

Kakovost zraka v Sloveniji v letu 2021

Kakovost zraka v Sloveniji

ISSN 1855-0827

Ljubljana, 2022

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, Občina Grosuplje, MO Slovenj Gradec
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 2021

AGENCIJA REPUBLIKE SLOVENIJE ZA OKOLJE
Ljubljana, 2022

Seznam kratic

ALADIN	meteorološki model za omejeno območje, katerega razvoj usmerja Francija (Aire Limitée, Adaptation Dynamique, Développement International)
ANAS	analitično-nadzorni alarmni sistem
AMP	avtomatska merilna postaja
ARSO	Agencija Republike Slovenije za okolje
BF	Biotehniška fakulteta Univerze v Ljubljani
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
UL	Umerjevalni laboratorij Agencije RS za okolje
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** je bila v letu 2021 najnižja odkar izvajamo meritve. Prvič ni na nobenem merilnem mestu vsota prekoračitev mejne dnevne vrednosti za delce PM₁₀ ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) presegla števila 35, ki je dovoljeno za celo leto. Tudi letna mejna vrednost za delce PM₁₀ v letu 2021 ni bila presežena na nobenem merilnem mestu. Kljub temu, da v letu 2021 niti na enem merilnem mestu ni bilo preseženo dovoljeno število preseganj ali presežena letna mejna vrednost za delce PM₁₀, pa predvsem v kuriški sezoni ob neugodnih vremenskih razmerah še vedno izmerimo visoke ravni delcev PM₁₀. Do preseganj mejne dnevne vrednosti $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ je prišlo v kuriški sezoni (januar, februar, marec, oktober, november in december) ter junija zaradi puščavskega prahu.

Mejna letna vrednost $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ za **delce PM_{2,5}** v letu 2021 ni bila presežena na nobenem od petih merilnih mest, kjer izvajamo meritve. Kazalnik povprečne izpostavljenosti KPI za PM_{2,5} je leta 2021 znašal $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Obveznost glede stopnje izpostavljenosti za leto 2021 znaša $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in za Slovenijo ni bila presežena.

Ravni **benzo(a)pirena (BaP)** so bile v letu 2021 na vseh stalnih merilnih mestih (LJ Bežigrad, MB Titova, NG Grčna in Iskrba) nekoliko nižje kot leta 2020. Poleg tega smo meritve v letu 2021 izvajali še v Desklah, kjer je bila letna raven BaP najvišja med vsemi merilnimi mesti in je dosegla ciljno vrednost. Letni poteki ravni benzo(a)pirena kažejo, da so najvišje ravni izmerjene v kuriški sezoni. Poleti so ravni na vseh lokacijah znatno nižje.

V letu 2021 so bile letne ravni **arzena, niklja, kadmija in svinca** v Ljubljani, Mariboru, Novi Gorici, Celju, Desklah in na Iskrbi nižje od predpisane mejne oziroma ciljne vrednosti. V juniju so bile zabeležene višje ravni težkih kovin skoraj na vseh merilnih mestih, kar je posledica puščavskega prahu. V Žerjavu v Zgornji Mežiški dolini so povisane ravni arzena, kadmija in svinca preko celega leta povezane predvsem z delovanjem okoliške industrije. Povprečne letne vrednosti arzena in kadmija so na merilnem mestu Žerjav višje kot na drugih merilnih mestih a ne presegajo predpisanih standardov kakovosti. **Je pa bila v letu 2021 prvič odkar od leta 2009 izvajamo meritve v Žerjavu presežena mejna vrednost za svinec.** Povprečna letna vrednost svinca je bila v letu 2021 na tem merilnem mestu $694 \text{ ng}/\text{m}^3$ (mejna vrednost znaša $500 \text{ ng}/\text{m}^3$).

V letu 2021 so bile izmerjene povprečne letne ravni **benzena** na vseh merilnih mestih približno enake in tako kot že vsa leta poprej pod mejno vrednostjo.

Vsako poletje nam pri **ozonu** prinese kakšno zanimivo situacijo in tako je bilo tudi v letu 2021. V okviru projekta Sinica smo ukinili meritve v Trbovljah na lokaciji Nasipi. Meritve ozona smo celo leto izvajali v Desklah. Prvo leto imamo celoleten niz meritev ozona v Novem mestu. Opozorilna vrednost ozona je bila v letu 2021 presežna le en dan avgusta v Kopru in naslednji dan v Novi Gorici.

V teh dneh so temperature v naših krajih dosegle tudi do 36 stopinj, nad naše kraje je zaneslo zračno maso iz območja Jadranskega bazena, ki je bila v tem času precej onesnažena z ozonom. V letu 2021 je bil sicer že v drugi polovici 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. Izmerjene ravni ozona so bile v letu 2021 višje kot v letu 2020 že zaradi popolnoma drugačnih vremenskih razmer v poletnem času. Dolgoročna ciljna vrednost je bila presežena na vseh meritnih mestih. Več kot 25 preseganj te vrednosti je bilo v letu 2021 zabeleženo na 8-ih meritnih mestih, v letu 2020 le na enem. Še vedno je ne vseh meritnih mestih v mestih v neizpostavljenem podeželskem okolju presežena dolgoročna ciljna vrednost za varovanje rastlin (AOT40). Zaradi vpliva Covid -19 je bila ciljna vrednost za vegetacijo v povprečju petih let nižja od predpisane vrednosti.

V letu 2021 smo v okviru projekta Sinica zaključili z meritvami **dušikovih dioksidov** na meritnem mestu na Nasipih v Trbovljah. Od junija naprej se na novem meritnem mestu v parku izvajajo samo meritve ravni delcev in meteoroloških parametrov. V letu 2021 smo izvajali izredne meritve dušikovih oksidov še v Desklah. Na ravni dušikovih oksidov so tudi v letu 2021 vplivali poostreni ukrepi za preprečevanje širjenja Covid-a. Mejne in kritične vrednosti za NO_2 oziroma NO_x v letu 2021 niso bile presežne na nobenem meritnem mestu. Najvišje letne ravni so bile zabeležene na prometno zelo obremenjenih meritnih mestih, in sicer LJ Center ($33 \mu\text{g}/\text{m}^3$) in LJ Celovška ($32 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Najvišje urne ravni so bile izmerjene v NG Grčna ($123 \mu\text{g}/\text{m}^3$) in so na vseh meritnih mestih pod mejno urno vrednostjo $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Dnevni hodi kažejo, da je na vseh meritnih mestih zaznano povišanje ravni dušikovih oksidov ob jutranji in večerni prometni konici. V poročilu so prikazani tudi rezultati metode združevanja podatkov modelskih rezultatov in meritev za določitev povprečne letne vrednosti NO_2 . Zaradi pomanjkanja meritev v višjih legah in na podeželskem območju ter zaradi specifike meritev NO_2 na prometnih lokacijah modelski rezultati ponekod ne odražajo dejanskega stanja.

Urne, dnevne in letne ravni **žveplovega dioksida** so bile na vseh meritnih mestih v Sloveniji že več let pod mejnimi vrednostmi za varovanje zdravja in kritičnimi vrednostmi za varovanje rastlin. Višje ravni SO_2 občasno izmerimo le okrog TEŠ. V letu 2021 smo v Zavodnjah, ob zagonu bloka v Termoelektrarni Šoštanj, zabeležili dve situaciji s preseženo urno mejno vrednostjo (najvišja urna vrednost $1151 \mu\text{g}/\text{m}^3$). V poročilu so prikazani rezultati meritev in modelski izračuni najvišjih urnih in dnevnih ravni SO_2 za leto 2021, ki kažejo, da so ravni SO_2 povsod v Sloveniji nizke, daleč pod mejnimi vrednostmi. V letu 2021 smo v okviru projekta Sinica zaključili meritve na meritnem mestu LJ Bežigrad in v Trbovljah. V Desklah so meritve potekale samo v letu 2021.

Ravni **ogljikovega monoksida** so že več let na vseh meritnih 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 2021 kažejo, da so ravni CO povsod v Sloveniji precej nižje od predpisane mejne vrednosti.

Meritve koncentracije Hg v zraku v letu 2021 kažejo, da je povprečna letna koncentracija **živega srebra**, znašala $1,5 \text{ ng}/\text{m}^3$, kar je še za spoznanje višje kot v preteklem letu. Od leta 2017 dalje, ko meritve izvajamo z novo, bolj zanesljivo metodo, se nakazuje rahel trend naraščanja ravni

onesnaženosti zraka z živim srebrom. Glede na lestvico EMEP smo se postopoma približali vrhu onesnaženosti v primerjavi z Evropo. Ker meritve izvajamo po približno 14 dni v vsakem kvartalu leta z izposojenim inštrumentom, jih podajamo zgolj kot informativne vrednosti.

Povprečna letna **pH vrednost padavin** se je na merilnih mestih v Sloveniji gibala med 5,3 in 5,62. Daleč najvišjo povprečno letno vrednost pH (kar pomeni najmanjšo kislost) smo zabeležili na merilnem mestu Rateče in je prvič v zgodovini meritve presegla mejo kislosti, ki znaša 5,6. Nekoliko nižjo povprečno letno pH vrednost smo zabeležili na merilnem mestu Rakičan, še nižje na merilnih mestih LJ Bežigrad in Škocjan in najnižjo na merilnem mestu Iskrba. Glede na lestvico EMEP, so bile padavine v Sloveniji med manj kislimi v Evropi. Podobno kot v preteklih letih nas povprečne letne koncentracije amonijevih, sulfatnih in nitratnih ionov v padavinah v letu 2021 na vseh merilnih mestih v Sloveniji skladno z EMEP lestvicami uvrščajo med področja z nižjimi do srednje visokimi koncentracijami posameznega iona. Za merilno mesto Iskrba velja, da so glede na EMEP lestvice povprečne letne koncentracije arzena, kroma, niklja, in svinca med srednje visokimi, kadmija, bakra, cinka pa med nižjimi v Evropi. Povprečna letna koncentracija **živega srebra v padavinah** je v letu 2021 znašala 2,75 ng/L in je torej bila tudi v letu 2021 v spodnji polovici EMEP lestvice, kar Iskrbo uvršča med področja z nižjimi koncentracijami Hg v Evropi. Depozicije živega srebra, pa so bile zaradi večje količine padavin nekoliko višje kot v preteklem letu. V obdobju od 2008 do 2021 opažamo rahel trend upadanja usedlin PAH, kar je verjetno posledica spremenjenih kurilnih navad na območju okrog merilnega mesta Iskrba in širše.

Summary

Air pollution with **PM₁₀** was the lowest in 2021 since we have been carrying out measurements. For the first time, at no monitoring site did the sum of exceeding the daily limit value for PM₁₀ (50 µg/m³) exceed the number of 35, which is allowed for the whole year. Even the annual limit value for PM₁₀ in 2021 was not exceeded at any monitoring site. Despite the fact that in 2021 the permitted number of exceedances or the annual limit value for PM₁₀ particles was not exceeded at any monitoring site, high levels of PM₁₀ are still measured, especially during the heating season in adverse weather conditions. Exceedings of the daily limit value of 50 µg/m³ occurred in the heating season (January, February, March, October, November and December) and in June due to desert dust.

The annual limit value of 20 µg/m³ for **PM_{2.5}** particles in 2021 was not exceeded at any of the five monitoring sites where we perform measurements. The average exposure KPI for PM_{2.5} in 2021 was 14 µg/m³. The obligation regarding the level of exposure for 2021 amounts to 20 µg/m³ and it was not exceeded in Slovenia.

In 2021, the levels of **benzo(a)pyrene (BaP)** at all permanent monitoring sites (LJ Bežigrad, MB Titova, NG Grčna and Iskrba) were slightly lower than in 2020. In addition, in 2021, we also carried out measurements in Deskle, where the annual BaP level was the highest among all monitoring sites and reached the target value. Annual trends of benzo(a)pyrene levels show that the highest levels are measured during the heating season. In summer, levels are significantly lower at all locations.

In 2021, the annual levels of **arsenic, nickel, cadmium and lead** in Ljubljana, Maribor, Nova Gorica, Celje, Deskle and Iskrba were lower than the prescribed limit or target value. In June, higher levels of heavy metals were recorded in almost all measuring months, which is due to desert dust. In Žerjav in the Upper Mežiška valley, high levels of arsenic, cadmium and lead throughout the year are mainly related to the operation of the surrounding industry. Average annual values of arsenic and cadmium at the Žerjav monitoring site are higher than at other monitoring sites, but do not exceed the prescribed quality standards. **In 2021, however, the limit value for lead was exceeded for the first time since 2009, when we have been carrying out measurements in Žerjav.** The average annual value of lead in 2021 at this monitoring site was 694 ng/m³ (limit value is 500 ng/m³).

In 2021, 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.

Every summer brings us some interesting situation regarding **ozone**, and it was the same

in 2021. As part of the Sinica project, we stopped the measurements in Trbovlje at the location Nasipi. Ozone measurements were carried out in Deskle throughout the year. For the first year, we have a year-round set of ozone measurements in Novo Mesto. In 2021, the ozone information threshold ($180 \mu\text{g}/\text{m}^3$) was exceeded only one day in August in Koper and the next day in Nova Gorica. During these days, the temperatures in these places reached up to 36 degrees, and an air mass from the Adriatic basin, which at that time was heavily polluted with ozone, drifted over these places. In 2021, the first heat wave was already recorded in the second half 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, which were brought to us by air currents over the Algerian part of the Sahara. Measured ozone levels were higher in 2021 than in 2020 due to completely different weather conditions during the summer. The long-term target value was exceeded at all monitoring sites. More than 25 exceedances of this value were recorded at 8 monitoring sites in 2021, and only at one in 2020. Still, not all monitoring sites in cities in the unexposed rural environment exceed the long-term target value for plant protection (AOT40). Due to the impact of Covid-19, the target value for vegetation was lower than the prescribed value for an average of five years.

In 2021, as part of the Sinica project, we completed the measurements of **nitrogen dioxides** at the monitoring site Nasipi in Trbovlje. From June onwards, only measurements of particle levels and meteorological parameters are carried out at the new monitoring site in the park. In 2021, we carried out impermanent measurements of nitrogen oxides in Deskle. The level of nitrogen oxides was also affected in 2021 by stricter measures to prevent the spread of Covid. Limit and critical values for NO_2 and NO_x respectively in 2021 were not exceeded at any monitoring site. The highest annual levels were recorded at monitoring sites with heavy traffic, namely LJ Center ($33 \mu\text{g}/\text{m}^3$) and LJ Celovška ($32 \mu\text{g}/\text{m}^3$). The highest hourly levels were measured in NG Gčna ($123 \mu\text{g}/\text{m}^3$) which were below the limit hourly value of $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ at all monitoring sites. Daily transport show that at all monitoring sites, an increase in the level of nitrogen oxides is detected during the morning and evening traffic rush. In the report the results of data fusion method (combining model data and measurements) to determine the average annual value of NO_2 . Due to the lack of measurements in higher regions and in rural areas, and due to the specificity of NO_2 measurements in traffic locations, the model results in some places do not reflect the actual situation.

Hourly, daily and annual levels of **sulfur dioxide** have been below the limit values for health protection and critical values for plant protection at all monitoring sites in Slovenia for several years. Higher levels of SO_2 are occasionally measured only around TEŠ. In 2021, in Zavodnje, at the start-up of the unit in the Šoštanj Thermal Power Plant, we recorded two situations where the hourly limit value was exceeded (the highest hourly value was $1151 \mu\text{g}/\text{m}^3$). The report shows the results of measurements and model calculations of the highest hourly and daily SO_2 levels for 2021, which show that SO_2 levels are low everywhere in Slovenia, far below the limit values. In 2021, as part of the Sinica project, we completed the measurements at the monitoring site LJ Bežigrad and Trbovlje. In Deskle, the measurements took place only in 2021.

The levels of **carbon monoxide** 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 in such a case can be assessed with indicative measurements, subjective assessment or with model results. The results of the model calculation of the highest 8-hour CO values for 2021 show that the CO levels everywhere in Slovenia are much lower than the prescribed limit value.

Measurements of the concentration of Hg in the air in 2021 show that the average annual concentration of **mercury** in the air was 1.5 ng/m^3 , which is even higher than in the previous year. From 2017 onwards, when the measurements are carried out with a new, more reliable method, a slight trend of increasing levels of air pollution with mercury is indicated. According to the EMEP scale, we have gradually approached the top of pollution compared to Europe. Since the measurements are performed approximately 14 days in each quarter of the year with a borrowed instrument, they are given for information purposes only.

The average annual **pH value of precipitation** varied between 5.3 and 5.62 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 first time in the history of measurements. A slightly lower average annual pH value was recorded at the monitoring site Rakičan, even lower at the monitoring sites LJ Bežigrad and Škocjan, and the lowest at the monitoring site Iskrba. 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 2021 at all monitoring sites in Slovenia, according to the EMEP scales, place us among areas with lower to medium-high concentrations of individual ions. For the monitoring site Iskrba, according to the EMEP scale, the average annual concentrations of arsenic, chromium, nickel, and lead are among the highest, while cadmium, copper, and zinc are among the lowest in Europe. The average annual concentration of **mercury in precipitation** in 2021 was 2.75 ng/L and was therefore also in the lower half of the EMEP scale in 2021, which places Iskrba among the areas with lower concentrations Hg in Europe. Mercury depositions, however, were slightly higher than in the previous year due to the greater amount of precipitation. In the period from 2008 to 2021, we observe a slight trend of decreasing PAH deposits, which is probably the result of changed domestic heating methods 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 2021. 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			
	C_p	>MV	C_p	C_p	>OV	>CV	C_p	>MV	C_p	C_p	>MV	C_{max}	C_p	C_p	C_p	C_p	C_p			
DMKZ																				
CE bolnica	24	18	16	42	0	5	21	0	3	3	0	0				0,37	0,34	1,4	5,7	
CE Mariborska*	34	16																		
CE Ljubljanska*	21	9																		
Deskle	14	4		46	0	26	9	0	2	2*	0	0	1,6*	1	1,3	0,19	0,09	0,72	2,6	
Hrastnik	19	8																		
Iskrba	9	1	7	48	0	6	1	0	0,8	0,6*	0*	0*			0,16	0,18	0,06	0,68	1,2	
Koper	16	8		68	2	40	15	0												
Kranj	20	6																		
Krvavec				90	0	43														
LJ Bežigrad	21	12	15	46	0	31	23	0	4*	3*	0*	0*	0,7*	1,1	0,95	0,33	0,20	2,2	5,9	
LJ Biotehniška*	24	4																		
LJ Celovška	22	15					32	0												
LJ Vič*	21	8																		
MB Titova	22	13					27	0							1,1	0,69	0,32	0,13	1,5	5,7
MB Vrbanski	16	4	12	52	0	11	8	0												
MS Cankarjeva	25	29																		
MS Rakičan	21	14		45	0	5	10	0												
NG Grčna	17	6	12	50	3	35	23	0							1					
NG Vojkova	21	12																		
Novo mesto	19	3		46	0	7	11	0												
Otlica				83	0	42														
Ptuj	21	13													1,1	0,50	0,16	1,0	4,0	
Trbovlje Nasipi*	22	5		42	0	/	18	0	3	2	0	0	2,0							
Trbovlje park*	18	5																		
Velenje	15	5																		
Zagorje	22	14		39	0	3	19	0	3	3	0	0								
Žerjav	21	6														2,3	2,7	1,7	694	

Dopolnilna merilna mreža																			
TEŠ																			
Mobilna TEŠ	15	1		50	0	11	11	0	4	2	0	0							
Pesje	16	4							4	2	0	0							
Škale	17	4				7	0	4	3	0	0								
Šoštanj	16	2				10	0	3	2	0	0								
Zavodnje				75	0	28	4	0	4	3	4	0							
Velenje				48	0	7			4	3	0	0							
Topolšica									3	2	0	0							
Veliki vrh									4	3	0	0							
Graška gora									4	2	0	0							
OMS MO Ljubljana																			
LJ Center	29	30			33	0	2	2	0	0			1,8*						
TE TOL																			
Zadobrova	24	8		30	0	0	16	0	2	2	0	0							
Občina Medvode																			
Medvode	19	9											0,9						
MO Celje																			
CE Gaji	21*	6*				16	0	1	3	0	0								
EIS TEB																			
Sv. Mohor				70	0	39	5	0	4	7	0	0							
MO Maribor																			
MB Tezno	21	11		46	0	20	21	0											
Pohorje				74	0	12													
EIS Anhovo																			
Morsko	14	4																	
Gorenje Polje	16	7																	
Občina Miklavž na Dravskem polju																			
Miklavž	23	18																	
MO Ptuj																			
Spuhlja	25	20																	
Občina Ruše																			
Ruše	16	3																	
Občina Grosuplje																			
Grosuplje	26	22																	
MO Slovenj Gradec																			
Slovenj Gradec	17	5																	

* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.

Kazalo

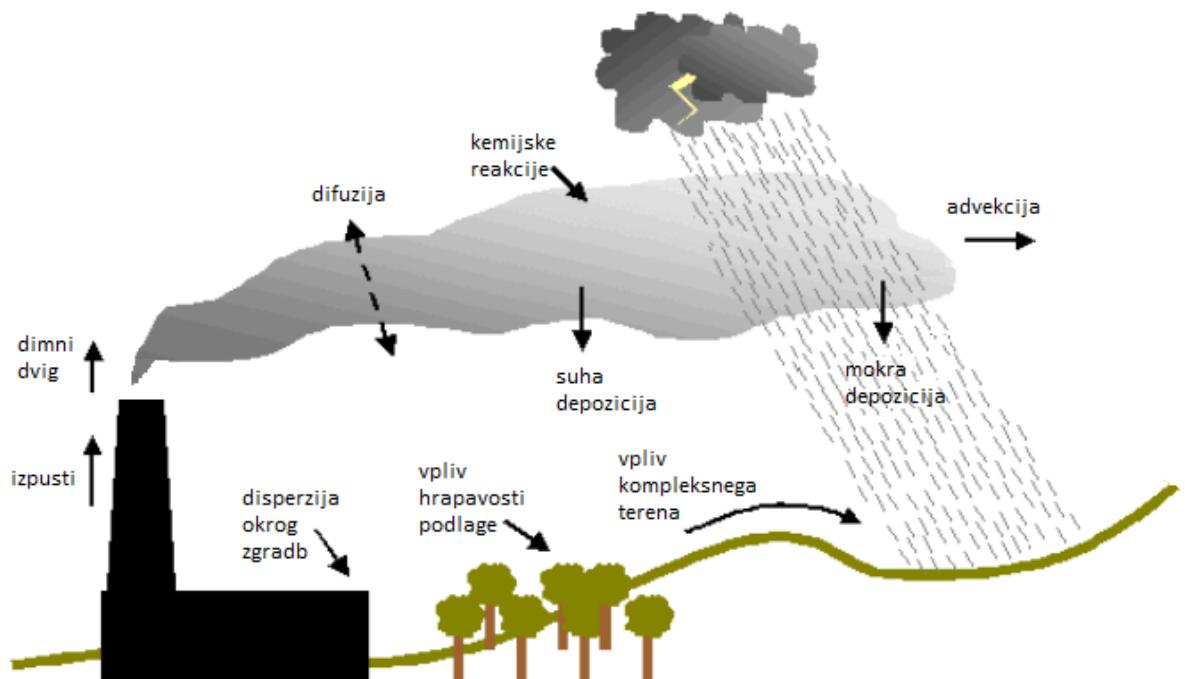
1 Uvod	1
2 Vpliv meteoroloških lastnosti kotlin na onesnaženost zraka	5
2.1 Vetrovne značilnosti Slovenije	5
2.2 Onesnaženost zraka v dolinah in kotlinah	6
2.3 Kakovost zraka v Ljubljani	8
3 Trendi in medletna variabilnost onesnaženosti zraka	12
3.1 Izpusti primarnih onesnaževal	13
3.2 Onesnaženost z delci PM ₁₀	15
3.3 Onesnaženost z ozonom	17
3.4 Onesnaženost z dušikovim dioksidom	20
4 Ocenjevanje kakovosti zunanjega zraka	21
4.1 Meritve na stalnih merilnih mestih	23
4.2 Ocena kakovosti zraka z modeliranjem in s tehniko združevanja podatkov	30
5 Povzetek o meritvah kakovosti zraka v Desklah	31
6 Kronologija baze izpustov v Sloveniji	34
6.1 Baza izpustov vs. evidenca izpustov	34
6.2 Kratka zgodovina baz izpustov v Sloveniji	35
6.3 Baza izpustov v okviru projekta Sinica kot predhodnica baze izpustov v okviru projekta LIFE-IP PREPAIR	35
6.4 Struktura in lastnosti baze izpustov	36
6.5 Splošno o izpustih BL ₂₀₁₈	41
6.6 Primerjava baz izpustov z baznim letom 2013 in 2018	42
7 Črni ogljik	45
7.1 Merjenje črnega ogljika	46

7.2 Rezultati meritev	47
7.3 Dnevni hodi	51
7.4 Topla in hladna polovica leta	52
7.5 Korelacija	54
8 Delci PM₁₀ in PM_{2,5}	57
8.1 Izpusti delcev	58
8.2 Zahteve za kakovost zraka	61
8.3 Ravni onesnaženosti	62
8.4 Epizode čezmerne onesnaženosti	75
8.5 Kemijska in elementna sestava delcev	77
8.6 Preseganja mejnih vrednosti zaradi naravnih virov	77
9 Onesnaževala v delcih - benzo(a)piren in težke kovine	82
9.1 Benzo(a)piren	82
9.2 Težke kovine	85
10 Ozon	102
10.1 Zahteve za kakovost zraka	102
10.2 Ravni onesnaženosti	103
10.3 Ocena onesnaženosti zraka z O ₃ s tehniko združevanja podatkov	114
11 Dušikovi oksidi	116
11.1 Izpusti	116
11.2 Zahteve za kakovost zraka	118
11.3 Ravni onesnaženosti	118
11.4 Ocena onesnaženosti z NO ₂ s tehniko združevanja podatkov	126
12 Žveplov dioksid	127
12.1 Izpusti	127
12.2 Zahteve za kakovost zraka	129
12.3 Ravni onesnaženosti	129
13 Ogljikov monoksid	138
13.1 Izpusti	138
13.2 Zahteve za kakovost zraka	139
13.3 Ravni onesnaženosti	140
14 Benzen	142
14.1 Izpusti	142
14.2 Zahteve za kakovost zraka	144
14.3 Ravni onesnaženosti	144
15 Živo srebro v zraku	148

15.1 Izpusti	149
15.2 Ravni onesnaženosti	150
15.3 Primerjava ravni onesnaženosti v Evropi	152
16 Kakovost padavin	153
16.1 Raven vrednosti pH, električne prevodnosti in onesnaženosti padavin z nekaterimi anorganskimi ioni	154
16.2 Raven onesnaženosti padavin s težkimi kovinami	166
16.3 Raven onesnaženosti padavin z živim srebrom	170
16.4 Raven onesnaženosti padavin s policikličnimi aromatskimi ogljikovodiki	173
17 Literatura	175

1. Uvod

Onesnaženost zraka je posledica izpustov škodljivih snovi v zrak, ki so lahko antropogenega ali naravnega izvora. Onesnaževala so v ozračju podvržena različnim procesom (slika 1.1), ki v odvisnosti od meteoroloških in geografskih pogojev vplivajo na časovno in prostorsko spremenljivost ravni onesnaženja v ozračju. Ob izpustu onesnaževal v ozračje lahko pride do dimnega dviga, bodisi zaradi izstopne hitrosti ali presežka temperature izstopnega dima glede na temperaturo okolišnjega zraka. Veter nato onesnaževala odnaša z neko hitrostjo v določeno smer, čemur pravimo transport ali advekcija. Na poti se onesnaženje redči zaradi mešanja z okolišnjim zrakom. Pojav imenujemo turbulentna difuzija, pri čemer je učinkovitost redčenja močno odvisna od stabilnosti ozračja, spremenljivosti vetra v prostoru (vetrovnega striženja) in čistosti okolišnjega zraka. Nekatera onesnaževala v ozračju sodelujejo v kemijskih reakcijah, ki so lahko eden od ponorov primarnih onesnaževal. Obenem so kemijske pretvorbe vir sekundarnih onesnaževal kot je troposferski ozon, ki se ob visokih temperaturah in prisotnosti sončnega sevanja tvori iz hlapnih organskih spojin in dušikovih oksidov. Sekundarnega izvora so lahko tudi nekateri prašni delci, ki lahko nastanejo v procesu kondenzacije, koagulacije ali nukleacije.



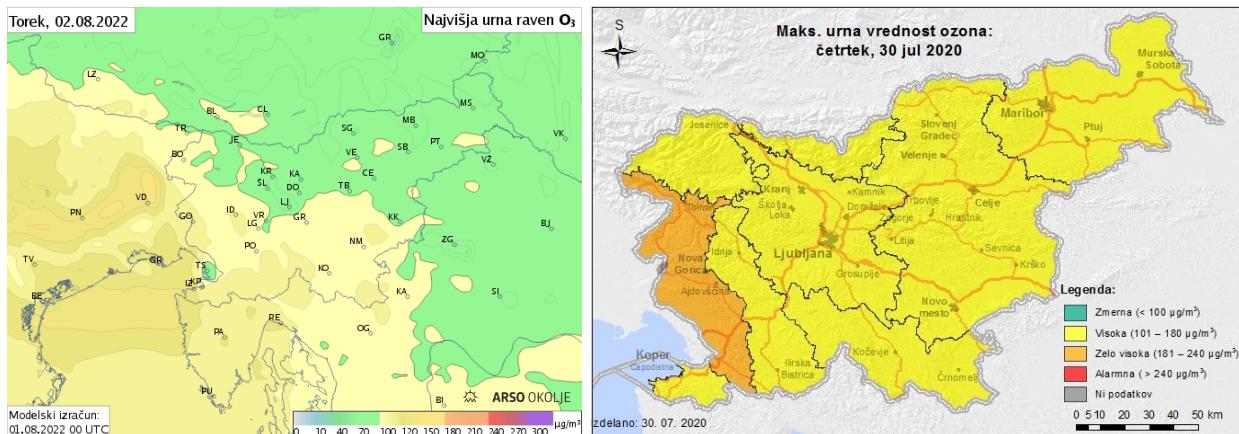
Slika 1.1: Procesi, ki vplivajo na ravni onesnaževal v ozračju.

Onesnaževala se iz ozračja izločajo tudi z usedanjem delcev težjih od zraka (suhi izpad), najbolj učinkovito se izločijo na gosto poraščenih tleh. Še bolj učinkovito je čiščenje ozračja s padavinami, pri čemer mokri izpad poteka na več načinov. Bodisi da se na onesnaževalih tvorijo oblačne in meglene kaplje ali snežinke, ki morda prerastejo v večje kaplje ali snežinke in padejo na tla, ali pa dež oziroma sneg pada skozi onesnažen zrak in ga čisti. Vsi omenjeni procesi in njihov vpliv na onesnaženost zraka so močno odvisni od vremenskih pogojev, na katere med drugim vplivajo tudi geografske značilnosti obravnovanega območja.

Evropska **zakonodaja** pokriva področje kakovosti zraka v treh tematskih sklopih. V prvi sklop sodita Direktivi 2008/50/ES [1] in 2004/107/ES [2], ki določata standarde kakovosti zunanjega zraka (mejne, ciljne, opozorilne, alarmne ter kritične vrednosti), metode ocenjevanja za različna onesnaževala in načine obveščanja javnosti v primeru prekoračitev. Drugi sklop predstavlja NEC Direktiva [3], ki določa nacionalne obveznosti zmanjšanja antropogenih izpustov snovi, ki povzročajo zakisljevanje, evtrofifikacijo in povečanje troposferskega ozona. V tretjem sklopu pa je evropska zakonodaja, ki določa standarde za industrijske izpuste, izpuste iz kurilnih naprav, cestnih vozil, delovnih strojev, standarde kakovosti transportnih vozil in energetsko učinkovitost proizvodov. Vsebina tega letnega poročila o kakovosti zraka v Sloveniji spada v področje prvega sklopa, ki ga pokrivata Direktiva 2008/50/ES o kakovosti zunanjega zraka in čistejšem zraku za Evropo [1] in Direktiva 2004/107/ES o arzenu, kadmiju, živem srebru, niklu in policikličnih aromatskih ogljikovodikih [2] v zunanjem zraku. Direktivi sta bili v slovenski pravni red prenešeni z Uredbo o kakovosti zunanjega zraka [4], Uredbo o arzenu, kadmiju, živem srebru, niklu in policikličnih aromatskih ogljikovodikih v zunanjem zraku [5] ter s Pravilnikom o ocenjevanju kakovosti zunanjega zraka [6]. Predpisane mejne in ciljne vrednosti za posamezna onesnaževala so v navedeni zakonodaji postavljene ob upoštevanju smernic WHO, vendar so v večini primerov manj stroge, saj so sprejete s političnim konsenzom vseh držav članic EU, ob upoštevanju njihove izvedljivosti. V pripravi je nova direktiva, ki bo obstoječe standarde kakovosti zunanjega zraka nadomestila s strožjimi.

