

Kakovost zraka v Sloveniji v letu 2022

Kakovost zraka v Sloveniji

ISSN 1855-0827

Ljubljana, 2023

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

Odgovarja:

mag. Joško Knez, generalni direktor

Avtorji: Damijan Bec, Don Ciglenečki, Petra Dolšak Lavrič, Mateja Gjerek, Tanja Koleša, dr.
Martina Logar, Luka Matavž, Marijana Murovec, Marko Rus, dr. Rahela Žabkar

Podatke so posredovali:

Kemijsko analitski laboratorij ARSO

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

Nacionalni laboratorij za zdravje, okolje in hrano Maribor: MO Maribor, Občina Miklavž na
Dravskem polju, MO Ptuj, Občina Ruše

Salonit Anhovo

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

Kakovost zraka v Sloveniji v letu 2022

AGENCIJA REPUBLIKE SLOVENIJE ZA OKOLJE
Ljubljana, 2023

Seznam kratic

ALADIN	meteorološki model za omejeno območje, katerega razvoj usmerja Francija (Aire Limitée, Adaptation Dynamique, Développement International)
ARSO	Agencija Republike Slovenije za okolje
CLRTAP	Konvencija o onesnaževanju zraka na velike razdalje preko meja (Convention on Long-range Transboundary Air Pollution)
CAMx	celovit model kakovosti zraka z razširtvami (Comprehensive Air Quality Model with Extensions)
DMKP	državna merilna mreža za spremljanje kakovosti padavin
DMKZ	državna merilna mreža za spremljanje kakovosti zunanjega zraka
ECMWF	Evropski center za srednjeročne vremenske napovedi (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts)
EEA	Evropska okoljska agencija (European Environment Agency)
EIS	ekološki informacijski sistem
EIMV	Elektroinštitut Milan Vidmar
EMEP	Program sodelovanja za spremljanje in oceno onesnaževanja zraka na velike razdalje v Evropi (Cooperative programme for the monitoring and evaluation of the longrange transmission of air pollutants in Europe)
EU	Evropska unija
GKK	Gauss Krueger koordinata
LIFE-IP PREPAIR	Projekt »Učinki ukrepov Dežel Padske nižine na kakovost zraka«
NEC	nacionalne zgornje meje emisij (National Emission Ceilings)
OMS-MOL	okoljski merilni sistem mestne občine Ljubljana
TEB	Termoelektrarna Brestanica
TEŠ	Termoelektrarna Šoštanj
TET	Termoelektrarna Trbovlje
TE-TOL	Termoelektrarna Toplarna Ljubljana
US EPA	Agencija za okolje Združenih držav Amerike (United States Environmental Protection Agency)
WHO	Svetovna zdravstvena organizacija (World health Organization)
WMO-GAW	Program Svetovne meteorološke organizacije za globalno spremljanje ozračja (World Meteorological Organization (WMO) Global Atmosphere Watch (GAW) Programme)

AV	alarmna vrednost
CV	ciljna vrednost
MV	mejna vrednost
OV	opozorilna vrednost
BaP	benzo(a)piren
EC/OC	elementarni in organski ogljik (Elementary carbon / Organic carbon)
KPI	kazalnik povprečne izpostavljenosti
NMVOC	nemetanske hlapne organske snovi (Non-methane volatile organic compounds)
PAH	policiklični aromatski ogljikovodiki (Polycyclic aromatic hydrocarbons)
PM	delci v zraku (Particulate matter)
PM ₁₀	delci z aerodinamičnim premerom manjšim od 10 µm
PM _{2,5}	fini delci z aerodinamičnim premerom manjšim od 2,5 µm
CE	Celje
LJ	Ljubljana
MB	Maribor
MO	Mestna občina
MS	Murska Sobota
NG	Nova Gorica

Povzetek

Onesnaženost zraka z **delci PM₁₀** tudi v letu 2022 ostaja na podobni ravni kot zadnja leta. Ravni delcev PM₁₀ so v letu 2022 na enem merilnem mestu presegla predpisane vrednosti, in sicer na prometnem merilnem mestu Murska Sobota Cankarjeva, kjer je vsota prekoračitev mejne dnevne vrednosti za delce PM₁₀ ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) presegla število 35, ki je dovoljeno za celo leto. Zabeleženih je bilo 39 preseganj. Kljub temu, da so bile ravni delcev PM₁₀ na večini merilnih mest nižje od predpisanih, pa občasno, predvsem ob neugodnih vremenskih razmerah, še vedno povsod izmerimo ravni delcev, ki so zdravju škodljive. Do večine vseh zabeleženih preseganj v letu 2022 je prišlo v januarju in februarju, ko so bili pogosti temperaturni obrati, ki onemogočajo razredčevanje izpustov iz malih kurišnih naprav in prometa, ki sta največja vira delcev PM₁₀. Letna mejna vrednost za delce PM₁₀, ki znaša $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ v letu 2022 ni bila presežena na nobenem merilnem mestu. Najvišja povprečna letna vrednost, $28 \mu\text{g}/\text{m}^3$, je bila zabeležena na prometnem merilnem mestu Murska Sobota Cankarjeva. Julija je na Krasu divjal obsežen požar, ki je predvsem na Goriškem več dni čezmerno onesnažil zrak z delci. Dim se je razširil tudi do Obale in v notranjost Slovenije.

V letu 2022 so potekale enoletne **izredne meritve delcev PM₁₀ in PM_{2,5} z mini postajo v Solkanu**, kjer so bile izmerjene podobne ravni delcev kot na merilnih mestih v Novi Gorici.

Letna mejna vrednost $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ za **delce PM_{2,5}** v letu 2022 ni bila presežena na nobenem od petih merilnih mest, kjer izvajamo meritve z referenčnim merilnikom: Maribor Vrbanski plato, Ljubljana Bežigrad, Nova Gorica Grčna, Celje bolnica in Iskrba. Kazalnik povprečne izpostavljenosti KPI za PM_{2,5} za Slovenijo je leta 2022 znašal $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Obveznost glede stopnje izpostavljenosti za leto 2022 znaša $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

V letu 2022 so ravni **benzo(a)pirena** na vseh merilnih mestih podobne kot v prejšnjih letih in povprečne letne vrednosti se na urbanih merilnih mestih gibljejo okoli ciljne vrednosti $1 \text{ ng}/\text{m}^3$. Letni poteki ravni benzo(a)pirena kažejo, da so najvišje ravni izmerjene v kurilni sezoni. Nižje od predpisane mejne oziroma ciljne vrednosti so bile v letu 2022 povprečne letne ravni arzena, niklja, kadmija in svinca v Ljubljani, Mariboru, Novi Gorici, Celju, Žerjavu in na Iskrbi.

Leto 2022 je bilo že dvanajsto leto zapored, ki je bilo toplejše od normale glede na obdobje 1981-2010. Letne ravni ozona so bile v letu 2022 na večini merilnih mest nekoliko višje kot prejšnje leto. Opozorilna urna vrednost $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ je bila v letu 2022 presežena na merilnih mestih na Primorskem, v Kopru 11 krat, Novi Gorici Grčni 3 krat ter na Otlici 7 krat in enkrat na merilnem mestu Sveti Mohor. Večina preseganj je bila zabeležena julija, ob vročinskem valu, ki je zajel večji del Evrope. Preseganje opozorilne vrednosti je bilo zabeleženo še avgusta, in sicer v NG Grčni in na Otlici. V letu 2022 je bil že v zadnji tretjini junija zabeležen prvi vročinski val. Pogoji za nastanek

ozona so bili odlični, kljub takim pogojem nismo zabeležili nobenega preseganja. Razlog je bil v prisotnosti delcev v ozračju, ki so jih k nam prinesli zračni tokovi iznad alžirskega dela Sahare, ki negativno vplivajo na tvorbo ozona. Alarmna vrednost za ozon v letu 2022 ni bila presežena. Je pa bila presežena dolgoročna ciljna vrednost na vseh merilnih mestih. 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 ter na Krvavcu. Še vedno je na vseh merilnih mestih v mestih v neizpostavljenem podelželskem okolju presežena dolgoročna ciljna vrednost za varovanje rastlin (AOT40). Ciljna vrednost za vegetacijo AOT40, v povprečju petih let, je bila na merilnih mestih DMKZ, ki so primerna za ocenjevane skladnosti, nižja od predpisane vrednosti na Iskrbi in v Murski Soboti Rakičan.

Mejne in kritične vrednosti za **NO₂ oziroma NO_x** v letu 2022 niso bile presežne na nobenem merilnem mestu. Že dolgo pa ni v Sloveniji preseganj alarmna vrednost. Najvišja letna raven NO₂ je bila zabeležena na prometno zelo obremenjenem merilnem mestu LJ Center (38 µg/m³) in je le malenkost pod mejno letno vrednostjo 40 µg/m³. Najvišje urne ravni so bile na vseh merilnih mestih pod mejno urno vrednostjo 200 µg/m³, so pa najvišje vrednosti izmerjene na prometno bolj obremenjenih lokacijah. Dnevni hodi kažejo, da je na vseh merilnih mestih zaznano povišanje ravni dušikovih oksidov ob jutranji in večerni prometni konici.

Urne, dnevne in letne ravni **žveplovega dioksida** so na vseh merilnih mestih v Sloveniji že več let pod mejnimi vrednostmi za varovanje zdravja in kritičnimi vrednostmi za varovanje rastlin. Višje ravni SO₂ občasno izmerimo le okrog TEŠ. Zaradi tako nizkih ravni SO₂ meritve niso potrebne in lahko za ocenjevanje skladnosti uporabimo rezultate modelske ocene.

V sredini leta 2022 smo ponovno uvedli meritve **CO** na merilnem mestu LJ Bežigrad. Ravni ogljikovega monoksida so sicer že več let na vseh merilnih mestih pod mejno vrednostjo za varovanje zdravja in tudi pod spodnjim ocenjevalnim pragom. Zakonodaja določa, da lahko ravni v takem primeru ocenimo z indikativnimi meritvami, subjektivno oceno ali z modelskimi rezultati. Rezultati modelskega izračuna najvišjih 8-urnih vrednosti CO za leto 2022 kažejo, da so ravni CO povsod v Sloveniji precej nižje od predpisane mejne vrednosti.

V letu 2022 so bile izmerjene povprečne letne ravni **benzena** na vseh merilnih mestih približno enake in tako kot že vsa leta poprej pod mejno vrednostjo.

Povprečna letna **koncentracija Hg v zraku** izmerjena v Sloveniji v letu 2022 je znašala 1,2 ng/m³, kar je za 0,3 ng/m³ manj kot v letu 2021. To nas je glede na lestvico EMEP uvršča med s Hg v zraku manj onesnažena področja v Evropi. Ker meritve izvajamo po približno 14 dni v vsakem kvartalu leta z izposojenim inštrumentom, vrednosti podajamo zgolj kot informativne.

Povprečna letna **pH vrednost padavin** se je na merilnih mestih v Sloveniji gibala med 5,44 in 5,68. Daleč najvišjo povprečno letno vrednost pH (kar pomeni najmanjo kislost) smo zabeležili na merilnem mestu Rateče in je že drugo leto zapored presegla mejo kislosti, ki znaša 5,6. Nekoliko nižjo 5,55 povprečno letno pH vrednost smo zabeležili na merilnem mestu MS Rakičan, še nižjo 5,44 na merilnem mestu Iskrba, in najnižjo 5,42 na merilnem mestu LJ Bežigrad. Glede na lestvico EMEP, so bile padavine v Sloveniji med naj manj kislimi v Evropi. Podobno kot v preteklih letih nas povprečne letne koncentracije amonijevih, sulfatnih in nitratnih ionov v padavinah v letu 2022 na vseh merilnih mestih v Sloveniji skladno z EMEP lestvicami uvrščajo med področja z nižjimi do-

srednje visokimi koncentracijami posameznega iona.

Na edinem merilnem mestu, kjer izvajamo meritve težkih kovin, PAH in Hg v padavinah Iskrba, so bile v letu 2022 povprečne letne koncentracije za težke kovine arzen, krom, nikelj, svinec, kadmij, baker in cink srednje do nizke glede na EMEP lestvico.

Povprečna letna koncentracija živega srebra v padavinah je v letu 2021 znašala 3,08 ng/l in je torej bila tudi v letu 2022 v spodnji polovici EMEP lestvice, kar Iskrbo uvršča med področja z nižjimi koncentracijami Hg v Evropi. Depozicije živega srebra, pa so bile kljub večji količini padavin nekoliko nižje kot v preteklem letu.

V obdobju od 2008 do 2022 opažamo trend upadanja usedlin PAH, kar je verjetno posledica spremenjenih kurilnih navad na območju okrog merilnega mesta Iskrba in širše.

Summary

Even in 2022, air pollution with **PM₁₀** remains at a similar level as in recent years. In 2022, the levels of PM₁₀ exceeded the prescribed values at one monitoring site, namely at the traffic monitoring site Murska Sobota Cankarjeva, where the sum of exceeding the daily limit value for PM₁₀ particles (50 microg/m³) exceeded the number of 35 allowed for the whole year. 39 exceedances were recorded. Despite the fact that the levels of PM₁₀ were lower than prescribed at most monitoring sites, occasionally, especially during unfavorable weather conditions, levels of particles that are harmful to health are still measured everywhere. The majority of all recorded exceedances in 2022 occurred in January and February, when temperature inversions were frequent, preventing dilution of emissions from small combustion plants and traffic, the largest sources of PM₁₀. The annual limit value for PM₁₀, which amounts to 40 µg/m³, was not exceeded at any monitoring site. The highest average annual value, 28 µg/m³, was recorded at the traffic monitoring site Murska Sobota Cankarjeva. In July, an extensive fire raged in Kras region, which excessively polluted the air with particles for several days, especially in Goriška region. The smoke also spread to the coast and into the interior of Slovenia.

In 2022, one-year **exceptional measurements of PM₁₀ and PM_{2.5} were carried out with the mini-station in Solkan**, where similar levels of particles were measured as at the monitoring site in Nova Gorica .

The annual limit value of 20 µg/m³ for **PM_{2.5}** in 2022 was not exceeded at any of the five monitoring sites where we perform measurements with a reference meter: Maribor Vrbanski plateau, Ljubljana Bežigrad, Nova Gorica Grčna, Celje hospital and Iskrba. The KPI average exposure indicator for PM_{2.5} for Slovenia in 2022 was 14 µg/m³. The exposure level commitment for 2022 is 20 µg/m³.

In 2022, the levels of **benzo(a)pyrene** at all monitoring sites were similar to previous years and the average annual values at urban monitoring sites are around the target value of 1 ng/m³. Annual courses of benzo(a)pyrene levels show that the highest levels are measured during the heating season. In 2022, the average annual levels of arsenic, nickel, cadmium and lead in Ljubljana, Maribor, Nova Gorica, Celje, Žerjav and Iskrba were lower than the prescribed limit or target value.

2022 was the twelfth year in a row that was warmer than normal for the 1981-2010 period. Annual ozone levels in 2022 were slightly higher at most monitoring sites than the previous year. The information threshold value of 180 µg/m³ was exceeded in 2022 at the monitoring sites in Primorska, in Koper 11 times, in Nova Gorica Grčni 3 times and in Otlica 7 times and once at the monitoring site Sv.Mohor. Most of the exceedances were recorded in July, during a heat wave in

most parts of Europe. Exceeding the information threshold value was recorded in August, namely in NG Grčna and Otlica. In 2022, the first heat wave was already recorded in the last third of June. The conditions for the formation of ozone were excellent, despite such conditions we did not record any exceedances. The reason was the presence of particles in the atmosphere, brought to us by air currents over the Algerian part of the Sahara, which have a negative effect on the formation of ozone. The alarm value for ozone was not exceeded in 2022. However, the long-term target value was exceeded at all monitoring sites. The target value for health protection, which is determined as an average of three years and can be exceeded less than 25 times, was exceeded in the DMKZ measuring network in Koper, NG Grčna, Otlica and Krvavec. The long-term target value for plant protection (AOT40) is still exceeded at all measurement sites in cities in an unexposed rural environment. The target value for vegetation AOT40, in an average of five years, was lower than the prescribed value at Iskrba and Murska Sobota Rakičan at the DMKZ monitoring sites, which are suitable for the estimated skaldenities.

Limit and critical values for **NO₂** and **NO_x** in 2022 were not exceeded at any monitoring site. The alarm value has not been exceeded in Slovenia for a long time. The highest annual level of NO₂ was recorded at the highly traffic-heavy monitoring site LJ Center (38 µg/m³) and is only slightly below the limit annual value of 40 µg/m³. The highest hourly levels were below the limit hourly value of 200 µg/m³ at all monitoring sites, but the highest values were measured at locations with more traffic. Daily courses shows that at all monitoring sites, an increase in the level of nitrogen oxides is detected during the morning and evening traffic rush.

Hourly, daily and annual levels of **sulfur dioxide** have been below the limit values for health protection and critical values for plant protection for many years at all monitoring sites in Slovenia. Higher levels of SO₂ are occasionally measured only around TEŠ. Due to such low SO₂ levels, measurements are not necessary and we can use model evaluation results to assess compliance.

In the middle of 2022, we reintroduced **CO** measurements at the LJ Bežigrad monitoring site. Carbon monoxide levels have been below the limit value for health protection and also below the lower evaluation threshold at all monitoring sites for several years. Legislation stipulates that the levels can be assessed in such a case with indicative measurements, subjective assessment or with model results. The results of the model calculation of the highest 8-hour CO values for the year 2022 show that the CO levels everywhere in Slovenia are much lower than the prescribed limit value.

In 2022, the measured average annual levels of **benzene** at all monitoring sites were approximately the same and, as in all previous years, below the limit value.

The average annual concentration of **Hg in the air** measured in Slovenia in 2022 was 1.2 ng/m³, which is 0.3 ng/m³ less than in 2021. This is us according to the EMEP scale, it ranks among the areas less polluted by Hg in the air in Europe. Since the measurements are carried out approximately 14 days in each quarter of the year with a borrowed instrument, the values are provided for informational purposes only.

The average annual **pH value of precipitation** varied between 5.44 and 5.68 at monitoring sites in Slovenia. By far the highest average annual pH value (which means the lowest acidity) was recorded at the Rateče monitoring site, and it exceeded the acidity limit of 5.6 for the second year in

a row. A somewhat lower average annual pH value of 5.55 was recorded at the monitoring site MS Rakičan, an even lower 5.44 at the monitoring site Iskrba, and the lowest 5.42 at the monitoring site LJ Bežigrad. According to the EMEP scale, the precipitation in Slovenia was among the least acidic in Europe. Similar to previous years, the average annual concentrations of ammonium, sulfate and nitrate ions in precipitation in 2022 at all monitoring sites in Slovenia, according to the EMEP scales, place us among areas with lower to medium-high concentrations of individual ions.

At the only monitoring site where we carry out measurements of heavy metals, PAH and Hg in precipitation, Iskrba, in 2022 the average annual concentrations for the heavy metals arsenic, chromium, nickel, lead, cadmium, copper and zinc were medium to low according to the EMEP scale.

The average annual concentration of mercury in precipitation in 2021 was 3.08 ng/L and was therefore also in the lower half of the EMEP scale in 2022, which ranks Iskrba among the areas with lower Hg concentrations in Europe. Despite the higher amount of precipitation, mercury depositions were slightly lower than in the previous year.

In the period from 2008 to 2022, we observe a trend of decreasing PAH deposits, which is probably the result of changed burning habits in the area around the monitoring site Iskrba and beyond.

Tabela A: Tabela prikazuje povprečne letne ravni onesnaževal zraka (C_p), število preseganj mejnih (>MV) oziroma ciljnih (>CV) in opozorilnih vrednosti (>OV) v letu 2022. Prikazana je maksimalna povprečna 8-urna vrednost (C_{max}) za ogljikov monoksid.

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

	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	leto	
	C_p	>MV	C_p		C_p	>OV	C_p	>MV	C_p	C_p	>MV	>MV	C_{max}	C_p	C_p	C_p	C_p	C_p	C_p	
DMKZ																				
CE bolnica	24	13	16		43	0	23	21	0	3	4	0	0			1,5	0,44	0,52	1,3	6,6
CE Ljubljanska	23	13																		
Hrastnik	19	1	13																	
Iskrba	11	0	9*		51	0	25	1	0	1,3	1,1	0	0			0,13	0,22	0,06	0,77	1,7
Koper	18	12	13		71	11	66	15	0											
Kranj	20	5	18																	
Krvavec					94	0	71													
LJ Bežigrad	21	11	14		38*	0*	14*	21	0					1*	1,0	0,98	0,32	0,21	1,5	5,3
LJ Celovška	22	11	17						29	0										
LJ Vič	21	11	16																	
MB Titova	23	3	13					25	0					1,1	0,72	0,44	0,14	1,5	5,7	
MB Vrbanski	16	0	12		50	0	21	8	0											
MS Cankarjeva	28	39	21																	
MS Rakičan	21	10	18		47	0	24	9	0											
NG Grčna	19	9	13		54	3	67	24	0					1,1	0,30	0,12	0,86	4,6		
NG Vojkova	24*	10*																		
Novo mesto	19	0	18		46	0	16	11	0											
Otlica					89	7	75													
Ptuj	22	9	16																	
Trbovlje	19	8	16																	
Velenje	16	0																		
Zagorje	21	11	17		44	0	12	18	0	2	3	0	0							
Žerjav	21	2														1,7	1,6	0,94	297	
Dopolnilna merilna mreža																				
TEŠ																				
Mobilna TEŠ	15	0	10		46	0	17	12	0	5	5	0	0							
Pesje	16	0	8							5	5	0	0							
Škale	15	0	11				6	0	4	5	0	0								
Šoštanj	14	0	9				10	0	3	3	0	0								
Zavodnje					77	0	35	5	0	4	5	0	0							
Velenje					47	0	22			4	5	0	0							
Topolšica										3	2	0	0							
Veliki vrh										3	4	0	0							
Graška gora										4	5	0	0							
OMS MO Ljubljana																				
LJ Center	26	27					38	0	2	2	0	0		1,1						
TE TOL																				
Zadobrova	23	1			42	0	14	17	0	3	3	0	0							
Občina Medvode																				
Medvode	22	5							17	0	2	2	0	0		0,9				
CE Gajji																				
EIS TEB																				
Sv. Mohor					69	1	37	5	0	2	3	0	0							
MO Maribor																				
MB Tezno	21	4			55	0	59	21*	0*											
Pohorje					75	0	24													
EIS Anhovo																				
Morsko	15	0																		
Gorenje Polje	17	2																		
Občina Miklavž na Dravskem polju																				
Miklavž	22	8																		
MO Ptuj																				
Spuhlja	25	17																		
Občina Ruše																				
Ruše	17	0																		
Občina Grosuplje																				

* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.

Kazalo

1 Uvod	1
2 Povzetek o meritvah kakovosti zraka v Solkanu	4
3 Ocenjevanje kakovosti zunanjega zraka	6
3.1 Meritve na stalnih merilnih mestih	8
3.2 Ocena kakovosti zraka z modeliranjem in s tehniko združevanja podatkov	14
4 Nove globalne smernice Svetovne zdravstvene organizacije (WHO) o kakovosti zraka, ter nova in stara Direktiva o kakovosti zraka	15
5 Modeliranje kakovosti zunanjega zraka v visoki ločljivosti z uporabo modelov GRAMM in GRAL	17
5.1 Primer 1: modeliranje vetrovnih polj in ravni delcev PM ₁₀ na območju doline Soče	19
5.2 Primer 2: modeliranje vetrovnih polj in ravni delcev PM ₁₀ na območju Ljubljane	23
5.3 Rezultati modela GRAL s točkovnimi podatki o izpustih	27
6 Delci PM₁₀ in PM_{2,5}	29
6.1 Izpusti delcev	30
6.2 Zahteve za kakovost zraka	33
6.3 Ravni onesnaženosti	34
6.4 Epizode čezmerne onesnaženosti	47
6.5 Modelska ocena števila preseganj mejne vrednosti v letu 2022 za onesnaževalo PM ₁₀	51
6.6 Kemijska in elementna sestava delcev	52
7 Onesnaževala v delcih - benzo(a)piren in težke kovine	53
7.1 Benzo(a)piren	53
7.2 Težke kovine	56
8 Ozon	72
8.1 Zahteve za kakovost zraka	72
8.2 Ravni onesnaženosti	73
9 Dušikovi oksidi	85

9.1 Izpusti	85
9.2 Zahteve za kakovost zraka	87
9.3 Ravni onesnaženosti	87
10 Žveplov dioksid	96
10.1 Izpusti	96
10.2 Zahteve za kakovost zraka	98
10.3 Ravni onesnaženosti	98
11 Ogljikov monoksid	109
11.1 Izpusti	109
11.2 Zahteve za kakovost zraka	111
11.3 Ravni onesnaženosti	111
12 Benzen	113
12.1 Izpusti	113
12.2 Zahteve za kakovost zraka	115
12.3 Ravni onesnaženosti	115
13 Živo srebro v zraku	119
13.1 Izpusti	120
13.2 Ravni onesnaženosti	121
13.3 Primerjava ravni onesnaženosti v Evropi	122
14 Kakovost padavin	124
14.1 Raven vrednosti pH, električne prevodnosti in onesnaženosti padavin z nekaterimi anorganskimi ioni	125
14.2 Onesnaženost padavin s težkimi kovinami	137
14.3 Raven onesnaženosti padavin z živim srebrom	143
14.4 Raven onesnaženosti padavin s policikličnimi aromatskimi ogljikovodiki	145
15 Črni ogljik	148
15.1 Zahteve za kakovost zraka	149
15.2 Ravni onesnaženosti	149
16 Literatura	154

1. Uvod

Onesnaženost zraka v Evropi je tako lokalni kot tudi regionalni problem. Onesnaževala, izpuščena v eni državi, se lahko namreč prenašajo v ozračje in prispevajo k slabi kakovosti zraka tudi v okoliških državah. [1]

Trdni delci , dušikov dioksid in prizemni ozon, so trenutno splošno priznani kot tri onesnaževala, ki najbolj vplivajo na zdravje ljudi. Dolgotrajna visoka izpostavljenost tem onesnaževalom se razlikuje po resnosti vpliva, od okvare dihalnega sistema do prezgodnje smrti. Približno 90 % mestnih prebivalcev v Evropi je izpostavljenih ravnem onesnaženja, ki so višje od ravni kakovosti zraka, ki se šteje kot zdravju škodljivo. Ocenjeno je, da drobni delci ($PM_{2,5}$) v zraku skrajšajo pričakovano življenjsko dobo v EU za več kot osem mesecev. [1]

Onesnaženost zraka škodi tudi našemu okolju:

- Zakisljevanje se je med letoma 1990 in 2010 znatno zmanjšalo na območjih občutljivih evropskih ekosistemov, ki so bila izpostavljena kislemu usedanju presežka žveplovih in dušikovih spojin.
- Evtrofikacija, okoljski problem, ki ga povzroča prekomerni vnos hrani v ekosisteme, je doživel manjši napredok. Območje občutljivih ekosistemov, ki jih prizadene čezmerna količina atmosferskega dušika, se je med letoma 1990 in 2010 le malo zmanjšalo.
- Škoda na pridelku je posledica izpostavljenosti visokim koncentracijam ozona. Večina kmetijskih pridelkov je izpostavljena ravnem ozona, ki presegajo dolgoročni cilj EU za zaščito vegetacije. To vključuje predvsem znaten delež kmetijskih površin, zlasti v južni, srednji in vzhodni Evropi.

Za kakovost zraka pa ni nujno, da se le-ta izboljuje v skladu s splošnim zmanjšanjem antropogenih izpustov onesnaževal zraka. Razlogi za to so med drugim tudi v tem, da razmerje med zmanjšanjem izpustov in zmanjšanjem ravni onesnaževal zraka ni vedno linearno, kar je v večini primerov posledica prispevka prenosa onesnaževal zraka na dolge razdalje iz drugih držav. [1]

Obstajajo različni **viri onesnaževanja zraka**, tako antropogenega kot naravnega izvora:

- kurjenje fosilnih goriv v proizvodnji električne energije, prometu, industriji in gospodinjstvih;
- industrijski procesi in uporaba topil, na primer v kemični in mineralni industriji;
- kmetijstvo;

- obdelava odpadkov;
- vulkanski izbruhi, puščavski prah, pršenje morske soli in izpusti hlapnih organskih spojin iz rastlin so primeri naravnih virov emisij.

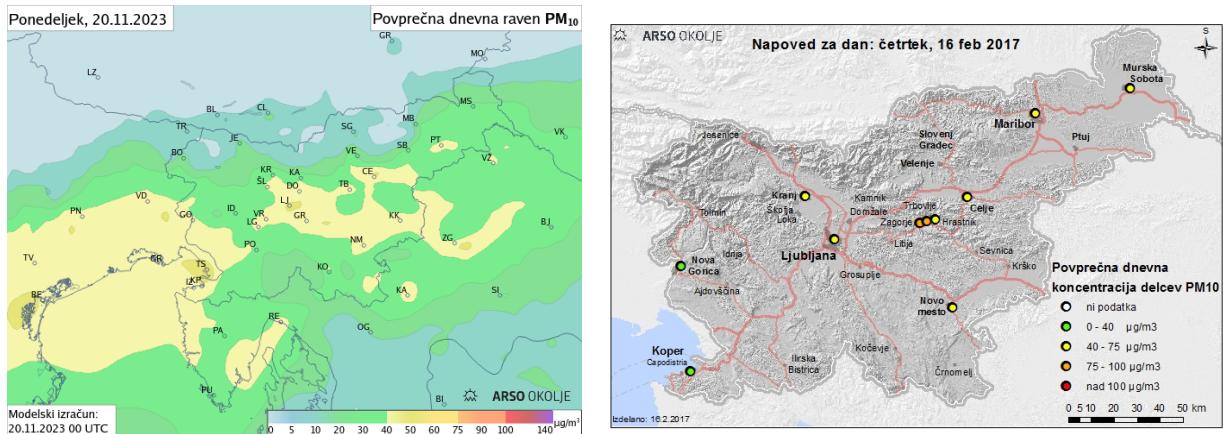
Dolgoročni cilj EU je doseči ravni kakovosti zraka, ki ne povzročajo nesprejemljivih vplivov in tveganj za zdravje ljudi in okolje. EU deluje na več ravneh za zmanjšanje izpostavljenosti onesnaženosti zraka: z zakonodajo; sodelovanje s sektorji, odgovornimi za onesnaževanje zraka, ter mednarodnimi, nacionalnimi in regionalnimi organi ter nevladnimi organizacijami. Cilj politik EU je zmanjšati izpostavljenost onesnaženemu zraku z zmanjšanjem izpustov ter določitvijo mejnih in ciljnih vrednosti za kakovost zraka. [1]

Na Agenciji RS za okolje (ARSO) spremljamo kakovost zraka v Sloveniji že več desetletij. Skladno s Pravilnikom o ocenjevanju kakovosti zunanjega zraka [2] zagotavljamo v okviru državne meritne mreže na stalnih meritnih mestih zanesljive in kakovostne **meritve** delcev PM₁₀ in PM_{2,5}, ozona (O₃), žveplovega dioksida (SO₂), ogljikovega monoksida (CO), dušikovega dioksida (NO₂), dušikovih oksidov (NO_x), svinca (Pb), benzena (C₆H₆), arzena (As), kadmija (Cd), niklja (Ni) in benzo(a)pirena (B(a)P). Pričenjamo tudi z izvajanjem meritev črnega ogljika (ČO) in številčne gostote delcev. Občasno izvajamo meritne 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 [3], in programu Svetovne meteorološke organizacije o Opazovanju atmosfere zemlje (WMO-GAW).

Kot dopolnitev meritvam pri ocenjevanju kakovosti zraka, analizah vzrokov čezmerne onesnaženosti in za potrebe napovedovanja ravni onesnaževal na ARSO uporabljamo **numerične modele**. V regionalni skali imamo vzpostavljen disperzijsko-fotokemijski model CAMx, sklopljen z meteorološkim modelom ALADIN, katerega napovedi ozona in delcev PM₁₀ so dnevno dostopne tudi javnosti na naših spletnih straneh. Prostorsko podrobne ocene onesnaženosti zraka (karte onesnaženja) pripravljamo s pomočjo postopkov združevanja modelskih rezultatov in meritev posameznih onesnaževalih (angl. data-fusion). Za modeliranje disperzije onesnaževal v lokalni skali uporabljamo modelski orodji CALMET/CAMPUFF in GRAMM/GRAL.

Ocene kakovosti zraka skupaj z opisom načina ocenjevanja letno **poročamo** Evropski okoljski agenciji (EEA). Poročani podatki so osnova za ugotavljanje skladnosti z mejnimi in ciljnimi vrednostmi ravni onesnaževal v zraku in predstavljajo podlago za določanje ukrepov, njihovih učinkih in politikah zmanjševanja čezmerne onesnaženosti. Na podlagi poročanih podatkov EEA na spletnih straneh prikazuje različne statistike in podatke o onesnaženosti zraka za evropske države, tudi za Slovenijo (<https://www.eea.europa.eu/themes/air>). Meritve regionalnega ozadja onesnaženosti zraka in padavin dodatno poročamo v okviru sodelovanja v programih EMEP in WMO-GAW.

Javnosti posredujemo informacije o kakovosti zraka s sprotno **objavo podatkov** avtomatskih meritnih postaj na spletnih straneh ARSO in na teletekstu nacionalne televizije. Mesečno pregledane podatke meritev objavimo v mesečnem biltenu Naše okolje. Rezultati meritev, objavljeni v letnem poročilu so dodatno preverjeni na več stopnjah kontrole in imajo status dokončnih podatkov. Na spletnih straneh ARSO objavljamo tudi druga poročila o dodatnih meritvah, študijah in modeliranju kakovosti zraka. V primeru prekemerne onesnaženosti zraka z delci PM₁₀ ali ozona z



Slika 1.1: Primer javnosti dostopne nove modelske napovedi dnevnega povprečja delcev PM₁₀ (levo) in primer stare napovedi pričakovanega razreda onesnaženosti za posamezna mesta (desno).

izdajo obvestil oziroma opozoril prebivalcem omogočimo, da lahko zmanjšajo svojo izpostavljenost onesnaženemu zraku. Ob epizodah povišane onesnaženosti z delci PM₁₀ želimo prebivalce tudi nagovoriti, da s svojim ravnanjem pripomorejo k nižjim izpustom onesnaževal. V ta namen dnevno izdajamo **napoved** kakovosti zraka: napoved ravni delcev PM₁₀ in napoved ravni ozona. Obenem prikazujemo trenutno stopnjo onesnaženosti zraka z **indeksom** kakovosti zunanjega zraka, ki hkrati upošteva ravni več onesnaževal, in sicer delcev PM₁₀, PM_{2,5}, NO₂, SO₂ in O₃.

V tem poročilu prikazujemo rezultate meritev kakovosti zraka v letu 2022. V posebnem poglavju so prikazani rezultati spremljanja kakovosti padavin, s katerimi se onesnaževala izpirajo iz zraka in vnašajo v vode in tla. Na več mestih smo za pomoč pri razlagi epizod onesnaženja dodali rezultate modelskih izračunov. Pri posameznih onesnaževalih navajamo podatke o izpustih iz državnih evidenc, ki se vodijo na ARSO [4]. V poročilu je letos dodano tudi poglavje o meritve črnega ogljika. V posebnem poglavju so predstavljene tudi nove globalne smernice Svetovne zdravstvene organizacije (WHO) o kakovosti zraka, ter informacije o predlogu nove Direktive o kakovosti zraka. Dodano je tudi poglavje o modeliranju disperzije onesnaževal v lokalni skali z modelskim orodjem GRAMM/GRAL. Podajamo pa tudi povzetek o dodatnih meritvah kakovosti zraka v Solkan.

2. Povzetek o meritvah kakovosti zraka v Solkanu

V letu 2022 je Agencija RS za okolje na pobudo Mestne občine Nova Gorica izvedla meritve delcev PM_{2,5} in PM₁₀ v Solkanu z mini postajo (slika 2.1) . Merilno mesto je bilo locirano nasproti Livarne Gorica. Letni izpusti delcev PM₁₀ (v nadaljevanju izpusti) v Solkanu, kot tudi Novi Gorici ne izstopajo od slovenskega povprečja, če jih merimo na nivoju naselja. Glede na vir onesnaženja izpusti v Solkanu izvirajo: iz industrije 54 % (4,3 t), iz prometa 26 % (2,1 t) ter iz ogrevanja 20 % (1,6 t). Kmetijstvo je zanemarljivi vir onesnaženja z delci PM₁₀. Tako visok delež izpustov industrije pri Solkanu je posledica Livarne Gorica, ki izpusti v ozračje na leto za 3,3 tone PM₁₀. To je tudi 22. največji individualni izpust delcev (PM₁₀) v Sloveniji.



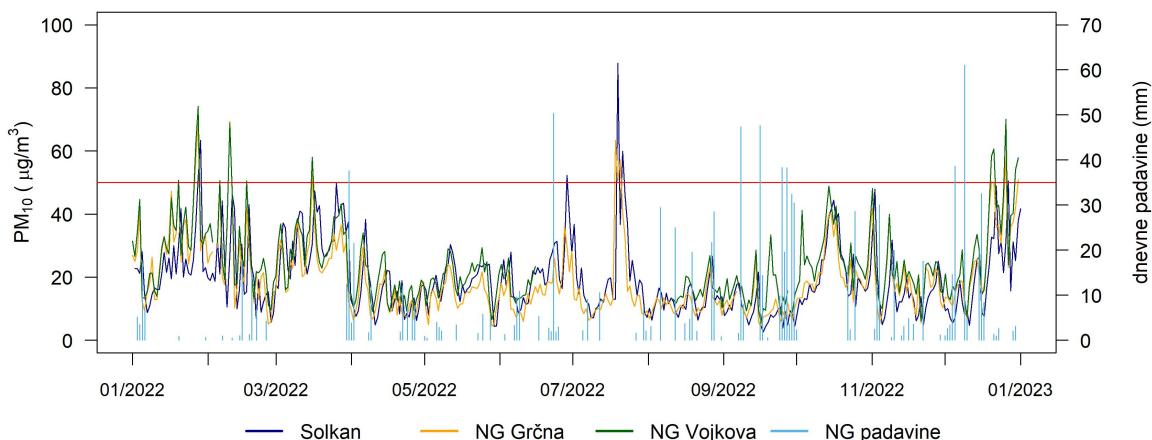
Slika 2.1: Mini postaja na merilnem mestu Solkan nasproti Livarne Gorica.

Rezultate meritev v Solkanu smo primerjali z meritvami izvedenimi na stalnih merilnih mestih Nova Gorica Grčna in Nova Gorica Vojkova. V tabeli 2.1 so prikazane povprečne letne vrednosti $PM_{2,5}$ in PM_{10} ter število preseganj mejne dnevne vrednosti PM_{10} v letu 2022 iz vseh treh merilnih mest. Na sliki 2.2 je poleg dnevnih podatkov delcev PM_{10} prikazana še dnevna količina padavin.

Tabela 2.1: Povprečne letne ravni (C_p) $PM_{2,5}$ in PM_{10} ter število preseganj mejne dnevne vrednosti (MV) za delce PM_{10} na vseh treh merilnih mestih v letu 2022. Ravni delcev so podane v $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Merilno mesto	$C_p PM_{2,5}$	$C_p PM_{10}$	MV
Solkan	13	19	5
NG Grčna	13	19	9
NG Vojkova	/	24	10
Mejna vrednost	20	40	35*

* Dovoljeno število dni preseganj v koledarskem letu.



Slika 2.2: Prikaz dnevnih ravni delcev PM_{10} na merilnih mestih Solkan, Nova Gorica Grčna in Nova Gorica Vojkova. Ravni delcev so podane v $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Prikaz količine dnevnih padavin v Novi Gorici v mm. Rdeča črta označuje dnevno mejno vrednost $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ki je lahko prekoračena 35-krat v letu.

Povprečne letne ravni $PM_{2,5}$ in PM_{10} izmerjene v Solkanu so bile v letu 2022 nižje od predpisanih mejnih vrednosti. Primerjava rezultatov meritev iz Solkana in stalnega merilnega mesta v Novi Gorici Grčna pokaže, da so maksimalne izmerjene ravni obeh onesnaževal višje na stalnem merilnem mestu v Novi Gorici Grčna. Letne ravni delcev $PM_{2,5}$ in PM_{10} pa se ne razlikujejo med obema merilnima mestoma. Podrobnejša analiza rezultatov je prestavljena v poročilu: Poročilo o meritvah kakovosti zraka v Solkanu v letu 2022, ki je objavljeno na spletni strani Agencije [5].

3. Ocenjevanje kakovosti zunanjega zraka

V skladu z Uredbo o kakovosti zunanjega zraka [6] in Pravilnikom o ocenjevanju kakovosti zunanjega zraka [2] lahko ocenjevanje kakovosti zunanjega zraka opravljamo s pomočjo rezultatov meritov na stalnih meritnih mestih, z indikativnimi meritvami, modeliranjem kakovosti zraka ter z objektivnimi ocenami. Za meritve na stalnih meritnih mestih zakonodaja predpisuje strožje zahteve za kakovost in razpoložljivost rezultatov meritov 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 3.1 in 3.2). Za ocenjevanje kakovosti zunanjega zraka glede na ravni SO_2 , NO_2 , CO , O_3 , C_6H_6 , PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$ in BaP je Slovenija razdeljena na celinski (SIC) ter primorski (SIP) del. Za težke kovine je zaradi svoje specifike iz območja celotne Slovenije (SITK) izvzeta Zgornja Mežiška dolina (SITK-ZMD).

Način ocenjevanja kakovosti zraka je odvisen od onesnaženosti posameznega območja oziroma aglomeracij. Če je onesnaženost višja, so meritve nujne in morajo biti kakovostnejše. Pravilnik o kakovosti zunanjega zraka določa za posamezno onesnaževalo spodnji in zgornji ocenjevalni prag. Število stalnih meritnih mest je natančno določeno za območja, kjer je presežen spodnji ocenjevalni prag posameznega onesnaževala. Kadar so ravni posameznega onesnaževala pod spodnjim ocenjevalnim pragom, zadostujeta za ocenjevanje kakovosti zraka objektivna ocena ali modeliranje. V primeru, ko so ravni nad spodnjim ocenjevalnim pragom, so v posameznem območju ali aglomeraciji obvezne meritve na stalnih meritnih mestih, lahko pa se dopolnijo s tehnikami modeliranja in/ali z indikativnimi meritvami. V nadaljevanju so predstavljene meritve na stalnih meritnih mestih, uporabljeni za potrebe ocenjevanja kakovosti zunanjega zraka v letu 2022.

Tabela 3.1: 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	
<hr/>		
Oznaka aglomeracije	Ime aglomeracije	
SIL	Ljubljana	
SIM	Maribor	

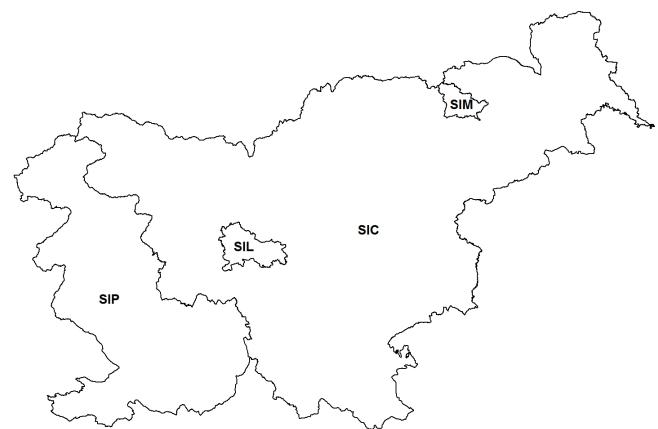


Tabela 3.2: Območja in aglomeracije v Republiki Sloveniji glede na svinec, arzen, kadmij in nikelj.

Oznaka območja	Ime območja	Karta območij in aglomeracij
SITK	območje težke kovine	
SITK-ZMD	območje Zgornje Mežiške doline	
<hr/>		
Oznaka aglomeracije	Ime aglomeracije	
SIL	Ljubljana	
SIM	Maribor	



3.1 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. V letu 2021 smo zaključili projekt Sinica, kjer smo državno merilno mrežo za spremeljanje kakovosti zunanjega zraka (DMKZ) popolnoma prenovili in posodobili. V prvem obdobju delovanja DMKZ je bil poudarek na meritvah ravni žveplovega dioksida. Kasneje smo merilno mrežo postopoma širili in nadgradili še z meritvami drugih onesnaževal. DMKZ je v letu 2022 sestavljalo 22 merilnih mest.

Z meritvami v DMKZ zagotavljamo osnovne podatke o kakovosti zraka v Sloveniji. Poleg meritev v DMKZ se v okviru drugih merilnih mrež izvajajo meritve kakovosti zraka tudi v okolici nekaterih večjih energetskih in industrijskih objektov z namenom spremeljanja vplivov le teh na kakovost zraka. Dodatne meritve zagotavljajo tudi nekatere lokalne skupnosti. V tem poročilu so tako poleg rezultatov meritev DMKZ navedeni tudi rezultati meritev merilnih mrež termoelektrarn (TEŠ, TEB in TE-TOL), cementarne Salonit Anhovo, mestnih občin Ljubljana, Maribor, Ptuj in Celje ter občin Miklavž na Dravskem polju, Ruše in Medvode. Na ARSO se je od pomladi 2016 do pomladi 2021 izvajal kohezijski projekt Sinica, v okviru katerega smo med drugim posodobili DMKZ. Merilna mreža je bila tako v letu 2022 že vsa posodobljena in je delovala v celotnem obsegu. Smo pa v letu 2022 na merilnem mestu LJ Bežigrad dodatno uvedli še meritve CO, da lahko v Sloveniji ravni tega onensaževala ocenimo z tudi z meritvami, čeprav so vrednosti zelo nizke in bi za ocenjevanje zadostovali modelski rezultati ali objektivna ocena.

Merilna mesta so klasificirana glede na mikrolokacijo (tabela 3.3), ki je določena v Pravilniku o ocenjevanju kakovosti zunanjega zraka [2]. 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 spremeljanje transporta toplogrednih plinov in fotooksidantov. Na obeh merilnih mestih v neobremenjenem okolju se spreminja 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 PM₁₀ 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 PM₁₀ zbranih na filtri.

Poleg referenčnih meritev delcev PM₁₀ na vseh merilnih mestih DMKZ, razen v Velenju, Žerjavu in v Novi Gorici ob Vojkovi cesti 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 obdobjij s prekomerno onesnaženostjo, ne pa za določanje skladnosti z mejnimi vrednostmi.

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 3.3 so navedeni geografski podatki in klasifikacija posameznih merilnih mest, kjer so leta 2022 potekale meritve kakovosti zunanjega zraka. Nabor merjenih onesnaževal in meteoroloških parametrov po merilnih mestih je prikazan v tabeli 3.4. V nadaljevanju poročila so poleg rezultatov meritev iz leta 2022 predstavljeni tudi podatki za merilna mesta, kjer meritve več ne potekajo. Podatki o teh merilnih mestih so zabeleženi v starejših letnih poročilih o Kakovosti zraka v Sloveniji.

Meritve kakovosti padavin v okviru državne merilne mreže kakovosti padavin (DMKP), ki jih izvaja ARSO, potekajo na petih po Sloveniji enakomerno razporejenih, merilnih mestih. V tabeli 3.5 so podana merilna mesta za meritve kakovosti padavin v letu 2022, ki delujejo v okviru DMKP. Nabor meritev za ugotavljanje kakovosti padavin na merilnih mestih DMKP je podan v tabeli 3.6. 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 3.3: Nadmorska višina (NV), koordinati (GKK_y, GKK_x), tip merilnega mesta, tip območja in značilnosti območja za stalna merilna mesta kakovosti zunanjega zraka.

Merilno mesto	NV	GKKy	GKKx	Tip merilnega mesta	Tip območja	Značilnost območja
DMKZ						
CE bolnica	240	520614	121189	B	U	R
CE Ljubljanska	240	519361	121312	T	U	R
Hrastnik	290	506805	111089	B	U	IR
Iskrba	540	489292	46323	B	R(REG)	N
Koper	56	399911	45107	B	U	R
Kranj	388	451188	122160	B	U	R
Krvavec	1740	464447	128293	B	R(REG)	N
LJ Bežigrad	299	462673	102490	B	U	RC
LJ Celovška	305	460697	103230	T	U	R
LJ Vič	293	460839	99383	B	U	R
MB Titova	270	550305	157414	T	U	RC
MB Vrbanski	280	548366	158452	B	U	R
MS Cankarjeva	189	589087	168854	T	U	RC
MS Rakičan	188	591552	168260	B	R(NC)	A
NG Grčna	113	395909	91034	B	U	RC
NG Vojkova	104	395923	90794	T	U	R
Novo mesto	214	514163	73066	B	U	R
Otlica	918	415980	88740	B	R(REG)	N
Ptuj	230	567737	142758	B	U	R
Trbovlje	250	504537	112598	B	U	RC
Zagorje	241	500070	109663	T	U	RCI
Žerjav	543	490348	149042	I	R	RA
Dopolnilna merilna mreža						
EIS TEŠ						
Pesje	391	506513	135806	B	S	IR
Škale	423	507764	138457	B	S	IR
Šoštanj	362	504504	137017	I	S	I
Mobilna TEŠ	359	504056	136719	I	S	IR
Zavodnje	765	500244	142689	I	R(REG)	A
Velenje	389	508928	135147	B	U	RCI
Topolšica	399	501977	140003	B	S	IR
Veliki Vrh	555	503542	134126	I	R(REG)	A
Graška gora	774	509905	141184	I	R(REG)	A
OMS MO Ljubljana						
LJ Center	300	461919	101581	T	U	RC
EIS TE-TOL						
Zadobrava	280	468151	103114	B	S	RA
MO Celje						
CE Gaji	240	522888	122129	B	U	IC
EIS TEB						
Sv. Mohor	390	537299	93935	B	R	A
MO Maribor						
MB Tezno	268	552539	154068	B	U	R
Pohorje	725	544682	148933	B	R	A
EIS ANHOVO						
Morsko	130	394577	103945	B	R	AI
Gorenje Polje	120	393826	102975	B	R	AI
Občina Miklavž na Dravskem polju						
Miklavž	260	554400	151105	T	R	R
MO Ptuj						
Spuhlja	219	570182	141322	T	S	R
Občina Ruše						
Ruše	302	539870	155217	B	R	RC
Občina Medvode						
Medvode	346	454441	111411	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 3.4: Meritve onesnaževal in meteoroloških parametrov na stalnih merilnih mestih v letu 2022.

Merilno mesto	SO ₂	O ₃	NO ₂ , NO _x	PM ₁₀	PM _{2,5}	CO	Benzен	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				+								+
Deskle	+	+	+	+	+	+	+	+	+			+
Hrastnik				+								+
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												
Pesje	+			+								
Škale	+		+	+								+
Šoštanj	+		+	+								+
Mobilna TEŠ	+	+	+	+								+
Zavodnje	+	+	+									+
Velenje	+	+										+
Topolšica												+
Veliki Vrh												+
Graška gora	+											+
OMS MO LJUBLJANA												
LJ Center	+		+	+				+				+
EIS TE-TOL												
Zadobrava	+	+	+	+				+				+
MO Celje												
CE Gaji	+		+	+								
EIS TEB												
Sv. Mohor	+	+	+									+
MO MARIBOR												
MB Tezno	+	+	+									+
Pohorje	+											
EIS ANHOVO												
Morsko				+								
Gorenje Polje				+								
Občina Miklavž na Dravskem polju												
Miklavž				+								
MO Ptuj												
Spuhlja				+								
Občina Ruše												
Ruše				+								

PM₁₀: delci z aerodinamičnim premerom do 10 µm

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

PAH: policklčni 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: temperaturo 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 3.5: Nadmorska višina in koordinate meritnih mest za meritve kakovosti padavin v DMKP.

	NV	GKKy	GKKx
Iskrba	540	489292	46323
LJ Bežigrad	299	462673	102490
MS Rakičan	188	591591	168196
Rateče	864	401574	151142
Škocjan	420	421891	58228

Tabela 3.6: Nabor meritev za ugotavljanje kakovosti padavin na meritnih 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-}

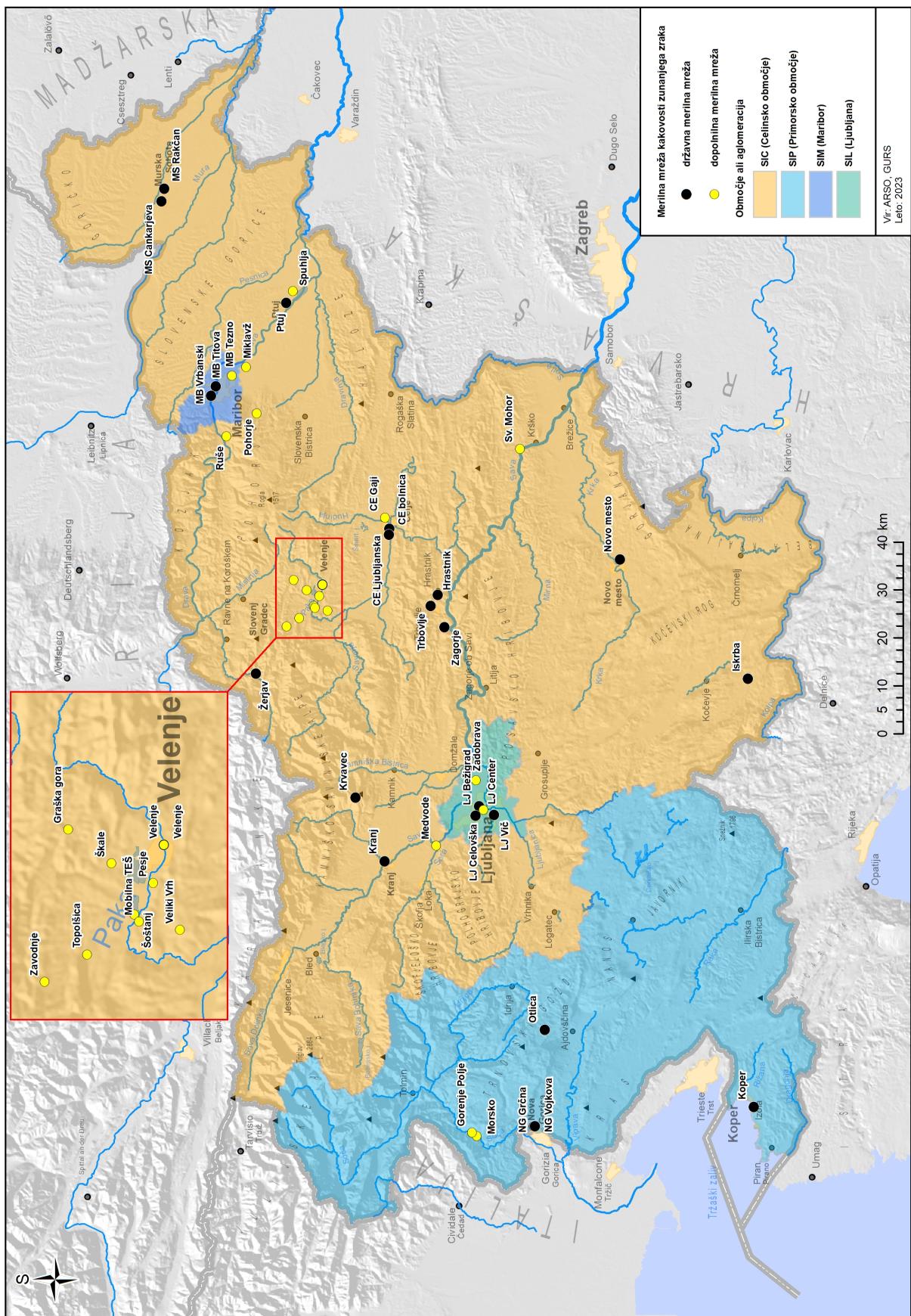
Policiklični aromatski ogljikovodiki (PAH):

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 3.1: Merilna mreža kakovosti zunanjega zraka v letu 2022.

3.2 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 PM₁₀ in O₃, 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 [7].

3.2.1 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 [8]. 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 PM₁₀, PM_{2,5} in NO₂, ter letna povprečja dnevnih maksimumov 8-urnih drsečih povprečij za O₃. Rezultati za leto 2021 so v poročilu predstavljeni na koncu vsakega posameznega poglavja, kjer so opisana prej omenjena onesnaževala (PM₁₀, PM_{2,5}, NO₂ in O₃).

4. Nove globalne smernice Svetovne zdravstvene organizacije (WHO) o kakovosti zraka, ter nova in stara Direktiva o kakovosti zraka

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.

Svetovna zdravstvena organizacija (WHO) je septembra 2021 izdala nove smernice o kakovosti zraka. Od leta 2005, ko so bile objavljene zadnje smernice WHO o kakovosti zraka, so bile narejene številne raziskave, ki podajajo dokaze kako onesnažen zrak deluje na zdravje ljudi. Smernice so nastale, kot posledica vse večje ogroženosti zdravja prebivalcev zaradi onesnaženega zraka. Raziskave ugotavljajo visoko stopnjo povezanosti kakovosti zraka z boleznimi srca in in ožilja, dihalnimi obolenji, nevrološkimi obolenji, sladkorno bolezni in težavami v reproduktivnem sistemu. Vsako leto izpostavljenost onesnaževalom v zraku povzroči 7 milijonov prezgodnjih smrti in še več milijonov izgubljenih zdravih let življenja. Prav na podlagi teh znanstvenih ugotovitev so se znanstveniki odločili za strožje smernice in znižali nivoje priporočenih ravni za naslednja onesnaževala: PM_{2,5}, PM₁₀, NO₂, CO, O₃, SO₂.

V smernicah so še posebej izpostavljene najbolj ranljive skupine prebivalcev, to so starejši, kronični bolniki, nosečnice, otroci in delavci, ki so na delavnem mestu bolj izpostavljeni vplivom slabše kakovosti zraka. Poglavitni cilj je, da bi vse države dosegle nove priporočene vrednosti. Avtorji se zavedajo, da je to zelo težka naloga za veliko držav in/ali regij, kjer je onesnažen zrak najbolj pereč problem. WHO je predlagala vmesne cilje za postopno izboljšanje kakovosti zraka. V dokumentu so opisana priporočila kako si države pomagajo k postopnem izboljšanju kakovosti zraka.

Za Slovenijo, velja, da je največji problem z onesnaženostjo zraka predvsem pozimi 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 pa je problematično predvsem poleti. Ima bolj regionalne razsežnosti, kot onesnaženost z delci. Najvišje vrednosti so zabeležene na Primorskem in v višje ležečih krajih.

Tabela 4.1: Priporočene WHO smernice kakovosti zraka za leto 2021, stare smernice iz leta 2005 [9], stara zakonodaja o kakovosti zraka.

Onesnaževalo	Interval povprečenja	AQ direktiva (trenutno veljavni standardi kakovosti)	Predlog nove AQ direktive (standardi kakovosti po 1.1.2030)	WHO smernice 2005	WHO smernice 2021
$\text{PM}_{2,5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Koledarsko leto 20 24 ur	20 -	10 25 (18 dovoljenih preseganj)	10 25 (*)	5 15 (*)
PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Koledarsko leto 40 24 ur	40 50 (35 dovoljenih preseganj)	20 45 (18 dovoljenih preseganj)	20 50 (*)	15 45 (*)
O_3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Vrhunec sezone (**) maksimalna dnevna 8-urna povprečna vrednost	- 100 (dolgoročno)	- 120 maksimalna dnevna 8-urna povprečna vrednost (25 dni dovoljenih preseganj, povprečeno v 3 letih)	- 120 (18 dni dovoljenih preseganj, povprečeno v 3 letih)	- 100 (*)
NO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Koledarsko leto 24 ur 1 ura	40 -	40 200 (18 dovoljenih preseganj)	40 50 (18 dovoljenih preseganj)	10 25 (*)
SO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	24 ur 10 minut 1 ura	125 (3 dovoljena preseganja)	50 50 (18 dovoljenih preseganj)	200 (*) 200 (*)	200 (*) 40 (*)
CO (mg/m^3)	24 ur 1 ura 15 minut	- 350 (24 dovoljenih preseganj)	- 350 (1 dovoljeno preseganje)	500 500	500
Benzin ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Koledarsko leto Koledarsko leto Koledarsko leto Koledarsko leto Koledarsko leto Koledarsko leto	5 0,5 6 5 20 1	3,4 0,5 6 5 20 1,0	- 0,5 6 5 20 -	1,7 0,5 6,6 5 25 0,12
Svinec (Pb) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Arzen (As) (ng/m^3) Kadmij (Cd) (ng/m^3) Nikelij (Ni) (ng/m^3) Benzo(a)piren (ng/m^3)	Koledarsko leto Koledarsko leto Koledarsko leto Koledarsko leto Koledarsko leto	- -	- -	35 100 100 -	4 35 100 -

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

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

5. Modeliranje kakovosti zunanjega zraka v visoki ločljivosti z uporabo modelov GRAMM in GRAL

Stanje kakovosti zraka je rezultat součinkovanja več dejavnikov, predvsem vremenskih pogojev, reliefa in geografske umestitve izpustov. Za Slovenijo je značilen razgiban teren. Naselja in industrijski objekti se velkokrat nahajajo v ozkih dolinah in kotlinah. Vetrovno polje je na takšnem terenu praviloma zelo kompleksno. Pogosto prevladujejo s terenom pogojeni šibki pobočni vetrovi in kanaliziranje vetra v dolinah, še posebej ob močnejših splošnih vetrovih pa prihaja tudi do obračanja oziroma vrtinčenja vetra zaradi geografskih ovir. Posledično se lahko na razdaljah le nekaj deset metrov hitrost in smer vetra občutno razlikuje. Poleg tega so v razgibanem terenu ob šibkih vetrovih pogoste dalj časa trajajoče temperaturne inverzije, ob katerih se izpusti onesnaževal v dolinah in kotlinah akumulirajo, kar lahko privede do zelo slabe kakovosti zraka.

Merilne postaje nam omogočajo spremljanje ravni onesnaževal v zraku v neposredni okolici postaj, za ocenjevanje kakovosti zraka drugje v prostoru pa je potrebno rezultate meritev dopolniti z uporabo modelskih izračunov. Ravni onesnaženja v ozkih dolinah in med stavbami v mestih je mogoče ustrezno predstaviti šele pri uporabi visoke prostorske ločljivosti nekaj deset metrov. Na Agenciji imamo za ocenjevanje kakovosti zraka na območju Slovenije in za podporo pripravi napovedi onesnaženosti zraka z delci PM_{10} in O_3 poleg območij merilnih postaj že nekaj časa vzpostavljen regionalni disperzijsko-fotokemijski model CAMx, sklopljen z operativnim meteorološkim modelom ALADIN. CAMx je vzpostavljen v prostorski ločljivosti 4,4 km, v bodoče načrtujemo izboljšanje ločljivosti CAMx modela na 1,3 km.

Za potrebe urbanega modeliranja in za modeliranje v še večji prostorski ločljivosti smo se odločili za implementacijo modela GRAL, ki je bil razvit na Tehniški univerzi v Gradcu (TU Graz). Ime modela je okrajšava za GRAZ Lagrange, t.j. graški Lagrangeov model. GRAL z uporabo Lagrangeovih metod simulira fizikalne procese, predvsem gibanje tokov, ne upošteva pa kemijskih pretvorb med onesnaževali. Uporaben je torej za modeliranje širjenja kemijsko nereaktivnih onesnaževal.

