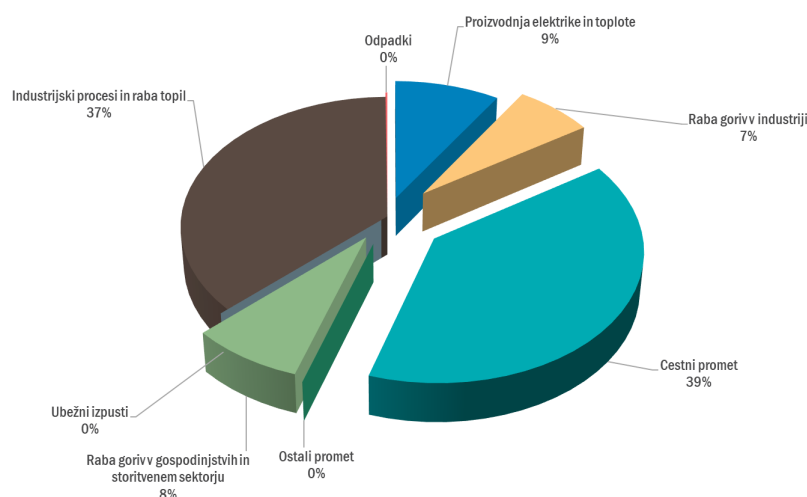
Slika 5.7: Letni izpusti kadmija po sektorjih v Sloveniji.



Slika 5.8: Izpusti kadmija po sektorjih v Sloveniji v letu 2022.



Slika 5.9: Letni izpusti svinca po sektorjih v Sloveniji.



Slika 5.10: Izpusti svinca po sektorjih v Sloveniji v letu 2022.

5.2.2 Zahteve za kakovost zraka

Ciljne vrednosti za nikelj, arzen in kadmij so predpisane v Uredbi o arzenu, kadmiju, živem srebru, niklju in policikličnih aromatskih ogljikovodikih v zunanjem zraku [8], mejna vrednost za svinec je določena v Uredbi o kakovosti zunanjega zraka [5]. Predpisane vrednosti so podane v tabeli 5.4.

Tabela 5.4: Mejna vrednost za svinec ter ciljne vrednosti za arzen, kadmij in nikelj.

	Cilj	Čas povprečenja	Vrednost (ng/m ³)
Arzen	zdravje	koledarsko leto	6
Kadmij	zdravje	koledarsko leto	5
Nikelj	zdravje	koledarsko leto	20
Svinec	zdravje	koledarsko leto	500

5.2.3 Ravni onesnaženosti

Pregled letnih ravni kovin v letu 2023 izračunanih iz povprečnih dnevni vrednosti je prikazan v tabeli 5.5 ter na slikah od 5.11 do 5.14. Meritve kovin stalno izvajamo na petih merilnih mestih: Ljubljana Bežigrad, Maribor Titova, Žerjav, Iskrba in Celje bolnica. V letu 2023 so potekale meritve kovin še v Ilirski Bistrici ob Gregorčičevi cesti in na merilnem mestu Ljubljana Vič. V letu 2018 smo v Ljubljani meritve kovin predstavili z merilnega mesta Biotehniška fakulteta na merilno mesto Bežigrad.

V letu 2023 so bile letne ravni arzena, niklja, kadmija in svinca v Ljubljani, Mariboru, Novi Gorici, Celju, Žerjavu in na Iskrbi nižje od predpisane mejne oziroma ciljne vrednosti. Prav tako so nižje na obeh merilnih mestih kjer so v letu 2023 izredno potekale meritve kovin. Primerjava ravni kovin v obdobju od 2009 do 2023 kaže, da obremenjenost ostaja približno na istem nivoju (tabele 5.6 do 5.9 in slike 5.15 do 5.18). Raven onesnaženosti večja od predpisane letne mejne/ciljne vrednosti je označena krepko.

Tabela 5.5: Letna pokritost s podatki (% pod) in letna raven kovin (ng/m³) v letu 2023.

	% pod	Arzen	Nikelj	Kadmij	Svinec
CE bolnica	20	0,32	0,99	0,26	5,2
IB Gregorčičeva	95	0,22	0,76	0,10	2,8
Iskrba	21	0,19	0,79	0,05	1,3
LJ Bežigrad	20	0,26	1,1	0,15	4,0
LJ Vič	96	0,24	0,72	0,16	4,3
MB Titova	21	0,4	1,5	0,12	5,1
Žerjav	65	1,6	1,5	2,2	270

Tabela 5.6: Letna raven arzena (ng/m³).

	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
CE bolnica	/	/	/	/	/	/	/	0,53	0,55	0,48	0,42	0,38	0,37	0,44	0,32
Deskle	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	0,19	/	/
IB Gregorčičeva	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	0,22
Iskrba	0,40	0,33	0,45	0,38	0,29	0,30	0,31	0,23	0,26	0,26	0,22	0,17*	0,18	0,22	0,19
LJ Bežigrad	/	/	/	/	/	/	/	/	/	0,42	0,35	0,30	0,33	0,32	0,26
LJ Biotehniška	0,47	0,48	0,58	0,56	0,65	0,42	0,50	0,40	0,44	/	/	/	/	/	/
LJ Vič	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	0,24
MB Titova	0,61	0,80	0,76	0,66	0,48	0,61	0,58	0,44	0,48	0,49	0,35	0,34	0,32	0,44	0,40
NG Grčna	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	0,24	0,30	/
Ptuj	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	0,50	/	/	/
Žerjav	2,7	2,2	1,9	2,0	1,7	1,9	2,1	1,9	1,3	1,7	2,1	1,4	2,3	1,7	1,6

* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.

Tabela 5.7: Letna raven niklja (ng/m³).

	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
CE bolnica	/	/	/	/	/	/	/	1,6	1,6	1,5	1,2	1,2	1,4	1,3	0,99
Deskle	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	0,72	/	/
IB Gregorčičeva	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	0,76
Iskrba	2,6	1,8	2,3	2,4	2,3	1,0	0,88	0,83	0,78	0,96	0,72	0,87*	0,68	0,77	0,79
LJ Bežigrad	/	/	/	/	/	/	/	/	/	3,6	2,1	1,4	2,2	1,5	1,1
LJ Biotehniška	5,2	4,5	7,2	5,7	6,5	3,3	3,6	2,6	2,8	/	/	/	/	/	/
LJ Vič	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	0,72
MB Titova	2,4	3,0	3,2	3,8	3,4	2,0	1,6	1,6	1,8	1,7	1,4	1,4	1,5	1,5	1,5
NG Grčna	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	0,90	0,86	/
Ptuj	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	1,0	/	/	/
Žerjav	1,7	1,8	2,4	2,4	2,8	1,9	2,7	1,2	1,1	1,3	0,96	0,92	1,7	0,94	1,5

* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.

Tabela 5.8: Letna raven kadmija (ng/m³).

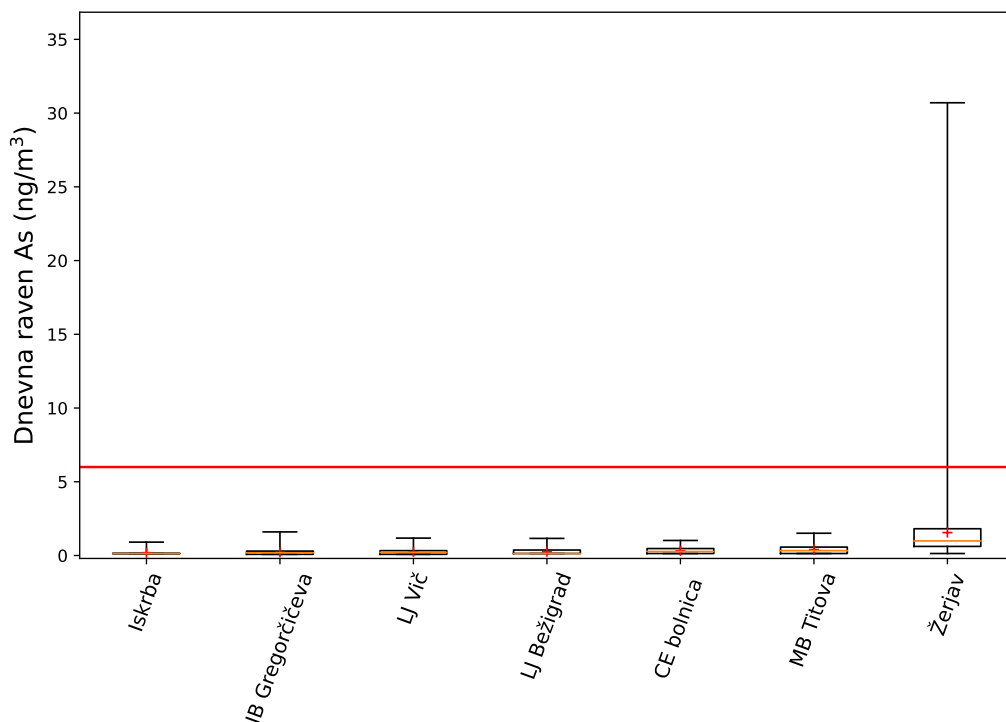
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
CE bolnica	/	/	/	/	/	/	/	0,95	0,38	0,39	0,52	0,64	0,34	0,52	0,26
Deskle	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	0,09	/	/
IB Gregorčičeva	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	0,10
Iskrba	0,10	0,11	0,26	0,11	0,08	0,09	0,08	0,07	0,07	0,08	0,06	0,08*	0,06	0,06	0,05
LJ Bežigrad	/	/	/	/	/	/	/	/	/	0,25	0,18	0,25	0,20	0,21	0,15
LJ Biotehniška	0,22	0,26	0,47	0,25	0,28	0,22	0,23	0,22	0,19	/	/	/	/	/	/
LJ Vič	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	0,16
MB Titova	0,27	0,31	0,55	0,24	0,24	0,22	0,20	0,19	0,17	0,19	0,16	0,18	0,13	0,14	0,12
NG Grčna	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	0,12	0,12	/
Ptuj	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	0,16	/	/	/
Žerjav	2,6	4,4	2,5	1,5	2,5	2,7	4,9	5,7	1,9	1,9	1,3	2,8	2,7	1,6	2,2

* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.

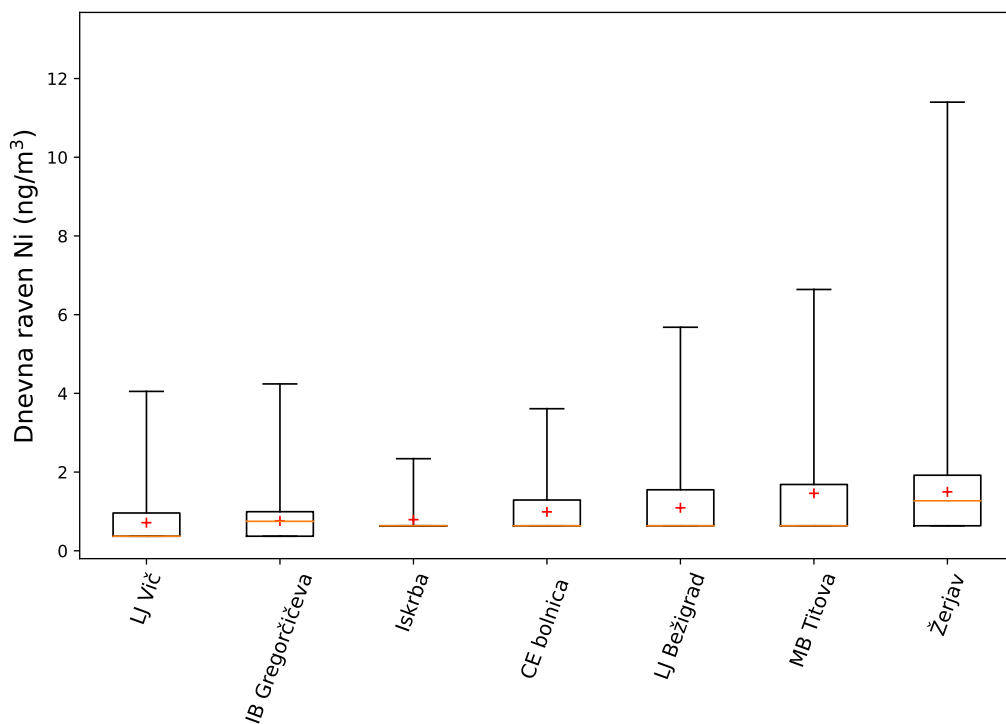
Tabela 5.9: Letna raven svineca (ng/m³).

	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
CE bolnica	/	/	/	/	/	/	/	7,5	7,6	7,4	6,9	7,0	5,7	6,6	5,2
Deskle	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	2,6	/	/
IB Gregorčičeva	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	2,8
Iskrba	3,3	3,3	3,6	2,9	2,1	2,3	2,0	1,6	1,8	2,1	1,5	1,6*	1,2	1,7	1,3
LJ Bežigrad	/	/	/	/	/	/	/	/	/	12,7	6,7	7,1	5,9	5,3	4,0
LJ Biotehniška	8,3	8,3	10,8	7,4	6,6	5,6	7,1	6,1	5,8	/	/	/	/	/	/
LJ Vič	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	4,3
MB Titova	9,7	11,7	11,5	10,5	10,6	25,0	11,1	7,0	7,5	8,4	6,4	6,4	5,7	5,7	5,1
NG Grčna	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	4,2	4,6	/
Ptuj	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	4,0	/	/	/
Žerjav	293	254	300	252	384	329	338	351	320	400	357	437	694	297	270

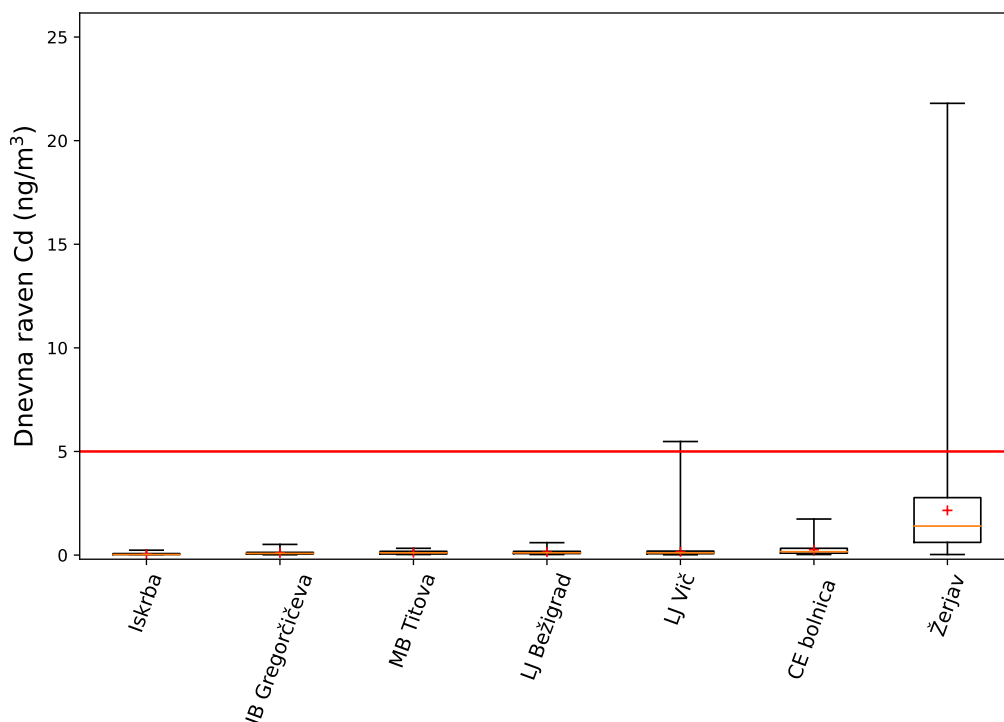
* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.



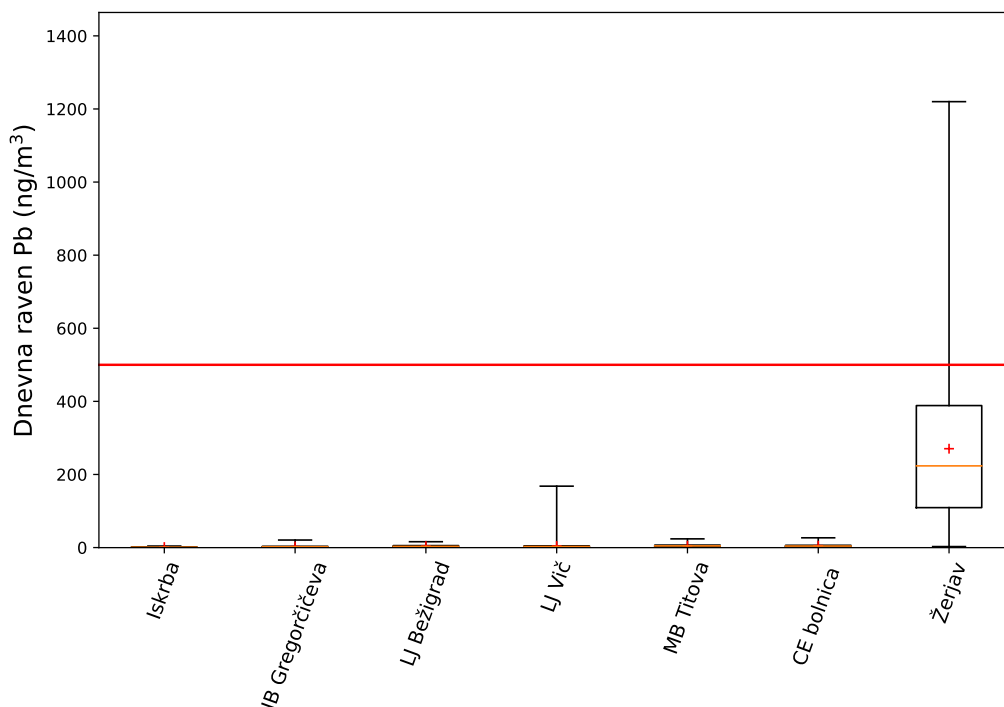
Slika 5.11: Dnevna raven arzena na različnih merilnih mestih v letu 2023. Prikazani so najnižja in najvišja izmerjena raven (spodnja in zgornja vodoravna črtica), oba kvartila (vrh in dno pravokotnika) in mediana (rdeča vodoravna črtica v pravokotniku). Križec predstavlja povprečno letno raven. Rdeča črta prikazuje letno ciljno vrednost.



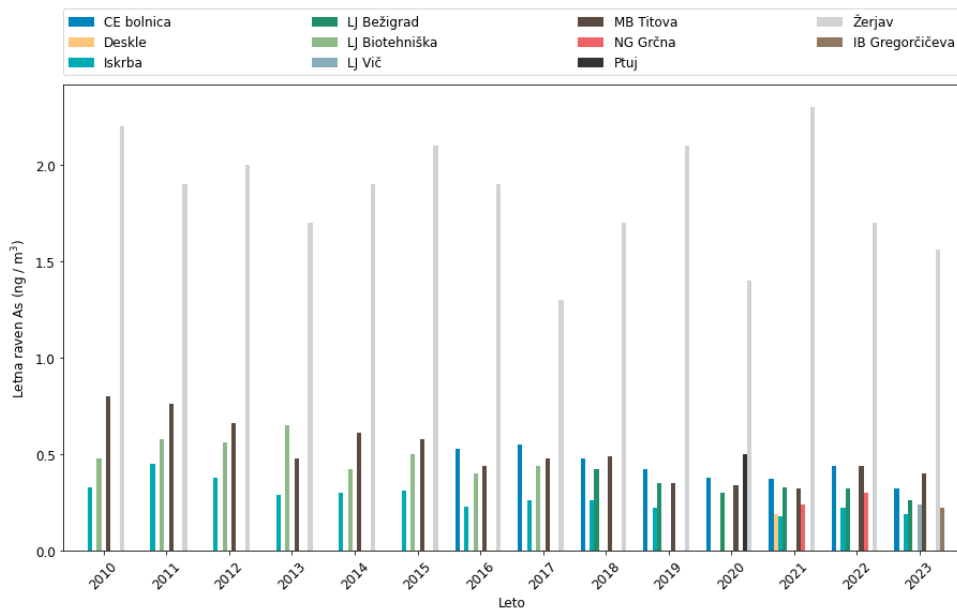
Slika 5.12: Dnevna raven niklja na različnih merilnih mestih v letu 2023. Prikazani so najnižja in najvišja izmerjena raven (spodnja in zgornja vodoravna črtica), oba kvartila (vrh in dno pravokotnika) in mediana (rdeča vodoravna črtica v pravokotniku). Križec predstavlja povprečno letno raven. Ciljna vrednost je 20 ng/m³.



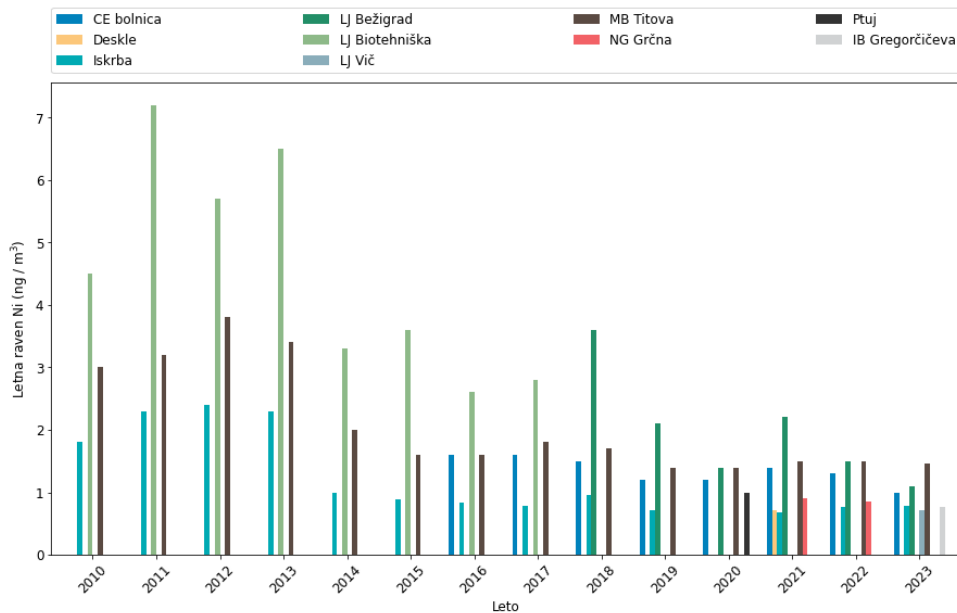
Slika 5.13: Dnevna raven kadmija na različnih merilnih mestih v letu 2023. Prikazani so najnižja in najvišja izmerjena raven (spodnja in zgornja vodoravna črtica), oba kvartila (vrh in dno pravokotnika) in mediana (rdeča vodoravna črtica v pravokotniku). Križec predstavlja povprečno letno raven. Rdeča črta prikazuje letno ciljno vrednost.



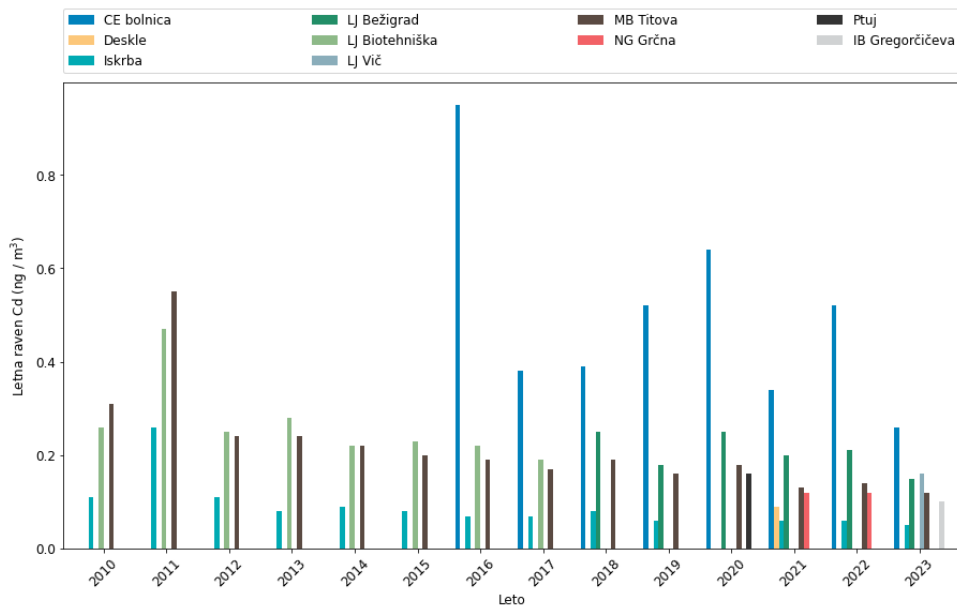
Slika 5.14: Dnevna raven svinca na različnih merilnih mestih v letu 2023. Prikazani so najnižja in najvišja izmerjena raven (spodnja in zgornja vodoravna črtica), oba kvartila (vrh in dno pravokotnika) in mediana (rdeča vodoravna črtica v pravokotniku). Križec predstavlja povprečno letno raven. Rdeča črta prikazuje letno ciljno vrednost.



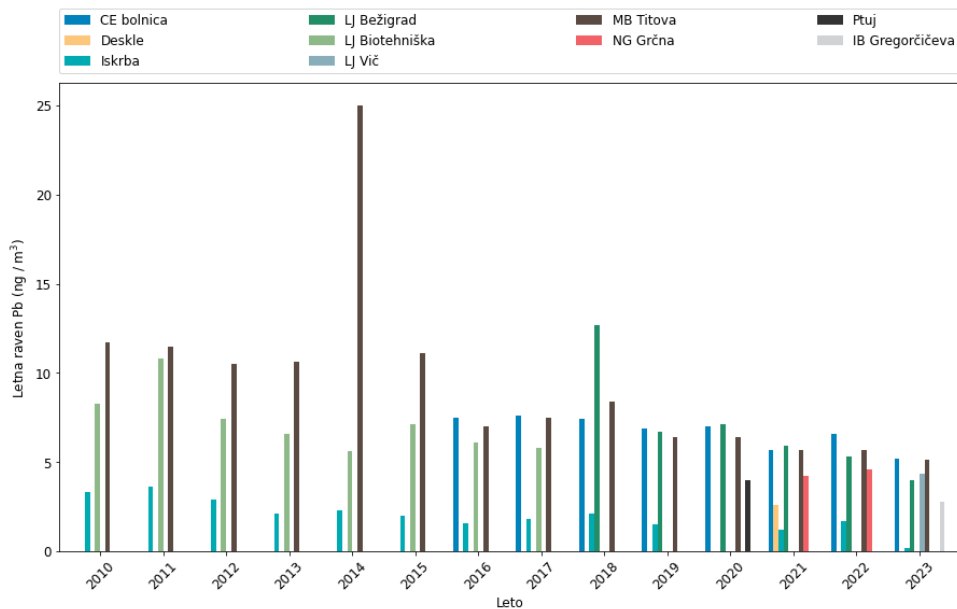
Slika 5.15: Povprečna letna raven arzena po letih. Ciljna vrednost je 6 ng/m³.



Slika 5.16: Povprečna letna raven niklja po letih. Ciljna vrednost je 20 ng/m³.



Slika 5.17: Povprečna letna raven kadmija po letih. Ciljna vrednost je 5 ng/m³.



Slika 5.18: Povprečna letna raven svineca po letih. Mejna vrednost je 500 ng/m³.

6. Ozon

Molekula ozona je sestavljena iz treh atomov kisika. Zaradi nestabilne strukture je ozon močno reaktiven plin in zato v previsokih ravneh škodljiv. V ozračju sta dve plasti z večjo vsebnostjo ozona:

- stratosferski ozon, ki se nahaja na višini okoli 20 km nad tlemi. Ta plast absorbira večino ultravijoličnih žarkov v sončnem sevanju in s tem štiti življenje na Zemlji;
- troposferski ozon, ki se nahaja v plasti od tal do nekaj kilometrov nad zemeljskim površjem. Previsoke ravni negativno vplivajo na zdravje ljudi, škodujejo pa tudi rastlinam in živalim.

Ozon je sekundarno onesnaževalo, saj v prizemni plasti zraka ni njegovih neposrednih izpustov. Ker so kompleksne reakcije, ki vodijo do nastanka ozona intenzivnejše ob visoki temperaturi in močnem sončnem obsevanju, je onesnaženost zraka z ozonom največja poleti. Snovem, iz katerih nastaja ozon, pravimo predhodniki ozona in obsegajo dušikove okside, ogljikov monoksid, atmosferski metan ter nemetanske hlapne organske spojine (npr. etan, propan, butan, pentan, izopren, heksan, benzen, toluen, ksilen, trimetilbenzen, ...). Dušikovi oksidi v ozračju so predvsem posledica izpustov iz prometa (motorji z notranjim izgorevanjem) in energetike. K hlapnim organskim snovem prispevajo izpusti povezani s prometom, industrijo in obrtjo, distribucijo motornih goriv, kurjenjem biomase in uporabo topil v gospodinjstvih. Na prometnih merilnih mestih so ravni ozona nižje, ker ta hitro reagira z dušikovim monoksidom iz izpušnih plinov in razpade nazaj v običajni dvoatomni kisik tako, da odda atom kisika molekuli dušikovega monoksida in ga oksidira v dušikov dioksid. Kraji z višjo nadmorsko višino in odprtim reliefom (kot sta lokaciji merilne postaje na Krvavcu in Otlici) imajo vse bolj značilnosti prostega ozračja, kjer je na eni strani manjši neposredni vpliv izpustov predhodnikov ozona, na drugi strani pa je močnejše sevanje sonca. Povprečne letne ravni ozona so zato v višjih predelih Slovenije praviloma višje kot v nižjih predelih. Vpliv temperature in sončnega sevanja na ravni ozona se kaže tudi pri najvišjih dnevni ravneh ozona, ki so v celinskem delu Slovenije nižje kot na Primorskem.

6.1 Zahteve za kakovost zraka

V tabeli 6.1 so prikazane predpisane ciljne, opozorilna in alarmna vrednost za ozon iz Uredbe o kakovosti zunanjega zraka [5]. Za varovanje zdravja je predpisana ciljna maksimalna dnevna 8-urna povprečna vrednost ozona. Ta vrednost v Uredbi o kakovosti zunanjega zraka znaša $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in je lahko presežena največ 25-krat v koledarskem letu, pri čemer se za izračun upošteva povprečje zadnjih treh let. Dolgoročno naravnana ciljna vrednost za varovanje zdravja je enaka, le da ne predvideva

preseganj predpisane vrednosti. Ker na zdravje vpliva tudi kratkotrajna izpostavljenost, sta predpisani 1-urna opozorilna ($180 \mu\text{g}/\text{m}^3$) in alarmna vrednost ($240 \mu\text{g}/\text{m}^3$), zaradi negativnega vpliva ozona na vegetacijo pa tudi ciljna vrednost in dolgoročni cilj za varstvo rastlin.

Tabela 6.1: Ciljne, opozorilna in alarmna vrednost za ozon

	Cilj	Čas merjenja	Mejna ali ciljna vrednost	Dovoljeno število preseganj
Ciljna vrednost	Zdravje	maksimalna dnevna 8-urna povprečna vrednost	$120 \mu\text{g}/\text{m}^3$	25 dni v triletnem povprečju
Dolgoročna ciljna vrednost	Zdravje	maksimalna dnevna 8-urna povprečna vrednost	$120 \mu\text{g}/\text{m}^3$	
Ciljna vrednost	Vegetacija	AOT40* akumulirana od maja do julija	$18000 \mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{h}$ povprečje petih let	
Dolgoročna ciljna vrednost	Vegetacija	AOT40* akumulirana od maja do julija	$6000 \mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{h}$	
Opozorilna vrednost	Zdravje	1 ura	$180 \mu\text{g}/\text{m}^3$	
Alarmna vrednost	Zdravje	1 ura	$240 \mu\text{g}/\text{m}^3$	

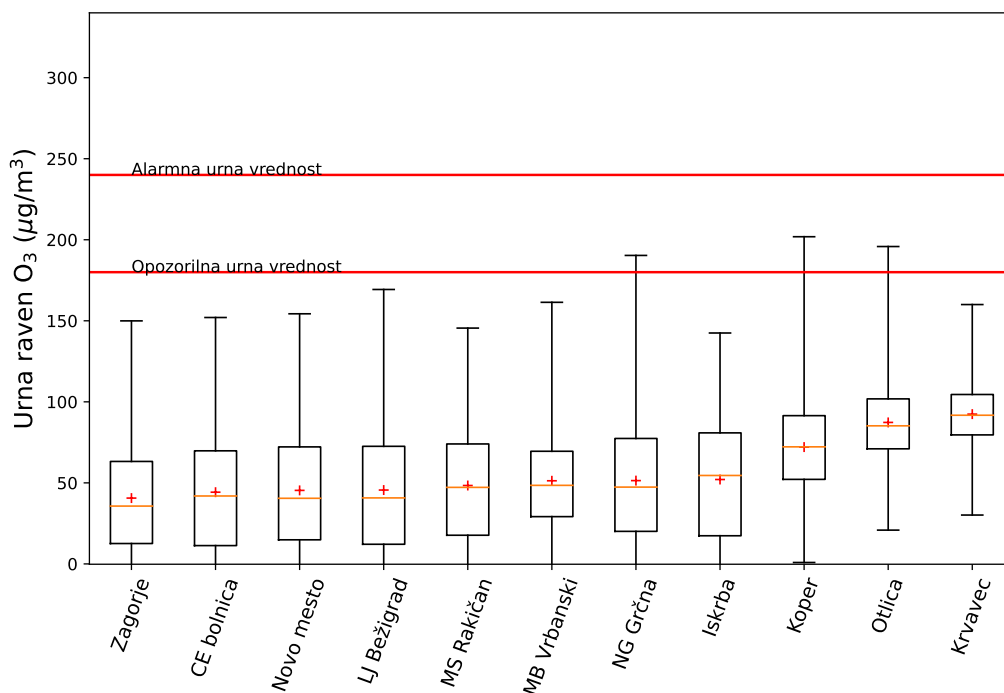
*AOT40 vrednost je izražena v ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) · ure in pomeni vsoto razlik med urnimi ravnimi večjimi od $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in ravnju $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ v danem času z upoštevanjem enournih vrednosti, izmerjenih vsak dan med 8:00 in 20:00 po srednjeevropskem času.

6.2 Ravni onesnaženosti

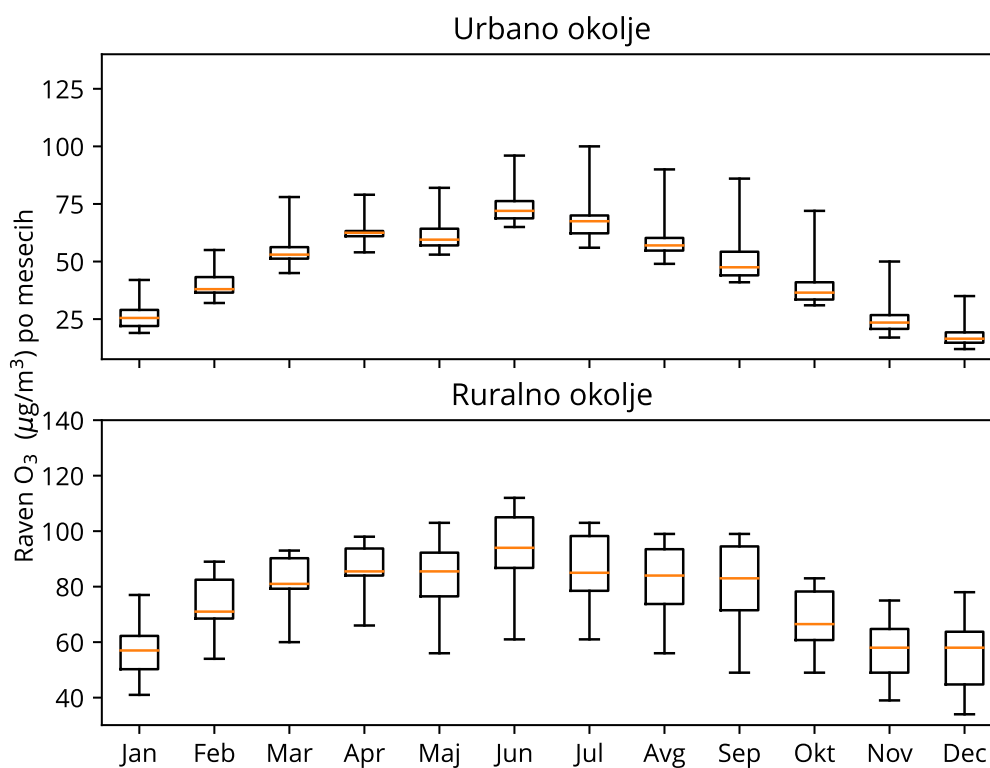
Letne ravni ozona so bile v letu 2023 na večini merilnih mest približno na istem nivoju kot v letu 2022. Najvišje povprečne letne vrednosti ozona so vedno zabeležene na višje ležečih merilnih mestih. V merilni mreži DMKZ sta višje ležeči merilni mesti Krvavec ($92 \mu\text{g}/\text{m}^3$) in Otlica ($87 \mu\text{g}/\text{m}^3$), v dopolnilni merilni mreži pa Pohorje ($75 \mu\text{g}/\text{m}^3$) in Zavodnje ($76 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Na merilnem mestu Koper je bila letna raven ozona najvišja med nižje ležečimi merilnimi mesti ($72 \mu\text{g}/\text{m}^3$), saj so tu zelo ugodni pogoji za tvorbo ozona. Med višjimi je bilo tudi letno povprečje na merilnem mestu Sv.Mohor ($67 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Na merilnem mestu NG Grčna, ki leži na Primorskem, ob meji z Italijo, bi bile lahko zabeležene višje ravni ozona (letno povprečje $51 \mu\text{g}/\text{m}^3$), vendar je vpliv prometa na to merilno mesto velik in posledično so zato nižje ravni ozona. Na ostalih merilnih mestih DMKZ se v letu 2023 letne ravni ozona gibljejo med $44 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in $52 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Pregled izmerjenih letnih ravni, število preseženih ciljnih, opozorilnih in alarmnih vrednosti ozona v letu 2023 je podan v tabeli 6.2. V tabeli so tudi podatki za AOT40 za leto 2023 in petletno povprečje AOT40, ki je pomembno za varstvo rastlin.

Urne ravni ozona na postajah DMKZ v letu 2023 so prikazane na sliki 6.1, najvišje urne ravni po mesecih pa v tabeli 6.4. V letu 2023 je bila opozorilna vrednost ozona $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ presežena na merilnih mestih na Primorskem, v Kopru, NG Grčni ter na Otlici in v Zadobrovi. Večina preseganj je bila zabeležena v juniju, ob vsakem preseganju so bila izdana opozorila na spletni strani ARSO. Število preseganj opozorilne vrednosti po mesecih je prikazan tabeli 6.6.

