

Kakovost zraka v Sloveniji v letu 2024

Kakovost zraka v Sloveniji

ISSN 1855-0827

Ljubljana, 2025

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

Odgovarja:

mag. Joško Knez, generalni direktor

Avtorji: Damijan Bec, Don Ciglencečki, Petra Dolšak Lavrič, Mateja Gjerek, Kaja Gliha, Tanja Koleša, dr. Martina Logar, Luka Matavž, Marko Rus, dr. Rahela Žabkar

Podatke so posredovali:

Kemijsko analitski laboratorij ARSO

Elektroinštitut Milan Vidmar: EIS TEŠ, EIS TEB, OMS MOL, JPE, MO Celje, Občina Medvode

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

EIS 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

©2025, 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 2024

AGENCIJA REPUBLIKE SLOVENIJE ZA OKOLJE
Ljubljana, 2025

Povzetek

V letu 2024 je bila onesnaženost zraka z **delci** nekoliko višja kot v preteklih letih. Ravni delcev **PM₁₀** so na treh merilnih mestih presegle dovoljeno število preseganj (35) dnevne mejne vrednosti $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Največ preseganj (49) je bilo zabeleženih na prometnem merilnem mestu Ljubljana Center, sledila sta Črnomelj (39) in Črna na Koroškem (37). Nekaj teh preseganj lahko pripišemo prehodu puščajvskega prahu, ki je v letu 2024 večkrat dosegel Slovenijo in vplival na kakovost zraka pri tleh. Najvišja povprečna letna vrednost, $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$, je bila izmerjena na prometnem merilnem mestu Ljubljana Center, kjer se izpusti iz prometa pridružujejo ostalim virom onesnaženja. Čeprav so bile ravni **PM₁₀** na večini merilnih mest pod predpisanimi mejami, so ob neugodnih vremenskih razmerah še vedno občasno izmerjene visoke ravni. Večina preseganj je bila zabeležena v januarju, februarju in decembru, ko so pogosti temperaturni obrati onemogočali razredčevanje izpustov iz malih kurilnih naprav in prometa, ki so glavni vir delcev **PM₁₀**. V letu 2024 so bile na novo uvedene enoletne meritve delcev v Črnomlju, ob Zdravstvenem domu. Izkazalo se je, da so bile ravni delcev **PM₁₀** in **PM_{2,5}** na tem merilnem mestu med najvišjimi v državi.

Letna mejna vrednost $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ za delce **PM_{2,5}** v letu 2024 ni bila presežena na nobenem merilnem mestu. Najvišja povprečna letna vrednost je bila izmerjena v Črnomlju ($19 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Kazalnik povprečne izpostavljenosti KPI za **PM_{2,5}** je za Slovenijo znašal $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$, kar je precej pod predpisano stopnjo izpostavljenosti za leto 2024 ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Na dveh merilnih mestih so ravni **benzo(a)pirena** presegle ciljno vrednost $1 \text{ ng}/\text{m}^3$. Na merilnem mestu Celje bolnica je povprečna letna vrednost znašala $1,7 \text{ ng}/\text{m}^3$, v Črnomlju pa $2,6 \text{ ng}/\text{m}^3$. Najvišje ravni so bile izmerjene v kurilni sezoni. Povprečne letne ravni **arzena, niklja, kadmija in svinca** so bile na vseh merilnih mestih pod predpisanimi mejami.

Letne ravni **ozona** so bile v letu 2024 na večini merilnih mest nekoliko nižje kot v letu 2023. Opozorilna in alarmna vrednost nista bili preseženi, kljub temu da je bilo leto najtoplejše v zgodovini meritev v Sloveniji. Najvišje dnevne 8-urne vrednosti so povsod presegle $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$, kar pomeni preseganje dolgoročne ciljne vrednosti za varovanje zdravja. 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. Ciljna vrednost za oceno vpliva na vegetacijo AOT40, v povprečju petih let, je bila na merilnih mestih DMKZ, ki so primerna za ocenjevanje skladnosti (neizpostavljeno podeželsko okolje), nižja od predpisane vrednosti na Iskrbi in v Murski Soboti Rakičan, presežena pa je bila v Kopru.

Mejne in kritične vrednosti za **dušikove okside** v letu 2024 niso bile presežne. Že kar precej let v Sloveniji ni bila presežena alarmna vrednost. Najvišja letna raven **NO₂** je bila zabeležena na prometno

zelo obremenjenem merilnem mestu Ljubljana Center ($38 \mu\text{g}/\text{m}^3$), kar je tik pod mejno vrednostjo $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Najvišje urne ravni so bile povsod pod mejno vrednostjo $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Dnevni hodi kažejo povišanje ravni ob jutranji in večerni prometni konici, kar potrjuje močno odvisnost od gostote prometa. Na nekaterih merilnih mestih v neizpostavljenem mestnem okolju so izmerjene ravni dušikovih oksidov celo višje kot na prometnih lokacijah.

Urne, dnevne in letne ravni **žveplovega dioksida** so že več let pod mejnimi vrednostmi za varovanje zdravja in kritičnimi vrednostmi za varovanje rastlin. Prav tako so meritve **ogljikovega monoksida**, ki se izvajajo le na merilnem mestu Ljubljana Bežigrad, bistveno nižje od mejne vrednosti. Kadar so izmerjene vrednosti zelo nizke, nižje od spodnjega ocenjevalnega praga, se za ocenjevanje skladnosti lahko uporabijo indikativne meritve, subjektivne ali modelske ocene.

Povprečne letne ravni **benzena** so bile v letu 2024 na vseh merilnih mestih podobne kot v prejšnjih letih in pod zakonsko mejno vrednostjo.

Povprečna letna raven **živega srebra** v zraku, izmerjena na Iskrbi, je znašala $1,5 \text{ ng}/\text{m}^3$, kar je nekoliko več kot leta 2023.

Povprečna letna **pH vrednost padavin** se je gibala med 5,35 in 5,80. Meja kislosti (5,6) je bila presežena na treh merilnih mestih: Škocjan, Rateče in Murska Sobota Rakičan. Glede na lestvico EMEP so bile padavine v Sloveniji med najmanj kislimi v Evropi. Povprečne letne koncentracije amonijevih, sulfatnih in nitratnih ionov so Slovenijo uvrščale med območja z nizkimi do srednje visokimi vrednostmi. Na edinem merilnem mestu, kjer se izvajajo meritve kovin, PAH in Hg v padavinah (Iskrba), so bile povprečne letne koncentracije težkih kovin (arzen, krom, nikelj, svinec, kadmij, baker, cink) srednje do nizke glede na EMEP lestvico.

Summary

In 2024, ambient air pollution by **particulate matter** was somewhat higher than in previous years. Levels of **PM₁₀** exceeded the permitted number of exceedances (35) of the daily limit value of $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ at three monitoring stations. The highest number of exceedances (49) was recorded at the traffic-oriented station Ljubljana Center, followed by Črnomelj (39) and Črna na Koroškem (37). Some of these exceedances can be attributed to the transport of desert dust, which reached Slovenia multiple times in 2024 and affected ground-level air quality. The highest annual average value, $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$, was measured at the Ljubljana Center traffic station, where traffic emissions add to other pollution sources. Although **PM₁₀** levels at most monitoring stations remained below prescribed limits, elevated concentrations were still occasionally measured under unfavourable meteorological conditions. Most exceedances occurred in January, February, and December, when frequent temperature inversions hindered the dispersion of emissions from small combustion installations and traffic, the main sources of **PM₁₀**. In 2024, new one-year particulate measurements were introduced in Črnomelj, near the Health Centre. It was found that **PM₁₀** and **PM_{2.5}** levels at this station were among the highest in the country.

The annual limit value of $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ for **PM_{2.5}** was not exceeded at any monitoring station in 2024. The highest annual average concentration was measured in Črnomelj ($19 \mu\text{g}/\text{m}^3$). The Average Exposure Indicator (AEI) for **PM_{2.5}** for Slovenia amounted to $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$, well below the prescribed exposure level for 2024 ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

At two monitoring stations, **benzo(a)pyrene** levels exceeded the target value of $1 \text{ ng}/\text{m}^3$. At the Celje Hospital station, the annual average was $1.7 \text{ ng}/\text{m}^3$, while in Črnomelj it reached $2.6 \text{ ng}/\text{m}^3$. The highest levels were recorded during the heating season. Annual average levels of **arsenic, nickel, cadmium, and lead** were below prescribed limits at all monitoring stations.

Annual levels of **ozone** in 2024 were slightly lower at most monitoring stations compared with 2023. Neither the information nor the alert thresholds were exceeded, despite 2024 being the warmest year on record in Slovenia. Maximum daily 8-hour values exceeded $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ at all stations, indicating exceedances of the long-term target value for the protection of human health. The target value for human-health protection, defined as a three-year average and permitted to be exceeded fewer than 25 times, was exceeded within the DMKZ monitoring network in Koper, NG Grčni, Otlica, and Krvavec. The AOT40 vegetation-protection target value, averaged over five years, was below the prescribed value at compliance-relevant DMKZ stations (rural background) in Iskrba and Murska Sobota Rakičan, but exceeded in Koper.

Limit and critical values for **nitrogen oxides** were not exceeded in 2024. The alert threshold has

not been exceeded in Slovenia for many years. The highest annual NO_2 level was recorded at the heavily trafficked Ljubljana Center station ($38 \mu\text{g}/\text{m}^3$), just below the limit value of $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Maximum hourly concentrations remained below the limit value of $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ at all stations. Diurnal patterns show elevated levels during the morning and evening traffic peaks, confirming strong dependence on traffic density. At some urban background stations, nitrogen oxide levels were even higher than at certain traffic-oriented locations.

Hourly, daily, and annual levels of **sulphur dioxide** have for several years remained below the limit values for the protection of human health and the critical levels for the protection of vegetation. Measurements of **carbon monoxide**, performed only at the Ljubljana Bežigrad station, were also significantly below the limit value. When measured concentrations are very low—below the lower assessment threshold—indicative measurements, objective estimates, or modelling may be used for compliance assessment.

Annual average levels of **benzene** in 2024 were similar to those of previous years and below the legal limit value at all monitoring stations.

The annual average **mercury** concentration in air measured at Iskrba was $1.5 \text{ ng}/\text{m}^3$, slightly higher than in 2023.

The annual average **precipitation pH** ranged between 5.35 and 5.80. The acidity threshold (5.6) was exceeded at three monitoring stations: Škocjan, Rateče, and Murska Sobota Rakičan. According to the EMEP scale, precipitation in Slovenia was among the least acidic in Europe. Annual average concentrations of ammonium, sulphate, and nitrate ions placed Slovenia among areas with low to moderately high levels. At the only monitoring site where measurements of metals, PAHs, and Hg in precipitation are performed (Iskrba), annual average concentrations of heavy metals (arsenic, chromium, nickel, lead, cadmium, copper, zinc) were low to moderate according to the EMEP classification.

Rdeča barva predstavlja presežene mejne ali ciljne vrednosti. Ravni PM₁₀, PM_{2,5}, ozona, NO₂, NO_x, SO₂ in benzena so podane v enotah µg/m³, CO v mg/m³, ravni benzo(a)pirena, arzena, kadmija, niklja in svineca pa v ng/m³.

	PM ₁₀		PM _{2,5}		ozon		NO ₂		SO ₂				CO	benzen	B(a)P	As	Cd	Ni	Pb
	leto	24 ur	leto		1 ura	8 ur	leto	1 ura	leto	zima	1 ura	24 ur	8 ur	leto	leto	leto	leto	leto	
	C _p	>MV	C _p	C _p	>OV	>CV	C _p	>MV	C _p	C _p	C _p	>MV	>MV	C _{max}	C _p	C _p	C _p	C _p	
DMKZ																			
CE bolnica	23	21	15	42	0	7	19	0	4	2	0	0			1,7	0,31	0,32	2,1	5,4
CE Ljubljanska	22	17	16																
Hrastnik	20	8	12																
IB Gregorčičeva	18	9	12																
Iskrba	11	4	7	50	0	15	3	0	1	1	0	0		0,3	0,15	0,21	0,06	1,1	1,6
Koper	17	11	10	69	0	51	15	0											
Kranj	20	12	14																
Krvavec				91	0	43													
LJ Bežigrad	21	17	14	44	0	23	22	0					1,6	0,9	0,76	0,25	0,15	2,1	4,4
LJ Celovška	23	25	15				32	0											
LJ Vič	20	20	15																
MB Titova	23	12	12				25	0						0,9	0,59	0,28	0,12	1,5	5,1
MB Vrbanški	16	4	11	50	0	15	7	0											
MS Cankarjeva	24	31	18																
MS Rakičan	20	15	15	48	0	16	10	0											
NG Grčna	18	9	12	47	0	36	23	0						0,81					
NG Vojkova	22	14																	
Novo mesto	19	9	14	42	0	7	10	0											
Otlica				86	0	51													
Ptuj	19	13	14																
Trbovlje	18	8	13																
Velenje	16	4																	
Zagorje	21	13	15	40	0	5	16	0	2	1	0	0							
Žerjav	23	9														1,4	3,8	2,0	299
Dopolnilna merilna mreža																			
TEŠ																			
Graška gora									5	4	0	0							
Pesje	16	4	9						7	7	0	0							
Škale	15	3	9				6	0	3	5	0	0							
Šoštanj	16	2	10				9	0	4	4	0	0							
Topolšica									5	4	0	0							
Velenje				47	0	3			5	4	0	0							
Veliki vrh									4	4	0	0							
Zavodnje				73	0	22	4	0	5	5	0	0							
Mobilna TEŠ	13	1	8	45	0	5	9	0	6	5	0	0							
OMS MO Ljubljana																			
LJ Center	30	49	18				38	0	4	3	0	0		1,4					
TE TOL																			
Zadobrova	26	21		44	0	20	16	0	4	4	0	0							
Občina Medvode																			
Medvode	17	7											1,3						
MO Celje																			
CE Gaji							17	0	2	3	0	0							
EIS TEB																			
Sv. Mohor				65	0	9	5	0	3	3	0	0							
MO Maribor																			
MB Tezno	23	15		44	0	5	13	0											
Pohorje				74	0	2													
Pobrežje	21	14																	
Radvanje	17	5																	
EIS Anhovo																			
Morsko	15	5																	
Gorenje Polje	16	3																	
MO Ptuj																			
Spuhlja	25	31																	
Občina Ruše																			
Ruše	17	8																	

Kazalo

1	Uvod	1
2	Ocenjevanje kakovosti zunanjega zraka	5
2.1	Meritve na stalnih merilnih mestih	7
2.2	Ocena kakovosti zraka z modeliranjem in s tehniko združevanja podatkov	14
3	Ravni onesnaženosti v državah EU	15
3.1	Stanje kakovosti zraka v Evropi	15
3.2	Delci PM ₁₀ in PM _{2,5}	15
3.3	Ozon	19
3.4	Dušikov dioksid	21
3.5	Benzo(a)piren	23
4	Modelske ocene glede na nove standarde kakovosti zraka	25
4.1	Delci PM ₁₀ in PM _{2,5}	27
4.2	Dušikov dioksid	30
4.3	Ozon	31
5	Izboljšanje napovedi kakovosti zraka z uporabo CAMS produktov - Sodelovanje v nacionalnem programu CAMS	32
5.1	Primerjava emisijske evidence	32
5.2	MOS orodje	34
5.3	Primerjava napovedi modelov MOS, CAMx in CAMS na izbranih epizodah	37
5.4	Analiza CAMS napovedi gozdnih požarov	39
5.5	Izboljšanje kemijskih robnih pogojev modelskega sistema ALADIN-CAMx	41
6	Merilna negotovost	42
6.1	Merilna negotovost avtomatskih merilnikov plinastih onesnaževal	42
6.2	Merilna negotovost avtomatskih merilnikov delcev PM ₁₀ in PM _{2,5}	43
6.3	Določene merilne negotovosti merilnikov	45
7	Delci PM₁₀ in PM_{2,5}	46
7.1	Izpusti delcev	47

7.2	Zahteve za kakovost zraka	50
7.3	Ravni onesnaženosti	51
7.4	Epizode čezmerne onesnaženosti	61
7.5	Kemijska in elementna sestava delcev	65
7.6	Preseganja mejnih vrednosti zaradi naravnih virov	65
7.7	Izračunu ekvivalence za avtomatske merilnike delcev v zunanjem zraku	71
8	Onesnaževala v delcih - benzo(a)piren in kovine	73
8.1	Benzo(a)piren	73
8.2	Kovine	75
9	Ozon	87
9.1	Zahteve za kakovost zraka	87
9.2	Ravni onesnaženosti	88
9.3	Epizode čezmerne onesnaženosti	99
10	Dušikovi oksidi	101
10.1	Izpusti	101
10.2	Zahteve za kakovost zraka	102
10.3	Ravni onesnaženosti	103
11	Žveplov dioksid	112
11.1	Izpusti	112
11.2	Zahteve za kakovost zraka	114
11.3	Ravni onesnaženosti	114
12	Ogljikov monoksid	125
12.1	Izpusti	125
12.2	Zahteve za kakovost zraka	126
12.3	Ravni onesnaženosti	127
13	Benzen	129
13.1	Izpusti	129
13.2	Zahteve za kakovost zraka	131
13.3	Ravni onesnaženosti	131
14	Živo srebro v zraku	134
14.1	Izpusti	134
14.2	Ravni onesnaženosti	136
15	Kakovost padavin	138
15.1	Raven vrednosti pH, električne prevodnosti in onesnaženosti padavin z nekaterimi anorganskimi ioni	139
15.2	Onesnaženost padavin s težkimi kovinami	149

15.3 Raven onesnaženosti padavin z živim srebrom	153
15.4 Raven onesnaženosti padavin s policikličnimi aromatskimi ogljikovodiki	155
16 Črni ogljik	158
16.1 Zahteve za kakovost zraka	159
16.2 Ravni onesnaženosti	159
17 Literatura	164

1. Uvod

Onesnažen zrak je poleg podnebnih sprememb najbolj pomemben dejavnik tveganja za zdravje in okolje. Čist zrak je osnovna človekova pravica in je poglaviten za zdravo in produktivno družbo. Kakovost zunanjega zraka v Sloveniji se je v zadnjih desetletjih bistveno izboljšala, vendar so ravni nekaterih onesnaževal v zunanjem zraku še vedno previsoke. Zrak je v Sloveniji onesnažen predvsem z delci PM_{10} in $PM_{2,5}$ in benzo(a)pirenom (BaP) pozimi ter prizemnim ozonom poleti.

Onesnaževala zraka so snovi, ki škodljivo vplivajo na človeka ali okolje. Mednje sodijo plini, kot so na primer dušikovi in žveplovi oksidi, hlapni ogljikovodiki, amoniak ter prizemni ozon. Med onesnaževala zraka uvrščamo tudi delce, ki lebdiijo v zraku in so različne velikosti, sestave ter agregatnega stanja. Nekatera onesnaževala v zrak neposredno sproščajo viri onesnaževanja. Druga, tako imenovana sekundarna onesnaževala, kot na primer prizemni ozon ali sekundarni delci, pa nastajajo v ozračju kot produkt zapletenih kemičnih procesov. Evropska unija za države članice predpisuje standarde kakovosti zunanjega zraka. Določeni so v Direktivi o kakovosti zunanjega zraka in čistejšem zraku za Evropo [1] in Direktivi o arzeniu, kadmiju, živem srebru, niklju in policikličnih aromatskih ogljikovodikih v zunanjem zraku [2]. Direktivi med drugim določata, metode ocenjevanja za različna onesnaževala ter načine obveščanja javnosti v primeru prekoračitev. Direktivi sta bili preneseni v slovenski pravni red z Uredbo o kakovosti zunanjega zraka [3], Uredbo o arzeniu, kadmiju, živem srebru, niklju in policikličnih aromatskih ogljikovodikih v zunanjem zraku [4] in Pravilnikom o ocenjevanju kakovosti zunanjega zraka [5]. Mejne vrednosti Evropske unije za kakovost zunanjega zraka so za večino onesnaževal bistveno manj stroge od tistih v smernicah Svetovne zdravstvene organizacije. Evropska komisija je leta 2020 sprejela akcijski načrt za ničelno onesnaževanje zraka, vode in tal [6] z vizijo doseči ničelno onesnaževanje do leta 2050. V njem so določeni ključni cilji za leto 2030 za pospešitev zmanjševanja onesnaževanja. Del tega akcijskega načrta je tudi revizija Direktive o kakovosti zunanjega zraka in čistejšem zraku za Evropo, da bi se mejne vrednosti Evropske unije za kakovost zunanjega zraka približale tistim v smernicah Svetovne zdravstvene organizacije. Revidirana Direktiva (EU) 2024/2881 o kakovosti zunanjega zraka in čistejšem zraku za Evropo je bila sprejeta oktobra 2024, Slovenija jo mora prenesti v svoj pravni red najkasneje do 11. decembra 2026.

Na Agenciji RS za okolje spremljamo kakovost zraka v Sloveniji že več desetletij. Skladno z zakonodajo zagotavljamo v okviru državne merilne mreže na stalnih merilnih mestih zanesljive in kakovostne **meritve** delcev PM_{10} in $PM_{2,5}$, ozona (O_3), žveplovega dioksida (SO_2), ogljikovega monoksida (CO), dušikovega dioksida (NO_2), dušikovih oksidov (NO_x), svinca (Pb), benzena (C_6H_6), arzena (As), kadmija (Cd), niklja (Ni) in benzo(a)pirena (B(a)P). Poleg tega občasno izvajamo tudi merilne kampanje oziroma indikativne meritve. Z namenom sodelovanja pri ugotavljanju regionalnega

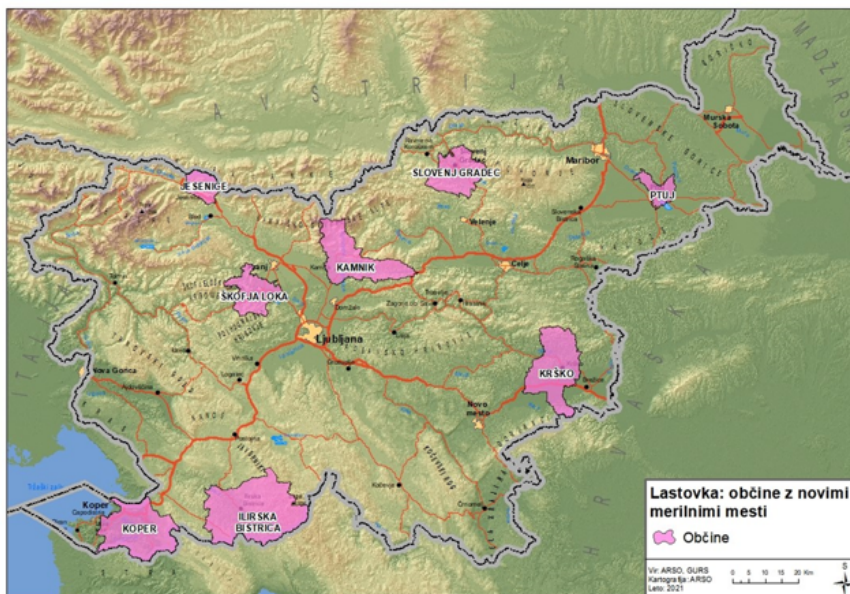
in kontinentalnega prenosa onesnaženja smo z meritvami udeleženi tudi v programu EMEP, ki deluje v okviru Konvencije o onesnaževanju zraka na velike razdalje preko meja [7], in programu Svetovne meteorološke organizacije o Opazovanju atmosfere zemlje (WMO-GAW). Te meritve poleg ravni onesnaževal v zraku obsegajo tudi spremljanje kakovosti padavin in usedlin.

Javnosti posredujemo informacije o kakovosti zraka s tekočo **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, analizah in modeliranju kakovosti zraka. Poleg meritev kakovosti zraka v državni mreži potekajo meritve tudi v dopolnilnih mrežah, ki jih izvajajo drugi izvajalci. Vsi podatki so objavljeni v mesečnih in letnih poročilih agencije. 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, in sicer s prilagoditvijo aktivnosti na prostem. Ob epizodah povišane onesnaženosti z delci PM_{10} jih želimo vzpodbuditi, da s svojim ravnanjem pripomorejo k nižjim izpustom onesnaževal. V ta namen dnevno izdajamo **napoved** kakovosti zraka; v zimskem času napovedujemo delce PM_{10} , v poletnem pa ozon. Prikazujemo tudi trenutno stopnjo onesnaženosti zraka s prenovljenim **indeksom** kakovosti zunanjega zraka, ki hkrati upošteva ravni delcev PM_{10} , NO_2 , SO_2 in O_3 .

Kot pomoč pri ocenjevanju kakovosti zraka, analizah vzrokov čezmerne onesnaženosti in napovedovanju ravni onesnaževal uporabljamo na Agenciji tudi **numerične modele**. Vzpostavljen imamo regionalen disperzijsko-fotokemičen model CAMx, sklopljen z meteorološkim modelom ALADIN/SI ter statistične modele za napovedovanje ravni delcev oziroma ozona. Vzpostavili smo tudi orodji SHERPA in RIAT+, ki omogočata vrednotenje različnih ukrepov za izboljšanje kakovosti zraka tudi iz ekonomskega vidika.

Podatke o oceni kakovosti zraka skupaj z opisom načina ocenjevanja ter uporabljenimi tehnikami redno **poročamo** Evropski okoljski agenciji (EEA). Poročani podatki so osnova za ugotavljanje skladnosti z mejnimi ali ciljnimi vrednostmi ravni onesnaževal v zraku in predstavljajo osnovno informacijo za pripravo ukrepov, spremljanje učinkov in pripravo politik za zmanjševanje čezmerne onesnaženosti. Meritve regionalnega ozadja onesnaženosti zraka in padavin dodatno poročamo v okviru sodelovanja v programih EMEP in WMO-GAW.

Na Agenciji se je 4.6.2024 začel izvajati kohezijski projekt **Lastovka**, v okviru katerega se bo vzpostavil sistem za seznanjanje in opozarjanje državljanov o onesnaženosti zunanjega zraka. Projekt bosta sofinancirali Republika Slovenija in Evropska unija iz Kohezijskega sklada. Za izvedbo projektnih aktivnosti je načrtovanih 3.662.378 EUR sredstev. Namen projekta je zagotavljanje celovitega spremljanja stanja onesnaženosti zraka, priprava strokovnih podlag odločevalcem za načrtovanje in spremljanje izvajanja politik in ukrepov za izboljšanje kakovosti zraka skladno z zahtevami pravnega reda RS in EU, opozarjanje državljanov glede onesnaženosti zunanjega zraka ter seznanjanje s kakovostjo padavin. Projekt se bo izvajal v okviru štirih vsebinsko zaokroženih sklopov. Prvi sklop je razširitev merilne mreže stalnih merilnih mest za spremljanje kakovosti zunanjega zraka (slika 1.1). Načrtuje se postavitve sedmih mini postaj za meritve delcev PM (optični merilnik) v zunanjem zraku na poseljenih območjih Slovenije, kjer do sedaj niso imeli stalnih meritev kakovosti zunanjega zraka



Slika 1.1: Občine v katerih se bo v okviru projekta Lastovka vzpostavilo meritve kakovosti zunanjega zraka.

(Ptuj, Slovenj Gradec, Kamnik, Krško, Jesenice, Škofja Loka in Ilirska Bistrica), ter merilnega mesta v Kopru za spremljanje dušikovih oksidov in delcev PM. Poleg razširitve merilne mreže za spremljanje kakovosti zunanjega zraka se bo v okviru tega sklopa kupilo merilnika živega srebra v zunanjem zraku. Stalne meritve živega srebra v zraku se bodo izvajale na merilnem mestu Iskrba. Izvedel se bo tudi nakup inštrumenta za določitev organskega in elementnega ogljika v delcih PM z avtomatskim podajalnikom.

Drugi sklop je celovita prenova Državne merilne mreže za spremljanje kakovosti padavin. Prenova bo vključevala nakup 8 novih vzorčevalnikov za vzorčenje padavin. Naslednji vsebinski sklop je namenjen vzpostavitvi mobilne postaje za spremljanje kakovosti zunanjega zraka, ki bo namenjena za občasno spremljanje kakovosti zraka na področjih, kjer ni stalnih meritev in bo omogočala izvedbo meritev v skladu s standardi kakovosti in obveščanje javnosti. Mobilna postaja bo opremljena s celotnim naborom merilnikov za oceno kakovosti zunanjega zraka v skladu z veljavno zakonodajo (delci PM, dušikovi oksidi, ozon, žveplov dioksid, črni ogljik, ogljikov monoksid, lahkoahlapni ogljikovodiki in živim srebrom) in meteorološkimi senzorji (veter, sevanje in temperatura) za lažjo analizo in določitev virov onesnaženega zraka.

Zadnji sklop je vzpostavitev sistema za obveščanje in opozarjanje prebivalcev o kakovosti zunanjega zraka, ki bo temeljil na kratkoročnih napovedih in prikazih za urbana območja. Namen je zagotoviti boljše informacije o onesnaženosti in njenih vzrokih, kar bo prebivalcem omogočilo zmanjšanje izpostavljenosti čezmernemu onesnaženju ter povečalo njihovo ozaveščenost o pomenu ukrepanja.

Agencija za okolje je s 1.6.2024 začela z 18 mesečnim **sodelovanjem s Službo za spremljanje atmosfere – Copernicus**, (v nadaljevanju CAMS), ki je del Evropskega centra za srednjeročne vremenske napovedi (v nadaljevanju ECMWF) v okviru sporazuma NCP – National Collaboration Project. Namen sodelovanja je podpreti države članice Evropske unije pri doseganju večje uporabnosti

CAMS produktov pri izvajanju njihovih vsakodnevnih nalog na področju kakovosti zraka. Podpora se nanaša na uporabo CAMS produktov na nacionalni, regionalni in celo lokalni ravni za potrebe izvajanja zakonskih predpisov in informiranja javnosti. Aktivno sodelovanje CAMS z državami članicami omogoča članicam sooblikovanje novih izdelkov in zagotavlja podporo pri uradnem poročanju. V okviru sodelovanja je bila opravljena analiza emisijskih evidenc s pomočjo orodij FAIRMODE; analizirali smo MOS napovedi na lokacijah merilnih mest v Sloveniji v letu 2024; za izbrane epizode onesnaženosti smo primerjali različne modelske napovedi; ovrednotili smo CAMS napovedi gozdnih požarov na območju Slovenije ter izboljšali kemijske robne pogoje modelskega sistema ALADIN-CAMx. Rezultati sodelovanja so podrobneje predstavljeni v poglavju Izboljšanje napovedi kakovosti zraka z uporabo CAMS produktov.

V nadaljevanju poročila prikazujemo rezultate meritev kakovosti zraka v letu 2024, za ponazoritev trendov onesnaženosti zraka pa tudi rezultate meritev iz prejšnjih obdobj. V poročilu smo osredotočeni na onesnaževala s predpisanimi mejnimi ali ciljnimi vrednostmi. Vključili smo tudi rezultate spremljanja kakovosti padavin, s katerimi se onesnaževala izpirajo iz zraka in vnašajo v vode in tla. Pri razlagi epizod onesnaženja si pomagamo z modelskimi izračuni. Po posameznih onesnaževalih navajamo podatke o izpustih iz državnih evidenc, ki se vodijo na ARSO. Posebna poglavja so namenjena primerjavi ravni onesnaženosti zunanjega zraka v državah EU, modelskim ocenam za posamezno onesnaževalo glede na standarde nove evropske direktive, določitvi merilne negotovosti rezultatov ter prikaz Izboljšane napovedi kakovosti zraka z uporabo CAMS produktov v okviru Sodelovanja v nacionalnem programu CAMS.

2. Ocenjevanje kakovosti zunanjega zraka

V skladu z Uredbo o kakovosti zunanjega zraka [3] in Pravilnikom o ocenjevanju kakovosti zunanjega zraka [5] 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 ocenjevanju 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, zadostujejo za ocenjevanje kakovosti zraka indikativne meritve, 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 2024.

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><tr><th>Oznaka aglomeracije</th><th>Ime aglomeracije</th></tr><tr><td>SIL</td><td>Ljubljana</td></tr><tr><td>SIM</td><td>Maribor</td></tr></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><tr><th>Oznaka aglomeracije</th><th>Ime aglomeracije</th></tr><tr><td>SIL</td><td>Ljubljana</td></tr><tr><td>SIM</td><td>Maribor</td></tr></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 prenovo 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. V DMKZ je bilo v letu 2024 24 merilnih mest. Na sliki 2.1 so prikazana vsa merilna mesta katerih podatki so zajeti v tem poročilu.

Z meritvami v DMKZ zagotavljamo osnovne podatke o kakovosti zraka v Sloveniji za ugotavljanje skladnosti z evropsko direktivo. Poleg meritev v DMKZ se v okviru drugih merilnih mrež izvajajo meritve kakovosti zraka tudi v okolici nekaterih večjih energetske 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 JPE), cementarne Alpacem Cement, 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 [5]. 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 2024 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 2024 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. Na sliki 2.2 so prikazana vsa ta merilna mesta. V tabeli 2.5 so podana merilna mesta za meritve kakovosti padavin v letu 2024, 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 zunanega 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
Črna na Koroškem	574	488495	147862	T	S	RC
Črnomelj ZD	161	514623	48441	B	U	RC
Hrastnik	290	506434	111574	B	U	IR
IB Gregorčičeva	407	440903	47769	T	U	RC
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 Vrbanski	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	509533	141666	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	503683	137205	I	S	IR
OMS MO Ljubljana						
LJ Center	300	461548	102067	T	U	RC
JPE						
Zadobrova	280	467765	103596	B	S	RA
MO Celje						
CE Gaji	240	522395	122571	B	U	IC
EIS TEB						
Sv. Mohor	390	536915	94445	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 Alpacem Cement						
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)					
Začilnosti 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 2024.

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				+				+	+			+
Črna na Koroškem				+	+							+
Črnomelj ZD				+	+							+
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	+		+	+	+		+					+
JPE												
Zadobrova	+	+	+	+								+
MO Celje												
CE Gaji	+		+									
EIS TEB												
Sv. Mohor	+	+	+									+
MO MARIBOR												
MB Tezno		+	+	+								+
Pobrežje				+								
Pohorje		+										
Radvanje				+								
EIS Alpacem Cement												
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:

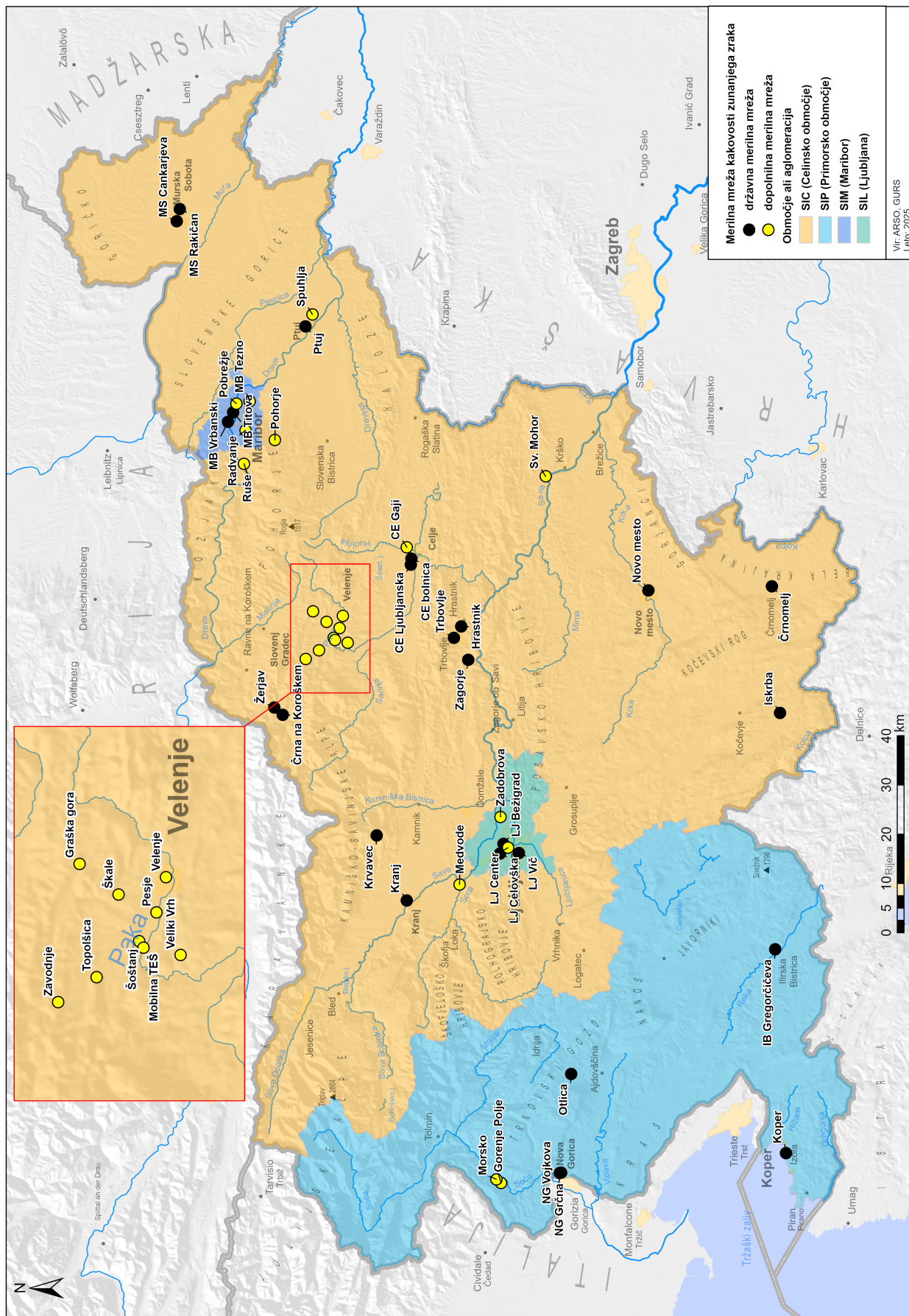
Ca^{2+} , Mg^{2+} , NH_4^+ , Na^+ , K^+ , Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-}

Policiklični aromatski ogljikovodiki (PAH):

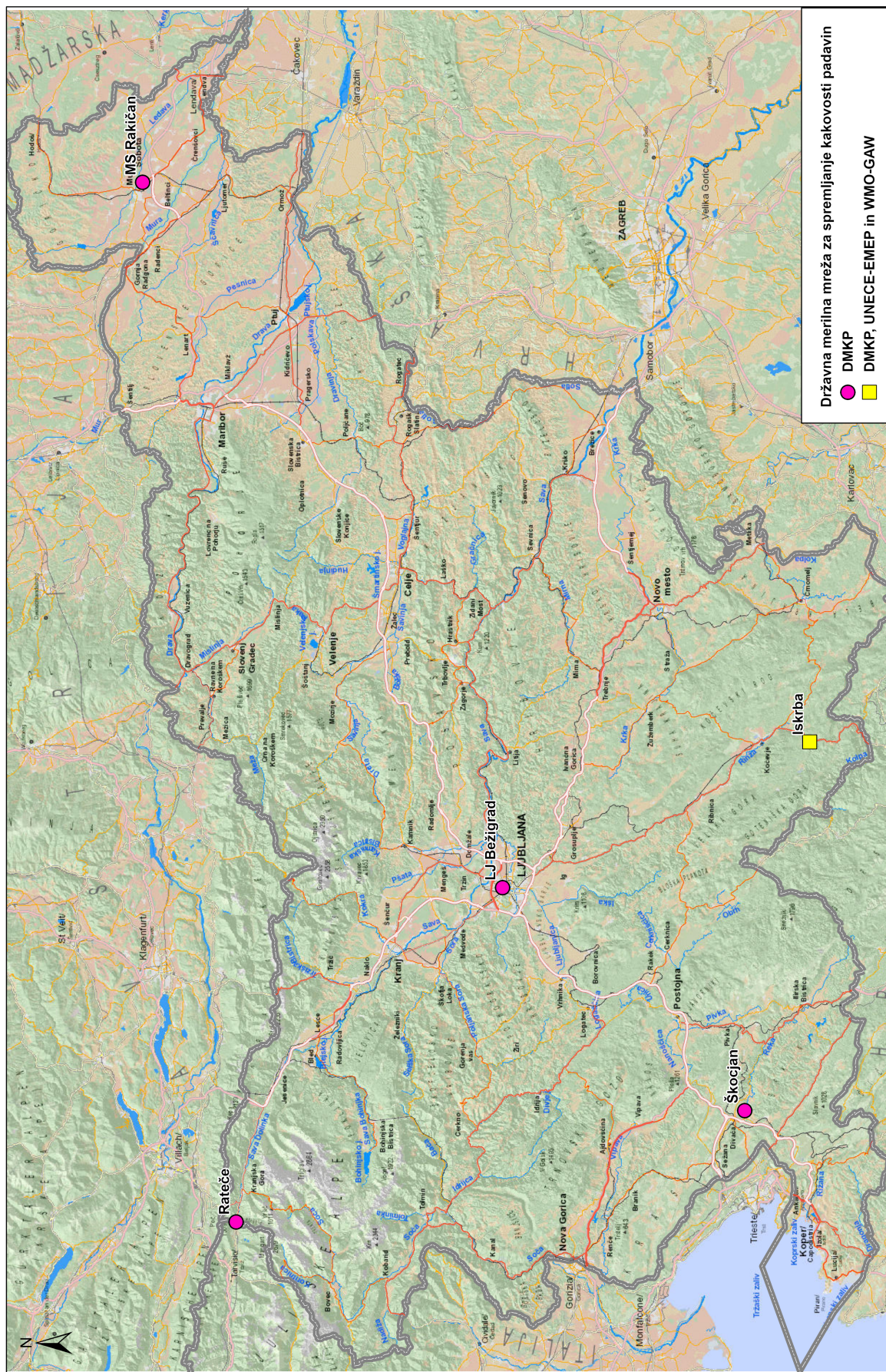
benzo(a)piren, benzo(a)antracen, benzo(b,j,k)fluoranten, indeno(1,2,3-cd)piren, dibenzo(a,h)antracen

Težke kovine:

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



Slika 2.1: Merilna mreža kakovosti zunanjega zraka v letu 2024.



Slika 2.2: Merilna mreža kakovosti padavin.

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 [8].

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 [9]. 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 letne maksimume dnevnih 8-urnih drsečih povprečij za O_3 . Rezultati te obdelave za leto 2024 so v poročilu predstavljeni v posameznih poglavjih.

3. Ravni onesnaženosti v državah EU

3.1 Stanje kakovosti zraka v Evropi

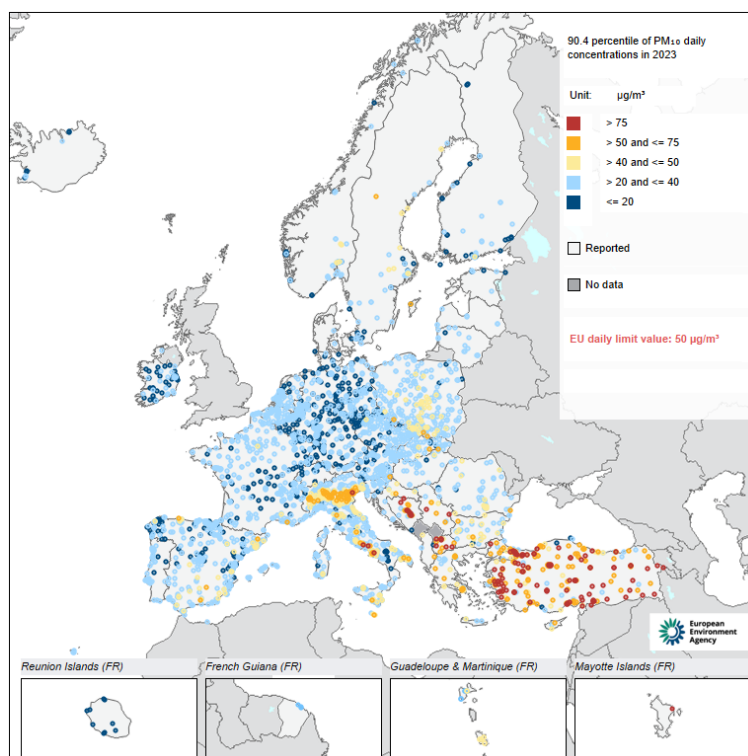
Onesnaženost zraka v zadnjih desetletjih ostaja največje okoljsko tveganje za zdravje ljudi v Evropi kljub občutnemu izboljšanju kakovosti zraka. Povzroča lahko resne bolezni dihal in srčno-žilnega sistema, zmanjšuje kakovost življenja ter vodi do prezgodnjih smrti. Čeprav nekatere države EU že izpolnjujejo mejne vrednosti za posamezna onesnaževala, kot so benzen, kadmij ali žveplov dioksid, številna merilna mesta na urbanih območjih še vedno beležijo presežene vrednosti drugih škodljivih snovi, predvsem $PM_{2,5}$, ozona in dušikovega dioksida. Evropska okoljska agencija (EEA) je 9. aprila 2025 nazadnje objavila poročilo o kakovosti zunanega zraka, ki vključuje preverjene podatke za leto 2023 ter preliminarne rezultate za leto 2024. Poročilo ponuja celovit vpogled v trenutno stanje onesnaženosti zraka po Evropi in omogoča primerjavo z veljavnimi standardi EU ter strožjimi smernicami Svetovne zdravstvene organizacije (WHO). Podatki kažejo, da je bilo leta 2023 razmeroma malo merilnih mest, kjer bi bila kakovost zraka skladna s priporočili WHO, kar pomeni povečano tveganje za zdravje prebivalstva.

3.2 Delci PM_{10} in $PM_{2,5}$

Čezmerna prisotnost delcev v zraku predstavlja enega najbolj izpostavljenih okoljskih problemov v državah EU. EEA je za leto 2023 prejela podatke o koncentracijah delcev PM_{10} iz 37 evropskih držav (27 držav članic EU in 10 drugih držav). Trinajst držav EU-27 in pet drugih držav je poročalo o preseganju dnevne mejne vrednosti za PM_{10} na svojih merilnih postajah. Takšna preseganja so bila zabeležena na 11 % vseh poročanih merilnih postaj, pri čemer se jih je 86 % nahajalo v mestnem in 10 % v primestnem okolju. Mejna letna vrednost za PM_{10} je bila presežena v osmih državah (štiri države EU-27 in štiri druge države), in sicer na 4 % vseh merilnih postaj. Priporočeni mejni vrednosti Svetovne zdravstvene organizacije, $45 \mu g/m^3$ za dnevno vrednost in $15 \mu g/m^3$ za letno povprečje, sta bili preseženi v vseh državah, ki so poročale podatke. Dnevna vrednost je bila presežena na 56 % vseh merilnih mest, letna pa na 64 %.

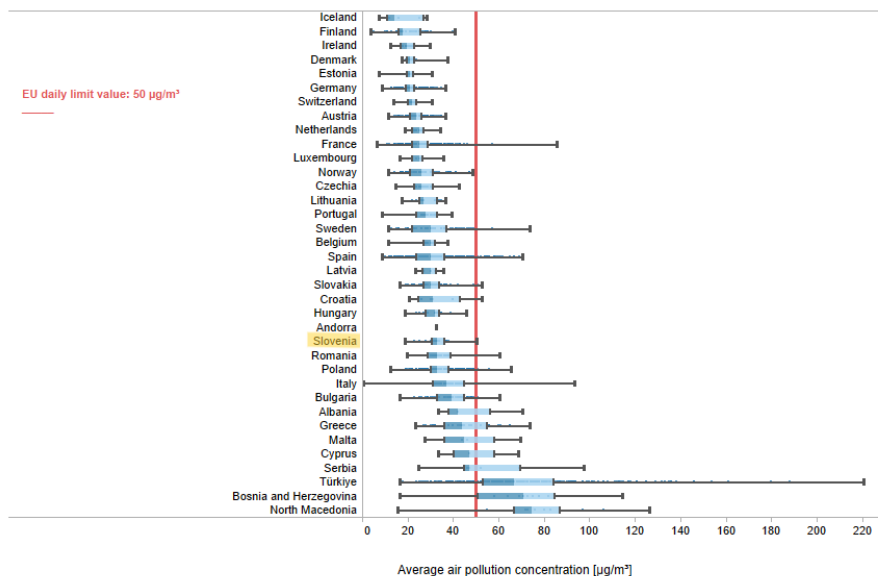
Preseganja dnevne mejne vrednosti PM_{10} so bila najpogostejše zabeležena na merilnih mestih v Italiji ter v večih vzhodnoevropskih državah. V številnih državah srednje in vzhodne Evrope se gospodinjstva še vedno ogrevajo s trdnimi gorivi, kot sta premog in les, prav tako se ta goriva uporabljajo v industrijskih obratih in termoelektrarnah. Padska nižina v severni Italiji, ki je gosto poseljeno in industrializirano območje s specifičnimi meteorološkimi ter geografskimi značilnostmi,

omogoča kopičenje onesnaževal v spodnjih plasteh ozračja.



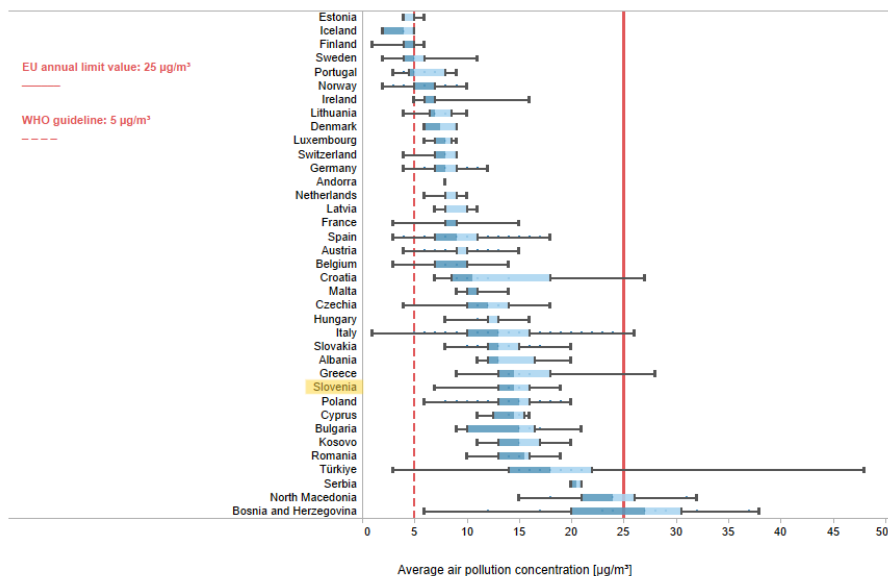
Slika 3.1: Prikaz 90,4. percentila (36. najvišje vrednosti) dnevne vrednosti PM_{10} v letu 2023 po merilnih mestih. Percentil je povezan z mejno dnevno vrednostjo EU ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$), ki dovoljuje 35 preseganj na leto. Z barvo je prikazan koncentracijski razred, v katerega sodi posamezno merilno mesto.

Najnižje ravni onesnaženosti z delci PM_{10} glede na skladnost z dnevnimi mejnimi vrednostmi so bile izmerjene v redkeje poseljenih in dobro prevetrenih državah, kot so Islandija, Finska, Irska, Danska in Estonija (slika 3.1 in 3.2), čeprav imajo nekatere med njimi visoke specifične emisije na prebivalca. Slovenija se glede doseganja skladnosti z dnevnimi mejnimi vrednostmi za PM_{10} uvršča med države z višjo stopnjo onesnaženosti in je bila tako leta 2023 trinajsta najbolj obremenjena država med vsemi državami.



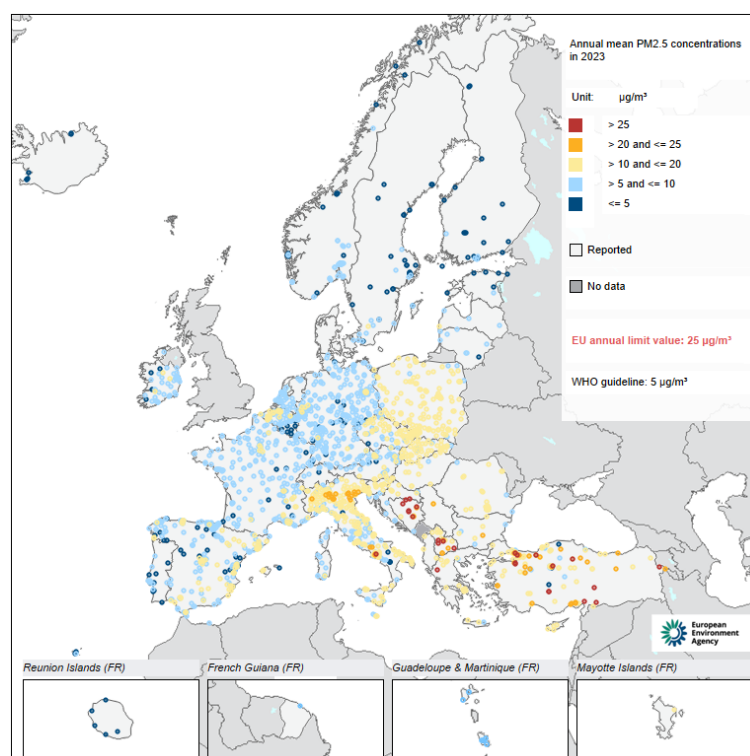
Slika 3.2: Primerjava dnevnih ravni PM_{10} (90,4. percentil oz. 36. najvišja vrednost) v letu 2023 na vseh poročanih merilnih mestih po državah z mejno dnevno vrednostjo EU (rdeča črta). Za vsako državo so prikazani minimum, maksimum, mediana ter 25. in 75. percentil.

Kar zadeva delce $PM_{2,5}$, je bilo v letu 2023 preseganje povprečne letne mejne vrednosti zabeleženo v treh državah EU-27 in treh drugih državah. Skupno je bilo takšnih 1,2 % vseh merilnih mest. WHO priporoča dnevno mejno vrednost $15 \mu g/m^3$, ki je bila presežena v vseh državah, razen na Islandiji, in letno povprečno vrednost $5 \mu g/m^3$, ki je bila presežena v vseh državah, ki so poročale podatke. Dnevno mejno vrednost je preseglo 95 %, letno pa 92 % vseh poročevalnih merilnih mest. Preseganja letne mejne vrednosti $PM_{2,5}$ so bila najpogostejše zabeležena na merilnih postajah v Italiji ter v državah Zahodnega Balkana, medtem ko so najnižje koncentracije beležili v Estoniji, na Islandiji, Finskem in Švedskem (slika 3.4)



Slika 3.3: Primerjava letnih povprečnih koncentracij $PM_{2,5}$ v letu 2023 na vseh poročanih merilnih mestih po državah z mejno letno vrednostjo EU (rdeča polna črta) ter priporočeno letno vrednost WHO (rdeča črtkana črta). Za vsako državo so prikazani minimum, maksimum, mediana ter 25. in 75. percentil.

Tudi glede onesnaženosti z delci $PM_{2,5}$ se Slovenija uvršča med bolj obremenjene države. Leta 2023 je bila deseta najbolj onesnažena država med evropskimi državami, ki poročajo meritve, glede na doseganje skladnosti s povprečno letno mejno vrednostjo (slika 3.3). Visoke ravni onesnaženosti v Sloveniji so predvsem posledica izpustov zaradi ogrevanja gospodinjstev ter neugodnih meteoroloških pogojev za razredčevanje onesnaževal, zlasti pozimi v celinskem delu države.

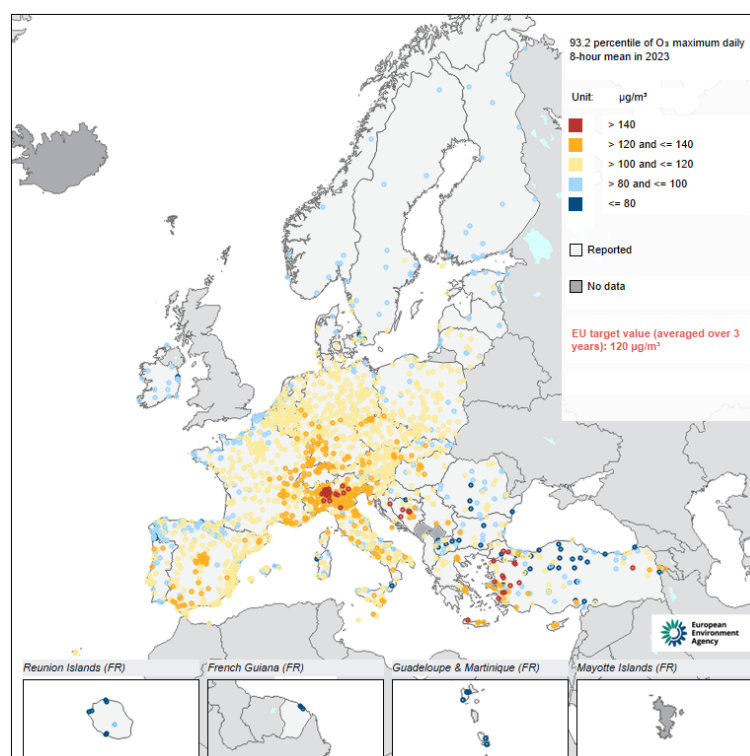


Slika 3.4: Prikaz povprečnih letnih koncentracije PM_{2,5} v letu 2023 po merilnih mestih. Z barvo je prikazan koncentracijski razred, v katerega sodi posamezno merilno mesto glede na mejno letno vrednost EU ter priporočeno letno vrednost WHO.

3.3 Ozon

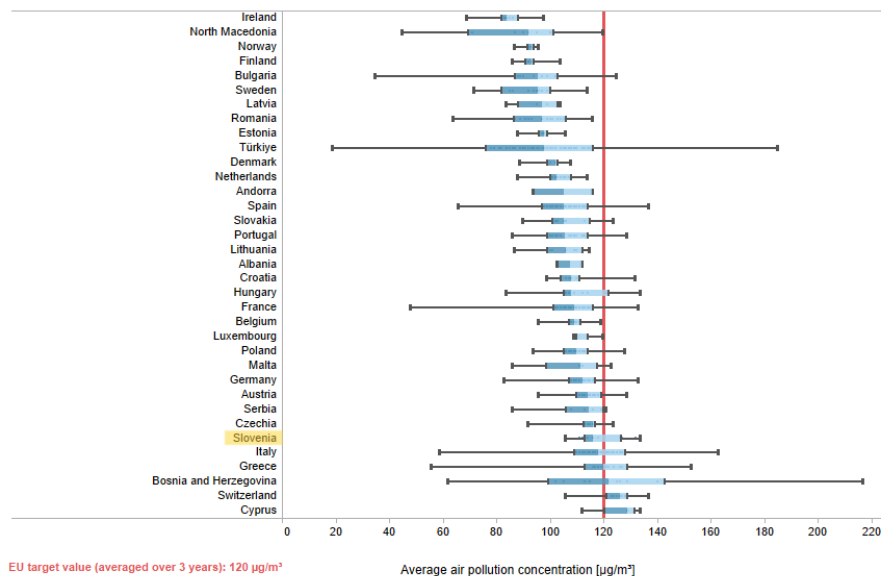
Na raven ozona pomembno vplivajo podnebne razmere, pri čemer je bilo leto 2023 zaradi izrazito ugodno za njegovo tvorbo. Koncentracije ozona so praviloma višje v južnem delu Evrope, saj nastajanje ozona pospešujeta višja temperatura zraka in močno sončno obsevanje. Povišane ravni so prisotne tudi na območjih z višjimi izpusti prekurzorjev ozona, kot je denimo Padska nižina.

EEA je v letu 2023 prejela podatke o ozonu iz 35 evropskih držav (27 držav članic EU in 8 drugih držav). Med temi je 20 držav (16 iz EU-27 in 4 druge) poročalo o preseganju ciljne vrednosti za ozon. Takšno preseganje je bilo zabeleženo na 18 % vseh poročanih merilnih postaj. Dolgoročna ciljna vrednost za ozon, ki jo je določila EU, je bila v letu 2023 dosežena le na 17 % merilnih postaj. Smernice Svetovne zdravstvene organizacije so strožje in določajo priporočeno ciljno vrednost 100 µg/m³, ki je bila presežena v vseh državah oziroma na 97 % vseh merilnih mest. Prav tako je bila v vseh državah presežena tudi vrednost v obdobju največje izpostavljenosti 60 µg/m³, ki jo predlaga WHO, in sicer na 92 % merilnih mestih.



Slika 3.5: Prikaz 93,2 percentila (26. najvišje vrednosti) najvišje dnevne 8-urne povprečne vrednosti O_3 v letu 2023 po merilnih mestih. Z barvo so prikazani razredi, v katerega sodi merilno mesto glede na ciljno vrednost EU, s katero je povezan percentil.

V letu 2023 so bile najvišje ravni izmerjene v vzhodnem Sredozemlju, Italiji, na Iberskem polotoku ter v srednji Evropi (slika 3.5). Glede na skladnost s ciljno vrednostjo za ozon se Slovenija uvršča med bolj obremenjene države ter je po stopnji onesnaženosti zasedla šesto mesto med državami poročevalkami (slika 3.6).

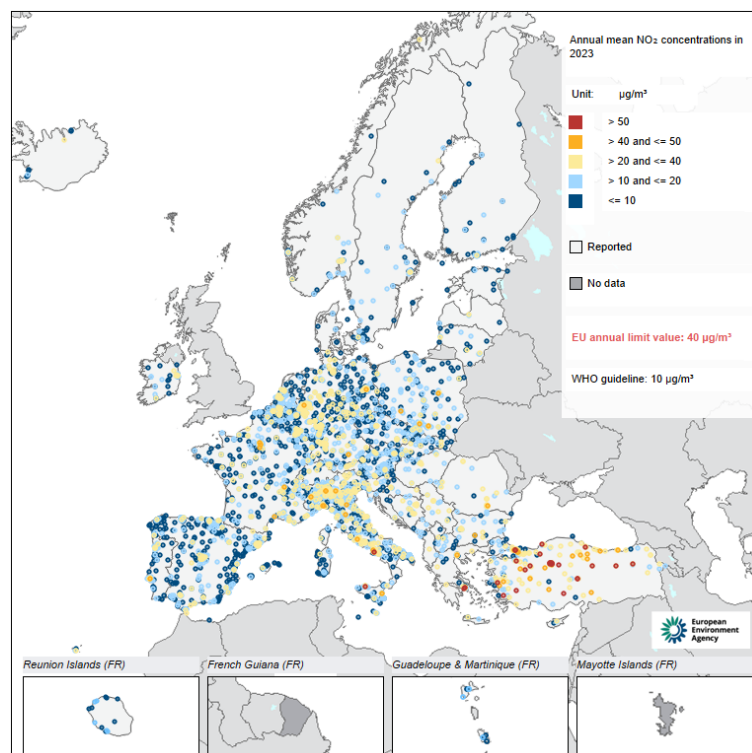


Slika 3.6: Primerjava najvišje dnevne 8-urna povprečne koncentracije O_3 (93,2 percentil oz. 26. najvišje vrednosti) v letu 2023 na vseh poročanih merilnih mestih po državah z ciljno vrednostjo EU (rdeča črta). Za vsako državo so prikazani minimum, maksimum, mediana ter 25. in 75. percentil.