Za kakovostno modeliranje širjenja onesnaževal v zraku je bistveno, da zagotovimo ustreerne meteorološke podatke, predvsem hitrost in smer vetra. Zasnova modela GRAL predvideva uporabo vetrovnih polj pridobljenih z modelom GRAMM (Graz Mesoscale Model, t.j. graški model za srednje ločljivosti), ki je bil prav tako razvit na TU Graz. Model GRAMM podatke meritev iz meteoroloških

merilnih postaj kombinira s podatki o reliefu in rabi tal, ter pripravi vetrovna polja v ločljivosti med 50m in 1km za uporabo v GRAL modelu. V okviru projekta SINICA so na TU Graz razvili prilagojeno različico modela GRAMM, ki poleg podatkov iz meteoroloških merilnih postaj uporabi tudi meteorološke podatke modela ALADIN. To omogoča uporabo bistveno večje količine vhodnih podatkov o vetru ter informacijo o stanju v višjih plasteh ozračja, ki je samo s prizemnimi meritvami ni mogoče zagotoviti.

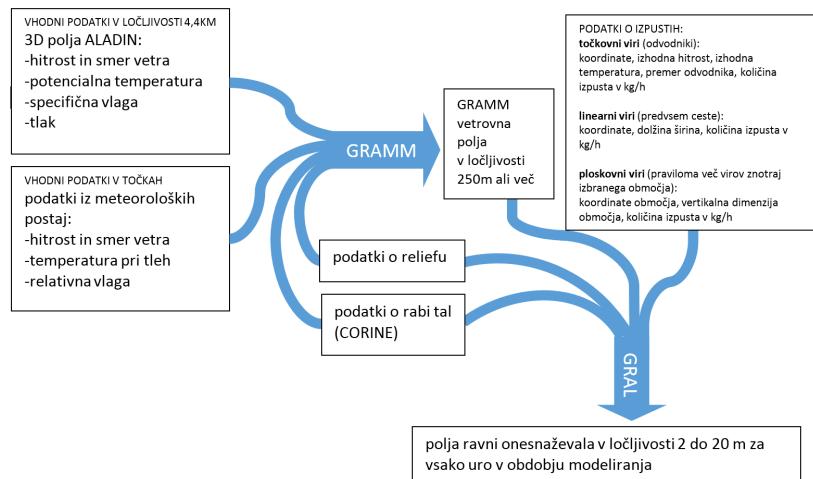
Postopek priprave modelskih izračunov v visoki ločljivosti z modelom GRAL lahko grobo povzamemo v treh korakih:

1. Z modelom ALADIN pripravimo 3D polja s podatki o hitrosti in smeri vetra, potencialni temperaturi, specifični vlažnosti in tlaku na 68 vertikalnih nivojih v horizontalni ločljivosti 4,4 km. Poleg rezultatov modela ALADIN je potrebno zagotoviti rezultate meritev meteoroloških postaj in sicer hitrost in smer vetra, temperaturo pri tleh in relativno vlažnost. Pripraviti je potrebno podatke o reliefu na obravnavanem območju ter podatke o rabi tal. Slednje pridobimo iz kataloga CORINE land cover, ki ga Evropska okoljska agencija zagotavlja v okviru projekta COPERNICUS.
2. S podatki iz prve točke zaženemo model GRAMM. Ta predvsem na podlagi ohranitvenih zakonov (zakoni o ohranitvi gibalne količine, mase in potencialne temperature) simulira gibanje zračnih tokov od začetnega stanja (na podlagi podatkov iz ALADINA in merilnih postaj), dokler se tokovi v simulaciji ne stabilizirajo in se vzpostavi kvazistacionarno stanje (kvazistacionarno stanje je definirano kot situacija, ki se spreminja dovolj počasi, da jo lahko obravnavamo kot konstantno). Simulacija poteka v časovnih korakih nekaj sekund. Ustrezno kvazistacionarno stanje se vzpostavi pri simuliraju časovnih intervalov dolgih od 10 minut do ene ure. Praviloma z GRAMMom izračunamo po eno vetrovno polje za vsako uro v obravnavanem časovnem obdobju (na primer 365x24 polj za obdobje 1 leta). Običajno uporabimo horizontalno ločljivost med 200m in 300m in najmanj 15 vertikalnih nivojev. Horizontalno ločljivost je možno povečati do 50m, a se v tem primeru poveča verjetnost numerične nestabilnosti modela. Kot bomo videli na primerih v nadaljevanju, GRAMM omogoča tudi pripravo različnih statistik na podlagi izračunanih vetrovnih polj.
3. Izračunana vetrovna polja uporabimo za zagon modela GRAL s horizontalno ločljivostjo od 2 m do 20 m. Pri zagonu upoštevamo podatke o izpustih v obliki točkovnih virov (npr. posamezni dimniki), linearnih virov (npr. ceste) in ploskovnih virov; pri slednjih lahko na zemljevidu začrtamo poljubne večkotnike in vnesemo podatke o seštevkih vseh izpustov v vsakem izmed večkotnikov. GRAL vsebuje lastne vetrovne module, ki vhodna vetrovna polja iz modela GRAMM prilagodijo na modelsko mrežo modela GRAL. GRAL simulira gibanje onesnaževal tako, da generira množico fiktivnih delcev. Ti se nato gibljejo v skladu s principi Lagrangeovih modelov po enačbi

$$x_{(i,nova)} = x_{(i,0)} + (\bar{u}_i + u'_i)\Delta t,$$

pri čemer $x_{(i,0)}$ označuje prvotno pozicijo delca v koordinatnem sistemu, $x_{(i,nova)}$ novo pozicijo, \bar{u}_i povprečeno komponento hitrosti, u'_i randomizirano verjetnostno komponento hitrosti, ki

je predvsem posledica turbulenc, in Δt časovni inkrement. Pri tem i=1,2,3 označuje tri prostorske smeri.



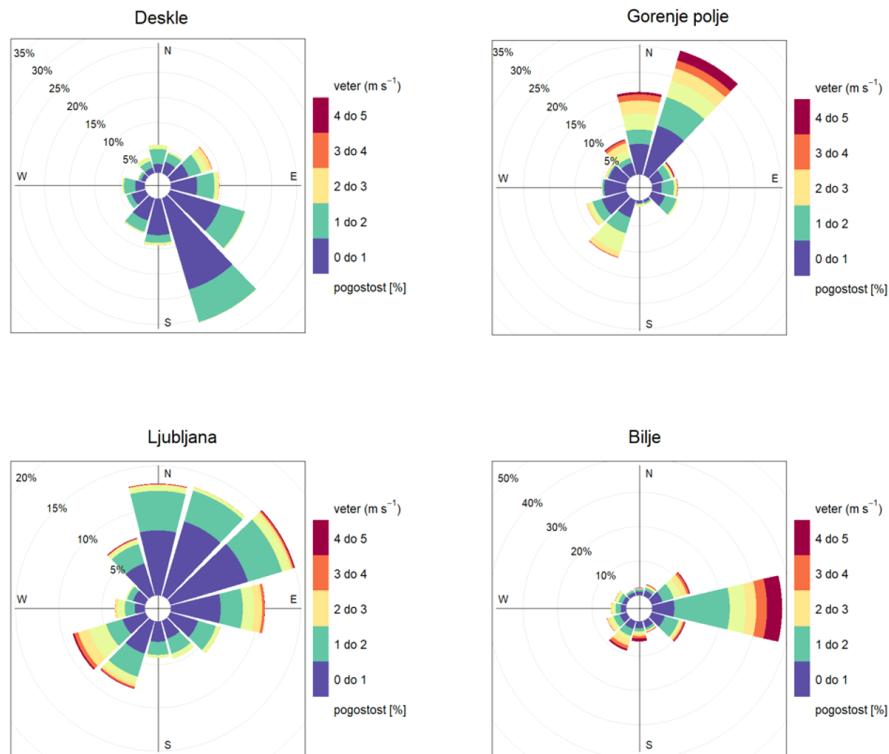
Slika 5.1: Shematski prikaz priprave modelskega izračuna z modeli ALADIN, GRAMM in GRAL.

V nadaljevanju sta prikazani modelski oceni prašnih delcev PM_{10} za območje doline Soče (Primer 1), ki je bila izbrana zaradi prikaza disperzije izpustov na kompleksnem reliefu s specifično meteorologijo ter primer Ljubljane, kjer je modelsko območje izbrano na ravnem območju. Za območje Ljubljane, sta bila izbrana 2 modelska območja z namenom prikaza disperzije izpustov iz malih kurišč in cest, ter modelsko območje, kjer prevladujejo industrijski viri izpustov. Na območju doline Soče je bila narejena podrobnejša meteorološka analiza, za prikaz disperzije snovi pa so bile uporabljeni podatki o izpustih iz osebnih vozil.

5.1 Primer 1: modeliranje vetrovnih polj in ravni delcev PM_{10} na območju doline Soče

Kot primer uporabe modelov GRAMM in GRAL smo pripravili modelsko oceno ravni delcev PM_{10} , ki izvirajo iz izpustov osebnih vozil v dolini Soče med Prilesjem pri Plavah in Desklami. Kompleksna vetrovna situacija z nasprotnimi smermi vetra na kratkih razdaljah je zanimiv primer predvsem za prikaz delovanja modela GRAMM. V razgibanem terenu sta moč in smer vetra pogojena z okoliško topografijo. Okolišni grebeni segajo okvirno do nekje 700 m n.m.v., teren se iz n.m.v. 100 m v dolini dvigne za približno 600 m na razdalji 2 do največ 3 km. Pogosti so pobočni vetrovi (ponoči šibka drsenja zraka po pobočju navzdol in podnevi šibka dviganja zaradi segrevanja prisojnih pobočij), poleg tega se v dolini veter kanalizira, ob orografskih ovirah pa obrača in ustavlja preko vrtincev različnih dimenzij. Prevladujoča smer vetra se lahko že na majhnih razdaljah močno spremeni, kot je razvidno tudi iz meritev v dolini. Na sliki 5.2 sta prikazani vetrovni roži na lokacijah Deskle in Gorenje polje. Čeprav se merilni mestni nahajata v dolini na oddaljenosti približno 1 kilometer, sta vetrovni roži na obeh lokacijah zelo različni. Na lokaciji Gorenje polje prevladuje SSV veter, ki je posledica kanaliziranja zraka vzdolž doline na tem merilnem mestu. V Desklah je situacija

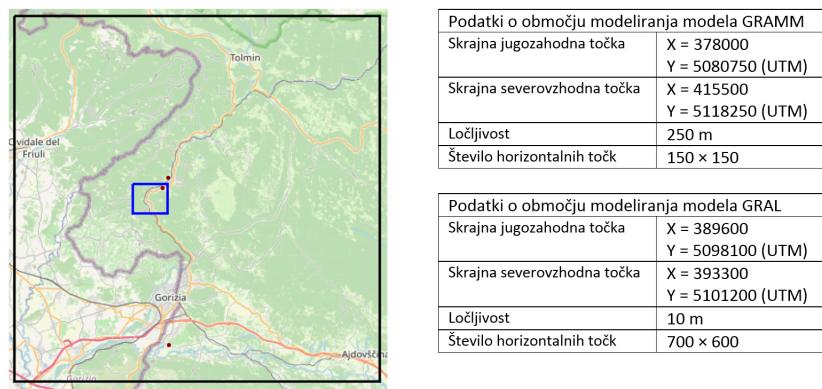
drugačna. Prevladuje JJV, najverjetneje zaradi vpliva stranske doline in pobočnih vetrov, pa tudi zaradi obračanja oziroma vrtinčenja vetra v dolini kot to določa relief.



Slika 5.2: Vetrovni roži prikazujeta porazdelitev jakosti vetra po različnih smereh v letu 2021 na merilnih mestih Deskle, Ljubljana Bežigrad, Bilje ter na lokaciji Gorenje Polje.

5.1.1 Osnovni podatki o modelskem zagonu

Zagon je bil izveden za celotno leto 2018 s parametri predstavljeni na sliki 5.3:

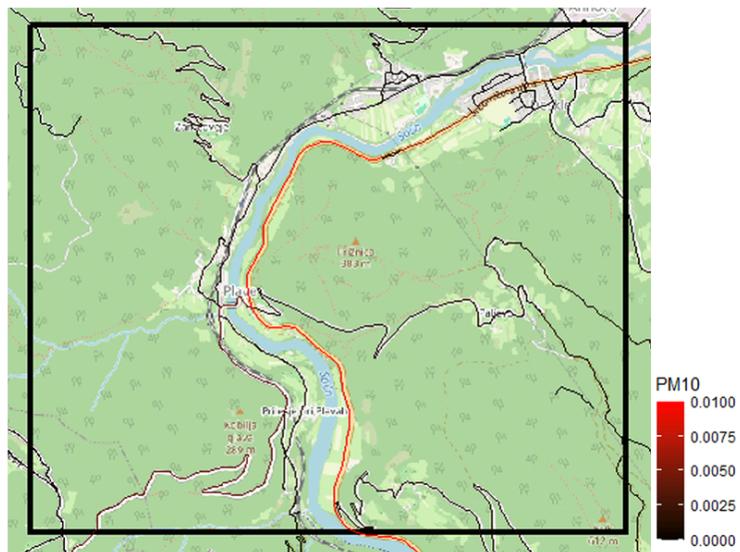


Slika 5.3: S črno bravo je označena območje modela GRAMM, z rdečo pa območje modeliranja z modelom GRAL. Rdeče točke označujejo meteorološke postaje, uporabljenе pri izračunih z modelom GRAMM.

Meteorološki podatki: Izračuni modela ALADIN, meritve, ki jih je izvedel SALONIT Anhovo na lokaciji Gorenje Polje (13.62° , 46.06°), meritve, ki jih je izvedel ARSO na lokaciji Deskle (13.61° ,

$46,05^\circ$ ter meritve iz meteorološke postaje Bilje ($13,62^\circ$, $45,9^\circ$).

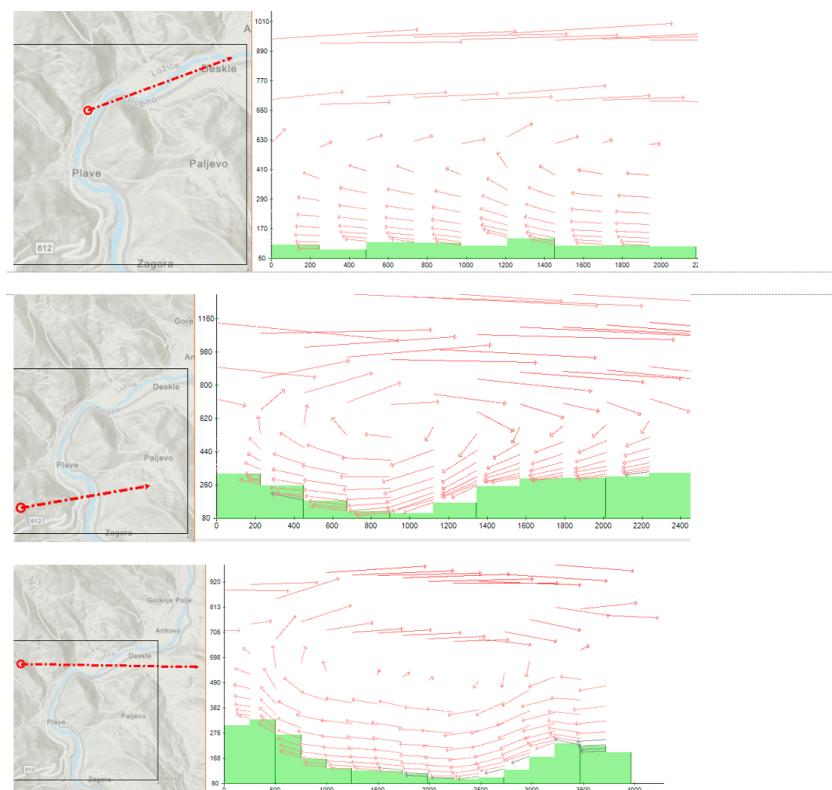
Podatki o izpustih: Uporabljeni so bili podatki o izpustih za osebna vozila za leto 2018. Podatki smo vnesli v linearne oblike; za vsako izmed daljic na sliki 5.4 je podana ocena podatki o izpustih v kg/h/km.



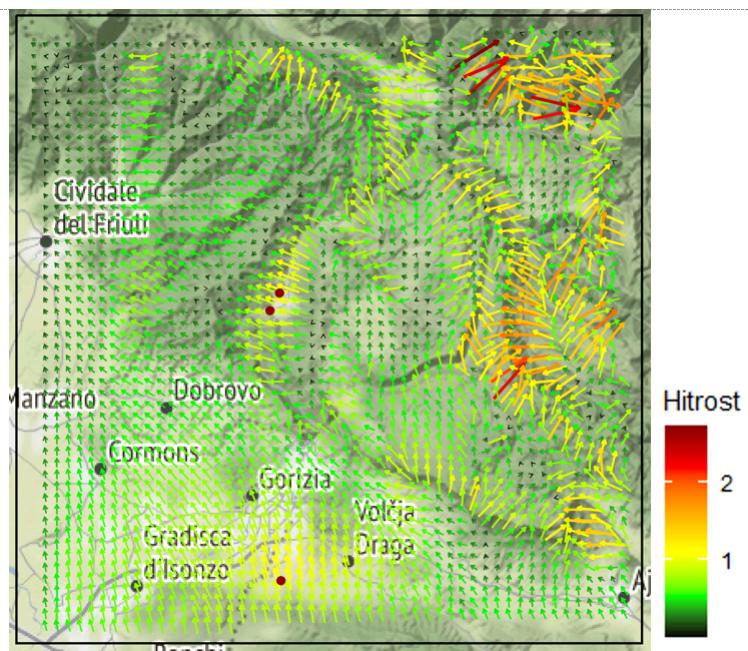
Slika 5.4: Podatki o izpustih v kg/h/km. Uporabljeni so bili samo podatki znotraj GRAL območja modeliranja (črni okvir).

5.1.2 Rezultati modela GRAMM

Rezultati izračunov modela GRAMM kažejo, da na obravnavanem območju prihaja do obračanja vetra in nastajanja lokalnih vetrovnih vrtincev. Simulirani vrtinci so zelo občutljivi na manjše spremembe in na manjkajoče podrobnosti o reliefu. Manjša odstopanja v vhodnih podatkih lahko tako privedejo do velikih odstopanj vrednosti simuliranih koncentracij v posameznih točkah. Vetrovni vrtinci so ponazorjeni na spodnjih vetrovnih presekih vz dolž preseka označenega z rdečo črto na zemljevidih na levi strani.



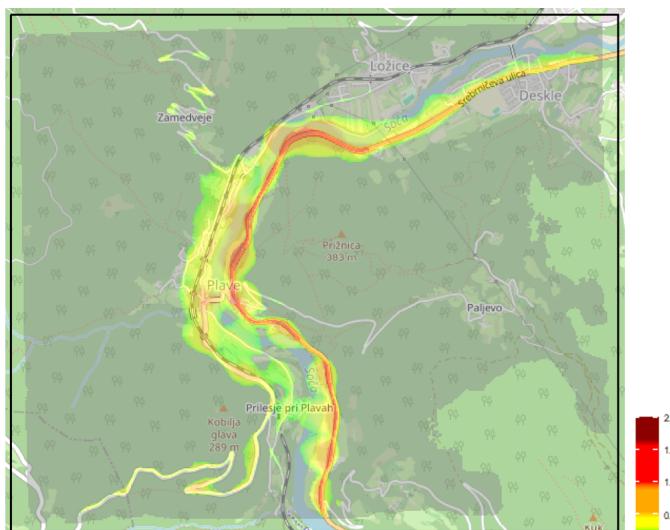
Slika 5.5: Primeri situacij kanaliziranja veta vzdolž doline, ustavljanja in vrtinčenja zraka v dolini. Rdeča črta na levi prikazuje smer preseka od leve proti desni. Primeri situacij se nanašajo na termin 1.1.2021 ob 00:00. Črni okvir predstavlja območje modeliranja z modelom GRAL.



Slika 5.6: Simulirana vetrovna situacija 1.1.2021 ob 00:00, prikazano je vetrovno polje na višini 10m. Hitrost veta je podana v m/s.

5.1.3 Rezultati modela GRAL

Delci PM₁₀ iz izpustov osebnih vozil večinoma ostajajo v neposredni bližini cest. Nekoliko izstopajo rahlo povečane koncentracije južno od naselja Plave. Te lahko pripisemo zožitvi doline na tem območju.

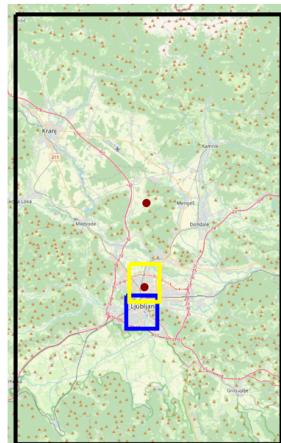


Slika 5.7: Letno povprečje delcev PM₁₀ iz na podlagi podatkov o izpustih osebnih vozil za leto 2018. Podatki so v $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Okvir označuje območje modeliranja z modelom GRAL.

5.2 Primer 2: modeliranje vetrovnih polj in ravni delcev PM₁₀ na območju Ljubljane

5.2.1 Osnovni podatki o zagonu modela GRAMM

Za območje Ljubljane smo pripravili GRAMM vetrovna polja in na podlagi teh primere zagonov modela GRAL s tremi različnimi tipi podatkov o izpustih; linearimi (osebna vozila), ploskovnimi (mala kurišča) in točkovnimi (industrijski objekti).



Podatki o območju modeliranja modela GRAMM	
Skrjana jugozahodna točka	X = 447500 Y = 5084000 (UTM)
Skrjana severovzhodna točka	X = 477500 Y = 5134000 (UTM)
Ločljivost	250 m

Podatki o območju modeliranja modela GRAL z linearimi in ploskovnimi podatki o izpustih	
Skrjana jugozahodna točka	X = 378000 Y = 5080750 (UTM)
Skrjana severovzhodna točka	X = 415500 Y = 5118250 (UTM)
Ločljivost	10 m

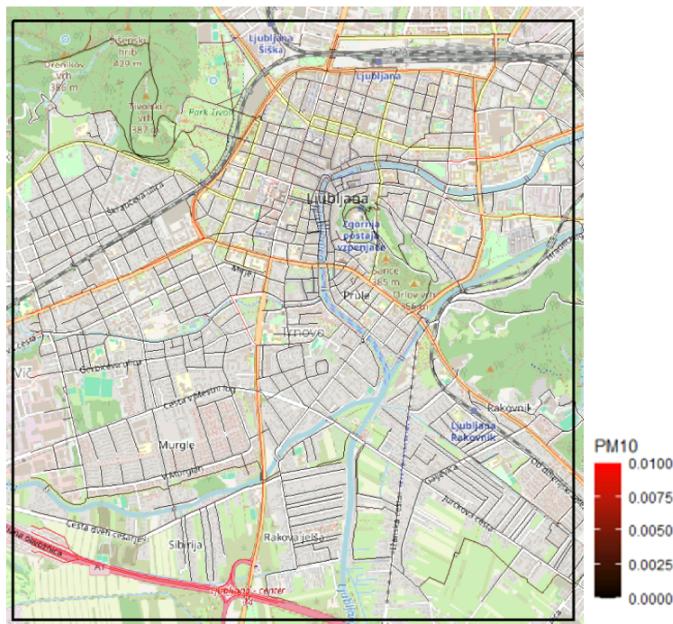
Podatki o območju modeliranja modela GRAL s točkovnimi podatki o izpustih	
Skrjana jugozahodna točka	X = 460100 Y = 5100200 (UTM)
Skrjana severovzhodna točka	X = 463700 Y = 5104700 (UTM)
Ločljivost	10 m

Slika 5.8: S črno bravo je označena območje modela GRAMM, z modro območje modeliranja GRAL z linearimi in ploskovnimi podatki o izpustih, z rumeno pa območje modeliranja z modelom GRAL s točkovnimi podatki o izpustih. Rdeče točke označujejo meteorološke postaje, uporabljene pri izračunih z modelom GRAMM.

Meteorološki podatki: Izračuni modela ALADIN ter meritve iz meteorološke postaje Ljubljana Bežigrad in Letališče Jožeta Pučnika Ljubljana.

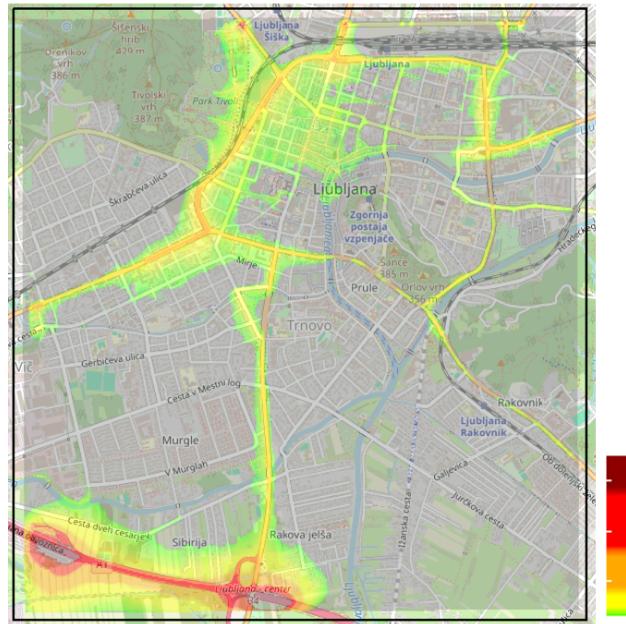
5.2.2 Zagon modela GRAL z linearimi podatki o izpustih

Na sliki 5.9 so predstavljeni podatki o izpustih osebnih vozil za izbrano območje modeliranja. Ponovno so v linearni obliku.



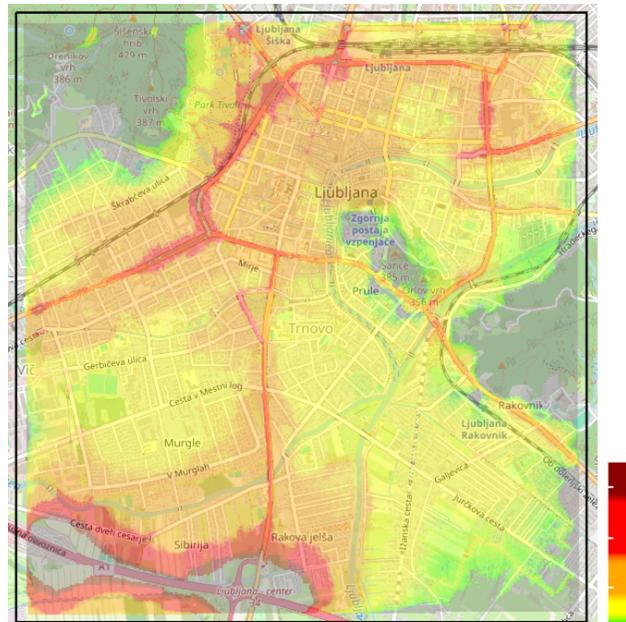
Slika 5.9: Podatki o izpustih v kg/h/km za osebna vozila. Črni okvir ponazarja območje modeliranja z modelom GRAL.

Z GRALom smo izračunali raven PM_{10} za vsako uro v letu. Delci, ki ne izvirajo iz izpustov osebnih vozil znotraj območja modeliranja pri tem niso vključeni; izračunane vrednosti torej predstavljajo samo manjši delež v celotni ravni delcev PM_{10} . Slika 5.10 prikazuje letno povprečje izračunano iz urnih vrednosti.



Slika 5.10: Letno povprečje delcev PM_{10} iz izpustov osebnih vozil. Podatki so v $\mu g/m^3$.

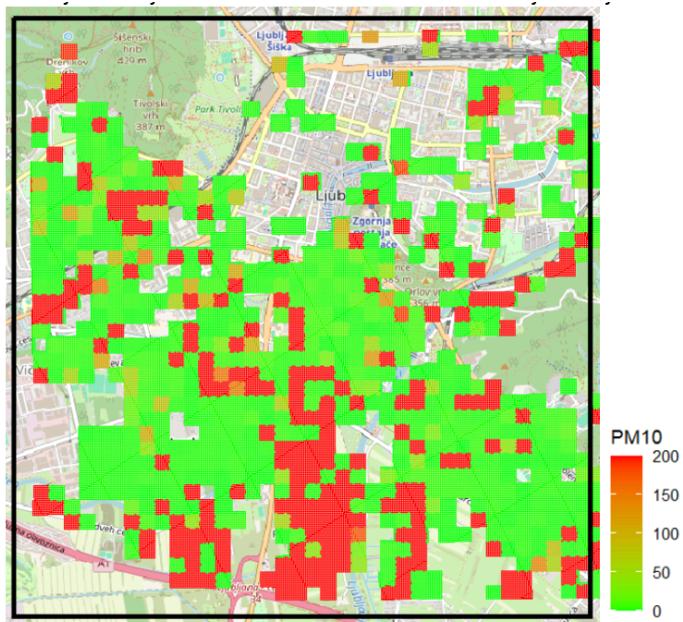
Zanimivejši kot letno povprečje je podatek o maksimumu dnevnih povprečij. Tega dobimo tako, da v vsaki celici posebej izberemo najvišjo vrednost dnevnega povprečja v obravnavanem letu. Vrednost torej ustreza najslabši situaciji, ki jo prebivalci lahko pričakujejo tekom leta.



Slika 5.11: Maksimum dnevnih povprečij delcev PM_{10} iz izpustov osebnih vozil. Podatki so v $\mu g/m^3$.

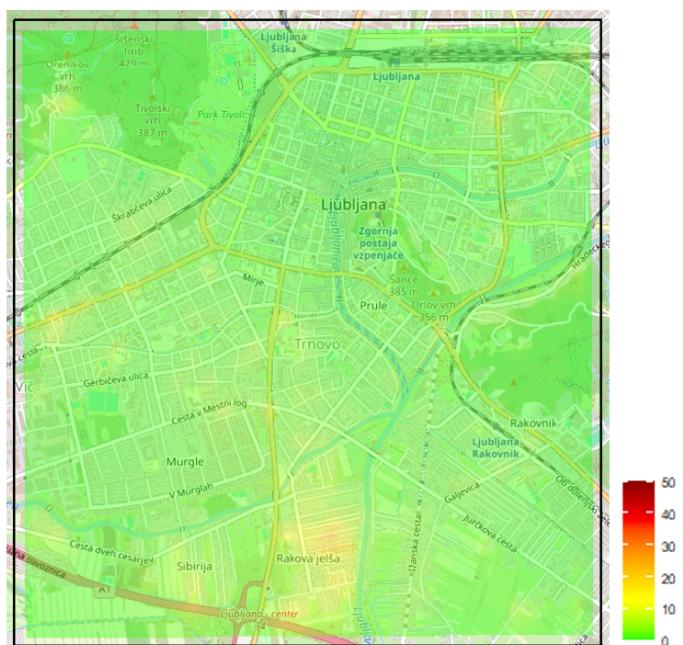
5.2.3 Zagon modela GRAL s ploskovnimi podatki o izpustih

Podatki o izpustih individualnih kuriščih so zbrani v mreži kvadratnih polj. Vrednosti so višje na lokacijah z večjim številom enodružinskih hiš in manjše v ožjem središču mesta.



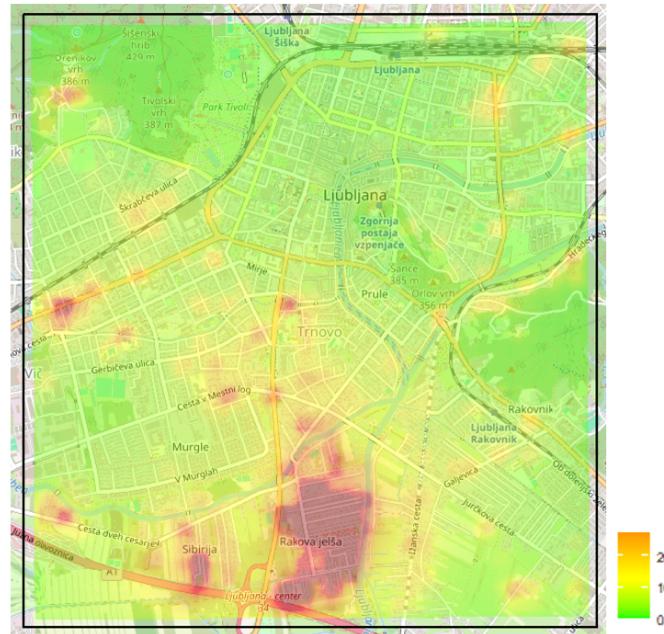
Slika 5.12: Podatki o izpustih malih kurišč v g/leto.. Črni okvir ponazarja območje modeliranja z modelom GRAL.

Tudi v tem primeru smo najprej izračunali vrednosti za vsako uro v letu 2018, iz njih pa vrednost letnega povprečja ter maksimum dnevnih povprečij.



Slika 5.13: Letno povprečje ravni PM₁₀ na podlagi izpustov malih kurišč za leto 2018. Podatki so v $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Ker so kurišča aktivna predvsem v zimskem času je razlika med letnim povprečjem in maksimumom dnevnih povprečij toliko bolj izrazita.

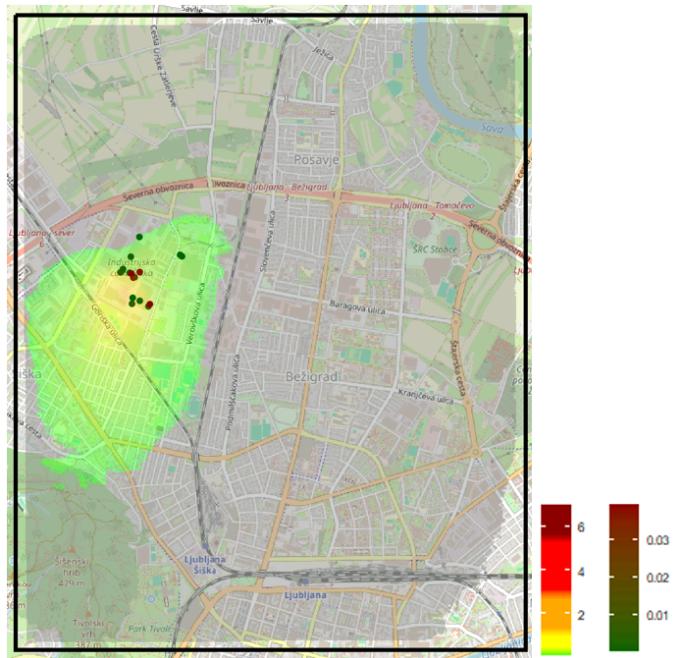


Slika 5.14: Maksimum letnih povprečij za leto 2018. Podatki so v $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

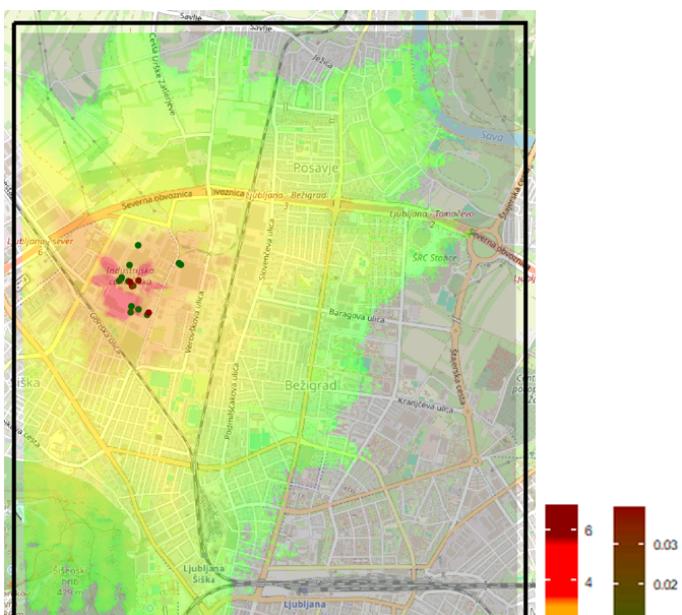
5.3 Rezultati modela GRAL s točkovnimi podatki o izpustih

Podatki o izpustih industrijskih objektov so podani v točkah. Za ta primer smo območje modeliranja izbrali nekoliko bolj severno, da bi zajeli večje število industrijskih objektov.

Poleg masnega pretoka delcev PM₁₀ se pri modeliranju s točkovnimi viri za vsako lokacijo izpustov upošteva tudi višina in premer dimnika, temperatura izpustov ter hitrost plinov ob izpustu.



Slika 5.15: Letno povprečje ravni PM₁₀ iz industrije za leto 2018. Vrednosti ravni delcev so v $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (levi stolpec v legendi). Točke označujejo lokacije upoštevanih izpustov. Masni pretok je podan v kg/h (desni stolpec v legendi)



Slika 5.16: Maksimum dnevnih povprečij ravni PM₁₀ na podlagi malih kurišč za leto 2018. Vrednosti ravni delcev so v $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (levi stolpec v legendi). Točke označujejo lokacije upoštevanih izpustov. Masni pretok je podan v kg/h (desni stolpec v legendi)

6. Delci PM₁₀ in PM_{2,5}

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

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

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

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

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

Povišane ravni delcev PM₁₀ 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 PM₁₀.

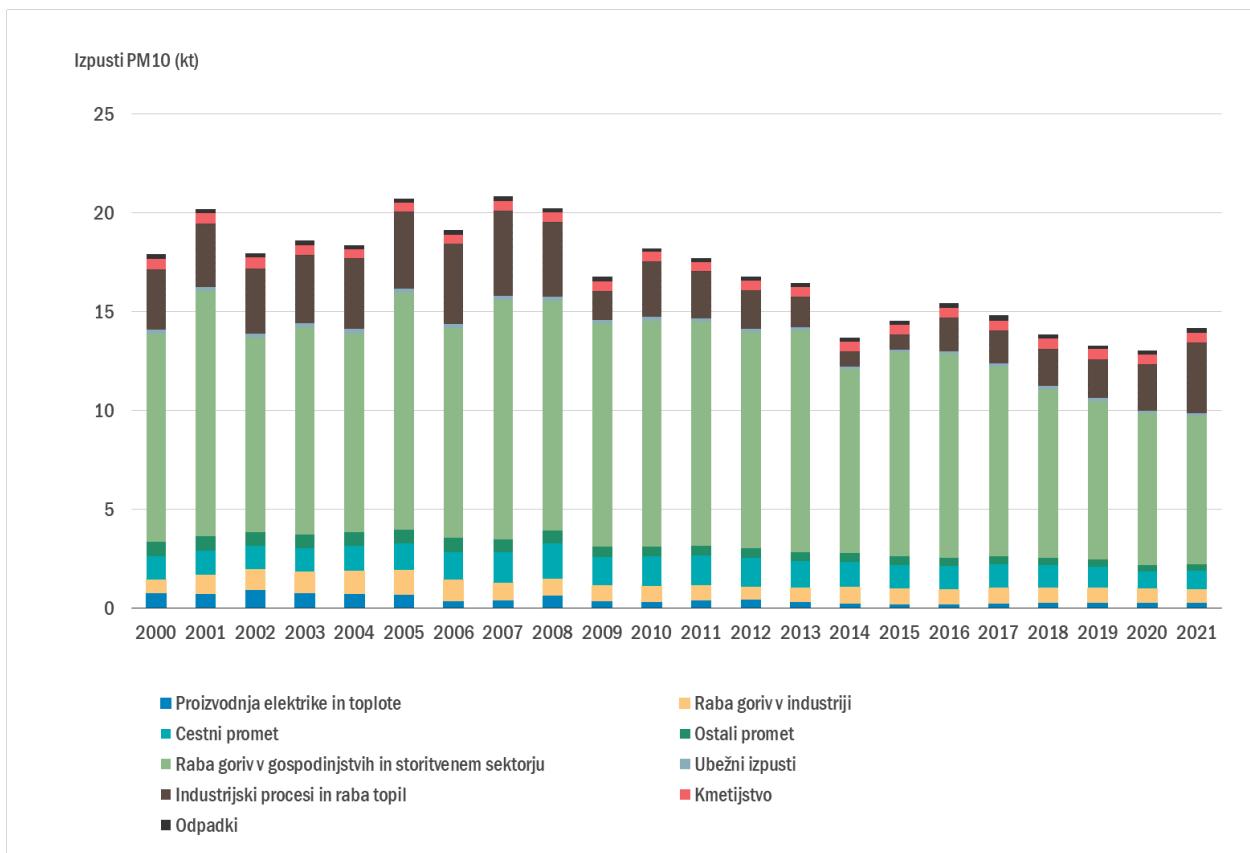
6.1 Izpusti delcev

Letni izpusti delcev PM₁₀ so v Sloveniji leta 2021 znašali 14 tisoč ton (slika 6.1), letni izpusti primarnih delcev manjših od 2,5 µm (PM_{2,5}) pa 10 tisoč ton (slika 6.3). V obdobju 2000-2021 so se izpusti delcev PM₁₀ zmanjšali za 21 %, delcev PM_{2,5} pa za 29 %. Zmanjšanje izpustov je posledica izboljšanja energetske učinkovitosti in procesov zgorevanja, posodobitve tehnoloških procesov, zamenjave trdih fosilnih goriv z zemeljskim plinom in obnovljivimi viri energije, uvajanja strožjih emisijskih standardov za motorna vozila. Glavni antropogeni vir primarnih delcev je zgorevanje goriv v gospodinjstvih in storitvenem sektorju, predvsem zaradi uporabe lesa v zastarelih kurilnih napravah.

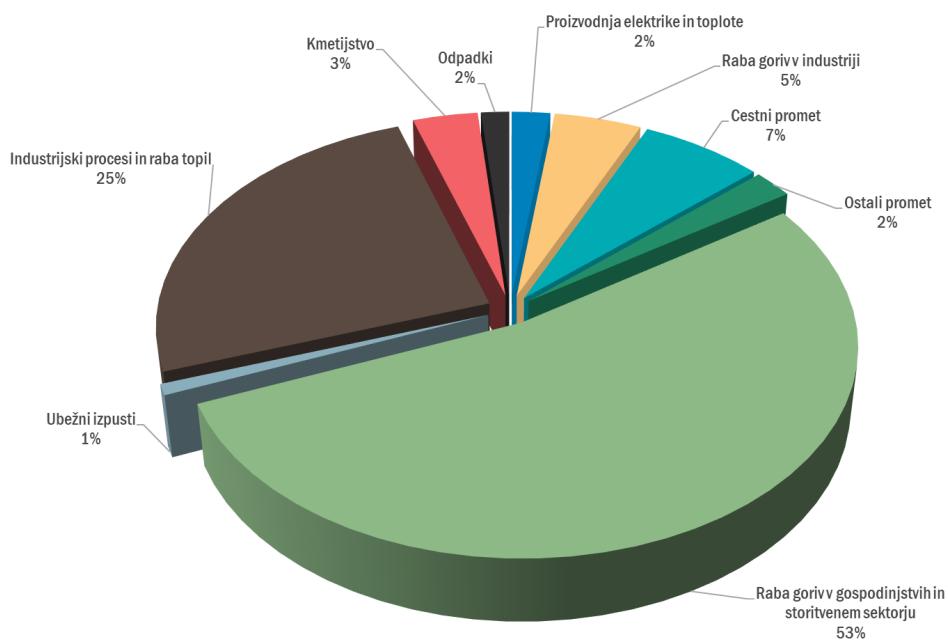
Mala kurišča so k skupnim izpustom PM₁₀ na nivoju države v letu 2021 prispevala 53 % (slika 6.2), k skupnim izpustom PM_{2,5} pa kar 73 % (slika 6.4). Iz slike 6.5 je razvidna prevladujoča vloga kurilnih naprav na les v skupnih izpustih malih kurilnih naprav.

K izpustom delcev znatno prispeva tudi cestni promet. Izpusti PM₁₀ iz cestnega prometa so leta 2021 predstavljali 7 % skupnih državnih izpustov, delež k izpustom PM_{2,5} je znašal 6 %. Delci v cestnem prometu nastajajo tudi pri obrabi cest, gum in zavor.

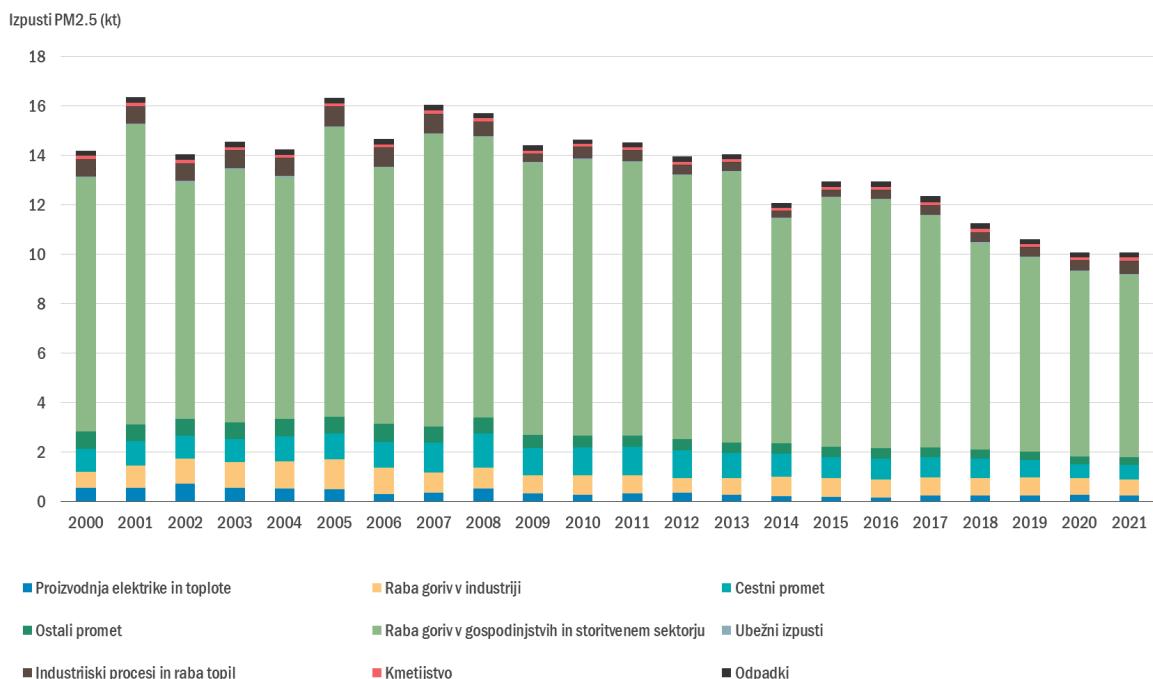
Podrobne informacije o izpustih delcev PM₁₀ in PM_{2,5}, ter metodologiji izračuna izpustov so na voljo v [10].



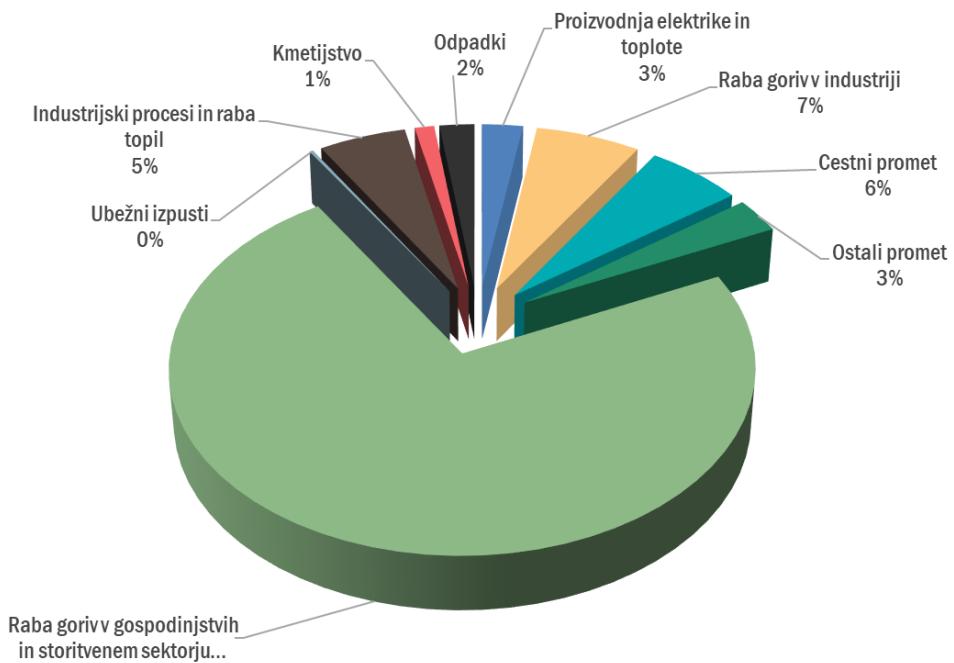
Slika 6.1: Letni izpusti delcev PM₁₀ po sektorjih v Sloveniji.



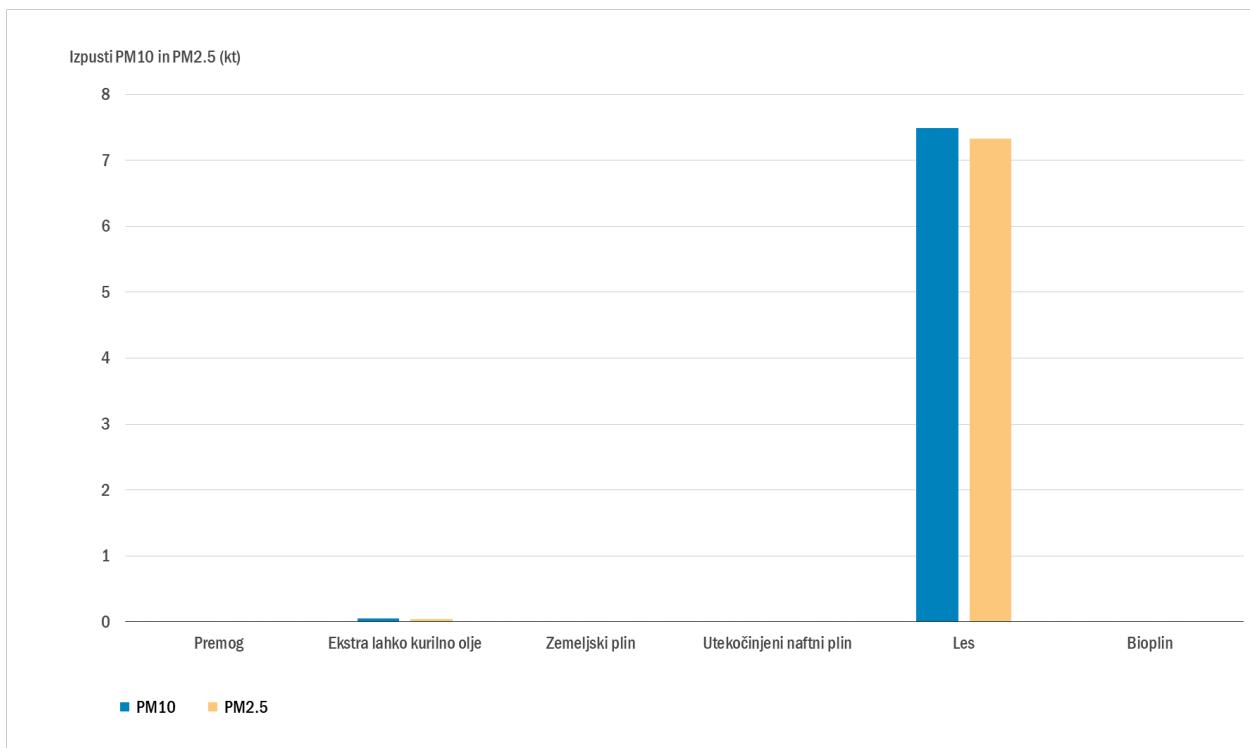
Slika 6.2: Izpusti delcev PM₁₀ po sektorjih v Sloveniji v letu 2021.



Slika 6.3: Letni izpusti delcev PM_{2,5} po sektorjih v Sloveniji.



Slika 6.4: Izpusti delcev PM_{2,5} po sektorjih v Sloveniji v letu 2021.



Slika 6.5: Izpusti delcev PM₁₀ in PM_{2.5} iz malih kurišnih naprav glede na vrsto uporabljenega goriva v letu 2021.

6.2 Zahteve za kakovost zraka

Mejne vrednosti za delce so predpisane v Uredbi o kakovosti zunanjega zraka [6]. Prikazane so v tabeli 6.1. 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(tabela 6.2).

Tabela 6.1: 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 6.2: 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
30	29	29	28	27	26	26	25	25	25	25	25	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 meritna 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 2022 je triletno drseče povprečje vrednosti ravni skupaj na vseh teh vzorčevalnih mestih za leta 2020, 2021 in 2022. Predpisana stopnja izpostavljenosti znaša od leta 2015 dalje $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (tabela 6.1). KPI uporabljamo za preverjanje doseganja ciljnega zmanjšanja izpostavljenosti na nacionalni ravni.

6.3 Ravni onesnaženosti

Onesnaženost zraka z delci PM_{10} tudi v letu 2022 ostaja na podobni ravni kot zadnja leta. Ravni delcev PM_{10} so v letu 2022 na enem merilnem mestu presegla predpisane vrednosti, in sicer na prometnem merilnem mestu Murska Sobota Cankarjeva, kjer je vsota prekoračitev mejne dnevne vrednosti za delce PM_{10} ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) presegla število 35, ki je dovoljeno za celo leto. Zabeleženih je bilo 39 preseganj. Kljub temu, da so bile ravni delcev PM_{10} na večini merilnih mest nižje od predpisanih, pa občasno, predvsem ob neugodnih vremenskih razmerah, še vedno povsod izmerimo ravni delcev, ki so zdravju škodljive. Do večine vseh zabeleženih preseganj v letu 2022 je prišlo v januarju in februarju (tabela 6.5), ko so bili pogosti temperaturni obrati, ki onemogočajo razredčevanje izpustov iz malih kurilnih naprav in prometa, ki sta največja vira delcev PM_{10} . Julija je na Krasu divjal obsežen požar, ki je predvsem na Goriškem več dni čezmerno onesnažil zrak z delci. Dim se je razširil tudi do Obale in v notranjost Slovenije. V podoglavlju Epizode čezmerne onesnaženosti so podrobno opisana obdobja, ko so bile ravni delcev PM_{10} v letu 2022 povišane.

Letna mejna vrednost za delce PM_{10} , ki znaša $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ v letu 2022 ni bila presežena na nobenem merilnem mestu. Najvišja povprečna letna vrednost, $28 \mu\text{g}/\text{m}^3$, je bila zabeležena na prometnem merilnem mestu Murska Sobota Cankarjeva. Pregled izmerjenih ravni delcev PM_{10} v letu 2022 je prikazan v tabelah 6.3, 6.4 in 6.5 ter na slikah 6.6 in 6.8. V letu 2022 so potekale enoletne izredne meritve delcev PM_{10} z mini postajo v Solkanu, kjer so bile podobne ravni delcev kot na merilnih mestih v Novi Gorici. Rezultati teh meritev so predstavljeni v posebnem poglavju letnega poročila.

Podatki so na vseh merilnih mestih DMKZ razen na Ptiju in v Murski Soboti Cankarjeva 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 meri tudi avtomatski merilnik. Sprotni urni podatki so na voljo vsako uro na spletni strani Agencije.

Povprečni dnevni hodi ravni PM_{10} v kurilni sezoni za merilna mesta Ljubljana Bežigrad, Zagorje, Maribor Titova in Koper so prikazani na sliki 6.7. 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 6.6 in 6.7 ter na slikah 6.9 in 6.10 so prikazani trendi onesnaženosti v obdobju med 2002 in 2022. Medletna nihanja ravni PM_{10} 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

Tabela 6.3: Razpoložljivost podatkov (% pod), povprečne letne (C_p) in maksimalne dnevne (max) ravni ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ter število preseganj mejne vrednosti (>MV) za delce PM_{10} na stalnih merilnih mestih v Sloveniji v letu 2022.

Merilno mesto	%pod	Leto		>MV
		C_p	max	
DMKZ				
CE bolnica	100	24	71	13
CE Ljubljanska	100	23	68	13
Hrastnik	99	19	52	1
Iskrba	93	11	41	0
Koper	100	18	97	12
Kranj	100	20	61	5
LJ Bežigrad	100	21	79	11
LJ Celovška	96	22	77	11
LJ Vič	99	21	88	11
MB Titova	100	23	63	3
MB Vrbanski	99	16	46	0
MS Cankarjeva	100	28	93	39
MS Rakičan	94	21	65	10
NG Grčna	99	19	69	9
NG Vojkova*	84	24	74	10
Novo mesto	99	19	48	0
Ptuj	100	22	71	9
Trbovlje	100	19	69	8
Velenje	96	16	41	0
Zagorje	100	21	70	11
Zerjav	100	21	56	2
Dopolnilna merilna mreža				
EIS Šoštanj				
Pesje	100	16	45	0
Škale	100	15	47	0
Šoštanj	99	14	39	0
Mobilna TEŠ	100	15	40	0
OMS-MOL				
LJ Center	96	26	78	27
TE-TOL				
Zadobrava	98	23	54	1
Občina Medvode				
Medvode	100	22	55	5
MO Maribor				
MB Tezno	100	21	70	4
Občina Miklavž na Dravskem polju				
Miklavž	99	22	66	8
MO Ptuj				
Spuhlja	94	25	81	17
Občina Ruše				
Ruše	100	17	50	0
Salonit Anhovo				
Morsko	99	15	43	0
Gorenje polje	94	17	62	2

* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.

večjega trenda zmanjševanja. V Žerjavu smo zabeležili veliko znižanje ravni delcev in preseganj mejne dnevne vrednosti v letu 2014. Razlog je v prestavitevi vzorčevalnika sredi leta 2013 izven neposrednega vpliva izpusta iz dimnika bližnje hiše.

Tabela 6.4: Povprečna mesečna raven PM₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) v letu 2022.

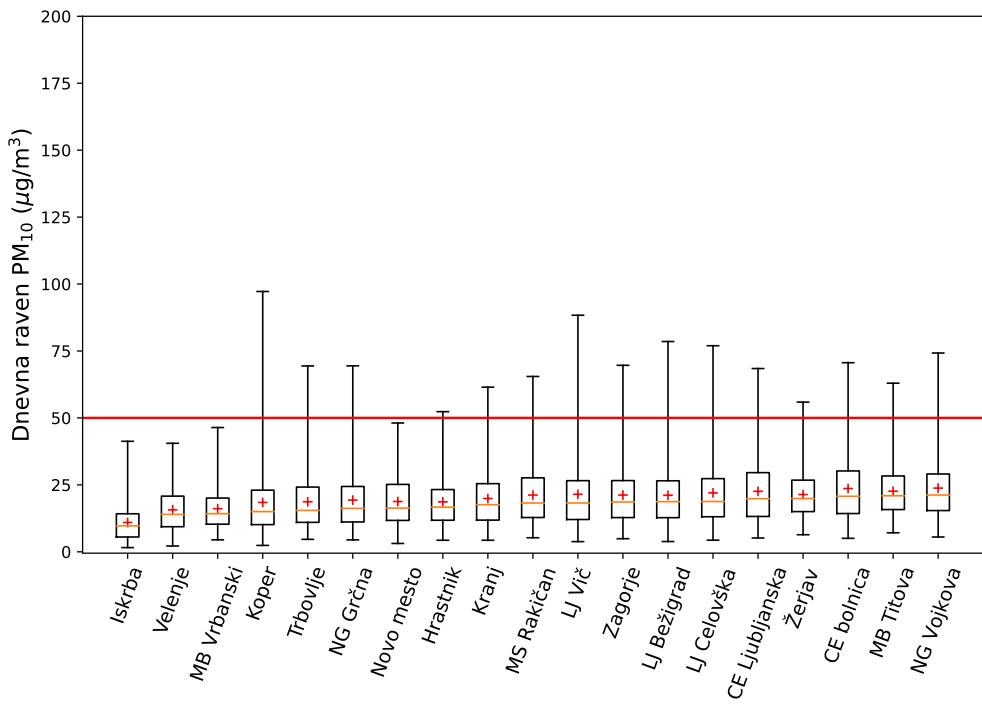
	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
CE bolnica	39	28	38	16	20	20	17	16	12	26	23	27
CE Ljubljanska	39	30	38	17	18	17	15	13	11	23	23	27
Hrastnik	30	20	29	14	16	17	14	14	11	26	18	17
Iskrba	6	5	14	8	14	18	15	12	8	18	7	5
Koper	24	20	24	13	18	20	18	12	10	25	13	24
Kranj	36	21	31	14	16	17	14	12	10	24	22	21
LJ Bežigrad	41	22	30	13	17	21	18	15	11	26	20	19
LJ Celovška	42	25	32	15	18	17	17	14	12	27	21	21
LJ Vič	41	23	33	14	17	18	17	14	11	26	21	21
MB Titova	30	23	31	17	25	22	19	17	14	28	22	24
MB Vrbanski	21	15	25	13	15	14	13	12	10	22	16	18
MS Cankarjeva	50	30	42	18	19	18	15	16	13	30	35	43
MS Rakičan	36	21	31	14	16	14	15	14	12	24	23	30
NG Grčna	31	25	27	13	14	16	18	12	10	21	19	26
NG Vojkova	32	29	31	17	19	18	/*	16	15	27	21	30
Novo mesto	31	20	28	13	15	16	14	13	9	22	21	25
Ptuj	35	19	35	15	18	18	17	16	12	27	25	28
Trbovlje	38	21	27	13	15	15	12	12	10	24	19	19
Velenje	19	17	27	12	15	15	10	12	9	22	13	14
Zagorje	42	25	32	15	17	18	14	14	11	27	20	19
Žerjav	29	23	30	14	22	20	16	16	15	28	21	21
Pesje	18	15	31	13	15	14	13	12	8	20	13	15
Škale	20	17	30	12	13	13	10	10	8	17	12	14
Šoštanj	22	15	28	11	13	13	13	7	7	17	13	15
Mobilna TEŠ	21	16	29	11	13	13	11	10	8	19	14	16
LJ Center	44	27	42	18	21	22	19	18	14	34	24	23
Zadobrava	34	21	32	18	21	24	25	21	15	26	19	21
Medvode	34	25	38	17	19	18	15	14	10	25	22	23
MB Tezno	36	22	32	15	17	16	15	15	12	26	21	26
Miklavž	38	21	35	15	17	16	15	14	12	27	23	28
Spuhlja	44	28	41	19	19	18	15	15	14	26	27	33
Ruše	22	18	25	13	16	15	13	14	11	23	18	19
Morsko	18	16	20	12	13	16	15	10	8	21	12	16
Gorenje polje	20	24	22	14	15	18	17	13	9	22	15	17

* Ni meritev.

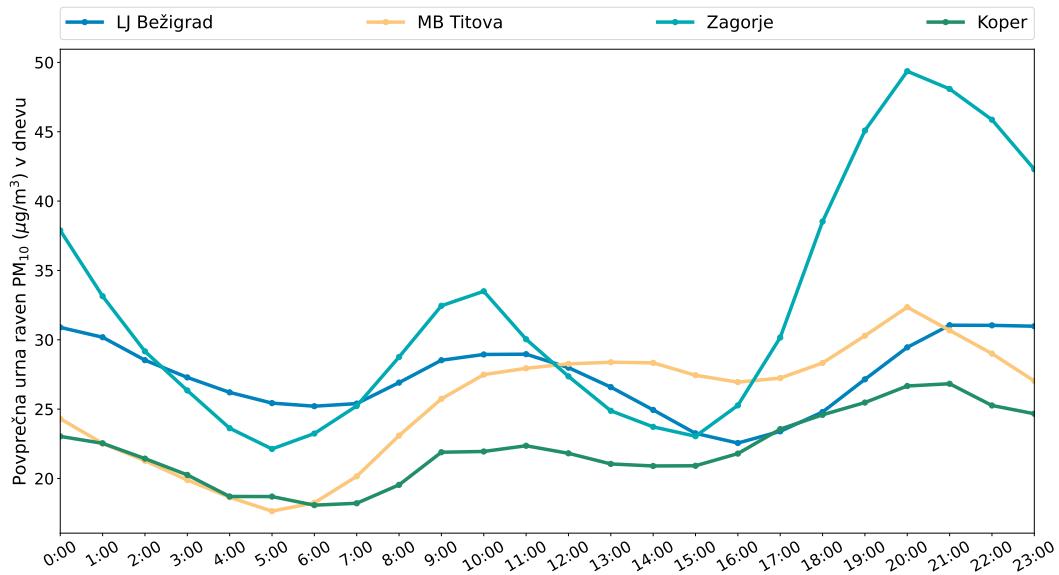
Tabela 6.5: Število preseganj dnevne mejne vrednosti PM₁₀ po mesecih v letu 2022.