Na Agenciji RS za okolje (ARSO) spremljamo kakovost zraka v Sloveniji že več desetletij. Skladno s Pravilnikom o ocenjevanju kakovosti zunanjega zraka [6] 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 meritov 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 [7], 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 dnevne napovedi ozona in delcev PM₁₀ so dnevno



Slika 1.2: Primer javnosti dostopne nove modelske napovedi dnevnega maksimuma ozona (levo) in primer stare napovedi pričakovanega razreda onesnaženosti po posameznih območjih (desno).

dostopne tudi javnosti na naših spletnih straneh. Prostorsko podrobne ocene onesnaženosti zraka (karte onesnaženja) pripravljamo s pomočjo postopkov združevanja modelskih rezultatov in meritev posameznih onesnaževalnih (angl. data-fusion). Za modeliranje disperzije onesnaževal v lokalni skali uporabljamo modelski orodji CALMET/CAMPUFF in GRAMM/GRAL. S slednjim se bomo v bližnji prihodnosti lotili tudi zahtevnejšega urbanega modeliranja.

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 prekomerne onesnaženosti zraka z delci PM_{10} ali ozona z izdajo obvestil oziroma opozoril prebivalcem omogočimo, da lahko zmanjšajo svojo izpostavljenost onesnaženemu zraku. Ob epizodah povišane onesnaženosti z delci PM_{10} želimo prebivalce tudi nagovoriti, da s svojim ravnanjem pripomorejo k nižjim izpustom onesnaževal. V ta namen dnevno izdajamo **napoved** kakovosti zraka; v zimskem času napoved ravni delcev PM_{10} , v poletnem času napoved ravni ozona. Obenem prikazujemo trenutno stopnjo onesnaženosti zraka z **indeksom** kakovosti zunanjega zraka, ki hkrati upošteva ravni več onesnaževal, in sicer delcev PM_{10} , $PM_{2,5}$, NO_2 , SO_2 in O_3 .

V tem poročilu prikazujemo rezultate meritev kakovosti zraka v letu 2021. Osredotočeni smo na onesnaževala s predpisanimi mejnimi in ciljnimi vrednostmi. V posebnem poglavju so prikazani rezultati spremeljanja 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. Za oceno prostorske slike onesnaženosti so prikazane karte onesnaženja, pripravljene s pomočjo tehnik združevanja meritev in modelskih izračunov. Pri posameznih onesnaževalih navajamo podatke o izpustih iz državnih evidenc, ki se vodijo na ARSO [8]. Več informacij o prostorsko in časovno podrobnih izpustih, ki predstavljajo enega ključnih vhodov v numerične modele onesnaženosti zraka, je zbranih v posebnem poglavju. V poročilu so dodana tudi poglavja namenjena izbranim aktualnim tematikam, kot so meritve črnega ogljika, vpliv meteoroloških lastnosti kotlin na onesnaženost zraka in trendi ter medletna variabilnost onesnaženosti zraka.

2. Vpliv meteoroloških lastnosti kotlin na onesnaženost zraka

V Sloveniji so zaradi razgibanega reliefa in lege v zavetru Alp predvsem v zimskem času pogoji za redčenje onesnaženja v zraku pogosto slabi. Izpusti škodljivih snovi lahko v hladnih mesecih v jezerih hladnega zraka ostajajo dlje časa in se lahko ob več dni trajajočih temperaturnih obratih v razmeroma majhnem volumnu zraka nabere veliko onesnaženja. Situacija je najbolj problematična v poseljenih dolinah in kotlinah, kjer je gostota prebivalstva največja in je tudi izpustov običajno največ. Zaradi neugodnih vremenskih pogojev za redčenje onesnaženja v kotlinah in dolinah razgibanega reliefa Slovenije, je skrb za čim večjo omejitve izpustov iz vseh virov onesnaženja še posebej pomembna.

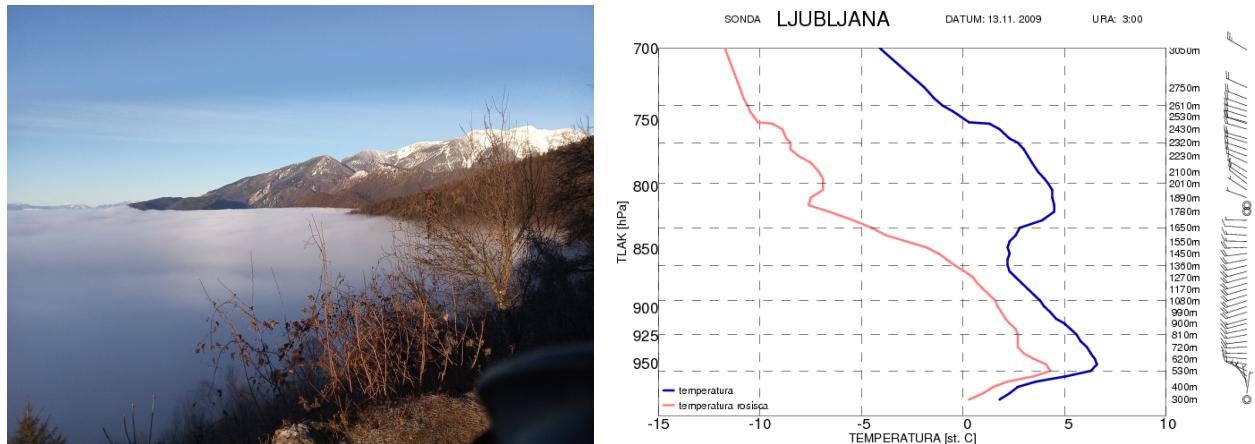
2.1 Vetrovne značilnosti Slovenije

Slovenija leži na jugovzhodnem delu Alp, katerih grebeni in vrhovi segajo do tretjine troposfere ali še višje. Ker na severni polobli v srednjih geografskih širinah prevladujejo zahodni vetrovi, predstavlja lega vzhodno od tako velikega gorovja lego v zavetru. Posledica tega je, da so vetrovi pri nas v glavnem šibki [9] in še posebej pri tleh najmočnejši komaj dosegajo hitrosti, ki so na ravninah severne Evrope običajne. Za transport in redčenje onesnaženja s turbulentno difuzijo to pomeni neugodne razmere, ko imamo lahko kljub ne takoj velikim lokalnim izpustom visoko stopnjo onesnaženosti zraka.

Poleg tega je Slovenija reliefno razgibana dežela. Nižin je bolj malo, doline in kotline so obdane s hribi. Posledično se veter, kadar je prisoten, kanalizira po dolinah in preko sedel med vrhovi. Vetrovno polje v Sloveniji je tako v prostoru močno spremenljivo. Ob t.i. radiacijskem vremenu, ko izrazitega vetra ni, oziroma so izmerjene hitrosti vetra pod 1 m/s in hkrati nebo ni oblačno, pa se v razgibanem reliefu razvijejo značilna lokalna gibanja zraka. Še posebej v hladnejših mesecih je možen spremljajoči pojav megla, v zgodnjih jutranjih urah pa tudi rosa ali slana [10]. Megla je lahko prisotna le v jutranjih urah, izjemoma v zimskih mesecih lahko vztraja preko celega dneva, ali do njenega nastanka sploh ne pride. Tipično je lepo vreme ob radiacijskih dneh poleti, z možnimi popoldanskimi plohami in nevihtami. Pozimi so to dnevi, ko je gibanje zraka pri tleh v kotlinah ločeno od splošnega gibanja zraka v prosti atmosferi. Predvsem ponoči se pozimi z okoliških pobočij v doline in kotline spušča hladen zrak. Tla se namreč v dolgih nočeh ohlajajo in z njimi se ohlaja tudi prizemni zrak, ki zaradi večje teže polzi po pobočju kotline proti njenem dnu. Kjer ni

iztoka, se zrak v dnu kotline nabira in pozimi velikokrat ohladi pod rosišče. Posledica tega je mebla, ki že tako kratkotrajnemu sončnemu obsevanju preprečuje, da bi prišlo do tal in ogrelo zrak pri tleh kotline. Nad močno ohlajenim zrakom v kotlini je zrak toplejši. Naraščanje temperature z višino (temperaturni obrat) deluje kot pokrov in ločuje zrak v kotlini od splošnih vremenskih dogajanj nad njim. V kotlini se tako kot posledica lokalnih pogojev razvijejo zelo šibka gibanja zraka, pri katerih veter zelo redko doseže hitrosti 1 m/s, običajno so vetrovi šibkejši [11]. Nad jezerom hladnega zraka je vreme običajno razmeroma toplo, suho in sončno.

Jezera hladnega zraka lahko pozimi vztrajajo tudi več dni skupaj. Poleti ob kratkih nočeh je situacija drugačna, saj se kmalu po sončnem vzhodu preko noči vzpostavljeni temperaturni obrat premeša in razkroji.



Slika 2.1: Levo: megleno jezero hladnega zraka ob temperaturnem obratu (foto: Ivan Sivec). Desno: Vertikalni potek temperature in temperature rosišča v Ljubljani na dan, ko je bilo prisotno jezero hladnega zraka, ki je segalo do višine približno 250 m nad tlemi.

Nad ravninami, ki jih je v Sloveniji sicer bolj malo, sega temperaturni obrat zaradi ohlajanja tal in prizemnega zraka preko noči običajno do debeline nekaj deset metrov. V jezerih hladnega zraka v dolinah in kotlinah sega temperaturni obrat precej više. Višina jezera hladnega zraka oziroma temperaturnega obrata nad kotlino je odvisna od odprtosti kotline, tipično sega temperaturni obrat do višine na kateri je počasen dotok enak odtekanju zraka iz kotline. V preteklosti so meritve v zimskem obdobju za Ljubljansko kotlino pokazale višino temperaturnega obrata do višine 250 m nad dnem kotline, v bistveno bolj odprti Celjski kotlini pa le okrog 110 m nad tlemi [12].

2.2 Onesnaženost zraka v dolinah in kotlinah

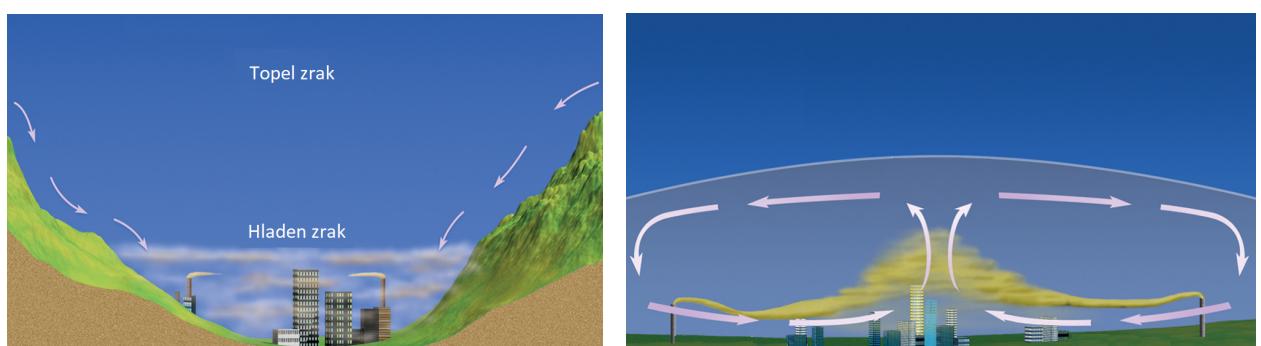
Opisane razmere pomembno vplivajo na kakovost zraka v dolinah in kotlinah, kjer se v Sloveniji nahaja večina mest, vasi in prometnic, oziroma kjer večina prebivalstva prezivi največ časa. Čeprav v primerjavi z drugimi državami v Sloveniji izpusti škodljivih snovi v zrak morda niso posebej visoki, je zaradi kopiranja onesnaževal v zaprtih dolinah in kotlinah v zimskem času lahko onesnaženost zraka tudi zelo visoka.

Ko ob prisotnosti temperaturnega obrata prihaja do izpustov onesnaženja pri tleh, se onesnaženje lahko uspešno širi in redči v višje plasti ozračja le kadar se z dimnim dvigom izpusti dvignejo dovolj visoko, da lahko pride do izmenjave z višjimi plastmi ozračja. Viri onesnaženja, ki ne prebijejo vrha temperaturnega obrata ostajajo ujeti v zračnih plasteh blizu tal (slika 2.2).



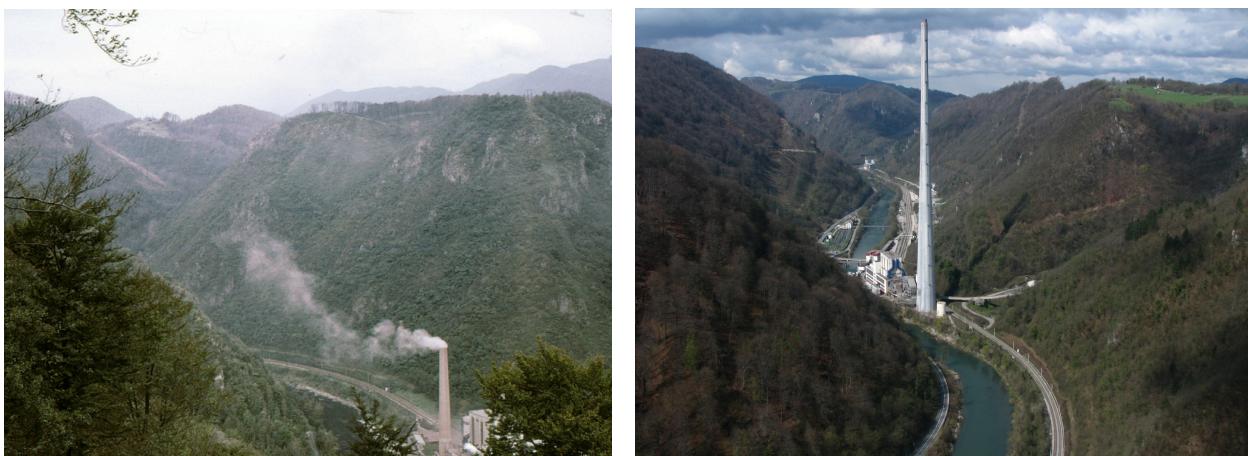
Slika 2.2: Levo: Onesnaženje iz nižjih virov ostane ujeto pod temperaturnim obratom. Desno: temperaturni obrat preprečuje dimu nadaljnje dviganje in redčenje, zato se onesnaženje kopči v plasti zraka nad tlemi [13].

Vsebnost škodljivih snovi v plasteh pod temperaturnim obratom narašča tem bolj čim večji so viri in čim manjša je kotlina oziroma prostornina zraka, v kateri se onesnaženje zadržuje. Koliko onesnaženja prenese posamezna kotlina je torej odvisno od njenih prostorskih značilnosti. Razporeditev onesnaženja znotraj kotline je z nekaj odstopanjii običajno precej homogena, nanjo pa poleg razporeditve virov onesnaženja vplivajo šibka komaj zaznavna gibanja zraka znotraj kotline. Poleg polzenja hladnega zraka po pobočjih zaradi ohlajanja v nočnem času k lokalnemu gibanju zraka prispeva tudi mesto, ki je lahko do nekaj stopinj toplejše od okolice. Posledično se toplejši zrak nad središčem mesta počasi dviga in razteka pod vrhom temperaturnega obrata ter šibko steka proti središču mesta v bližini tal (slika 2.3). Poleg območij neposredno pod vplivom večjih izpustov znotraj kotline so običajno bolj onesnažene višje zračne plasti pod vrhom temperaturnega obrata. Ob razbitju jezera hladnega zraka se onesnaženost pri tleh za kratek čas dvigne, ko zračni vrtinci prinesejo k tlom onesnaženje nakopičeno v višjih plasteh.



Slika 2.3: Gibanje zraka nad mestom v kotlini. Levo: polzenje hladnega zraka po pobočjih okoliških hribov proti dnu kotline. Desno: šibko kroženje zraka kot posledica toplejšega mestnega jedra.

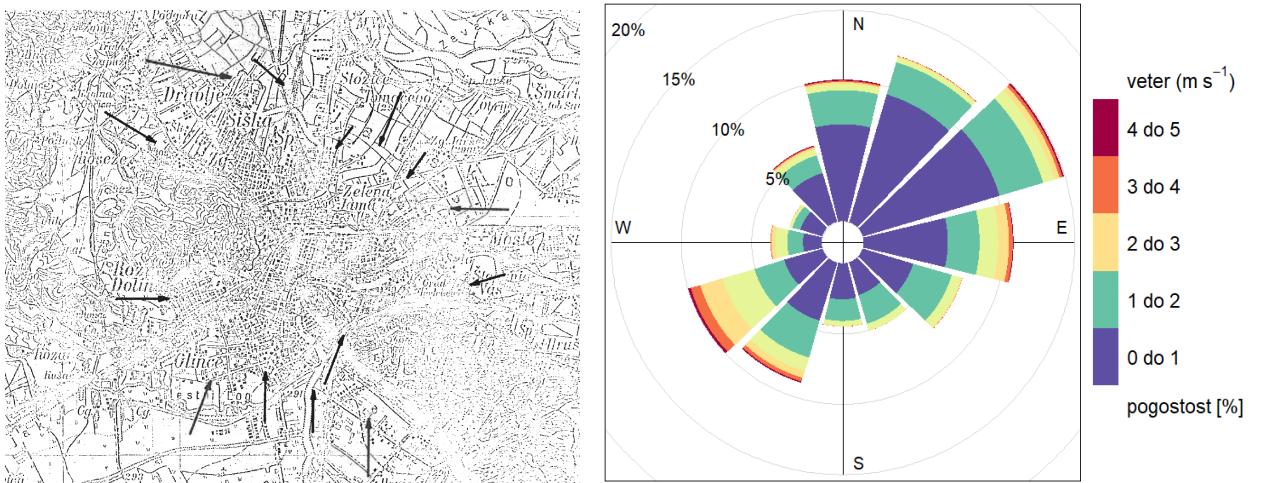
Eden od ukrepov za zmanjšanje škodljivega vpliva izpustov v neposredni okolici vira onesnaženja je tudi postavitev dovolj visokega odvodnika. V izjemnih primerih tako visokega, da prebije višino temperaturnega obrata. Znan je primer Trboveljske Termoelektrarne (TET), kjer so zaradi uporabe premoga z visoko vsebnostjo žvepla in neugodne lokacije na dnu doline reke Save okoliški gozdovi začeli pospešeno propadati [12]. Ogroženo je bilo tudi prebivalstvo, izmerjene polurne ravni SO_2 v višjih zaselkih doline Save so presegale območje merilnika $20.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (mejna urna vrednost za zaščito zdravja ljudi danes je $350 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Situacijo so rešili z dvigom dimnika. Meritve vertikalnih potekov temperature so pokazale, da temperaturni obrat v Zasavju sega celo do višine 320 m in da je prisoten kar 30 % časa v letu. Na podlagi izračunov za upoštevanje dimnega dviga so se odločili za izgradnjo 360 m visokega dimnika, najvišjega v Evropi (slika 2.4). Po postavitvi tako visokega odvodnika so dimni plini prebijali temperaturni obrat in vpliv TET na dolino Save je postal zanemarljiv, prebivalstvo v višjih legah Zasavja pa je bilo tudi ob najbolj neugodnih vremenskih pogojih bistveno manj ogroženo kot prej [12].



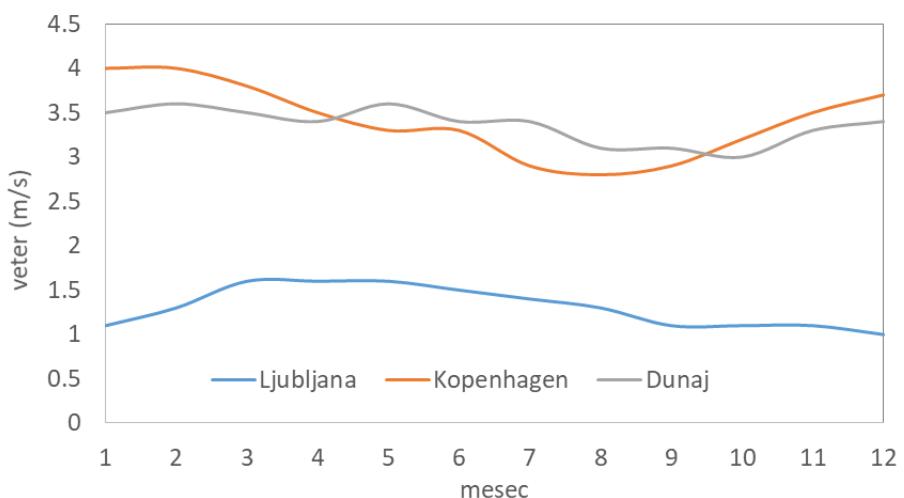
Slika 2.4: Levo: prvotno zgrajen 80 m visok dimnik Termoelektrarne Trbovlje v dolini reke Save leta 1968. Desno: pogled na povišan 360 m visok dimnik, zgrajen leta 1976. [12]

2.3 Kakovost zraka v Ljubljani

Kot primer v nadaljevanju nekoliko podrobnejše predstavljamo situacijo v Ljubljani. Mesto Ljubljana leži v kotlini, kjer se ob radiacijskem vremenu razvije značilna zgoraj opisana vremenska dinamika, s sistemom nad kotlino, ki je zaprt in ločen od splošnega gibanja zraka. Predvsem pozimi se pod temperaturnim obratom razvije samostojna cirkulacija zraka, pri tleh navadno proti središču mesta zaradi toplotnega otoka oziroma toplejšega mestnega jedra glede na okolico [11]. To gibanje je zelo šibko, primer indirektno določenega gibanja preko smeri ivja v Ljubljani je prikazan na sliki 2.5 (levo). Ponoči in dopoldne pozimi je lahko šibko kroženje edino gibanje zraka, popoldne pa se lahko zaradi ogrevanja severnih pobočij Ljubljanske kotline okrepi južna komponenta vetra, pri čemer je v samem mestu gibanje zraka močno kanalizirano v smeri ulic. Roža vetrov na lokaciji ARSO, na višini 22 metrov nad tlemi, je prikazana na sliki 2.5 (desno), kjer opazimo prevladujoč šibek veter severovzhodnih smeri.



Slika 2.5: Levo: vpliv topotnega otoka na šibko gibanje zraka v Ljubljani. Smeri in dolžine vektorjev so določene na podlagi smeri in debeline ivja [11]. Desno: vetrovna roža na lokaciji Ljubljana Bežigrad, 22 m nad tlemi na strehi stavbe Agencije RS za okolje, v obdobju let 2012 do 2021.

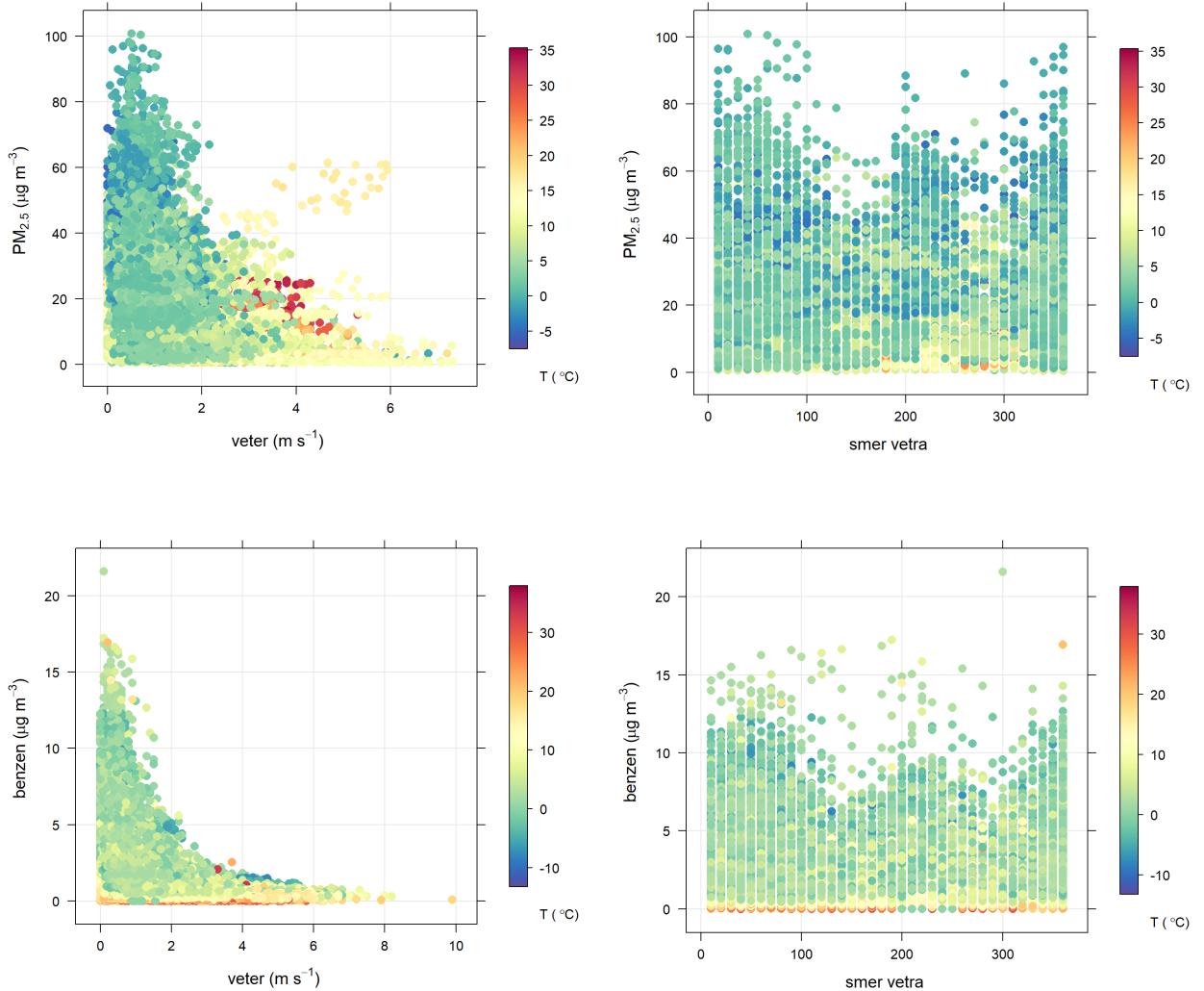


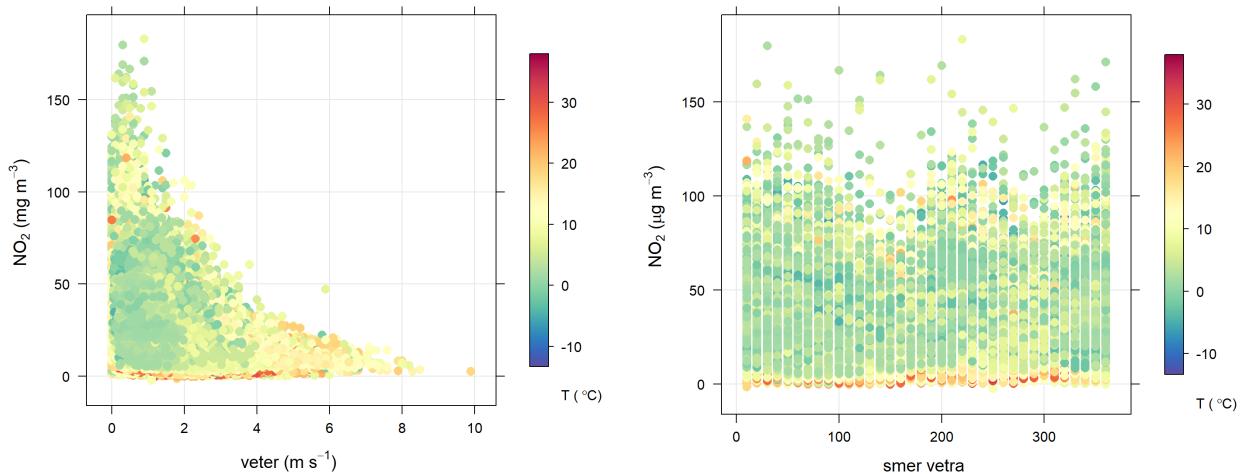
Slika 2.6: Primerjava povprečne mesečne jakosti vetra v Ljubljani s povprečno mesečno jakostjo vetra v København in na Dunaju v obdobju od leta 2014 do 2021.

V primerjavi z mesti severne Evrope je Ljubljana bistveno slabše prevetrena. Slika 2.6 prikazuje povprečno izmerjeno mesečno jakost vetra v Ljubljani, København in na Dunaju. Povprečna letna jakost vetra v Ljubljani na merilnem mestu Bežigrad je 1,3 m/s, kar je približno trikrat šibkejši veter kot v København ali na Dunaju. Meteorološki pogoji za redčenje onesnaženja so torej v Ljubljani zaradi šibke prevetrenosti bistveno bolj neugodni.

Seveda so v Ljubljani kot posledica večje gostote prebivalstva in različnih dejavnosti prisotni mnogi viri onesnaženja, ki kumulativno prispevajo k slabši kakovosti zraka. Zgodovinsko gledano je bila v 60. letih 20. stoletja iz tega razloga Ljubljana med mesti z najbolj onesnaženim zrakom na svetu [14], tako so kazale takratne meritve SO_2 in dima. Onesnaženost zraka z SO_2 se je nato v 80. letih začela hitro zmanjševati, v drugi polovici 90. let in po letu 2000 pa je po zaslugi menjave energentov in daljinskega ogrevanja močno upadla, a so postala problematična druga onesnaževala kot so dušikovi oksidi, ozon in delci. Zadnja leta so, kot je razvidno tudi iz tega

letnega poročila, ravni onesnaženja v Ljubljani skladne s standardi kakovosti zunanjega zraka. Še vedno pa je lahko kakovost zraka v Ljubljani občasno slaba, predvsem ob prisotnosti dlje časa trajajočega temperaturnega obrata zaradi katerega onesnaženje ostaja ujeto v kotlini.





Slika 2.7: Ljubljana, povezava med parametri kakovosti zraka ($\text{PM}_{2,5}$, benzen, NO_2) in meteorološkimi parametri (smer in hitrost vetra, temperatura). Podatki so 10 oziroma 30 minutni za leta 2019 do 2021.

Povezava med nekaterimi parametri kakovosti zraka in vetrom v Ljubljani je za obdobje let 2019 do 2021 prikazana na sliki 2.7. Najvišje ravni onesnaženja se tipično pojavljajo ob šibkem vetrju različnih smeri, nekoliko morda pri ekstremih izstopajo vzhodna, severovzhodna in južna smer. Do najvišjih ravni onesnaženja prihaja pri hitrosti vetra do 1 m/s, izjemoma do 2 m/s, medtem ko so pri hitrosti vetra 4 m/s in več ravni onesnaženja običajno že zelo nizke. Občasno lahko do večje onesnaženosti pride zaradi kratkotrajnega transporta onesnaženega zraka z močnejšimi vetrovi, kot je bilo v letu 2021 zabeleženo v primeru delcev $\text{PM}_{2,5}$ dne 20. oktobra 2021 (slika 2.7). Tega dne so razmeroma visoke ravni delcev $\text{PM}_{2,5}$ prinesli močnejši vetrovi iz zahoda, morda celo iz vulkana na La Palmi, katerega oblak SO_2 je ravno ta dan v višjih zračnih plasteh prešel Slovenijo. Razen tovrstnih izrednih dogodkov bi torej ob nespremenjenih izpustih onesnaženja v mestu in in jakosti vetra kot je značilna za Dunaj ali København v Ljubljani predvidoma imeli bistveno čistejši zrak.