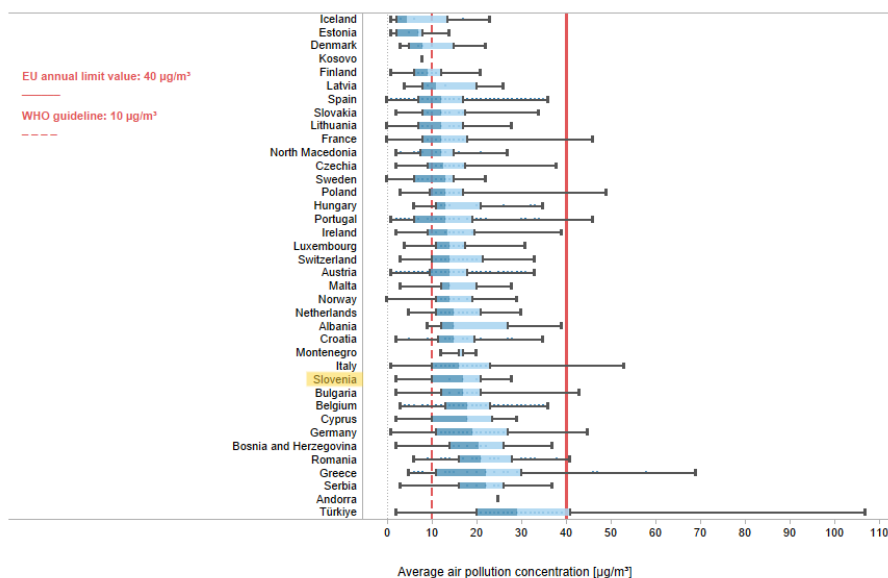
3.4 Dušikov dioksid

Presežene letne mejne vrednosti dušikovega dioksida (NO_2) so bile v letu 2023 zabeležene v številnih mestih Turčije ter v nekaterih drugih urbanih središčih z visoko prometno obremenitvijo (slika 3.7), saj cestni promet ostaja glavni vir emisij tega onesnaževala. Med 38 državami, ki poročajo podatke (EU-27 in 11 drugih držav), je bila letna mejna vrednost NO_2 presežena v devetih državah (osem držav članic EU in ena druga država) oziroma na 2 % vseh merilnih mest, od teh je bilo 66 % prometnih merilnih mest. Urna mejna vrednost NO_2 je bila presežena zgolj v eni državi oziroma na 0,9 % merilnih mestih.

Koncentracije nad letno smernico Svetovne zdravstvene organizacije za NO_2 , ki znaša $10 \mu g/m^3$, so bile izmerjene v vseh državah razen na Kosovu, in sicer na 70 % vseh merilnih mest, od tega na 47 % prometnih postajah. WHO priporoča tudi dnevno smernico v višini $25 \mu g/m^3$, pri čemer so bile presežene koncentracije zabeležene v vseh državah oziroma na 74 % vseh merilnih mest. Slovenija se glede na skladnost z letno mejno vrednostjo uvršča med bolj obremenjene države, in sicer je po onesnaženosti zasedla enajsto mesto med državami poročevalkami (slika 3.8).



Slika 3.7: Prikaz letnih povprečnih koncentracij NO₂ v letu 2023 po merilnih mestih. Z barvo je prikazan razred, v katerega sodi merilno mesto glede na mejno letno vrednost EU ter letno smernico WHO.

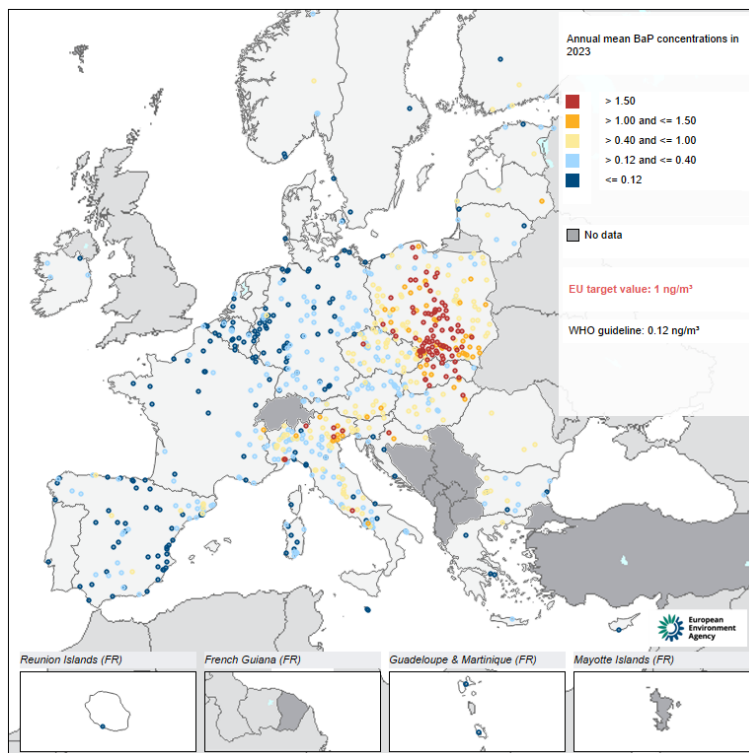


Slika 3.8: Primerjava letnih povprečnih vrednosti NO₂ v letu 2023 na vseh poročanih merilnih mestih po državah z mejno letno vrednostjo EU (rdeča polna črta) ter smernico WHO (rdeča črtkana črta). Za vsako državo so prikazani minimum, maksimum, mediana ter 25. in 75. percentil.

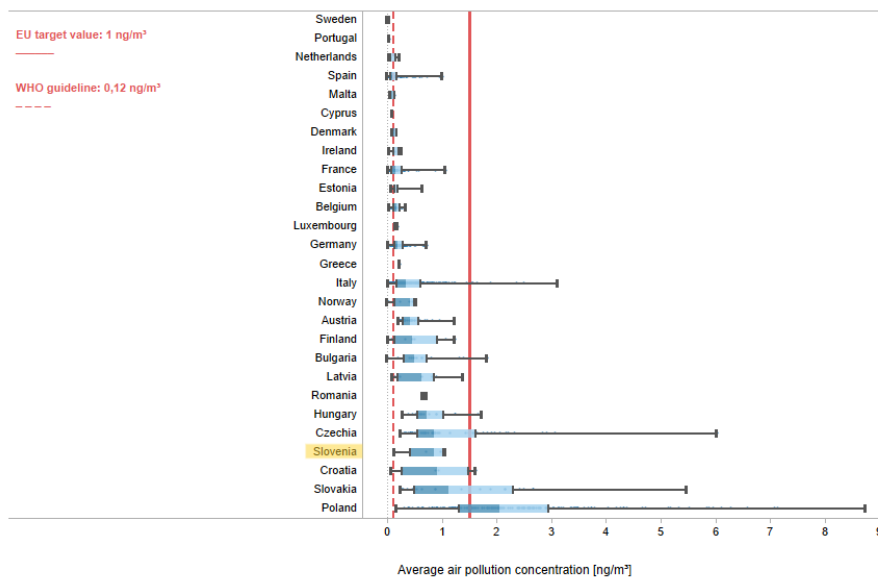
3.5 Benzo(a)piren

Benzo(a)piren (BaP) je rakotvoren onesnaževalec, ki v ozračje prehaja predvsem kot posledica nepopolnega zgorevanja fosilnih goriv in biomase za ogrevanje. V manjši meri nastaja tudi pri industrijskih procesih ter sežigu kmetijskih ostankov. V letu 2023 je bila ciljna vrednost 1 ng/m^3 presežena v devetih od 28 držav poročevalk (EU-27 in Norveška). Nad mejno vrednostjo so bile zabeležene ravni na 18 % vseh merilnih mest, pri čemer je bila večina teh locirana v mestnem (81 %) in primestnem (16 %) okolju.

Najvišje koncentracije BaP so bile zabeležene v vzhodni Evropi, kjer je uporaba premoga in drugih trdnih goriv za ogrevanje gospodinjstev še vedno razširjena, ter v Italiji predvsem zaradi uporabe lesa in lesnih derivatov za ogrevanje (slika 3.9). Glede na povprečno letno koncentracijo BaP se je Slovenija med državami, ki poročajo podatke, uvrstila na četrto mesto po stopnji onesnaženosti (slika 3.10).



Slika 3.9: Prikaz letnih povprečnih koncentracij benzo(a)pirena v letu 2023 po merilnih mestih. Z barvo je prikazan razred, v katerega sodi merilno mesto glede na ciljno vrednost EU ter smernico WHO.



Slika 3.10: Primerjava letnih povprečnih vrednosti benzo(a)pirena v letu 2023 na vseh poročanih merilnih mestih po državah s ciljno vrednostjo EU (rdeča polna črta) ter smernico WHO (rdeča črtkana črta). Za vsako državo so prikazani minimum, maksimum, mediana ter 25. in 75. percentil.

4. Modelske ocene glede na nove standarde kakovosti zraka

Evropska unija za države članice predpisuje standarde kakovosti zunanjega zraka. Mejne vrednosti Evropske unije za kakovost zunanjega zraka so manj stroge od tistih v smernicah Svetovne zdravstvene organizacije. Kot je bilo že v Uvodu povedano je bila oktobra 2024 sprejeta revidirana Direktiva (EU) 2024/2881 o kakovosti zunanjega zraka in čistejšem zraku za Evropo, v kateri so med drugim predpisane strožje mejne vrednosti za določena onesnaževala. S tem bi se mejne vrednosti Evropske unije za kakovost zunanjega zraka približale tistim v smernicah Svetovne zdravstvene organizacije. Slovenija mora revidirano direktivo prenesti v svoj pravni red do 11. decembra 2026. Nove strožje mejne vrednosti je treba doseči do 1.1.2030.

Svetovna zdravstvena organizacija (WHO) je septembra 2021 izdala nove smernice o kakovosti zraka. Od leta 2005, ko so bile objavljene prejšnje smernice WHO o kakovosti zraka, so bile narejene številne raziskave, ki podajajo dokaze o tem kako onesnažen zrak deluje na zdravje ljudi. Nove smernice so nastale, kot posledica vse večje ogroženosti zdravja prebivalcev zaradi onesnaženega zraka. Raziskave ugotavljajo visoko stopnjo povezanosti kakovosti zraka z boleznimi srca in ožilja, dihalnimi obolenji, nevrološki obolenji, sladkorno boleznijo in težavami v reproduktivnem sistemu.

V tabeli 4.1 so zbrani standardi kakovosti, ki veljajo do 31.12.2029 in standardi kakovosti, ki bodo veljali po 1.1.2030 ter smernice Svetovne zdravstvene organizacije iz leta 2005 in leta 2021.

Za Slovenijo, velja, da je največji problem z onesnaženostjo zraka predvsem pozimi z delci in dušikovimi oksidi v kotlinah, ko pride do temperaturnega obrata in se onesnažen zrak dlje časa zadržuje ujet na ožjem področju. Zrak v Sloveniji največ onesnažujejo promet, individualna kurišča in industrija. Ozon je onesnaževalo, ki je problematično predvsem poleti. Ima bolj regionalne razsežnosti, kot onesnaženost z delci. Najvišje vrednosti so zabeležene na Primorskem in v višje ležečih krajih.

V nadaljevanju sledi pregled modelskih ocen s tehniko združevanja podatkov za onesnaževala, ki v Sloveniji predstavljajo težavo. Prikazani so rezultati za leto 2024. V prikazih se upoštevata dva standarda kakovosti, prvi po direktivi iz leta 2008, drugi standard kakovosti upošteva vrednosti revidirane direktive iz leta 2024, ki bodo stopile v veljavo v letu 2030. Modelske ocene, ki so višje od standarda kakovosti so obarvane rdeče.

Tabela 4.1: Priporočene WHO smernice kakovosti zraka za leto 2021, stare smernice iz leta 2005 [10], standardi kakovosti do 31.12.2029, ter standardi kakovosti po 1.1.2030.

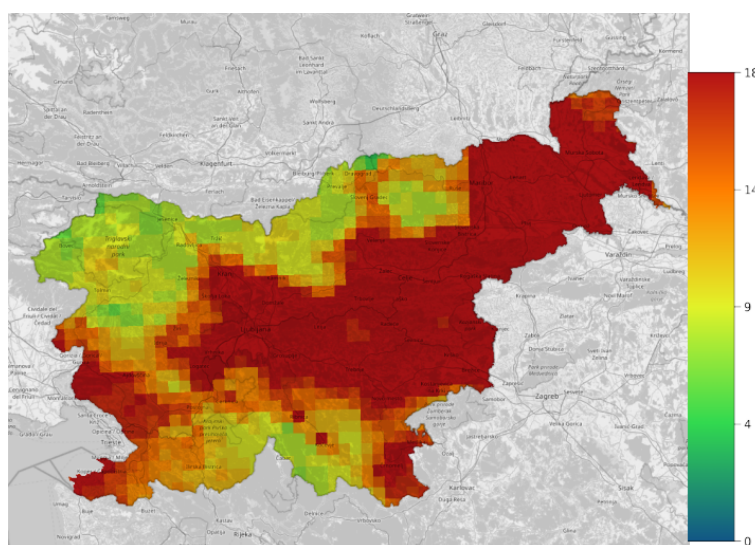
Onesnaževalo	Interval povprečenja	AQ direktiva (standardi kakovosti do 31.12.2029)	Revidirana AQ direktiva (standardi kakovosti po 1.1.2030)	WHO smernice 2005	WHO smernice 2021
PM _{2,5} (µg/m ³)	Koledarsko leto	20	10	10	5
	24 ur	-	25 (18 dovoljenih preseganj)	25 (*)	15 (*)
PM ₁₀ (µg/m ³)	Koledarsko leto	40	20	20	15
	24 ur	50 (35 dovoljenih preseganj)	45 (18 dovoljenih preseganj)	50 (*)	45 (*)
	Vrhunec sezone (**)	-	-	-	60
O ₃ (µg/m ³)	maksimalna dnevna 8-urna povprečna vrednost	100 (dolgoročno)	-	-	-
	maksimalna dnevna 8-urna povprečna vrednost	120 (25 dni dovoljenih preseganj, povprečno v 3 letih)	120 (18 dni dovoljenih preseganj, povprečno v 3 letih)	100 (*)	100 (*)
	Koledarsko leto	40	20	40	10
NO ₂ (µg/m ³)	24 ur	-	50 (18 dovoljenih preseganj)	-	25 (*)
	1 ura	200 (18 dovoljenih preseganj)	200 (1 dovoljeno preseganje)	200 (*)	200 (*)
	24 ur	125 (3 dovoljena preseganja)	50 (18 dovoljenih preseganj)	20 (*)	40 (*)
SO ₂ (µg/m ³)	10 minut	-	-	500	500
	1 ura	350 (24 dovoljenih preseganj)	350 (1 dovoljeno preseganje)	-	-
	maksimalna dnevna 8-urna povprečna vrednost	10	10	10	10
CO (mg/m ³)	24 ur	-	4	-	4
	1 ura	-	-	35	35
	15 minut	-	-	100	100
Benzen (µg/m ³)	Koledarsko leto	5	3,4	-	1,7
	Svinec (Pb) (µg/m ³)	0,5	0,5	-	0,5
	Arzen (As) (ng/m ³)	6	6	-	6,6
Kadmij (Cd) (ng/m ³)	Koledarsko leto	5	5	-	5
	Nikelj (Ni) (ng/m ³)	20	20	-	25
	Benzo(a)piren (ng/m ³)	1	1,0	-	0,12

* 99. percentil (dovoljeno je 3-4 preseganj mejne vrednosti na leto).

** Najvišje 6 mesečno drseče povprečje povprečne maksimalne dnevne 8-urne povprečne vrednosti v 6 zaporednih mesecih.

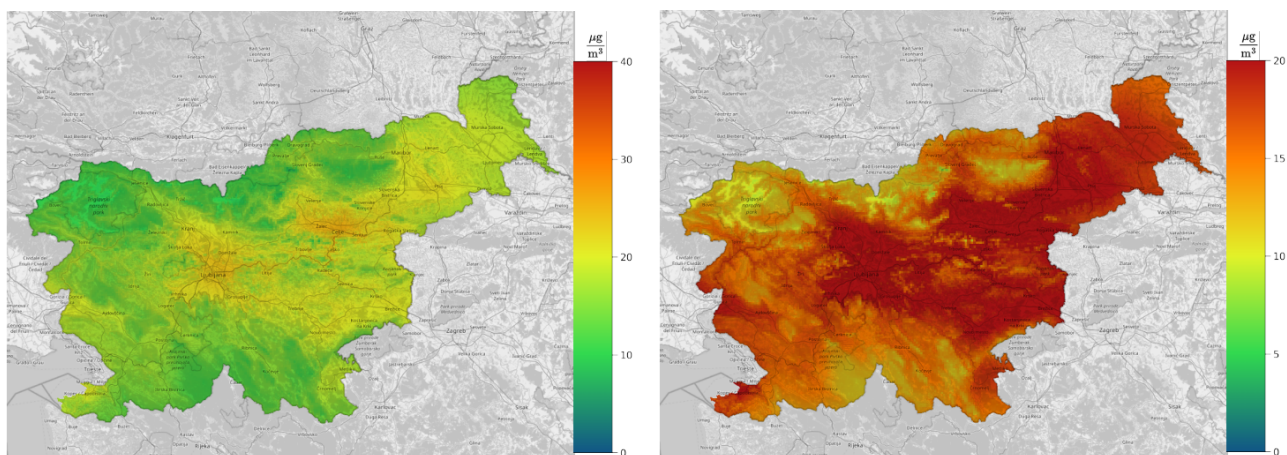
4.1 Delci PM₁₀ in PM_{2,5}

Za delce PM₁₀ sta predpisani dnevna in letna mejna vrednost. Za dnevno mejno vrednost je določeno tudi največje število preseganj v koledarskem letu. Na sliki 4.1 je prikazana modelska ocena števila preseganj mejne vrednosti v letu 2024 za onesnaževalo PM₁₀ upoštevajoč kriterije, ki bodo začeli veljati po 1.1.2030 (mejna letna vrednost 45 µg/m³ je lahko presežena 18-krat). Iz slike je razvidno, da bi bila kakovost zraka v večjem delu Slovenije neskladna z navedenimi kriteriji. Izjeme predstavljajo alpski svet, Pohorje ter gozdnata območja Kočevskega in Notranjske. V letu 2024 po kriterijih direktive iz leta 2008 ni bilo preseženo dovoljeno število preseganj dnevne mejne vrednosti na nobenem merilnem mestu v DMKZ.



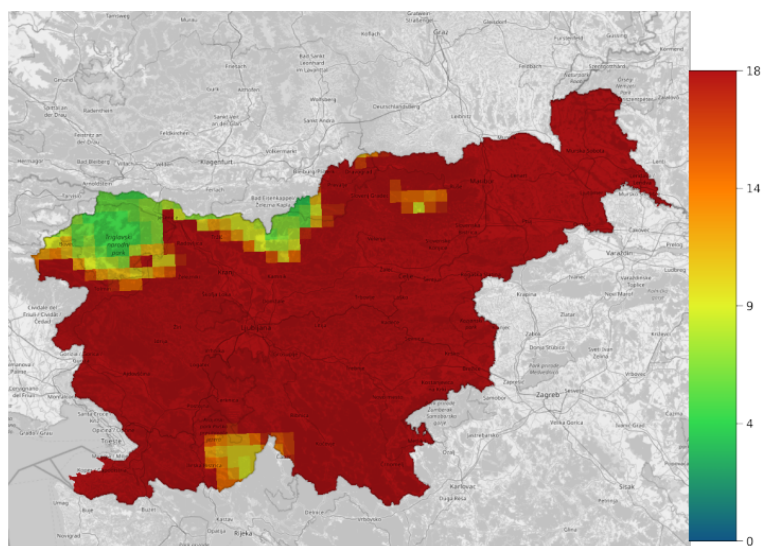
Slika 4.1: Prostorska porazdelitev modelske ocene števila preseganj mejne dnevne vrednosti delcev PM₁₀ (45 µg/m³) v letu 2024 glede na revidirano AQ direktivo.

Na sliki 4.2 je prikazana modelska ocena povprečne letne koncentracije onesnaževala PM₁₀ v letu 2024. Leva slika upošteva kriterij (40 µg/m³), ki velja do 31. 12. 2029, desna pa kriterij, ki bo veljal po 1. 1. 2030 (20 µg/m³). Razlika v obarvanosti z rdečo barvo, ki označuje neskladnost s standardi kakovosti zraka, kaže, da mejna vrednost trenutno ni presežena na nobenem območju Slovenije, medtem ko bi bila po letu 2030 presežena v večjem delu države.



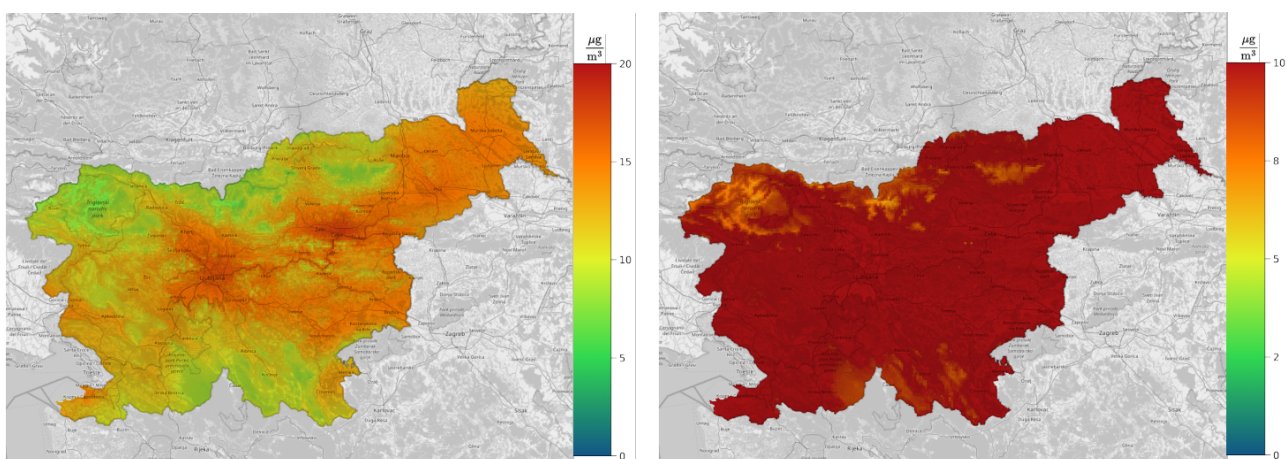
Slika 4.2: Prostorska porazdelitev modelske ocene povprečne letne vrednosti delcev PM_{10} v letu 2024 glede na AQ direktivo iz leta 2008 (levo) in revidirano AQ direktivo (desno). Rezultati modela CAMx so naknadno izboljšani z data fusion procesom z upoštevanjem nadmorske višine in naknadno vključitvijo meritev.

Za delce $\text{PM}_{2,5}$ je trenutno predpisana le letna mejna vrednost. Po letu 2030 pa bo tako kot pri delcih PM_{10} predpisana tudi dnevna mejna vrednost z določenim dovoljenim številom preseganj v koledarskem letu. Na sliki 4.3 je prikazana modelska ocena števila preseganj mejne vrednosti v letu 2024 za onesnaževalo $\text{PM}_{2,5}$ upoštevajoč kriterije, ki bodo začeli veljati po 1.1.2030 (mejna dnevna vrednost $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ je lahko presežena 18-krat). Iz slike je razvidno, da bi bila kakovost zraka v večjem delu Slovenije neskladna z navedenimi kriteriji.



Slika 4.3: Prostorska porazdelitev modelske ocene števila preseganj mejne dnevne vrednosti delcev $\text{PM}_{2,5}$ ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$) v letu 2024 glede na revidirano AQ direktivo.

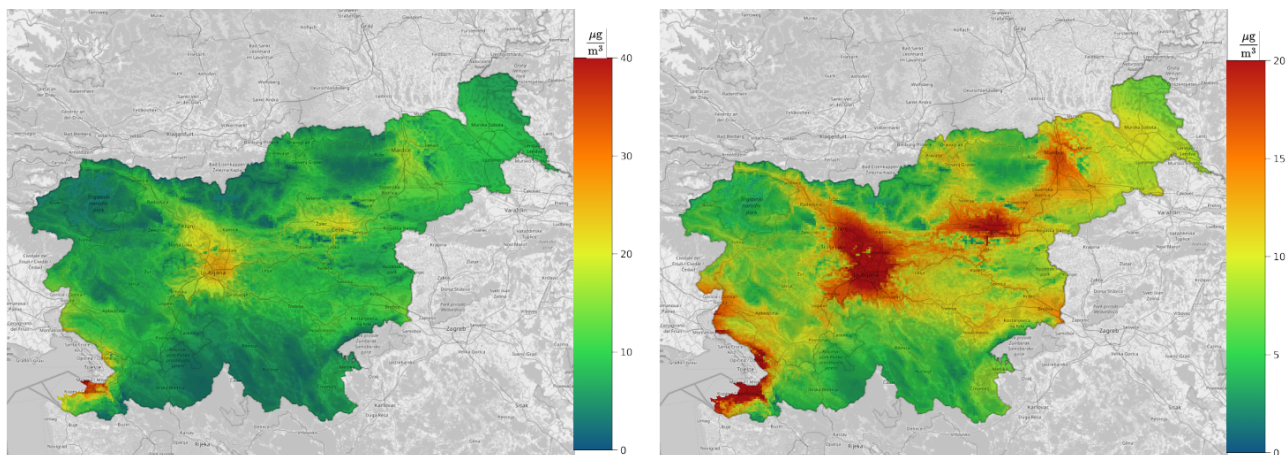
Na sliki 4.4 je prikazana modelska ocena povprečne letne koncentracije onesnaževala $\text{PM}_{2,5}$ v letu 2024. Leva slika upošteva kriterij ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$), ki velja do 31. 12. 2029, desna pa kriterij, ki bo veljal po 1. 1. 2030 ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Razlika v obarvanosti z rdečo barvo, ki označuje neskladnost s standardi kakovosti zraka, kaže, da bo mejna letna vrednost presežena povsod.



Slika 4.4: Prostorska porazdelitev modelske ocene povprečne letne vrednosti delcev $\text{PM}_{2,5}$ v letu 2024 glede na AQ direktivo iz leta 2008 (levo) in revidirano AQ direktivo (desno). Rezultati modela CAMx so naknadno izboljšani z data fusion procesom z upoštevanjem nadmorske višine in naknadno vključitvijo meritev.

4.2 Dušikov dioksid

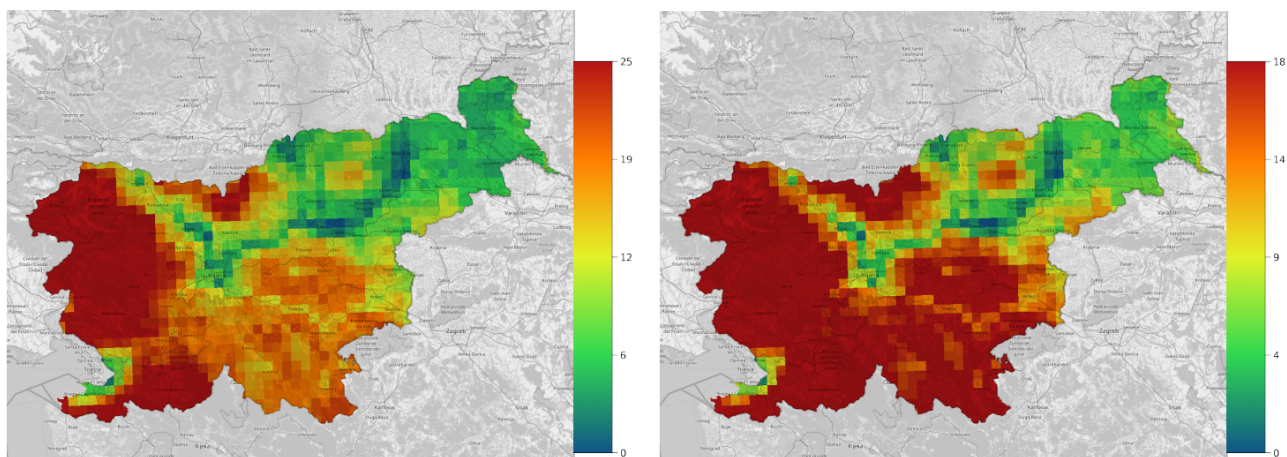
Na sliki 4.5 je prikazana modelska ocena povprečne letne vrednosti v letu 2024 za onesnaževalo NO₂. Leva slika upošteva kriterij (40 µg/m³), ki velja do 31. 12. 2029, desna pa kriterij, ki bo veljal po 1. 1. 2030 (20 µg/m³). Razlika v obarvanosti z rdečo barvo, ki označuje neskladnost s standardi kakovosti zraka, kaže, da bo mejna letna vrednost presežena ob obali ter v Ljubljanski in Celjski kotlini.



Slika 4.5: Prostorska porazdelitev modelske ocene povprečne letne vrednosti NO₂ v letu 2024 glede na AQ direktivo iz leta 2008 (levo) in revidirano AQ direktivo (desno). Rezultati modela CAMx so naknadno izboljšani z data fusion procesom z upoštevanjem nadmorske višine in naknadno vključitvijo meritev.

4.3 Ozon

Na sliki 4.6 je prikazana modelska ocena števila preseganj ciljne vrednosti v letu 2024 za one-snaževalo O₃. Osemurna ciljna vrednost po direktivi iz leta 2008 in revidirani direktivi o kakovosti zraka znaša 120 µg/m³, pri čemer se razlikujeta po dovoljenem številu preseganj. Po direktivi iz leta 2008 je v triletnem povprečju dovoljenih največ 25 preseganj, po revidirani direktivi pa 18. Na sliki 4.6 so prikazani podatki le za leto 2024. Iz prikazanih rezultatov je razvidno, da je kakovost zraka glede ozona trenutno neskladna v večjem delu zahodne Slovenije (leva slika), ob upoštevanju kriterijev revidirane direktive pa bi se območje neskladnosti razširilo tudi na jugovzhodni del države (desna slika).



Slika 4.6: Prostorska porazdelitev modelske ocene števila preseganj dolgoročne ciljne dnevne vrednosti dnevnih maksimumov 8-urnih drsečih povprečij O₃ (120 µg/m³) v letu 2024 glede na AQ direktivo iz leta 2008 (levo) in revidirano AQ direktivo (desno).

5. Izboljšanje napovedi kakovosti zraka z uporabo CAMS produktov - Sodelovanje v nacionalnem programu CAMS

Sektor za kakovost zraka je s 1.6.2024 začel z 18 mesečnim sodelovanjem s Službo za spremljanje atmosfere – Copernicus (v nadaljevanju CAMS), ki je del Evropskega centra za srednjeročne vremenske napovedi (v nadaljevanju ECMWF) v okviru sporazuma NCP – National Colaboration Project. Namen sodelovanja je podpreti države članice Evropske unije pri doseganju večje uporabnosti CAMS produktov pri izvajanju njihovih vsakodnevnih nalog na področju kakovosti zraka. Podpora se nanaša na uporabo CAMS produktov na nacionalni, regionalni in celo lokalni ravni za potrebe izvajanja zakonskih predpisov in informiranja javnosti. Aktivno sodelovanje CAMS z državami članicami omogoča članicam sooblikovanje novih izdelkov in zagotavlja podporo pri poročanju podatkov. V okviru sodelovanja je bila opravljena analiza emisijskih evidenc s pomočjo orodij FAIRMODE; analizirali smo MOS napovedi na lokacijah merilnih mest v Sloveniji v letu 2024; za izbrane epizode onesnaženosti smo primerjali različne modelske napovedi; ovrednotili smo CAMS napovedi gozdnih požarov na območju Slovenije ter izboljšali kemijske robne pogoje modelskega sistema ALADIN-CAMx.

5.1 Primerjava emisijske evidence

Sektor za kakovost zraka za potrebe modeliranja pripravlja svojo emisijsko evidenco. Evidenca sledi pristopu od spodaj navzgor in vključuje naslednje sektorje: A – javna oskrba z energijo, B – industrija, C – mala kurišča, E – topila, F – cestni promet, K – kmetijstvo in živinoreja, L – drugo kmetijstvo, D – ubežne emisije, H – letalstvo, I – izven cestna mehanizacija in J – odpadki. Za potrebe modeliranja skušamo pridobiti podatke na manjših prostorskih mrežah, najmanj 12,5 × 12,5 metra, za večja mesta (Ljubljana, Maribor, Celje in Koper) ter 25 × 25 metrov za druga območja Slovenije. Poskušamo oceniti čim več onesnaževal, osredotočamo pa se na glavna onesnaževala SO_x, NO_x, PM_{2,5}, PM₁₀, NMVOC, NH₃ itd.

CAMS razvija globalne emisijske evidence dostopne v repozitoriju Atmosphere Data Store. Po poročilu "CAMS2_61 Global and European emission inventories" [11] je evidenca emisij zasnovana na emisijah, ki jih evropske države poročajo v okviru UNFCCC za toplogredne pline in EMEP/CEIP za onesnaževala zraka. Zaradi različne ravni podrobnosti pri poročanju med onesnaževali zraka in toplogrednimi plini je bilo v določenih primerih potrebno združevanje oziroma razdruževanje podatkov,

da se sektorji med onesnaževali in državami uskladijo.

Ena ključnih prednosti nacionalne emisijske evidence je doslednost v metodologiji in vhodnih podatkih pri primerjavah skozi daljša zgodovinska obdobja. V idealnem primeru bi morala evidenca temeljiti na najbolj zanesljivih razpoložljivih vhodnih podatkih. Nasprotno pa ima emisijska evidenca, namenjena modeliranju, kot je evidenca ARSO, prednost, da lahko uporablja vse razpoložljive nize podatkov ter naprednejše metode za oceno emisij z boljšo prostorsko in časovno ločljivostjo. Razvijalci evidence ARSO niso pod strogim časovnim pritiskom, zato imajo možnost temeljitejše validacije novih podatkov in rezultatov. V okviru naloge CAMS smo primerjali emisijsko evidenco ARSO z emisijsko evidenco CAMS za leti 2016 in 2018, pri čemer smo uporabili orodje »Composite Mapping«, ki je dostopno na spletni strani Fairmode. Orodje »Composite Mapping« omogoča tri tehnike primerjave: pregled nedoslednosti, prednostne nedoslednosti in diamantni graf.

Za vsako onesnaževalo metoda preverja skladnost evidenc v treh vidikih:

1. skupne emisije onesnaževal (FAS);
2. skupne emisije razporejene po sektorjih (LPT);
3. prostorska razporeditev onesnaževal (LSS)

Primerjava evidenc kaže, da je emisijska evidenca ARSO v letu 2018 bolj usklajena z emisijsko evidenco CAMS, saj je bilo ugotovljenih le osem neskladij. Nasprotno pa podatki za leto 2016 razkrivajo 14 neskladij, predvsem zaradi regionalnih razlik.

S sektorskega vidika je bilo v industrijskem sektorju ugotovljenih osem neskladij v letu 2018 in šest v letu 2016. To je predvsem posledica razlik v metodologiji med emisijskima evidencama ARSO in CAMS. Evidenca ARSO vključuje samo izmerjene emisije, ki so zabeležene v bazi REMIS (slovenska baza izmerjenih dimniških emisij). Nasprotno pa evidenca CAMS združuje tako izmerjene emisije kot emisije, izračunane na podlagi emisijskih faktorjev, vezanih na količino proizvodnje ali porabo goriva. Te metodološke razlike pojasnjujejo pomembno neskladje pri SO₂ in PM. Vendar je treba poudariti, da so emisije SO₂ na nacionalni ravni razmeroma nizke, zato to neskladje ni tako bistveno. Prostorsko neskladje je predvsem posledica tega, da evidenca CAMS uporablja bolj grobo prostorsko razporeditev kot je poročana v nacionalnih evidencah, posledično je težje doseči enako prostorsko ločljivost.

Tabela 5.1: Prikaz števila neskladij med CAMS–2016 in CAMS–2018, primerjana z emisijskimi evidencami ARSO "od spodaj navzgor" za Slovenijo, po sektorjih GNFR, onesnaževalih in kategorijah v letih 2016 in 2018.

	CAMS/ARSO – 2016	CAMS/ARSO – 2018
Onesnaževala		
NH ₃	1	1
NMVOC	/	1
NO _x	1	/
PM _{2.5}	/	/
SO ₂	3	1
PM _{coarse}	9	5
Sektorji		
GNFRAB – industrija	8	6
GNFRE – ubežne emisije	/	1
GNFRF – promet	5	/
GNFRC – mala kurišča	/	/
GNFRKL – kmetijstvo	1	1
Kategorije		
FAS – onesnaževala	5	7
LPT – sektorji	/	/
LSS – prostorska razporeditev	9	1

5.2 MOS orodje

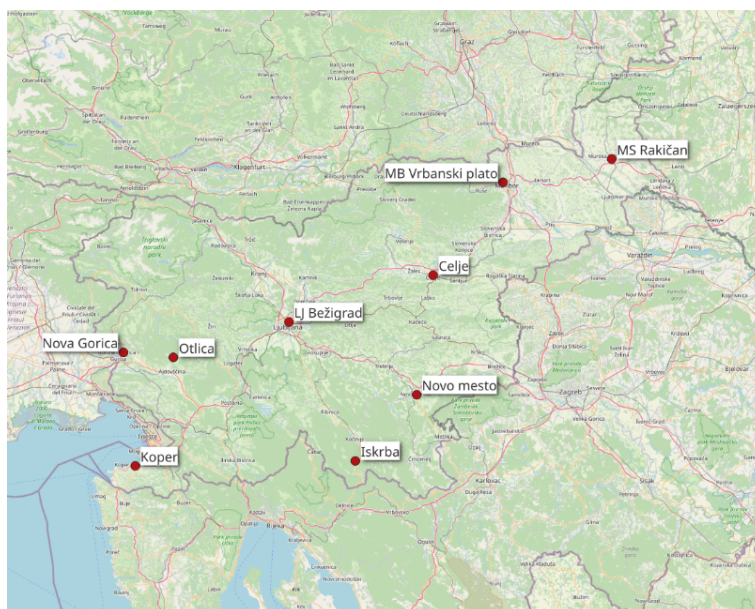
Za zmanjšanje negotovosti modelov in združevanje modelskih rezultatov z izmerjenimi vrednostmi se uporabljajo različna orodja. CAMS ponuja orodje MOS (Model Output Statistic), ki statistično združuje podatke s pomočjo strojnega učenja na način, da modelske rezultate na lokacijah merilnih mest popravi glede na izmerjene meteorološke spremenljivke in izmerjene vrednosti onesnaževal. V okviru te naloge smo uporabili orodje MOS na lokacijah merilnih mest v Sloveniji ter rezultate primerjali z rezultati modela CAMx in rezultati regionalnega modela CAMS-REG (napoved RAW).

Model CAMx (Comprehensive Air Quality Model with Extensions) je Eulerjev fotokemijski disperzijski model, ki ga operativno uporablja ARSO za napovedovanje kakovosti zraka. Model temelji na meteoroloških vhodnih podatkih modela ALADIN/SI s horizontalno ločljivostjo 4,4 km × 4,4 km in 270 × 210 točkami mreže na 68 vertikalnih nivojih. Kemijske robne pogoje za koncentracije onesnaževal (kemijski modul SAPRC07TC) zagotavlja globalni model CAMS. Model CAMx dnevno zagotavlja 48-urne napovedi koncentracij onesnaževal (kot so PM₁₀, PM_{2,5} in ozon) ter se uporablja tudi za analize scenarijev in podporo pri postopkih vezanih na zakonodajo.

CAMS (Copernicus Atmosphere Monitoring Service) zagotavlja regionalne 96-urne napovedi kakovosti zraka za ključna onesnaževala, kot so ozon (O₃), dušikov dioksid (NO₂), žveplov dioksid (SO₂) ter delci PM₁₀ in PM_{2,5}. Gre za večmodelni sistem, ki združuje rezultate enajstih najsodobnejših modelov za prenos onesnaževal, razvitih in upravljanih s strani vodilnih Evropskih raziskovalnih institucij. Ti modeli so CHIMERE (Francija), DEHM (Danska), EMEP (Norveška), EURAD-IM (Nemčija), GEM-AQ (Poljska), LOTOS-EUROS (Nizozemska), MATCH (Švedska), MINNI (Italija), MOCAGE (Francija), MONARCH (Španija) in SILAM (Finska). Rezultati so na voljo na mreži s horizontalno ločljivostjo približno 10 km × 10 km.

CAMS MOS (Model Output Statistics) je statistični sistem za naknadno obdelavo rezultatov modelov, ki ga je razvil CAMS. Namenjen je izboljšanju napovedi ansambla CAMS za ključna onesnaževala, kot so ozon (O_3), dušikov dioksid (NO_2) ter delci PM_{10} in $PM_{2,5}$. Sistem uporablja pretekle meritve s postaj za spremljanje kakovosti zraka po vsej Evropi v kombinaciji z ustreznimi modelskimi napovedmi za razvoj korekcijskih algoritmov, ki se nato uporabljajo za izdelavo 96-urnih MOS napovedi v realnem času. Te napovedi so na voljo le za nekatere merilne postaje v Sloveniji.

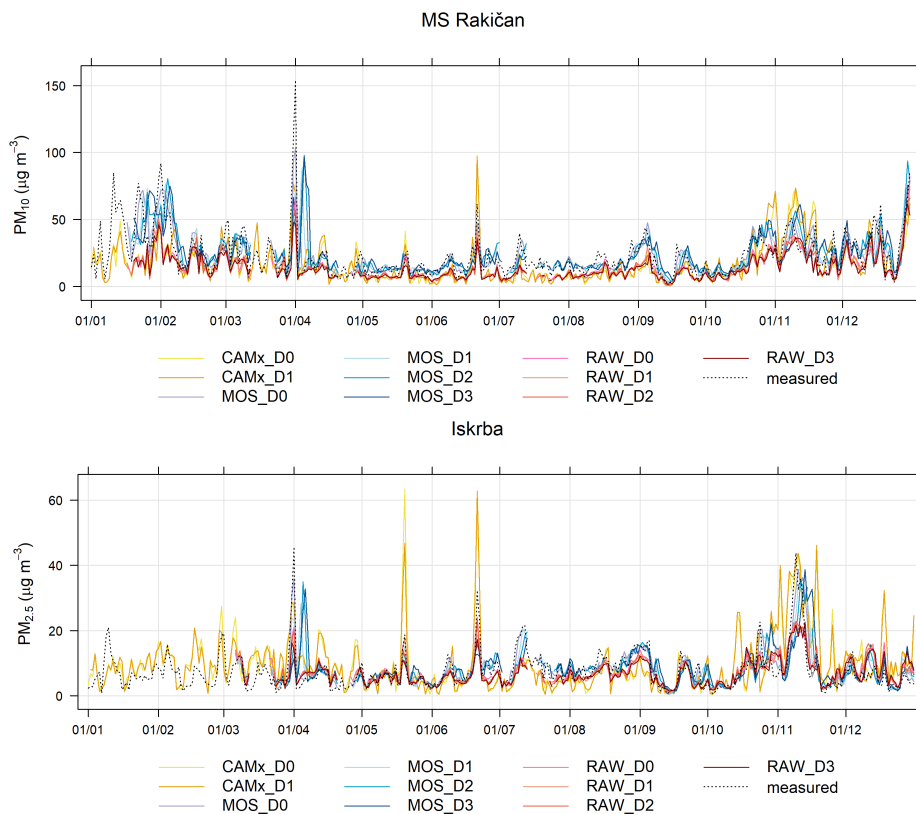
Analiza podatkov je bila narejena na urnih vrednostih. Uporabljen je bil časovni prikaz, raztreseni diagram, Taylorjev diagram ter statistična analiza podatkov. Za primerjavo podatkov je bil uporabljen časovni prikaz izmerjenih in napovedanih urnih vrednosti, ki razkrivajo splošne značilnosti posameznih modelov in ponujajo vpogled v delovanje posameznih modelov na različnih merilnih mestih. Raztresni diagrami omogočajo kvalitativno oceno uspešnosti napovedi v različnih razponih koncentracij, kar olajša presojo natančnosti modela zlasti pri najvišjih izmerjenih in napovedanih vrednostih. Taylorjevi diagrami ponazarjajo sočasno spreminjanje treh dopolnjujočih se statističnih kazalnikov uspešnosti modela: korelacijskega koeficienta (r), standardnega odklona (SD) in srednje kvadratne napake ($RMSE$). Ti kazalniki so zaradi svoje matematične povezanosti lahko prikazani skupaj na enem dvodimenzionalnem grafu. Diagram omogoča strnjeno vizualno primerjavo med napovedmi modelov in izmerjenimi podatki ter omogoča hiter pregled uspešnosti posameznih napovednih sistemov. Statistični kazalniki, uporabljeni v tej aktivnosti za primerjavo napovedi modelov z izmerjenimi podatki vključujejo: delež napovedi znotraj faktorja dva ($FAC2$), povprečni odmik (MB), povprečno absolutno napako (MGE), normirani povprečni odmik (NMB), normirano absolutno napako ($NMGE$), srednjo kvadratno napako ($RMSE$), korelacijski koeficient (r), koeficient učinkovitosti (COE) in indeks ujemanja (IOA).



Slika 5.1: Lokacije merilnih mest v Sloveniji, za katera so na voljo MOS napovedi kakovosti zraka za vsaj eno onesnaževalo.

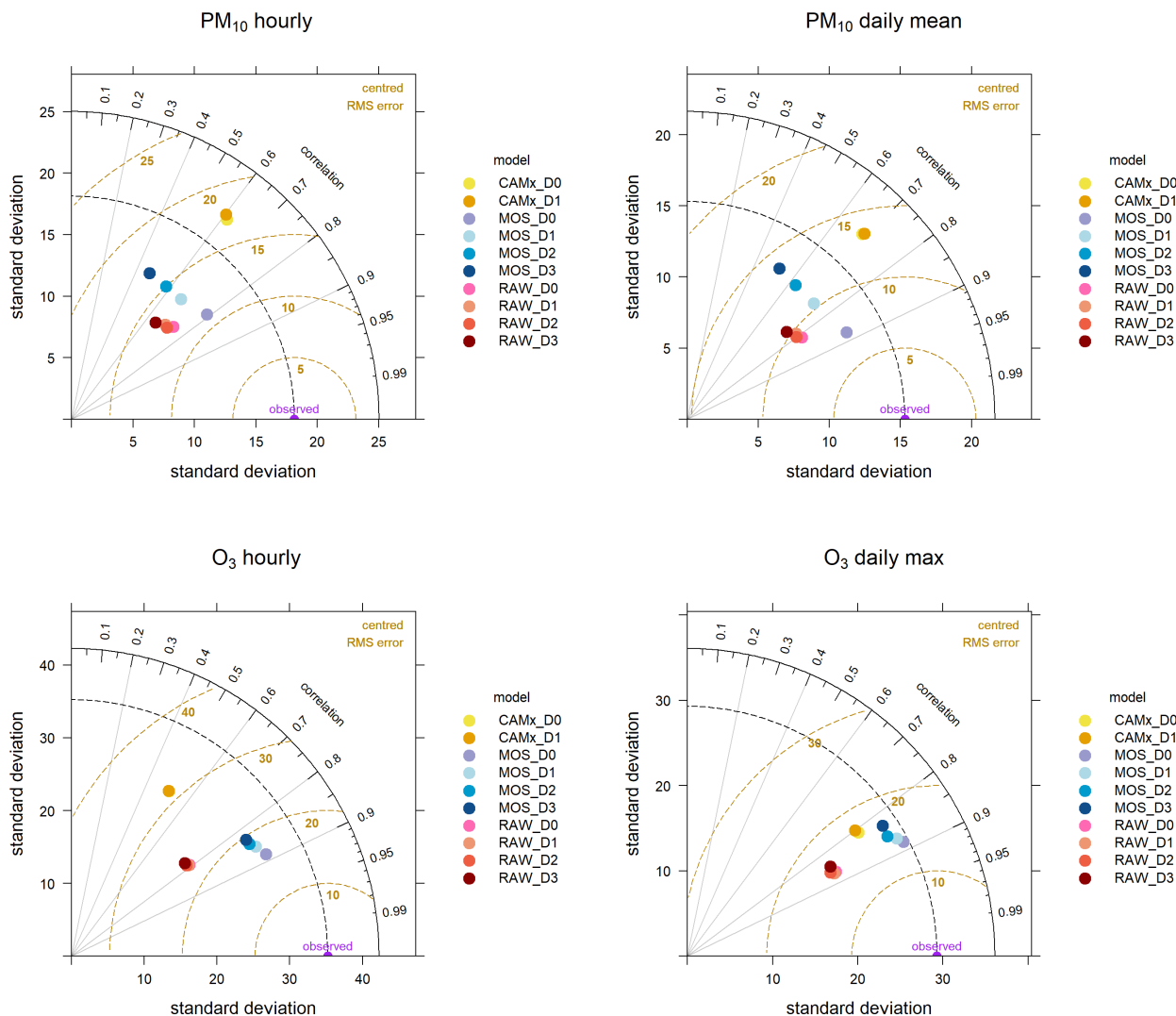
Primerjava različnih napovedi z izmerjenimi podatki, zbranimi na vseh slovenskih merilnih postajah,

je pokazala, da so napovedi CAMS MOS skoraj vedno natančnejše od napovedi CAMS RAW ali modela CAMx. To še posebej velja za napoved MOS D0 oziroma za 24 urno napoved. Pri delcih PM_{10} in $PM_{2,5}$ so lahko dolgoročnejše MOS napoved, torej napovedi za 48 ur, 72 ur ali 96 ur naprej (D1, D2 in D3) po statističnih merilih manj natančne kot napovedi RAW in/ali CAMx.



Slika 5.1: Primeri časovnih prikazov, ki primerjajo dnevne napovedi MOS, RAW (regionalni model CAMS) in CAMx z izmerjenimi podatki za dnevne srednje vrednosti PM_{10} in $PM_{2,5}$, izračunane iz urnih vrednosti.

Pri analizi posameznih postaj se občasno pojavijo primeri, ko so MOS napovedi manj natančne za določena onesnaževala – na primer povprečni odmik za dnevne maksimume O_3 na skoraj vseh merilnih mestih. Vendar pa za večino statističnih kazalnikov in postaj velja, da je vsaj napoved MOS D0 boljša od vseh drugih napovedi.



Slika 5.2: Taylorjevi diagrami, ki primerjajo centrirano $RMSE$, standardni odklon in korelacijski koeficient za različne modele za PM_{10} in O_3 . Dnevne vrednosti so izračunane iz izmerjenih in napovedanih urnih vrednosti.

Rezultati tega sklopa projekta kažejo, da je vsaj napoved MOS D0 lahko uporaben dodaten pripomoček pri izdajanju dnevnih napovedi PM_{10} . Vse MOS napovedi je treba uporabljati z razumevanjem njihovih značilnosti, na primer časovni zamik pri napovedovanju epizod s povišanimi vrednostmi PM_{10} ter sistematično podcenjevanje dnevnih maksimumov O_3 na številnih merilnih mestih v Sloveniji.

Na podlagi te naloge smo vzpostavili dnevno napoved MOS, ki nam je v pomoč pri napovedi kakovosti zraka, predvsem za delce PM_{10} v primeru 24-urne napovedi.

5.3 Primerjava napovedi modelov MOS, CAMx in CAMS na izbranih epizodah

V okviru te naloge je bila izvedena primerjalna analiza različnih modelov za napovedovanje kakovosti zraka – CAMx, CAMS-REG in CAMS MOS – z namenom ocene njihove učinkovitosti med izbranimi epizodami delcev PM v Sloveniji. Napovedi so bile ocenjene na podlagi urnih podatkov 23

merilnih postaj. Za analizo podatkov je bil uporabljen časovni prikaz, raztreseni diagram, Taylorjev diagram ter statistična analiza podatkov.

Izbrane epizode so bile naslednje:

1. Epizoda delcev PM I: 25. december 2024 – 3. januar 2025

Slovenija je med 25. decembrom 2024 in začetkom januarja 2025 doživela izrazito epizodo onesnaženosti zraka z delci PM₁₀. To obdobje je zaznamovala izrazita temperaturna inverzija, šibki vetrovi ter pogosta megla oziroma nizka oblačnost, zlasti v kotlinah in dolinah vzhodne ter osrednje Slovenije. Takšne meteorološke razmere so značilne za zimska obdobja onesnaženja, ko onesnaževala zaradi omejene možnosti mešanja ostanejo ujeta v majhnem zračnem volumnu nad urbanih območji v razgibanem reliefu. V zadnjem tednu decembra so koncentracije PM₁₀ več dni presegale dnevno mejno vrednost 50 µg/m³ na merilnih mestih, ki se nahajajo v urbanih kotlinah in dolinah celinske Slovenije.

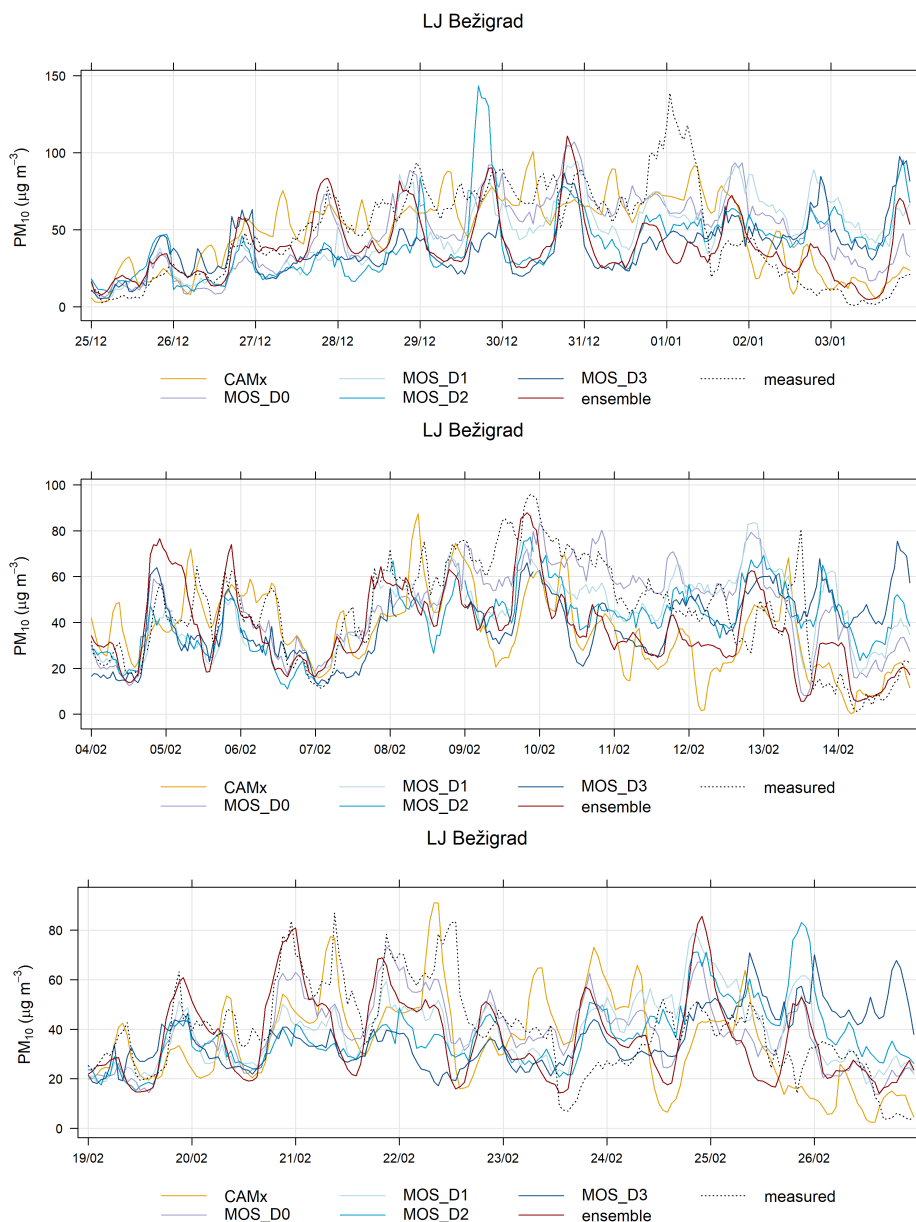
2. Epizoda delcev PM II: 4.–13. februar 2025

Naslednja epizoda povišanih koncentracij delcev PM₁₀ se je pojavila med 4. in 13. februarjem 2025, takrat so bile najvišje vrednosti zabeležene predvsem v osrednji in deloma severovzhodni Sloveniji. Epizoda je bila za zimski čas nekoliko netipična. Temperaturne inverzije niso bile posebej izrazite, vendar so stabilne razmere v atmosferi vseeno omejevale vertikalno mešanje zraka, kar je omogočilo postopno kopičenje onesnaževal v bližini tal na širšem območju celinske Slovenije. Severovzhodni deli države in obala so bili manj prizadeti zaradi nekoliko ugodnejših pogojev za redčenje onesnaževal.

3. Epizoda delcev PM III: 19.–26. februar 2025

Tretja izbrana epizoda onesnaženosti zraka z delci PM₁₀ je potekala med 19. in 26. februarjem 2025, v meteoroloških razmerah, ki so jih zaznamovali sončno vreme, suh zrak pri tleh in toplejši zrak v višjih plasteh ozračja. Gre za še en značilen zimski scenarij onesnaženja zraka v Sloveniji. V prvih treh dneh so se ponoči temperature na večini merilnih mest spustile pod –5 °C, kar je povzročilo izrazita jutranja in večerna povišanja ravni delcev PM₁₀. Čez dan se je segrelo, kar je prehodno izboljšalo vertikalno mešanje zraka. V drugi polovici epizode so kljub dotoku toplejšega in bolj vlažnega zraka pri tleh ter v višjih plasteh vztrajale plasti inverzije, ki so omejevale redčenje onesnaževal.

Analiza PM₁₀ je pokazala, da model CAMx tekom epizod dosledno zagotavlja najnatančnejše napovedi, če jih ocenjujemo za vse postaje in obdobja skupaj, kar je predvsem posledica njegove višje prostorske ločljivosti in podrobnejšega upoštevanja razgibanega reliefa v Sloveniji. Posamezni modeli CAMS, kot sta DEHM in SILAM, pa prav tako izkazujejo primerljivo dobro učinkovitost pri več ključnih kazalnikih, zlasti pri RMSE, korelaciji in indeksih ujemanja. V zmanjšanem naboru podatkov, ki vključuje tudi napovedi MOS, model MOS_D0 jasno presega vse druge modele, medtem ko DEHM, EMEP, SILAM in CAMS ensemble tudi dosegajo dobre rezultate pri posameznih statističnih kazalnikih.



Slika 5.2: Časovni prikazi rezultatov modelov CAMx, CAMS ensemble in MOS z izmerjenimi urnimi podatki PM_{10} na postaji Ljubljana Bežigrad med tremi epizodami PM I, PM II in PM III (od zgoraj navzdol).

5.4 Analiza CAMS napovedi gozdnih požarov

CAMS ansambel regionalnih modelov kakovosti zraka med drugim simulirana tudi gozdne požare. Oceno emisij gozdnih požarov zagotavlja CAMS GFAS (Global Fire Assimilation System) na podlagi satelitskih podatkov, ki zaznavajo sevalno moč požara, povezano s hitrostjo izgorevanja biomase. Modelske napovedi smo analizirali za primer požara na Krasu v juliju 2022 za vse modele, ki sestavljajo CAMS ansambel.

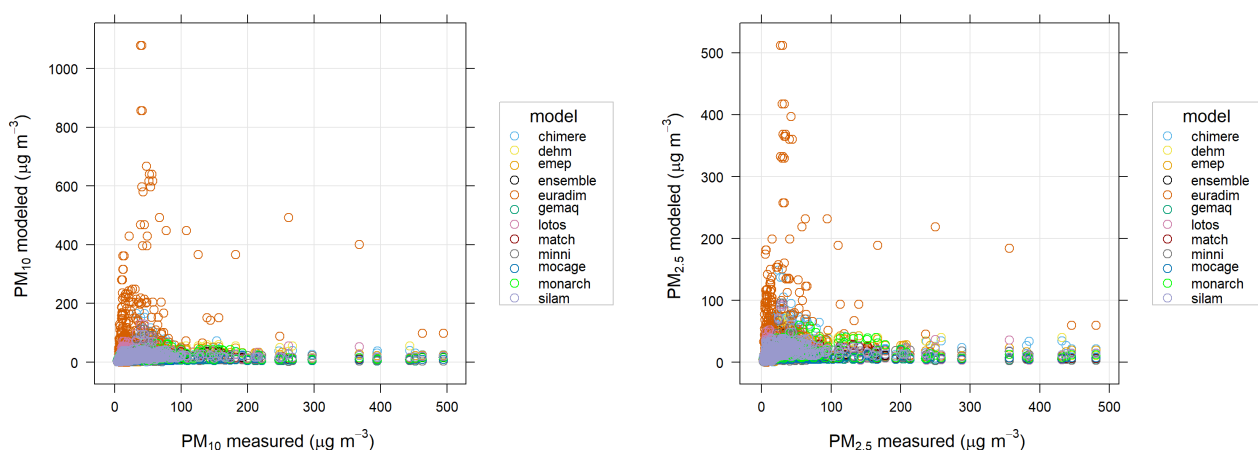
S kvalitativnega vidika so tako mediana ansambla CAMS kot tudi nekateri posamezni modeli uspeli približno napovedati potek dogodkov med epizodo. Vendar je le nekaj modelov v ansamblu pravilno napovedalo širjenje emisij iz požarov v smeri, kjer so bile v določenih časovnih obdobjih izmerjene

najvišje koncentracije. Tudi v teh primerih pa kvantitativne analize kažejo, da modeli na lokacijah merilnih postaj niso nujno zaznali povišanja koncentracij.

Primerjava rezultatov posameznih modelov je razkrila nekaj nepričakovanih značilnosti, ki zahtevajo nadaljnjo obravnavo. Na primer, vsi modeli naj bi uporabljali enake vhodne podatke o emisijah požarov. Kljub temu so pri nekaterih modelih emisije PM iz požarov prisotne že v prvih dveh dneh epizode, čeprav so emisije GFAS v modelih na voljo z dvodnevno zamudo. V teh prvih dneh se onesnaženje zaradi požarov pojavlja na premaknjenem območju nad Jadranskim morjem, ne pa neposredno nad območjem požara. Poleg tega dva modela emisij iz požarov ne zaznata do tretjega oziroma četrtega dne po začetku požara, vendar od takrat naprej dobro simulirata širjenje emisij. Druga anomalija je, da en izmed modelov v ansamblu kaže bistveno višje koncentracije delcev PM kot drugi. Dva modela pa simulirata potek epizode na povsem drugačen način, z rezultati, ki se bistveno razlikujejo tako od meritev kot od napovedi drugih modelov.

Statistična ocena rezultatov modelov je pokazala zelo slabo ujemanje z meritvami za vse modele. Modeli, ki so se najboljše izkazali v kvalitativnem smislu, so imeli tudi najboljše (čeprav še vedno šibke) statistične kazalnike ujemanja. Na podlagi rezultatov analiz so med posameznimi modeli ansambla EMEP, SILAM in CHIMERE potencialno najprimernejši kandidati za prikaz napovedi širjenja onesnaženja iz požara - odvisno tudi od vzrokov za napake ostalih modelov in možnosti njihovega izboljšanja.

Na splošno vsi modeli (z izjemo EURAD-IM, ki kaže nerealno visoke koncentracije) močno podcenjujejo izmerjene ravni onesnaženja zaradi požarnih emisij in zato niso primerni za zanesljive kvantitativne napovedi vpliva požarov na kakovost zraka v Sloveniji. Trenutne napovedi požarov CAMS imajo zgolj potencialno kvalitativno uporabno vrednost pod določenimi pogoji. Prvi pogoj je, da mora biti požar dovolj velik, da je ga je možno zaznati v prostorski ločljivosti $0,1^\circ$. Drugi pogoj je, da mora požar trajati dovolj dolgo, da se nevtralizira vpliv dvodnevne zamude pri vključevanju emisij v modele. Oba pogoja sta pri požarih v Sloveniji redko izpolnjena, saj je bil analizirani požar julija 2022 največji v zgodovini države, pa je komaj dosegal zahtevane pogoje.