Na sliki 6.2 je prikazan potek mesečnih ravni ozona v letu 2023 na urbanih in ruralnih merilnih mestih. Iz slike je razvidno, da so bile junija zabeležene v povprečju najvišje mesečne vrednosti v tem letu tako na urbanem kot na ruralnem področju. V urbanem okolju, na večinoma višje ležečih merilnih mestih, so povprečne ravni ozona višje od vrednosti v ruralnem okolju. V ruralnem okolju so povprečne mesečne vrednosti precej podobne od aprila do avgusta, v urbanem okolju pa so v poletnem času razlike večje. V ruralnem okolju je namreč manj možnosti za reakcije z drugimi snovmi (npr. svežimi izpusti iz prometa), ki povzročajo razpad ozona.



Slika 6.1: Urne ravni O_3 na merilnih mestih DMKZ v letu 2023. Prikazane so najnižja in najvišja izmerjena raven (spodnja in zgornja vodoravna črtica), oba kvartila (vrh in dno pravokotnika) in mediana (rdeča vodoravna črtica v pravokotniku). Znak + prikazuje letno povprečje.



Slika 6.2: Mesečne ravni O_3 na urbanih in ruralnih merilnih mestih v letu 2023. Prikazane so najnižja in najvišja izmerjena raven (spodnja in zgornja vodoravna črtica), oba kvartila (vrh in dno pravokotnika) in mediana (rdeča vodoravna črtica v pravokotniku).

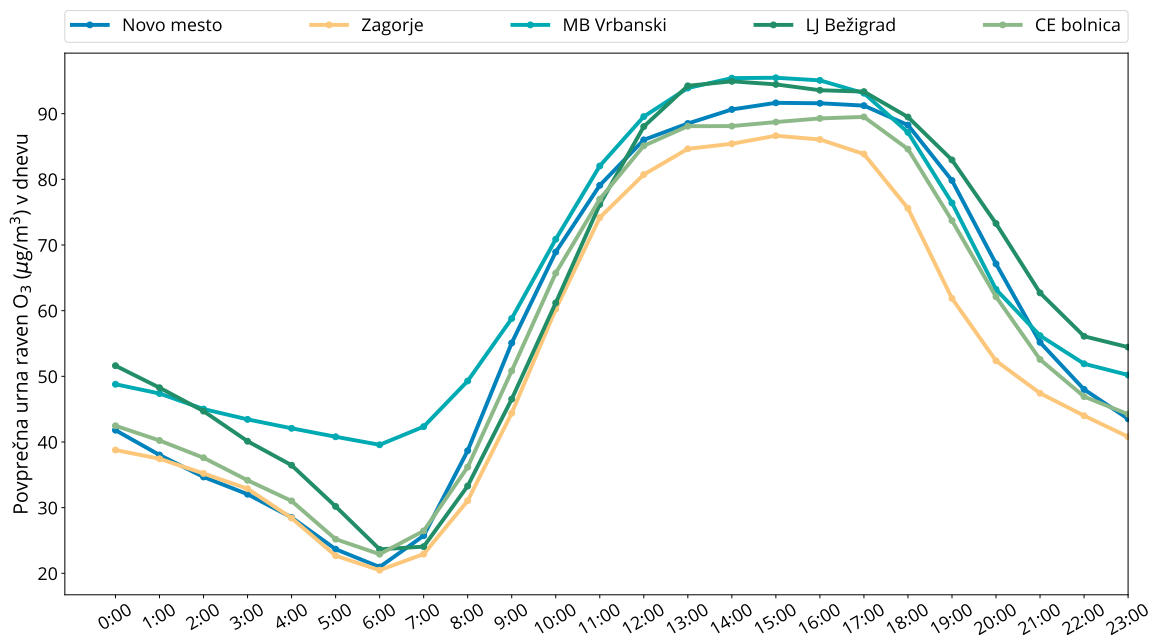
Tabela 6.2: Raven ozona v zunanjem zraku v letu 2023. Prikazana je razpoložljivost podatkov (% pod), letna raven (C_p), maksimalna urna in maksimalna dnevna 8-urna povprečna vrednost (max) v $\mu\text{g}/\text{m}^3$, število preseganj opozorilne (>OV) in alarmne vrednosti (>AV), število prekoračitev dolgoročne ciljne vrednosti (>CV) in AOT40 za leto 2023 in za petletno obdobje.

Merilna mreža	Merilno mesto	%pod	Leto C_p	Varovanje zdravja					Varovanje rastlin	
				1 ura max	>OV	>AV	8 ur max	>CV	maj–julij AOT40	5 let AOT40
DMKZ	CE bolnica	100	44	152	0	0	143	11	13589	13965
	Iskrba	100	52	142	0	0	132	10	16621	16914
	Koper	100	72	202	16	0	192	57	31963	27857
	Krvavec	100	92	160	0	0	148	50	26078	23326
	LJ Bežigrad	100	46	169	0	0	160	20	18943	15758
	MB Vrbanški	99	51	161	0	0	150	9	16037	15532
	MS Rakičan	99	48	146	0	0	142	12	17164	15574
	NG Grčna	99	51	190	4	0	178	37	24713	25238
	Novo mesto	100	45	154	0	0	144	5	15362	14992
	Otlica	99	87	196	11	0	180	54	29688	27672
Zagorje	100	41	150	0	0	142	7	11207	9260	
TE-TOL	Zadobrova	96	44	202	5	0	187	13	17610	/
TE Brestanica	Sv. Mohor	99	67	149	0	0	143	8	14760	/
MO Maribor	MB Tezno	99	45	141	0	0	136	4	11666	/
	Pohorje	98	75	134	0	0	131	3	12380	/
TE Šostanj	Velenje	100	49	153	0	0	141	11	14951	/
	Zavodnje	98	76	154	0	0	142	18	16832	/
	Mobilna TEŠ	100	46	147	0	0	142	8	13151	/

Opomba: S poševnim tiskom so označena merilna mesta v mreži DMKZ, ki jih ne uporabljamo za oceno skladnosti v neizpostavljenem okolju.

Dnevni potek povprečnih urnih ravni ozona med aprilom in septembrom je za nekaj merilnih mest prikazan na sliki 6.3. Izbrali smo merilna mesta v osrednji in vzhodni Sloveniji. Na sliki 6.3 so prikazana merilna mesta Novo mesto, Zagorje, MB Vrbanški, LJ Bežigrad in CE bolnica. To so merilna mesta v centralni Sloveniji, ki se glede ravni ozona ne razlikujejo veliko. To potrjuje, da ima onesnaženost zraka z ozonom izrazit regionalni značaj. Razlika med posameznimi poteki ozona preko dneva je namreč odvisna od mikro lokacije merilnega mesta, od nadmorske višine in vpliva lokalnih izpustov na to merilno mesto. Potek ravni ozona je podoben na vseh petih merilnih mestih, z jutranjim padcem in porastom v zgodnjih popoldanskih urah. Na vseh merilnih mestih nastopi maksimum med 13. in 17. uro, ko je sončno obsevanje močno in so temperature zraka najvišje. Najnižje ravni ozona so običajno zaznane v času jutranje prometne konice, ko ozon reagira z dušikovim monoksidom iz prometa.

Pri določanju skladnosti s predpisanimi vrednostmi sta pri ozonu pomembni urna vrednost in maksimalna dnevna 8-urna povprečna vrednost za varovanje zdravja in AOT40 za varovanje rastlin. Na maksimalno dnevno 8-urno povprečno vrednost sta vezani ciljna in dolgoročna ciljna vrednost za varovanje zdravja. Razlika med njima je le v dovoljenem številu preseganj te vrednosti (tabela 6.1). Dolgoročna ciljna vrednost za varovanje zdravja, $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ je bila v letu 2023 presežena na vseh merilnih mestih. Več kot 25 preseganj te vrednosti je bilo leta 2023 zabeleženih na merilnih mestih Koper (57) in NG Grčna (37) ter na visokoležečih merilnih mestih Otlica (54) in Krvavec (50). Na vseh ostalih merilnih mestih je bilo preseganj manj kot 25 (tabela 6.2). To v večji meri prikazuje tudi modelski rezultati števila preseganj 8-urnih vrednosti v letu 2023, ki so prikazani na sliki 6.4. Modelska ocena kaže, da je zaradi povišanih izpustov dušikovih oksidov v Trstu, Kopru in bližnji okolici



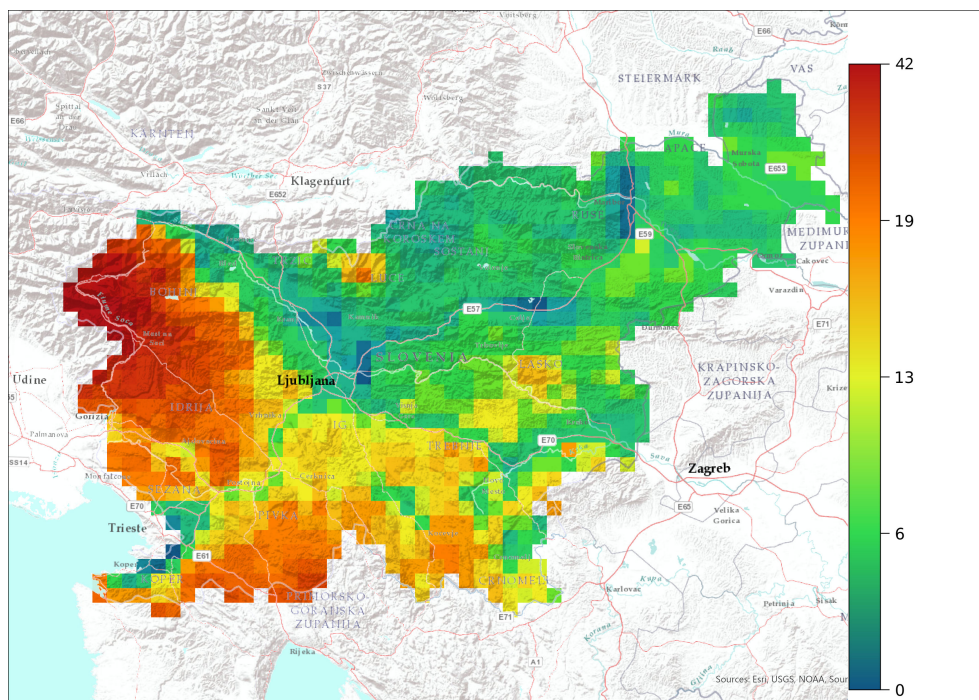
Slika 6.3: Dnevni potek povprečne urne ravni O₃ na izbranih merilnih mestih med aprilom in septembrom 2023

število preseganj na območju okrog Kopra prenizko. Glede na rezultate meritev bi morala biti celotna zahodna Slovenija obarvana rdeče.

Preseganja dolgoročne ciljne vrednosti za varovanje zdravja so bila v letu 2023 zabeležena v obdobju od februarja do oktobra (tabela 6.6). Največ preseganj je bilo na vseh merilnih mestih zabeleženih junija in julija. V letu 2023 je bilo zabeleženih precej manj preseganj maksimalnih dnevnih 8-urnih preseganj kot v letu 2022 (tabela 6.8 in slika 6.6) na vseh merilnih mestih. Leto 2023 je po številu preseganj bolj podobno letoma 2021 in 2020. Je pa tudi v letu 2023 velika razlika v številu preseganj na Primorskem in na visokoležečih merilnih mestih Krvavec in Otlica v primerjavi z drugimi merilnimi mesti. Število preseganj vrednosti 120 µg/m³ je pomembno pri določanju ciljne vrednosti za varovanje zdravja, ki se izračuna kot triletno povprečje te vrednosti. Število preseganj 8-urne ciljne vrednosti v drsečem povprečju treh let za obdobje od leta 2012 do 2023 je podano v tabeli 6.9, število preseganj v posameznem letu za obdobje 2010 do 2023 pa v tabeli 6.8.

Ciljno vrednost za določanje vpliva na zdravje smo izračunali iz podatkov za leta 2021, 2022 in 2023. Kot smo že omenili na ravni ozona vplivajo predvsem vremenske razmere v poletnem času. Triletno povprečje v letu 2023 je skoraj na vseh merilnih mestih višje kot leta 2022. K višjemu triletnemu povprečju v letu 2023 je največ doprineslo leto 2022. Poletje 2020, ki smo ga upoštevali pri izračunu za leto 2022, je bilo nadpovprečno namočeno, poletje 2021 pa tudi ni bilo med najtoplejšimi. Na nižje vrednosti ozona v letih 2020 in 2021 so vplivali tudi ukrepi za obvladovanje pandemije COVID. Ciljna vrednost je bila tako za leto 2023, v povprečju treh let, presežena na merilnih mestih Koper, NG Grčna, Otlica in Krvavec ter Lj Bežigrad. Na merilnem mestu Lj Bežigrad smo za izračun upoštevali samo leti 2021 in 2023, ker v letu 2022 nismo imeli dovolj veljavnih podatkov v poletnem času.

Za varovanje rastlin sta predpisani ciljna vrednost in dolgoročna ciljna vrednost AOT40. Ciljno vrednost za varovanje rastlin ocenjujemo kot 5-letno povprečje AOT40 na merilnih mestih zunaj pozidanih območij (MS Rakičan, Iskrba, Koper) in mora biti nižja od vrednosti 18.000 µg/m³ · h



Slika 6.4: Število preseganj 8-urnih vrednosti v letu 2023 izračunanih z modelskim sistemom ALADIN-SI/CAMx

(tabela 6.2). V letu 2023 je bila ciljna vrednost nižja od predpisane vrednosti na merilnih mestih MS Rakičan in Iskrba, presežena pa je bila na merilnem mestu Koper. Merilno mesto Koper je sicer označeno kot merilno mesto mestnega ozadja, a je za ozon primerno za oceno vpliva na vegetacijo v Primorski regiji. K nižjemu povprečju AOT40 v letu 2023 sta prispevali predvsem leti 2020 in 2021. V celotni Evropi je bil leta 2020 AOT40 najnižji v zadnjih 14 letih [9]. Dolgoročna ciljna vrednost AOT40 za zaščito vegetacije je določena za eno leto in znaša $6000 \mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{h}$ in je krepko presežena na vseh merilnih mestih.

Tabela 6.3: Povprečna mesečna raven ozona ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) v letu 2023

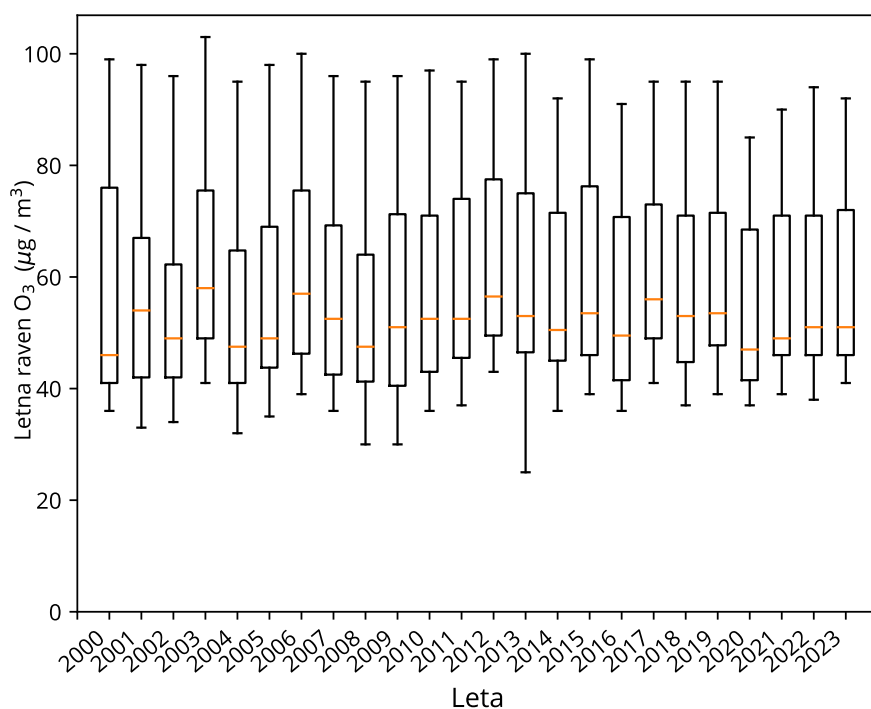
Merilna mreža	Merilno mesto	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
DMKZ	CE bolnica	25	35	49	58	55	69	67	54	43	38	23	17
	Iskrba	41	54	60	66	56	61	61	56	49	49	39	34
	Koper	42	55	78	79	82	96	100	90	86	72	50	35
	Krvavec	77	89	93	98	103	112	103	99	99	83	75	78
	LJ Bežigrad	19	37	52	63	61	77	70	56	45	32	18	15
	MB Vrbanski	29	46	56	61	60	76	70	66	56	41	29	26
	MS Rakičan	30	41	56	64	65	70	65	58	49	41	26	14
	NG Grčna	28	44	57	66	72	78	76	60	55	41	24	12
	Novo mesto	24	43	54	61	57	72	63	55	44	35	21	16
	Otlica	64	86	93	96	94	108	102	96	97	82	67	65
Zagorje	22	32	45	54	53	65	65	56	49	41	31	20	18
TE-TOL	Zadobrova	22	37	48	62	58	75	69	57	44	31	17	16
TE Brestanica	Sv. Mohor	48	68	79	84	74	85	77	71	69	59	46	41
MO Maribor	MB Tezno	22	37	52	62	64	67	60	57	49	35	23	14
	Pohorje	57	70	80	87	87	92	83	82	79	67	58	60
TE Šostanj	Velenje	26	35	52	63	57	72	68	61	54	39	31	23
	Zavodnje	57	72	82	84	84	96	87	86	87	66	58	56
	Mobilna TEŠ	29	39	57	63	59	68	59	50	46	34	26	18

Tabela 6.4: Maksimalna urna raven ozona ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) po mesecih v letu 2023

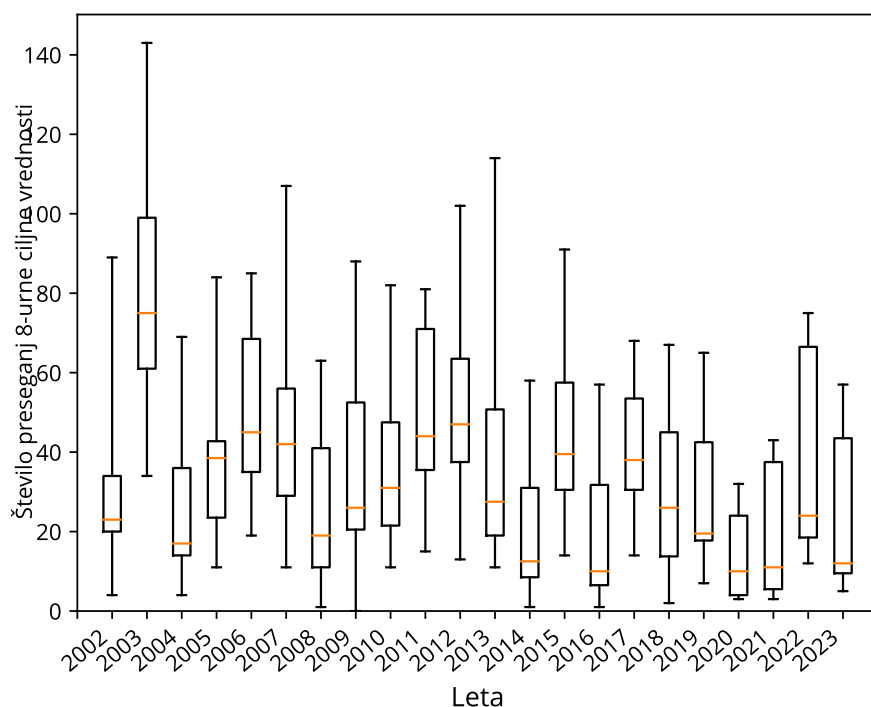
Merilna mreža	Merilno mesto	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
DMKZ	CE bolnica	82	103	122	126	126	151	152	133	142	115	86	75
	Iskrba	83	109	115	118	125	141	142	136	132	128	100	86
	Koper	83	106	122	133	160	202	172	160	151	145	96	81
	Krvavec	103	115	122	122	137	147	156	160	133	137	106	97
	LJ Bežigrad	71	101	121	130	130	163	169	149	139	125	80	78
	MB Vrbanski	77	90	113	113	133	161	130	132	134	105	91	77
	MS Rakičan	86	101	117	113	133	146	126	136	135	114	85	72
	NG Grčna	94	120	130	141	152	190	182	158	147	143	82	76
	Novo mesto	80	104	118	118	128	154	126	133	145	115	82	69
	Otlica	95	130	128	132	142	196	189	165	187	152	95	92
Zagorje	69	95	109	109	130	150	140	133	138	125	77	71	
TE-TOL	Zadobrova	74	103	113	120	145	202	160	137	135	113	81	77
TE Brestanica	Sv. Mohor	82	107	121	117	133	147	145	134	14	120	89	78
MO Maribor	MB Tezno	73	90	115	112	125	142	117	123	120	97	80	75
	Pohorje	84	94	110	118	131	134	130	124	109	99	97	84
TE Šostanj	Velenje	81	106	115	114	125	150	142	153	133	113	91	77
	Zavodnje	88	107	114	115	130	145	154	140	126	113	91	92
	Mobilna TEŠ	80	110	119	117	128	147	140	124	111	117	84	69

Podatki o povprečnih letnih ravneh ozona in številu preseganj ciljne 8-urne in dolgoročne ciljne 8-urne vrednosti za posamezna merilna mesta za obdobje 2010 do 2023 so podani v tabelah 6.7 do 6.9. V tabeli 6.10 je prikazano število preseganj opozorilne vrednosti za isto obdobje. Na slikah 6.5 in 6.6 so prikazane letne ravni in število preseganj 8-urne vrednosti za daljše obdobje.

Povprečne letne ravni ozona ne kažejo opaznih tendenc v zadnjih letih. Manjša nihanja so posledica vremenskih razmer, posebej tistih poletih, ko so pogoji za nastanek ozona zaradi močnejšega sončnega obsevanja in višjih temperatur ugodnejši. Ta nihanja so bolj kot v letnem povprečju izražena v številu prekoračitev opozorilne urne in ciljne 8-urne vrednosti. Nekoliko nižje vrednosti pa so bile zabeležene v letih 2020 in 2021, ko smo se z različnimi ukrepi borili proti COVID-u.



Slika 6.5: Letne ravni O₃ na vseh merilnih mestih za posamezna leta od leta 2000 - 2023. Prikazane so najnižja in najvišja izmerjena raven (spodnja in zgornja vodoravna črtica), oba kvartila (vrh in dno pravokotnika) in mediana (rdeča vodoravna črtica v pravokotniku).



Slika 6.6: Preseganja 8-urne ciljne vrednosti za ozon na merilnih mestih DMKZ za posamezna leta v obdobju 2002 - 2023. Prikazane so najnižja in najvišja izmerjena raven (spodnja in zgornja vodoravna črtica), oba kvartila (vrh in dno pravokotnika) in mediana (rdeča vodoravna črtica v pravokotniku).

Tabela 6.5: Število prekršitev urne opozorilne vrednosti ($180 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ozona v letu 2023

Merilna mreža	Merilno mesto	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
DMKZ	CE bolnica	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Iskrba	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Koper	0	0	0	0	0	16	0	0	0	0	0	0
	Krvavec	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	LJ Bežigrad	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	MB Vrbanski	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	MS Rakičan	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	NG Grčna	0	0	0	0	0	3	1	0	0	0	0	0
	Novo mesto	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Otlica	0	0	0	0	0	5	3	0	3	0	0	0
Zagorje	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
TE-TOL	Zadobrova	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0
TE Brestanica	Sv. Mohor	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MO Maribor	MB Tezno	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Pohorje	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TE Šostanj	Velenje	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Zavodnje	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Mobilna TEŠ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabela 6.6: Število prekršitev 8-urne ciljne vrednosti ($120 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ozona v letu 2023

Merilna mreža	Merilno mesto	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
DMKZ	CE bolnica	0	0	0	1	0	6	3	0	1	0	0	0
	Iskrba	0	0	0	0	0	5	2	2	1	0	0	0
	Koper	0	0	0	0	4	14	18	13	6	2	0	0
	Krvavec	0	0	0	0	9	14	10	11	4	2	0	0
	LJ Bežigrad	0	0	0	0	0	8	7	3	2	0	0	0
	MB Vrbanski	0	0	0	0	1	6	0	1	1	0	0	0
	MS Rakičan	0	0	0	0	1	7	1	1	2	0	0	0
	NG Grčna	0	0	1	6	4	11	9	3	3	0	0	0
	Novo mesto	0	0	0	0	0	4	0	0	1	0	0	0
	Otlica	0	1	2	3	6	12	13	7	7	3	0	0
Zagorje	0	0	0	0	1	5	0	0	1	0	0	0	
TE-TOL	Zadobrova	0	0	0	0	0	7	4	2	0	0	0	0
TE Brestanica	Sv. Mohor	0	0	0	0	1	4	0	1	2	0	0	0
MO Maribor	MB Tezno	0	0	0	0	1	3	0	0	0	0	0	0
	Pohorje	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0
TE Šostanj	Velenje	0	0	0	0	0	7	0	4	0	0	0	0
	Zavodnje	0	0	0	0	2	6	4	6	0	0	0	0
	Mobilna TEŠ	0	0	0	0	1	6	1	0	0	0	0	0

Tabela 6.7: Povprečna letna raven ozona ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) za obdobje 2010 - 2023

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
CE bolnica	42	45	49	46	42	42	39	46	44	44	42	42	43	44
Iskrba	55	51*	56	52	52	51	50	59	51	55	67*	48	51	52
Koper	68	72	74	73	69	74	67	73	69	70	67	68	71	72
Krvavec	97	95	99	100	92	99	91	95	95	95	85	90	94	92
LJ Bežigrad	41	43	46	46	38	43	39	49	45	44	41	46	38*	46
MB Pohorje	71	80	80	76	72	81	72	74	77	76	72	74	75	75
MB Tezno	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	37	46	55	45
MB Vrbanški	/	/	/	52	49	55	49	56	55	54	46	52	50	51
MS Rakičan	51	52	55	53	45	46	48	53	55	53	47	45	47	48
NG Grčna	46	53	57	53	46	52	46	50	50	52	50	50	54	51
Novo mesto	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	39*	46	46	45
Otlica	83	80	87	88*	78	83	78	84	83	85	76	83	89	87
Sv. Mohor	54	71	67	75	67	70	54	68	68	69	60	70	69	67
Velenje	51	48	52	51	46	46	43	49	44	49	43	48	47	49
Zagorje	36	41	43*	42	36	39	36	41	37	39	37	39	44	41
Zavodnje	73	74	78	75	70	77	72	73	79	79	70	75	77	76
Hrastnik	48	47	51	48	45	47	41	52	47	53*	/	/	/	/
Kovk	71	74	76	67	80	87	75	/	/	/	/	/	/	/
MB Titova	40	37	43	25*	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Trbovlje	42	41	46	43	39	42	36	44	42	41	38	42*	/	/
Vnjanjarje	73	77	82	86*	76	74	66	69	/	/	/	/	/	/

* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.

Opomba: Podatki za leta od 1992-2017 so na voljo v Poročilu o kakovosti zraka za leto 2017 [10].
Podatki za leta od 2000-2021 so na voljo v Poročilu o kakovosti zraka za leto 2021 [11].

Tabela 6.8: Število preseganj dolgoročne ciljne vrednosti ($120 \mu\text{g}/\text{m}^3$) v posameznem letu za obdobje 2010 – 2023

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
CE bolnica	22	39	39	21	10	29	7	29	14	17	10	5	23	11
Iskrba	36	35	54	33	24	37	14	42	17	24	22*	6	25	10
Koper	56	81	62	64	42	79	51	61	54	44	24	40	66	57
Krvavec	82	76	102	114	58	91	57	68	67	65	24	43	71	50
LJ Bežigrad	20	44	47	29	7	42	13	51	22	19	11	31	14*	20
MB Vrbanški	/	/	/	/	7	53	7	31	30	19	4	11	21	9
MS Rakičan	22	44	47	26	9	31	7	34	30	20	4	5	24	12
NG Grčna	41	66	65	48	31	65	34	51	42	42	32	35	67	37
Novo mesto	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	0*	7	16	5
Otlica	54	76	73	59*	31	55	31	61	55	55	21	42	75	54
Zagorje	11	15	13	13	1	14	1	14	2	7	3	3	12	7
Hrastnik	31	36	36	24	15	33	5	33	13	18*	/	/	/	/
MB Titova	3	0*	5	0*	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Trbovlje	21	23	23	11	10	22	5	28	10	13	9	/	/	/

* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.

Opomba: Podatki za leta od 1992-2017 so na voljo v Poročilu o kakovosti zraka za leto 2017 [10].

Podatki za leta od 2000-2021 so na voljo v Poročilu o kakovosti zraka za leto 2021 [11].

Tabela 6.9: Število preseganj 8-urne ciljne vrednosti ($120 \mu\text{g}/\text{m}^3$) v drsečem povprečju treh let za obdobje 2012 – 2023. Prekoračitve predpisane vrednosti so označene odebeljeno.

	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
CE bolnica	33	33	23	20	15	22	17	20	14	11	13	13
Iskrba	42	41	37	31	25	31	24	28	21	15	16	14
Koper	66	69	56	62	57	64	55	53	41	36	43	54
Krvavec	87	97	91	88	69	72	64	67	52	44	46	55
LJ Bežigrad	37	40	28	26	21	35	29	31	17	20	21	26
MB Vrbanški	/	/	/	24	22	30	23	27	18	11	12	14
MS Rakičan	38	39	27	22	16	24	24	28	18	10	11	14
NG Grčna	57	60	48	48	43	50	42	45	39	35	45	46
Novo mesto	/	/	/	/	/	/	/	/	/	7	12	9
Otlica	68	69*	54*	48*	39	49	49	57	44	39	46	57
Zagorje	13	14	9	9	5	10	6	8	4	4	6	7
Hrastnik	34	32	25	24	18	24	17	23	13	/	/	/
MB Titova	3	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Trbovlje	22	19	15	14	12	18	14	17	11	11	/	/

* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.

Opomba: Podatki za leta od 1992-2017 so na voljo v Poročilu o kakovosti zraka za leto 2017 [10].

Podatki za leta od 2000-2021 so na voljo v Poročilu o kakovosti zraka za leto 2021 [11].

Tabela 6.10: Število preseganj opozorilne vrednosti ($180 \mu\text{g}/\text{m}^3$) za obdobje 2010 – 2023

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
CE bolnica	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Iskrba	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0*	0	0	0
Koper	2	4	13	22	0	9	0	5	1	4	0	2	11	16
Krvavec	14	0	10	6	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
LJ Bežigrad	0	0	3	1	0	0	0	6	0	0	0	0	0*	0
MB Vrbanski	/	/	/	/	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MS Rakičan	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NG Grčna	0	2	18	20	0	6	0	4	9	5	2	3	3	4
Novo mesto	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	0*	0	0	0
Otlica	3	1	12	33*	0	0	0	15	3	25	0	0	7	11
Zagorje	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Hrastnik	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0*	/	/	/	/
MB Titova	0	0	0	/	/	/	/	/	0	/	/	/	/	/
Trbovlje	0	0	1	0	0	0	0	4	0	0	0	0*	/	/

* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.

Opomba: Podatki za leta od 1992-2017 so na voljo v Poročilu o kakovosti zraka za leto 2017 [10].

Podatki za leta od 2000-2021 so na voljo v Poročilu o kakovosti zraka za leto 2021 [11].

6.3 Epizode čezmerne onesnaženosti

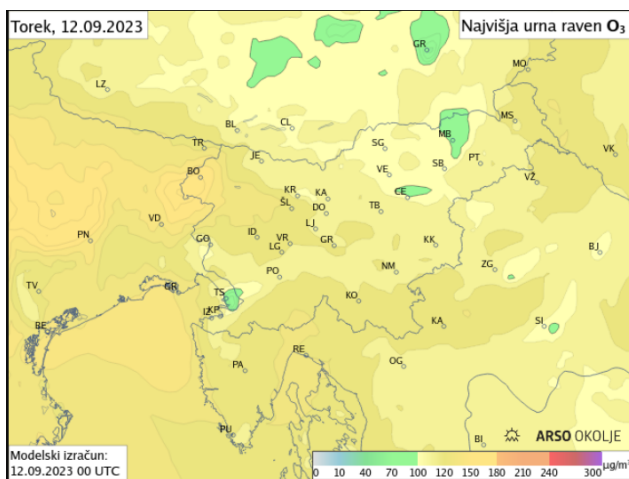
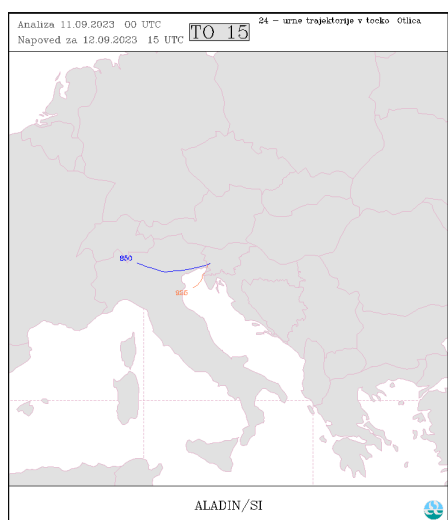
Leto 2023 je bilo najtoplejše leto v zgodovini meritev v Sloveniji in tudi tretje najbolj namočeno leto od leta 1950 v Sloveniji. Prvi vročinski val je Slovenijo v tem letu zajel med 21. in 23. junijem. Julij je bil nadpovprečno namočen, najdaljše obdobje brez padavin je bilo med 7. in 11. julijem. Avgust je bil v znamenju obsežnih poplav. V septembru je povprečna temperatura povsod po državi občutno presegla normalo. In vso to vremensko dogajanje je vpivalo na tvorbo ozona v poletnem času v letu 2023.

Do 20. tega junija so se izmenjevali nadpovprečno topli in hladni dnevi, prvi vročinski val poletja 2023 je bil zabeležen med 21. in 23. junijem. V teh dneh je prišlo do večine preseganj opozorilnih urnih vrednosti v tem letu. V Kopru je bila v tem obdobju kar 14 krat presežena opozorilna urna vrednost. 21. in 22. junija je bilo sončno in vroče. Najvišje dnevne temperature so bile od 30°C do 36°C. Od jugozahoda je nad naše kraje dotekal razmeroma suh in vroč afriški zrak. Zaradi prisotnosti saharskega prahu v zraku je bilo ozračje precej motno. Glede na vremensko situacijo bi pričakovali še višje ravni ozona, vendar prašni delci v ozračju znižajo ravni ozona. Dve preseganji opozorilne vrednosti sta bili v Kopru zabeleženi še 27. junija in takrat je bila izmerjena tudi najvišja urna vrednost v tem letu (202 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Zaradi pogostih padavin, so bile ravni ozona julija nižje od pričakovanih. Obdobje toplega in sončnega vremena brez izdatnih padavin je na območju celotne Slovenije trajalo od 7.7. do 11.7.2023, temperatura se je v Novi Gorici zadnji dan tega obdobju povzpela na 36°C. Narasle so tudi ravni ozona. Na merilnih mestih NG Grčna in Otlica v Trnovskem gozdu (nadmorska višina 950 m) je vrednost ozona 11.7.2023 presegla opozorilno vrednost 180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Poleg zelo ugodnih vremenskih pogojev za tvorbo ozona (vročina in sonce) je razlog za preseganje tudi ugodna smer zračnega toka. Analiza modelskih podatkov je pokazala, da je v zahodni Sloveniji zračna masa prihajala iz Padske nižine, kjer so bile na več merilnih mestih v okolici Benetk presežene opozorilne vrednosti ozona.

Prve dni avgusta 2023 je bil v znamenju obsežnih poplav. Sredi meseca avgusta je bilo več dni suhega vremena z visokimi temperaturami, ki so se gibale med 30°C in 37°C. Takrat so nastali ugodni pogoji za nastanek ozona, vendar preseganja opozorilne vrednosti nismo zabeležili na nobenem merilnem mestu.

Prva polovica septembra je bila suha in topla. Na Otlici je 12. septembra 2023 v poznih večernih urah prišlo do preseganja opozorilne urne vrednosti, kar je za september precej nenavadno. Od leta 2001 smo imeli v septembru le dvakrat zabeležena preseganja, in sicer 2003 v Novi Gorici in leta 2006 na Otlici. Že pred 12. septembrom je bilo na Primorskem za ta čas relativno toplo, saj so temperature presegle 32°C. Visoke temperature so bile tudi po celotni Padski nižini, kjer je v teh dneh na mnogih merilnih postajah prišlo do preseganja opozorilne vrednosti ozona. Glavni razlog za preseganje ozona na Otlici ni samo lokalna tvorba ozona zaradi visokih temperatur temveč tudi prevladujoča zahodna cirkulacija na višini 925 hPa oziroma še višje, na 850 hPa. Analiza je pokazala, da so bile trajektorije za ta dan na obeh višinah izrazito iz zahodne smeri, njihov izvor pa je bil v osrednji Padski nižini, kjer pa so bile ravni ozona zelo visoke (slika 6.7).