3. Trendi in medletna variabilnost onesnaženosti zraka

V tem poglavju so podrobneje obravnavani trendi in vzroki za medletno variabilnost onesnaženosti zraka z delci PM₁₀ in ozonom, onesnaževali, ki sta v zadnjih dveh desetletjih v Sloveniji z vidika doseganja zakonodajnih zahtev predstavljali največji izviv na področju kakovosti zraka. Izmerjene ravni so na izbranih merilnih mestih obravnavane od leta 2005 dalje tako z vidika podatkov o letnih izpustih primarnih onesnaževal kot z vidika meteoroloških razmer, ki vplivajo na širjenje, redčenje in izpiranje onesnaževal iz ozračja. Ker je onesnaženost zraka z delci PM₁₀ problematična v zimskem času, onesnaženost z ozonom pa v poletnem, so temu prilagojena tudi obdobja medletne primerjave meteoroloških pogojev. Obravnavan je tudi niz onesnaženosti zraka z dušikovim dioksidom, ki v mnogih državah Evropske unije velja za problematično onesnaževalo medtem ko v Sloveniji zakonodajno predpisane mejne vrednosti na merilnih mestih DMKZ niso presežene.

V nadaljevanju so najprej povzete značilnosti časovnih trendov izpustov primarnih virov onesnaženja, nato so obravnavane izmerjene ravni onesnaženosti zraka, ki ne kažejo nujno enakega časovnega trenda in spremenljivosti kot jo kažejo izpusti. Razlogov za to je več. Prvič, izmerjena onesnaženost zraka ni samo posledica primarnih izpustov pač pa je velik tudi prispevek sekundarnega onesnaženja. Ozon na primer je sekundarno onesnaževalo, ki se tvori v ozračju ob ugodnih pogojih predvsem iz hlapnih organskih spojin in dušikovih oksidov. Pri delcih precejšen delež sicer prispevajo primarni delci, poleg tega pa v ozračju nastajajo tudi sekundarni delci iz primarnih plinastih onesnaževal kot so SO₂, NO_x, NH₃ in hlapne organske spojine. Drugič, meritve ne ločijo onesnaženosti, ki je posledica bližnjih virov onesnaženja od prispevka transporta onesnaženih zračnih mas od drugod. Tretjič na izmerjene ravni onesnaževal v zraku močno vplivajo vremenski pogoji, pri čemer se izpusti pri tleh lahko ob neugodnih razmerah dolgo zadržujejo v nižjih zračnih plasteh, izpusti iz visokih odvodnikov pa se lažje redčijo v prosto atmosfero in manj neposredno vplivajo na kakovost zraka v bližini tal. Četrtič večina merilnih mest je locirana tako, da so meritve reprezentativne za čim večja območja oziroma čim večji delež prebivalstva in ne pokrijejo vseh različnih prispevkov primarnih izpustov onesnaževal na nivoju države.

3.1 Izpusti primarnih onesnaževal

Podrobnejši podatki o letnih izpustih primarnih onesnaževal v Sloveniji so predstavljeni na začetku posameznih poglavij tega poročila. V tem poglavju smo osredotočeni le na trende in vzroke za medletno variabilnost. Tabela 3.1 prikazuje skupni odstotek zmanjšanja izpustov v Sloveniji v obdobju med letom 2005 in 2020 za nekatera onesnaževala, izračunan na podlagi trendne črte za to obdobje.

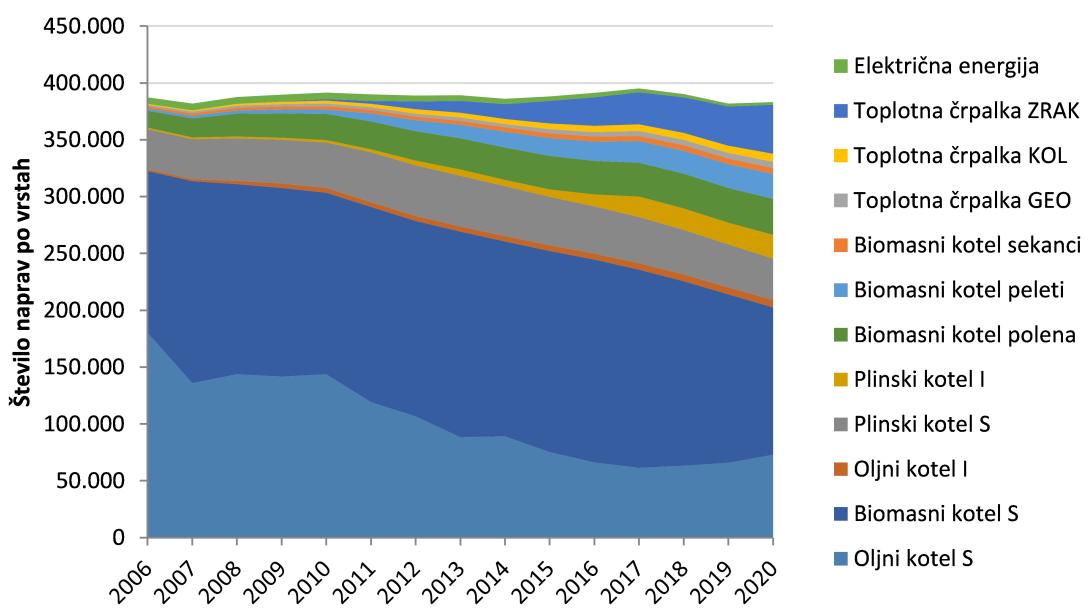
Tabela 3.1: Odstotek zmanjšanja skupnih izpustov na območju Slovenije v obdobju med 2005 in 2020. Izračuni so bili narejeni na podlagi trendne črte za obravnavano obdobje.

Onesnaževalo	NO _x	PM ₁₀	PM _{2,5}	NMVOC	CO
% zmanjšanja	-55	-48	-38	-41	-49

Gledano odstotkovno so se v obravnavanem obdobju najbolj zmanjšali skupni izpusti NO_x, in sicer kar za 55 % (tabela 3.1, slika 11.1). Na državnem nivoju k izpustom NO_x največ prispeva cestni promet. Do največjega zmanjšanja izpustov je prišlo v sektorjih *Cestni promet in Proizvodnja elektrike in toplice*. V cestnem prometu so se izpusti zmanjšali zaradi strožjih emisijskih standardov za motorna vozila, v letu 2020 pa je bila nekoliko nižja tudi skupna poraba goriv v tem sektorju, kar je posledica ukrepov zaradi širjenja COVID-a. Zmanjšanje izpustov iz sektorja *Proizvodnja elektrike in toplice* je posledica zaprtja Termoelektrarne Trbovlje in instalacije DeNO_x naprav v Termoelektrarni Šoštanj. Zmanjšali so se tudi izpusti NO_x v necestnem prometu predvsem kot posledica strožjih emisijskih standardov za traktorje. Na sliki 11.1 vidimo postopno upadanje izpustov NO_x v celotnem obdobju 2005 do 2020 z izjemo leta 2008, ko so bili predvsem izpusti cestnega prometa višji kot leto prej in zatem. Leto 2008 je iz vidika izpustov posebno, saj je bila prodaja goriv največja v celotnem opazovanem obdobju v veliki meri zaradi velike prodaje goriv tujim vozilom, kot posledica nižje cene v primerjavi s sosednjimi državami. Prodaja tujim vozilom je predstavljala kar 23 % prodaje goriv v Sloveniji, kar je najvišji odstotek v obdobju od 2005 do 2020.

Nekoliko manj so se zmanjšali skupni izpusti primarnih delcev (tabela 3.1, sliki 8.1 in 8.3), in sicer za 48 % v primeru PM₁₀ in 38 % v primeru PM_{2,5}. Izpusti primarnih delcev so v največji meri posledica kurjenja lesne biomase v malih kuriščih (gospodinjstvih). Kar 99 % primarnih delcev v sektorju *Raba goriv v gospodinjstvih in storitvenem sektorju*, ki prispeva največ izpustov primarnih delcev tako PM₁₀ kot PM_{2,5}, je namreč posledica kurjenja lesa. Raba lesne biomase se za namen statistike rabe energije v gospodinjstvih in ocene primarnih izpustov izračunava modelsko na Inštitutu Jožef Štefan [15]. V modelu se upošteva gibanje uporabne površine stanovanj, strukturo stanovanj glede na razred energetske učinkovitosti, ki se spreminja z novogradnjami in s prenovami stavb, ter strukturo naprav, ki se uporablajo za pripravo toplice za ogrevanje in toplo vodo, ki se spreminja z nakupom novih naprav. Model upošteva tudi pojav kombiniranih kotlov, ki omogočajo menjavanje lesne biomase in kurielnega olja, kar v odvisnosti od cene kurielnega olja močno vpliva na medletno spremenjanje rabe lesne biomase. Hkrati se v izračunu upošteva tudi temperaturni primanjkljaj, ki pove kako hladno je bilo določeno leto, pa tudi faktor obnašanja prebivalcev. Vse navedeno vpliva na to, da se poraba lesa v gospodinjstvih spreminja, trend v obdobju pa je zaradi povečanja energetske učinkovitosti stavb in zamenjave starih naprav na lesno biomaso z novimi

bolj učinkovitimi ter toplotnimi črpalkami padajoč. To vpliva tudi na ocenjene primarne izpuste delcev zaradi ogrevanja z lesno biomaso. Na slikah 8.1 in 8.3 opazimo trend počasnega upadanja, pa tudi precejšnjo medletno variabilnost izpustov primarnih delcev. Na trend vpliva obnavljanje stavb, zaradi česar se od leta 2011 dalje potrebna energija za ogrevanje zmanjšuje med 1 in 2 % letno. Pred letom 2011 se je rahlo povečevala, saj je bilo obnov malo oziroma niso prinesle dovolj velikega zmanjšanja rabe energije. Na trend upadanja izpustov primarnih delcev zaradi kurjenja lesa vpliva tudi število gospodinjstev, ki uporabljajo les in struktura naprav. Čeprav so ocene le teh povezane z veliko negotovostmi, se je v preteklem obdobju število starih kotlov na les zmanjševalo zaradi uporabe sodobnejših kotlov na les (pelati, polena) in tudi toplotnih črpalk (slika 3.1).



Slika 3.1: Število naprav po različnih tipih v enodružinskih stavbah, ki se uporabljajo za pripravo toplote za ogrevanje in centralno pripravo tople vode [15]. Električna energija – kotli na električno energijo, Plinski (Oljni) kotel I – izboljšan plinski (oljni) kotel oz. kondenzacijski ali nizkotemperaturni kotel, Plinski (Oljni) kotel S – standarden plinski (oljni) kotel, Biomasni kotel S – star neučinkovit kotel na polena, Toplotna črpalka ZRAK – Toplotna črpalka zrak/voda, Toplotna črpalka KOL – topotna črpalka s horizontalnim kolektorjem (zemlja/voda), Toplotna črpalka GEO – topotna črpalka z geosondo oz. vertikalnim zemeljskim kolektorjem (voda/voda ali zemlja/voda), Biomasni kotel – polena – sodoben učinkovit kotel na polena.

Medletna variabilnost izpustov zaradi kurjenja lesne biomase je v veliki meri povezana s temperaturnim primanjkljajem. Tako je denimo izrazit upad izpustov delcev leta 2014 posledica izredno toplega leta, torej manjšega temperaturnega primanjkljaja in posledično zmanjšane potrebe po ogrevanju.

Za razliko od izpustov primarnih delcev PM_{2,5}, kjer glavnino izpustov prispeva sektor *Raba goriv v gospodinjstvih in storitvenem sektorju* (74 % v letu 2020, slika 8.3), je pri izpustih primarnih delcev PM₁₀ precejšen tudi prispevek sektorja *Industrijski procesi in raba topil* (26 % v letu 2020, slika 8.1). Eden najpomembnejših virov delcev PM₁₀ v industriji je gradnja cest. Medletna nihanja izpustov delcev PM₁₀ iz sektorja *Industrijski procesi in raba topil* so posledica razlik v aktivnosti gradnje cest. Po podatkih OPS (Odperti Podatki Slovenije, Direkcija za infrastrukturo) je bilo od 2011 dalje

zgrajenih veliko manj cest, zato tudi toliko nižji izpusti iz tega sektorja. Tako je bil denimo razlog za nižje izpuste delcev PM₁₀ leta 2009 glede na leti 2008 in 2010 manj zgrajenih cest. Tudi povečani izpusti delcev PM₁₀ leta 2020 glede na leto 2019 so posledica povečane aktivnosti v gradnji cest.

Ozon kot sekundarno onesnaževalo nima neposrednih virov onesnaženja, pač pa nastaja v ozračju predvsem iz dušikovih oksidov in nemetanskih hlapnih organskih spojin (NMVOC), pa tudi iz ogljikovega monoksida (CO) pri visokih temperaturah in dovolj sončnega sevanja. V obdobju med letoma 2005 in 2020 so se izpusti NMVOC zmanjšali za 41 %, izpusti CO pa za 49 % (tabela 3.1). K izpustom CO največ prispevajo izpusti gospodinjstev in cestni promet, prispevek obeh se je v tem obdobju pomembno zmanjšal. Pri NMVOC je glavni vir izpustov raba topil, sledi zgorevanje lesne biomase v gospodinjstvih in nato kmetijstvo. Tudi pri izpustih NMVOC, še bolj pa pri CO, je poleg trenda upadanja zaznati medletno variabilnost. Izstopa vpliv temperaturnega primanjkljaja na izpuste gospodinjstev zaradi ogrevanja v času zimske sezone, tudi v tem primeru je opazen upad izpustov na primer leta 2014 kot posledica nadpovprečno tople zime.

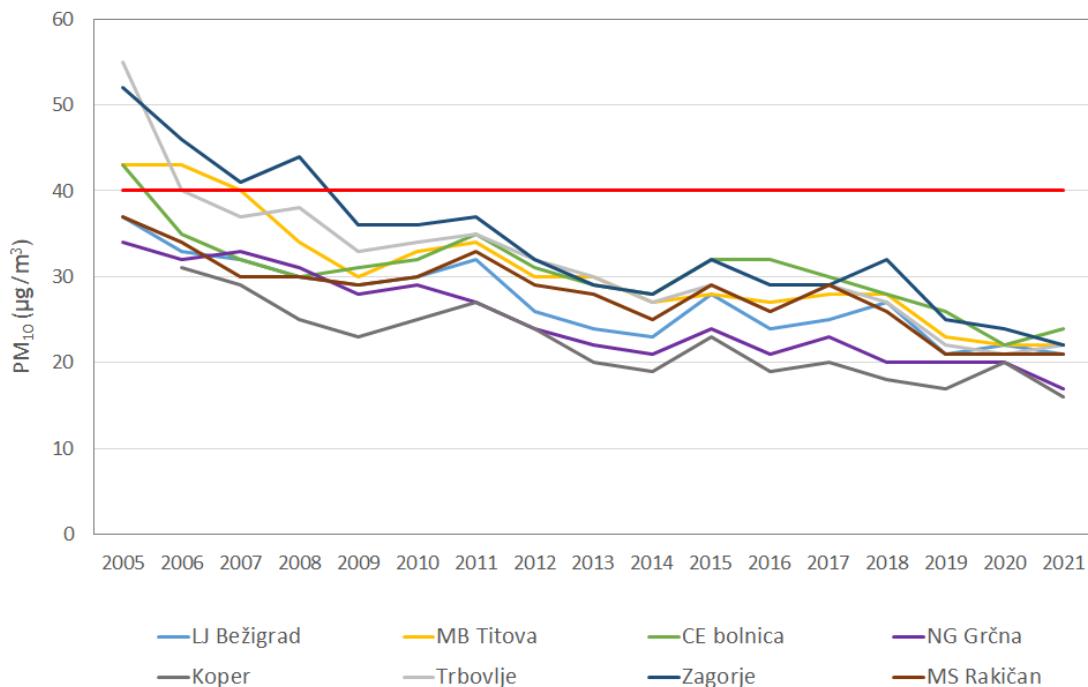
3.2 Onesnaženost z delci PM₁₀

Meritve ravni onesnaženosti z delci PM₁₀ po posameznih merilnih mestih kažejo v obdobju med letoma 2005 in 2021 povprečni trend upadanja med 32 % in 51 % za letno povprečje in med 51 % in 87 % za število preseganj dnevne mejne vrednosti (tabela 3.1, slike 3.2 in 3.3). Najbolj se je onesnaženost zraka z delci PM₁₀ zmanjšala v Trbovljah, Zagorju in Mariboru. Od leta 2019 dalje na nobenem merilnem mestu v Sloveniji ni bilo preseženo dovoljeno število preseganj dnevne mejne vrednosti. Pred letom 2019 so bile vsako leto več kot 35-krat presežene mejne vrednosti na enem ali več merilnih mest. Letno povprečje od leta 2009 dalje nikjer več ne presega mejne vrednosti 40 µg/m³.

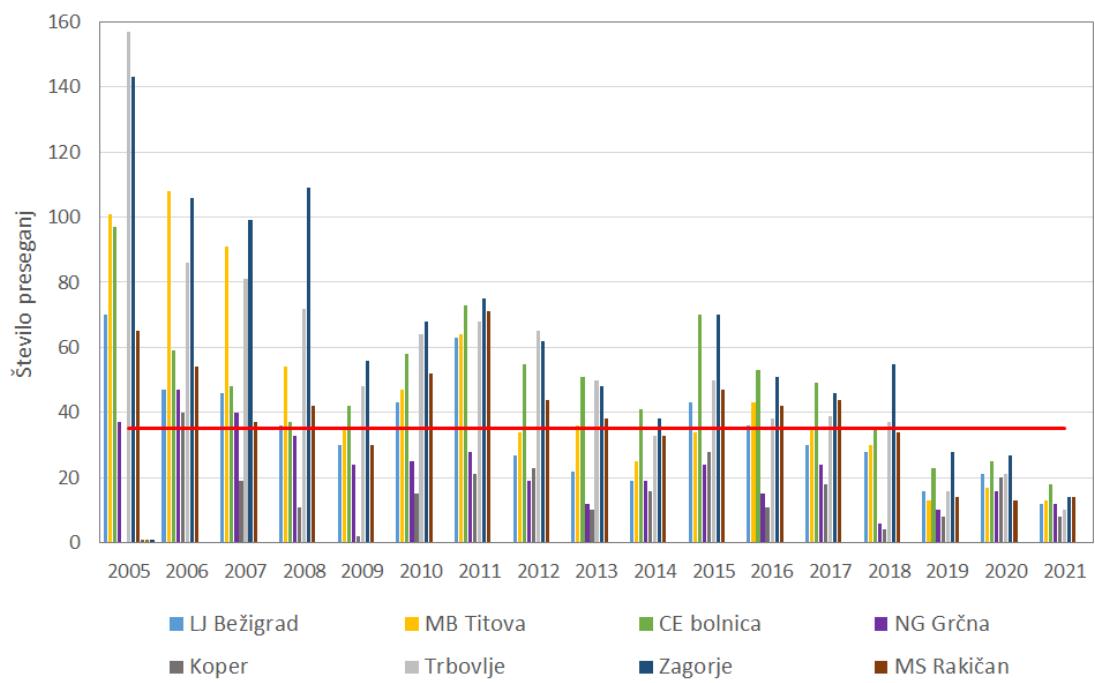
Poleg trenda izboljšanja kakovosti zraka opazimo tudi precejšnjo medletno spremenljivost, ki je posledica vremenskih razmer. Le te predvsem v času kurične sezone močno vplivajo na to kako onesnažen je zrak in kako pogosto prihaja do preseganj dnevne mejne vrednosti za delce PM₁₀. Tako je bila posledica izrazito nižjega temperaturnega primanjkljaja v času kurične sezone leta 2014 (slika 3.4) zmanjšanje izpustov zaradi manjše potrebe po ogrevanju in posledično je bilo manj tudi preseganj dnevne mejne vrednosti kot leta prej in potem. Po drugi strani je bilo leta 2011 in 2015 zaradi pogostejših in bolj izrazitih temperaturnih inverzij, manjše količine padavin in manjšega števila padavinskih dni v času kurične sezone (slika 3.4) zaradi večje akumulacije onesnaženja v plasti zraka pri tleh izmerjenih več preseganj dnevne mejne vrednosti (slika 3.3).

Tabela 3.2: Delež zmanjšanja (v %) letnega povprečja in števila preseganj dnevne mejne vrednosti delcev PM₁₀ v obdobju med 2005 in 2021 po posameznih merilnih mestih. Izračuni so narejeni na podlagi trendne črte za obravnavano obdobje.

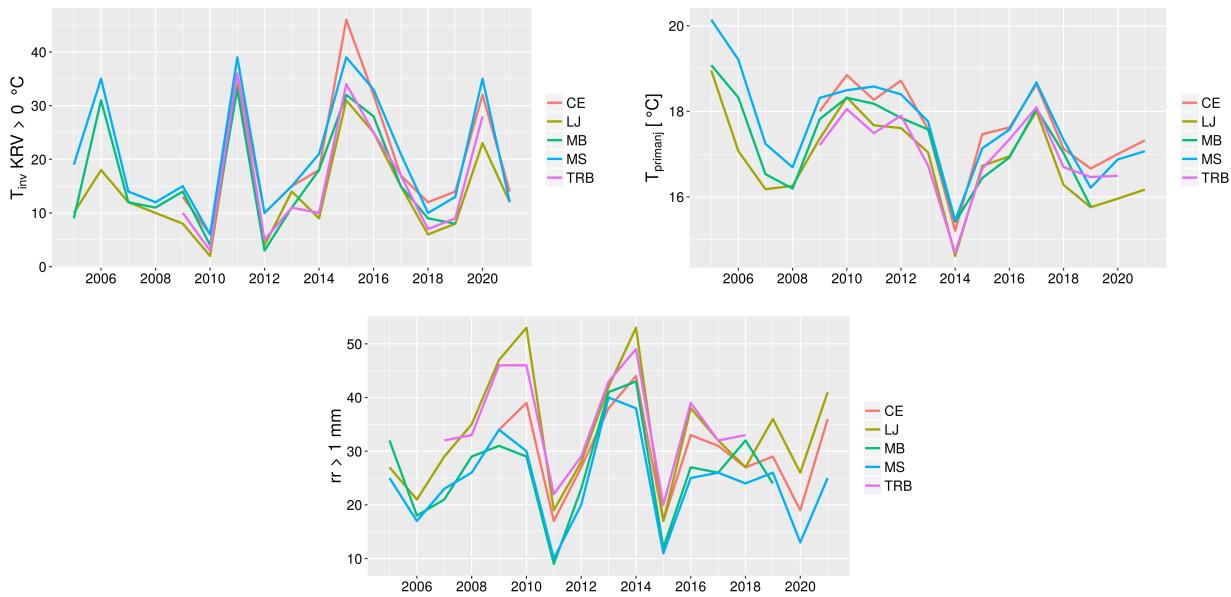
	LJ Bežigrad	MB Titova	CE bolnica	MS Rakičan	Trbovlje	Zagorje	Koper	NG Grčna
letno povprečje	-38	-46	-32	-35	-52	-51	-43	-47
število preseganj	-66	-87	-57	-60	-87	-80	-51	-76



Slika 3.2: Letno povprečje delcev PM_{10} po posameznih merilnih mestih v obdobju med 2005 in 2021.



Slika 3.3: Število preseganj dnevne mejne vrednosti za delce PM_{10} po posameznih merilnih mestih v obdobju med 2005 in 2021.



Slika 3.4: Število dni s temperaturno inverzijo med merilnim mestom in Krvavcem, povprečni temperaturni primanjkljaj in število padavinskih dni za mesece november, december, januar in februar po posameznih letih v obdobju med 2005 in 2021.

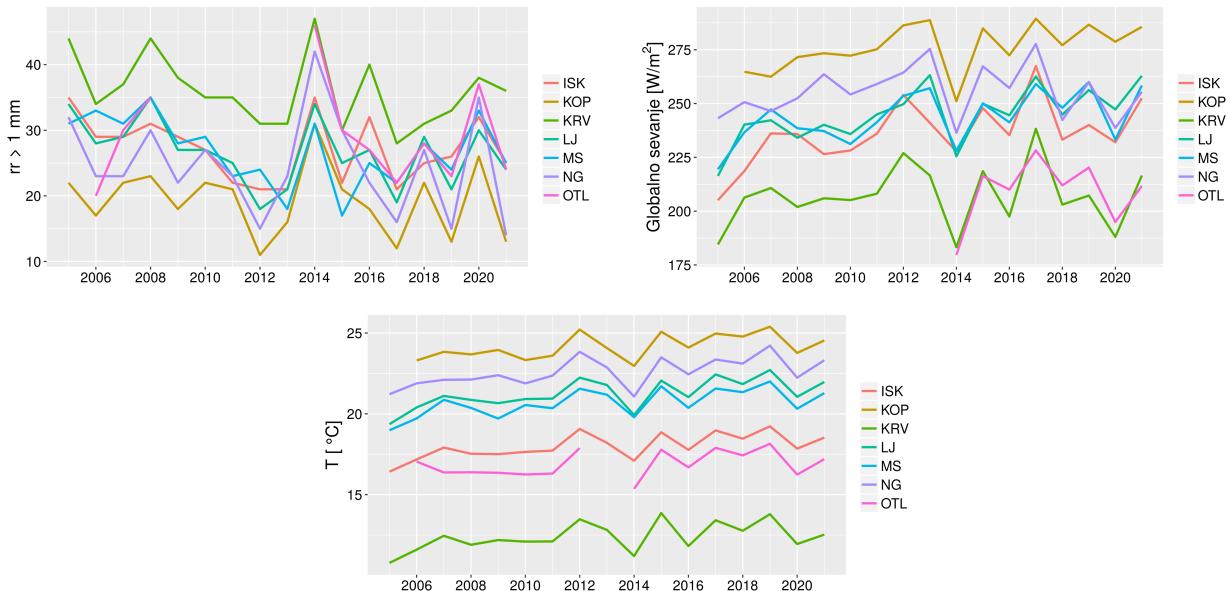
3.3 Onesnaženost z ozonom

Meritve ravni onesnaženosti z ozonom po posameznih merilnih mestih v obdobju med letoma 2005 in 2021 na letnem povprečju ne kažejo izrazitega trenda upadanja ali rasti (tabela 3.3). Največji padec letnega povprečja je opaziti na Otlici, 9 %, le nekoliko manjši na Krvavcu in Iskrbi, 8 %, najvišji trend rasti pa v Novi Gorici, 8 %. Ker je ozon sekundarno onesnaževalo z izrazitim dnevnim in letnim hodom, je bolj kot letno povprečje merodajen trend števila preseganj 8-urne ciljne vrednosti, kjer pa je trend upadanja zelo izrazit na vseh merilnih mestih. Največji padec števila presegaj 8-urne ciljne vrednosti je opaziti na Iskrbi, 76 %, najmanjši padec pa v Novi Gorici, 11 % (tabela 3). Število preseganj urne opozorilne vrednosti v letu je premajhno, da bi bilo smiselno računati trend, ne glede na to lahko na upadanje sklepamo vizuelno na podlagi slike 3.7.

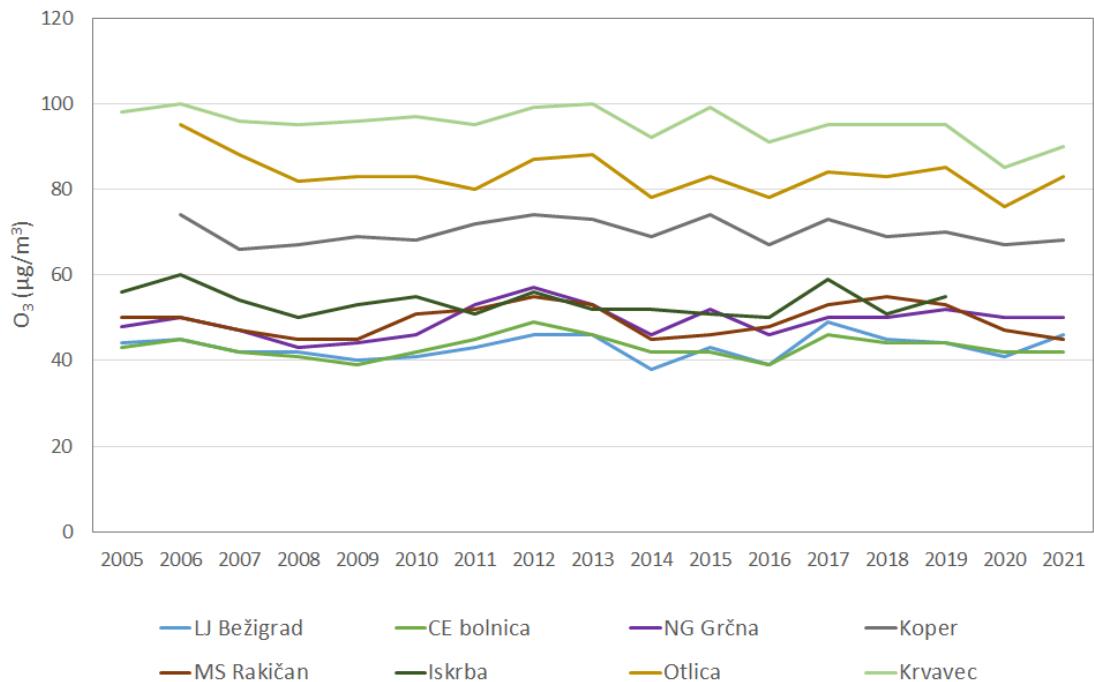
Tudi pri ozonu je medletna variabilnost posledica spremenljivih vremenskih razmer. Za učinkovito tvorbo ozona so potrebne visoke temperature in dovolj sončnega sevanja, hkrati je potrebno obdobje dalj časa trajajočega lepega mirnega vremena brez padavin, ki omogoča, da se v zračnih masah nabere dovolj predhodnikov ozona. Na slika 3.7 in 3.8 opazimo manjše število preseganj leta 2014, 2016 in 2020. Predvsem leta 2014, podobno pa tudi leta 2016 in 2020, je bilo v poletnem času več padavin oziroma padavinskih dni, manj globalnega sevanja in nekoliko nižja povprečna temperatura (slika 3.5), kar je bil razlog da v teh letih ni bilo izmerjenih preseganj urne opozorilne vrednosti in je bilo število preseganj 8-urne ciljne vrednosti za ozon manjše.

Tabela 3.3: Delež zmanjšanja (v %) letnega povprečja in števila preseganj dnevne maksimalne 8-urne vrednosti ozona v obdobju med 2005 in 2021 po posameznih merilnih mestih. Izračuni so narejeni na podlagi trendne črte za obravnavano obdobje.