Slika 5.3: Rastresni diagrami, ki primerjajo izmerjene in napovedane urne vrednosti PM_{10} in $PM_{2,5}$ za različne modele.

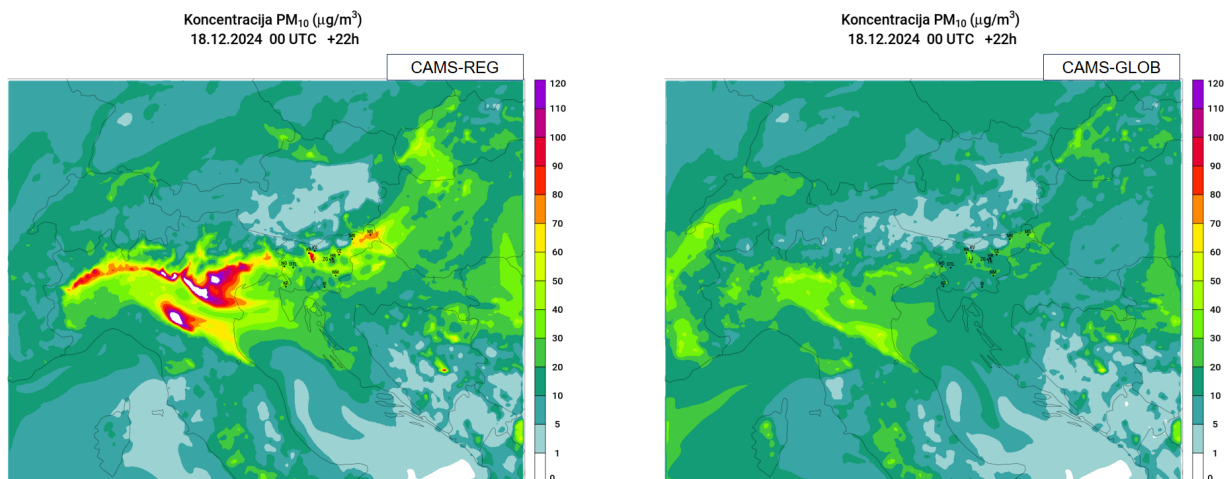
5.5 Izboljšanje kemijskih robnih pogojev modelskega sistema ALADIN-CAMx

Ena izmed razvojnih nalog je bila izboljšanje ločljivosti robnih pogojev CAMx modela z napovedmi mediane ansambla CAMS-REG. Na Agenciji za analize in napovedi kakovosti zraka uporabljamo fotokemijski disperzijski model CAMx, sklopljen z operativnim meteorološkim modelom ALADIN-SI. Kemijski robni pogoji modela so trenutno vzeti iz 5-dnevnih napovedi globalnega CAMS modela (IFS-Chem) v 3 urni ločljivosti. Ker pa je prostorska ločljivost globalnega modela pregroba v primerjavi s konfiguracijo modela CAMx, smo v okviru tega sklopa za kemijske robne pogoje modela CAMx poskusno uporabili napovedi mediane regionalnega ansambla CAMS-REG v prostorski ločljivosti $0,1^\circ$ (10 km), ki bolj ustreza operativni ločljivosti modela CAMx ($4,4\text{ km}$).

Ugotovili smo, da CAMS-REG trenutno vsebuje zgolj osnovne spojine kot so VOC, PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$, $\text{PM}_{2,5_{res}}$, SIA. Za sklopitev robnih pogojev CAMS-REG z nacionalnim ALADIN-CAMx modelskim sistemom pa potrebujemo celoten nabor spojin, kot to omogoča globalni model CAMS. Posledično je bilo potrebno pripraviti pretvorbo posameznih spojin med različnimi kemijskimi mehanizmi CAMS-REG in CAMx.

Prav tako CAMx vsebuje 68 nivojev, ki potekajo do višine 14 km v troposferi. Modelski nivoji so bolj zgoščeni v nižjih slojih (20 nivojev do 1 km višine). Število navpičnih ravni v CAMS-REG je trenutno premajhno, da bi zadostilo potrebam CAMx. Za zagotovitev ustreznega števila nivojev je bila potrebna dodatna interpolacija.

Trenutno je sklopitev ALADIN/CAMx s CAMS-REG še v testnem zagonu, saj želimo preveriti tudi sklopitve sistema ALADIN/CAMx s posameznim izbranim modelom v ansamblu, ki ima kot rezultat večji nabor spojin ter za sklopitev na voljo več višinskih nivojev.



Slika 5.4: Primerjava rezultatov PM_{10} z upoštevanjem CAMS-REG (levo) in CAMS-GLOB (desno) robnimi pogoji v disperzijskem sistemu ALADIN/CAMx za krajše zimsko obdobje v letu 2024.

6. Merilna negotovost

Za spremljanje kakovosti zunanjega zraka se uporabljajo avtomatski merilniki, ki kontinuirano določajo ravni onesnaževal. Ti merilniki na podlagi različnih merilnih metod v realnem času zagotavljajo sprotne podatke o stanju kakovosti zraka. Za zagotovitev zanesljivosti in sledljivosti teh podatkov je ključno, da merilni sistemi delujejo v okviru opredeljenih tehničnih zahtev. Eden izmed parametrov za oceno njihove ustreznosti in kakovosti delovanja je merilna negotovost, katere mejno vrednost predpisujejo standardi.

V praksi ima vsaka meritev določene nepopolnosti, ki povzročajo napako v rezultatu. Napako obravnavamo kot sestavljeno iz dveh komponent: naključne komponente in sistematične komponente. Naključna napaka običajno izvira iz nepredvidljivih ali naključnih vplivov in se kaže kot variacije v ponovljenih opazovanjih istega merjenja pod navidezno enakimi pogoji. Te napake ni mogoče odpraviti, vendar jo je mogoče zmanjšati s številom meritev. Po drugi strani sistematične napake izhajajo iz ponovljivih in predvidljivih vplivov, kot so odstopanja v kalibraciji, okoljski vplivi ali nepravilnosti v instrumentih, ki jih do neke mere lahko odpravimo z ustreznimi popravki. Merilna negotovost vključuje vse identificirane prispevke k rezultatu, tako iz naključnih kot tudi sistematičnih vplivov.

Merilna negotovost je torej parameter, ki podaja oceno razpršenosti vrednosti, ki bi jih bilo mogoče razumno pripisati merjeni veličini. Povezana je z rezultatom meritve, in izraža stopnjo negotovosti, s katero lahko zaupamo dobljeni vrednosti kot približku dejanske vrednosti.

6.1 Merilna negotovost avtomatskih merilnikov plinastih onesnaževal

Pri meritvah žveplovega dioksida, ozona, ogljikovega monoksida, dušikovih oksidov ter benzena v zunanjem zraku je rezultat odvisen od več prispevkov negotovosti, ki sestavljajo celotno merilno negotovost. V takih primerih standardno negotovost rezultata predstavlja kombinirana standardna negotovost, ki upošteva znane delne prispevke, ki se imenujejo standardne negotovosti. Te se ovrednoti na podlagi parametrov primernosti določenih pri testiranju merilnikov. Vsi parametri primernosti morajo ustrezati razponu vrednosti, ki jih predpisuje ustrezen standard. Primeri parametrov primernosti vključujejo: ponovljivost vrednosti ničle in spana, linearnost, kratkotrajno ter dolgotrajno lezenje ničle in spana, odzivni čas pri naraščanju ter padanju koncentracije in razliko obeh odzivnih časov. Katere standardne negotovosti upoštevamo pri izračunu za posamezno onesnaževalo, prav tako predpisujejo ustrezni standardi. Kombinirano merilno negotovost (u_c) se izračuna kot pozitivni kvadratni koren vsote kvadratov vseh standardnih negotovosti (7.1).

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + \dots} \quad (6.1)$$

Če kombinirano merilno negotovost pomnožimo s faktorjem pokritja (k), dobimo absolutno razširjeno merilno negotovost (U) (6.2). Ta določa interval okoli rezultata meritve, za katerega se pričakuje, da z veliko verjetnostjo zajema večino vrednosti, ki bi jih bilo mogoče razumno pripisati merjencu.

$$U = k u_c \quad (6.2)$$

Izbira faktorja pokritosti k temelji na želeni stopnji zaupanja in je običajno v območju od 2 do 3. Pri obravnavi avtomatskih merilnikov onesnaževal zraka uporabimo vrednost 2, ki v primeru normalne porazdelitve ustreza stopnji zaupanja 95 %. Rezultat meritve se nato izrazi v obliki: $Y = y \pm U$. Pri tem y predstavlja najboljšo oceno vrednosti, ki jo je mogoče pripisati merjencu Y , interval $y - U \leq Y \leq y + U$ pa predstavlja območje, katero se pričakuje, da zajema velik del porazdelitve vrednosti, ki bi jih bilo razumno pripisati veličini Y . Ko razširjeno merilno negotovost delimo z mejno vrednostjo za onesnaževalo (l_h) in pomnožimo s sto, dobimo relativno razširjeno merilno negotovost (W) (6.3). Standardi predpisujejo, da mora biti relativna razširjena merilna negotovost pri koncentraciji enaki mejni vrednosti za SO_2 , O_3 , CO in NO_x manjša ali enaka 15 % ($W \leq 15\%$) za benzen pa manjša ali enaka 25 %.

$$W = \frac{U}{l_h} \cdot 100 \quad (6.3)$$

6.2 Merilna negotovost avtomatskih merilnikov delcev PM_{10} in $\text{PM}_{2,5}$

Za razliko od plinskih onesnaževal se kakovost avtomatskih meritev delcev PM_{10} in $\text{PM}_{2,5}$ zaradi pomanjkanja sledljivih standardov ali referenčnih materialov za merjenje delcev v zunanjem zraku preverja s stalnimi primerjavami z ustrezno referenčno metodo. Izračun merilne negotovosti v tem primeru ne temelji na upoštevanju prispevkov standardnih negotovosti določenih na podlagi parametrov primernosti pač pa se določa s primerjavo z referenčnim merilnikom na istem merilnem mestu in dokazovanju ekvivalence med njima kot predpisuje standard SIST EN 16450:2017: Zunanji zrak – Avtomatski merilni sistemi za merjenje koncentracije delcev (PM_{10} ; $\text{PM}_{2,5}$). Standard za ustrezen izračun določa, da se primerjavo meritev lahko izvede tekom krajših merilnih kampanj, ki potekajo v različnih letnih časih, ali tekom daljšega časovnega obdobja npr. 1 leto. Slednje je možno razdeliti na poletje in zimo ob upoštevanju kriterijev v standardu. Meritve se morajo pri tem izvajati na merilnem mestu, ki je reprezentativno za značilne pogoje, pri katerih bo deloval avtomatski merilnik, za katerega določamo ekvivalenco. Pogoji za ustrezen test ekvivalence je vsaj 40 veljavnih parov meritev dnevnega povprečja delcev. Iz seta podatkov referenčnih ali avtomatskih merilnikov se sme podatke odstraniti zaradi dokumentiranih tehničnih ali utemeljenih razlogov. Poleg tega pa standard dovoljuje tudi odstranitev do 2,5 % parov podatkov na podlagi odstopajočih rezultatov referenčne metode, saj ima tudi ta metoda določeno merilno negotovost, pod pogojem, da je število veljavnih parov podatkov za primerjavo ≤ 40 . Poleg zadostnega števila parov podatkov je drugi pogoj za ustrezen test ekvivalence, da mora biti vsaj 20 % vseh meritev pridobljenih z referenčno metodo višjih od $28 \mu\text{g}/\text{m}^3$ za PM_{10} oz.

17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ za $\text{PM}_{2,5}$. Če zaradi nizkih masnih koncentracij delcev v zraku pogoj ne more biti izpolnjen, se po standardu kot zadostno šteje, če set podatkov vsebuje najmanj 32 parov podatkov, ki presegajo te meje. Kombinirano merilno negotovost se izračuna po (6.4). V izračun so vključeni rezidualna vsota kvadratov, ki izhaja iz ortogonalne regresije ($RSS = \sum_{i=1}^n (y_i - abx_i)$), število uporabljenih parov podatkov za regresijo (n), naključna negotovost referenčne metode (u_{RM}), za katero je bila uporabljena vrednost 0,67 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, koeficienta kalibracijske funkcije a in b za funkcijo zapisano kot $y = a + bx$ ter limitna dnevna vrednost delcev (L) PM_{10} (50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) oziroma $\text{PM}_{2,5}$ (nadomestna vrednost 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)).

$$u_{y_i}^2 = \frac{RSS}{n-2} - u_{RM}^2 + (a + (b-1)L)^2 \quad (6.4)$$

V merilni negotovosti za avtomatski merilnik delcev PM_{10} in $\text{PM}_{2,5}$ sta tako upoštevna dva prispevka k negotovosti. Prvi del računa ($\frac{RSS}{n-2} - u_{RM}^2$) predstavlja prispevek naključne negotovosti avtomatskega merilnika, medtem ko drugi del ($(a + (b-1)L)^2$) predstavlja vpliv pristranskost pri mejni vrednosti za delce. Za izračun relativne standardne negotovosti se uporabi (6.5), za izračun razširjene merilne negotovost pa (6.6). Pri slednjem se kot pri obravnavi avtomatskih merilnikov plinskih onesnaževal v zraku kot faktor pokritja k upošteva vrednost 2.

$$w_{AMS} = \sqrt{\frac{u_{y_i=L}}{L^2}} \quad (6.5)$$

$$W_{AMS} = kw_{AMS} \quad (6.6)$$

Standard predpisuje, da mora biti relativna razširjena merilna negotovost pri koncentraciji enaki mejni vrednosti za PM_{10} in $\text{PM}_{2,5}$ manjša ali enaka 25 %, kar je hkrati tudi kriterij za ekvivalenco.

1. vrednost naklona je $0,980 \leq b \leq 1,020$ ali
2. vrednost presečišča je $-1,0 \mu\text{g}/\text{m}^3 \leq a \leq 1,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Pri korekciji določimo nova koeficienta kalibracijske funkcije c in d ($y = c + dx$) na podlagi ortogonalne regresije, ki za izračun upošteva popravljene vrednosti $y_{i,corr}$. Te dobimo na podlagi formul (6.7) in (6.8).

$$y_{i,corr} = y_i - a \quad (6.7)$$

$$y_{i,corr} = \frac{y_i}{b} \quad (6.8)$$

Merilno negotovost v teh primerih ocenimo ponovno in sicer tako, da pri izračunu ustrezno upoštevamo prispevke, ki izhajajo iz standardne negotovosti naklona (u_b) oz. presečišča (u_a). Imamo tri možne situacije:

1. potrebna korekcija presečišča

$$u_{y_i,corr}^2 = \frac{RSS}{(n-2)} - u_{RM}^2 + [c + (d-1)L]^2 + u_a^2 \quad (6.9)$$

2. potrebna korekcija naklona

$$u_{y_i,corr}^2 = \frac{RSS}{(n-2)} - u_{RM}^2 + [c + (d-1)L]^2 + L^2 u_b^2 \quad (6.10)$$

3. potrebna korekcija presečišča in naklona

$$u_{y_i,corr}^2 = \frac{RSS}{(n-2)} - u_{RM}^2 + [c + (d-1)L]^2 + u_a^2 + L^2 u_b^2 \quad (6.11)$$

V vseh treh primerih se RSS izračuna z upoštevanjem novih koeficientov premice c in d . Po uporabi ustrezne formule za izračun nove negotovosti avtomatskega merilnika (enačbe 6.9 - 6.11) sledi uporaba formul (6.5) ter (6.6). Če nova relativna standardna merilna negotovost ustreza mejni vrednosti, ki jo predpisuje standard, pomeni, da je korekcija kalibracijske funkcije ustrezna in ekvivalenca dokazana.

tabela 12.2

6.3 Določene merilne negotovosti merilnikov

V tabeli 6.1 so zbrane merilne negotovosti za merilnike onesnaževal v zunanjem zraku, ki se v okviru spremljanja kakovosti zraka uporabljajo na ARSO. V vseh primerih je določena merilna negotovost zadoščala kriteriju dotičnega standarda.

Tabela 6.1: Merilna negotovost za merilnike onesnaževal v zunanjem zraku

Parameter	Limitna vrednost	Podajanje rezultata	Relativna razširjena merilna negotovost
SO ₂	133 ppb oz. 350 µg/m ³	350 µg/m ³ ± 46 µg/m ³	13,3 %
O ₃	120 ppb oz. 240 µg/m ³	240 µg/m ³ ± 20 µg/m ³	8,2 %
CO	8,6 ppm oz. 10 mg/m ³	10 mg/m ³ ± 1 mg/m ³	12,4 %
NO ₂	104 ppb oz. 200 µg/m ³	200 µg/m ³ ± 27 µg/m ³	13,4 %
C ₆ H ₆	5 µg/m ³	5,0 µg/m ³ ± 0,9 µg/m ³	17,1 %
PM ₁₀	50 µg/m ³	50 µg/m ³ ± 13 µg/m ³	25 %

7. 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 viri sproščajo v ozračje 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 nukleacijo 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 termoeenergetskih 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 ravni 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} .

7.1 Izpusti delcev

Letni izpusti delcev PM_{10} so v Sloveniji leta 2023 znašali 13 tisoč ton (slika 7.1), letni izpusti primarnih delcev manjših od $2,5\ \mu m$ ($PM_{2,5}$) pa 9 tisoč ton (slika 7.3). V obdobju 2000-2023 so se izpusti delcev PM_{10} zmanjšali za 26 %, delcev $PM_{2,5}$ pa za 36 %. Zmanjšanje izpustov je posledica izboljšanja energetske učinkovitosti in procesov zgorevanja, posodobitve tehnoloških procesov, zamenjave trdih fosilnih goriv z zemeljskim plinom in obnovljivimi viri energije in 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 2023 prispevala 50 % (slika 7.2), k skupnim izpustom $PM_{2,5}$ pa kar 71 % (slika 7.4). Iz slike 7.5 je razvidna prevladujoča vloga kurilnih naprav na les v skupnih izpustih malih kurilnih naprav.

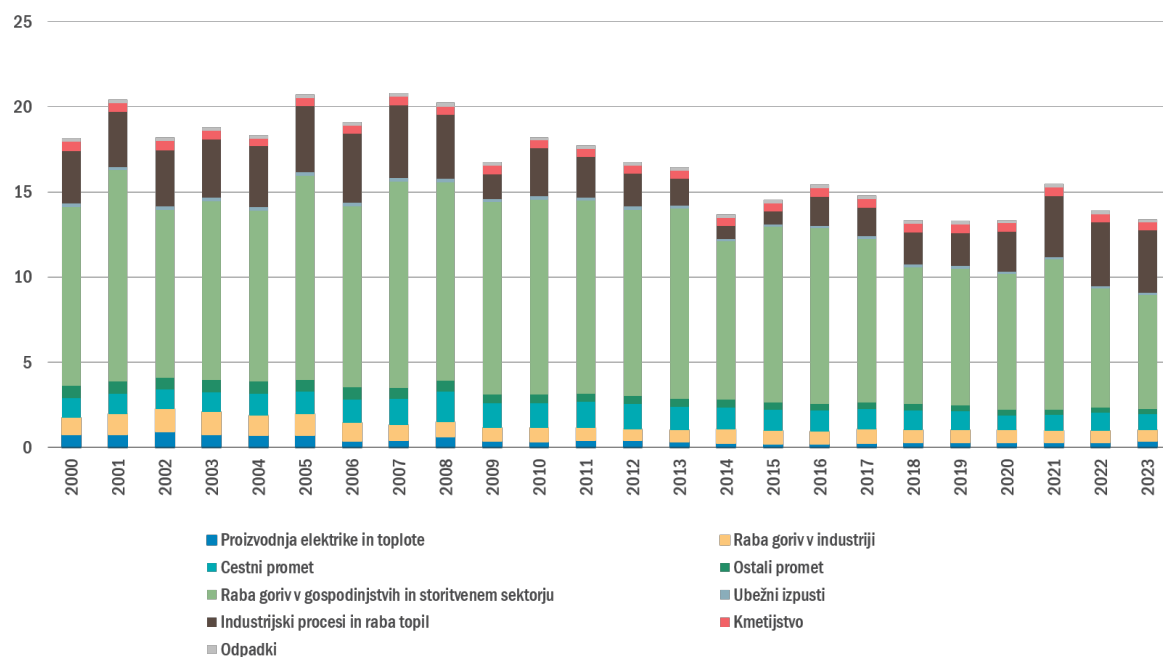
K izpustom delcev znatno prispeva tudi cestni promet. Izpusti PM_{10} iz cestnega prometa so leta 2023 predstavljali 7 % skupnih državnih izpustov, izpusti $PM_{2,5}$ pa 6 %. Glavni vir delcev v cestnem prometu je obraba cest, gum in zavor.

Slovenija izpolnjuje vse obveznosti iz Direktive (EU) 2016/2284 o zmanjšanju nacionalnih izpustov za nekatera onesnaževala zraka (t.i. direktive NEC) (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) in iz Protokola o zmanjševanju zakisljevanja, evtrofikacije in prizemnega ozona (Goeteborškega protokola) ([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.]) h Konvenciji o onesnaževanju zraka preko meja na velike razdalje (CLRTAP) ([Zakon o ratifikaciji konvencije o onesnaževanju zraka na velike razdalje preko meja (Uradni list SFRJ – Mednarodne pogodbe, št. 11/86), UNECE, 1979.]).

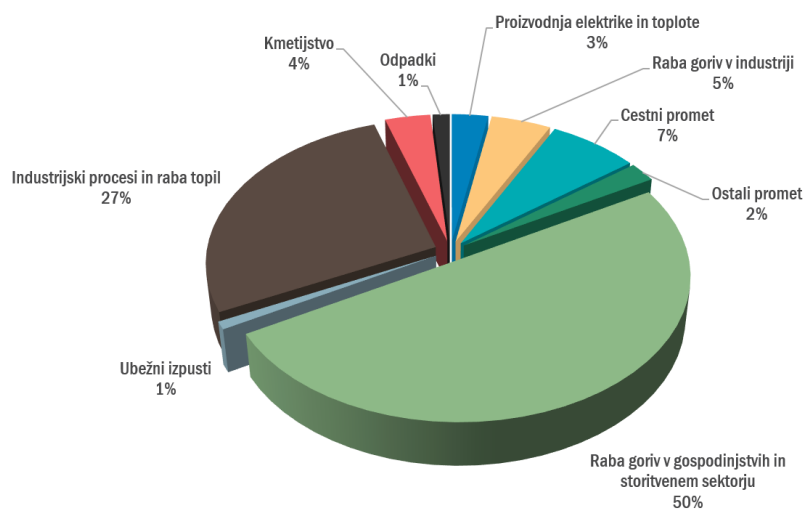
V letu 2023 smo dosegli cilj, ki predpisuje zmanjšanje izpustov $PM_{2,5}$ za najmanj 25 % glede na leto 2005. Letni izpusti $PM_{2,5}$ so bili v primerjavi z letom 2005 nižji za 43 %.

Podrobne informacije o izpustih delcev PM_{10} in $PM_{2,5}$, ter metodologiji izračuna izpustov so na voljo v dokumentu Informative Inventory Report 2025 for Slovenia [12].

Izpusti PM₁₀ (kt)

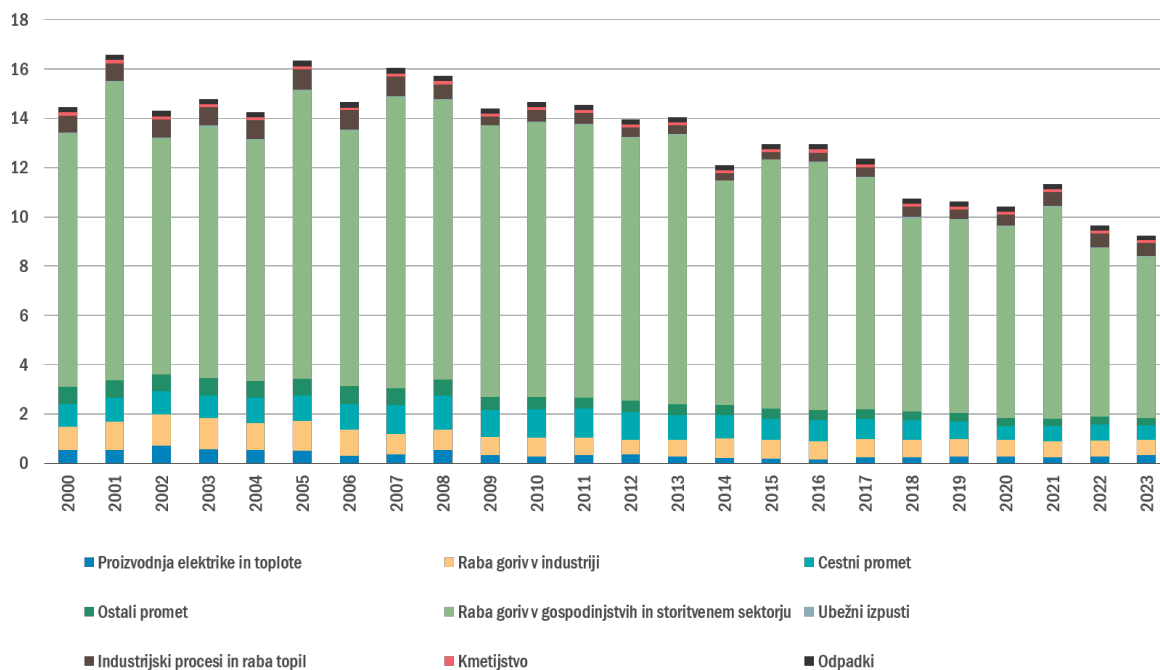


Slika 7.1: Letni izpusti delcev PM₁₀ po sektorjih v Sloveniji.

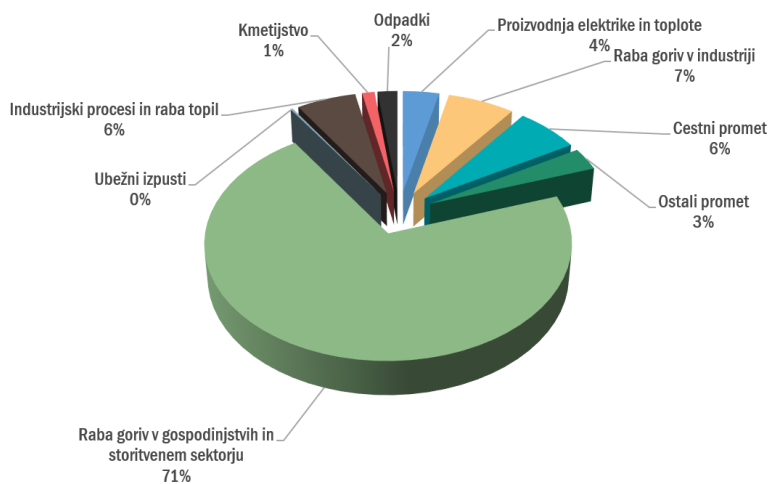


Slika 7.2: Izpusti delcev PM₁₀ po sektorjih v Sloveniji v letu 2023.

Izpusti PM_{2.5} (kt)

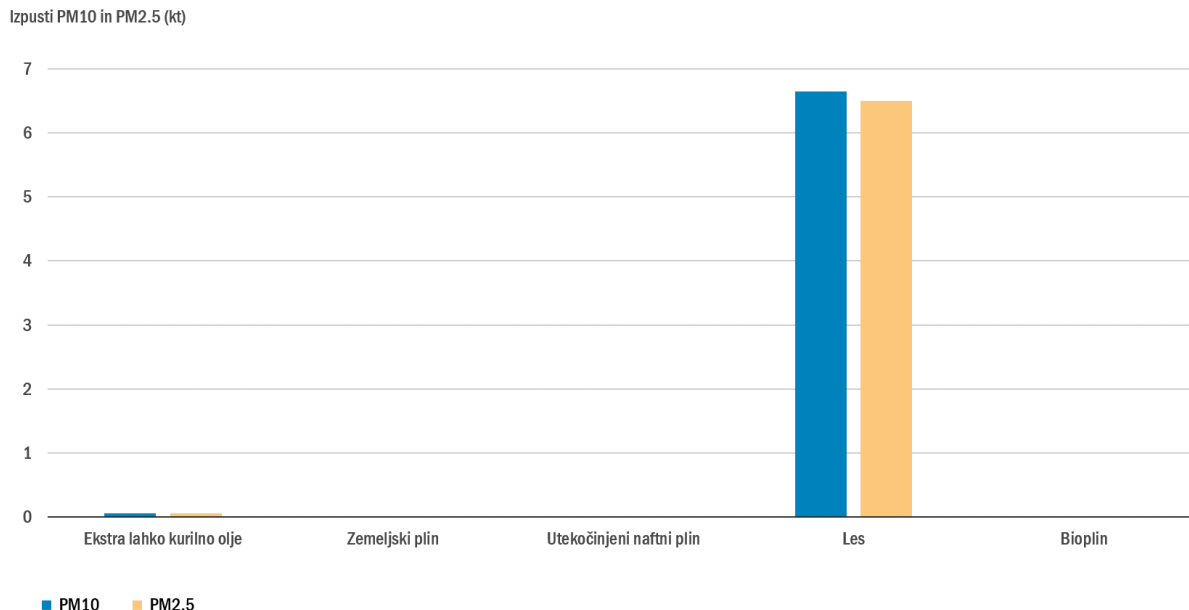


Slika 7.3: Letni izpusti delcev PM_{2.5} po sektorjih v Sloveniji.



Slika 7.4: Izpusti delcev PM_{2.5} po sektorjih v Sloveniji v letu 2023.

Izpusti delcev PM10 in PM2.5 iz malih kurilnih naprav v letu 2023



Slika 7.5: Izpusti delcev PM₁₀ in PM_{2,5} iz malih kurilnih naprav glede na vrsto uporabljenega goriva v letu 2023.

7.2 Zahteve za kakovost zraka

Mejne vrednosti za delce so predpisane v Uredbi o kakovosti zunanjega zraka [3]. Prikazane so v tabeli 7.1. 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 7.1 in 7.2).

Tabela 7.1: 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 7.2: 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	2024
30	29	29	28	27	26	26	25	25	25	25	25	20	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 2024 je triletno drseče povprečje vrednosti ravni skupaj na vseh teh vzorčevalnih mestih za leta 2022, 2023 in 2024. Predpisana stopnja izpostavljenosti znaša od leta 2015 dalje $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$. KPI uporabljamo za preverjanje doseganja ciljnega zmanjšanja izpostavljenosti na nacionalni ravni.

7.3 Ravni onesnaženosti

V letu 2024 je bila onesnaženost zraka z delci nekoliko višja kot prejšnja leta. Ravni delcev PM_{10} so na treh merilnih mestih presegle dovoljeno število preseganj (35) dnevne mejne vrednosti za delce PM_{10} ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Največje število preseganj, 49, je bilo zabeleženo na prometnem merilnem mestu Ljubljana Center, sledita Črnomelj z 39 preseganji in Črna na Koroškem s 37 preseganji. V letu 2023 na nobenem merilnem mestu ni bilo več preseganj od dovoljenih. Letna mejna vrednost za delce PM_{10} , ki znaša $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ v letu 2024 ni bila presežena na nobenem merilnem mestu. Najvišja povprečna letna vrednost, $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 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 2024 je prikazan v tabelah 7.3, 7.4 in 7.5 ter na slikah 7.6 in 7.8.

Do večine vseh zabeleženih preseganj v letu 2024 je prišlo v hladnem obdobju leta (tabela 7.5), ko so bili pogosti temperaturni obrati, ki onemogočajo razredčevanje izpustov predvsem 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 2024 povišane.

V marcu, aprilu, maju in juniju so bili prehodi puščavskega prahu, ki so za več dni onesnažili zrak z delci v celi Sloveniji. V podpoglavju Preseganja mejnih vrednosti zaradi naravnih virov so podrobno opisana obdobja prehoda puščavskega prahu.

V letu 2024 so potekale izredne meritve delcev v Črni na Koroškem in v Črnomlju. Na obeh merilnih mestih so bile ravni delcev ves čas med višjimi v Sloveniji. V Črni na Koroškem je postavljena mini postaja, kjer potekajo meritve delcev PM_{10} in $\text{PM}_{2,5}$ z avtomatskim merilnikom. Merilno mesto je postavljeno v središču kraja na avtobusni postaji. V Črnomlju so meritve potekale ob Zdravstvenem domu, kjer je bil poleg avtomatskega merilnika postavljen tudi 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 v Črnomlju pa so predstavljeni v posebnem poročilu.

Podatki na vseh merilnih mestih DMKZ, razen na Ptuj in v Črni na Koroškem, 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. Avtomatske meritve niso referenčne, zato je potrebno narediti ekvivalenco meritev pridobljenih z avtomatsko in

referenčno metodo ter po potrebi določiti korekcijski faktor. Določitev izračuna korekcijskega faktorja je opisan v poglavju Izračun ekvivalence za avtomaske merilnike delcev v zunanjem zraku, ki je del tega poročila. Pri vseh rezultatih delcev PM₁₀ in PM_{2,5}, ki so pridobljeni z avtomatskimi meritvami in so predstavljeni v tem poročilu, je upoštevan korekcijski faktor.

Tabela 7.3: 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 PM₁₀ na merilnih mestih v Sloveniji v letu 2024. Število preseganj, ki so posledica naravnega vira, so predstavljene v poglavju Preseganja mejnih vrednosti zaradi naravnih virov, ki je del tega poročila.

Merilna mreža	Merilno mesto	Leto		Dan	
		%pod	C_p	max	>MV
DMKZ	CE bolnica	94	23	103	21
	CE Ljubljanska	99	22	95	17
	Črna na Koroškem	98	28	128	37
	Črnomelj	99	24	108	39
	Hrastnik	92	20	89	8
	IB Gregorčičeva	100	18	92	9
	Iskrba	98	11	112	4
	Koper	98	17	82	11
	Kranj	99	20	78	12
	LJ Bežigrad	90	21	82	17
	LJ Celovška	99	23	86	25
	LJ Vič	100	20	75	20
	MB Titova	100	23	108	12
	MB Vrbanski	99	16	103	4
	MS Cankarjeva	99	24	135	31
	MS Rakičan	99	20	122	15
	NG Grčna	99	18	83	9
	NG Vojkova	99	22	86	14
	Novo mesto	99	19	110	9
	Ptuj	100	19	130	13
	Trbovlje	98	18	85	8
	Velenje	99	16	98	4
TE Šostanj	Zagorje	99	21	84	13
	Žerjav	99	23	91	9
	Pesje	100	16	79	4
	Škale	99	15	71	3
	Šoštanj	100	16	65	2
	Mobilna TEŠ	99	13	64	1
OMS-MOL	LJ Center	98	30	105	49
JPE	Zadobrova	90	26	86	21
Občina Medvode	Medvode*	88	17	64	7
MO Maribor	MB Tezno	93	23	103	15
	Radvanje	100	17	103	5
	Pobrežje	100	21	86	14
MO Ptuj	Spuhlja	100	25	112	31
Občina Ruše	Ruše	100	17	115	8
EIS Alpacem Cement	Morsko	100	15	74	5
	Gorenje polje	91	16	79	3

* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.

Povprečni dnevni hodi ravni PM₁₀ v kurilni sezoni za merilna mesta Ljubljana Bežigrad, Zagorje, Maribor Titova in Koper so prikazani na sliki 7.7. 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.

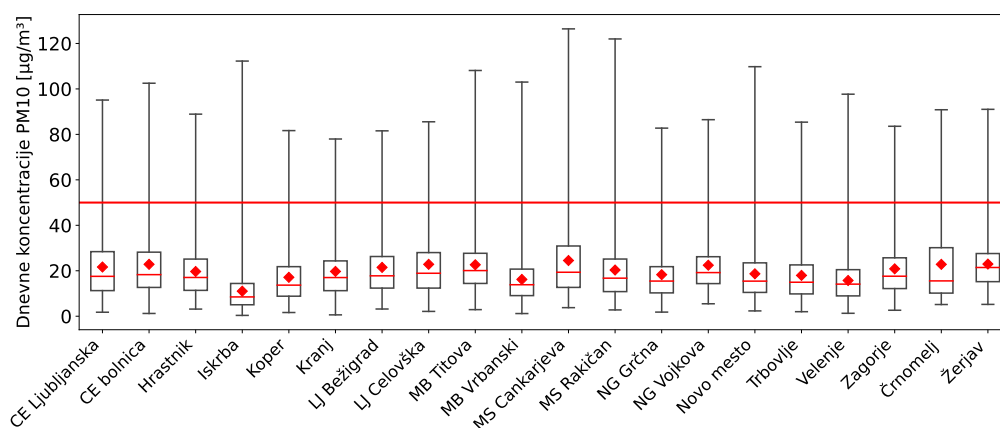
V tabelah 7.6 in 7.7 ter na slikah 7.9 in 7.10 so prikazani trendi onesnaženosti v obdobju med 2002 in 2024. Medletna nihanja ravni PM₁₀ so predvsem posledica različnih meteoroloških razmer v posameznem letu. Kljub temu je v obdobju od leta 2005 naprej, predvsem na urbanih lokacijah, opazen trend zmanjševanja 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 7.4: Povprečna mesečna raven PM₁₀ (µg/m³) v letu 2024.

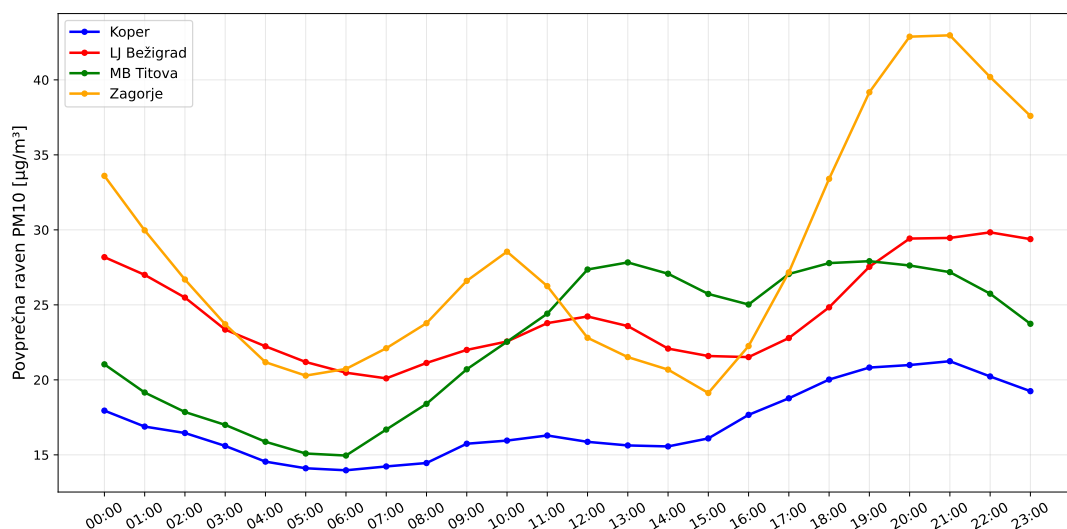
Merilna mreža	Merilno mesto	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
DMKZ	CE bolnica	38	32	25	18	15	18	17	18	16	11	29	32
	CE Ljubljanska	36	30	25	18	12	15	14	15	14	20	28	31
	Črna na Koroškem	43	34	26	22	15	21	26	20	19	37	33	41
	Črnomelj	45	37	28	16	13	15	15	15	14	22	37	41
	Hrastnik	24	24	21	16	13	15	15	19	24	20	25	24
	IB Gregorčičeva	22	27	18	14	12	17	14	14	11	15	24	22
	Iskrba	6	7	11	11	10	15	18	16	12	13	11	4
	Koper	24	27	19	16	12	17	16	19	13	13	17	12
	Kranj	32	26	20	18	11	15	16	16	13	18	24	28
	LJ Bežigrad	36	33	21	17	14	17	18	19	15	18	27	/
	LJ Celovška	38	35	23	19	14	17	17	19	14	20	28	31
	LJ Vič	33	30	19	15	11	14	15	17	13	17	28	30
	MB Titova	32	29	25	21	19	20	20	18	18	23	24	24
	MB Vrbanski	21	17	19	15	11	14	14	15	14	19	19	16
	MS Cankarjeva	46	34	29	19	12	15	14	15	15	20	30	37
	MS Rakičan	35	27	24	16	11	15	15	15	15	19	23	28
	NG Grčna	27	32	20	15	12	15	15	16	13	14	22	19
	NG Vojkova	31	36	24	19	15	19	18	20	16	24	25	24
	Novo mesto	29	23	21	15	11	14	14	16	13	18	27	24
	Ptuj	30	24	23	16	12	15	13	15	14	18	25	27
	Trbovlje	29	25	20	14	11	13	13	14	11	17	23	23
	Velenje	19	21	19	16	12	13	13	15	13	16	18	15
	Zagorje	33	30	23	16	13	17	14	17	14	19	25	29
	Žerjav	26	23	22	23	20	27	21	17	17	29	24	26
TE Šostanj	Pesje	17	20	20	16	13	15	15	16	14	18	19	14
	Škale	14	14	17	13	11	15	14	16	15	20	17	12
	Šoštanj	19	19	17	14	10	12	14	17	15	19	23	17
	Mobilna TEŠ	17	16	15	11	8	11	11	12	11	15	19	15
OMS MOL	LJ Center	47	45	26	22	19	21	22	23	20	25	40	45
JPE	Zadobrova	36	33	24	25	16	24	28	23	20	19	23	36
Občina Medvode	Medvode	11	30	19	12	7	8	12	13	10	15	18	30
MO Maribor	MB Tezno	37	28	23	18	12	18	15	17	16	23	27	30
	Pobrežje	33	26	23	19	14	17	16	17	16	24	25	26
	Radvanje	22	18	18	15	11	15	15	15	12	20	20	17
MO Ptuj	Spuhlja	45	35	29	19	15	18	15	18	16	23	30	38
Občina Ruše	Ruše	21	15	20	15	11	15	13	14	15	23	19	16
EIS Alpacem Cement	Morsko	16	23	15	12	11	14	14	15	11	16	17	13
	Gorenje polje	17	29	16	13	12	14	14	16	13	15	19	17

Tabela 7.5: Število preseganj dnevne mejne vrednosti PM₁₀ po mesecih v letu 2024.

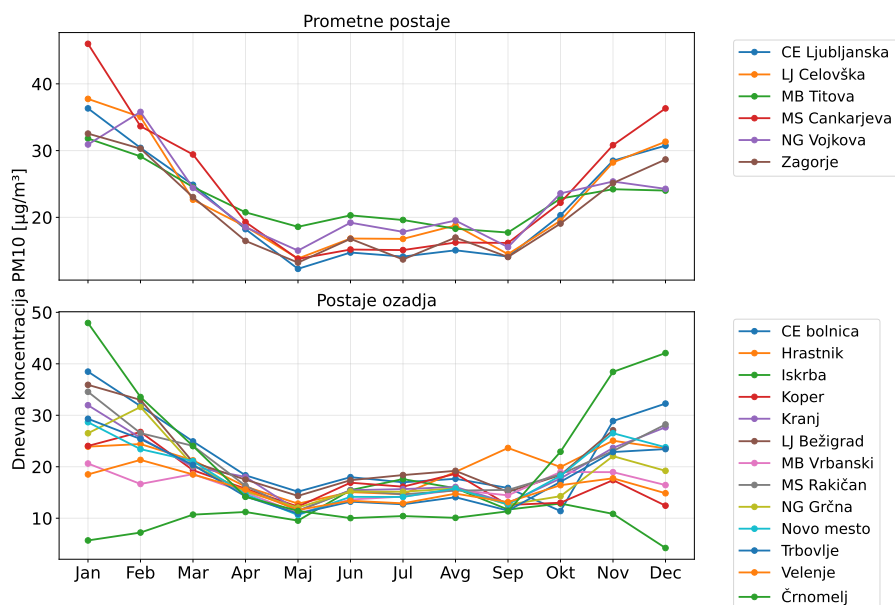
Merilna mreža	Merilno mesto	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
DMKZ	CE bolnica	8	5	2	1	0	1	0	0	0	0	1	3
	CE Ljubljanska	7	3	2	1	0	1	0	0	0	0	1	2
	Črna na Koroškem	8	3	2	1	0	2	1	0	0	8	2	10
	Črnomelj	12	5	2	1	1	2	0	0	0	0	6	10
	Hrastnik	0	0	2	1	0	1	0	0	0	0	3	1
	IB Gregorčičeva	0	3	2	1	0	2	0	0	0	0	0	1
	Iskrba	0	0	1	1	0	2	0	0	0	0	0	0
	Koper	1	6	2	1	0	1	0	0	0	0	0	0
	Kranj	5	1	2	1	0	2	0	0	0	0	0	1
	LJ Bežigrad	8	4	2	1	0	2	0	0	0	0	0	/
	LJ Celovška	9	6	2	1	0	2	0	0	0	0	1	4
	LJ Vič	7	4	2	1	0	2	0	0	0	0	0	4
	MB Titova	4	2	2	1	0	1	0	0	0	0	1	1
	MB Vrbanski	0	0	2	1	0	1	0	0	0	0	0	0
	MS Cankarjeva	14	5	2	1	0	1	0	0	0	0	1	7
	MS Rakičan	6	2	2	1	0	1	0	0	0	0	0	3
	NG Grčna	1	5	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1
	NG Vojkova	2	6	1	0	1	1	0	0	0	3	0	0
	Novo mesto	0	1	1	1	0	2	0	0	0	0	4	0
	Ptuj	6	1	2	1	0	1	0	0	0	0	0	2
	Trbovlje	2	1	2	1	0	1	0	0	0	0	0	1
	Velenje	0	0	2	1	0	1	0	0	0	0	0	0
	Zagorje	2	3	2	1	0	1	0	0	0	0	0	4
	Žerjav	0	0	2	1	0	3	0	0	0	3	0	0
TE Šostanj	Pesje	0	0	2	1	0	1	0	0	0	0	0	0
	Škale	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0
	Šostanj	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
	Mobilna TEŠ	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
OMS MOL	LJ Center	16	9	2	1	1	2	0	0	0	1	10	7
JPE	Zadobrova	6	4	2	0	0	3	1	0	0	0	0	5
Občina Medvode	Medvode	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
MO Maribor	MB Tezno	5	3	2	1	0	1	0	0	0	0	1	2
	Pobrežje	6	2	2	1	0	1	0	0	0	0	1	1
	Radvanje	1	0	2	1	0	1	0	0	0	0	0	0
MO Ptuj	Spuhlja	13	5	3	1	0	1	0	0	0	0	0	8
Občina Ruše	Ruše	2	0	2	1	0	1	0	0	0	2	0	0
EIS Alpacem Cement	Morsko	0	4	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
	Gorenje polje	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



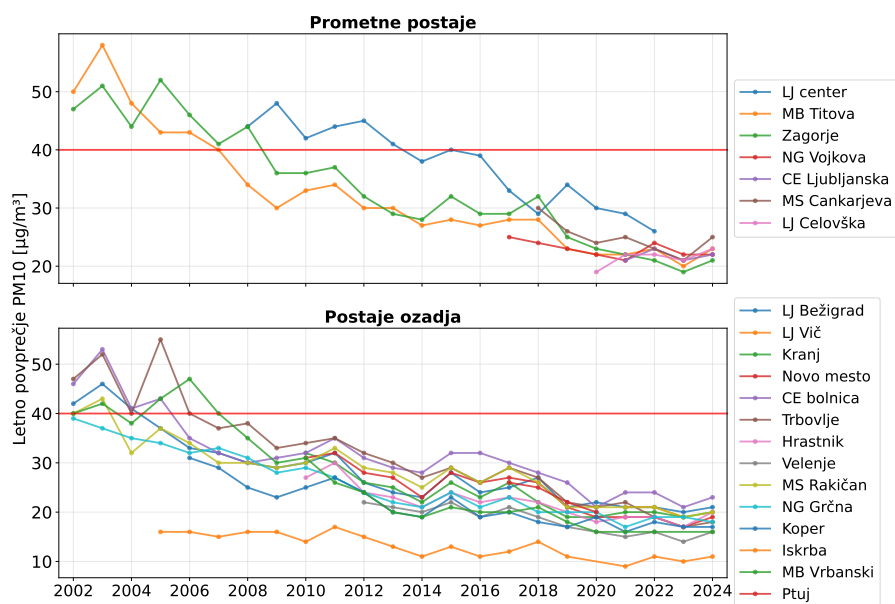
Slika 7.6: Dnevne vrednosti PM_{10} izmerjene z referenčnimi merilniki na merilnih mestih DMKZ v letu 2024. Prikazani so najvišja in najnižja izmerjena raven (spodnja in zgornja vodoravna črtica), oba kvartila (vrh in dno pravokotnika) in mediana (rdeča vodoravna črtica v pravokotniku). Z romбом označujemo povprečno letno raven. Rdeča črta prikazuje dnevno mejno vrednost.



Slika 7.7: Dnevni potek povprečne urne ravni PM_{10} na izbranih merilnih mestih v kurilni sezoni leta 2024 (januar do marec in oktober do december).



Slika 7.8: Povprečna mesečna raven PM_{10} na prometnih merilnih mestih in merilnih mestih ozadja v letu 2024.



Slika 7.9: Povprečna letna raven PM_{10} na prometnih merilnih mestih in merilnih mestih ozadja. Rdeča črta prikazuje letno mejno vrednost.

Tabela 7.6: Povprečne letne ravni PM₁₀ (µg/m³). Vrednosti, ki presegajo letno mejno vrednost, so napisane s krepko pisavo.

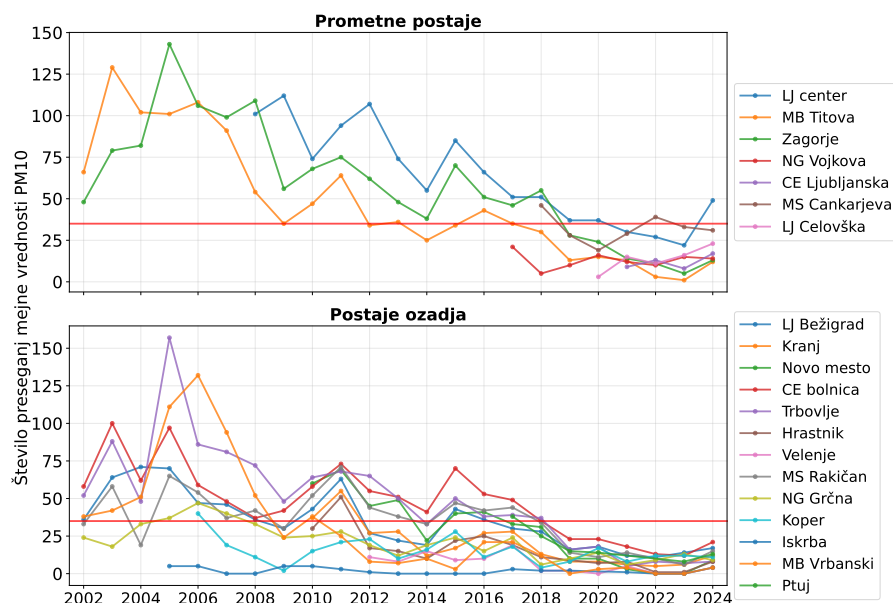
Merilno mesto	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
CE bolnica	46	53	41	43	35	32	30	31	32	35	31	29	28	32	32	30	28	26	21	24	24	21	23
CE Ljubljanska	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	21*	23	20
Gorenje Polje	/	/	/	/	/	24	26	23	20	23	21	18	17	20	17	19	17	17	18	16	17	16	16
Hrastnik	/	/	/	/	/	/	/	/	27	30	24	23	21	24	22	23	22	20	18	19	19	17	20
Iskrba	/	/	/	16	16	15	16	16	14	17	15	13	11	13	11	12	14	11	9*	9	11	10	11
Koper	/	/	/	/	31	29	25	23	25	27	24	20	19	23	19	20	18	17	19	16	18	17	17
Kranj	/	/	/	/	/	/	/	/	32	30	26	25	22	26	23	26	22	19	19	20	20	19	20
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	21	23
LJ Center	/	/	/	/	/	/	44	48	42	44	45	41	38	40	40	33	35	34	30	29	26	27	30
LJ Vič	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	21*	21	19
MB Tezno	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	20	21	21	19	23
MB Titova	50	58	48	43	43	40	34	30	33	34	30	30	27	28	27	28	28	23	22	22	23	20	23
MB Vrbski	/	/	/	/	/	/	/	/	/	26	24	20	19	21	20	20	21	18	16	16	16	14	16
Medvode	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	20	15	17	19	22	19	17*
Miklavž	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	27	29	28	25	22	23	22	25*	/
Morsko	/	/	/	/	/	23	22	20	19	21	20	16	15	18	16	18	15	15	15	14	15	14	15
MS Cankarjeva	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	30	26	24	25	28	26	24
MS Rakičan	40	43	32	37	34	30	30	29	30	33	29	28	25	29	26	29	26	21	21	21	21	19	20
NG Grčna	39	37	35	34	32	33	31	28	29	27	24	22	21	24	21	23	20	20	20	17	19	19	18
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	17	19
Pesje	/	31	25	27	28	21	20	22	22	22	20	23	23	24	23	24	19	16	15	16	16	14	16
Ptuj	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	26	25	22	20	21	22	20	19
Ruše	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	21	22	22	18	16	17	15	17
Spuhlja	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	25	25	25	23	25
Škale	/	27	23	23	26	24	22	24	23	23	22	17	17	17	16	17	17	15	16	17	15	11	15
Šoštanj	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	12	13	16	19	20	21	18	18	16	14	15	16
Trbovlje park	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	18*	19	17	18
Velenje	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	22	21	20	22	19	21	19	17	16	15	16	14	16
Zagorje	47	51	44	52	46	41	44	36	36	37	32	29	28	32	29	29	32	25	23	22	21	19	21
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*	/	/	/
CE Mariborska	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	33	31	29	26	34*	/	/	/
Dobovec	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	12	11	11	12*	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Grosuplje	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	28	26	/	/	/
Kovk	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	15	14	12	13*	/	/	/	/	/	/	/	/	/
LJ Biotehniška	/	/	/	/	/	/	/	26	27	30	27	26	22	27	27	25	21	19	19	24*	/	/	/
LJ Gospodarsko	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	29	24	24	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	/	/	/	/	/	/	/	/
Trbovlje Nasipi	47	52	40	55	40	37	38	33	34	35	32	30	27	29	26	29	27	22	21	22*	/	/	/
Vnjanjarje	/	/	/	/	26	22	/	23	20	26	23	24	18	16	17	21	/	/	/	/	/	/	/

* Podatki so zaradi prevlekega izpada meritev informativnega značaja.

Tabela 7.7: 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	2024
CE bolnica	58	100	62	97	59	48	37	42	58	73	55	51	41	70	53	49	35	23	23	18	13	12	21
CE Ljubljanska	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	9*	13	8	17
Gorenje Polje	/	/	/	/	/	16	24	16	13	18	11	5	11	10	3	7	3	7	9	7	2	11	3
Hrastnik	/	/	/	/	/	/	/	/	30	51	17	15	10	22	25	19	11	9	7	8	1	1	8
Iskrla	/	/	/	5	5	0	0	5	5	3	1	0	0	0	0	3	2	2	0	1	0	0	4
Koper	/	/	/	/	40	19	11	2	15	21	23	10	16	28	11	18	4	8	17	8	12	12	4
Kranj	/	/	/	/	/	/	/	/	37	55	27	28	12	17	27	28	13	8	8	6	5	6	12
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	23
LJ Center	/	/	/	/	/	/	101	112	74	94	107	74	55	85	66	51	51	37	37	30	27	22	49
LJ Vič	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	8*	11	11	20
MB Tezno	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	9	11	4	4	15
MB Titova	66	129	102	101	108	91	54	35	47	64	34	36	25	34	43	35	30	13	15	13	3	1	12
MB Vrbsanski	/	/	/	/	/	/	/	/	/	25	8	7	10	3	21	21	12	0	3	4	0	0	4
Medvode	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	7	2	2	9	5	4	7*
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	5
MS Cankarjeva	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	46	28	19	29	39	33	31
MS Rakičan	33	58	19	65	54	37	42	30	52	71	44	38	33	47	42	44	34	14	11	14	10	6	15
NG Grčna	24	18	33	37	47	40	33	24	25	28	19	12	19	24	15	24	6	10	14	6	9	13	9
NG Vojkova	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	21	5	10	16	12	10	15	14
Novo mesto	/	/	/	/	/	/	/	/	60	69	45	49	22	40	41	33	31	10	10	3	0	0	9
Pesje	/	17	11	23	24	14	9	12	10	16	2	6	12	9	8	20	3	1	2	4	0	0	4
Ptuj	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	38	25	15	14	13	9	8	13
Ruše	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	17	15	11	12	3	0	0	8
Spuhlja	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	25	20	17	19	31
Škale	/	4	8	15	19	11	12	13	12	20	9	0	5	0	1	9	3	1	2	4	0	0	3
Šoštanj	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	0	0	0	3	14	4	1	2	2	0	0	2
Trbovlje park	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	5*	8	7	8
Velenje	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	11	8	15	9	10	19	2	2	0	5	0	0	8
Zagorje	48	79	82	143	106	99	109	56	68	75	62	48	38	70	51	46	55	28	24	14	11	5	13
Žerjav	/	/	/	/	/	/	/	/	29	79	44	37	3	6	19	9	5	1	5	6	2	8	9
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	/	/	/	/	/	/	/	/	/
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	/	/	/	/	/	/	/	/
Trbovlje Nasipi	52	88	48	157	86	81	72	48	64	68	65	50	33	50	38	39	37	16	18	5*	/	/	/
Vnjanjarje	/	/	/	/	20	10	/	7	2	12	8	3	0	1	2	8	/	/	/	/	/	/	/

* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.



Slika 7.10: Število preseganj PM_{10} po letih na prometnih merilnih mestih in merilnih mestih ozadja. 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 2024 ni bila presežena na nobenem merilnem mestu. Najvišja povprečna letna vrednost $PM_{2,5}$ je bila v letu 2024 izmerjena v Črnomlju in je znašala $19 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Pregled izmerjenih vrednosti z referenčnimi merilniki za delce $PM_{2,5}$ v letu 2024 je prikazan v tabeli 7.8 ter na sliki 7.11. Letni trendi ravni delcev $PM_{2,5}$, ki so prikazani v tabeli 7.10, kažejo, da nivo onesnaženosti ostaja približno enak. V preteklih nekaj letih smo avtomatske merilnike delcev zamenjali z novimi, ki poleg ravni PM_{10} merijo tudi $PM_{2,5}$. V tabeli 7.9 so prikazani podatki ravni $PM_{2,5}$ iz avtomatskih merilnikov za leto 2024.

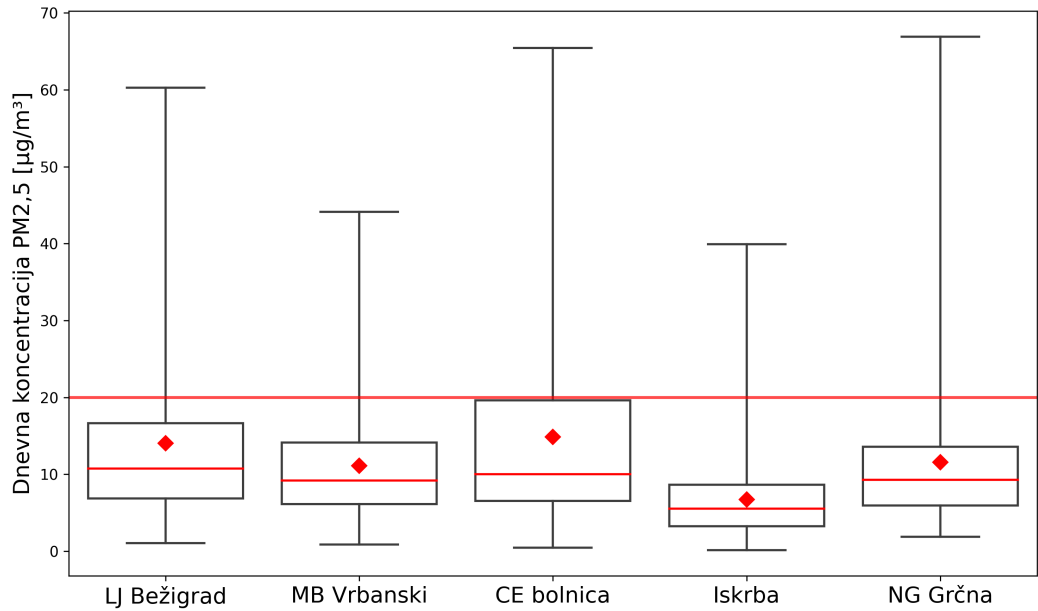
Kazalnik povprečne izpostavljenosti KPI za $PM_{2,5}$ je leta 2024 za Slovenijo znašal $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Obveznost glede stopnje izpostavljenosti za leto 2024 znaša $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in za Slovenijo ni bila presežena. V tabeli 7.11 je prikazan KPI po letih. KPI je izračunan kot triletno 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 7.8: 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 2024.

	% pod	C_p	C_{max}
CE bolnica	92	15	65
Iskrba	96	7	40
LJ Bežigrad	99	14	60
MB Vrbanski	95	11	44
NG Grčna	98	12	67

Tabela 7.9: Razpoložljivost podatkov (% pod) in povprečne letne ravni (C_p) $PM_{2,5}$ ($\mu g/m^3$) na merilnih mestih v letu 2024 izmerjene z avtomatskimi merilniki.

Merilna Mreža	Merilno mesto	Leto %pod	Dan C_p
DMKZ	CE Ljubljanska	100	16
	Črna na Koroškem	98	17
	Črnomelj	99	19
	Hrastnik	100	12
	IB Gregorčičeva	100	12
	Koper	100	10
	Kranj	100	14
	LJ Celovška	100	15
	LJ Vič	100	15
	MB Titova	100	12
	MS Cankarjeva	99	18
	MS Rakičan	100	15
	Novo mesto	100	14
	Ptuj	100	14
	Trbovlje	100	13
	Zagorje	100	15
TE Šostanj	Pesje	100	9
	Škale	99	9
	Šoštanj	100	10
	Mobilna TEŠ	99	8
OMS MOL	LJ Center	98	18



Slika 7.11: Dnevne vrednosti $PM_{2,5}$ na merilnih mestih v letu 2024. 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). Z romбом je označena povprečna letna raven, ki jo lahko primerjamo z letno mejno vrednostjo, ki je prikazana z rdečo črto.

Tabela 7.10: 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	2024
CE bolnica	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	17	16	16	14	15
Iskrba	10	11	12	12	14	13	11	9	10	9	10	11	8	7*	7	9	7	7
LJ Bežigrad	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	19	16	16	15	14	13	14
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	11
NG Grčna	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	14	13	14	12	13	12	12

* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.

Tabela 7.11: Kazalnik povprečne izpostavljenosti PM_{2,5} (µg/m³) za Slovenijo.