	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
CE bolnica	9	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
CE Ljubljanska	9	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Hrastnik	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Iskrba	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Koper	2	1	1	0	0	0	1	0	0	2	1	4
Kranj	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LJ Bežigrad	9	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
LJ Celovška	10	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
LJ Vič	8	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1
MB Titova	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
MB Vrbanski	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MS Cankarjeva	16	3	7	0	0	0	0	0	0	3	4	6
MS Rakičan	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
NG Grčna	3	1	1	0	0	0	3	0	0	0	0	1
NG Vojkova	3	2	1	0	0	0	/*	0	0	0	0	4
Novo mesto	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ptuj	5	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	3
Trbovlje	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Velenje	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Zagorje	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Žerjav	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Pesje	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Škale	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Šoštanj	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mobilna TEŠ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LJ Center	11	1	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Zadobrava	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Medvode	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MB Tezno	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Miklavž	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Spuhlja	10	1	4	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Ruše	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Morsko	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Gorenje polje	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0

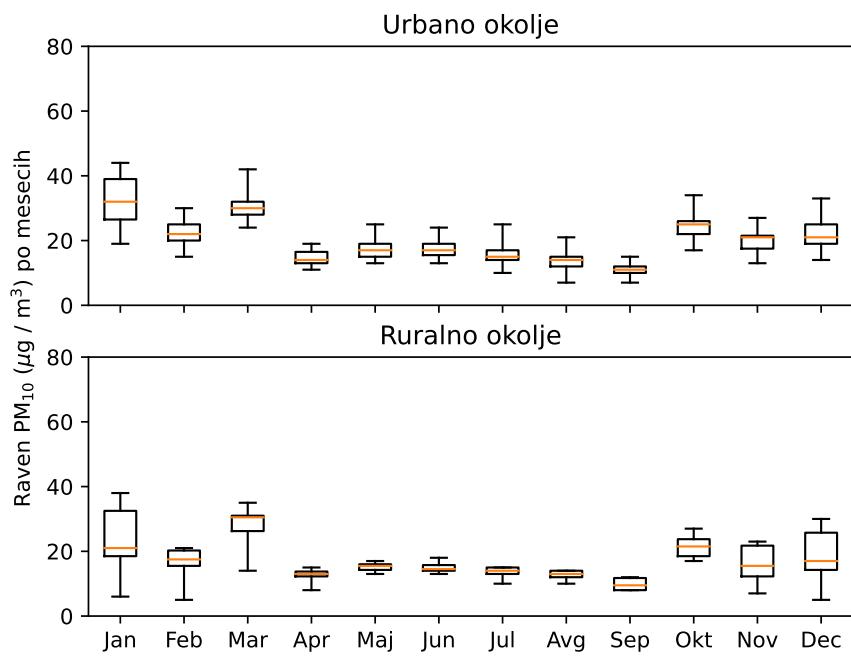
* Ni meritev.



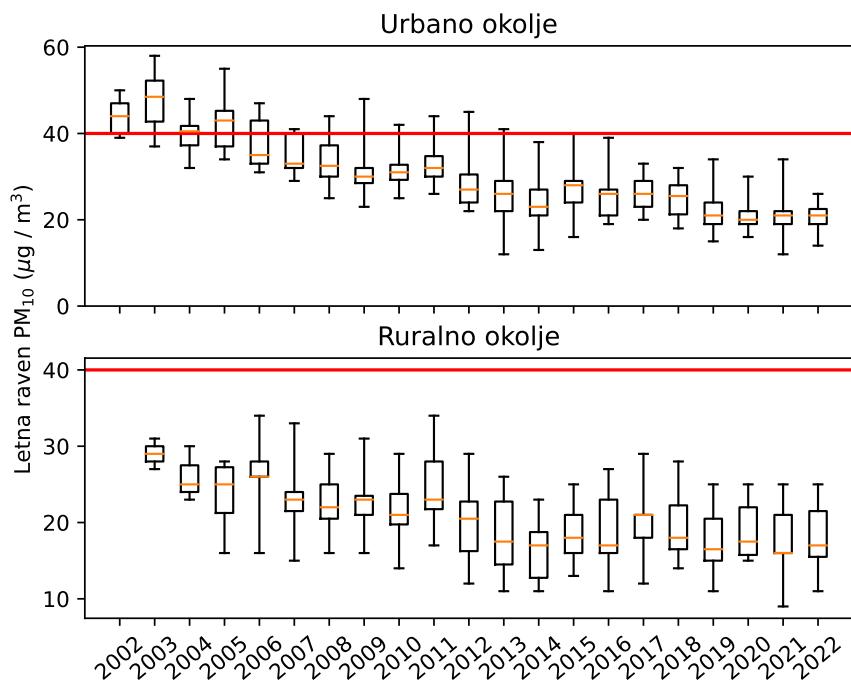
Slika 6.6: Dnevne vrednosti PM_{10} izmerjene z referenčnimi merilniki na merilnih mestih DMKZ v letu 2022. Prikazani so najvišja in najnižja izmerjena raven (spodnja in zgornja vodoravna črtica), oba kvartila (vrh in dno pravokotnika) in mediana (rdeča vodoravna črtica v pravokotniku). S + označujemo povprečno letno raven. Rdeča črta prikazuje dnevno mejno vrednost.



Slika 6.7: Dnevni potek povprečne urne ravni PM_{10} na izbranih merilnih mestih v kurilni sezoni leta 2022 (januar do marec in oktober do decembra).



Slika 6.8: Povprečna mesečna raven PM₁₀ na urbanih in ruralnih merilnih mestih v letu 2022. Prikazano je najnižje in najvišje mesečno povprečje na merilnih mestih (spodnja in zgornja vodoravna črtica), oba kvartila (vrh in dno pravokotnika) in mediana (rdeča vodoravna črtica v pravokotniku).



Slika 6.9: Povprečna letna raven PM₁₀ na merilnih mestih urbanega in ruralnega okolja. Prikazano je najnižje in najvišje letno povprečje na skupini merilnih mest (spodnja in zgornja vodoravna črtica), oba kvartila (vrh in dno pravokotnika) in mediana (rdeča vodoravna črtica v pravokotniku). Rdeča črta prikazuje letno mejno vrednost.

Tabela 6.6: Povprečne letne ravní PM₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). Vrednosti, ki presegajo letno mejno vrednost, so napisane s krepko pisavo.

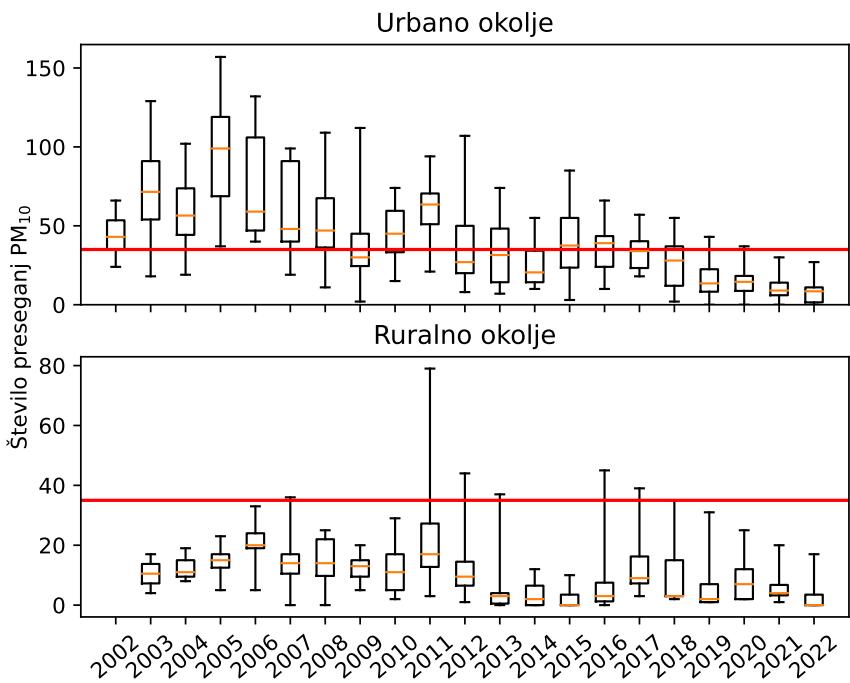
Merilno mesto	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
CE bolnična	46	53	41	43	35	32	30	31	32	35	31	29	28	32	30	28	26	21	24	24	24
CE Ljubljanska	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	21*	23	
Gorenje Polje	/	/	/	/	/	24	26	23	20	23	21	18	17	20	17	19	17	18	16	17	
Hrastnik	/	/	/	/	/	/	/	27	30	24	23	15	13	11	13	11	12	14	11	9*	11
Iskriba	/	/	/	16	16	15	16	16	14	17	15	13	11	13	11	12	14	11	9*	9	11
Koper	/	/	/	/	31	29	25	23	25	27	24	20	19	23	19	20	18	17	19	16	12
Kranj	/	/	/	/	/	/	/	32	30	26	25	22	26	23	26	22	23	19	19	20	20
LJ Bežigrad	42	46	41	37	33	32	30	29	30	32	26	24	23	28	24	25	27	21	22	21	21
LJ Celovška	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	19*	22	22	
LJ Center	/	/	/	/	/	44	48	42	44	45	41	38	40	40	33	35	34	30	29	26	
LJ Vič	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	21*	21	
MB Tezno	/		48	43	40	34	30	33	34	30	30	27	28	27	28	28	23	22	22	23	
MB Titova	/	/	/	/	/	23	22	20	19	21	20	16	15	18	20	20	21	18	16	16	16
MB Vrbanski	/	/	/	/	/	/	/	/	/	26	24	20	19	21	20	20	21	18	16	16	16
Medvode	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	20	15	17	19	22
Miklavž	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	20	21	21	
Morsko	/	/	/	/	/	23	22	20	19	21	20	16	15	18	16	18	15	15	15	14	15
MS Cankarjeva	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	30	26	24	25	28
MS Rakičan	40	43	32	37	34	30	30	29	30	33	29	28	25	29	26	29	26	21	21	21	
NG Grična	39	37	35	34	32	33	31	28	29	27	24	22	21	24	21	23	20	20	17	19	22
NG Vojkova	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	25	24	23	22	21	24
Novo mesto	/	/	/	/	/	/	/	/	31	32	28	27	23	28	26	27	26	21	19	19	19
Pesje	/	31	25	27	28	21	20	22	22	20	23	23	23	24	23	24	19	16	15	16	16
Phuj	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	26	25	22	20	21
Ruše	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	21	22	22	18	16	17
Spužlja	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	25	25	25	
Škale	/	27	23	23	26	24	22	24	23	23	22	17	17	16	17	17	15	16	17	15	16
Šoštanj	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	12	13	16	19	20	21	18	18	16	14
Trbovlje park	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	21	23	20	22	21
Velenje	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	22	21	20	22	19	21	22	18	16	17
Zagorje	47	51	44	52	46	41	44	36	36	37	32	29	28	32	29	29	32	25	23	22	21
Dobovec	/	/	/	/	/	/	/	/	26	34	29	26	21	25	23	21	23	20	22	21	
Grosuplje	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	28	26	26	
CE Gajii	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	15	14	12	13*	/	/	/	/	/	/
CE Mariaborška	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	33	31	29	26	34*	/
LJ Gospodarsko	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	12	11	11	12*	/	/	/	/	/	/
MB Tabor	40	42	38	43	47	40	35	30	31	29	34	28	22	19	21	18	24	24	56*	/	/
Prapretno	/	30	28	34	33	29	31	29	34	28	22	19	21	18	21	22	24	22	21*	/	
Trbovlje Nasipi	47	52	40	55	40	37	38	33	34	35	32	30	27	29	26	29	27	22	21	22*	/
Vnajnarje	/	/	/	/	/	26	22	/	23	20	26	23	18	16	17	21	/	/	/	/	/

* Podatki so zaradi previlejnega izpada meritev informativnega znacaja.

Tabela 6.7: 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	
CE bolnična	58	100	62	97	59	48	37	42	58	73	55	51	41	70	53	49	35	23	23	18	13	
CE ljubljanska	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	
Gorenje Polje	/	/	/	/	/	16	24	16	13	18	11	5	11	10	3	7	3	7	9	7	2	
Hrastnik	/	/	/	/	/	/	/	/	30	51	17	15	10	22	25	19	11	9	7	8	1	
Iskrba	/	/	/	5	5	0	0	5	5	3	1	0	0	0	3	2	2	0	1	0	/	
Koper	/	/	/	/	40	19	11	2	15	21	23	10	16	28	11	18	4	8	17	8	12	
Kranj	/	/	/	/	/	/	/	/	37	55	27	28	12	17	27	28	13	8	8	6	5	
LJ Bežigrad	36	64	71	70	47	46	36	30	43	63	27	22	19	43	36	30	28	16	18	12	11	
LJ Celovška	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	3*	15	11	
LJ Center	/	/	/	/	/	/	101	112	74	94	107	74	55	85	66	51	51	37	37	30	27	/
LJ Vič	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	8*	11	/	
MB Tezno	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	9	11	4	
MB Trtova	66	129	102	101	108	91	54	35	47	64	34	36	25	34	43	35	30	13	15	13	3	
MB Urbanski	/	/	/	/	/	/	/	/	/	25	8	7	10	3	21	21	12	0	3	4	0	
Medvode	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	7	2	2	9	5	
Miklavž	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	45	39	35	31	24	18	8	
Morsko	/	/	/	/	/	18	16	14	5	13	10	3	8	7	6	6	3	5	7	4	0	
MS Cankarjeva	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	46	28	19	29	39	
MS Rakičan	33	58	19	65	54	37	42	30	52	71	44	38	33	47	42	44	34	14	11	14	10	
NG Grična	24	18	33	37	40	33	24	25	28	19	12	19	24	15	24	6	10	14	6	9	/	
NG Vojkova	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	21	5	10	16	12	
Novo mesto	/	/	/	/	/	/	/	/	60	69	45	49	22	40	41	33	31	10	10	3	0	
Pesje	/	17	11	23	24	14	9	12	10	16	2	6	12	9	8	20	3	1	2	4	0	
Ptujski	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	38	25	15	14	13	9	
Ruše	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	17	15	11	12	3	0	
Spuhišča	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	25	20	17	/	
Škalce	/	4	8	15	19	11	12	13	12	20	9	0	5	0	1	9	3	1	2	4	0	
Šoštanj	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	3	14	4	1	2	
Trbovlje park	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	5*	8	
Velenje	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	11	8	15	9	10	19	2	0	5	
Zagorje	48	79	82	143	106	99	109	56	68	75	62	48	38	70	51	46	55	28	24	14	11	
Žerjavica	/	/	/	/	/	/	/	/	29	79	44	37	3	6	19	9	5	1	5	6	2	
CE Gaj	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	35	41	76	45	39	43	25	17	6*	/	
CE Mariborska	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	57	45	43	34	16*	/	
Dobovec	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	1	0	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*	34	/	/	
Kovk	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	1	0	0	0	/	/	/	/	/	/	
MB Tabor	38	42	51	111	132	94	52	24	38	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	
Prapretno	/	19	15	33	36	25	20	29	49	25	3	2	0	1	/	/	/	/	/	/	/	
Trbovlje Nasipi	52	88	48	157	86	81	72	48	64	68	65	50	33	50	38	39	37	16	18	5*	/	
Vnajnarje	/	/	/	/	/	20	10	/	7	2	12	8	3	0	1	2	8	/	/	/	/	

* Podatki so zaradi previlejkega izpada meritev informativnega značaja.



Slika 6.10: Število preseganj PM₁₀ po letih. Prikazano je najnižje in najvišje število preseganj na skupini meritnih mest (spodnja in zgornja vodoravna črtica), oba kvartila (vrh in dno pravokotnika) in mediana (rdeča vodoravna črta v pravokotniku). Rdeča črta prikazuje dovoljeno letno število preseganj dnevne mejne vrednosti.

Letna mejna vrednost 20 µg/m³ za PM_{2,5} v letu 2022 ni bila presežena na nobenem od petih meritnih mest, kjer izvajamo meritve z referenčnim meritnikom: Maribor Vrbanski plato, Ljubljana Bežigrad, Nova Gorica Grčna, Celje bolnica in Iskrba. Pregled izmerjenih vrednosti z referenčnim meritnikom za delce PM_{2,5} v letu 2022 je prikazan v tabeli 6.8 ter na slikah 6.11 in 6.12. Letni trendi ravni delcev PM_{2,5}, ki so prikazani v tabeli 6.10 in na sliki 6.13, kažejo, da nivo onesnaženosti ostaja približno enak.

V preteklih nekaj letih smo avtomatske meritnike delce zamenjali z novimi, ki poleg ravni PM₁₀ merijo tudi PM_{2,5}. V tabeli 6.9 so prikazani podatki ravni PM_{2,5} iz avtomatskih meritnikov za leto 2022. Povprečne letne ravni PM_{2,5} izmerjene z avtomatskim meritnikom so na vseh meritnih mestih razen enim nižje od predpisane mejne vrednosti 20 µg/m³. Povprečna letna vrednost PM_{2,5} je v letu 2022 na prometnem meritnem mestu v Murski Soboti ob Cankarjevi cesti znašala 21 µg/m³.

Kazalnik povprečne izpostavljenosti KPI za PM_{2,5} je leta 2022 znašal 14 µg/m³. Obveznost glede stopnje izpostavljenosti za leto 2021 znašal 20 µg/m³ in za Slovenijo ni bila presežena. V tabeli 6.11 je prikazan KPI po letih. KPI je izračunan kot triletno povprečje letnega povprečja PM_{2,5} iz vseh ustreznih meritnih mest. Za izračun KPI se upoštevajo letna povprečja PM_{2,5} z meritnih mest tipa mestno ozadje, ki pokrivajo območja mestnih občin z več kot 100.000 prebivalci. V Sloveniji sta takšni občini le dve: Ljubljano in Maribor. Za izračun smo za Ljubljano do vključno leta 2017 vzeli podatke z meritnega mesta Biotehniška, od leta 2018 pa z meritnega mesta Bežigrad. V Mariboru pa smo za izračun za vsa leta vzeli podatke z meritnega 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 6.8: 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 2022.

	% pod	C_p	C_{max}
CE bolnica	100	16	63
Iskrba*	88	9	29
LJ Bežigrad	99	14	63
MB Vrbanski	96	12	46
NG Grčna	98	13	58

* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.

Tabela 6.9: Razpoložljivost podatkov (% pod) in povprečne letne ravni (C_p) $PM_{2,5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) na merilnih mestih v letu 2022 izmerjeni z avtomatskimi merilniki.

Merilno mesto	Leto	Dan
	% pod	C_p
DMKZ		
CE Ljubljanska	100	17
Hrastnik	100	13
Koper	99	13
Kranj	100	18
LJ Celovška	100	17
LJ Vič	100	16
MB Titova	100	13
MS Cankarjeva	100	21
MS Rakičan	98	18
Novo mesto	97	18
Ptuj	100	16
Trbovlje	100	16
Zagorje	100	17
Dopolnilna merilna mreža		
EIS Šoštanj		
Pesje	100	8
Škale	100	11
Šoštanj	99	9
Mobilna TEŠ	100	10
OMS-MOL		
LJ Center	94	18

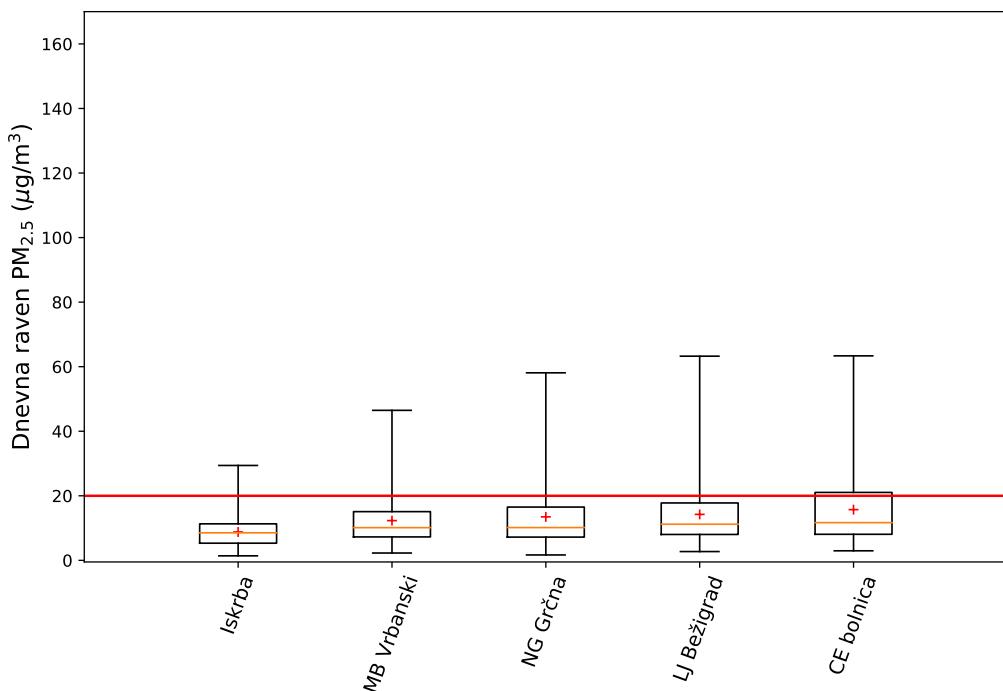
Tabela 6.10: Povprečna letna raven delcev PM_{2,5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) na izbranih merilnih mestih po letih.

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
CE bolnica	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	17	16	16
Iskrba	10	11	12	12	14	13	11	9	10	9	10	11	8	7*	7	9
LJ Bežigrad	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	19	16	16	15	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
NG Grčna	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	14	13	14	12	13

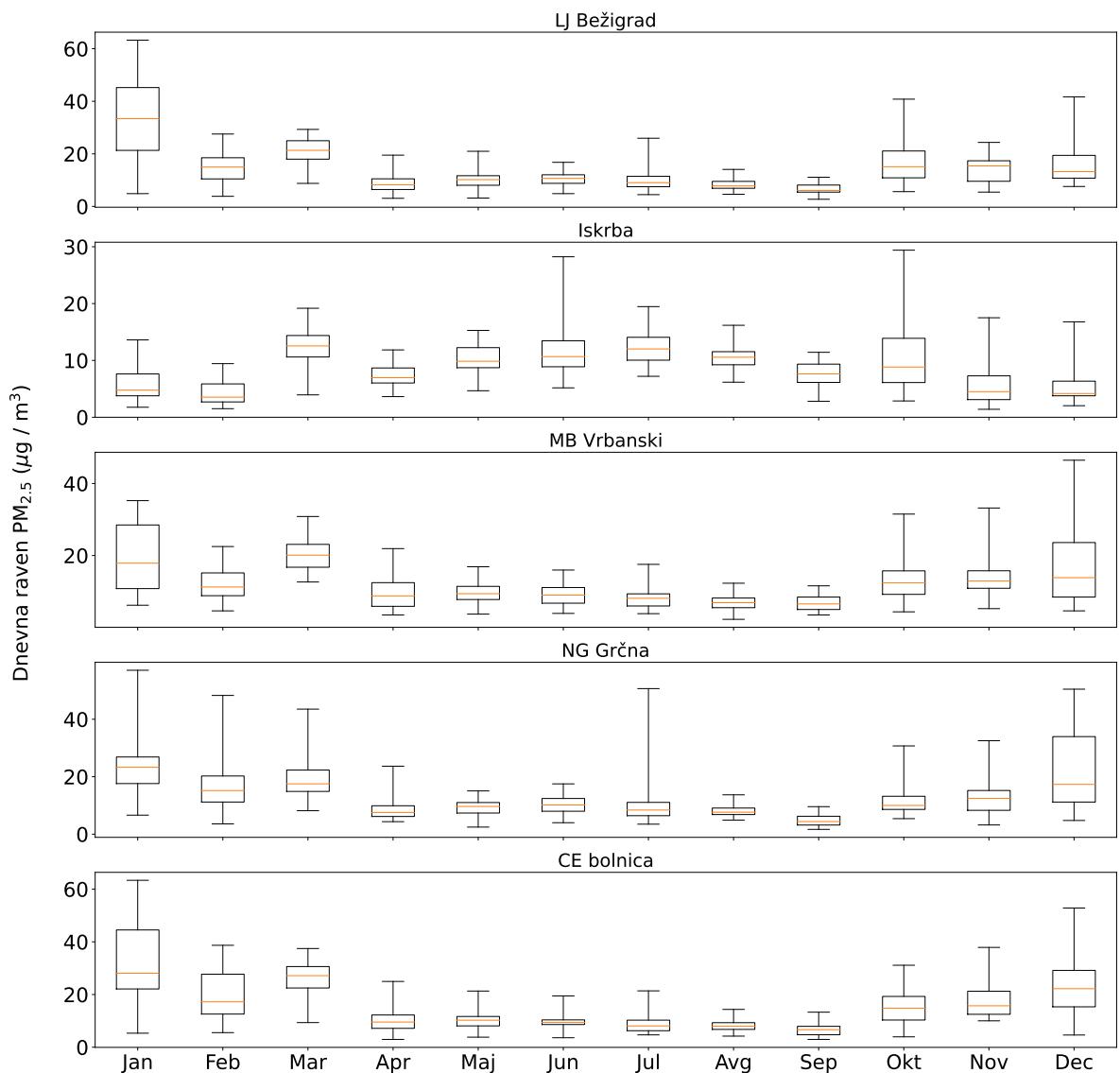
* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.

Tabela 6.11: Kazalnik povprečne izpostavljenosti PM_{2,5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) za Slovenijo.

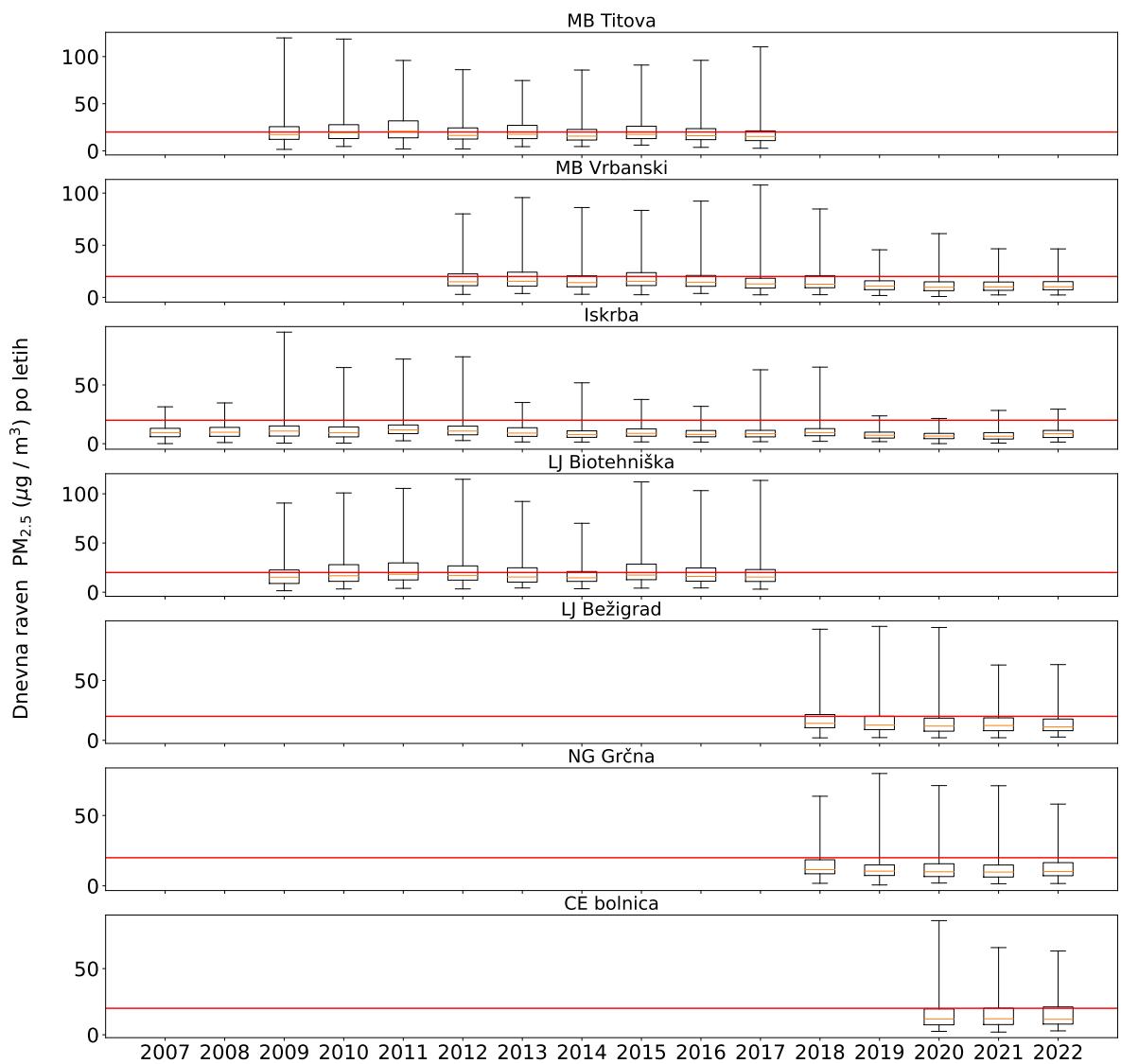
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Slovenija	21	22	22	21	19	20	20	20	19	17	16	14	14



Slika 6.11: Dnevne vrednosti PM_{2,5} na merilnih mestih v letu 2022. Prikazane so najnižja in najvišja izmerjena vrednost (spodnja in zgornja vodoravna črtica), oba kvartila (vrh in dno pravokotnika) in mediana (rdeča vodoravna črtica v pravokotniku). S križcem je označena povprečna letna raven, ki jo lahko primerjamo z letno mejno vrednostjo, ki je prikazana z rdečo črto.



Slika 6.12: Dnevne vrednosti PM_{2,5} na izbranih merilnih mestih po mesecih v letu 2022. 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).

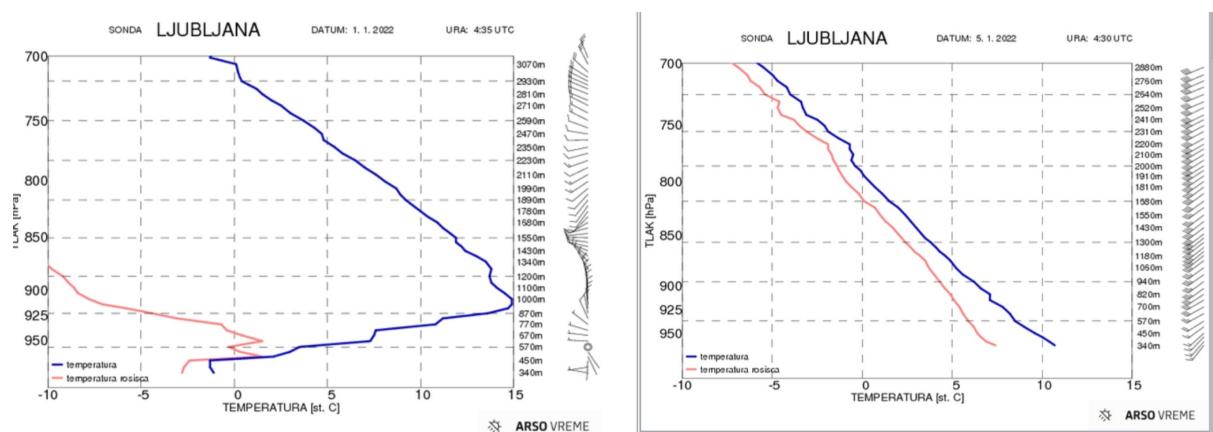


Slika 6.13: Dnevne vrednosti PM_{2,5} na izbranih merilnih mestih po letih. Prikazane so najnižja in najvišja izmerjena vrednost (spodnja in zgornja vodoravna črtica), oba kvartila (vrh in dno pravokotnika) in mediana (rdeča vodoravna črtica v pravokotniku). Rdeča črta prikazuje aktualno letno mejno vrednost. Letna mejna vrednost za PM_{2,5} se je z leti spremenjala (tabela 6.2.)

6.4 Epizode čezmerne onesnaženosti

Večletne meritve onesnaženosti zraka z delci PM₁₀ kažejo, da ima januar v primerjavi z ostalimi zimskimi meseci daleč največ preseganj mejne vrednosti delcev PM₁₀ ($50\mu\text{g}/\text{m}^3$). To ne preseneča, saj so povprečne temperature zraka v tem mesecu najnižje, pogoji za nastanek temperaturnih inverzij pa so najugodnejši. K visokim dnevnim ravnem dodatno pripomore manj sončnega obsevanja, kar onemogoča razkroj temperaturnih inverzij čez dan in s tem mešanje zračne mase po vertikali. Urne ravni delcev v jasnih dnevih tako pogosto ostajajo visoke tudi čez dan, kar ob značilnih jutranjih in večernih maksimumih bistveno pripomore k povisjanju dnevnih ravni PM₁₀.

V mesecu januarju 2022 so bile vse situacije s povisanimi ravnimi delcev PM₁₀ v celinski Sloveniji povezane z dotokom toplejšega zraka v višinah. Na merilnem mestu Ljubljana Bežigrad je bila dne 1.1.2022 izmerjena povprečna dnevna raven PM₁₀ $54\mu\text{g}/\text{m}^3$, ko je bil prisoten močan temperaturni obrat, dne 5. januarja, ko je bilo ozračje premešano, pa le $6\mu\text{g}/\text{m}^3$. Radiosondažni meritvi temperature za ta dva dneva sta prikazana na sliki 6.13. V celiem mesecu januarju smo imeli zgolj tri kratka obdobja, ko so se ravni delcev znižale. Za prvi dve obdobji (od 4. do 7. januarja ter od 20. do 24. januarja) je bil značilen prehod hladne fronte nad Slovenijo, pri čemer je prišla nad naše kraje sveža zračna masa. Zadnje obdobje (29. in 30. januar) z nizko onesnaženostjo zraka je bilo povezano z vetrom po celotni višini, ki je dodobra premešal ozračje. Primorska je bila najbolj onesnažena 27. in 28. januarja, ko je z jugozahodnim vetrom (posledica pomikanja ciklonskega območja severno od Alp) prineslo onesnažen zrak iznad Padske nižine.



Slika 6.13: Radiosondaža.

Daljši dnevi in krajše noči v mesecu februarju pripomorejo k nižji onesnaženosti zraka z delci. Zaradi večje količine sončnega sevanja in posledično višjih temperatur pride tudi čez dan pogosto do vertikalnega mešanja ozračja, kar privede do razredčevanja onesnaženega zraka v spodnjih plasteh. Značilni jutranji in večerni porasti onesnaženosti so v primerjavi z januarjem manj izraziti, saj so zaradi višjih temperatur potrebe po ogrevanju manjše. V februarju sta bili tako le dve kratki obdobji s preseženo mejno dnevno vrednostjo PM₁₀. V prvem obdobju, ki je trajalo zgolj dva dni, 5. in 6. februarja, je bila prvi dan presežena mejna vrednost le v Murski Soboti. Tam so bile v primerjavi z drugimi kraji v Sloveniji dnevne temperature nižje, zato je bilo vertikalno mešanje ob nekoliko toplejšem zraku v višinah precej oslabljeno. Zaradi manjših hitrosti vetra se je zvečer lažje

vzpostavil temperaturni obrat, ki ga je spremjal izrazit porast ravni delcev. Naslednji dan (6. februar) se je veter obračal na zahodno smer, kar je povzročilo dotok onesnažene zračne mase iznad Padske nižine. Visoke ravni delcev so bile izmerjene na merilnih postajah Nova Gorica in Koper. Drugo obdobje povišane onesnaženosti z delci PM₁₀ je bilo 9. in 10. februarja. V višinah je že 8. februarja začel dotečati topel in suh zrak, kar je ustvarilo ugodne pogoje za razvoj temperaturnih obratov v naslednjih dneh. Razlike med najnižjimi in najvišjimi temperaturami na merilnih lokacijah so zaradi suhega zraka znašale vsaj 15°C. Jutranji in večerni temperaturni obrat je spremjal porast ravni delcev, ki se čez dan kljub visokim temperaturam pri tleh niso dovolj znižale. Topel zrak v višinah je namreč onemogočal dovolj izrazito vertikalno mešanje zraka. Kljub temu so bile v obeh dneh mejne dnevne vrednosti presežene le na postajah Celje in Murska Sobota. Jugozahodni veter, ki je 10. februarja že segel do nižin, je bil preveč oslabljen, da bi učinkovito prevetril kotline in nižine, in dovolj močan, da je prinesel onesnaženje iznad Padske nižine. Tako so bile ta dan dodatno presežene ravni delcev PM₁₀ tudi v Novi Gorici, Kopru in Gorenjem Polju.

V marcu ni bilo izrazite epizode onesnaženja, so bile pa ravni delcev kljub višjim temperaturam in manjše potrebe po ogrevanju, predvsem zaradi odsotnosti dežja, ki bi spralo ozračje, više od pričakovanih.

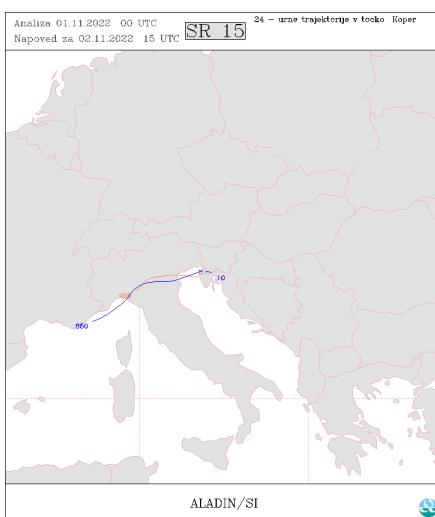
Zaradi prehoda puščavskega prahu čez Slovenijo, so se zadnje dni meseca junija na vseh merilnih mestih povišale ravni delcev PM₁₀. Do preseganj mejne dnevne vrednosti 50µg/m³ je prišlo le na merilnem mestu Solkan (52µg/m³), kjer se je lokalnim izpustom pridružil še puščavski prah. Na drugih merilnih mestih so bile povprečne dnevne vrednosti nižje od 50µg/m³.

Obsežen požar na Krasu je predvsem na Goriškem v juliju več dni čezmerno onesnažil zrak z delci. Dim se je razširil tudi do Obale in v notranjost Slovenije. Zaradi visokih izpustov iz večih požarišč smo trikrat (19., 20. in 21. julija) zabeležili preseganje mejne dnevne vrednosti delcev PM₁₀ na merilni postaji v Novi Gorici, ki je geografsko najbliže lokacijam, ki jih je zajel ogenj. Širjenje dima je bilo neposredno odvisno od smeri vetra na širšem območju požara, ki je 19. in 20. julija imel pretežno vzhodno oz. jugovzhodno komponento, 21. julija pa se je veter čez dan obrnil na zahodno in severozahodno smer. Na ta način je oblak dima preko morja dosegel tudi merilno postajo Koper, kjer je bila presežena mejna vrednost delcev PM₁₀ (74µg/m³). V naslednjih dneh se požar ni polegel, saj so nastajala nova žarišča in s tem novi izpusti. Ob prevladujočem jugozahodnem vetrju se je tako dim širil tudi v notranjost Slovenije. Območje Ljubljane je dosegel 23. julija, ko smo na vseh treh merilnih postajah v glavnem mestu izmerili povišane ravni delcev PM₁₀ (na merilnem mestu Ljubljana Vič je bila dnevna raven PM₁₀ 44µg/m³). Visoke ravni delcev PM₁₀ so v Novi Gorici in v Kopru vztrajale še 22. in 23. julija, zaradi ugodne smeri in jakosti jugozahodnega vetra pa mejne vrednosti niso bile presežene. Po prehodu vremenske fronte 24. julija in hkrati zmanjšanjem obsegu požara, so se urne ravni delcev na vseh merilnih postajah postopno znižale na prvotno raven. Pri gorenju lesne mase je razlika med delci PM₁₀ in PM_{2,5} dokaj majhna, zato so bile v času požara pričakovano povišane tudi ravni delcev PM_{2,5}. Najvišja dnevna raven PM_{2,5} (58µg/m³) in najvišja povprečna mesečna raven delcev PM_{2,5} (14µg/m³) sta bili zabeleženi na merilnem mestu Nova Gorica Grčna.

V oktobru je edina epizoda s povišanimi ravnimi delcev trajala od 13. do 19. oktobra, ko so bile vremenske razmere zaradi dotoka toplega zraka v višinah najbolj ugodne za akumulacijo

onesnaževal pri tleh. Kljub zelo toplemu zraku v nižinah (najvišje temperature so bile tudi v celinski Sloveniji večinoma nad 20°C) je bilo vertikalno mešanje zraka šibko, saj je bilo dovolj toplo tudi v višinah. V splošnem je bil zrak najbolj onesnažen 15. oktobra, ko so bile dnevne ravni delcev PM_{10} v celinski Sloveniji večinoma nad $40\mu\text{g}/\text{m}^3$. Na nekaj merilnih mestih je v teh dneh prišlo do preseganja mejne dnevne vrednosti. V drugem delu tega obdobja so ravni delcev PM_{10} narasle tudi v Kopru, ko je ob prevladujoči zahodni smeri vetra v višinah prinašalo onesnažen zrak iznad Padske nižine. S prihodom hladnejšega zraka v višinah se je kakovost zraka v Sloveniji bistveno izboljšala 20. oktobra.

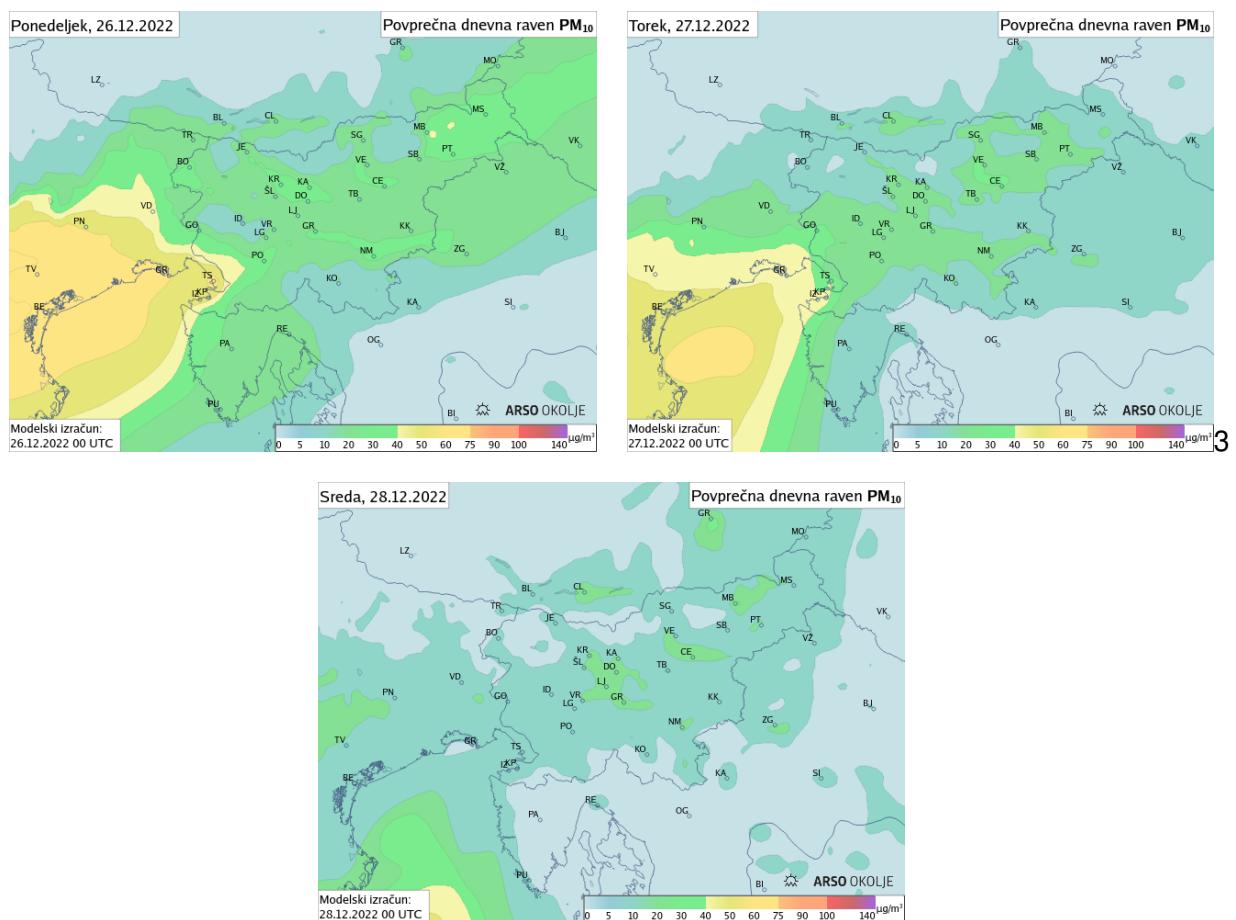
Mejna dnevna vrednost za PM_{10} je bila v novembру presežena na dveh merilnih mestih: štirikrat v Murski Soboti na Cankarjevi cesti in enkrat v Kopru. V Kopru je prišlo do preseganja 2. novembra, ko je bila izmerjena dnevna raven $63\mu\text{g}/\text{m}^3$. Onesnažen zrak je prineslo iz severne Italije, v tistih dneh so se dnevne ravni delcev PM_{10} v okolici Benetk gibale okoli $80\mu\text{g}/\text{m}^3$. Na sliki 6.14 je prikazana napoved poti gibanja delcev zraka (trajektorije) za točko nad Koprom na različnih višinah za 2. november, ki prikazuje pritok zračne mase v Koper iz Padske nižine. Tudi na Goriškem so bile tega dne ravni delcev višje, ampak niso presegle predpisane mejne dnevne vrednosti.



Slika 6.14: Napoved poti gibanja delcev zraka (trajektorije) za točko nad Koprom za dan 2. november 2022.

Onesnaženost zunanjega zraka je bila v decembru zaradi pogostih padavin nižja kot bi pričakovali v hladnem obdobju leta, ko zrak dodatno onesnažujejo individualna kurišča. V celinski Sloveniji je do preseganj prišlo zaradi izrazitega temperaturnega obrata, ki onemogoča razredčevanje izpuškov, na Primorskem pa zaradi prenosa onesnaženega zraka iz zelo obremenjene Padske nižine. V mesecu decembru sta bili dve obdobji s čezmerno onesnaženostjo z delci PM_{10} . Prvo obdobje je trajalo med 12. in 16. decembrom, ko so bili zaradi nizkih temperatur in postopnega dotekanja toplejšega zraka v višinah izraziti temperaturni obrati. Pomanjkanje sončnega vremena je dodatno onemogočalo mešanje zraka v vertikalni smeri, kar je povzročilo postopno akumulacijo onesnaževal v nižjih plasteh ozračja. Najvišje ravni delcev PM_{10} so bile v tem obdobju izmerjene 15. decembra, ko je bila mejna vrednost delcev PM_{10} presežena hkrati v petih mestih - v Ljubljani, Celju, Mariboru, Murski Soboti in na Ptiju. Kljub padavinam, ki so v prvem delu noči zajele vso Slovenijo, je inverzija predvsem v vzhodni polovici Slovenije vztrajala tudi večino naslednjega dne (16. december).

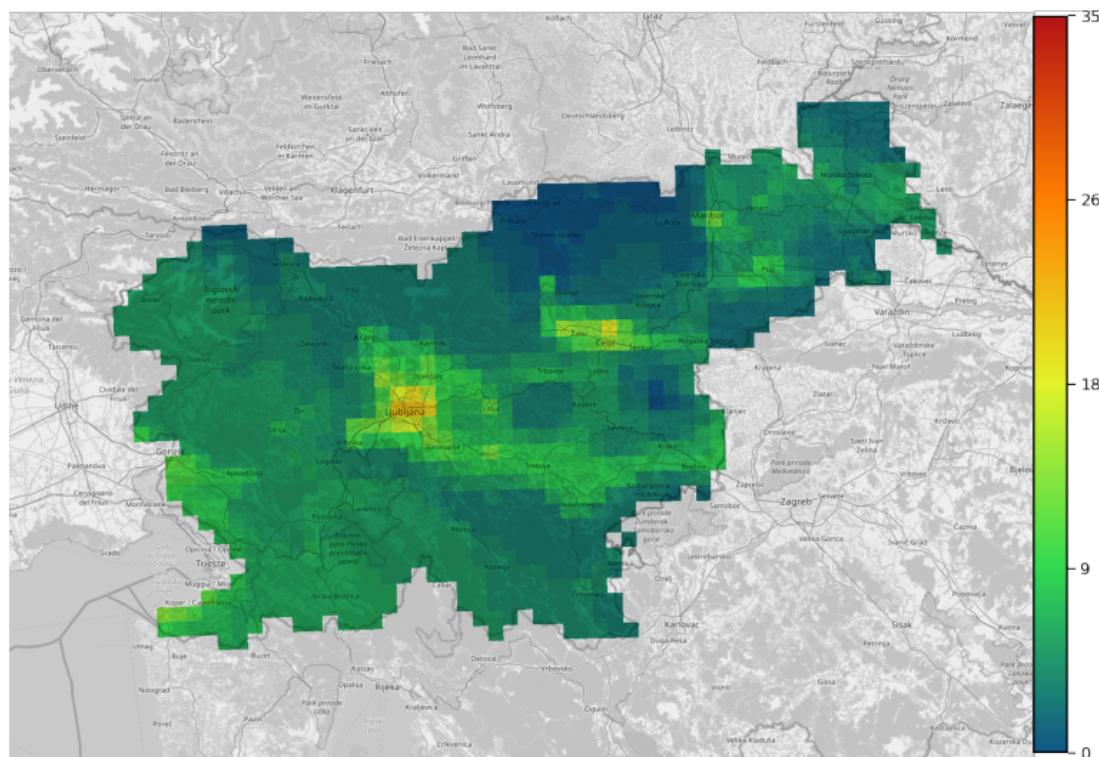
Kakovost zraka se je v Celju, Mariboru, Murski Soboti in na Ptiju postopno izboljšala šele zvečer, ob prehodu hladne fronte. V drugem obdobju (od 21. decembra do konca leta) je bila kakovost zraka slaba predvsem na Primorskem, ki je bila tem času pod vplivom onesnaženega zraka nad Padsko nižino in severnim Jadranom. S prevladujočimi zahodnimi in jugozahodnimi vetrovi in višinah je pogosto zanašalo oblak onesnaženosti nad Novo Gorico in Koper. Na teh dveh meritnih postajah so bile v tem obdobju večkrat presežne dnevne mejne vrednosti delcev PM₁₀. Najbolj onesnažen je bil zrak 27. decembra, ko nas je oplazila vremenska fronta, ki se je pomikala prek srednje Evrope. Ta dan je bila izmerjena dnevna raven PM₁₀ v Novi Gorici 70 µg/m³ v Kopru pa kar 97 µg/m³. Na sliki 6.14 je prikazan prostorski potek onesnaženosti z delci PM₁₀ nad Slovenijo in bližnjo okolico kot ga vidi fotokemični model CAMx za dneve 26., 27. in 28.december.



Slika 6.14: Dnevne ravni delcev PM₁₀ izračunane z modelskim sistemom ALADIN-SI/CAMx za izbrane dni v µg/m³.

6.5 Modelska ocena števila preseganj mejne vrednosti v letu 2022 za onesnaževalo PM₁₀

V letu 2022 smo pri področju modeliranja dodali novo statistično analizo, in sicer modelsko oceno števila preseganj mejne vrednosti z modelom CAMx. V nadaljevanju so prikazani rezultati za onesnaževalo PM₁₀ za leto 2022.



Slika 6.15: Prostorska porazdelitev modelske ocene števila preseganj mejne dnevne vrednosti delcev PM₁₀ ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) v letu 2022.

Iz slike 6.15 vidimo, da model CAMx največ preseganj oceni na širšem območju Ljubljane, kar je posledica večjih izpustov na tem območju, ter izrazita kotlinska lega, kjer se v hladnih mesecih pogosto pojavljajo temperaturni obrati, ki onemogočajo redčenje ravni delcev PM₁₀. Vzrok večjega števila preseganj mejne vrednosti zaradi meteorološke in geografske značilnosti imata tudi Celjska kotlina, ter Murska Sobota, kjer so pozimi pogosto prisotni temperaturni obrati. Med drugim lahko opazimo tudi vpliv mest, kjer so izpusti večji kot drugod kar posledično pomeni tudi višje ravni. Takšna mesta so Ptuj, Maribor, Kranj in Novo mesto. Na Primorskem (širše območje okoli Nove Gorice in Kopra) pa je večje število preseganj posledica vpliva Padske nižine. Ob zahodnih vetrovih se nad to območje prenaša onesnažen zrak iznad severnega dela Italije.

6.6 Kemijska in elementna sestava delcev

Sekundarni aerosoli so glavna sestavina delcev v zraku, tako pozimi kot tudi poleti. Pozimi nastajajo kot posledica visokih izpustov primarnih antropogenih virov, predvsem prometa in malih kurilnih naprav, v poletnem času pa zaradi povišanih izpustov iz biogenih virov. Sestava sekundarnih aerosolov vključuje anorganske spojine (predvsem amonij, nitrat in sulfat) in organske spojine (mešanica številnih različnih družin organskih spojin). Kemijska sestava sekundarnih aerosolov kaže na prevladovanje različnih virov predhodnikov glede na letni čas in na različne fizikalne in vremenske pogoje, ki spodbujajo reakcije njihovega nastanka v ozračju. V delcih PM_{2,5} smo na merilnem mestu Iskrba spremljali vsebnost ionov (nitrata, sulfata in amonija) ter elementarnega in organskega ogljika. Rezultati so prikazani ločeno za zimsko obdobje (od januarja do marca in od oktobra do decembra) in poletno obdobje (od aprila do septembra) v tabeli 6.12.

Tabela 6.12: Sestava delcev PM_{2,5} na merilnem mestu Iskrba v letu 2022.

		zimsko obdobje	poletno obdobje
Iskrba	NH ₄ ⁺ +NO ₃ ⁻ +SO ₄ ²⁻	(µg/m ³)	2,1
	Organski ogljik	(µgC/m ³)	2,5
	Elementarni ogljik	(µgC/m ³)	0,24

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

7.1 Benzo(a)piren

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

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

7.1.1 Zahteve za kakovost zraka

Ciljna vrednost za benzo(a)piren je predpisana v Uredbi o arzenu, kadmiju, živem srebru, niklju in policikličnih aromatskih ogljikovodikih v zunanjem zraku [11]. Prikazana je v tabeli 7.1.

Tabela 7.1: Ciljna vrednost za benzo(a)piren (ng/m³).

	Cilj	Čas merjenja	Vrednost
Ciljna vrednost	Zdravje	Koledarsko leto	1

7.1.2 Ravni onesnaženosti

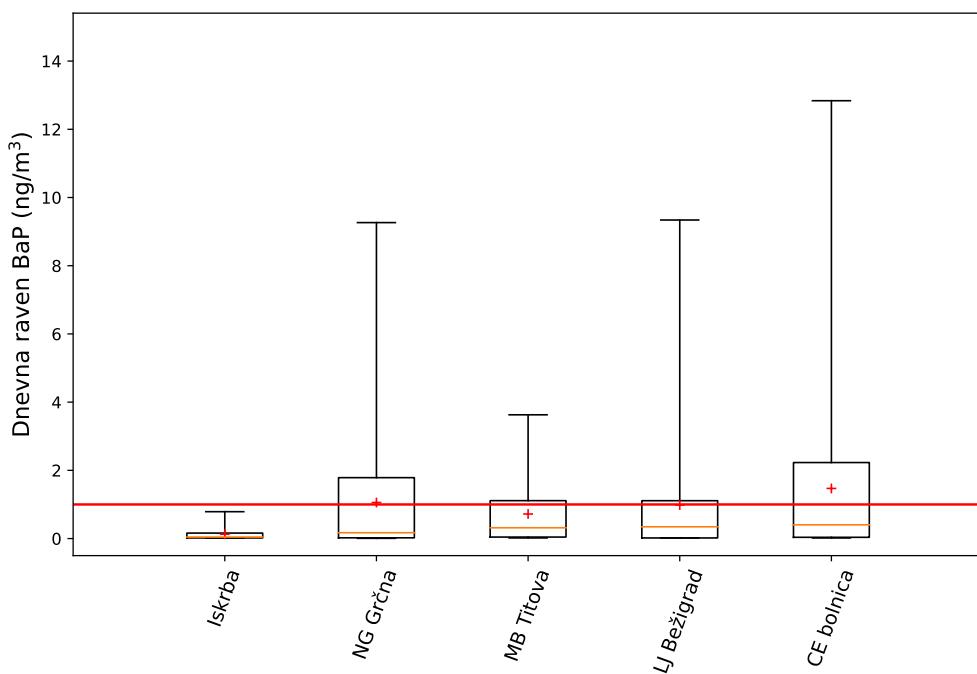
Pregled izmerjenih vrednosti benzo(a)pirena (BaP) v letu 2022 je prikazan v tabeli 7.2 ter na slikah 7.1 in 7.2. V letu 2018 smo v Ljubljani meritve benzo(a)pirena prestavili z merilnega mesta Biotehniška fakulteta na merilno mesto Bežigrad. Poleg tega smo meritve v letu 2022 izvajali še v Mariboru, Novi Gorici, Celju in na Iskrbi. Najvišja povprečna letna raven benzo(a)pirena je bila v letu 2022 izmerjena na merilnem mestu v Celju pri bolnici in je dosegla ciljno vrednost. Na Iskrbi je bila povprečna letna vrednost po pričakovanjih najnižja. V letu 2022 so ravni benzo(a)pirena na vseh merilnih mestih podobne kot v prejšnjih letih (tabela 7.3 in slika 7.3).

Letni poteki ravni benzo(a)pirena (slika 7.2) kažejo, da so najvišje ravni izmerjene v kurišni 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 7.2: Letna razpoložljivost z dnevнимi podatki (%) pod) in povprečna letna raven (C_p) benzo(a)pirena v ng/m^3 v letu 2022.

	% pod.	C_p
CE bolnica	33	1,5
Iskrba	33	0,13
LJ Bežigrad	33	0,98
MB Titova	33	0,72
NG Grčna	92	1,1

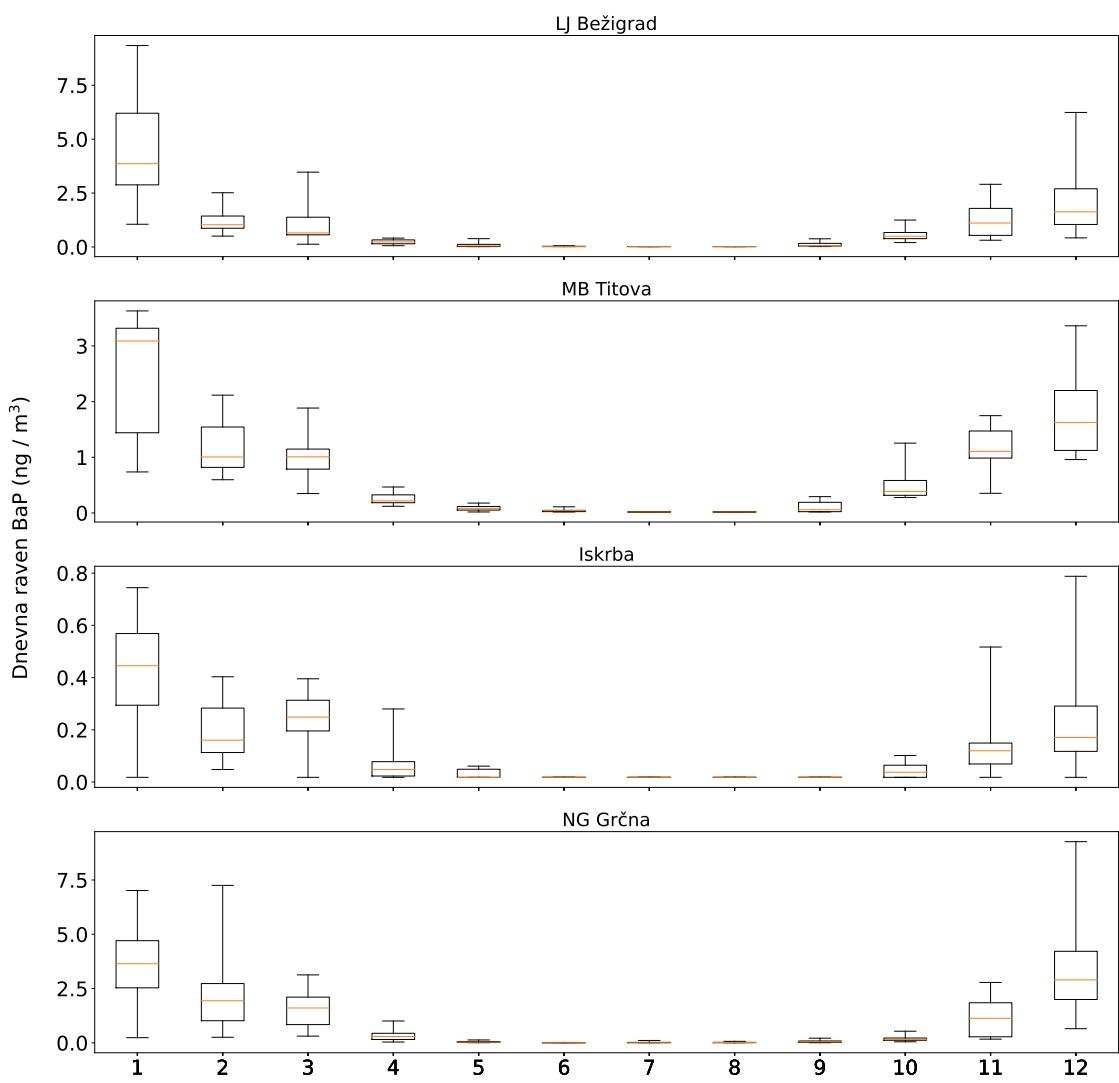


Slika 7.1: Prikaz dnevnih ravni benzo(a)pirena na merilnih mestih v letu 2022. Prikazani so najnižja in najvišja dnevna raven (spodnja in zgornja vodoravna črtica), oba kvartila (vrh in dno pravokotnika) in mediana (rdeča vodoravna črtica v pravokotniku). Križci označujejo povprečno letno raven. Rdeča črta prikazuje letno ciljno vrednost.