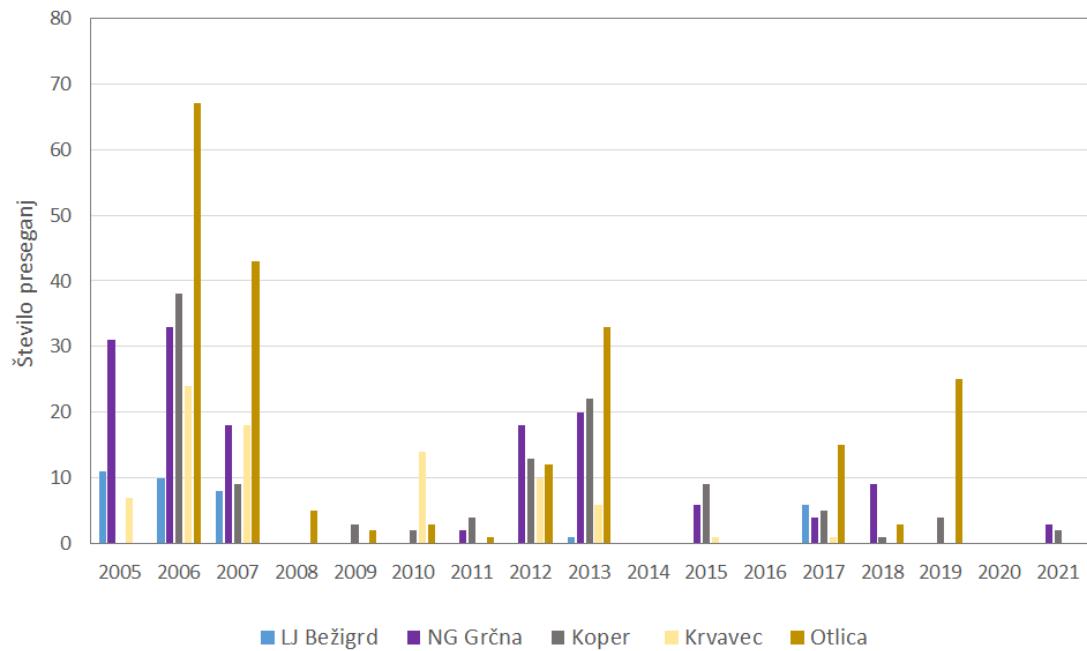
	LJ Bežigrad	Otlica	CE bolnica	MS Rakičan	Izkrba	Krvavec	Koper	NG Grčna
letno povprečje	3	-9	0	2	-8	-8	-1	8
število preseganj	-38	-48	-69	-46	-75	-45	-26	-11



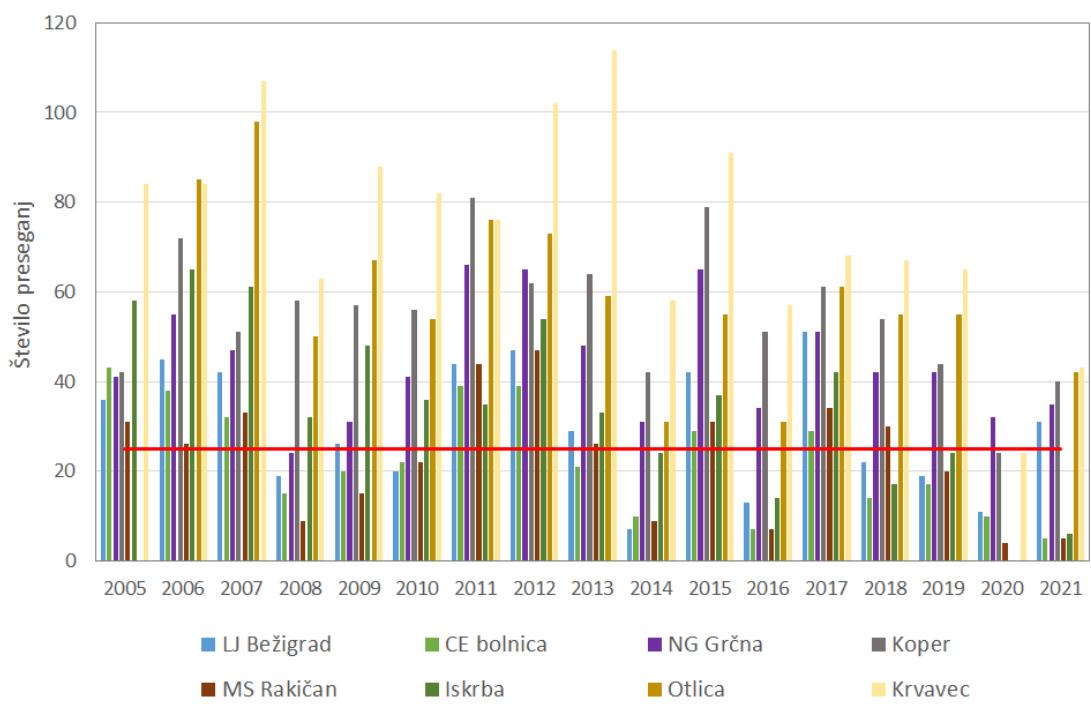
Slika 3.5: Število padavinskih dni, globalno sevanje in povprečna izmerjena temperatura za mesece junij, julij in avgust po posameznih letih v obdobju med 2005 in 2021.



Slika 3.6: Letno povprečje ozona po posameznih merilnih mestih v obdobju med 2005 in 2021.



Slika 3.7: Število preseganj urne opozorilne vrednosti za ozon po posameznih merilnih mestih v obdobju med 2005 in 2021.



Slika 3.8: Število preseganj maksimalne dnevne 8-urne ciljne vrednosti po posameznih merilnih mestih v obdobju med 2005 in 2021.

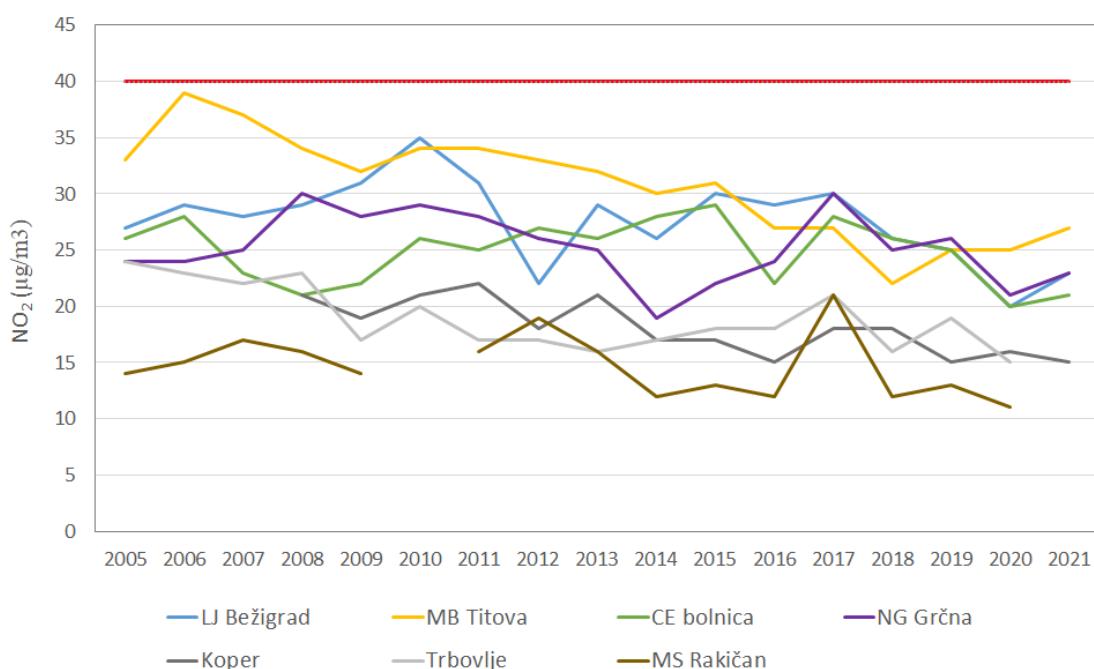
3.4 Onesnaženost z dušikovim dioksidom

Meritve ravni onesnaženosti z dušikovim dioksidom v obdobju med letoma 2005 in 2021 na letnem povprečju kažejo trend upadanja na vseh merilnih mestih. Najbolj izrazito izboljšanje je opaziti v Mariboru, za 34 %, najmanj pa v Celju, 6 % (tabela 3.4), kar je torej okvirna ocena zmanjšanja onesnaženosti zraka z NO_2 na urbanih območjih v Sloveniji. Na vseh merilnih mestih je znižanje ravni onesnaženosti manjše kot bi pričakovali samo na podlagi zmanjšanja izpustov NO_x na nivoju države, ki je bilo v tem obdobju kar 55 % (tabela 3.1) in je posledica nižjih izpustov prometa in termoelektrarn.

Ravni onesnaženosti z NO_2 kažejo tudi precejšnjo medletno variabilnost (slika 3.9), ki se od merilnega mesta do merilnega mesta spreminja. Onesnaženost zraka z NO_2 ima značilen letni in dnevni hod, ki se v povprečni letni vrednosti izgubi. Do neke mere na letno povprečje sicer vplivajo splošni meteorološki pogoji, še večji vpliv pa imajo lokalne vremenske razmere in dinamika izpustov v neposredni bližini merilnega mesta. Preseganj mejnih vrednostih na merilnih mestih DKMZ pri NO_2 v obravnavanem obdobju od leta 2005 dalje tudi v letih s slabšimi vremenskimi pogoji ni bilo.

Tabela 3.4: Delež zmanjšanja (v %) letnega povprečja NO_2 v obdobju med 2005 in 2021 po posameznih merilnih mestih. Izračuni so narejeni na podlagi trendne črte za obravnavano obdobje.

	LJ Bežigrad	MB Titova	CE bolnica	MS Rakičan	Trbovlje	Koper	NG Grčna
letno povprečje	-19	-34	-6	-17	-29	-32	-11



Slika 3.9: Letno povprečje NO_2 po posameznih merilnih mestih v obdobju 2005 do 2021.

4. Ocenjevanje kakovosti zunanjega zraka

V skladu z Uredbo o kakovosti zunanjega zraka [4] in Pravilnikom o ocenjevanju kakovosti zunanjega zraka [6] 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 4.1 in 4.2). Za ocenjevanje kakovosti zunanjega zraka glede na ravni SO₂, NO₂, CO, O₃, C₆H₆, PM₁₀, PM_{2,5} in BaP je Slovenija razdeljena na celinski (SIC) ter primorski (SIP) del. Za težke kovine je zaradi svoje 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, je potrebnih več meritov, ki 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 2021. Predstavljeno je tudi ocenjevanje na podlagi združevanja meritov in modelskih izračunov ALADIN/CAMx modelskega sistema.

Tabela 4.1: 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	
SIL	Ljubljana	
SIM	Maribor	

Tabela 4.2: 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	
SIL	Ljubljana	
SIM	Maribor	

4.1 Meritve na stalnih meritnih mestih

S sistematičnimi meritvami ravni onesnaževal na stalnih meritnih mestih smo v Sloveniji začeli v sredini sedemdesetih let prejšnjega stoletja. Avtomatske meritnike onesnaženosti zraka smo pričeli uvajati v okviru državne mreže ANAS (analitično-nadzorni alarmni sistem) v začetku osemdesetih let, okrog leta 2000 smo meritno mrežo prenovili v okviru projekta Phare. V letu 2021 smo zaključili projekt Sinica, kjer smo državno meritno 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 meritno mrežo postopoma širili in nadgradili še z meritvami drugih onesnaževal. ARSO upravlja z DMKZ, ki jo je v letu 2021 sestavljalo 23 meritnih mest.

Z meritvami v DMKZ zagotavljamo osnovne podatke o kakovosti zraka v Sloveniji. Poleg meritov v DMKZ se v okviru drugih meritnih 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 meritov DMKZ navedeni tudi rezultati meritov meritnih mrež termoelektrarn (TEŠ, TEB in TE-TOL), cementarne Salonit Anhovo, mestnih občin Ljubljana, Maribor, Ptuj, Celje in Slovenj Gradec ter občin Miklavž na Dravskem polju, Ruše, Medvode in Grosuplje. Na ARSO se je od pomladi 2016 do pomladi 2021 izvajal kohezijski projekt Sinica, v okviru katerega smo med drugim posodobili DMKZ. Nadgradili in posodobili smo stara meritna mesta z novo programsko opremo, ter novimi meritniki, ter vzpostavili meritve na novih stalnih meritnih mestih. Tudi v letu 2021, ko se je projekt zaključil, je prišlo do nekaj sprememb v meritni mreži, tako meritnih mest kot tudi nabora meritov. Zaradi prenove meritne mreže meritov v letu 2021 nismo izvajali neprekinjeno, v preglednicah so ti rezultati označeni z zvezdico (*).

11. januarja 2021 je pričela z delovanjem prenovljena postaja na lokaciji LJ Bežigrad. Ukinjene so bile meritve SO_2 , vzpostavljene pa avtomatske meritve delcev $\text{PM}_{2,5}$. Nabor meritov delcev smo v novi mreži razširili z novimi avtomatskimi meritniki HORIBA APDA372. Poleg ravni delcev različnih velikosti se meri še celotna raven delcev v zraku in število vseh delcev. Tovrstni meritniki se v prenovljeni mreži uporabljajo na vseh meritnih mestih, kjer potekajo avtomatske meritve. V nadaljevanju bomo vse te meritve z meritnikom APDA372 navajali kot meritve delcev. V Kranju so bile na novi lokaciji ob Medgeneracijskem centru na Planini vzpostavljene avtomatske meritve delcev 14. januarja 2021. Po daljšem izpadu meritov zaradi prenove meritnega mesta smo 15. januarja 2021 zopet vzpostavili avtomatske meritve na meritnem mestu Iskrba. Meritvam SO_2 , O_3 in NO_2 smo dodali še meritve delcev. 1. junija 2021 smo začeli z avtomatskimi meritvami delcev na novih meritnih mestih MS Cankarjeva in CE Ljubljanska, 6. julija pa na meritnem mestu LJ Vič. 1. junija 2021 smo prestavili meritno mesto v Trbovljah na novo lokacijo v parku. Ukinjene so bile meritve SO_2 , O_3 , NO_x , NO_2 in CO , vzpostavljene pa meritve delcev. 6. julija 2021 so bile vzpostavljene meritve še na prenovljenem meritnem mestu v Kopru, nabor meritov je ostal enak. Tu potekajo meritve delcev, O_3 , NO_x in NO_2 . Z mobilno postajo smo 16. decembra 2020 pričeli z avtomatskimi meritvami na lokaciji v Desklah, meritve smo zaključili 15. januarja 2022. Tu smo eno leto merili ravni naslednjih onesnaževal: SO_2 , O_3 , NO_x , CO , benzen in delce ter onesnaževala v delcih PM_{10} in $\text{PM}_{2,5}$.

V letu 2021 je v DMKZ prišlo do sprememb tudi pri meritvah delcev z referenčnimi vzorčevalniki

na treh merilnih mestih: v Ljubljani, Celju in Trbovljah. V Ljubljani se je 20. marca referenčni vzorčevalnik delcev PM₁₀ prestavilo iz lokacije Biotehniške fakultete na Vič. Na Viču je merilno mesto tipa mestno ozadje in je locirano pri študentskih domovih med Cesto v Mestni log in Gerbičeve cesto. V Celju so se 10. marca meritve delcev na prometnem merilnem mestu prestavile iz Mariborske ceste na Ljubljansko cesto, v Trbovljah pa 14. maja iz merilnega mesta Nasipi v mestni park. Nacionalni laboratorij za zdravje, okolje in hrano je v letu 2021 na novo izvedel meritve delcev PM₁₀ in z referenčnim merilnikom v Slovenj Gradcu za Mestno občino Slovenj Gradec.

Merilna mesta so klasificirana glede na mikrolokacijo (tabela 4.3), ki so določena v Pravilniku o ocenjevanju kakovosti zunanjega zraka [6]. Merilna mesta mestnega ozadja so reprezentativna za gosteje naseljene predele mest, v katerih živi večina prebivalstva. Z meritvami na prometnih merilnih mestih pridobimo podatke o kakovosti zraka ob prometnih cestah. Merilna mesta predmestnega ozadja podajajo razmere glede kakovosti zraka na obrobju mest ali večjih naselij, za katere je značilna manjša gostota prometa in poselitve. Merilno mesto Iskrba je vključeno v program EMEP, ki se v okviru Konvencije o onesnaževanju zraka na velike razdalje preko meja osredotoča predvsem na daljinski transport onesnaženosti ter na regionalne probleme zakisljevanja, evtrofikacije, fotokemijskega smoga ter na onesnažen zrak s težkimi kovinami, delci in obstojnimi organskimi onesnaževali. Merilno mesto Krvavec je del programov EMEP in WMO GAW in je pomembno predvsem za spremljanje transporta toplogrednih plinov in fotooksidantov. Na obeh merilnih mestih v neobremenjenem okolju se spremlja ozadje onesnaženega zraka. Podrobnejši opis merilnih mest, ki delujejo v okviru DMKZ, je na voljo na spletni strani ARSO v Atlasu okolja. Meritve kakovosti zraka na stalnem merilnem mestu morajo biti točne, natančne in zanesljive ter morajo hkrati izpolnjevati zahteve glede razpoložljivosti rezultatov meritev. Zahteva se uporaba standardiziranih referenčnih metod, ki jih navaja Direktiva o kakovosti zraka in jih povzema Pravilnik o ocenjevanju kakovosti zunanjega zraka. Druge metode se lahko uporabljajo le, če je bila s preizkusi dokazana njihova ekvivalentnost referenčni metodi.

Merilniki na osnovi referenčnih metod za O₃, NO_x, SO₂, 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 filtrih.

Poleg referenčnih meritev delcev PM₁₀ na vseh merilnih mestih, razen v Velenju, Žerjavu in v Novi Gorici ob Vojkovi cesti, delce merimo 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 in ne za določanje skladnosti z mejnimi vrednostmi. Sprotni urni podatki za delce PM₁₀ in PM_{2,5} so vsako uro objavljeni na spletni strani Agencije. Tam so hkrati objavljeni tudi vsi drugi rezultati meritev z avtomatskimi merilniki.

S prenovo merilnih mest se je spremenil tudi nabor meteoroloških meritev. Največja sprememba je uvedba meritev tridimenzionalnega vetra, ki nam bo v pomoč pri modelskih izračunih.

V tabeli 4.3 so navedeni geografski podatki in klasifikacija posameznih merilnih mest, kjer so leta

2021 potekale meritve kakovosti zunanjega zraka. Nabor merjenih onesnaževal in meteoroloških parametrov po merilnih mestih je prikazan v tabeli 4.4. V nadaljevanju poročila so poleg podatkov iz leta 2021 predstavljeni tudi letni podatki za merilna mesta, kjer meritve več ne potekajo. Podatki o teh merilnih mestih so zabeleženi v starih 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 4.5 so podana merilna mesta za meritve kakovosti padavin v letu 2021, ki delujejo v okviru DMKP. Nabor meritev za ugotavljanje kakovosti padavin na merilnih mestih DMKP je podan v tabeli 4.6. 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 4.3: 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
Deskle	93	393188	101856	I	R	RC
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	393826	102975	B	R	AI
Gorenje Polje	120	394577	103945	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
Občina Grosuplje						
Grosuplje	343	473796	90344	T	U	R
MO Slovenj Gradec						
Slovenj Gradec	410	506294	151691	B	U	R

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 4.4: Meritve onesnaževal in meteoroloških parametrov na stalnih merilnih mestih v letu 2021.

Merilno mesto	SO ₂	O ₃	NO ₂ , NO _x	PM ₁₀	PM _{2,5}	CO	Benzen	Težke kovine v PM ₁₀	PAH v PM ₁₀	EC/OC in ioni v PM _{2,5}	Hg	Meteorološki parametri
DMKZ												
CE bolnica	+	+	+	+	+			+				+
CE Ljubljanska				+								+
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			+									
Občina Medvode												
Medvode			+				+					
Občina Grosuplje												
Grosuplje			+									
MO Slovenj Gradec												
Slovenj Gradec			+									

PM₁₀: delci z aerodinamičnim premerom do 10 µm

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

PAH: polickiklični aromatski ogljikovodiki v delcih PM₁₀

Težke kovine: arzen, kadmijski, nikelij in svinec v delcih PM₁₀ in PM_{2,5}

EC/OC: Elementni in organski ogljik

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

* Z merilnim mestom ne upravlja ARSO.

Tabela 4.5: 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 4.6: 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-}

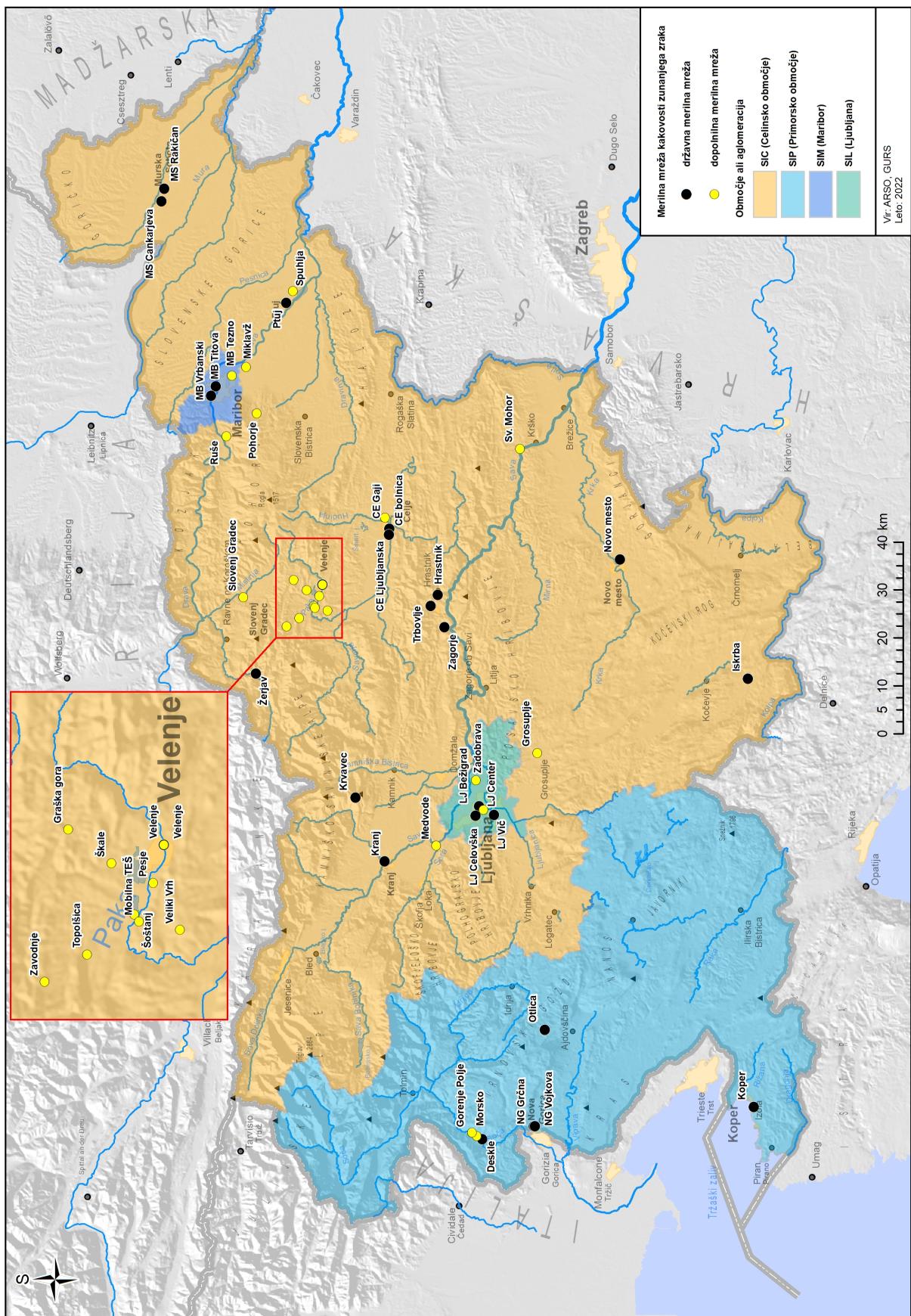
Policiklični aromatski ogljikovodiki (PAH):

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 4.1: Merilna mreža kakovosti zunanjega zraka v letu 2021.

4.2 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 [16].

4.2.1 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 [17]. 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).

5. Povzetek o meritvah kakovosti zraka v Desklah

V tem poglavju so na kratko predstavljeni rezultati enoletnih meritev kakovosti zunanjega zraka v Desklah. V nadaljevanju letnega poročila so rezultati iz merilnega mesta Deskle vključeni tudi v prikaz rezultatov onesnaževal po posameznih poglavjih.

Več o enoletnih meritvah si lahko preberete v posebnem poročilu Poročilo o meritvah kakovosti zraka v Desklah v občini Kanal ob Soči v letu 2021 ki je dostopno na spletni strani Agencije za okolje [18].

Namen izvedbe meritev v Desklah je bil preveriti kakovost zunanjega zraka v Občini Kanal ob Soči, saj zaradi izpustov iz cementarne Salonit Anhovo obstaja s strani prebivalcev sum, da so izpostavljeni prekomerno onesnaženemu zraku. Agencija RS za okolje je meritve izvajala na dvorišču vrtca v Desklah z mobilno postajo in visokovolumskim referenčnim vzorčevalnikom delcev PM₁₀. Mobilna postaja je bila opremljena z merilniki za spremljanje ravni dušikovih oksidov, ozona, SO₂, CO, PM₁₀ in PM_{2,5} in lahkoklapnih organskih spojin (benzen, toluen, etilbenzen, m&p ksilen in o ksilen). Z referenčnim merilnikom je potekalo vzorčenje delcev PM₁₀ na filtrih, ki so se kasneje analizirali v laboratoriju (težke kovine, kationi, anioni, PAH-i, elementni in organski ogljik ter levoglukozan). Meritve so se izvajale v skladu s Pravilnikom o ocenjevanju kakovosti zunanjega zraka (Uradni list RS, št. 55/11, 6/15, 5/17 in 44/22 – ZVO-2), rezultati pa so se z vidika skladnosti s predpisanimi standardi kakovosti ovrednotili na podlagi Uredbe o kakovosti zunanjega zraka (Uradni list RS, št. 9/11, 8/15, 66/18 in 44/22 – ZVO-2) in Uredbe o arzenu, kadmiju, živem srebru, niklju in policikličnih aromatskih ogljikovodikih v zunanjem zraku (Uradni list RS, št. 56/06 in 44/22 – ZVO-2).

V Desklah v letu 2021 ni bilo izmerjenih preseganj mejnih vrednosti za onesnaževala katerih podatki so na razpolago v realnem času. Izmerjene so bile zelo nizke ravni SO₂ in CO v primerjavi z zakonsko določenimi vrednostmi. Ravni ozona so primerljive v Desklah in Novi Gorici, saj ima ozon izrazit regionalni značaj z velikim vplivom čezmejnega transporta še posebej v tej regiji. Večja razlika v izmerjenih ravneh je bila le pri dušikovih oksidih, kjer so bile vrednosti v Novi Gorici bistveno višje, kar je tudi posledica gostote prometa. Dnevni potek onesnaževal je povezan še z različno mikrolokacijo obeh merilnih mest in pojavom temperaturne inverzije. V Desklah izrazito prevladuje šibek veter jakosti pod 1 m/s. Prevladujoča JJV smer je posledica vpliva reliefsa, zaradi katerega se veter lokalno kanalizira, ko v višjih zračnih plasteh pihajo vetrovi drugih smeri. Najvišje ravni delcev, dušikovih oksidov, živega srebra in benzena se pojavljajo ob šibkih vetrovih različnih



Slika 5.1: Mobilni kombi za meritve kakovosti zunanjega zraka in meteoroloških parametrov pri Vrtcu v Desklah.

smeri. Pri NO_x so najvišje vrednosti praviloma povezane s SV smerjo vetra, pri NO_2 ni opaziti prevladujoče smeri vetra, pri živem srebru izstopa Z smer in pri benzenu JV. V primeru ozona je situacija nekoliko drugačna, saj so ravni najvišje, ko so temperature visoke in piha veter iz J do JZ smeri po dolini reke Soče navzgor. Onesnaženje neposredno iz smeri Salonita Anhovo bi na merilno mesto prinesel S do V veter iz smeri doline reke Soče. Možno pa je tudi, da se onesnaženje akumulira in dlje časa vztraja v volumnu zraka nad obravnavanim območjem, ter ga potem do merilnega mesta zanesajo šibki vetrovi drugih smeri. Vpliv Salonita Anhovo tako na podlagi rezultatov meritev ni izključen.

Meritve živega srebra je za ARSO izvedel Inštitut Jožef Stefan. Merilnik je bil nameščen na Osnovni šoli Deskle. Povprečna izmerjena raven živega srebra je znašala $1,84 \text{ ng/m}^3$, kar je v območju, ki je značilno za urbana območja severne hemisfere. Občasno so se pojavile povišane ravni v obliku vrhov, ki so odstopali od običajnih vrednosti, vendar ta povišanja ne kažejo sistematične povezave z vplivi iz cementarne.

Meritve benzena na merilnem mestu Deskle so pokazale pričakovan hod meritev, torej nekoliko višje vrednosti v hladnejšem delu letu. Primerjava vrednosti benzena na lokacijah Deskle, Maribor in Ljubljana v letu 2021 izkazuje, da je bila na vseh treh lokacijah povprečna letna vrednost $1,0 \mu\text{g/m}^3$, medtem ko je bil najvišji standardni odklon na merilnem mestu Deskle ($1,7 \mu\text{g/m}^3$). Prav tako so bile meritve toluena, etilbenzena, m&p ksilena ter o-ksilena v povprečju precej nizke, opazni pa so redki večji skoki, ki se pojavijo na vseh merilnih mestih istočasno. V letu 2021 so se pojavili 10-krat.

Ravni delcev PM_{10} v letu 2021 so bile na merilnem mestu v Desklah nižje od standardov

kakovosti, ki jih predpisuje zakonodaja. Povprečna letna vrednost PM_{10} za leto 2021 je v Desklah znašala $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mejna letna vrednost je $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Do preseganj mejne dnevne vrednosti $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ je v letu 2021 v Desklah prišlo štirikrat. V koledarskem letu je dovoljeno 35 preseganj mejne dnevne vrednosti.

Od vseh 38 onesnaževal, ki smo jih določili v delcih PM_{10} so v Uredbi o kakovosti zunanjega zraka in Uredbi o arzenu, kadmiju, živem srebru, niklju in policikličnih aromatskih ogljikovodikih v zunanjem zraku, predpisani standardi kakovosti le za: svinec, kadmij, arzen, nikelj in benzo(a)piren. Za teh pet onesnaževal so predpisane letne mejne oziroma ciljne vrednosti, ki v letu 2021 v Desklah niso bile presežene. Za benzo(a)piren je bila ciljna vrednost dosežena. Ravni vseh petih policikličnih aromatskih ogljikovodikov PAH (benzo(a)antracen, benzo fluoranteni, benzo(a)piren, dibenzo(a,h)antracen in indeno(1,2,3-cd)piren) so na merilnem mestu Deskle više kot v Novi Gorici. PAH imajo izrazit letni hod, saj so prisotni le v hladni polovici leta, v toplejših mesecih pa so njihove ravni pod mejo kvantifikacije. Glavni vir predstavljajo izpusti iz zastarelih kuirlnih naprav, za katere so značilni slabši proces izgorevanja in slab energetski izkoristek. Tudi promet je vir PAH. Literatura navaja, da cementarne med drugim izpuščajo težke kovine talij, arzen, antimon, kadmij, krom, baker, mangan, svinec, cink, vanadij. V letu 2021 so bile v Desklah nekajkrat izmerjene povisane ravni teh onesnaževal. 13. junija 2021 so bile v Desklah močno povisane ravni svinca, antimona in bakra. 98 % izmerjenih ravni talija je bilo v letu 2021 pod mejo kvantizacije. So bile pa v januarju in februarju nekajkrat izmerjene dnevne ravni talija nad mejo kvantizacije. V istih dneh so bile povisane še ravni mangana, kobalta, bakra, cinka, arzena in stroncija. Ravni ionov ter elementarnega in organskega ogljika so v Desklah podobne oziroma nižje kot v Novi Gorici.

Rezultate kemijskih analiz smo vnesli v receptorski model PMF (Positive Matrix Factorization), ki določi skupno odvisnost od značilnih indikatorjev (angl. tracers) za posamezen vir onesnaženja. PMF je receptorski model, ki se lahko uporablja za določitev in kvantifikacijo prispevkov posameznih virov delcev PM_{10} v zunanjem zraku. Na ta način določamo tipe virov, ki prispevajo k izmerjenim ravnem PM_{10} . Onesnaževal, pri katerih je bilo v enem letu več kot polovico rezultatov nižih od meje kvantizacije LOQ, nismo vključili v PMF model. Iz analize virov delcev PM_{10} lahko zaključimo, da na obeh merilnih mestih tako v Desklah, kot tudi v Novi Gorici, prevladujejo štirje viri onesnaženja z delci PM_{10} . Največji delež pripada sekundarnim delcem, nato sledijo izpusti iz prometa, resuspenzija in individualna kurišča na trda goriva. V Novi Gorici je bilo v manjšem deležu zaznati še aerosole iz morja in pa industrijski vir z izpustom svinca.

Enoletne meritve kakovosti zraka v Desklah niso pokazale prekomerne onesnaženosti zunanjega zraka glede na standarde kakovosti zunanjega zraka. To še ne pomeni, da iz bližnjega industrijskega obrata ni izpustov snovi, ki so zdravju škodljive. Izpusti iz industrijskih obratov obsegajo onesnaževala, ki niso zajeta v zakonodaji in zanje ne obstajajo predpisane vrednosti.