Slika 6.7: Modelska napoved sistema ALADIN-SI/CAMx najvišje urne ravni ozona za 12. 9. 2023 (desno) in trajektorije za ta dan (levo)

7. Dušikovi oksidi

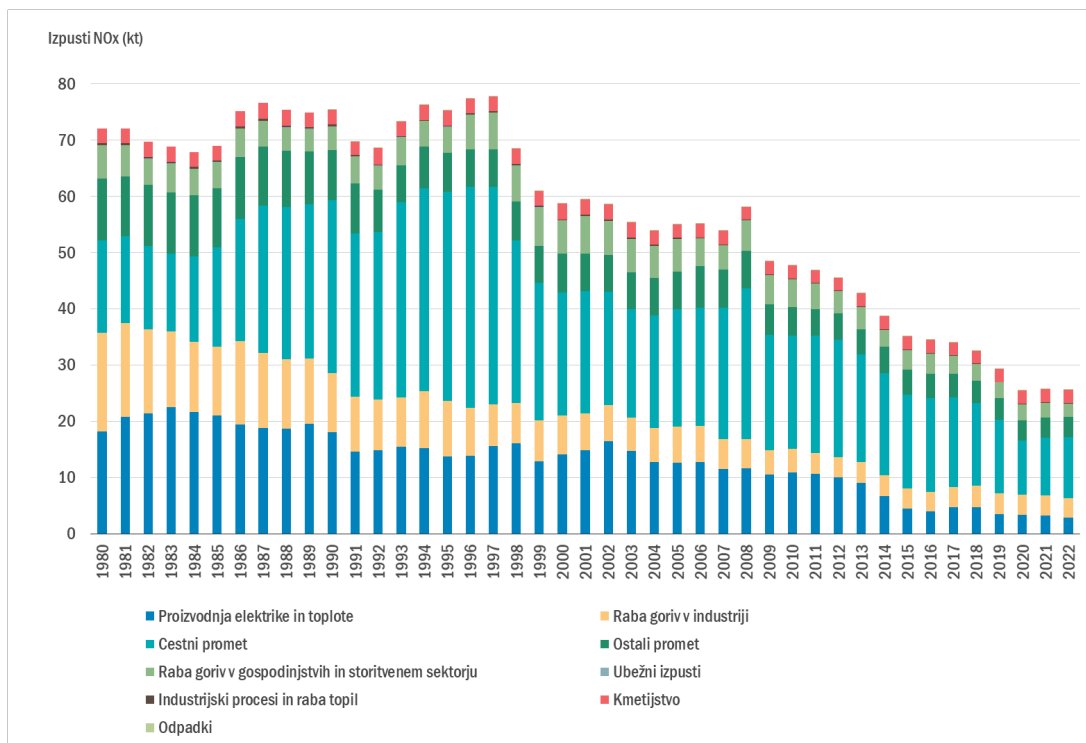
Dušikovi oksidi (NO_x) so spojine, sestavljene iz atomov kisika in dušika. Obstaja šest takšnih spojin: NO , NO_2 , N_2O , N_2O_3 , N_2O_4 in N_2O_5 . V ozračju je največ dušikovega monoksida (NO) in dušikovega dioksida (NO_2). Iz izpustov prihaja v zrak največ dušikovega monoksida, ki v ozračju postopno oksidira v dušikov dioksid. Dušikovi oksidi spadajo med predhodnike ozona in vplivajo na podnebne spremembe. Velik toplogredni učinek ima sicer nestrupeni N_2O , saj je njegov učinek na segrevanje ozračja kar 300-krat večji od učinka, ki ga ima CO_2 . So pa ravni N_2O v ozračju razmeroma majhne in je zato tudi njegov prispevek k skupnemu ogrevanju ozračja v primerjavi s CO_2 relativno majhen [12], [13]. Zdravju škodljiv je dušikov dioksid, NO_2 , ki vpliva predvsem na dihalo. Dušikov oksid in dušikov dioksid pripomoreta k nastanku kislega dežja, ki škoduje vegetaciji in prsti in hkrati dvigujeta raven nitratov v prsti in tekočih vodah.

7.1 Izpusti

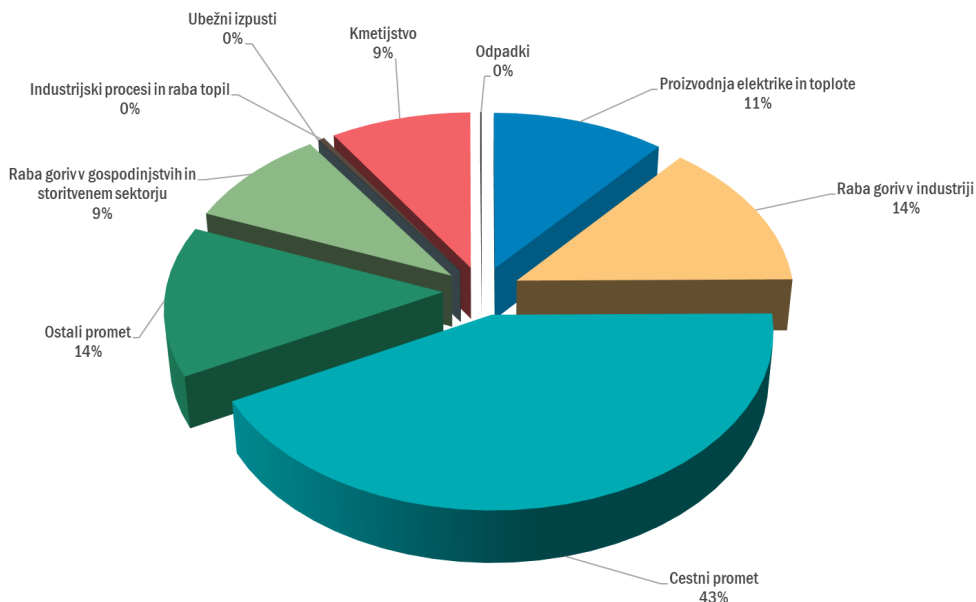
Več kot polovica izpustov NO_x prihaja v ozračje iz prometa. Največji vir izpustov NO_x je v letu 2022 predstavljal cestni promet, saj je k skupnim državnim izpustom prispeval kar 43 %. Precejšen delež je prispeval ostali promet (14 %) in v enakem deležu poraba goriv v industriji (14 %). Letni izpusti NO_x so v Sloveniji leta 2022 znašali 26 tisoč ton. V obdobju 1980-2022 so se izpusti zmanjšali za 64 %. Zmanjšanje izpustov je posledica uvajanja strožjih emisijskih standardov za motorna vozila v prometu, izvajanja ukrepov v termoelektrarnah in toplarnah, zamenjave goriv in izboljšanja procesov izgorevanja v industriji. Viri državnih izpustov NO_x in izpusti v obdobju 1980-2022 so prikazani na slikah 7.1 in 7.2.

Slovenija izpolnjuje vse obveznosti iz Direktive (EU) 2016/2284 o zmanjšanju nacionalnih izpustov za nekatera onesnaževala zraka (t.i. direktive NEC) ([14]) in iz Protokola o zmanjševanju zakisljevanja, evtrofikacije in prizemnega ozona (Goeteborškega protokola) ([15]) h Konvenciji o onesnaževanju zraka preko meja na velike razdalje (CLRTAP) ([4]). Skupni državni izpusti NO_x so bili v letu 2022 za 43 % nižji od ciljne vrednosti 45 tisoč ton, ki ne sme biti presežena od leta 2010 dalje. Dosegamo tudi cilj, ki predpisuje zmanjšanje izpustov po letu 2020. Izpusti NO_x morajo biti po letu 2020 nižji za najmanj 39 % glede na leto 2005. Slovenija prav tako izpolnjuje zahteve iz Protokola h konvenciji CLRTAP glede nadzora nad izpusti dušikovih oksidov in njihovih čezmejnih tokov. Skupne državne vrednosti izpustov NO_x ne presegajo vrednosti iz izhodiščnega leta 1987. Izpusti dušikovih oksidov se podajajo kot vsota vseh dušikovih oksidov izraženih v ekvivalentu NO_2 .

Podrobne informacije o izpustih dušikovih oksidov in metodologiji izračuna izpustov so na voljo v zadnjem poročilu Informative Inventory Report, Slovenia 2024 [2].



Slika 7.1: Letni izpusti dušikovih oksidov po sektorjih v Sloveniji



Slika 7.2: Izpusti dušikovih oksidov po sektorjih v Sloveniji v letu 2022

7.2 Zahteve za kakovost zraka

V Uredbi o kakovosti zunanjega zraka [5] so za dušikove okside predpisane mejni in alarmna vrednost za zaščito zdravja ter kritična vrednost za zaščito vegetacije. Prikazane so v tabeli 7.1.

Tabela 7.1: Mejni, alarmna in kritična vrednost za dušikove okside [5]

	Cilj	Čas merjenja	Vrednost	Dovoljeno število preseganj
Mejna vrednost	Zdravje	1 ura	200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ NO ₂	18 ur na leto
Mejna vrednost	Zdravje	Koledarsko leto	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ NO ₂	
Alarmna vrednost	Zdravje	1 ura (3 zaporedne)	400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ NO ₂	
Kritična vrednost	Vegetacija	Koledarsko leto	30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ NO _x	

7.3 Ravni onesnaženosti

Meritve dušikovih oksidov v DMKZ izvajamo na 11 merilnih mestih, ki so enakomerno razporejena po celotni Sloveniji. Meritve NO_x in NO₂ se izvajajo tudi v dopolnilnih merilnih mrežah, ki jih izvajajo drugi izvajalci in tudi ti podatki so objavljeni v tem poročilu. Na nobenem merilnem mestu v letu 2023 ni prišlo do preseganja mejne ali kritične vrednosti.

Tabela 7.2: Razpoložljivost podatkov (% pod), povprečna letna (C_p) in maksimalna urna raven (max) v letu, izražene v $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ter število preseganj mejne (>MV) in alarmne (>AV) vrednosti za NO₂. Razpoložljivost podatkov (% pod) in letna raven za NO_x (C_p), izražena v $\mu\text{g}/\text{m}^3$ v letu 2023.

Merilna mreža	Merilno mesto	Varovanje zdravja NO ₂					Varovanje rastlin NO _x	
		%pod	C _p	max	>MV	>AV	%pod	C _p
DMKZ	CE bolnica	100	20	96	0	0	100	38
	Iskrba	94	2	14	0	0	/	/
	Koper	100	14	74	0	0	100	18
	LJ Bežigrad	100	21	107	0	0	100	37
	LJ Celovška	100	28	98	0	0	100	63
	MB Titova	100	23	90	0	0	100	47
	MB Vrbanski plato	99	7	53	0	0	99	10
	MS Rakičan	99	10	72	0	0	99	15
	NG Grčna	100	21	98	0	0	100	40
	Novo mesto	100	10	68	0	0	100	14
Zagorje	100	17	74	0	0	100	34	
OMS MOL	LJ Center	99	38	122	0	0	99	85
TE-TOL	Zadobrova	96	16	109	0	0	96	30
MO Celje	CE Gaji	98	16	77	0	0	98	28
TE Brestanica	Sv.Mohor	99	4	33	0	0	99	5
MO Maribor	MB Tezno	100	16	86	0	0	100	31
TE Šoštanj	Škale	99	6	41	0	0	99	7
	Šoštanj	99	9	56	0	0	99	13
	Zavodnje	99	4	43	0	0	99	5
	Mobilna TEŠ	100	11	64	0	0	100	18

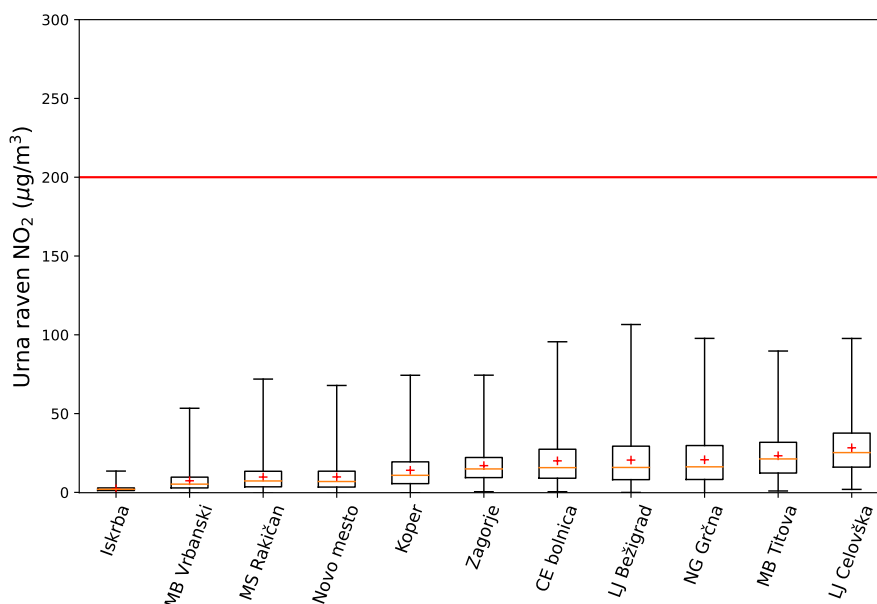
Opomba: V merilni mreži DMKZ so s poševnim tiskom označeni podatki, ki jih ne uporabljamo za oceno skladnosti v neizpostavljenem okolju.

Letna in urna mejna vrednost NO₂, ki sta predpisani za zaščito zdravja, v letu 2023 nista bili preseženi na nobenem merilnem mestu v merilni mreži DMKZ niti v dopolnilni merilni mreži. Rezultati vseh meritev v letu 2023 so prikazani v tabeli 7.2. Najvišja letna povprečna raven NO₂ je bila izmerjena

na merilnem mestu LJ Center ($38 \mu\text{g}/\text{m}^3$) in je le malo nižja od predpisane letne mejne vrednosti $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Na vseh ostalih merilnih mestih so letne ravni v letu 2023 nižje, tudi na bolj prometnih merilnih mestih kot so LJ Celovška, MB Titova in NG Grčna. NG Grčna sicer ni klasificirana kot prometno merilno mesto, ker je od krožišča oddaljena 21 metrov, kar je več kot določa zakonodaja (10 metrov), je pa vpliv prometa na to merilno mesto velik. Zagorje je klasificirano kot prometno merilno mesto, gostota prometa pa je na tej lokaciji bistveno nižja kot v Novi Gorici in temu primerno so v Zagorju nižje tudi ravni dušikovih oksidov.

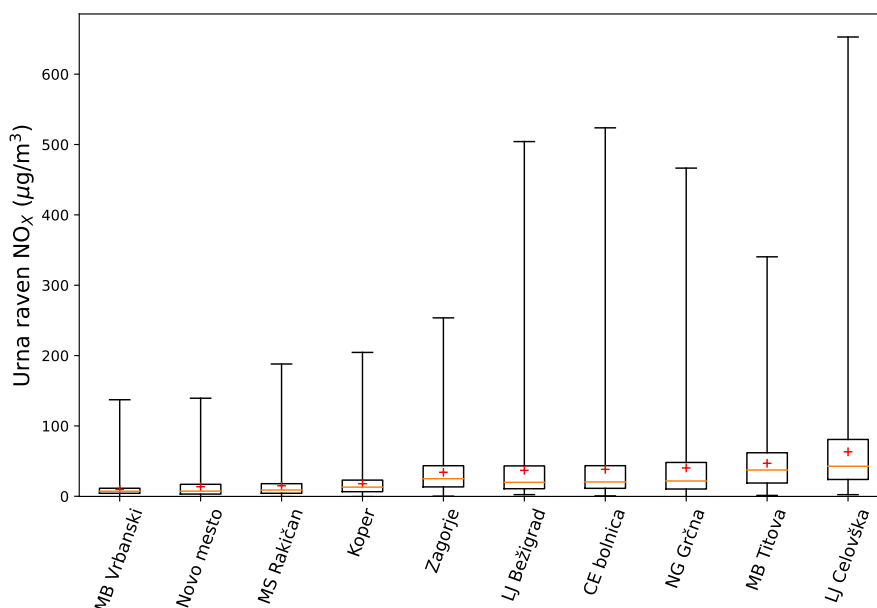
Najvišje urne ravni NO_2 so bile izmerjene na merilnih mestih, ki so s prometom najbolj obremenjena. So pa le na treh merilnih mestih (LJ Bežigrad, LJ Center in Zadobrova) presegle vrednosti, ki so višje od polovice urne mejne vrednosti. Na vseh ostalih merilnih mestih so bile urne ravni NO_2 še nižje. Predpisana urna mejna vrednost je $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ki je lahko po zakonodaji presežena 18-krat v enem letu. Najvišje urne vrednosti so torej tudi precej nižje od alarmne urne vrednosti $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ki mora biti presežena 3 zaporedne ure, da se šteje za preseganje. Urne ravni NO_2 na merilnih mestih DMKZ so prikazane na sliki 7.3.

Za zaščito vegetacije je predpisana kritična letna vrednost NO_x $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Za oceno vpliva NO_x na vegetacijo so v DMKZ primerna merilna mesta Murska Sobota Rakičan, Koper in Iskrba, vendar na Iskrbi ne merimo ravni NO_x temveč samo NO_2 . V dopolnilni merilni mreži sta ruralni merilni mesti Zavodnje in Sveti Mohor. Na nobenem ruralnem merilnem mestu kritična vrednost za NO_x v letu 2023 ni bila presežena (tabela 7.2). Najvišja raven je bila med ruralnimi mesti izmerjena na merilnem mestu Koper, in sicer $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Na vseh ostalih ruralnih merilnih mestih so bile ravni NO_x nižje. Urne ravni NO_x na merilnih mestih v DMKZ so prikazane na sliki 7.4.



Slika 7.3: Urne ravni NO_2 na merilnih mestih DMKZ v letu 2023. Prikazane so najnižja in najvišja izmerjena raven (spodnja in zgornja vodoravna črtica), oba kvartila (vrh in dno pravokotnika) in mediana (oranžna vodoravna črtica v pravokotniku). Znak + označuje letno raven. Rdeča črta prikazuje urno mejno vrednost.

Ravni NO_2 in NO_x imajo značilen letni in dnevni hod. Na vseh merilnih mestih so najnižje ravni izmerjene v poletnih mesecih, ko so vremenske razmere za razredčevanje izpustov ugodnejše. V



Slika 7.4: Urne ravni NO_x na merilnih mestih DMKZ v letu 2023. Prikazane so najnižja in najvišja izmerjena raven (spodnja in zgornja vodoravna črtica), oba kvartila (vrh in dno pravokotnika) in mediana (oranžna vodoravna črtica v pravokotniku). Znak + označuje letno raven.

tem obdobju so manjši tudi izpusti dušikovih oksidov zaradi zmanjšanega prometa (dopusti, počitnice in večja uporaba koles). Ravni dušikovih oksidov so najvišje pozimi, ko je ozračje najbolj stabilno in najslabše prevetreno, izpusti pa nekoliko višji kot poleti (tabele 7.3 - 7.5 ter sliki 7.5 in 7.6). So pa ravni NO₂ in NO_x bistveno višje v urbanem kot v ruralnem okolju, saj je eden največjih virov dušikovih oksidov ravno promet.

Dnevni hod NO₂ kaže, da se na vseh merilnih mestih ob jutranji prometni konici pojavi prvo obdobje višjih ravni dušikovih oksidov zaradi povečanih izpustov iz prometa (slika 7.7). V popoldanskem oziroma večernem času pa se pojavi v plasti zraka pri tleh še drugo povišanje ravni NO₂, ki je na različnih merilnih mestih bolj ali manj izrazito. Merilni mesti LJ Celovška in MB Titova sta klasificirani kot prometni postaji, nihanje ravni dušikovega dioksida tekom dneva ni tako izrazito in ravni so povišane preko celega dneva. Na merilnem mestu LJ Bežigrad je dnevni hod bolj izrazit, ravni NO₂ so nekoliko nižje kot na merilnem mestu LJ Celovška. Merilno mesto MB Vrbanski pa ni neposredno pod vplivom prometa in so ravni dušikovih oksidov precej nižje kot na ostalih merilnih mestih. Na sliki 7.7 lahko opazimo razliko med delavniki ter vikendi. Ob delavnikih so večino dneva ravni višje zaradi intenzivnejšega prometa, medtem ko so med vikendi najvišje vrednosti zabeležene v večernem času.

V obdobju od leta 2010 do 2023 je bilo zabeleženo preseganje letne mejne vrednosti za zaščito zdravja le na merilnem mestu LJ Center. V zadnjih letih tudi na tem merilnem mestu mejna letna vrednost ni bila presežena (tabela 7.6 in slika 7.8). Na sliki 7.8 so prikazane letne ravni NO₂ od leta 2010 naprej za vsa merilna mesta DMKZ, dodano je še merilno mesto LJ Center, kjer so bila edino zabeležena preseganja letne mejne vrednosti. Podatki s postaje LJ Center za leti 2018 in 2019 nista prikazani na sliki 7.8, ker so podatki le informativni zaradi prevelikega izpada meritev. Nabor prikazanih postaj je preko let različen, ker se meritve niso ves čas izvajale na vseh merilnih mestih. Meritve na merilnih mestih LJ Celovška in Novo mesto so prikazane šele od leta 2021 naprej, ko smo

Tabela 7.3: Mesečna raven NO₂ (µg/m³) v letu 2023

Merilna Mreža	Merilno mesto	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
DMKZ	CE bolnica	29	32	26	19	15	14	11	11	16	17	23	28
	Iskrba	4	5	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2
	Koper	17	20	14	15	13	13	10	11	10	10	14	22
	LJ Bežigrad	30	32	25	18	13	12	9	11	16	20	29	32
	LJ Celovška	35	37	34	26	24	21	18	21	23	27	34	40
	MB Titova	28	33	28	21	20	21	17	17	19	21	25	30
	MB Vrbanski	13	11	10	5	4	3	3	3	5	7	11	13
	MS Rakičan	13	15	11	7	5	5	5	4	8	10	14	19
	NG Grčna	26	30	26	16	12	13	12	14	20	21	26	33
	Novo mesto	17	18	14	10	6	4	4	4	6	8	13	14
Zagorje	23	26	22	16	12	13	11	10	13	15	20	22	
OMS MOL	LJ Center	44	49	44	39	36	36	29	31	38	35	38	42
TE-TOL	Zadobrova	29	32	23	13	9	8	8	7	9	13	21	27
MO Celje	CE Gaji	26	25	21	14	11	10	9	9	11	11	18	21
TE Brestanica	Sv. Mohor	5	7	4	2	3	3	2	2	3	3	6	8
MO Maribor	MB Tezno	21	27	18	11	7	7	9	9	12	16	21	28
TE Šostanj	Škale	10	11	7	5	4	4	2	2	5	5	7	10
	Šoštanj	13	15	10	6	6	6	6	7	9	9	11	14
	Zavodnje	5	6	4	3	3	2	3	3	4	4	4	6
	Mobilna TEŠ	15	21	14	9	6	8	6	6	8	9	12	16

* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.

Tabela 7.4: Maksimalna urna raven NO₂ (µg/m³) po mesecih v letu 2023

Merilna Mreža	Merilno mesto	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
DMKZ	CE bolnica	77	96	91	80	78	54	40	40	54	60	71	85
	Iskrba	11	14	12	6	5	7	7	5	10	7	10	10
	Koper	74	71	69	73	63	49	61	64	57	55	66	73
	LJ Bežigrad	78	107	88	71	49	46	39	55	72	64	77	73
	LJ Celovška	86	96	93	79	74	74	50	58	70	75	81	98
	MB Titova	71	87	87	73	57	60	52	59	71	90	68	84
	MB Vrbanski	46	47	53	43	25	16	18	18	20	30	50	43
	MS Rakičan	48	53	72	45	29	25	23	20	47	57	51	53
	NG Grčna	96	98	92	84	59	74	63	78	78	79	70	76
	Novo mesto	56	68	67	56	30	31	34	28	29	29	45	45
Zagorje	68	74	69	52	40	49	42	29	44	40	57	59	
OMS MOL	LJ Center	103	122	116	104	96	111	87	99	112	94	99	104
TE-TOL	Zadobrova	78	109	87	62	76	37	31	31	38	46	76	64
MO Celje	CE Gaji	75	77	58	63	55	38	31	37	45	52	70	62
TE Brestanica	Sv. Mohor	27	25	17	13	12	11	10	8	8	12	21	33
MO Maribor	MB Tezno	66	86	79	52	42	39	36	49	51	58	72	81
TE Šostanj	Škale	41	24	28	18	21	17	13	14	26	16	29	38
	Šoštanj	47	56	39	30	23	24	46	26	41	47	39	37
	Zavodnje	17	43	23	15	14	20	18	19	18	35	26	26
	Mobilna TEŠ	64	54	46	46	41	33	23	24	28	32	31	39

* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.

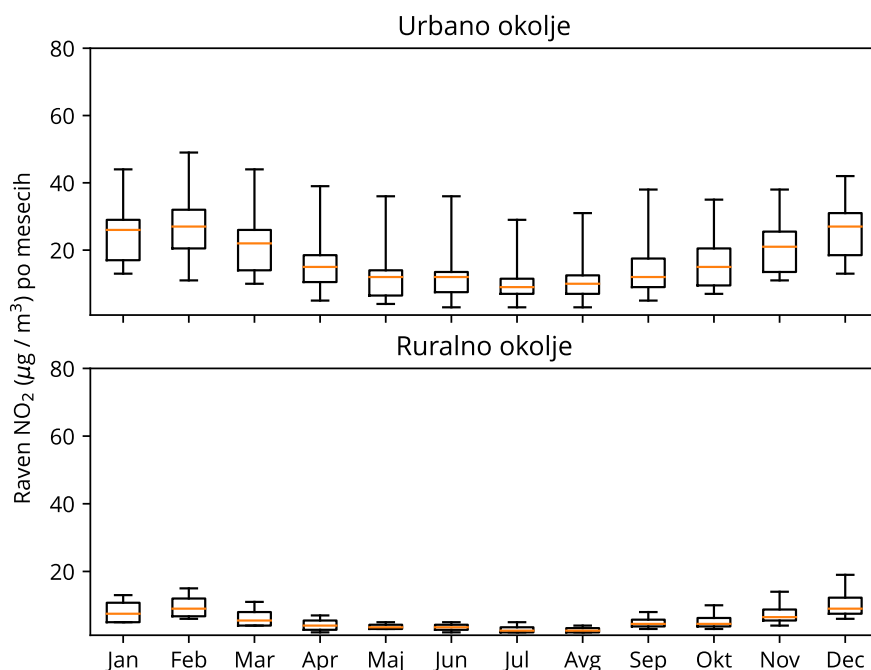
imeli na razpolago popoln niz letnih podatkov.

Povprečne letne ravni dušikovega dioksida se nekoliko spreminjajo, lahko bi govorili o rahlem trendu upadanja (slika 7.8). Z leti so se znižali izpusti dušikovih oksidov (slika 7.1). Medletna variabilnost je seveda tudi posledica meteoroloških pogojev. Ob toplejših zimah z več vetra in padavin ter ob manjšem številu temperaturnih obratov so ravni nižje, ob drugačnih pogojih pa višje. V letih 2020 in

Tabela 7.5: Mesečna raven NO_x ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) v letu 2023

Merilna mreža	Merilno mesto	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
DMKZ	CE bolnica	67	67	44	28	21	18	13	15	26	29	55	79
	Koper	23	26	17	18	15	15	12	13	12	13	19	32
	LJ Bežigrad	62	55	34	22	18	16	14	17	26	35	63	82
	LJ Celovška	96	83	63	44	40	34	29	32	43	61	100	132
	MB Titova	66	64	52	37	38	35	27	27	35	46	64	72
	MB Vrbanski	17	13	11	6	5	9	9	6	5	8	13	15
	MS Rakičan	22	23	15	10	7	7	6	5	11	14	22	39
	NG Grčna	57	58	43	26	18	18	16	20	32	40	62	95
	Novo mesto	25	24	17	11	6	5	4	4	8	11	22	25
Zagorje	50	50	35	25	21	21	18	18	24	32	53	63	
OMS MOL	LJ Center	127	115	88	69	60	54	42	51	73	79	118	147
TE-TOL	Zadobrova	61	58	36	17	11	12	12	12	14	21	47	67
MO Celje	CE Gaji	48	45	32	20	18	14	12	13	19	21	41	55
TE Brestanica	Sv. Mohor	6	8	6	4	4	4	3	3	4	5	6	11
MO Maribor	MB Tezno	46	54	31	16	10	10	12	12	17	29	48	82
TE Šostanj	Škale	11	13	8	6	6	5	4	2	7	7	9	12
	Šostanj	20	20	12	7	7	6	8	11	13	12	18	24
	Zavodnje	8	9	5	3	4	6	5	3	4	5	5	7
	Mobilna TEŠ	28	34	21	17	13	10	8	8	14	15	20	27

* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.



Slika 7.5: Mesečne ravni NO_2 na urbanih in ruralnih merilnih mestih v letu 2023. Prikazani so najnižja in najvišja izmerjena raven (spodnja in zgornja vodoravna črtica), oba kvartila (vrh in dno pravokotnika) in mediana (oranžna vodoravna črtica v pravokotniku).

2021 so na ravni dušikovih oksidov vpivali tudi ukrepi za preprečevanje epidemije COVID-a.

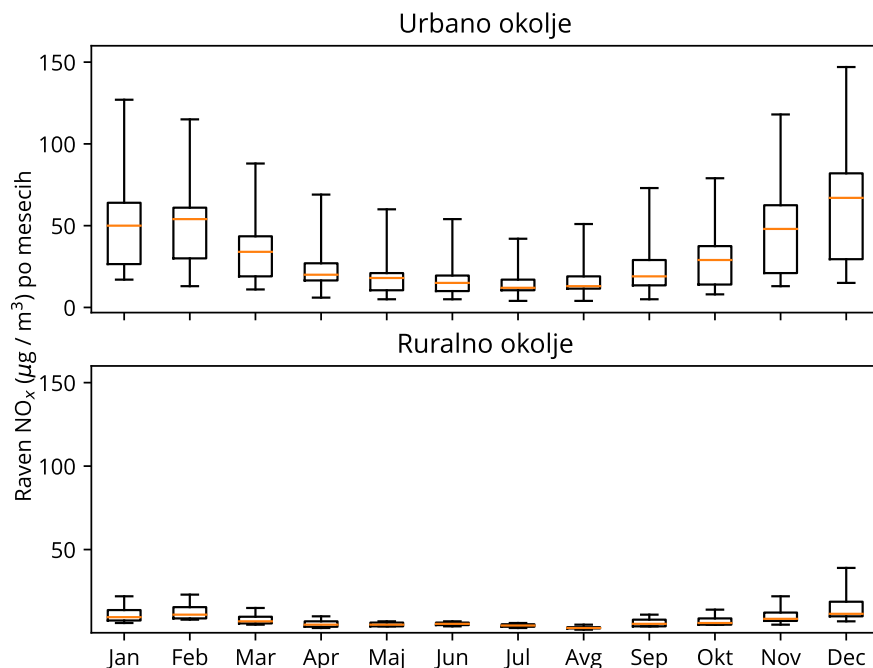
Tabela 7.6: Letne ravni NO₂ (µg/m³) v letih 2010 - 2023. Ravni, ki presegajo letno mejno vrednost so napisane v krepki pisavi.

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
CE bolnica	26	25	27	26	28	29*	22	28	26	25	20	21	21	20
CE Gaji	/	/	/	20	23	23	16	22	17	14	12*	16	17	16
Iskrba	2*	2*	2	2	2	2	2	2	2	2	3*	1	1	2
Koper	21	22	18	21	17	17	15	18	18	15	16	15	15	14
LJ Bežigrad	35	31	22	29	26	30	29	30	26	25	20	23	21	21
LJ Celovška	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	25*	32	29	28
LJ Center	63	55	52	43	40	36	32	50	48*	45*	35	33	38	38
MB Tezno	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	21	21	21*	16
MB Titova	34	34	33	32	30	31	27*	27	22	25	25	27	25	23
MB Vrbanški	/	12*	13	14	13	19	13	13	15*	16	8*	8	8	7
MS Rakičan	/	16	19	16	12	13	12	21	12	13	11	10	9	10
NG Grčna	29	28	26	25	19	22	24	30	25	26	21	23	24	21
Novo mesto	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	9*	11	11	10
Sv. Mohor	3*	8	8	6	7	7	7	7	7	5	5	5	5	4
Škale	8	8	7	9	7	8	9	8	7	6	7	7	6	6
Šoštanj	/	/	/	/	/	/	/	20	12	10	10	10	10	9
Zadobrova	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	16	17	16
Zagorje	/	/	22*	23	20	25	24	25	20	20	17	19	18	17
Zavodnje	5	9	8	8	7	7	5	6	5	5	5	4	5	4
Dobovec	11*	6	5*	14	13	3	1*	/	/	/	/	/	/	/
Kovk	9	11	6*	12	8	8	6	/	/	/	/	/	/	/
Tibovlje	20*	17	17	16	17	18	18	21	16	19	15	18*	/	/
Vnajnarje	4	7*	10	8	7	9	9	17	/	/	/	/	/	/
Zelena trava	/	/	8*	16	12	18	/	/	/	/	/	/	/	/

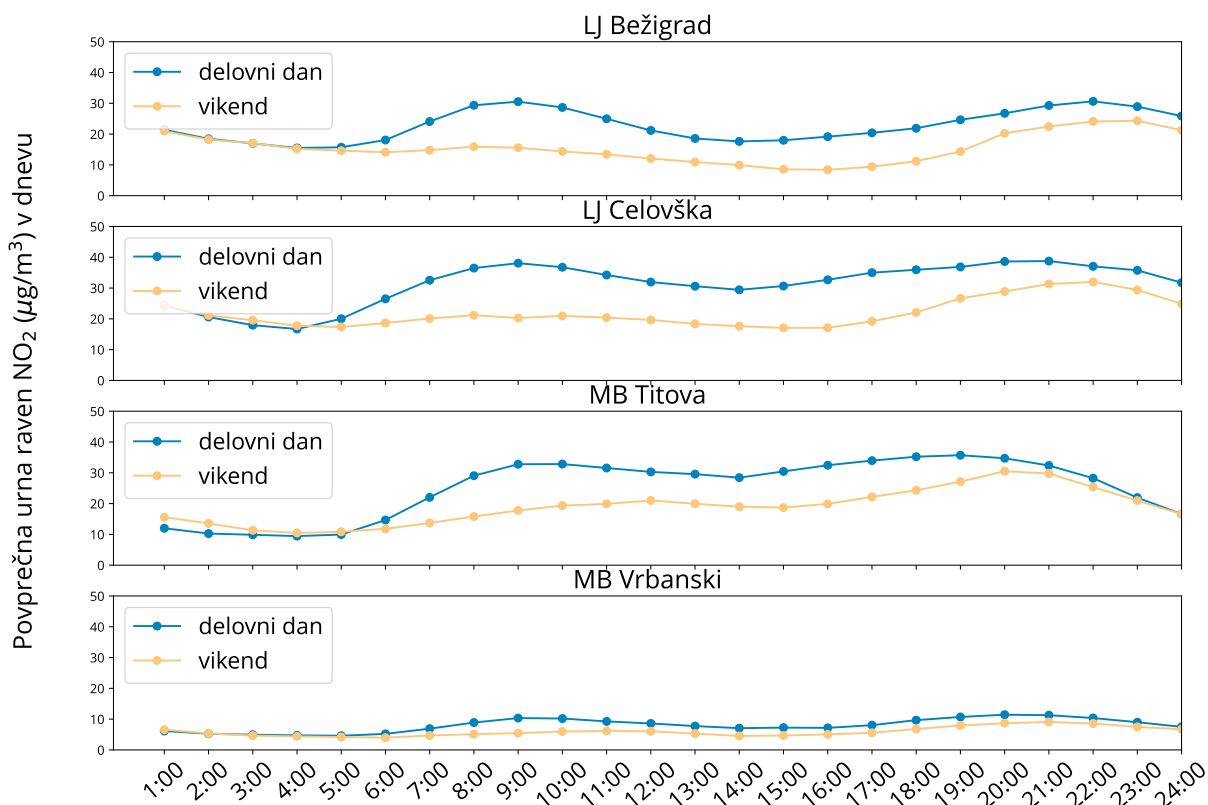
* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja. V tem poročilu so upoštevani popravki iz preteklih poročil.

Opomba: Podatki za leta od 1992-2017 so na voljo v Poročilu o kakovosti zraka za leto 2017 [10].

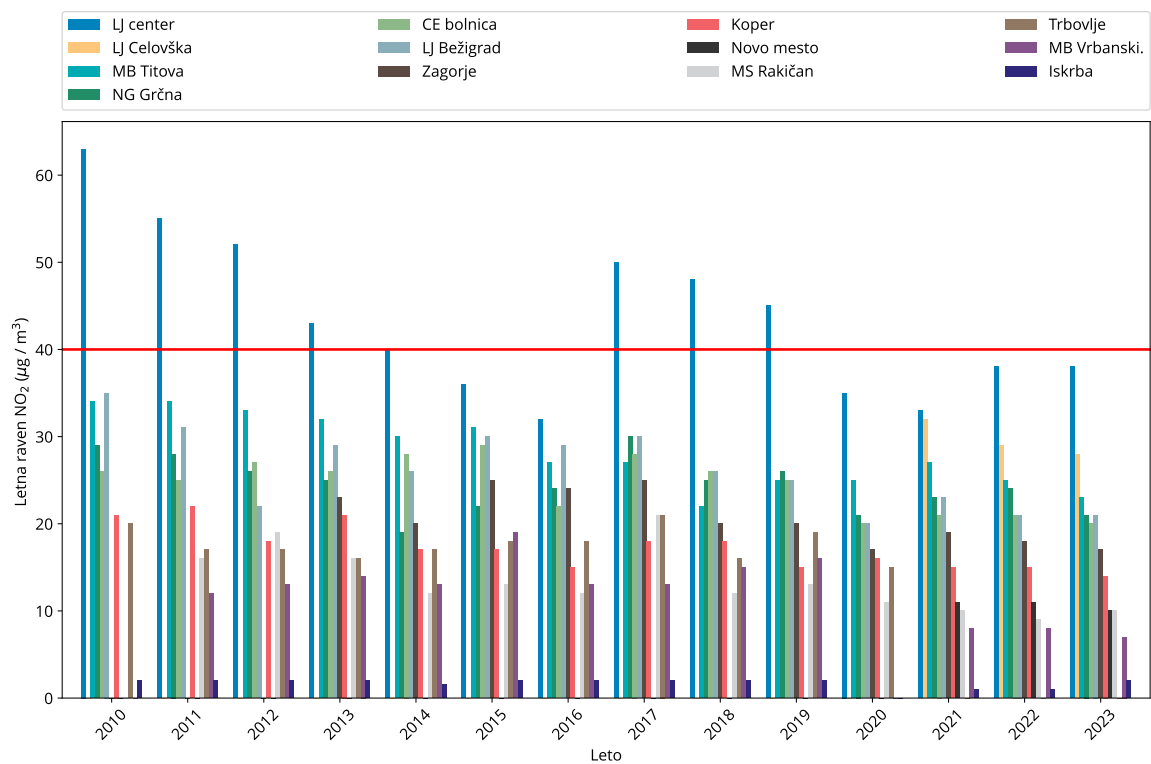
Podatki za leta od 2000-2021 so na voljo v Poročilu o kakovosti zraka za leto 2021 [11].



Slika 7.6: Mesečne ravni NO_x na merilnih mestih v urbanem in ruralnem okolju v letu 2023. Prikazani so najnižja in najvišja izmerjena raven (spodnja in zgornja vodoravna črtica), oba kvartila (vrh in dno pravokotnika) in mediana (oranžna vodoravna črtica v pravokotniku).



Slika 7.7: Dnevni potek povprečne urne ravni NO_2 na merilnih mestih v letu 2023



Slika 7.8: Letne ravni NO₂ na vseh merilnih mestih DMKZ za posamezna leta. Rdeča črta prikazuje letno mejno vrednost.