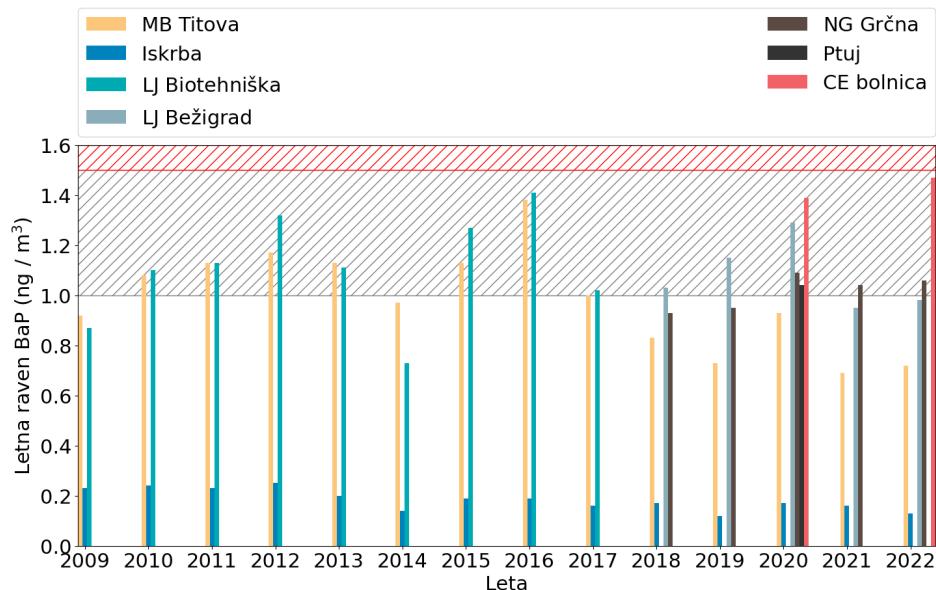
Tabela 7.3: Povprečna letna raven benzo(a)pirena (ng/m^3) na merilnih mestih po letih.

	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
CE bolnica	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	1,4	/	1,5
Deskle	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	1,3	/
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
LJ Bežigrad	/	/	/	/	/	/	/	/	/	1,0	1,2	1,3	0,95	0,98
LJ Biotehniška	0,87	1,1	1,1	1,3	1,1	0,73	1,3	1,4	1,0	/	/	/	/	/
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
NG Grčna	/	/	/	/	/	/	/	/	/	0,93	0,95	1,1	1,0	1,1
Ptuj	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	1,1	/	/

* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.



Slika 7.2: Prikaz dnevnih ravni benzo(a)pirena na merilnih mestih po mesecih v letu 2022. Prikazani so najnižja in najvišja izmerjena vrednost (spodnja in zgornja vodoravna črtica), oba kvartila (vrh in dno pravokotnika) in mediana (rdeča vodoravna črtica v pravokotniku).



Slika 7.3: Prikaz povprečnih letnih ravni benzo(a)pirena na različnih postajah po letih.

7.2 Težke 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 kopjenja v zemlji, vodah in sedimentih kot tudi v organizmih. Težke 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 težka kovina, ki je splošno razširjena in se v nizkih ravneh tudi sicer pojavlja v naravi. Zgorevanje oljnih ostankov in kuričnih olj, rudarjenje in rafiniranje niklja ter sežig gospodinjskih odpadkov so glavni antropogeni viri izpustov niklja v ozračje. Nikelj pri višjih vrednostih povzroča povišano dozvetnost 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 težka 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; prizvodnja kadmij-nikljevih baterij na primer porabi 55 % vsega prozvedenega 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.

7.2.1 Izpusti

Letni izpusti arzena so v Sloveniji leta 2021 znašali 0,6 ton. V primerjavi z letom 1990 so se zmanjšali za 33 % (slika 7.4). Najpomembnejši vir izpustov arzena je proizvodnja elektrike in toplice. Oskrba z energijo je v letu 2021 prispevala k skupnim državnim izpustom arzena kar 85 % (slika 7.5).

Letni izpusti niklja so v Sloveniji leta 2021 znašali 1,4 ton. V obdobju 1990-2021 so se izpusti zmanjšali za 52 % (slika 7.6). Glavni viri izpustov niklja so bili v letu 2021 industrijski procesi in raba topil (39 %), proizvodnja elektrike (27 %) in mala kurišča (20 %) (slika 7.7).

Letni izpusti kadmija so v Sloveniji leta 2021 znašali 0,6 ton. V primerjavi z letom 1990 so se zmanjšali za 6 % (slika 7.8). Glavni razlog za nižje izpuste kadmija v zadnjih letih je posodobitev tehnoloških procesov. Največji delež k skupnim izpustom kadmija je v letu 2020 prispevala raba goriv v gospodinjstvih in storitvenem sektorju (43 %) (slika 7.9).

Letni izpusti svinca so v Sloveniji leta 2020 znašali 5,6 ton. V obdobju 1990-2021 so se zmanjšali za 87 %, predvsem zaradi opustitve osvinčenih motornih bencinov (slika 7.10). Največji delež k skupnim izpustom svinca so prispevali industrijski procesi (40 %) (slika 7.11).

Slovenija izpolnjuje zahteve iz Protokola o težkih 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.

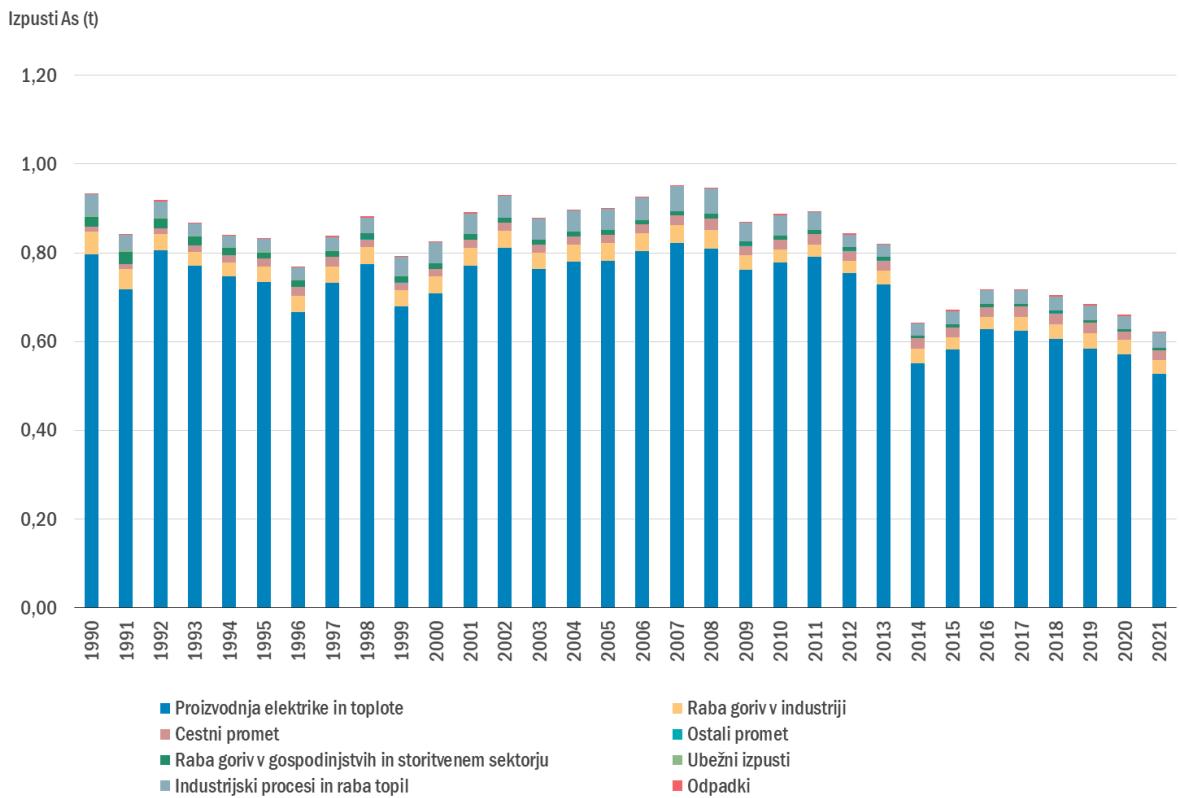
Podrobne informacije o izpustih težkih kovin in metodologiji izračuna izpustov so na voljo v [10].

7.2.2 Zahteve za kakovost zraka

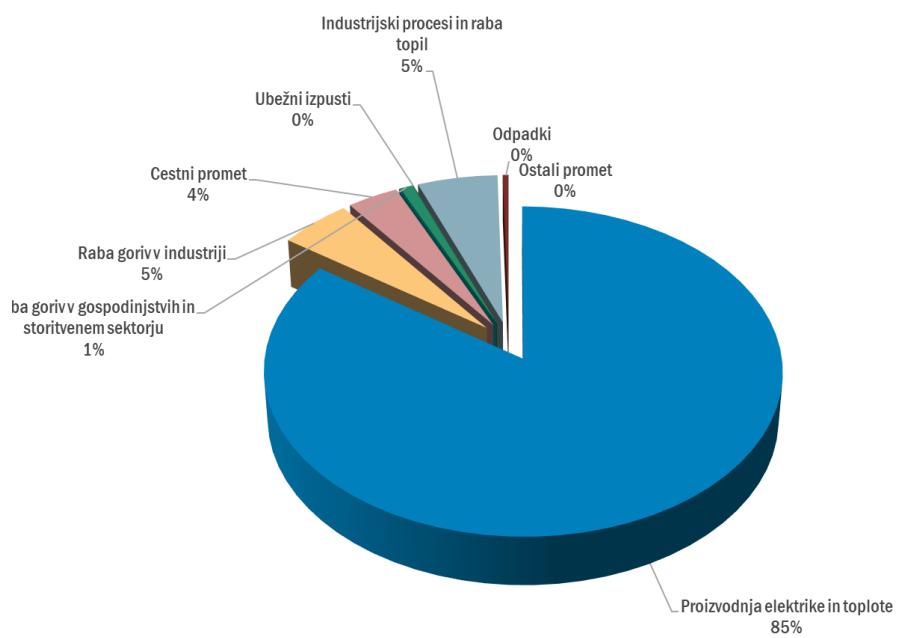
Ciljne vrednosti za nikelj, arzen in kadmij so predpisane v Uredbi o arzenu, kadmiju, živem srebru, niklju in policikličnih aromatskih ogljikovodikih v zunanjem zraku [11], mejna vrednost za svinec je določena v Uredbi o kakovosti zunanjega zraka [6]. Predpisane vrednosti so podane v tabeli 7.4.

Tabela 7.4: Mejna vrednost za svinec ter ciljne vrednosti za arzen, kadmij in nikelj.

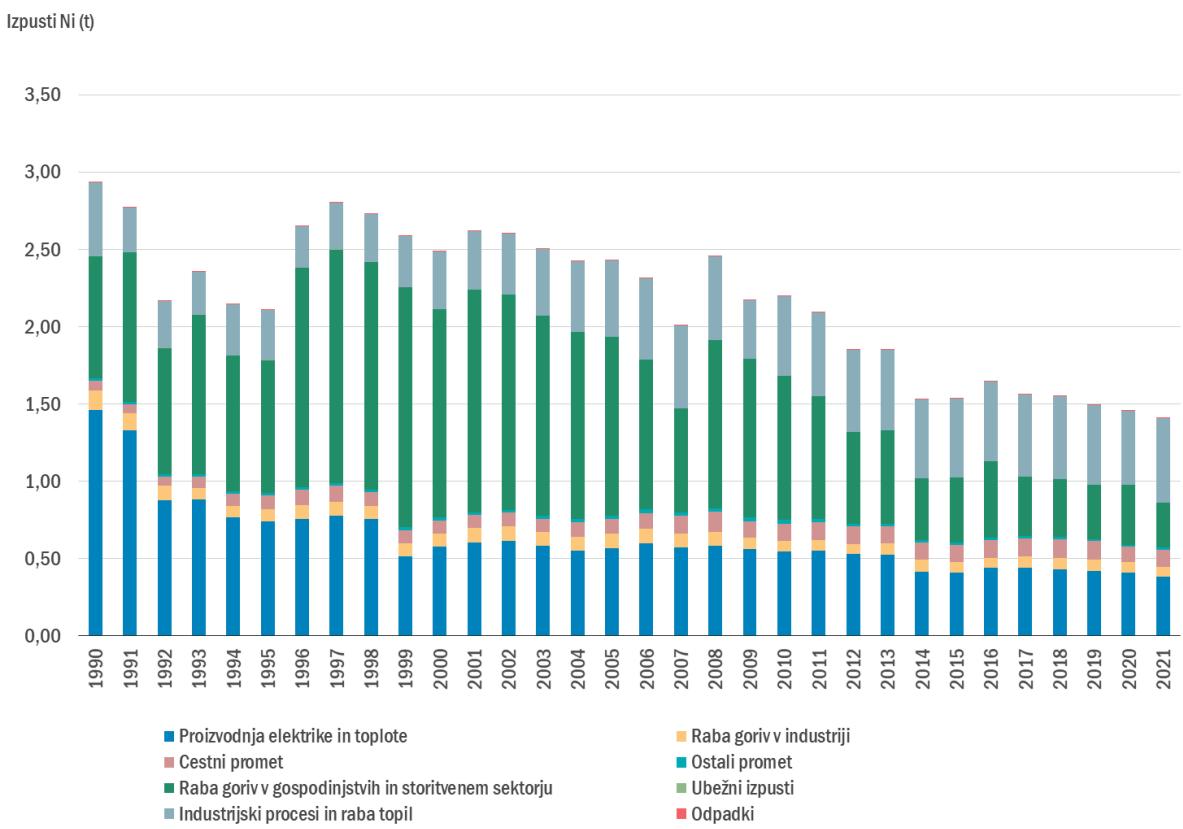
Cilj	Čas povprečenja	Vrednost (ng/m ³)
Arzen	zdravje	koledarsko leto
Kadmij	zdravje	koledarsko leto
Nikelj	zdravje	koledarsko leto
Svinec	zdravje	koledarsko leto



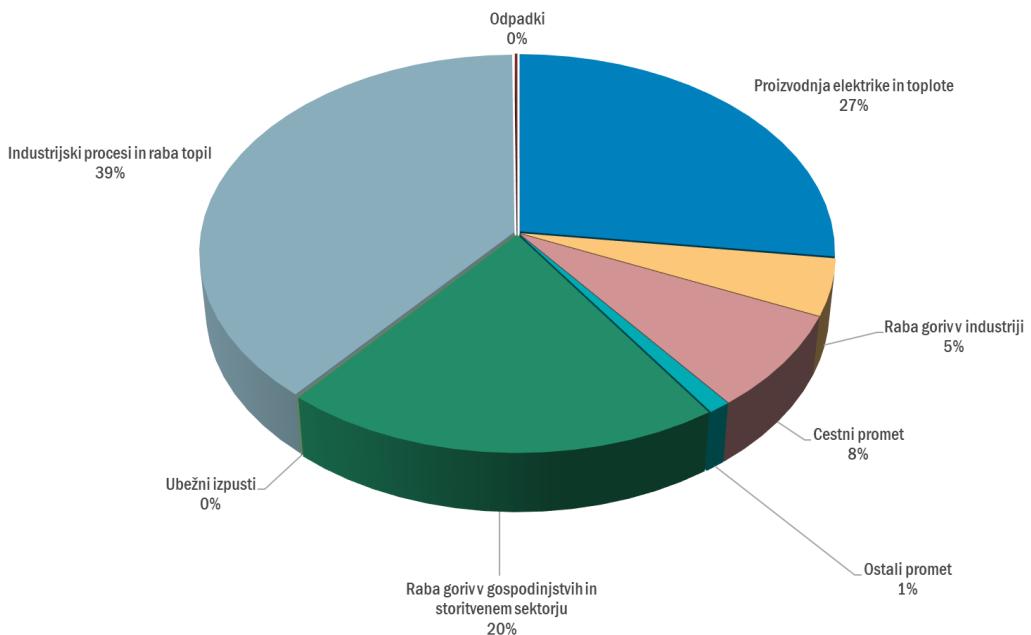
Slika 7.4: Letni izpusti arzena po sektorjih v Sloveniji.



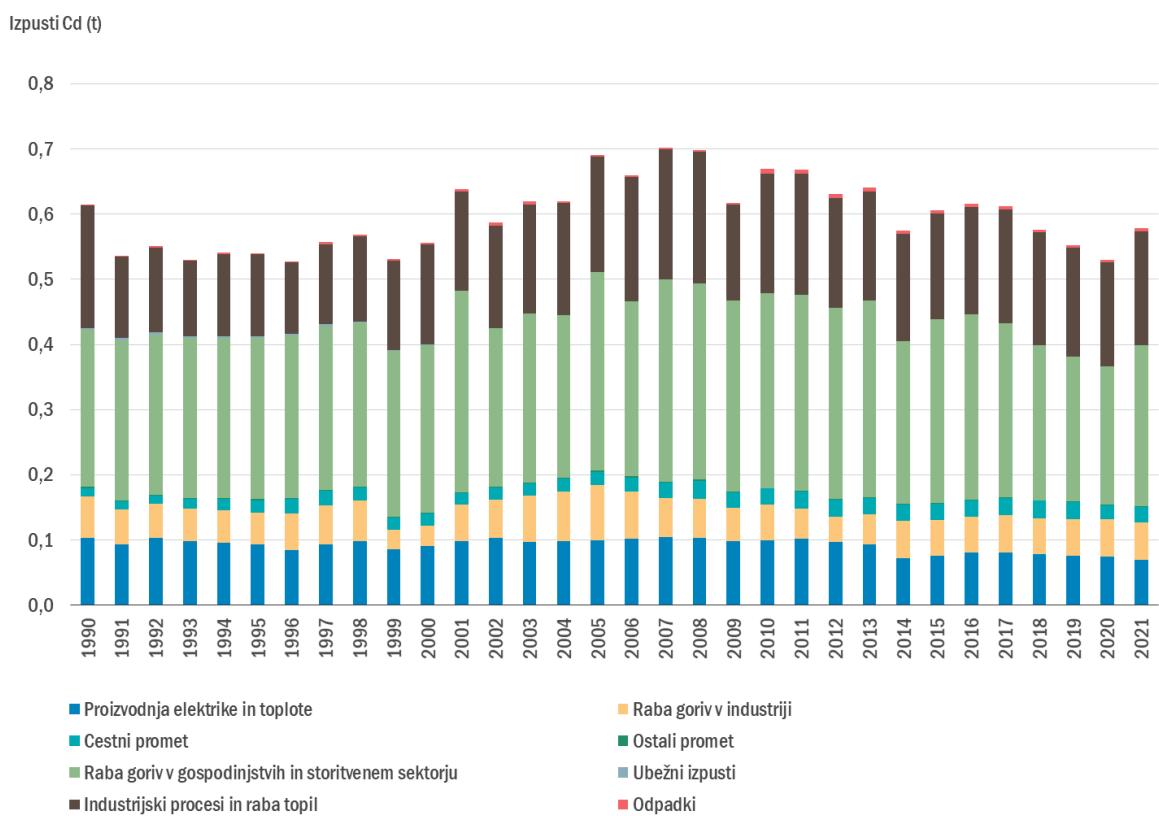
Slika 7.5: Izpusti arzena po sektorjih v Sloveniji v letu 2021.



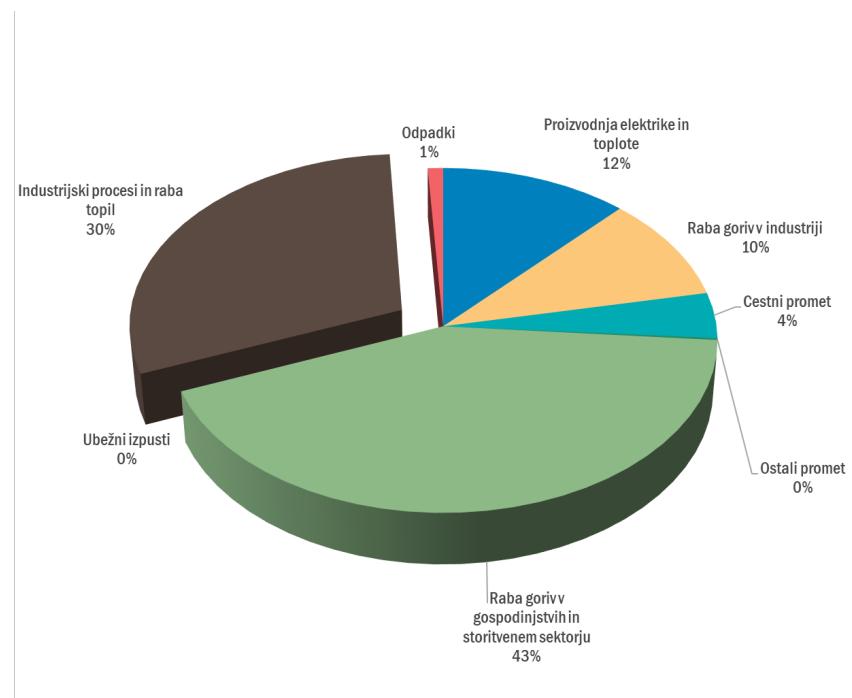
Slika 7.6: Letni izpusti niklja po sektorjih v Sloveniji.



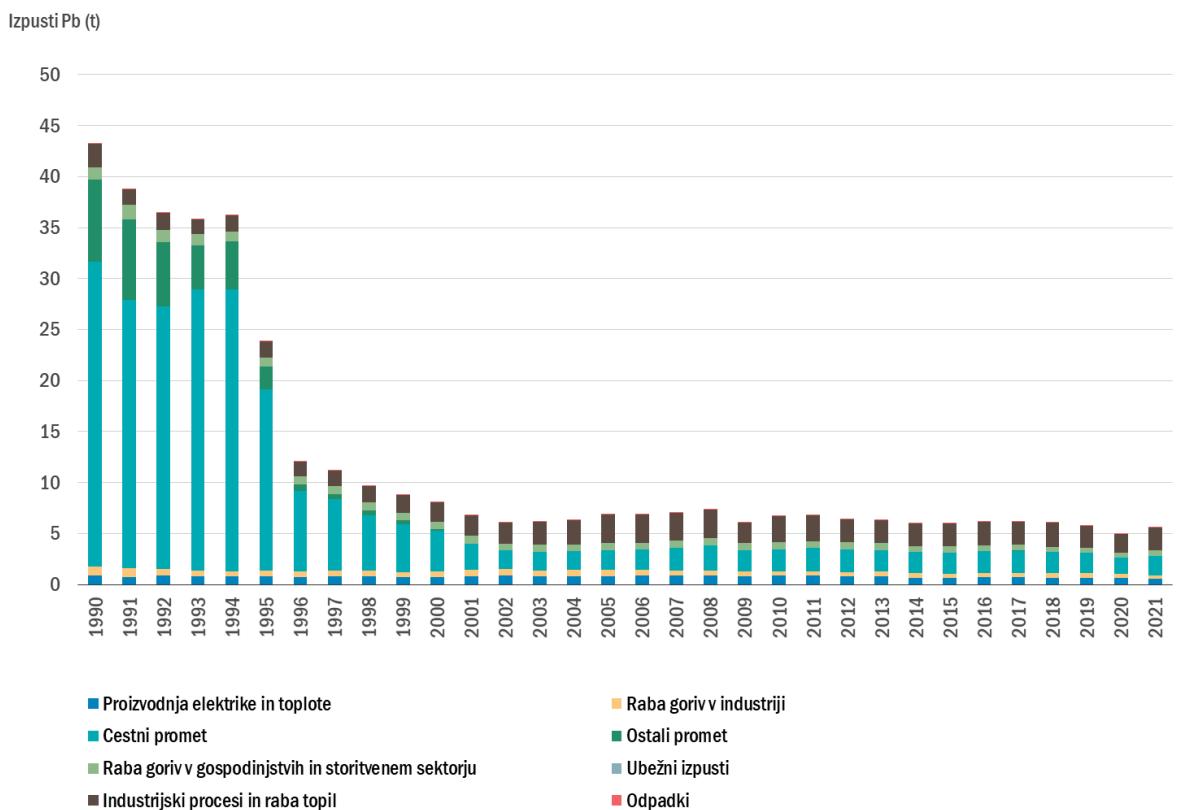
Slika 7.7: Izpusti niklja po sektorjih v Sloveniji v letu 2021.



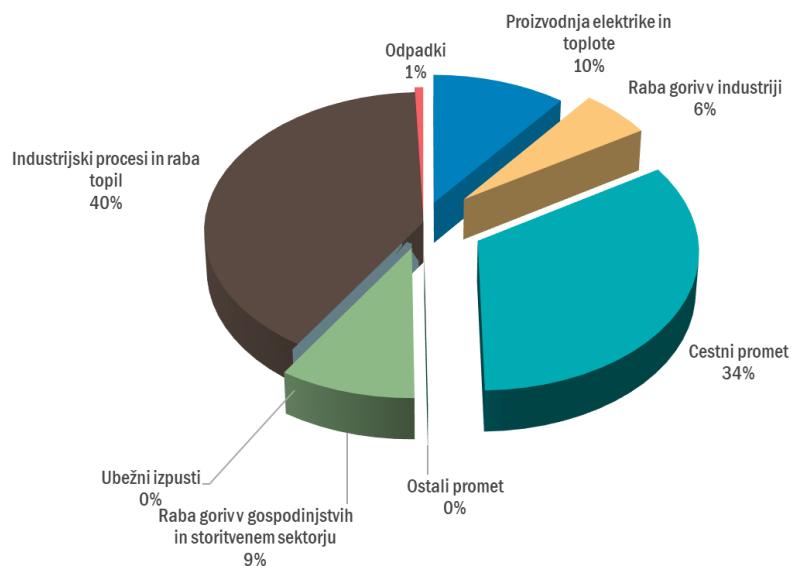
Slika 7.8: Letni izpusti kadmija po sektorjih v Sloveniji.



Slika 7.9: Izpusti kadmija po sektorjih v Sloveniji v letu 2021.



Slika 7.10: Letni izpusti svinca po sektorjih v Sloveniji.



Slika 7.11: Izpusti svinca po sektorjih v Sloveniji v letu 2021.

7.2.3 Ravni onesnaženosti

Pregled letnih ravni težkih kovin v letu 2022 izračunanih iz povprečnih dnevnih vrednosti je prikazan v tabeli 7.5 ter na slikah od 7.12 do 7.15. Meritve težkih kovin stalno izvajamo na petih merilnih mestih: Ljubljana Bežigrad, Maribor Titova, Žerjav, Iskrba in Celje bolnica. V letu 2018 smo v Ljubljani meritve težkih kovin prestavili z merilnega mesta Biotehniška fakulteta na merilno mesto Bežigrad.

Tabela 7.5: Letna pokritost s podatki (% pod) in letna raven težkih kovin (ng/m³) v letu 2021. Raven onesnaženosti večja od predpisane letne mejne vrednosti je označena krepko.

	% pod	Arzen	Nikelj	Kadmij	Svinec
CE bolnica	19	0,44	1,3	0,52	6,6
Iskrba	22	0,22	0,77	0,06	1,7
LJ Bežigrad	22	0,32	1,5	0,21	5,3
MB Titova	22	0,44	1,5	0,14	5,7
NG Grčna	92	0,30	0,86	0,12	4,6
Žerjav	49	1,7	0,94	1,6	297

V letu 2022 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. Mesečni poteki ravni težkih kovin so prikazani na slikah od 7.16 do 7.19 in iz njih ni opaznega sezonskega trenda. V juniju so bile zabeležene višje ravni težkih kovin skoraj na vseh merilnih mesecih, kar je posledica puščavskega prahu. Primerjava ravni težkih kovin v obdobju od 2009 do 2022 kaže, da obremenjenost ostaja približno na istem nivoju (tabele 7.6 do 7.9 in slike 7.20 do 7.23).

Tabela 7.6: Letna raven arzena (ng/m³).

	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
CE bolnica	/	/	/	/	/	/	/	0,53	0,55	0,48	0,42	0,38	0,37	0,44
Deskle	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	0,19	/
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
LJ Bežigrad	/	/	/	/	/	/	/	/	/	0,42	0,35	0,30	0,33	0,32
LJ Biotehniška	0,47	0,48	0,58	0,56	0,65	0,42	0,50	0,40	0,44	/	/	/	/	/
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
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

* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.

Tabela 7.7: Letna raven niklja (ng/m³).

	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
CE bolnica	/	/	/	/	/	/	/	1,6	1,6	1,5	1,2	1,2	1,4	1,3
Deskle	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	0,72	/
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
LJ Bežigrad	/	/	/	/	/	/	/	/	/	3,6	2,1	1,4	2,2	1,5
LJ Biotehniška	5,2	4,5	7,2	5,7	6,5	3,3	3,6	2,6	2,8	/	/	/	/	/
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
NG Grčna	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	0,90	0,86
Ptuj	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	0,16	/	/
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

* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.

Tabela 7.8: Letna raven kadmija (ng/m³).

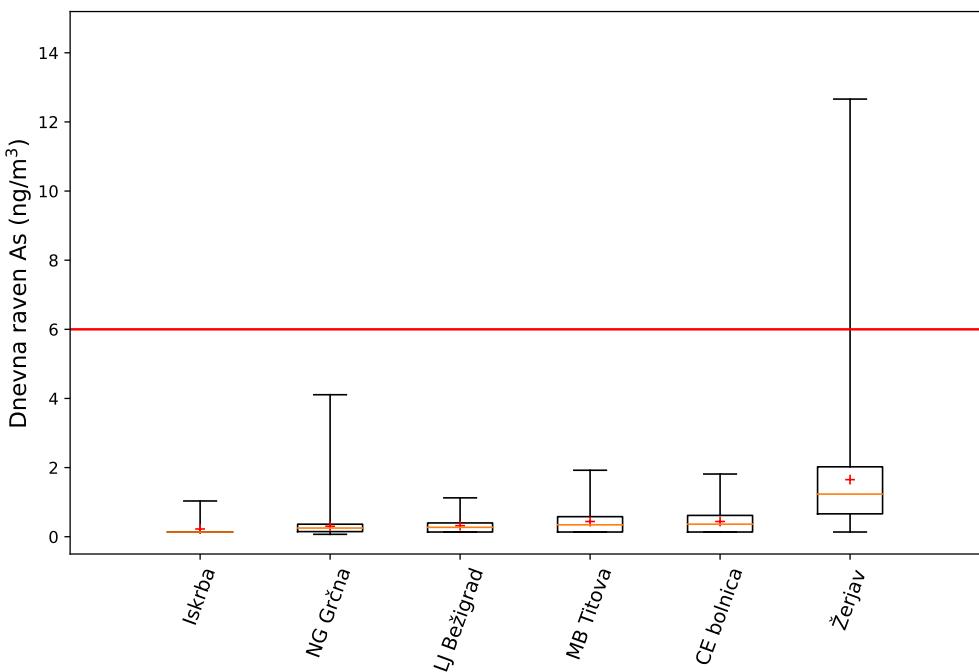
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
CE bolnica	/	/	/	/	/	/	/	0,95	0,38	0,39	0,52	0,64	0,34	0,52
Deskle	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	0,09	/
Iskrba	0,10	0,11	0,26	0,11	0,08	0,09	0,08	0,07	0,07	0,08	0,06	0,08*	0,06	0,06
LJ Bežigrad	/	/	/	/	/	/	/	/	/	0,25	0,18	0,25	0,20	0,21
LJ Biotehniška	0,22	0,26	0,47	0,25	0,28	0,22	0,23	0,22	0,19	/	/	/	/	/
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
NG Grčna	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	0,12	0,12
Ptuj	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	4,0	/	/
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

* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.

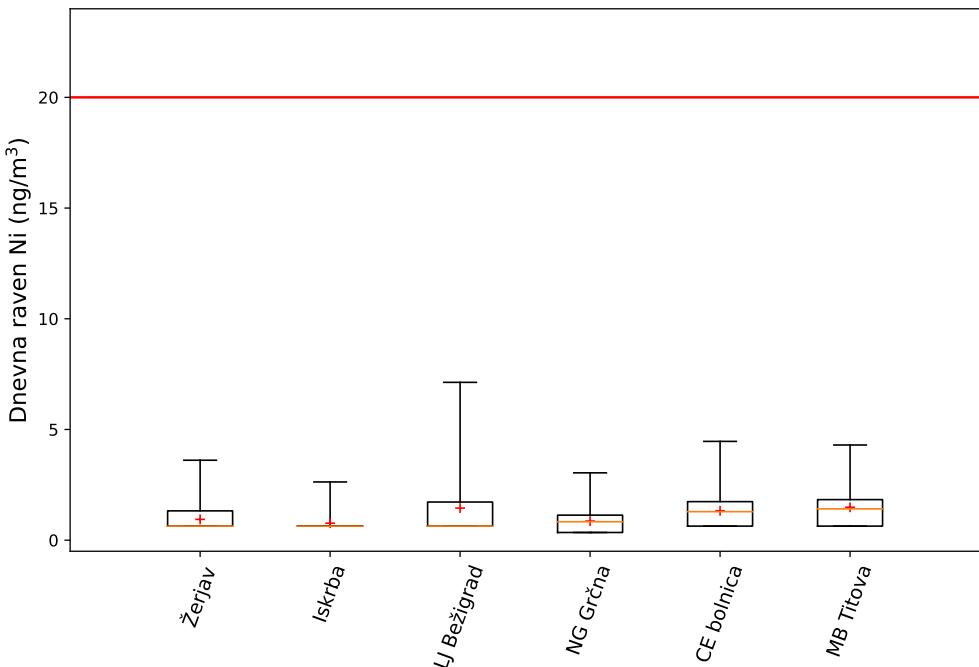
Tabela 7.9: Letna raven svinca (ng/m³).

	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
CE bolnica	/	/	/	/	/	/	/	7,5	7,6	7,4	6,9	7,0	5,7	6,6
Deskle	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	2,6	/
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
LJ Bežigrad	/	/	/	/	/	/	/	/	/	12,7	6,7	7,1	5,9	5,3
LJ Biotehniška	8,3	8,3	10,8	7,4	6,6	5,6	7,1	6,1	5,8	/	/	/	/	/
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
NG Grčna	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	4,2	4,6
Ptuj	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	0,50	/	/
Žerjav	293	254	300	252	384	329	338	351	320	400	357	437	694	297

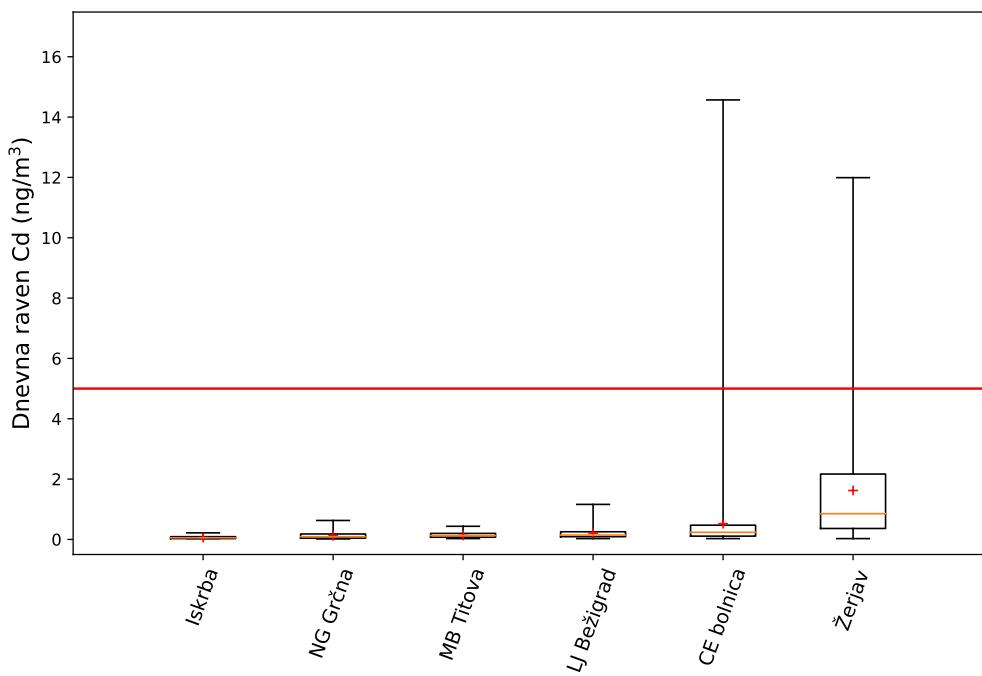
* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.



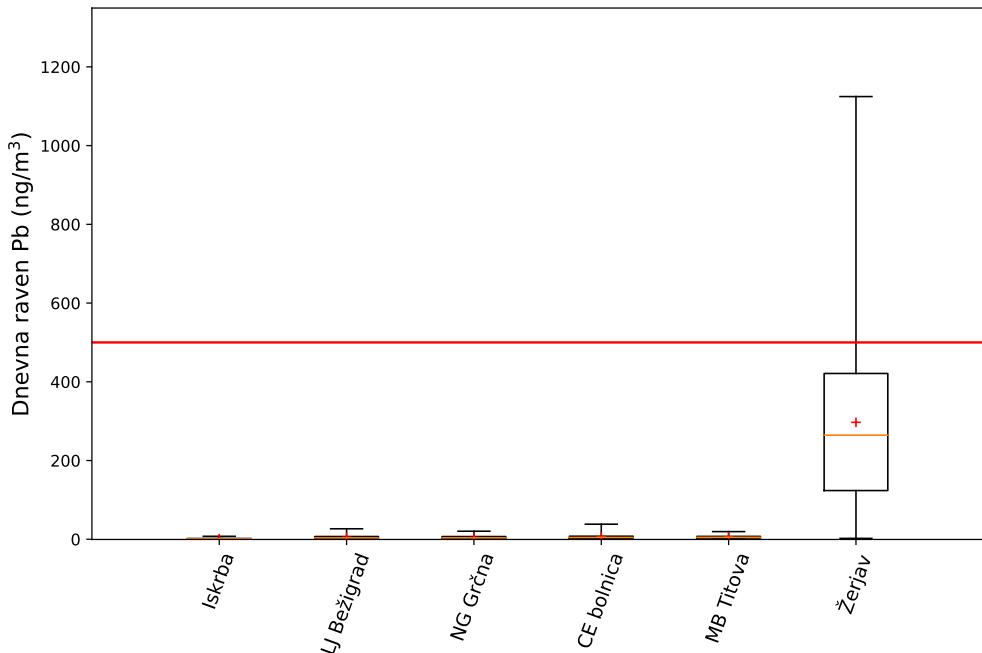
Slika 7.12: Dnevna raven arzena na šestih merilnih mestih v letu 2022. Prikazani so najnižja in najvišja izmerjena raven (spodnja in zgornja vodoravna črtica), oba kvartila (vrh in dno pravokotnika) in mediana (rdeča vodoravna črtica v pravokotniku). Križec predstavlja povprečno letno raven. Rdeča črta prikazuje letno ciljno vrednost.



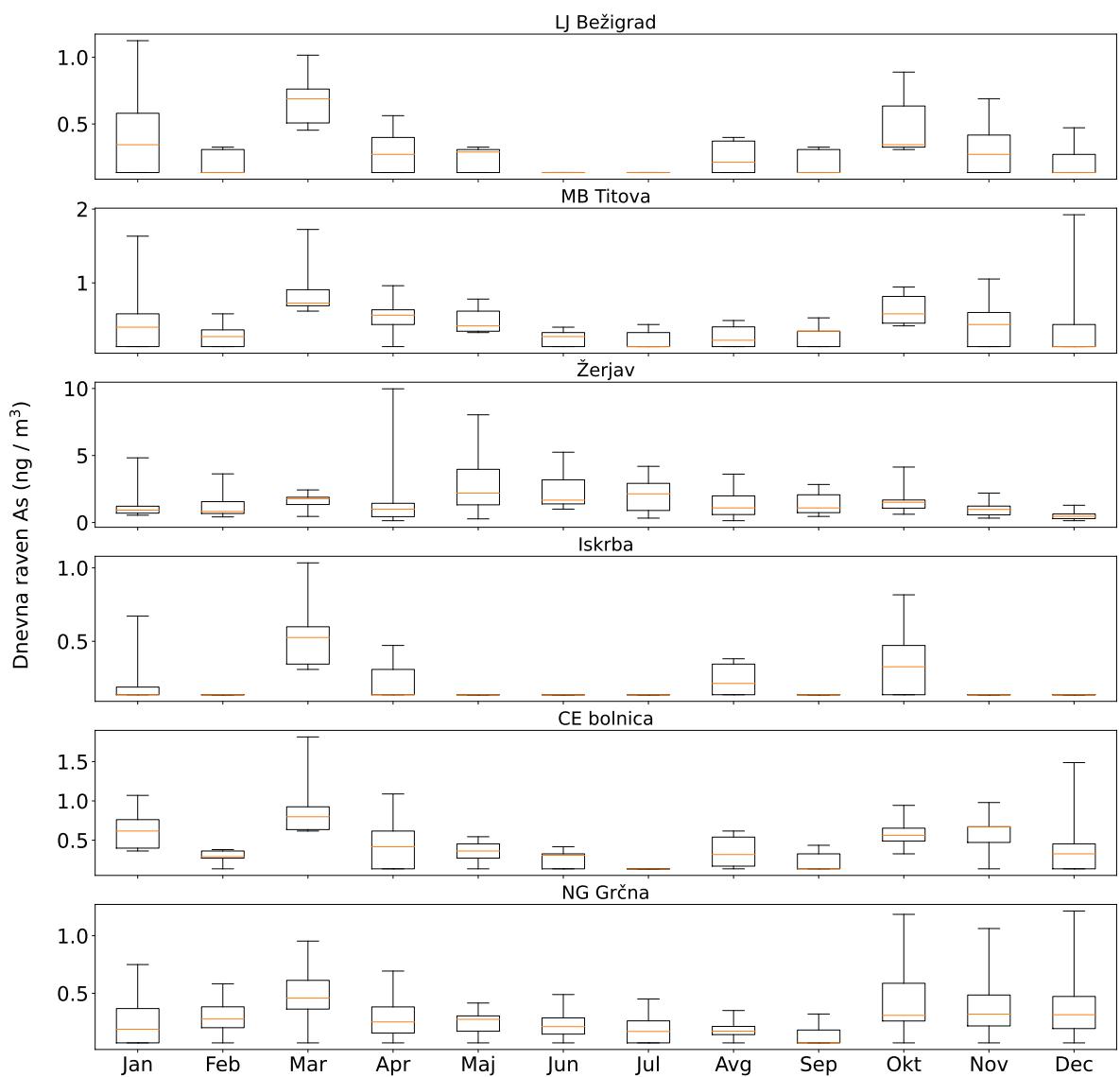
Slika 7.13: Dnevna raven niklja na šestih merilnih mestih v letu 2022. Prikazani so najnižja in najvišja izmerjena raven (spodnja in zgornja vodoravna črtica), oba kvartila (vrh in dno pravokotnika) in mediana (rdeča vodoravna črtica v pravokotniku). Križec predstavlja povprečno letno raven. Rdeča črta prikazuje letno ciljno vrednost.



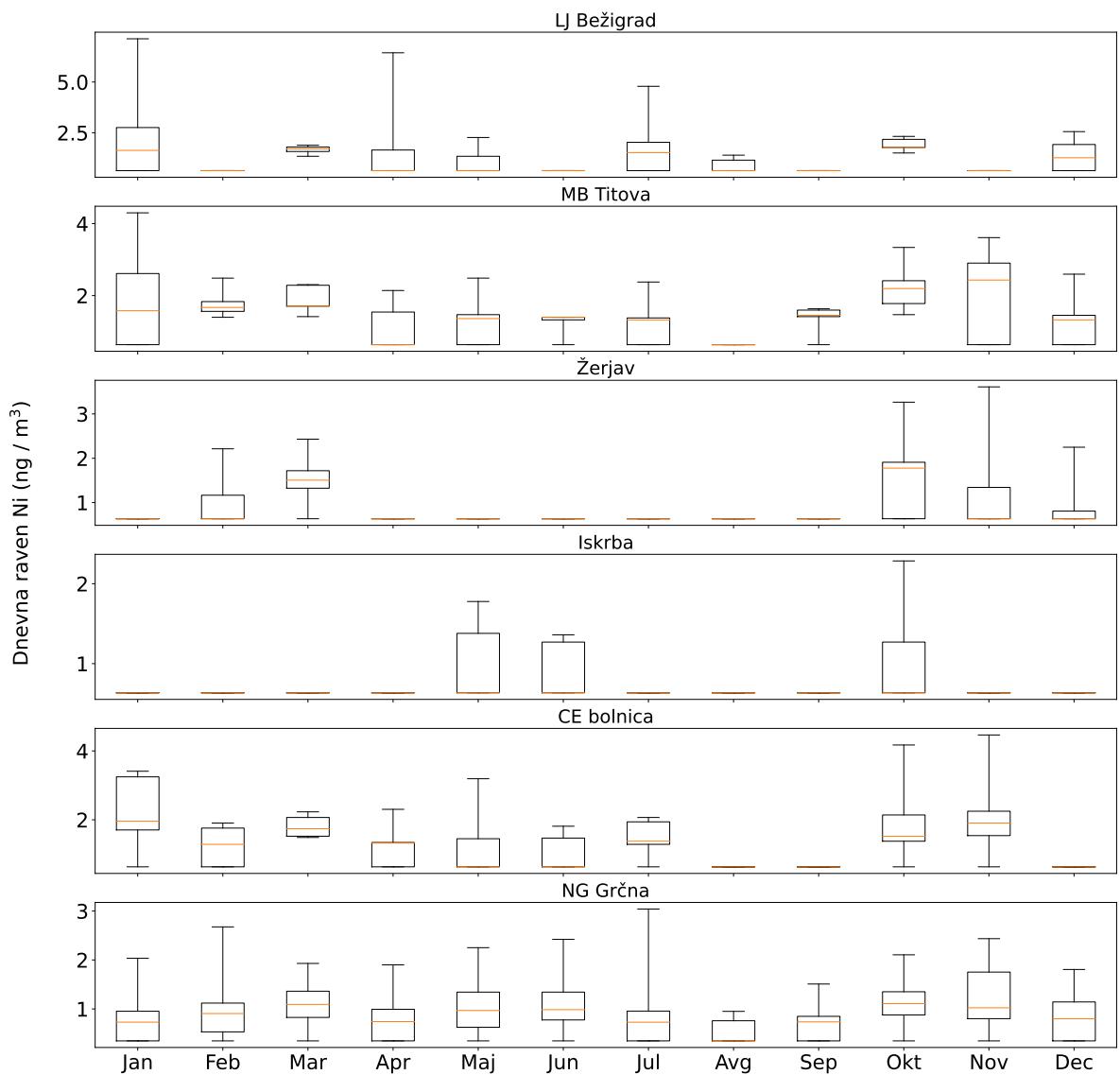
Slika 7.14: Dnevna raven kadmija na šestih merilnih mestih v letu 2022. Prikazani so najnižja in najvišja izmerjena raven (spodnja in zgornja vodoravna črtica), oba kvartila (vrh in dno pravokotnika) in mediana (rdeča vodoravna črtica v pravokotniku). Križec predstavlja povprečno letno raven. Rdeča črta prikazuje letno ciljno vrednost.



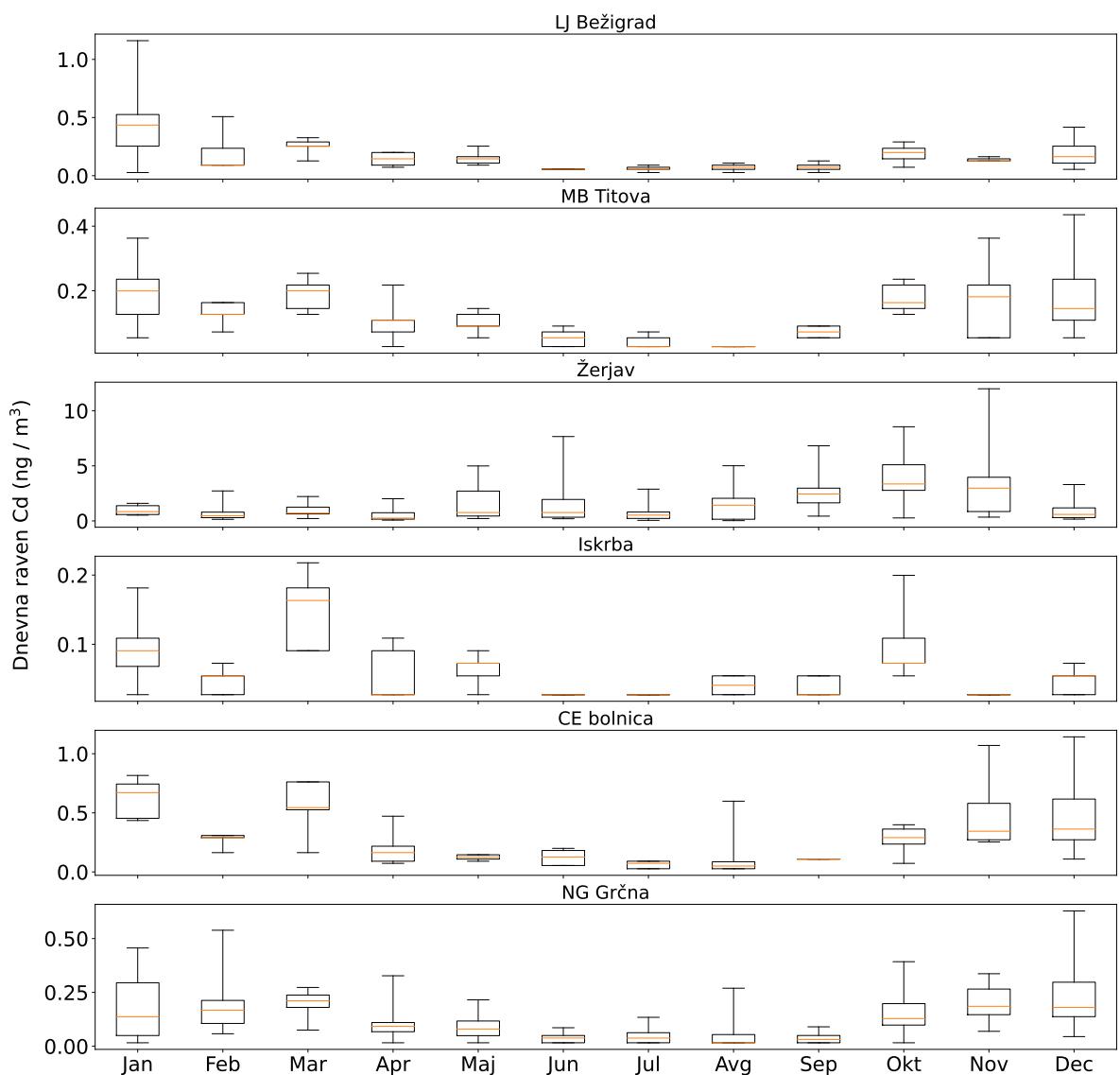
Slika 7.15: Dnevna raven svinca na šestih merilnih mestih v letu 2022. Prikazani so najnižja in najvišja izmerjena raven (spodnja in zgornja vodoravna črtica), oba kvartila (vrh in dno pravokotnika) in mediana (rdeča vodoravna črtica v pravokotniku). Križec predstavlja povprečno letno raven. Rdeča črta prikazuje letno ciljno vrednost.



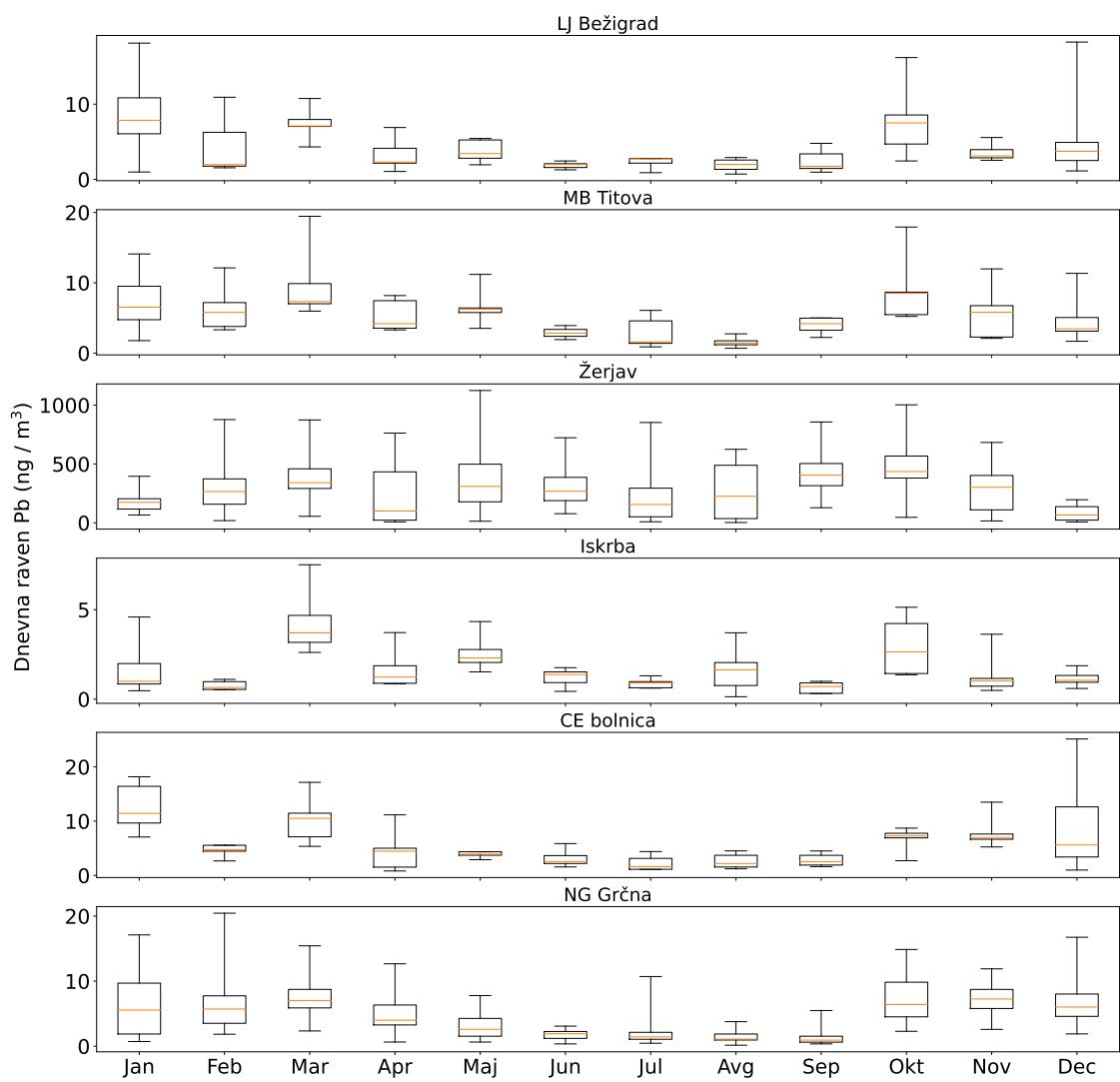
Slika 7.16: Dnevna raven arzena na šestih merilnih mestih po mesecih v letu 2022. Prikazani so najnižja in najvišja izmerjena raven (spodnja in zgornja vodoravna črtica), oba kvartila (vrh in dno pravokotnika) in mediana (rdeča vodoravna črtica v pravokotniku) za posamezni mesec.



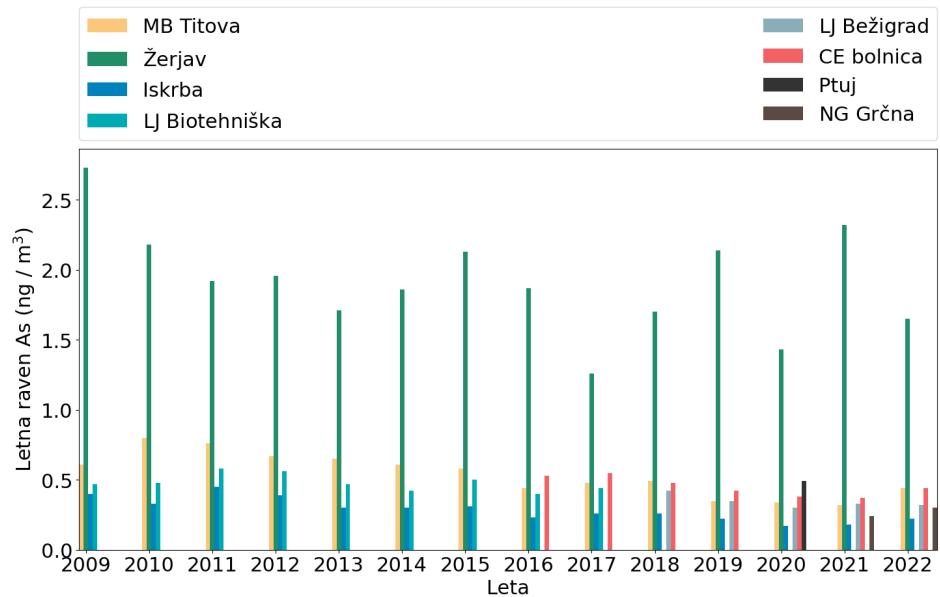
Slika 7.17: Dnevna raven niklja na šestih merilnih mestih po mesecih v letu 2022. Prikazani so najnižja in najvišja izmerjena raven (spodnja in zgornja vodoravna črtica), oba kvartila (vrh in dno pravokotnika) in mediana (rdeča vodoravna črtica v pravokotniku).



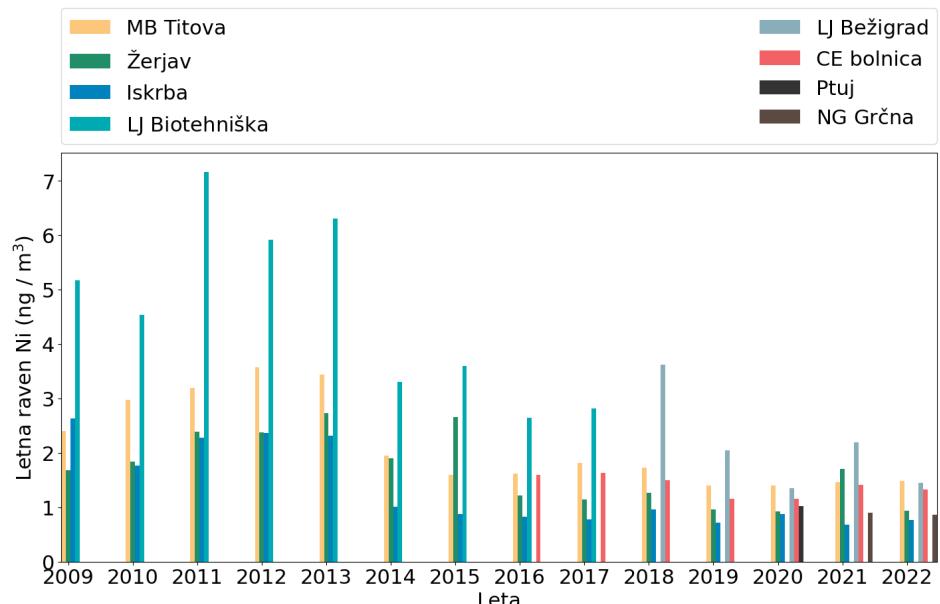
Slika 7.18: Dnevna raven kadmija na šestih merilnih mestih po mesecih v letu 2022. Prikazani so najnižja in najvišja izmerjena raven (spodnja in zgornja vodoravna črtica), oba kvartila (vrh in dno pravokotnika) in mediana (rdeča vodoravna črtica v pravokotniku).



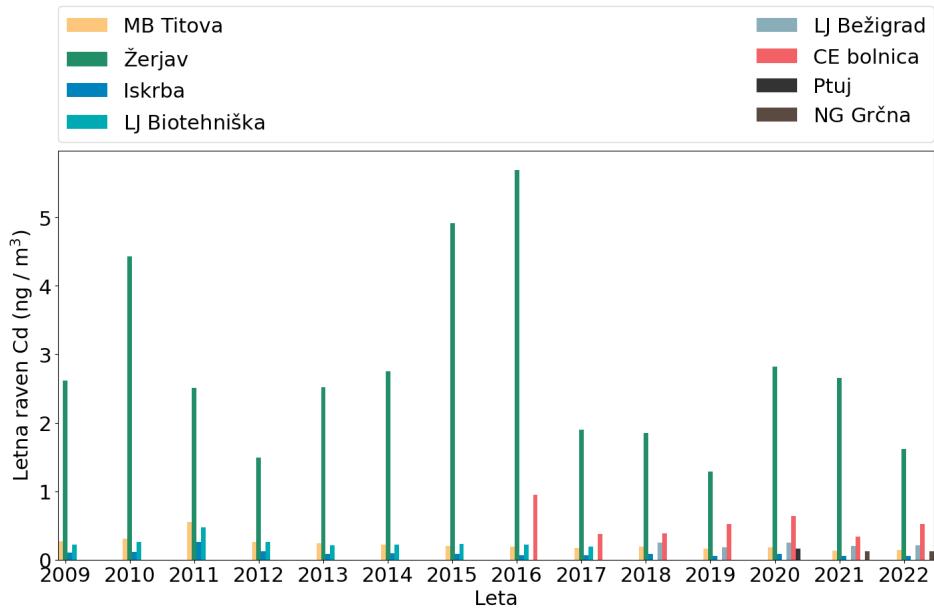
Slika 7.19: Dnevna raven svinca na šestih merilnih mestih po mesecih v letu 2022. Prikazani so najnižja in najvišja izmerjena raven (spodnja in zgornja vodoravna črtica), oba kvartila (vrh in dno pravokotnika) in mediana (rdeča vodoravna črtica v pravokotniku).



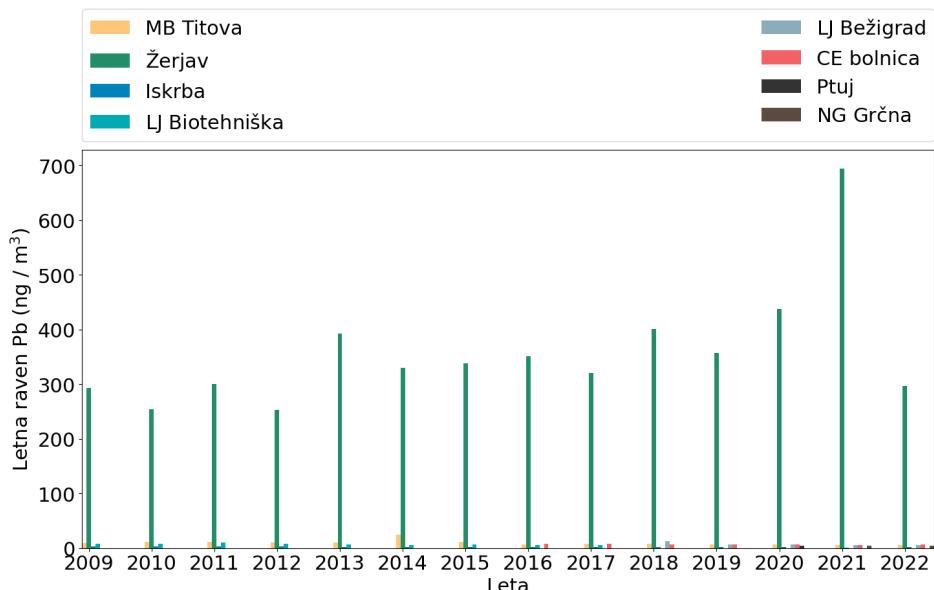
Slika 7.20: Povprečna letna raven arzena po letih.



Slika 7.21: Povprečna letna raven niklja po letih.



Slika 7.22: Povprečna letna raven kadmija po letih.



Slika 7.23: Povprečna letna raven svinca po letih.

8. Ozon

Molekula ozona je sestavljena iz treh atomov kisika. Zaradi nestabilne strukture je ozon močno reaktivni 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 razпадa 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 odprtим 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.

8.1 Zahteve za kakovost zraka

V tabeli 8.1 so prikazane predpisane ciljne, opozorilna in alarmna vrednost za ozon iz Uredbe o kakovosti zunanjega zraka [6]. Za varovanje zdravja je predpisana ciljna maksimalna dnevna 8-urna povprečna vrednost ozona. Ta vrednost v Uredbi o kakovosti zunanjega zraka znaša $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in je lahko presežena največ 25-krat v koledarskem letu, pri čemer se za izračun upošteva povprečje

zadnjih treh let. Dolgoročno naravnana ciljna vrednost za varovanje zdravja je enaka, le da ne predvideva preseganj predpisane vrednosti. Smernice WHO (4.1) so strožje, saj je predlagana ciljna vrednost nižja ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$), preseganja te vrednosti pa niso dovoljena. 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 8.1: 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 ravnimi 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.