Poleg zgornjih meritev je Agencija RS za okolje v sodelovanju z Nacionalnim laboratorijem za zdravje, okolje in hrano izvedla v maju in juniju 2022 meritve vsebnosti dioksinov in furanov na lokaciji osnovne šole v Desklah. Odvzeti so bili štirje vzorcev. Rezultati meritev so pokazali, da so bile v vseh vzorcih iz Deskel vsebnosti dioksinov in furanov pod mejo določljivosti.

6. Kronologija baze izpustov v Sloveniji

Izdelava baze izpustov za celotno Slovenijo za posamezna onesnaževala ima relativno kratko zgodovino obstoja. Prva baza izpustov, ki je nastala na ARSO, je bila izdelana leta 2010/2011. Od takrat je šla kar skozi nekaj preobrazb, ki so podrobneje opisane v tem poglavju. Opisana je celotna zgodovina kreiranja baz izpustov, razlike med prvo generacijo baz izpustov narejenih za leta 2009, 2011 in 2013 ter drugo generacijo baz izpustov za leta 2016, 2018 in prihajajočo 2021. Podrobnejše so razloženi osnovni pojmi: evidenca izpustov, baza izpustov ter bazno leto. Bolj natančno je tudi predstavljena razlika med bazo izpustov 2013 in bazo izpustov 2018. Tekom uporabe baze se nam razkrivajo vedno nove možnosti izboljšav ali celo opažamo določene napake, ki jih je potrebno odpraviti v novih verzijah. Trenutno vidimo največjo možnost izboljšave na prometnem modulu in pri modulu ogrevanja.

6.1 Baza izpustov vs. evidenca izpustov

Evidenca izpustov¹ (tudi emisijska evidenca) je inventar skupine onesnaževal: plinov, delcev ter delcev težkih kovin. V osnovi je enostavna in pogosto prikazana s tabelami, grafi ali v opisni obliki. Njen namen je predvsem poročanje in hiter prikaz splošnih informacij o izbranih onesnaževalih. Evidenci izpustov se običajno ne pripisuje natančne prostorske lokacije in tudi sledljivost od izvornih podatkov do končnih informacij je sekundarnega pomena.

Evidenca izpustov zajema tako izpuste toplogrednih plinov kot izpuste onesnaževal zraka. V tem prispevku s pojmom evidenca izpustov označujemo izpuste onesnaževal zraka. Razlika med evidenco izpustov in bazo izpustov je v stopnji kompleksnosti, namenskosti ter načinu uporabe informacij in sami količini le-teh.

Baza izpustov (tudi emisijska baza) je skupek informacij vseh izbranih onesnaževal za izbrano bazno leto in se, zaradi svoje velikosti, pogosto vodi in hrani v podatkovnih bazah. Za vsako onesnaževalo je znan vir ter delež skupne vsote posameznega onesnaževala na posamezni prostorski lokaciji. Glede na vir onesnaževanja so zelo pogosto vsakemu viru pripisane tudi ostale informacije, npr. višina dimnikov, število ljudi v objektu ali vir ogrevanja glede na energet. Baza izpustov pogosto vsebuje tudi meta podatke o posameznih virih podatkov evidenc izpustov, zgodovini procesiranja in podobno.

Z **baznim letom** (BL) označujemo leto, za katerega se pridobi in uporabi evidence izpustov pri

¹V praksi na nivoju države nimamo zgolj ene evidence izpustov za vse vire temveč skupek mnogih. V tem poročilu uporabljamo pojem evidenca izpustov.

kreiranju baze izpustov. Pri gradnji baznega leta moramo stremeti h temu, da se pridobijo podatki, če je to le mogoče, za točno določeni datum znotraj leta, (npr. 30.6.). Ker je v praksi neizvedljivo, da se pridobi čisto vse podatke za točno določen dan znotraj posameznega leta, vzamemo za osnovo celotno leto. Bazno leto 2018 (BL₂₀₁₈) pomeni, da smo pridobili vse potrebne podatke za izgradnjo baze izpustov za to leto. V primeru da se pridobijo določeni podatki za drugo leto, je to potrebno posebej navesti.

6.2 Kratka zgodovina baz izpustov v Sloveniji

Na ARSO je bila prva baza izpustov narejena za bazno leto 2009 (BL₂₀₀₉). Ta baza je bila posodobljena in popravljena za bazno leto 2011. Zadnji popravek te baze je bil za leto 2013 (BL₂₀₁₃), s koreksijskimi faktorji pridobljenimi iz EMEP poročanja. Za posodobitev na modele zdajšnje baze izpustov smo se odločili predvsem iz treh razlogov:

- Zaradi veliko ročnega dela je bilo posodabljanje zamudno in težavno.
- Celotna baza izpustov je bila zgrajena naenkrat in ne modularno.
- Prostorska natančnost posameznih virov onesnaževal se je razlikovala.

Prvo verzijo baze izpustov z novo metodologijo smo zgradili za BL₂₀₁₆. Nova baza izpustov temelji na t.i. od spodaj navzgor metodologiji, ki je dodatno preverjena in umerjena tudi z nacionalnimi evidencami izpustov, pridobljenimi s t.i. od zgoraj navzdol metodologijo. Baza izpustov BL₂₀₁₈ je bila zgrajena na dopolnjeni metodologiji in enotni 25 oziroma 12,5 metrski osnovni mreži. Zaradi zelo raznolike metodologije, različne prostorske ločljivosti, izpusti iz prejšnje baze izpustov (BL₂₀₀₉, BL₂₀₁₁ in BL₂₀₁₃) niso direktno primerljive z novo bazo izpustov (BL₂₀₁₆). Baza izpustov za bazni leti 2018 in prihajajoči 2021, zaradi drugačne osnovne mreže (25 in 12,5 metrov) in spremenjene ter dopolnjene metodologije ni v celoti primerljiva z bazo izpustov BL₂₀₁₆, še posebej ne na lokalnem nivoju in za prometni modul.

6.3 Baza izpustov v okviru projekta Sinica kot predhodnica baze izpustov v okviru projekta LIFE-IP PREPAIR

Projekt Sinica – "Nadgradnja sistema za spremljanje onesnaženosti zraka, ugotavljanje vzrokov čezmernih obremenitev in analizo učinkov ukrepov za izboljšanje" je s posodobljenim in nadgrajenim sistemom za spremljanje onesnaženosti zraka prispeval vso potrebno podlago za izgradnjo nove baze izpustov [19]. Evidence izpustov pridobljene v okviru projekta Sinica so bile oblikovane po naslednjih modulih glede na vir onesnaževanja:

- modul 2: Evidenca izpustov zaradi ogrevanja stavb in priprave tople sanitarne vode.
- modul 3: Evidenca izpustov cestnega prometa in drugih virov, ki uporabljajo pogonska goriva.
- modul 4: Evidenca izpustov industrijskih virov.

- modul 5: Evidenca izpustov kmetijstva in drugih antropogenih virov.

Zaradi svoje modularne zasnove, je izdelava posodobljene baze izpustov postala veliko preglejnja in hitrejša. V okviru projekta Sinica je bila poleg evidenc izpustov narejena tudi podrobnejša metodologija posameznega modula, kar še dodatno olajša posodabljanje baze izpustov. Pri vsakem modulu so bila zajeta naslednja onesnaževala:

- CH_4 , CO, NH_3 , NMVOC, NO_x (dušikovi oksidi), $\text{PM}_{2,5}$, PM_{10} , SO_x (žveplovi oksidi) (vključena v bazo izpustov),
- As, BC (črni ogljik), Benzo(a)pyrene, Benzo(b)fluoranthene, Benzo(k)fluoranthene, Cd, Cr, Cu, HCB (heksaklorobenzen), Hg, Indeno(1,2,3-cd)pyrene, Ni, Pb, PCB (Poliklorirani bifenili), PCDD/F (poliklorirani dibenzofurani), Se, TSP (skupni suspendirani delci), Zn (niso vključena v bazo izpustov).

Rezultati projekta Sinica so ključni za LIFE-IP PrepAIR projekt v okviru katerega poteka izdelava nove, posodobljene baze izpustov.

6.4 Struktura in lastnosti baze izpustov

Bistvo vsake dobre baze izpustov je zelo dobra sledljivost izvora podatkov (t.i. metapodatkov - podatki o podatkih), možnost nadgradnje in skaliranja, uniformna tabelarna struktura, zmožnost ponovitve kreiranja baze, ne podvajanje podatkov in da ima vsak podatek unikatni identifikator. V nadaljevanju bo podrobnejše predstavljena struktura in lastnosti baz izpustov za različna bazna leta.

Čeprav je razlika med posameznimi bazami izpustov precejšnja, imajo tudi nekaj skupnih točk. Pri vseh je znano ali je vir ploskovni ali točkovni in lokacija vira v WGS84 (EPSG 4326) koordinatnem sistemu. Skupna je tudi projekcija (EPSG 3912), unikatni identifikator, onesnaževala (CO, NH_3 , NMVOC, NO_x , $\text{PM}_{2,5}$, PM_{10} , SO_x), NFR koda (**Nomenclature For Reporting**), urni/dnevni/tedenski/letni časovni profili, PM in VOC profili, višina vira (če ni ploskovni vir) ter osnovni vir onesnaženja.

6.4.1 Struktura in lastnosti baze izpustov z baznimi leti 2009, 2011 in 2013

Baza izpustov za leto 2009, 2011 in 2013 je bila narejena z združevanjem desetih različnih virov onesnaženja. Cest in gozdnih cest (promet), hlapnih organskih spojin, industrije, izhlapevanja goriva pri prometu, kemičnih čistilnic, kmetijstva (samo BL₂₀₁₁ in BL₂₀₁₃), malih kurišč, odpadkov ter železnic. Baza izpustov je imela 38 različnih NFR kod. Skupno število vseh posameznih virov izpustov je bilo za BL₂₀₁₃ 4,1 milijona.

Field Name	Alias	Data Type	Field Name	Alias	Data Type
OBJECTID	OBJECTID	Object ID	nox	NOx	Double
Shape	Shape	Geometry	sox	SOx	Double
id_vir	unikatni ID vira	Long	pm25	PM2,5	Double
koda_naprava	koda naprave (industrijski vir)	Text	pm10	PM10	Double
source	točkovni ali ploskovni vir	Text	voc	NMVOOC	Double
nfr	NFR	Text	hl	število delovnih ur v letu	Short
snap	SNAP	Short	dn	urni profil v dnevu (delovnik)	Short
lon	longitude v WGS84	Double	vk	urni profil v dnevu (vikend)	Short
lat	latitude v WGS84	Double	td	dnevni profil v tednu	Short
h	višina (točkovni vir)	Double	lt	mesečni profil v letu	Short
a	površina preseka (točkovni vir)	Double	pvoc	profil VOC (porazdeljeni po shemi SAPRC99)	Short
q	masni pretok (točkovni vir)	Double	ppm25	profil PM2.5 (deleži primarnih delcev v skupini PM2.5)	Long
t	temperatura (točkovni vir)	Double	voctotog	pretvorbeni faktor iz deleža VOC v TOG (total organic gas)	Double
co	CO	Double	layer	Vir onesnaženja	Text
nh3	NH3	Double			

Slika 6.1: Struktura baze izpustov z BL₂₀₁₃.

Največ posameznih virov je baza izpustov BL₂₀₁₃ vsebovala za promet (NFR: 1A3bi, 1A3bii, 1A3biii, 1A3biv, 1A3bv, 1A4cii) in sicer 1,9 milijona (46 %), za kmetijstvo (NFR: 3Dc) 1 milijon (24 %) in za mala kurišča (NFR: 1A4ai, 1A4bi) 0,8 milijona (20 %). Pri posodabljanju baze izpustov smo vpeljali nekaj izboljšav med BL₂₀₀₉ ter BL₂₀₁₁. Mala kurišča smo v BL₂₀₁₁ začeli obravnavati kot ploskovne vire in ne več kot točkovne. Eden izmed pomembnih razlogov je bilo dejstvo, da pri malih kuriščih ni znana točna lokacija dimnikov ker se ta ne vodi v nobeni evidenci. Kmetijstva za BL₂₀₀₉ še nismo upoštevali in smo ga dodali šele za BL₂₀₁₁. V BL₂₀₀₉ smo zaznali tudi lokacijsko napako pri industrijskih virih, kjer smo imeli uniformni zamik koordinat, kar smo popravili v BL₂₀₁₁. Pri malih kuriščih je bila zaradi pomanjkanja informacij glede vira ogrevanja (biomasa, plin, daljinsko ogrevanje, ...) ocena le tega zelo subjektivna, zato so bili izpusti PM₁₀ porazdeljeni nerealno. Razlika med BL₂₀₁₁ in BL₂₀₁₃ je zgolj v uporabi novih faktorjev izpustov pri BL₂₀₁₃.

6.4.2 Struktura in lastnosti baze izpustov za bazno leto 2016

Na podlagi rezultatov iz projekta Sinica smo izdelali bazo izpustov BL₂₀₁₆. Pri kreiranju baze smo prevzeli metodologijo razvito v okviru projekta Sinica. Vsi viri onesnaževanja so zajeti s štirimi moduli:

- M2: ogrevanje stavb in priprava tople sanitarne vode
- M3: promet
- M4: industrijski viri
- M5: kmetijstvo in drugi antropogeni viri

Vsak modul ima v ozadju svoje modele in metodologijo, ki je prilagojena dinamiki posameznih virov onesnaževanja. Tako je ogrevanje stavb povezano s povprečno in minimalno dnevno temperaturo. Industrijski viri so vezani na obratovalni čas podjetja, poljedelstvo in (deloma) živinoreja na

vegetacijsko dobo in v primeru gnojenja tudi z zakonsko podlago. Pri prometu sta zelo pomembni tako povprečno število vozil kot prepustnost cest, ki je izrednega pomena v času prometnih konic.

Baza izpustov BL₂₀₁₆ je tako po številu posameznih virov, kot tudi številu NFR kod (79 različnih kod) mnogo obširnejša in bolj podrobna kot BL₂₀₁₃. Prav tako se je vsakemu posameznemu viru onesnaževanja dodalo v kateri administrativni enoti se nahaja. Na ta način smo zagotovili veliko lažjo in hitrejšo prostorsko združevanje podatkov. V bazo izpustov smo vključili novo onesnaževalo CH₄, ki ga v prejšnjih različicah nismo imeli.

Field Name	Alias	Data Type	Field Name	Alias	Data Type
OBJECTID	OBJECTID	Object ID	D	Diameter	Double
Shape	Shape	Geometry	A	Area of circle	Double
ID	Semi unique identifier i_j_COMUNE_NFR	Text	T	Temperature	Double
KOH_ID	ID of cohesion unit	Text	V	Velocity	Double
COHESION	Cohesion unit name	Text	vehicle_PM	PM from the vehicle material	Double
COD_REG	ID of statistical (macro) region	Long	road_PM	PM from road abrasion	Double
REGION	Region name	Text	Upravlja	Operator	Text
UE_MID	MID of the Greater Municipality (Upravna enota)	Long	Biomass	Biomass share	Double
UE_UIME	Greater municipality name	Text	Electric	Electricity share	Double
PRO_COM	MID of Municipality	Long	ELHO	Extra-light heating oil share	Double
COMUNE	Municipality name	Text	HP	Heat Pump share	Double
NA_MID	MID of the settlement	Long	LPG	Liquefied Petroleum Gas share	Double
NA_UIME	Settlement name	Text	NG	Natural gas share	Double
PO_MID	MID of the District unit (prostorski okoliš)	Long	TS	Thermal station share	Double
SNAP	Standard Nomenclature for Air Pollution	Short	CH4	CH4	Double
NFR	Nomenclature For Reporting	Text	CO	CO	Double
LON	Longitude in WGS84	Double	NH3	NH3	Double
LAT	Latitude in WGS84	Double	NMVOC	NMVOC	Double
LAMBX	Lambert Conformal Conic X	Double	NOx	NOx	Double
LAMBY	Lambert Conformal Conic Y	Double	PM10	Particulate Matter under 10	Double
LON3794	Longitude in EPSG 3794	Double	PM2_5	Particulate Matter under 2.5	Double
LAT3794	Latitude in EPSG 3794	Double	SOx	SOx	Double
TYPE	Source type	Text	MdlSource	Module Source	Text
H	Height	Double			

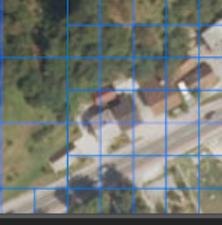
Slika 6.2: Struktura baze izpustov z BL₂₀₁₆.

Baza izpustov 2016 zajema kar 41 milijonov posameznih virov. Največji delež virov prispeva promet (M3) in sicer 78 % oziroma 32 milijonov, ter drugi antropogeni viri (M5) 21 % oziroma skoraj 9 milijonov.

6.4.3 Struktura in lastnosti baze izpustov za bazno leto 2018

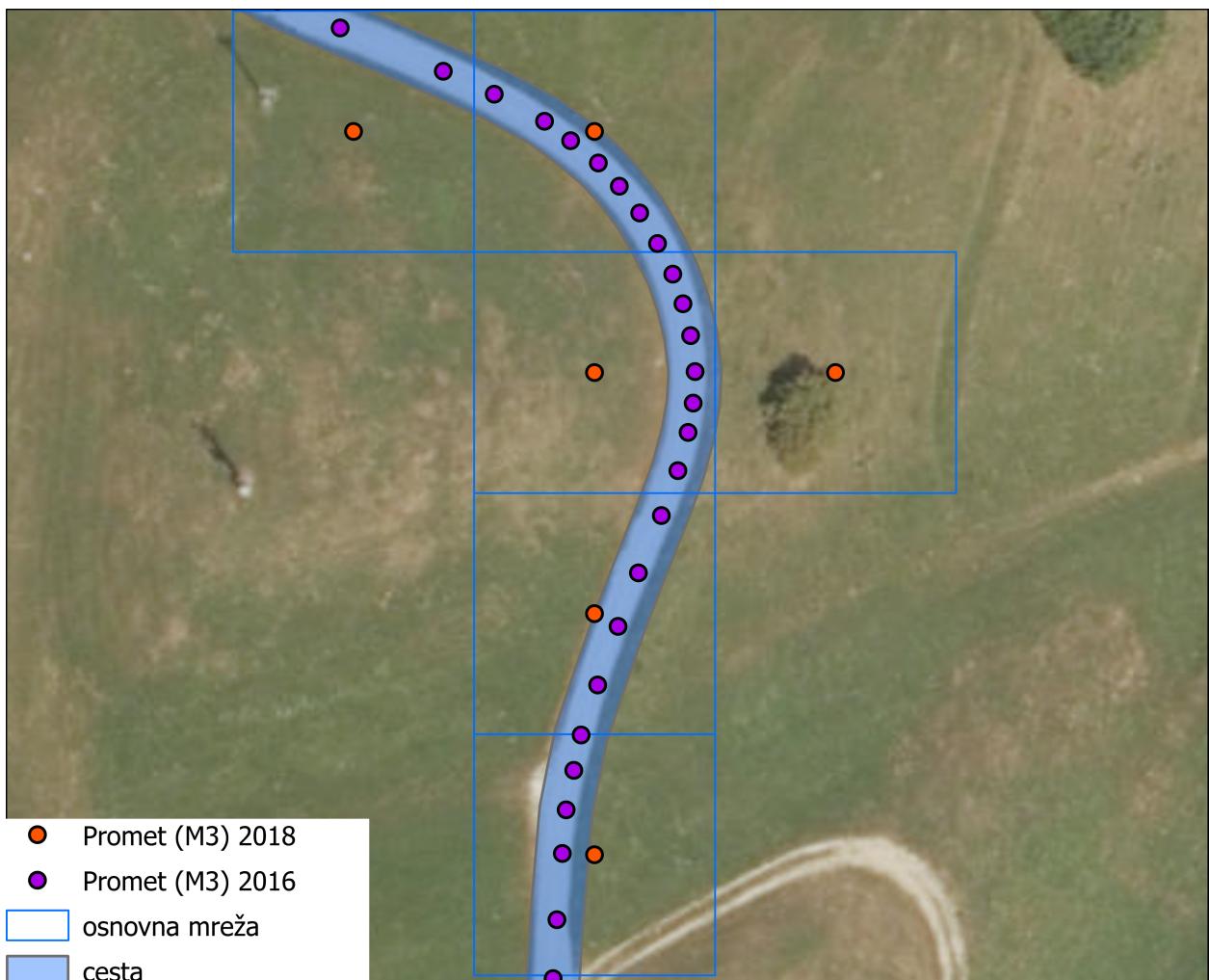
Zaradi zagotavljanja še boljše prostorske ločljivosti, smo se odločili, da bazo izpustov BL₂₀₁₈ prenesemo na bolj podrobno mrežo, in sicer 12,5 metra za vseh 12 mestnih občin ter 25 metrov za preostali del Slovenije. Za razliko od BL₂₀₁₆, kjer je bila osnovna 100 metrska mreža zgolj pomožna in se je striktno upoštevala le pri modulih M2 in M5, smo pri BL₂₀₁₈ prenesli vse module na zgoraj omenjeno mrežo. Ker so sedaj vsi posamezni viri pripeti na centroid osnovne mreže, je prostorsko

procesiranje enostavnejše, možna je tudi izdelava kart z uporabo interpolacije. Znatno je tudi izboljšana lokacijska natančnost predvsem modulov M2 ter M5. Prav tako kot ima vsak posamezni vir pripeto informacijo v kateri administrativni enoti se nahaja, ima tudi vsaka celica osnovne mreže za BL₂₀₁₈ (in naprej) pripisane poleg administrativne enote še dodatne informacije (6.3).

Field Name		Alias	Data Type	Field Name	Alias	Data Type
ID12_5_25		ID12_5_25	Text	Gas	Natural gas pipeline (2200)	Short
ID25		ID25	Long	Thermal	Thermal station pipeline (2300)	Short
ID50		ID50	Long	Wastewater	Sewage system (3200)	Short
ID100		ID100	Long	Wasteland	Wasteland area (3300)	Short
ID200		ID200	Long	Water	Water pipeline (3100)	Short
ID400		ID400	Long	Height_DMR	Mean height of ground (DMR)	Double
Height		Building Height	Double	Height_DMV	Mean height of ground (DMV)	Double
Habitants		Habitants	Double	Aspect	Mean aspect	Double
PO_MID		PO_MID	Long	Slope	Mean slope	Double
Raba_Eks_kmet		Ekstenzivno kmetijstvo	Double	GERK_Int_kmet	GERK Intenzivno kmetijstvo	Double
Raba_Gozd_grm		Gozd in grmičevje	Double	GERK_Travnik	GERK Travnik	Double
Raba_Int_kmet		Intenzivno kmetijstvo	Double	GERK_Eks_kmet	GERK Ekstenzivno kmetijstvo	Double
Raba_Pozidano		Pozidano	Double	Mediterranean	Mediterranean	Short
Raba_Skalovje		Skalovje	Double	Raba_Voda	Voda	Double
Raba_Travnik		Travnik in pašniki	Double	Railway	Railway area (1200)	Short
			Road	Road area (1100)		Short

Slika 6.3: Osnovna mreža za BL₂₀₁₈ s prikazanim izsekom celic velikosti 12,5 in 25 metrov.

Največja razlika med BL₂₀₁₆ in BL₂₀₁₈ je pri prometu. Pri bazi izpustov za leto 2016 se je vsako oglišče ceste spremenilo v točko (6.4), kateri se je preračunal relevanten delež danih izpustov. Pri BL₂₀₁₈ se sorazmeren delež vsake ceste pripše središču vsake celice osnovne mreže skozi katere poteka cesta. Zato je kljub boljši ločljivosti baze izpustov, torej prehodu iz 100 metrske mreže na mrežo 12,5 (v 12 mestnih občinah) in 25 metrov (v ostalem delu Slovenije), skupno število vseh virov vseh modulov zgolj za dva milijona večje pri BL₂₀₁₈ glede na BL₂₀₁₆.



Slika 6.4: Razlika v metodologiji med prometom BL₂₀₁₆ in BL₂₀₁₈.

Na sliki 6.4 je prikazana osnovna 25 metrska mreža, v kateri se v vsakemu centroidu celice mreže čez katero poteka cesta pripše vrednost izpustov prometa na (tej) cesti v sorazmernem deležu. V tem konkretnem primeru vsaka izmed 6 oranžnih točk dobi $1/6$ vrednosti izpustov, ki pripadajo tej cesti. Pri stari metodologiji za BL₂₀₁₆ vsaka izmed vijoličnih točk dobi $1/26$ izpustov pripadajočih tej cesti. Zaradi vijugavosti cest smo pri BL₂₀₁₆ dobili veliko število posameznih virov iz prometa. Če je imela BL₂₀₁₆ 32 milijonov posameznih virov iz prometa, ima BL₂₀₁₈ zgolj 4 milijone virov.

V bazo izpustov BL₂₀₁₈ smo ponovno vključili VOC in PM profile s pomočjo katerih glede na dejavnost onesnaževanja podrobneje razdelimo onesnaževala v skupine med seboj podobnih spojin, ki jih uporablja model CAMx. Ponovno so bili dodani tudi časovni profili in sicer urni, dnevni (delovni dnevi), vikend, tedenski in letni.

Sprememba med BL₂₀₁₆ in BL₂₀₁₈ je tudi v tabelarni strukturi. BL₂₀₁₆ ima eno samo skupno tabelo za vse module, medtem ko je BL₂₀₁₈ razdeljena glede na različne izvore onesnaženja in ima zato specifične stolpce za specifični modul. Stolpci (6.2) Biomass, Electric, ELHO, HP, LPG, NG, TS se nahajajo zgolj pri modulu M2, Height, D, A, T, V, Upravlja zgolj pri modulu M4 ter stolpca vehicle_PM in road_PM samo v modulu M3.

V prihodnje bo pri modulu M2 (ogrevanje in sanitarna voda) predvsem zaradi vedno bolj točnega registra energetskih izkaznic, bolj točen tudi končni izračun izpustov. Pri M3 (promet in uporaba pogonskih goriv) usmerjamo našo pozornost na zmožnost uporabe modela v realnem času.

6.5 Splošno o izpustih BL₂₀₁₈

Glede na bazo izpustov BL₂₀₁₈ je imela Slovenija tega leta iz vseh virov slabih 90 kt CH₄, dobreih 109 kt CO, 18 kt NH₃, nekaj manj kot 22 kt NMVOC, dobreih 33 kt NO_x, 13 kt PM₁₀ ter slabih 4 kt SO_x. Daleč največji vir izpustov za CO je izviral iz malih kurišč in sicer 66 %, drugi največji vir onesnaževanja je bil promet (14 %). Največji vir onesnaženja za CH₄ in NH₃ je bilo kmetijstvo (53 % za CH₄ in v primeru NH₃ kar 85 %). Velik delež CH₄ so prispevale v Sloveniji tudi deponije (15 %) ter izpusti povezane s premogovništvtom (Rudnik Velenje) in sicer 20 %. Največji vir NMVOC so bila mala kurišča (29 %) ter kmetijstvo (27 %), večji delež je doprinesel tudi promet (23 %). Največji delež NO_x je izviral iz prometa (60 %) in industrije (23 %). Daleč največji vir delcev (PM_{2,5} in PM₁₀), približno 80 %, je prispevalo ogrevanje stavb in priprava tople sanitarne vode. Od tega so mala kurišča zajemala kar 75 % vseh skupnih izpustov PM_{2,5} v Sloveniji in 70 % PM₁₀. Praktično celotni vir SO_x je izhajal iz industrije (76 %) in ogrevanja (21 %).

Tabela 6.1: Izpusti BL₂₀₁₈ za onesnaževala CH₄, CO, NH₃, NMVOC, NO_x, PM_{2,5}, PM₁₀, SO_x v t/leto.

Modul	CH ₄	CO	NH ₃	NMVOC	NO _x	PM _{2,5}	PM ₁₀	PM _{ceste}	PM _{vozilo}	SO _x
M2	Ogrevanje stavb in priprave tople sanitarne vode									
	0	80717	1577	7073	3097	9465	9668	0	0	817
M3	Cestni promet in drugi viri, ki uporabljajo pogonska goriva									
	132	15747	361	4912	20153	1385	1747	283	508	22
M4	Industrijski viri									
	4070	12907	698	2188	7735	364	413	0	0	2834
M5	Kmetijstvo									
	47314	0	15452	5799	2348	122	505	0	0	0
	Drugi antropogeni viri									
	37956	4	0	1694	24	35	159	0	0	2
Skupna vsota (kt)										
	89,5	109,4	18,1	21,7	33,4	11,4	12,5	0,3	0,5	3,7

V tabeli 6.2 so prikazani največji viri posameznih onesnaževal znotraj posameznega modula. Kategorija z največjim deležem CH₄ izvira iz NFR 3A1 - Fermentacija v prebavilih goveda (M5) in prispeva 40 % vseh izpustov tega onesnaževala. Največji skupni delež CO izhaja iz 1A4bi - ogrevanje gospodinjskega sektorja (M2) in znaša kar 66 % skupnih letnih izpustov CO. Pri NH₃ je najbolj izrazit vir onesnaženja kategorija 3Da2a - Apliciranje živilskih izločkov na kmetijske površine (M5 kmetijstvo), ki zajema 42 % vseh letnih izpustov. Glavni vir NMVOC je 1A4bi - ogrevanje gospodinjskega sektorja (M2) in doprinese dobreih 29 %. Osebna vozila (1A3bi) prispevajo skoraj 34 % vseh letnih izpustov NO_x. Ogrevanje gospodinjskega sektorja (1A4bi) je tudi največji vir onesnaženja z delci, tako PM_{2,5}, ki dosega 75 %, kot PM₁₀, ki znaša slabih 70 %. Dobrih 50 %

vseh izpustov SO_x izvira iz industrije (M4), natančneje iz proizvodnje električne energije in toplote (1A1a).

Tabela 6.2: Največji vir onesnaženja za posamezna onesnaževala za BL₂₀₁₈ v t/leto.

Modul	NFR	NFR opis	CH_4	CO	NH_3	NMVOC	NO_x	$\text{PM}_{2,5}$	PM_{10}	SO_x
M2	1A4bi	Gospodinjski sektor	0	72662*	1369	6363	2249	8512	8694	643
M3	1A3bi	Promet: Osebna vozila	54	7597	343	1766	11190	678	940	16
M4	1A1a	Proizvodnja električne energije in toplote	3286	1119	0	0	4424	55	70	1871
	1A2b	Proizvodnja aluminija in drugih neželeznih kovin	0	160	0	0	88	98	104	48
	2C3	Proizvodnja aluminija	0	7866	0	0	16	22	27	522
	2D3g	Proizvodnja kemičnih produktov	0	43	4	987	118	5	5	85
	2H2	Živilska industrija	160	83	551	0	331	0	0	82
M5 kmetijstvo	3A1	Fermentacija v prebavilih - Govedo	35647	0	0	0	0	0	0	0
	3B1b	Živinoreja in ravnanje z živinskimi izločki - Pitana goveda	4579	0	2635	3075	8	47	72	0
	3B4gi	Živinoreja in ravnanje z živinskimi izločki - Kokoši nesnice	0	0	526	134	10	5	71	0
	3Da1	Anorganska dušikova gnojila	0	0	0	0	1078	0	0	0
	3Da2a	Apliciranje živinskih izločkov na kmetijske površine	0	0	7616	0	996	0	0	0
	3Dc	Kmetijska opravila v povezavi s pridelavo poljščin	0	0	0	0	0	15	165	0
M5	1B1a	Izpusti v povezavi s premogovništvom	18364	0	0	1079	0	17	141	0
	1B2c	Izpusti v povezavi s tekočimi in plinastimi fosilnimi gorivi	228	0	0	0	0	17	17	0
	5C1bv	Krematorijski izpusti	0	2	0	0	14	1	1	2

*Največja vrednost posameznega onesnaževala je označena s **krepko** pisavo.

Od osmih onesnaževal, jih ima kar polovica daleč največji izvor iz ene same kategorije: CO, $\text{PM}_{2,5}$, PM_{10} ter SO_x . Pri treh od teh štirih onesnaževal gre za kategorijo ogrevanje gospodinjskega sektorja (1A4bi) ter pri SO_x za proizvodnjo električne energije in toplote (1A1a).