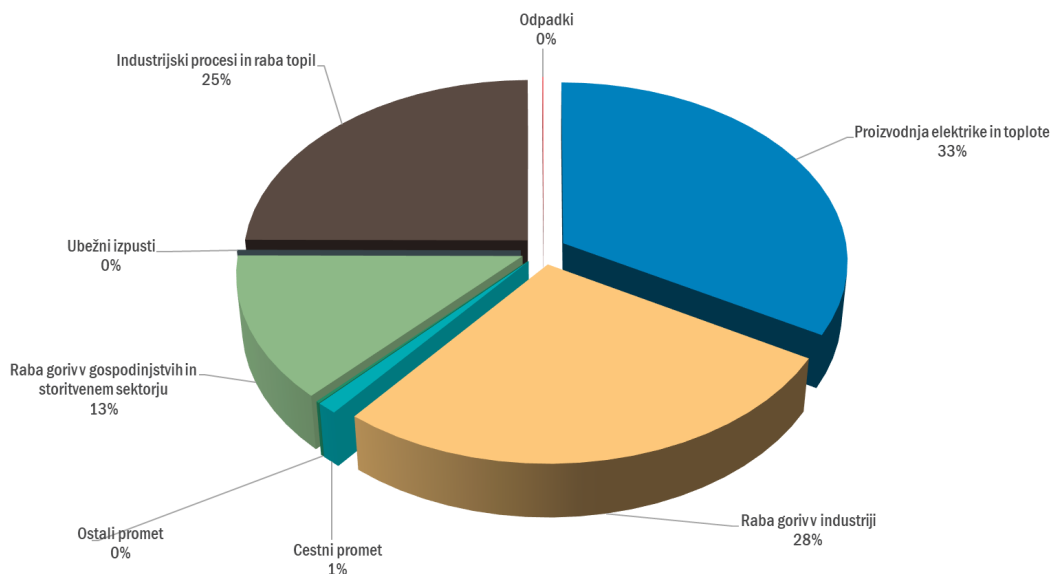
8. Žveplov dioksid

Žveplov dioksid (SO_2) je onesnaževalo, ki je pred nekaj desetletji predstavljalo največji problem onesnaženosti zraka v slovenskih mestih in v okolici termoelektrarn. Največji viri emisij so bili takrat energetika, industrija in kurjenje premoga v individualnih kuriščih. Z opuščanjem premoga v individualnih kuriščih, velikim zmanjšanjem deleža žvepla v tekočih gorivih, izgradnjo čistilnih naprav pri termoenergetskih ter industrijskih objektih in s prenehanjem proizvodnje v delu industrije so se izpusti toliko zmanjšali, da je raven onesnaženosti zunanjega zraka z žveplovim dioksidom na merilnih mestih DMKZ že nekaj let celo pod spodnjim ocenjevalnim pragom za varovanje zdravja ljudi. Onesnaženost zraka z SO_2 vpliva na okolje (kisli dež), raztaplja nekatere vrste kamna na fasadah in vpliva tudi na zdravje ljudi. Že zmerne koncentracije lahko pri astmatikih oslabijo delovanje pljuč. Otroci v krajih z onesnaženim zrakom pogosteje zbolevalo za različnimi infekcijami dihal. Onesnaženje z SO_2 je najnevarnejše, ko so hkrati v zraku povišane tudi ravni delcev in drugih onesnaževal.

8.1 Izpusti

Največji viri žveplovih oksidov (SO_x) so proizvodnja električne in toplotne energije, industrijski procesi ter raba goriv v industriji, v preteklosti tudi raba premoga za ogrevanje gospodinjstev. Letni izpusti SO_x so v Sloveniji leta 2022 znašali 3 tisoč ton. V primerjavi z letom 1980 so se zmanjšali kar za 99 %. Zmanjšanje izpustov je predvsem posledica namestitve razžvepljevalnih naprav v termoelektrarnah, uporabe premoga z nizko vsebnostjo žvepla, uvajanja tekočih goriv z nižjo vsebnostjo žvepla ter nadomeščanja tekočih in trdnih goriv v industriji z zemeljskim plinom. Največji delež k skupnim izpustom SO_x so v letu 2022 prispevale termoelektrarne in toplotarne (33 %), sledi raba goriv v industriji z 28 % in industrijski procesi s 25 %. Izpusti SO_x po posameznih virih so prikazani na slikah 8.1 in 8.2.

Slovenija izpolnjuje obveznosti iz Direktive (EU) 2016/2284 o zmanjšanju nacionalnih emisij za nekatera onesnaževala zraka (t.i. direktive NEC) ([14]) in iz Protokola o zmanjševanju zakisljevanja, evtrofikacije in prizemnega ozona (Goeteborški protokol) ([15]) h Konvenciji o onesnaževanju zraka na velike razdalje preko meja (CLRTAP) ([4]). Skupni izpusti žveplovih oksidov so bili v letu 2022 za 87 % nižji od ciljne vrednosti (27 tisoč ton), ki ne sme biti presežena od leta 2010 dalje. Dosegamo tudi cilj, ki predpisuje zmanjšanje izpustov po letu 2020. Izpusti SO_x morajo biti od leta 2020 nižji za najmanj 63 % glede na leto 2005. Slovenija prav tako izpolnjuje zahteve iz Protokola o nadaljnjem zmanjševanju emisij žvepla h Konvenciji o onesnaževanju zraka na velike razdalje preko meja. Izpusti



Slika 8.2: Izpusti SO_x po virih v Sloveniji v letu 2022

8.2 Zahteve za kakovost zraka

V Uredbi o kakovosti zunanjega zraka [5] sta predpisani mejni in alarmna vrednost za zaščito zdravja ter kritični vrednosti za zaščito vegetacije. Vrednosti so prikazane v tabeli 8.1.

Tabela 8.1: Mejni, kritični in alarmna vrednost za žveplov dioksid [5]

	Cilj	Čas merjenja	Vrednost	Dovoljeno število preseganj
Mejna vrednost	Zdravje	1 ura	350 µg/m ³	24
Mejna vrednost	Zdravje	1 dan	125 µg/m ³	3
Alarmna vrednost	Zdravje	1 ura (3 zaporedne)	500 µg/m ³	
Kritična vrednost	Vegetacija	koledarsko leto	20 µg/m ³	
Kritična vrednost	Vegetacija	zima (1.10-31.3)	20 µg/m ³	

8.3 Ravni onesnaženosti

Ravni SO₂ so že več let na vseh merilnih mestih pod standardi, ki jih predpisuje Evropska zakonodaja. Za SO₂ sta predpisani urna in dnevna mejna vrednost in alarmna vrednost za varovanje zdravja ter kritična letna in zimska vrednost za varovanje vegetacije. Urna mejna vrednost je 350 µg/m³ in je lahko presežena 24 krat v koledarskem letu. Predpisana dnevna mejna vrednost 125 µg/m³ je lahko presežena 3 krat v koledarskem letu. Alarma vrednost je 500 µg/m³ in mora biti presežena 3 ure zapored, da se šteje za preseganje. Za zaščito vegetacije je določena letna kritična vrednost 20 µg/m³ in je enaka kritični vrednosti za zimski čas, ki zajame meritve od 1. oktobra 2022

do 31. marca 2023 (tabela 8.1).

Tabela 8.2: Razpoložljivost podatkov (% pod), letna in zimska raven (C_p), najvišja urna (C_{max}) in najvišja dnevna (C_{max}) raven, izražene v $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Število preseganj urnih (>MV) in dnevnih mejnih vrednosti (>MV) ter alarmnih vrednosti (>AV) v letu 2023.

Merilna mreža	Merilno mesto	Leto		Zima	1 ura		3 ure	1 dan	
		% pod	C_p	C_p	C_{max}	>MV	>AV	C_{max}	>MV
DMKZ	CE bolnica	100	2	3	76	0	0	9	0
	Iskrba	95	1	1	54	0	0	11	0
	Zagorje	100	2	2	20	0	0	4	0
OMS MOL	LJ Center	99	3	2	8	0	0	8	0
TE-TOL	Zadobrova	98	4	3	25	0	0	7	0
MO Celje	CE Gaji	99	3	3	31	0	0	8	0
TE Brestanica	Sv. Mohor	99	3	3	27	0	0	11	0
TE Šoštanj	Graška gora	98	4	4	190	0	0	31	0
	Pesje	99	7	5	106	0	0	23	0
	Škale	100	4	4	425	1	0	40	0
	Šoštanj	98	3	3	144	0	0	15	0
	Topolšica	100	4	3	25	0	0	9	0
	Velenje	100	5	5	29	0	0	10	0
	Veliki vrh	99	5	4	119	0	0	16	0
	Zavodnje	99	4	4	112	0	0	19	0
	Mobilna TEŠ	100	5	4	74	0	0	12	0

Opomba: V merilni mreži DMKZ so s poševnim tiskom označeni podatki, ki jih ne uporabljamo za oceno skladnosti v neizpostavljenem okolju.

Meritve SO_2 smo v DMKZ v letu 2023 izvajali le na treh merilnih mestih: v Zagorju, na merilnem mestu CE Bolnica in na Iskrbi. Na vseh merilnih mestih v DMKZ so bile izmerjene ravni nižje od vseh predpisanih vrednosti. Edino merilno mesto, ki je od teh treh merilnih mest v DMKZ primerno za oceno vpliva SO_2 na vegetacijo, je Iskrba (tabela 8.2).

V tabeli 8.2 je v stolpcu % pod prikazan letni izplen podatkov z odštetimi rednimi servisi in preverjanji merilnika. Podatki za določeno postajo so veljavni, če je izplen večji od 90 %. Povprečna letna in zimska vrednost sta primerni za oceno vpliva na vegetacijo, najvišja urna in dnevna vrednost pa za oceno vpliva na zdravje.

Najvišje urne ravni so še vedno izmerjene v okolici Termoelektrarne Šoštanj. V letu 2023 je bila na merilnem mestu Škale, v merilni mreži TE Šoštanj, enkrat presežena urna mejna vrednost $350 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Izmerjena vrednost SO_2 je bila $425 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Do preseganja je prišlo 13. septembra zaradi zagona bloka 5 v Termoelektrarni Šoštanj. Ta dan so bile povišane vrednosti žveplovega dioksida izmerjene tudi na merilnih mestih Graška Gora in Šoštanj, vendar do preseganja tam ni prišlo. Na vseh drugih merilnih mestih so najvišje urne ravni SO_2 bistveno nižje (tabela 8.2).

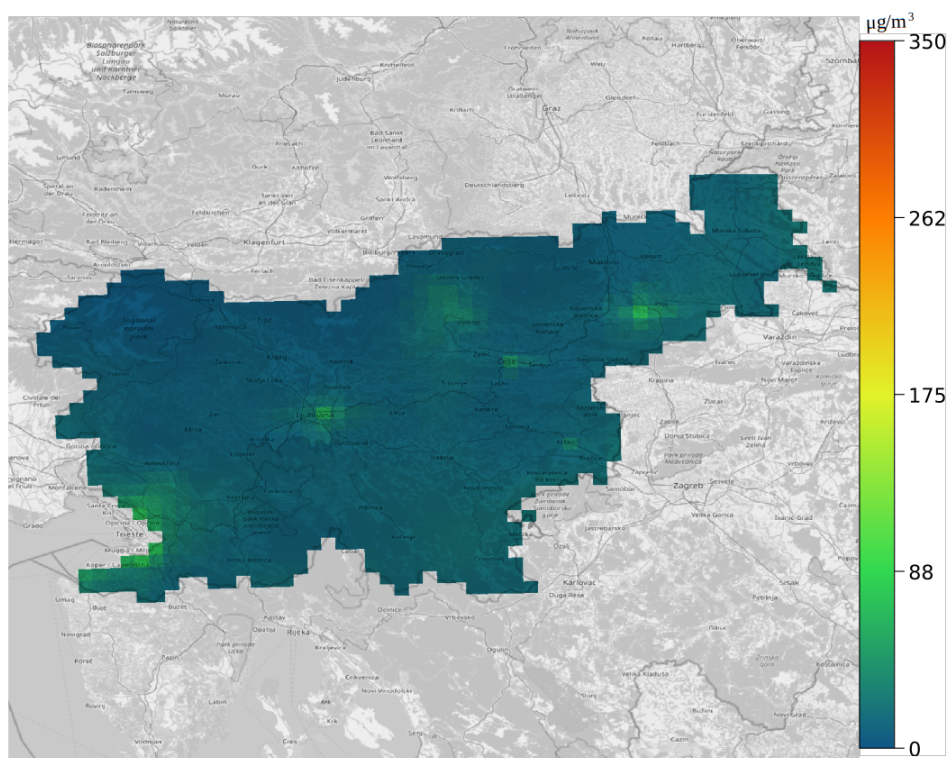
Tudi najvišja dnevna raven SO_2 je bila izmerjena okrog Termoelektrarne Šoštanj, ponovno v Škalah, in sicer $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$, kar je precej pod dnevno mejno vrednostjo. Z meritvami smo tudi v letu 2023 ponovno dokazali, da vrednosti SO_2 na vseh merilnih mestih v Sloveniji ustrezajo evropskim standardom kakovosti zraka.

V petletni oceni za obdobje 2015 -2019 in tudi v letu 2023 so bile vrednosti SO_2 nižje od spodnjega ocenjevalnega praga, ki je za varovanje zdravja določen za dnevne vrednosti ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, dovoljena 3 preseganja). Za varovanje rastlin je spodnji ocenjevalni prag določen za zimsko kritično vrednost, in sicer $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$. To pomeni, da lahko meritve nadomestimo z modelskimi rezultati, občasnimi meritvami

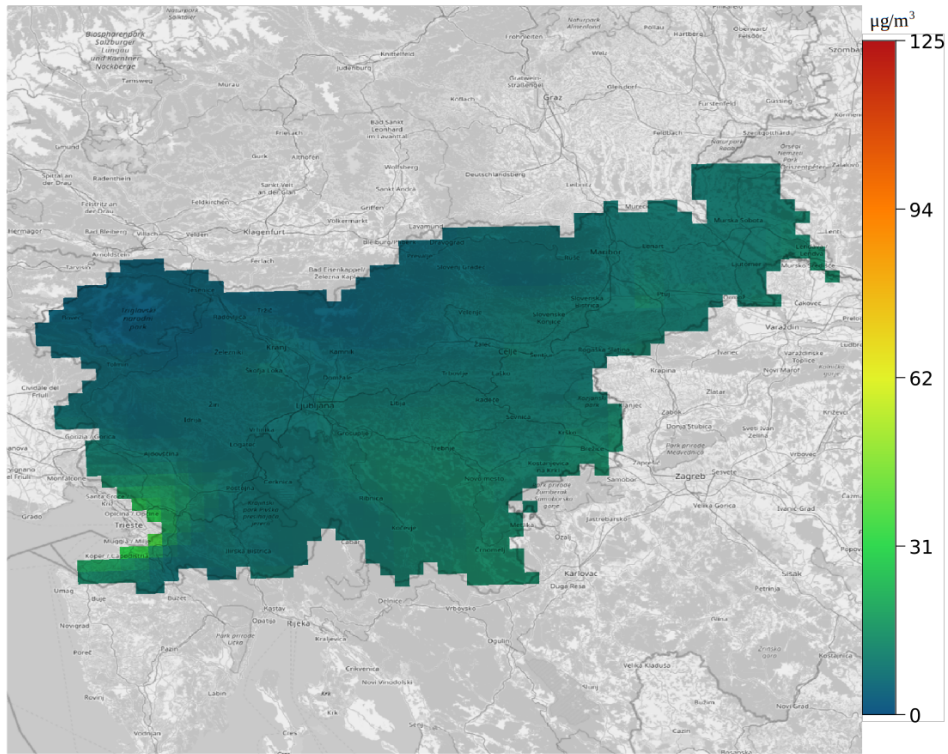
ali z objektivno oceno. Raven onesnaženosti zraka z SO₂ v Sloveniji smo ocenili tudi z modelskimi rezultati. Modelski rezultati so prikazani na slikah 8.3 do 8.6. Prikazani so modelski rezultati za oceno skladnosti z urno in dnevno vrednostjo ter za letno in zimsko vrednost. Na ARSO imamo za namen ocenjevanja kakovosti zraka na območju Slovenije vzpostavljen regionalni disperzijsko-fotokemijski model CAMx (Comprehensive Air quality Model with extensions; Environ, 2018), sklopljen z operativnim meteorološkim modelom ALADIN/SI. Podrobnejši podatki o modelskem sistemu so opisani v letnem poročilu kakovosti zraka za leto 2019 [6].

Na slikah 8.3 in 8.4 so prikazani modelski izračuni najvišjih urnih in dnevnih ravni SO₂ za Slovenijo. Na obeh slikah se vidi, da so modelsko ocenjene ravni SO₂ povsod zelo nizke, nekoliko so povišane le v okolici Trsta zaradi izpustov ladijskega prometa. Urne vrednosti so nekoliko povišane tudi na območjih večjih mest, okrog TEŠ in Kidričevega (slika 8.3). Iz slik z modelskimi rezultati najvišjih urnih in dnevnih vrednosti je razvidno, da so ravni SO₂ nizke in daleč pod urno in dnevno mejno vrednostjo in tudi pod spodnjim ocenjevalnim pragom za dnevne vrednosti. To pomeni, da bi lahko meritve SO₂ povsod nadomestili z rezultati modelske ocene.

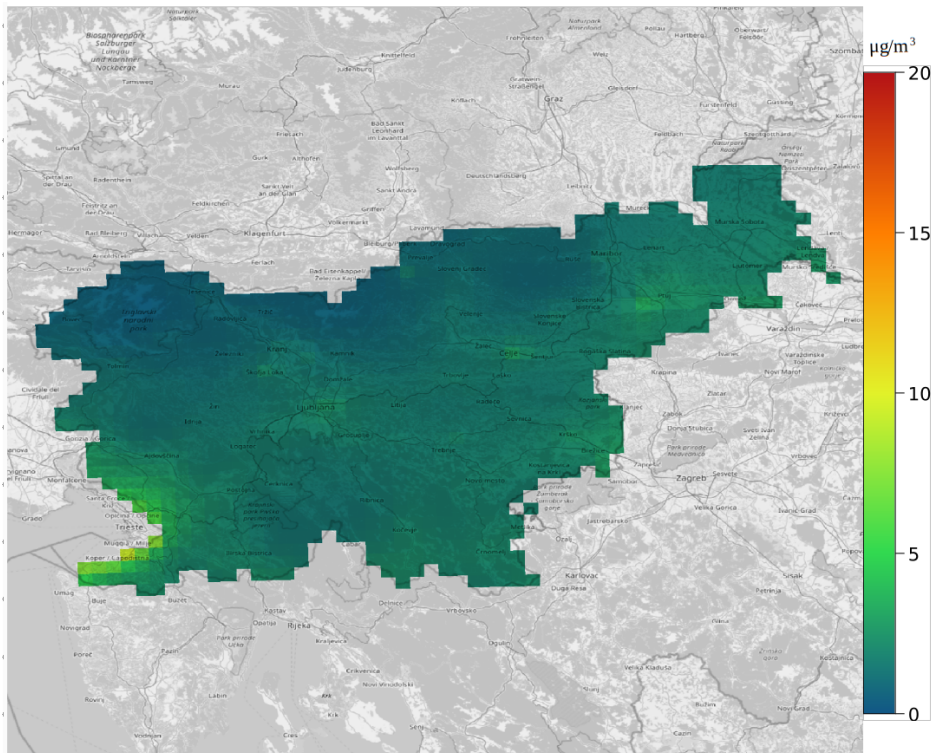
Na slikah 8.5 in 8.6 so prikazani rezultati modelskih izračunov za povprečno letno in zimsko vrednost, ki sta primerni za oceno vpliva na vegetacijo. Kritični vrednosti za oceno vpliva na vegetacijo sta 20 µg/m³. Najvišja povprečna letna in zimska raven SO₂ določeni iz meritev sta bili v letu 2023 7 µg/m³ (Pesje) oziroma 5 µg/m³ (Pesje, Velenje). Meritve in tudi modelski oceni kažeta, da so za SO₂ doseženi standardi kakovosti zraka na območju celotne Slovenije.



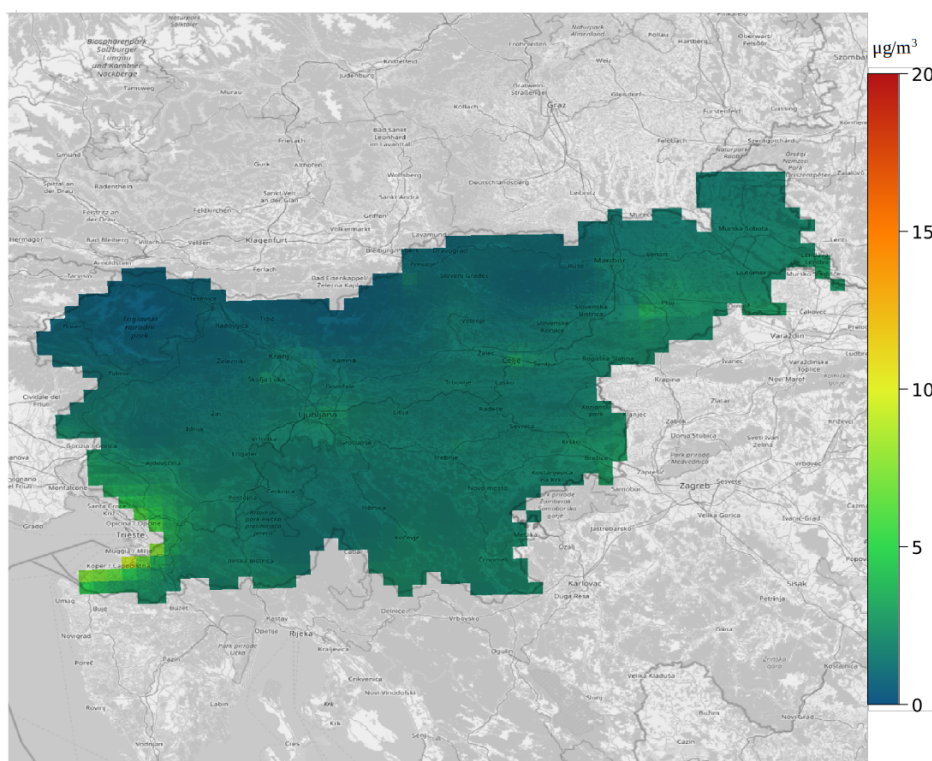
Slika 8.3: Modelski izračun najvišje urne vrednosti SO₂ v letu 2023



Slika 8.4: Modelski izračun najvišje dnevne vrednosti SO₂ v letu 2023



Slika 8.5: Modelski izračun povprečne letne vrednosti SO₂ v letu 2023

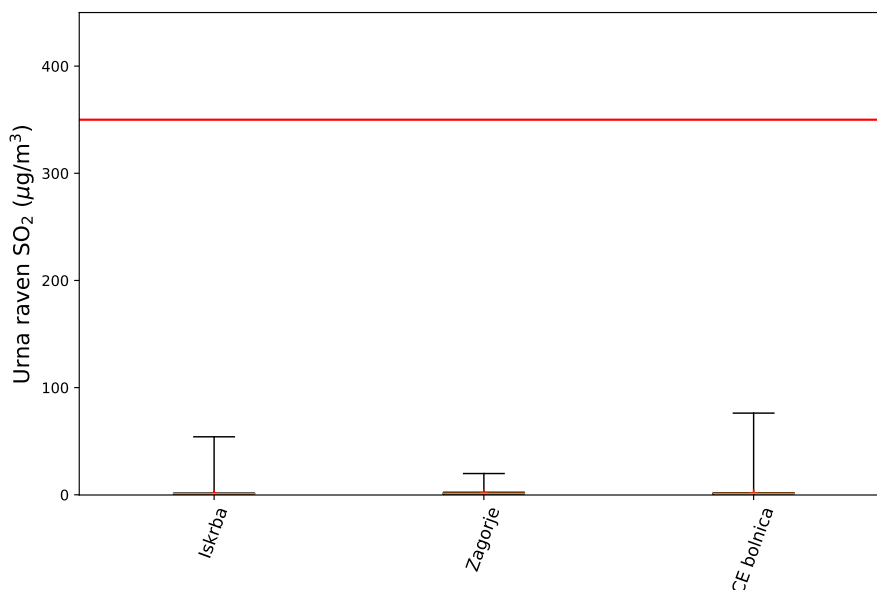


Slika 8.6: Modelski izračun povprečne vrednosti SO₂ za zimske mesece v letu 2023

Prikaz najvišjih urnih in najvišjih dnevnih ravni ter mesečnih vrednosti je prikazan v tabelah 8.3 do 8.5. Na sliki 8.7 je prikaz urnih ravni na merilnih mestih DMKZ, ki potrjuje, da so ravni SO₂ v Sloveniji res nizke. Kot je bilo že omenjeno, so bile letos izmerjene povišane urne ravni SO₂ okrog Termoelektrarne Šoštanj, presežena je bila urna mejna vrednost. Ob normalnem delovanju TEŠ, tudi na tem območju ne prihaja več do presežanja mejne urne vrednosti. Urne ravni so bile v preteklosti ponavadi višje v zimskem času. Sedaj, ko so ravni SO₂ veliko nižje kot v preteklosti, pa težje govorimo o kakšnem značilnem letnem poteku. Tudi dnevne ravni SO₂ so precej nižje od mejne dnevne vrednosti za to onesnaževalo (125 µg/m³). Mesečne ravni žveplovega dioksida so na vseh merilnih mestih nizke in tudi te nimajo značilnega letnega poteka, z višjimi vrednostmi v zimskem času in nižjimi v poletnem. To je razvidno tudi iz tabele 8.5, kjer so na posameznih merilnih mestih ravni celo višje v poletnem času, če pri tako nizkih ravneh sploh lahko govorimo o pomembnih razlikah.

Raven onesnaženosti zunanjega zraka z SO₂ se je od začetka meritev leta 1992 do leta 2023 močno znižala. Letne ravni SO₂ od leta 1992 dalje so prikazane na sliki 8.8. Ravni na merilnih mestih državne mreže so se do leta 2007 nižale, nato pa so se ustale na zelo nizki ravni. Znatno znižanje letnih ravni je posledica zmanjšanja izpustov (slika 8.1).

Letna raven, najvišja urna raven in najvišja dnevna raven za posamezna merilna mesta za obdobje 2010-2023 so podane v tabelah 8.6, 8.7 in 8.8. Podatki od leta 2000-2021 so prikazani v Poročilu o Kakovosti zraka v Sloveniji za leto 2021. V poročilu o Kakovosti zraka v Sloveniji za leto 2017 so prikazani podatki od leta 1992 do 2017. Od leta 2010 na nobenem merilnem mestu nista bili preseženi dnevna in letna mejna vrednost za SO₂. Urne mejne vrednosti so bile na posameznih merilnih mestih okrog obeh termoelektrarn v prvem delu obdobja 2010-2023 visoke in so ponekod presegle



Slika 8.7: Urne ravni SO₂ na merilnih mestih DMKZ v letu 2023. Prikazani so najnižja in najvišja izmerjena raven (spodnja in zgornja vodoravna črtica), oba kvartila (vrh in dno pravokotnika) in mediana (oranžna vodoravna črtica v pravokotniku). Rdeča črta prikazuje urno mejno vrednost.

Tabela 8.3: Najvišja urna raven SO₂ (µg/m³) po mesecih v letu 2023

Merilna Mreža	Merilno mesto	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
DMKZ	CE bolnica	46	76	32	14	9	9	4	7	15	8	12	15
	Iskrba	2	16	5	3	9	5	6	20	54	4	5	1
	Zagorje	4	6	6	3	4	4	3	6	20	4	4	2
OMS MOL	LJ Center	6	5	4	6	8	4	3	5	8	4	5	6
TE-TOL	Zadobrova	10	15	12	9	8	5	6	13	25	8	6	9
MO Celje	CE Gaji	31	24	25	11	16	8	10	12	14	8	13	8
TE Brestanica	Sv. Mohor	6	8	9	5	12	5	5	27	22	9	4	5
TE Šoštanj	Graška gora	6	7	171	6	7	22	10	15	190	21	12	22
	Pesje	10	12	16	10	14	11	11	22	32	25	106	16
	Škale	6	6	104	7	9	16	12	17	425	27	7	10
	Šoštanj	7	7	35	7	4	21	55	15	144	25	16	19
	Topolšica	5	6	12	11	13	8	8	17	18	25	8	6
	Velenje	8	7	11	9	11	6	8	18	27	29	16	8
	Veliki vrh	11	6	21	11	12	10	14	19	30	25	119	23
	Zavodnje	10	13	23	7	8	21	16	14	25	22	26	112
Mobilna TEŠ	6	7	23	11	11	11	18	21	74	29	22	14	

Tabela 8.4: Najvišja dnevna raven SO₂ (µg/m³) po mesecih v letu 2023

Merilna Mreža	Merilno mesto	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
DMKZ	CE bolnica	8	9	4	3	2	2	2	2	3	2	4	4
	Iskrba	1	6	2	2	3	2	3	4	11	2	5	1
	Zagorje	3	4	4	1	2	3	2	3	4	3	3	1
OMS MOL	LJ Center	5	4	3	6	8	4	3	3	4	3	3	4
TE-TOL	Zadobrova	6	5	5	5	5	4	5	6	7	4	4	5
MO Celje	CE Gaji	7	5	5	5	3	2	4	3	6	6	8	6
TE Brestanica	Sv. Mohor	3	5	6	5	6	4	4	11	6	4	3	3
TE Šoštanj	Graška gora	5	4	24	5	6	7	7	9	31	8	5	6
	Pesje	9	11	10	8	10	9	9	11	10	12	23	11
	Škale	5	4	13	6	7	7	5	6	40	7	7	6
	Šoštanj	5	4	6	3	2	6	9	8	15	8	6	6
	Topolšica	5	4	5	6	8	4	6	3	9	8	4	4
	Velenje	7	6	7	8	9	5	7	9	10	6	7	4
	Veliki vrh	6	5	7	6	9	5	7	10	8	7	16	11
	Zavodnje	8	6	8	6	5	5	5	7	10	8	8	19
Mobilna TEŠ	4	5	7	7	9	5	9	12	12	8	7	7	

Tabela 8.5: Mesečna raven SO₂ (µg/m³) v letu 2023

Merilna Mreža	Merilno mesto	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
DMKZ	CE bolnica	2	2	2	2	1	1	2	0	2	1	1	2
	Iskrba	1	1	2	2	1	1	1	2	2	1	1	0
	Zagorje	1	3	2	1	1	2	1	2	1	2	1	0
OMS MOL	LJ Center	1	2	2	3	6	3	2	2	2	3	2	2
TE-TOL	Zadobrova	4	4	4	4	5	4	4	4	3	3	4	4
MO Celje	CE Gaji	3	4	4	4	2	1	1	1	3	4	6	2
TE Brestanica	Sv. Mohor	3	3	4	4	4	3	4	5	3	3	2	2
TE Šoštanj	Graška gora	3	3	5	4	5	4	5	5	4	4	4	4
	Pesje	6	7	5	6	7	6	4	8	7	9	9	7
	Škale	4	3	5	5	6	3	3	4	6	5	5	5
	Šoštanj	3	2	3	2	2	3	4	4	3	5	3	2
	Topolšica	3	3	4	5	6	2	4	6	7	5	2	2
	Velenje	5	4	6	7	8	4	5	7	4	4	4	3
	Veliki vrh	4	4	5	5	7	4	5	7	3	3	6	5
	Zavodnje	4	2	5	3	3	3	2	3	5	5	6	6
Mobilna TEŠ	2	2	5	5	7	3	6	9	5	5	4	4	

mejno urno vrednost. Na merilnih mestih okrog TEŠ se še vedno lahko pojavijo višje ravni SO₂ ob remontih oziroma težavah z razžvepljevalno napravo (Zavodnje 2021, Škale 2023, tabela 8.7). Razlike med posameznimi leti so odvisne od intenzivnosti obratovanja termoelektrarne ter od vremenskih razmer. Znižanja ravni SO₂ so očitna po vgradnji čistilnih naprav na posameznih blokih termoelektrarn (slika 8.8). Konec leta 2014 je z obratovanjem prenehala Termoelektrarna Trbovlje in maja 2017 so se zaključile tudi meritve onesnaženosti zraka v vplivni okolici.

Tabela 8.6: Letne ravni SO₂ (µg/m³) za obdobje 2010-2023.

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
CE bolnica	6	6	7	4	3	5	6	6	7	4	3	3	3	2
CE Gaji	/	/	/	6	5	5	4	5	6	8	10	1	2	3
Graška gora	2	2	2	3	3	4	4	7	5	4	3	4	4	4
Iskriba	1,3	1	0,9	0,4	0,5	0,5	0,3	0,4	1,0	0,7	0,8*	0,8	1,3	1
LJ Center	5	4	4	2	2	2	2	2	1	5	4	2	2	3
Mobilna TEŠ	/	/	/	/	/	2	2	3	3	4	3	4	5	5
Pesje	6	5	4	4	5	6	6	7	6	4	3	4	5	7
Sv.Mohor	15	3	4	4	4	5	3	4	5	6	7	4	2	3
Škale	6	7	8	7	6	5	5	8	5	5	2	4	4	4
Šoštanj	7	5	7	4	5	4	2	3	3	3	2	3	3	3
Topoliščica	3	3	3	2	3	5	3	5	4	3	2	3	3	4
Velenje	2	3	4	1	3	3	3	4	4	3	3	4	4	5
Veliki vrh	6	6	7	4	4	4	3	4	7	3	2	4	3	5
Zadobrova	/	/	/	/	/	/	/	/	/	3	2	2	3	4
Zagorje	8	7	3	5	5	3	5	3	4	3	3	3	2	2
Zavodnje	6	4	4	5	3	2	2	3	4	4	3	4	4	4
Dobovec	6	8	7	7	6	6	8	/	/	/	/	/	/	/
Hrastnik	4	5	5	6	3	4	6	5	4	2*	/	/	/	/
Kovk	8	11	10	8	7	6	5	/	/	/	/	/	/	/
Kum	8	4	6	5	4	4	5	/	/	/	/	/	/	/
LJ Bežigrad	2	3	6	4	3	4	6	5	4	4	3	4*	/	/
MB Titova	/	3	4	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Ravenska vas	9	11	9	9	7	6	6	/	/	/	/	/	/	/
Trbovlje	3	7	7	4	4	6	7	5	4	4	2	3*	/	/
Vnajarje	3	3	3	3	6	4	3	6	/	/	/	/	/	/
Zelena trava	/	/	5	7	4	5	/	/	/	/	/	/	/	/

* Podatki so informativnega značaja zaradi prevelikega izpada meritev.

Opomba: Podatki za leta od 1992-2017 so na voljo v Poročilu o kakovosti zraka za leto 2017 [10].

Podatki za leta od 2000-2021 so na voljo v Poročilu o kakovosti zraka za leto 2021 [11].

Tabela 8.7: Najvišje urne ravni SO₂ (µg/m³) za obdobje 2010–2023.

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
CE bolnica	64	210	89	43	41	36	36	40	62	26	38	43	40	76
CE Gaji	/	/	/	55	474	37	136	49	38	34	43	97	72	31
Graška gora	106	148	107	53	76	57	127	60	188	238	110	121	155	190
Iskriba	/	/	/	/	/	/	/	/	28	17	11*	25	30	54
LJ center	22	33	37	20	28	28	22	14	10	20	47	8	12	8
Mobilna TEŠ	/	/	/	/	/	191	51	43	57	34	50	54	28	74
Pesje	81	81	75	96	75	184	63	39	37	21	29	41	24	106
Sv. Mohor	66*	59	37	46	52	35	58	42	31	27	19	30	18	27
Škale	81	190	131	67	75	230	61	47	42	108	26	91	15	425
Šoštanj	1357	124	485	216	333	396	75	47	61	39	216	71	34	144
Topoliščica	52	130	92	92	90	52	35	44	166	28	200	37	24	25
Velenje	110	89	93	60	19	140	24	15	25	22	25	44	19	29
Veliki vrh	269	636	887	415	301	143	148	237	297	93	87	114	35	119
Zadobrova	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	17	12	10	16
Zagorje	57	37	75	31	44	23	15	34	35	11	27	16	14	20
Zavodnje	98	433	150	388	96	274	86	103	219	347	166	1151	60	112
Dobovec	209	1036	200	343	277	26	23	/	/	/	/	/	/	/
Hrastnik	46	228	103	44	69	16	39	33	27	18*	/	/	/	/
Kovk	159	201	564	681	286	28	65	/	/	/	/	/	/	/
Kum	99	66	192	115	48	39	94	/	/	/	/	/	/	/
LJ Bežigrad	29	77	48	41	45	26	29	34	25	23	37	7*	/	/
MB Titova	68	56	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Ravenska vas	560	528	254	157	75	27	21	/	/	/	/	/	/	/
Trbovlje	52	90	87	40	44	22	23	26	21	15	15	8*	/	/
Vnjanjarje	45	85	75	63	101	47	58	64	/	/	/	/	/	/
Zelena trava	/	/	135	318	68	36	/	/	/	/	/	/	/	/

* Podatki so informativnega značaja zaradi prevelikega izpada meritev.

Opomba: Podatki za leta od 1992-2017 so na voljo v Poročilu o kakovosti zraka za leto 2017 [10].

Podatki za leta od 2000-2021 so na voljo v Poročilu o kakovosti zraka za leto 2021 [11].