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Slovenija	21	22	22	21	19	20	20	20	19	17	16	14	14	13	12

7.4 Epizode čezmerne onesnaženosti

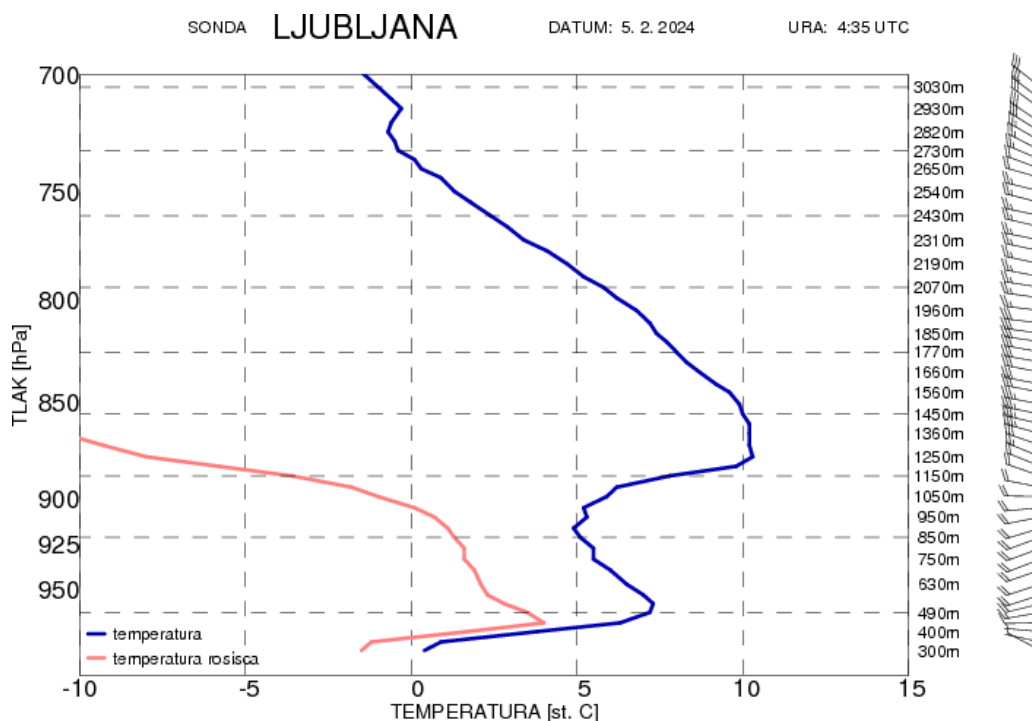
V letu 2024 je bila onesnaženost zraka z delci PM₁₀ v Sloveniji nekoliko večja kot v preteklih letih. Do večine preseganj mejne dnevne vrednosti PM₁₀ je prišlo v zimskih mesecih, predvsem zaradi povečanih izpustov ter neugodnih vremenskih razmer, ki niso omogočale učinkovitega razredčevanja onesnaževal. Najvišje koncentracije delcev PM₁₀ so bile večinoma zabeležene na prometno obremenjenih merilnih mestih, kjer se izpustom iz individualnih kurišč pridružujejo še izpusti iz prometa.

V letu 2024 je bilo več preseganj mejne dnevne vrednosti PM₁₀ tudi zaradi prisotnosti puščavskega prahu, na katerega ni mogoče vplivati. V skladu z zakonodajo se preseganja, ki so posledica naravnih virov, ne upoštevajo pri ocenjevanju skladnosti z mejnimi vrednostmi. Epizode prehoda puščavskega prahu ter ocena njegovega deleža so podrobneje opisane v posebnem poglavju tega poročila. V nadaljevanju sledi podrobna analiza epizod, v katerih je bil zrak več dni prekomerno onesnažen z delci antropogenih virov. Večletne meritve onesnaženosti zraka z delci PM₁₀ kažejo, da so najvišje ravni teh delcev skoraj vedno izmerjene januarja. To ni presenetljivo, saj so v tem mesecu povprečne temperature najnižje, pogoji za nastanek temperaturnih inverzij pa najugodnejši. K visokim dnevnim koncentracijam dodatno prispeva tudi manj sončnega obsevanja, ki onemogoča razkroj temperaturnih inverzij čez dan ter mešanje zračne mase po vertikali. Posledično urne ravni delcev pogosto ostajajo visoke skozi ves dan, kar ob značilnih jutranjih in večernih maksimumih bistveno prispeva k povišanim dnevnim vrednostim PM₁₀.

V januarju 2024 so bile ravni delcev povišane na vseh urbanih merilnih mestih celinske Slovenije, zlasti v dneh brez padavin ali ob stabilnem vremenu. Največ preseganj mejne dnevne vrednosti 50 µg/m³ je bilo zabeleženih na prometnem merilnem mestu Ljubljana Center – skupaj 16. Na šestih merilnih mestih DMKZ (Hrastnik, Iskrba, MB Vrbanski, IB Gregorčičeva, Novo mesto, Velenje in Žerjav) do preseganj ni prišlo. V celinski Sloveniji sta bili januarja 2024 zabeleženi dve izraziti epizodi povišanih ravni delcev. Obe sta bili povezani z dotokom toplejšega zraka v višinah. Prva epizoda je trajala od 11. do 14. januarja. V teh dneh je bil vsak dan prisoten temperaturni obrat, ki je zadrževal onesnaženje pod 500 m nadmorske višine. Najizrazitejši je bil v Pomurju, kjer so na merilnem mestu Murska Sobota Cankarjeva izmerili najvišje ravni delcev. Drugod po celinski Sloveniji je bil temperaturni obrat manj izrazit, zato so bile tudi ravni delcev nižje. 15. januarja se je ozračje zaradi okrepljenega vetra premešalo, kar je povzročilo razkroj temperaturnega obrata in znižanje ravni delcev. Na Primorskem

so bile najvišje ravni zabeležene kasneje, 14. in 15. januarja, ko je jugozahodni veter, kot posledica pomikanja ciklonskega območja severno od Alp, prinesel onesnažen zrak iz Padske nižine.

Od 2. februarja dalje so se z okrepljenim zahodnim vetrom in dotokom toplejšega zraka začele dvigovati jutranje in dnevne temperature. 4. februarja so v Celju in Murski Soboti popoldne izmerili že 15°C , čeprav je bilo zjutraj še malo pod 0°C . Kljub višjim temperaturam je temperaturni obrat vztrajal, zato so ravni delcev PM_{10} v kotlinah in ravninskih legah (Ljubljana, Celje, Črnomelj, Murska Sobota) še vedno presegale mejno vrednost. Jugozahodnik pri tleh je bil sprva prešibak, da bi učinkovito premešal onesnaženo plast zraka. Viden učinek razkroja inverzne plasti je bil v Ljubljani opazen 5. februarja popoldne in zvečer, ko so urne ravni delcev padle pod $30\ \mu\text{g}/\text{m}^3$. Zanimiva je primerjava z merilnim mestom Murska Sobota Cankarjeva, kjer so v istem času urne ravni močno narasle in v nekaterih terminih presegle $100\ \mu\text{g}/\text{m}^3$. Podoben porast je bil zabeležen tudi na postaji Maribor Titova, kjer je bila dnevna raven delcev $69\ \mu\text{g}/\text{m}^3$, kar je precej več kot dan prej. Takšen porast običajno nastopi, ko topel jugozahodnik postopoma prodira v nižje ležeče kraje. Topla zračna masa se nariva na ujet in onesnažen zrak pod njo, kar vodi do stiskanja inverzne plasti in zgoščanja onesnaženja pri tleh. Jutranja radiosondaža v Ljubljani 5. februarja je jasno pokazala plitvo in zelo izrazito inverzijo: pri tleh je bila temperatura malo nad 0°C , že 150 m višje (na višini dimnika podjetja Energetika Ljubljana) pa približno $6,5^{\circ}\text{C}$ (slika 7.12). Šele 6. februarja je imel veter dovolj moči, da je prodril do tal in premešal tudi najbolj trdovratne inverzne plasti zraka v celinski Sloveniji, kar je povzročilo padec dnevnih ravni delcev PM_{10} pod mejno vrednost. V Ljubljani je bilo ozračje v spodnjih plasteh sicer premešano, vendar je bil še vedno prisoten dvignjen temperaturni obrat, ki je omogočal mešanje zgolj do višine približno 2 km.



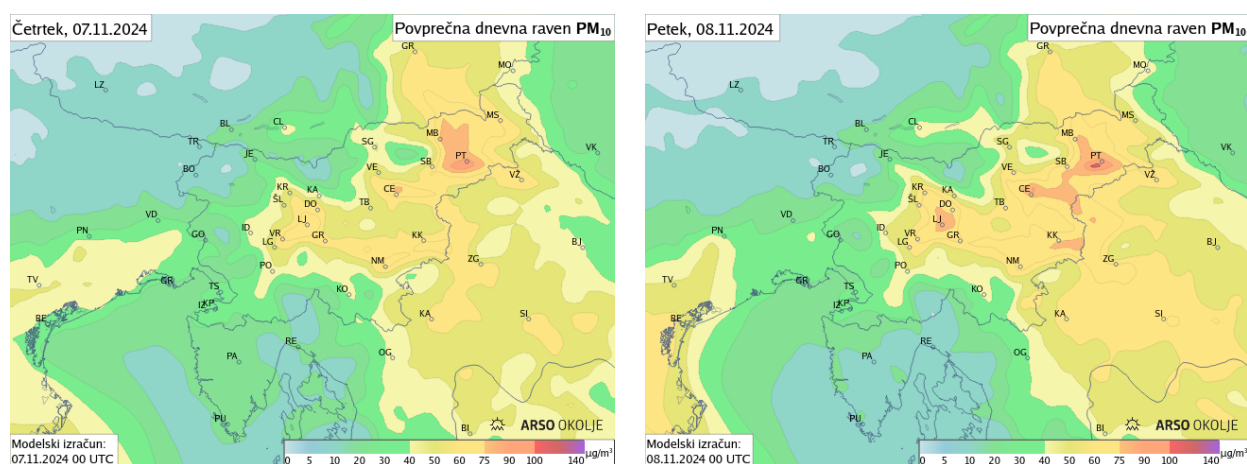
Slika 7.12: Radiosondaža dne 5. februar 2024.

Na Primorskem so bile ravni delcev povišane v celotnem obdobju od 1. do 8. februarja. Medtem ko se je kakovost zraka v celinski Sloveniji postopoma izboljševala, je na Primorsko z zahodnimi vetrovi

prihajalo onesnaženje iz Padske nižine. V teh dneh so bile ravni delcev v Novi Gorici in Kopru nad mejno dnevno vrednostjo. Do popolnega premešanja zračne mase po celotnem zračnem stolpcu je prišlo 8. februarja zvečer, ko je zapihal okrepljen jugozahodni veter. Naslednji dan, 9. februarja, je bil zrak po vsej Sloveniji čist.

Z novo epizodo stabilnega vremena, ki se je začela konec februarja, so se temperaturni obrati ponovno pojavljali, predvsem v vzhodni polovici Slovenije. Ta del države je imel bistveno manj oblačnosti, kar je povzročilo nižje jutranje temperature v primerjavi z ostalimi regijami. 29. februarja so bile izmerjene naslednje minimalne temperature: Ljubljana 6°C, Celje – Ljubljanska 4,3°C, Murska Sobota 2,9°C, Maribor – letališče 2,6°C, Ptuj 1,1°C. Tudi 1. marca, ko so bile padavine, je bila temperaturna razlika med Ljubljano in Ptujem še vedno 4°C. 2. marca se je začel krepiti jugozahodni veter, kar je povzročilo postopno zniževanje ravni delcev PM₁₀ na večini merilnih mest, razen v severovzhodni Sloveniji. V Ljubljani so bile ravni PM₁₀ ta dan nižje od 20 µg/m³, medtem ko so bile na obeh merilnih mestih v Murski Soboti še vedno povišane (Cankarjeva 47 µg/m³, Rakičan 41 µg/m³). Razlog za to je bil porast popoldanskih in večernih ravni delcev, ki je nastal zaradi narivanja tople zračne mase na onesnažen zrak po tleh.

V novembru sta bili v nekaterih krajih v Sloveniji zabeleženi dve epizodi s povišanimi ravnmi delcev PM₁₀. Prva epizoda se je začela 5. novembra in je trajala do 13. novembra. Razporeditev onesnaženosti zunanjega zraka je bila nenavadna, saj je bilo največ preseganj dnevne mejne vrednosti zabeleženih v Črnomlju, drugo najbolj onesnaženo mesto pa je bilo Novo mesto. Podrobnejša analiza vremenske slike in radiosondaže je pokazala, da so bili naši kraji v nižjih plasteh pod vplivom hladne in vlažne zračne mase z vzhoda, medtem ko je v višjih plasteh z južnim vetrom dotekal topel in suh zrak. Potek modelske napovedi je razkril, da sta bila Črnomelj in Novo mesto ujeta v oblaku onesnaženega zraka, ki je ob prisotnosti tople zračne mase v višinah segel globoko v osrčje celinske Hrvaške ter nad območje Slavonije in severne Bosne (slika 7.13). Na merilnem mestu Murska Sobota Cankarjeva je bilo v tem obdobju zabeleženo zgolj eno preseganje mejne vrednosti. Razlog za to je bila izrazitejša vzhodna advekcija, ki je tudi v višjih plasteh ohranjala hladnejši zrak, kar je preprečevalo nastanek izrazitejšega temperaturnega obrata.



Slika 7.13: CAMx modelska napoved povprečne dnevne vrednosti delcev PM₁₀ za 7. in 8. november 2024

V drugem obdobju, ki je trajalo med 15. in 19. novembrom, je vremensko sliko zaznamoval topel

zahodni veter v višinah. Do popolnega razkroja onesnažene plasti pri tleh je prišlo 20. novembra, ko je močan jugozahodnik prevetril kotline in nižine ter izboljšal kakovost zraka.

Zadnji dnevi decembra (od 27. do 31. 12. 2024) so v Sloveniji minili v znamenju izrazitega temperaturnega obrata, kar se je odrazilo v povišanih ravneh delcev PM_{10} v celinski Sloveniji. V višinah se je nad našimi kraji zadrževal zelo topel zrak, medtem ko se je po nižinah zjutraj pogosto zadrževala megla ali nizka oblačnost. Dnevi so bili pretežno jasni, z nekaj koprenaste oblačnosti. Jutra so bila mrzla, v nižinah, z izjemo Primorske, se temperature niso dvignile nad ledišče. Na več merilnih mestih po Sloveniji so bile v tem obdobju povprečne dnevne vrednosti delcev PM_{10} višje od mejne dnevne vrednosti $50 \mu g/m^3$.

7.5 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 iz 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 7.12.

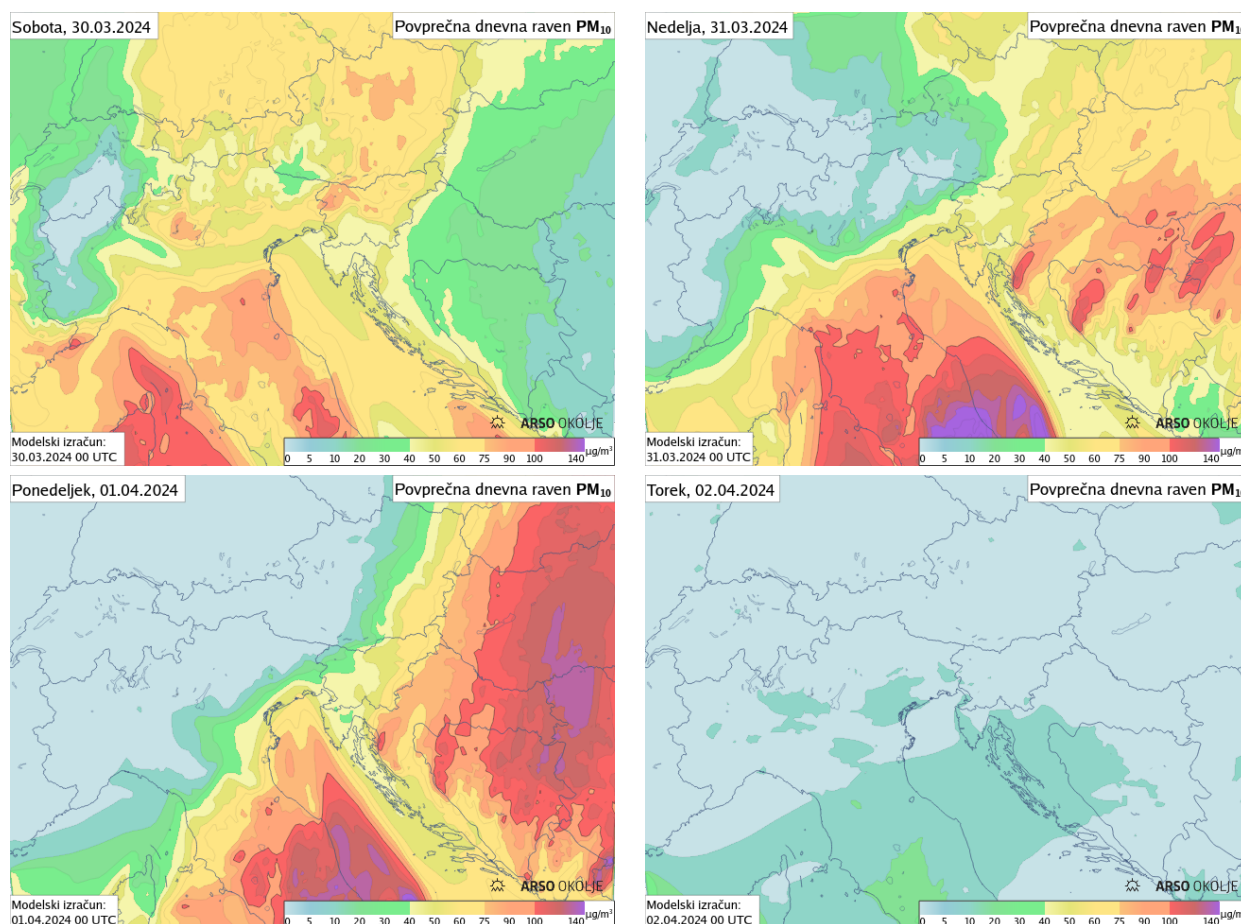
Tabela 7.12: Sestava delcev PM_{2,5} na merilnem mestu Iskrba v letu 2024.

		zimsko obdobje	poletno obdobje
Iskrba	NH ₄ ⁺ +NO ₃ ⁻ +SO ₄ ²⁻ (µg/m ³)	1,8	1,8
	Organski ogljik (µg/m ³)	2,2	2,2
	Elementarni ogljik (µg/m ³)	0,22	0,14

7.6 Preseganja mejnih vrednosti zaradi naravnih virov

V zadnjih letih je v Sloveniji zaznati vse pogostejše vdore puščavskega prahu iz Sahare, ki vplivajo na ravni delcev PM₁₀. Če se dokaže, da so preseganja posledica naravnega vira, se jih v skladu z navodili Evropske komisije *Guidance on the quantification of the contribution of natural sources under the EU Air Quality Directive 2008/50/EC* [13] ne upošteva pri določanju skladnosti s predpisanimi standardi kakovosti zraka. Navodilo določa metodologijo za prepoznavo prisotnosti puščavskega prahu v zunanjem zraku. Obdobja prisotnosti puščavskega prahu se običajno zaznajo s pomočjo modelske napovedi. Na merilnih mestih, kjer se spremljata koncentraciji delcev PM₁₀ in PM_{2,5}, se v takih primerih pojavi povečana razlika med obema frakcijama, saj puščavski prah vsebuje več večjih delcev. Dodatno preverjanje se opravi s kemijsko analizo delcev PM₁₀, pri čemer se v primeru epizod saharskega prahu pričakujejo povišane koncentracije železa, aluminija, kalcija, magnezija in stroncija. V primeru ugotovitve prisotnosti puščavskega prahu je potrebno na merilnem mestu, ki je tipa regionalno ozadje, izračunati količino prinešenega puščavskega prahu v µg/m³. Ta prispevek se nato na postaji, kjer je bila izmerjena presežena mejna dnevna vrednost 50 µg/m³ in kvalitativno ugotovljena prisotnost puščavskega prahu, odšteje od izmerjene ravni PM₁₀. V Sloveniji je edino merilno mesto, kjer spremljamo ozadje, Iskrba. V letu 2024 so bile zabeležene tri epizode prehoda puščavskega prahu, pri katerih je na nekaterih merilnih mestih prišlo do preseganja mejne dnevne vrednosti za PM₁₀ (50 µg/m³). Med naravne vire se štejejo tudi vulkanski prah, puščavski prah, gozdni požari in aerosoli iz morja. V Sloveniji prispevek morskega pršca ni pomemben, v letu 2024 prav tako nismo zabeležili večjih požarov v naravnem okolju in izrazitih vulkanskih izbruhov, ki bi lahko vplivali na ravni delcev v Sloveniji.

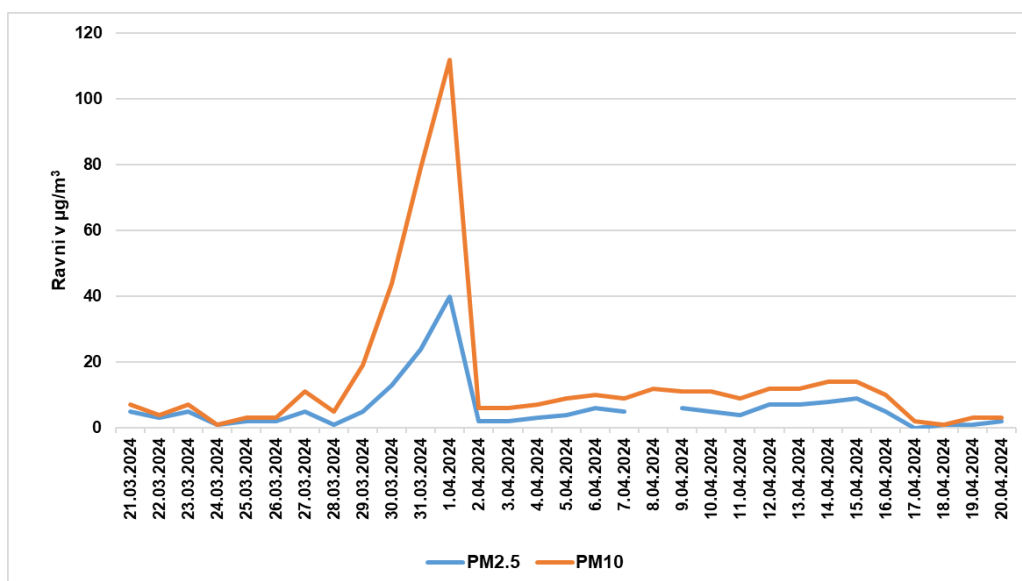
Prva epizoda se je začela 30. marca 2024, ko je oblak puščavskega prahu čez dan zajel Slovenijo z juga in vztrajal do ponedeljka, 1. aprila. Takrat je hladna fronta z zahoda potisnila puščavsko maso proti vzhodu (slika 7.14). V tem obdobju so bila preseganja mejne vrednosti PM₁₀ zabeležena na večini merilnih postaj. Zlasti v nedeljo in ponedeljek je bilo na strehah avtomobilov opaziti prašno plast, ki je nastala zaradi suhega izpada delcev iz zraka (brez izpiranja z dežjem). Najvišje urne ravni PM₁₀ so bile izmerjene v ponedeljek čez dan, tik preden je Slovenijo zajela hladna fronta. Najvišja dnevna raven PM₁₀ je bila zabeležena na merilnem mestu Ptuj, dne 31. marca in je znašala 115 µg/m³. Do preseganj mejne dnevne vrednosti 50 µg/m³ je prišlo na vseh merilnih mestih v Državni merilni mreži za spremljanje kakovosti zunanjega zraka. V skladu z zakonodajo se ta preseganja, ker so posledica naravnega izvora, ne upoštevajo pri ocenjevanju skladnosti s predpisanimi standardi kakovosti zraka.



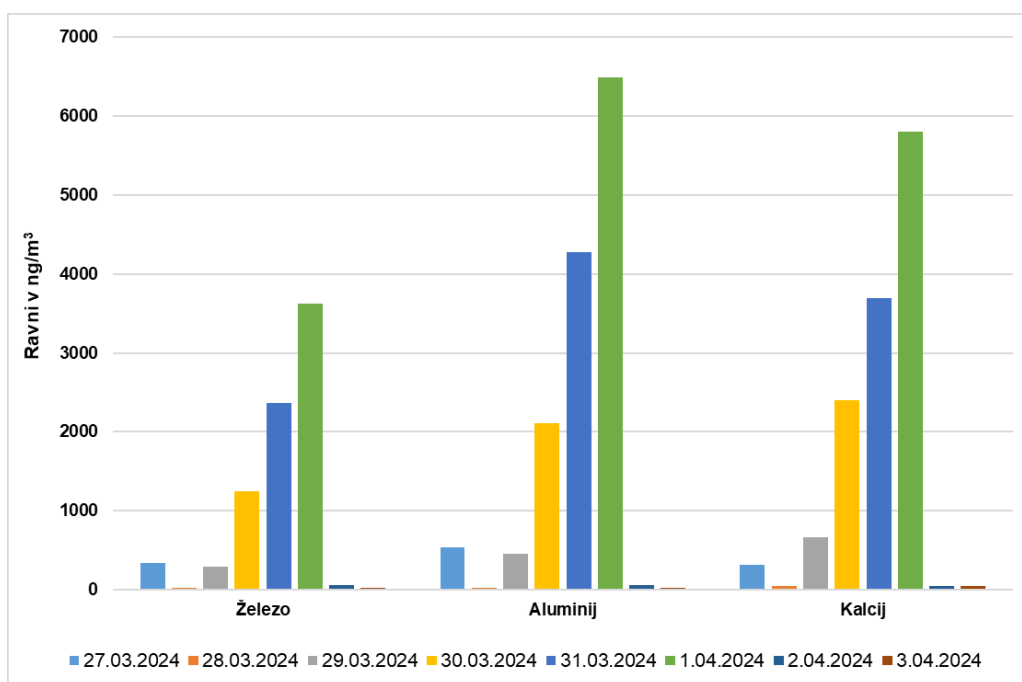
Slika 7.14: Prikaz modelskih rezultatov onesnaženosti zraka z delci PM₁₀ od 30.3.2024 do 2.4.2024.

Na merilnem mestu, kjer se spremljata koncentraciji prašnih delcev PM₁₀ in PM_{2,5}, je bila v tem obdobju zaznana povečana razlika med obema frakcijama (slika 7.15), kar je značilno za prisotnost puščavskega prahu, saj ta vsebuje večje delce. Za dodatno potrditev prisotnosti puščavskega prahu je bila izvedena kemijska analiza delcev PM₁₀ na Iskrbi pri Kočevski Reki. Na sliki (slika 7.16) so prikazani rezultati te analize. Ravni železa, aluminija in kalcija so višje v dneh, ko je Slovenijo prešel puščavski prah (30.3., 31.3. in 1.4.2024).

Druga epizoda prehoda puščavskega prahu je bila zabeležena v maju. Ravni delcev PM₁₀ so se zaradi prisotnosti puščavskega prahu povišale na vseh merilnih mestih, vendar je do preseganja



Slika 7.15: Povprečne dnevne ravni delcev PM₁₀ in PM_{2,5} (µg/m³) na merilnem mestu Iskrba pri Kočevski Reki



Slika 7.16: Kemijska analiza delcev PM₁₀ (ng/m³) na merilnem mestu Iskrba pri Kočevski Reki

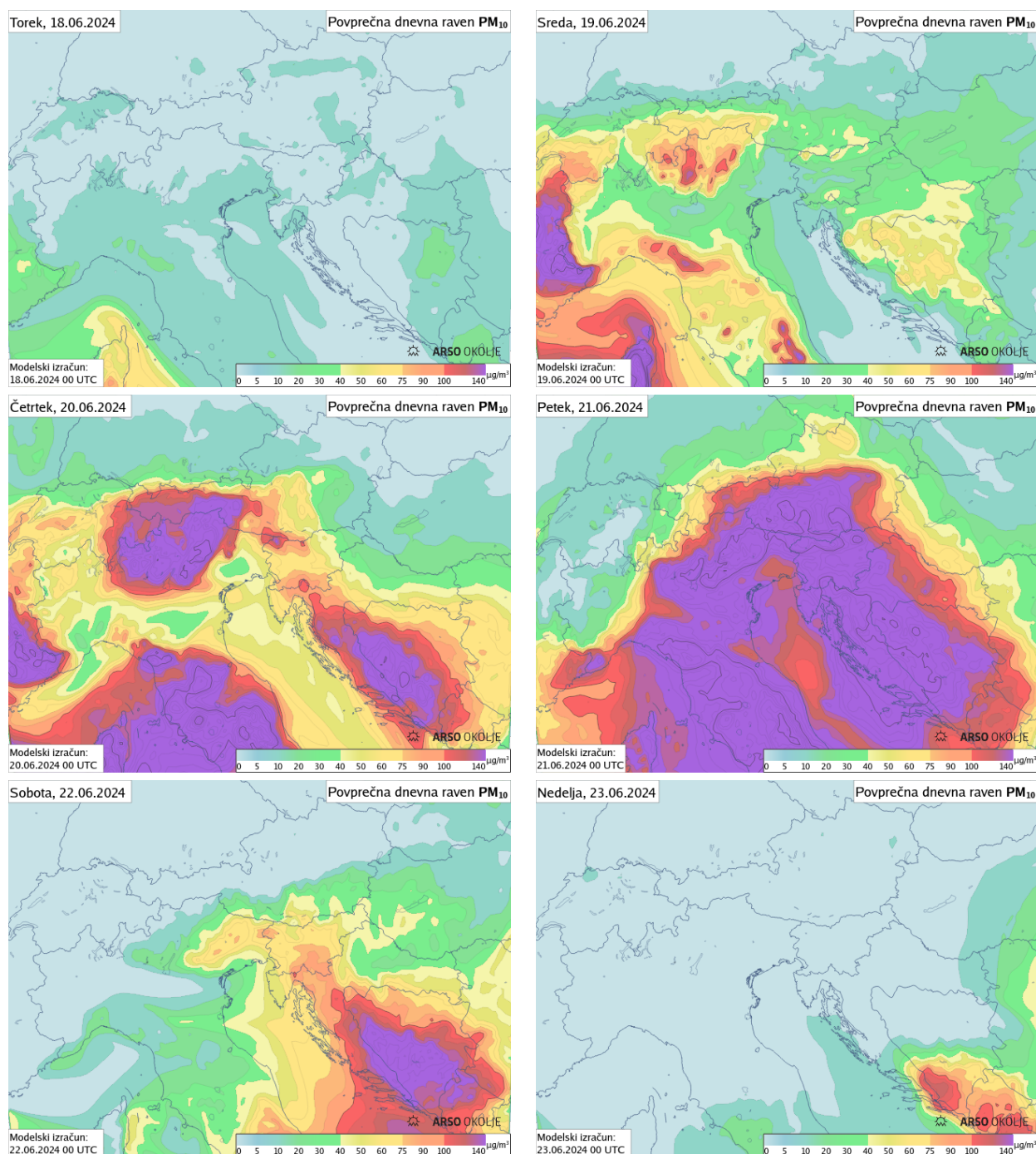
mejne dnevne vrednosti 50 µg/m³ v DMKZ prišlo le na merilnem mestu Nova Gorica Vojkova. Oblak puščavskega prahu je južni del Slovenije zajel že 19. maja, ko so urne ravni na postaji Iskrba v večernih urah začasno presegle 100 µg/m³. Naslednji dan, 20. maja, se je oblak razširil predvsem nad osrednji in zahodni del države. Lokalni potek urnih ravni delcev v prvem delu dneva je nazorno prikazal razlike v onesnaženosti med vzhodnim delom Slovenije in ostalimi območji. Med 11. in 12. uro so bile na izbranih merilnih mestih zabeležene naslednje urne vrednosti PM₁₀:

- Murska Sobota Rakičan: 17 µg/m³
- Maribor Vrbanski: 13 µg/m³

- Celje bolnica: $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- Ljubljana Celovška: $59 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- Nova Gorica Grčna: $74 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- Novo mesto: $76 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- Ilirska Bistrica Gregorčičeva: $93 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- Iskrba: $91 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Kljub visokim urnim vrednostim je bilo onesnaženje z delci zgolj začasno, saj so se pozno popoldne in zvečer pojavile posamezne plohe in nevihte, veter pa se je začel obračati na vzhodno smer. Dnevna mejna vrednost je bila ta dan in hkrati v celotnem mesecu presežena le na enem merilnem mestu Nova Gorica Vojkova. Ponoči se je pooblačilo, padavine so z juga zajele večji del države. 21. maja se je s prehodom fronte kakovost zraka izboljšala po vsej Sloveniji.

V drugi polovici junija je Slovenijo ponovno zajel oblak puščavskega prahu, ki je povzročil povišanje ravni delcev PM_{10} tudi pri tleh (slika 7.17). Ravni delcev so se povišale na vseh merilnih mestih. Do preseganja mejne dnevne vrednosti $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ je prišlo 21. in 22. junija v zahodni in osrednji Sloveniji, medtem ko je bilo v vzhodni Sloveniji preseganje zabeleženo le 21. junija. Najvišja dnevna vrednost $106 \mu\text{g}/\text{m}^3$ je bila izmerjena 21. junija v Ilirski Bistrici.



Slika 7.17: Prikaz modelskih rezultatov onesnaženosti zraka z delci PM_{10} od 18.6.2024 do 23.6.2024.

Za določitev vpliva puščavskega prahu se na referenčnem merilnem mestu Iskrba izračuna povprečna koncentracija delcev PM_{10} v obdobju 15 dni pred in 15 dni po epizodi puščavskega prahu. Ta povprečna vrednost se nato odšteje od izmerjene koncentracije PM_{10} med epizodo. Na ta način izračunan pribitek puščavskega prahu za vsa omenjena obdobja je na merilnem mestu Iskrba znašal:

- 30. marca: 36 $\mu g/m^3$
- 31. marca: 71 $\mu g/m^3$
- 1. aprila: 104 $\mu g/m^3$
- 20. maja: 27 $\mu g/m^3$

- 21. junija: 58 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- 22. junija: 38 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

V določenih primerih je izračunan pribitek puščavskega prahu celo višji od izmerjenih dnevnih koncentracij PM_{10} na posameznih merilnih mestih.

Po odštetju vpliva puščavskega prahu so na večini merilnih mest dnevne vrednosti PM_{10} nižje od mejne dnevne vrednosti 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Zato se ta preseganja pri ugotavljanju skladnosti s standardi kakovosti zraka ne upoštevajo v skupnem letnem številu preseganj (tabela 7.13).

Pribitek puščavskega prahu je bil upoštevan le na merilnih mestih v DMKZ. Na merilnih mestih Iskrba, Maribor Vrbanski in Velenje so bila vsa preseganja v letu 2024 posledica puščavskega prahu. Na merilnih mestih Črna na Koroškem in Črnomelj pa je bilo pet preseganj posledica puščavskega prahu, kar pomeni, da je skupno število preseganj v letu 2024 ob upoštevanju naravnega vira nižje od dovoljenega števila preseganj mejne dnevne vrednosti 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Tabela 7.13: Število preseganj dnevne mejne vrednosti PM_{10} v letu 2024 pred in po upoštevanju deleža puščavskega prahu na postajah DMKZ.

Merilno mesto	Število preseganj mejne dnevne vrednosti za PM_{10}	
	pred upoštevanjem puščavskega prahu	po upoštevanju puščavskega prahu
CE bolnica	21	17
CE Ljubljanska	17	13
Črna na Koroškem	37	32
Črnomelj	39	34
Hrastnik	8	4
IB Gregorčičeva	9	4
Iskrba	4	0
Koper	11	7
Kranj	12	7
LJ Bežigrad	17	12
LJ Celovška	25	20
LJ Vič	20	15
MB Titova	12	8
MB Vrbanski	4	0
MS Cankarjeva	31	27
MS Rakičan	15	11
NG Grčna	9	7
NG Vojkova	14	11
Novo mesto	9	5
Ptuj	13	11
Trbovlje	8	4
Velenje	4	0
Zagorje	13	9
Žerjav	9	4

7.7 Izračunu ekvivalence za avtomatske merilnike delcev v zunanjem zraku

7.7.1 Uvod

Ustreznost delovanja avtomatskih merilnikov za delce PM₁₀ in PM_{2,5} v zunanjem zraku se zaradi pomanjkanja sledljivih standardov ali referenčnih materialov za merjenje delcev v zunanjem zraku preverja s stalnimi primerjavami z ustrezno referenčno metodo, ki je opisana v standardu SIST EN 12341:2023. Na ta način s primerjavo z referenčnim merilnikom na istem merilnem mestu določimo razširjeno merilno negotovost za avtomatske merilnike delcev. Če so meritve izvedene v skladu s standardom, določena merilna negotovost predstavlja kriterij za ekvivalenco v skladu s standardom SIST EN 16450:2017: Zunanji zrak – Avtomatski merilni sistemi za merjenje koncentracije delcev (PM₁₀; PM_{2,5}) (v nadaljevanju EN 16450).

V nadaljevanju so predstavljeni rezultati računske obravnave meritev za leto 2024, določitve skupnega korekcijskega faktorja, izračuna razširjene merilne negotovosti za avtomatske merilnike delcev Horiba APDA. Njihove meritve so bile primerjane z rezultati dnevnih meritev referenčnih merilnikov delcev Leckel izmerjenih na istih merilnih mestih.

7.7.2 Rezultati

Merilno negotovost za namen ocene ekvivalence avtomatskih merilnih sistemov za delce PM₁₀ in PM_{2,5} v zunanjem zraku smo izračunali na podlagi podatkov zbranih v letu 2024. Ustreznost delovanja smo ocenili za skupno 17 avtomatskih merilnikov delcev PM₁₀ in 5 za delce PM_{2,5}, ki se nahajajo na 17 različnih merilnih postajah. Meritve ter računi so bili izvedeni v skladu s standardu EN 16450.

Izračunane razširjene merilne negotovost (WAMS) iz izhodnih podatkov so pri 14 merilnikih od 17 za PM₁₀ ter pri vseh petih merilnikih PM_{2,5} presegle po standardu določeno mejno vrednost 25 % (WAMS ± 25 %). Zaradi preseganja predpisanega kriterija je sledila določitev korekcijskega koeficienta. Zaradi lažje nadaljnje sistemske implementacije korekcije je bil določen en skupni korekcijski faktor za vse merilnike in ne za vsak merilnik posamezno. Preizkušeni so bili več različnih korekcijskih faktorjev za popravek naklona (*b*) kalibracijske premice, ki jo lahko zapišemo s formulo $y = a + bx$, v območju od 1,05 do 1,3. V primeru delcev PM₁₀ kot tudi PM_{2,5} je bila kot ustrezen korekcijski faktor določena vrednost 1,15. Ob upoštevanju tega faktorja so bile nove vrednosti merilne negotovosti za vse merilnike pod mejno vrednostjo, s čimer je bila v vseh primerih tudi dokazana ekvivalenca. Korekcija se implementira po formuli 7.1, kjer se y_i nanaša na nepopravljeno meritev in $y_{i,corr}$ na popravljen vrednost, ki predstavlja končno vrednost za poročanje.

$$y_{i,corr} = \frac{y_i}{1,15} \quad (7.1)$$

Razširjene merilne negotovosti pred korekcijo ter po implementirani korekciji so zbrane v tabeli 7.14 za delce PM₁₀ in tabeli 7.15 za delce PM_{2,5}. Z rdečo barvo so označene vrednosti, ki presegajo s standardom določeno mejno vrednost.

Tabela 7.14: Razširjena merilna negotovost za avtomatske merilnike delcev PM₁₀ v zunanjem zraku izračunane pred korekcijo ter po korekciji s korekcijskim faktorjem. Z rdečo so označene vrednosti, ki presegajo mejno vrednost (WAMS ± 25 %), ki jo predpisuje standard EN 16450.

W _{AMS} [%] za PM ₁₀			
Merilna postaja	Koda	Pred korekcijo [%]	Po korekciji [%]
LJ Bežigrad	E403	25,2	10,8
LJ Celovška	E405	22,4	15,2
MB Titova	E407	14,0	20,6
MB Vrbanski	E408	44,5	13,3
MS Rakičan	E409	44,9	15,0
MS Cankarjeva	E410	33,6	7,9
CE bolnica	E411	31,8	7,9
CE Ljubljanska	E412	38,6	9,5
Trbovlje	E413	30,5	7,7
Hrastnik	E414	22,3	10,0
Zagorje	E415	49,6	17,7
Kranj	E417	22,8	12,1
Novo Mesto	E418	43,1	12,9
Iskrba	E420	49,4	17,7
NG Grčna	E421	29,5	5,9
Koper	E423	15,2	17,4

Tabela 7.15: Razširjena merilna negotovost za avtomatske merilnike delcev PM_{2,5} v zunanjem zraku izračunane pred korekcijo ter po korekciji s korekcijskim faktorjem. Z rdečo so označene vrednosti, ki presegajo mejno vrednost (WAMS ± 25 %), ki jo predpisuje standard EN 16450.

W _{AMS} [%] za PM _{2,5}			
Merilna postaja	Koda	Pred korekcijo [%]	Po korekciji [%]
LJ Bežigrad	E403	48,8	17,8
MB Vrbanski	E408	43,8	13,6
CE bolnica	E411	49,1	18,3
Iskrba	E420	33,4	8,6
NG Grčna	E421	55,6	24,4

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

8.1 Benzo(a)piren

Benzo(a)piren (BaP) je policiklična aromatska spojina s petimi obroči. Nastaja pri nepopolnem zgorevanju goriv fosilnega izvora in biomase. Glavni vir predstavljajo izpusti iz zastarelih malih kurilnih naprav gospodinjstev na trdna goriva, za katere je značilen 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.

8.1.1 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 [4]. Prikazana je v tabeli 8.1.

Tabela 8.1: Ciljna vrednost za benzo(a)piren (ng/m^3).

	Cilj	Čas merjenja	Vrednost
Ciljna vrednost	Zdravje	Koledarsko leto	1

8.1.2 Ravni onesnaženosti

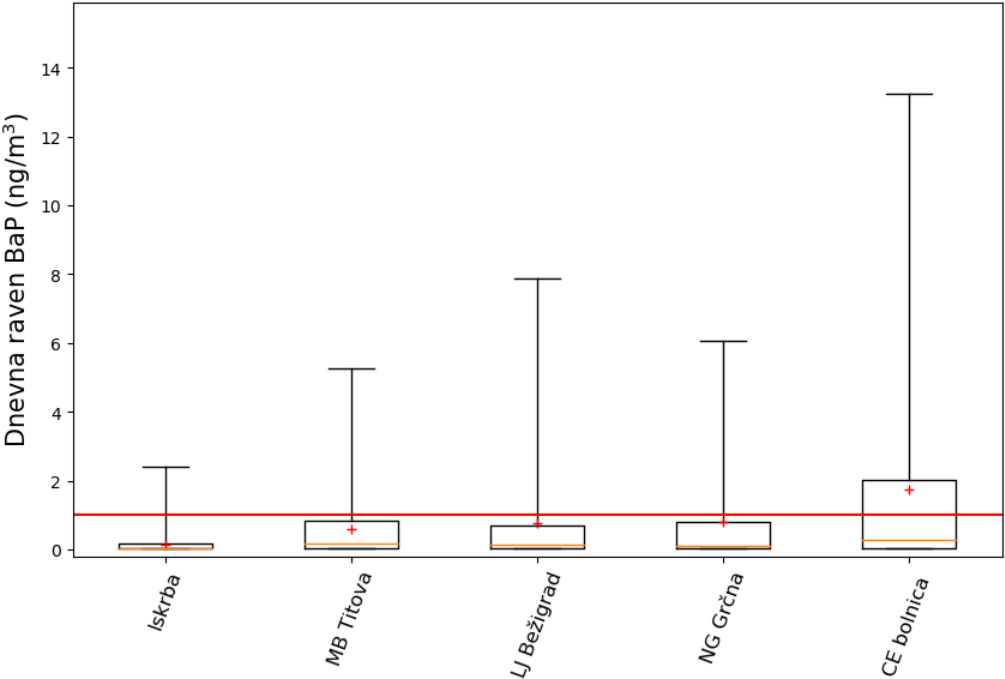
Pregled izmerjenih vrednosti benzo(a)pirena (BaP) v letu 2024 je prikazan v tabeli 8.2 ter na sliki 8.1. V letu 2018 smo v Ljubljani meritve benzo(a)pirena predstavili z merilnega mesta Biotehniška fakulteta na merilno mesto Bežigrad. Poleg tega izvajamo stalne meritve še v Mariboru, Novi Gorici, Celju in na Iskrbi. V letu 2024 so potekale meritve benzo(a)pirena še v Črnomlju pri Zdravstvenem domu, kjer so bile izmerjene najvišje vrednosti benzo(a)pirena med vsemi merilnimi mesti. Povprečna letna vrednost je znašala kar $2,6 \text{ ng}/\text{m}^3$. Ciljna letna vrednost znaša $1 \text{ ng}/\text{m}^3$ in je bila v letu 2024 poleg Črnomlja presežena tudi v Celju, namerilnem mestu pri bolnici ($1,7 \text{ ng}/\text{m}^3$). Povprečne letne vrednosti benzo(a)pirena so za merilna mesta po letih prikazana v tabeli 8.3 in na sliki 8.2.

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

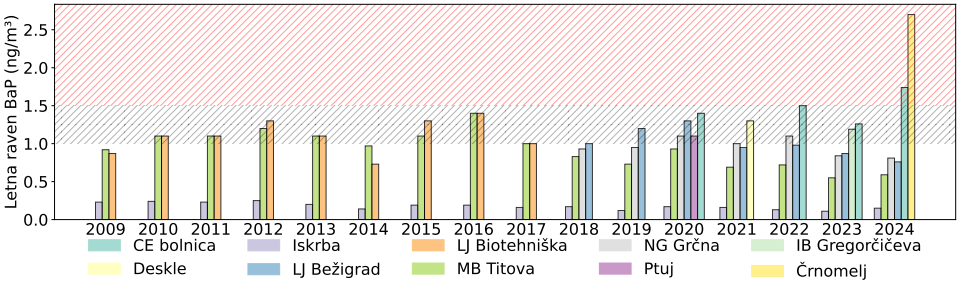
prevetrenost in dlje časa trajajoči temperaturni obrati). Poleti so ravni na vseh lokacijah znatno nižje.

Tabela 8.2: Letna razpoložljivost z dnevnimi podatki (% pod) in povprečna letna raven (C_p) benzo(a)pirena v ng/m^3 v letu 2024.

	% pod.	C_p
CE bolnica	33	1,7
Iskrba	33	0,15
Črnomelj	93	2,6
LJ Bežigrad	34	0,76
MB Titova	31	0,59
NG Grčna	33	0,81



Slika 8.1: Prikaz dnevnih ravni benzo(a)pirena na merilnih mestih v letu 2024. 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.



Slika 8.2: Prikaz povprečnih letnih ravni benzo(a)pirena na različnih postajah po letih. Ciljna vrednost je $1 \text{ ng}/\text{m}^3$.

Tabela 8.3: Povprečna letna raven benzo(a)pirena (ng/m³) na merilnih mestih po letih.

	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
CE bolnica	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	1,4	/	1,5	1,3	1,7
Črnomelj	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	2,6
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	0,15
LJ Bežigrad	/	/	/	/	/	/	/	/	/	1,0	1,2	1,3	0,95	0,98	0,87	0,76
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	0,59
NG Grčna	/	/	/	/	/	/	/	/	/	0,93	0,95	1,1	1,0	1,1	0,84	0,81
Ptuj	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	1,1	/	/	/	/

* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.

8.2 Kovine

Izpusti arzena (As), kadmija (Cd), svinca (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 svinca 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.

8.2.1 Izpusti

Letni izpusti arzena so v Sloveniji leta 2023 znašali 0,5 ton. V primerjavi z letom 1990 so se zmanjšali za 45 % (slika 8.3). Najpomembnejši vir izpustov arzena je proizvodnja elektrike in toplote. Oskrba z energijo je v letu 2023 prispevala k skupnim državnim izpustom arzena kar 83 % (slika 8.4).

Letni izpusti niklja so v Sloveniji leta 2023 znašali 1,3 ton. V obdobju 1990-2022 so se izpusti zmanjšali za 55 % (slika 8.5). Glavni viri izpustov niklja so bili v letu 2023 industrijski procesi in raba topil (34 %), mala kurišča (27 %) in proizvodnja elektrike (25 %) (slika 8.6).

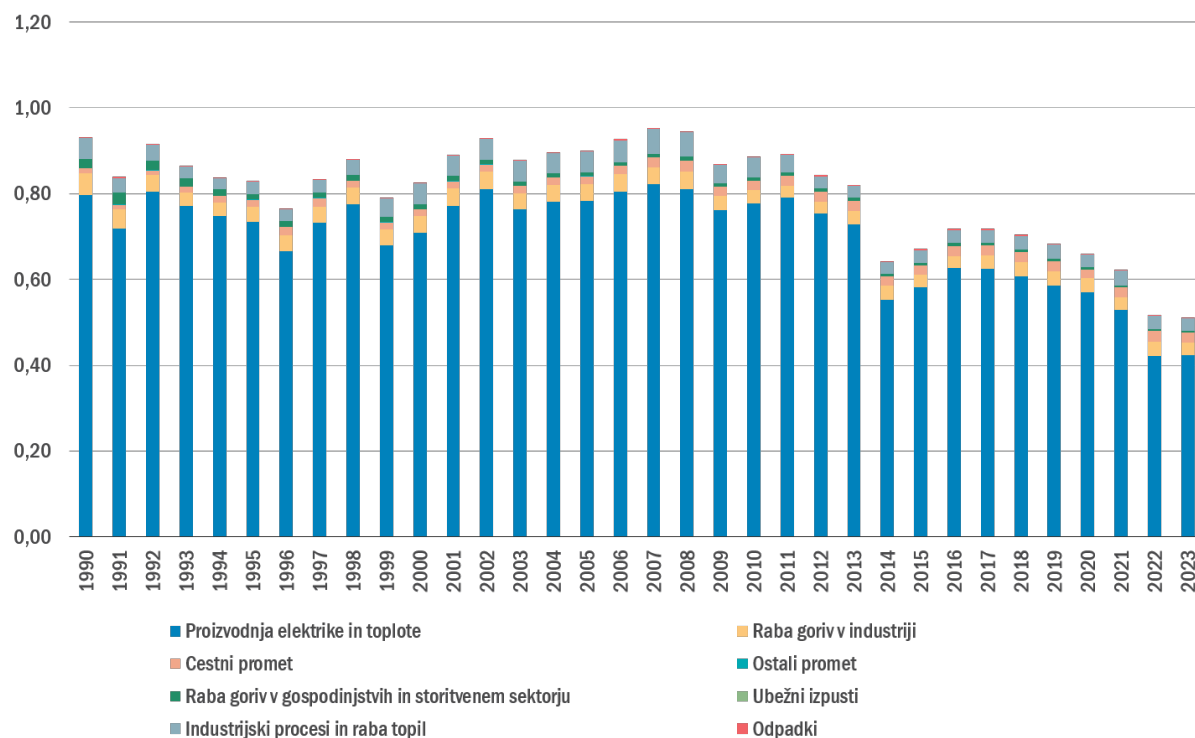
Letni izpusti kadmija so v Sloveniji leta 2023 znašali 0,5 ton. V primerjavi z letom 1990 so se zmanjšali za 23 % (slika 8.7). Glavni razlog za nižje izpuste kadmija v zadnjih letih je posodobitev tehnoloških procesov. Največji delež k skupnim izpustom kadmija je v letu 2023 prispevala raba goriv v gospodinjstvih in storitvenem sektorju (42 %) (slika 8.8).

Letni izpusti svinca so v Sloveniji leta 2023 znašali 5,1 ton. V obdobju 1990-2023 so se zmanjšali za 88 %, predvsem zaradi opustitve osvinčenih motornih bencinov (slika 8.9). Največji delež k skupnim izpustom svinca je prispeval cestni promet (39 %), sledijo industrijski procesi s 37 % (slika 8.10).

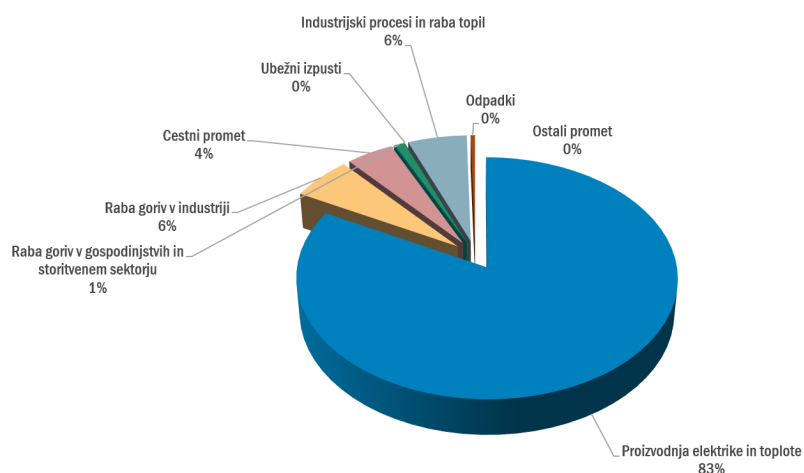
Slovenija izpolnjuje zahteve iz Protokola o kovinah h Konvenciji o onesnaževanju zraka na velike razdalje preko meja [26]. Skupne državne vrednosti izpustov kadmija in svinca ne presegajo vrednosti iz izhodiščnega leta 1990.

Podrobne informacije o izpustih kovin in metodologiji izračuna izpustov so na voljo v dokumentu Informative Inventory Report 2025 for Slovenia [12].

Izpusti As (t)

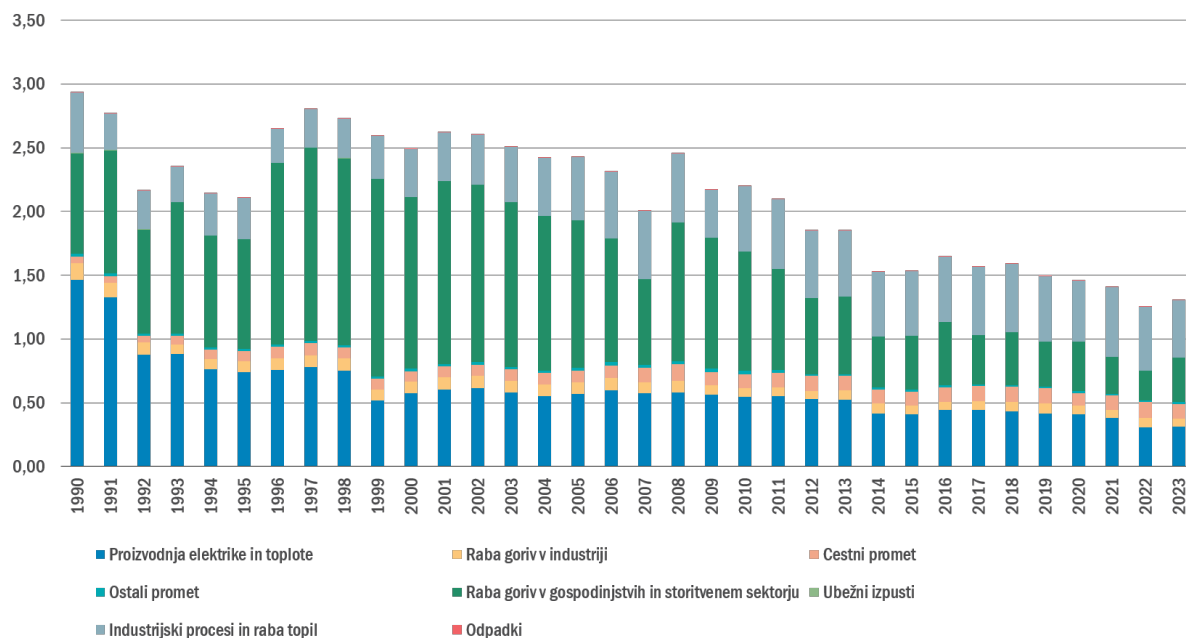


Slika 8.3: Letni izpusti arzena po sektorjih v Sloveniji.

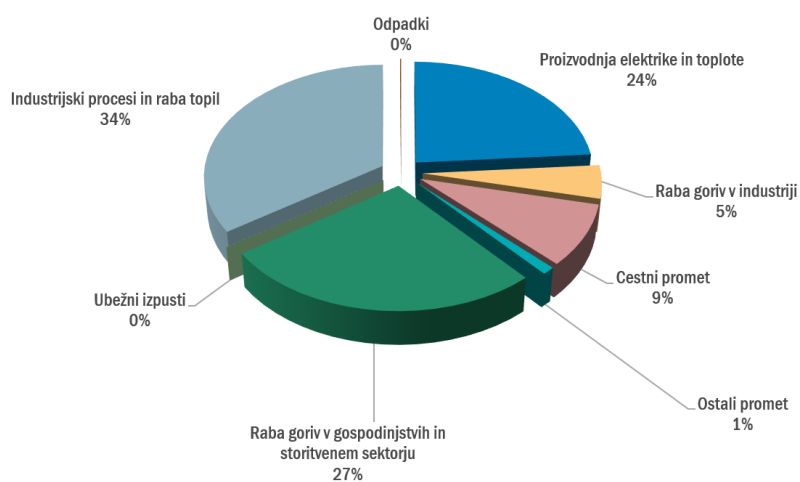


Slika 8.4: Izpusti arzena po sektorjih v Sloveniji v letu 2023.

Izpusti Ni (t)

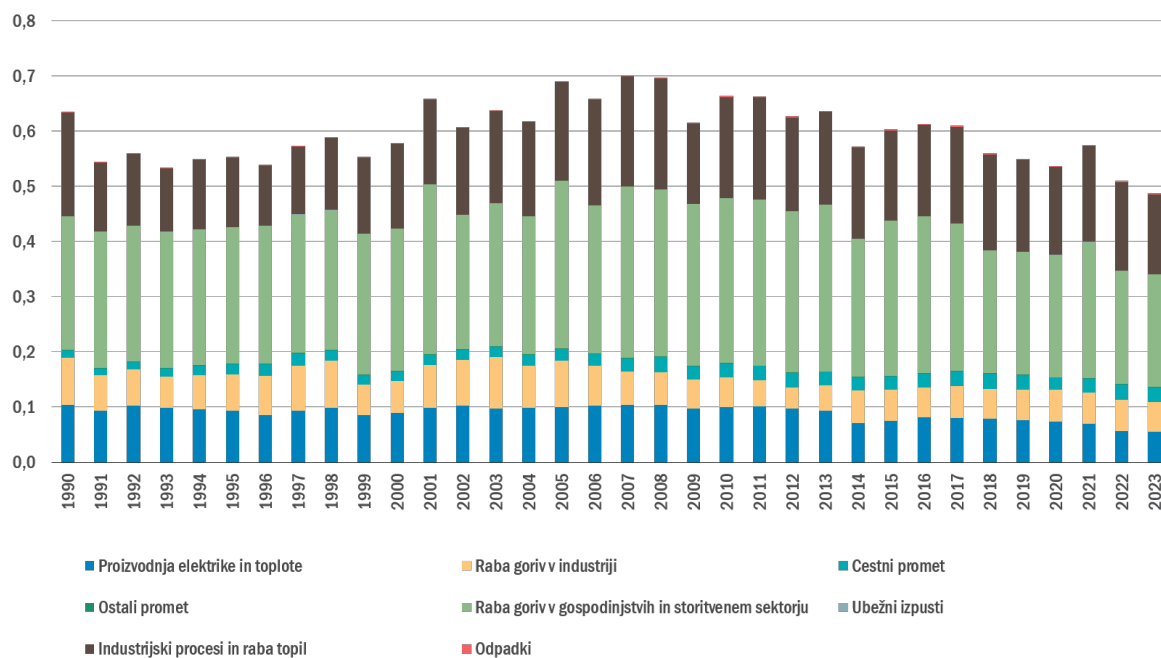


Slika 8.5: Letni izpusti niklja po sektorjih v Sloveniji.

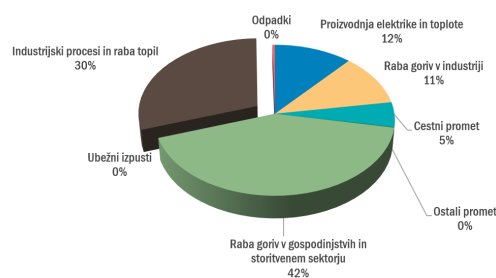


Slika 8.6: Izpusti niklja po sektorjih v Sloveniji v letu 2023.

Izpusti Cd (t)

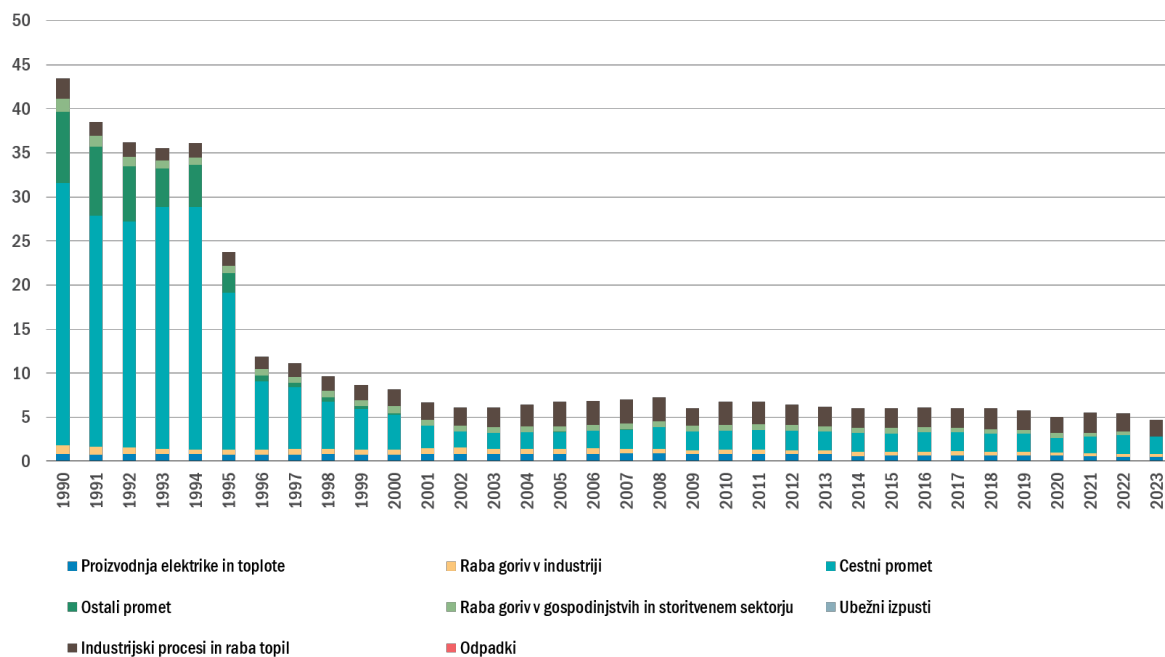


Slika 8.7: Letni izpusti kadmija po sektorjih v Sloveniji.

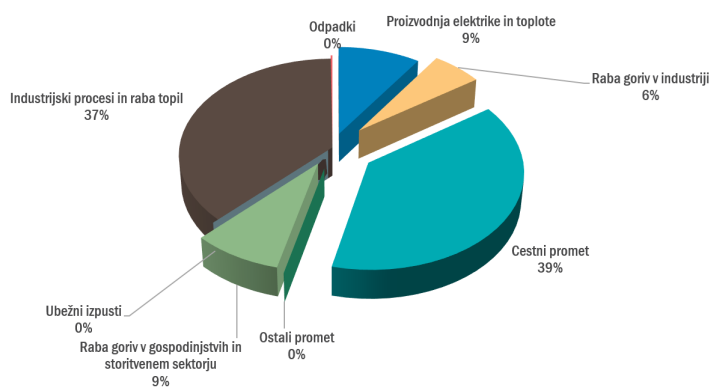


Slika 8.8: Izpusti kadmija po sektorjih v Sloveniji v letu 2023.

Izpusti Pb (t)



Slika 8.9: Letni izpusti svinca po sektorjih v Sloveniji.