6.6 Primerjava baz izpustov z baznim letom 2013 in 2018

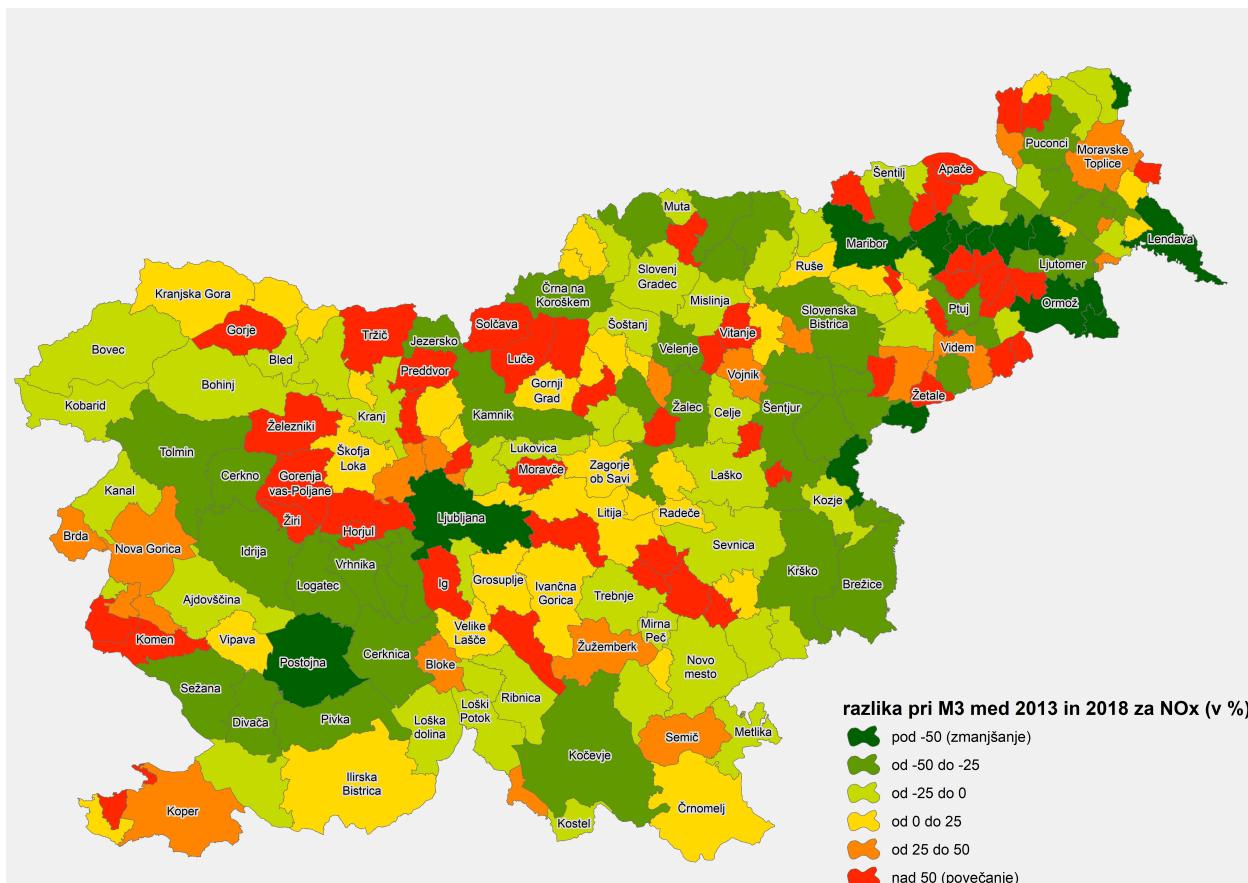
Poleg že omenjenih razlik med bazami izpustov imata obe bazi še nekaj dodatnih razlik. Baza izpustov z BL₂₀₁₃ ne vsebuje onesnaževala CH_4 , zato smo ga izpustili iz primerjave obeh let. BL₂₀₁₃ tudi uporablja prejšnjo klasifikacijo NFR09 namesto trenutno veljavne NFR14. V BL₂₀₁₃ se nahajata naslednji kategoriji, ki ju ne beležimo v BL₂₀₁₈: 2C6 (Producija cinka) in 5C1bi (sežig industrijskih odpadkov). Delež teh izpustov je zanemarljiv in ne presega več kot 0.015 % skupnega deleža kateregakoli onesnaževala. Baza izpustov BL₂₀₁₃ nima kar nekaj NFR kategorij, ki jih zajema

BL_{2018} : 1A2a, 1A2b, 1A2c, 1A3ai (i), 1A3a(ii) (i), 1A5b, 2A5a, 2A5b, 2B6, 2D3b, 2D3c, 2D3f, 2D3i, 2H2, 2I, 5C1b(ii) in 5C1b(v). Skupni delež izpustov, ki ki niso zabeleženi v BL_{2013} dosega dosegajo največjo vrednost pri SO_x in sicer 5,5 % pri vseh ostalih onesnaževalih znaša ta delež med 0,6 in 3 %. Ker se prej naštete kategorije ne nahajajo v BL_{2013} smo jih iz primerjave izključili.

Tabela 6.3: Primerjava skupnih izpustov po modulih med BL_{2018} - BL_{2013} v t/leto.

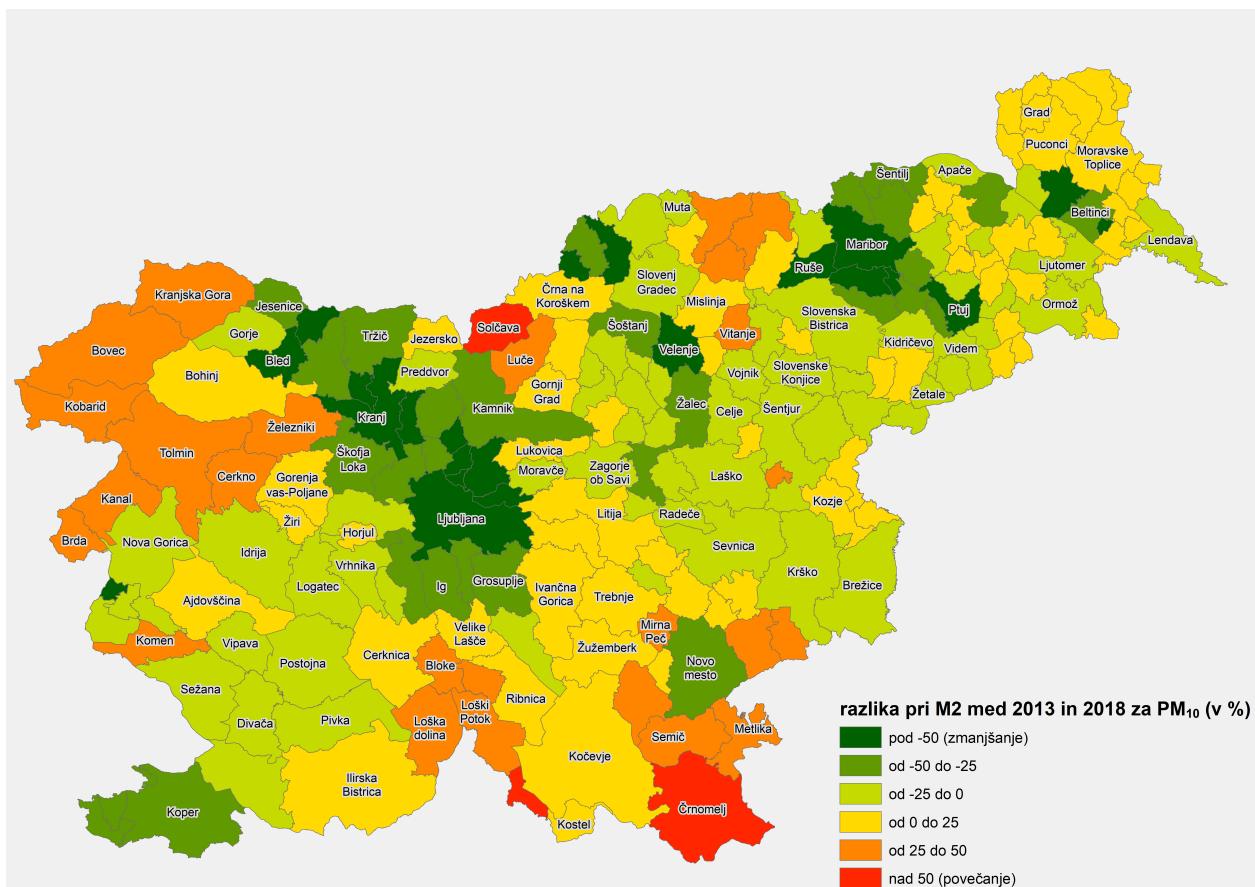
Modul	CO	NH ₃	NMVOCS	NO _x	PM _{2,5}	PM ₁₀	SO _x
M2	-13017.2	1576.9	-3682.2	906.8	-2753.1	-2550.1	471.8
M3	-13888	-80.7	552.6	-2964.1	119.2	182.3	-12.2
M4	-460.7	34.1	-1399.6	-4647.2	-286.7	-437.5	-5298.8
M5	-40.3	-0.1	1162.2	-53.3	33.9	157.9	-1.9
M5 kmetijstvo	0	-1427.9	479.2	838.9	-259.3	-2243.1	0
Skupna razlika	-27406.3	102.3	-2887.7	-5918.9	-3146	-4890.4	-4841.1
Delež (Upad/Rast glede na leto 2013)	-20,2	0,6	-11,8	-15,4	-21,9	-28,4	-58,2

Na sliki 6.5 je prikazana razlika izpustov NO_x po občinah za modul 3 med letoma 2013 in 2018. Razlika je izražena v odstotkih skupne vsote izpustov NO_x modula 3. Negativna vrednost pomeni, da se je skupna vsota NO_x posamezne občine zmanjšala leta 2018 glede na leto 2013. Na primer kategorija od 0 do 25 % pomeni, da je skupna vsota izpustov NO_x M3 večja za 0 do 25 % glede na leto 2013.



Slika 6.5: Primerjava skupnih izpustov NO_x za modul M3. Prikaza je razlika med BL_{2018} in BL_{2013} , po občinah v % glede na leto 2013

Na sliki 6.6 je prikazana razlika izpustov PM_{10} po občinah za modul 2 med letoma 2013 in 2018.

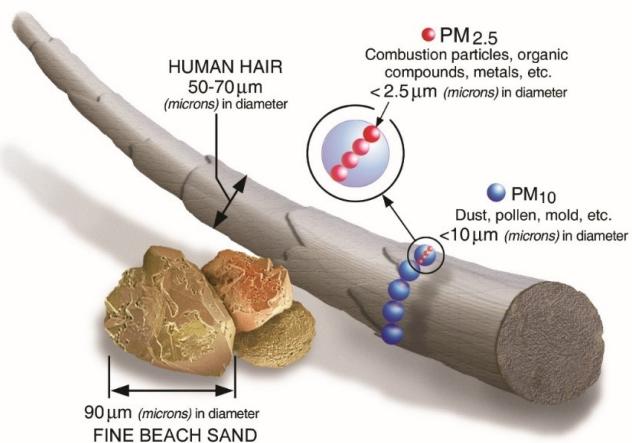


Slika 6.6: Primerjava skupnih izpustov PM_{10} za modul M2. Prikaza je razlika med BL₂₀₁₈ in BL₂₀₁₃, po občinah v % glede na leto 2013

Kot zanimivost naj navedemo, da se je v bazi izpustov BL₂₀₁₃ vodila zgolj ena NFR kategorija za kmetijstvo, medtem ko je v BL₂₀₁₈ le ta razčlenjena na 15 različnih NFR kategorij. Zaradi tega in tudi zgoraj omenjenih razlik med obema bazama, direktna primerjava med NFR kategorijami na nivoju celotne baze ni mogoča.

7. 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 μm . Za lažjo predstavo velikosti delcev prikazuje slika 7.1 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 [20].



Slika 7.1: Prikaz primerjave velikosti delcev (slika povzeta po U.S. EPA [21]).

Črni ogljik je prepoznan kot kratkotrajno podnebno onesnaževalo z življenjsko dobo od nekaj dni do nekaj tednov po izpustu v ozračje [20]. Zaradi svoje kratke življenske dobe ima zmanjšanje izpustov črnega ogljika lahko relativno hiter in regionalen vpliv na podnebne spremembe, posebno v območju Arktike [22].

Črni ogljik neposredno in posredno vpliva na podnebje, kriosfero (območje snega in ledu), kmetijstvo, ekosistem in zdravje ljudi [20]. 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 [20]. Ocenjeno je, da je od predindustrijske dobe ter do leta 2005, črni ogljik prispeval k zvišanju povprečne globalne temperature do 0.8°C . Črni ogljik absorbira svetlobe 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 življenjsko dobo [23]. 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 [24].

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 izpusti niso regulirani z zakonodajo. Prav tako sta v teh državah največja vira odprta kurišča in izgorevanje trdnih goriv za potrebe kuhanja in ogrevanja v gospodinjstvu [20].

7.1 Merjenje črnega ogljika

V okviru državne merilne mreže ARSO črni ogljik testno meri na lokacijah Ljubljana – Bežigrad, Krvavec, Zagorje in Iskrba. Tri merilna mesta so tipa ozadje, medtem ko je merilno mesto Zagorje prometnega tipa. Dve postaji sta mestni in locirani na stanovanjsko-poslovnem območju (Ljubljana Bežigrad in Zagorje), medtem ko sta dve postaji podeželski in locirani v naravnem okolju (Krvavec in Iskrba). 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 14.5. in 2.7., na lokaciji Krvavec v obdobju med 2.8.–28.10., na lokaciji Iskrba v obdobju med 29.8. in 14.9. ter na lokaciji Zagorje v obdobju med 29.9. in 9.11.

Meritve so se izvajale v letu 2021 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). Absorpcijski koeficient (b_{abs}) je obratno sorazmeren z valovno dolžino (λ), kot je prikazano v spodnji enačbi 7.1.

$$b_{abs} \propto \lambda^{-\alpha} \quad (7.1)$$

Ångströmov eksponent (α) je za črne aerosole enak 1, tako ima svež dizelski izpuh koeficient blizu 1 [25]. Za aerosole, ki močneje absorbirajo pri nizkih valovnih dolžinah se pričakuje, da imajo višji Ångströmov eksponent. Tako ima črni ogljik, katerega vir je biomasa, Ångströmov eksponent okoli 2 [26], [27].

Za analizo meritev črnega ogljika je bila v letu 2021 v okviru državne merilne mreže narejena analiza izmerjenih vrednosti. Črni ogljik se določa pri valovni dolžini 880 nm. Za preračun virov izpustov, torej analiza virov, ki so posledica biomase in kurjenja fosilnih goriv pa je bila upoštevana enačba 7.2. Vrednost Ångströmovega eksponenta (α) je bila izračunana kot razmerje absorpcije pri valovni dolžini 470 nm in 950 nm (IR spekter), saj je kontrast med temo dvema valovnima dolžinama največji. Za ločevanje med ogljičnimi aerosoli je bil uporabljen tako imenovani "aethalometerski

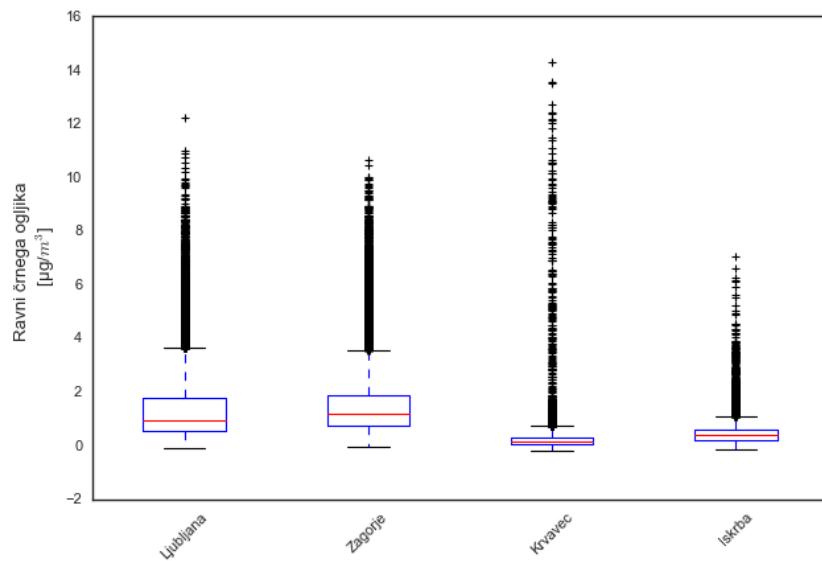
model” [26], [27], ki predvideva, da so skupne ravni črnega ogljika posledica virov emisij iz kurjenja biomase in kurjenja fosilnih goriv. Aethalometer je imel nastavljen pretok 5 l/min, s časovno frekvenco podatkov 10 minut.

$$\alpha(\lambda_{470}, \lambda_{950}) = \frac{\ln\left(\frac{b_{abs}(\lambda_{470})}{b_{abs}(\lambda_{950})}\right)}{\ln\left(\frac{\lambda_{470}}{\lambda_{950}}\right)} \quad (7.2)$$

7.2 Rezultati meritev

Za vse lokacije je bil pripravljen graf kvartilov v letu 2021, izračunana osnovna statistika, izračunan Ångströmов eksponent (α) in preračunan vir izpustov črnega ogljika, kot posledica kurjenja biomase ali fosilnih goriv.

Na lokacijah, ki so postavljene v mestnem območju so bile ravni precej podobne, mediana na lokaciji Zagorje je bila $1,16 \mu\text{g}/\text{m}^3$, na lokaciji Ljubljana $0,93 \mu\text{g}/\text{m}^3$ oziroma 20 % manj kot v Zagorju. Na podeželskem območju je bila mediana precej nižja in sicer na lokaciji Krvavec $0,14 \mu\text{g}/\text{m}^3$, kar je v primerjavi z Zagorjem kar 88 % manj in na lokaciji Iskrba $0,38 \mu\text{g}/\text{m}^3$ oziroma 67 % manj v primerjavi z Zagorjem. Največji razpon meritev je bil izmerjen na lokaciji Krvavec, kjer je največja vrednost dosegla $14,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, dne 5.7..



Slika 7.2: Prikaz 10 minutnih meritev črnega ogljika. Prikazane so najnižja in najvišja izmerjena raven (spodnja in zgornja vodoravna črtica), oba kvartila (vrh in dno pravokotnika) in mediana (oranžna vodoravna črtica v pravokotniku). Znaki + označujejo razpon meritev. Rdeča črta prikazuje urno mejno vrednost.

Tabela 7.1: Pregled izmerjenih 10 minutnih 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.

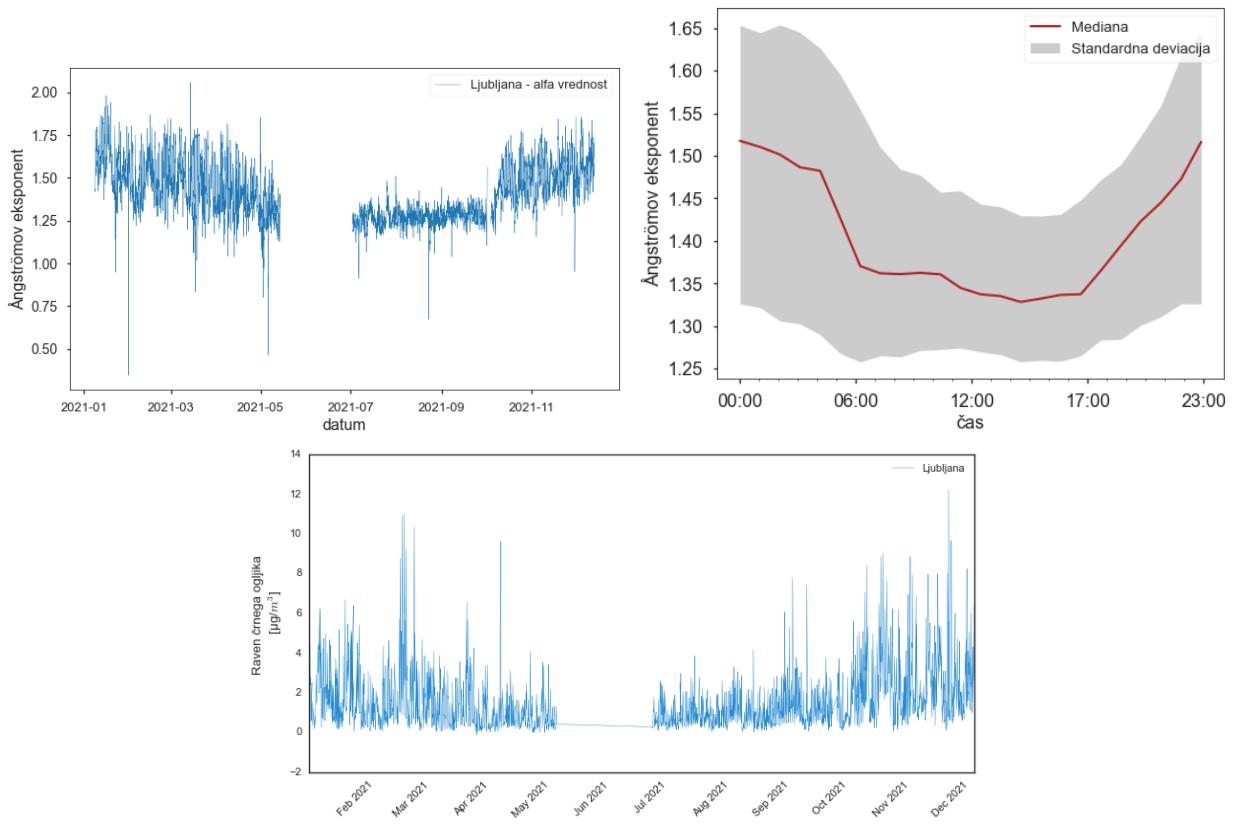
	Krvavec			Ljubljana		
	BC	BB	FF	BC	BB	FF
Srednja vrednost	0,14	0,04	0,09	0,93	0,27	0,61
Maksimalna vrednost	14,3	2,66	15,26	12,22	5,08	13,14
	Zagorje			Iskrba		
	BC	BB	FF	BC	BB	FF
Srednja vrednost	1,16	0,23	0,78	0,38	0,11	0,23
Maksimalna vrednost	10,63	6,79	9,14	7,03	6,01	9,31

Analiza virov izpustov črnega ogljika je pokazala, da je Ångströmов eksponent (α) na vseh lokacijah precej podoben in se giblje med 1,29 in 1,41. To pomeni, da prevladuje črni ogljik iz fosilnih goriv. Odstotek črnega ogljika iz biomase je bil najmanjši na lokaciji Zagorje (30 %), medtem ko je bil največji na lokaciji Iskrba (35 %). Na lokaciji Zagorje, ki je bolj prometna se je izkazalo, da je srednja vrednost črnega ogljika iz fosilnih goriv $0,78 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ter iz malih kurišč $0,23 \mu\text{g}/\text{m}^3$, medtem ko je v Ljubljani srednja vrednost črnega ogljika iz biomase $0,27 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ter iz fosilnih goriv $0,61 \mu\text{g}/\text{m}^3$. 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 $0,09 \mu\text{g}/\text{m}^3$, medtem ko je na Iskrbi $0,11 \mu\text{g}/\text{m}^3$ iz biomase in $0,23 \mu\text{g}/\text{m}^3$ iz fosilnih goriv.

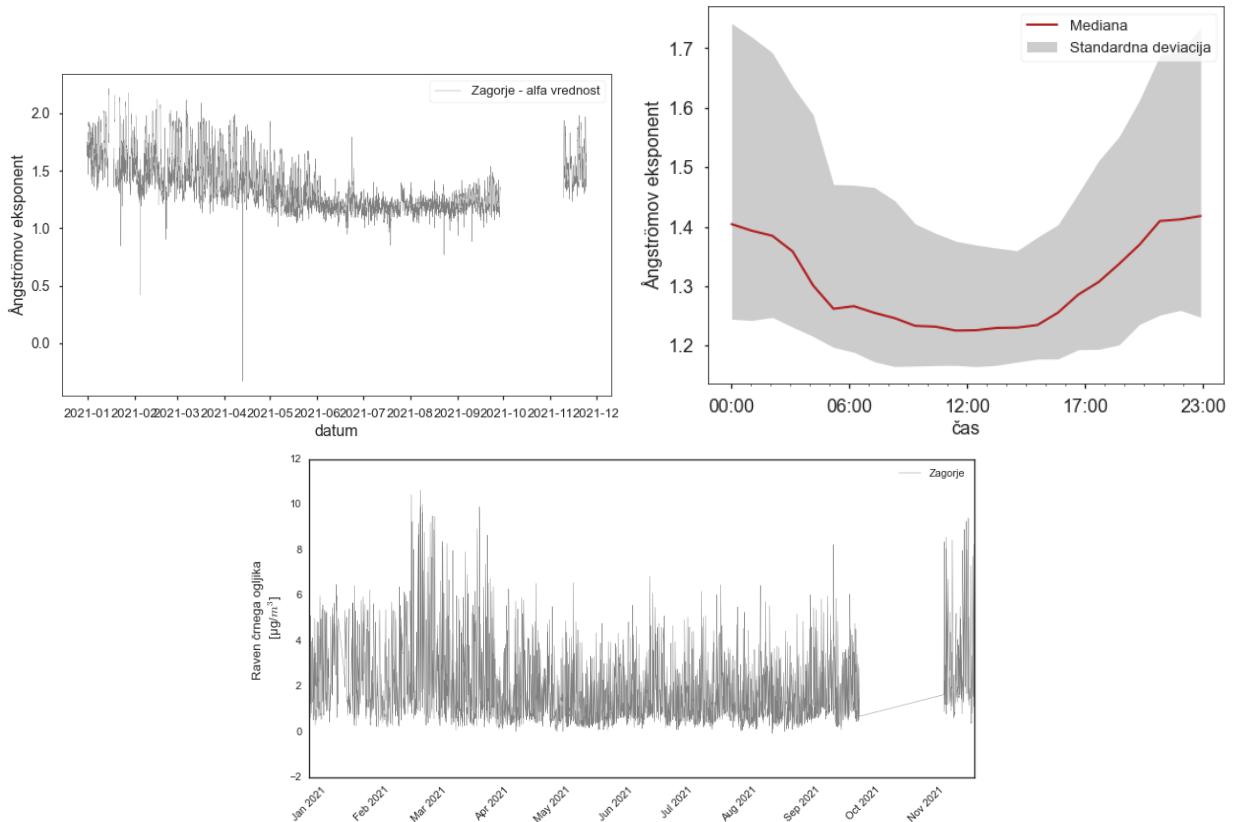
Tabela 7.2: Pregled izračunanega Ångströmovega eksponenta (α) in na novo preračunan delež črnega ogljika iz biomase v letu 2021.

	α	Odstotek BC iz kurjenja biomase
Krvavec	1,37	30,7 %
Ljubljana	1,39	33,8 %
Zagorje	1,29	30,1 %
Iskrba	1,41	35,2 %

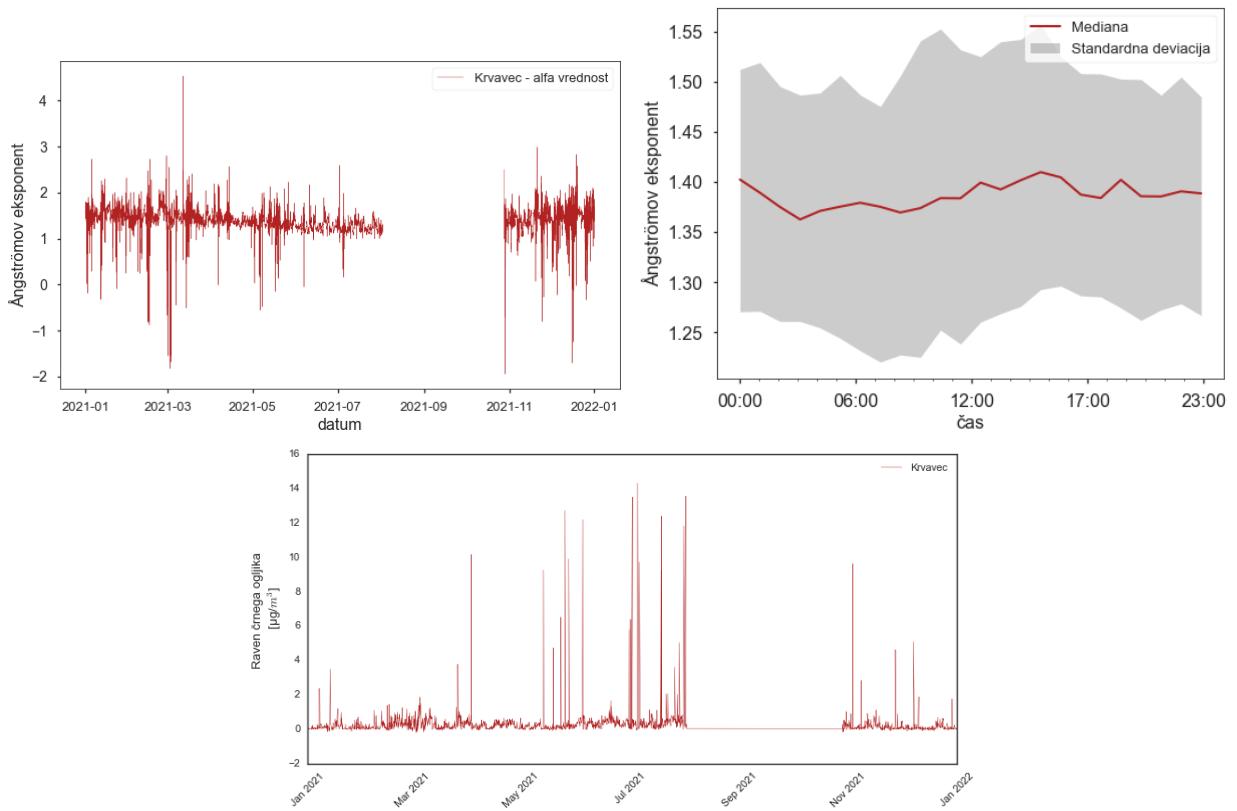
Analiza vrednosti in dnevnih hodov Ångströmovega eksponenta (α) je pokazala, da je na lokaciji Ljubljana značilen urban letni hod, torej da so vrednosti nižje v toplejših mesecih. Prav tako dnevni hod α -vrednosti prikazuje, da se le-ta začne dvigati po 17:00 ter nato po 24:00 pada do jutranjih ur. V tem času se namreč nabira črni ogljik, ki je posledica popoldansko večernega kurjenja biomase v malih kuriščih. Na lokaciji Zagorje je Ångströmов eksponent (α) tekom leta nekoliko bolj enakomeren, z opazno prisotnostjo črnega ogljika, ki je posledica kurjenja malih kurišč, v času po 17:00 oziroma v hladnejši polovici leta. Precej enakomerno izmerjene ravni črnega ogljika tekom celega leta se pojavljajo na lokaciji Krvavec. Tudi alfa vrednost se preko leta ne spreminja, kar kaže na enak vir črnega ogljika tekom leta na Krvavcu. Tudi na lokaciji Iskrba je vir izpustov črnega ogljika precej enakomeren, opaziti pa je mogoče rahel dnevni hod, ki nakazuje na človeške aktivnosti, podobno kot na lokacijah Ljubljana in Zagorje.