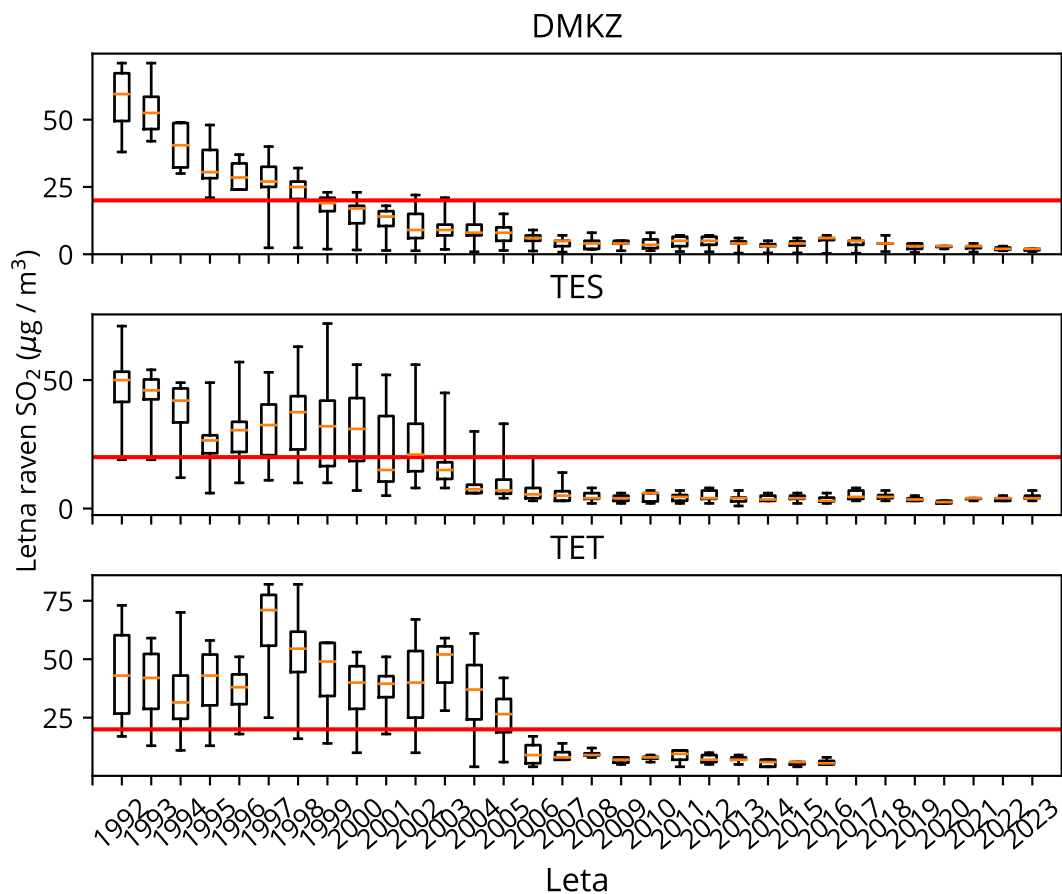
Tabela 8.8: Najvišje dnevne ravni SO₂ (µg/m³) za obdobje 2010–2023.

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
CE bolnica	26	22	34	15	23	12	15	15	20	11	9	8	9	9
CE Gaji	/	/	/	20	30	11	12	14	14	20	20	5	8	8
Graška gora	17	19	15	14	13	15	16	19	23	33	16	12	13	31
Iskriba	10	15	15	6	10	10	4	10	7	5	3*	5	7	11
LJ center	14	14	20	6	11	11	6	7	3	16	9	7	7	8
Mobilna TEŠ	/	/	/	/	/	17	11	10	11	10	17	11	9	12
Pesje	25	19	24	18	17	34	15	13	20	14	11	9	11	23
Sv. Mohor	41*	31	28	14	29	15	17	22	14	12	14	12	8	11
Škale	25	24	29	25	19	28	14	17	21	12	9	10	14	40
Šoštanj	85	28	44	41	25	33	16	16	19	10	14	9	13	15
Topoliščica	10	13	12	12	15	17	9	10	13	9	17	10	13	9
Velenje	14	15	13	5	9	14	12	9	10	6	9	10	8	10
Veliki vrh	28	42	51	37	29	25	23	37	33	57	10	20	11	16
Zadobrova	/	/	/	/	/	/	/	/	/	3	2	5	7	7
Zagorje	29	37	26	13	21	9	12	21	12	5	8	5	7	4
Zavodnje	22	32	18	51	14	22	15	22	43	57	29	80	17	19
Dobovec	35	110	36	58	32	17	16	/	/	/	/	/	/	/
Hrastnik	21	39	27	19	23	12	11	19	11	5*	/	/	/	/
Kovk	29	56	52	65	23	15	15	/	/	/	/	/	/	/
Kum	37	18	30	19	14	24	28	/	/	/	/	/	/	/
LJ Bežigrad	14	19	25	13	19	14	21	17	15	10	10	4*	/	/
MB Titova	12	19	27	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Ravenska vas	38	72	38	30	25	19	17	/	/	/	/	/	/	/
Trbovlje	18	29	35*	15	16	16	19	14	12	10	8	4*	/	/
Vnajarje	20	28	16*	16	21	14	12	31	/	/	/	/	/	/
Zelena trava	/	/	28	26	31	12	/	/	/	/	/	/	/	/

* Podatki so informativnega značaja zaradi prevelikega izpada meritev.

Opomba: Podatki za leta od 1992-2017 so na voljo v Poročilu o kakovosti zraka za leto 2017 [10].

Podatki za leta od 2000-2021 so na voljo v Poročilu o kakovosti zraka za leto 2021 [11].



Slika 8.8: Letne ravni SO₂ na merilnih mestih DMKZ in merilnih mestih v okolici TEŠ in TET za posamezna leta. Prikazani so najnižja in najvišja izmerjena raven (spodnja in zgornja vodoravna črtica), oba kvartila (vrh in dno pravokotnika) in mediana (oranžna vodoravna črtica v pravokotniku). Rdeča črta prikazuje letno kritično vrednost za zaščito vegetacije.

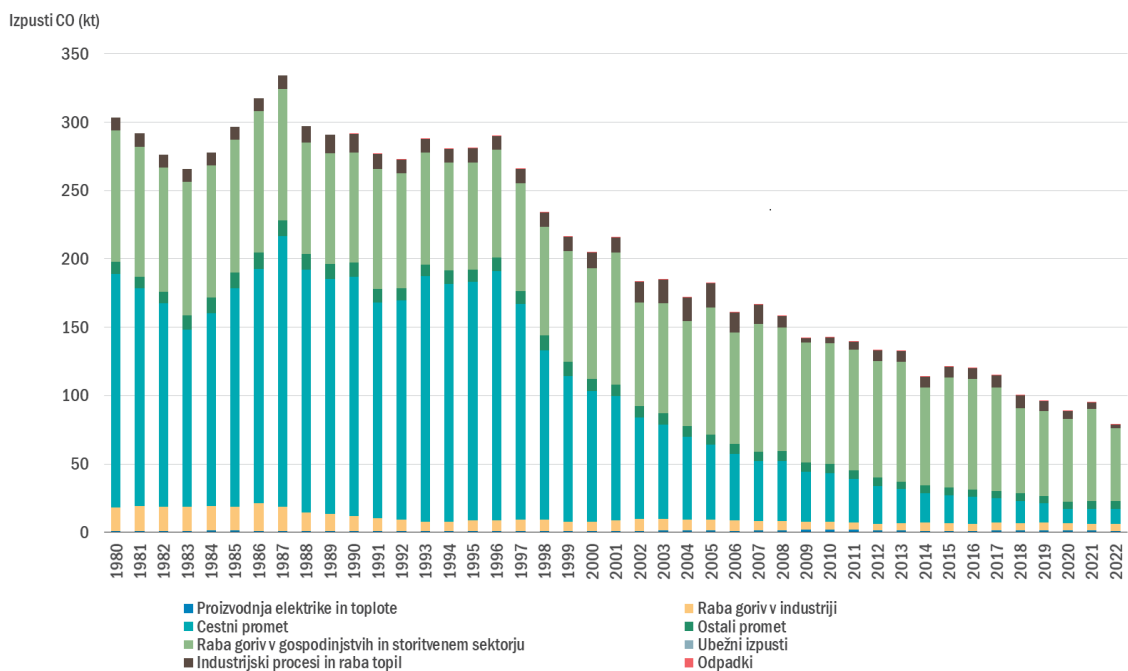
9. Ogljikov monoksid

Ogljikov monoksid (CO) je plin brez barve, vonja in okusa. To pomeni, da ga s človeškimi čutili ne moremo videti, okusiti ali vonjati. CO je toksičen, lahko povzroči glavobol, v velikih količinah in ob daljši izpostavljenosti celo smrt. CO se namreč veže na hemoglobin v krvi in zmanjša sposobnost krvi za prenos kisika. Nastaja zaradi nepopolnega zgorevanja v kuriščih in motorjih z notranjim izgorevanjem ter pri tehnoloških procesih v industriji. Življenjska doba CO v zraku je približno 2 meseca, daljša je v višjih legah. CO posredno prispeva k podnebnim spremembam, ker prispeva k tvorbi ozona. Raven onesnaženosti zunanjega zraka s CO je na merilnih mestih DMKZ že vrsto let pod mejno vrednostjo za varovanje zdravja (tabela 9.1).

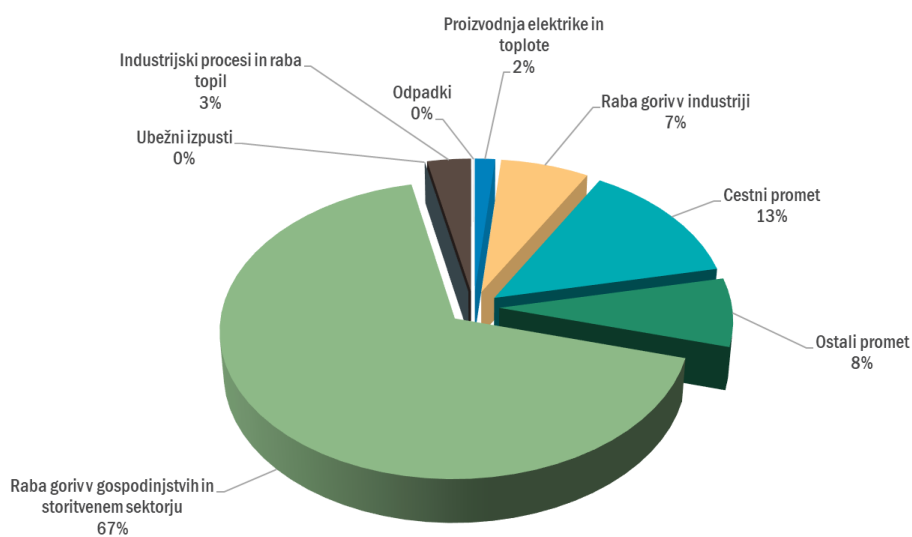
9.1 Izpusti

Letni izpusti ogljikovega monoksida (CO) so v Sloveniji leta 2022 znašali 79 tisoč ton. V obdobju 1980-2022 so se zmanjšali za 74 % (slika 9.1). Največji, dvotretjinski delež k skupnim izpustom CO, je v letu 2022 prispevala raba goriv v gospodinjstvih in storitvenem sektorju (slika 9.2). V preteklosti je večinski delež izpustov CO izhajal iz prometa. Emisije so se znižale zaradi napredka tehnologije bencinskih motorjev in uvedbe katalizatorjev. Glavni delež danes prispevajo mala kurišča, predvsem zaradi uporabe trdnih goriv v zastarelih kurilnih napravah.

Podrobne informacije o izpustih ogljikovega monoksida in metodologiji izračuna izpustov so na voljo v zadnjem poročilu Informative Inventory Report, Slovenia 2024 [2].



Slika 9.1: Letni izpusti ogljikovega monoksida po sektorjih v Sloveniji



Slika 9.2: Izpusti ogljikovega monoksida po sektorjih v Sloveniji v letu 2022

9.2 Zahteve za kakovost zraka

V Uredbi o kakovosti zunanjega zraka [5] je predpisana mejna vrednost za zaščito zdravja, in sicer kot 8-urna mejna vrednost (tabela 9.1).

Tabela 9.1: Mejna vrednost za ogljikov monoksid [5]

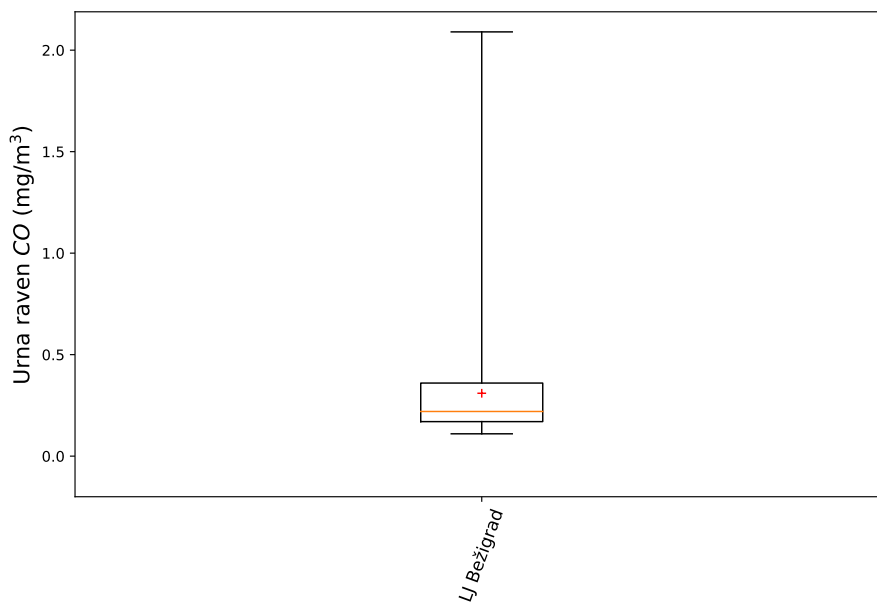
Cilj	Čas merjenja	Vrednost
Mejna vrednost Zdravje	maksimalna dnevna 8-urna povprečna vrednost	10 mg/m ³

9.3 Ravni onesnaženosti

Ravni ogljikovega monoksida so na območju Slovenije nizke, nižje od mejne vrednosti za varovanje zdravja (tabela 9.1). Že več let so najvišje dnevne 8-urne povprečne vrednosti tudi pod spodnjim ocenjevalnim pragom (5 mg/m³) (tabela 9.3). Zakonodajca določa, da lahko v takem primeru ravni CO v prihodnje ocenimo z indikativnimi meritvami, subjektivno oceno ali modelskimi rezultati. Kljub temu smo se odločili, da bomo na enem merilnem mestu meritve vseeno izvajali. Tako smo sredi leta 2022 ponovno začeli z meritvami ogljikovega monoksida na merilnem mestu LJ Bežigrad. V letu 2023, ko smo že imeli celoletne meritve, se je ponovno izkazalo, da so meritve ogljikovega monoksida pod mejno vrednostjo. Najvišje 8-urne vrednosti CO so bile izmerjene v obdobjih z izrazitim temperaturnim obratom, vse ostale vrednosti so bile precej nižje, celo pod 1 mg/m³. Rezultati meritev za leto 2023 z merilnega mesta LJ Bežigrad so podani v tabeli 9.2 in prikazani na sliki 9.3.

Tabela 9.2: Razpoložljivost podatkov (% pod), letna raven (C_p) in najvišja 8-urna raven (C_{max}) v mg/m³, število preseženih mejnih vrednosti (MV) v letu 2023.

	Leto		8 ur	
	% pod	C_p	C_{max}	MV
LJ Bežigrad	99	0.3	1.7	0

**Slika 9.3:** Urna raven CO na merilnem mestu DMKZ v letu 2023. Prikazani so najnižja in najvišja izmerjena raven (spodnja in zgornja vodoravna črtica), oba kvartila (vrh in dno pravokotnika) in mediana (oranžna vodoravna črtica v pravokotniku). Znak + označuje povprečno letno raven.

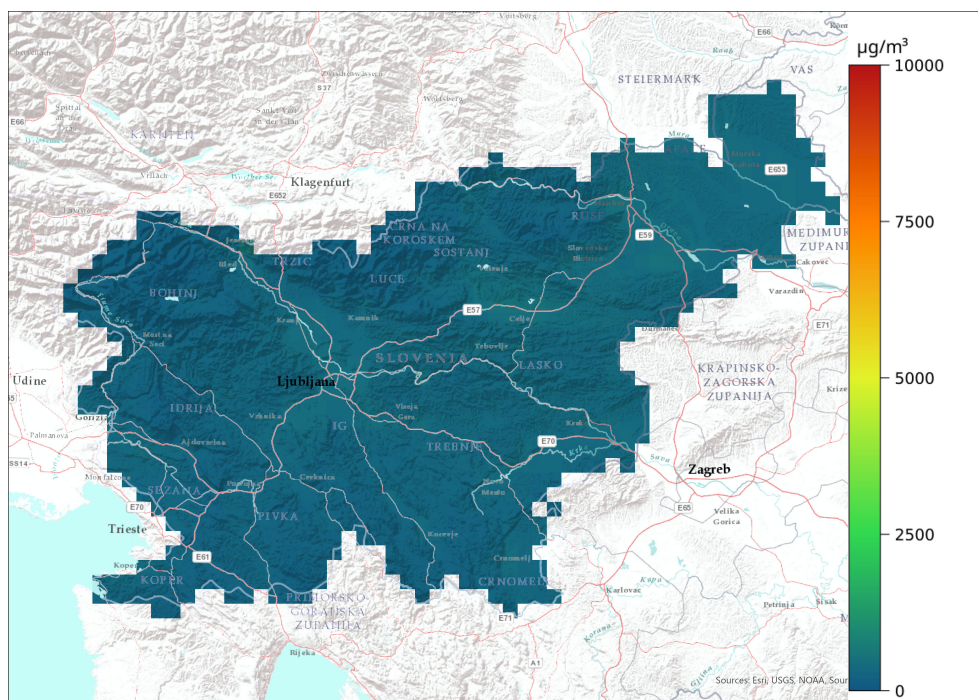
Na ARSO imamo za namen ocenjevanja kakovosti zraka na območju Slovenije vzpostavljen

Tabela 9.3: Najvišja 8-urna povprečna vrednost CO (mg/m³) za obdobje 2010 - 2023

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
LJ Bežigrad	3.2*	2.2	2.8	3.5*	1.9	2.4	3.0	3.1	1.9	1.7	2.1	0.7*	1.0*	1.7
Krvavec	0.4	0.4	0.4	0.5	0.4	0.3	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3*	/	/	/
MB Titova	3.1	2.6	2.3	2.1	1.9	1.9	2.2	2.1	1.6	2.2	2.2*	/	/	/
NG Grčna	2.5	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Trbovlje	3.1	2.2	3.4	2.8	1.9	2.3	3.2	2.9	2.8	2.3	2.3	2.0*	/	/

* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.

regionalni disperzijsko-fotokemijski model CAMx (Comprehensive Air quality Model with extensions; Environ, 2018), sklopljen z operativnim meteorološkim modelom ALADIN/SI. Podrobnejši podatki o modelskem sistemu so opisani v letnem poročilu kakovosti zraka za leto 2019 [6]. Na sliki 9.4 so prikazani rezultati modelskega izračuna najvišjih 8-urnih vrednosti CO v letu 2023. Ravni CO so precej nižje od predpisane mejne vrednosti 10 mg/m³.



Slika 9.4: Modelski izračun najvišje 8-urne vrednosti CO v letu 2023

10. Benzen

Benzen je aromatska ogljikovo-vodikova spojina s formulo C_6H_6 , ki je vezana v obroč. Je bistra, brezbarvna, lahko hlapna in zelo vnetljiva tekočina. Spada med nemetanske hlapne organske spojine - NMVOC (Non Methane Volatile Organic Compounds), ki predstavljajo širok spekter snovi in nekatere med njimi škodljivo vplivajo na zdravje ljudi. V telo prihajajo preko respiratornega sistema. Benzen je kancerogena spojina, saj ob dolgotrajni izpostavljenosti vpliva na spremembo genetskega materiala v celicah. Kronična izpostavljenost lahko poškoduje kostni mozeg, kar povzroča zmanjšanje števila belih in rdečih krvnih celic in posledično vodi v razvoj levkemije [16]. Te snovi povečujejo tudi tvorbo prizemnega ozona in posredno vplivajo na učinek tople grede.

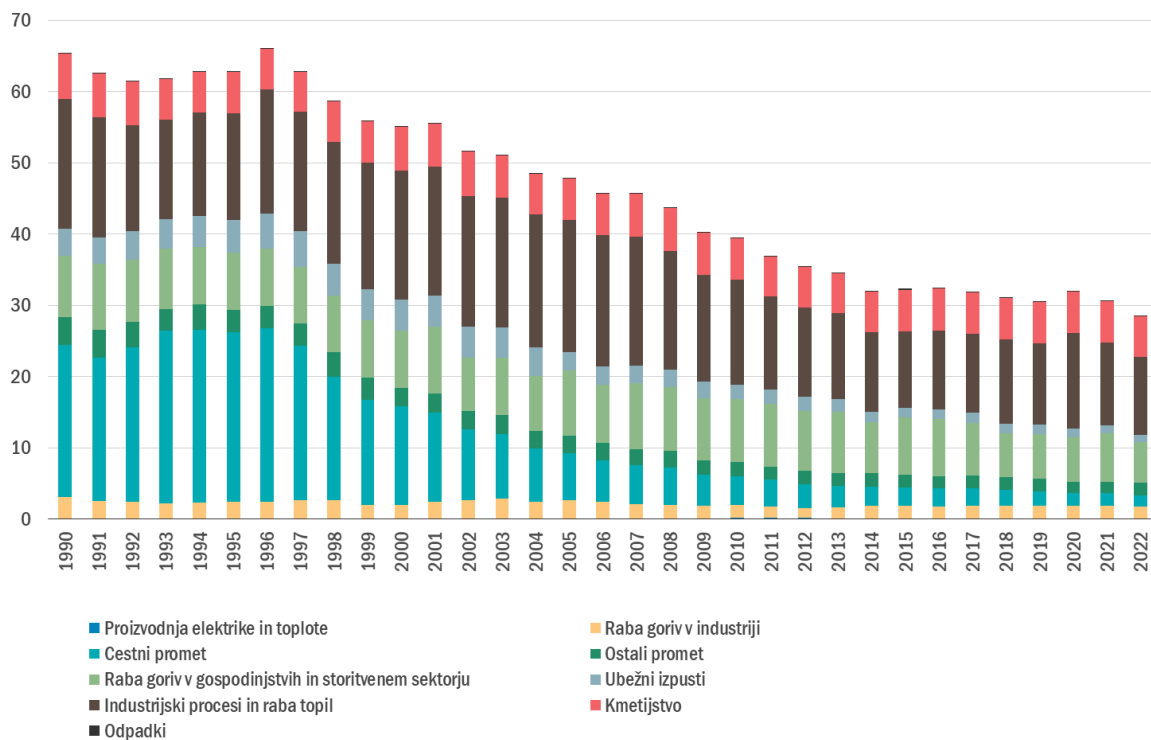
Benzen je dokaj stabilna spojina, ki lahko v ozračju ostane več dni in se zato lahko prenaša na daljše razdalje. Iz ozračja se izloča s pomočjo fotokemičnih reakcij, ki vodijo do tvorbe ozona. Glavni vir izpustov benzena je kurjenje biomase in gorenje fosilnih goriv, kot sta dizel in bencin, ki najpogosteje nastajata v prometu. Poleg tega nastaja tudi pri industrijskih procesih, saj se uporablja kot topilo, razredčilo in v drugih proizvodnih procesih. Prisoten je tudi v cigaretinem dimu. Naravni viri teh spojin so požari, pretvorba organske usedline v fosilna goriva in vulkanski izbruhi [16], [17].

10.1 Izpusti

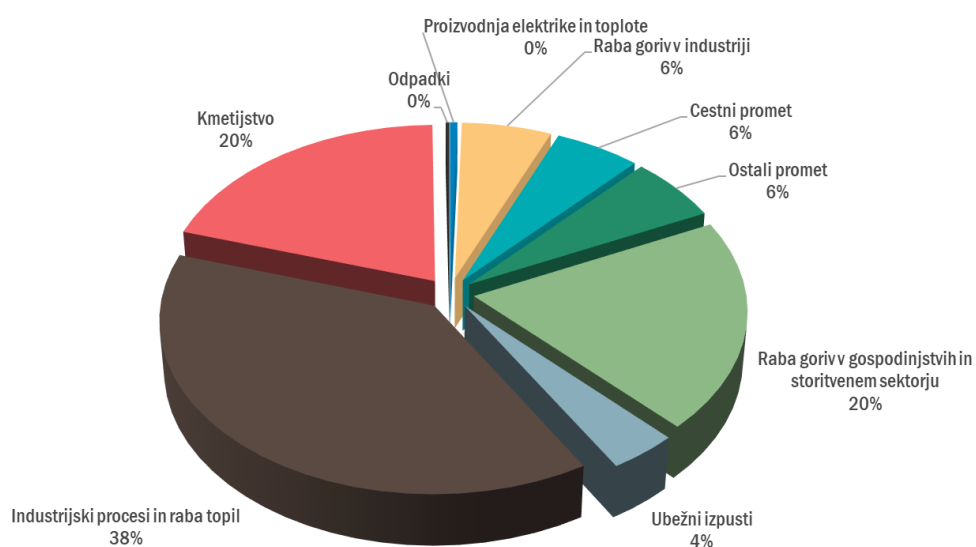
Benzen v državnih evidencah onesnaževal zraka ne nastopa kot samostojno onesnaževalo. Izpusti benzena so zajeti med izpuste vseh nemetanskih hlapnih organskih spojin (NMVOC). NMVOC so pomembni kot predhodniki ozona. Izpusti NMVOC so se od leta 1990 več kot prepolovili. Najbolj, skoraj za faktor 10, so se zmanjšali izpusti NMVOC iz cestnega prometa, kot posledica uvajanja katalizatorjev in ukrepov za zmanjševanje izhlapevanja bencina iz motornih vozil. Največji delež k skupnim izpustom NMVOC so v letu 2022 prispevali industrijski procesi in raba topil (38 %). Približno 20 % izpustov prihaja iz kmetijskega sektorja in iz malih kurilnih naprav, katerih glavni vir je nepopolno zgorevanje lesa v zastarelih kurilnih napravah. Izpusti NMVOC po posameznih virih so prikazani na slikah 10.1 in 10.2.

Podrobne informacije o izpustih benzena in metodologiji izračuna izpustov so na voljo v zadnjem poročilu Informative Inventory Report, Slovenia 2024 [2].

Izpusti NMVOC (kt)



Slika 10.1: Letni izpusti nemetanskih hlapnih organskih spojin po sektorjih v Sloveniji v letu 2022.



Slika 10.2: Izpusti nemetanskih hlapnih organskih spojin po sektorjih v Sloveniji v letu 2022.

10.2 Zahteve za kakovost zraka

Zakonodajna mejna vrednost za benzen je predpisana v Uredbi o kakovosti zunanjega zraka [5] in je prikazana v tabeli 10.1.

Tabela 10.1: Mejna vrednost za benzen.

	Cilj	Čas merjenja	Vrednost
Mejna vrednost	Zdravje	Koledarsko leto	5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

10.3 Ravni onesnaženosti

V okviru državne merilne mreže DMKZ stalno merimo ravni benzena na treh merilnih mestih, Ljubljana Bežigrad, Iskrba in Maribor Titova. Sredi leta 2022 so se meritve NMVOC testno začele izvajati tudi na merilnem mestu Iskrba, ki predstavlja meritve ozadja oziroma meritve na neobremenjenem področju. V letu 2023 se je vzpostavil redni letni monitoring meritev. Poleg meritev na stalnih merilnih mestih DMKZ so v poročilu prikazani podatki o ravneh benzena iz dveh merilnih mest dopolnilne merilne mreže, Ljubljana Center in Medvode.

V letu 2023 so bile izmerjene povprečne letne ravni benzena na vseh merilnih mestih podobna in kot vsa leta poprej pod mejno vrednostjo (tabela 10.2). Najvišja letna povprečna vrednost je bila izmerjena na prometnem merilnem mestu Ljubljana Center, in sicer 1,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ najnižje vrednosti pa so bile izmerjene na lokaciji Iskrba, 0,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Na lokaciji Iskrba so bile v poletnih mesecih vrednosti nižje od 0,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ posledično ni mogoče izrisati škatlatah grafov (slika 10.3).

Iz slike 10.3 je razvidno, da so višje ravni benzena izmerjene v hladnejši polovici leta, kar je posledica večjih izpustov individualnih kurišč zaradi povečane potrebe po ogrevanju, ter slabših vremenskih pogojev, ki onemogočajo razredčevanje izpustov. V letu 2023 so bile najvišje vrednosti izmerjene v mesecu decembru. V poletnem času so bile vrednosti nizke na vseh lokacijah, z oktobrom pa so začele ponovno naraščati. Povprečni dnevni hod ravni benzena ni izrazit, se pa opazi dopoldanski vrh ob 9:00 zjutraj in večerni vrh okrog 22:00. Dnevni hod se ne razlikuje med delovniki in vikendi. Merilno mesto Iskrba meri ravni ozadja in ni prepoznanega dnevnega hoda (slika 10.4).

Tabela 10.3 in slika 10.5 prikazujeta primerjavo ravni benzena po letih. Najvišje vrednosti so izmerjene na lokaciji Ljubljana Center, z izjemo leta 2022, kjer so bile izmerjene vrednosti precej podobne vrednostim na lokaciji Maribor. Trend meritev je v zadnjih desetih letih enakomeren. Najnižje vrednosti so izmerjene na lokaciji Iskrba, ki predstavlja meritve ozadja. Manjša medletna variabilnost je posledica spremenljivih meteoroloških pogojev, v letu 2020 pa delno tudi vpliv sprejetih ukrepov za zajezitev širjenja COVID-19.

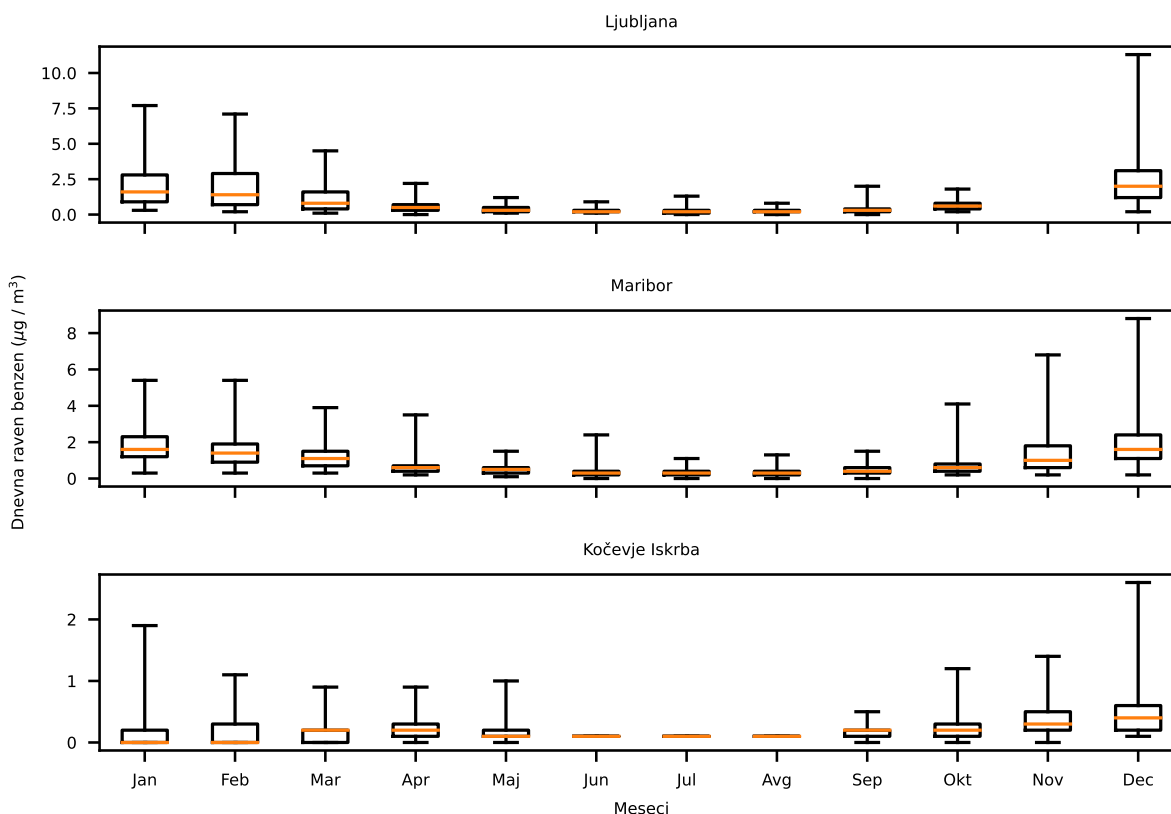
Tabela 10.2: Razpoložljivost urnih podatkov (% pod) in povprečne letne ravni (C_p) benzena v $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

	% pod	C_p
LJ Bežigrad	82	1,0
MB Titova	93	0,9
Iskrba	94	0,2
LJ Center	91	1,4
Medvode	75	1,3

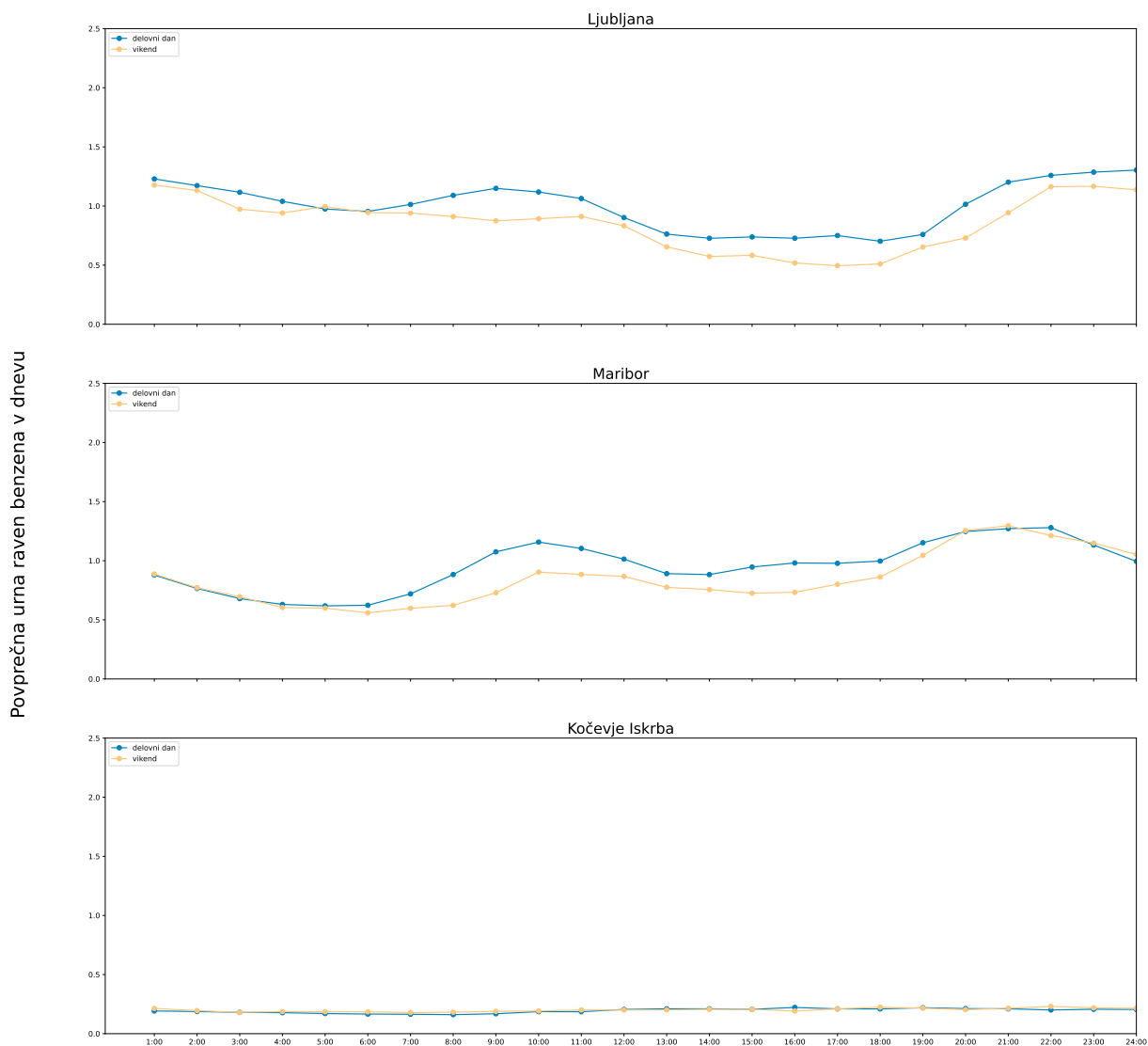
Tabela 10.3: Povprečna letna raven benzena ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) za obdobje 2014 - 2023

	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
LJ Bežigrad	1,0	1,3	1,9	/	1,5	1,1	1,2	1,1	1,0	1,0
MB Titova	1,5	1,6	1,4	0,7	0,7*	1,5	1,1	1,1	1,1	0,9
Iskrba	/	/	/	/	/	/	/	/	/	0,2
LJ Center	/	/	/	3,0	2,4	2,2	1,3	1,8*	1,1	1,4
Medvode	/	/	/	/	1,4	1,2	1,2	0,9	0,9	1,3

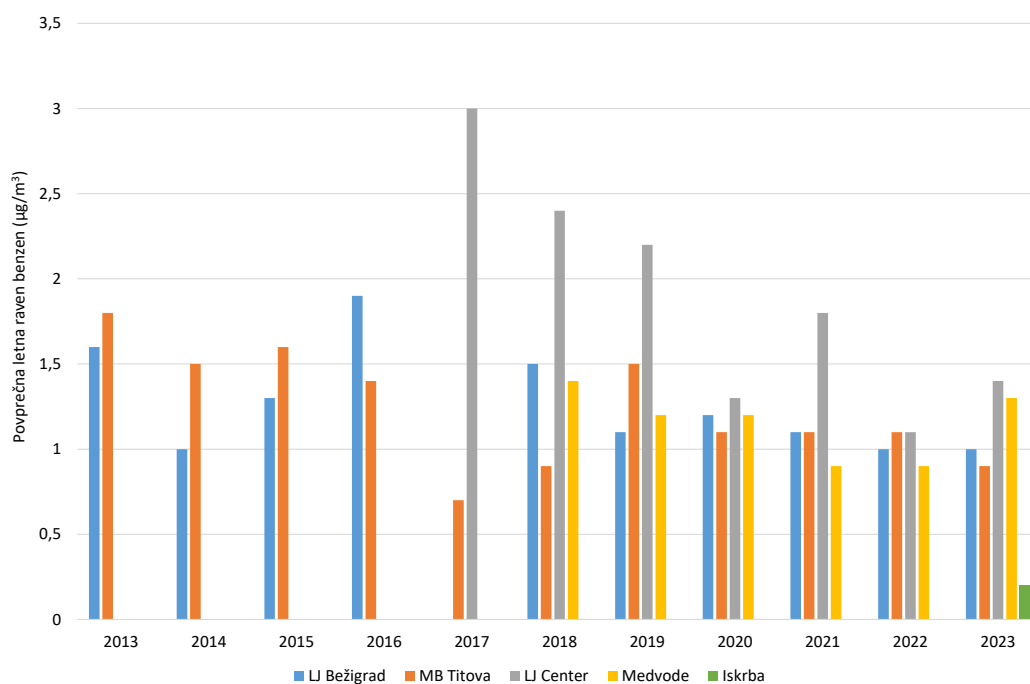
* Podatki so informativnega značaja zaradi prevelikega izpada meritev.



Slika 10.3: Porazdelitev urnih ravni benzena po mesecih v letu 2023. Prikazani so 5. in 95. percentil (spodnja in zgornja vodoravna črtica), oba kvartila (vrh in dno pravokotnika) in mediana (oranžna vodoravna črtica v pravokotniku).