Slika 8.10: Izpusti svinca po sektorjih v Sloveniji v letu 2023.

8.2.2 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 [4], mejna vrednost za svinec je določena v Uredbi o kakovosti zunanjega zraka [3]. Predpisane vrednosti so podane v tabeli 8.4.

Tabela 8.4: 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

8.2.3 Ravni onesnaženosti

Pregled letnih ravni kovin v letu 2024 izračunanih iz povprečnih dnevnih vrednosti je prikazan v tabeli 8.5 ter na slikah od 8.11 do 8.14. Meritve kovin stalno izvajamo na petih merilnih mestih: Ljubljana Bežigrad, Maribor Titova, Žerjav, Iskrba in Celje bolnica. V letu 2024 so potekale meritve kovin še v Črnomlju ob Zdravstvenem domu. V letu 2018 smo v Ljubljani meritve kovin prestavili z merilnega mesta Biotehniška fakulteta na merilno mesto Bežigrad.

Tabela 8.5: Letna pokritost s podatki (% pod) in letna raven kovin (ng/m³) v letu 2024.

	% pod	Arzen	Nikelj	Kadmij	Svinec
CE bolnica	16	0,31	2,1	0,32	5,4
Črnomelj	93	0,26	0,58	0,18	4,2
Iskrba	18	0,21	1,1	0,06	1,6
LJ Bežigrad	17	0,25	2,1	0,15	4,4
MB Titova	16	0,28	1,5	0,12	5,1
Žerjav	52	1,4	2,0	3,8	299

V letu 2024 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. Nižje so bile tudi v Črnomlju, kjer so v letu 2024 potekale izredne meritve. Primerjava ravni kovin v obdobju od 2009 do 2024 kaže, da obremenjenost ostaja približno na istem nivoju (tabele 8.6 do 8.9 in slike 8.15 do 8.18). Raven onesnaženosti, ki je večja od predpisane letne mejne/ciljne vrednosti je označena krepko.

V Žerjavu so povišane vrednosti arzena, kadmija in svinca povezane z delovanjem okoliške industrije in starih bremen. Povprečne letne vrednosti arzena in kadmija so na merilnem mestu Žerjav višje kot na drugih merilnih mestih a večinoma ne presegajo predpisanih standardov kakovosti. Do preseganja mejne/ciljne vrednosti je prišlo v Žerjavu dvakrat od leta 2009 odkar se tam redno spremlja vsebnost kovin v delcih PM₁₀. V letu 2016 je bila presežena ciljna vrednost za kadmij, leta 2021 pa mejna vrednost za svinec.

Tabela 8.6: Letna raven arzena (ng/m³).

	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
CE bolnica	/	/	/	/	/	/	/	0,53	0,55	0,48	0,42	0,38	0,37	0,44	0,32	0,31
Deskle	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	0,19	/	/	/
Črnomelj	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	0,26
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	0,21
LJ Bežigrad	/	/	/	/	/	/	/	/	/	0,42	0,35	0,30	0,33	0,32	0,26	0,25
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	0,28
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	1,4

* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.

Tabela 8.7: Letna raven niklja (ng/m³).

	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
CE bolnica	/	/	/	/	/	/	/	1,6	1,6	1,5	1,2	1,2	1,4	1,3	0,99	2,1
Črnomelj	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	0,58
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	1,1
LJ Bežigrad	/	/	/	/	/	/	/	/	/	3,6	2,1	1,4	2,2	1,5	1,1	2,1
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	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	2,0

* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.

Tabela 8.8: Letna raven kadmija (ng/m³).

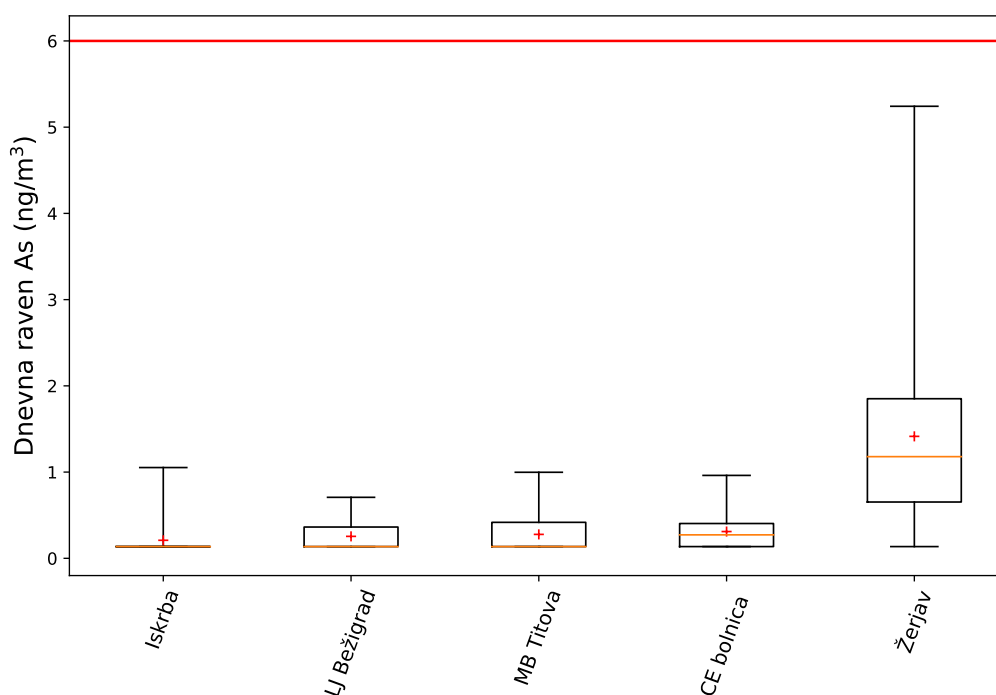
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
CE bolnica	/	/	/	/	/	/	/	0,95	0,38	0,39	0,52	0,64	0,34	0,52	0,26	0,32
Črnomelj	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	0,18
Deskle	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	0,09	/	/	/
IB Gregorčičeva	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	0,10	/
Iskrba	0,10	0,11	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	0,06
LJ Bežigrad	/	/	/	/	/	/	/	/	/	0,25	0,18	0,25	0,20	0,21	0,15	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	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	3,8

* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.

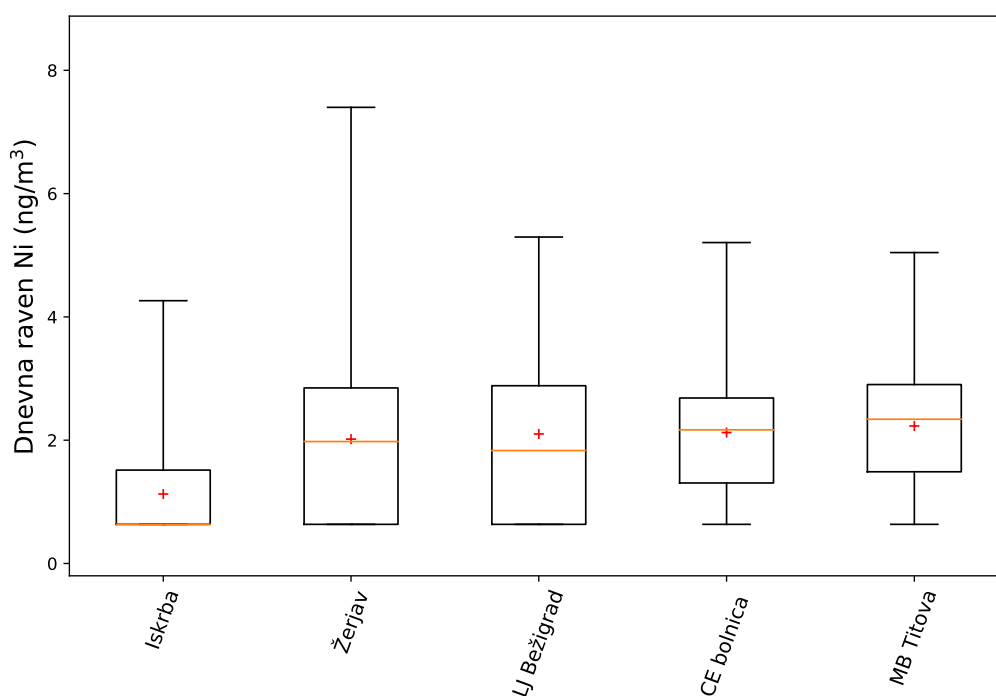
Tabela 8.9: Letna raven svinca (ng/m³).

	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
CE bolnica	/	/	/	/	/	/	/	7,5	7,6	7,4	6,9	7,0	5,7	6,6	5,2	5,4
Črnomelj	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	4,2
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	1,6
LJ Bežigrad	/	/	/	/	/	/	/	/	/	12,7	6,7	7,1	5,9	5,3	4,0	4,4
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	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	299

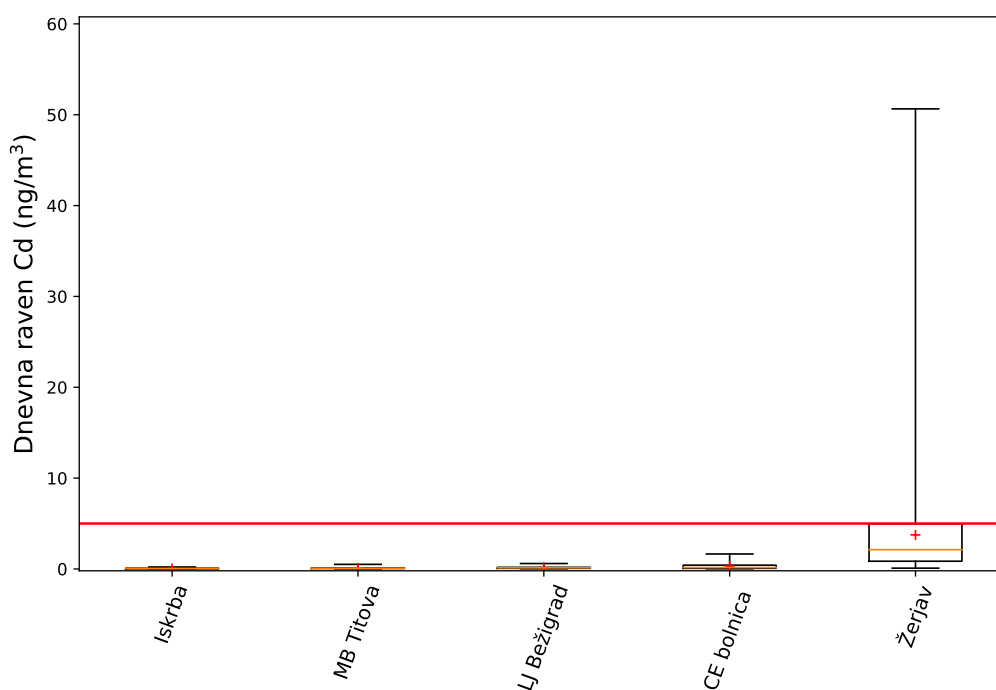
* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.



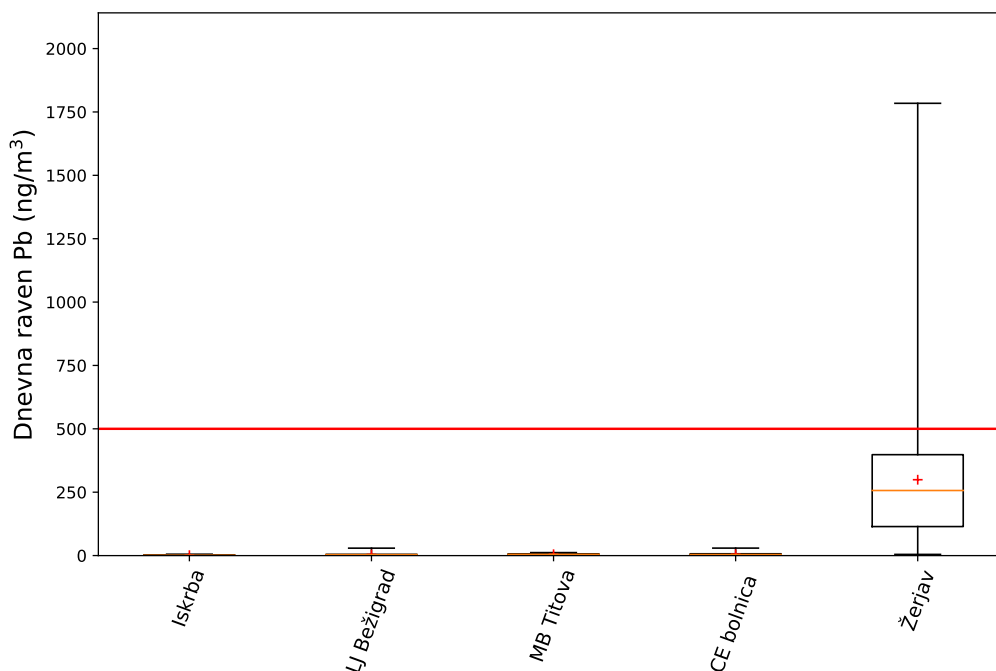
Slika 8.11: Dnevna raven arzena na merilnih mestih v letu 2024. Prikazani so najnižja in najvišja izmerjena raven (spodnja in zgornja vodoravna črtica), oba kvartila (vrh in dno pravokotnika) in mediana (rdeča vodoravna črtica v pravokotniku). Križec predstavlja povprečno letno raven. Rdeča črta prikazuje letno ciljno vrednost.



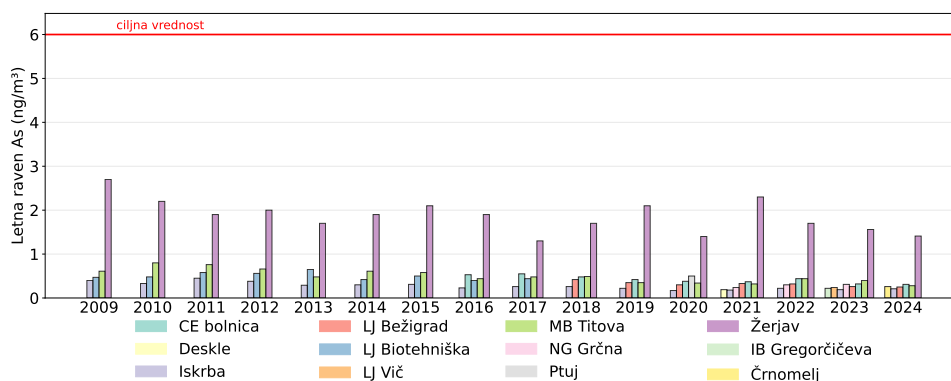
Slika 8.12: Dnevna raven niklja na merilnih mestih v letu 2024. Prikazani so najnižja in najvišja izmerjena raven (spodnja in zgornja vodoravna črtica), oba kvartila (vrh in dno pravokotnika) in mediana (rdeča vodoravna črtica v pravokotniku). Križec predstavlja povprečno letno raven. Ciljna vrednost je 20 ng/m³.



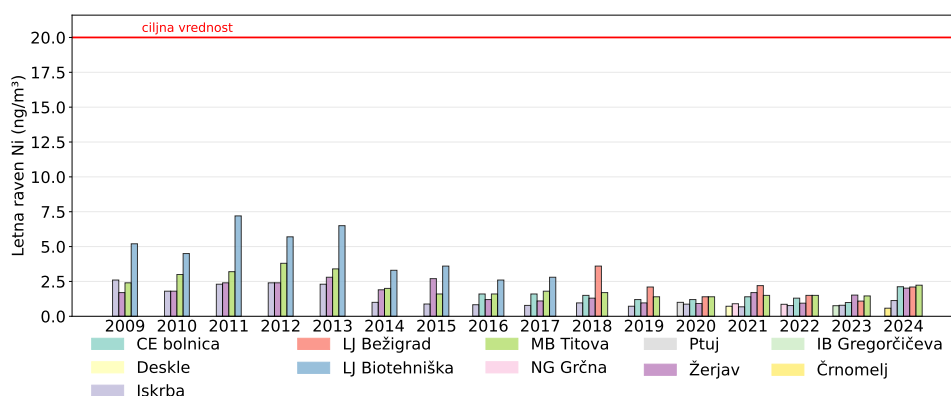
Slika 8.13: Dnevna raven kadmija na merilnih mestih v letu 2024. Prikazani so najnižja in najvišja izmerjena raven (spodnja in zgornja vodoravna črtica), oba kvartila (vrh in dno pravokotnika) in mediana (rdeča vodoravna črtica v pravokotniku). Križec predstavlja povprečno letno raven. Rdeča črta prikazuje letno ciljno vrednost.



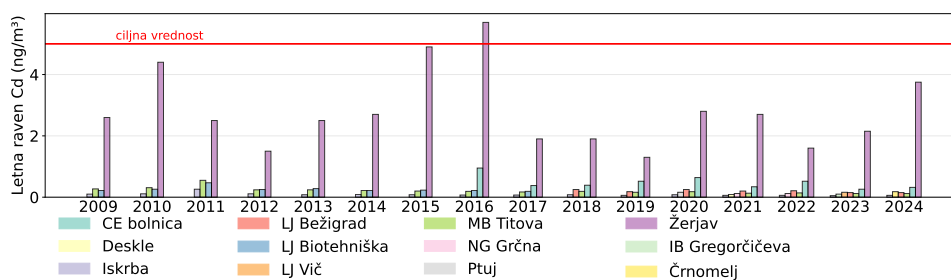
Slika 8.14: Dnevna raven svinca na merilnih mestih v letu 2024. Prikazani so najnižja in najvišja izmerjena raven (spodnja in zgornja vodoravna črtica), oba kvartila (vrh in dno pravokotnika) in mediana (rdeča vodoravna črtica v pravokotniku). Križec predstavlja povprečno letno raven. Rdeča črta prikazuje letno ciljno vrednost.



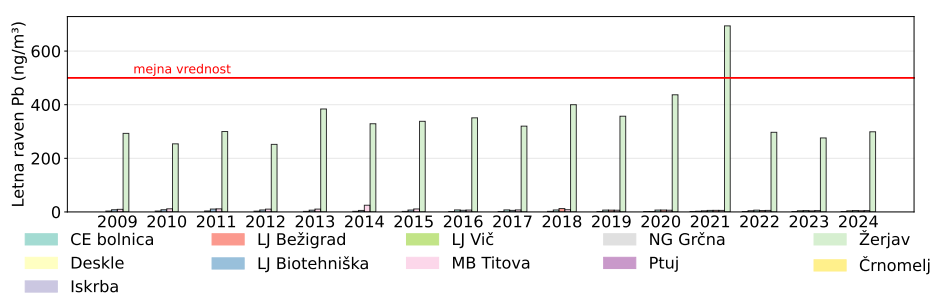
Slika 8.15: Povprečna letna raven arzena po letih. Ciljna vrednost je 6 ng/m³.



Slika 8.16: Povprečna letna raven niklja po letih. Ciljna vrednost je 20 ng/m³.



Slika 8.17: Povprečna letna raven kadmija po letih. Ciljna vrednost je 5 ng/m³.



Slika 8.18: Povprečna letna raven svineca po letih. Mejna vrednost je 500 ng/m³.

9. 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 ščiti 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 dnevnih ravneh ozona, ki so v celinskem delu Slovenije nižje kot na Primorskem.

9.1 Zahteve za kakovost zraka

V tabeli 9.1 so prikazane predpisane ciljne, opozorilna in alarmna vrednost za ozon iz Uredbe o kakovosti zunanjega zraka [3]. 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 preseganj zadnjih treh let. Dolgoročno naravnana ciljna vrednost za varovanje zdravja je enaka,

le da ne predvideva preseganj predpisane vrednosti in je določena na podatkih za eno leto. 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 9.1: 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 $(\mu\text{g}/\text{m}^3) \cdot \text{ure}$ in pomeni vsoto razlik med urnimi ravni večjimi od $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in ravnjo $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ v danem času z upoštevanjem enournih vrednosti, izmerjenih vsak dan med 8:00 in 20:00 po srednjeevropskem času.

9.2 Ravni onesnaženosti

Letne ravni ozona so bile v letu 2024 na večini merilnih mest nekoliko nižje kot v preteklih letih. V tem letu ni bilo zabeleženo nobeno preseganje opozorilne vrednosti. Preseganj nismo zabeležili tudi v letih 2014 in 2016. Najvišje povprečne letne vrednosti ozona so vedno zabeležene na višje ležečih merilnih mestih. V merilni mreži DMKZ sta višje ležeči merilni mesti Krvavec ($91 \mu\text{g}/\text{m}^3$) in Otlica ($86 \mu\text{g}/\text{m}^3$), v dopolnilni merilni mreži pa Pohorje ($74 \mu\text{g}/\text{m}^3$) in Zavodnje ($73 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Na merilnem mestu Koper je bila letna raven ozona najvišja med nižje ležečimi merilnimi mesti ($69 \mu\text{g}/\text{m}^3$), saj so tu zelo ugodni pogoji za tvorbo ozona. Med višjimi je bilo tudi letno povprečje na merilnem mestu Sv.Mohor ($65 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Sledijo merilna mesta Iskrba ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$), MB Vrbanski ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) in MS Rakičan ($48 \mu\text{g}/\text{m}^3$), ki so nekoliko bolj oddaljena od direktnih izpustov, ki vplivajo na tvorbo ozona. Na merilnem mestu NG Grčna, ki leži na Primorskem, ob meji z Italijo, bi bile lahko zabeležene višje ravni ozona (letno povprečje $47 \mu\text{g}/\text{m}^3$), vendar je vpliv prometa na to merilno mesto velik in posledično so zato nižje ravni ozona. Na ostalih merilnih mestih DMKZ se v letu 2024 letne ravni ozona gibljejo med $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Pregled izmerjenih letnih ravni, število preseženih ciljnih, opozorilnih in alarmnih vrednosti ozona v letu 2024 je podan v tabeli 9.2. V tabeli so tudi podatki za AOT40 za leto 2024 in petletno povprečje AOT40, ki je pomembno za varstvo rastlin.

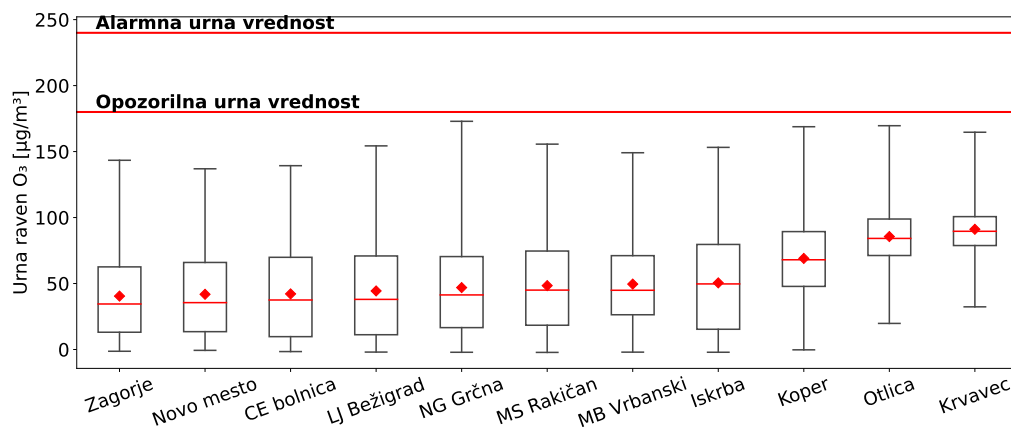
Urne ravni ozona na postajah DMKZ v letu 2024 so prikazane na sliki 9.1, najvišje urne ravni po mesecih pa v tabeli 9.4. V letu 2024 opozorilna vrednost ozona $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ni bila presežena na nobenem merilnem mestu. Najvišja urna vrednost je bila izmerjena 16. 7. 2024 ob 16:00 na merilnem mestu NG Grčna, in sicer $173 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (tabela 9.2).

Na sliki 9.2 je prikazan potek mesečnih ravni ozona v letu 2024 na merilnih mestih DMKZ. Iz slike je razvidno, da so najvišje mesečne ravni dosežene avgusta in da so najvišje ravni izmerjene na višje ležečih merilnih mestih, Krvavec in Otlica, ter na merilnem mestu Koper. Na vseh ostalih merilnih mestih so ravni nižje in imajo podoben potek, kar kaže na regionalni značaj tega onesnaževala. Iz

Tabela 9.2: Raven ozona v zunanjem zraku v letu 2024. 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 2024 in za petletno obdobje.

Merilna mreža	Merilno mesto	%pod	Leto C_p	Varovanje zdravja					Varovanje rastlin	
				max	1 ura >OV	>AV	8 ur max	>CV	maj–julij AOT40	5 let AOT40
DMKZ	CE bolnica	100	42	139	0	0	129	7	11190	12837
	Iskrba	99	50	153	0	0	145	15	17085	16616
	Koper	100	69	169	0	0	160	51	26841	27630
	Krvavec	100	91	165	0	0	145	43	20347	21759
	LJ Bežigrad	97	44	154	0	0	147	23	17906	16223
	MB Vrbanški	98	50	149	0	0	139	15	13033	14178
	MS Rakičan	99	48	156	0	0	147	16	16907	14917
	NG Grčna	99	47	173	0	0	162	36	19462	24024
	Novo mesto	100	42	137	0	0	127	7	11130	14027
	Otlica	99	86	170	0	0	164	51	26216	25867
	Zagorje	99	40	143	0	0	129	5	10797	9393
TE-TOL	Zadobrova	98	44	156	0	0	148	20	17162	/
TE Brestanica	Sv. Mohor	98	65	172	0	0	136	9	11991	/
MO Maribor	MB Tezno	100	44	135	0	0	126	5	15696	/
	Pohorje	91	74	135	0	0	127	2	12586	/
TE Šostanj	Velenje	98	47	135	0	0	123	3	12735	/
	Zavodnje	99	73	150	0	0	142	22	15184	/
	Mobilna TEŠ	99	45	135	0	0	126	5	11721	/

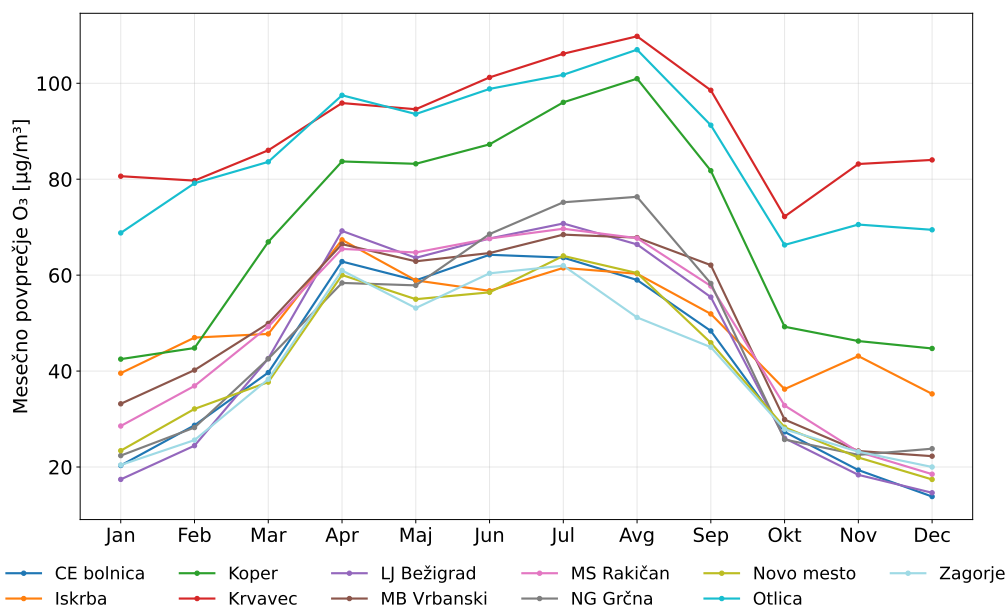
Opomba: S poševnim tiskom so označena merilna mesta v mreži DMKZ, ki jih ne uporabljamo za oceno skladnosti v neizpostavljenem okolju.



Slika 9.1: Urne ravni O_3 na merilnih mestih DMKZ v letu 2024. 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.

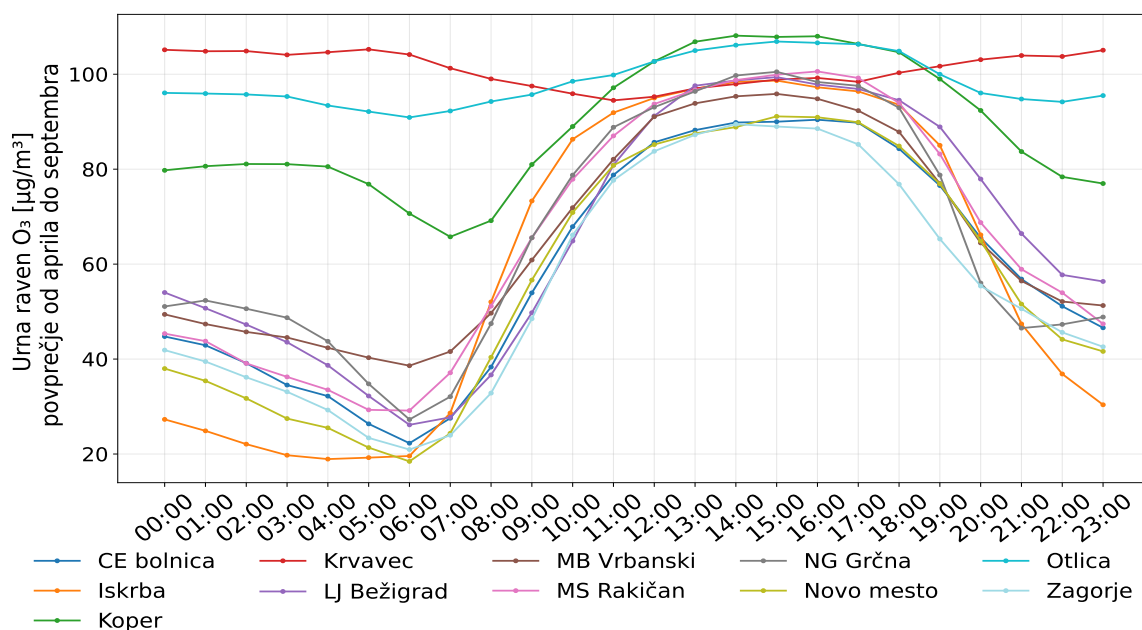
slike je tudi jasno razvidno, da so ravni ozona povišane od aprila do septembra.

Dnevni potek povprečnih urnih ravni ozona med aprilom in septembrom je za vsa merilna mesta DMKZ prikazan na sliki 9.3. Na večini nižjeležečih merilnih mest je dnevni potek povprečnih urnih ravni podoben, z jutranjim padcem in porastom v zgodnjih popoldanskih urah. To potrjuje, da ima onesnaženost zraka z ozonom izrazit regionalni značaj. Maksimum nastopi 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. Na merilnem



Slika 9.2: Mesečne ravni O_3 na merilnih mestih DMKZ v letu 2024.

mestu Krvavec pa je dnevni potek drugačen, ker prihaja sredi dneva do dviganja onesnaženega zraka iz doline kar zniža ravni ozona v višinah. Razlika med posameznimi poteki ozona preko dneva je odvisna od mikro lokacije merilnega mesta, od nadmorske višine in vpliva lokalnih izpustov na to merilno mesto. Zaradi lege in meteoroloških pogojev so med nižje ležečimi merilnimi mesti najvišje ravni ozona tekom celega dneva zabeležene na merilnem mestu Koper.



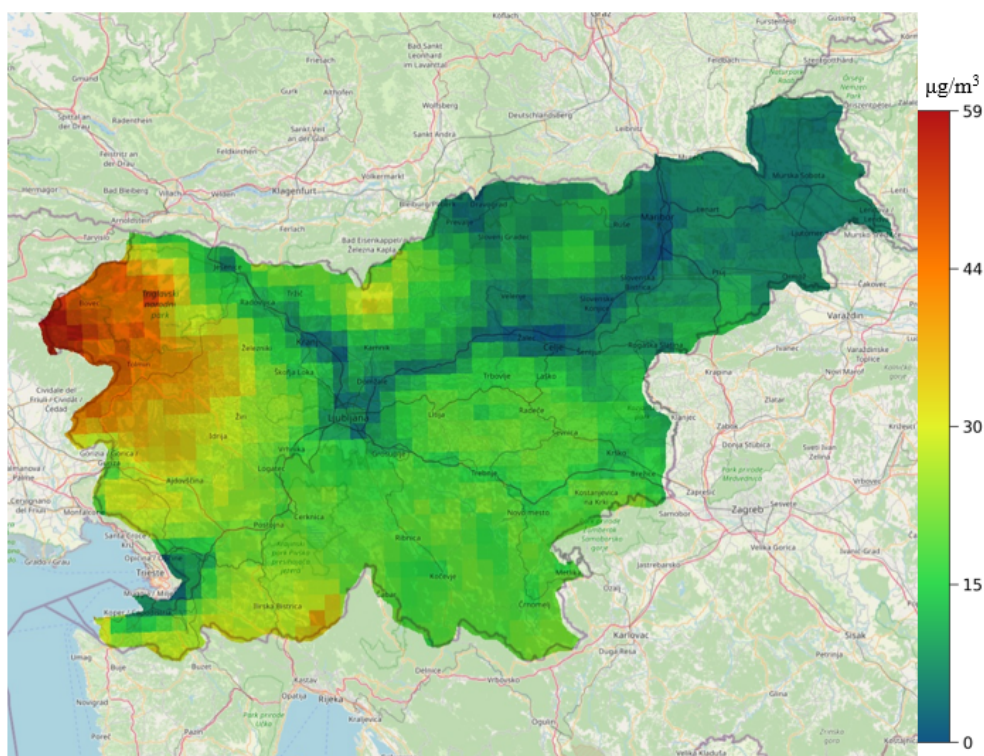
Slika 9.3: Dnevni potek povprečne urne ravni O_3 na merilnih mestih DMKZ med aprilom in septembrom 2024

Pri določanju skladnosti s predpisanimi vrednostmi sta pri ozonu pomembni 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.

Za obe je meja $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ le da je pri ciljni vrednosti dovoljeno število preseganj 25 v triletnem povprečju, za dolgoročno ciljno vrednost pa preseganja niso dovoljena (tabela 9.1).

Preseganja dolgoročne ciljne vrednosti za varovanje zdravja so bila v letu 2024 zabeležena v obdobju od aprila do septembra (tabela 9.6). Več kot 25 preseganj te vrednosti je bilo leta 2024 zabeleženih na merilnih mestih Koper, NG Grčna ter na visokoležečih merilnih mestih Otlica in Krvavec. Največ preseganj je bilo na vseh merilnih mestih zabeleženih julija in avgusta. Na merilnem mestu Koper in Otlica je bilo preseganj 51, na Krvavcu 43, v NG Grčna 36. Na vseh ostalih merilnih mestih je bilo preseganj manj kot 25. V letu 2024 je bilo zabeleženih manj preseganj maksimalnih dnevnih 8-urnih preseganj kot v letu 2023, ko smo imeli preseganja ponekod že februarja, marca in tudi še oktobra (tabela 9.8 in slika 9.6). Število preseganj 8-urne ciljne vrednosti v drsečem povprečju treh let za obdobje od leta 2012 do 2024 je podano v tabeli 9.9, število preseganj v posameznem letu za obdobje 2010 do 2024 pa v tabeli 9.8.

Na sliki 9.4 so prikazani modelski rezultati števila preseganj 8-urnih vrednosti v letu 2024. Modelska ocena kaže, da je bilo v letu 2024 več kot 25 preseganj 8 urnih vrednosti v zahodnem delu Slovenije, v ostali Sloveniji pa je preseganj manj. Zaradi povišanih izpustov dušikovih oksidov v Trstu, Kopru in bližnji okolici ocenjujemo da je število preseganj na območju okrog Kopra prenizko. Glede na rezultate meritev bi morala biti celotna zahodna Slovenija obarvana rdeče. Ravno tako rezultati modela lepo prikažejo vpliv večjih cest na ravni ozona.



Slika 9.4: Število preseganj 8-urnih vrednosti v letu 2024 izračunanih z modelskim sistemom ALADIN-SI/CAMx

Ciljno vrednost za določanje vpliva na zdravje smo izračunali iz podatkov za leta 2022, 2023 in 2024. Kot smo že omenili na ravni ozona vplivajo predvsem vremenske razmere v poletnem času. K višjemu triletnemu povprečju v letu 2024 je največ doprineslo leto 2022. Ciljna vrednost je bila v letu 2024 presežena na merilnih mestih Koper, NG Grčna, Otlica in Krvavec. Dovoljeno število preseganj v

triletnem povprečju je 25. V Kopru je bilo 58 preseganj, v Novi Gorici 47, na Krvavcu 55 in na Otlici 60 (tabela 9.9).

Za varovanje rastlin sta predpisani ciljna vrednost in dolgoročna ciljna vrednost AOT40, ki se izračunata za obdobje od maja do julija. 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 $18.000 \mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{h}$ v povprečju zadnjih petih let (tabela 9.2). V letu 2024 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. 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 9.3: Povprečna mesečna raven ozona ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) v letu 2024

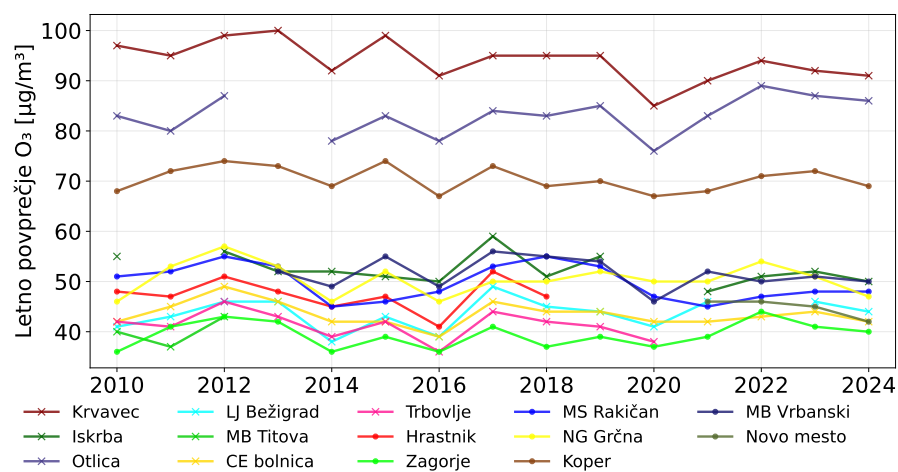
Merilna mreža	Merilno mesto	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
DMKZ	CE bolnica	20	29	42	63	59	65	63	59	47	27	20	13
	Iskrba	39	46	50	67	59	57	62	60	51	37	44	34
	Koper	42	46	68	84	83	88	96	101	80	49	46	44
	Krvavec	81	80	86	97	94	101	107	110	97	72	83	85
	LJ Bežigrad	17	25	46	69	63	69	71	66	54	25	19	14
	MB Vrbanski	32	41	51	67	62	66	68	69	60	29	24	22
	MS Rakičan	28	37	51	65	64	69	69	67	57	32	24	18
	NG Grčna	23	29	43	59	57	70	75	76	57	25	22	23
	Novo mesto	23	32	39	61	54	57	64	60	45	28	22	17
	Otlica	70	78	84	99	93	100	102	107	89	67	70	70
	Zagorje	20	26	40	61	53	61	61	51	44	27	24	19
TE-TOL	Zadobrova	20	36	41	62	57	68	78	75	52	23	19	14
TE Brestanica	Sv. Mohor	54	62	70	84	74	78	79	78	68	46	42	43
MO Maribor	MB Tezno	21	30	45	63	59	62	67	62	56	27	19	18
	Pohorje	63	67	72	86	85	84	88	85	80	56	60	52
TE Šostanj	Velenje	33	35	52	65	62	67	64	59	57	30	20	26
	Zavodnje	65	67	73	89	84	83	92	92	85	48	48	54
	Mobilna TEŠ	28	33	47	63	59	61	60	55	55	28	21	26

Tabela 9.4: Maksimalna urna raven ozona ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) po mesecih v letu 2024

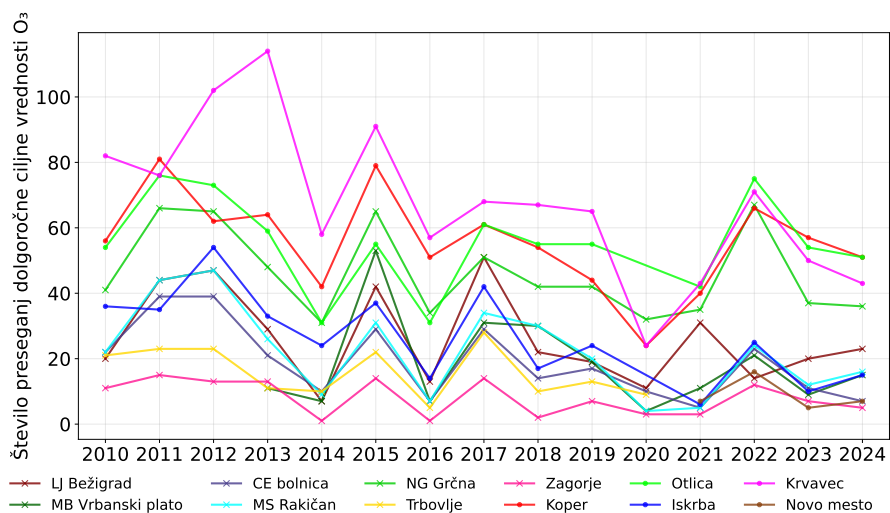
Merilna mreža	Merilno mesto	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
DMKZ	CE bolnica	76	93	114	133	125	130	139	132	134	82	81	72
	Iskrba	89	105	114	130	129	124	153	147	138	90	89	86
	Koper	84	97	121	135	139	165	169	169	147	89	88	80
	Krvavec	100	101	113	130	133	133	165	145	151	96	110	108
	LJ Bežigrad	75	85	118	139	137	141	154	147	147	80	74	66
	MB Vrbanski	82	90	110	127	129	130	140	143	149	83	76	73
	MS Rakičan	88	90	109	127	132	130	156	137	146	81	72	75
	NG Grčna	75	93	116	146	137	164	173	169	137	85	84	86
	Novo mesto	68	85	97	137	123	133	134	132	126	82	69	67
	Otlica	93	114	126	145	132	155	170	168	140	90	116	97
	Zagorje	71	92	108	127	129	143	140	129	130	82	69	77
TE-TOL	Zadobrova	78	93	103	129	122	147	156	145	140	71	73	75
TE Brestanica	Sv. Mohor	89	94	113	127	127	129	142	140	172	83	92	73
MO Maribor	MB Tezno	80	86	107	123	125	114	130	133	135	76	65	73
	Pohorje	85	90	102	121	124	113	135	125	125	81	113	75
TE Šostanj	Velenje	105	92	113	128	125	135	134	127	132	82	70	78
	Zavodnje	101	93	111	125	124	127	150	136	137	88	79	86
	Mobilna TEŠ	103	101	110	127	123	133	135	130	130	77	64	76

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 2024 so podani v tabelah 9.7 do 9.9. V tabeli 9.10 je prikazano število preseganj opozorilne vrednosti za isto obdobje. Na slikah 9.5 in 9.6 so prikazane letne ravni in število preseganj 8-urne vrednosti za daljše obdobje.

Povprečne letne ravni ozona ne kažejo opaznih tendenc. Manjša nihanja so posledica vremenskih razmer, posebej tistih polet, 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 dolgoročne ciljne 8-urne vrednosti. Nekoliko nižje vrednosti so bile zabeležene v letih 2020 in 2021, ko smo se z različnimi ukrepi borili proti COVID-u.



Slika 9.5: Letne ravni O_3 na vseh merilnih mestih za posamezna leta od leta 2010 - 2024.



Slika 9.6: Preseganja 8-urne ciljne vrednosti za ozon na merilnih mestih DMKZ za posamezna leta v obdobju 2010 - 2024.

Tabela 9.5: Število prekorajitev urne opozorilne vrednosti ($180 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ozona v letu 2024

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	0	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	0	0	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	0	0	0	0	0	0	0
	Zagorje	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TE-TOL	Zadobrova	0	0	0	0	0	0	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 9.6: Število prekorajitev 8-urne ciljne vrednosti ($120 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ozona v letu 2024

Merilna mreža	Merilno mesto	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
DMKZ	CE bolnica	0	0	0	3	1	0	3	0	0	0	0	0
	Iskrba	0	0	0	5	1	0	4	4	1	0	0	0
	Koper	0	0	0	3	2	7	13	22	4	0	0	0
	Krvavec	0	0	0	2	2	5	12	16	6	0	0	0
	LJ Bežigrad	0	0	0	4	3	5	5	5	1	0	0	0
	MB Vrbanski	0	0	0	1	1	1	3	5	4	0	0	0
	MS Rakičan	0	0	0	1	2	1	3	5	4	0	0	0
	NG Grčna	0	0	0	2	2	6	11	13	2	0	0	0
	Novo mesto	0	0	0	3	0	1	3	0	0	0	0	0
	Otlica	0	0	0	5	4	10	14	16	2	0	0	0
	Zagorje	0	0	0	2	1	0	2	0	0	0	0	0
TE-TOL	Zadobrova	0	0	0	2	0	2	9	6	1	0	0	0
TE Brestanica	Sv. Mohor	0	0	0	3	1	1	1	0	3	0	0	0
MO Maribor	MB Tezno	0	0	0	0	1	0	0	2	2	0	0	0
	Pohorje	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0
TE Šostanj	Velenje	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0
	Zavodnje	0	0	0	4	2	0	4	7	5	0	0	0
	Mobilna TEŠ	0	0	0	1	1	0	2	1	0	0	0	0

Tabela 9.7: Povprečna letna raven ozona ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) za obdobje 2010 - 2024

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
CE bolnica	42	45	49	46	42	42	39	46	44	44	42	42	43	44	42
Iskrba	55	51*	56	52	52	51	50	59	51	55	67*	48	51	52	50
Koper	68	72	74	73	69	74	67	73	69	70	67	68	71	72	69
Krvavec	97	95	99	100	92	99	91	95	95	95	85	90	94	92	91
LJ Bežigrad	41	43	46	46	38	43	39	49	45	44	41	46	38*	46	44
MB Pohorje	71	80	80	76	72	81	72	74	77	76	72	74	75	75	74
MB Tezno	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	37	46	55	45	44
MB Vrbanški	/	/	/	52	49	55	49	56	55	54	46	52	50	51	50
MS Rakičan	51	52	55	53	45	46	48	53	55	53	47	45	47	48	48
NG Grčna	46	53	57	53	46	52	46	50	50	52	50	50	54	51	47
Novo mesto	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	39*	46	46	45	42
Otlica	83	80	87	88*	78	83	78	84	83	85	76	83	89	87	86
Sv. Mohor	54	71	67	75	67	70	54	68	68	69	60	70	69	67	65
Velenje	51	48	52	51	46	46	43	49	44	49	43	48	47	49	47
Zagorje	36	41	43*	42	36	39	36	41	37	39	37	39	44	41	40
Zavodnje	73	74	78	75	70	77	72	73	79	79	70	75	77	76	73
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*	/	/	/
Vnajarje	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 [14].

Podatki za leta od 2000-2021 so na voljo v Poročilu o kakovosti zraka za leto 2021 [15].

Tabela 9.8: Število preseganj dolgoročne ciljne vrednosti ($120 \mu\text{g}/\text{m}^3$) v posameznem letu na merilnih mestih DMKZ v obdobju 2010 – 2024

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
CE bolnica	22	39	39	21	10	29	7	29	14	17	10	5	23	11	7
Iskrba	36	35	54	33	24	37	14	42	17	24	22*	6	25	10	15
Koper	56	81	62	64	42	79	51	61	54	44	24	40	66	57	51
Krvavec	82	76	102	114	58	91	57	68	67	65	24	43	71	50	43
LJ Bežigrad	20	44	47	29	7	42	13	51	22	19	11	31	14*	20	23
MB Vrbanški	/	/	/	/	7	53	7	31	30	19	4	11	21	9	15
MS Rakičan	22	44	47	26	9	31	7	34	30	20	4	5	24	12	16
NG Grčna	41	66	65	48	31	65	34	51	42	42	32	35	67	37	36
Novo mesto	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	0*	7	16	5	7
Otlica	54	76	73	59*	31	55	31	61	55	55	21	42	75	54	51
Zagorje	11	15	13	13	1	14	1	14	2	7	3	3	12	7	5
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 [14].

Podatki za leta od 2000-2021 so na voljo v Poročilu o kakovosti zraka za leto 2021 [15].

Tabela 9.9: Število preseganj 8-urne ciljne vrednosti ($120 \mu\text{g}/\text{m}^3$) v drsečem povprečju treh let na merilnih mestih DMKZ za obdobje 2012 – 2024. Prekoračitve predpisane vrednosti so označene odebeljeno.

	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
CE bolnica	33	33	23	20	15	22	17	20	14	11	13	13	14
Iskrba	42	41	37	31	25	31	24	28	21	15	16	14	17
Koper	66	69	56	62	57	64	55	53	41	36	43	54	58
Krvavec	87	97	91	88	69	72	64	67	52	44	46	55	55
LJ Bežigrad	37	40	28	26	21	35	29	31	17	20	21	26	22
MB Vrbanški	/	/	/	24	22	30	23	27	18	11	12	14	15
MS Rakičan	38	39	27	22	16	24	24	28	18	10	11	14	17
NG Grčna	57	60	48	48	43	50	42	45	39	35	45	46	47
Novo mesto	/	/	/	/	/	/	/	/	/	7	12	9	9
Otlica	68	69*	54*	48*	39	49	49	57	44	39	46	57	60
Zagorje	13	14	9	9	5	10	6	8	4	4	6	7	8
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 [14].

Podatki za leta od 2000-2021 so na voljo v Poročilu o kakovosti zraka za leto 2021 [15].

Tabela 9.10: Število preseganj opozorilne vrednosti ($180 \mu\text{g}/\text{m}^3$) na merilnih mestih DMKZ v obdobju 2010 – 2024

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
CE bolnica	0	0	1	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	0	0	0
Koper	2	4	13	22	0	9	0	5	1	4	0	2	11	16	0
Krvavec	14	0	10	6	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
LJ Bežigrad	0	0	3	1	0	0	0	6	0	0	0	0	0*	0	0
MB Vrbanski	/	/	/	/	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	0	0	0
NG Grčna	0	2	18	20	0	6	0	4	9	5	2	3	3	4	0
Novo mesto	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	0*	0	0	0	0
Otlica	3	1	12	33*	0	0	0	15	3	25	0	0	7	11	0
Zagorje	0	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 [14].

Podatki za leta od 2000-2021 so na voljo v Poročilu o kakovosti zraka za leto 2021 [15].

9.3 Epizode čezmerne onesnaženosti

Leto 2024 je bilo najtoplejše leto v zgodovini meritev v Sloveniji, drugo najtoplejše leto je bilo leto 2023. Kljub temu rekord, pa v letu 2024 ni bilo zabeleženega nobenega preseganja opozorilne vrednosti, medtem, ko smo v letu 2023 zabeležili kar 16 preseganj opozorilne vrednosti v Kopru, 11 na Otlici in 4 v NG Grčna. Najvišja urna vrednost ozona je bila v letu 2024 izmerjena 16. julija ob 16:00 na merilnem mestu NG Grčna, in sicer $173 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Podobne urne ravni so bile zabeležene še na merilnem mestu Sv. Mohor ($172 \mu\text{g}/\text{m}^3$) in Otlica ($170 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Na Krvavcu in v Kopru so bile najvišje urne ravni pod $170 \mu\text{g}/\text{m}^3$, na ostalih merilnih mestih pa celo pod $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Torej kljub temu, da je bilo poletje 2024 najtoplejše v vsem času od kar potekajo meritve, je bilo vročih dni nekoliko manj kot v letih prej. Zabeležili smo tudi nekaj epizod s puščavskim prahom, kar je tudi vplivalo na nižje ravni ozona.

Ravni ozona so že v sredini aprila na vseh merilnih mestih DMKZ presegle 8-urno ciljno vrednost. 13. in 14. aprila, je bilo nad južno Evropo in nad Sredozemskim morjem območje visokega zračnega tlaka oziroma višinski greben z zelo toplim zrakom, pihal je močnejši jugozahodnik, ki je prinašal topel in suh zrak. Temperature so se povzpele nad 30°C . V aprilu je bilo največ preseganj zabeleženih na Otlici in Iskrbi (5 preseganj) .

Ravni ozona so bile v maju zaradi pogostih ploh in neviht nižje kot aprila. 8-urna ciljna vrednost je bila presežena na skoraj vseh merilnih mestih, največ preseganj je bilo na Otlici. Najvišje urne vrednosti so bile izmerjene med 10. in 12. majem, ko je prevladovalo sončno vreme in so se dnevne temperature dvignile do 26°C . Urne ravni ozona so se v teh dneh na vseh merilnih mestih gibale okoli $130 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Ravni ozona so bile v juniju zaradi pogostih padavin in prehoda puščavskega prahu nižje kot bi pričakovali. Največ preseganj ciljne vrednosti ozona smo zabeležili na Primorskem, na Krvavcu in v Ljubljani. V zadnji tretjini meseca junija so sicer prevladovali ugodni vremenski pogoji za nastanek ozona, saj so se najvišje dnevne temperature povzpele tudi do 35°C vendar zaradi prisotnosti puščavskega prahu v ozračju ravni ozona niso presegle opozorilne urne vrednosti, presežene so bile le ciljne vrednosti. Delci v ozračju namreč negativno vplivajo na potek kompleksnih reakcij pri nastanku ozona.

V juliju je prevladovalo sončno in vroče vreme, ki so ga večkrat prekinile nevihte z močnejšimi nalivi. 8-urna ciljna vrednost $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ je bila julija presežena na vseh merilnih mestih. Največ preseganj je bilo tudi julija zabeleženih na Primorskem in na Krvavcu. Najvišja urna vrednost ozona je bila izmerjena na merilnem mestu NG Grčna 16. julija ($173 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Takrat je bilo nad osrednjim in vzhodnim delom Evrope šibko območje visokega zračnega tlaka. S šibkimi jugozahodnimi vetrovi v višinah je k nam dotekal precej topel in nekoliko bolj suh zrak, kar ugodno vpliva na nastanek ozona. V nižinah je bila velika toplotna obremenitev, najvišja dnevna temperatura je bila od 29°C do 37°C .

Tudi avgusta opozorilna urna vrednost $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ni bila presežena na nobenem merilnem mestu. Poteki ravni ozona v letošnjem poletju kažejo, da v Sloveniji kljub visokim temperaturam večinoma ni pogojev za visoke vrednosti ozona, ki bi presegle opozorilno urno vrednost. Da pride do preseagnj mora nad večjim geografskim območjem (Slovenija in severna Italija) več dni skupaj vztrajati jasno in vroče vreme. Ko je ta pogoj izpolnjen, pa je odločilno iz katere smeri pride zrak na lokacijo, kjer potekajo meritve. Če po višini prevladuje zahodna smer, bo prineslo onesnažen zrak iz Padske nižine,

ki ima zaradi mnogih izpustov predhodnikov ozona v splošnem višje ravni ozona. V tem primeru lahko pride do preseganja opozorilne vrednosti na Primorskem. Če zrak nad naše kraje zanese z vzhoda, pa so praviloma ravni ozona nižje. Kljub vročim dnevom in ugodnim pogojem za nastanek ozona so najvišje urne ravni ozona v avgustu zgolj nekajkrat presegle $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Koper, Nova Gorica in Otlica). Preseganje 8-urne ciljne vrednosti $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ je bilo zabeleženo skoraj povsod, največ 22 v Kopru, sledita Otlica in Krvavec s po 16 preseganji, Nova Gorica jih je imela 13. V Novi Gorici je bilo avgusta zabeleženih precej manj preseganj ciljne 8-urne vrednosti kot v Kopru. To razliko lahko pripišemo pogostim ploham in nevihtam, ki so se pojavile v Novi Gorici in njeni okolici, medtem ko na Obali ni bilo padavin. Potek urnih ravni ozona v Novi Gorici 14. avgusta kaže, kako padavine zavirajo tvorbo ozona. Zaradi popoldanske nevihte nad območjem Nove Gorice se je temperatura v Biljah pri Novi Gorici znižala iz 37°C na 24°C . Najvišja 8-urna vrednost ozona na merilnem mestu NG Grčna je tega dne znašala $123 \mu\text{g}/\text{m}^3$, v Kopru pa $143 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Padec ravni ozona v vročem dnevu lahko povzroči že povečana motnost (puščavski prah in ostali delci v ozračju) ali pojav oblačnosti, saj se v obeh primerih zmanjša energija UV sevanja.

Razmeroma visoke ravni ozona smo zabeležili tudi ob koncu avgusta in v začetku septembra, ko je nad večjim delom Evrope vztrajalo območje visokega zračnega pritiska. Vročo in suho zračno maso je tokrat prineslo z vzhoda, zato so bile ravni ozona v notranjosti Slovenije bolj podobne tistim izmerjenim na Primorskem. Po 6. septembru so se ravni ozona znižale in do konca leta 2024 ciljne vrednosti niso bile več presežene.

10. Dušikovi oksidi

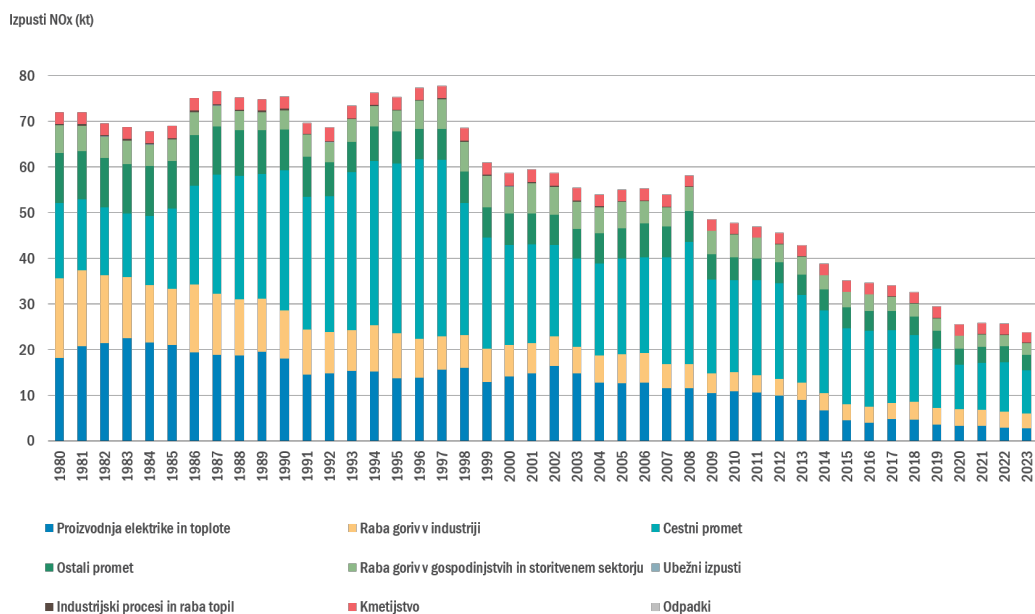
Dušikovi oksidi (NO_x) so spojine, sestavljene iz atomov kisika in dušika. Obstaja šest takšnih spojin: NO , NO_2 , N_2O , N_2O_3 , N_2O_4 in N_2O_5 . V ozračju je največ dušikovega monoksida (NO) in dušikovega dioksida (NO_2). Iz izpustov prihaja v zrak največ dušikovega monoksida, ki v ozračju postopno 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 [16], [17]. 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.

10.1 Izpusti

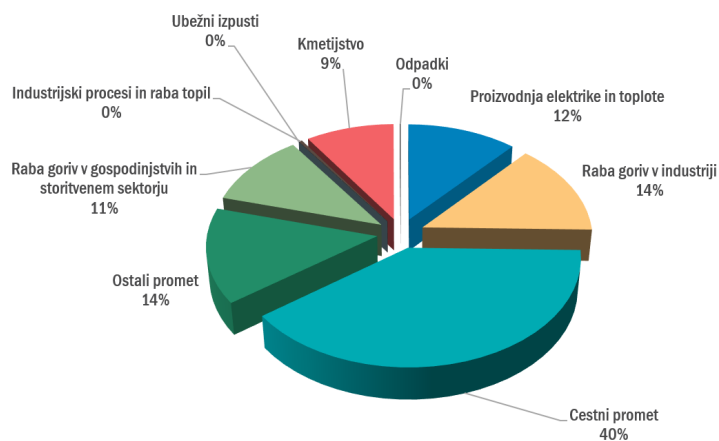
Več kot polovica izpustov NO_x prihaja v ozračje iz prometa. Največji vir izpustov NO_x je v letu 2023 predstavljal cestni promet, saj je k skupnim državnim izpustom prispeval kar 40 %. Precejšen delež je prispeval ostali promet (14 %) in v enakem deležu poraba goriv v industriji (14 %). Letni izpusti NO_x so v Sloveniji leta 2023 znašali 24 tisoč ton. V obdobju 1980-2023 so se izpusti zmanjšali za 67 %. Zmanjšanje izpustov je posledica uvajanja strožjih emisijskih standardov za motorna vozila v prometu, izvajanja ukrepov v termoelektrarnah in toplotarnah, zamenjave goriv in izboljšanja procesov izgorevanja v industriji. Izpusti NO_x po posameznih virih so prikazani na slikah 10.1 in 10.2.

Slovenija izpolnjuje vse obveznosti iz Direktive (EU) 2016/2284 o zmanjšanju nacionalnih izpustov za nekatera onesnaževala zraka (t.i. direktive NEC) ([18]) in iz Protokola o zmanjševanju zakisljevanja, evtrofikacije in prizemnega ozona (Goeteborškega protokola) ([19]) h Konvenciji o onesnaževanju zraka preko meja na velike razdalje (CLRTAP) ([7]). V letu 2023 smo dosegli cilj, ki predpisuje zmanjšanje izpustov za najmanj 39 % glede na leto 2005. Letni izpusti NO_x so bili v primerjavi z letom 2005 nižji za 57 %. 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 dokumentu Informative Inventory Report 2025 for Slovenia ([20]).



Slika 10.1: Letni izpusti dušikovih oksidov po sektorjih v Sloveniji



Slika 10.2: Izpusti dušikovih oksidov po sektorjih v Sloveniji v letu 2023

10.2 Zahteve za kakovost zraka

V Uredbi o kakovosti zunanjega zraka [3] so za dušikove okside predpisane mejni in alarmna vrednost za zaščito zdravja ter kritična vrednost za zaščito vegetacije. Prikazane so v tabeli 10.1.

Tabela 10.1: Mejni, alarmna in kritična vrednost za dušikove okside [3]

	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	

10.3 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 2024 ni prišlo do preseganja mejne, alarmne ali kritične vrednosti.

Tabela 10.2: 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 2024.