8.2 Ravni onesnaženosti

Leto 2022 je bilo že dvanajsto leto zapored s pozitivnim temperaturnim odklonom od normale glede na obdobje 1981-2010. Poletje 2022 je bilo drugo najtoplejše in tretje najbolj sušno od leta 1961 naprej. Sonce je sijalo več kot običajno, še najbolj sončen je bil mesec junij. To pa so ugodni vremenski pogoji za nastanek ozona v poletnem času.

Letne ravni ozona so bile v letu 2022 na večini meritnih mest nekoliko višje kot v letu 2021. Na ravni ozona vplivajo predvsem vremenske razmere v poletnem času, leto 2021 pa ni bilo med najtoplejšimi. Najvišje povprečne letne vrednosti ozona so vedno zabeležene na višje ležečih meritnih mestih. Tako je bilo tudi v letu 2022. V meritni mreži DMKZ sta višje ležeči meritni mesti Krvavec ($94 \mu\text{g}/\text{m}^3$) in Otlica ($89 \mu\text{g}/\text{m}^3$), v dopolnilni meritni mreži pa Pohorje ($75 \mu\text{g}/\text{m}^3$) in Zavodnje ($77 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Sledita meritni mesti na Primorskem. Prvo je meritno mesto Koper ($71 \mu\text{g}/\text{m}^3$), kjer so pogoji za tvorbo ozona podnevi najbolj ugodni in drugo NG Grčna ($54 \mu\text{g}/\text{m}^3$), ki ima nižje letne ravni ozona, ker je meritno mesto bolj izpostavljeno prometu. Med višjimi je bilo tudi letno povprečje na meritnem mestu SV Mohor ($69 \mu\text{g}/\text{m}^3$) in MB Tezno ($55 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Na ostalih meritnih mestih DMKZ se v letu 2022 letne ravni ozona gibljejo med $42 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in $51 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Na meritnem mestu LJ Bežigrad smo imeli v letu 2022 težave z meritnikom, zato so podatki s tega meritnega mesta zgolj informativni.

Pregled izmerjenih letnih ravni, število preseženih ciljnih, opozorilnih in alarmnih vrednosti ozona v letu 2022 je podan v tabeli 8.2. V tabeli so tudi podatki za AOT40 za leto 2022 in petletno povprečje AOT40, ki je pomembno za varstvo rastlin.

Urne ravni ozona na postajah DMKZ v letu 2022 so prikazane na sliki 8.1. V letu 2022 je bila opozorilna vrednost ozona $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ presežena na meritnih mestih na Primorskem, v Kopru, G

Tabela 8.2: Raven ozona v zunanjem zraku v letu 2022. 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 2022 in za petletno obdobje.

Merilno mesto	%pod	Leto C_p	varovanje zdravja				varovanje rastlin	
			max	>OV	>AV	max	>CV	maj-julij AOT40
Merilna mreža DMKZ								
LJ Bežigrad*	71	38	161	0	0	145	14	25665 15168
MB Vrbanski	100	50	154	0	0	141	21	16721 16459
CE bolnica	100	43	159	0	0	154	23	17264 13884
MS Rakičan	100	47	152	0	0	143	24	18801 16666
NG Grčna	100	54	183	3	0	175	67	35168 24848
Zagorje	100	44	150	0	0	145	12	13439 8199
Novo mesto	100	46	146	0	0	138	16	16886 /
Koper	100	71	219	11	0	191	66	35626 27250
Otlica	99	89	188	7	0	175	75	37578 27456
Iskrba	100	51	149	0	0	141	25	20544 16501
Kravec	100	94	169	0	0	166	71	28833 23463
Dopolnilna merilna mreža								
TE Šostanje								
Zavodnje	99	77	155	0	0	150	35	45521 /
Velenje	100	47	146	0	0	139	22	30396 /
Mobilna TEŠ	100	46	142	0	0	138	17	32130 /
TE-TOL								
Zadobrova	97	42	165	0	0	149	14	26566 /
TE Brestanica								
Sv. Mohor	96	69	186	1	0	159	37	47530 /
MO Maribor								
MB Tezno	94	55	178	0	0	168	59	32093 /
Pohorje	99	75	152	0	0	142	24	16057 /

* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.

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

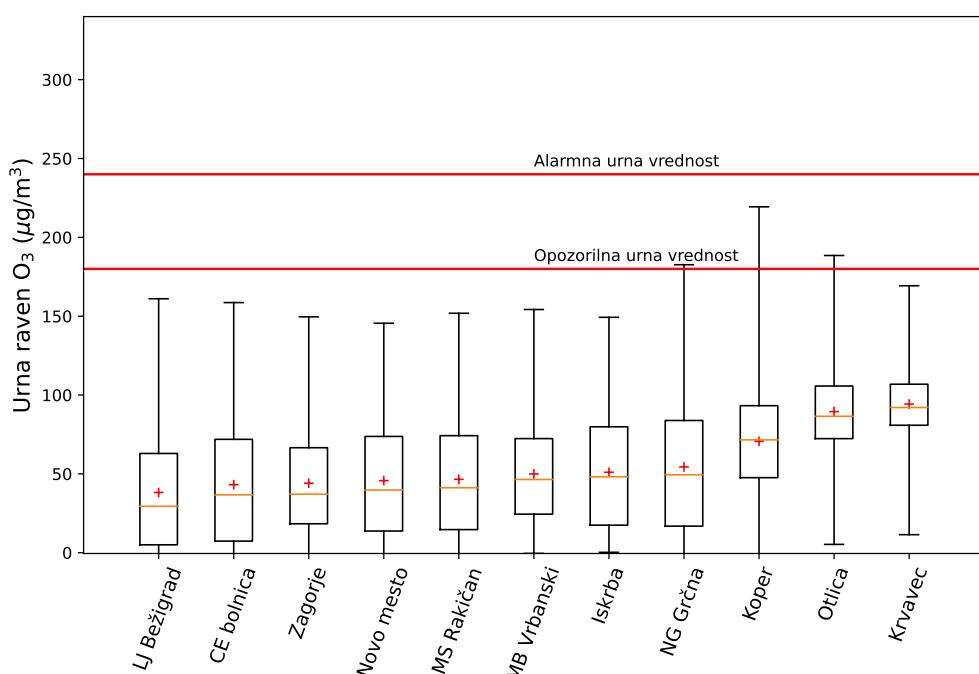
Grčni in na Otlici ter enkrat v Sv. Mohorju nad Brestanicom. Večina preseganj je bilo zabeleženih julija, nekaj pa še v začetku avgusta. So bile pa visoke ravni ozona zabeležene že junija, ob prvem vročinskem valu v letu 2022, vendar opozorilna vrednost takrat ni bila presežena.

V zadnji tretjini meseca junija so prevladovali ugodni vremenski pogoji za nastanek ozona. Najvišje dnevne temperature so bile tudi do 37 °C. Kljub ugodnim pogojem na nobenem merilnem mestu ni prišlo do preseganja opozorilne urne vrednosti 180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Najvišje ravni ozona so bile izmerjene med 16. 6. in 18. 6. 2022 na merilnem mestu NG Grčna in na Otlici (tabela 8.4). Razlog, da ravni niso presegli mejne vrednosti je v prisotnosti prašnih delcev v ozračju, ki so jih k nam prinesli zračni tokovi iznad alžirskega dela Sahare. Prašni delci v ozračju namreč negativno vplivajo na tvorbo ozona.

Sredi julija je izjemen vročinski val zajel Iberski polotok. Med 18. in 19. julijem se je razširil nad večji del zahodne Evrope, 20. julija pa je dosegel tudi srednjo, vzhodno in del severne Evrope. V večjem delu stare celine so izmerili nadpovprečne temperature. Na Iberskem polotoku so se temperature krajevno povzpele nad 45 °C, drugod pa so večinoma izmerili med 35 °C in 40 °C. Pri nas so bile najvišje temperature izmerjene med 19. in 22. julijem. Z julijsko vročino je najbolj izstopal zahodni del Slovenije, v notranjosti Slovenije so bile temperature nekoliko nižje. Meritve

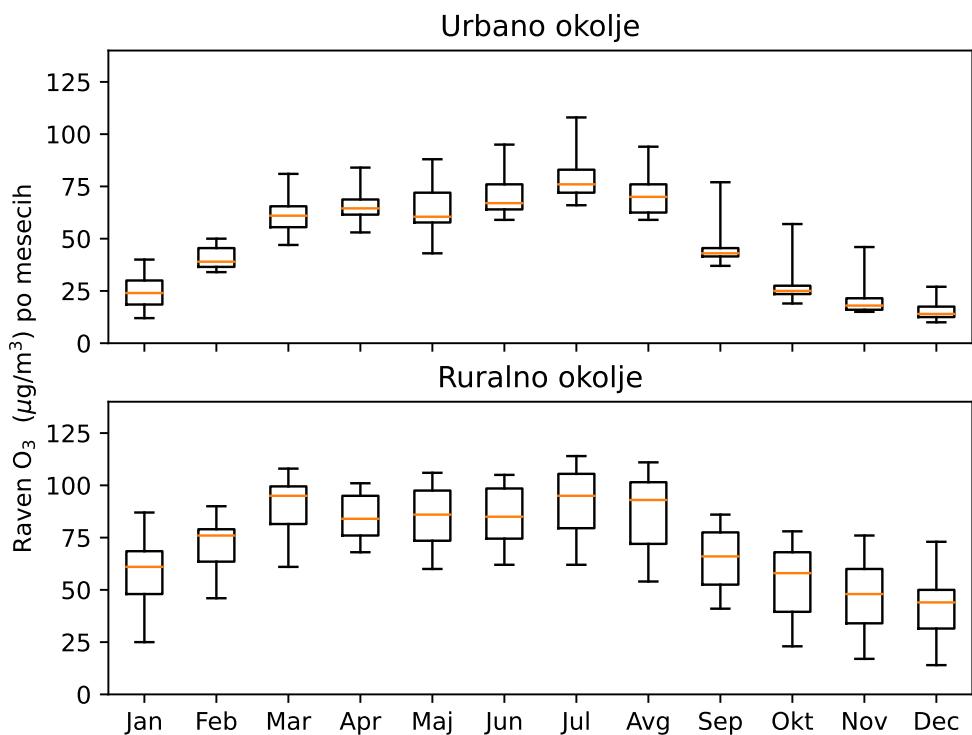
kažejo, da so se od 18. julija naprej urne ravni ozona postopoma povečevale. V obdobju od 21. julija do 23. julija je bila opozorilna vrednost za ozon presežena na treh merilnih mestih na Primorskem: 11 - krat v Kopru, 6 - krat na Otlici in enkrat na merilnem mestu NG Grčna. 21. julija je bila presežena v Kopru in na Otlici, naslednji dan pa tudi na merilnem mestu NG Grčna. V Kopru je bila opozorilna vrednost 21. julija 2022 presežena v vseh terminih med 11. in 18. uro, z najvišjo vrednostjo med 15. in 16. uro ($219 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Ta dan je bila presežena opozorilna vrednost tudi namerilnem mestu Sv. Mohor. Zadnji dan tega obdobja smo zabeležili preseganje opozorilne vrednosti le v Kopru, čeprav so urne ravni na merilnem mestu NG Grčna in na Otlici ostajale visoke in zelo blizu opozorilne vrednosti.

V dolgoletnem povprečju spada prva polovica avgusta še k visokemu poletju, nato pa se običajno že pozna vpliv vse daljših noči in šibkejšega sončnega obsevanja. Prve dni meseca smo tako imeli ponovno vročinski val in 5. avgusta smo zabeležili še zadnja preseganja opozorilne vrednosti, in sicer na merilnem mestu NG Grčna in na Otlici (tabela 8.4).



Slika 8.1: Urne ravni O_3 na merilnih mestih DMKZ v letu 2022. 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.

Na sliki 8.2 je prikazan potek dnevnih ravni ozona po mesecih v letu 2022 na urbanih in ruralnih merilnih mestih. Iz slike je razvidno, da so bile julija zabeležene v povprečju najvišje dnevne vrednosti v tem letu tako na urbanem kot ruralnem področju. Presenetljivo visoke ravni ozona so bile še posebej v ruralnem okolju že marca, ki je bil izjemno sončen. Zadnje dni marca so bile zabeležene temperature nad 22°C . Mesečne in maksimalne urne ravni ozona so bile marca na večini merilnih mest celo primerljive z vrednostmi v avgustu (tabeli 8.3 in 8.4). So pa na ruralnem področju, na večinoma višje ležečih merilnih mestih, ravni ozona precej podobne v vseh mesecih od marca do avgusta. V ruralnem okolju je namreč manj možnosti za reakcije z drugimi snovmi (npr. svežimi izpusti iz prometa), ki povzročajo razpad ozona.

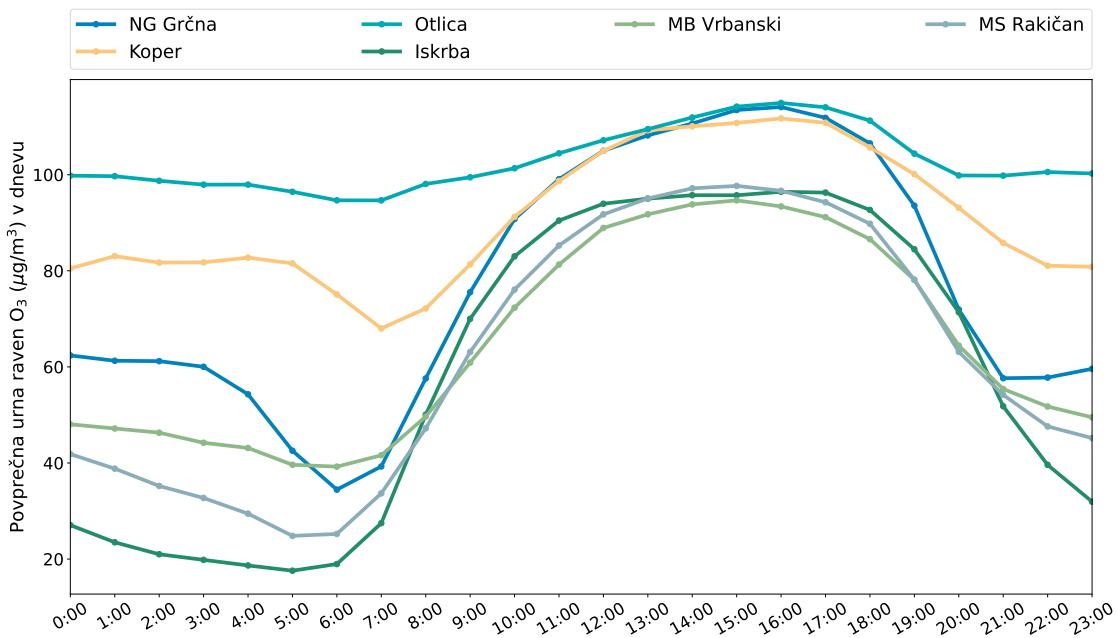


Slika 8.2: Dnevne ravni O_3 po mesecih na urbanih in ruralnih merilnih mestih v letu 2022. Prikazane so najnižja in najvišja izmerjena raven (spodnja in zgornja vodoravna črtica), oba kvartila (vrh in dno pravokotnika) in mediana (rdeča vodoravna črtica v pravokotniku).

Dnevni potek povprečnih urni ravni ozona med aprilom in septembrom za nekaj merilnih mest je prikazan na sliki 8.3. Prikazan je dnevni potek urnih ravni ozona za vsa merilna mesta na Primorskem (Koper, NG Grčna in Otlica) ter za merilna mesta, ki niso v neposredni bližini prometnih cest (MS Rakičan, MB Vrbanski in Iskrba). 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. Na višje ležečih odprtih legah, kjer ni vpliva lokalnih izpustov, kamor spada merilno mesto Otlica, dnevni hod ozona tekomo dneva ni tako izrazit kot na drugih merilnih mestih.

Na vseh merilnih mestih pa nastopi maksimum med 13. in 17. uro, ko je sončno obsevanje močno in so temperature zraka najvišje. Najnižje ravni ozona so običajno zaznane v času jutranje prometne konice, ko ozon reagira z dušikovim monoksidom iz prometa. V Kopru sta jutranji in večerni padec ravni ozona manj izrazita, ker je merilno mesto locirano nekoliko stran od večjih prometnic. Na merilnem mestu NG Grčna je vpliv prometa večji in temu primerno je zjutraj in zvečer večji tudi padec ravni ozona. Maksimalne ravni ozona so na merilnih mestih na Otlici, v Kopru in na merilnem mestu NG Grčna med seboj primerljive. Ozon ima zelo podoben dnevni potek tudi na merilnih mestih MS Rakičan, MB Vrbanski in Iskrba, kar potrjuje, da ima onesnaženost zraka z ozonom izrazit regionalni značaj. Na potek ravni ozona na Iskrbi, ki je daleč od vseh virov onesnaženja, vplivajo lokalni biogeni izpusti dušikov in prizemne močne temperaturne inverzije ob katerih pride do izrazitega padca ozona le v plasti zraka tik nad tlemi.

Pri določanju skladnosti s predpisanimi vrednostmi sta pri ozonu pomembni urna vrednost in maksimalna dnevna 8-urna povprečna vrednost za varovanje zdravja in AOT40 za varovanje rastlin.

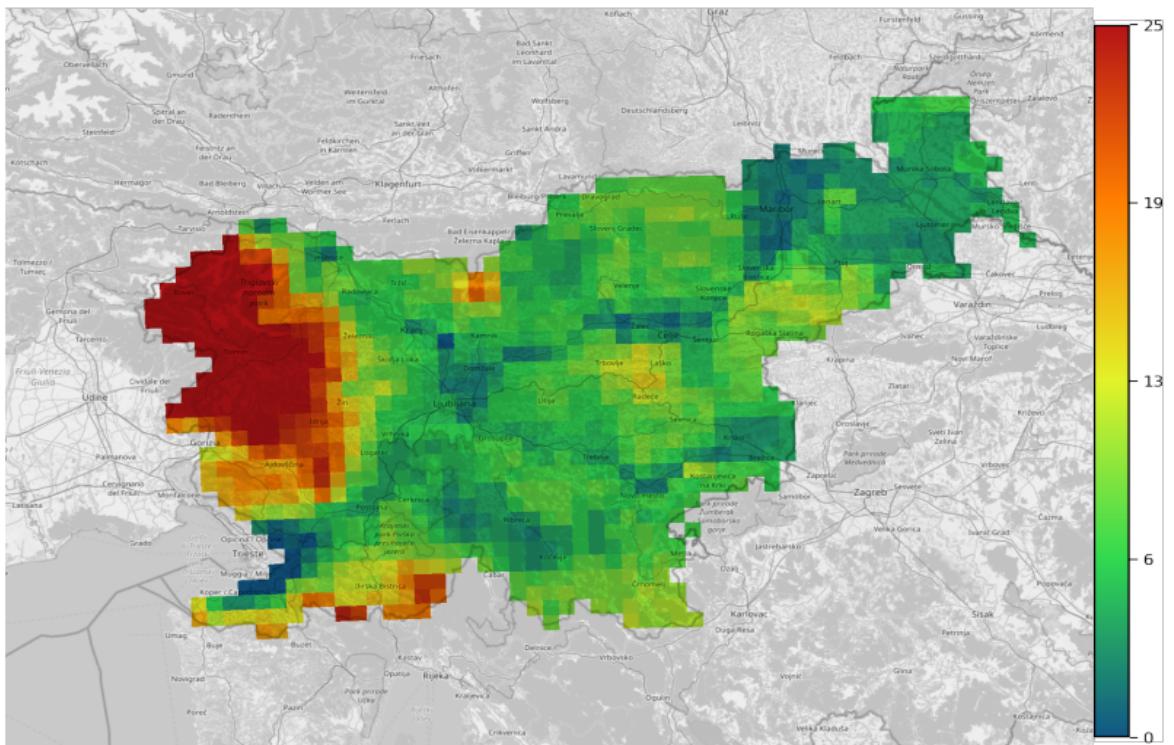


Slika 8.3: Dnevni potek povprečne urne ravni O_3 na izbranih merilnih mestih med aprilom in septembrom 2022

Na maksimalno dnevno 8-urno povprečno vrednost sta vezani ciljna in dolgoročna ciljna vrednost za varovanje zdravja. Razlika med njima je le v dovoljenem številu preseganj te vrednosti (tabela 8.1). Dolgoročna ciljna vrednost za varovanje zdravja, $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ je bila v letu 2022 presežena na vseh merilnih mestih. Več kot 25 preseganj te vrednosti je bilo leta 2022 zabeleženih na merilnih mestih NG Grčna (67) in Koper (66) ter na visokoležečih merilnih mestih Otlica (75) in Krvavec (71) v merilni mreži DMKZ, ter na Zavodnjah (35), na merilnem mestu Sv. Mohor nad Brestanico (37) in v MB Tezno (59). Na vseh ostalih merilnih mestih je bilo preseganj manj kot 25 (tabela 8.2 in tabela 8.6). Število preseganj vrednosti $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ je pomembno pri določanju ciljne vrednosti za varovanje zdravja, ki se izračuna kot triletno povprečje preseganj te vrednosti. Število preseganj 8-urne ciljne vrednosti v drsečem povprečju treh let za obdobje od leta 2012 do 2022 je podano v tabeli 8.9, število preseganj v posameznem letu za obdobje 2010 do 2022 pa v tabeli 8.8. Vsa preseganja dolgoročne ciljne vrednosti za varovanje zdravja so bila v letu 2022 zabeležena v obdobju od marca do septembra. Največ preseganj je bilo na vseh merilnih mestih julija. Je pa v letu 2022 velika razlika v številu preseganj na Primorskem in na visokoležečih merilnih mestih Krvavec in Otlica v primerjavi z drugimi merilnimi mesti, če gledamo samo podatke v merilni mreži DMKZ. Število preseganj na teh merilnih mestih je bistveno višje od števila preseganj v nekaj preteklih letih.

To v večji meri prikazujejo tudi modelski rezultati števila preseganj 8-urnih vrednosti v letu 2022, ki so prikazani na sliki 8.4. Predvidevamo, da je zaradi povišanih izpustov dušikovih oksidov v Trstu, Kopru in bližnji okolici število preseganj na območju okrog Kopra prenizko. Glede na rezultate meritev bi morala biti celotna zahodna Slovenija obarvana rdeče.

Ciljno vrednost, kot triletno povprečje, smo izračunali iz podatkov za leta 2020, 2021 in 2022. Kot smo že omenili na ravni ozona vplivajo predvsem vremenske razmere v poletnem času. Poletje 2020 je bilo nadpovprečno namočeno, poletje 2021 pa tudi ni bilo med najtoplejšimi. Na nižje



Slika 8.4: Število preseganj 8-urnih vrednosti v letu 2022 izračunanih z modelskim sistemom ALADIN-SI/CAMx

vrednosti ozona v letih 2020 in 2021 so vplivali tudi ukrepi za obvladovanje pandemije COVID. Tako, da je k višjemu triletnemu povprečju največ doprineslo prav leto 2022. Ciljna vrednost je bila tako v povprečju treh let presežena na merilnih mestih NG Grčna, Koper, Otlica in Krvavec.

Za varovanje rastlin sta predpisani ciljna vrednost in dolgoročna ciljna vrednost AOT40. Ciljno vrednost za varovanje rastlin ocenjujemo kot 5-letno povprečje AOT40 na merilnih mestih zunaj pozidanih območij (MS Rakičan, Iskrba, Krvavec, Otlica) in mora biti nižja od vrednosti $18.000 \mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{h}$ (tabela 8.2). V letu 2022 je bila ciljna vrednost nižja od predpisane vrednosti na merilnih mestih MS Rakičan in Iskrba. K nižjemu povprečju sta prispevali predvsem leti 2020 in 2021. V celotni Evropi je bil leta 2020 AOT40 najnižji v zadnjih 14 letih [12].

Tabela 8.3: Povprečna mesečna raven ozona ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) v letu 2022

	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
LJ Bežigrad	14	38	47*	/	/	73*	77	70	43	21	17	14
MB Vrbanski	33	48	71	65	66	65	77	71	43	27	18	17
CE bolnica	15	34	47	60	57	67	75	68	41	23	15	14
MS Rakičan	25	46	61	70	65	67	68	61	41	23	17	14
NG Grčna	22	35	61	70	79	82	91	84	58	35	24	12
Zagorje	31	44	60	61	55	59	66	60	37	19	19	17
Novo mesto	24	39	64	65	61	62	74	62	43	26	15	12
Koper	40	50	81	84	88	95	108	94	77	57	46	27
Otlica	74	82	103	101	105	105	114	107	86	75	68	54
Iskrba	37	54	71	68	60	62	62	54	48	34	32	31
Krvavec	87	90	108	101	106	105	110	111	86	78	76	73
Zavodnje	63	76	96	89	90	92	101	96	69	58	48	44
Velenje	28	39	54	64	60	63	76	71	43	28	22	18
Mobilna TEŠ	29	43	57	63	60	67	70	63	38	25	21	18
Sv. Mohor	59	76	95	82	82	82	91	83	57	45	36	32
Zadobrova	12	35	62	53	43	72	68	59	42	24	15	13
MB Tezno	23	47	67	75	74	79	89	81	48	25	17	10
Pohorje	61	73	92	84	86	85	95	93	66	61	52	46

* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.

Tabela 8.4: Maksimalna urna raven ozona ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) po mesecih v letu 2022

	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
LJ Bežigrad	76	102	91*	/	/	138*	161	161	129	81	87	60
MB Vrbanski	86	100	143	128	131	128	154	146	115	94	71	64
CE bolnica	88	96	144	127	135	139	159	144	132	89	90	72
MS Rakičan	80	90	142	135	134	139	152	139	115	98	67	65
NG Grčna	80	102	147	151	166	177	183	182	164	124	89	75
Zagorje	78	86	150	126	137	135	142	131	116	78	83	57
Novo mesto	78	95	144	132	138	132	146	135	122	95	86	65
Koper	77	87	142	139	143	152	219	162	135	110	93	81
Otlica	95	114	161	147	165	172	188	186	152	112	105	90
Iskrba	84	105	144	135	134	129	149	136	124	99	87	69
Krvavec	103	108	151	139	146	152	169	163	140	103	96	100
Zavodnje	95	105	145	136	141	134	155	154	130	92	78	78
Velenje	88	94	142	128	133	126	146	142	129	89	81	66
Mobilna TEŠ	92	99	142	130	142	133	139	131	124	83	77	64
Sv. Mohor	101	109	147	140	144	142	186	138	124	98	85	70
Zadobrova	70	103	165	124	110	148	150	147	123	85	58	63
MB Tezno	96	105	160	147	146	157	178	166	130	105	76	52
Pohorje	91	100	144	131	130	127	152	133	108	90	82	81

* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.

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 2022 so podani v tabelah 8.7 do 8.9. V tabeli 8.10 je prikazano število preseganj opozorilne vrednosti za isto obdobje. Na slikah 8.5 in 8.6 so prikazane letne ravni in število preseganj 8-urne vrednosti za daljše obdobje.

Povprečne letne ravni ozona ne kažejo opaznih tendenc v zadnjih letih. Manjsa nihanja so posledica vremenskih razmer, posebej tistih poleti, ko so pogoji za nastanek ozona zaradi močnejšega sončnega obsevanja in višjih temperatur ugodnejši. Ta nihanja so bolj kot v letnem povprečju izražena v številu prekoračitev opozorilne urne in ciljne 8-urne vrednosti. Nekoliko nižje

Tabela 8.5: Število prekoračitev urne opozorilne vrednosti ($180 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ozona v letu 2022

	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
LJ Bežigrad	0	0	0*	/	/	0*	0	0	0	0	0	0
MB Vrbanski	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CE bolnica	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	1	2	0	0	0	0
Zagorje	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
Koper	0	0	0	0	0	0	11	0	0	0	0	0
Otlica	0	0	0	0	0	0	6	1	0	0	0	0
Iskrba	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
Zavodnje	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Velenje	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
Sv. Mohor	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Zadobrova	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
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

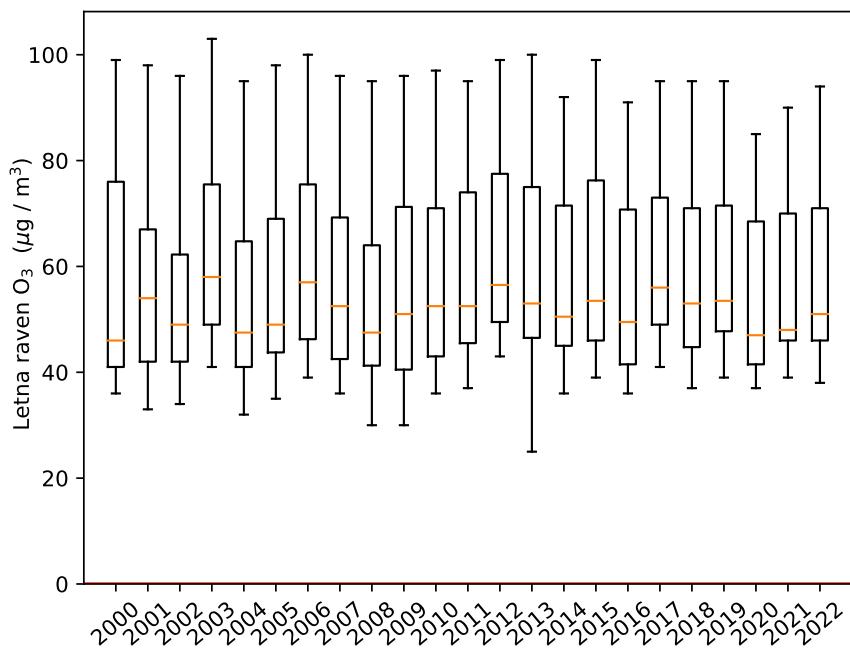
* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.

Tabela 8.6: Število prekoračitev 8-urne ciljne vrednosti ($120 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ozona v letu 2022

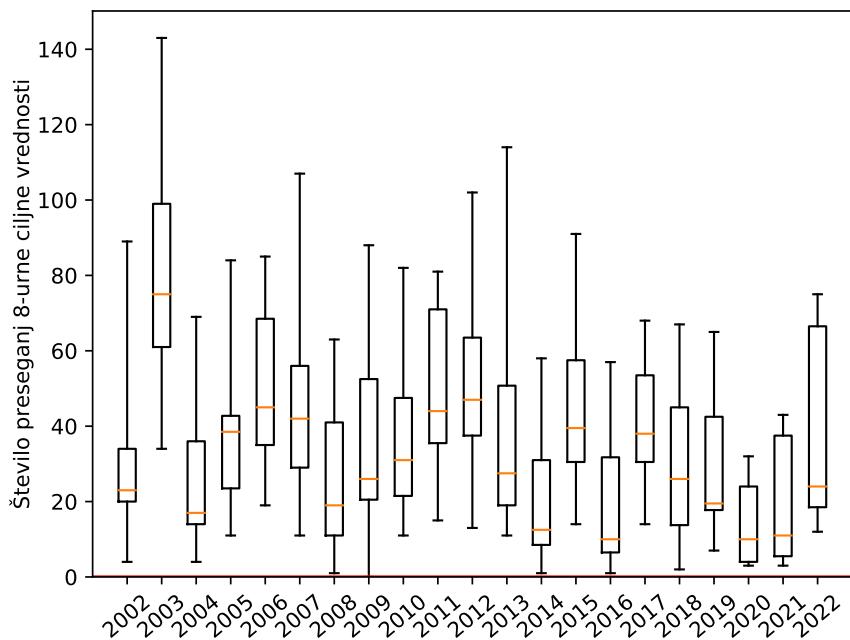
	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
LJ Bežigrad	0	0	0*	/	/	1*	9	4	0	0	0	0
MB Vrbanski	0	0	4	1	2	0	8	6	0	0	0	0
CE bolnica	0	0	3	0	2	2	8	7	1	0	0	0
MS Rakičan	0	0	4	2	2	2	8	6	0	0	0	0
NG Grčna	0	0	4	6	10	16	14	12	5	0	0	0
Zagorje	0	0	2	0	3	1	3	3	0	0	0	0
Novo mesto	0	0	4	1	2	1	6	2	0	0	0	0
Koper	0	0	3	3	11	15	22	11	1	0	0	0
Otlica	0	0	7	8	13	11	21	12	3	0	0	0
Iskrba	0	0	5	3	4	2	8	3	0	0	0	0
Krvavec	0	0	10	7	8	12	20	12	2	0	0	0
Zavodnje	0	0	6	4	4	2	11	8	0	0	0	0
Velenje	0	0	5	3	2	0	7	5	0	0	0	0
Mobilna TEŠ	0	0	5	1	2	1	5	3	0	0	0	0
Sv. Mohor	0	0	8	4	5	3	11	6	0	0	0	0
Zadobrova	0	0	4	0	0	4	5	1	0	0	0	0
MB Tezno	0	0	8	4	8	9	18	12	0	0	0	0
Pohorje	0	0	6	2	2	0	9	5	0	0	0	0

* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.

vrednosti pa so bile zabeležene v letih 2020 in 2021, ko smo se z različnimi ukrepi borili proti COVID-u.



Slika 8.5: Letne ravni O_3 na vseh merilnih mestih za posamezna leta od leta 2000 - 2022. Prikazane so najnižja in najvišja izmerjena raven (spodnja in zgornja vodoravna črtica), oba kvartila (vrh in dno pravokotnika) in mediana (rdeča vodoravna črtica v pravokotniku).



Slika 8.6: Preseganja 8-urne ciljne vrednosti za ozon na merilnih mestih DMKZ za posamezna leta v obdobju 2002 - 2022. Prikazane so najnižja in najvišja izmerjena raven (spodnja in zgornja vodoravna črtica), oba kvartila (vrh in dno pravokotnika) in mediana (rdeča vodoravna črtica v pravokotniku).

Tabela 8.7: Povprečna letna raven ozona ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) za obdobje 2010 - 2022

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

* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.

Opomba: Podatki za leto od 1992-2017 so na voljo v Poročilu o kakovosti zraka za leto 2017 [13].

Podatki za leto od 2000-2021 so na voljo v Poročilu o kakovosti zraka za leto 2021 [14].

Tabela 8.8: Število preseganj dolgoročne ciljne vrednosti ($120 \mu\text{g}/\text{m}^3$) v posameznem letu za obdobje 2010 – 2022

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

* 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 [13].

Podatki za leta od 2000-2021 so na voljo v Poročilu o kakovosti zraka za leto 2021 [14].

Tabela 8.9: Število preseganj 8-urne ciljne vrednosti ($120 \mu\text{g}/\text{m}^3$) v drsečem povprečju treh let za obdobje 2012 – 2022. Prekoračitve predpisane vrednosti so označene odebelenjeno.

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

* 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 [13].

Podatki za leta od 2000-2021 so na voljo v Poročilu o kakovosti zraka za leto 2021 [14].

Tabela 8.10: Število preseganj opozorilne vrednosti ($180 \mu\text{g}/\text{m}^3$) za obdobje 2010 – 2022

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

Podatki za leta od 2000-2021 so na voljo v Poročilu o kakovosti zraka za leto 2021 [14].

9. Dušikovi oksidi

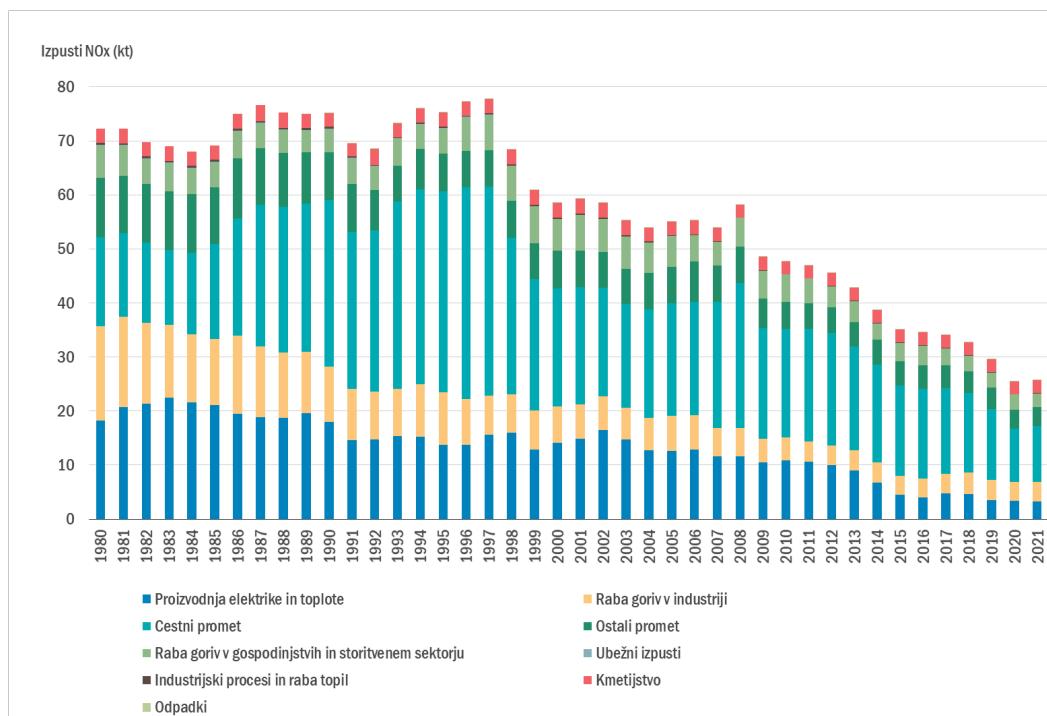
Dušikovi oksidi (NO_x) so spojine, sestavljene iz atomov kisika in dušika. Obstaja šest takšnih spojin: NO , NO_2 , N_2O , N_2O_3 , N_2O_4 in N_2O_5 . V ozračju je največ dušikovega monoksida (NO) in dušikovega dioksida (NO_2). Iz izpustov prihaja v zrak največ dušikovega monoksida, ki v ozračju postopno 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 [15], [16]. Zdravju škodljiv je dušikov dioksid, NO_2 , ki vpliva predvsem na dihala. 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.

9.1 Izpusti

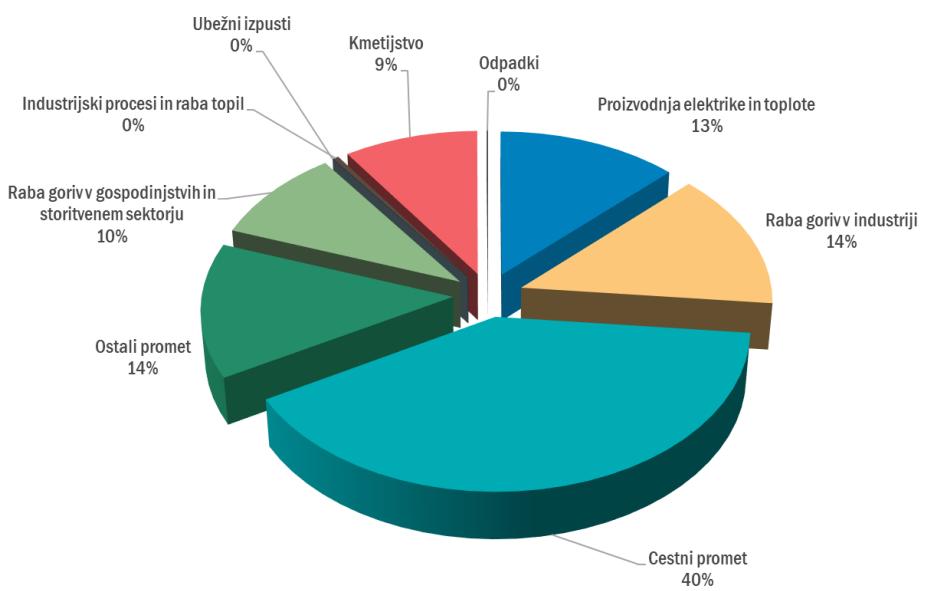
Več kot polovica izpustov NO_x prihaja v ozračje iz prometa. Največji vir izpustov NO_x je v letu 2021 predstavljal cestni promet, saj je k skupnim državnim izpustom prispeval kar 40 %. Precejšen delež prispeva ostali promet (14 %) in v enakem deležu poraba goriv v industriji (14 %) ter proizvodnja električne in toplotne energije (13 %). Letni izpusti NO_x so v Sloveniji leta 2021 znašali 26 tisoč ton. V obdobju 1980 do 2021 so se izpusti zmanjšali za 64 %. Zmanjšanje izpustov je posledica uvajanja strožjih emisijskih standardov za motorna vozila v prometu, izvajanja ukrepov v termoelektrarnah in toplarnah, zamenjave goriv in izboljšanja procesov izgorevanja v industriji. Viri državnih izpustov NO_x in izpusti v obdobju 1980 do 2021 so prikazani na slikah 9.1 in 9.2.

Slovenija izpolnjuje vse obveznosti iz Direktive (EU) 2016/2284 o zmanjšanju nacionalnih izpustov za nekatera onesnaževala zraka (t.i. direktive NEC) ([17]) in iz Protokola o zmanjševanju zakisljevanja, evtrofifikacije in prizemnega ozona (Goeteborškega protokola) ([18]) h Konvenciji o onesnaževanju zraka preko meja na velike razdalje (CLRTAP) ([3]). Skupni državni izpusti NO_x so bili v letu 2021 za 43 % nižji od ciljne vrednosti 45 tisoč ton, ki ne sme biti presežena od leta 2010 dalje. Dosegamo tudi cilj, ki predpisuje zmanjšanje izpustov po letu 2020. Izpusti NO_x morajo biti po letu 2020 nižji za najmanj 39 % glede na leto 2005. Slovenija prav tako izpolnjuje zahteve iz Protokola h konvenciji CLRTAP glede nadzora nad izpusti dušikovih oksidov in njihovih čezmejnih tokov. Skupne državne vrednosti izpustov NO_x ne presegajo vrednosti iz izhodiščnega leta 1987. Izpusti dušikovih oksidov se podajajo kot vsota vseh dušikovih oksidov izraženih v ekvivalentu NO_2 .

Podrobne informacije o izpustih dušikovih oksidov (NO_x) in metodologiji izračuna izpustov so na voljo v zadnjem poročilu Informative Inventory Report, Slovenia 2023 [4].



Slika 9.1: Letni izpusti dušikovih oksidov po sektorjih v Sloveniji



Slika 9.2: Izpusti dušikovih oksidov po sektorjih v Sloveniji v letu 2021

9.2 Zahteve za kakovost zraka

V Uredbi o kakovosti zunanjega zraka [6] so predpisane mejni in alarmna vrednost za zaščito zdravja ter kritična vrednost za zaščito vegetacije. Prikazane so v tabeli 9.1.

Tabela 9.1: Mejni, alarmna in kritična vrednost za dušikove okside [6]

Cilj	Čas merjenja	Vrednost	Dovoljeno število preseganj
Mejna vrednost	Zdravje	1 ura	200 µg/m ³ NO ₂
Mejna vrednost	Zdravje	Koledarsko leto	40 µg/m ³ NO ₂
Alarmna vrednost	Zdravje	1 ura (3 zaporedne)	400 µg/m ³ NO ₂
Kritična vrednost	Vegetacija	Koledarsko leto	30 µg/m ³ NO _x

9.3 Ravni onesnaženosti

Meritve dušikovih oksidov v državni meritni mreži izvajamo na 11 meritnih mestih, ki so enakomerno razporejena po celotni Sloveniji. Meritve NO_x in NO₂ se izvajajo tudi v dopolnilnih meritnih mrežah, ki jih izvajajo drugi izvajalci in tudi ti podatki so objavljeni v tem poročilu. Na nobenem od teh meritnih mest v letu 2022 ni prišlo do preseganja mejne ali kritične vrednosti.

Letna in urna mejna vrednost NO₂, ki sta predpisani za zaščito zdravja, v letu 2022 nista bili preseženi na nobenem meritnem mestu v meritni mreži DMKZ niti v dopolnilni meritni mreži. Najvišja letna povprečna raven NO₂ je bila izmerjena na meritnem mestu LJ Center (38 µg/m³) in je le malo nižja od predpisane letne mejne vrednosti. Letna mejna vrednost za NO₂ za varovanje zdravja je 40 µg/m³. Na vseh ostalih meritnih mestih so letne ravni nižje, tudi na bolj prometnih meritnih mestih kot so LJ Celovška, MB Titova in NG Grčna. NG Grčna zaradi same postavitve sicer ni prava prometna postaja, ker je od krožišča oddaljena več kot 10 metrov (21 metrov), kot določa zakonodaja, je pa vpliv prometa na meritve velik. Zagorje je klasificirano kot prometna postaja, je pa gostota prometa mimo te lokacije bistveno nižja kot v Novi Gorici in so v Zagorju temu primerno nižje tudi ravni dušikovih oksidov. So se pa v letu 2021 spremenile smernice svetovne zdravstvene organizacije za letno vrednost NO₂ iz 40 µg/m³ na 10 µg/m³ (4.1). Če pred spremembjo v Sloveniji WHO letna vrednost ni bila presežena na nobenem meritnem mestu, razen včasih na meritnem mestu LJ Center, je sedaj presejanje zabeleženo na večini meritnih mest v mestih, kjer je meritno mesto postavljeno v bližini večjih cest.

Najvišje urne ravni NO₂ so bile izmerjene na s prometom najbolj obremenjenih meritnih mestih MB Tezno (149 µg/m³), LJ Center (142 µg/m³) in NG Grčna (137 µg/m³). Predpisana urna mejna vrednost je 200 µg/m³. Najvišje urne vrednosti so precej pod alarmno urno vrednostjo 400 µg/m³, ki mora biti presežena 3 zaporedne ure, da se šteje za presejanje.

Najvišje letne ravni NO_x so bile v letu 2022 izmerjene na meritnih mestih LJ Center in LJ Celovška. Rezultati vseh meritev v letu 2022 so prikazani v tabeli 9.2.

Za zaščito vegetacije je predpisana kritična letna vrednost NO_x 30 µg/m³, ki se uporablja za neizpostavljena ruralna meritna mesta. V DMKZ med ruralna meritna mesta uvrščamo Mursko Soboto Rakičan in Iskrbo, vendar na Iskrbi ne merimo ravni NO_x temveč samo NO₂. V dopolnilni meritni mreži sta ruralni meritni mesti Zavodnje in Sveti Mohor. Na nobenem ruralnem meritnem

Tabela 9.2: 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 NO_2 . Razpoložljivost podatkov (% pod) in letna raven za NO_x (C_p), izražena v $\mu\text{g}/\text{m}^3$ v letu 2022.

Merilno mesto	%pod	varovanje zdravja NO_2				varovanje rastlin NO_x	
		C_p	max	>MV	>AV	%pod	C_p
Merilna mreža DMKZ							
LJ Bežigrad	100	21	119	0	0	100	37
LJ Celovška	100	29	119	0	0	100	65
MB Titova	100	25	127	0	0	99	54
MB Vrbanski plato	100	8	59	0	0	100	11
CE bolnica	99	21	110	0	0	99	39
MS Rakičan	100	9	78	0	0	100	15
NG Grčna	100	24	137	0	0	100	45
Zagorje	100	18	92	0	0	100	37
Koper	100	15	116	0	0	100	19
Novo mesto	100	11	72	0	0	100	15
Iskrba	96	1	21	0	0	/	/
Dopolnilna merilna mreža							
TE Šoštanj							
Šoštanj	97	10	55	0	0	97	14
Zavodnje	98	5	51	0	0	98	6
Škale	99	6	41	0	0	99	8
Mobilna TEŠ	100	12	64	0	0	100	19
TE Brestanica							
Sv. Mohor	96	5	39	0	0	96	6
TE-TOL							
Zadobrova	93	17	79	0	0	93	30
OMS MOL							
LJ Center	94	38	142	0	0	94	90
MO Celje							
CE Gaj	97	17	82	0	0	97	29
MO Maribor							
MB Tezno*	86	21	149	0	0	86	37

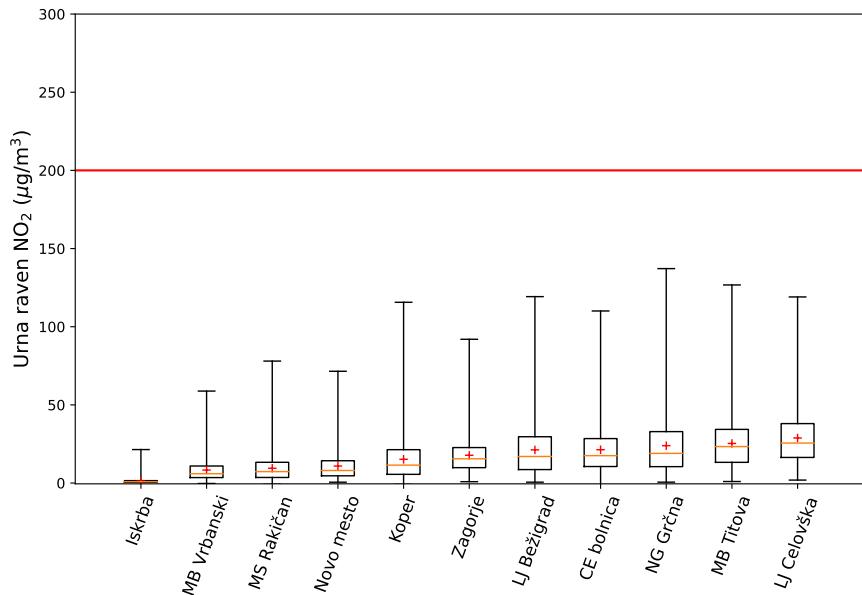
* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.

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

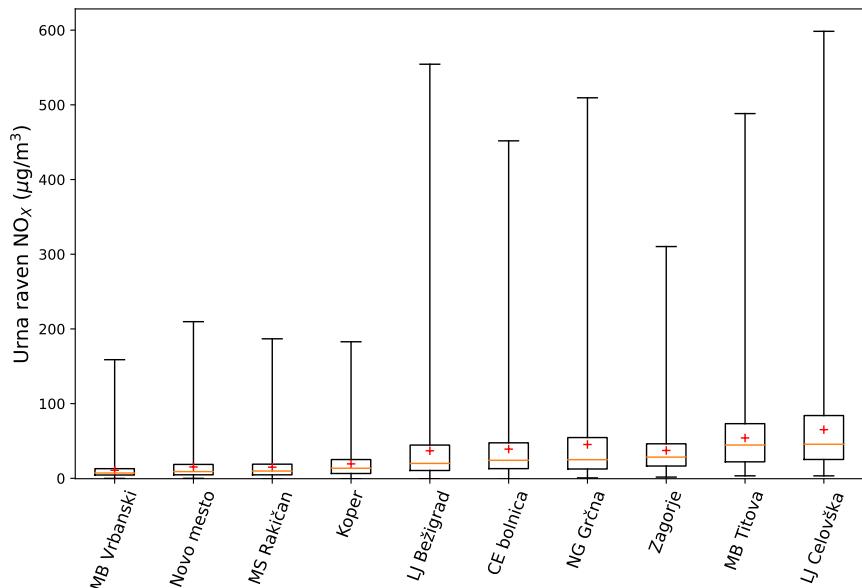
mestu kritična vrednost za NO_x v letu 2022 ni bila presežena (tabela 9.2). Najvišja raven je bila med ruralnimi mesti izmerjena na merilnem mestu MS Rakičan, in sicer $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Na vseh ostalih ruralnih merilnih mestih so bile ravni NO_x še precej nižje.

Urne ravni NO_2 na merilnih mestih DMKZ so prikazane na sliki 9.3. Najvišje izmerjene urne vrednosti NO_2 so bile na vseh merilnih mestih pod mejno urno vrednostjo $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ki je lahko po zakonodaji presežena 18-krat v enem letu. Na sliki 9.4 so prikazane urne ravni NO_x . Najvišje urne ravni NO_x (glede na mediano) so zabeležene na prometnih merilnih mestih (LJ Celovška, MB Titova in Zagorje) oziroma na merilnih mestih kjer je vpliv prometa še vedno velik (NG Grčna, CE bolnica, LJ Bežigrad). Na merilnih mestih, ki niso v bližini prometnih cest (MB Vrbanski, MS Rakičan, Koper in Novo mesto), so ravni NO_x celo pod vrednostjo, ki je določena kot kritična vrednost za varovanje rastlin oziroma vegetacije.

Ravni NO_2 in NO_x imajo značilen letni in dnevni hod. Na vseh merilnih mestih so najnižje ravni izmerjene v poletnih mesecih, ko so vremenske razmere za razredčevanje izpustov ugodnejše. V tem obdobju so manjši tudi izpusti dušikovih oksidov zaradi zmanjšanega prometa (dopusti,



Slika 9.3: Urne ravni NO_2 na merilnih mestih DMKZ v letu 2022. 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 9.4: Urne ravni NO_x na merilnih mestih DMKZ v letu 2022. 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.

počitnice in večja uporaba koles). Ravni dušikovih oksidov so najvišje pozimi, ko je ozračje najbolj stabilno in najslabše prevetreno, izpusti pa nekoliko višji kot poleti (tabele 9.3 - 9.5 ter sliki 9.5 in 9.6). So pa ravni NO_2 in NO_x bistveno višje v urbanem okolju kot v ruralnem, saj je eden največjih virov dušikovih oksidov ravno promet.

Dnevni hod NO_2 kaže, da se na vseh merilnih mestih ob jutranji prometni konici pojavi prvo obdobje višjih ravni dušikovih oksidov zaradi povečanih izpustov iz prometa (slika 9.7). V popol-

Tabela 9.3: Mesečna raven NO₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) v letu 2022

Merilno mesto	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
LJ Bežigrad	42	31	28	15	12	12	11	12	18	24	24	26
LJ Celovška	49	36	38	25	23	22	20	21	26	28	29	31
MB Titova	35	34	34	24	22	22	20	20	20	25	23	27
MB Vrbanski	16	12	10	7	5	4	4	4	5	8	10	14
CE bolnica	34	29	34	18	16	15	15	14	16	19	21	24
MS Rakičan	17	12	13	7	6	4	5	5	6	10	12	15
NG Grčna	37	33	35	20	17	17	17	17	19	22	25	28
Zagorje	28	24	27	16	14	12	12	13	14	16	18	21
Novo mesto	18	16	15	10	7	6	7	7	7	9	13	15
Koper	24	24	20	12	12	11	11	12	9	15	14	19
Iskrba	2	2	2	1	1	1	1	1	1	0	1	3
Šoštanj	15	12	13	7	7	6	9	6	7	8	10	15
Zavodnje	7	5	8	5	5	4	2	4	4	5	5	7
Škale	11	8	10	5	3	3	4	4	4	5	7	12
Mobilna TEŠ	19	16	21	11	9	7	8	8	8	9	10	15
Sv. Mohor	10	7	7	4	4	3	4	3	3	5	6	9
LJ Center	41	29	40	39	49	37	34	35	36	39	38	39
Zadobrova	34	24	20	13	9	9	10	12	12	17	20	24
CE Gaji	30	28	27	16	14	12	11	11	13	14	16	21
MB Tezno	49	28	31	17	13	11	12	13	/	13	13	26

* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.

Tabela 9.4: Maksimalna urna raven NO₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) po mesecih v letu 2022

Merilno mesto	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
LJ Bežigrad	119	95	118	74	49	52	69	50	64	79	72	62
LJ Celovška	113	108	119	94	73	59	61	60	67	77	90	63
MB Titova	92	96	127	82	75	89	68	70	62	73	68	64
MB Vrbanski	54	59	59	58	38	17	24	21	25	27	35	41
CE bolnica	86	101	110	77	81	50	79	70	60	53	65	61
MS Rakičan	70	49	78	39	30	30	32	30	28	42	38	47
NG Grčna	109	108	137	114	80	67	83	69	74	81	67	69
Zagorje	69	76	92	71	43	47	41	39	41	48	50	44
Novo mesto	57	68	72	51	38	37	38	33	47	45	49	49
Koper	69	78	76	116	76	56	63	74	55	73	52	56
Iskrba	11	9	6	10	5	7	4	4	9	5	8	21
Šoštanj	55	43	47	27	23	31	32	27	32	50	42	43
Zavodnje	43	20	21	12	14	14	10	41	14	17	14	33
Škale	41	31	29	19	33	12	12	15	29	34	21	38
Mobilna TEŠ	45	49	64	38	43	33	49	38	29	31	27	42
Sv. Mohor	39	25	19	19	16	18	20	10	18	21	33	25
LJ Center	124	104	142	115	118	88	121	98	93	100	91	83
Zadobrova	79	58	65	51	41	38	42	46	49	68	59	63
CE Gaji	73	82	77	60	49	38	34	36	49	54	50	57
MB Tezno	149	96	129	96	54	61	54	96	/	48	44	68

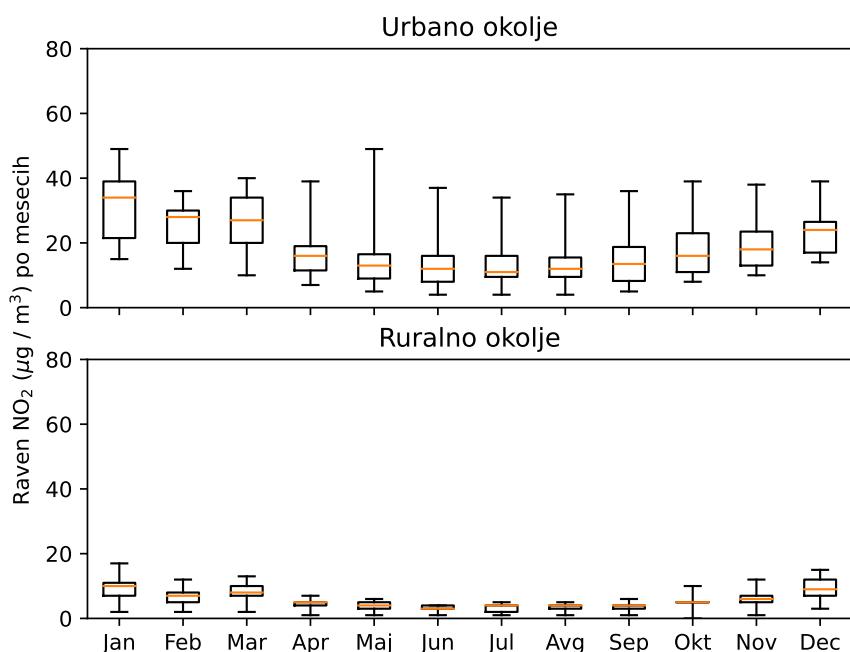
* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.

danskem oziroma večernem času pa se pojavi še drugo povišanje kot posledica umiritev ozračja v plasti zraka pri tleh, ki je na različnih merilnih mestih bolj ali manj izrazito. Najbolj izrazito povišanje ob prometnih konicah je na merilnem mestu NG Grčna. Na merilnem mestu LJ Celovška in MB Titova, ki sta klasificirani kot prometni postaji, nihanje ravni dušikovega oksida tekom dneva ni tako izrazito in je povišano preko celega dneva. V Novem mestu, so ravni dušikovih oksidov nižje, saj merilno mesto ni neposredno pod vplivom prometa. Na sliki 9.7 lahko opazimo razliko med

Tabela 9.5: Mesečna raven NO_x ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) v letu 2022

Merilno mesto	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
LJ Bežigrad	102	49	40	22	18	16	12	13	22	51	47	50
LJ Celovška	155	83	70	46	41	37	30	32	49	72	78	90
MB Titova	82	68	60	45	42	42	36	34	40	60	63	74
MB Vrbanski	20	15	11	8	7	6	5	5	6	11	16	19
CE bolnica	82	61	49	25	23	20	18	18	25	40	49	57
MS Rakičan	31	18	17	9	9	6	6	6	9	18	23	26
NG Grčna	86	69	56	29	23	22	20	22	31	47	62	76
Zagorje	77	52	45	30	29	26	21	22	27	34	40	45
Koper	32	31	22	15	15	14	12	13	10	19	19	29
Novo mesto	30	23	18	11	8	7	7	7	9	15	23	25
Šoštanj	21	18	18	9	6	8	11	8	10	16	17	21
Zavodnje	8	6	10	6	7	6	4	3	3	4	7	10
Škale	13	10	11	6	4	4	5	5	5	7	9	15
Mobilna TEŠ	32	25	28	13	11	13	11	10	13	27	20	25
Sv. Mohor	11	8	7	4	5	3	3	3	4	7	8	11
LJ Center	169	94	91	64	79	67	54	59	72	109	105	119
Zadobrova	88	42	28	17	12	12	12	15	16	31	40	47
CE Gaji	59	48	38	20	17	16	17	18	21	29	34	41
MB Tezno	111	50	44	22	17	13	14	16	/	32	32	53

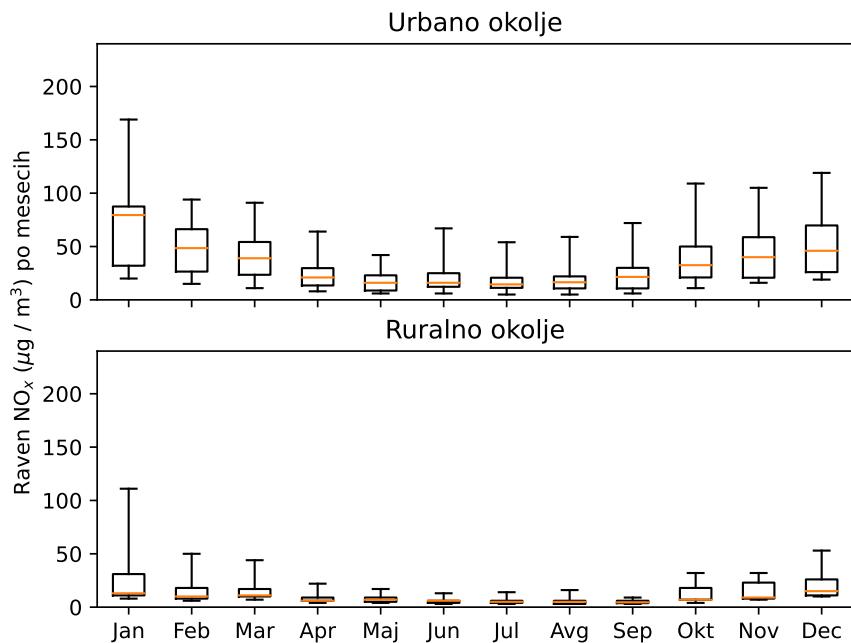
* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.



Slika 9.5: Mesečne ravni NO_2 na urbanih in ruralnih merilnih mestih v letu 2022. 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).

delavniki ter vikendi. Ob delavnikih so večino dneva ravni višje zaradi intenzivnejšega prometa, medtem ko so med vikendi najvišje vrednosti zabeležene v večernem času.