Slika 10.4: Urni potek ravni benzena v letu 2023 na postaji Ljubljana Bežigrad, Maribor Titova in Iskrba.



Slika 10.5: Povprečne letne ravni benzena po letih na postajah LJ Bežigrad, MB Titova, Iskrba, LJ Center in Medvode. Posamezne ravni na merilnih postajah so prikazane z različno obarvanimi stolpci.

11. Živo srebro v zraku

Živo srebro kroži v okolju kot rezultat naravnih in človekovih (antropogenih) aktivnosti. Globalno je največji vir antropogenih emisij živega srebra obrtno in maloserijsko pridobivanje zlata. Sledijo zgorevanje premoga, proizvodnja barvnih kovin in proizvodnja cementa.

Količina živega srebra, sproščenega v atmosfero, se je povečala s pričetkom industrijske dobe. Največji delež živega srebra v atmosferi predstavljajo pare elementarnega živega srebra. Te v ozračju krožijo do enega leta, zato se lahko na široko razpršijo in od virov emisij prepotujejo na tisoče kilometrov. Večina živega srebra v vodi, tleh, usedlinah ter v rastlinah in živalih je v obliki anorganskih živosrebrnih soli in organskih oblik živega srebra (npr. metilnega živega srebra). Kadar je anorganska oblika živega srebra vezana na delce v zraku ali v plinasti obliki, se iz atmosfere zlahka odstrani s padavinami, iz zraka pa se izloča tudi s suhim usedanjem. Glavni mehanizem za transport živega srebra iz ozračja v površinske vode je mokro usedanje. Tudi po tem, ko se odloži, se živo srebro ponavadi ponovno vrne v ozračje bodisi kot plin, bodisi pridruži delcem, in se ponovno odlaga drugje. Medtem ko kroži med atmosfero, zemljo in vodo je živo srebro podvrženo vrsti zapletenih kemijskih in fizikalnih procesov in mnogih od njih še vedno ne razumemo popolnoma.

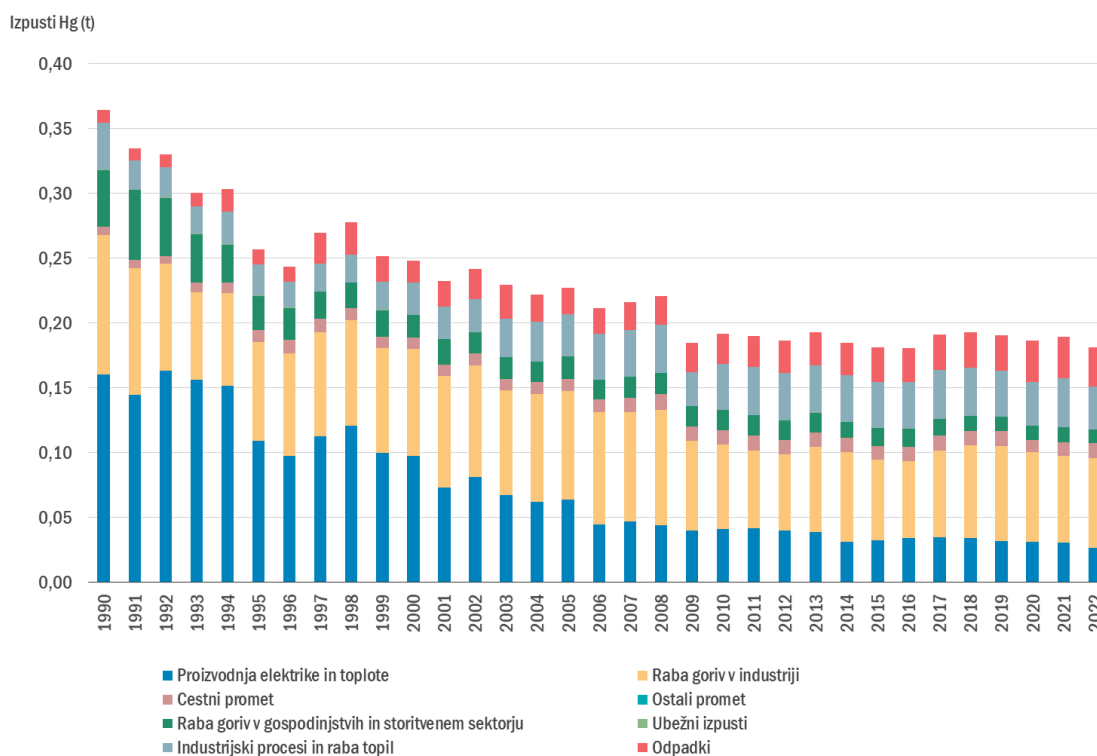
Živo srebro se intenzivno nabira v vodni prehranjevalni verigi. Deponirano živo srebro lahko določeni mikroorganizmi pretvorijo v metilno živo srebro. Le-to je visoko neurotoksična oblika živega srebra, ki se vgradi v tkiva rib, školjk in živali, ki jih ribe jedo. Plenilski organizmi na vrhu prehranjevalne verige na splošno vsebujejo višje koncentracije živega srebra. Skoraj vse živo srebro, ki se nabira v ribjem tkivu, je metilno živo srebro. Anorgansko živo srebro, ki se manj učinkovito absorbira in se lažje izloči iz telesa kot metilno živo srebro, ni podvrženo bioakumulaciji [18].

Izpostavljenost živemu srebru ogroža človekovo zdravje s številnimi, pogosto nepopravljivimi strupenimi učinki. Najbolj ogroženi so otroci, ki so lahko izpostavljeni metilnemu živemu srebru že v maternici, če se mati prehranjuje z onesnaženimi ribami in školjkami. Ta izpostavljenost lahko negativno vpliva na rastoče možgane in živčni sistem nerojenih otrok ter kasneje vpliva na njihovo kognitivno mišljenje, spomin, pozornost, jezik, fine motorične sposobnosti in vizualne prostorske spretnosti.

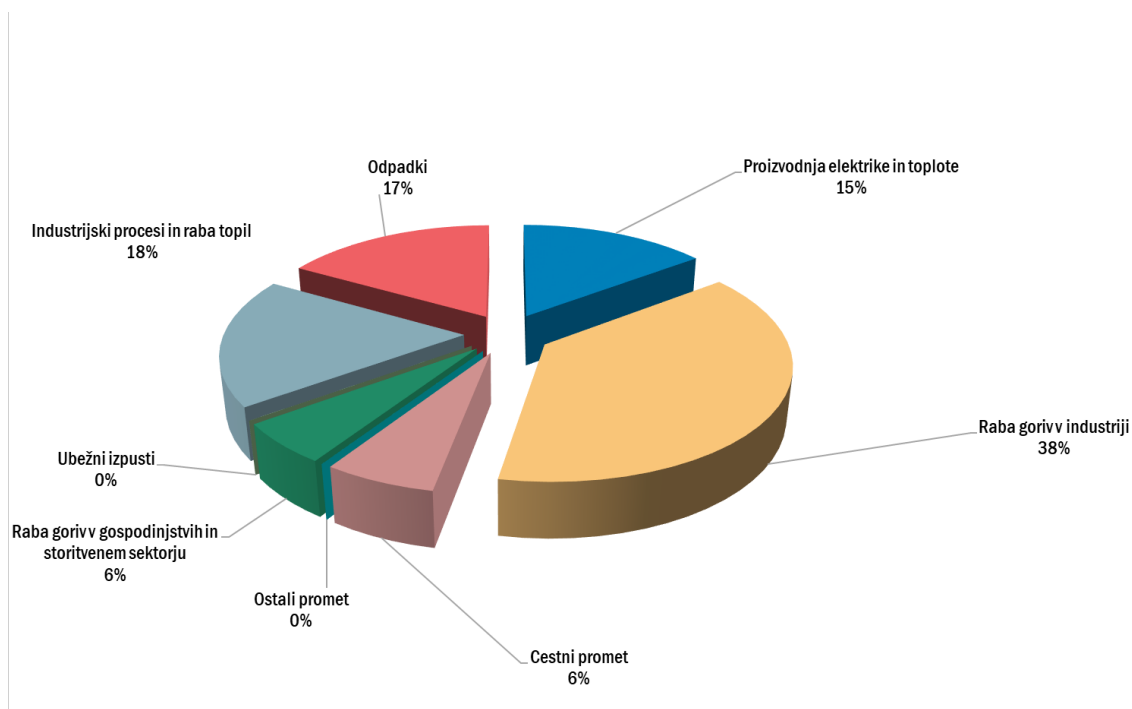
11.1 Izpusti

Letni izpusti živega srebra (Hg) so v Sloveniji leta 2022 podobno kot v preteklih letih znašali manj kot 0,2 tone. V primerjavi z letom 1990 so se zmanjšali za (50 %). Največji delež k skupnim državnim

izpustom živega srebra je v letu 2022 prispevala raba goriv v industriji (38 %), sledijo industrijski procesi in raba topil (18 %) ter ravnanje z odpadki (17 %). Slovenija izpolnjuje zahteve iz Protokola o težkih kovinah h Konvenciji CLRTAP, saj skupne državne količine izpustov živega srebra ne presegajo vrednosti iz leta 1990. Izpusti živega srebra po glavnih sektorjih so prikazani na slikah 11.1 in 11.2. Podrobne informacije o izpustih živega srebra in metodologiji izračuna izpustov so na voljo v zadnjem poročilu Informative Inventory Report, Slovenia 2024 [4].



Slika 11.1: Letni izpusti živega srebra po sektorjih v Sloveniji do leta 2022



Slika 11.2: Izpusti živega srebra po sektorjih v Sloveniji v letu 2022

11.2 Ravni onesnaženosti

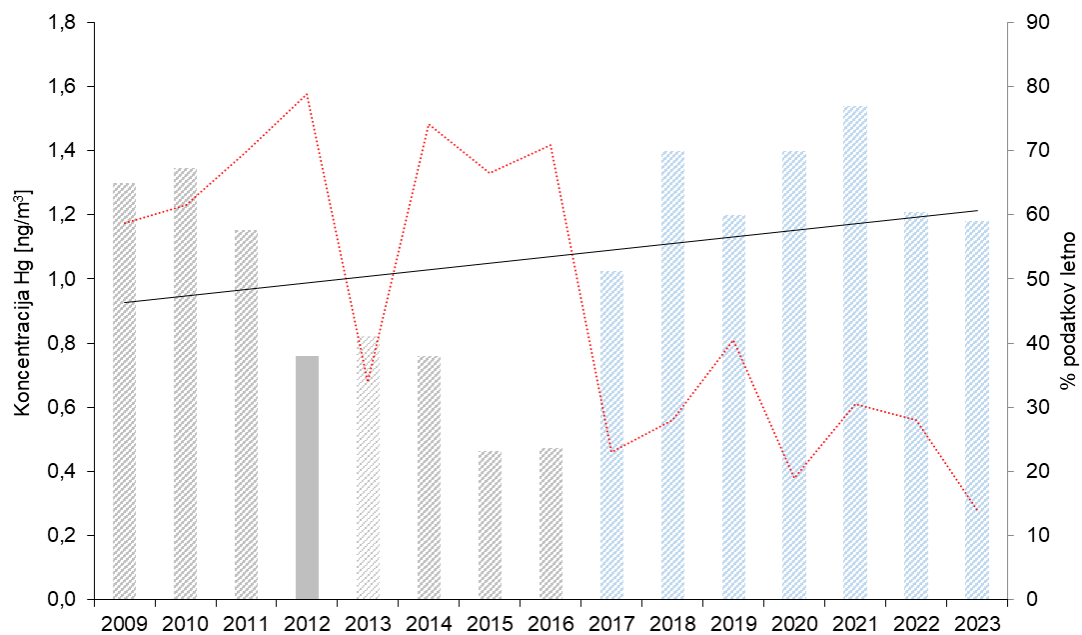
Meritve koncentracij celotnega živega srebra v zraku izvajamo le na merilnem mestu Iskrba. Z meritvami smo skladno z Uredbo o arzeniu, kadmiju, živem srebru, niklju in policikličnih aromatskih ogljikovodikih v zunanjem zraku [8] pričeli v letu 2008. Zaradi velikih težav z lastnim merilnikom, od leta 2017 dalje za izvajanje teh meritev najemamo inštrument Inštituta Jožef Stefan z drugačno merilno tehniko. Hkrati smo takrat prešli na tako imenovani indikativni režim meritev, s katerim zagotavljamo najmanj 14-odstotno pokritost z meritvami na letnem nivoju.

V letu 2023 je povprečna letna koncentracija Hg v zraku znašala $1,2 \text{ ng/m}^3$. Iz tabele 11.1 in slike 11.3 je razvidno, da je bila povprečna letna koncentracija Hg podobna kot v preteklem letu.

Diagram 11.3 predstavlja povprečne letne vrednosti živega srebra v različnih letih, trend (črna črta) ter pokritost podatkov preko celega leta. Ker so bile vrednosti po letu 2017 izmerjene z drugo merilno tehniko kot predhodne (siva barva), jih na sliki podajamo v modri barvi. Na sekundarni osi in v rdeči barvi podajamo odstotek izplena podatkov v celem letu in v letu 2020 je potekala prenova merilnega mesta Iskrba, zato smo meritve koncentracije Hg v zraku lahko izvajali le v prvi polovici leta. Pokritost z veljavnimi meritvami Hg v zraku na letnem nivoju je bila v letih od 2009 do 2016, z izjemo leta 2012, manjša od 75 odstotkov, zato rezultate teh meritev podajamo zgolj kot informativne vrednosti. Od leta 2014 meritve živega srebra izvajamo indikativno, zato zadostuje le 14-odstotna pokritost.

Tabela 11.1: Povprečne letne koncentracije živega srebra v zraku v ng/m^3 na merilnem mestu Iskrba od leta 2009 dalje.

Leto	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Koncentracija Hg (ng/m^3)	1,6	1,3	1,2	0,8	0,8	0,8	0,5	0,5	1,0	1,4	1,2	1,4	1,5	1,2	1,2



Slika 11.3: Letne ravni živega srebra na Iskri od leta 2009 dalje

12. Kakovost padavin

Na kemijsko sestavo padavin vplivajo ravni onesnaženosti zraka s posameznimi onesnaževali, zato je kemijska sestava padavin eno izmed meril onesnaženosti zraka. Padavine sperejo onesnaževala iz ozračja in povzročijo usedanje le-teh na površino zemlje. Raven usedanja posameznega onesnaževala je odvisna tako od njegove koncentracije v zraku kot tudi od količine padavin, ki onesnaževalo spere iz ozračja. Velik vpliv na ravni onesnaževal v zraku in posledično v padavinah ima gibanje zračnih mas, pri čemer prihaja do razporejanja in prenosa le-teh na velike razdalje. V mirnem ozračju pa na koncentracije onesnaževal, bolj vplivajo lokalne razmere. Koncentracije natrijevih in kloridnih, pa tudi kalcijevih in sulfatnih ionov so v neposredni povezavi z gibanjem zračnih mas in oddaljenostjo od morja (slika 12.8).

Z vidika vplivov na okolje, je eden pomembnejših parametrov kakovosti padavin njihova kislost. Posledice kislih padavin se odražajo na življenju rastlin, živali in ljudi, kislost padavin pa vpliva tudi na erozijo naravnega okolja ter stavb in kovinskih konstrukcij. Bolj kot so padavine kisle, bolj negativno vplivajo na naše okolje.

Na kislost padavin odločilno vplivajo predvsem produkti oksidacije najpogostejših onesnaževal v zraku (SO_2 , NO_x , CO , ogljikovodiki). Ti v obliki disociiranih kislin (CO_3^{2-} , Cl^-) povzročajo kislost padavin. H kislosti padavin lahko v manjši meri prispevajo tudi specifična onesnaževala kot so fluoridi (F^-), fosfati (PO_4^{3-}) in organske kisline. Te spojine se pojavljajo v nižjih koncentracijah kot žveplove in dušikove spojine. Kislost padavin je odvisna tudi od razmerja anionov disociiranih kislin in kationov, ki izvirajo iz topnih soli. Anioni kislin povečujejo kislost padavin, medtem ko kationi (Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , NH_4^+) padavine nevtralizirajo ali naredijo celo alkalne. V skladu z mednarodnim dogovorom so kisle padavine tiste, katerih pH vrednost je manjša od 5,6 [19].

Zračne mase občasno prinesejo k nam tudi puščavski prah, ki vsebuje znatne količine karbonatov, sulfatov in nekatere kovine, kot so aluminij, železo in stroncij. Višje ravni amonijevih ionov povežujemo z višanjem temperature tal predvsem v poletnem času in posledično z večjo mikrobiološko aktivnostjo v njih, kot tudi s povečanimi kmetijskimi aktivnostmi, torej je njihova koncentracija pogojena predvsem z lokalnim vplivom. Povečane kmetijske aktivnosti na lokalnem nivoju vplivajo tudi na ravni dušika nitratnega izvora.

Pomemben vpliv na okolje ima tudi usedanje anorganskih hranil, predvsem nitratov (NO_3^-) in fosfatov (PO_4^{3-}) v ekosisteme. Ta proces imenujemo eutrofikacija in tako v sladki kot v slani vodi povzroči prekomerno razraščanje vodnih rastlin predvsem v mirujočih in počasi tekočih vodah. Pri bakterijski razgradnji odmrlega rastlinja prihaja do velike porabe kisika, ki tako ni na voljo ribam in žuželkam. Odmiranje teh organizmov pa problem eutrofikacije le še povečuje.

Velik vpliv na živa bitja imajo tudi težke kovine in policiklični aromatski ogljikovodiki. Težke kovine so v okolju prisotne naravno, pomemben pa je tudi vnos kovin v okolje zaradi človeških aktivnosti kot so tehnološki procesi, izgorevanje fosilnih goriv (kurišča, avtomobili in drugo), odlaganje odpadkov in drugo. V žive organizme se težke kovine vnašajo z bioakumulacijo in dosežajo najvišje koncentracije v živih bitjih na vrhu prehranjevalne verige, kamor sodi tudi človek. Izpostavljenost težkim kovinam povzroča motnje v razvoju živih organizmov, poškodbe notranjih organov, razvoj rakastih obolenj in celo smrt.

Policiklični aromatski ogljikovodiki so v maščobah topne organske spojine sestavljene iz dveh ali več benzenskih obročev. V naravi se nahajajo v nafti, premogu in katranu, kot posledica človeških dejavnosti in naravnih nesreč nastajajo pa tudi kot stranski produkt pri nepopolnem izgorevanju biomase in fosilnih goriv.

Meritve kakovosti padavin v okviru DMKP izvajamo v skladu s poslovnikom programa EMEP [20], ki je program sodelovanja za spremljanje in vrednotenje prenosa onesnaževal zraka na velike razdalje v Evropi. Gre za znanstveno utemeljen in politično usmerjen program v okviru Konvencije o onesnaževanju zraka na velike razdalje preko meja [21] (Convention on Long-range Transboundary Air Pollution - CLRTAP), ki omogoča mednarodno sodelovanje pri reševanju problemov čezmejnega onesnaževanja zraka. Spremljanje kakovosti padavin pa določa tudi Uredba o arzeniu, kadmiju, živem srebru, niklju in policikličnih aromatskih ogljikovodikih v zunanjem zraku [8]. Za meritve parametrov v padavinah mejne in ciljne vrednosti niso določene. Meritve z merilnega mesta Iskrba posredujemo v izmenjavo na EEA in EMEP [21].

12.1 Raven vrednosti pH, električne prevodnosti in onesnaženosti padavin z nekaterimi anorganskimi ioni

Vzorčenje za določitev pH vrednosti, električne prevodnosti in koncentracij posameznih anorganskih ionov izvajamo v skladu s Priročnikom GAW No. 160 [22] ter v skladu Priročnikom EMEP [20]. Za vzorčenje uporabljamo t.i. *wet-only* vzorčevalnike, katerih pokrov se odpre le v času padavin in tako zajame le mokro usedlino. Vzorčenje poteka v okviru državne merilne mreže (DMKP) na petih merilnih mestih v Sloveniji. Na merilnih mestih Iskrba in LJ Bežigrad izvajamo dnevno vzorčenje padavin, na merilnih mestih Škocjan, Rateče in MS Rakičan pa vzorčenje izvajamo tedensko.

12.1.1 Podajanje rezultatov meritev

Za primere, ko smo za določen termin z vzorčevalniki uspeli zbrati manj kot 90 % padavin glede na podatke meteoroloških meritev, rezultate ekoloških meritev padavin za posamezne parametre podajamo zgolj informativno. V diagramih takšne vrednosti prikažemo šrafirano namesto polne barve v stolpcih.

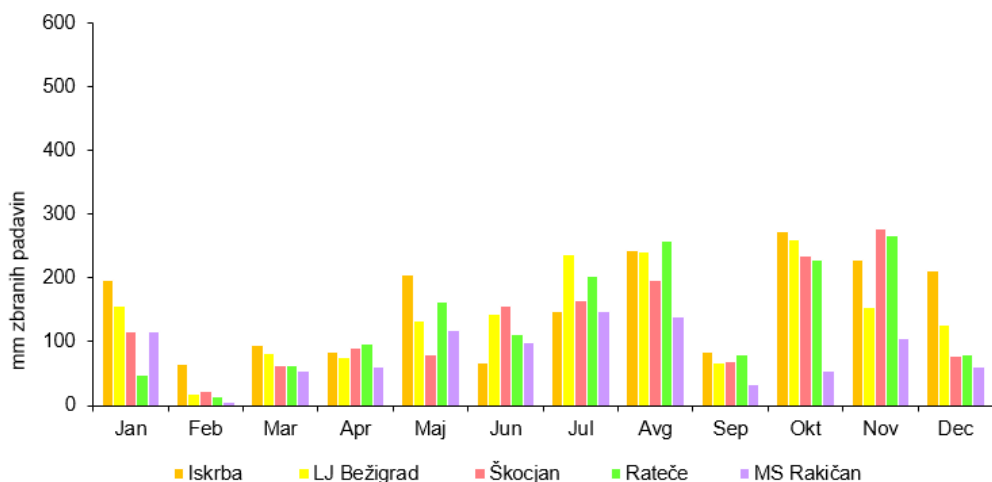
Najpogostejši razlog za izpad več kot desetih odstotkov padavin pri vzorčenju dnevnih padavin za določitev pH, električne prevodnosti in nekaterih ionov je dejstvo, da so avtomatski vzorčevalniki padavin dimenzionirani za zajem največ 44 mm padavin, med tem ko vse pogosteje prihaja do hudih nalivov, ko v 24 urah pade tudi več kot 120 mm padavin.

Tabela 12.1: Razlogi za izpad meritev oziroma za podajanje zgolj informativnih vrednosti do leta 2023

	Leto	Razlog
Iskrba	2003	Izpad >10 % padavin glede na meteorološke podatke.
	2010	Izjemne padavine v septembru, zaradi pre majhne kapacitete vzorčevalnika izpad >10 %.
	2017	Nepravilno delovanje vzorčevalnika izpad >10 % padavin.
	2020	Prenova merilnega mesta od maja do decembra.
LJ Bežigrad	2003	Izpad >10 % padavin glede na meteorološke podatke.
	2013	Zaradi gradnje prizidka je vzorčenje potekalo le do oktobra.
	2014	Merilno mesto zaradi prenove ni obratovalo zato podatki o kakovosti padavin niso na voljo.
	2015	Merilno mesto zaradi prenove ni obratovalo zato podatki o kakovosti padavin niso na voljo.
	2017	Nepravilno delovanje vzorčevalnika, izpad 11 % padavin glede na meteorološki podatek.
	2021	Izpad >10 % padavin zaradi odsotnosti opazovalcev januarja in močnih padavin septembra.
Škocjan	2003	Meritve na merilnem mestu še niso bile vzpostavljene.
	2004	Začetek meritev 30.08.2004, zato meritev ne podajamo.
Rateče	2008	Izpad 14 % padavin glede na meteorološke podatke.
	2009	Zaradi okvare vzorčevalnika izpad >10 % padavin.
	2020	Izjemne padavine v 5 od 53 tednov zato izpad >10 % padavin.
	2023	Zaradi okvare vzorčevalnika izpad >10 % padavin.
MS Rakičan	2003	Izpad >10 % padavin glede na meteorološke podatke.
	2008	Izpad 10,4 % padavin glede na meteorološke podatke.
	2017	Nepravilno delovanje vzorčevalnika izpad >10 % padavin.

12.1.2 Količina padavin, zbranih z ekološkimi vzorčevalniki

Količino padavin za določitve pH, el. prevodnosti in nekaterih ionov zbranih s pomočjo ekoloških vzorčevalnikov primerjamo s podatki meteoroloških meritev padavin. V kolikor se količina padavin zbranih za posamezno postajo razlikuje več kot 10 odstotkov skladno s Priročnikom EMEP [20] podatki za to postajo niso veljavni in jih zato podajamo kot informativne vrednosti.



Slika 12.1: Mesečna količina padavin zbranih za določitve pH, el. prevodnosti in nekaterih ionov z ekološkimi vzorčevalniki v letu 2023

Iz slike (slika 12.1) je razvidno, da je bila podobno kot v preteklem, tudi v letu 2023 druga polovica leta bolj bogata s padavinami kot prva. Na vseh postajah, z izjemo Rakičana, smo zabeležili največjo mesečno količino padavin v mesecih oktober in november. Največ padavin v letu 2023 smo izmerili v novembru na merilnem mestu Škocjan (277 mm), meritve na ostalih postajah v tem mesecu pa so se gibale med 267 in 104 mm.



Slika 12.2: Letne količine padavin, zbranih za analizo od leta 2003 dalje.

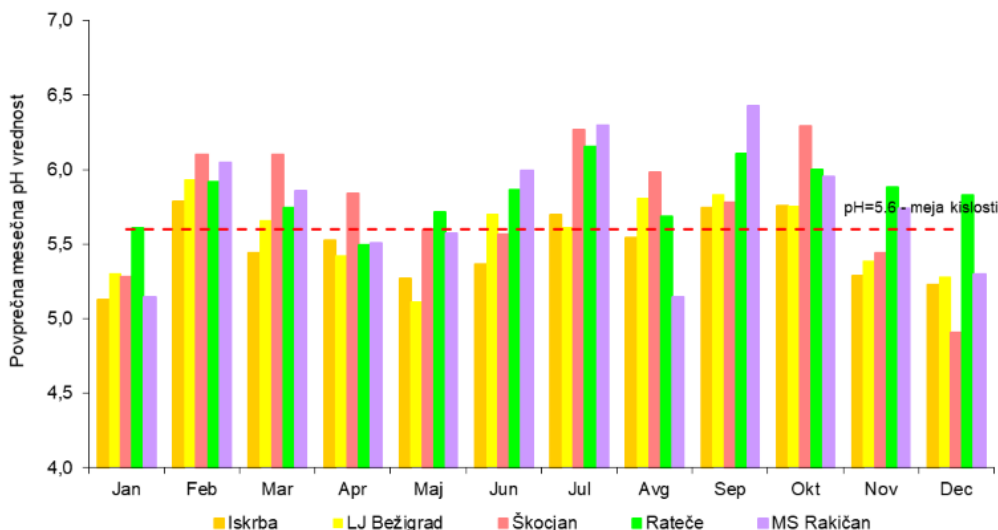
Kot v prejšnjem letu smo v letu 2023 zabeležili največjo letno količino padavin na merilnem mestu Iskrba, kjer smo v celem letu zbrali kar 1902 mm padavin. Nekoliko manj, 1691 mm padavin smo zbrali na merilnem mestu LJ Bežigrad, sledi Rateče (1612 mm) nato Škocjan s 1547 mm ter MS Rakičan (990 mm), kjer je padavin kot ponavadi daleč najmanj (slika 12.2).

V letu 2023 smo imeli največji (20,2 %) izpad vzorcev padavin glede na meteorološko izmerjene količine, na merilnem mestu Rateče, zato podatke za to merilno mesto na letnem nivoju podajamo zgolj informativno. Do tako velikega izpada je prišlo zaradi okvare grelca v vzorčevalniku v obdobju med drugo polovico januarja in koncem februarja. Na vseh ostalih merilnih mestih se je količina zbranih padavin na letnem nivoju razlikovala od meteroloških med 6,6 do 7,6 %, zato so vsi ostali podatki veljavni.

12.1.3 Mesečna raven vrednosti pH, električne prevodnosti in onesnaženosti padavin z nekaterimi anorganskimi ioni

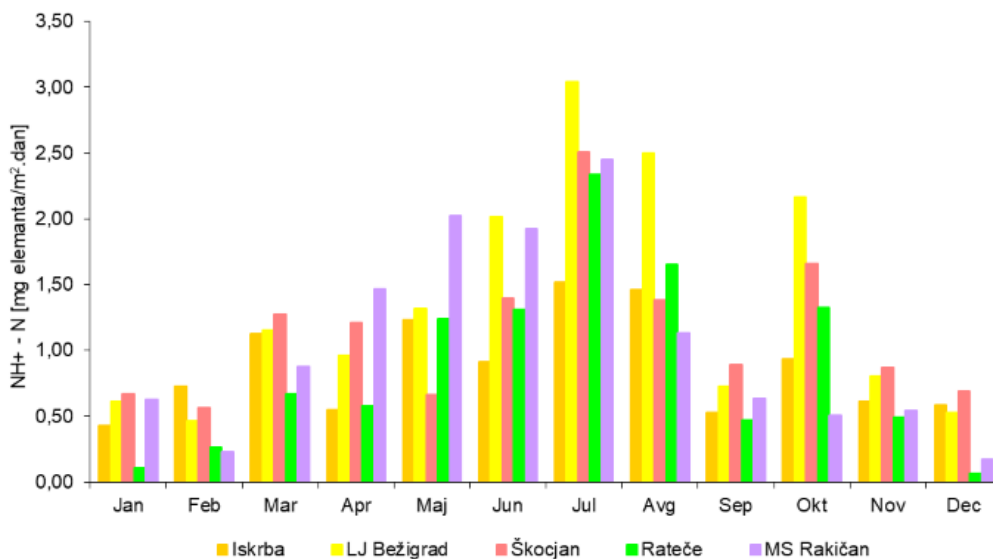
Padavine so bile v letu 2023 po vsej državi pretežni del leta, z izjemo aprila in maja na večini merilnih mest manj kisle med februarjem in oktobrom. Praviloma so bile padavine v tem času najmanj kisle na merilnem mestu Rateče, saj je bila njihova pH vrednost, z izjemo aprila, ves ta čas nad mejo kislosti (vrednost 5,6) (Slika 12.3). Nekoliko bolj kisle so bile padavine na merilnem mestu Škocjan, kjer so bile pH vrednosti padavin nad mejo kislosti v mesecih februar, marec, april, maj ter od julija do oktobra. Še bolj kisle so bile merilnih mestih MS Rakičan in LJ Bežigrad. Najbolj kisle padavine pa so bile na merilni postaji Iskrba, kjer so bile pH vrednosti nad mejo kislosti le v februarju, juliju, septembru in oktobru. Višje pH vrednosti med marcem in oktobrom povezujemo predvsem s koncentracijami amonijevih ionov, ki so posledica kmetijskih aktivnosti in izparevanja iz tal zaradi višjih temperatur (slika 12.4). Sicer pa k povišanju pH vrednosti padavin prispevajo tudi kalcijevi in magnezijevi ioni, ki se nahajajo v prašnih delcih in jih padavine spirajo iz ozračja.

Porazdelitev mokrih usedlin ionov (preračunano na $\text{mg}/\text{m}^2\text{dan}$), ki poglavitno vplivajo na zakislje-



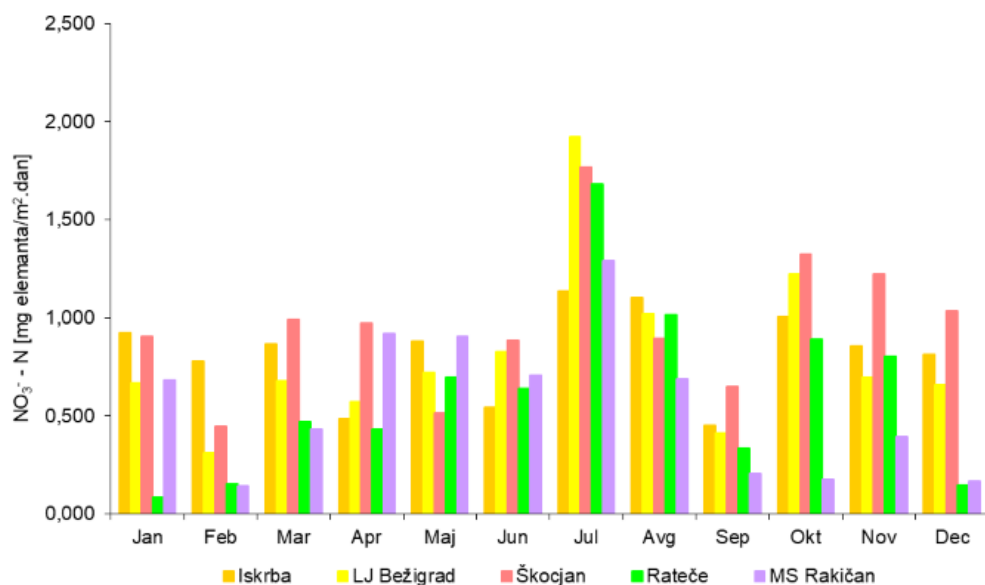
Slika 12.3: Povprečne mesečne pH vrednosti padavin v letu 2023

vanje in eutrofikacijo, po posameznih mesecih je prikazana na slikah 12.4 do 12.6. Moke usedline amonijevih ionov so bile po pričakovanjih tudi v letu 2023 na večini merilnih mest višje v toplejšem delu leta, ko je v zraku več amoniaka, le ta pa se s padavinami spere na tla.

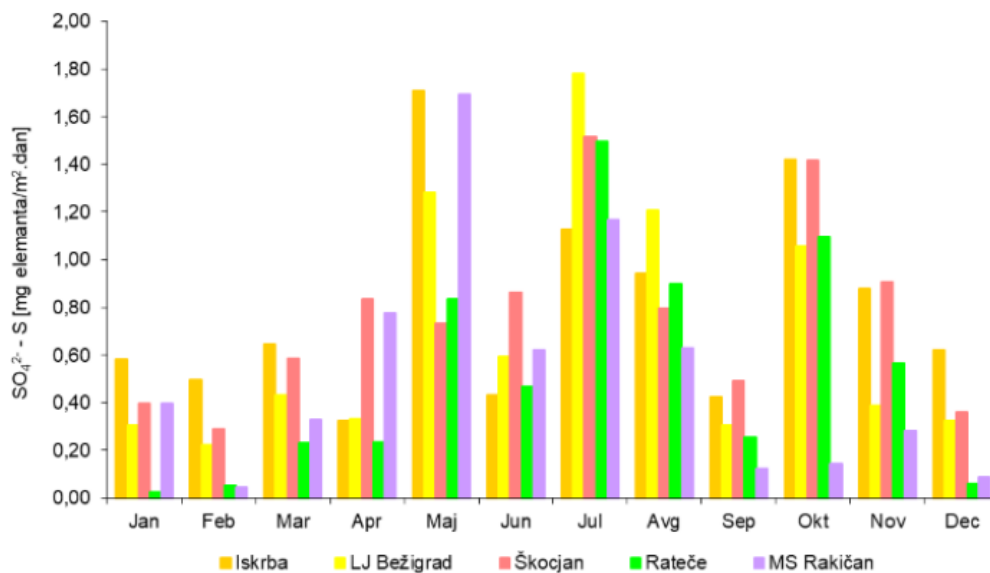


Slika 12.4: Mesečna mokra usedlina dušika amoniakalnega izvora v padavinah v letu 2023

Mesečne mokre usedline nitratnih in sulfatnih ionov so bile tudi v letu 2023 povezane predvsem z mesečno količino padavin, saj se z večjo količino padavin iz zraka praviloma spere tudi več teh onesnaževal. Tako smo največje depozicije nitratnih in sulfatnih ionov tudi v letu 2023 zabeležili v mesecih z večjo količino padavin.



Slika 12.5: Mesečna mokra usedlina dušika nitratnega izvora v padavinah v letu 2023



Slika 12.6: Mesečna mokra usedlina žvepla sulfatnega izvora v padavinah v letu 2023

12.1.4 Letna raven vrednosti pH, električne prevodnosti in onesnaženosti padavin z nekaterimi anorganskimi ioni

Povprečne letne vrednosti pH, električne prevodnosti in povprečne letne koncentracije posameznih anorganskih ionov v padavinah ter njihove minimalne in maksimalne vrednosti za leto 2023 so podane v tabeli 12.2. Grafično so povprečne letne koncentracije posameznih ionov prikazane na sliki 12.8, kjer so podane tudi letne količine padavin, zbrane s pomočjo ekoloških vzorčevalnikov.