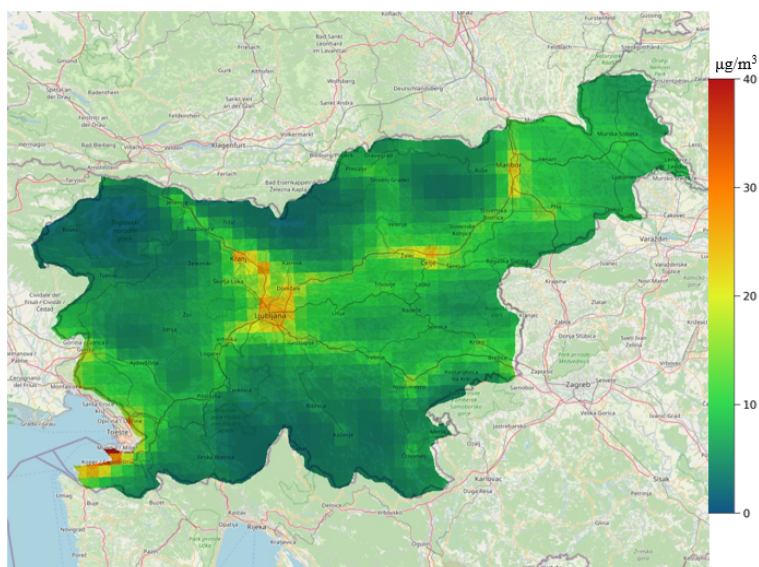
Merilna mreža	Merilno mesto	Varovanje zdravja NO ₂					Varovanje rastlin NO _x	
		%pod	C _p	max	>MV	>AV	%pod	C _p
DMKZ	CE bolnica	99	19	112	0	0	99	38
	Iskrba	95	3	78	0	0	/	/
	Koper	100	15	100	0	0	100	19
	LJ Bežigrad	98	22	105	0	0	98	39
	LJ Celovška	100	32	154	0	0	100	71
	MB Titova	100	25	128	0	0	100	50
	MB Vrbanški plato	98	7	54	0	0	98	9
	MS Rakičan	100	10	59	0	0	100	13
	NG Grčna	100	23	111	0	0	100	43
	Novo mesto	100	10	55	0	0	100	14
	Zagorje	100	16	72	0	0	100	35
OMS MOL	LJ Center	98	38	116	0	0	98	89
TE-TOL	Zadobrova	98	16	88	0	0	98	30
MO Celje	CE Gaji	99	17	86	0	0	99	32
TE Brestanica	Sv.Mohor	98	5	34	0	0	98	6
MO Maribor	MB Tezno	99	13	82	0	0	99	29
TE Šoštanj	Škale	99	6	117	0	0	99	8
	Šoštanj	99	9	69	0	0	99	14
	Zavodnje	98	4	52	0	0	98	6
	Mobilna TEŠ	99	9	57	0	0	99	15

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 2024 nista bili preseženi na nobenem merilnem mestu v merilni mreži DMKZ niti v dopolnilnih merilnih mrežah. Rezultati vseh meritev v letu 2024 so prikazani v tabeli 10.2.

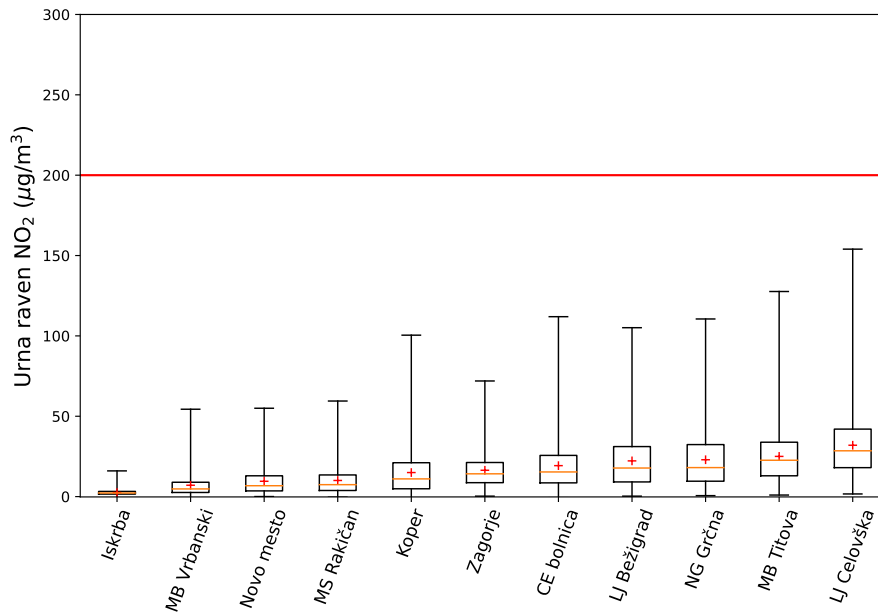
Najvišja letna povprečna raven NO₂ je bila izmerjena na merilnem mestu LJ Center (38 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) in je le malo nižja od predpisane letne mejne vrednosti 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Na vseh ostalih merilnih mestih so letne ravni v letu 2024 nižje. Na bolj prometnih merilnih mestih kot so LJ Celovška, MB Titova in NG Grčna in tudi na merilnem mestu LJ Bežigrad so letne ravni višje od 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. NG Grčna in LJ Bežigrad sicer nista klasificirani kot prometni merilni mesti, ker sta več kot 10 metrov oddaljeni

od ceste oziroma križišča, je pa vpliv prometa na ti merilni mesti velik. Zagorje je klasificirano kot prometno merilno mesto, je pa gostota prometa na tej lokaciji bistveno nižja kot v NG Grčna. V Zagorju so v zadnjih letih spodbujali trajnostno mobilnost s prilagoditvijo parkirišč in izgradnjo kolesarske steze in temu primerno so se dodatno znižale tudi ravni dušikovih oksidov. Modelski izračun povprečne letne vrednosti je prikazan na sliki 10.3 in se ujema z meritvami. Najvišje ravni NO₂ prikaže v večjih mestih, ki so bolj obremenjena s prometom.

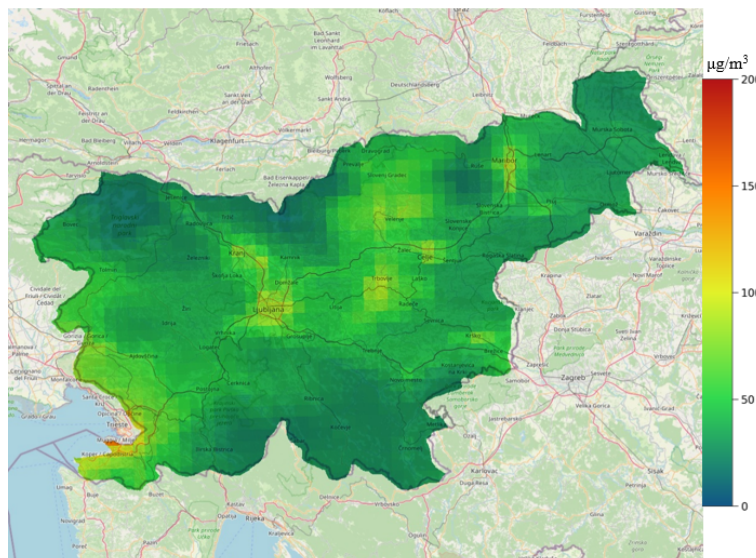


Slika 10.3: Modelski izračun povprečne letne vrednosti NO₂ v letu 2024

Tudi najvišje urne ravni NO₂ so bile izmerjene na merilnih mestih, ki so s prometom najbolj obremenjena. Najvišja urna raven je bila zabeležena na merilnem mestu LJ Celovška, in sicer 154 µg/m³. Tako visoka vrednost je bila zabeležena le enkrat in samo na tem merilnem mestu. So bile pa še na petih drugih merilnih mestih v merilni mreži DMKZ vrednosti višje od 100 µg/m³, kar je polovica urne mejne vrednosti. Na vseh ostalih merilnih mestih so bile urne ravni NO₂ nižje. Predpisana urna mejna vrednost je 200 µg/m³, ki je lahko po zakonodaji presežena 18-krat v enem letu. Najvišje urne vrednosti so torej tudi precej nižje od alarmne urne vrednosti 400 µg/m³, ki mora biti presežena 3 zaporedne ure, da se šteje za preseganje. Urne ravni NO₂ na merilnih mestih DMKZ so prikazane na sliki 10.4. Modelski izračun najvišje urne vrednosti v letu 2024 je prikazan na sliki 10.5. V večjem delu Slovenije so modelsko izračunane urne vrednosti nižje od polovice mejne vrednosti, nekoliko so povišane le v večjih mestih, kjer so tudi precej nižje od urne mejne vrednosti.



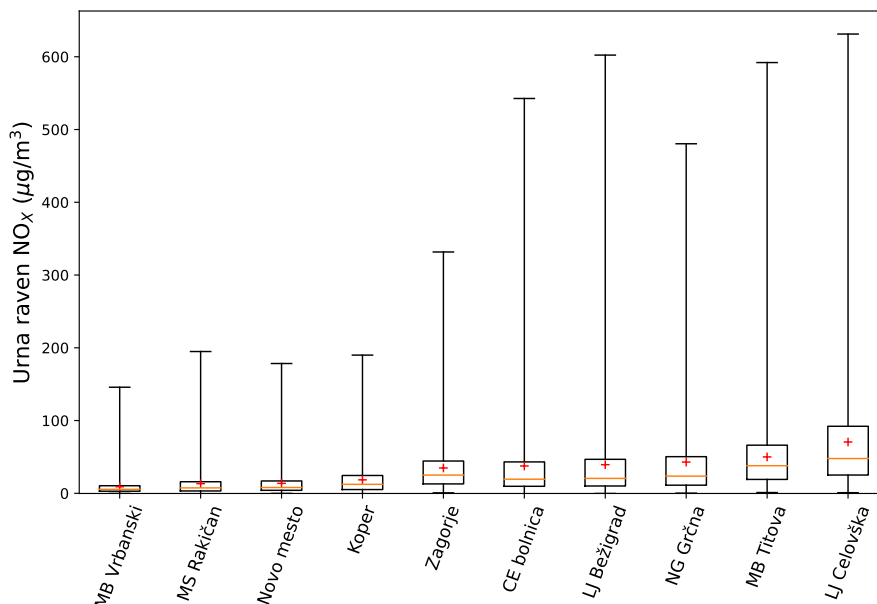
Slika 10.4: Urne ravni NO₂ na merilnih mestih DMKZ v letu 2024. Prikazane so najnižja in najvišja izmerjena raven (spodnja in zgornja vodoravna črtica), oba kvartila (vrh in dno pravokotnika) in mediana (oranžna vodoravna črtica v pravokotniku). Znak + označuje letno raven. Rdeča črta prikazuje urno mejno vrednost.



Slika 10.5: Modelski izračun najvišje urne vrednosti NO₂ v letu 2024

Za zaščito vegetacije je predpisana kritična letna vrednost NO_x 30 µg/m³. 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 NO₂. V dopolnilni merilni mreži sta ruralni merilni mesti Zavodnje in Sveti Mohor. Na nobenem ruralnem merilnem mestu kritična vrednost za NO_x v letu 2024 ni bila presežena (tabela 10.2). Najvišja letna raven je bila med ruralnimi mesti izmerjena na merilnem mestu Koper, in sicer 19 µg/m³. 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 10.6.

Najvišje letne ravni NO_x so bile v letu 2024 izmerjene na prometnih merilnih mestih LJ Center, LJ Celovška, MB Titova. Tudi na merilnih mestih, ki niso določena kot prometna in je vpliv prometa še vedno velik so občasno izmerjene visoke ravni NO_x (NG Grčna, CE bolnica, LJ Bežigrad). Na merilnih mestih v DMKZ, ki niso v bližini prometnih cest (MB Vrbanski, MS Rakičan, Koper in Novo mesto), so letne ravni NO_x celo pod vrednostjo, ki je določena kot kritična vrednost za varovanje rastlin oziroma vegetacije. Na sliki 10.6 so prikazane urne ravni NO_x na merilnih mestih v DMKZ.



Slika 10.6: Urne ravni NO_x na merilnih mestih DMKZ v letu 2024. Prikazane so najnižja in najvišja izmerjena raven (spodnja in zgornja vodoravna črta), oba kvartila (vrh in dno pravokotnika) in mediana (oranžna vodoravna črta v pravokotniku). Znak + označuje letno raven.

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. Pozimi, ko je ozračje najbolj stabilno in najslabše prevetreno pa so ravni višje (tabele 10.3 - 10.5 ter sliki 10.7 in 10.8).

Merilna mesta delimo glede na vir onesnaženja, ki ima največji vpliv na izmerjene vrednosti na določeni lokaciji, na prometna in industrijska merilna mesta ter merilna mesta v neizpostavljenem mestnem okolju (meritve ozadja). Na slikah 10.7 in 10.8 so zgoraj prikazana tri merilna mesta v mreži DMKZ za katere je kot glavni vir onesnaženja promet (LJ Celovška, MB Titova, Zagorje). Na spodnjem grafu so ostala merilna mesta, kjer se izvajajo meritve ozadja in v neposredni okolici ni nekega večjega vira, ki bi vplival na ravni onesnaženosti. Ravni NO_2 in NO_x so načeloma višje na prometnih lokacijah, so pa zaradi gostejšega prometa v bližini merilnega mesta lahko precej visoke tudi na drugih merilnih mestih, ki niso označena kot prometna (LJ Bežigrad, NG Grčna, CE bolnica). Najnižje ravni NO_2 so izmerjene na Iskrbi, ki je locirana daleč od večjih virov onesnaženja in tam tudi ni opaznega letnega hoda. Meritev NO_x na Iskrbi ne izvajamo. Na merilnih mestih Koper, Novo mesto, MB Vrbanski in MS Rakičan so tudi v zimskem času izmerjene ravni NO_x nizke, ker so ta merilna mesta oddaljena od večjih virov onesnaženja.

Dnevni hod NO_2 kaže, da se na vseh merilnih mestih ob jutranji prometni konici pojavi prvo obdobje

Tabela 10.3: Mesečna raven NO₂ (µg/m³) v letu 2024

Merilna Mreža	Merilno mesto	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
DMKZ	CE bolnica	38	27	22	16	14	13	12	13	15	13	21	27
	Iskrba	3	1	2	2	2	2	2	3	3	6	4	4
	Koper	23	25	15	12	10	11	11	13	10	14	18	19
	LJ Bežigrad	40	34	24	17	15	12	12	13	16	20	29	34
	LJ Celovška	54	45	34	26	24	22	22	24	26	29	36	43
	MB Titova	38	35	26	24	21	19	18	18	21	23	27	30
	MB Vrbanški	14	11	8	5	4	4	3	3	4	6	10	13
	MS Rakičan	19	14	9	6	7	5	6	7	7	8	14	17
	NG Grčna	33	30	23	20	17	15	17	17	17	20	31	36
	Novo mesto	16	14	11	8	6	5	6	6	6	8	13	16
	Zagorje	28	22	19	15	13	12	10	10	13	14	19	22
OMS MOL	LJ Center	50	46	38	37	34	34	31	33	36	34	40	47
TE-TOL	Zadobrova	33	28	17	12	9	9	6	6	11	14	22	29
MO Celje	CE Gaji	29	21	17	13	11	13	13	12	14	15	22	22
TE Brestanica	Sv. Mohor	8	6	4	2	3	3	3	4	4	5	7	7
MO Maribor	MB Tezno	30	28	17	12	5	2	1	4	11	14	20	24
TE Šostanj	Škale	11	8	6	4	5	3	4	3	4	6	8	7
	Šoštanj	17	13	9	7	6	6	6	6	7	8	12	12
	Zavodnje	6	5	4	3	3	3	3	3	3	5	6	6
	Mobilna TEŠ	19	13	9	7	5	5	5	5	6	7	12	13

* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.

Tabela 10.4: Maksimalna urna raven NO₂ (µg/m³) po mesecih v letu 2024

Merilna Mreža	Merilno mesto	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
DMKZ	CE bolnica	112	88	75	66	48	60	52	53	60	47	71	71
	Iskrba	61	8	7	6	4	14	5	16	8	78	10	12
	Koper	89	81	64	100	75	55	65	73	57	71	65	73
	LJ Bežigrad	105	99	90	87	54	42	52	52	60	72	69	96
	LJ Celovška	129	154	89	76	72	67	60	64	75	81	98	99
	MB Titova	99	128	84	89	79	69	52	63	67	64	102	91
	MB Vrbanški	52	54	43	36	27	25	19	13	21	23	39	41
	MS Rakičan	59	54	45	38	28	23	24	35	31	36	54	55
	NG Grčna	93	93	80	94	76	69	67	92	75	70	83	111
	Novo mesto	53	54	50	48	33	26	31	39	31	32	51	55
	Zagorje	72	62	62	72	50	39	36	36	46	43	55	60
OMS MOL	LJ Center	116	116	101	105	81	90	95	110	98	88	81	114
TE-TOL	Zadobrova	88	76	60	53	51	34	28	41	45	40	58	80
MO Celje	CE Gaji	86	79	56	55	37	34	34	41	40	47	68	62
TE Brestanica	Sv. Mohor	34	23	14	8	30	10	14	17	11	23	32	28
MO Maribor	MB Tezno	82	77	66	55	40	9	5	34	53	55	72	72
TE Šostanj	Škale	37	22	20	20	118	12	12	11	19	17	30	25
	Šoštanj	62	69	35	32	26	37	33	20	30	36	42	48
	Zavodnje	40	25	16	32	17	12	35	20	14	35	38	52
	Mobilna TEŠ	57	41	33	30	27	17	26	26	36	34	41	33

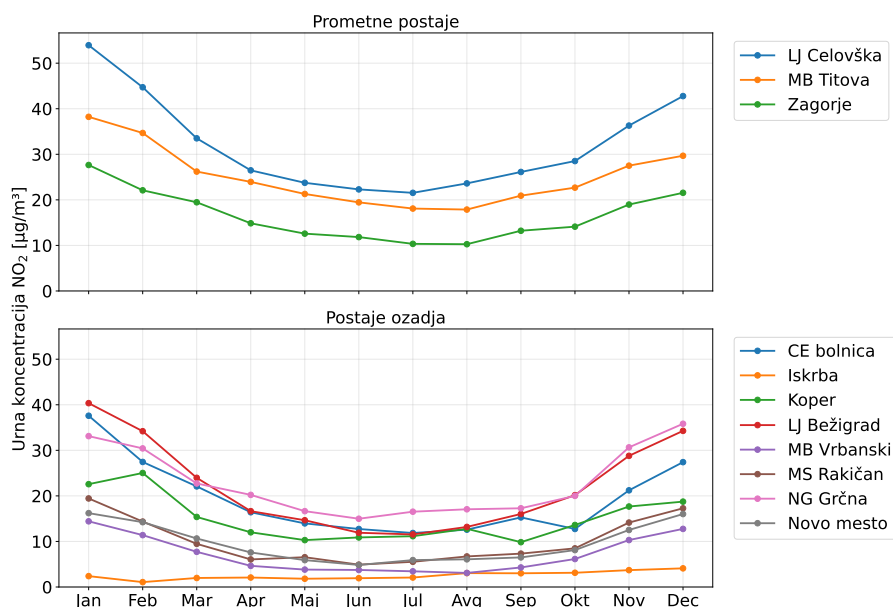
* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.

višjih ravni dušikovih oksidov zaradi povečanih izpustov iz prometa (slika 10.9). V popoldanskem oziroma večernem času pa se pojavi v plasti zraka pri tleh še drugo povišanje ravni NO₂. Merilni mesti LJ Celovška in Zagorje sta klasificirani kot prometni postaji, CE bolnica, Novo mesto in MB Vrbanški pa kot merilna mesta v neizpostavljenem mestnem okolju. Na sliki 10.9 izstopa po vrednostih merilno mesto Lj Celovška, ki je zelo obremenjeno s prometom. Na merilnem mestu Zagorje so ravni le tekom

Tabela 10.5: Mesečna raven NO_x ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) v letu 2024

Merilna mreža	Merilno mesto	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
DMKZ	CE bolnica	90	66	36	22	16	14	12	13	22	27	51	83
	Koper	30	35	19	14	12	12	12	13	11	17	23	24
	LJ Bežigrad	88	72	34	21	17	14	14	15	20	35	57	82
	LJ Celovška	149	116	65	46	39	36	31	34	45	67	93	124
	MB Titova	85	74	48	40	37	32	29	29	37	52	67	71
	MB Vrbanski	19	14	9	6	5	4	4	3	5	8	15	18
	MS Rakičan	27	19	11	7	6	5	5	7	8	11	21	31
	NG Grčna	75	65	39	31	22	19	20	21	25	39	71	89
	Novo mesto	26	22	15	9	7	6	7	7	8	12	19	25
	Zagorje	73	55	35	25	21	20	17	17	24	30	43	59
OMS MOL	LJ Center	150	133	81	64	57	52	48	52	68	90	113	158
TE-TOL	Zadobrova	71	64	25	16	12	11	8	8	14	21	37	71
MO Celje	CE Gaji	65	50	29	21	16	16	18	18	21	28	43	56
TE Brestanica	Sv. Mohor	11	8	6	3	4	4	5	5	5	7	9	9
MO Maribor	MB Tezno	78	58	26	15	6	3	2	5	12	24	43	69
TE Šostanj	Škale	12	9	7	5	6	4	7	8	7	9	12	11
	Šoštanj	26	20	12	10	8	8	8	8	9	14	22	19
	Zavodnje	7	6	5	5	4	4	5	5	5	6	8	8
	Mobilna TEŠ	29	26	17	14	9	6	7	7	8	13	21	21

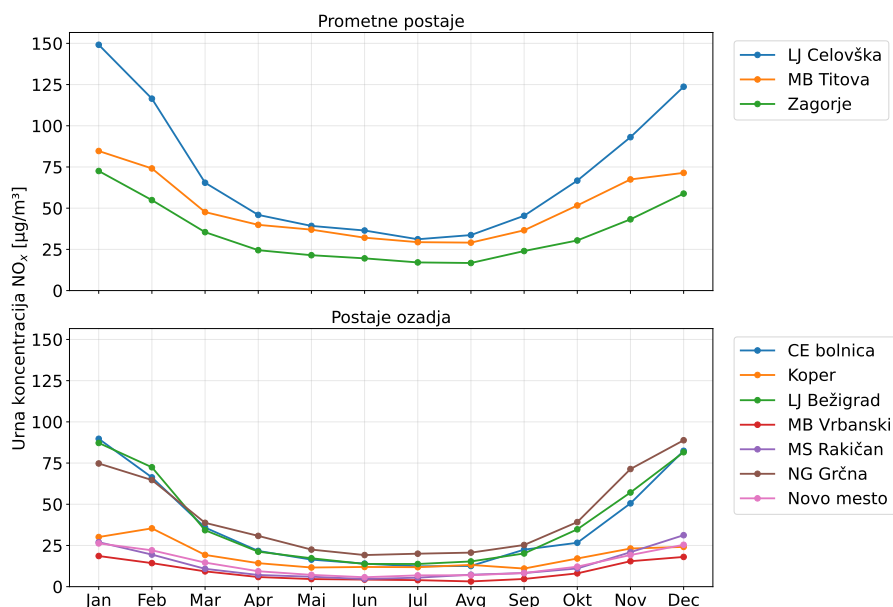
* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.



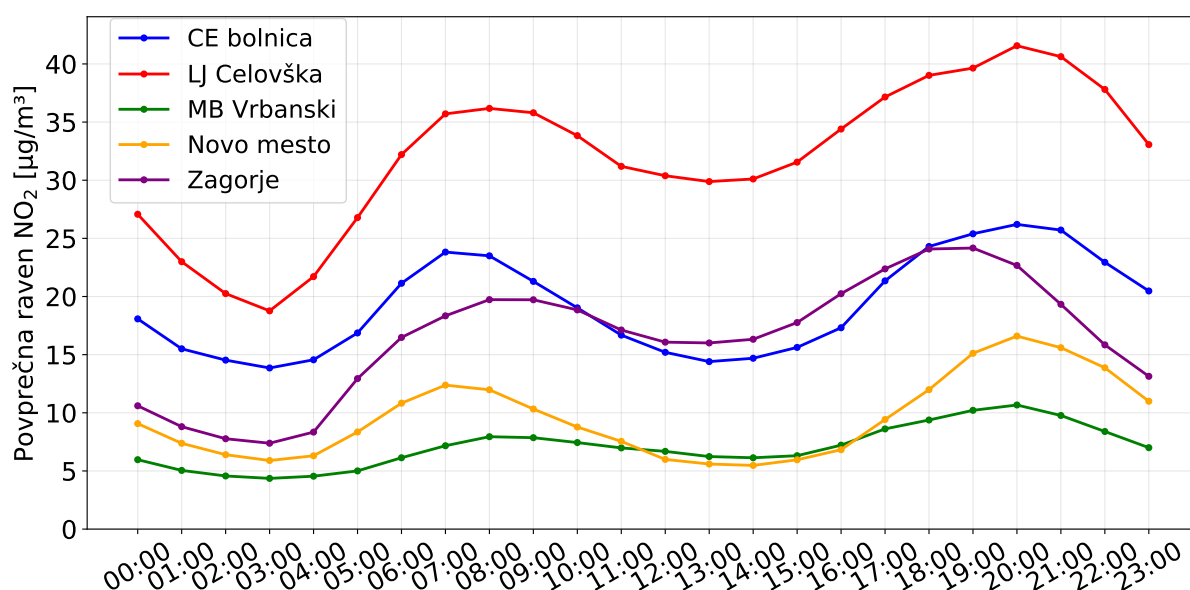
Slika 10.7: Mesečne ravni NO_2 na različnih tipih merilnih mest v merilni mreži DMKZ v letu 2024.

dneva višje kot na merilnem mestu CE bolnica, čeprav CE bolnica ni prometna postaja. Na merilnem mestu MB Vrbanski, ki je precej oddaljeno od večjih prometnic, pa so ravni NO_2 najnižje.

V obdobju od leta 2010 do 2024 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 10.6 slika 10.10), je pa le malenkost pod predpisano vrednostjo. Na sliki 10.10 so prikazane letne ravni NO_2 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 10.10, ker so podatki le informativni



Slika 10.8: Mesečne ravni NO_x na različnih tipih merilnih mest v merilni mreži DMKZ v letu 2024.

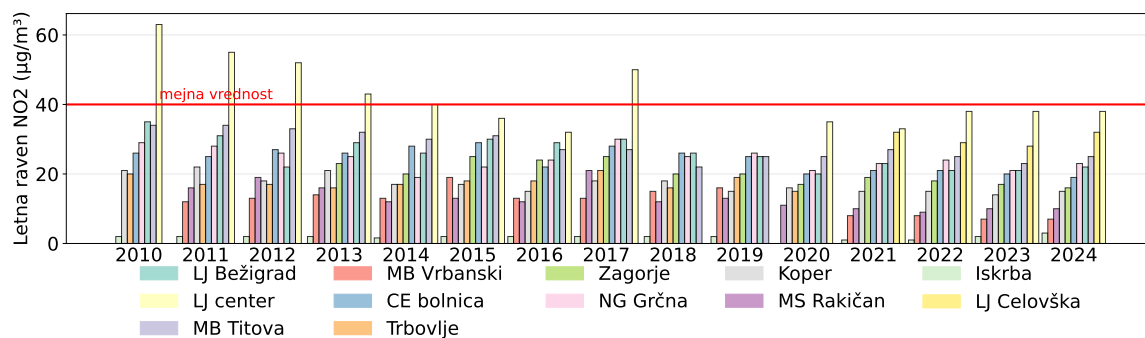


Slika 10.9: Dnevni potek povprečne urne ravni NO_2 na merilnih mestih v letu 2024

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.

Povprečne letne ravni dušikovega dioksida se z leti nekoliko spreminjajo, lahko bi govorili o rahlem trendu upadanja do leta 2019 (slika 10.10), ko so se zniževali izpusti dušikovih oksidov (slika 10.1). V zadnjih petih letih ostajajo letne ravni NO_2 na istem nivoju in ni opaziti trenda upadanja (tudi pri izpustih). Medletna variabilnost je sicer 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 2021 so na ravni dušikovih oksidov ugodno vpivali tudi ukrepi za preprečevanje

epidemije COVID-a.



Slika 10.10: Letne ravni NO₂ na vseh merilnih mestih DMKZ in na merilnem mest LJ center za posamezna leta. Rdeča črta prikazuje letno mejno vrednost.

Tabela 10.6: 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	2024
CE bolnica	26	25	27	26	28	29*	22	28	26	25	20	21	21	20	19
CE Gaji	/	/	/	20	23	23	16	22	17	14	12*	16	17	16	17
Iskriba	2*	2*	2	2	2	2	2	2	2	2	3*	1	1	2	3
Koper	21	22	18	21	17	17	15	18	18	15	16	15	15	14	15
LJ Bežigrad	35	31	22	29	26	30	29	30	26	25	20	23	21	21	22
LJ Celovška	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	25*	32	29	28	32
LJ Center	63	55	52	43	40	36	32	50	48*	45*	35	33	38	38	38
MB Tezno	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	21	21	21*	16	13
MB Titova	34	34	33	32	30	31	27*	27	22	25	25	27	25	23	25
MB Vrbanski	/	12*	13	14	13	19	13	13	15*	16	8*	8	8	7	7
MS Rakičan	/	16	19	16	12	13	12	21	12	13	11	10	9	10	10
NG Grčna	29	28	26	25	19	22	24	30	25	26	21	23	24	21	23
Novo mesto	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	9*	11	11	10	10
Sv. Mohor	3*	8	8	6	7	7	7	7	7	5	5	5	5	4	5
Škale	8	8	7	9	7	8	9	8	7	6	7	7	6	6	6
Šoštanj	/	/	/	/	/	/	/	20	12	10	10	10	10	9	9
Zadobrova	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	16	17	16	16
Zagorje	/	/	22*	23	20	25	24	25	20	20	17	19	18	17	16
Zavodnje	5	9	8	8	7	7	5	6	5	5	5	4	5	4	4
Dobovec	11*	6	5*	14	13	3	1*	/	/	/	/	/	/	/	/
Kovk	9	11	6*	12	8	8	6	/	/	/	/	/	/	/	/
Trbovlje	20*	17	17	16	17	18	18	21	16	19	15	18*	/	/	/
Vnjanjarje	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 [14].

Podatki za leta od 2000-2021 so na voljo v Poročilu o kakovosti zraka za leto 2021 [15].

11. Žveplov dioksid

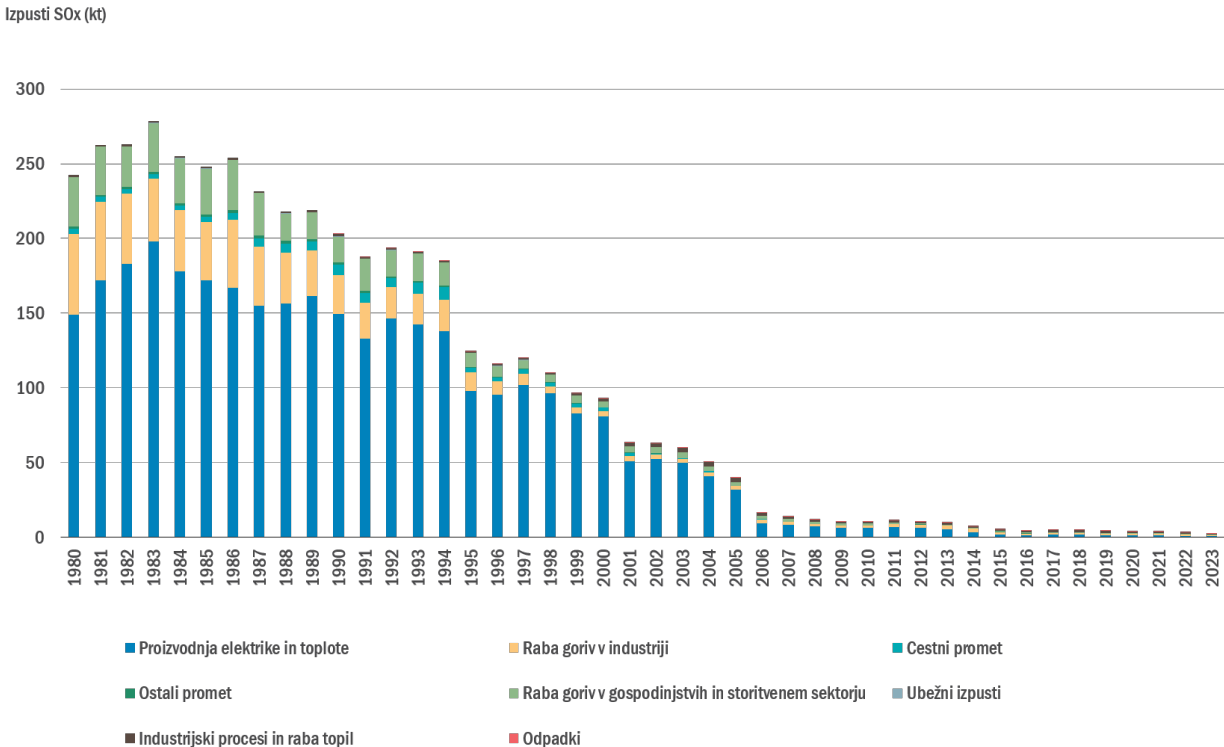
Žveplov dioksid (SO_2) je onesnaževalo, ki je pred nekaj desetletji predstavljalo največji problem onesnaženosti zraka v slovenskih mestih in v okolici termoelektrarn. Največji viri emisij so bili takrat energetika, industrija in kurjenje premoga v individualnih kuriščih. Z opuščanjem premoga v individualnih 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 zbolevali za različnimi infekcijami dihal. Onesnaženje z SO_2 je najnevarnejše, ko so hkrati v zraku povišane tudi ravni delcev in drugih onesnaževal.

11.1 Izpusti

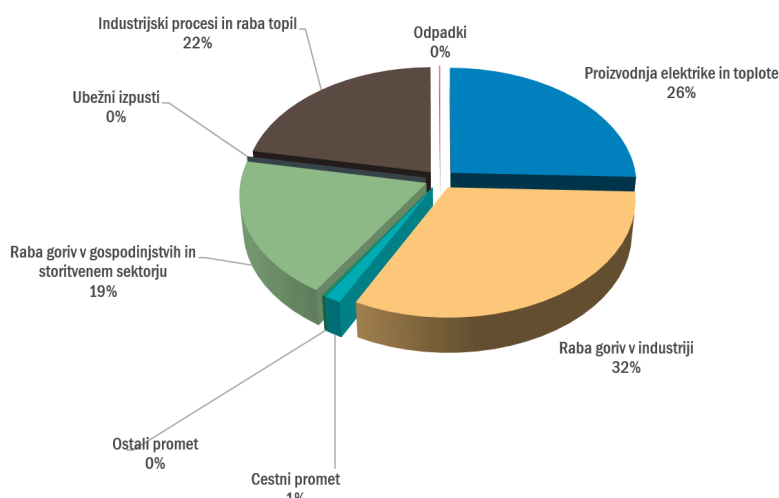
Največji viri žveplovih oksidov (SO_x) so proizvodnja električne in toplotne energije, industrijski procesi ter raba goriv v industriji, v preteklosti tudi raba premoga za ogrevanje gospodinjstev. Letni izpusti SO_x so v Sloveniji leta 2023 znašali 3 tisoč ton. V primerjavi z letom 1980 so se zmanjšali 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 je v letu 2023 prispevala raba goriv v industriji (32 %), sledi proizvodnja elektrike in toplote s 26 % in industrijski procesi z 22 %. Izpusti SO_x po posameznih virih so prikazani na slikah 11.1 in 11.2.

Slovenija izpolnjuje obveznosti iz Direktive (EU) 2016/2284 o zmanjšanju nacionalnih emisij za nekatera onesnaževala zraka (t.i. direktive NEC) ([18]) in iz Protokola o zmanjševanju zakisljevanja, evtrofikacije in prizemnega ozona (Goeteborški protokol) ([19]) h Konvenciji o onesnaževanju zraka na velike razdalje preko meja (CLRTAP) ([7]). V letu 2023 smo dosegli cilj, ki predpisuje zmanjšanje izpustov za najmanj 63 % glede na leto 2005. Letni izpusti SO_x so bili v primerjavi z letom 2005 nižji za 94 %. Slovenija prav tako izpolnjuje zahteve iz Protokola o nadaljnjem zmanjševanju emisij žvepla h Konvenciji o onesnaževanju zraka na velike razdalje preko meja. Izpusti žveplovih oksidov se podajajo kot vsota vseh žveplovih oksidov, izraženih kot SO_2 .

Podrobne informacije o izpušnih žveplovih oksidov in metodologiji izračuna izpustov so na voljo v dokumentu Informative Inventory Report 2025 for Slovenia [12].



Slika 11.1: Letni izpusti SO_x po virih v Sloveniji



Slika 11.2: Izpusti SO_x po virih v Sloveniji v letu 2023

11.2 Zahteve za kakovost zraka

V Uredbi o kakovosti zunanjega zraka [3] sta predpisani mejni in alarmna vrednost za zaščito zdravja ter kritični vrednosti za zaščito vegetacije. Vrednosti so prikazane v tabeli 11.1.

Tabela 11.1: Mejni, kritični in alarmna vrednost za žveplov dioksid [3]

	Cilj	Čas merjenja	Vrednost	Dovoljeno število preseganj
Mejna vrednost	Zdravje	1 ura	350 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	24
Mejna vrednost	Zdravje	1 dan	125 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	3
Alarmna vrednost	Zdravje	1 ura (3 zaporedne)	500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
Kritična vrednost	Vegetacija	koledarsko leto	20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
Kritična vrednost	Vegetacija	zima (1.10-31.3)	20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	

11.3 Ravni onesnaženosti

Ravni SO_2 so že več let na vseh merilnih mestih nižje od standardov kakovosti zraka, ki jih predpisuje Evropska zakonodaja. Za SO_2 sta predpisani urna in dnevna mejna vrednost in alarmna vrednost za varovanje zdravja ter kritična letna in zimsko vrednost za varovanje vegetacije. Urna mejna vrednost je 350 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ in je lahko presežena 24 krat v koledarskem letu. Predpisana dnevna mejna vrednost 125 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ je lahko presežena 3 krat v koledarskem letu. Alarma vrednost je 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ in mora biti presežena 3 ure zapored, da se šteje za preseganje. Za zaščito vegetacije je določena letna kritična vrednost 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ in je enaka kritični vrednosti za zimski čas, ki zajame

meritve od 1. oktobra 2023 do 31. marca 2024 (tabela 11.1).

Tabela 11.2: 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 2024.

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	4	2	33	0	0	10	0
	Iskrba	97	1	1	25	0	0	7	0
	Zagorje	99	2	1	15	0	0	5	0
OMS MOL	LJ Center	99	4	3	7	0	0	6	0
TE-TOL	Zadobrova	100	4	4	14	0	0	7	0
MO Celje	CE Gaji	97	2	3	47	0	0	6	0
TE Brestanica	Sv. Mohor	98	3	3	35	0	0	9	0
TE Šoštanj	Graška gora	99	5	4	28	0	0	10	0
	Pesje	99	7	7	35	0	0	14	0
	Škale	99	3	5	59	0	0	10	0
	Šoštanj	100	4	4	37	0	0	11	0
	Topolšica	100	5	4	123	0	0	15	0
	Velenje	99	5	4	38	0	0	11	0
	Veliki vrh	100	4	4	110	0	0	22	0
	Zavodnje	99	5	5	42	0	0	12	0
	Mobilna TEŠ	99	6	5	39	0	0	16	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 2024 izvajali le na treh merilnih mestih: Zagorje, CE bolnica in Iskrba. Na vseh merilnih mestih v DMKZ so bile izmerjene ravni nižje od vseh predpisanih vrednosti. Za oceno vpliva na vegetacijo je v merilni mreži DMKZ primerno le merilno mesto Iskrba (tabela 11.2).

V tabeli 11.2 je v tretjem stolpcu (% pod) prikazan letni izplen podatkov z odšteti 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 izmerjene na nekaterih merilnih mestih v okolici Termoelektrarne Šoštanj. V letu 2024 je bila najvišja urna vrednost, $123 \mu\text{g}/\text{m}^3$, izmerjena na merilnem mestu Topolšica in je nižja od predpisane urne mejne vrednosti $350 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Na vseh drugih merilnih mestih so najvišje urne ravni SO_2 še nižje. V merilni mreži DMKZ je bila najvišja urna vrednost izmerjena na merilnem mestu CE bolnica, in sicer $33 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (tabela 11.2). Alarmna urna vrednost ni bila presežena že vrsto let.

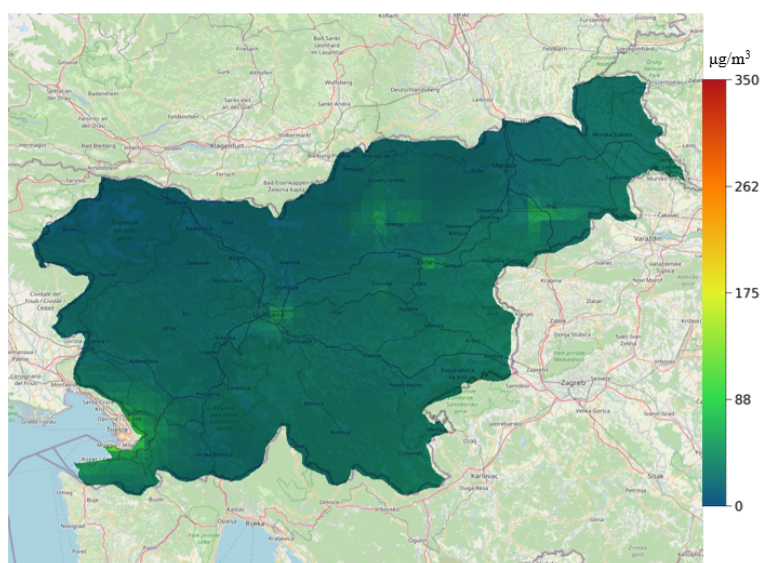
Tudi najvišja dnevna raven SO_2 je bila izmerjena na merilnem mestu okrog Termoelektrarne Šoštanj, tokrat na Velikem vrhu, in sicer $22 \mu\text{g}/\text{m}^3$, kar je precej pod dnevno mejno vrednostjo $125 \mu\text{g}/\text{m}^3$. V merilni mreži DMKZ je bila najvišja dnevna raven zabeležena na merilnem mestu CE bolnica, $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Tudi v letu 2024 so vrednosti SO_2 na vseh merilnih mestih v Sloveniji v skladu z evropskim standardom kakovosti zraka.

V petletni oceni za obdobje 2015 -2019 in tudi v letu 2024 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 SO_2 v Sloveniji smo ocenili z modelskimi

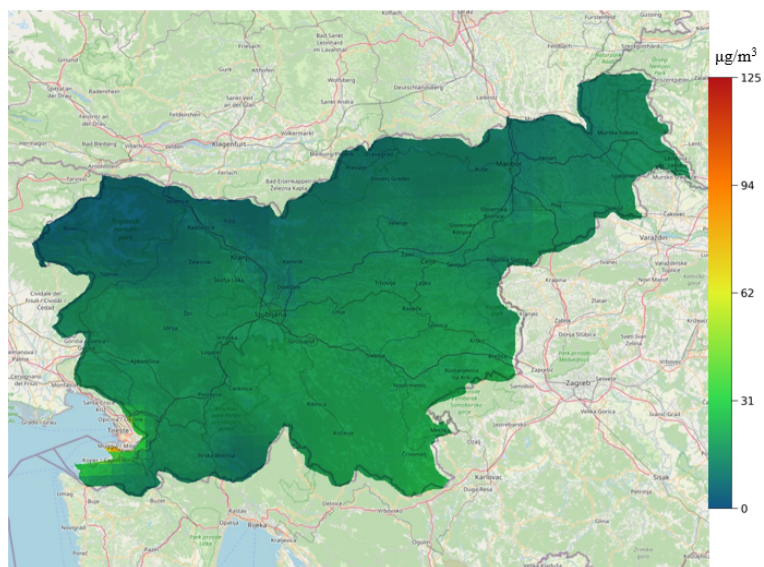
rezultati. Modelski rezultati so prikazani na slikah 11.3 do 11.6. Prikazani so modelski rezultati za oceno skladnosti z urno in dnevno vrednostjo ter za letno in zimsko vrednost. Na ARSO imamo za namen ocenjevanja kakovosti zraka na območju Slovenije vzpostavljen regionalni disperzijsko-fotokemijski 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 [8].

Na slikah 11.3 in 11.4 so prikazani modelski izračuni najvišjih urnih in dnevnih ravni SO_2 za Slovenijo. Na obeh slikah se vidi, da so modelsko ocenjene ravni SO_2 povsod zelo nizke, urne ravni so nekoliko povišane le na območjih večjih mest, okrog TEŠ in Kidričevega (slika 11.3). Iz slik z modelskimi rezultati je razvidno, da so ravni SO_2 nižje od urne in dnevne mejne vrednosti in da so vrednosti tudi pod spodnjim ocenjevalnim pragom. To pomeni, da bi lahko meritve SO_2 povsod nadomestili z rezultati modelske ocene.

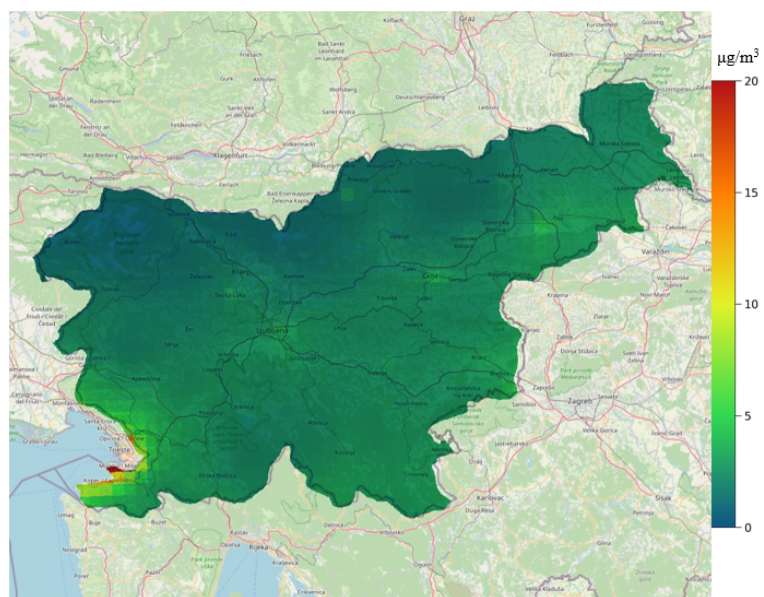
Na slikah 11.5 in 11.6 so prikazani rezultati modelskih izračunov za povprečno letno in zimsko vrednost, ki sta primerni za oceno vpliva na vegetacijo. Kritični vrednosti za oceno vpliva na vegetacijo sta $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$, tako za letno kot tudi zimsko obdobje. Najvišja povprečna letna in zimska raven SO_2 , določeni iz meritev, sta bili v letu 2024 zabeleženi na merilnem mestu Pesje ($7 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Na Iskrbi, ki je v merilni mreži DMKZ primerna za oceno vpliva na vegetacijo pa $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Na slikah 11.5 in 11.6 je opaziti nekoliko povišane ravni le v okolici Trsta zaradi izpustov ladijskega prometa. Meritve in modelski oceni kažeta, da so za SO_2 doseženi standardi kakovosti zraka na območju celotne Slovenije.



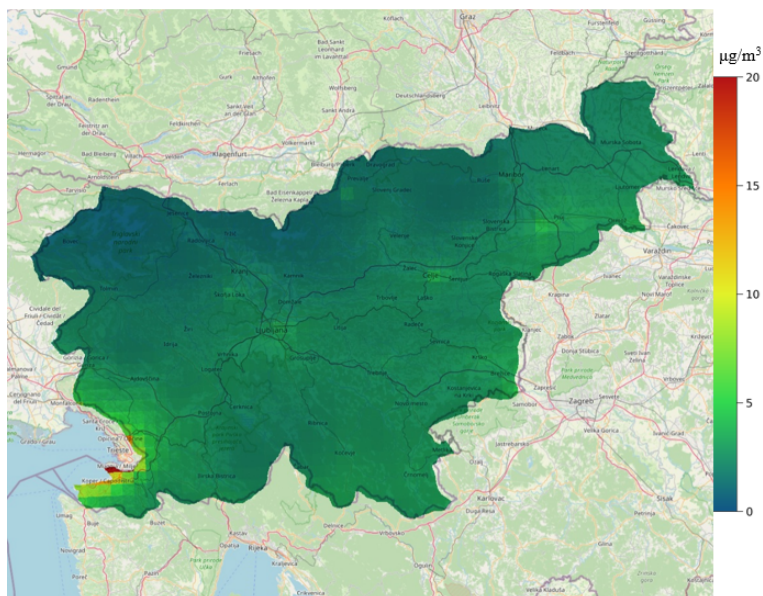
Slika 11.3: Modelski izračun najvišje urne vrednosti SO_2 v letu 2024



Slika 11.4: Modelski izračun najvišje dnevne vrednosti SO₂ v letu 2024



Slika 11.5: Modelski izračun povprečne letne vrednosti SO₂ v letu 2024



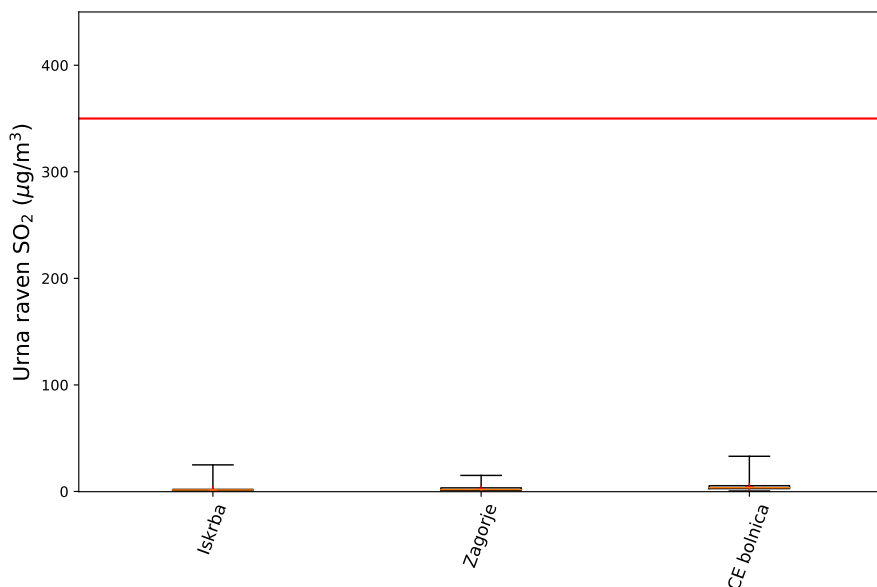
Slika 11.6: Modelski izračun povprečne vrednosti SO₂ za zimske mesece v letu 2024

Prikaz najvišjih urnih in dnevnih ravni ter mesečnih vrednosti v letu 2024 je prikazan v tabelah 11.3 do 11.5. Na sliki 11.7 je prikaz urnih ravni na merilnih mestih DMKZ, ki potrjuje, da so ravni SO₂ v Sloveniji res nizke v primerjavi z mejno urno vrednostjo. Ob normalnem delovanju TEŠ, tudi na tem območju ne prihaja več do preseganj mejnih vrednosti. Najvišje dnevne ravni SO₂ (tabela 11.4) so precej nižje od mejne dnevne vrednosti za to onesnaževalo (125 µg/m³). Mesečne ravni žveplovega dioksida so na vseh merilnih mestih nizke in nimajo značilnega letnega poteka, z višjimi vrednostmi v zimskem času in nižjimi v poletnem. To je razvidno iz tabele 11.5, kjer so na posameznih merilnih mestih ravni v poletnem času celo višje od vrednosti v zimskih mesecih, če pri tako nizkih ravneh sploh lahko govorimo o pomembnih razlikah.

Tabela 11.3: Najvišja urna raven SO₂ (µg/m³) po mesecih v letu 2024

Merilna mreža	Merilno mesto	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
DMKZ	CE bolnica	19	26	29	14	10	6	14	9	25	31	33	30
	Iskrba	8	5	4	10	6	8	7	6	11	6	25	10
	Zagorje	5	3	5	9	3	4	4	7	15	13	6	7
OMS MOL	LJ Center	5	5	5	6	7	6	4	7	7	7	7	5
TE-TOL	Zadobrova	6	7	9	8	6	6	7	5	8	7	9	14
MO Celje	CE Gaji	27	23	26	47	22	45	16	8	30	22	33	33
TE Brestanica	Sv. Mohor	22	35	5	11	7	7	13	10	10	13	9	6
TE Šoštanj	Graška gora	15	10	8	12	9	14	18	11	28	11	11	13
	Pesje	25	28	18	15	12	16	16	16	23	12	35	23
	Škale	27	7	6	7	5	8	59	7	23	6	11	26
	Šoštanj	20	31	12	31	12	21	17	7	23	18	26	37
	Topolšica	9	10	16	8	7	15	123	9	20	10	32	39
	Velenje	29	14	10	9	6	7	21	7	38	9	17	17
	Veliki vrh	11	7	9	8	7	8	14	6	23	11	34	110
	Zavodnje	20	8	8	9	10	13	17	11	19	13	20	42
	Mobilna TEŠ	20	16	12	14	13	14	11	10	24	31	35	39

Raven onesnaženosti zunanjega zraka z SO₂ se je od začetka meritev leta 1992 do leta 2024



Slika 11.7: Urne ravni SO₂ na merilnih mestih DMKZ v letu 2024. 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 11.4: Najvišja dnevna raven SO₂ (µg/m³) po mesecih v letu 2024

Merilna mreža	Merilno mesto	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
DMKZ	CE bolnica	5	5	5	6	4	4	6	5	7	9	10	10
	Iskrba	2	1	2	3	2	4	2	2	3	3	7	3
	Zagorje	2	1	2	3	2	4	1	4	5	5	4	5
OMS MOL	LJ Center	4	4	5	4	6	6	3	5	6	6	6	3
TE-TOL	Zadobrova	5	5	5	6	5	5	5	4	5	5	5	7
MO Celje	CE Gaji	5	5	5	4	6	5	3	3	5	5	3	6
TE Brestanica	Sv. Mohor	8	9	4	7	5	5	6	5	4	8	4	4
TE Šoštanj	Graška gora	8	7	7	8	8	9	10	7	10	6	6	4
	Pesje	12	8	11	11	10	13	11	14	10	8	10	9
	Škale	10	5	6	3	4	5	7	6	7	3	4	4
	Šoštanj	8	9	6	7	6	9	10	5	8	5	11	9
	Topolšica	4	7	7	5	6	7	15	6	8	7	7	13
	Velenje	6	8	9	4	5	6	7	5	11	7	8	8
	Veliki vrh	8	5	8	4	5	6	6	5	9	5	11	22
	Zavodnje	8	5	5	5	7	10	12	6	12	6	8	11
	Mobilna TEŠ	9	8	9	9	12	11	8	7	10	10	16	13

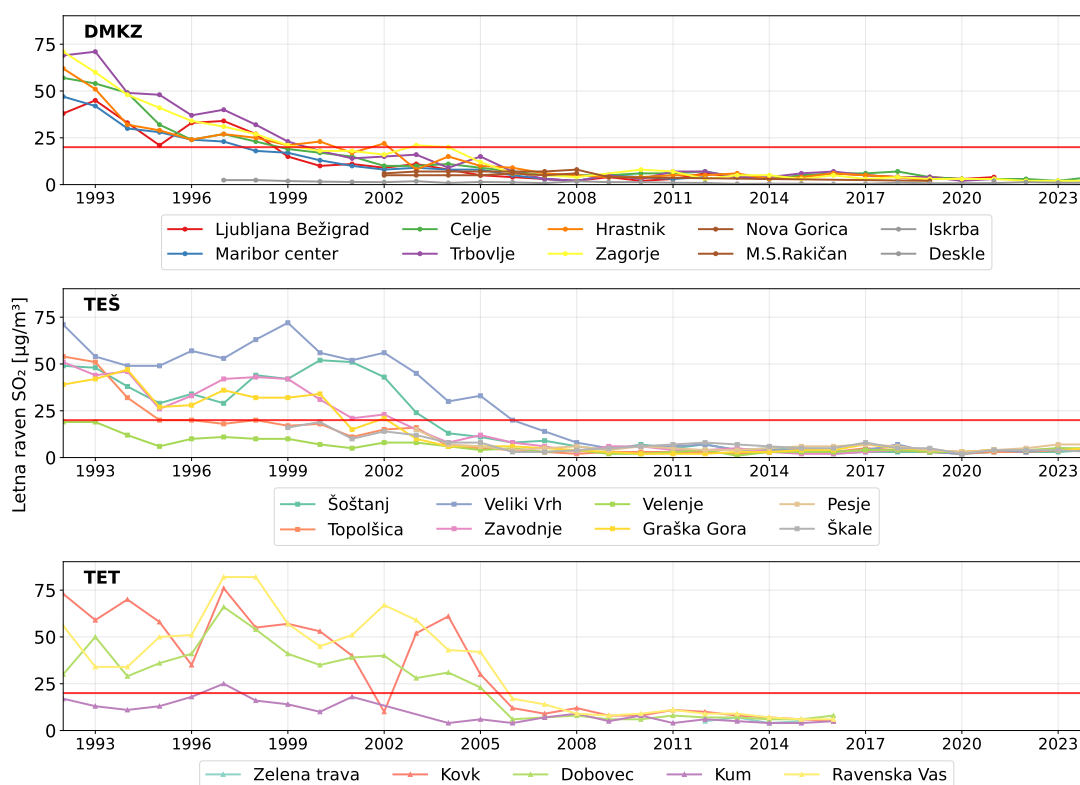
močno znižala. Letne ravni SO₂ od leta 1992 dalje so prikazane na sliki 11.8. Ravni na merilnih mestih državne mreže so se do leta 2007 nizale, nato pa so se ustalile na zelo nizki ravni. Znatno znižanje letnih ravni je posledica zmanjšanja izpustov (slika 11.1).

Letna raven, najvišja urna raven in najvišja dnevna raven za posamezna merilna mesta za obdobje 2010-2024 so podane v tabelah 11.6, 11.7 in 11.8. 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 v začetku obdobja 2010-2024

Tabela 11.5: Mesečna raven SO₂ (µg/m³) v letu 2024

Merilna mreža	Merilno mesto	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
DMKZ	CE bolnica	3	3	2	3	3	2	4	4	4	6	7	8
	Iskrba	0	1	0	1	2	2	1	2	2	2	2	2
	Zagorje	1	1	1	2	2	2	1	2	3	4	4	4
OMS MOL	LJ Center	2	2	3	4	5	4	2	5	4	5	4	2
TE-TOL	Zadobrova	4	4	4	4	4	4	5	4	4	4	5	5
MO Celje	CE Gaji	3	3	3	2	3	2	1	1	2	2	1	4
TE Brestanica	Sv. Mohor	3	3	3	4	4	4	4	4	2	3	3	3
TE Šoštanj	Graška gora	4	5	6	6	6	8	6	6	5	4	3	2
	Pesje	6	4	8	7	7	8	8	10	5	6	6	7
	Škale	4	4	4	2	2	4	4	5	3	2	2	2
	Šoštanj	4	4	4	4	4	6	5	4	4	3	3	4
	Topolšica	2	6	6	4	5	6	6	5	5	6	5	5
	Velenje	4	6	7	3	4	5	5	5	5	6	6	6
	Veliki vrh	5	3	3	3	3	3	4	4	4	3	5	5
	Zavodnje	5	3	3	4	5	8	7	6	5	4	5	6
	Mobilna TEŠ	5	5	6	7	7	8	6	6	7	7	6	7



Slika 11.8: Letne ravni SO₂ na merilnih mestih DMKZ in merilnih mestih v okolici TEŠ in TET za posamezna leta. Rdeča črta prikazuje letno kritično vrednost za zaščito vegetacije.

visoke in so ponekod presegle mejno urno vrednost, predvsem okrog obeh termoelektrarn. Na merilnih mestih okrog TEŠ, kjer meritve še potekajo, se v zadnjih letih še vedno lahko pojavijo višje ravni SO₂ ob remontih oziroma težavah z razžvepljevalno napravo (Zavodnje 2021, Škale 2023) (tabela 11.7). Razlike med posameznimi leti so odvisne od intenzivnosti obratovanja termoelektrarne. Znižanja ravni SO₂ so očitna po vgradnji čistilnih naprav na posameznih blokih termoelektrarn (slika 11.8). Konec leta 2014 je z obratovanjem prenehala Termoelektrarna Trbovlje in maja 2017 so se zaključile tudi

meritve onesnaženosti zraka v vplivni okolici.

Tabela 11.6: Letne ravni SO₂ (µg/m³) za obdobje 2010-2024.

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
CE bolnica	6	6	7	4	3	5	6	6	7	4	3	3	3	2	4
CE Gaji	/	/	/	6	5	5	4	5	6	8	10	1	2	3	2
Graška gora	2	2	2	3	3	4	4	7	5	4	3	4	4	4	5
Iskrba	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	1
LJ Center	5	4	4	2	2	2	2	2	1	5	4	2	2	3	4
Mobilna TEŠ	/	/	/	/	/	2	2	3	3	4	3	4	5	5	6
Pesje	6	5	4	4	5	6	6	7	6	4	3	4	5	7	7
Sv.Mohor	15	3	4	4	4	5	3	4	5	6	7	4	2	3	3
Škale	6	7	8	7	6	5	5	8	5	5	2	4	4	4	3
Šoštanj	7	5	7	4	5	4	2	3	3	3	2	3	3	3	4
Topolšica	3	3	3	2	3	5	3	5	4	3	2	3	3	4	5
Velenje	2	3	4	1	3	3	3	4	4	3	3	4	4	5	5
Veliki vrh	6	6	7	4	4	4	3	4	7	3	2	4	3	5	4
Zadobrova	/	/	/	/	/	/	/	/	/	3	2	2	3	4	4
Zagorje	8	7	3	5	5	3	5	3	4	3	3	3	2	2	2
Zavodnje	6	4	4	5	3	2	2	3	4	4	3	4	4	4	5
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*	/	/	/
Vnainarje	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 [14].

Podatki za leta od 2000-2021 so na voljo v Poročilu o kakovosti zraka za leto 2021 [15].

Tabela 11.7: Najvišje urne ravni SO₂ (µg/m³) za obdobje 2010–2024.

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
CE bolnica	64	210	89	43	41	36	36	40	62	26	38	43	40	76	33
CE Gaji	/	/	/	55	474	37	136	49	38	34	43	97	72	31	47
Grška gora	106	148	107	53	76	57	127	60	188	238	110	121	155	190	28
Iskrba	/	/	/	/	/	/	/	/	28	17	11*	25	30	54	25
LJ center	22	33	37	20	28	28	22	14	10	20	47	8	12	8	7
Mobilna TEŠ	/	/	/	/	/	191	51	43	57	34	50	54	28	74	39
Pesje	81	81	75	96	75	184	63	39	37	21	29	41	24	106	35
Sv. Mohor	66*	59	37	46	52	35	58	42	31	27	19	30	18	27	35
Škale	81	190	131	67	75	230	61	47	42	108	26	91	15	425	59
Šoštanj	1357	124	485	216	333	396	75	47	61	39	216	71	34	144	37
Topolšica	52	130	92	92	90	52	35	44	166	28	200	37	24	25	123
Velenje	110	89	93	60	19	140	24	15	25	22	25	44	19	29	38
Veliki vrh	269	636	887	415	301	143	148	237	297	93	87	114	35	119	110
Zadobrova	/	/	/	/	/	/	/	/	/	17	12	10	16	25	14
Zagorje	57	37	75	31	44	23	15	34	35	11	27	16	14	20	15
Zavodnje	98	433	150	388	96	274	86	103	219	347	166	1151	60	112	42
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*	/	/	/
Vnainarje	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 [14].

Podatki za leta od 2000-2021 so na voljo v Poročilu o kakovosti zraka za leto 2021 [15].

Tabela 11.8: Najvišje dnevne ravni SO₂ (µg/m³) za obdobje 2010–2024.