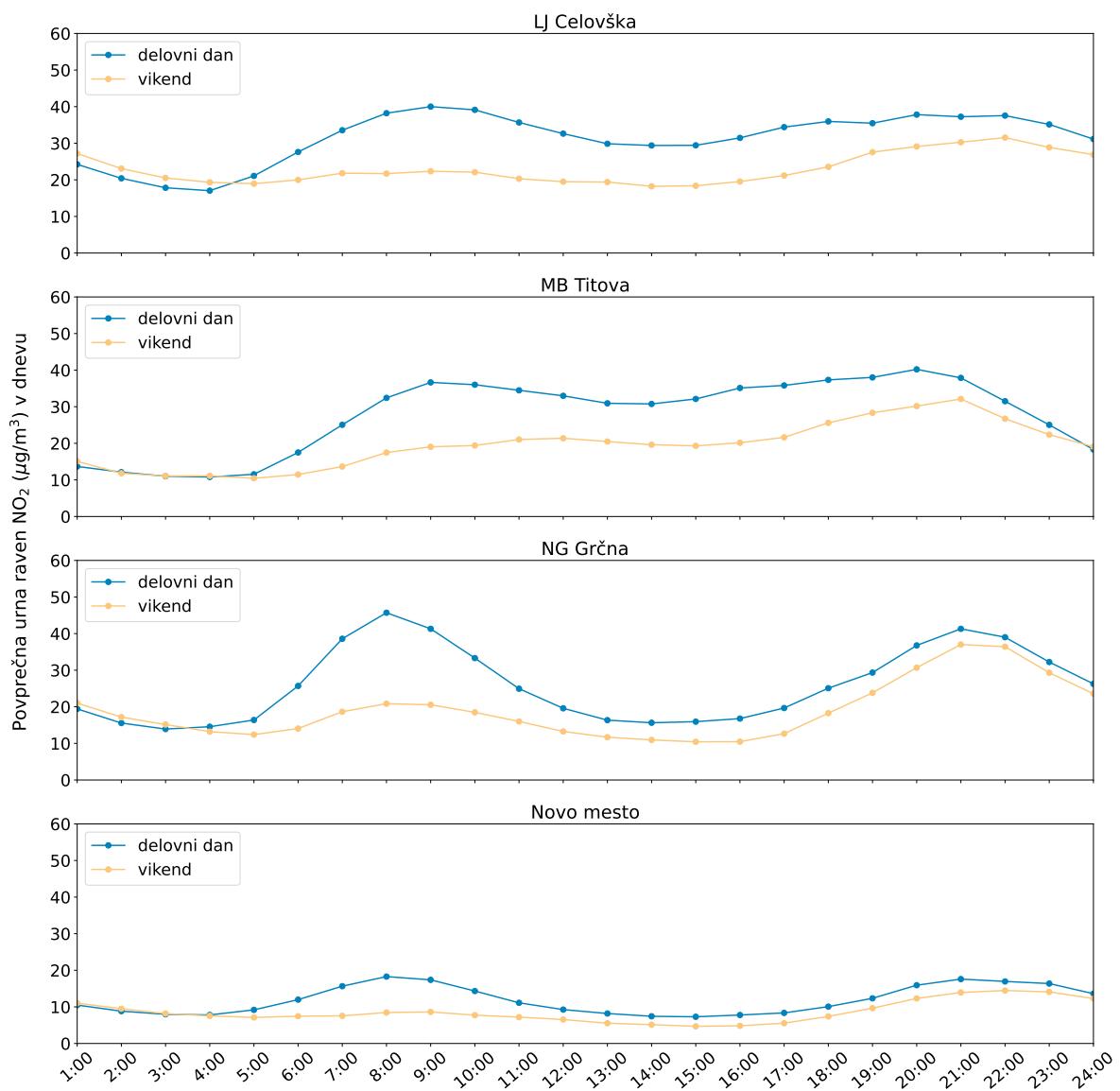
V obdobju od leta 2010 do 2022 je bilo zabeleženo preseganje letne mejne vrednosti za zaščito zdravja le na merilnem mestu Ljubljana Center. V zadnjih treh letih tega obdobja tudi na tem merilnem mestu mejna letna vrednost ni bila presežena (tabela 9.6 in slika 9.8). Na sliki 9.8



Slika 9.6: Mesečne ravni NO_x na merilnih mestih v urbanem in ruralnem okolju v letu 2022. 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).

so prikazane letne ravni NO₂ od leta 2010 naprej za vsa merilna mesta Državne meritne mreže, dodano je še merilno mesto Ljubljana Center, kjer so bila edino zabeležena preseganja letne mejne vrednosti. Podatki s postaje LJ Center za leti 2018 in 2019 nista prikazani na sliki 9.8, ker so podatki le informativni zaradi prevelikega izpada meritev. Nabor prikazanih postaj je preko let različen ker se meritve niso ves čas izvajale na vseh merilnih mestih. Meritve na merilnih mestih LJ Celovška in Novo mesto so prikazane šele od leta 2021 naprej, ko smo imeli na razpolago popoln niz letnih podatkov.

Povprečne letne ravni dušikovega dioksida se nekoliko spreminjajo, lahko bi govorili o rahlem trendu upadanja (slika 9.8). Z leti so se znižali izpusti dušikovih oksidov (slika 9.1). Medletna variabilnost je seveda tudi posledica meteoroloških pogojev. Ob toplejših zimah z več vetra in padavin ter ob manjšem številu temperturnih obratov so ravni nižje, ob drugačnih pogojih pa višje. V letih 2020 in 2021 so na ravni dušikovih oksidov vpivali tudi ukrepi za preprečevanje epidemije COVID-a. Omejeno je bilo gibanje, večina zaposlenih je občasno delala od doma, šola je potekala na daljavo, zmanjšal se je cestni in letalski promet.



Slika 9.7: Dnevni potek povprečne urne ravni NO₂ na merilnih mestih v letu 2022

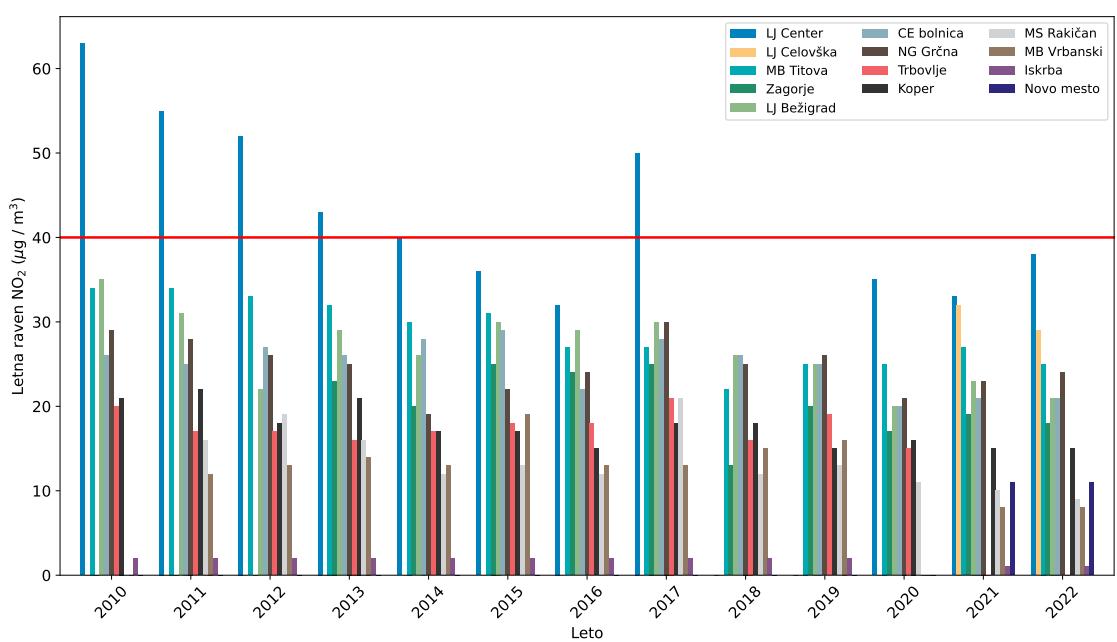
Tabela 9.6: Letne ravní NO₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) v letih 2010 - 2022. Ravní, ki presegajo letno mejno vrednost so napisane v krepki pisavi.

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

* Podatki so zaradi previlejega izpada meritev informativnega značaja.

Opoomba: Podatki za leta od 1992-2017 so na voljo v Poročilu o kakovosti zraka za leto 2017 [13].

Podatki za leta od 2000-2021 so na voljo v Poročilu o kakovosti zraka za leto 2021 [14].



Slika 9.8: Letne ravni NO₂ na vseh merilnih mestih DMKZ za posamezna leta. Rdeča črta prikazuje letno mejno vrednost.

10. Žveplov dioksid

Žveplov dioksid (SO_2) je onesnaževalo, ki je pred nekaj desetletji predstavljalo največji problem onesnaženosti zraka v slovenskih mestih in v okolini 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), razaplja 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 zbolevajo za različnimi infekcijami dihal. Onesnaženje z SO_2 je najnevarnejše, ko so hkrati v zraku povišane tudi ravni delcev in drugih onesnaževal.

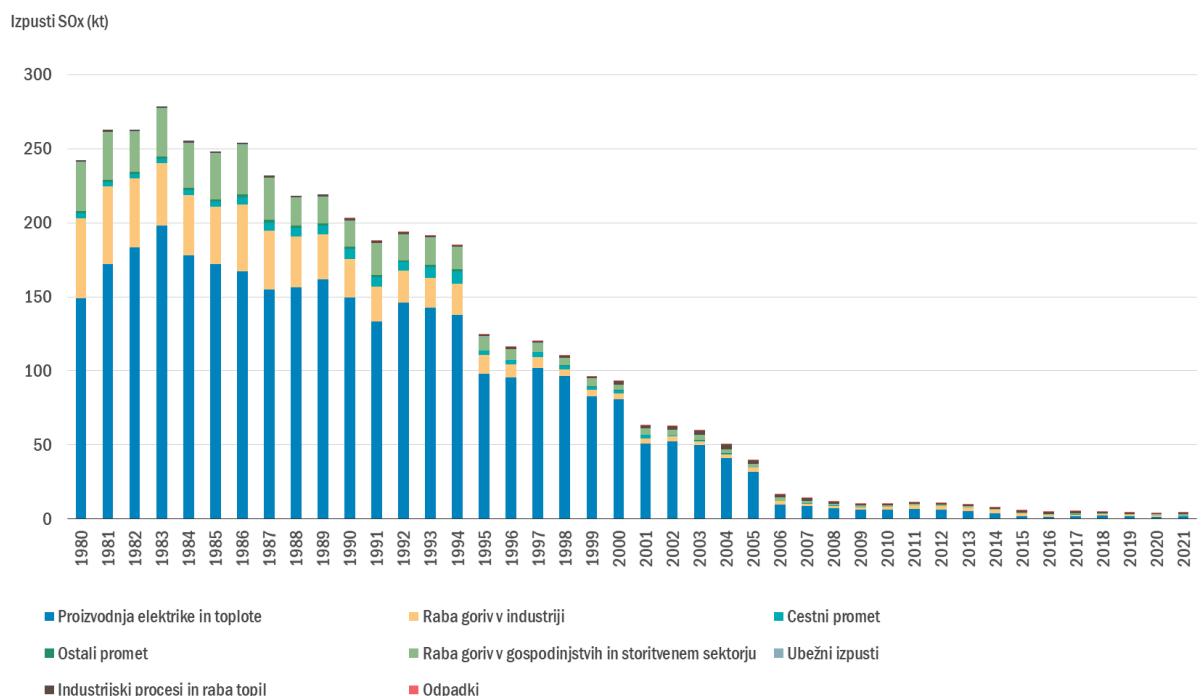
10.1 Izpusti

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 2021 znašali 4 tisoč ton. V primerjavi z letom 1980 so se zmanjšali kar za 98 %. Zmanjšanje izpustov je predvsem posledica namestitve razžvepljevalnih naprav v termoelektrarnah, uporabe premoga z nizko vsebnostjo žvepla, uvajanja tekočih goriv z nižjo vsebnostjo žvepla ter nadomeščanja tekočih in trdnih goriv v industriji z zemeljskim plinom. Največji delež k skupnim izpustom SO_x so v letu 2021 prispevale termoelektrarne in toplarne (40 %), sledijo industrijski procesi s 25 % ter raba goriv v industriji z 22 %. Izpusti SO_x po posameznih virih so prikazani na slikah 10.1 in 10.2.

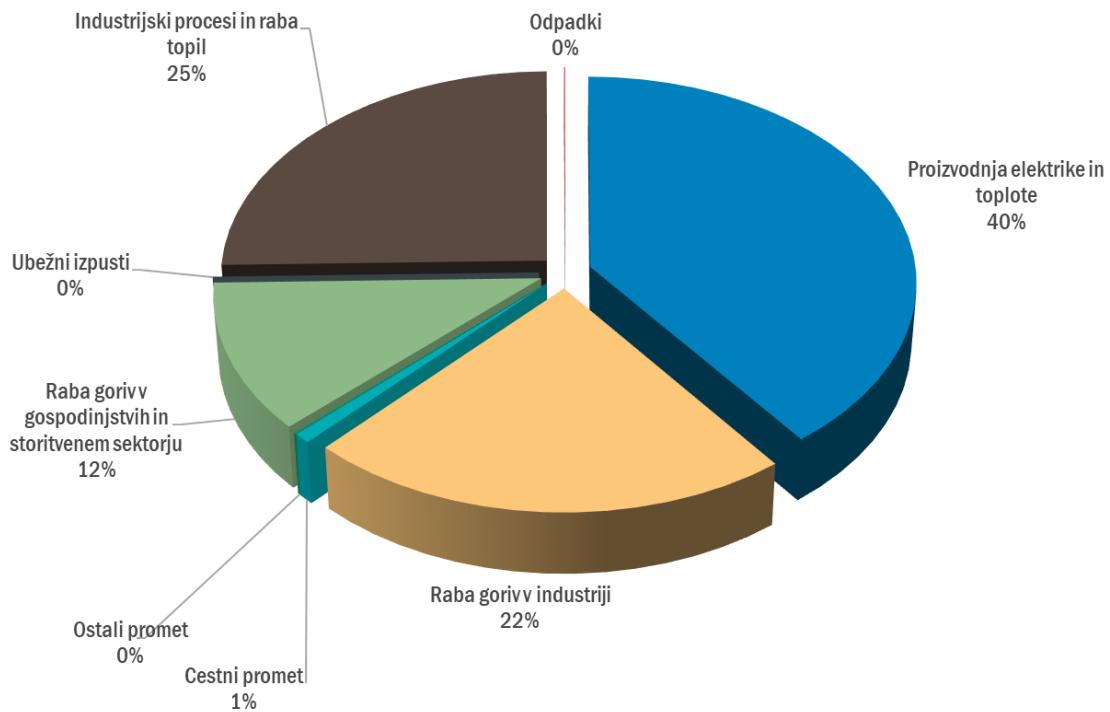
Slovenija izpolnjuje obveznosti iz Direktive (EU) 2016/2284 o zmanjšanju nacionalnih emisij za nekatera onesnaževala zraka (t.i. direktive NEC) ([17]) in iz Protokola o zmanjševanju zakisljevanja, evtrofikacije in prizemnega ozona (Goeteborški protokol) ([18]) h Konvenciji o onesnaževanju zraka na velike razdalje preko meja (CLRTAP) ([3]). Skupni izpusti žveplovih oksidov so bili v letu 2021 za 85 % nižji od ciljne vrednosti (27 tisoč ton), ki ne sme biti presežena od leta 2010 dalje. Dosegamo tudi cilj, ki predpisuje zmanjšanje izpustov po letu 2020. Izpusti SO_x morajo biti od leta 2020 nižji za najmanj 63 % glede na leto 2005. Slovenija prav tako izpolnjuje zahteve iz Protokola o nadaljnjem

zmanjševanju emisij žvepla h Konvenciji o onesnaževanju zraka na velike razdalje preko meja ([3]). Izpusti žveplovih oksidov se podajajo kot vsota vseh žveplovih oksidov, izraženih kot SO₂.

Podrobne informacije o izpustih žveplovih oksidov in metodologiji izračuna izpustov so na voljo v zadnjem poročilu Informative Inventory Report, Slovenia 2023 [4].



Slika 10.1: Izpusti SO_x v Sloveniji po letih in virih



Slika 10.2: Izpusti SO_x v Sloveniji po virih v letu 2021

10.2 Zahteve za kakovost zraka

V Uredbi o kakovosti zunanjega zraka [6] sta predpisani mejni in alarmna vrednost za zaščito zdravja ter kritični vrednosti za zaščito vegetacije. Vrednosti so prikazane v tabeli 10.1.

Tabela 10.1: Mejni, kritični in alarmna vrednost za žveplov dioksid [6]

	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 koledarsko)	$500 \mu\text{g}/\text{m}^3$	
Kritična vrednost	Vegetacija	leto	$20 \mu\text{g}/\text{m}^3$	
Kritična vrednost	Vegetacija	zima (1.10-31.3)	$20 \mu\text{g}/\text{m}^3$	

10.3 Ravní onesnaženosti

Ravní SO_2 so že več let na vseh meritnih mestih pod mejno oziroma kritično vrednostjo tako za varovanje zdravja kot tudi za varovanje vegetacije. Za SO_2 sta predpisani urna in dnevna mejna

vrednost in alarmna vrednost za varovanje zdravja ter kritična letna in zimska vrednost za varovanje vegetacije. Urna mejna vrednost je $350 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 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 2021 do 31. marca 2022 (tabela 10.1).

Tabela 10.2: Razpoložljivost podatkov (% pod), letna in zimska raven (C_p), najvišja dnevna (C_{max}) in najvišja urna (C_{max}) raven, izražene v $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Število preseganj dnevnih ($>\text{MV}$) in urnih mejnih vrednosti ($>\text{MV}$) ter alarmnih vrednosti ($>\text{AV}$) v letu 2022.

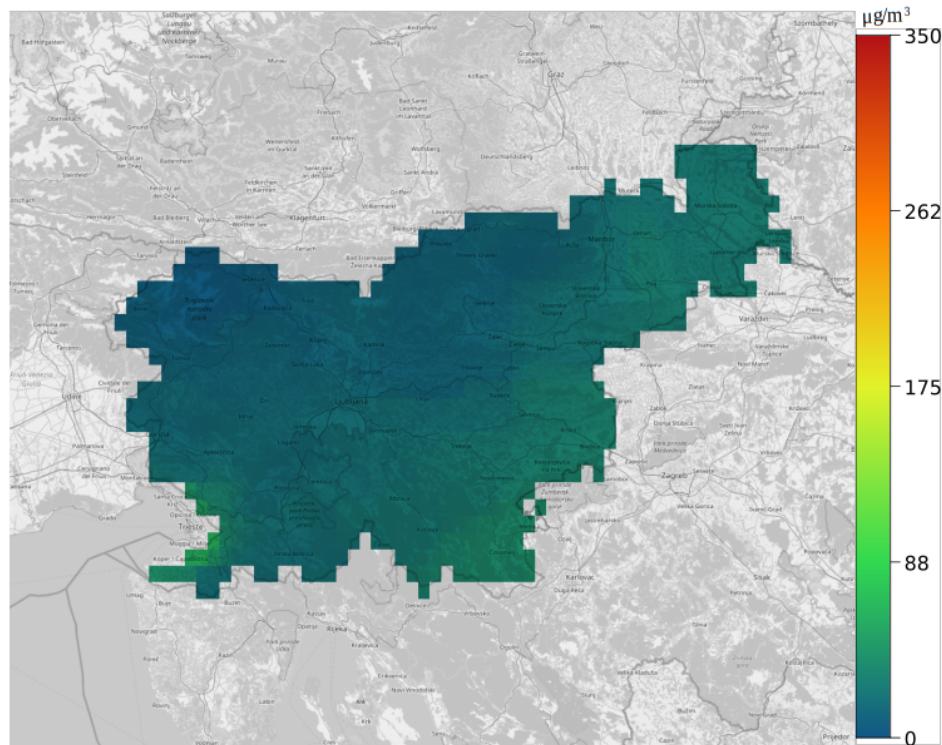
Merilno mesto	%pod	Leto C_p	Zima C_p	1 ura C_{max}	1 ura $>\text{MV}$	3 ure $>\text{AV}$	1 dan C_{max}	1 dan $>\text{MV}$
CE bolnica	99	3	4	40	0	0	9	0
Zagorje	100	2	3	14	0	0	7	0
Iskrba	96	1.3	1.1	30	0	0	7	0
Dopolnilna merilna mreža								
OMS - MOL								
LJ Center	97	2	2	12	0	0	7	0
MO Celje								
CE Gaji	99	2	2	72	0	0	8	0
TE-TOL								
Zadobrova	100	3	3	16	0	0	7	0
TE Šoštanj								
Šoštanj	99	3	3	34	0	0	13	0
Topolšica	99	3	2	24	0	0	13	0
Zavodnje	99	4	5	60	0	0	17	0
Veliki vrh	99	3	4	35	0	0	11	0
Graška gora	100	4	5	155	0	0	13	0
Velenje	100	4	5	19	0	0	8	0
Pesje	99	5	5	24	0	0	11	0
Škale	99	4	5	156	0	0	14	0
Mobilna TEŠ	100	5	5	28	0	0	9	0
TE Brestanica								
Sv. Mohor	96	2	3	18	0	0	8	0

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

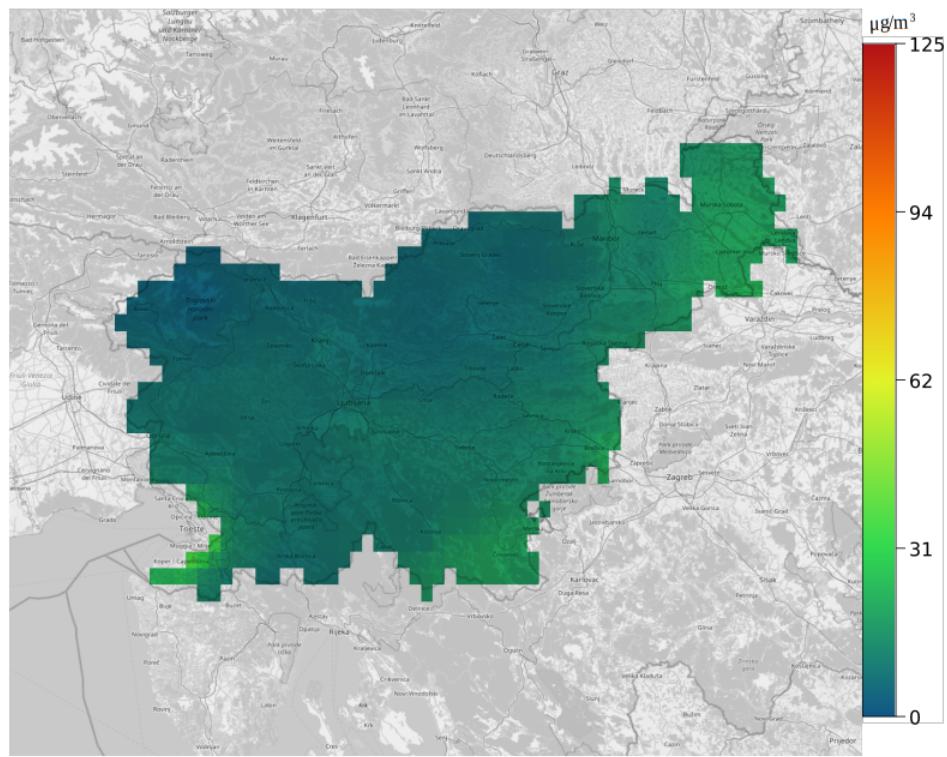
V letu 2022 smo meritve SO_2 v DMKZ izvajali le na treh merilnih mestih, in sicer v Zagorju, na merilnem mestu CE Bolnica in na Iskrbi. Na vseh merilnih mestih so bile izmerjene ravni nižje od vseh predpisanih vrednosti.

V tabeli 10.2 je v stolpcu % pod prikazan letni izplen podatkov z odštetimi rednimi servisi in preverjanji merilnika. Podatki za določeno postajo so veljavni, če je izplen večji od 90 %. Najvišja povprečna letna in zimska raven SO_2 je bila v letu 2022 $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Najvišja urna raven je bila izmerjena okrog Termoelektrarne Šoštanj, in sicer na Graški Gori in v Škalah in je nižja od polovice mejne vrednosti. Na vseh ostalih merilnih mestih so najvišje urne ravni SO_2 še bistveno nižje (tabela 10.2). Tudi najvišja dnevna raven SO_2 je bila izmerjena okrog Termoelektrarne Šoštanj, v Zavodnjah, in sicer $17 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Torej tudi v letu 2022 v Sloveniji nismo blizu niti mejnih niti kritičnih vrednosti glede onesnaženosti zraka z žveplovim dioksidom. Vrednosti so nižje tudi od novih priporočil svetovne zdravstvene organizacije (4.1), ki za dnevno vrednost dovoljuje celo višjo vrednost kot je bila določena pred spremembo.

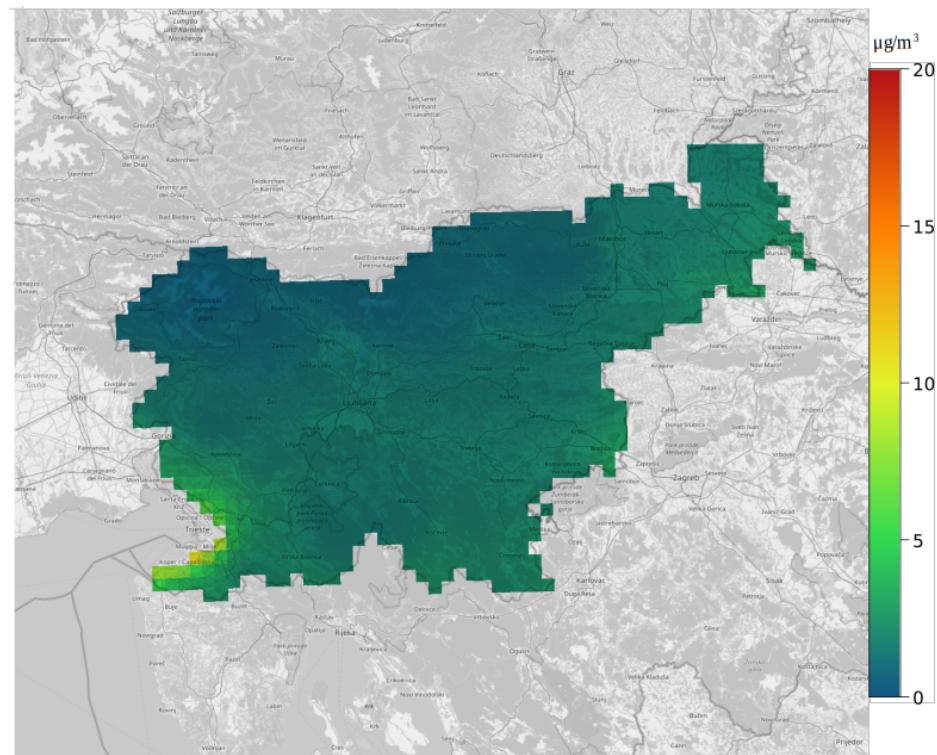
V petletni oceni za obdobje 2015 -2019 in tudi v letu 2022 so bile vrednosti SO_2 nižje od spodnjega ocenjevalnega praga, ki je za varovanje zdravja določen za dnevne vrednosti ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, dovoljena 3 preseganja). Za varovanje rastlin je spodnji ocenjevalni prag določen za zimsko kritično 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. Modelske rezultate so prikazani na slikah 10.3, 10.4, 10.5 in 10.6. Prikazani so modelski rezultati za oceno skladnosti z urno in dnevno vrednostjo ter za letno in zimsko vrednost. Na vseh slikah se vidi, da so ravni SO_2 povsod zelo nizke, nekoliko so povišane le v okolini Trsta, predvidevamo, da zaradi izpustov ladijskega prometa. Na slikah 10.3 in 10.4 so prikazani modelski izračuni najvišjih urnih in dnevnih ravni SO_2 za Slovenijo. Na sliki 10.3 se vidi, da so ravni SO_2 nizke in daleč pod urno mejno vrednostjo $350 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Tudi najvišje dnevne ravni SO_2 (slika 10.4) so povsod v Sloveniji nižje od dnevne mejne vrednosti za varovanje zdravja ($125 \mu\text{g}/\text{m}^3$), in so celo pod spodnjim ocenjevalnim pragom, ki znaša $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. To pomeni, da bi lahko meritve SO_2 povsod nadomestili z rezultati modelske ocene.



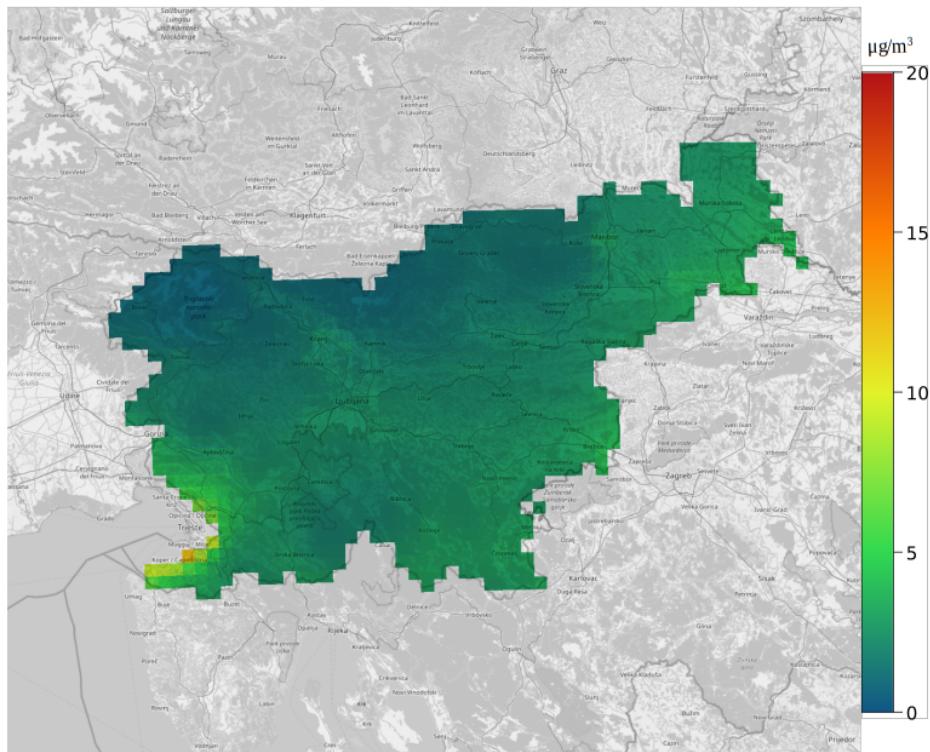
Slika 10.3: Modelski izračun najvišje urne vrednosti SO_2 v letu 2022



Slika 10.4: Modelske izračune najvišje dnevne vrednosti SO₂ v letu 2022



Slika 10.5: Modelske izračune povprečne letne vrednosti SO₂ v letu 2022

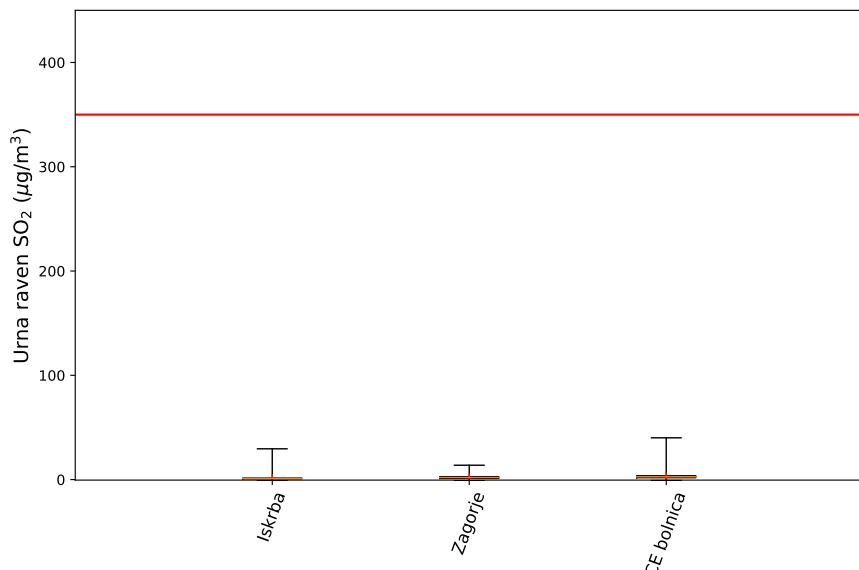


Slika 10.6: Modelske izračune povprečne vrednosti SO_2 za zimske mesece v letu 2022

Prikaz najvišjih urnih in najvišjih dnevnih ravni ter mesečnih vrednosti je prikazan v tabelah 10.3 do 10.5. Na sliki 10.7 je prikaz urnih ravni na merilnih mestih DMKZ. Kot je bilo že omenjeno, so občasno še vedno izmerjene povišane urne ravni SO_2 na merilnih mestih okrog Termoelektrarne Šoštanj. Vendar tudi na tem območju, ob normalnem delovanju TEŠ, ne prihaja več do preseganj mejne urne vrednosti. Urne ravni so ponavadi višje v zimskem času, občasno pa so lahko povišane tudi v poletnem času, ko onesnažen zrak prinese od kakšnega bolj oddaljenega vira. Dnevne ravni SO_2 so precej nižje od mejne dnevne vrednosti za to onesnaževalo. 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 tudi iz tabele 10.5, kjer so na posameznih merilnih mestih ravni celo najvišje v poletnem času, če pri tako nizkih ravneh sploh lahko govorimo o pomembnih razlikah.

Raven onesnaženosti zunanjega zraka z SO_2 se je od začetka meritev leta 1992 do leta 2022 močno znižala. Letne ravni SO_2 od leta 1992 dalje so prikazane na sliki 10.8. Ravni na merilnih mestih državne mreže so se do leta 2007 nižale, nato pa so se ustalile na zelo nizki ravni. Znatno znižanje letnih ravni je posledica zmanjšanja izpustov (slika 10.1).

Letna raven, najvišja urna raven in najvišja dnevna raven za posamezna merilna mesta za obdobje 2010-2022 so podane v tabelah 10.6, 10.7 in 10.8. Podatki od leta 2000-2021 so prikazani v lanskem poročilu o Kakovosti zraka v Sloveniji. 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 SO_2 . Urne mejne vrednosti so bile na posameznih merilnih mestih okrog obeh termoelektrarn v prvem delu obdobja 2010-2022 visoke in so ponekod



Slika 10.7: Urne ravni SO_2 na meritnih mestih DMKZ v letu 2022. 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. *Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.

Tabela 10.3: Najvišja urna raven SO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) po mesecih v letu 2022

	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
CE bolnica	25	18	22	40	17	17	20	11	15	32	39	30
Zagorje	6	6	11	4	4	7	6	3	2	10	14	14
Iskrba	3	5	10	22	11	15	30	5	8	16	11	6
Šoštanj	34	22	26	16	29	14	29	7	6	6	7	12
Topolšica	5	4	24	8	9	21	8	10	22	8	7	9
Zavodnje	48	15	60	7	9	23	12	11	7	13	9	28
Veliki vrh	34	25	35	10	11	18	8	4	5	12	10	19
Graška gora	22	10	155	15	17	23	10	10	7	15	7	9
Velenje	6	7	13	9	8	19	14	7	8	10	7	13
Pesje	8	7	20	9	12	24	12	15	11	13	10	13
Škale	11	11	156	7	6	23	7	6	7	10	8	12
Mobilna TEŠ	13	14	28	15	14	21	10	11	6	10	10	11
Sv. Mohor	8	12	18	14	3	17	14	6	4	11	17	15
LJ Center	8	4	12	9	8	7	6	1	2	4	4	4
Zadobrova	8	16	12	3	2	11	13	11	11	11	12	11
CE Gaji	72	37	28	22	12	15	28	15	18	48	21	30

Tabela 10.4: Najvišja dnevna raven SO₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) po mesecih v letu 2022

	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
CE bolnica	7	6	6	7	4	4	4	4	4	8	9	7
Zagorje	3	4	4	3	2	4	2	2	1	3	6	7
Iskrba	2	2	3	7	3	4	6	2	2	5	5	3
Šoštanj	13	9	6	6	4	4	4	4	4	2	5	6
Topolšica	3	2	5	4	4	8	6	4	13	5	4	5
Zavodnje	17	9	11	3	4	8	5	4	6	7	7	11
Veliki vrh	11	7	7	5	8	9	2	3	4	6	5	7
Graška gora	8	5	13	7	8	8	5	5	6	8	4	4
Velenje	5	6	8	8	6	8	6	4	6	6	6	8
Pesje	5	5	8	8	9	11	8	8	9	8	8	6
Škale	6	6	14	6	4	8	6	3	4	5	5	6
Mobilna TEŠ	7	7	8	9	7	8	5	7	5	5	7	8
Sv. Mohor	3	6	6	4	2	7	8	3	3	4	4	4
LJ Center	6	2	5	6	7	7	2	1	1	4	2	3
Zadobrova	5	6	7	1	2	5	7	6	6	4	4	6
CE Gaji	8	5	5	3	3	5	4	4	5	5	5	6

Tabela 10.5: Mesečna raven SO₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) v letu 2022

	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
CE bolnica	4	3	4	4	2	1	2	2	2	3	4	3
Zagorje	2	3	3	1	2	3	1	1	1	2	3	3
Iskrba	1	1	2	2	1	1	1	1	1	2	2	1
Šoštanj	4	4	2	3	1	1	2	1	2	1	4	4
Topolščica	2	2	3	3	3	5	3	4	5	3	3	3
Zavodnje	6	5	5	1	3	2	2	2	4	4	4	5
Veliki vrh	4	3	4	4	6	4	1	2	3	3	3	3
Graška gora	3	4	5	5	6	5	3	4	5	5	3	3
Velenje	3	5	6	4	4	5	3	4	5	5	5	6
Pesje	3	4	6	5	7	6	4	6	6	5	4	3
Škalę	5	6	5	3	3	5	2	2	3	3	4	4
Mobilna TEŠ	5	6	7	6	6	4	4	6	3	4	6	4
Sv. Mohor	3	3	2	1	1	2	3	2	2	2	2	3
LJ Center	2	0	2	5	7	5	1	0	0	2	1	1
Zadobrova	4	4	4	0	1	3	4	5	4	2	2	3
CE Gaji	2	3	2	1	1	1	2	2	2	3	3	4

presegle mejno urno vrednost. Na meritnih mestih okrog TEŠ se še vedno lahko pojavijo višje ravni SO₂ ob remontih oziroma težavah z razžvepljevalno napravo (Zavodnje, 2021, tabela 10.7). Razlike med posameznimi leti so odvisne od intenzivnosti obratovanja termoelektrarne ter od vremenskih razmer. So pa očitna znižanja ravni po vgradnji čistilnih naprav na posameznih blokih termoelektrarn (slika 10.8). Konec leta 2014 je z obratovanjem prenehala Termoelektrarna Trbovlje, maja 2017 so se zaključile meritve onesnaženosti zraka v vplivni okolici.

Tabela 10.6: Letne ravnine SO₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) za obdobje 2010-2022.

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

* 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 [13].

Podatki za leta od 2000-2021 so na voljo v Poročilu o kakovosti zraka za leto 2021 [14].

Tabela 10.7: Najvišje urne ravni SO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) za obdobje 2010–2022.

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
LJ Bežigrad	29	77	48	41	45	26	29	34	25	23	37	7*	/
LJ center	22	33	37	20	28	28	22	14	10	20	47	8	12
MB Titova	68	56	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
CE bolnica	64	210	89	43	41	36	36	40	62	26	38	43	40
Trbovlje	52	90	87	40	44	22	23	26	21	15	15	8*	/
Hrastnik	46	228	103	44	69	16	39	33	27	18*	/	/	/
Zagorje	57	37	75	31	44	23	15	34	35	11	27	16	14
Iskrba	/	/	/	/	/	/	/	/	28	17	11*	25	30
Šoštanj	1357	124	485	216	333	396	75	47	61	39	216	71	34
Topolščica	52	130	92	90	52	35	44	166	28	200	37	37	24
Veliki vrh	269	636	887	415	301	143	148	237	297	93	87	114	35
Zavodnje	98	433	150	388	96	274	86	103	219	347	166	1151	60
Velenje	110	89	93	60	19	140	24	15	25	22	25	44	19
Graška gora	106	148	107	53	76	57	127	60	188	238	110	121	155
Pesje	81	81	75	96	75	184	63	39	37	21	29	41	24
Škale	81	190	131	67	75	230	61	47	42	108	26	91	156
Mobilna TEŠ	/	/	/	/	/	191	51	43	57	34	50	54	28
Kovk	159	201	564	681	286	28	65	/	/	/	/	/	/
Dobovec	209	1036	200	343	277	26	23	/	/	/	/	/	/
Kum	99	66	192	115	48	39	94	/	/	/	/	/	/
Ravenska vas	560	528	254	157	75	27	21	/	/	/	/	/	/
Zelena travsa	/	/	135	318	68	36	/	/	/	/	/	/	/
Vnajnarje	45	85	75	63	101	47	58	64	/	/	/	/	/
CE Gaj	/	/	/	55	474	37	136	49	38	34	43	97	72
Sv. Mohor	66*	59	37	46	52	35	58	42	31	27	19	30	18
Zadobrova	/	/	/	/	/	/	/	/	17	17	12	10	16

* 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 [13].

Podatki za leta od 2000–2021 so na voljo v Poročilu o kakovosti zraka za leto 2021 [14].

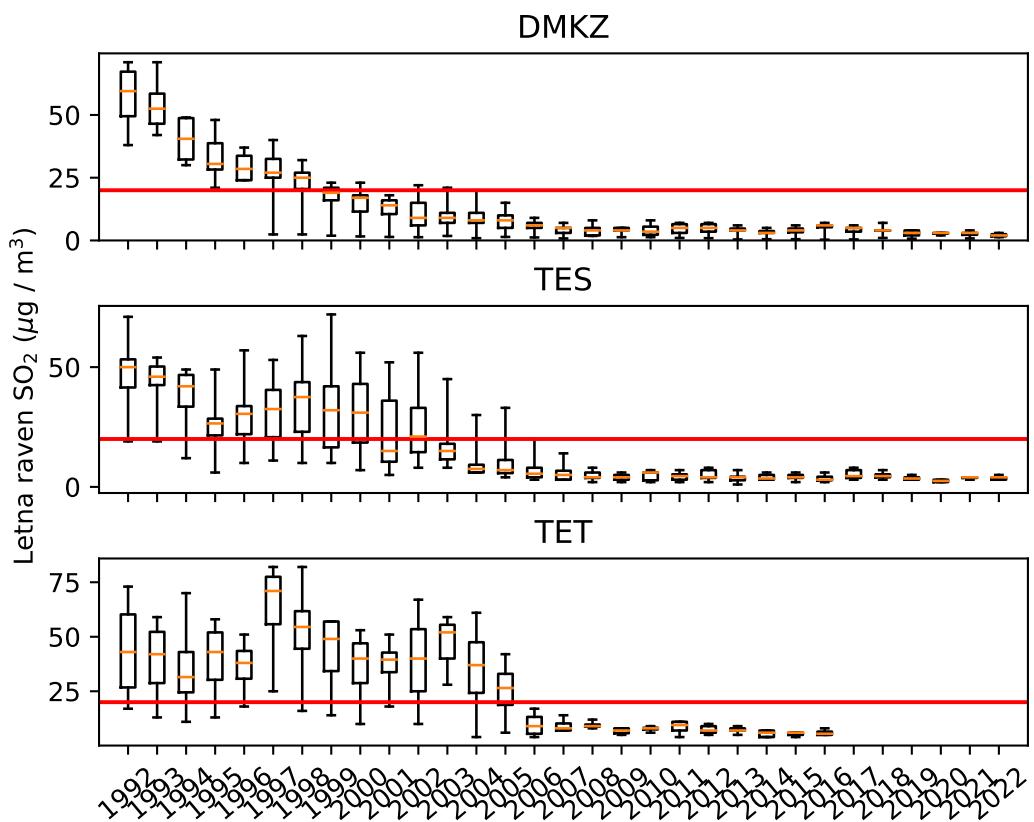
Tabela 10.8: Najvišje dnevne ravni SO₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) za obdobje 2010–2022.

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

* 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 [13].

Podatki za leta od 2000–2021 so na voljo v Poročilu o kakovosti zraka za leto 2021 [14].



Slika 10.8: Letne ravni SO₂ na merilnih mestih DMKZ in merilnih mestih v okolici TEŠ in TET za posamezna leta. Prikazani so najnižja in najvišja izmerjena raven (spodnja in zgornja vodoravna črtica), oba kvartila (vrh in dno pravokotnika) in mediana (oranžna vodoravna črtica v pravokotniku). Rdeča črta prikazuje letno kritično vrednost za zaščito vegetacije.

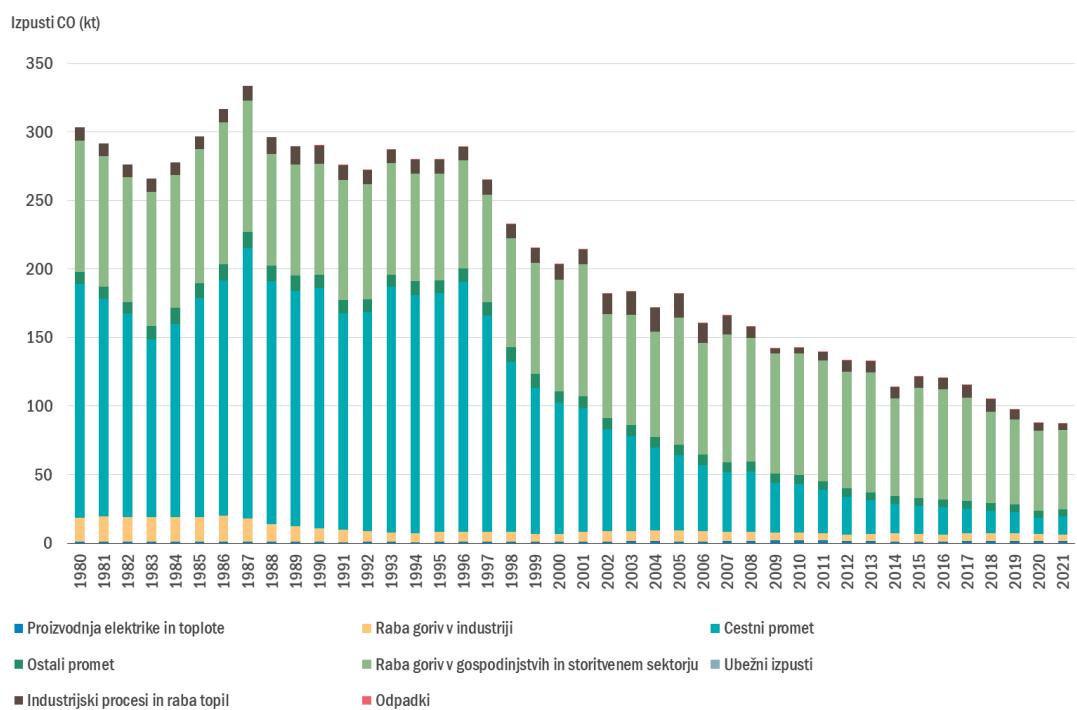
11. Ogljikov monoksid

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. Življenska 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 11.1).

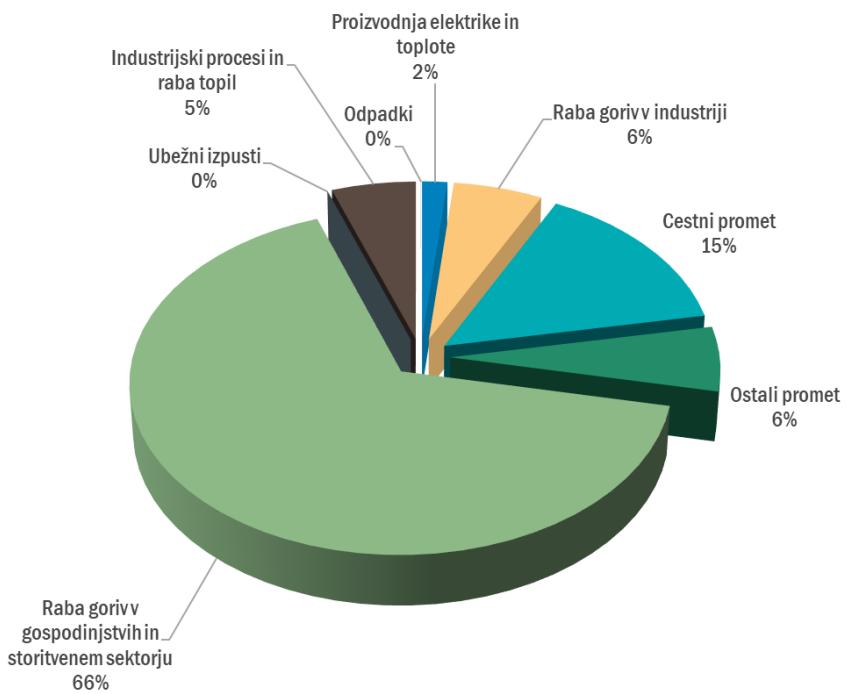
11.1 Izpusti

Letni izpusti ogljikovega monoksida (CO) so v Sloveniji leta 2021 znašali 87 tisoč ton. V obdobju 1980-2021 so se zmanjšali za 71 % (slika 11.1). Največji, skoraj dvotretjinski delež k skupnim izpustom CO, je v letu 2021 prispevala raba goriv v gospodinjstvih in storitvenem sektorju (slika 11.2). V preteklosti je večinski delež izpustov CO izhajal iz prometa. Emisije so se znižale zaradi napredka tehnologije bencinskih motorjev in uvedbe katalizatorjev. Glavni delež danes prispevajo mala kurišča, predvsem zaradi uporabe trdnih goriv v zastarelih kurilnih napravah.

Podrobne informacije o izpustih ogljikovega monoksida in metodologiji izračuna izpustov so na voljo v zadnjem poročilu *Informative Inventory Report, Slovenia 2023* [4].



Slika 11.1: Letni izpusti ogljikovega monoksida po sektorjih v Sloveniji



Slika 11.2: Izpusti ogljikovega monoksida po sektorjih v Sloveniji v letu 2021

11.2 Zahteve za kakovost zraka

V Uredbi o kakovosti zunanjega zraka [6] je predpisana mejna vrednost za zaščito zdravja, in sicer kot 8-urna mejna vrednost (tabela 11.1).

Tabela 11.1: Mejna vrednost za ogljikov monoksid [6]

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

11.3 Ravní onesnaženosti

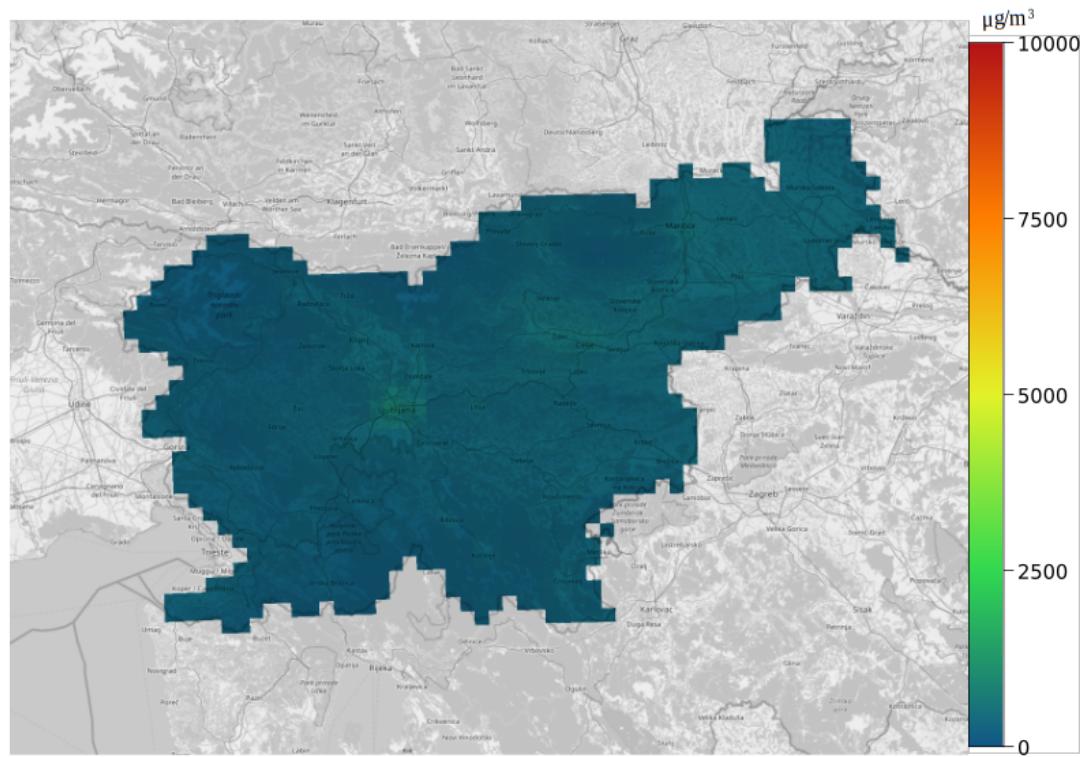
Ravní ogljikovega monoksida so na območju Slovenije nizke. V zadnjih desetih letih so najvišje dnevne 8-urne povprečne vrednosti pod spodnjim ocenjevalnim pragom ($5 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Zakonodaja določa, da lahko v takem primeru ravni CO v prihodnje ocenimo z indikativnimi meritvami, subjektivno oceno ali modelskimi rezultati. Glede na rezultate dolgotrajnih meritev v Sloveniji v okviru projekta Sinica meritev CO v merilni mreži ARSO nismo načrtovali. Kljub temu smo se v letu 2022 odločili, da vzpostavimo eno merilno mesto, kjer bomo merili ravni ogljikovega monoksida. Tako smo 5. julija 2022 začeli z meritvami CO na merilnem mestu LJ Bežigrad. V letu 2022 s tega merilnega mesta še ni dovolj meritev za določitev skladnosti, vendar je tudi iz teh podatkov očitno, da so ravni CO v Sloveniji nizke in pod mejno vrednostjo. Podatki za leto 2022 z merilnega mesta LJ Bežigrad so podani v tabeli 11.2 in prikazani na sliki 11.4. Vrednosti so nižje tudi od novih priporočil svetovne zdravstvene organizacije (4.1).

Na sliki 11.3 so prikazani rezultati modelskega izračuna najvišjih 8-urnih vrednosti CO v letu 2022. Ravni CO so nekoliko povišane v okolini večjih mest, vendar so precej nižje od predpisane mejne vrednosti $10 \text{ mg}/\text{m}^3$.

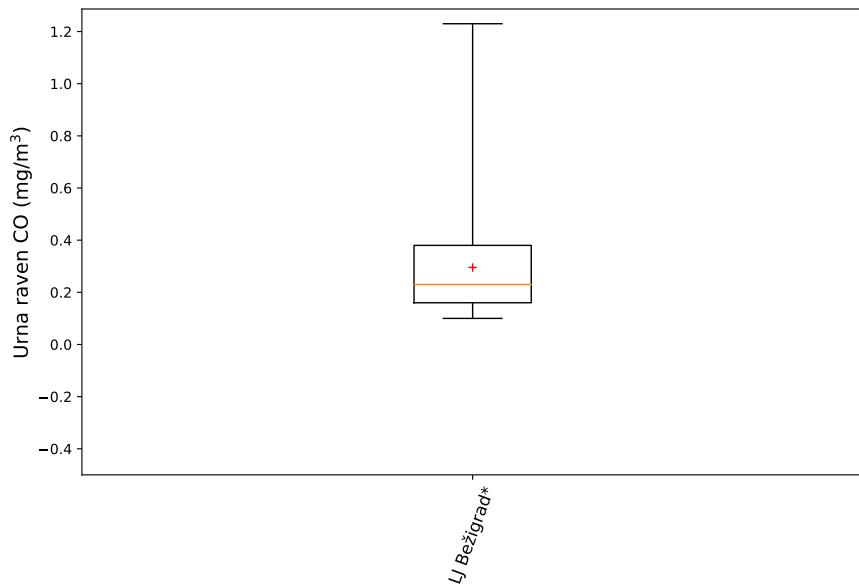
Tabela 11.2: Razpoložljivost podatkov (% pod), letna raven (C_p) in najvišja 8-urna raven (C_{max}) v mg/m^3 , število preseženih mejnih vrednosti (MV) v letu 2022.

Leto	% pod	8 ur		
		C_p	C_{max}	MV
LJ Bežigrad*	47	0.3	1.0	0

* Podatki so informativnega značaja zaradi prevelikega izpada meritev.



Slika 11.3: Modelski izračun najvišje 8-urne vrednosti CO v letu 2022



Slika 11.4: Urna raven CO na meritnih mestih DMKZ v letu 2022. 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.

* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.

12. Benzen

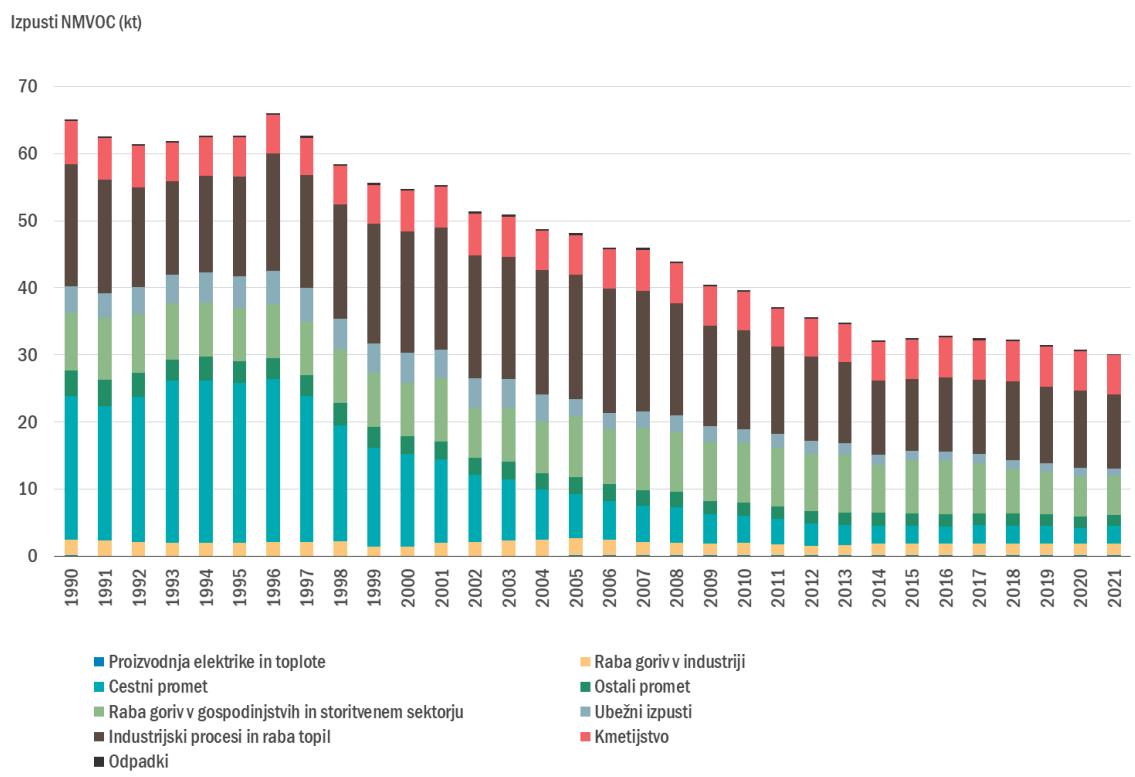
Benzen je aromatska ogljiko-vodikova spojina s formulo C₆H₆, ki je vezana v obroč. Je bistra, brezbarvna, lahko hlapna in zelo vnetljiva tekočina. Spada med nemetanske hlapne organske spojine - NMVOC (Non Methane Volatile Organic Compounds), ki predstavljajo širok spekter snovi in nekatere med njimi 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 možeg, kar povzroča zmanjšanje števila belih in rdečih krvnih celic in posledično vodi v razvoj levkemije [19]. 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 kurjenja biomase in gorenje fosilnih goriv, kot sta dizel in bencin, ki najpogosteje nastajata v prometu. Poleg tega nastaja tudi pri industrijskih procesih, saj se uporablja kot topilo, razredčilo in v drugih proizvodnih procesih. Prisoten je tudi v cigaretinem dimu. Naravni viri teh spojin so požari, pretvorba organske usedline v fosilna goriva in vulkanski izbruhi [19], [20].

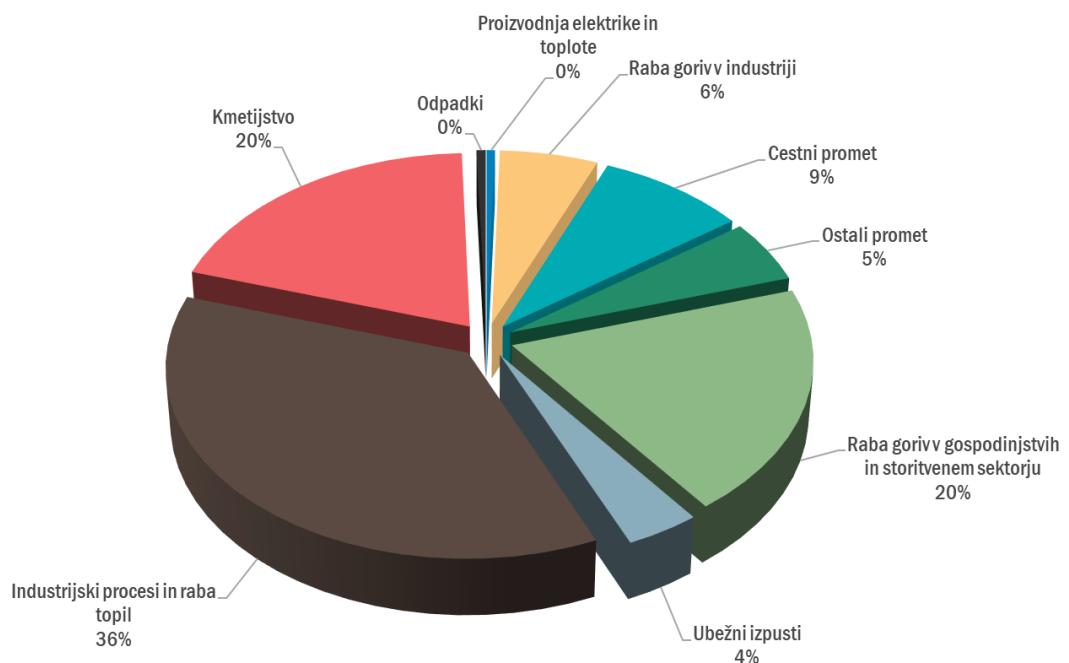
12.1 Izpusti

Benzen v državnih evidencah onesnaževal zraka ne nastopa kot samostojno onesnaževalo. Izpusti benzena so zajeti med izpuste vseh nemetanskih hlapnih organskih spojin (NMVOC). NMVOC so pomembni kot predhodniki ozona. Izpusti NMVOC so se od leta 1990 več kot prepolovili. Najbolj, skoraj za faktor 10, so se zmanjšali izpusti NMVOC iz cestnega prometa, kot posledica uvajanja katalizatorjev in ukrepov za zmanjševanje izhlapevanja bencina iz motornih vozil. Največji delež k skupnim izpustom NMVOC so v letu 2021 prispevali industrijski procesi in raba topil (36 %). Približno 20 % izpustov prihaja iz kmetijskega sektorja. Znaten del izpustov prispevajo male kurične naprave, katerih glavni vir je nepopolno zgorevanje lesa v zastarelih kuričnih napravah. Izpusti NMVOC po posameznih virih so prikazani na slikah 12.1 in 12.2.

Podrobne informacije o izpustih benzena in metodologiji izračuna izpustov so na voljo v zadnjem poročilu Informativne Inventory Report, Slovenia 2023 [10].



Slika 12.1: Letni izpusti nemetanskih hlapnih organskih spojin po sektorjih v Sloveniji v letu 2021.



Slika 12.2: Izpusti nemetanskih hlapnih organskih spojin po sektorjih v Sloveniji v letu 2021.