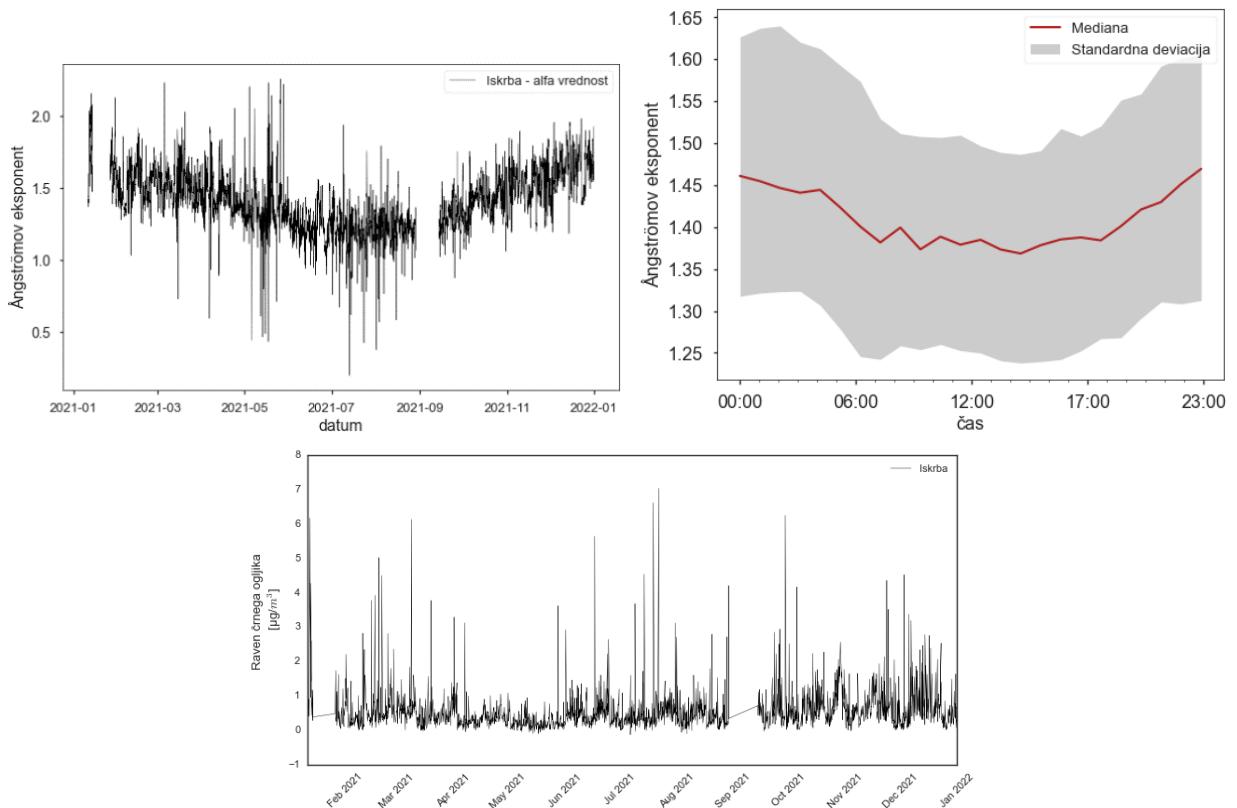
Slika 7.3: Prikaz alfa vrednosti (zgoraj levo) in alfa dnevnih hodov (zgoraj desno) ter izmerjenih vrednosti na merilnem mestu Ljubljana (spodaj).



Slika 7.4: Prikaz alfa vrednosti (zgoraj levo) in alfa dnevnih hodov (zgoraj desno) ter izmerjenih vrednosti na merilnem mestu Zagorje (spodaj).



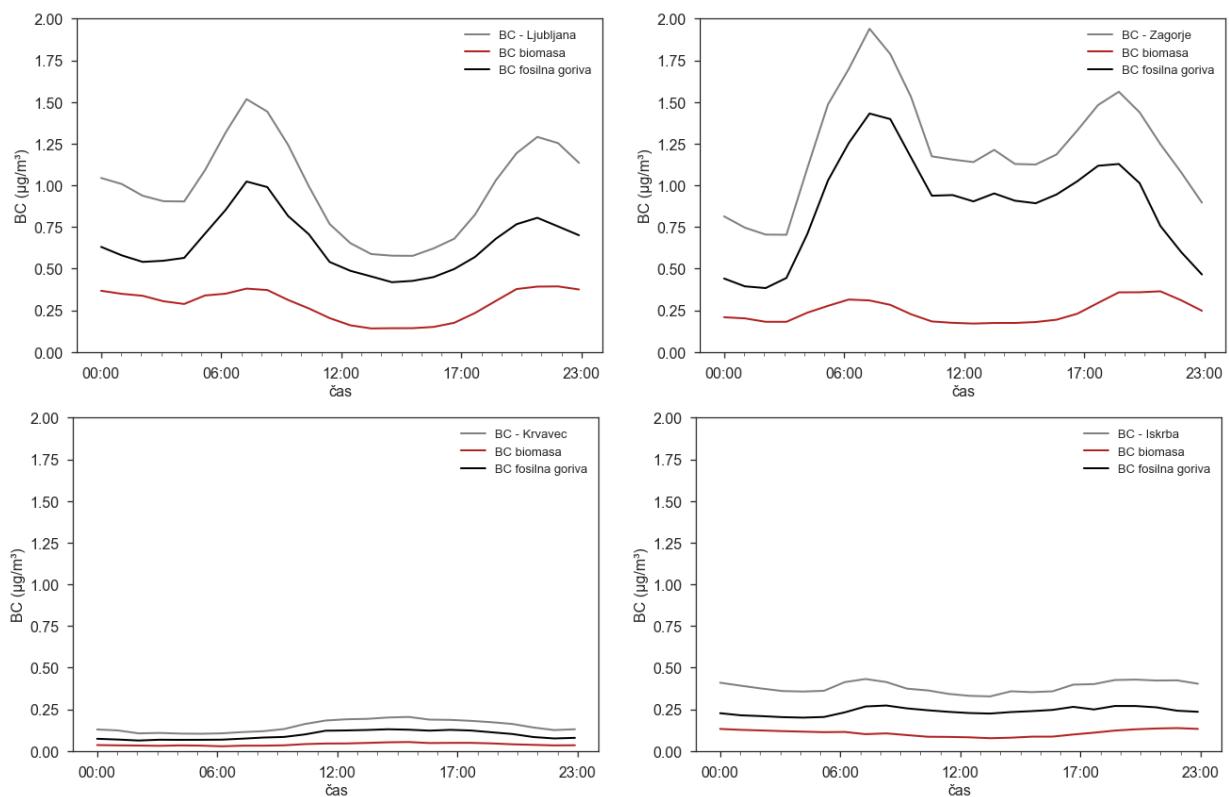
Slika 7.5: Prikaz alfa vrednosti (zgoraj levo) in alfa dnevnih hodov (zgoraj desno) ter izmerjenih vrednosti na merilnem mestu Krvavec (spodaj).



Slika 7.6: Prikaz alfa vrednosti (zgoraj levo) in alfa dnevnih hodov (zgoraj desno) ter izmerjenih vrednosti na merilnem mestu Iskrba (spodaj).

7.3 Dnevni hodi

Dnevni hodi prikazujejo povprečen vzorec izpustov črnega ogljika za vsako uro posebej preko celega dneva. Na ta način se lahko prikaže trend izpustov, ki je značilen za antropogene aktivnosti. V prometnem sektorju sta to dva vrhova, ki se pojavit v času jutranje prometne konice (med 6:00 in 8:00) ter ne tako jasen vrh, ki se pojavi v času popoldanske prometne konice (med 16:00 in 20:00). Za vrednosti črnega ogljika iz malih kurišč je značilen popoldanski vrh, ki se začne okrog 17:00 in ga je zaznati tudi v nočnem času z rahlim padcem. V jutranjem času, okrog 7:00 je ponovno opazno rahlo povečanje ravni, ki so posledica jutranjega vžiga malih kurišč. Precej značilen dnevni hod za antropogene izpuste z dvema vrhovoma je viden na lokaciji Ljubljana. Na tem merilnem mestu je opazen večji delež izpustov iz prometa kot iz malih kurišč. Na lokaciji Zagorje je viden večji delež izpustov iz prometa, saj je tudi merilno mesto locirano ob večji prometnici. Opaziti je mogoče nekoliko višji vrh v jutranjem času, ki doseže raven tudi do $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ter popoldanski vrh, okrog 17:00, ko je dosežena vrednost okrog $1,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Med vrhovoma ni izrazitega padca ravni. Dnevni hod črnega ogljika iz malih kurišč je precej podoben tistemu v Ljubljani. Na lokacijah ozadja ni opaznega značilnega dnevnega hoda, prav tako so ravni precej nižje kot v urbanih območjih.



Slika 7.7: Dnevni hod letnih vrednosti celotnega črnega ogljika (siva), črnega ogljika iz fosilnih goriv (črna) in kurjenja biomase (rdeča) na merilnem mestu Ljubljana (zgoraj levo), Zagorje (zgoraj desno), Krvavec (spodaj levo) in Iskrba (spodaj desno).

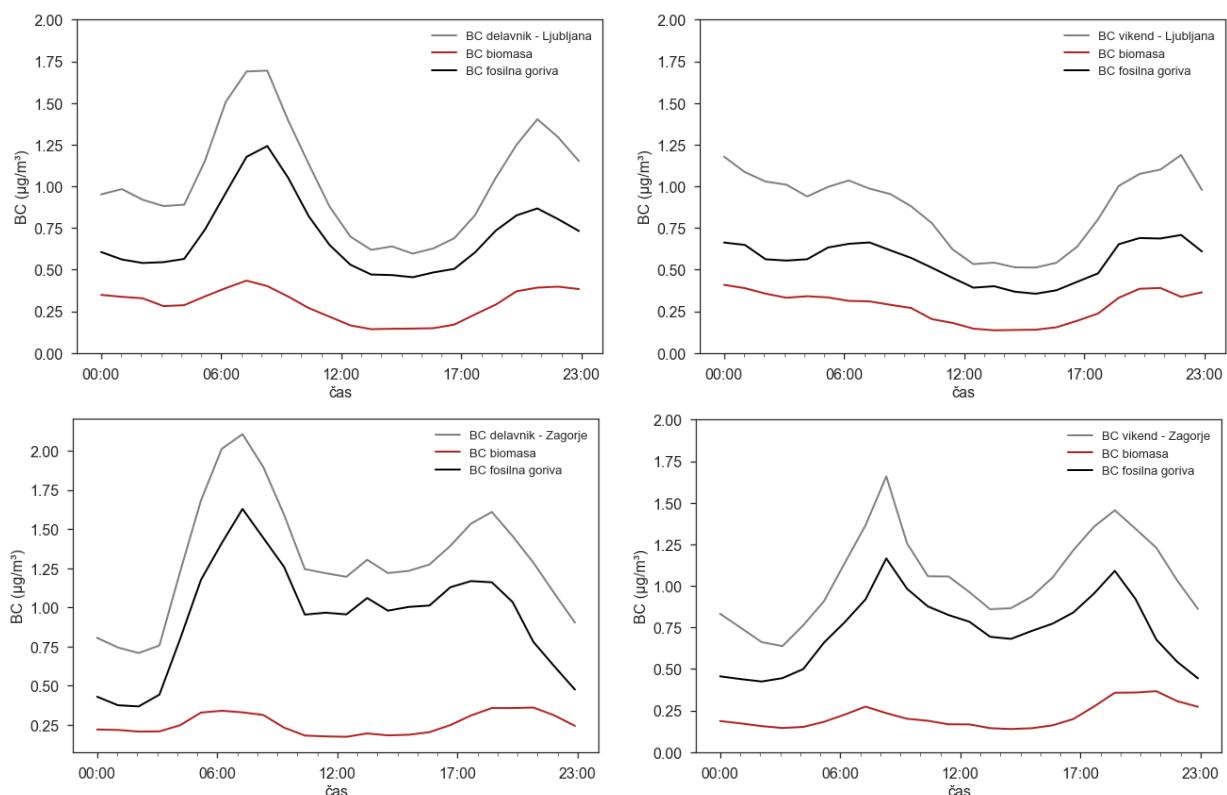
V nadaljevanju je narejena analiza dnevnih hodov v času delavnika, torej od ponedeljnika do petka ter v času vikenda, v soboto in nedeljo za mestni postaji.

Primerjava dnevnih hodov za delavnik in vikend prikazuje različne tende izpustov črnega ogljika zaradi različnih aktivnosti prebivalcev. Med delavnikom se izpusti pojavijo nekoliko prej,

z izrazitejšimi vrhovi, medtem ko vrhovi med vikendom niso tako izraziti. Na merilnem mestu Ljubljana je izrazita razlika med prometnimi izpusti, ki se med vikendom zmanjšajo. Prav tako ni jutranje konice, saj ljudje ne odhajajo na delovna mesta. Na merilnem mestu Zagorje se med vikendom jutranji vrh izpustov iz prometa zniža.

Tabela 7.3: Pregled izračunanih srednjih vrednosti črnega ogljika (BC), Ångströmova eksponent (α) in delež črnega ogljika iz biomase (BB) in fosilnih goriv (FF) v letu 2021, glede na vikend in delavnik.

	Vikend				Delavnik			
	BC ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	α	BB (%)	FF (%)	BC ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	α	BB (%)	FF (%)
Ljubljana	0,83	1,4	35 %	65 %	0,98	1,4	29 %	71 %
Zagorje	0,99	1,3	23 %	77 %	1,24	1,3	22 %	78 %



Slika 7.8: Dnevni hodi letnih vrednosti celotnega črnega ogljika (siva), črnega ogljika iz fosilnih goriv (črna) in kurjenja biomase (rdeča) glede na delavnik in vikend, na merilnih mestih Ljubljana in Zagorje.

7.4 Topla in hladna polovica leta

Topla polovica leta je definirana kot obdobje v času med 1. aprilom in 30. septembrom, medtem ko je hladna polovica leta definirana kot obdobje med 1. oktobrom in 31. marcem.

Najvišje ravni črnega ogljika so se pojavile v hladni polovici leta na merilnem mestu Ljubljana in Zagorje. V topli polovici leta so bile ravni nižje.

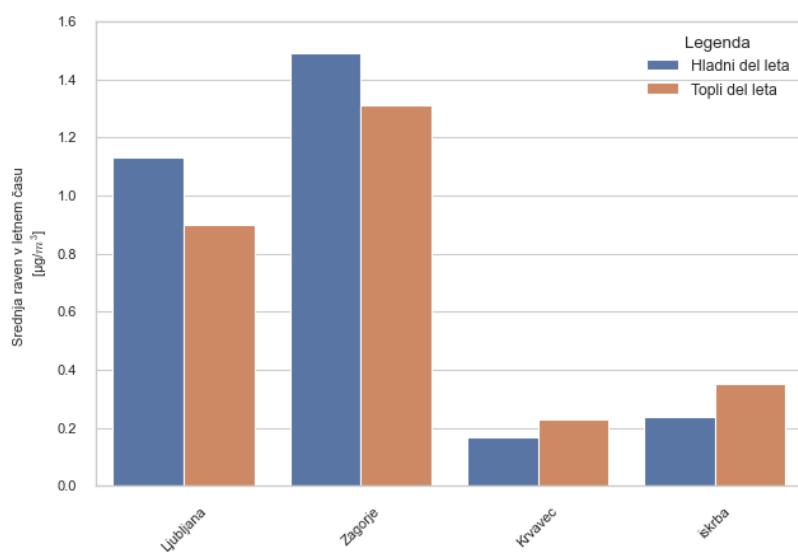
Na merilnem mestu Iskrba in Krvavec so bile vrednosti v zimskem in poletnem času precej podobne, s tem, da so bile v toplem delu leta malenkost višje. Pomembno pa je omeniti, da so bile

izmerjene vrednosti na teh dveh lokacijah izjemno nizke v primerjavi z izmerjenimi vrednostmi v urbanih območjih, posledično je tudi razlika med toplim in hladnim delom leta precej manjša.

Prav tako je analiza Ångströmovega eksponenta (α) pokazala, da so bile te vrednosti višje v hladni polovici leta kot v topli, kar nakazuje na več črnega ogljika iz malih kurišč v atmosferi. Primerjava deležev črnega ogljika iz kurjenja biomase je pokazala prispevek približno 33 % v zimskem času in približno 27 % v topli polovici leta.

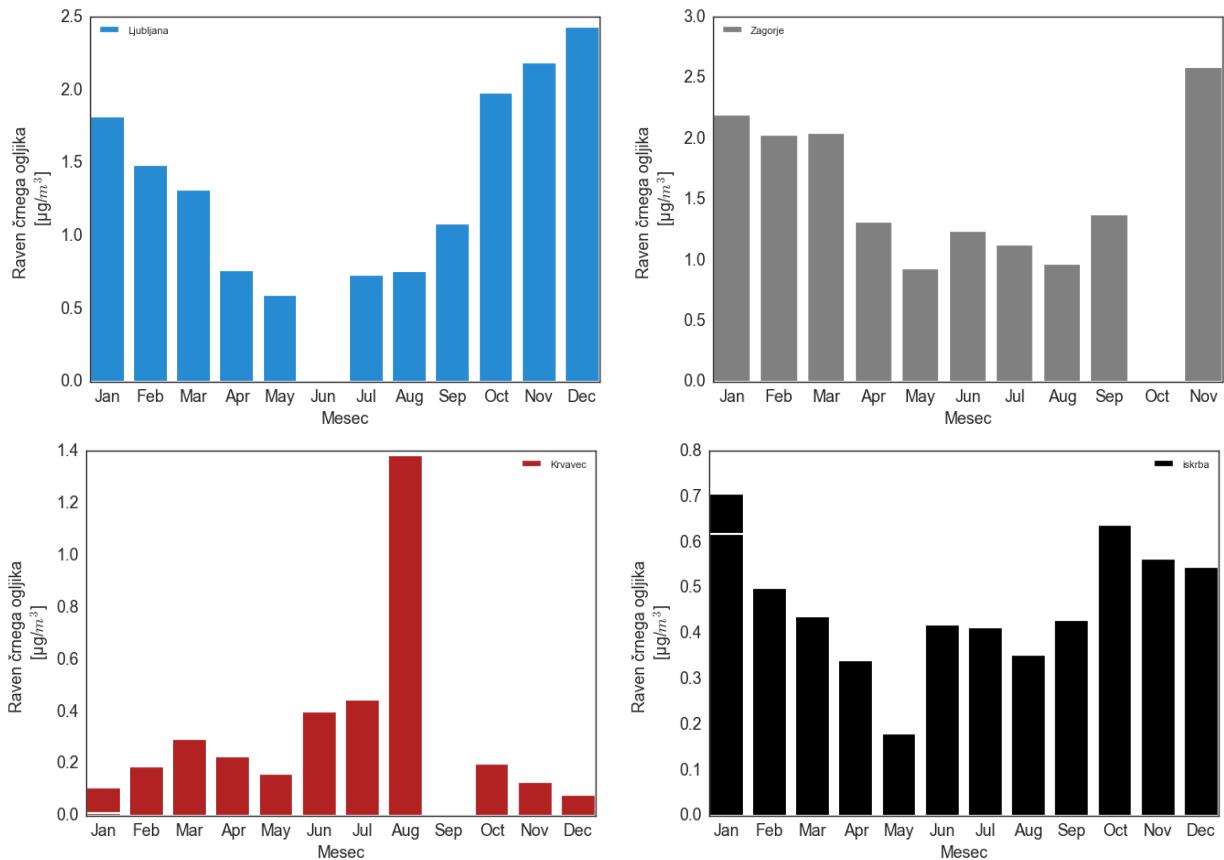
Tabela 7.4: Pregled srednjih vrednosti črnega ogljika (BC), izračunanega Ångströmovega eksponenta (α) in na novo preračunanega deleža črnega ogljika iz biomase (BB) v letu 2021 v hladni in topli polovici leta.

	Hladni del leta (1.oktober – 31. marec)			Topli del leta (1.April – 30.september)		
	BC ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	α	BB (%)	BC ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	α	BB (%)
Ljubljana	1,13	1,45	38 %	0,9	1,35	28 %
Zagorje	1,49	1,41	34 %	1,31	1,29	23 %
Krvavec	0,17	1,42	21 %	0,23	1,38	30 %
Iskrba	0,4	1,46	38 %	0,35	1,35	28 %



Slika 7.9: Srednje vrednosti na merilnih mestih Ljubljana, Zagorje, Krvavec in Iskrba v toplem in hladnem delu leta.

Mesečne srednje vrednosti izpustov črnega ogljika na merilnem mestu Ljubljana so bile najniže v poletnih mesecih, nato pa so se počasi vrednosti dvigale do meseca decembra, ko je bila izmerjena najvišja vrednost. V toplejših mesecih (april, maj, julij in avgust) so bile vrednosti za več kot polovico manjše v primerjavi s hladnejšimi meseci (oktober, november, december). Najvišje vrednosti v Zagorju so se pojavile v novembru, januarju, februarju in marcu. V preostalih mesecih so bile te vrednosti nižje. Na merilnem mestu Krvavec je bila opazna izrazito visoko vrednost v mesecu avgustu. V primerjavi z ostalimi vrednostmi so se najvišje vrednosti pojavile v poletnih mesecih. Podoben trend ravni črnega ogljika kot v Ljubljani in Zagorju je viden tudi na merilnem mestu Iskrba.



Slika 7.10: Mesečne srednje vrednosti na merilnih mestih Ljubljana (zgoraj levo), Zagorje (zgoraj desno), Krvavec (spodaj levo) in Iskrba (spodaj desno).

7.5 Korelacija

Tabela 7.5 prikazuje ravni prašnih delcev in dušikovih spojin na obravnavanih merilnih mestih, z izjemo merilnega mesta Krvavec, kjer se meritve prašnih delcev in dušikovih spojin ne izvajajo. Ravni črnega ogljika so v primerjavi z drugimi snovmi izjemno nizke. V izmerjenih delcih PM₁₀ je približno 5 % vrednosti črnega ogljika, medtem ko jih je 8 % v delcih PM_{2,5}. Delcev PM_{2,5} je v PM₁₀ približno 65 %.

Tabela 7.5: Pregled srednjih vrednosti črnega ogljika, PM₁₀, PM_{2,5}, NO₂ in NO_x v µg/m³ na merilnih mestih Zagorje, Ljubljana in Iskrba.

	BC	PM ₁₀	PM _{2,5}	NO ₂	NO _x
Zagorje	1,17	18,3	11,1	24,1	15,5
Ljubljana	0,93	17,5	11,9	22	19
Iskrba	0,38	8,4	5,6	/	1,0

Glede na določitev virov izpustov črnega ogljika le-te precej dobro korelirajo z ravnimi prašnimi delci, predvsem PM_{2,5} in v urbanih območjih tudi z ravnimi NO_x in NO₂, katerih največji viri je promet. Pripravljena je bila korelacija determinacijskega koeficiente (R²) za skupni ogljik (BC), ogljik iz prometa oziroma fosilnih goriv (BCff) ter za ogljik iz biomase (BCbb) v korelaciji z emisijami

prahu (PM_{10} in $PM_{2,5}$) in dušikovimi oksidi (NO_2 in NO_x). Na merilnem mestu Ljubljana ravni črnega ogljika dobro korelirajo z dušikovimi ravnimi in emisijami prahu. Črni ogljik iz fosilnih goriv precej dobro korelira z dušikovimi ravnimi in zmero s prašnimi delci. Črni ogljik iz biomase ima najboljšo korelacijo z emisijami $PM_{2,5}$ ter precej dobro tudi z delci PM_{10} in NO_x .

	BC	PM₁₀	PM_{2,5}	NO_x	NO₂
BC	1,00	0,76	0,77	0,88	0,77
PM₁₀		1,00	0,93	0,61	0,59
PM_{2,5}			1,00	0,58	0,55
NO_x				1,00	0,82
NO₂					1,00

	BCff	PM₁₀	PM_{2,5}	NO_x	NO₂
BCff	1,00	0,65	0,60	0,87	0,74
PM₁₀		1,00	0,93	0,61	0,59
PM_{2,5}			1,00	0,58	0,55
NO_x				1,00	0,82
NO₂					1,00

	BCbb	PM₁₀	PM_{2,5}	NO_x	NO₂
BCbb	1,00	0,73	0,81	0,71	0,65
PM₁₀		1,00	0,93	0,61	0,59
PM_{2,5}			1,00	0,58	0,55
NO_x				1,00	0,82
NO₂					1,00

Legenda:

Dobra korelacija – ujemanje nad 70 %	
Zmerna korelacija – ujemanje med 50 in 70 %	
Ni korelacijske – ujemanje pod 50 %	

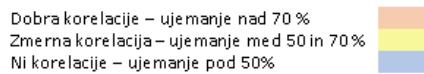
Slika 7.11: Pregled korelacijskega determinacijskega koeficienta (R^2) med parametri prašnih delcev in dušikovih spojin na merilnem mestu Ljubljana.

Na merilnem mestu Zagorje je korelacija precej podobna kot na merilnem mestu Ljubljana, ravni črnega ogljika dobro korelirajo s prašnimi delci $PM_{2,5}$ in dušikovimi spojinami. Črni ogljik iz fosilnih goriv najbolje korelira z ravnimi NO_x in NO_2 (0,69 oziroma 0,64), medtem ko ni zaznati korelacije s prašnimi delci. Črni ogljik iz malih kurišč najbolje korelira z ravnimi $PM_{2,5}$ (0,84), nekoliko slabše pa z ravnimi PM_{10} (0,62).

	BC	PM ₁₀	PM _{2,5}	NO _x	NO ₂
BC	1,00	0,65	0,75	0,71	0,73
PM ₁₀		1,00	0,82	0,38	0,47
PM _{2,5}			1,00	0,37	0,44
NO _x				1,00	0,85
NO ₂					1,00

	BCff	PM ₁₀	PM _{2,5}	NO _x	NO ₂		BCbb	PM ₁₀	PM _{2,5}	NO _x	NO ₂
BCff	1,00	0,36	0,27	0,69	0,64	BCbb	1,00	0,62	0,84	0,43	0,49
PM ₁₀		1,00	0,82	0,38	0,47	PM ₁₀		1,00	0,82	0,38	0,47
PM _{2,5}			1,00	0,37	0,44	PM _{2,5}			1,00	0,37	0,44
NO _x				1,00	0,85	NO _x				1,00	0,85
NO ₂					1,00	NO ₂					1,00

Legenda:



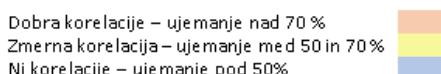
Slika 7.12: Pregled korelacijskega determinacijskega koeficienta (R^2) med parametri prašnih delcev in dušikovih spojin na merilnem mestu Zagorje.

Na merilnem mestu Iskrba ravni črnega ogljika korelirajo zgolj s trendom delcev PM_{2,5} med ostalimi spojinami pa ni opaziti korelacije. Podobno korelacijo je opaziti tudi v primerjavi s črnim ogljikom iz različnih virov, kar nakazuje na to, da merilno mesto meri ozadje in posledično starane spojine, ki so izmerjene kot prašni delci velikosti do 2,5 μm .

	BC	PM ₁₀	PM _{2,5}	NO ₂
BC	1,00	0,44	0,72	0,32
PM ₁₀		1,00	0,79	-0,04
PM _{2,5}			1,00	0,11
NO ₂				1,00

	BCff	PM ₁₀	PM _{2,5}	NO ₂		BCbb	PM ₁₀	PM _{2,5}	NO ₂
BCff	1,00	0,45	0,66	0,14	BCbb	1,00	0,24	0,50	0,43
PM ₁₀		1,00	0,79	-0,04	PM ₁₀		1,00	0,79	-0,04
PM _{2,5}			1,00	0,11	PM _{2,5}			1,00	0,11
NO ₂				1,00	NO ₂				1,00

Legenda:



Slika 7.13: Pregled korelacijskega determinacijskega koeficienta (R^2) med parametri prašnih delcev in dušikovih spojin na merilnem mestu Iskrba.

8. 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 fine 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 finih 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.

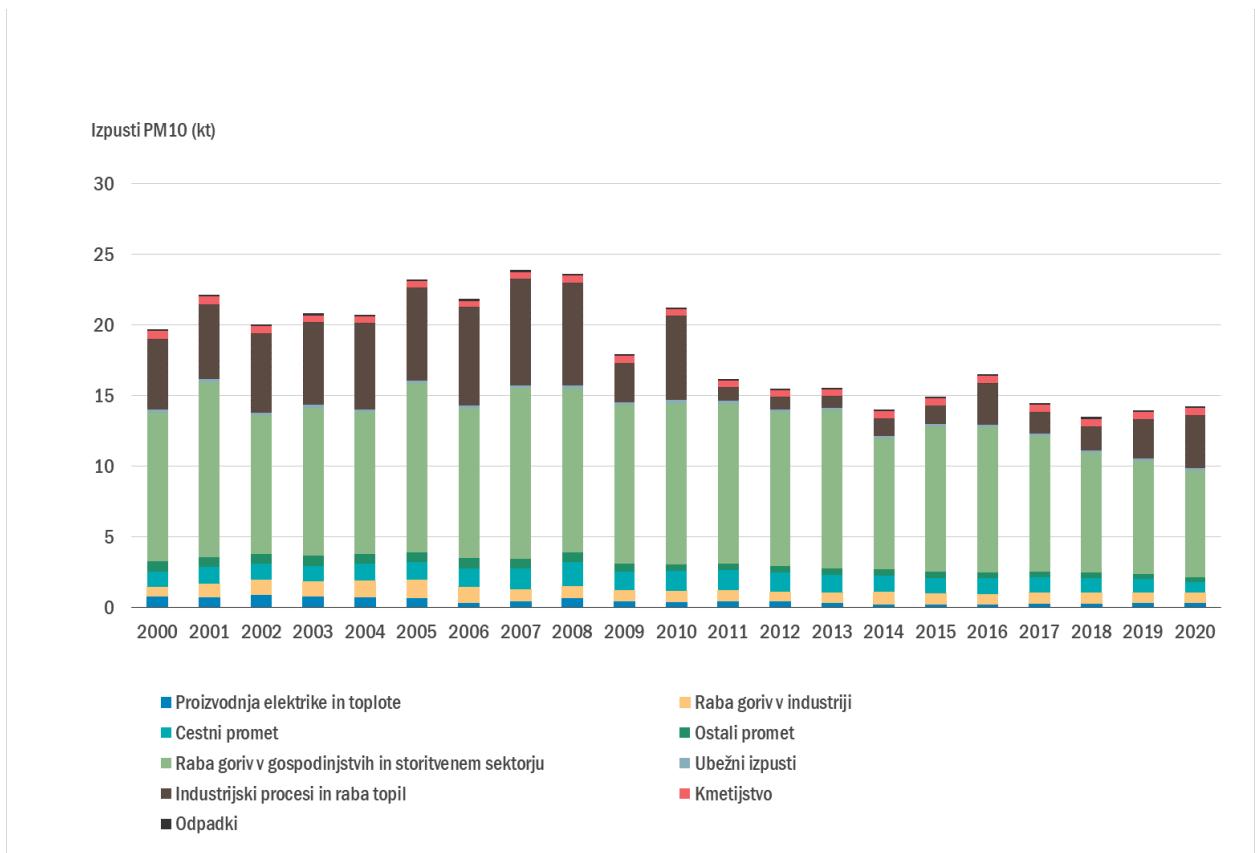
8.1 Izpusti delcev

Letni izpusti delcev PM₁₀ so v Sloveniji leta 2020 znašali 14 tisoč ton (slika 8.1), letni izpusti primarnih delcev manjših od 2,5 µm (PM_{2,5}) pa 10 tisoč ton (slika 8.3). V obdobju 2000-2020 so se izpusti delcev PM₁₀ zmanjšali za 28 %, delcev PM_{2,5} pa za 30 %. 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.

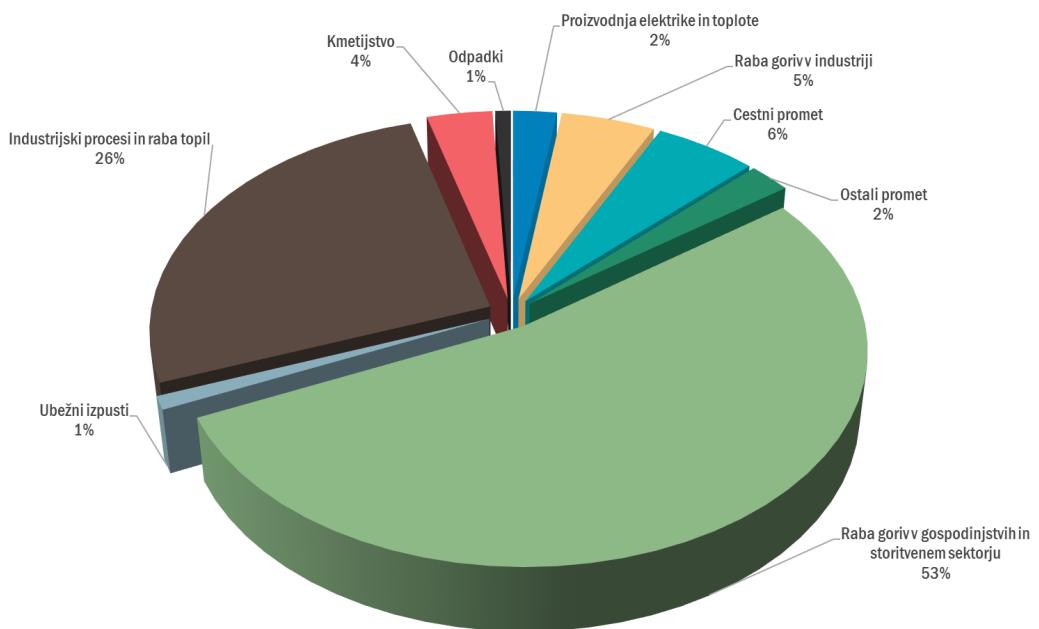
Mala kurišča so k skupnim izpustom PM₁₀ na nivoju države v letu 2020 prispevala 53 % (slika 8.2), k skupnim izpustom PM_{2,5} pa kar 74 % (slika 8.4). Iz slike 8.5 je razvidna prevladujoča vloga kurilnih naprav na les v skupnih izpustih malih kurilnih naprav.