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
CE bolnica	26	22	34	15	23	12	15	15	20	11	9	8	9	9	10
CE Gaji	/	/	/	20	30	11	12	14	14	20	20	5	8	8	6
Graška gora	17	19	15	14	13	15	16	19	23	33	16	12	13	31	10
Iskrba	10	15	15	6	10	10	4	10	7	5	3*	5	7	11	7
LJ center	14	14	20	6	11	11	6	7	3	16	9	7	7	8	6
Mobilna TEŠ	/	/	/	/	/	17	11	10	11	10	17	11	9	12	16
Pesje	25	19	24	18	17	34	15	13	20	14	11	9	11	23	14
Sv. Mohor	41*	31	28	14	29	15	17	22	14	12	14	12	8	11	9
Škale	25	24	29	25	19	28	14	17	21	12	9	10	14	40	10
Šoštanj	85	28	44	41	25	33	16	16	19	10	14	9	13	15	11
Topolšica	10	13	12	12	15	17	9	10	13	9	17	10	13	9	15
Velenje	14	15	13	5	9	14	12	9	10	6	9	10	8	10	11
Veliki vrh	28	42	51	37	29	25	23	37	33	57	10	20	11	16	22
Zadobrova	/	/	/	/	/	/	/	/	/	3	2	5	7	7	7
Zagorje	29	37	26	13	21	9	12	21	12	5	8	5	7	4	5
Zavodnje	22	32	18	51	14	22	15	22	43	57	29	80	17	19	12
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*	/	/	/
Vnjanarje	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 [14].

Podatki za leta od 2000-2021 so na voljo v Poročilu o kakovosti zraka za leto 2021 [15].

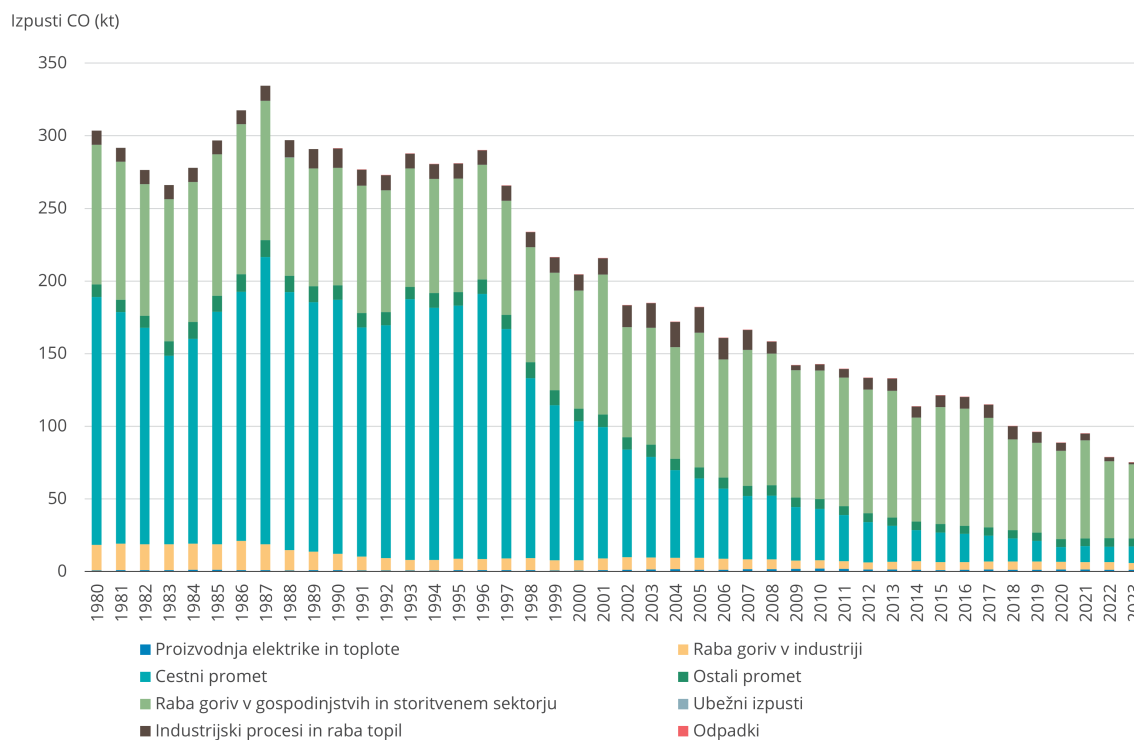
12. Ogljikov monoksid

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 12.1).

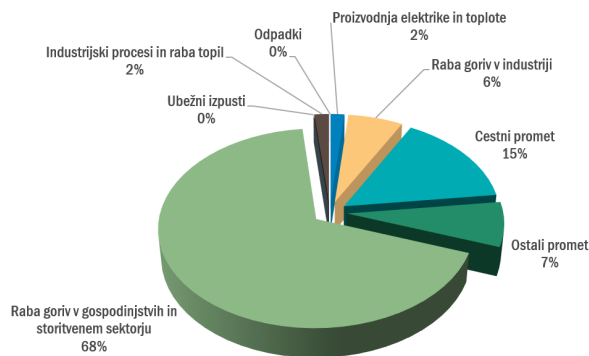
12.1 Izpusti

Letni izpusti ogljikovega monoksida (CO) so v Sloveniji leta 2023 znašali 75 tisoč ton. V obdobju 1980 - 2023 so se zmanjšali za 75 % (slika 12.1). Največji, več kot dvotretjinski delež k skupnim izpustom CO, je v letu 2023 prispevala raba goriv v gospodinjstvih in storitvenem sektorju (slika 12.2). 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 2025 for Slovenia [12].



Slika 12.1: Letni izpusti ogljikovega monoksida po sektorjih v Sloveniji



Slika 12.2: Izpusti ogljikovega monoksida po sektorjih v Sloveniji v letu 2023

12.2 Zahteve za kakovost zraka

V Uredbi o kakovosti zunanjega zraka [3] je predpisana mejna vrednost za zaščito zdravja, in sicer kot 8-urna mejna vrednost (tabela 12.1).

Tabela 12.1: Mejna vrednost za ogljikov monoksid [3]

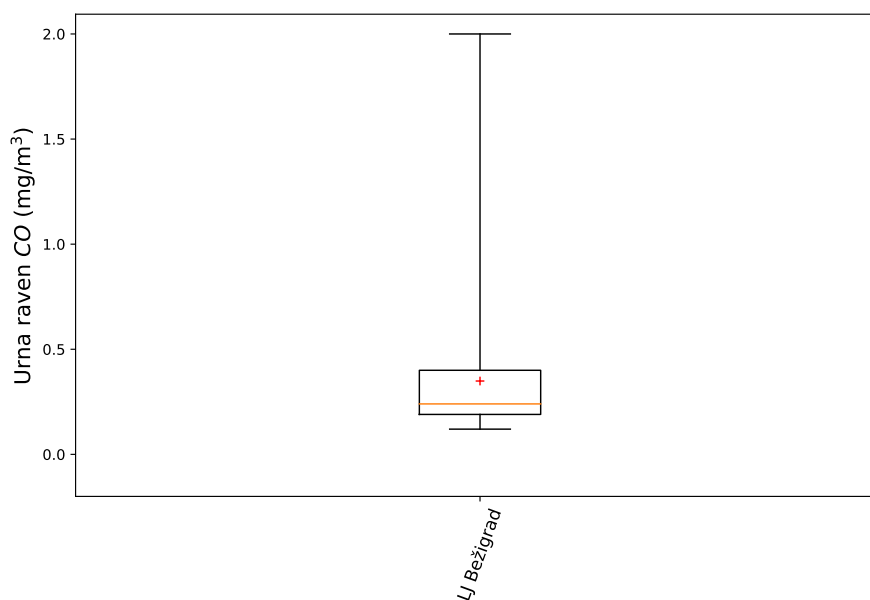
	Cilj	Čas merjenja	Vrednost
Mejna vrednost	Zdravje	maksimalna dnevna 8-urna povprečna vrednost	10 mg/m ³

12.3 Ravni onesnaženosti

Ravni ogljikovega monoksida so na območju Slovenije nizke, nižje od mejne vrednosti za varovanje zdravja (tabela 12.1). Že več let so najvišje dnevne 8-urne povprečne vrednosti tudi pod spodnjim ocenjevalnim pragom (5 mg/m³) (tabela 12.3). Zakonodaja 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. V letu 2024 so meritve ogljikovega monoksida na merilnem mestu LJ Bežigrad precej pod mejno vrednostjo (tabela 12.2). Najvišje urne vrednosti CO so izmerjene v obdobjih z izrazitim temperaturnim obratom v zimskem času, urne ravni CO so takrat najvišje, okrog 2 mg/m³. Rezultati meritev, ki so predpisani v Uredbi o kakovosti zunanjega zraka, so za merilno mesto LJ Bežigrad za leto 2024 podani v tabeli 12.2 in prikazani na sliki 12.3.

Tabela 12.2: Razpoložljivost podatkov (% pod), letna raven (C_p) in najvišja 8-urna raven (C_{max}) v mg/m³, število preseženih mejnih vrednosti (MV) v letu 2024.

	Leto % pod	Leto C_p	8 ur C_{max}	8 ur MV
LJ Bežigrad	96	0.3	1.6	0

**Slika 12.3:** Urna raven CO na merilnem mestu DMKZ v letu 2024. 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.

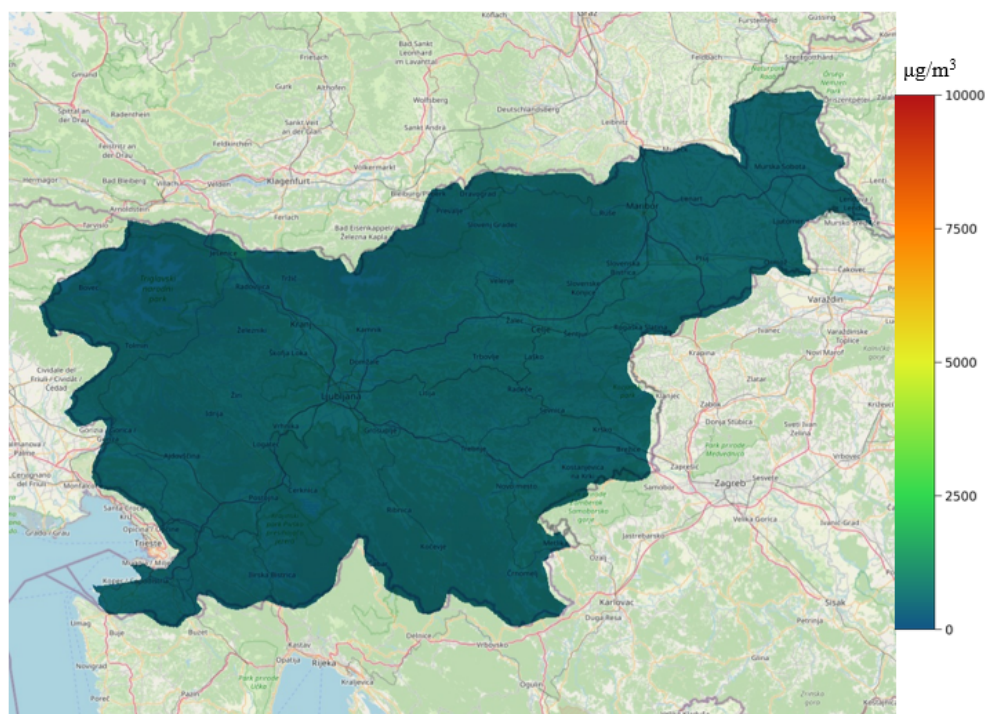
Na ARSO imamo za namen ocenjevanja kakovosti zraka na območju Slovenije vzpostavljen

Tabela 12.3: Najvišja dnevna 8-urna povprečna vrednost CO (mg/m³) za obdobje 2010 - 2024

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
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	1.6
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 [8]. Na sliki 12.4 so prikazani rezultati modelskega izračuna najvišjih 8-urnih vrednosti CO v letu 2024. Ravni CO so precej nižje od predpisane mejne vrednosti 10 mg/m³.



Slika 12.4: Modelski izračun najvišje 8-urne vrednosti CO v letu 2024

13. Benzen

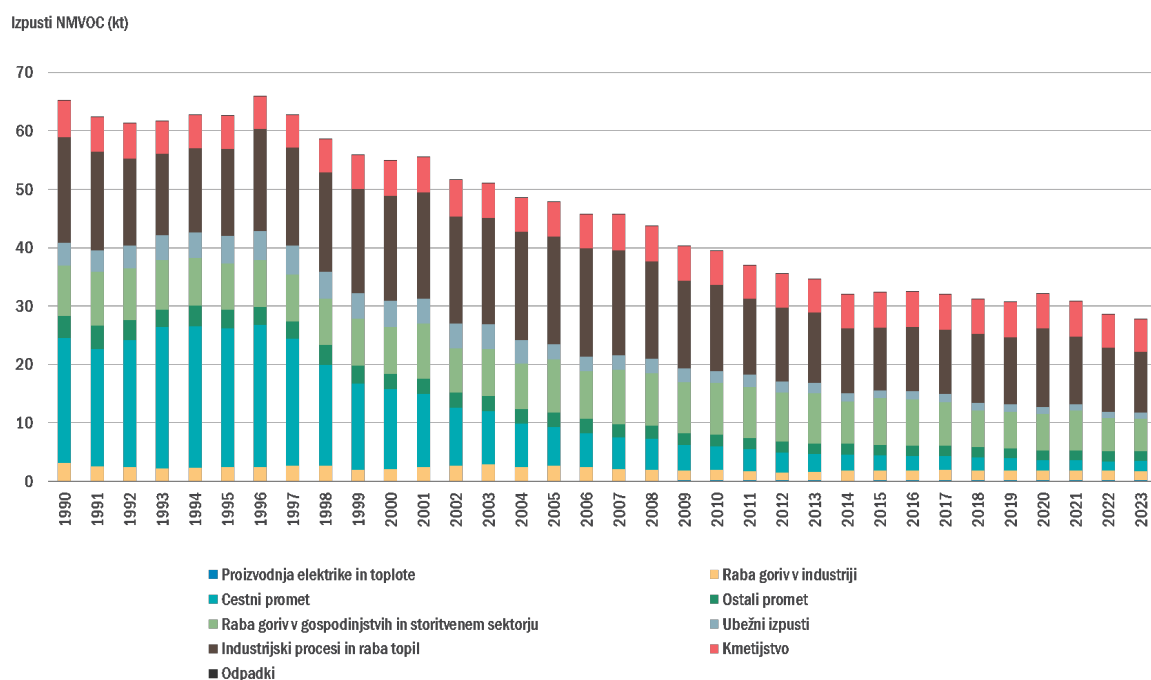
Benzen je aromatska ogljikovo-vodikova spojina s formulo C_6H_6 , ki je vezana v obroč. Je bistra, brezbarvna, lahko hlapna in zelo vnetljiva tekočina. Spada med nemetanske hlapne organske spojine - NMVOC (Non Methane Volatile Organic Compounds), ki predstavljajo širok spekter snovi in nekatere med njimi 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 [21]. 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 v proizvodnih procesih. Prisoten je tudi v cigaretinem dimu. Naravni viri teh spojin so požari, pretvorba organske usedline v fosilna goriva in vulkanski izbruhi [21], [22].

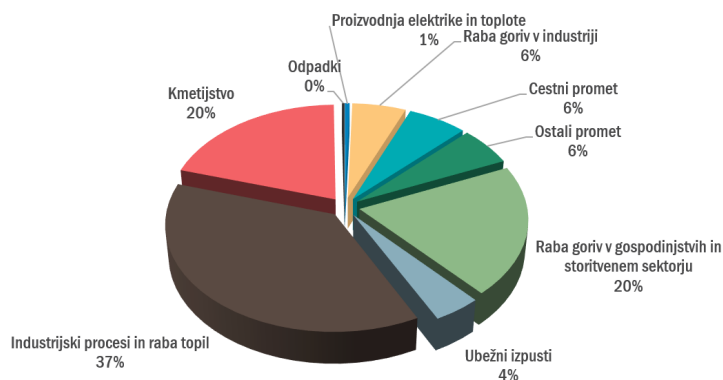
13.1 Izpusti

Benzen v državnih evidencah onesnaževal zraka ne nastopa kot samostojno onesnaževalo. Izpusti benzena so zajeti med izpuste vseh nemetanskih hlapnih organskih spojin (NMVOC), ki so pomembni 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 2023 prispevali industrijski procesi in raba topil (37 %). 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 13.1 in 13.2.

Podrobne informacije o izpustih benzena in metodologiji izračuna izpustov so na voljo v zadnjem poročilu Informative Inventory Report, Slovenia 2024 [20].



Slika 13.1: Letni izpusti nemetanskih hlapnih organskih spojin po sektorjih v Sloveniji v letu 2023.



Slika 13.2: Izpusti nemetanskih hlapnih organskih spojin po sektorjih v Sloveniji v letu 2023.

13.2 Zahteve za kakovost zraka

Zakonodajna mejna vrednost za benzen je predpisana v Uredbi o kakovosti zunanjega zraka [3] in je prikazana v tabeli 13.1. Svetovna zdravstvena organizacija (WHO) podaja ocenjeno referenčno vrednost, za katero ocenjuje, da dolgoročna izpostavljenost benzenu nad $1,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ vpliva na zdravje ljudi [21]. Nova Direktivo o kakovosti zraka predvideva strožje mejne vrednosti za benzen in sicer $3,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Nova mejna vrednost v letu 2024 na nobenem merilnem mestu ni bila presežena.

Tabela 13.1: Mejna vrednost za benzen.

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

13.3 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 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 2024 so bile izmerjene povprečne letne ravni benzena na vseh merilnih mestih približno enake in tako kot že vsa leta poprej pod mejno vrednostjo (tabela 13.2). Najvišja letna povprečna vrednost je bila izmerjena na lokaciji Ljubljana Center, in sicer $1,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ najnižje vrednosti pa so bile izmerjene na lokaciji Iskrba, $0,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Iz slike 13.3 je razvidno, da so višje ravni benzena izmerjene v hladnejši polovici leta, kar je posledica večjih izpustov iz individualnih kurišč zaradi povečane potrebe po ogrevanju ter slabših vremenskih pogojev za prevetritev ozračja. V letu 2024 so bile najvišje vrednosti izmerjene januarja. V poletnem času so bile vrednosti na vseh lokacijah precej nizke, z oktobrom so začele ponovno naraščati. Povprečni dnevni hod ravni benzena ni izrazit. Dnevni hod prav tako ni bistveno različen med delavniki in nedelavniki. Na lokaciji Iskrba ni prepoznanega dnevnega hoda, saj ta lokacija meri predvsem ravni ozadja (slika 13.4).

Tabela 16.1 in slika 13.5 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 precej enakomeren. Najmanjše 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 zaježitev širjenja COVID-19.

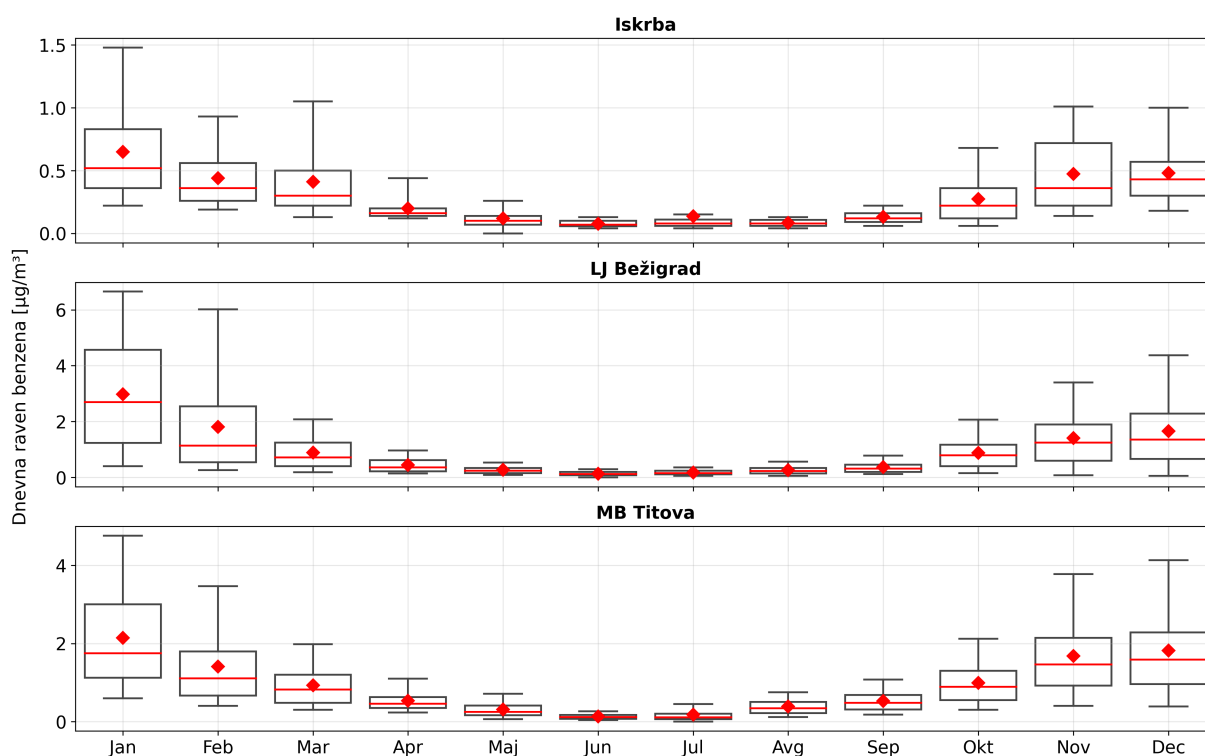
Tabela 13.2: Razpoložljivost urnih podatkov (% pod) in povprečne letne ravni (C_p) benzena v $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

	% pod	C_p
LJ Bežigrad	96	0,9
MB Titova	95	0,9
Iskrba	95	0,3
LJ Center	91	1,5
Medvode	96	1,2

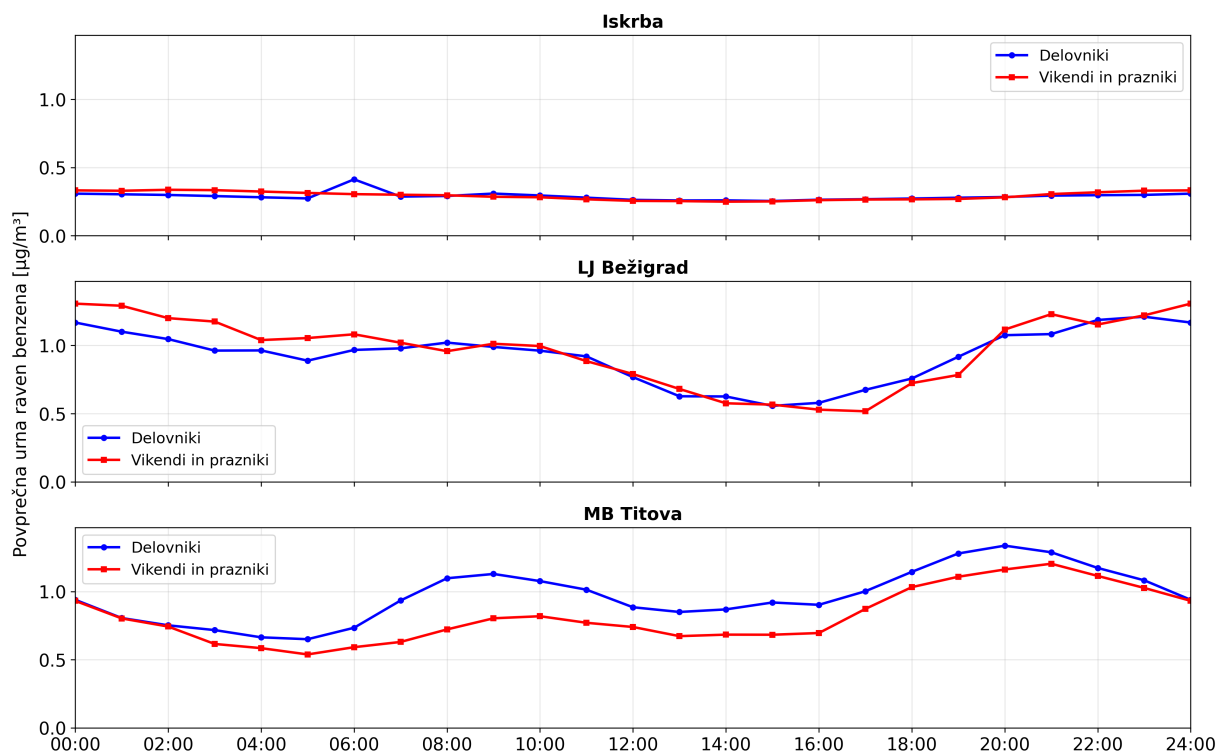
Tabela 13.3: Povprečna letna raven benzena ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) za obdobje 2014 - 2024

	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
LJ Bežigrad	1,0	1,3	1,9	/	1,5	1,1	1,2	1,1	1,0	1,0	0,9
MB Titova	1,5	1,6	1,4	0,7	0,7*	1,5	1,1	1,1	1,1	0,9	0,9
Iskrba	/	/	/	/	/	/	/	/	/	0,2	0,3
LJ Center	/	/	/	3,0	2,4	2,2	1,3	1,8*	1,1	1,4	1,5
Medvode	/	/	/	/	1,4	1,2	1,2	0,9	0,9	1,3	1,2

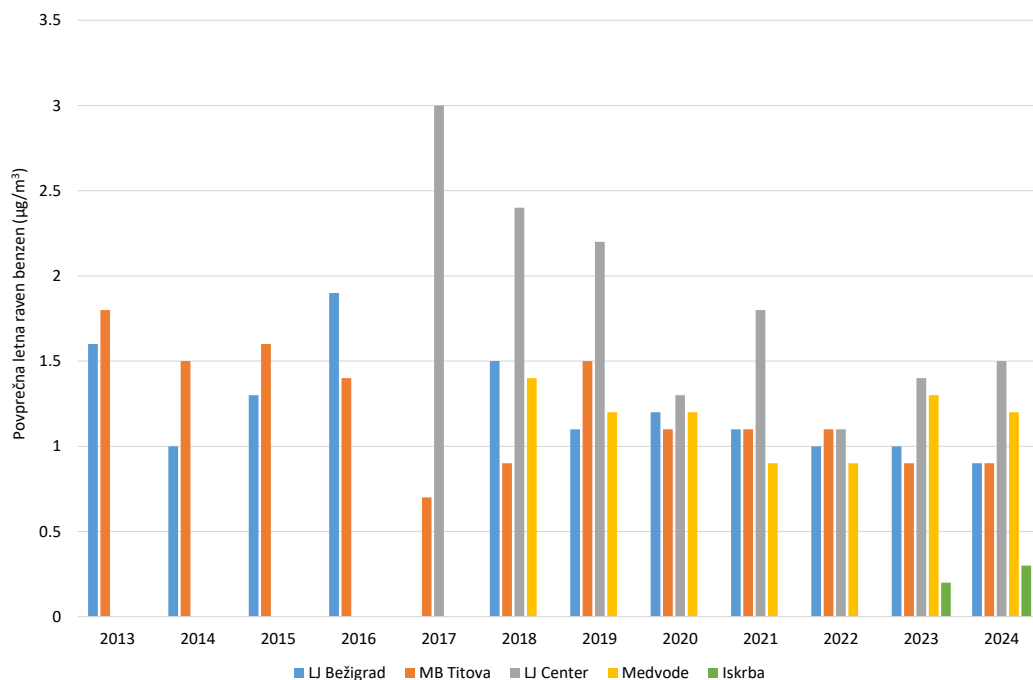
* Podatki so informativnega značaja zaradi prevelikega izpada meritev.



Slika 13.3: Porazdelitev urnih ravni benzena po mesecih v letu 2024. Prikazani so 5. in 95. percentil (spodnja in zgornja vodoravna črtica), oba kvartila (vrh in dno pravokotnika) in mediana (oranžna vodoravna črtica v pravokotniku). Z romбом označujemo povprečno letno raven



Slika 13.4: Urni potek ravni benzena v letu 2024.



Slika 13.5: Povprečne letne ravni benzena po letih na postajah. Posamezne ravni na merilnih postajah so prikazane z različno obarvanimi stolpci.

14. 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 kot plin, lahko se 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 popolnoma ne razumemo.

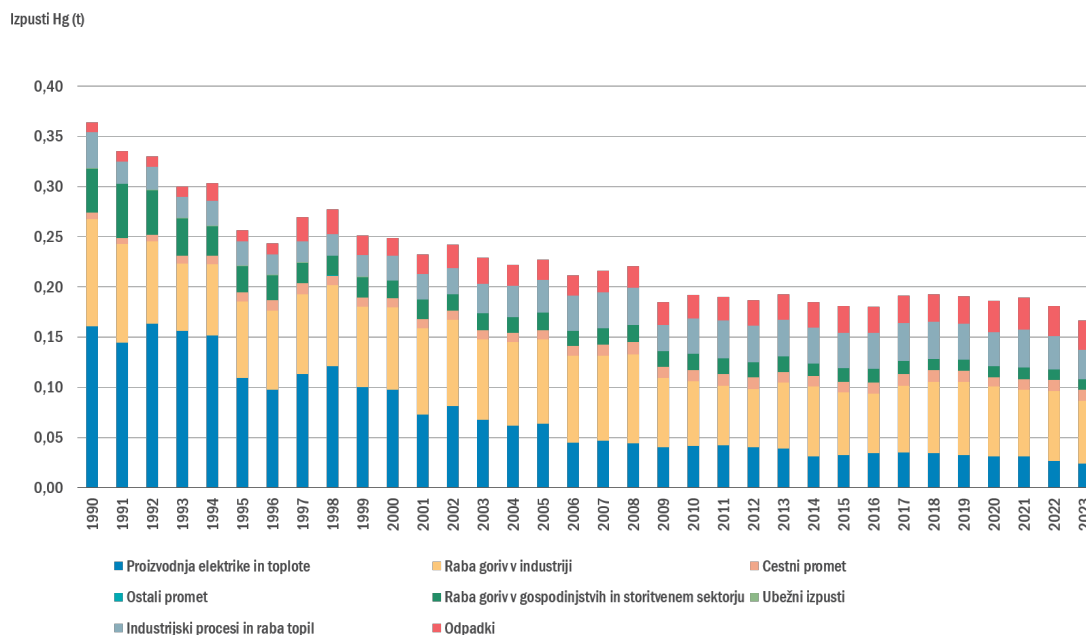
Živo srebro se intenzivno nabira v vodni prehranjevalni verigi. Deponirano živo srebro lahko določeni mikroorganizmi pretvorijo v metilno živo srebro. Le-to je visoko neurotoksična oblika živega srebra, ki se vgradi v tkiva rib, školjk in živali, ki jih ribe jedo. Plenilski organizmi na vrhu prehranjevalne 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 [23].

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.

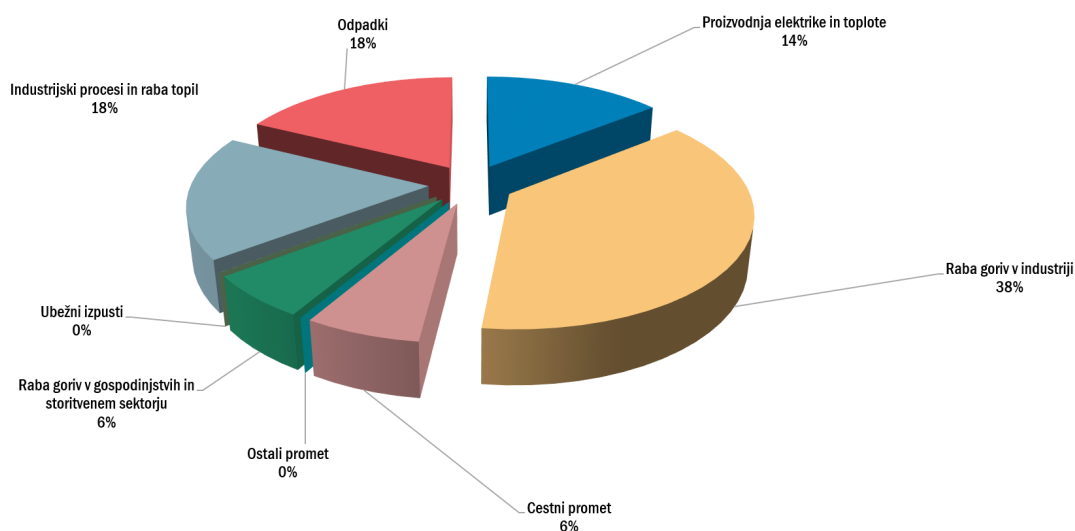
14.1 Izpusti

Izpusti živega srebra (Hg) so v Sloveniji leta 2023 podobno kot v preteklih letih znašali manj kot 0,2 tone. V primerjavi z letom 1990 so se zmanjšali za (54 %). Največji delež k skupnim državnim

izpustom živega srebra je v letu 2023 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 14.1 in 14.2. Podrobne informacije o izpustih živega srebra in metodologiji izračuna izpustov so na voljo v dokumentu Informative Inventory Report 2025 for Slovenia [4].



Slika 14.1: Letni izpusti živega srebra po sektorjih v Sloveniji do leta 2023



Slika 14.2: Izpusti živega srebra po sektorjih v Sloveniji v letu 2023

14.2 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 [4] 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.

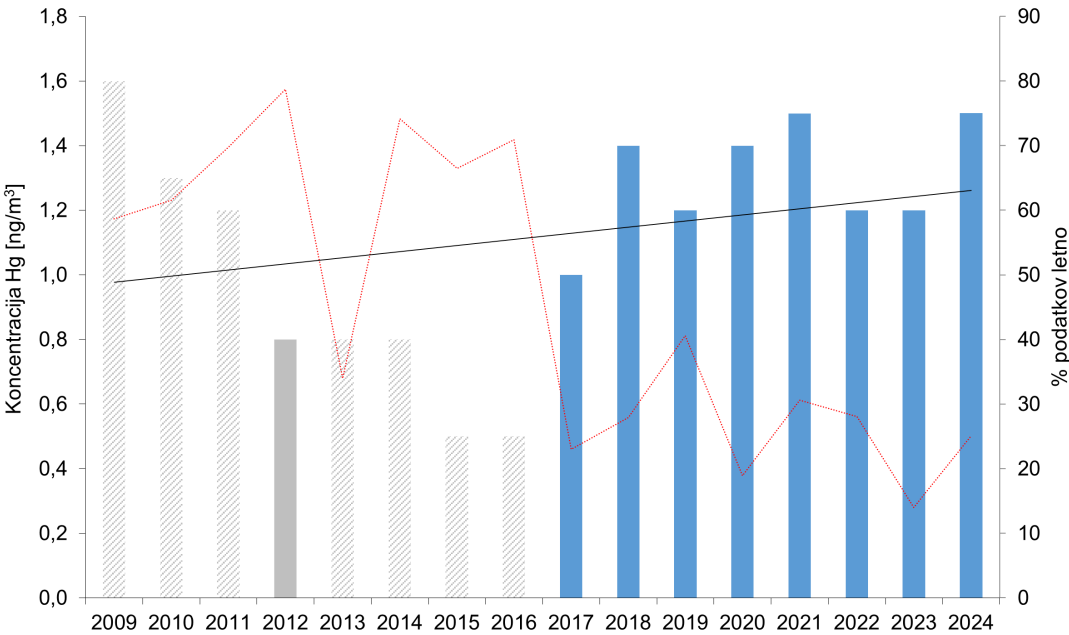
V letu 2024 je povprečna letna koncentracija Hg v zraku znašala $1,5 \text{ ng/m}^3$. Iz tabele 14.1 in slike 14.3 je razvidno, da je bila povprečna letna koncentracija Hg nekoliko višja kot v lanskem letu ampak podobna kot leta 2021.

Diagram 14.3 predstavlja povprečne letne vrednosti živega srebra v različnih letih, trend (črna črta) ter pokritost podatkov preko celega leta (rdeča črta). 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 14.1: Povprečne letne koncentracije živega srebra v zraku v ng/m^3 na merilnem mestu Iskrba od leta 2009 dalje.

2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
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	1,5

* Podatki so zaradi premajhnega izplena meritev informativnega značaja.



Slika 14.3: Letne ravni živega srebra na Iskrbi od leta 2009 dalje. Različni merilni tehniki sta ločeni z barvo (siva in modra brava). Podatki s premajhnim izplenom so označeni s črtkastimi stolpci. Črna črta prikazuje trend. Rdeča črta odsotek izplena podatkov.

15. Kakovost padavin

Na kemijsko sestavo padavin vplivajo ravni onesnaženosti zraka s posameznimi onesnaževali, zato je kemijska sestava padavin eno izmed meril onesnaženosti zraka. Padavine iz ozračja izpirajo onesnaževala in jih odlagajo na površje. Raven usedanja posameznega onesnaževala je odvisna tako od njegove koncentracije v zraku kot tudi od količine padavin, ki onesnaževalo spere iz ozračja. Pomembno vlogo pri prostorski porazdelitvi onesnaževal ima gibanje zračnih mas, ki omogočajo njihov prenos na velike razdalje. Pri mirnem ozračju pa prevladujejo vplivi lokalnih virov onesnaženja. Koncentracije natrijevih in kloridnih, pa tudi kalcijevih in sulfatnih ionov so neposredno povezane z gibanjem zračnih mas in oddaljenostjo od morja (slika 15.8).

Z vidika vplivov na okolje je med najpomembnejšimi parametri kakovosti padavin njihova kislost. Kisle padavine negativno vplivajo na rastline, živali in ljudi, obenem pa prispevajo k pospešeni eroziji naravnega okolja, zgradb 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 onesnaževalci se v atmosferi pretvorijo v disociirane kisline (npr. karbonate CO_3^{2-} in kloride Cl^-), ki povečujejo kislost padavin. Poleg njih lahko h kislosti v manjši meri prispevajo tudi fluoridi (F^-), fosfati (PO_4^{3-}) in organske kisline, ki so običajno prisotni v nižjih koncentracijah. Na pH vrednost padavin vpliva tudi razmerje med anioni kislin in kationi, ki izvirajo iz topnih soli. Medtem ko anioni povečujejo kislost, jo kationi (Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , NH_4^+), zmanjšujejo oziroma lahko povzročijo celo bazičnost padavin. V skladu z mednarodnim dogovorom so kisle padavine tiste, katerih pH vrednost je manjša od 5,6 [24].

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 povezujemo z višjimi temperaturami tal predvsem v poletnem času in posledično z večjo mikrobiološko aktivnostjo v njih. Višje ravni so pogojene z lokalnimi vplivi predvsem s povečano kmetijsko dejavnostjo, ki 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 vodne ekosisteme. Ta proces imenujemo eutrofikacija in tako v sladki kot v slani vodi povzroči prekomerno razraščanje vodnih rastlin predvsem v stoječih ali počasi tekočih vodah. Pri bakterijski razgradnji odmrlega rastlinja prihaja do velike porabe kisika, ki tako ni na voljo za vodne organizme, kot so ribe in žuželke. Posledično odmira tudi živalstvo, kar dodatno poslabša ekosistemsko ravnovesje, problem eutrofikacije pa se le še poveča.

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. Težke kovine se kopičijo v organizmih preko bioakumulacije, pri čemer dosegajo najvišje koncentracije pri organizmih na vrhu prehranjevalne verige, vključno s človekom. Izpostavljenost tem snovem povzroča motnje v razvoju, 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, dodatno pa nastajajo kot stranski produkt nepopolnega zgorevanja biomase in fosilnih goriv, bodisi kot posledica naravnih procesov bodisi človekovih dejavnosti.

Meritve kakovosti padavin v okviru DMKP izvajamo v skladu s poslovníkom programa EMEP [25], 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 [26] (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 [4]. Za meritve parametrov v padavinah mejne in ciljne vrednosti niso določene. Meritve z merilnega mesta Iskrba posredujemo v izmenjavo na EEA in EMEP [26].

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

Vzorčenje za določitve pH vrednosti, električne prevodnosti in koncentracij posameznih anorganskih ionov izvajamo v skladu s Priročnikom GAW No. 160 [27] ter v skladu s Priročnikom EMEP [25]. 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.

15.1.1 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.

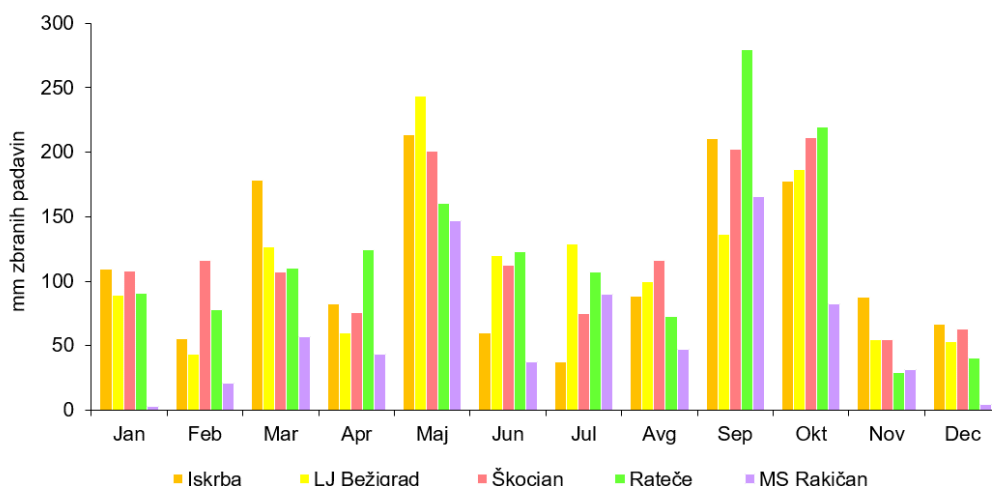
Najpogostejši razlog za izpad več kot destih odstotkov padavin pri vzorčenju dnevnih padavin za določitve pH, električne prevodnosti in nekaterih ionov je dejstvo, da so avtomatski vzorčevalniki padavin dimenzionirani za zajem največ 44 mm padavin, med tem ko vse pogosteje prihaja do hudih nalivov, ko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

Tabela 15.1: Razlogi za izpad meritev oziroma za podajanje zgolj informativnih vrednosti do leta 2024

	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.
	2024	Izpad >10 % padavin zaradi okvare vzorčevalnika in močnih nalivov
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.
	2024	Izpad >10 % padavin zaradi okvare vzorčevalnika in močnega naliva 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.
	2024	Izpad >10 % padavin zaradi močnih nalivov
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.

15.1.2 Količina padavin, zbranih z ekološkimi vzorčevalniki

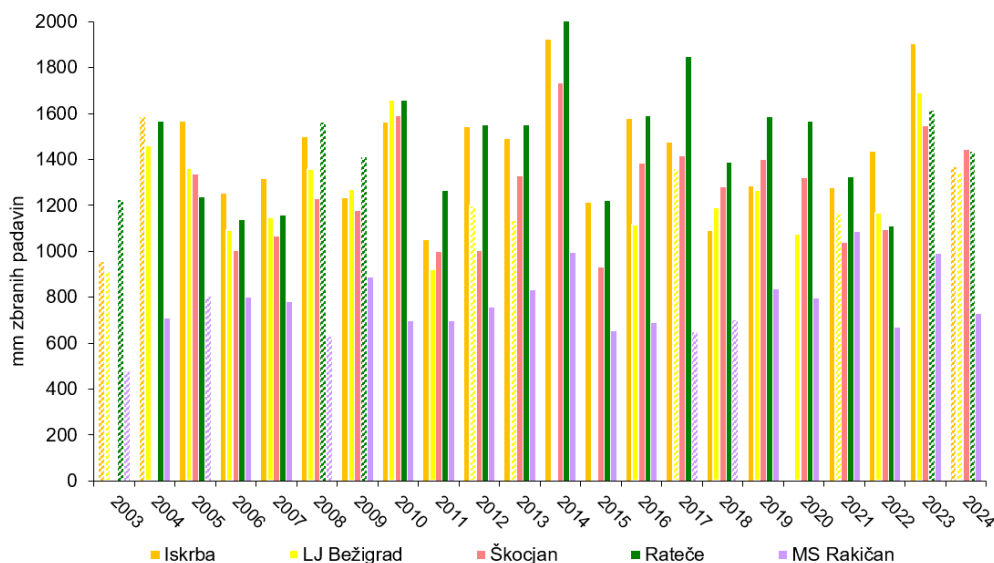
Količino padavin za določitve pH, el. prevodnosti in nekaterih ionov zbranih s pomočjo ekoloških vzorčevalnikov primerjamo s podatki meteoroloških meritev padavin. V kolikor se količina padavin zbranih za posamezno postajo razlikuje več kot 10 odstotkov skladno s Priročnikom EMEP [25] podatki za to postajo niso veljavni in jih zato podajamo kot informativne vrednosti.



Slika 15.1: Mesečna količina padavin zbranih za določitve pH, el. prevodnosti in nekaterih ionov z ekološkimi vzorčevalniki v letu 2024

Iz slike (slika 15.1) je razvidno, da so bile največje količine padavin v mesecu maju, septembru in oktobru. Na Iskrbi smo znatne količine padavin zabeležili tudi marca. Največ padavin v letu 2024 smo izmerili v maju na merilnem mestu LJ Bežigrad (244 mm), meritve na ostalih postajah v tem

mesecu pa so se gibale med 147 in 214 mm. Najmanj padavin smo v povprečju zabeležili v novembru in decembru.



Slika 15.2: Letne količine padavin, zbranih za analizo od leta 2003 dalje.

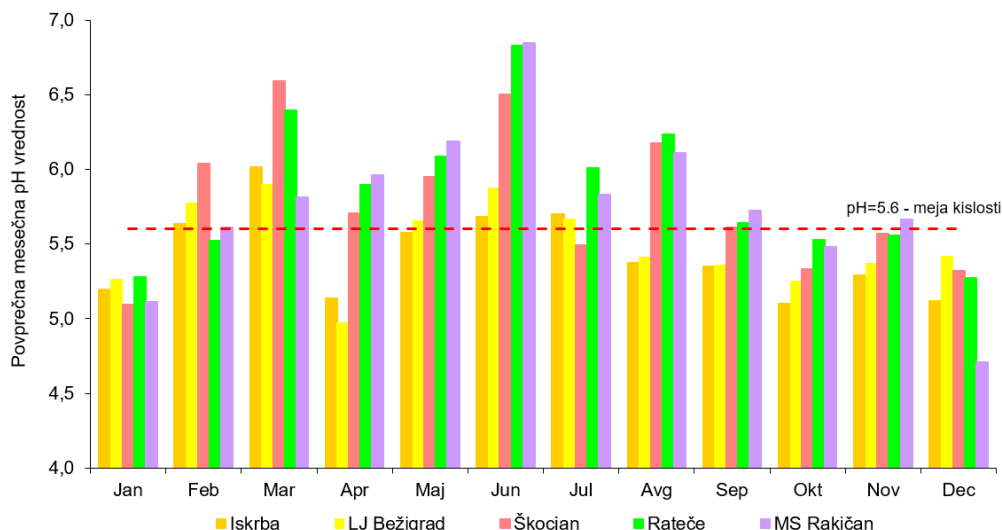
Največjo letno količino padavin na merilnem mestu Škocjan, kjer smo v celem letu zbrali 1442 mm padavin. Nekoliko manj, 1435 mm padavin smo zbrali na merilnem mestu Rateče, sledi Iskrba (1368 mm) nato LJ Bežigrad s 1341 mm ter MS Rakičan (728 mm), kjer je padavin kot ponavadi daleč najmanj (slika 15.2).

Leta 2024 je bila dovoljena razlika (10 %) med količino zbranih in meteorološko izmerjenih padavin presežena na treh merilnih mestih in sicer Iskrba in Rateče (14 %) ter LJ Bežigrad (13 %). Podatke za ta merilna mesta na letnem nivoju podajamo zgolj informativno. Do tako velikega izpada je prišlo zaradi motenj v delovanju vzorčevalnikov in večjih nalivov, ki so povzročili razlitje vzorca. Na ostalih merilnih mestih se je količina zbranih padavin na letnem nivoju razlikovala od meteroloških za 4 % v Škocjanu in 6 % na postaji MS Rakičan zato so ti podatki veljavni.

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

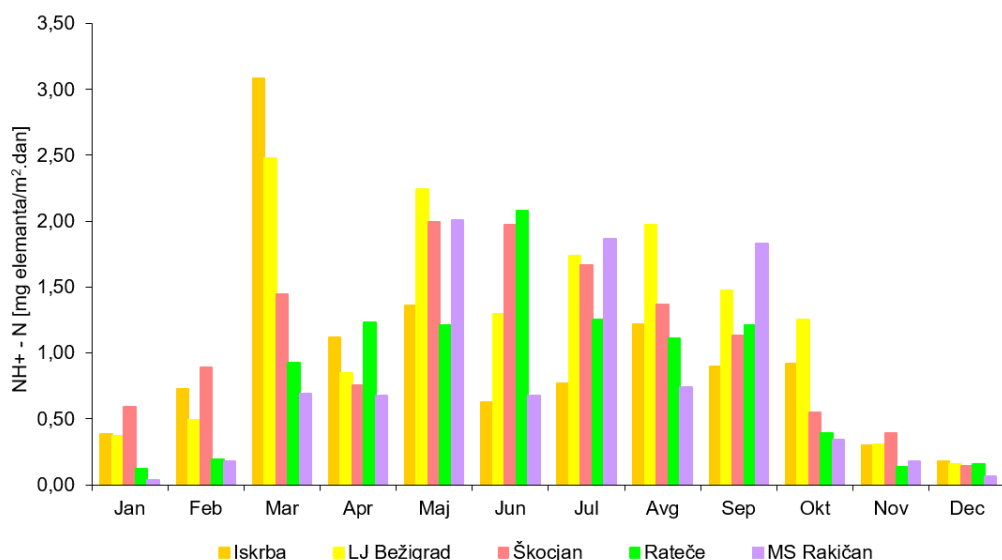
Padavine so bile v letu 2024 po vsej državi pretežno del leta, na večini merilnih mest manj kisle med februarjem in septembrom. Praviloma so bile padavine v tem času najmanj kisle na merilnih mestih Rateče in MS Rakičan, saj je bila njihova pH vrednost, z izjemo februarja, ves ta čas nad mejo kislosti (vrednost 5,6) (Slika 15.3). Najbolj kisle padavine so bile zbrane na merilnih mestih LJ Bežigrad in Iskrba, kjer so bile pod mejo kislosti večino leta. 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 15.4). 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-



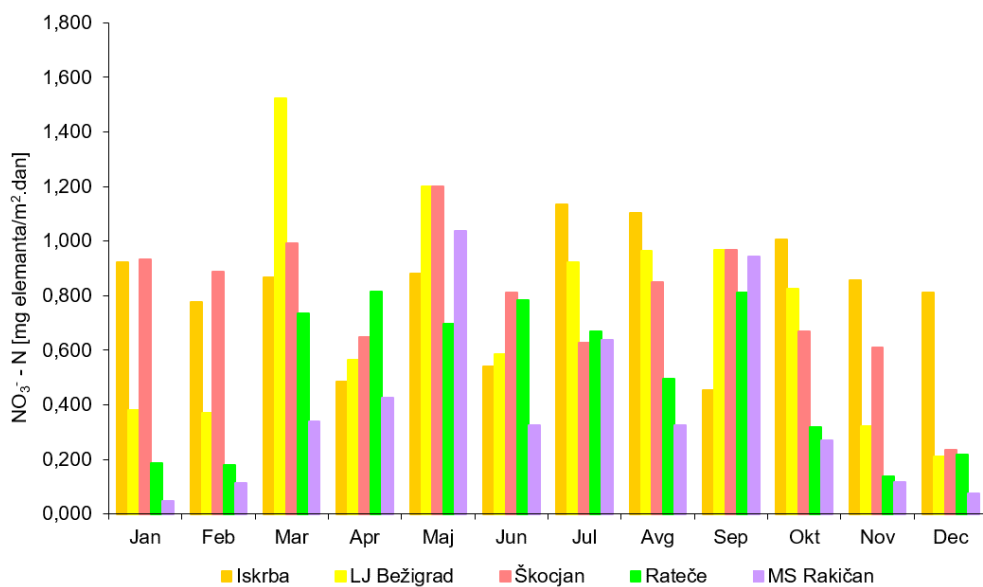
Slika 15.3: Povprečne mesečne pH vrednosti padavin v letu 2024

vanje in eutrofikacijo, po posameznih mesecih je prikazana na slikah 15.4 do 15.6. Mokre usedline amonijevih ionov so bile po pričakovanjih tudi v letu 2024 na večini merilnih mest višje v toplejšem delu leta, ko je v zraku več amoniaka, le ta pa se s padavinami spere na tla. Najvišje izmerjene vrednosti smo zabeležili v marcu na postajah Iskrba in LJ Bežigrad.

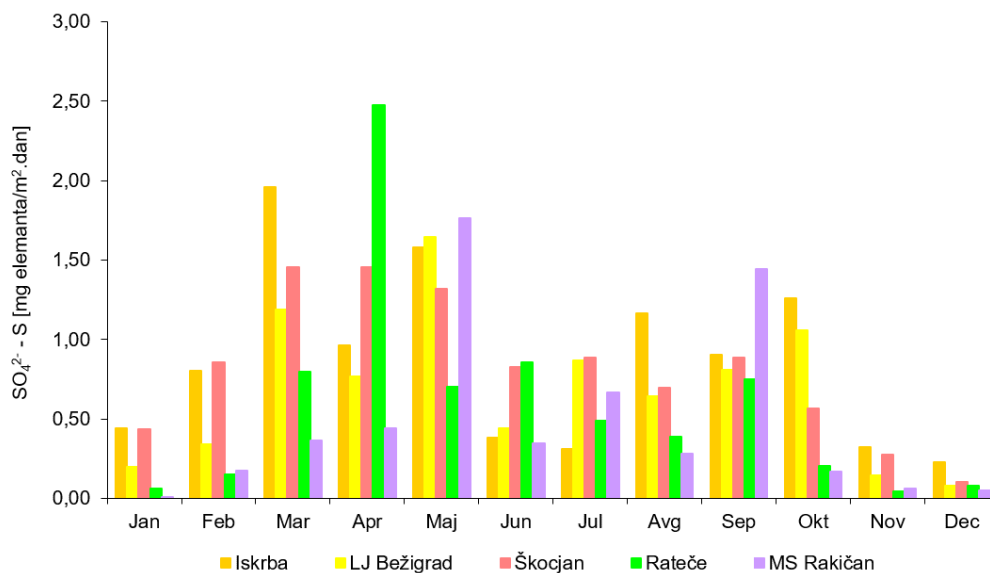


Slika 15.4: Mesečna mokra usedlina dušika amoniakalnega izvora v padavinah v letu 2024

Mesečne mokre usedline nitratnih in sulfatnih ionov so bile tudi v letu 2024 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 ionov zabeležili v marcu, maju in septembru. Pri sulfatnih ionih pa smo povišane vrednosti zaznali med marcem in majem.



Slika 15.5: Mesečna mokra usedlina dušika nitratnega izvora v padavinah v letu 2024



Slika 15.6: Mesečna mokra usedlina žvepla sulfatnega izvora v padavinah v letu 2024

15.1.4 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 2024 so podane v tabeli 15.2. Grafično so povprečne letne koncentracije posameznih ionov prikazane na sliki 15.8, kjer so podane tudi letne količine padavin, zbrane s pomočjo ekoloških vzorčevalnikov.

Tabela 15.2: Srednja vrednost (C_p), minimum (C_{min}) in maksimum (C_{max}) pH, električna prevodnost pri 25°C (el. prev.) ($\mu\text{S/cm}$) in koncentracije ionov v padavinah (mg ion/L) na vzorčevalnih mestih DMKP v letu 2024

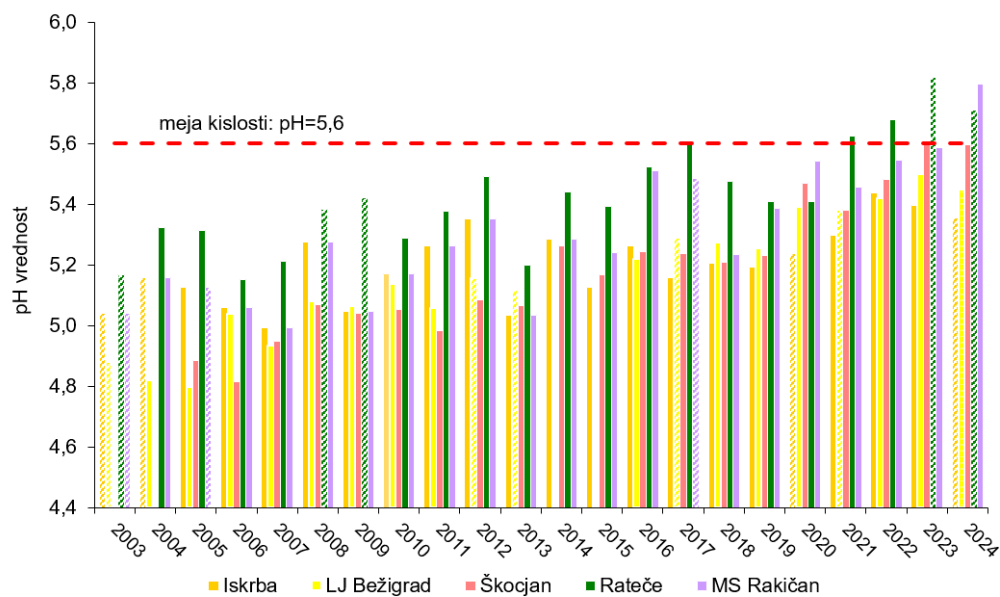
		pH	El. prev.	$\text{NH}_4^+\text{-N}$	$\text{NO}_3^-\text{-N}$	$\text{SO}_4^{2-}\text{-S}$	Cl^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+
Iskrba	C_p	5,35	9	0,260	0,214	0,232	0,472	0,420	0,060	0,283	0,053
	C_{min}	4,20	2	0,023	0,147	0,037	0,023	0,024	0,020	0,021	0,021
	C_{max}	7,22	65	2,68	12,8	14,3	6,88	11,2	0,546	4,36	0,559
LJ Bežigrad	C_p	5,45	8	0,336	0,203	0,188	0,203	0,359	0,038	0,131	0,043
	C_{min}	4,61	2	0,045	0,139	0,043	0,020	0,032	0,020	0,020	0,020
	C_{max}	6,99	34	2,94	9,10	8,03	4,43	8,49	0,399	2,64	0,818
Škocjan	C_p	5,60	10	0,274	0,201	0,207	0,465	0,641	0,060	0,292	0,061
	C_{min}	4,97	3	0,081	0,329	0,124	0,034	0,050	0,021	0,022	0,022
	C_{max}	7,37	33	1,81	3,41	3,54	1,90	4,01	0,226	1,10	0,315
Rateče	C_p	5,71	7	0,210	0,126	0,144	0,131	0,633	0,041	0,083	0,043
	C_{min}	4,57	2	0,030	0,156	0,045	0,031	0,029	0,021	0,020	0,021
	C_{max}	7,63	54	2,40	11,7	13,0	3,77	19,0	0,738	2,33	0,986
MS Rakičan	C_p	5,80	8	0,389	0,196	0,245	0,121	0,424	0,035	0,075	0,059
	C_{min}	4,71	3	0,125	0,244	0,106	0,027	0,052	0,025	0,020	0,023
	C_{max}	6,88	26	3,58	5,50	8,53	1,42	6,64	0,413	0,873	0,780

Na sliki 15.7 so prikazane povprečne letne pH vrednosti padavin od leta 2003 dalje. Podobno kot v preteklih letih so bile tudi v letu 2024 nekoliko bolj kisle padavine z merilnih mest Iskrba in LJ Bežigrad. Manj kisle so bile padavine z merilnega mesta Škocjan, tako kot v prejšnjem letu so dosegle mejo kislosti. Na merilnih mestih Rateče in MS Rakičan je bila meja kislosti presežena, na MS Rakičan je bila prvič presežena. 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. Višjo 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.

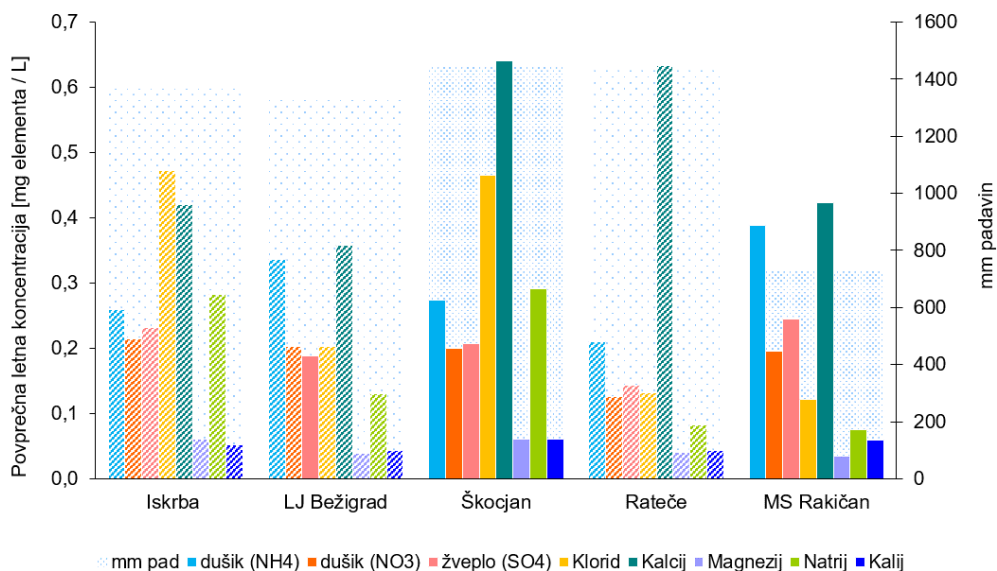
Na sliki 15.8 so prikazane povprečne letne koncentracije posameznih ionov v padavinah, izraženo na element. Tudi v letu 2024 je bila povprečna letna koncentracija dušika amoniakalnega izvora v mg $\text{NH}_4^+\text{-N/L}$ zaradi intenzivnega kmetijstva v neposredni bližini merilnega mesta najvišja na MS Rakičan (0,389 mg/L). Nižja je bila na merilnem mestu LJ Bežigrad (0,335 mg/L), še nižja na merilnih mestih Škocjan (0,274 mg/L) in Iskrba (0,260 mg/L) ter najnižja na merilnem mestu Rateče (0,210 mg/L).

Povprečne letne koncentracije dušika nitratnega izvora $\text{NO}_3^-\text{-N}$ so se gibale med 0,126 mg/L kolikor smo izmerili v padavinah iz Rateč, 0,196 mg/L v padavinah iz MS Rakičana, 0,201 mg/L v padavinah z Škocjana, 0,202 mg/L v padavinah iz LJ Bežigrad in 0,214 mg/L, kolikor smo izmerili v padavinah v padavinah z merilnega mesta Iskrba.

Koncentracija žvepla sulfatnega izvora na vseh merilnih mestih, razen Rateč, kjer je bila izmerjena najnižja koncentracija in sicer 0,144 mg $\text{SO}_4^{2-}\text{-S/L}$, gibala med 0,188 in 0,245 mg $\text{SO}_4^{2-}\text{-S/L}$.



Slika 15.7: Povprečne letne pH vrednosti padavin od leta 2003 dalje.



Slika 15.8: Povprečna letna koncentracija posameznih ionov, izraženih kot element, v padavinah v letu 2024

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 merilnih mestih Škocjan in Iskrba, 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 15.3, grafično pa so prikazane na sliki 15.9.