Tabela 12.2: Srednja vrednost (C_p), minimum (C_{min}) in maksimum (C_{max}) pH, električna prevodnost pri 25°C (el. prev.) ($\mu\text{S}/\text{cm}$) in koncentracije ionov v padavinah (mg ion/L) na vzorčevalnih mestih DMKP v letu 2023

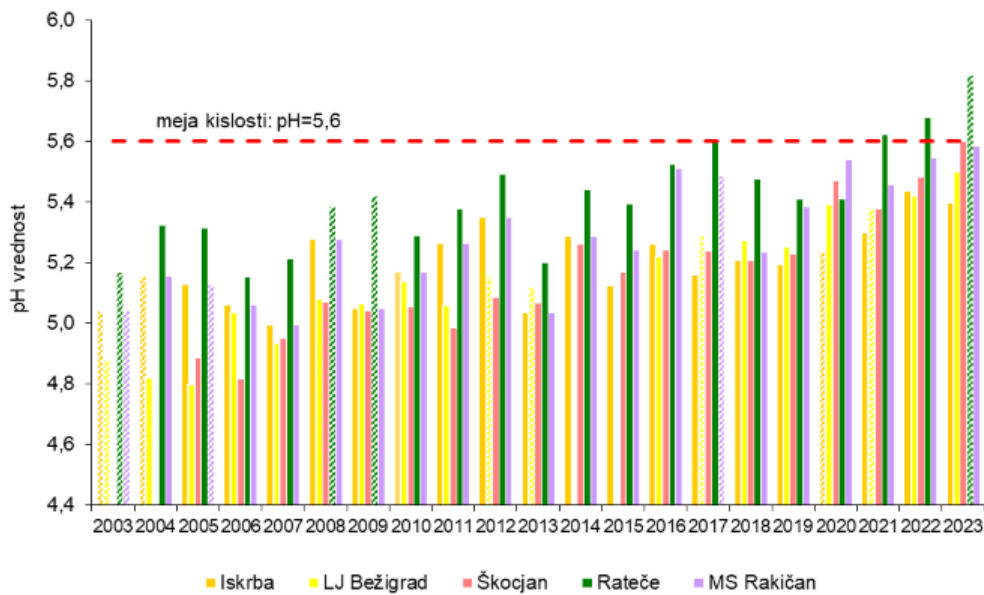
		pH	El. prev.	$\text{NH}_4^+\text{-N}$	$\text{NO}_3^-\text{-N}$	$\text{SO}_4^{2-}\text{-S}$	Cl^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+
Iskrba	C_p	5,40	8	0,170	0,158	0,155	0,557	0,319	0,059	0,329	0,040
	C_{min}	4,53	2	0,020	0,111	0,015	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010
	C_{max}	7,47	64	3,45	12,4	7,74	6,97	8,16	0,456	3,78	0,601
LJ Bežigrad	C_p	5,50	7	0,296	0,176	0,150	0,298	0,326	0,047	0,186	0,037
	C_{min}	4,71	2	0,043	0,118	0,040	0,010	0,024	0,010	0,010	0,010
	C_{max}	7,44	31	3,35	6,61	2,78	5,84	3,67	0,401	3,30	0,390
Škocjan	C_p	5,60	9	0,271	0,228	0,181	0,659	0,393	0,074	0,405	0,063
	C_{min}	4,78	5	0,010	0,005	0,015	0,035	0,046	0,010	0,022	0,010
	C_{max}	6,96	43	2,42	8,65	3,83	4,54	3,97	0,425	2,89	3,88
Rateče*	C_p	5,82	6	0,200	0,140	0,118	0,161	0,416	0,051	0,103	0,049
	C_{min}	5,25	2	0,010	0,124	0,015	0,010	0,028	0,010	0,010	0,010
	C_{max}	7,18	19	3,49	12,2	3,71	3,38	2,26	0,360	2,45	0,341
MS Rakičan	C_p	5,58	7	0,388	0,205	0,192	0,158	0,279	0,038	0,103	0,069
	C_{min}	4,86	2	0,057	0,155	0,055	0,022	0,030	0,010	0,010	0,010
	C_{max}	6,62	32	3,22	4,68	7,77	2,33	3,29	0,239	1,25	0,631

Na sliki 12.7 so prikazane povprečne letne pH vrednosti padavin od leta 2003 dalje. Podobno kot v preteklih letih so bile tudi v letu 2023 nekoliko bolj kisle padavine z merilnih mest Iskrba in LJ Bežigrad. Manj kisle so bile padavine z merilnega mesta MS Rakičan in Škocjan. Vrednosti na MS Rakičan povezujemo s kmetijskimi aktivnostmi, ki potekajo v neposredni bližini tega merilnega mesta in vplivajo na višje koncentracije amonijevih ionov, te pa nevtralizirajo kisle komponente. Manjšo kislost padavin iz MS Rakičan povezujemo tudi z nizkimi vrednostmi kislih kloridnih ionov. Daleč najmanj kisle so bile padavine z merilnega mesta Rateče, pri katerih je povprečna letna vrednost pH že tretjič v zgodovini izvajanja meritev preseгла mejo kislosti. Nizko pH vrednost v Ratečah povezujemo s pojavom abrazije okoliških kamnin pretežno apnenčastega izvora, ki so vir kalcijevih ionov, ti pa nevtralizirajo kisle komponente v padavinah.

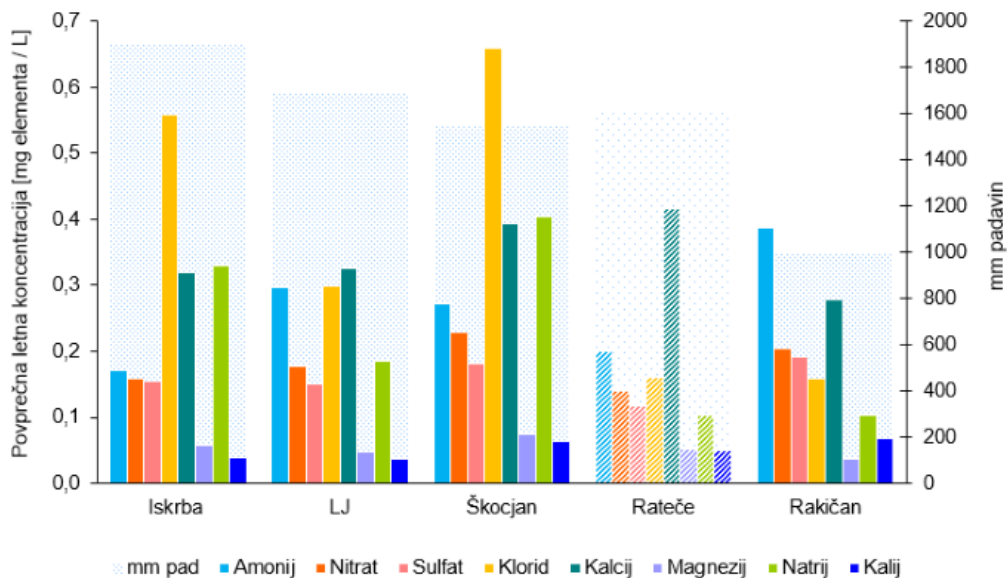
Na sliki 12.8 so prikazane povprečne letne koncentracije posameznih ionov v padavinah, izraženo na element. Tudi v letu 2023 je bila povprečna letna koncentracija dušika amoniakalnega izvora v mg $\text{NH}_4^+\text{-N}/\text{L}$ zaradi intenzivnega kmetijstva v neposredni bližini merilnega mesta, najvišja na MS Rakičan (0,388 mg/L), nižja je bila na merilnem mestu LJ Bežigrad (0,296 mg/L), še nižja na merilnih mestih Škocjan (0,271 mg/L) in Rateče (0,200 mg/L) ter najnižja na merilnem mestu Iskrba (0,170 mg/L).

Povprečne letne koncentracije dušika nitratnega izvora $\text{NO}_3^-\text{-N}$ so se gibale med 0,140 mg/L kolikor smo izmerili v padavinah iz Rateč, 0,158 mg/L v padavinah z Iskrbe, 0,176 mg/L v padavinah iz LJ Bežigrad, 0,205 mg/L v padavinah z MS Rakičana in 0,228 mg/L, kolikor smo izmerili v padavinah v padavinah z merilnega mesta Škocjan.

Koncentracija žvepla sulfatnega izvora na vseh merilnih mestih, razen Rateč, kjer je znašala 0,118 mg $\text{SO}_4^{2-}\text{-S}/\text{L}$, gibala med 0,150 in 0,192 mg $\text{SO}_4^{2-}\text{-S}/\text{L}$.



Slika 12.7: Povprečne letne pH vrednosti padavin od leta 2003 dalje.



Slika 12.8: Povprečna letna koncentracija posameznih ionov, izraženih kot element, v padavinah v letu 2023

Koncentracije natrijevih (Na^+), kloridnih (Cl^-) in magnezijevih ionov (Mg^{2+}) so bile podobno kot v preteklih letih odvisne od oddaljenosti posameznega merilnega mesta od morja in so bile zato najvišje na merilnem mestu Škocjan, najnižje pa na merilnem mestu MS Rakičan. Ravni ostalih ionov, ki so predvsem naravnega izvora, ostajajo na približno enakem nivoju kot v preteklih letih.

Celotna količina padavin, zbranih z ekološkimi vzorčevalniki in letnih vrednosti mokrih usedlin posameznih ionov, preračunano v mg elementa na m^2 na dan, so podane v tabeli 12.3, grafično pa so prikazane na sliki 12.9.

Tabela 12.3: Letna količina zbranih padavin (mm) in letne mokre usedline ionov v mg/m^2 .dan v letu 2023

	Količina padavin	H^{+*}	NH_4^+-N	NO_3^--N	$\text{SO}_4^{2-}-\text{S}$	Cl^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+
Iskrba	1902	7,49	0,888	0,823	0,807	2,90	1,66	0,307	1,71	0,209
LJ Bežigrad	1691	5,28	1,37	0,815	0,694	1,38	1,51	0,218	0,860	0,170
Škocjan	1547	3,89	1,15	0,969	0,769	2,80	1,67	0,314	1,72	0,269
Rateče	1612	2,45	0,887	0,621	0,521	0,714	1,84	0,228	0,457	0,218
MS Rakičan	990	2,57	1,05	0,557	0,521	0,429	0,758	0,103	0,279	0,188

* Skupna usedlina H^+ je izračunana le iz vzorcev z izmerjeno pH vrednostjo.

Na zakisljevanje okolja odločilno vplivajo usedline dušika nitratnega izvora in žvepla sulfatnega izvora, ki povišujejo kislost in pa mokre usedline dušika amoniakalnega izvora, ki kisle komponente nevtralizirajo.

Mokro usedanje dušika amoniakalnega izvora je bilo podobno kot v preteklih letih tudi v letu 2023 kot posledica človekove aktivnosti najvišje na merilnem mestu LJ Bežigrad ($1,37 \text{ mgN}/\text{m}^2$.dan). Nekoliko nižje je bilo na merilnem mestu Škocjan ($1,15 \text{ mgN}/\text{m}^2$.dan), še nižje na merilnih mestih Rakičan ($1,05 \text{ mgN}/\text{m}^2$.dan) in Iskrba ($0,888 \text{ mgN}/\text{m}^2$.dan), najnižje pa na merilnem mestu Rateče ($0,887 \text{ mgN}/\text{m}^2$.dan).

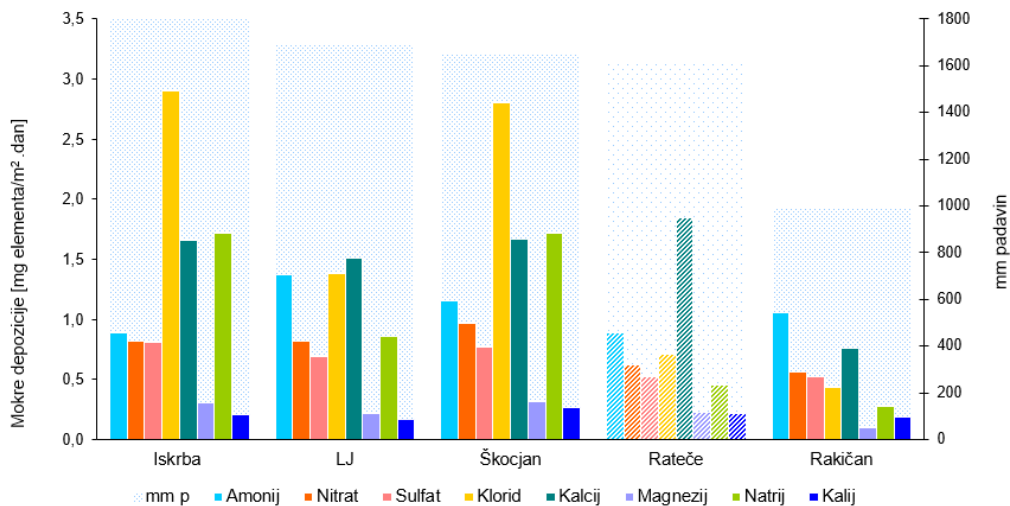
Mokro usedanje dušika nitratnega izvora je bilo v letu 2023 daleč najvišje na merilnem mestu Škocjan ($0,969 \text{ mgN}/\text{m}^2$.dan). Nekoliko nižje je bilo na podeželskem merilnem mestu Iskrba ($0,823 \text{ mgN}/\text{m}^2$.dan), še nižje na merilnem mestu LJ Bežigrad ($0,815 \text{ mgN}/\text{m}^2$.dan) najnižje pa na merilnih mestih Rateče ($0,621 \text{ mgN}/\text{m}^2$.dan) in Rakičan ($0,557 \text{ mgN}/\text{m}^2$.dan). Iz slike 12.11 je razvidno, da so njihove vrednosti višje kot v preteklem letu.

Podobno kot v preteklem letu smo najvišje mokro usedanje žvepla sulfatnega izvora zabeležili na merilnem mestu Iskrba ($0,807 \text{ mgS}/\text{m}^2$.dan), nekoliko nižje na merilnih mestih Škocjan ($0,769 \text{ mgS}/\text{m}^2$.dan) in LJ Bežigrad ($0,649 \text{ mgS}/\text{m}^2$.dan), najnižje pa na merilnih mestih Rateče ($0,521 \text{ mgS}/\text{m}^2$.dan) in MS Rakičan ($0,521 \text{ mgS}/\text{m}^2$.dan). Tudi vrednosti mokrih depozicij žvepla sulfatnega izvora so višje kot v preteklem letu.

Predvidevamo, da so višje koncentracije dušika nitratnega izvora in žvepla sulfatnega izvora v padavinah in posledično njihovo mokro usedanje višje na merilnih mestih Škocjan, LJ Bežigrad in Iskrba zaradi večje podvrženosti vplivom prenosa onesnaževal na velike razdalje preko meja.

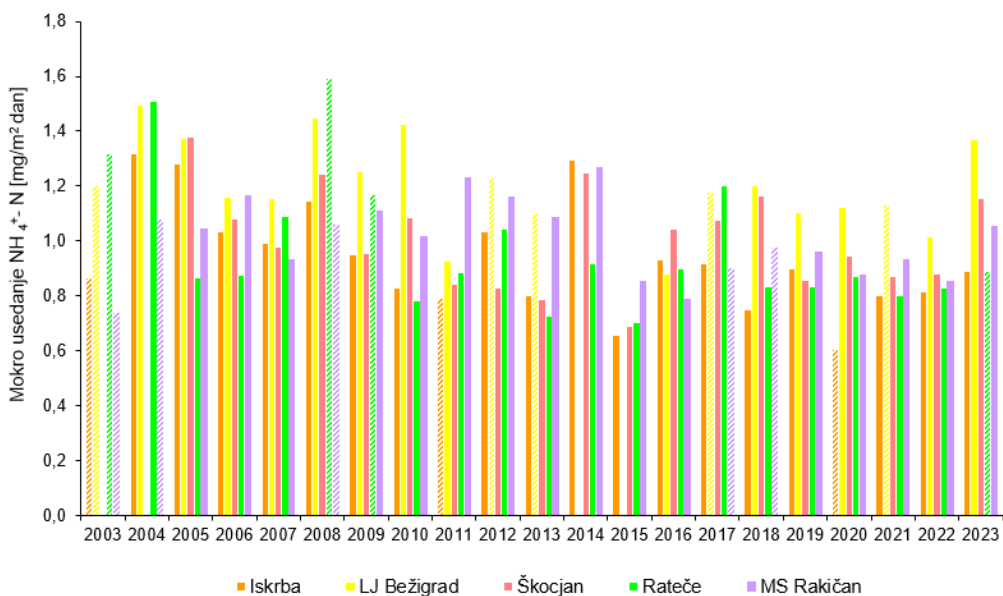
Mokre usedline natrija so tako kot že vsa leta direktno povezane z oddaljenostjo posameznega merilnega mesta od morja in so bile tudi v letu 2023 skladno s pričakovanji najvišje na merilnem mestu Škocjan, najnižje pa na merilnem mestu MS Rakičan. Mokre usedline klorida pa so bile v tem letu najvišje na merilnem mestu Iskrba, najnižje, pa na MS Rakičan.

V letu 2023 smo najvišje mokre usedline kalcijevih ionov določili na merilnem mestu Rateče,

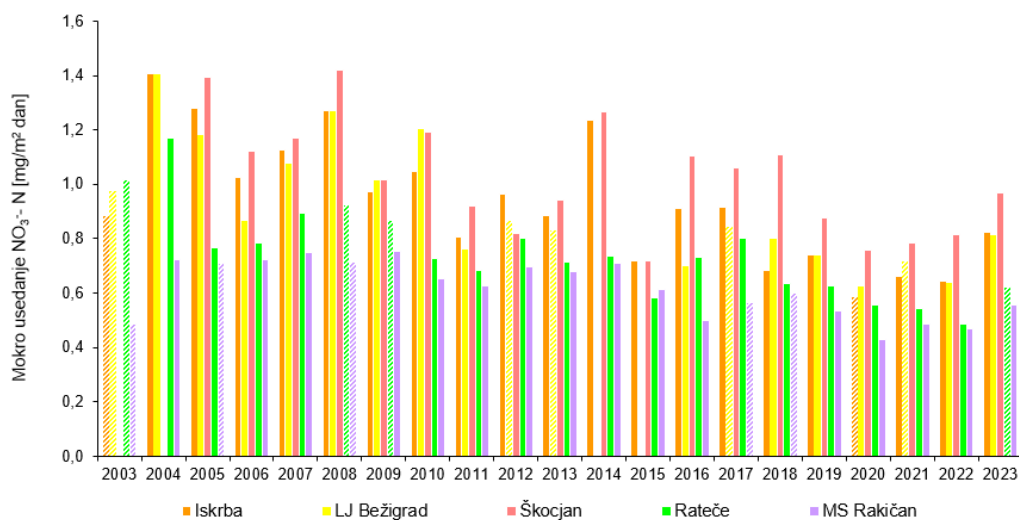


Slika 12.9: Mokra usedlina nekaterih ionov po merilnih mestih v letu 2023

nekoliko nižje so bile na merilnih mestih Škocjan, Iskrba in LJ Bežigrad, daleč najnižje pa na merilnem mestu MS Rakičan.



Slika 12.10: Mokra usedlina dušika amoniakalnega izvora po letih. Podatki, ki jih podajamo informativno, so v grafih prikazani z enako barvo vendar šrafirano (obrazložitev se nahaja v podpoglavju 12.1.1).



Slika 12.11: Mokro usedlanje dušika nitratnega izvora v padavinah po letih. Podatki, ki jih podajamo informativno, so v grafih prikazani z enako barvo vendar šrafirano (obrazložitev se nahaja v podpoglavju 12.1.1).



Slika 12.12: Mokro usedlanje žvepla sulfatnega izvora po letih. Podatki, ki jih podajamo informativno, so v grafih prikazani z enako barvo vendar šrafirano (obrazložitev se nahaja v podpoglavju 12.1.1).

12.2 Onesnaženost padavin s težkimi kovinami

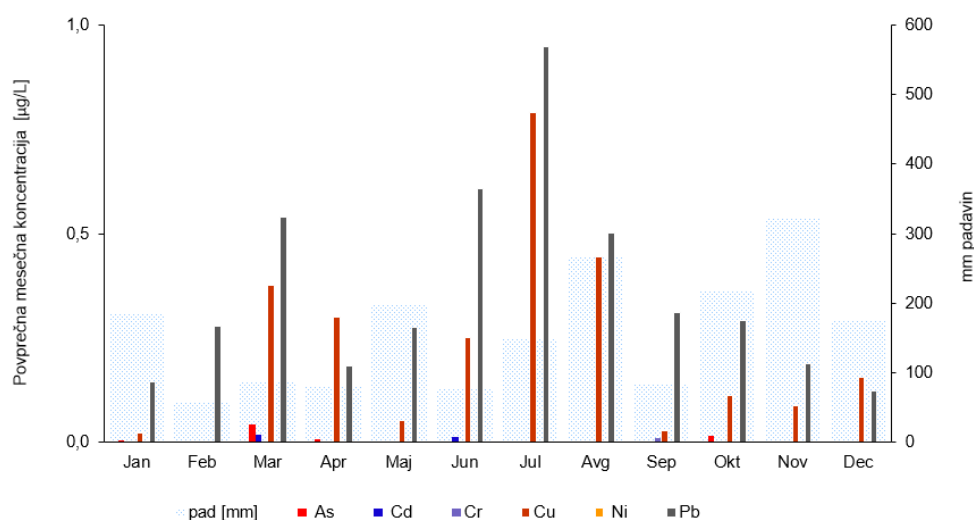
Prisotnost težkih kovin v padavinah je posledica izpiranja prašnih delcev, ki vsebujejo težke kovine, iz ozračja. Vire onesnaženja padavin s težkimi kovinami delimo na naravne in človeške. Naravni viri težkih kovin v zraku in posledično v padavinah so predvsem vulkanskega izvora, človeški viri pa so povezani s proizvodnjo barvnih kovin, sežiganjem odpadkov, proizvodnjo elektrike in toplote ter rabo goriv v storitvenem sektorju in gospodinjstvih.

Meritve težkih kovin v padavinah izvajamo le na merilnem mestu Iskrba. Vzorčenje poteka v tedenskih intervalih s pomočjo t.i. *bulk* vzorčevalnika, ki je ves čas odprt in zajame tako mokri kot tudi suhi del usedlin. Kemijsko analitski laboratorij Agencije RS za okolje določi koncentracije posameznih kovin v padavinah in v suhi snovi. Iz teh podatkov potem izračunamo maso vnosa posamezne težke kovine za obdobje vzorčenja na kvadratni meter in to vrednost delimo s številom dni tega obdobja.

12.2.1 Mesečna raven koncentracij in depozicij posameznih težkih kovin

Na slikah 12.13 in 12.14 so prikazane povprečne mesečne koncentracije posameznih težkih kovin v letu 2023 izražene v $\mu\text{g/L}$. Zaradi velike razlike v nivojih koncentracije posameznih težkih kovin, njihove koncentracije podajamo v dveh različnih diagramih.

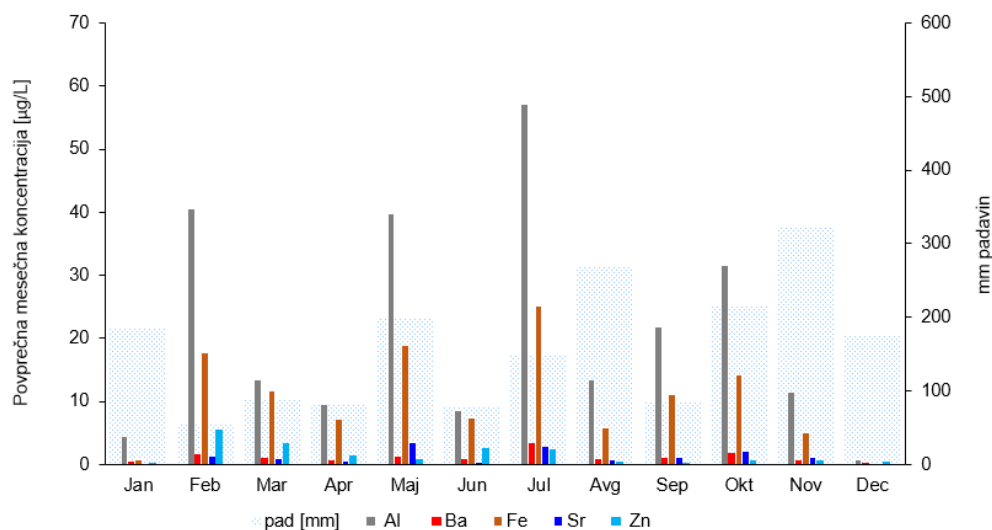
Iz obeh diagramov je razvidno, da so koncentracije posameznih težkih kovin skoraj praviloma nižje v mesecih z manjšo količino padavin, saj padavina onesnaževalo ob začetku padavin izpere iz ozračja, v nadaljevanju pa pride do razredčevanja.



Slika 12.13: Povprečne mesečne koncentracije arzena, kadmija, kroma, bakra, niklja in svinca v $\mu\text{g/L}$ v letu 2023

Mesečne vrednosti usedlin nekaterih težkih kovin za merilno mesto Iskrba so podane v tabeli 12.4 ter na slikah 12.15 in 12.16. Podobno kot v preteklem letu, smo tudi v letu 2023 nekoliko višje usedline bakra, svinca, niklja in cinka, ki so glavna sestavina urbanega prahu, zabeležili v toplih mesecih.

Zaradi intenzivnih epizod puščavskega prahu med 10 in 31. julijem 2023 so bile zabeležene



Slika 12.14: Povprečne mesečne koncentracije aluminija, barija, železa, stroncija in cinka v $\mu\text{g/L}$ v letu 2023

dokaj visoke usedline nekaterih težkih kovin. Takrat smo poleg povečane usedline težkih kovin, ki so glavna sestavina urbanega prahu, zabeležili tudi večje usedline aluminija, barija, železa, in stroncija. K temu prispevajo večje količine aluminijevih in železovih oksidov ter drugih snovi, ki se nahajajo v puščavskem prahu.

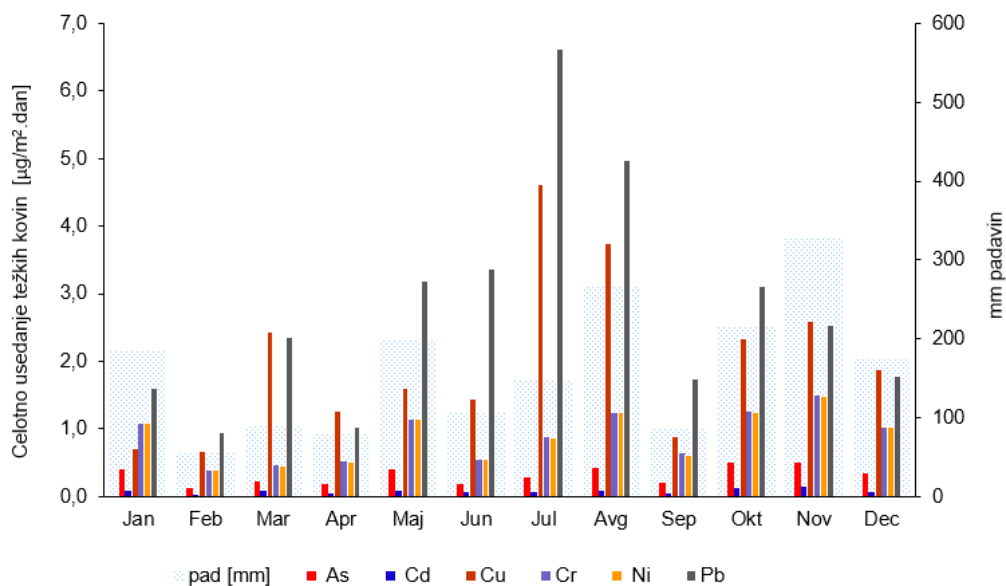
Tabela 12.4: Vrednosti celotnega usedanja posameznih težkih kovin v $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{dan}$ in količina zbranih padavin v mm na merilnem mestu Iskrba v letu 2023

Mesec	Aluminij	Arzen	Barij	Kadmij	Krom	Baker	Železo	Nikelj	Svinec	Stroncij	Cink	mm
Januar	35,1	0,403	3,37	0,081	1,08	0,706	16,6	1,08	1,61	1,59	4,62	185,6
Februar	96,7	0,129	4,36	0,026	0,386	0,681	44,6	0,386	0,945	2,87	12,9	56,5
Marec	43,2	0,222	4,31	0,080	0,462	1,51	38,7	0,462	2,35	2,85	11,4	88,5
April	32,6	0,189	2,13	0,040	0,516	1,27	30,5	0,523	1,03	1,82	5,35	80,7
Maj	314	0,397	9,51	0,081	1,14	1,61	166	1,14	3,18	24,5	12,4	197,5
Junij	45,1	0,182	4,03	0,067	0,546	1,44	36,0	0,546	3,37	2,26	10,2	107,8
Julij	320	0,292	19,0	0,058	0,877	4,62	148	0,877	6,62	15,6	15,5	147,9
Avgust	128	0,424	8,05	0,084	1,23	3,74	64,8	1,26	4,97	5,89	8,25	268,2
September	141	0,210	5,19	0,043	0,634	0,887	122	0,603	1,75	3,75	6,63	85,6
Oktober	306	0,496	17,1	0,117	1,27	2,35	151	1,24	3,11	16,4	9,82	216,3
November	114	0,498	6,69	0,140	1,50	2,59	52,6	1,50	2,55	10,8	10,8	329,4
December	15,8	0,342	2,27	0,068	1,03	1,89	12,4	1,03	1,79	1,25	7,12	175,8

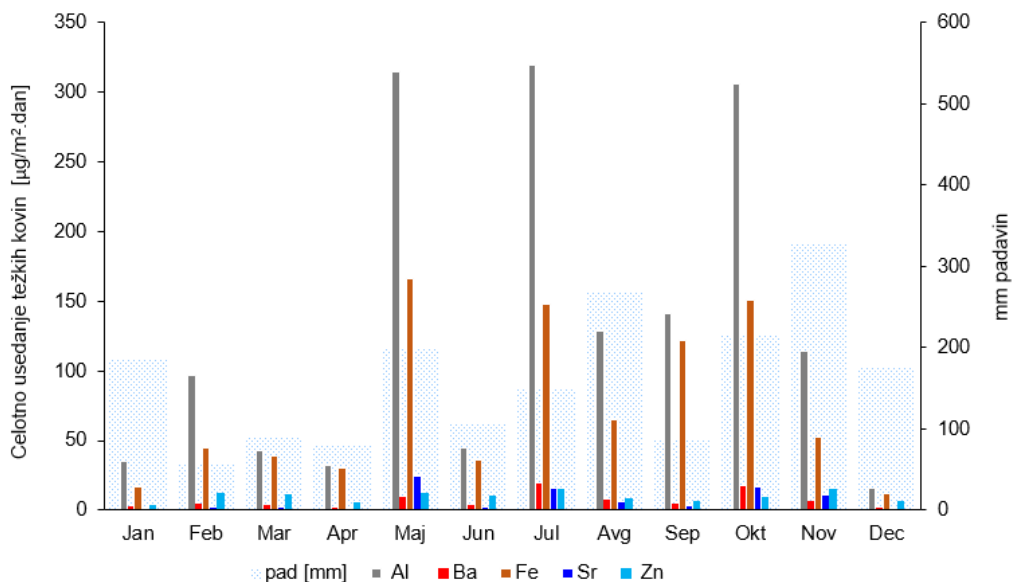
12.2.2 Letna raven koncentracij in depozicij posameznih težkih kovin

Povprečne letne koncentracije nekaterih težkih kovin in zbrana letna količina padavin so podani v tabeli 12.5.

Letne vrednosti celotne usedline nekaterih težkih kovin izražene v $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{dan}$ so prikazane v tabeli 12.6. Ravni celotnih (suhih in mokrih) usedlin so za prikazane težke kovine na približno enakem nivoju kot v preteklem letu. Iz slike 12.17 in 12.18 je mogoče razbrati, da se raven celotnih usedlin večine kovin od začetka meritev v letu 2008 do leta 2023 bistveno ni spreminjala. Največja nihanja v usedlinah opazamo pri cinku in bakru. Nekoliko manjša so ta nihanja pri usedlinah svinca, še manjša



Slika 12.15: Celotno usedanje arzena, kadmija, kroma, bakra, niklja in svinca v $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{dan}$ po mesecih za leto 2023



Slika 12.16: Celotno usedanje aluminija, barija, železa, stroncija in cinka v $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{dan}$ po mesecih za leto 2023

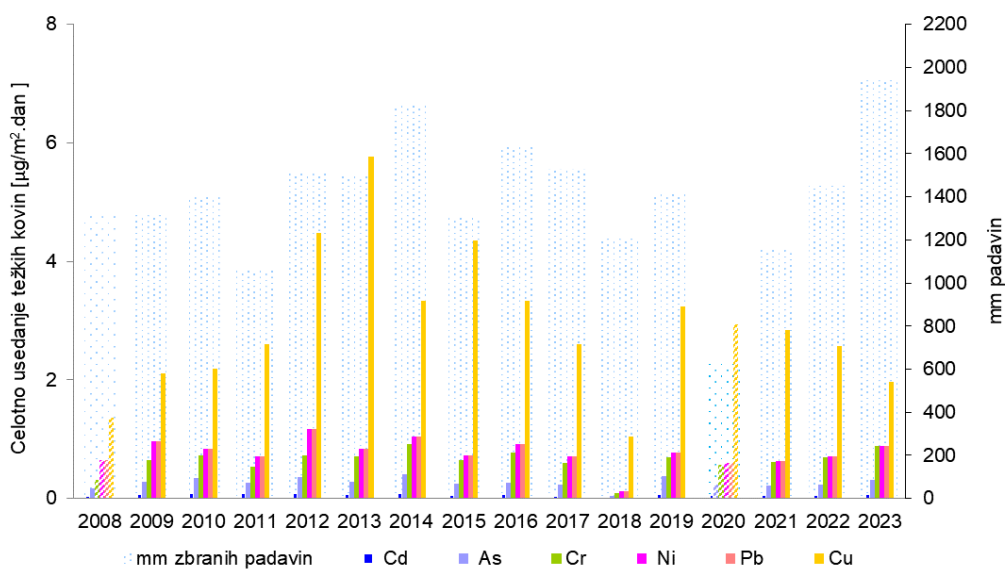
pri usedlinah niklja in kroma ter najmanjša pri usedlinah arzena. Ocenjujemo, da so navedena nihanja delno posledica nezaznanih lokalnih vplivov, pretežno pa transporta prašnih delcev na velike razdalje preko meja.

Tabela 12.5: Povprečna letna koncentracija nekaterih težkih kovin na Iskrbi v letu 2023 izražena v $\mu\text{g}/\text{L}$

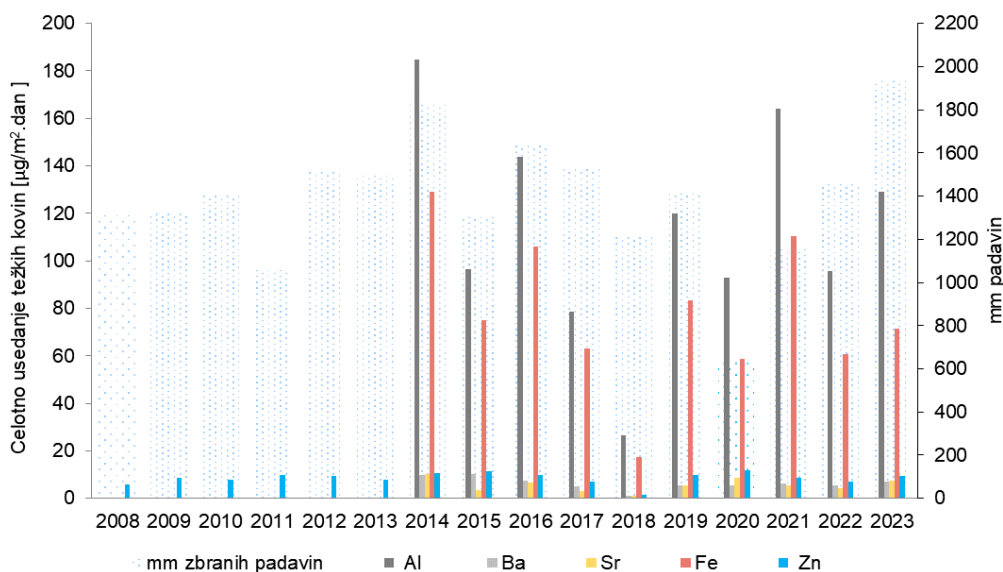
Leto	Aluminij	Arzen	Barij	Kadmij	Krom	Baker	Nikelj	Svinec	Cink	Železo	Stroncij	mm
2023	19,9	<0,1	1,10	<0,02	<0,3	0,216	<0,3	0,348	1,10	9,4	2,45	1939,4

Tabela 12.6: Celotno usedanje nekaterih težkih kovin na Iskrbi v letu 2023 izražena v $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{dan}$

Leto	Aluminij	Arzen	Barij	Kadmij	Krom	Baker	Nikelj	Svinec	Cink	Železo	Stroncij	mm
2023	129	0,317	7,06	0,075	0,892	1,97	0,891	2,82	9,59	71,6	7,31	1939,4



Slika 12.17: Celotna usedlina izbranih kovin v $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{dan}$ v letih od 2008 do 2023



Slika 12.18: Celotna usedlina izbranih kovin v $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{dan}$ v letih od 2008 do 2023

12.3 Raven onesnaženosti padavin z živim srebrom

Živo srebro prihaja v padavine preko izpustov kot posledica industrijskih procesov, rabe topil, proizvodnje elektrike in toplote ter rabe goriv v industriji. Nekaj pa ga pride tudi iz procesov, ki potekajo v naravi.

Tako kot meritve težkih kovin in PAH, tudi meritve celotnega živega srebra (anorganske in organske spojine Hg) v padavinah izvajamo le na merilnem mestu Iskrba. Za vzorčenje padavin za določitev celotnega živega srebra v padavinah uporabljamo t.i. *wet-only* vzorčevalnik, ki zajema le mokri del padavin. Vzorčenje za meritve tega parametra poteka v mesečnih intervalih. Kemijsko analizo padavin na vsebnost Hg za ARSO izvaja laboratorij Odseka za znanost o okolju na Inštitutu Jožef Stefan.

Koncentracije Hg v padavinah v ng/L in mokro usedanje živega srebra v $\text{ng}/\text{m}^2\text{dan}$ po mesecih za leto 2023 so prikazane v tabeli 12.7. Grafični prikaz mesečnih koncentracij Hg v padavinah je podan na sliki 12.19, usedanje Hg po mesecih pa na sliki 12.20.

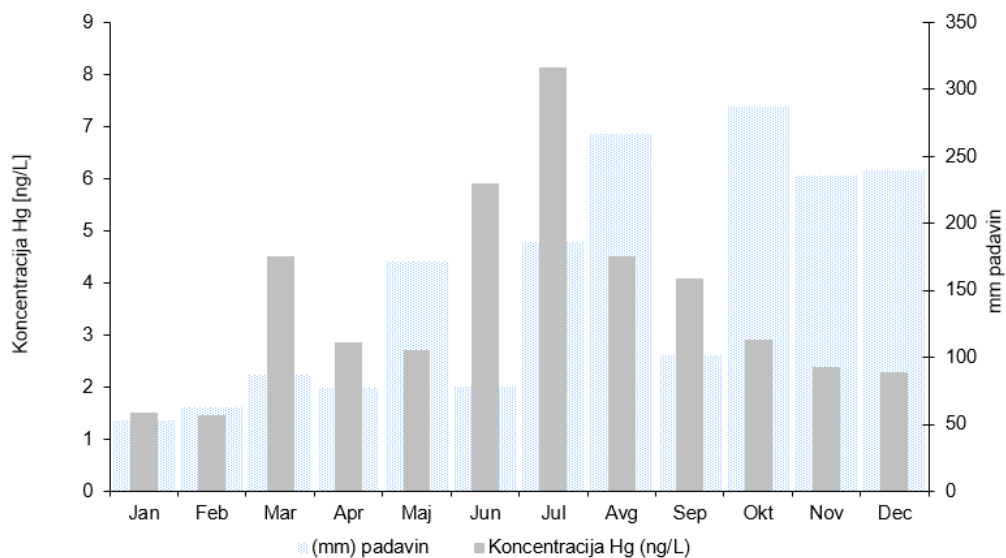
Najvišjo koncentracijo Hg v padavinah v 2023 je bila izmerjena v mesecu juliju, $8,14 \text{ ng}/\text{L}$, najnižja pa v mesecu februarju, $1,46 \text{ ng}/\text{L}$.