12.2 Zahteve za kakovost zraka

Zakonodajna mejna vrednost za benzen je predpisana v Uredbi o kakovosti zunanjega zraka [6] in je prikazana v tabeli 12.1. Svetovna zdravstvena organizacija (WHO) podaja še nižjo informativno mejno vrednost za benzen, ki na letnem nivoju znaša $1,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$. [19].

Tabela 12.1: Mejna vrednost za benzen.

Cilj	Čas merjenja	Vrednost	WHO
Mejna vrednost	Zdravje	$5 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$1,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$

12.3 Ravni onesnaženosti

V okviru državne meritne mreže DMKZ stalno merimo ravni benzena na dveh meritnih mestih, Ljubljana Bežigrad in Maribor Titova. Sredi leta 2022 so se meritve NMVOC testno začele izvajati tudi na meritnem mestu Iskrba, ki predstavlja meritve ozadja oziroma meritve na neobremenjenem področju. Letni niz meritev bo predstavljen v naslednjem letu, ko bo niz podatkov pokril letno obdobje. Poleg meritev na stalnih meritnih mestih DMKZ so v poročilu prikazani podatki o ravneh benzena iz dveh meritnih mest dopolnilne meritne mreže, Ljubljana Center in Medvode.

V letu 2022 so bile izmerjene povprečne letne ravni benzena na vseh meritnih mestih približno enake in tako kot že vsa leta poprej pod mejno vrednostjo (tabela 12.2). Najvišja letna povprečna vrednost je bila izmerjena na lokaciji Ljubljana Center, in sicer $1,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (z najmanjšo razpoložljivostjo podatkov 80 %) ter na lokaciji Maribor Titova, kjer je bila izmerjena povprečna vrednost prav tako $1,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Iz slike 12.3 je razvidno, da so višje ravni benzena izmerjene v hladnejši polovici leta, kar je posledica večjih izpustov individualnih kurišč zaradi povečane potrebe po ogrevanju, ter slabših vremenskih pogojev za prevetritev ozračja. V letu 2022 so bile najvišje vrednosti izmerjene v mesecu januarju. V poletnem času so bile vrednosti precej nizke na vseh lokacijah, z oktobrom pa so začele ponovno naraščati. Povprečni dnevni hod ravni benzena ni izrazit za meritno mesto Ljubljana Bežigrad, opaziti je mogoče počasen padec vrednosti tekom dneva ter manjši vrh v večernih urah. Na lokaciji Maribor Titova sta opazna manjši dopoldanski in večji večerni vrh. Dnevni hod za obe postaji ni bistveno različen na delovne dni ali med vikendi (slika 12.4).

Tabela 15.1 in slika 12.5 prikazujeta primerjavo ravni benzena po letih. Najvišje vrednosti so izmerjene ne 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. Manjša medletna variabilnost je posledica spremenljivih meteoroloških pogojev in delno tudi vpliva sprejetih ukrepov za zajezeitev širjenja COVID-19 v letu 2020.

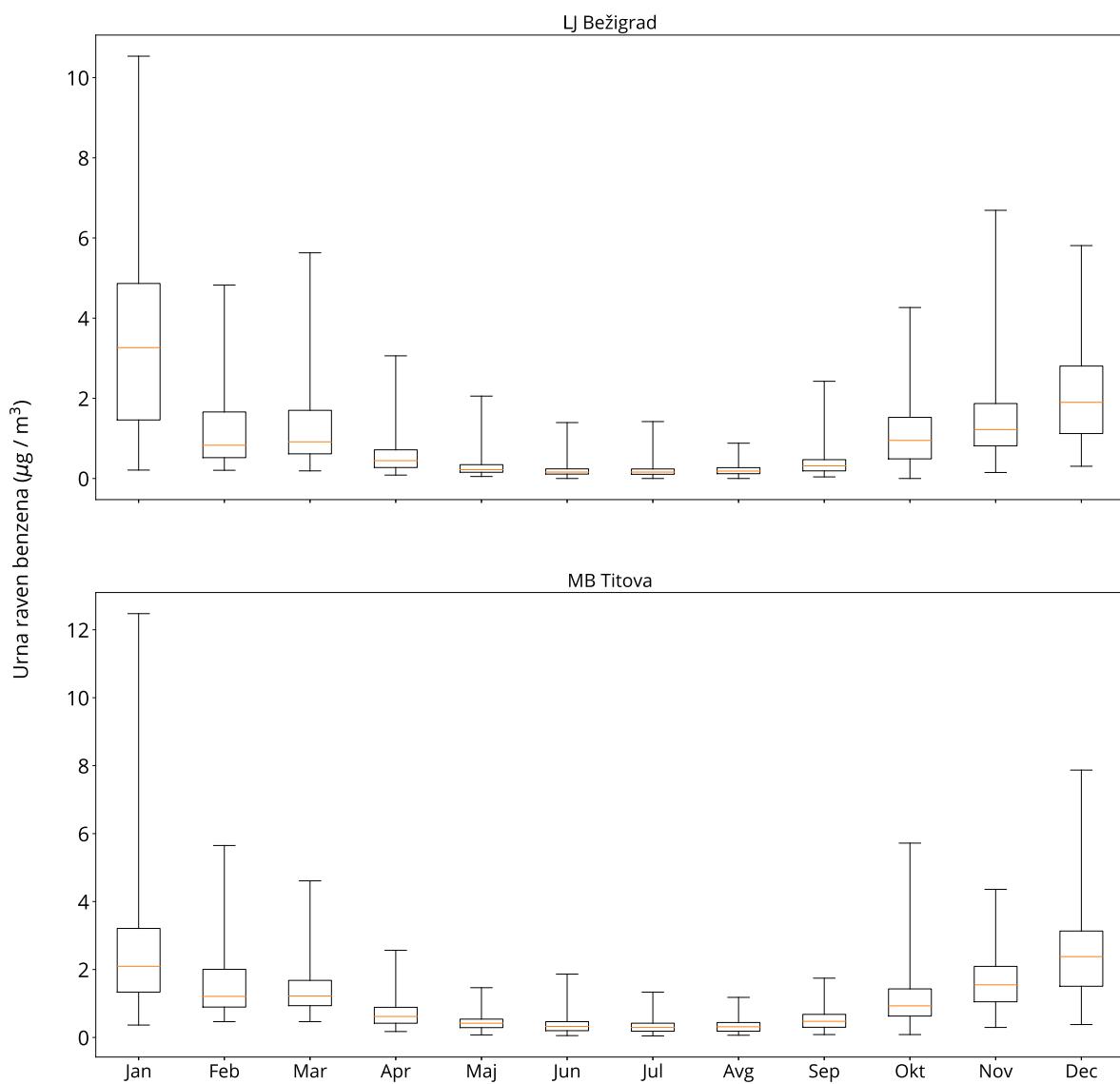
Tabela 12.2: Razpoložljivost urnih podatkov (% pod) in povprečne letne ravni (C_p) benzena v $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

	% pod	C_p
LJ Bežigrad	90	1,0
MB Titova	92	1,1
LJ Center	80	1,1
Medvode	96	0,9

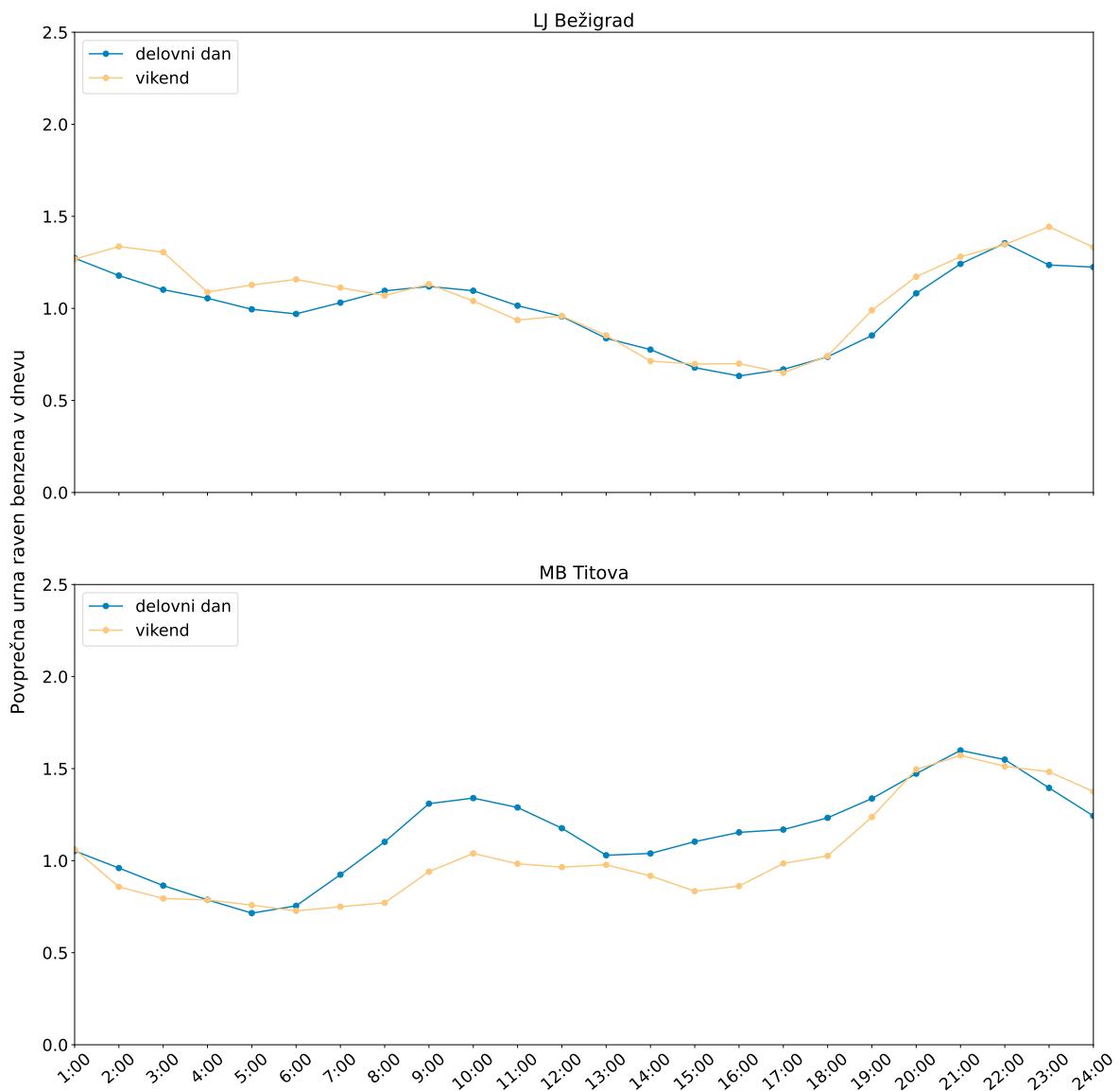
Tabela 12.3: Povprečna letna raven benzena ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) za obdobje 2013 - 2022

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
LJ Bežigrad	1,6	1,0	1,3	1,9	/	1,5	1,1	1,2	1,1	1,0
MB Titova	1,8	1,5	1,6	1,4	0,7	0,7*	1,5	1,1	1,1	1,1
LJ Center	/	/	/	/	3,0	2,4	2,2	1,3	1,8*	1,1
Medvode	/	/	/	/	/	1,4	1,2	1,2	0,9	0,9

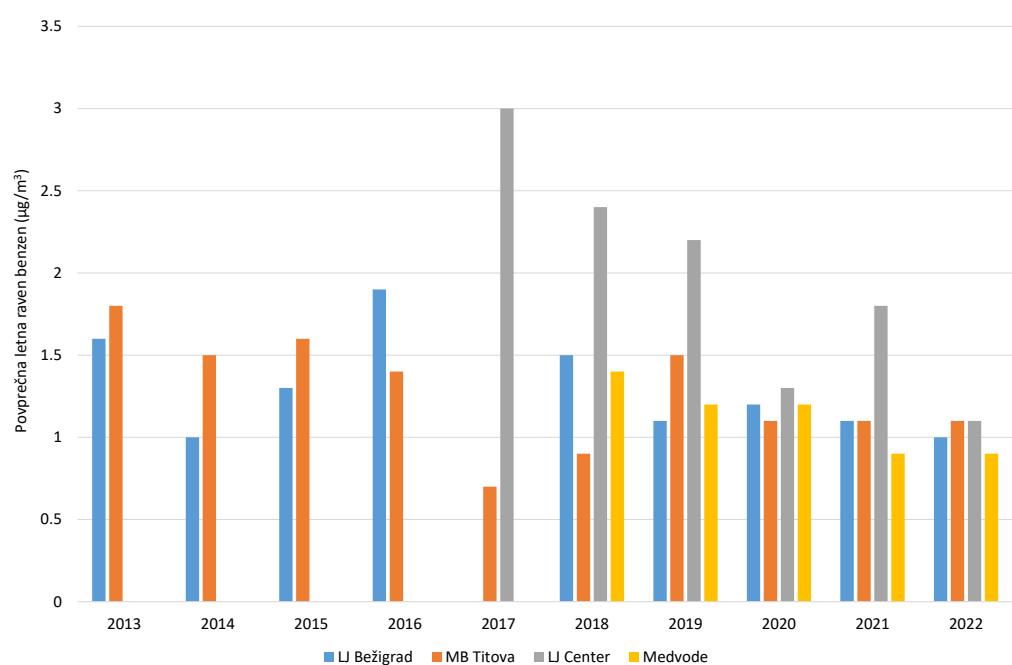
* Podatki so informativnega značaja zaradi prevelikega izpada meritev.



Slika 12.3: Porazdelitev urnih ravni benzena po mesecih v letu 2022. Prikazani so 5. in 95. percentil (spodnja in zgornja vodoravna črtica), oba kvartila (vrh in dno pravokotnika) in mediana (oranžna vodoravna črtica v pravokotniku).



Slika 12.4: Urni potek ravni benzena v letu 2022 na postaji Ljubljana Bežigrad in Maribor Titova.



Slika 12.5: Povprečne letne ravni benzena po letih na postajah LJ Bežigrad, MB Titova, LJ Center in Medvode. Posamezne ravni na merilnih postajah so prikazane z različno obarvanimi stolpcji.

13. Živo srebro v zraku

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

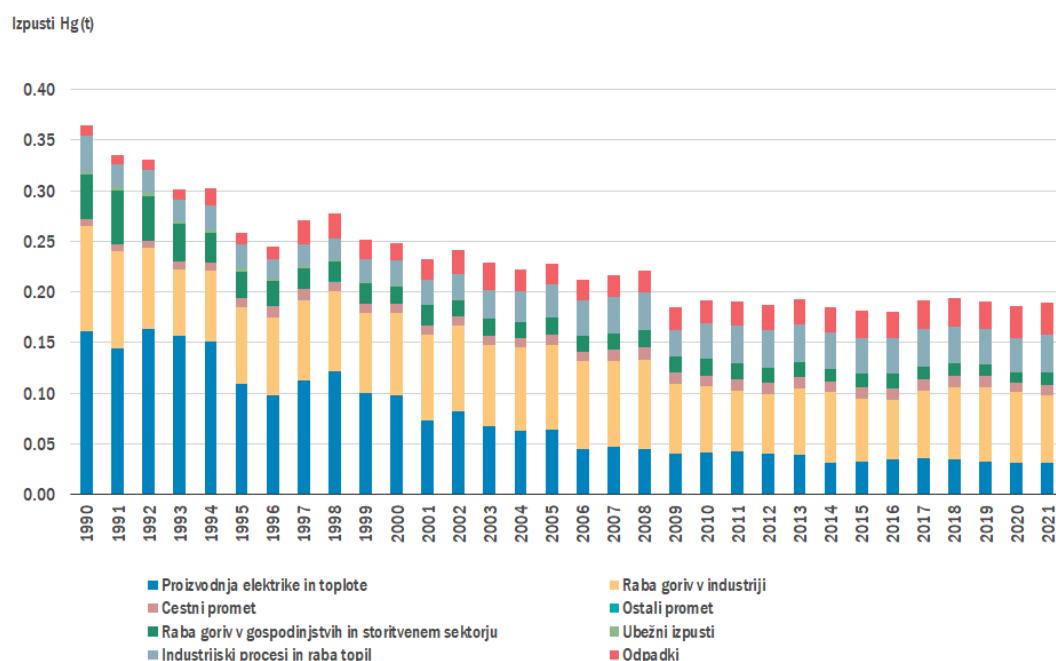
Količina živega srebra, sproščenega v atmosfero, se je povečala s pričetkom industrijske dobe. Največji delež živega srebra v atmosferi predstavljajo pare elementarnega živega srebra. Te v ozračju krožijo do enega leta, zato se lahko na široko razpršijo in od virov emisij prepotujejo na tisoče kilometrov.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

Živo srebro se intenzivno nabira v vodni prehranjevalni verigi. Deponirano živo srebro lahko določeni mikroorganizmi pretvorijo v metilno živo srebro. Le-to je visoko neurotoksična oblika živega srebra, ki se vgradi v tkiva rib, školjk in živali, ki jih ribe jedo. Plenilski organizmi na vrhu prehranjevalne verige na splošno vsebujejo višje koncentracije živega srebra. Skoraj vse živo srebro, ki se nabira v ribjem tkivu, je metilno živo srebro. Anorgansko živo srebro, ki se manj učinkovito absorbira in se lažje izloči iz telesa kot metilno živo srebro, ni podvrženo bioakumulaciji [21].

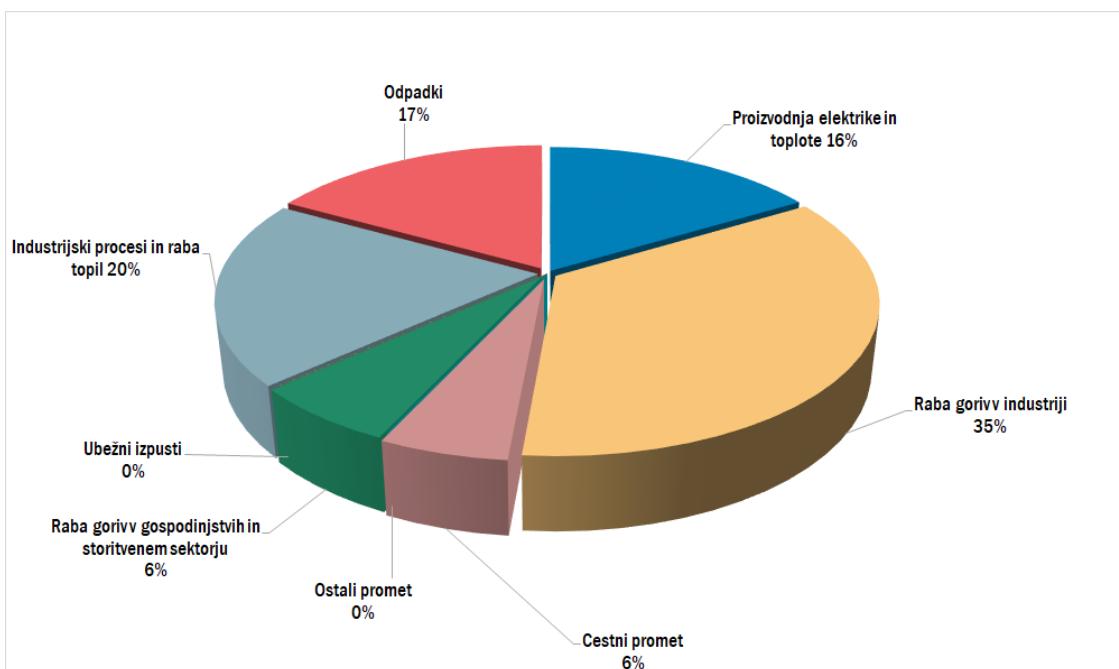
Izpostavljenost živemu srebru ogroža človekovo zdravje s številnimi, pogosto nepopravljivimi strupenimi učinki. Najbolj ogroženi so otroci, ki so lahko izpostavljeni metilnemu živemu srebru že v maternici, če se mati prehranjuje z onesnaženimi ribami in školjkami. Ta izpostavljenost lahko negativno vpliva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

13.1 Izpusti

Letni izpusti živega srebra (Hg) so v Sloveniji leta 2021 podobno kot v preteklih letih znašali manj kot 0,2 tone. V primerjavi z letom 1990 so se zmanjšali za (48 %). Največji delež k skupnim državnim izpustom živega srebra je v letu 2021 prispevala raba goriv v industriji (35 %), sledijo industrijski procesi in raba topil (23 %) 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 13.1 in 13.2.



Slika 13.1: Letni izpusti živega srebra po sektorjih v Sloveniji do leta 2021



Slika 13.2: Izpusti živega srebra po sektorjih v Sloveniji v letu 2021

13.2 Ravni onesnaženosti

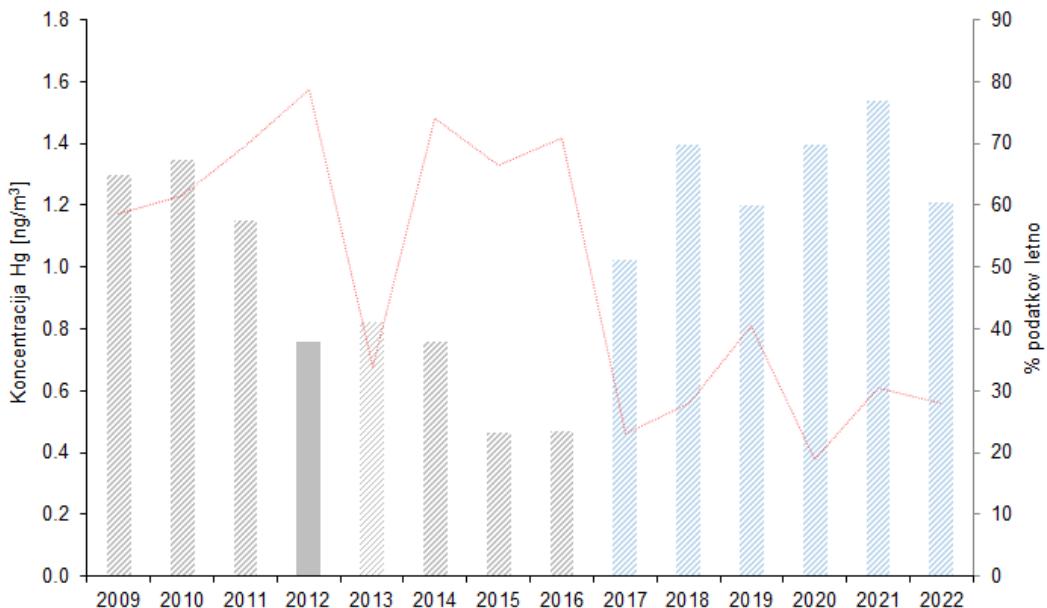
Meritve koncentracij celotnega živega srebra v zraku izvajamo le na merilnem mestu Iskrba. Z meritvami smo skladno z Uredbo o arzenu, kadmiju, živem srebru, niklju in policikličnih aromatskih ogljikovodikih v zunanjem zraku [11] pričeli v letu 2008. Zaradi velikih težav z lastnim merilnikom, od leta 2017 dalje za izvajanje teh meritve 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 2022 je povprečna letna koncentracija Hg v zraku znašala $1,2 \text{ ng/m}^3$. Iz tabele 13.1 in slike 13.3 je razvidno, da je bila povprečna letna koncentracija Hg nekoliko nižja kot v preteklem letu.

Pojasnila v zvezi z diagramom 13.3: 1. Ker so bile vrednosti po letu 2017 izmerjene z drugo merilno tehniko kot predhodne, jih na sliki podajamo v drugačni, modri barvi. 2. Na sekundarni osi in v rdeči barvi podajamo odstotek izplena podatkov v celiem letu. 3. V letu 2020 je potekala prenova merilnega mesta, zato smo meritve koncentracije Hg v zraku lahko izvajali le v prvi polovici leta. 4. Pokritost z veljavnimi meritvami Hg v zraku na letnem nivoju je bila v letih od 2009 do 2021, z izjemo leta 2012, manjša od 75 odstotkov, zato rezultate teh meritov podajamo zgolj kot informativne vrednosti.

Tabela 13.1: 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
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

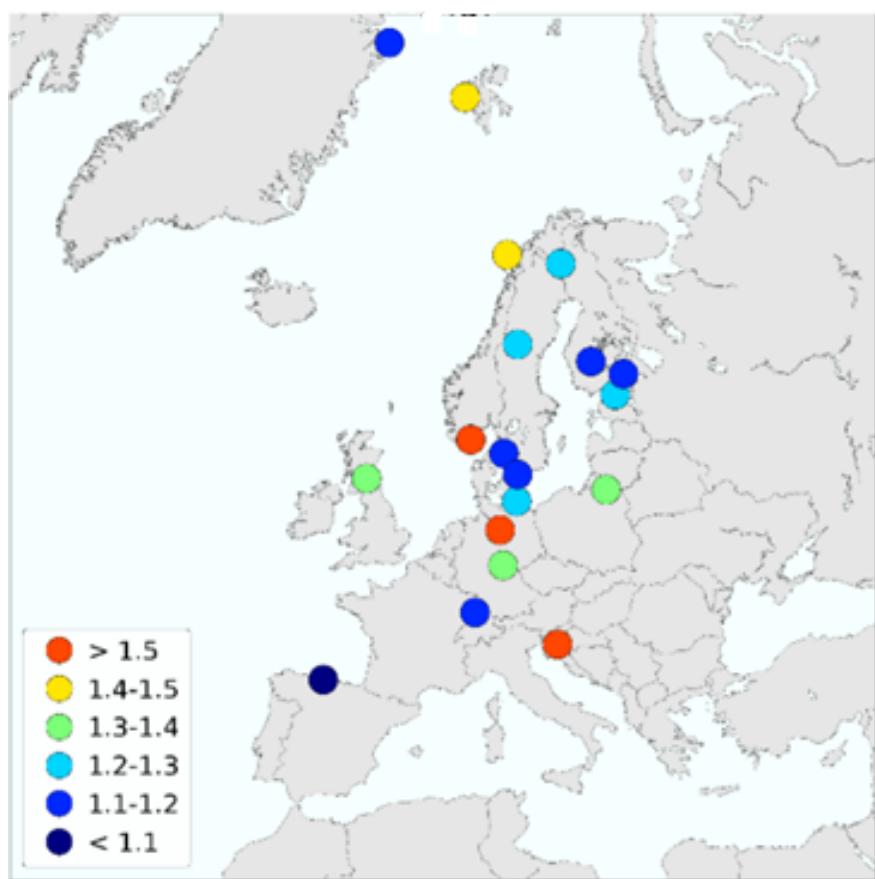


Slika 13.3: Letne ravni živega srebra na Iskrbi od leta 2009 dalje

13.3 Primerjava ravni onesnaženosti v Evropi

Povprečna letna koncentracija Hg v zraku izmerjena v Sloveniji v letu 2022 je znašala $1,2 \text{ ng}/\text{m}^3$ kar je za $0,3 \text{ ng}/\text{m}^3$ manj kot v letu 2021. To nas je glede na lestvico EMEP uvršča med s Hg v zraku manj onesnažena področja v Evropi [22].

Pojasnilo v zvezi z diagramom 13.3: Ker do trenutka izdaje našega poročila še nismo prejeli letnefe poročila EMEP za leto 2022, v našem poročilu lahko prikažemo le geografsko porazdelitev živega srebra za leto 2021, za oceno stanja v primerjavi z ostalo Evropo pa uporabimo sklao na pripadajočem diagramu.



Slika 13.4: Geografska porazdelitev živega srebra v zraku v Evropi v letu 2021 na neobremenjenih merilnih mestih [22]

14. Kakovost padavin

Na kemijsko sestavo padavin vplivajo ravni onesnačenosti zraka s posameznimi onesnaževali, zato je kemijska sestava padavin eno izmed meril onesnaženosti zraka. Padavine sperejo onesnaževala iz ozračja in povzročijo usedanje le-teh na površino zemlje. Raven usedanja posameznega onesnaževala je odvisna tako od njegove koncentracije v zraku kot tudi od količine padavin, ki onesnaževalo spere iz ozračja. Velik vpliv na ravni onesnaževal v zraku in posledično v padavinah ima gibanje zračnih mas, pri čemer prihaja do razporejanja in prenosa le-teh na velike razdalje. V mirnem ozračju pa na koncentracije onesnaževal, bolj vplivajo lokalne razmere. Koncentracije natrijevih in kloridnih, pa tudi kalcijevih in sulfatnih ionov so v neposredni povezavi z gibanjem zračnih mas in oddaljenostjo od morja (slika 14.8).

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

Na kislost padavin odločilno vplivajo predvsem produkti oksidacije najpogostejših onesnaževal v zraku (SO_2 , NO_x , CO, ogljikovodiki). Ti v obliki disociiranih kislin (CO_3^{2-} , Cl^-) povzročajo kislost padavin. H kislosti padavin lahko v manjši meri prispevajo tudi specifična onesnaževala kot so fluoridi (F^-), fosfati (PO_4^{3-}) in organske kisline. Te spojine se pojavljajo v nižjih koncentracijah kot žveplove in dušikove spojine. Kislost padavin je odvisna tudi od razmerja anionov disociiranih kislin in kationov, ki izvirajo iz topnih soli. Anioni kislin povečujejo kislost padavin, medtem ko kationi (Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , NH_4^+) padavine nevtralizirajo ali naredijo celo alkalne. V skladu z mednarodnim dogovorom so kisle padavine tiste, katerih pH vrednost je manjša od 5,6 [23].

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 višanjem temperature tal predvsem v poletnem času in posledično z z večjo mikrobiološko aktivnostjo v njih, kot tudi s povečanimi kmetijskimi aktivnostmi, torej je njihova koncentracija pogojena predvsem z lokalnim vplivom. Povečane kmetijske aktivnosti na lokalnem nivoju vplivajo tudi na ravni dušika nitratnega izvora.

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

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

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

Meritve kakovosti padavin v okviru DMKP izvajamo v skladu s poslovnikom programa EMEP [24], 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 [25] (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 arzenu, kadmiju, živem srebru, niklju in policikličnih aromatskih ogljikovodikih v zunanjem zraku [11]. Za meritve parametrov v padavinah mejne in ciljne vrednosti niso določene. Meritve z merilnega mesta Iskrba posredujemo v izmenjavo na EEA in EMEP [25], ostalih meritov v okviru DMKP pa ne pošiljamo.

14.1 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 [26] ter v skladu Priročnikom EMEP [24]. 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.

14.1.1 Podajanje rezultatov meritov

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.

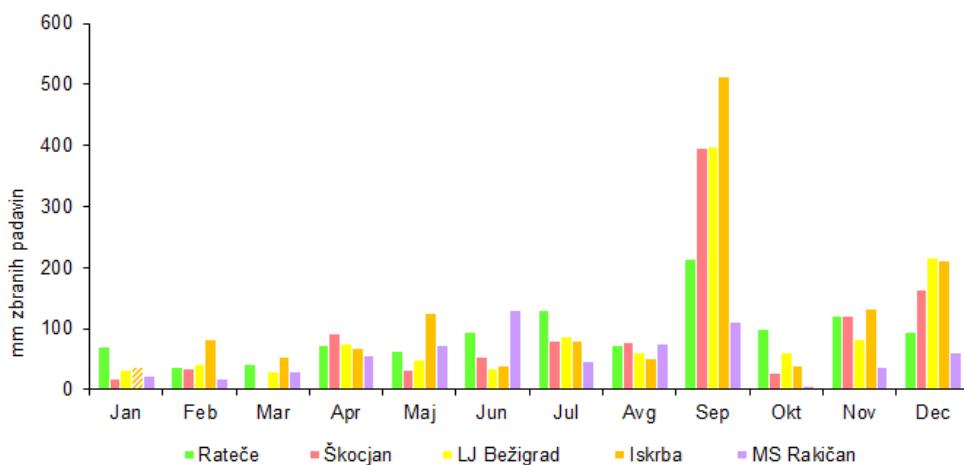
Najpogostejši razlog za izpad >10 % padavin pri vzorčenju dnevnih padavin za določitve pH, električne prevodnosti in nekaterih ionov je dejstvo, da so avtomatski vzorčevalniki padavin dimenzionirani za zajem največ 44 mm padavin, med tem ko vse pogosteje prihaja do hudih nalivov, ko v 24 urah pade tudi več kot 120 mm padavin.

Tabela 14.1: Razlogi za izpad meritev oziroma za podajanje zgolj informativnih vrednosti do leta 2022

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

14.1.2 Količina padavin, zbranih z ekološkimi vzorčevalniki

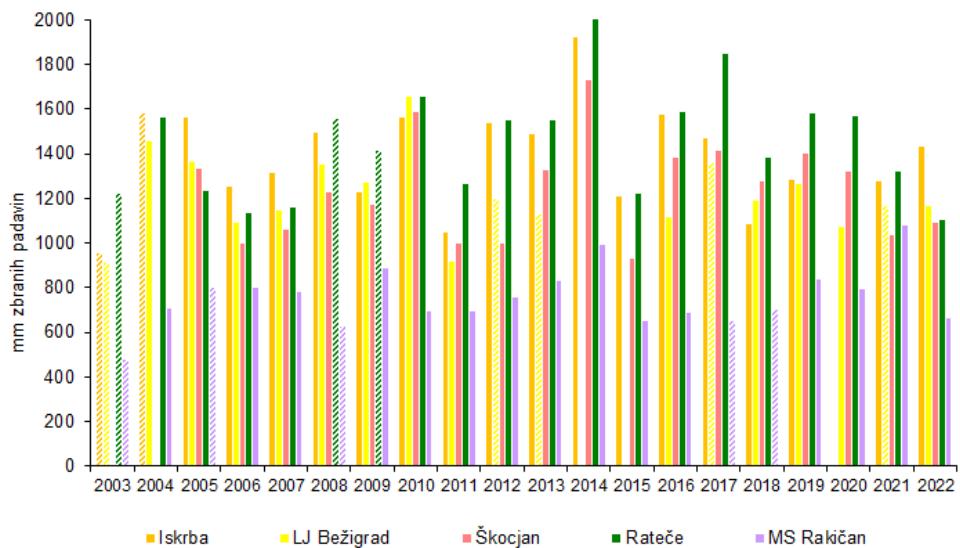
Količino padavin za določitve pH, el. prevodnosti in nekaterih ionov zbranih s pomočjo ekoloških vzorčevalnikov primerjamo s podatki meteoroloških meritev padavin. V kolikor se količina padavin zbranih za posamezno postaja razlikuje več kot 10 odstotkov skladno s Priročnikom EMEP [24] podatki za to postajo niso veljavni in jih zato podajamo kot informativne vrednosti.



Slika 14.1: Mesečna količina padavin zbranih za določitve pH, el. prevodnosti in nekaterih ionov z ekološkimi vzorčevalniki v letu 2022

Iz slike (slika 14.1) je razvidno, da je bila podobno kot v preteklem, tudi v letu 2022 druga polovica leta bolj bogata s padavinami kot prva. Na vseh postajah z izjemo Rakičana smo zabeležili največjo mesečno količino padavin v mesecu septembru. Količina padavin je močno presegala doslej izmerjene mesečne vrednosti. Največ padavin smo v septembru 2022 izmerili na merilnem mestu Iskrba (513 mm), manj v Ljubljani in Škocjanu (390 mm), še manj v Ratečah (215 mm) in najmanj na merilnem mestu Rakičan (112 mm). S padavinami bolj bogata pa sta bila poleg

septembra tudi meseca december in november 2022.



Slika 14.2: Letne količine padavin, zbranih za analizo od leta 2003 dalje.

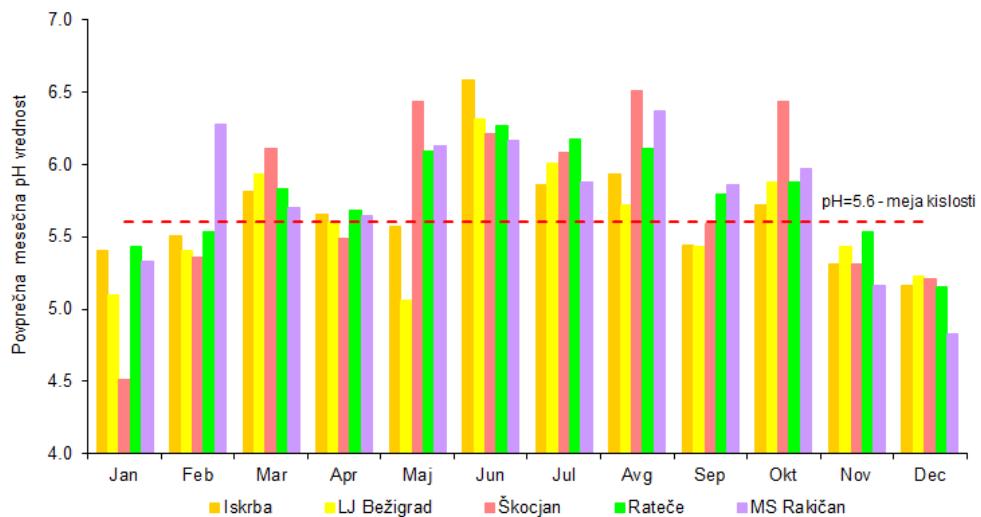
Za razliko od preteklih let, ko smo skoraj brez izjeme vedno zbrali največ padavin na merilnem mestu Rateče, smo v letu 2022 zabležili največjo letno količino padavin na merilnem mestu Iskrba (slika 14.2), kjer smo v celiem letu zbrali kar 1435 mm padavin. Nekoliko manj, 1168 mm padavin smo zbrali na merilnem mestu LJ - Bežigrad, še manj (1095 mm) na merilnem mestu Škocjan, še manj, 1109 mm na merilnem mestu Rateče in kot ponavadi daleč najmanj (669 mm) na merilnem mestu Rakičan.

V letu 2022 smo glede na meteorološko izmerjene letne količine padavin zbrali med 3,4 in 6,2 odstotka manj padavin, kar pomeni, da so rezultati preiskav padavin z vseh merilnih mest veljavni.

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

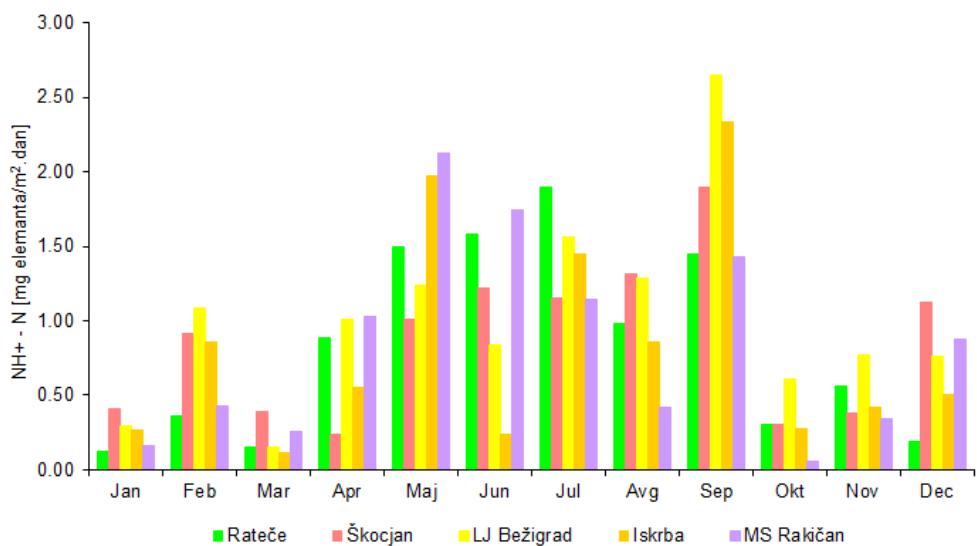
Padavine so bile v letu 2022 po vsej državi pretežni del leta, z izjemo septembra na večini merilnih mest manj kisle med marcem in septembrom. Praviloma so bile padavine v tem času najmanj kisle na merilnih mestih Rateče in MS Rakičan, saj je bila njihova pH vrednost ves ta čas nad mejo kislosti (vrednost 5,6) (Slika 14.3). Nekoliko bolj kisle so bile padavine na merilnem mestu Škocjan, kjer so bile pH vrednosti padavin nad mejo kislosti v mesecih januar, februar, april ter v novembру in decembru. Še bolj kisle so bile merilnih mestih Iskrba in LJ Bežigrad, kjer so bile vrednosti pH pod mejo kislosti v januarju, februarju, maju, septembru, novembru in decembru. Višje pH vrednosti med marcem do oktobrom povezujemo predvsem s koncentracijami amonijevih ionov, ki so posledica kmetijskih aktivnosti in izparevanja iz tal zaradi višjih temperatur (slika 14.4). 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 poglavito vplivajo na zakisljevanje in evtrofikacijo, po posameznih mesecih je prikazana na slikah 14.4 do 14.6. Mokre usedline



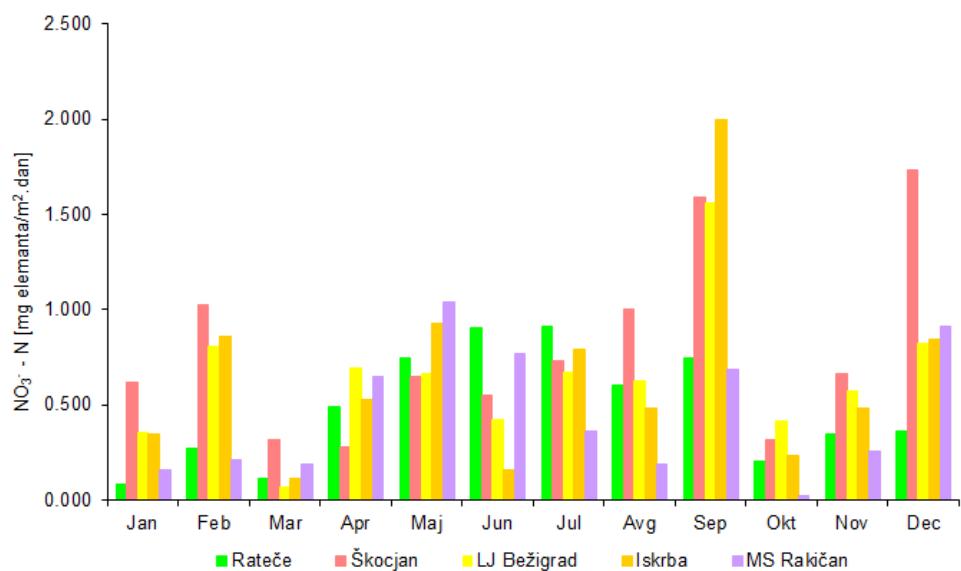
Slika 14.3: Povprečne mesečne pH vrednosti padavin v letu 2022

amonijevih ionov so bile po pričakovanjih tudi v letu 2022 na večini meritnih mest višje v toplejšem delu leta, ko je v zraku več amoniaka, le ta pa se s padavinami spere na tla.

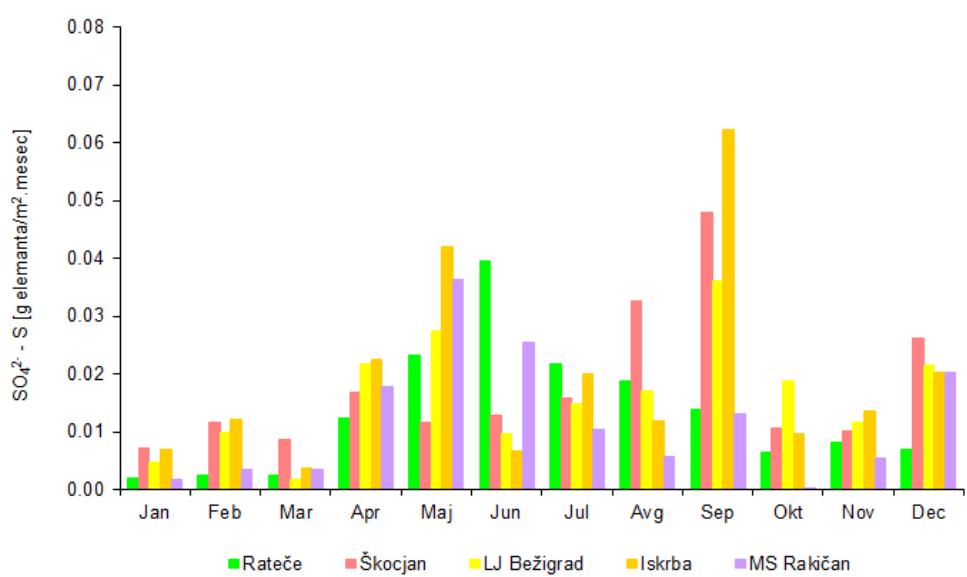


Slika 14.4: Mesečna mokra usedlina dušika amoniakalnega izvora v padavinah v letu 2022

Mesečne mokre usedline nitratnih in sulfatnih ionov so bile tudi v letu 2022 povezane predvsem z mesečno količino padavin, saj se z večjo količino padavin iz zraka praviloma spere tudi več teh onesnaževal. Tako smo največje depozicije nitratnih in sulfatnih ionov tudi v letu 2022 zabeležili v mesecih z večjo količino padavin.



Slika 14.5: Mesečna mokra usedlina dušika nitratnega izvora v padavinah v letu 2022



Slika 14.6: Mesečna mokra usedlina žvepla sulfatnega izvora v padavinah v letu 2022

14.1.4 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 2022 so podane v tabeli 14.2. Grafično so povprečne letne koncentracije posameznih ionov prikazane na sliki 14.8, kjer so podane tudi letne količine padavin, zbrane s pomočjo ekoloških vzorčevalnikov.

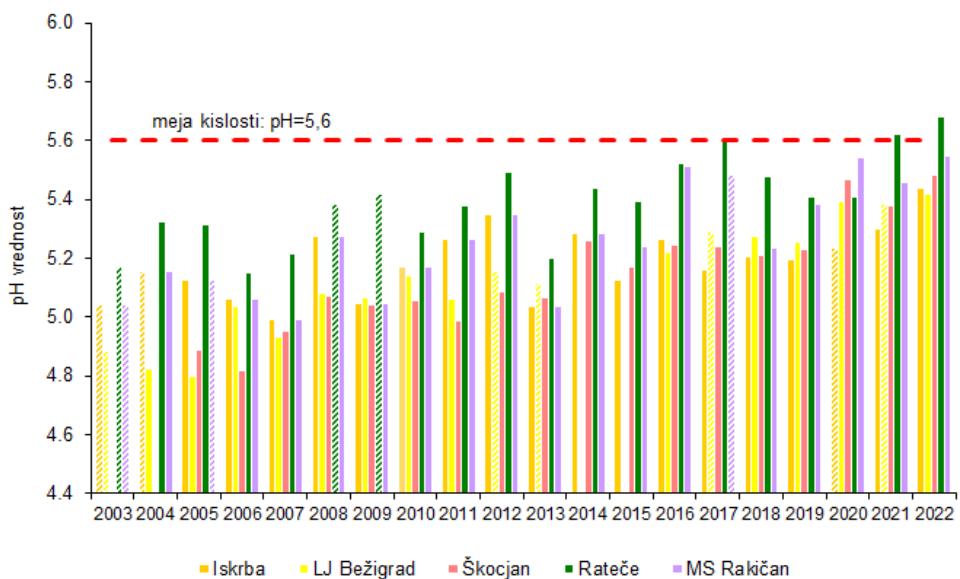
Tabela 14.2: Srednja vrednost (C_p), minimum (C_{min}) in maksimum (C_{max}) pH, električna prevodnost pri 25 °C (el. prev.) ($\mu\text{S}/\text{cm}$) in koncentracije ionov v padavinah (mg ion/L) na vzorčevalnih mestih DMKP v letu 2022

		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	5,44	7	0,219	0,173	0,170	0,351	0,227	0,046	0,215	0,036
	C_{min}	4,17	2	0,025	0,105	0,042	0,021	0,024	0,020	0,020	0,020
	C_{max}	6,90	41	3,38	8,40	6,08	6,04	3,67	0,465	3,95	4,16
LJ Bežigrad	C_p	5,42	7	0,318	0,199	0,168	0,245	0,254	0,040	0,148	0,032
	C_{min}	4,51	2	0,010	0,105	0,042	0,027	0,024	0,023	0,010	0,020
	C_{max}	6,92	49	3,82	11,5	7,05	3,29	8,23	0,403	2,60	0,956
Škocjan	C_p	5,48	9	0,293	0,270	0,194	0,435	0,407	0,061	0,284	0,064
	C_{min}	4,10	4	0,063	0,328	0,126	0,066	0,045	0,027	0,036	0,023
	C_{max}	7,12	79	4,26	19,5	4,01	5,08	3,24	0,516	4,92	0,945
Rateče	C_p	5,68	6	0,273	0,160	0,143	0,119	0,284	0,0740	0,072	0,046
	C_{min}	4,85	2	0,046	0,108	0,056	0,010	0,024	0,010	0,010	0,010
	C_{max}	6,61	17	1,36	2,61	1,81	0,385	1,61	0,159	0,255	0,435
MS Rakičan	C_p	5,55	9	0,455	0,248	0,212	0,136	0,275	0,039	0,081	0,094
	C_{min}	4,10	3	0,111	0,223	0,081	0,035	0,032	0,010	0,025	0,023
	C_{max}	6,71	79	3,88	18,6	3,46	5,15	3,06	0,190	3,00	0,794

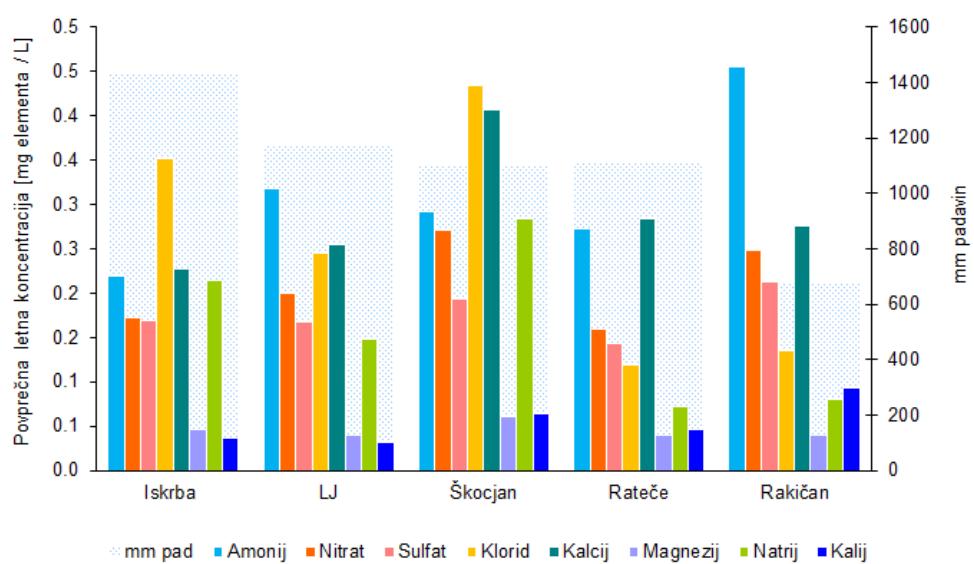
Na sliki 14.7 so prikazane povprečne letne pH vrednosti padavin od leta 2003 dalje. Podobno kot v preteklih letih so bile tudi v letu 2022 nekoliko bolj kisle padavine z meritnih mest Iskrba, LJ Bežigrad in Škocjan. Manj kisle so bile padavine z meritnega mesta MS Rakičan. To povezujemo s kmetijskimi aktivnostmi, ki potekajo v neposredni bližini tega meritnega mesta in vplivajo na višje koncentracije amonijevih ionov, te pa nevtralizirajo kisle komponente. Manjšo kislost padavin iz MS Rakičan povezujemo tudi z nizkimi vrednostmi kislih kloridnih ionov. Daleč najmanj kisle so bile padavine z meritnega mesta Rateče, pri katerih je povprečna letna vrednost pH že drugič v zgodovini izvajanja meritev presegla mejo kislosti. Nizko pH vrednost v Ratečah povezujemo s pojavom abrazije okoliških kamnin pretežno apnenčastega izvora, ki so vir kalcijevih ionov, ti pa nevtralizirajo kisle komponente v padavinah.

Na sliki 14.8 so prikazane povprečne letne koncentracije posameznih ionov v padavinah, izraženo na element. Tudi v letu 2022 je bila povprečna letna koncentracija dušika amoniakalnega izvora v mg $\text{NH}_4^+ \text{-N}/\text{L}$ zaradi intenzivnega kmetijstva v neposredni bližini meritnega mesta, najvišja na MS Rakičan (0,455 mg/L), nižja je bila na meritnem mestu LJ Bežigrad (0,318 mg/L), še nižja na meritnih mestih Škocjan (0,293 mg/L) in Rateče (0,273 mg/L) ter najnižja na meritnem mestu Iskrba (0,219 mg/L).

Povprečne letne koncentracije dušika nitratnega izvora $\text{NO}_3^- \text{-N}$ so se gibale med 0,160 mg/L kolikor smo izmerili v padavinah iz Rateč, 0,173 mg/L v padavinah z Iskrbe, 0,199 mg/L v padavinah iz LJ-Bežigrad, 0,248 mg/L v padavinah z MS Rakičana in 0,270 mg/L, kolikor smo izmerili v padavinah v padavinah z meritnega mesta Škocjan.



Slika 14.7: Povprečne letne pH vrednosti padavin od leta 2003 dalje.



Slika 14.8: Povprečna letna koncentracija posameznih ionov, izraženih kot element, v padavinah v letu 2022

Koncentracija žvepla sulfatnega izvora na vseh merilnih mestih, razen Rateč, kjer je znašala 0,039 mg SO₄²⁻-S/L, gibala med 0,184 in 0,234 mg SO₄²⁻-S/L.

Koncentracije natrijevih (Na⁺), kloridnih (Cl⁻) in magnezijevih ionov (Mg²⁺) so bile podobno kot v preteklih letih odvisne od oddaljenosti posameznega merilnega mesta od morja in so bile zato najvišje na merilnem mestu Škocjan, najnižje pa na merilnem mestu MS Rakičan. Ravni ostalih ionov, ki so predvsem naravnega izvora, ostajajo na približno enakem nivoju kot v preteklih letih.

Celotna količina padavin, zbranih z ekološkimi vzorčevalniki in letnih vrednosti mokrih usedlin posameznih ionov, preračunano v mg elementa na m² na dan, so podane v tabeli 14.3, grafično pa so prikazane na sliki 14.9.

Tabela 14.3: Letna količina zbranih padavin (mm) in letne mokre usedline ionov v mg/m².dan v letu 2022

	Količina padavin	H ⁺ *	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	SO ₄ ²⁻ -S	Cl ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺
Iskrba	1435	5,07	0,817	0,644	0,634	1,31	0,849	0,172	0,803	0,136
LJ Bežigrad	1168	4,32	1,02	0,636	0,535	0,782	0,812	0,128	0,472	0,102
Škocjan	1102	3,61	0,881	0,813	0,583	1,31	1,22	0,184	0,856	0,192
Rateče	1109	2,32	0,831	0,486	0,435	0,362	0,864	0,122	0,219	0,140
MS Rakičan	682	1,93	0,853	0,467	0,396	0,255	0,513	0,073	0,152	0,175

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

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

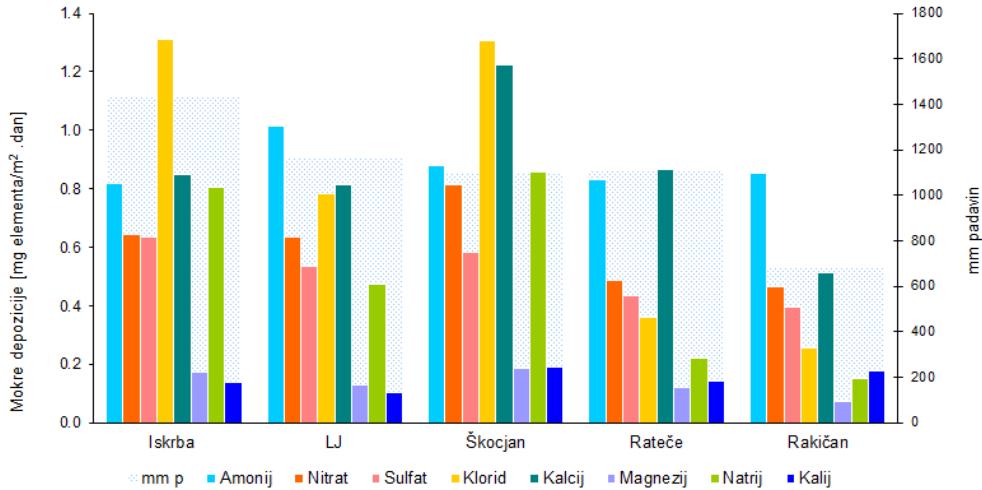
Mokro usedanje dušika amoniakalnega izvora je bilo podobno kot v preteklih letih tudi v letu 2022 kot posledica človekove aktivnosti najvišje na merilnem mestu LJ-Bežigrad (1,02 mgN/m².dan). Nekoliko nižje je bilo na merilnem mestu Škocjan (0,881 mgN/m².dan) še nižje na merilnih mestih Rakičan (0,853 mgN/m².dan) in Rateče (0,831 mgN/m².dan) najnižje pa na merilnem mestu Iskrba (0,817 mgN/m².dan).

Mokro usedanje dušika nitratnega izvora je bilo v letu 2022 daleč najvišje na merilnem mestu Škocjan (0,831 mgN/m².dan). Nekoliko nižje je bilo na urbanem merilnem mestu Iskrba (0,644 mgN/m².dan), še nižje na merilnem mestu LJ Bežigrad (0,64 mgN/m².dan) najnižje pa na merilnih mestih Rateče (0,486 mgN/m².dan) in Rakičan (0,467 mgN/m².dan). Iz slike 14.11 je razvidno, da so njihove vrednosti na približno enakem nivoju kot v preteklem letu.

Podobno kot v preteklem letu smo najvišje mokro usedanje žvepla sulfatnega izvora zabeležili na merilnem mestu Iskrba (0,644 mgS/m².dan), nekoliko nižje na merilnih mestih Škocjan (0,583 mgS/m².dan) in LJ Bežigrad (0,585 mgS/m².dan), najnižje pa na merilnih mestih Rateče (0,424 mgS/m².dan) in MS Rakičan (0,488 mgS/m².dan). Tudi vrednosti mokrih depozicij žvepla sulfatnega izvora ostajajo na enakem nivoju kot v preteklem letu.

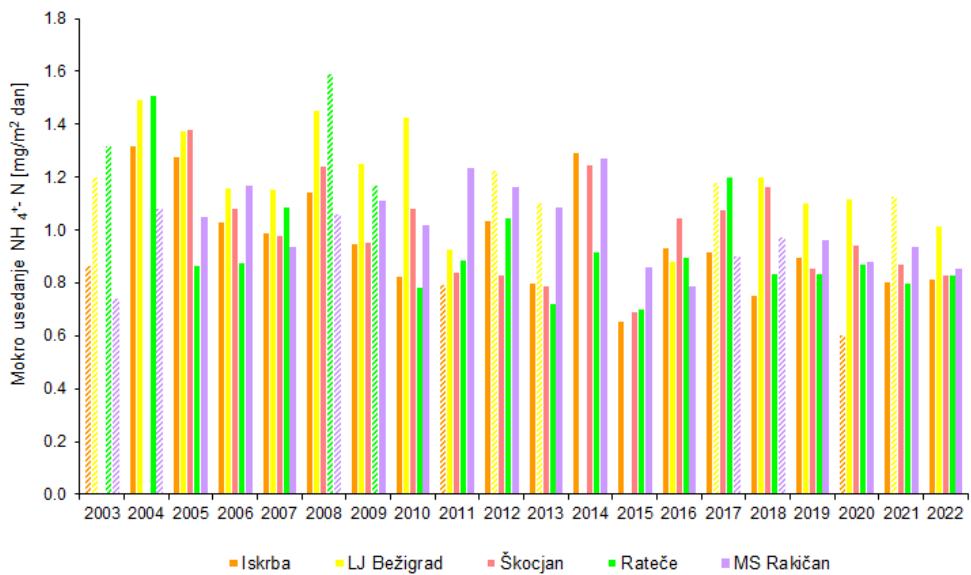
Predvidevamo, da so višje koncentracije dušika nitratnega izvora in žvepla sulfatnega izvora v padavinah in posledično njihovo mokro usedanje višje na merilnih mestih Škocjan, LJ Bežigrad in Iskrba zaradi večje podvrženosti vplivom prenosa onesnaževal na velike razdalje preko meja.

Mokre usedline klorida in natrija so tako kot že vsa leta direktno povezane z oddaljenostjo posameznega merilnega mesta od morja in so bile tudi v letu 2022 skladno s pričakovanim najvišje na merilnem mestu Škocjan, najnižje pa na merilnem mestu MS Rakičan.

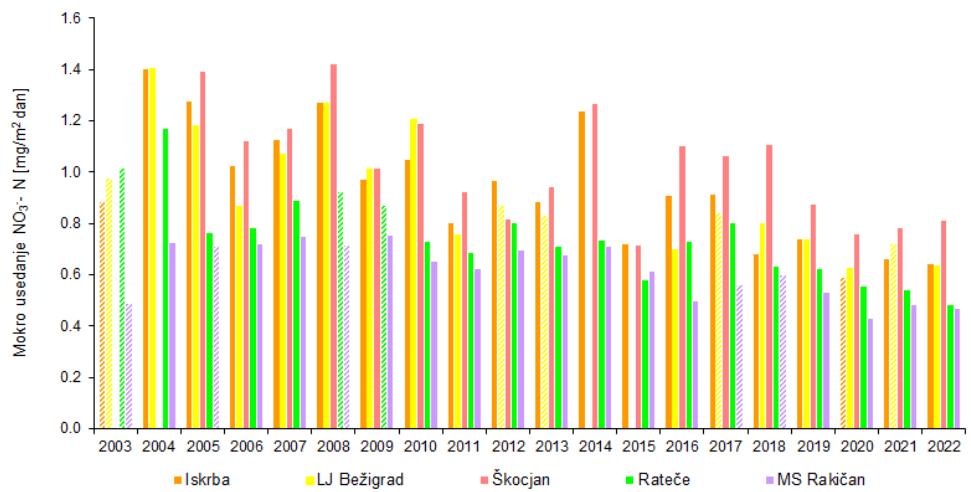


Slika 14.9: Mokra usedlina nekaterih ionov po merilnih mestih v letu 2022

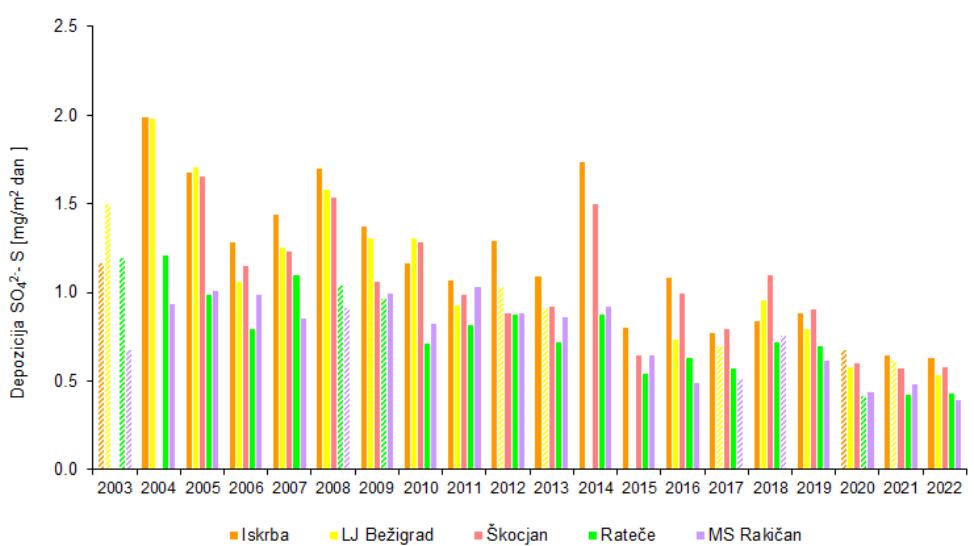
Podobno kot v preteklem letu smo tudi v letu 2021 najvišje mokre usedline kalcijevih ionov določili na merilnem mestu Škocjan, nekoliko nižje so bile na merilnih mestih Iskrba, LJ Bežigrad in Rateče, daleč najnižje pa na merilnem mestu MS Rakičan.