Tabela 15.3: Letna količina zbranih padavin (mm) in letne mokre usedline ionov v mg/m^2 .dan v letu 2024

	Količina padavin	H^+*	NH_4^+-N	NO_3^--N	$\text{SO}_4^{2-}-\text{S}$	Cl^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+
Iskrba	1368	5,94	0,969	0,797	0,864	1,76	1,57	0,225	1,06	0,196
LJ Bežigrad	1341	4,67	1,23	0,740	0,686	0,742	1,31	0,141	0,478	0,157
Škocjan	1442	3,65	1,08	0,795	0,818	1,84	2,54	0,239	1,16	0,241
Rateče	1435	2,80	0,826	0,497	0,567	0,517	2,49	0,161	0,328	0,170
MS Rakičan	728	1,16	0,778	0,391	0,491	0,243	0,847	0,071	0,150	0,117

* 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 mokre usedline dušika amoniakalnega izvora, ki kisle komponente nevtralizirajo.

Mokro usedanje dušika amoniakalnega izvora je bilo podobno kot v preteklih letih tudi v letu 2024 najvišje na merilnem mestu LJ Bežigrad ($0,449 \text{ mgN}/\text{m}^2$.dan) kot posledica človekove aktivnosti. Nekoliko nižje je bilo na merilnem mestu Škocjan ($0,395 \text{ mgN}/\text{m}^2$.dan), še nižje na merilnih mestih Iskrba ($0,355 \text{ mgN}/\text{m}^2$.dan) in Rateče ($0,301 \text{ mgN}/\text{m}^2$.dan), najnižje pa na merilnem mestu Rakičan ($0,283 \text{ mgN}/\text{m}^2$.dan).

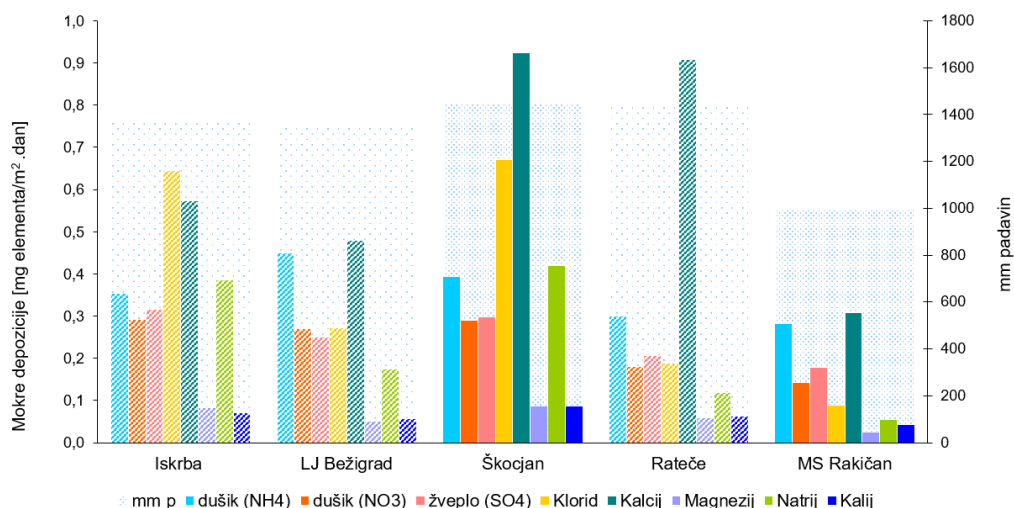
Mokro usedanje dušika nitratnega izvora je bilo v letu 2024 najvišje na merilnem mestu Iskrba ($0,292 \text{ mgN}/\text{m}^2$.dan). Nekoliko nižje je bilo na podeželskem merilnem mestu Škocjan ($0,289 \text{ mgN}/\text{m}^2$.dan), še nižje na merilnem mestu LJ Bežigrad ($0,271 \text{ mgN}/\text{m}^2$.dan) najnižje pa na merilnih mestih Rateče ($0,181 \text{ mgN}/\text{m}^2$.dan) in Rakičan ($0,142 \text{ mgN}/\text{m}^2$.dan). Iz slike 15.11 je razvidno, da so njihove vrednosti nižje kot v preteklem letu.

Podobno kot v preteklem letu smo najvišje mokro usedanje žvepla sulfatnega izvora zabeležili na merilnem mestu Iskrba ($0,316 \text{ mgS}/\text{m}^2$.dan), nekoliko nižje na merilnih mestih Škocjan ($0,298 \text{ mgS}/\text{m}^2$.dan) in LJ Bežigrad ($0,251 \text{ mgS}/\text{m}^2$.dan), najnižje pa na merilnih mestih Rateče ($0,206 \text{ mgS}/\text{m}^2$.dan) in MS Rakičan ($0,179 \text{ mgS}/\text{m}^2$.dan). Tudi vrednosti mokrih depozicij žvepla sulfatnega izvora so nižje 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.

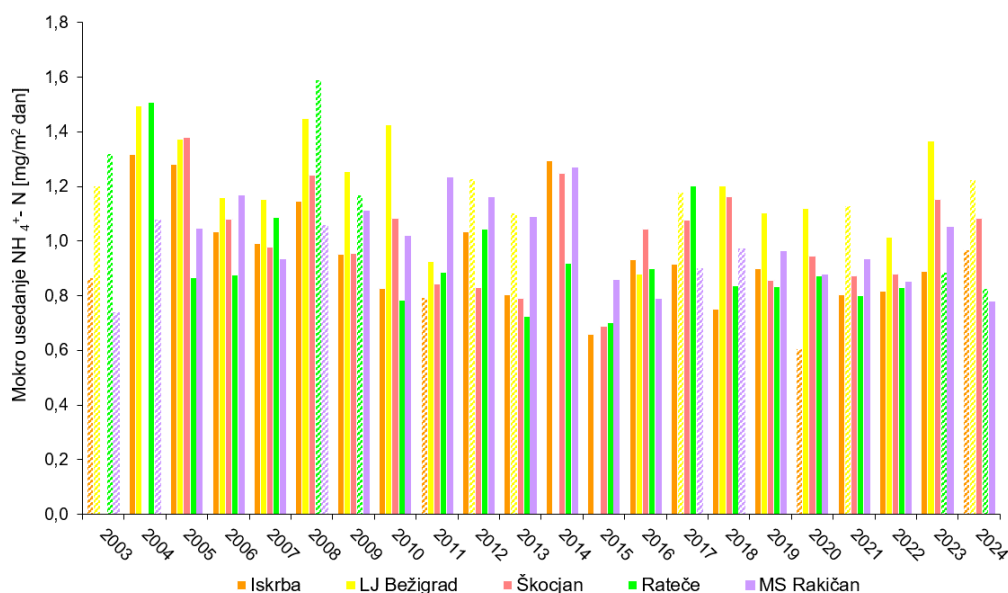
Mokre usedline natrija, klorida in magnezija so tako kot že vsa leta direktno povezane z oddaljenostjo posameznega merilnega mesta od morja in so bile tudi v letu 2024 skladno s pričakovanji najvišje na merilnem mestu Škocjan in Iskrba, najnižje pa na merilnem mestu MS Rakičan.

V letu 2023 smo najvišje mokre usedline kalcijevih ionov določili na merilnih mestih Škocjan in Rateče, nekoliko nižje so bile na merilnih mestih, Iskrba in LJ Bežigrad, opazno najnižje pa na

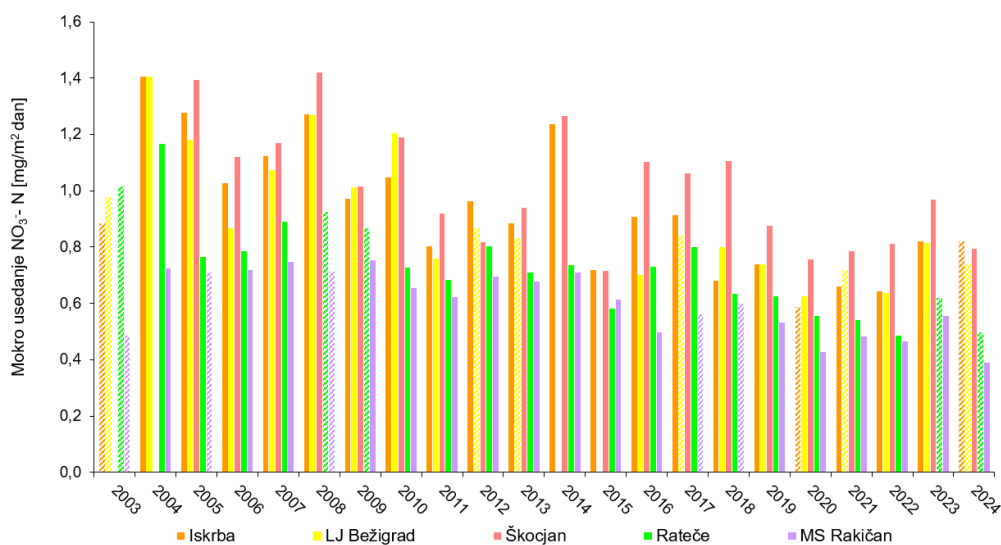


Slika 15.9: Mokra usedlina nekaterih ionov po merilnih mestih v letu 2024

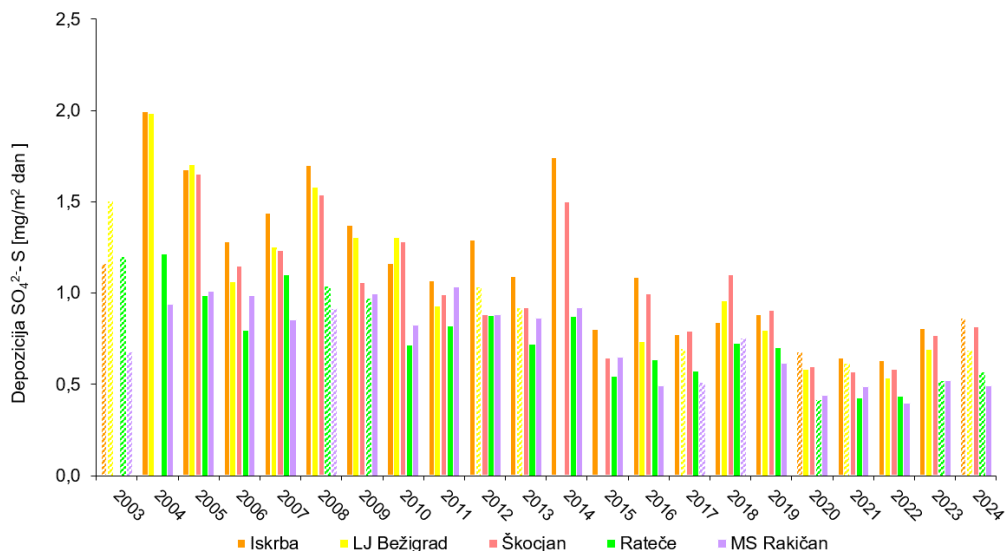
merilnem mestu MS Rakičan.



Slika 15.10: Mokra usedlina dušika amoniakalnega izvora po letih. Podatki, ki jih podajamo informativno, so v grafih prikazani z enako barvo vendar šraflirano (obrazložitev se nahaja v podpoglavju 15.1.1).



Slika 15.11: Mokra usedlina 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 15.1.1).



Slika 15.12: Mokra usedlina žvepla sulfatnega izvora po letih. Podatki, ki jih podajamo informativno, so v grafih prikazani z enako barvo vendar šrafirano (obrazložitev se nahaja v podpoglavju 15.1.1).

15.2 Onesnaženost padavin s težkimi kovinami

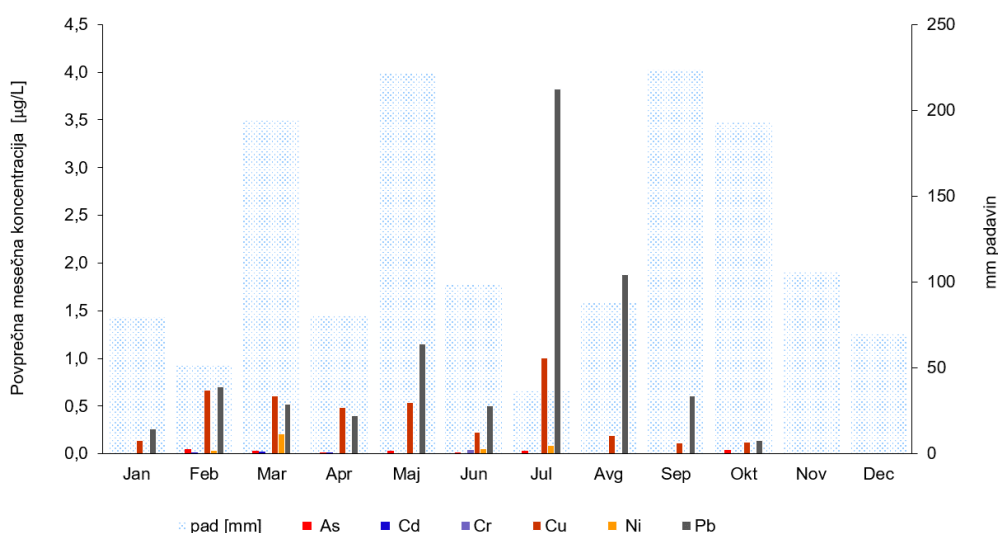
Prisotnost težkih kovin v padavinah je posledica izpiranja prašnih delcev, ki vsebujejo težke kovine, iz ozračja. Vire onesnaženja padavin s težkimi kovinami delimo na naravne in antropogene. Med naravne vire sodijo predvsem emisije vulkanskega izvora, antropogeni viri pa so povezani s proizvodnjo barvnih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

Meritve vsebnosti težkih kovin v padavinah izvajamo le na merilnem mestu Iskrba. Vzorčenje poteka v tedenskih intervalih s pomočjo t.i. *bulk* vzorčevalnika, ki je neprekinjeno odprt in omogoča zajem tako mokrega kot suhega dela usedlin. Analize vzorcev izvaja kemijsko analitski laboratorij Agencije RS za okolje, ki 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.

15.2.1 Mesečna raven koncentracij in depozicij posameznih težkih kovin

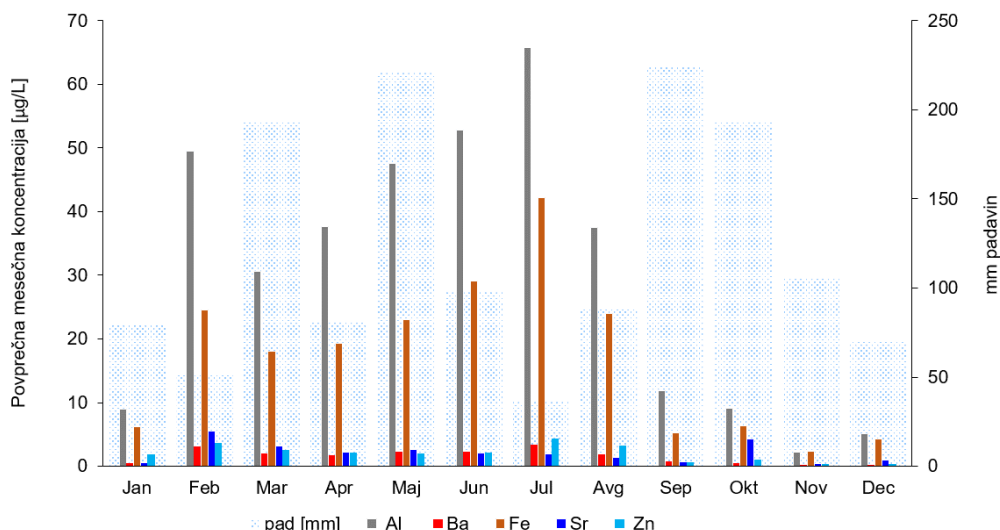
Na slikah 15.13 in 15.14 so prikazane povprečne mesečne koncentracije posameznih težkih kovin v letu 2024 izražene v $\mu\text{g/L}$. Zaradi velike razlike v nivojih koncentracije posameznih težkih kovin, koncentracije podajamo v dveh različnih diagramih.

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



Slika 15.13: Povprečne mesečne koncentracije arzena, kadmija, kroma, bakra, niklja in svinca v $\mu\text{g/L}$ v letu 2024

Mesečne vrednosti usedlin nekaterih težkih kovin za merilno mesto Iskrba so podane v tabeli 15.4 ter na slikah 15.15 in 15.16. Podobno kot v preteklem letu, smo tudi v letu 2024 nekoliko višje usedline bakra, svinca, niklja in cinka, ki so glavna sestavina urbanega prahu, zabeležili v toplih mesecih.



Slika 15.14: Povprečne mesečne koncentracije aluminija, barija, železa, stroncija in cinka v µg/L v letu 2024

Zaradi intenzivnih epizod puščavskega prahu od 30. do 1. 4, 20. 5. ter 21. in 21. 6. 2024 so bile v omenjenih dneh zabeležene dokaj visoke usedline nekaterih težkih kovin. Takrat smo poleg povečane usedline težkih kovin, ki so glavna sestavina urbanega prahu, zabeležili tudi večje usedline aluminija, železa, barija in stroncija. K temu prispevajo večje količine aluminijevih in železovih oksidov ter drugih snovi, ki se nahajajo v puščavskem prahu.

Tabela 15.4: Vrednosti celotnega usedanja posameznih težkih kovin v µg/m²dan in količina zbranih padavin v mm na merilnem mestu Iskrba v letu 2024

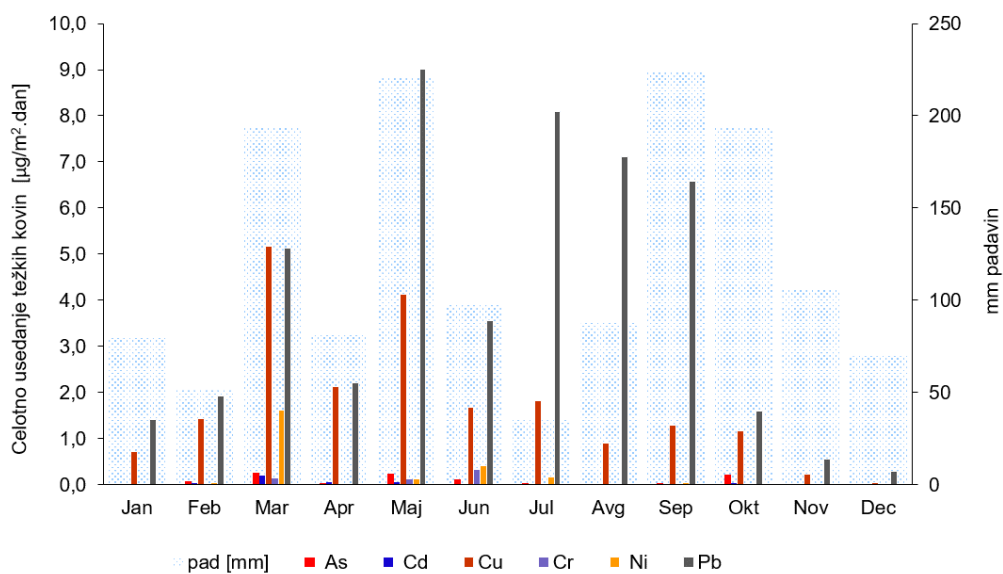
Mesec	Aluminij	Arzen	Barij	Kadmij	Krom	Baker	Železo	Nikelj	Svinec	Stroncij	Cink	mm
Januar	29,5	0,015	1,76	0,003	0	0,715	21,2	0	1,42	2,51	7,69	79,6
Februar	97,8	0,071	5,98	0,029	0	1,43	47,2	0,049	1,92	9,26	6,89	51,2
Marec	239	0,257	21,5	0,191	0,146	5,18	141	1,61	5,14	30,8	20,2	193,8
April	144	0,034	6,83	0,049	0	2,14	79,9	0	2,22	7,76	9,70	81,2
Maj	391	0,244	16,2	0,064	0,112	4,12	231	0,121	9,01	17,7	14,7	221,1
Junij	370	0,110	12,9	0,026	0,317	1,67	228	0,411	3,56	11,0	11,9	98,4
Julij	123	0,045	6,66	0,004	0	1,82	84,4	0,161	8,10	3,63	7,82	36,1
Avgust	119	0,026	5,90	0,001	0,014	0,897	85,5	0,021	7,10	4,09	10,2	88,1
September	128	0,032	7,60	0,009	0	1,30	60,4	0,053	6,58	5,72	7,03	223,9
Oktober	64,0	0,222	3,61	0,043	0	1,18	41,9	0	1,60	25,0	8,27	193,3
November	13,4	0,023	1,27	0,005	0	0,239	16,3	0	0,552	2,12	3,36	106,3
December	17,1	0	0,940	0	0	0,043	14,8	0	0,301	3,86	1,71	69,6

* Pri vrednostih 0 so bile vse izmerjene vrednosti pod LOD

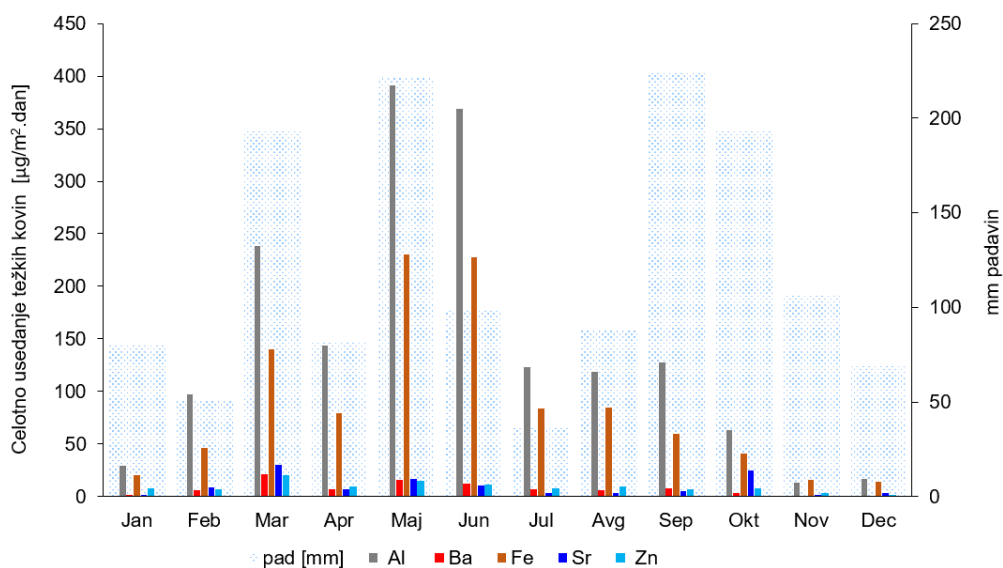
15.2.2 Letna raven koncentracij in depozicij posameznih težkih kovin

Povprečne letne koncentracije nekaterih težkih kovin in zbrana letna količina padavin so podani v tabeli 15.5.

Letne vrednosti celotne usedline nekaterih težkih kovin izražene v µg/m²dan so prikazane v tabeli 15.6. Ravni celotnih (suhih in mokrih) usedlin in koncentracij so za prikazane težke kovine pri nekaterih vrednostih nekoliko višje, nekje pa nižje kot preteklo leto, zaradi drugačnega načina



Slika 15.15: Celotno usedanje arzena, kadmija, kroma, bakra, niklja in svinca v $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{dan}$ po mesecih za leto 2024



Slika 15.16: Celotno usedanje aluminija, barija, železa, stroncija in cinka v $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{dan}$ po mesecih za leto 2024

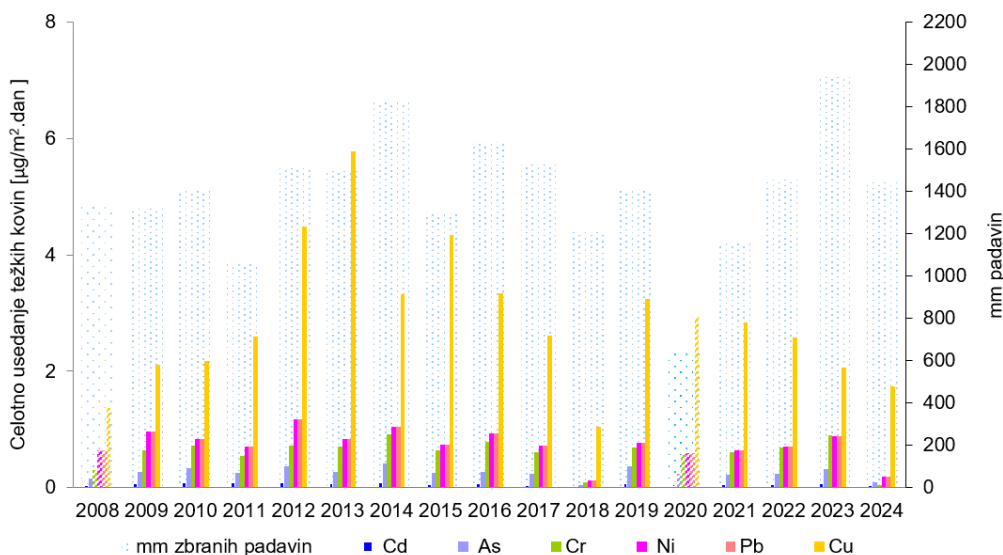
upoštevanja vrednosti pod mejo detekcije pri izračunih. Največja nihanja v usedlinah opazamo pri cinku in bakru. Nekoliko manjša so ta nihanja pri usedlinah svinca, še manjša pri usedlinah niklja in kroma ter najmanjša pri usedlinah arzena. Ocenjujemo, da so navedena nihanja delno posledica nezaznanih lokalnih vplivov, pretežno pa transporta prašnih delcev na velike razdalje preko meja.

Tabela 15.5: Povprečna letna koncentracija nekaterih težkih kovin na Iskrbi v letu 2023 izražena v $\mu\text{g/L}$

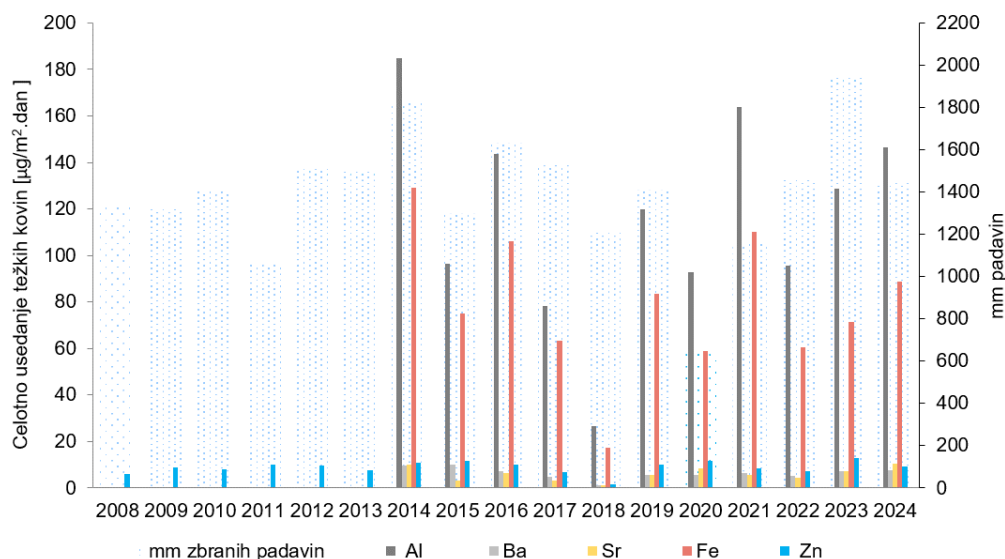
Leto	Aluminij	Arzen	Barij	Kadmij	Krom	Baker	Nikelj	Svinec	Cink	Železo	Stroncij	mm
2024	26,8	<0,1	1,39	<0,02	<0,3	0,309	<0,3	0,666	1,82	14,8	2,45	1442,6

Tabela 15.6: Celotno usedanje nekaterih težkih kovin na Iskrbi v letu 2023 izražena v $\mu\text{g/m}^2\text{dan}$

Leto	Aluminij	Arzen	Barij	Kadmij	Krom	Baker	Nikelj	Svinec	Cink	Železo	Stroncij	mm
2024	147	0,094	7,62	0,035	0,048	1,74	0,190	4,03	9,20	88,6	10,6	1442,6



Slika 15.17: Celotna usedlina izbranih kovin v $\mu\text{g/m}^2\text{dan}$ v letih od 2008 do 2024



Slika 15.18: Celotna usedlina izbranih kovin v $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{dan}$ v letih od 2008 do 2024

15.3 Raven onesnaženosti padavin z živim srebrom

Živo srebro v padavine prehaja v večini kot posledica antropogenih virov, najpogosteje kot posledica industrijskih procesov, rabe topil, proizvodnje elektrike in toplote ter rabe goriv v industriji. Del živega srebra pa izvira tudi iz naravnih procesov.

Meritve celotnega živega srebra (anorganske in organske spojine Hg) v padavinah, se podobno kot meritve težkih kovin in PAH izvajajo zgolj na merilnem mestu Iskrba. Za vzorčenje padavin za določitve 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 2024 so prikazane v tabeli 15.7. Grafični prikaz mesečnih koncentracij Hg v padavinah je podan na sliki 15.19, usedanje Hg po mesecih pa na sliki 15.20.

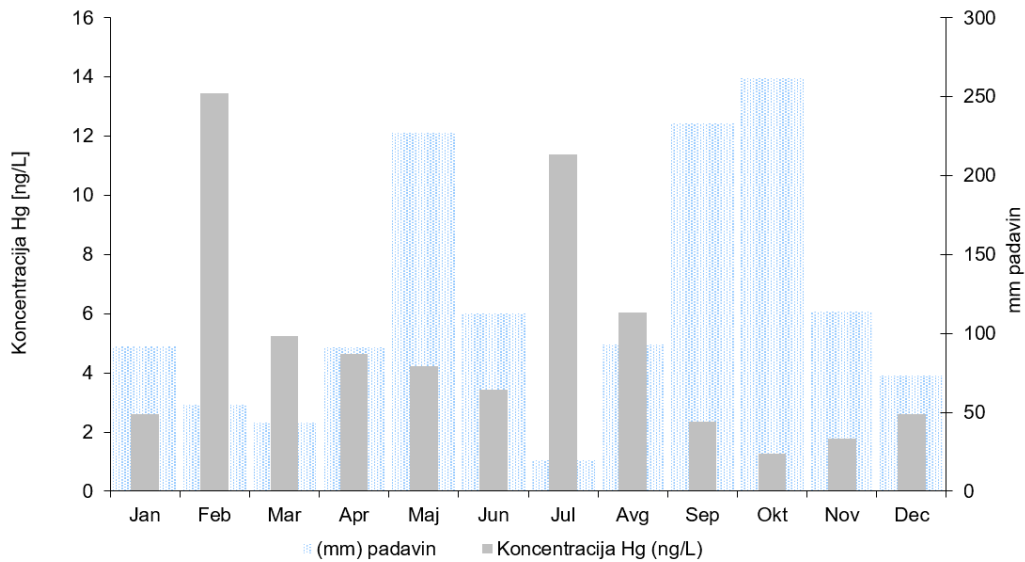
Najvišja koncentracija Hg v padavinah v 2024 je bila izmerjena v mesecu februarju, $13,5 \text{ ng}/\text{L}$, najnižja pa v mesecu oktobru, $1,26 \text{ ng}/\text{L}$.

Najnižje usedanje je bilo zabeleženo v mesecu decembru, $6,17 \text{ ng}/\text{m}^2\text{dan}$, najvišje pa v mesecu maju in sicer $31,0 \text{ ng}/\text{m}^2\text{dan}$.

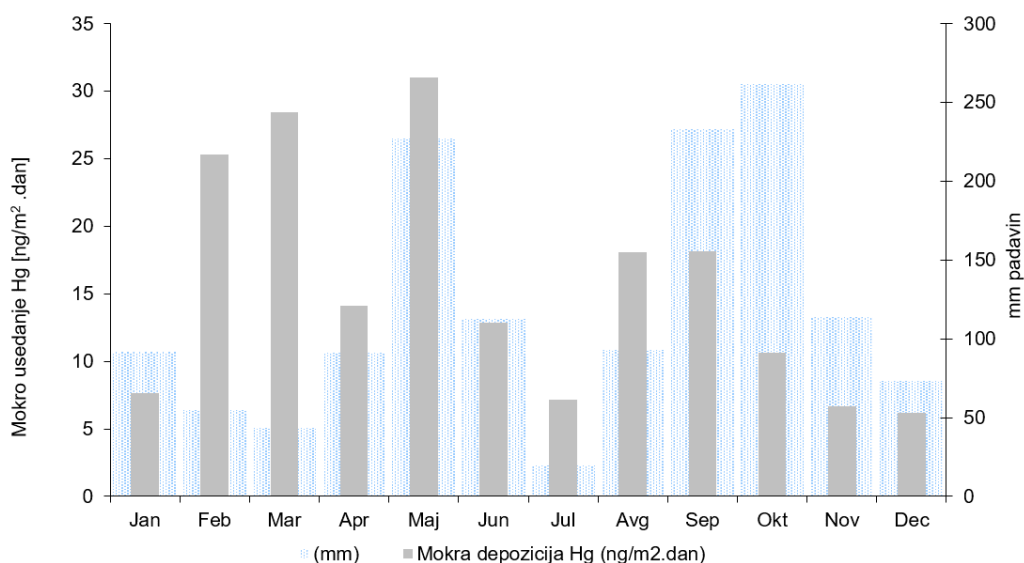
Povprečno letno usedanje živega srebra na merilnem mestu Iskrba je v letu 2024 znašalo $14,6 \text{ ng}/\text{m}^2\text{dan}$. Bilo je nekoliko nižje kot v preteklem letu (slika 15.21).

Tabela 15.7: Koncentracije (ng/L) in mokro usedanje Hg (ng/m²dan) ter zbrana količina padavin (mm) za določitev Hg na Iskrbi v letu 2024

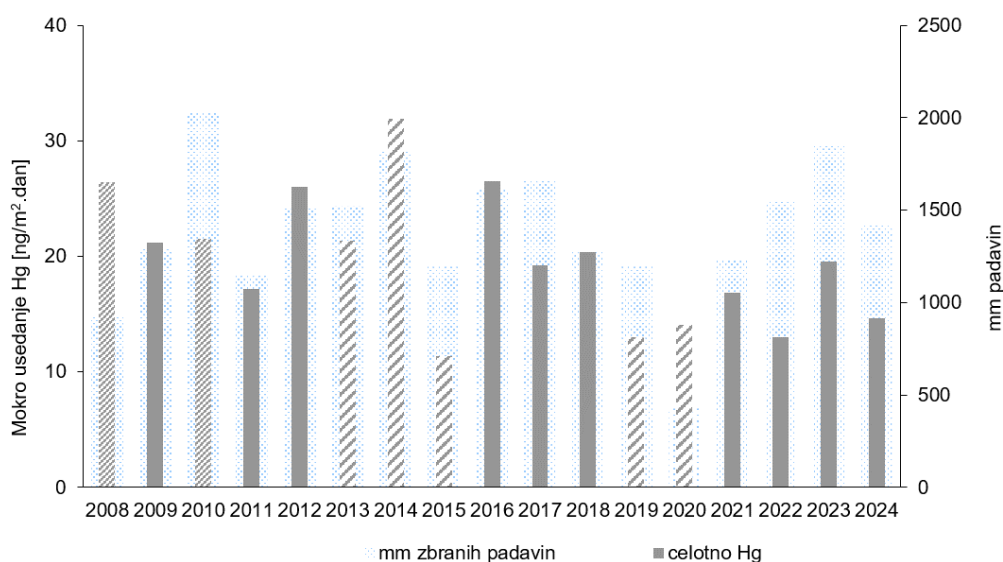
Obdobje	Koncentracija	Usedanje Hg ng/m ² dan	mm zbranih padavin
Januar	2,60	7,67	91,6
Februar	13,5	25,3	54,6
Marec	5,25	28,5	43,3
April	4,65	14,1	91,2
Maj	4,23	31,0	227,3
Junij	3,42	12,9	112,8
Julij	11,4	7,17	19,5
Avgust	6,05	18,1	92,8
September	2,34	18,2	233,1
Oktober	1,26	10,7	261,6
November	1,76	6,70	114,0
December	2,61	6,17	73,3
Letna vrednost	3,55	14,6	1415,1



Slika 15.19: Koncentracije celotnega Hg po mesecih za leto 2024.



Slika 15.20: Mokra usedanje celotnega Hg po mesecih za leto 2024.



Slika 15.21: Mokra usedanje celotnega Hg po letih v ng/m².dan.

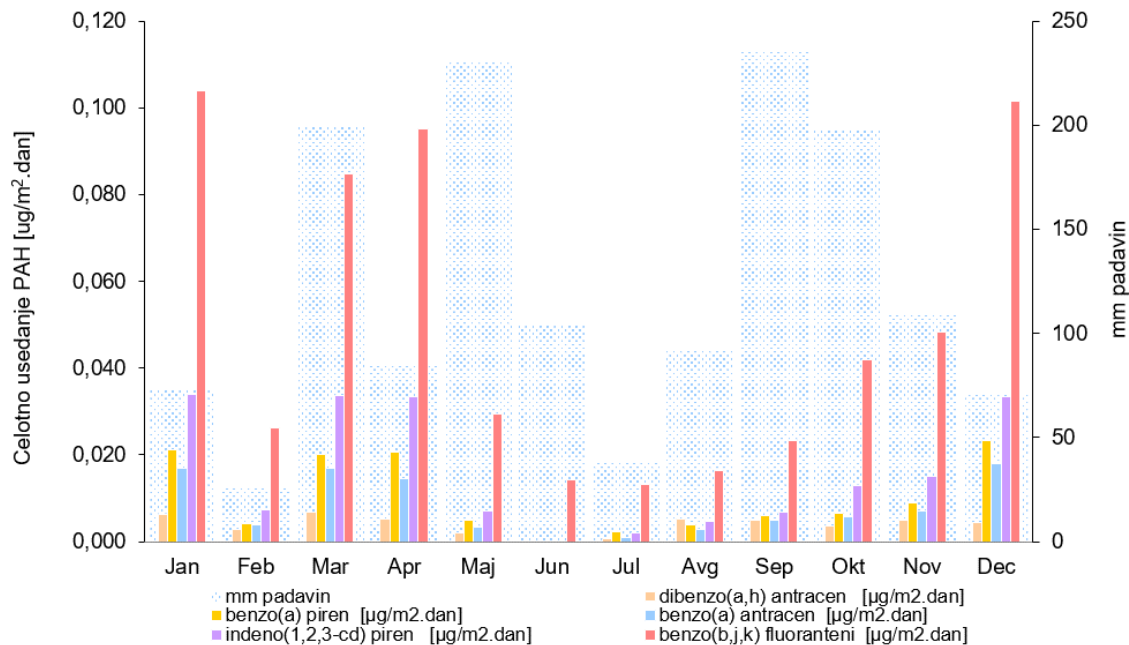
15.4 Raven onesnaženosti padavin s policikličnimi aromatskimi ogljikovodiki

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 [28].

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 2024 je prikazana na sliki 15.22. Višje celotno usedanje večine PAH smo v letu 2024 zabeležili v januarju, marcu in aprilu ter 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.



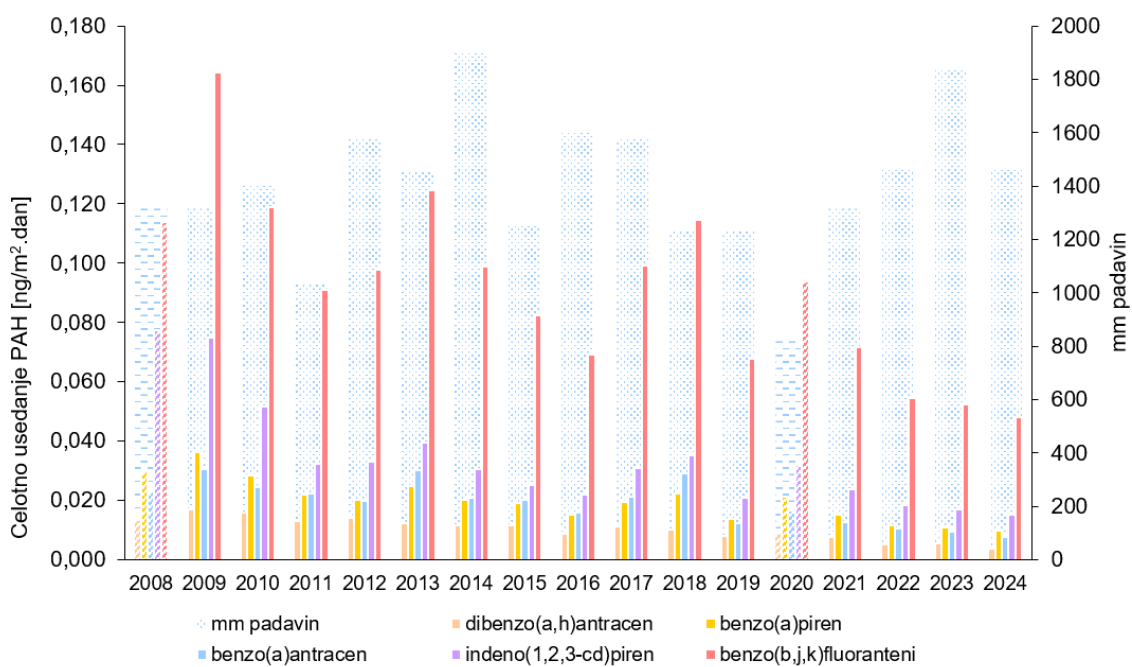
Slika 15.22: Celotno usedanje nekaterih PAH po mesecih v letu 2024 µg/m²dan

Podobno kot v preteklih letih smo tudi v letu 2024 zabeležili največjo celotno usedlino vsote benzo(b,j,k)fluorantenov, najnižja pa je bila kot navadno celotna usedlina dibenzo(a,h)antracena (slika 15.23). V primerjavi s preteklim letom so bile celotne usedline vseh PAH rahlo nižje kot v letu 2023, delno posledica drugačnega upoštevnja vrednosti pod mejo detekcije pri izračunih. V obdobju od 2008 do 2024 se nadaljuje rahel trend upadanja usedlin PAH.

V tabeli 15.8 je prikazana celotna usedlina nekaterih PAH v letu 2024 v µg/m²dan.

Tabela 15.8: Celotno usedanje nekaterih PAH (v µg/m²dan) za leto 2024 na merilnem mestu Iskrba

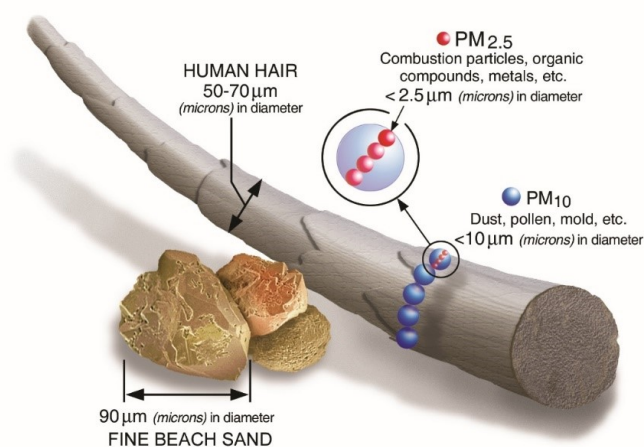
Benzo(a)antracen	Benzo(a)piren	Benzo(b,j,k)fluoranteni	Dibenzo(a,h)antracen	Indeno(1,2,3-cd)piren
0,008	0,010	0,048	0,004	0,015



Slika 15.23: Celotno letno usedanje PAH od leta 2008 do leta 2024 $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{dan}$

16. Črni ogljik

Črni ogljik (tudi saje) je primarni produkt nepopolnega zgorevanja, ki nastane pri zgorevanju goriv in je lahko prisoten v aerosoliziranih prašnih delcih. Za lažjo predstavbo velikosti delcev prikazuje slika 16.1 primerjave med velikostmi 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 [29].



Slika 16.1: Prikaz primerjave velikosti delcev (slika povzeta po U.S. EPA [30]).

Črni ogljik je prepoznan kot kratkotrajno podnebno onesnaževalo z življenjsko dobo od nekaj dni do nekaj tednov po izpustu v ozračje [29]. Zaradi svoje kratke življenjske dobe ima zmanjšanje njegovih izpustov lahko relativno hiter regionalen vpliv na podnebne spremembe.[31].

Črni ogljik neposredno in posredno vpliva na podnebje, kriosfero (območje snega in ledu), kmetijstvo, ekosistem in zdravje ljudi [29]. 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 [29]. Ocenjeno je, da je od predindustrijske dobe ter do leta 2005 prispeval k zvišanju povprečne globalne temperature do $0,8^\circ\text{C}$. Ugotovljeno je bilo, da absorbira svetlobo pri vseh valovnih dolžinah, medtem ko jo CO_2 absorbira pri IR valovni dolžini. Segrevanje ozračja povzroča z absorpcijo svetlobe, ki proizvaja toploto, ko pade na sneg ali led pa povzroča njegovo topitev. Zaradi svoje majhnosti lahko povzroča interakcijo z oblaki in spreminja njihovo odbojno sposobnost in življenjsko dobo [32]. Njegov vpliv 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 [33].

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 [29].

16.1 Zahteve za kakovost zraka

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

16.2 Ravni onesnaženosti

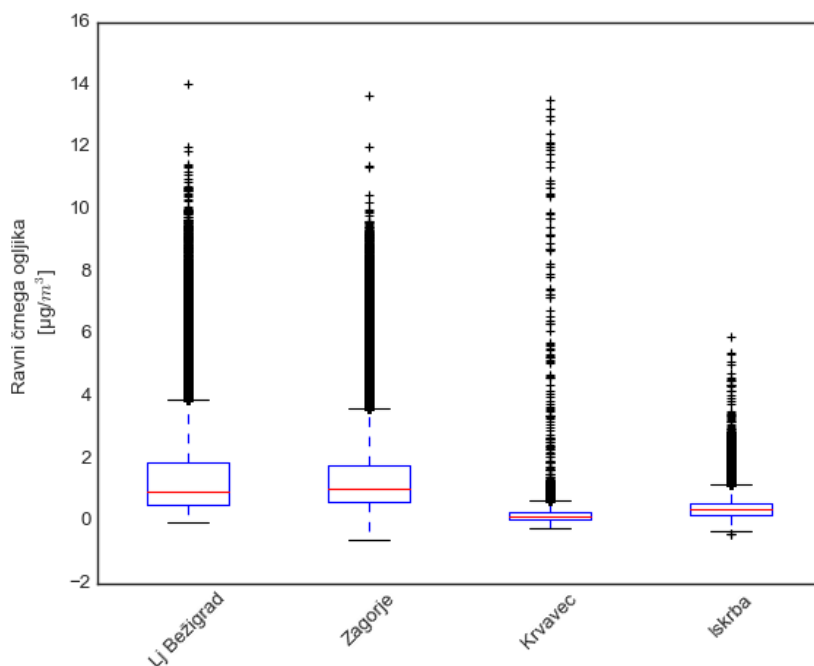
V okviru državne merilne mreže ARSO merimo črni ogljik na lokacijah Ljubljana – Bežigrad, Krvavec, Zagorje in Iskrba. Merilni mesti Ljubljana Bežigrad in Zagorje sta mestni in locirani na stanovanjsko-poslovnem območju. Tip merilnega mesta Zagorje je prometni, saj je postaja v bližini ceste. Merilni mesti Iskrba in Krvavec sta podeželski in locirani v naravnem okolju. Lokacija Krvavec leži na precej 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 10.5. in 23.5, 8.8 in 14.8, 29.10 in 5.11 ter v obdobju med 7.11 in 25.11, kar je privedlo do 74% razpoložljivosti podatkov na tem merilnem mestu. Izplen podatkov na ostalih merilnih mestih je 94% 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 [34].

Za vse lokacije je bil pripravljen graf kvartilov v letu 2024, 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, 2023 in 2024.

Tabela 16.1: Povprečna letna raven črnega ogljika ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) za obdobje 2021 - 2024

	2021	2022	2023	2024
Lj Bežigrad	0,9	0,9	1,1	1
Zagorje	1,2	1,3	1,2	1,1
Krvavec	0,1	0,2	0,2	0,1
Iskrba	0,4	0,4	0,3	0,4



Slika 16.2: 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 srednjih vrednosti izmerjenih ravni med leti ni pokazala večjih razlik (tabela 16.2). Prav tako je bil delež črnega ogljika iz različnih virov identičen prejšnjima letoma, kar nakazuje na konstantnost virov izpustov v okolici merilnika (slika 16.3).

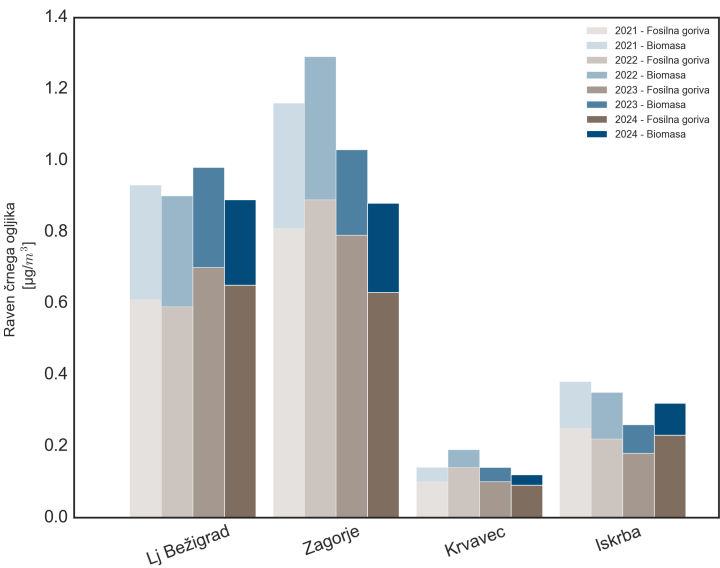
Na lokacijah, ki so postavljene v mestnem oziroma podeželskem območju so bile ravni precej podobne, mediana na lokaciji Zagorje je bila 1,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, na lokaciji Ljubljana 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Na podeželskem območju je bila mediana precej nižja in sicer na lokaciji Krvavec 0,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, kar je v primerjavi z Zagorjem kar 90 % manj in na lokaciji Iskrba 0,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ oziroma 64 % 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 13,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, dne 1.7..

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 (29 %), medtem ko je bil največji na lokaciji Zagorje (38 %). Na lokaciji Zagorje je srednja vrednost črnega ogljika iz fosilnih goriv 0,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ter iz malih kurišč 0,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, medtem ko je podobno v Ljubljani in sicer srednja vrednost črnega ogljika iz fosilnih goriv 0,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ter iz biomase je 0,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Na lokacijah, ki sta locirani na podeželskem območju sta vrednosti nižji in sicer na lokaciji Krvavec je srednja vrednost

iz biomase 0,03 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 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 0,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

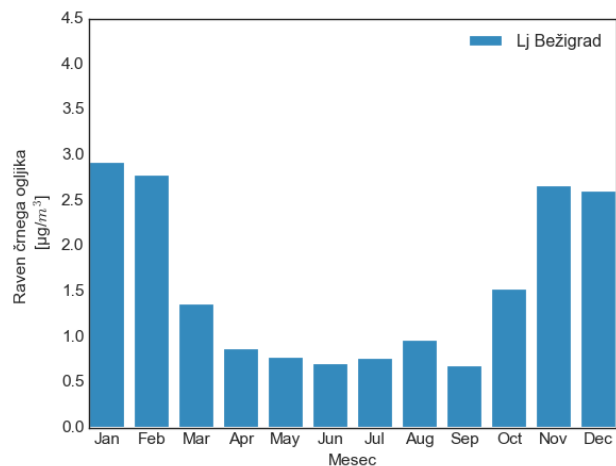
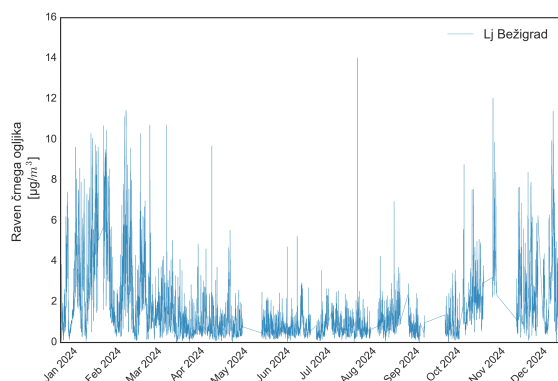
Tabela 16.2: Pregled srednjih in maksimalnih vrednosti črnega ogljika (BC), črnega ogljika iz biomase (BB) in fosilnih goriv (FF) v $\mu\text{g}/\text{m}^3$ na lokaciji Ljubljana, Krvavec, Zagorje in Iskrba.

	Krvavec			Lj Bežigrad			Zagorje			Iskrba		
	BC	BB	FF	BC	BB	FF	BC	BB	FF	BC	BB	FF
Srednja vrednost	0,1	<0,1	0,1	1	0,2	0,7	1,1	0,3	0,6	0,4	0,1	0,2
Maksimalna vrednost	13,5	5,3	13,4	14	7	13,8	13,6	9,1	22,8	5,9	1,9	6,2

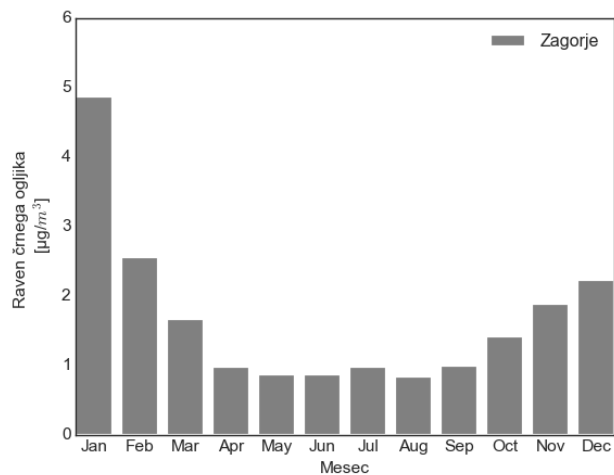
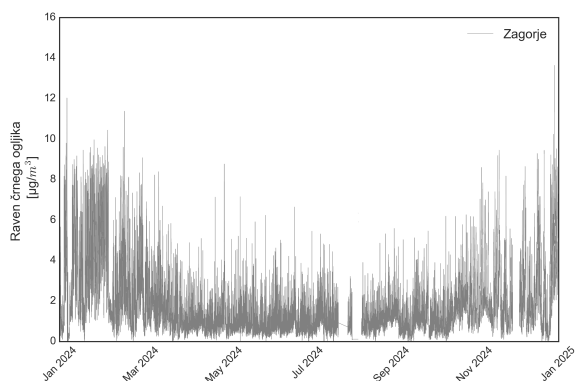


Slika 16.3: Prikaz izmerjenih srednjih vrednosti s podanim deležem črnega ogljika iz fosilnih goriv (siva barva) in biomase (modra barva) med leti 2024 (intenzivnejša barva) in 2021 (bledejša barva) na merilnih mestih.

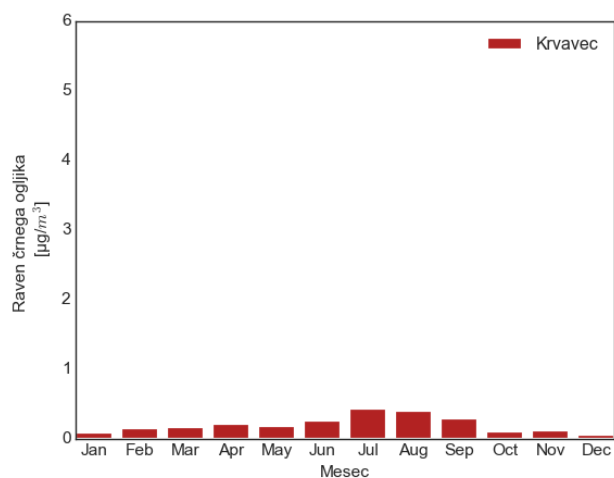
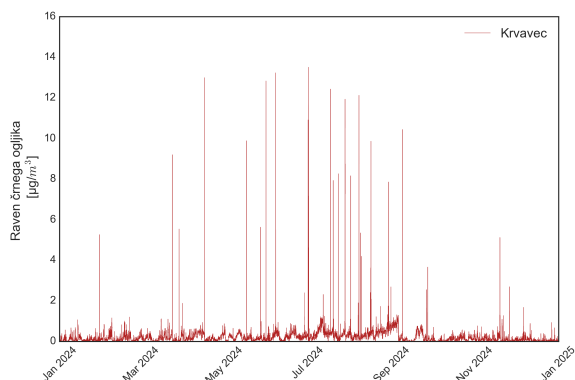
Mesečne srednje vrednosti izpustov črnega ogljika na merilnem mestu Ljubljana so bile najnižje v toplem obdobju leta in sicer v mesecih med marcem in septembrom. Višje srednje vrednosti so bile izmerjene v hladni polovici leta, torej med januarjem in februarjem ter med oktobrom in decembrom. Podoben trend mesečnih srednjih vrednosti se je pojavil na lokaciji Zagorje, kjer je bila najvišja vrednost v januarju 2024. Na merilnem mestu Krvavec in Iskrba so bile vrednosti precej enakomerne tekom leta in nimajo značilnega poteka. Na merilnem mestu Krvavec so se v poletnih mesecih občasno pojavile višje vrednosti.



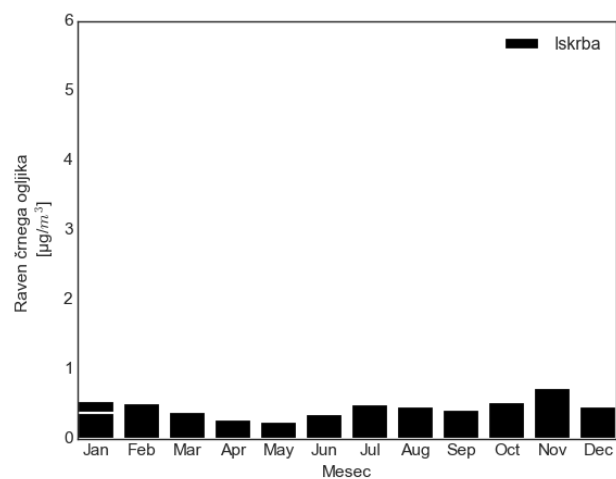
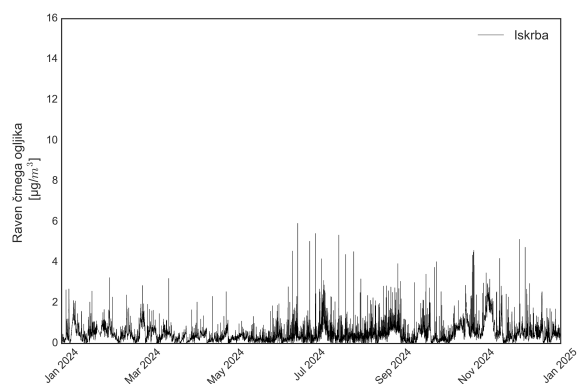
Slika 16.4: Prikaz izmerjenih vrednosti (levo) in srednjih mesečnih vrednosti (desno) na merilnem mestu Ljubljana Bežigrad.



Slika 16.5: Prikaz izmerjenih vrednosti (levo) in srednjih mesečnih vrednosti (desno) na merilnem mestu Zagorje.



Slika 16.6: Prikaz izmerjenih vrednosti (levo) in srednjih mesečnih vrednosti (desno) na merilnem mestu Kravec.



Slika 16.7: Prikaz izmerjenih vrednosti (levo) in srednjih mesečnih vrednosti (desno) na merilnem mestu Iskrba.

17. Literatura

- [1] *Direktiva 2008/50/ES Evropskega parlamenta in sveta o kakovosti zunanjega zraka in čistejšem zraku za Evropo*. Uradni list Evropske unije. L152.
- [2] *Direktiva 2004/107/ES Evropskega parlamenta in sveta o arzeniu, kadmiju, živem srebru, niklju in policikličnih aromatskih ogljikovodikih v zunanjem zraku*. Uradni list Evropske unije. L23.
- [3] *Uredba o kakovosti zunanjega zraka*. (Uradni list RS. 9/11, 8/15, 66/18 in 44/22 – ZVO-2).
- [4] *Uredba o arzeniu, kadmiju, živem srebru, niklju in policikličnih aromatskih ogljikovodikih v zunanjem zraku*. Uradni list RS. 56/06 in 44/22 – ZVO-2.
- [5] *Pravilnik o ocenjevanju kakovosti zunanjega zraka*. Uradni list RS. 55/11, 6/15, 5/17 in 44/22 – ZVO-2.
- [6] *Načrt za ničelno onesnaževanje zraka, vode in tal*, ogled 5.12.2025, https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/12588-Za-nicelno-onesnazevanje-zraka-vode-in-tal-akcijski-nacrt-EU_sl.
- [7] *Zakon o ratifikaciji konvencije o onesnaževanju zraka na velike razdalje preko meja* (Uradni list SFRJ – Mednarodne pogodbe, št. 11/86), UNECE, 1979.
- [8] *Kakovost zraka v Sloveniji v letu 2019*, ARSO, 2020.
- [9] *Project PREPAIR – LIFE15 IPE IT013*, view 10.09.2018, <http://www.lifeprepare.eu/>.
- [10] WHO, "World health organization: Ambient (outdoor) air pollution." [https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health).
- [11] *CAMS2 61 Global and European emission inventories*, view 5.12.2025, <https://atmosphere.copernicus.eu/cams261-global-and-european-emission-inventories>.
- [12] *Informative Inventory Report 2025 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.
- [13] *Guidance on the quantification of the contribution of natural sources under the EU Air Quality Directive 2008/50/EC*, European Commission, Brussels, 2011.

- [14] *Kakovost zraka v Sloveniji v letu 2017*, ARSO, 2018.
- [15] *Kakovost zraka v Sloveniji v letu 2021*, ARSO, 2021.
- [16] *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.
- [17] *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.
- [18] *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.
- [19] *Zakon o ratifikaciji Protokola o zmanjševanju zakisljevanja, eutrofikacije 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.
- [20] *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.
- [21] WHO, "Exposure to benzene: a major public health concern," pp. 3–6, 2019.
- [22] *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.
- [23] 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.
- [24] M. Pidwirny, "Acid Precipitation," *Fundamentals of Physical Geography, 2nd Edition*, 2006.
- [25] 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.
- [26] *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.
- [27] *Manual for the GAW Precipitation Chemistry Programme. Guidelines, Data Quality Objectives and Standard Operating Procedures*, no. 160, WMO, 2004.
- [28] O. Delhomme, E. R. Rieb, and M. Millet, "Polycyclic aromatic hydrocarbons analyzed in rainwater and erstein," *Polycyclic Aromatic Compounds*, no. 1, 2008.

- [29] *Black carbon | Climate & Clean Air Coalition*, view 28.4.2022, <https://www.ccacoalition.org/en/slcps/black-carbon>.
- [30] *Particulate Matter (PM) Basics | US EPA*, view 28.4.2022, <https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics>.
- [31] *What is Black Carbon? | Center for Climate and Energy Solutions*, view 3.5.2022, <https://www.c2es.org/document/what-is-black-carbon/>.
- [32] U. N. E. Programme, "Integrated assessment of black carbon and tropospheric ozone: summary for decision makers," 2011.
- [33] *The EU Background on Black Carbon | Arctic Monitoring & Assessment Programme*, view 3.5.2022, <https://eua-bca, amap, no/background>.
- [34] *Kakovost zraka v Sloveniji v letu 2022*, ARSO, 2022.
- [35] *Air quality status report 2025 - Ozone*, ogled 8.12.2025, <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/air-quality-status-report-2025/ozone>.



REPUBLIKA SLOVENIJA
MINISTRSTVO ZA OKOLJE IN PROSTOR
AGENCIJA REPUBLIKE SLOVENIJE ZA OKOLJE