Najnižje usedanje je bilo zabeleženo v mesecu februarju, $3,29 \text{ ng}/\text{m}^2\text{dan}$, februarja je bila zabeležena tudi ena najnižjih mesečnih količin padavin $63,0 \text{ mm}$ v letu 2023.

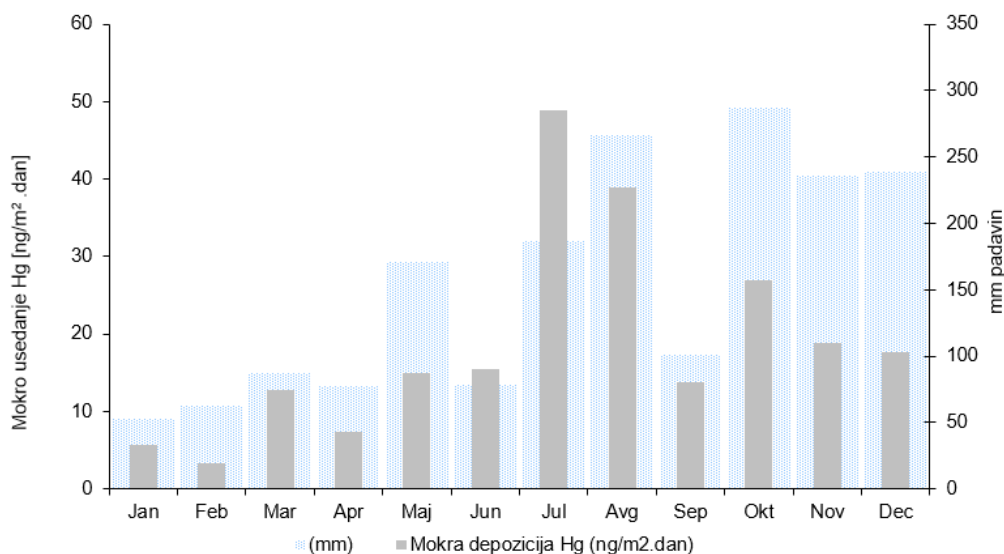
Povprečno letno usedanje živega srebra na merilnem mestu Iskrba je v letu 2023 znašalo $19,5 \text{ ng}/\text{m}^2\text{dan}$. Bilo je nekoliko višje kot v preteklem letu (slika 12.21).

Tabela 12.7: Koncentracije (ng/L) in mokro usedanje Hg (ng/m²dan) ter zbrana količina padavin (mm) za določitev Hg na Iskrbi v letu 2023

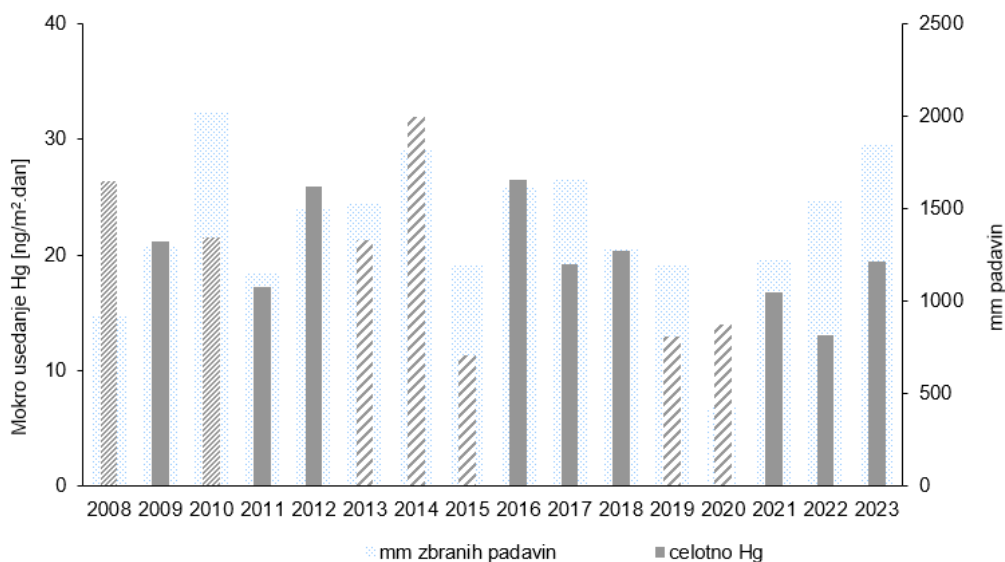
Obdobje	Koncentracija	Usedanje Hg ng/m ² dan	mm zbranih padavin
Januar	1,52	5,69	52,5
Februar	1,46	3,29	63,0
Marec	4,52	12,7	87,3
April	2,87	7,40	77,4
Maj	2,72	15,0	171,3
Junij	5,92	15,4	78,2
Julij	8,14	48,9	186,4
Avgust	4,52	38,9	266,5
September	4,09	13,8	101,3
Oktober	2,91	27,0	287,5
November	2,39	18,8	236,0
December	2,28	17,6	239,2
Letna vrednost	3,68	19,5	1846,6



Slika 12.19: Koncentracije celotnega Hg po mesecih za leto 2023.



Slika 12.20: Mokra usedanje celotnega Hg po mesecih za leto 2023.



Slika 12.21: Mokra usedanje celotnega Hg po letih v ng/m²·dan.

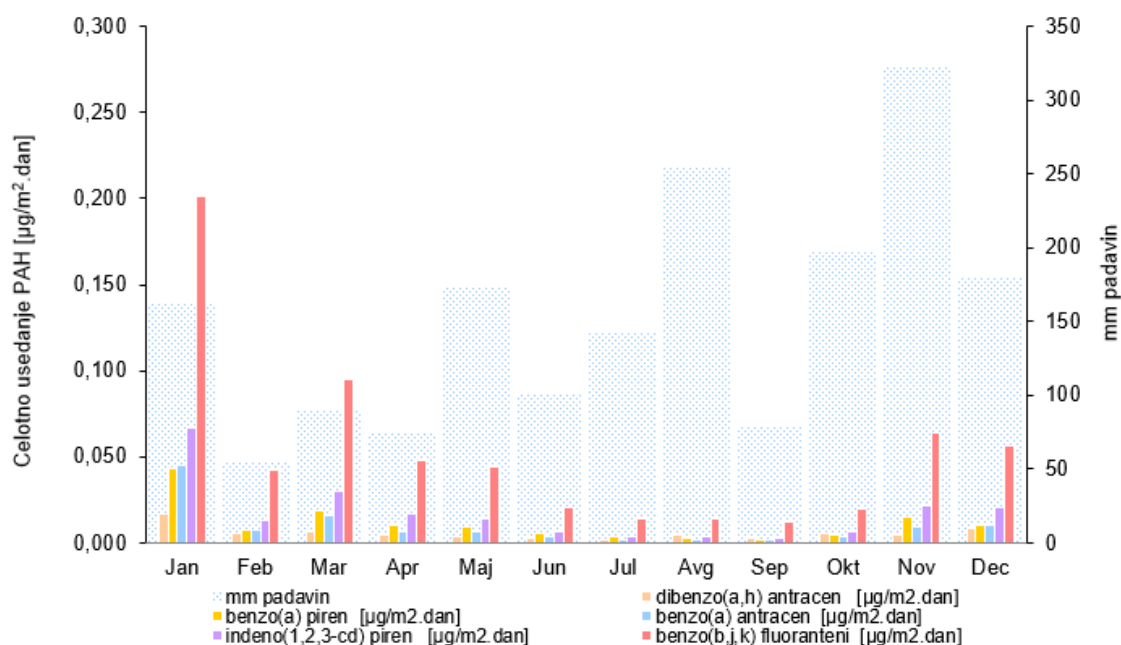
12.4 Raven onesnaženosti padavin s policikličnimi aromatskimi ogljikovodiki

Tudi policiklični aromatski ogljikovodi (PAH) veljajo za možne ali verjetne rakotvorne snovi, zato jih ameriška agencija za varstvo okolja (EPA) obravnava kot prednostna onesnaževala. Atmosferski izvor PAH je zelo raznolik, je stranski proizvod pri nepopolnem zgorevanju fosilnih goriv in lesa, ogrevanju stanovanj in proizvodnji koksa. Izpusti iz prometa so glavni vir onesnaževanja urbane atmosfere. Pomemben naravni vir PAH je izgorevanje biomase v gozdnih požarih. Razumevanje prispevkov različnih virov je pomembno za ustrezno upravljanje ravni PAH v okolju. Za razliko od drugih onesnaževal, se PAH po vstopu v ozračje prerazporedijo med plinsko fazo in delce. Razkrojeni so

lahko z neposredno in / ali posredno fotolizo in se kot taki deponirajo prek vlažnih in suhih mehanizmov. Deponirani PAH lahko ponovno hlapijo in se s pomočjo transporta na velike razdalje ponovno odložijo na tla in na vodne površine daleč od virov izpustov [23].

Meritve PAH v padavinah podobno kot meritve težkih kovin v padavinah izvajamo le na merilnem mestu Iskrba. Vzorčenje poteka v tedenskih intervalih s pomočjo t.i. *bulk* vzorčevalnika, ki je ves čas odprt in zajame tako mokro kot tudi suho usedlino. Kemijsko analitski laboratorij Agencije RS za okolje določi vsebnost posameznega PAH v padavinah in suhi snovi skupaj. Iz teh podatkov izračunamo t.i. celotno usedlino posameznega PAH na kvadratni meter na dan.

Mesečna porazdelitev celotnega usedanja posameznih PAH za leto 2023 je prikazana na sliki 12.22. Višje celotno usedanje večine PAH smo v letu 2023 zabeležili v času od januarja do maja ter v novembru in decembru, torej kot običajno, pretežno v hladnejšem obdobju leta, ko so izpusti PAH zaradi ogrevanja s trdimi gorivi višji in ostajajo zaradi pogostih temperaturnih obratov v plasti zraka pri tleh.



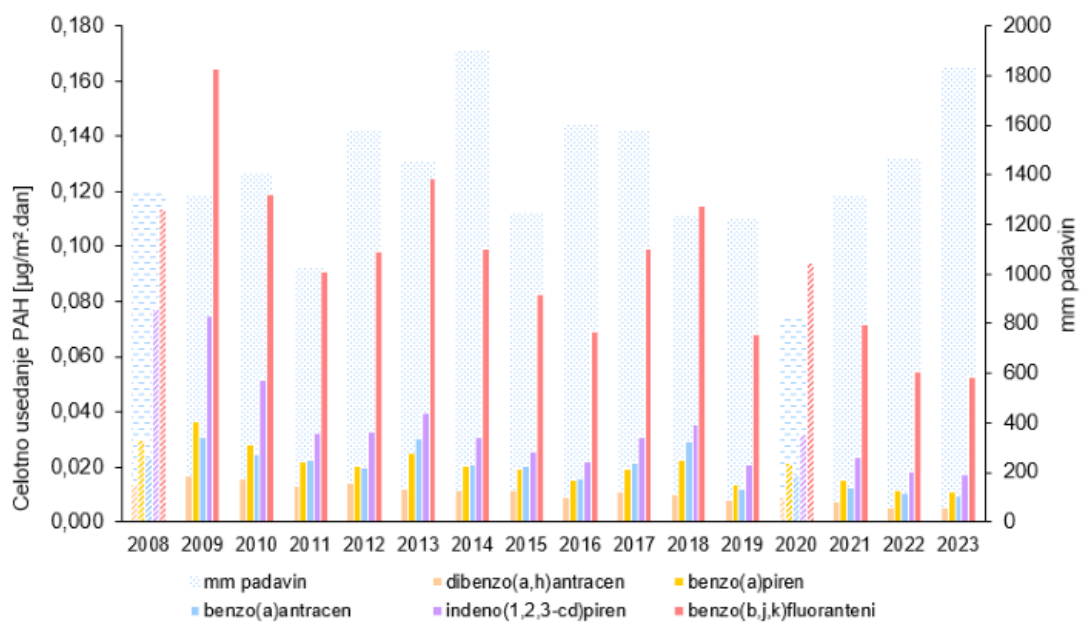
Slika 12.22: Celotno usedanje nekaterih PAH po mesecih v letu 2023 $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{dan}$

Podobno kot v preteklih letih smo tudi v letu 2023 zabeležili največjo celotno usedlino vsote benzo(b,j,k)fluorantenov, najnižja pa je bila kot navadno celotna usedlina dibenzo(a,h)antracena (slika 12.23). V primerjavi s preteklim letom so bile celotne usedline vseh PAH na skoraj isti ravni kot v letu 2022. V obdobju od 2008 do 2023 se nadaljuje rahel trend upadanja usedlin PAH.

V tabeli 12.8 je prikazana celotna usedlina nekaterih PAH v letu 2023 v $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{dan}$.

Tabela 12.8: Celotno usedanje nekaterih PAH (v $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{dan}$) za leto 2023 na merilnem mestu Iskrba

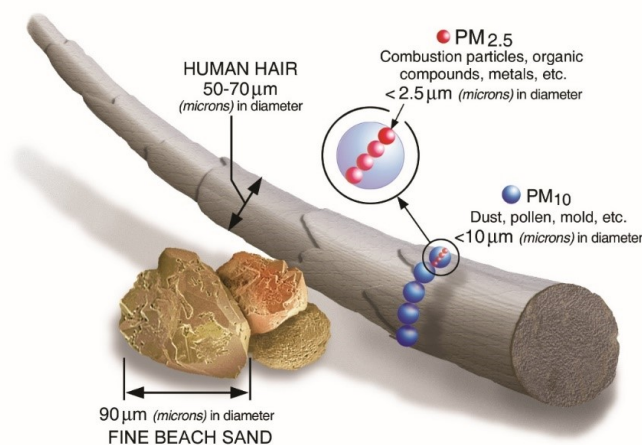
Benzo(a)antracen	Benzo(a)piren	Benzo(b,j,k)fluoranteni	Dibenzo(a,h)antracen	Indeno(1,2,3-cd)piren
0,009	0,011	0,052	0,005	0,017



Slika 12.23: Celotno letno usedanje PAH od leta 2008 do leta 2023 $\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{dan}$

13. Črni ogljik

Črni ogljik (tudi saje) je primarni produkt nepopolnega zgorevanja, ki nastane pri zgorevanju goriv, ki vsebujejo ogljik in je lahko prisoten v aerosoliziranih prašnih delcih velikosti 10 in 2,5 μm . Za lažjo predstavo velikosti delcev so na sliki 13.1 prikazane primerjave med velikostjo delcev različnih premerov. Produkt nepopolnega gorenja je poleg ogljikovega dioksida (CO_2) tudi ogljikov monoksid, hlapne organske spojine, organski ogljik in delčki črnega ogljika vidni kot saje [24].



Slika 13.1: Prikaz primerjave velikosti delcev (slika povzeta po U.S. EPA [25]).

Črni ogljik je prepoznan kot kratkotrajno podnebno onesnaževalo z življenjsko dobo od nekaj dni do nekaj tednov po izpustu v ozračje [24]. Zaradi svoje kratke življenjske dobe ima zmanjšanje izpustov črnega ogljika lahko relativno hiter in regionalen vpliv na podnebne spremembe, posebno v območju Arktike [26].

Črni ogljik neposredno in posredno vpliva na podnebje, kriosfero (območje snega in ledu), kmetijstvo, ekosistem in zdravje ljudi [24]. Pomemben je predvsem zaradi dejstva, da ima od 460 do 1500-krat močnejši vpliv na segrevanje v primerjavi z izpusti CO_2 glede na njun delež v atmosferi [24]. Ocenjeno je, da je od predindustrijske dobe ter do leta 2005, črni ogljik prispeval k zvišanju povprečne globalne temperature do 0,8°C. Črni ogljik absorbira svetlobo pri vseh valovnih dolžinah, medtem ko jo CO_2 absorbira pri IR valovni dolžini. Črni ogljik povzroča segrevanje ozračja z absorpcijo svetlobe, ki proizvaja toploto in posledično segreva ozračje, ko pade na sneg ali led pa povzroča njegovo topitev. Zaradi svoje majhnosti lahko črni ogljik povzroča interakcijo z oblaki in spreminja njihovo odbojno sposobnost in življenjsko dobo [27]. Vpliv črnega ogljika na podnebne spremembe je regionalno

zelo različen. Tako vpliva na značilnost in karakteristiko padavin, še posebej pa je vpliv viden na višjih nadmorskih višinah, kjer povzroča taljenje ledenikov. Zaradi svoje majhnosti lahko pri vdihu v respiratorni sistem povzroči vnetja tkiv. Študije so ga prepoznale kot povzročitelja astme, srčnega napada, znižanja rodnosti ter pljučnega raka [28].

Na svetovnem nivoju je največji vir izpustov črnega ogljika (51%) kuhanje in ogrevanje v gospodinjstvu. 88 % svetovnih izpustov črnega ogljika se zgodi na območjih držav v razvoju kot so Azija, Afrika in Latinska Amerika, kjer na področju kakovosti zraka izpusti niso regulirani z zakonodajo. Meritve so pokazale, da sta tudi v teh državah poglavita vira izpustov odprta kurišča in izgorevanje trdnih goriv za potrebe kuhanja in ogrevanja v gospodinjstvu [24].

13.1 Zahteve za kakovost zraka

Trenutno zakonodaja ne predpisuje mejnih vrednosti ali ciljnih za izmerjene vrednosti črnega ogljika v zunanjem zraku.

13.2 Ravni onesnaženosti

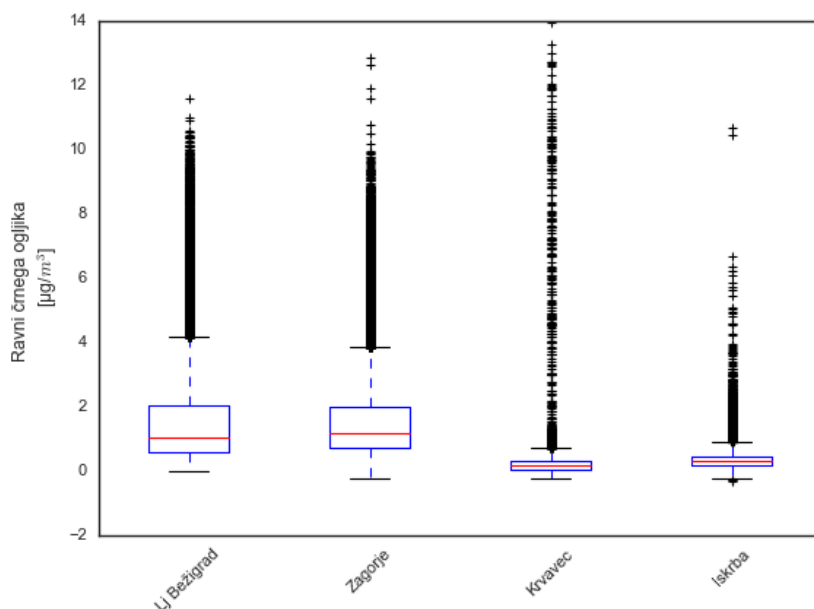
V okviru DMKZ merimo črni ogljik na lokacijah Ljubljana Bežigrad, Krvavec, Zagorje in Iskrba. Merilni mesti Ljubljana Bežigrad in Zagorje sta mestni in locirani na stanovanjsko-poslovnem območju. Tip merilnega mesta Zagorje je prometni, saj je postaja v bližini ceste. Merilni mesti Iskrba in Krvavec sta podeželski in locirani v naravnem okolju. Lokacija Krvavec leži na visoki nadmorski višini (1740 metrov) v primerjavi z ostalimi postajami. Zaradi ne delovanja merilnika je bil izpad meritev na lokaciji Ljubljana Bežigrad v obdobju med 22.7. in 17.8, kar je privedlo do 89% razpoložljivosti podatkov na tem merilnem mestu. Izplen podatkov na ostalih merilnih mestih je 97% Zagorje, 98% Iskrba in 100% Krvavec.

Meritve se izvajajo z merilnikom Aethalometer AE33. Aethalometer omogoča prepoznavanje virov črnega ogljika, glede na različne atenuacije svetlobe. Črni ogljik iz fosilnih goriv je intenzivno črn in ima slabo svetlobno absorpcijo v vseh valovnih dolžinah, medtem ko črni ogljik, ki je posledica gorenja biomase vsebuje več aromatičnih in drugih organskih spojin, ki imajo večjo absorpcijsko sposobnost v ultravijoličnem, modrem in vidnem spektru sevanja. Preko sevanja v različnem delu spektra lahko določimo vir črnega ogljika. Odvisnost optične absorpcije glede na različne valovne dolžine je določena z Ångströmovem eksponentom (α) (Ångström, 1929). Več o delovanju merilnika je opisano v letnem poročilu Kakovost zraka v Sloveniji v letu 2021 [29].

Za vse lokacije je bil pripravljen graf kvartilov v letu 2023, izračunana osnovna statistika in preračunan delež virov izpustov črnega ogljika, kot posledica kurjenja biomase ali fosilnih goriv. Pripravljena je bila tudi primerjava izmerjenih vrednosti in deležev med leti 2021, 2022 in 2023.

Tabela 13.1: Povprečna letna raven črnega ogljika ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) za obdobje 2021 - 2023

	2021	2022	2023
Lj Bežigrad	0,9	0,9	1,1
Zagorje	1,2	1,3	1,2
Krvavec	0,1	0,2	0,2
Iskrba	0,4	0,4	0,3



Slika 13.2: Prikaz 10 minutnih meritev črnega ogljika. Prikazane so najnižja in najvišja izmerjena raven (spodnja in zgornja vodoravna črtica), oba kvartila (vrh in dno pravokotnika) in mediana (oranžna vodoravna črtica v pravokotniku).

Primerjava median izmerjenih ravni med leti ni pokazala večjih razlik. Prav tako je bil delež črnega ogljika iz različnih virov identičen prejšnjima letoma, kar nakazuje na konstantnost virov izpustov v okolici merilnika.

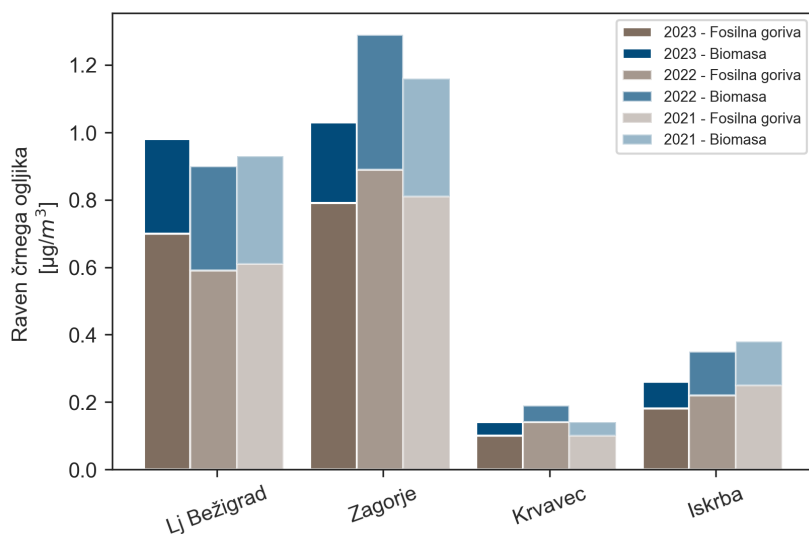
Na lokacijah, ki so postavljene v mestnem oziroma podeželskem območju so bile ravni precej podobne. Mediana na lokaciji Zagorje je bila $1,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, na lokaciji Ljubljana $1,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Na podeželskem območju je bila mediana precej nižja in sicer na lokaciji Krvavec $0,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, kar je v primerjavi z Zagorjem kar 83 % manj in na lokaciji Iskrba $0,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ oziroma 75 % manj v primerjavi z Zagorjem. Največji razpon meritev med najnižjo in najvišjo izmerjeno vrednostjo je bil izmerjen na lokaciji Krvavec, kjer je največja vrednost dosegla $13,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$, dne 31.3..

Analiza virov izpustov črnega ogljika je pokazala, da na vseh lokacijah prevladuje črni ogljik iz fosilnih goriv. Odstotek črnega ogljika iz biomase je bil najmanjši na lokaciji Krvavec (30 %), medtem ko je bil največji na lokaciji Iskrba (35 %). Na lokaciji Zagorje, ki je bolj prometna se je izkazalo, da je mediana črnega ogljika iz fosilnih goriv $0,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ter iz malih kurišč $0,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, medtem ko je v Ljubljani mediana črnega ogljika iz biomase $0,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ter iz fosilnih goriv $0,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Na lokacijah, ki sta locirani na podeželskem območju sta vrednosti nižji in sicer na lokaciji Krvavec je srednja vrednost iz biomase $0,04 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ter iz fosilnih goriv $0,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, medtem ko je na Iskrbi $0,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ iz biomase

in iz fosilnih goriv.

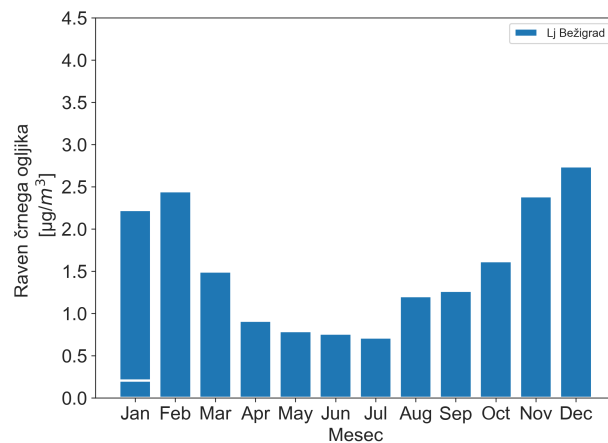
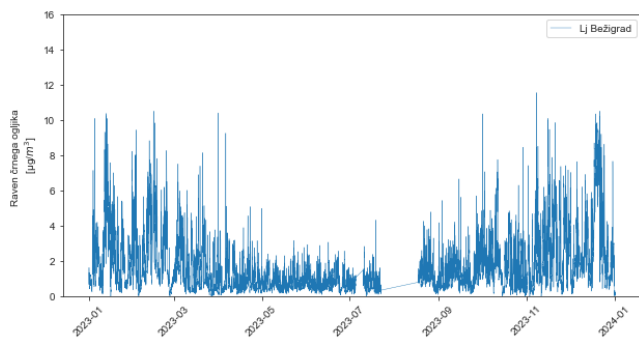
Tabela 13.2: Pregled median in maksimalnih vrednosti črnega ogljika (BC), črnega ogljika iz biomase (BB) in fosilnih goriv (FF) v $\mu\text{g}/\text{m}^3$ na lokaciji Ljubljana, Krvavec, Zagorje in Iskrba v letu 2023.

	Krvavec			Lj Bežigrad			Zagorje			Iskrba		
	BC	BB	FF	BC	BB	FF	BC	BB	FF	BC	BB	FF
Mediana	0,2	<0,1	0,1	1,1	0,3	0,7	1,2	0,2	0,8	0,3	0,1	0,1
Maksimalna vrednost	13,9	3,1	13	11,6	6,5	11,4	12,9	7,4	18,8	10,6	2,8	10,6

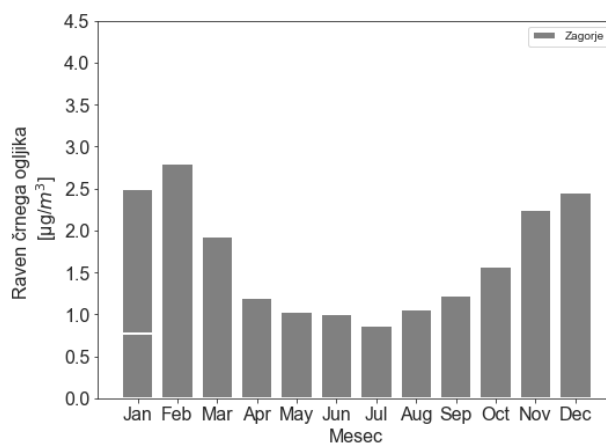
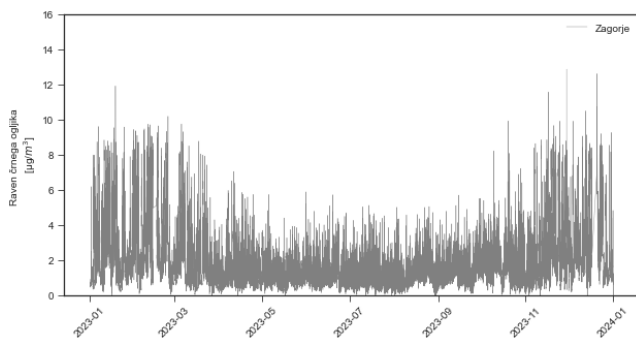


Slika 13.3: Prikaz izmerjenih median s podanim deležem črnega ogljika iz fosilnih goriv (siva barva) in biomase (modra barva) v letu 2023 (intenzivnejša barva) ter 2022 in 2021 (bledejša barva) na merilnih mestih.

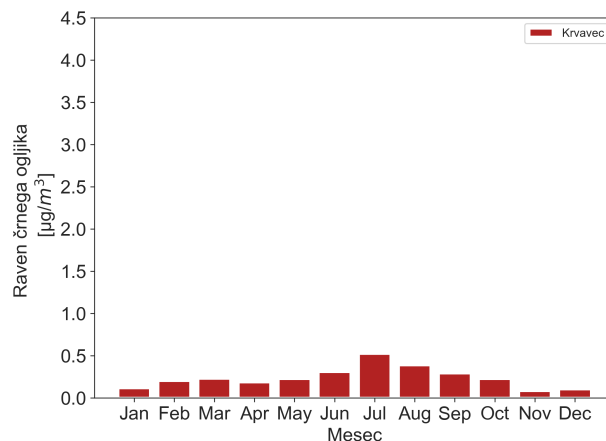
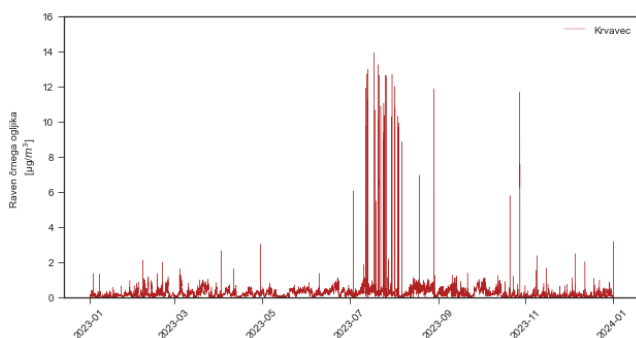
Mesečne mediana izpustov črnega ogljika na merilnem mestu Ljubljana so bile najnižje v toplejšem delu leta, medtem ko so bile višje vrednosti v hladnejši polovici leta. V toplejših mesecih (april, maj, junij, julij, avgust in september) so bile vrednosti za več kot polovico manjše v primerjavi s hladnejšimi meseci (november, december, januar in februar). Potek meritev na lokaciji Zagorje je precej podoben poteku meritev v Ljubljani. Na merilnem mestu Krvavec so bile izmerjene višje vrednosti v toplejših mesecih in sicer je bila najvišja vrednost v juliju. Na merilnem mestu Iskrba so bile vrednosti precej enakomerne tekom leta.



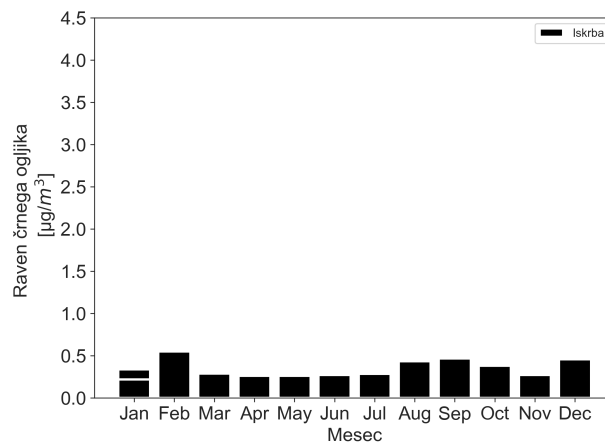
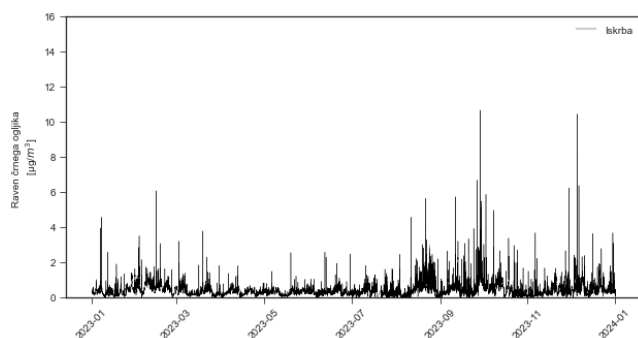
Slika 13.4: Prikaz izmerjenih vrednosti (levo) in median (desno) na merilnem mestu Ljubljana Bežigrad.



Slika 13.5: Prikaz izmerjenih vrednosti (levo) in mesečnih median (desno) na merilnem mestu Zagorje.



Slika 13.6: Prikaz izmerjenih vrednosti (levo) in mesečnih median (desno) na merilnem mestu Krvavec.



Slika 13.7: Prikaz izmerjenih vrednosti (levo) in mesečnih median (desno) na merilnem mestu Iskrba.

14. Literatura

- [1] *Air pollution*, ogled 23.11.2023, <https://www.eea.europa.eu/themes/air/intro>.
- [2] *Informative Inventory Report 2024 for Slovenia, Submission under the UNECE Convention on Long-range Transboundary Air Pollution and Directive (EU) 2016/2284 on the reduction of national emissions of certain atmospheric pollutants*, ARSO, 2024.
- [3] *Pravilnik o ocenjevanju kakovosti zunanjega zraka*. Uradni list RS. 55/11,6/15, 5/17 in 44/22 – ZVO-2.
- [4] *Zakon o ratifikaciji konvencije o onesnaževanju zraka na velike razdalje preko meja (Uradni list SFRJ – Mednarodne pogodbe, št. 11/86)*, UNECE, 1979.
- [5] *Uredba o kakovosti zunanjega zraka*. (Uradni list RS. 9/11, 8/15, 66/18 in 44/22 – ZVO-2).
- [6] *Kakovost zraka v Sloveniji v letu 2019*, ARSO, 2020.
- [7] *Project PREPAIR – LIFE15 IPE IT013*, view 10.09.2018, <http://www.lifepreparepair.eu/>.
- [8] *Uredba o arzeniu, kadmiju, živem srebru, niklju in policikličnih aromatskih ogljikovodikih v zunanjem zraku*. Uradni list RS. 56/06 in 44/22 – ZVO-2.
- [9] *Interim Annual Assessment Report for 2022, European air quality in 2023*, Norwegian Institute for Air Research (NILU), 2024.
- [10] *Kakovost zraka v Sloveniji v letu 2017*, ARSO, 2018.
- [11] *Kakovost zraka v Sloveniji v letu 2021*, ARSO, 2021.
- [12] *Global Warming Potential Values, Greenhouse Gas Protocol*, view 5.12.2020, https://www.ghgprotocol.org/sites/default/files/ghgp/Global-Warming-Potential-Values%20%28Feb%2016%202016%29_1.pdf.
- [13] *Slovenia's National Inventory Report 2020, GHG emissions inventories 1986 - 2018*, view 5.12.2020, https://www.ghgprotocol.org/sites/default/files/ghgp/Global-Warming-Potential-Values%20%28Feb%2016%202016%29_1.pdf.
- [14] *Direktiva (EU) 2016/2284 Evropskega parlamenta in Sveta z dne 14. decembra 2016 o zmanjšanju nacionalnih emisij za nekatera onesnaževala zraka*, Uradni list Evropske unije, 2016.

- [15] *Zakon o ratifikaciji Protokola o zmanjševanju zakisljevanja, evtrofikacije in prizemnega ozona h Konvenciji iz leta 1979 o onesnaževanju zraka na velike razdalje preko meja (Uradni list RS – Mednarodne pogodbe, št. 9/04)*, UNECE, 2004.
- [16] WHO, "Exposure to benzene: a major public health concern," pp. 3–6, 2019.
- [17] *Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) Factsheet (Center for Disease Control and Prevention, National Biomonitoring Program)*, view 21.3.2022, https://www.cdc.gov/biomonitoring/PAHs_FactSheet.html.
- [18] M. Keating, K. Mahaffey, R. Schoeny, G. Rice, R. Bullock, R. J. Ambrose, J. Swartou, and J. Nichols, "Mercury study report to congress; volume i: Executive summary," *EPA-452/R-97-003*, no. 1, 1997.
- [19] M. Pidwirny, "Acid Precipitation," *Fundamentals of Physical Geography, 2nd Edition*, 2006.
- [20] N. I. for Air Research, *EMEP Manual for Sampling and Chemical Analysis: EMEP Co-operative Programme for Monitoring and Evaluation of the Long-range Transmission of Air Pollutants in Europe*. EMEP/CCC-Report, Norwegian Institute for Air Research, 1995.
- [21] *Zakon o ratifikaciji protokola h konvenciji o onesnaževanju zraka na velike razdalje preko meja iz leta 1979 o dolgoročnem financiranju programa sodelovanja za spremljanje in oceno onesnaževanja zraka na velike razdalje v Evropi (EMEP)*, UNECE, 1979.
- [22] *Manual for the GAW Precipitation Chemistry Programme. Guidelines, Data Quality Objectives and Standard Operating Procedures*, no. 160, WMO, 2004.
- [23] O. Delhomme, E. R. Rieb, and M. Millet, "Polycyclic aromatic hydrocarbons analyzed in rainwater and erstein," *Polycyclic Aromatic Compounds*, no. 1, 2008.
- [24] *Black carbon | Climate & Clean Air Coalition*, view 28.4.2022, <https://www,ccacoalition,org/en/slcp/bs/black-carbon>.
- [25] *Particulate Matter (PM) Basics | US EPA*, view 28.4.2022, <https://www,epa,gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics>.
- [26] *What is Black Carbon? | Center for Climate and Energy Solutions*, view 3.5.2022, <https://www,c2es,org/document/what-is-black-carbon/>.
- [27] U. N. E. Programme, "Integrated assessment of black carbon and tropospheric ozone: summary for decision makers," 2011.
- [28] *The EU Background on Black Carbon | Artic Monitoring & Assessment Programme*, view 3.5.2022, <https://eua-bca,amap,no/background>.
- [29] *Kakovost zraka v Sloveniji v letu 2022*, ARSO, 2022.



REPUBLIKA SLOVENIJA
MINISTRSTVO ZA OKOLJE, PODNEBJE IN ENERGIJO
AGENCIJA REPUBLIKE SLOVENIJE ZA OKOLJE