Slika 14.10: Mokra usedlina dušika amoniakalnega izvora po letih. Podatki, ki jih podajamo informativno, so v grafih prikazani z enako barvo vendar šrafirano (obrazložitev se nahaja v podpoglavlju 14.1.1).



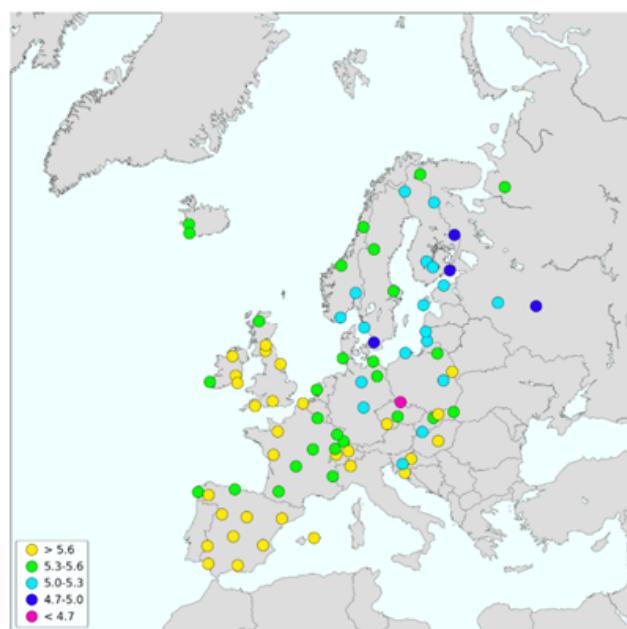
Slika 14.11: Mokra usedlina dušika nitratnega izvora v padavinah po letih. Podatki, ki jih podajamo informativno, so v grafih prikazani z enako barvo vendar šrafirano (obrazložitev se nahaja v podpoglavlju 14.1.1).



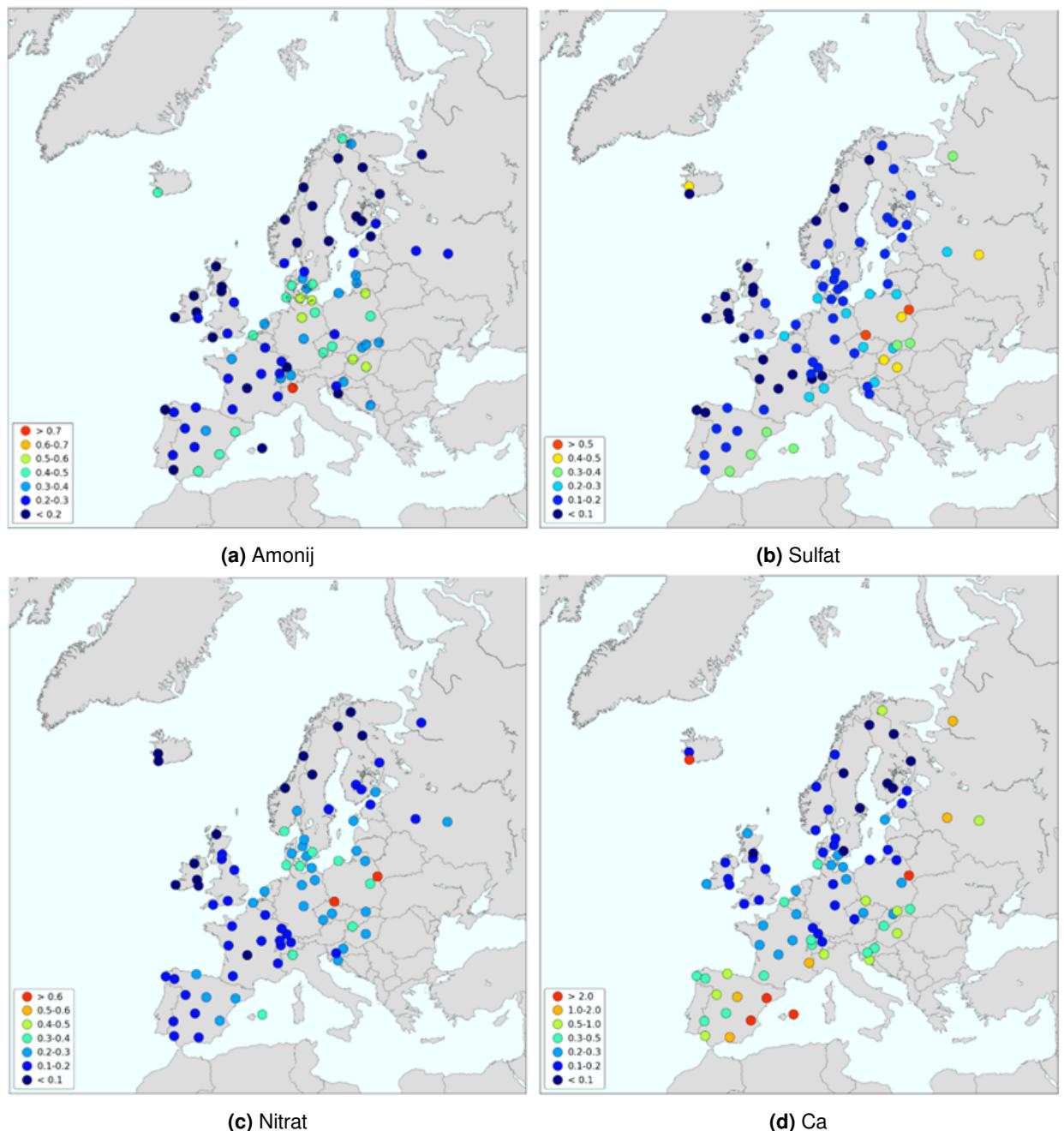
Slika 14.12: Mokra usedlina žvepla sulfatnega izvora po letih. Podatki, ki jih podajamo informativno, so v grafih prikazani z enako barvo vendar šrafirano (obrazložitev se nahaja v podpoglavlju 14.1.1).

14.1.5 Primerjava ravni onesnaženosti v Evropi

Povprečna letna vrednost pH se je na merilnih mestih v letu 2021 gibala med 5,42 in 5,68, kar Slovenijo glede na EMEP lestvico kislosti uvršča med države s srednje kislimi padavinami v Evropi. Povprečne letne koncentracije dušika amoniakalnega izvora so se gibale med 0,214 in 0,455 mgN/L, kar nas na EMEP lestvici uvršča med področja z nižjimi do srednje visokimi koncentracijami. Tudi povprečne letne koncentracije dušika nitratnega izvora (med 0,160 in 0,270 mg N/L) in žvepla sulfatnega izvora (med 0,437 in 0,212 mg S/L) uvrščajo merilno mesto Iskrba med področja z nižjimi do srednje visokimi koncentracijami. Povprečne letne koncentracije kalcija (Ca^{2+}), ki nevtralizirajo kisle komponente padavin, pa so se na naših merilnih mestih gibale med 0,222 in 0,407 mg Ca/L, kar nas podobno kot pri koncentracijah ostalih ionov na EMEP lestvici uvršča med področja z nižje do srednje visokimi koncentracijami tega iona.



Slika 14.13: Geografska porazdelitev vrednosti pH vrednosti padavin po Evropi v letu 2021 [27]



Slika 14.14: Geografska porazdelitev koncentracij amonija, sulfata, nitrata in kalcija (mg/L) v padavinah po Evropi v letu 2021 [27]

14.2 Onesnaženost padavin s težkimi kovinami

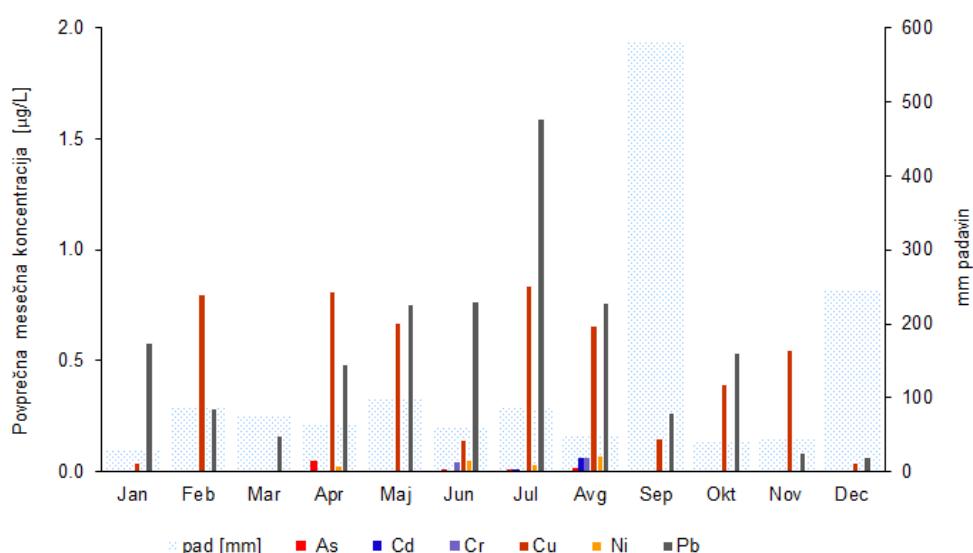
Prisotnost težkih kovin v padavinah je posledica izpiranja prašnih delcev, ki vsebujejo težke kovine, iz ozračja. Vire onesnaženja padavin s težkimi kovinami delimo na naravne in človeške. Naravni viri težkih kovin v zraku in posledično v padavinah so predvsem vulkanskega izvora, človeški viri pa so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

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

14.2.1 Mesečna raven koncentracij in depozicij posameznih težkih kovin

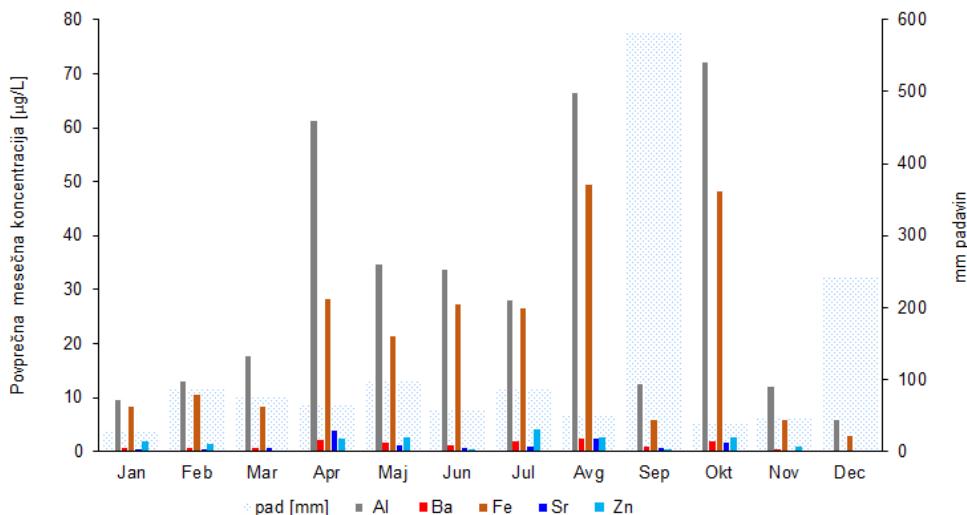
Na slikah 14.15 in 14.16 so prikazane povprečne mesečne koncentracije posameznih težkih kovin v letu 2022 izražene v $\mu\text{g}/\text{L}$. Zaradi velike razlike v nivojih koncentracije posameznih težkih kovin, njihove koncentracije podajamo v dveh različnih diagramih.

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



Slika 14.15: Povprečne mesečne koncentracije arzena, kadmija, kroma, bakra, niklja in svinca v $\mu\text{g}/\text{L}$ v letu 2022

Mesečne vrednosti usedlin nekaterih težkih kovin za merilno mesto Iskrba so podane v tabeli 14.4 ter na slikah 14.17 in 14.18. Podobno kot v preteklem letu, smo tudi v letu 2022 nekoliko višje usedline bakra, svinca, niklja in cinka, ki so glavna sestavina urbanega prahu, zabeležili med aprilom in septembrom. Najvišje depozicije vseh težkih kovin smo zabeležili v mesecu septembru,



Slika 14.16: Povprečne mesečne koncentracije aluminija, barija, železa, stroncija in cinka v $\mu\text{g}/\text{L}$ v letu 2022

ko smo med 05. in 12.09.2022 zaznali dokaj intenzivno epizodo puščavskega peska in hkrati zabeležili tudi izjemno velike količine padavin.

Klub majhni količini padavin v juniju in avgustu, smo zaradi intenzivnih epizod puščavskega prahu med 20. in 27. junijem in med 15. in 22. avgustom 2022 zabeležili dokaj visoke usedline nekaterih težkih kovin. Takrat smo poleg povečane usedline težkih kovin, ki so glavna sestavina urbanega prahu, zabeležili tudi večje usedline aluminija, barija, železa, in stroncija. K temu prispevajo večje količine aluminijevih in železovih oksidov ter drugih snovi, ki se nahajajo v puščavskem prahu.

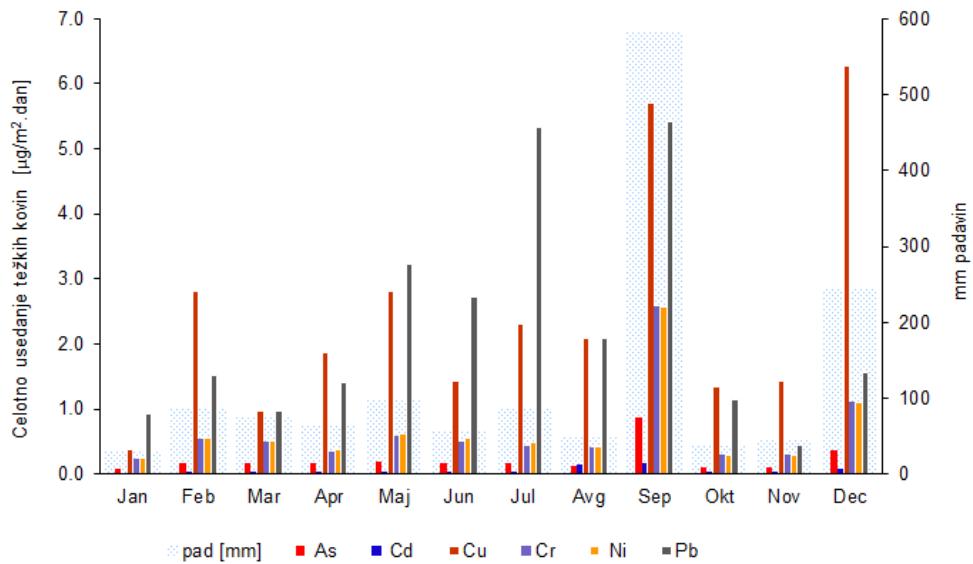
Tabela 14.4: Vrednosti celotnega usedanja posameznih težkih kovin v $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{dan}$ in količina zbranih padavin v mm na merilnem mestu Iskrba v letu 2022

Mesec	Aluminij	Arzen	Barij	Kadmij	Krom	Baker	Železo	Nikelj	Svinec	Stroncij	Cink	mm
Januar	18,4	0,080	1,27	0,017	0,239	0,374	17,1	0,239	0,920	0,877	2,68	29,1
Februar	44,1	0,182	2,62	0,046	0,547	2,82	35,9	0,547	1,51	2,02	6,15	86,4
Marec	72,1	0,176	7,14	0,041	0,503	0,968	44,5	0,503	0,961	3,30	4,20	74,5
April	125	0,167	7,14	0,032	0,347	1,88	59,6	0,389	1,42	7,78	5,57	65,4
Maj	132	0,200	6,23	0,041	0,596	2,81	82,2	0,613	3,24	5,16	10,6	97,5
Junij	130	0,170	5,44	0,034	0,501	1,14	90,5	0,554	2,73	5,37	4,42	58,5
Julij	76,4	0,162	5,45	0,043	0,438	0 2,30	70,4	0,484	5,33	2,50	10,6	86,5
Avgust	128	0,131	5,27	0,139	0,404	2,09	93,3	0,421	2,09	4,69	5,01	48,7
September	255	0,086	17,5	0,175	2,58	5,71	110	2,58	5,43	11,3	15,3	582,4
Oktober	118	0,099	3,80	0,034	0,296	1,35	81,4	0,296	1,15	2,98	6,76	39,6
November	23,2	0,100	1,35	0,034	0,301	1,43	14,5	0,301	0,438	0,781	3,99	44,7
December	35,4	0,371	2,17	0,084	1,11	6,28	23,9	1,11	1,56	1,73	6,92	243,8

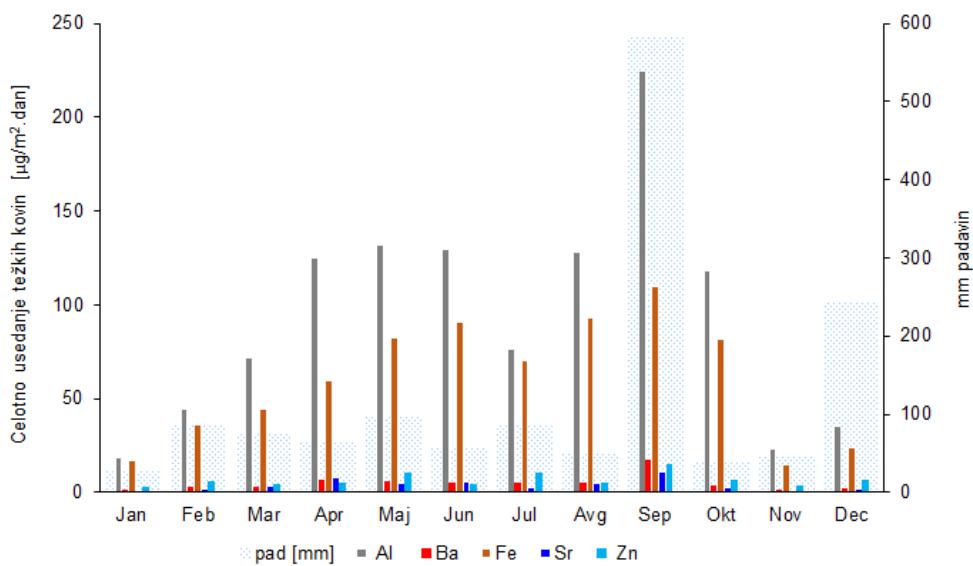
14.2.2 Letna raven koncentracij in depozicij posameznih težkih kovin

Povprečne letne koncentracije nakaterih težkih kovin in zbrana letna količina padavin so podani v tabeli 14.6.

Letne vrednosti celotne usedline nekaterih težkih kovin izražene v $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{dan}$ so prikazane v tabeli 14.5. Ravni celotnih (suhih in mokrih) usedlin so za prikazane težke kovine na približno



Slika 14.17: Celotno usedanje arzena, kadmija, kroma, bakra, niiklja in svinca v $\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{dan}$ po mesecih za leto 2022



Slika 14.18: Celotno usedanje aluminija, barija, železa, stroncija in zinka v $\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{dan}$ po mesecih za leto 2022

enakem nivoju kot v preteklem letu. Iz slike 14.17 in 14.18 je mogoče razbrati, da se raven celotnih usedlin večine kovin od začetka meritev v letu 2008 do leta 2021 bistveno ni spremnjala. Največja nihanja v usedlinah opažamo pri cinku in bakru. Nekoliko manjša so ta nihanja pri usedlinah svinca, še manjša pri usedlinah niklja in kroma ter najmanjša pri usedlinah arzena. Ocenujemo, da so navedena nihanja delno posledica nezaznanih lokalnih vplivov, pretežno pa transporta prašnih delcev na velike razdalje preko meja.

Tabela 14.5: Celotno usedanje nekaterih težkih kovin na Iskrbi v letu 2022 izražena v $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{dan}$

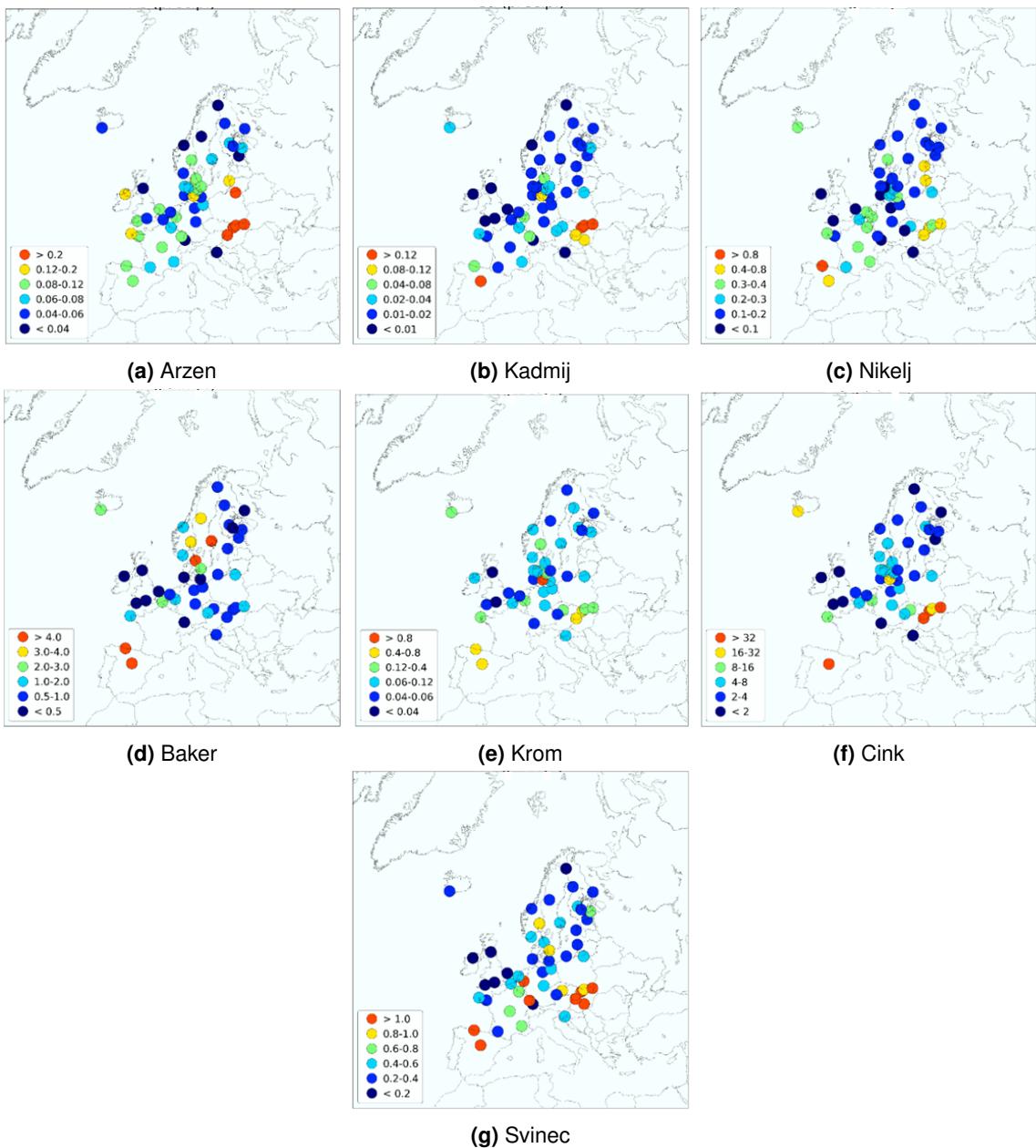
Leto	Aluminij	Arzen	Barij	Kadmij	Krom	Baker	Nikelj	Svinec	Cink	Železo	Stroncij	mm
2022	95,6	0,238	5,35	0,062	0,691	2,58	60,7	0,706	2,32	4,17	7,07	1457

14.2.3 Primerjava ravni onesnaženosti v Evropi

Primerjava ravni onesnaženosti z Evropo je povzeta iz poročila EMEP[22]. Iz tabele 14.6 in pripadajočih slik za posamezno težko kovino. Iz slike 14.19 je razvidno, da so na merilnem mestu Iskrba povprečne letne koncentracije arzena, kroma, niklja, in svinca med srednje visokimi, kadmija, bakra, cinka pa med nižjimi v Evropi. Izmed 9 držav, ki so v letu 2019 poročale koncentracijo aluminija, je bila najvišja povprečna letna koncentracija zabeležena na Islandiji in sicer $144 \mu\text{g}/\text{L}$, med tem ko je bila najnižja povprečna letna koncentracija na Finskem in je znašala $4,4 \mu\text{g}/\text{L}$, kar pomeni, da je povprečna letna koncentracija aluminija zabeležena na Iskrbi med srednjimi v Evropi. Ostalih težkih kovin ni poročala nobena država.

Tabela 14.6: Povprečna letna koncentracija nekaterih težkih kovin na Iskrbi v letu 2022 izražena v $\mu\text{g}/\text{L}$

Leto	Aluminij	Arzen	Barij	Kadmij	Krom	Baker	Nikelj	Svinec	Cink	Železo	Stroncij	mm
2022	20,2	<0,1	1,04	<0,02	<0,3	0,423	<0,3	0,405	1,82	12,6	0,900	1456,9



Slika 14.19: Geografska porazdelitev koncentracij arzena, kadmija, niklaja, bakra, kroma, cinka in svinca ($\mu\text{g}/\text{L}$) v padavinah na merilnih mestih EMEP v letu 2019 [22]

14.3 Raven onesnaženosti padavin z živim srebrom

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

Tako kot meritve težkih kovin in PAH, tudi meritve celotnega živega srebra (anorganske in organske spojine Hg) v padavinah izvajamo le na merilnem mestu Iskrba. Za vzorčenje padavin za 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 ng/m²dan po mesecih za leto 2022 so prikazane v tabeli 14.7. Grafični prikaz mesečnih koncentracij Hg v padavinah je podan na sliki 14.20, usedanje Hg po mesecih pa je podano na sliki 14.21.

Najvišjo koncentracijo Hg v padavinah smo izmerili v mesecu juliju 2022, ko je znašala 8,26 ng/L, najnižjo pa v mesecu novembру, ko je znašala 1,40 ng/L.

Klub najvišji koncentraciji Hg v mesecu juliju, pa je bilo zaradi izjemno velike količine padavin zabeleženo najviše usedlina Hg v mesecu septembru 2022 in je znašalo 37,1 ng/m²dan. Najnižje usedanje smo zabeležili v mesecu juniju, ko je znašalo 3,45 ng/m²dan, in smo hkrati zabeležili tudi eno najnižjih mesečnih količin padavin 21,3 mm.

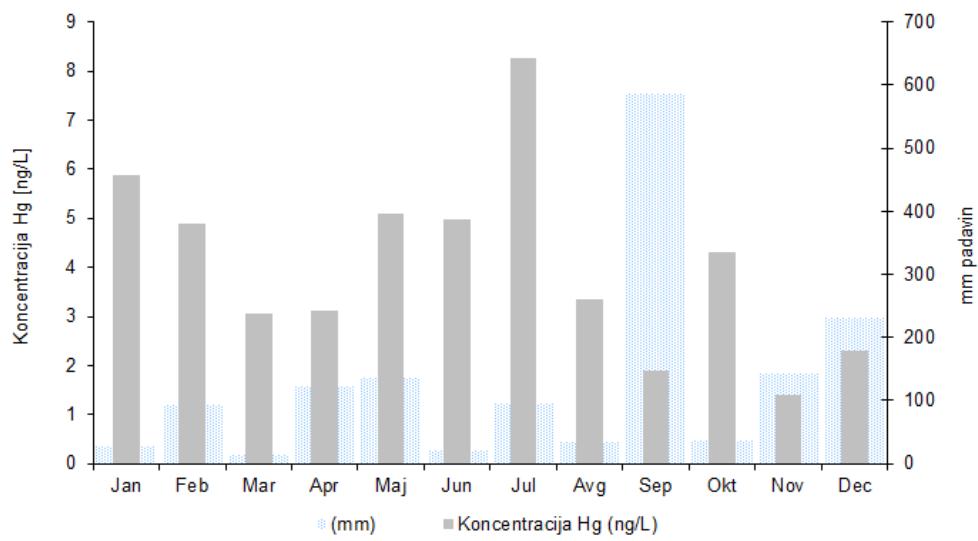
Tabela 14.7: Koncentracije (ng/L) in mokro usedanje Hg (ng/m²dan) ter zbrana količina padavin (mm) za določitve Hg na Iskrbi v letu 2022

Obdobje	Koncentracija	Depozicija Hg ng/m ² dan	mm zbranih padavin
Januar	5,88	5,16	27,2
Februar	4,89	16,2	92,2
Marec	3,05	1,23	13,5
April	3,13	12,9	123,6
Maj	5,11	22,4	136,2
Junij	4,89	3,45	21,3
Julij	8,26	25,6	96,1
Avgust	3,34	3,76	34,9
September	1,89	37,1	587,1
Oktober	4,30	4,93	35,6
November	1,40	6,7	143,1
December	2,31	17,3	231,4
Letna vrednost	3,08	13,0	1542,9

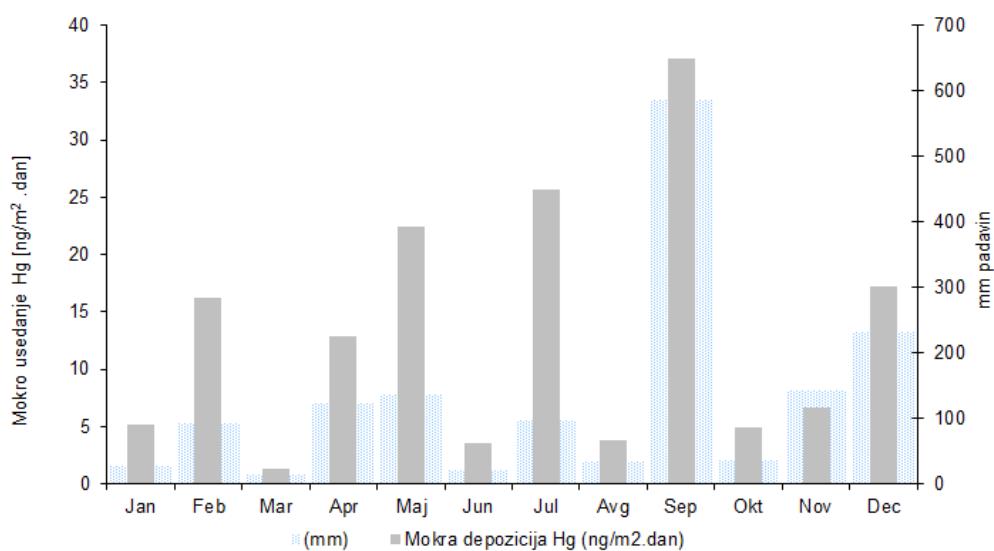
Povprečno letno usedanje živega srebra na merilnem mestu Iskrba je v letu 2022 znašalo 13,0 ng/m²dan. Bilo je nekoliko nižje kot v preteklem letu (slika 14.22).

14.3.1 Primerjava ravni onesnaženosti v Evropi

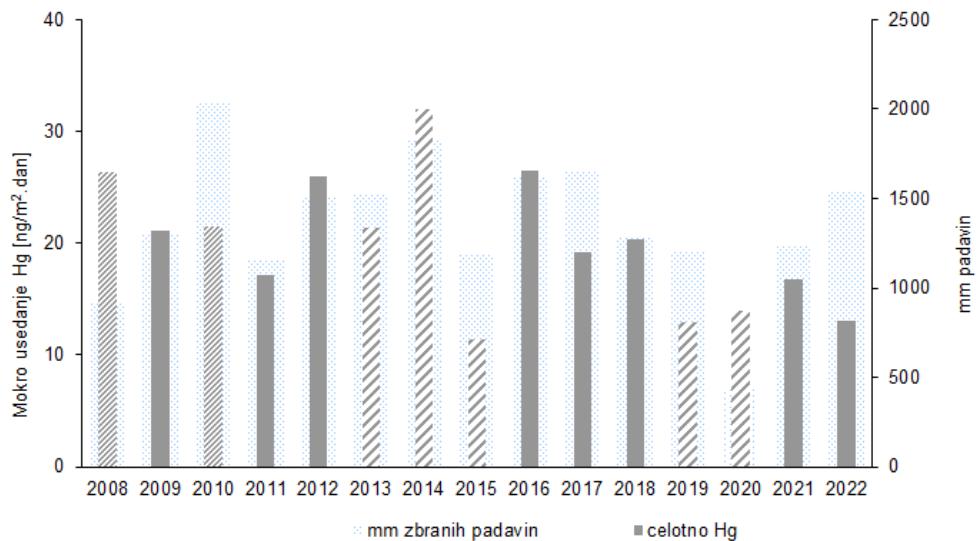
Slika 14.23 prikazuje geografsko porazdelitev ravni koncentracij živega srebra v padavinah po Evropi. Koncentracije celotnega živega srebra v padavinah v Sloveniji so se v letu 2021 gibale med 2,45 in 10,1 ng/L. Povprečna letna vrednost, utežena glede na količino padavin v posameznem mesecu ob upoštevanju vseh izvedenih meritev, je znašala 3,08 ng/L, kar merilno mesto Iskrba



Slika 14.20: Koncentracije celotnega Hg po mesecih za leto 2022.

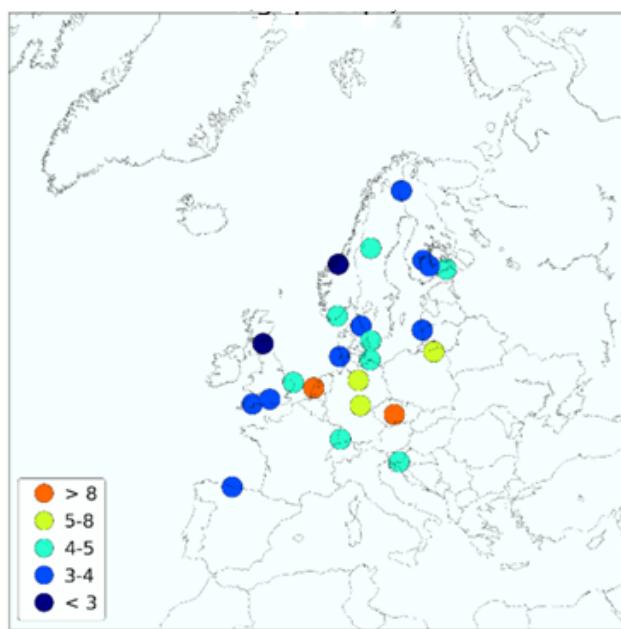


Slika 14.21: Mokro usedanje celotnega Hg po mesecih za leto 2022.



Slika 14.22: Mokro usedanje celotnega Hg po letih v $\text{ng}/\text{m}^2\text{-dan}$.

glede na EMEP lestvico uvršča med področja z nižjo koncentracijo Hg v padavinah v Evropi.



Slika 14.23: Geografska porazdelitev koncentracij živega srebra v padavinah podana v ng/m^2 na merilnih mestih EMEP v letu 2020 [22]

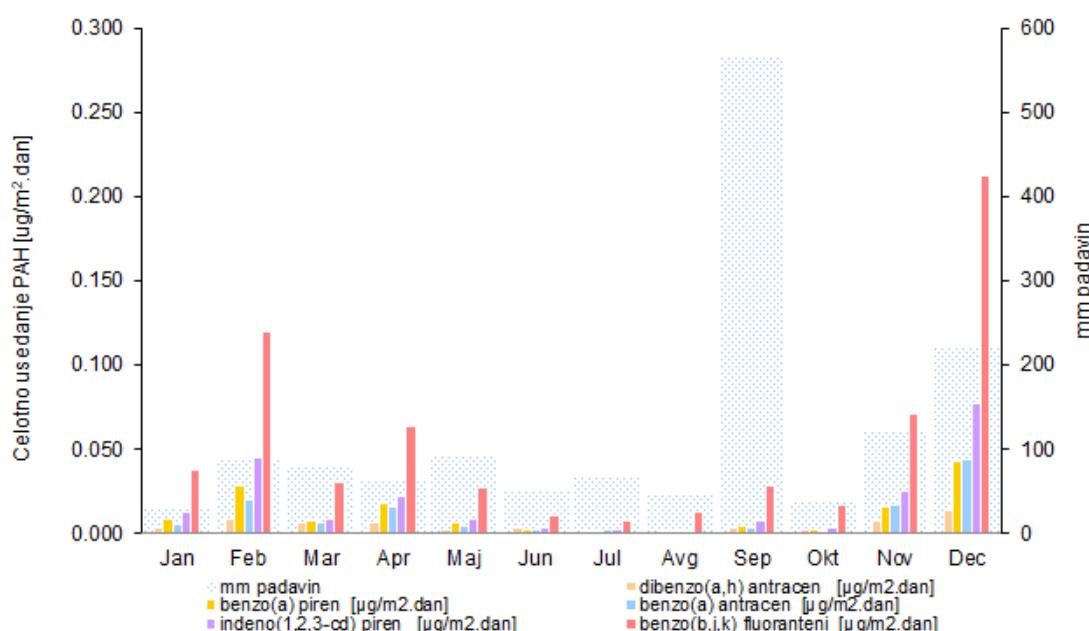
14.4 Raven onesnaženosti padavin s policikličnimi aromatskimi ogljikovodiki

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 ravnih 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 2022 je prikazana na sliki 14.24. Višje celotno usedanje večine PAH smo v letu 2022 zabeležili v času od januarja do aprila ter v novembru in decembru, torej kot običajno, pretežno v hladnejšem obdobju leta, ko so izpusti PAH zaradi ogrevanja s trdimi gorivi višji in ostajajo zaradi pogostih inverzij v plasi zraka pri tleh.



Slika 14.24: Celotno usedanje nekaterih PAH po mesecih v letu 2022 $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{dan}$

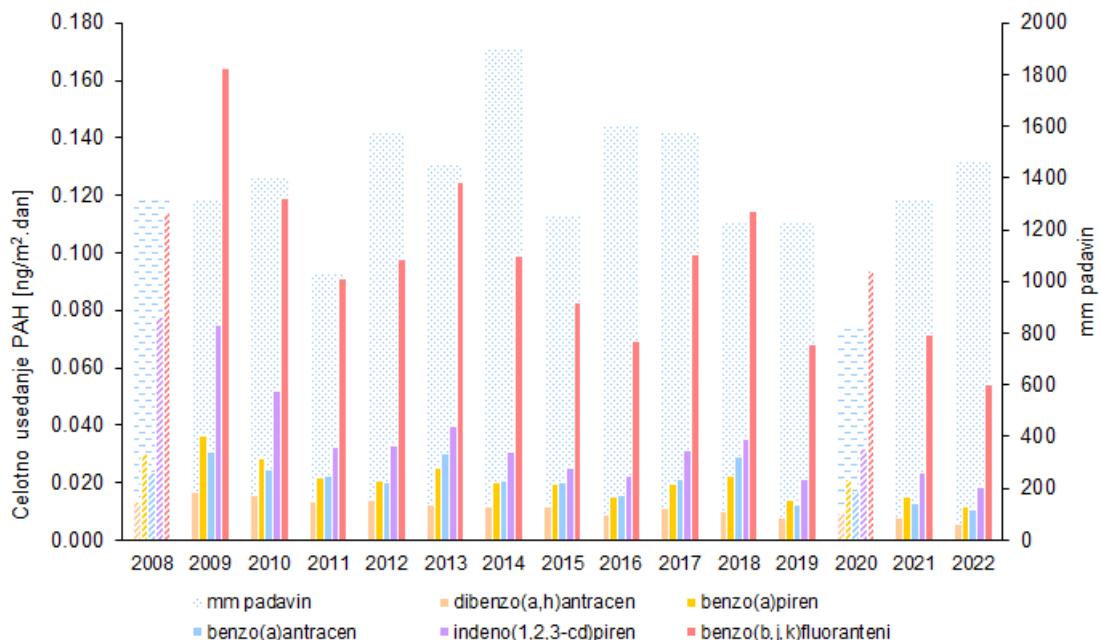
Podobno kot v preteklih letih smo tudi v letu 2022 zabeležili največjo celotno usedlino vsote benzo(b,j,k)fluorantenov, najnižja pa je bila kot navadno celotna usedlina dibenzo(a,h)antracena (tabela 14.8 in slika 14.25). V primerjavi s preteklim letom so bile celotne usedline vseh PAH še za spoznanje nižje kot v letu 2021. V obdobju od 2008 do 2022 se nadaljuje rahel trend upadanja usedlin PAH, kar je verjetno posledica spremenjenih kuirilnih navad na področju okrog merilnega mesta Iskrba in širše.

V tabeli 14.8 je prikazana celotna usedlina nekaterih PAH v letu 2022 v $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{dan}$. Primerjava usedlin PAH med posameznimi leti nakazuje, da le-te ostajajo na približno isti ravni kot v letu 2019

(slika 14.25).

Tabela 14.8: Celotno usedanje nekaterih PAH ($\mu\text{g}/\text{m}^2\text{dan}$) za leto 2022 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
0,010	0,011	0,054	0,005	0,018



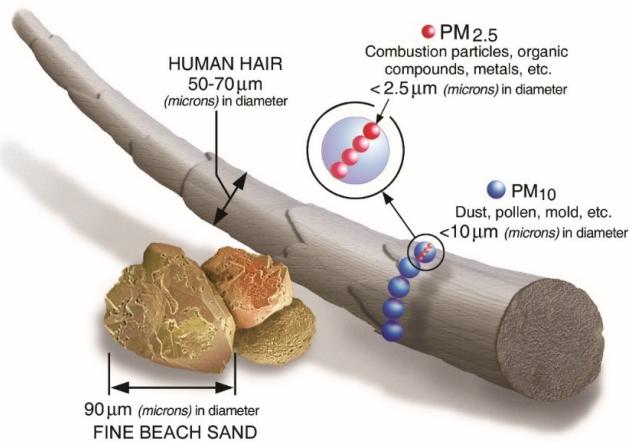
Slika 14.25: Celotno letno usedanje PAH od leta 2008 do leta 2022 $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{dan}$

14.4.1 Primerjava ravni onesnaženosti v Evropi

Ne poročilo EMEP ([22]) niti poročilo EEA ([29]) ne podajata meritev usedanja posameznih PAH, katerih meritve izvajamo skladno z Uredbo o arzenu, kadmiju, živem srebru, niklju in policikličnih aromatskih ogljikovodikih v zunanjem zraku ([11]), zato te primerjave nimamo.

15. Črni ogljik

Črni ogljik (tudi saje) je primarni produkt nepopolnega zgorevanja, ki nastane pri zgorevanju goriv, ki vsebujejo ogljik in je prisoten v aerosoliziranih prašnih delcih velikosti 10 in $2,5 \mu\text{m}$. Za lažjo predstavo velikosti delcev prikazuje slika 15.1 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 [30].



Slika 15.1: Prikaz primerjave velikosti delcev (slika povzeta po U.S. EPA [31]).

Črni ogljik je prepoznan kot kratkotrajno podnebno onesnaževalo z živiljenjsko dobo od nekaj dni do nekaj tednov po izpustu v ozračje [30]. Zaradi svoje kratke živiljenjske dobe ima zmanjšanje izpustov črnega ogljika lahko relativno hiter in regionalen vpliv na podnebne spremembe, posebno v območju Arktike [32].

Črni ogljik neposredno in posredno vpliva na podnebje, kriosfero (območje snega in ledu), kmetijstvo, ekosistem in zdravje ljudi [30]. 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 [30]. Ocenjeno je, da je od predindustrijske dobe ter do leta 2005, črni ogljik prispeval k zvišanju povprečne globalne temperature do $0,8^\circ\text{C}$. Črni ogljik absorbira svetlobo pri vseh valovnih dolžinah, medtem ko jo CO_2 absorbira pri IR valovni dolžini. Črni ogljik povzroča segrevanje ozračja z absorpcijo svetlobe, ki proizvaja toplotno in posledično segreva ozračje, ko pade na sneg ali led pa povzroča njegovo topitev. Zaradi svoje majhnosti lahko črni ogljik povzroča interakcijo z oblaki in spreminja njihovo odbojno sposobnost in živiljenjsko dobo [33]. Vpliv črnega ogljika na podnebne

spremembe je regionalno zelo različen. Tako vpliva na značilnost in karakteristiko padavin, še posebej pa je vpliv viden na višjih nadmorskih višinah, kjer povzroča taljenje ledenikov. Zaradi svoje majhnosti lahko pri vdihu v respiratorni sistem povzroči vnetja tkiva. Študije so ga prepoznale kot povzročitelja astme, srčnega napada, znižanja rodnosti ter pljučnega raka [34].

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 izgrevanje trdnih goriv za potrebe kuhanja in ogrevanja v gospodinjstvu [30].

15.1 Zahteve za kakovost zraka

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

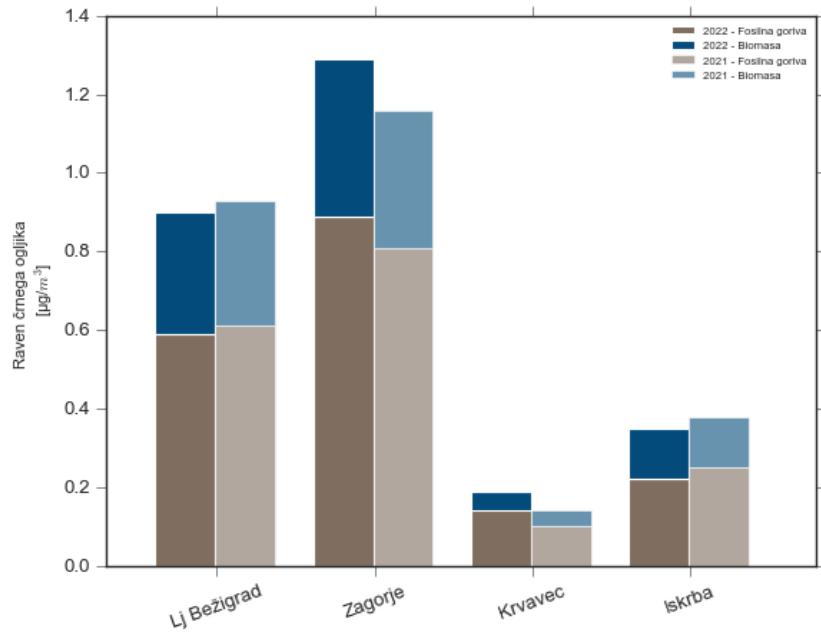
15.2 Ravni onesnaženosti

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 17.2. in 24.2. ter med 17.9 in 26.9, izplen podatkov je bil torej 89%. Prav tako je bil merilnik ne delajoč na lokaciji Zagorje v obdobju med 1.1. in 11.1. in med 17.9 in 27.9, kar je privedlo do 92% razpoložljivosti podatkov.

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 [14].

Za vse lokacije je bil pripravljen graf kvartilov v letu 2022, 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 in 2022.

Primerjava izmerjenih vrednosti med leti 2021 in 2022 ni pokazala večjih razlik. Komaj zaznavno večje vrednosti v letu 2022 v primerjavi z letom 2021 so bile izmerjene na lokacijah Zagorje in Krvavec. Prav tako je bil delež črnega ogljika iz različnih virov identičen letu 2021, kar nakazuje na konstantnost virov izpustov v okolini merilnika.

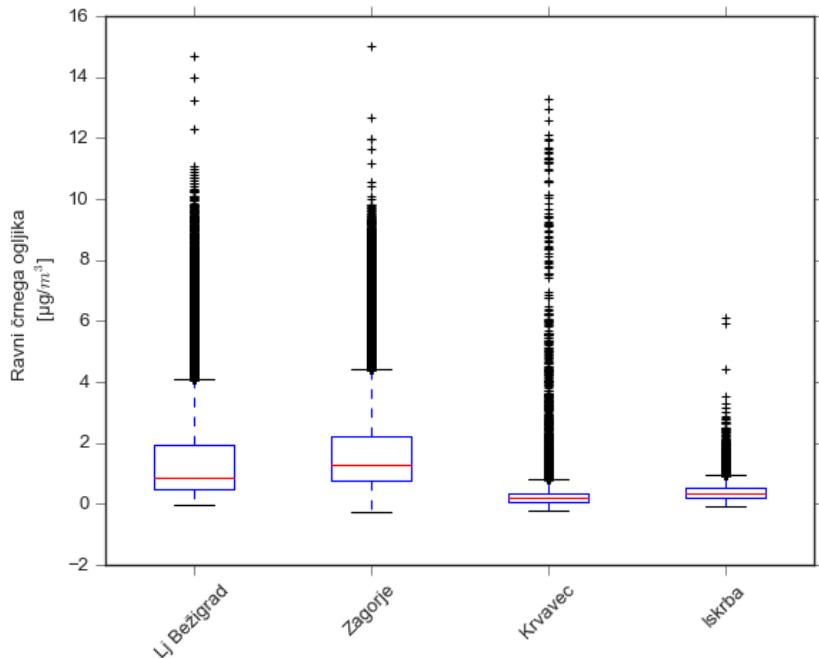


Slika 15.2: Prikaz izmerjenih srednjih vrednosti s podanim deležem črnega ogljika iz fosilnih goriv (siva barva) in biomase (modra barva) v letu 2022 (intenzivnejša barva) in 2021 (bledejša barva) na merilnih mestih.

Tabela 15.1: Povprečna letna raven črnega ogljika ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) za obdobje 2021 - 2022

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

Na lokacijah, ki so postavljene v mestnem oziroma podeželskem območju so bile ravni precej podobne, mediana na lokaciji Zagorje je bila $1,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, na lokaciji Ljubljana $0,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Na podeželskem območju je bila mediana precej nižja in sicer na lokaciji Krvavec $0,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, kar je v primerjavi z Zagorjem kar 85 % manj in na lokaciji Iskrba $0,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ oziroma 77 % manj v primerjavi z Zagorjem. Največji razpon meritev med najnižjo in najvišjo izmerjeno vrednostjo je bil izmerjen na lokaciji Zagorje, kjer je največja vrednost dosegla $15,00 \mu\text{g}/\text{m}^3$, dne 17.1..



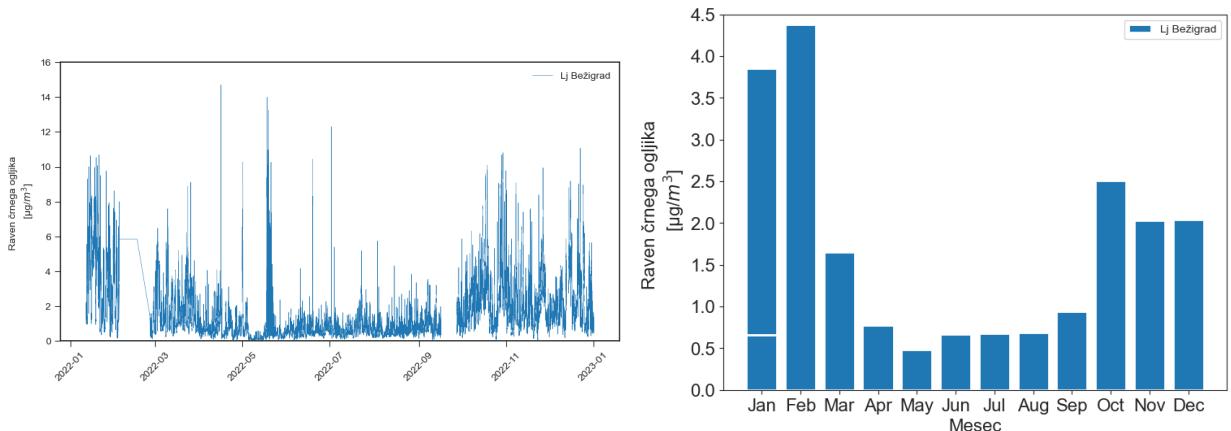
Slika 15.3: Prikaz 10 minutnih meritev črnega ogljika. Prikazane so najnižja in najvišja izmerjena raven (spodnja in zgornja vodoravna črtica), oba kvartila (vrh in dno pravokotnika) in mediana (oranžna vodoravna črtica v pravokotniku).

Tabela 15.2: 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.

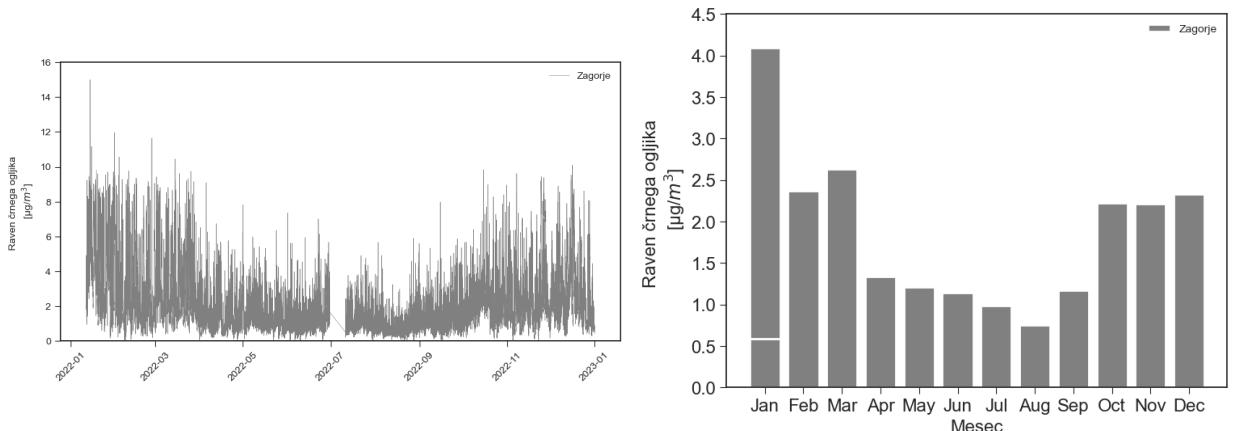
	Krvavec			Lj Bežigrad			Zagorje			Iskrba		
	BC	BB	FF	BC	BB	FF	BC	BB	FF	BC	BB	FF
Srednja vrednost	0,2	0,0	0,1	0,9	0,3	0,6	1,3	0,3	0,9	0,4	0,1	0,2
Maksimalna vrednost	13,3	5,8	12,8	14,7	12,5	26,4	15,0	7,6	15,4	6,1	2,3	8,1

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 (28 %), medtem ko je bil največji na lokaciji Iskrba (36 %). Na lokaciji Zagorje, ki je bolj prometna se je izkazalo, da je srednja vrednost črnega ogljika iz fosilnih goriv $0,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ter iz malih kurišč $0,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, medtem ko je v Ljubljani srednja vrednost črnega ogljika iz biomase $0,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ter iz fosilnih goriv $0,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Na lokacijah, ki sta locirani na podeželskem območju sta vrednosti nižji in sicer na lokaciji Krvavec je srednja vrednost iz biomase $0,04 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ter iz fosilnih goriv $0,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, medtem ko je na Iskrbi $0,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ iz biomase in $0,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ iz fosilnih goriv.

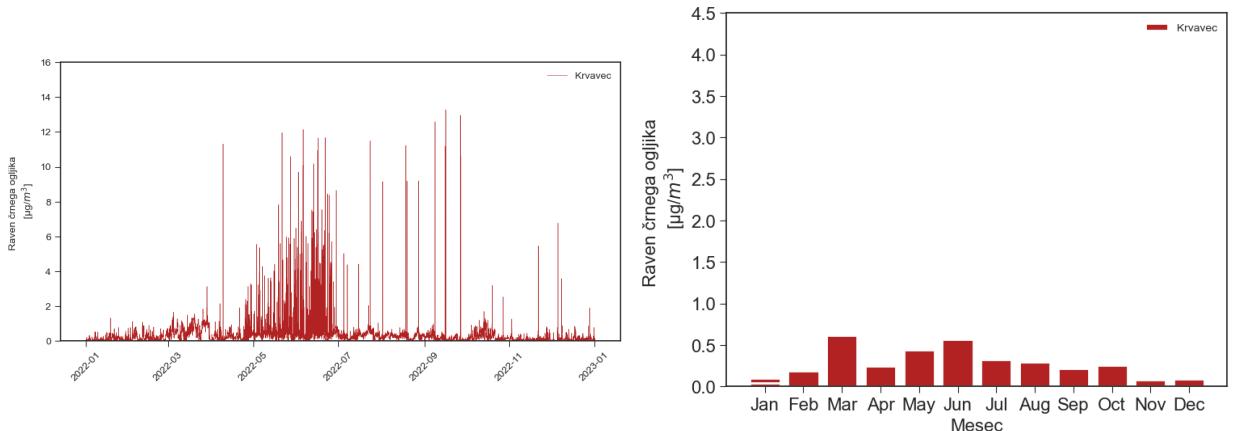
Mesečne srednje vrednosti izpustov črnega ogljika na merilnem mestu Ljubljana so bile najnižje v poletnih mesecih, nato pa so se počasi vrednosti dvigale do meseca februarja, ko je bila izmerjena najvišja vrednost. V toplejših mesecih (marec, april, maj, junij, julij, avgust in september) so bile vrednosti za več kot polovico manjše v primerjavi s hladnejšimi meseci (oktober, november, december, januar in februar). Najvišje vrednosti v Zagorju so se pojavile v januarju. V preostalih mesecih so bile te vrednosti nižje. Na merilnem mestu Krvavec so bile izmerjene višje vrednosti v toplejših mesecih. Na merilnem mestu Iskrba so bile vrednosti precej enakomerne tekom leta.



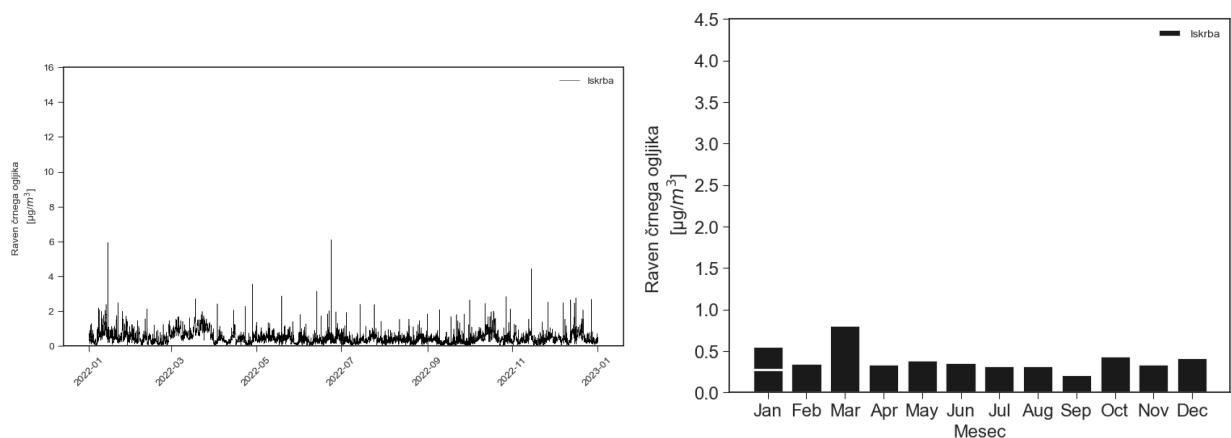
Slika 15.4: Prikaz izmerjenih vrednosti (levo) in srednjih mesečnih vrednosti (desno) na merilnem mestu Ljubljana Bežigrad.



Slika 15.5: Prikaz izmerjenih vrednosti (levo) in srednjih mesečnih vrednosti (desno) na merilnem mestu Zagorje.



Slika 15.6: Prikaz izmerjenih vrednosti (levo) in srednjih mesečnih vrednosti (desno) na merilnem mestu Krvavec.



Slika 15.7: Prikaz izmerjenih vrednosti (levo) in srednjih mesečnih vrednosti (desno) na merilnem mestu Iskrba.

16. Literatura

- [1] *Air pollution*, ogled 23.11.2023, <https://www.eea.europa.eu/themes/air/intro>.
- [2] *Pravilnik o ocenjevanju kakovosti zunanjega zraka*. Uradni list RS. 55/11, 6/15, 5/17 in 44/22 – ZVO-2.
- [3] *Zakon o ratifikaciji konvencije o onesnaževanju zraka na velike razdalje preko meja (Uradni list SFRJ – Mednarodne pogodbe, št. 11/86)*, UNECE, 1979.
- [4] *Informative Inventory Report 2022 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, 2022.
- [5] *Poročilo o meritvah kakovosti zraka v Solkanu v letu 2022*, ogled 23.11.2023, https://www.arso.gov.si/zrak/kakovost%20zraka/poro%C4%8dila%20in%20publikacije/Porocilo_Solkan_2022.pdf.
- [6] *Uredba o kakovosti zunanjega zraka*. (Uradni list RS. 9/11, 8/15, 66/18 in 44/22 – ZVO-2).
- [7] *Kakovost zraka v Sloveniji v letu 2019*, ARSO, 2020.
- [8] *Project PREPAIR – LIFE15 IPE IT013*, view 10.09.2018, <http://www.lifeprepair.eu/>.
- [9] 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).
- [10] *Informative Inventory Report 2021 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, 2021.
- [11] *Uredba o arzenu, kadmiju, živem srebru, niklju in policikličnih aromatskih ogljikovodikih v zunanjem zraku*. Uradni list RS. 56/06 in 44/22 – ZVO-2.
- [12] *Interim Annual Assessment Report for 2022, European air quality in 2022*, Norwegian Institute for Air Research (NILU), 2023.
- [13] *Kakovost zraka v Sloveniji v letu 2017*, ARSO, 2018.

- [14] *Kakovost zraka v Sloveniji v letu 2021*, ARSO, 2021.
- [15] *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.
- [16] *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.
- [17] *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.
- [18] *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.
- [19] WHO, “Exposure to benzene: a major public health concern,” pp. 3–6, 2019.
- [20] *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.
- [21] 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.
- [22] W. Aas and P. B. Nizzetto, “Heavy metals and pop measurements 2018,” *EMEP/CCC-Report 3/2020*, no. 3, 2020.
- [23] M. Pidwirny, “Acid Precipitation,” *Fundamentals of Physical Geography, 2nd Edition*, 2006.
- [24] N. I. for Air Research, *EMEP Manual for Sampling and Chmical 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.
- [25] *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.
- [26] *Manual for the GAW Precipitation Chemistry Programme. Guidelines, Data Quality Objectives and Standard Operating Procedures*, no. 160, WMO, 2004.
- [27] A.-G. Hjellbrekke, “Data report 2018 particulate matter, carbonaceous and inorganic compounds,” *EMEP/CCC-Report 1/2020*, no. 1, 2020.
- [28] O. Delhomme, E. R. Rieb, and M. Millet, “Polycyclic aromatic hydrocarbons analyzed in rainwater and erstein,” *Polycyclic Aromatic Compounds*, no. 1, 2008.

- [29] *Air quality in Europe-2020 report*, European Environment Agency, 2020.
- [30] *Black carbon / Climate & Clean Air Coalition*, view 28.4.2022, <https://www.ccacoalition.org/en/slccps/black-carbon>.
- [31] *Particulate Matter (PM) Basics / US EPA*, view 28.4.2022, <https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics>.
- [32] *What is Black Carbon? / Center for Climate and Energy Solutions*, view 3.5.2022, <https://www.c2es.org/document/what-is-black-carbon/>.
- [33] U. N. E. Programme, “Integrated assessment of black carbon and tropospheric ozone: summary for decision makers,” 2011.
- [34] *The EU Background on Black Carbon / Arctic Monitoring & Assessment Program*, view 3.5.2022, <https://eua-bca.amap.no/background>.



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