K izpustom delcev znatno prispeva tudi cestni promet. Izpusti PM₁₀ iz cestnega prometa so leta 2020 predstavljali 6 % skupnih državnih izpustov, delež k izpustom PM_{2,5} je znašal 5 %. Delci v cestnem prometu nastajajo tudi pri obrabi cest, gum in zavor.

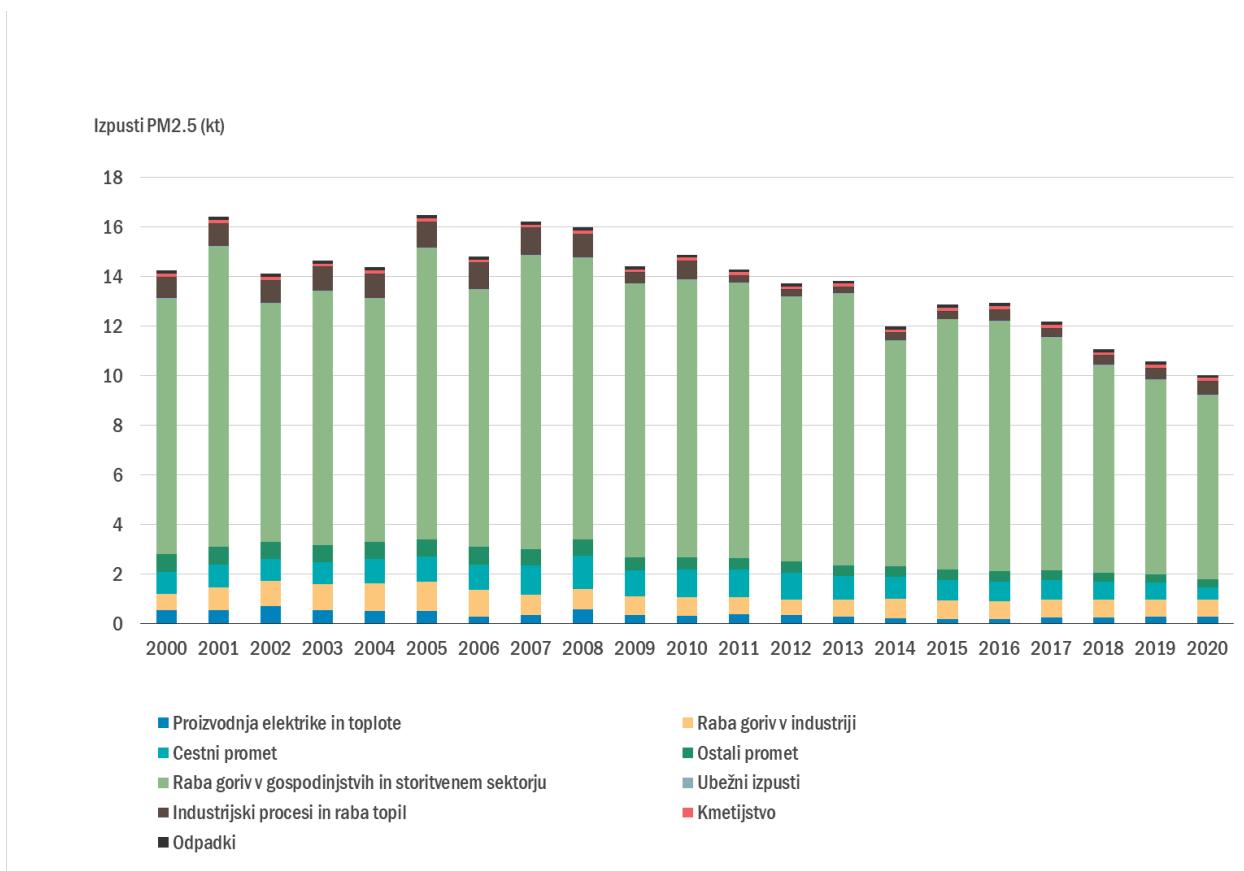
Podrobne informacije o izpustih delcev PM₁₀ in PM_{2,5}, ter metodologiji izračuna izpustov so na voljo v [8].



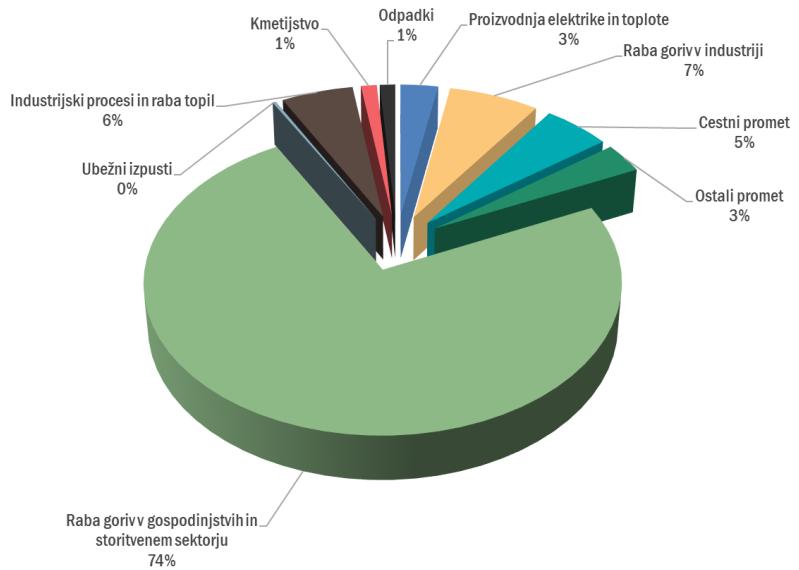
Slika 8.1: Letni izpusti delcev PM₁₀ po sektorjih v Sloveniji.



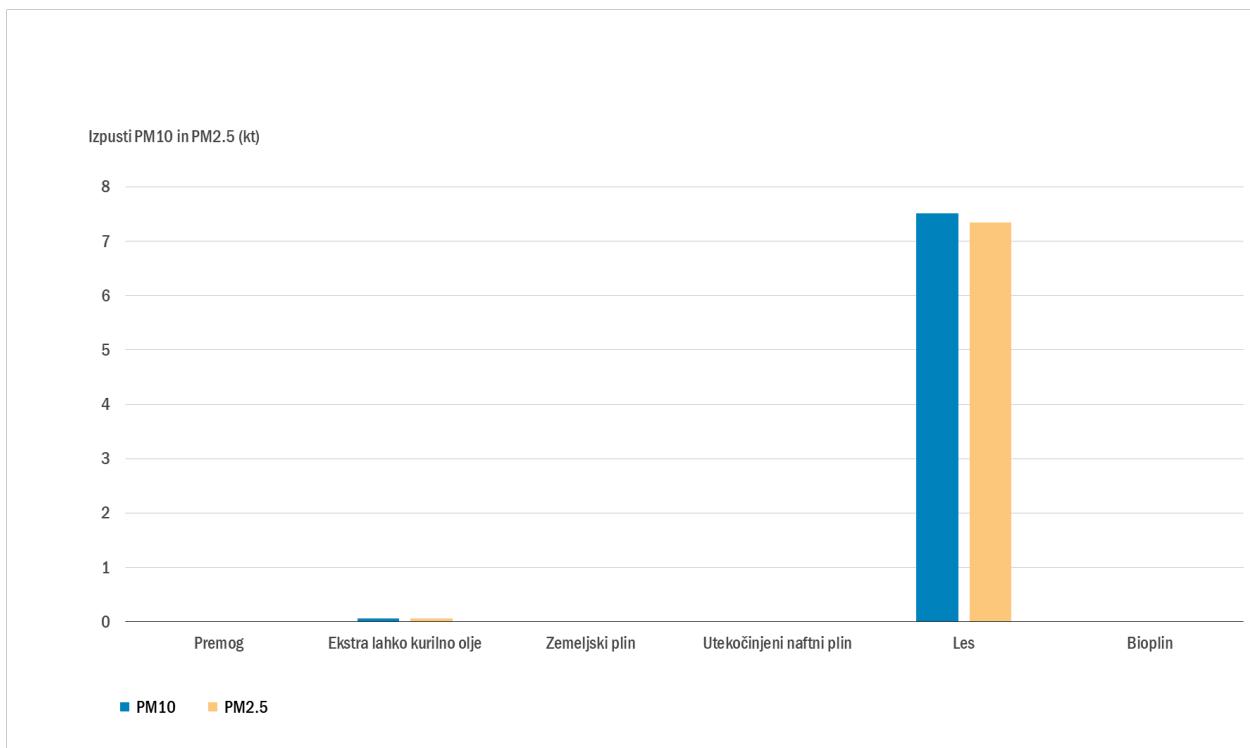
Slika 8.2: Izpusti delcev PM₁₀ po sektorjih v Sloveniji v letu 2020.



Slika 8.3: Letni izpusti delcev PM_{2,5} po sektorjih v Sloveniji.



Slika 8.4: Izpusti delcev PM_{2,5} po sektorjih v Sloveniji v letu 2020.



Slika 8.5: Izpusti delcev PM₁₀ in PM_{2,5} iz malih kurilnih naprav glede na vrsto uporabljenega goriva v letu 2020.

8.2 Zahteve za kakovost zraka

Mejne vrednosti za delce so predpisane v Uredbi o kakovosti zunanjega zraka [4]. Prikazane so v tabeli 8.1. 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 8.2). V tabeli 8.1 so poleg zakonodajno predpisanih vrednosti napisane tudi smernice Svetovne zdravstvene organizacije v stolpcu WHO.

Tabela 8.1: Mejne in ciljne vrednosti za PM₁₀ in PM_{2,5} ter WHO smernice.

	Čas merjenja	Vrednost	Komentar	WHO
PM ₁₀ , mejna vrednost	1 dan	50 µg/m ³	Največ 35 preseganj v koledarskem letu.	50 µg/m ³
PM ₁₀ , mejna vrednost	Koledarsko leto	40 µg/m ³	Datum, do katerega je bilo treba doseči mejno vrednost, je 1.1.2005.	20 µg/m ³
PM _{2,5}	1 dan			25 µg/m ³
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.	10 µg/m ³
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 8.2: 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
30	29	29	28	27	26	26	25	25	25	25	25	20	20

Kazalnik povprečne izpostavljenosti KPI za PM_{2,5}, izražen v µg/m³, temelji na meritvah na

mestih v neizpostavljenem mestnem okolju, ki pokrivajo območja mestnih občin z več kot 100.000 prebivalci. Mesta v neizpostavljenem mestnem okolju so merilna mesta na lokacijah, na katerih so ravni reprezentativne za izpostavljenost mestnega prebivalstva in nanje praviloma ne vpliva samo en vir onesnaženja. KPI je potrebno oceniti kot drseče povprečje srednjih vrednosti letnih ravnih v treh zaporednih koledarskih letih na relevantnih vzorčevalnih mestih. KPI za leto 2021 je triletno drseče povprečje vrednosti ravnih skupaj na vseh teh vzorčevalnih mestih za leta 2019, 2020 in 2021. Predpisana stopnja izpostavljenosti znaša od leta 2015 dalje $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (tabela 8.1). KPI uporabljamo za preverjanje doseganja ciljnega zmanjšanja izpostavljenosti na nacionalni ravni.

8.3 Ravni onesnaženosti

Onesnaženost zraka z delci PM_{10} je bila v letu 2021 najnižja odkar izvajamo meritve. Prvič ni na nobenem merilnem mestu vsota prekoračitev dnevne mejne vrednosti za delce PM_{10} ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) presegla števila 35, ki je dovoljeno za celo leto. V nasprotju s prejšnjimi leti, ko je do večine preseganj prišlo v mesecu januarju, je bilo največ preseganj v letu 2021 v februarju (tabela 8.5), ko so bili pogosti temperaturni obrati, ki onemogočajo razredčevanje izpustov iz malih kurilnih naprav in prometa, ki sta največja vira delcev PM_{10} . V podoglavlju Epizode čezmerne onesnaženosti so podrobno opisana obdobja, ko so bile ravni delcev PM_{10} v letu 2021 povišane. Tudi letna mejna vrednost za delce PM_{10} v letu 2021 ni bila presežena na nobenem merilnem mestu. Letna mejna vrednost znaša $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Najvišja povprečna letna vrednost ($29 \mu\text{g}/\text{m}^3$) in največje število preseganj dnevne mejne vrednosti (30) je bilo tako kot vsako leto tudi v letu 2021 zabeleženo na prometnem merilnem mestu Ljubljana Center. Pregled izmerjenih ravni delcev PM_{10} v letu 2021 je prikazan v tabelah 8.3, 8.4 in 8.5 ter na slikah 8.6 in 8.8.

Na ARSO se je v letih med 2016 in 2021 izvajal projekt Sinica, v okviru katerega se je med drugim posodobila državna merilna mreža za spremljanje kakovosti zunanjega zraka. Nadgradila so se stara in na novo vzpostavila nekatera nova stalna merilna mesta. Do večine sprememb v merilni mreži je prišlo že v letu 2020. V letu 2021 smo premestitev meritve delcev izvedli v Ljubljani, Celju in Trbovljah. V Ljubljani se je 20. marca merilnik delcev PM_{10} prestavilo iz lokacije Biotehniške fakultete na Vič. Na Viču je merilno mesto tipa mestno ozadje in je locirano pri študentskih domovih med Cesto v Mestni log in Gerbičovo cesto. V Celju so se 10. marca meritve delcev na prometnem merilnem mestu prestavile iz Mariborske ceste na Ljubljansko cesto, v Trbovljah pa 14. maja iz merilnega mesta Nasipi v mestni park. Poleg referenčnih meritve delcev PM_{10} na vseh merilnih mestih 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.

V Državni merilni mreži smo v letu 2021 izvedli meritve delcev v Desklah v Občini Kanal ob Soči. Rezultati PM_{10} in $\text{PM}_{2,5}$ iz Deskel so predstavljeni v spodnjih tabelah hkrati pa je tem enoletnim meritvam namenjeno posebno poglavje letnega poročila.

Nacionalni laboratorij za zdravje, okolje in hrano je v letu 2021 na novo izvedel meritve PM_{10} v Slovenj Gradcu za Mestno občino Slovenj Gradec.

Povprečni dnevni hodi ravni PM_{10} v kurilni sezoni za merilna mesta Ljubljana Bežigrad, Zagorje, Maribor Titova in Koper so prikazani na sliki 8.7. Na vseh lokacijah sta opazna jutranji in večerni

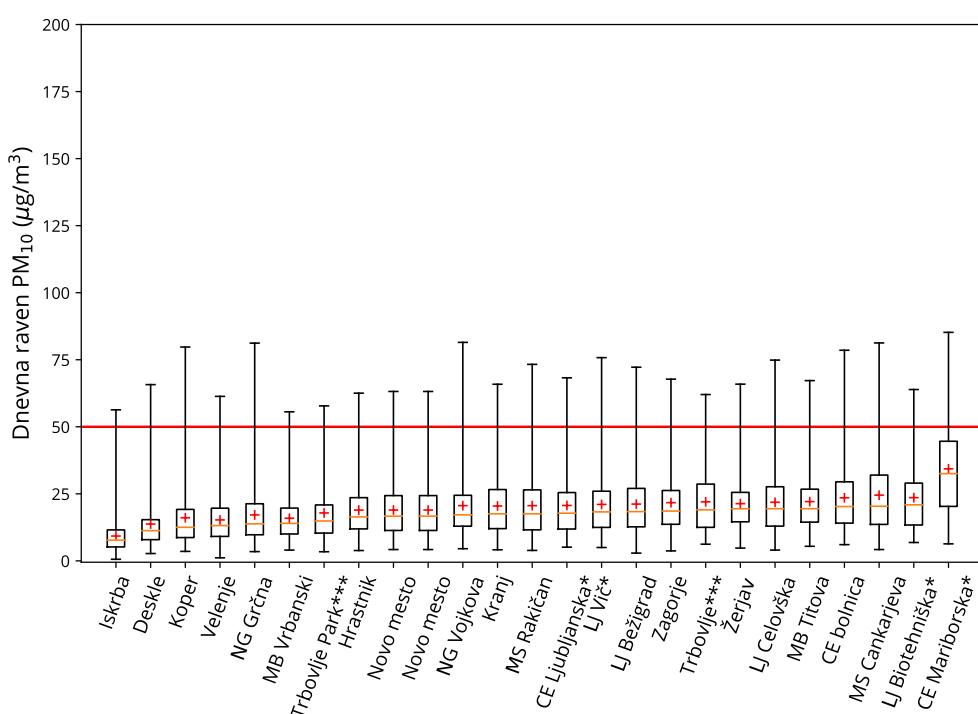
Tabela 8.3: Razpoložljivost podatkov (% pod), povprečne letne (C_p) in maksimalne dnevne (max) ravnih ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ter število preseganj mejne vrednosti (>MV) za delce PM_{10} na stalnih merilnih mestih v Sloveniji v letu 2021.

Merilno mesto	%pod	Leto		Dan
		C_p	max	>MV
DMKZ				
CE bolnica	97	24	79	18
CE Mariborska*	26	34	85	16
CE Ljubljanska*	67	21	68	9
Deskle	100	14	66	4
Hrastnik	100	19	63	8
Iskrba	99	9	56	1
Koper	96	16	80	8
Kranj	100	20	66	6
LJ Bežigrad	100	21	72	12
LJ Biotehniška*	21	24	64	4
LJ Celovška	100	22	75	15
LJ Vič*	79	21	76	8
MB Titova	100	22	67	13
MB Vrbanski	96	16	56	4
MS Cankarjeva	100	25	81	29
MS Rakičan	98	21	73	14
NG Grčna	98	17	81	6
NG Vojkova	99	21	81	12
Novo mesto	100	19	63	3
Ptuj	100	21	80	13
Trbovlje Nasipi*	36	22	62	5
Trbovlje park*	64	18	58	5
Velenje	99	15	61	5
Zagorje	100	22	68	14
Zerjav	95	21	66	6
Dopolnilna merilna mreža				
EIS Šoštanj				
Pesje	100	16	56	4
Škale	100	17	58	4
Šoštanj	100	16	52	2
Mobilna TEŠ	99	15	52	1
OMS-MOL				
LJ Center	98	29	95	30
TE-TOL				
Zadobrava	98	24	75	8
Občina Medvode				
Medvode	98	19	60	9
MO Celje				
CE Gajji*	72	21	73	6
MO Maribor				
MB Tezno	100	21	73	11
Občina Miklavž na Dravskem polju				
Miklavž	99	23	67	18
MO Ptuj				
Spuhlja	99	25	77	20
Občina Ruše				
Ruše	98	16	57	3
Občina Grosuplje				
Grosuplje	100	26	78	22
MO Slovenj Gradec				
Slovenj Gradec	100	17	61	5
Salonit Anhovo				
Morsko	99	14	58	4
Gorenje polje	94	16	69	7

* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.

maksimum. Bolj izrazit je večerni maksimum, ko se prometni konici pridružijo še izpusti zaradi ogrevanja, hkrati pa se v večernem času začne tvoriti temperurni obrat in posledično zmanjša redčenje onesnaženega zraka.

V tabelah 8.6 in 8.7 ter na slikah 8.9 in 8.10 so prikazani trendi onesnaženosti v obdobju med 2002 in 2021. Medletna nihanja ravni PM₁₀ so predvsem posledica različnih meteoroloških razmer v posameznem letu. Kljub temu je v obdobju od leta 2005 naprej, predvsem na urbanih lokacijah, opazen trend zmanjševanja ravni delcev. Na kmetijsko podeželskih merilnih mestih ni opaznega večjega trenda zmanjševanja. V Žerjavu smo zabeležili veliko znižanje ravni delcev in preseganj mejne dnevne vrednosti v letu 2014. Razlog je v prestavitevi vzorčevalnika sredi leta 2013 izven neposrednega vpliva izpusta iz dimnika bližnje hiše.



Slika 8.6: Dnevne vrednosti PM₁₀ na merilnih mestih DMKZ v letu 2021. Prikazani so najvišja in najnižja izmerjena raven (spodnja in zgornja vodoravna črtica), oba kvartila (vrh in dno pravokotnika) in mediana (rdeča vodoravna črtica v pravokotniku). Z + označujemo povprečno letno raven. Rdeča črta prikazuje dnevno mejno vrednost. Zaradi prenove merilne mreže je prišlo v letu 2021 do sprememb lokacij na treh merilnih mestih. Na sliki so ta merilna mesta označena z zvezdico.

Letna mejna vrednost 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ za PM_{2,5} v letu 2021 ni bila presežena na nobenem od petih merilnih mest, kjer izvajamo meritve: Maribor Vrbanski plato, Ljubljana Bežigrad, Nova Gorica Grčna, Celje bolnica in Iskrba. Pregled izmerjenih vrednosti za delce PM_{2,5} v letu 2021 je prikazan v tabeli 8.8 ter na slikah 8.11 in 8.12. Letni trendi ravni delcev PM_{2,5}, ki so prikazani v tabeli 8.9 in na sliki 8.13, kažejo, da nivo onesnaženosti ostaja približno enak.

Glede na smernice WHO je povprečna letna raven delcev PM_{2,5} 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ presežena na vseh urbanih merilnih mestih. V tabeli 8.8 je v stolpcu z oznako WHO izračunano število dni s preseženo dnevno ravnjo 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, ki po smernicah WHO ne sme biti presežena. Na merilnem mestu Celje bolnica je v letu 2021 takih dni 65, v Ljubljani Bežigrad 48, v Novi Gorici Grčna 28, na Maribor

Tabela 8.4: Povprečna mesečna raven PM₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) v letu 2021.

	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
CE bolnica	30	34	28	18	11	24	19	13	19	24	28	33
CE Mariborska	35	40	31	21	/	/	/	/	/	/	/	/
CE Ljubljanska	/	/	/	/	10	22	16	13	19	23	30	32
Deskle	20	28	16	10	8	15	12	9	11	12	12	15
Hrastnik	22	25	21	14	9	20	16	13	17	21	25	25
Iskrba	5	10	8	6	6	18	14	11	12	10	7	5
Koper	17	28	19	12	9	23	15	13	15	14	15	16
Kranj	28	29	22	14	9	19	15	12	17	20	27	34
LJ Bežigrad	28	27	22	13	9	24	18	15	19	23	24	33
LJ Biotehniška	25	24	20*	/	/	/	/	/	/	/	/	/
LJ Celovška	29	29	23	15	10	23	17	14	19	24	26	34
LJ Vič	/	/	23*	16	10	27	18	15	20	24	26	33
MB Titova	22	36	24	18	13	28	21	15	20	23	23	23
MB Vrbanski	16	29	17	12	8	20	15	11	15	18	17	17
MS Cankarjeva	33	43	26	17	11	23	18	12	18	28	32	36
MS Rakičan	24	36	22	15	9	20	16	10	17	24	25	29
NG Grčna	23	31	20	12	9	18	13	10	14	16	17	25
NG Vojkova	25	37	23	14	11	23	17	14	19	17	19	27
Novo mesto	27	28	19	14	9	20	15	11	15	21	24	26
Ptuj	25	34	24	16	9	24	16	11	17	24	27	29
Trbovlje Nasipi	30	28	22	14	10*	/	/	/	/	/	/	/
Trbovlje park	/	/	/	/	8*	18	14	11	14	21	24	30
Velenje	14	23	18	11	8	19	14	11	17	17	18	16
Zagorje	32	30	24	16	12	23	18	13	17	22	24	28
Žerjav	28	26	25	21	16	27	18	13	17	18	22	28
Pesje	15	23	20	14	8	22	15	10	16	17	19	16
Škale	16	24	20	14	8	20	14	11	16	18	21	19
Šoštanj	17	23	20	14	6	16	11	8	16	20	22	22
Mobilna TEŠ	17	21	17	12	7	18	12	7	13	16	20	19
LJ Center	42	40	34	24	17	33	21	17	25	38	30	36
Zadobrava	28	31	25	19	15	31	24	22	24	22	21	25
Medvode	34	29	20	12	6	16	12	9	14	20	25	32
CE Gaji	28	28	21	17	17	21	17	14	21	20	29	/
MB Tezno	25	36	22	16	11	22	17	12	17	23	25	28
Miklavž	29	36	24	17	10	22	18	13	18	25	30	34
Spuhlja	30	38	28	20	12	24	19	13	18	26	30	37
Ruše	17	26	17	13	9	20	15	10	14	17	18	18
Grosuplje	35	34	31	21	14	26	19	16	22	28	31	35
Slovenj Gradec	25	25	20	14	8	20	14	10	15	17	18	25
Morsko	17	27	16	10	8	17	13	9	11	12	12	14
Gorenje polje	19	32	22	13	9	18	14	11	14	14	14	17

* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.

Tabela 8.5: Število preseganj dnevne mejne vrednosti PM₁₀ po mesecih v letu 2021.

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

* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.

Tabela 8.6: Povprečne letne ravni PM₁₀ (µg/m³). Vrednosti, ki presegajo letno mejno vrednost, so napisane s krepko pisavo.

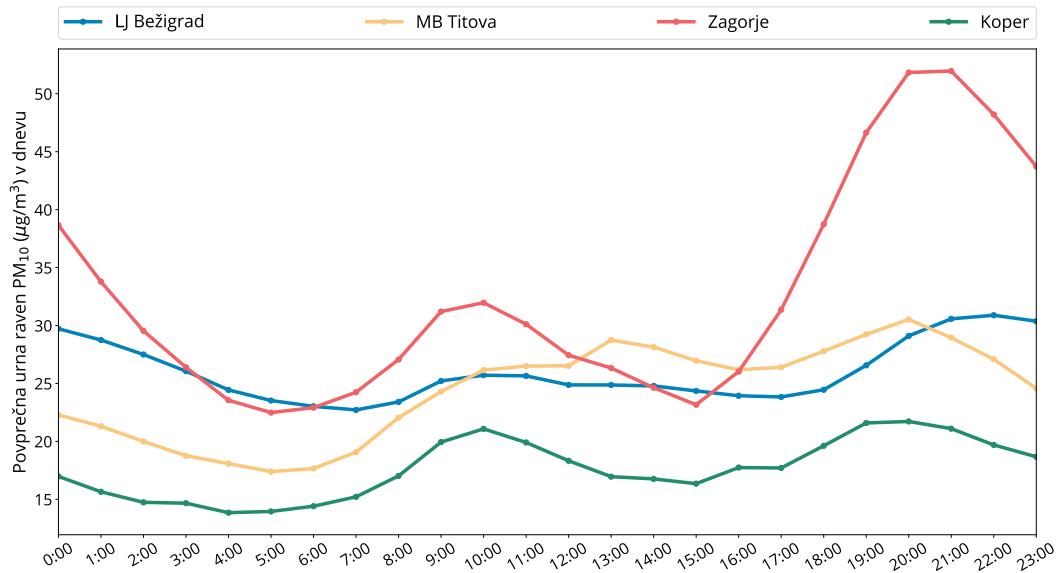
Merilno mesto	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	
CE bolnica	46	53	41	43	35	32	30	31	32	35	31	29	28	32	32	30	28	26	21	24	
CE Gaj	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	
CE Mariborska	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	33	31	29	26	34*	
CE Ljubljanska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

* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.

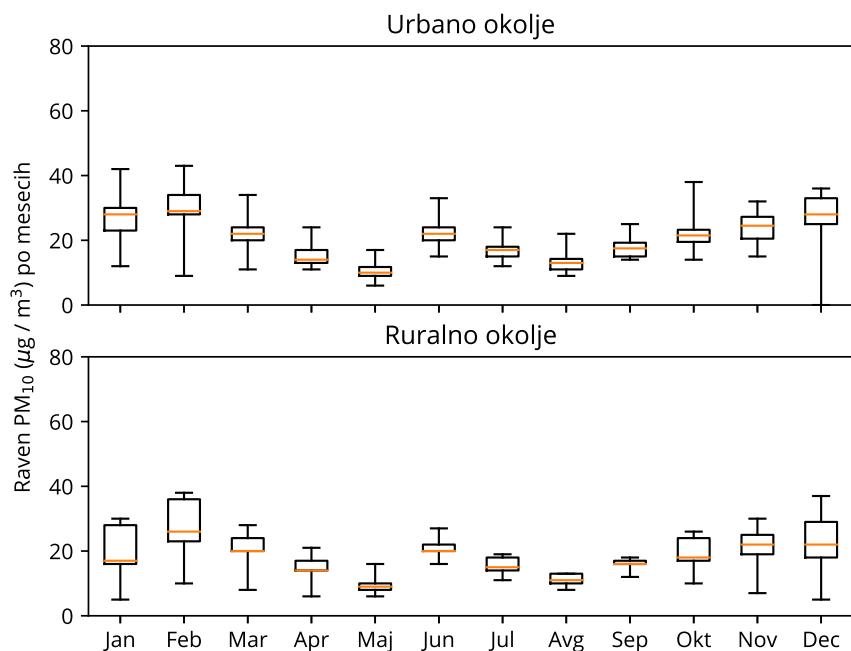
Tabela 8.7: Letno število preseganj dnevne mejne vrednosti PM₁₀ po letih. Število preseganj, ki je večje od dopustnega, je napisano s krepko pisavo.

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

* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.



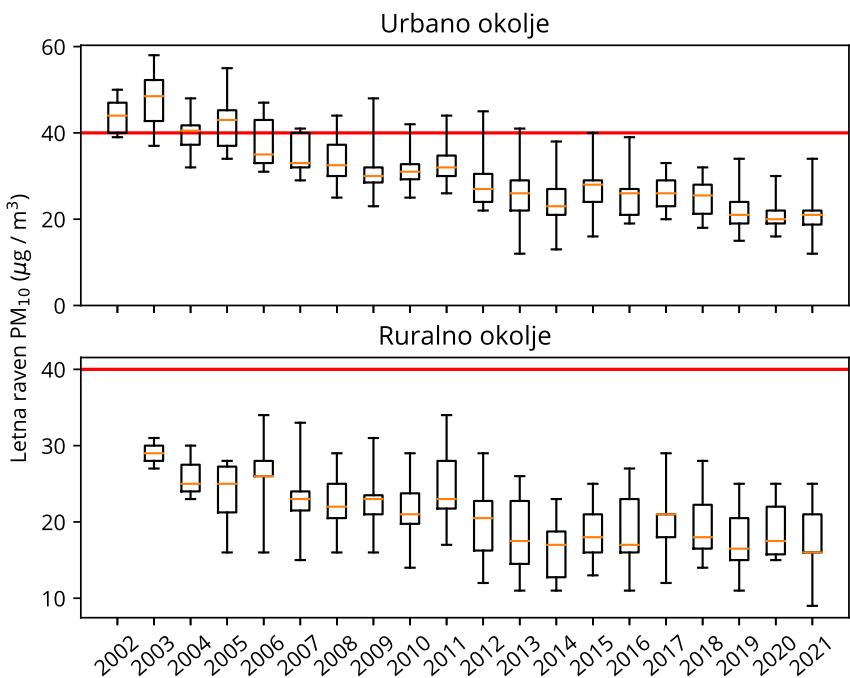
Slika 8.7: Dnevni potek povprečne urne ravni PM₁₀ na izbranih merilnih mestih v kurilni sezoni leta 2021 (januar do marec in oktober do decembra).



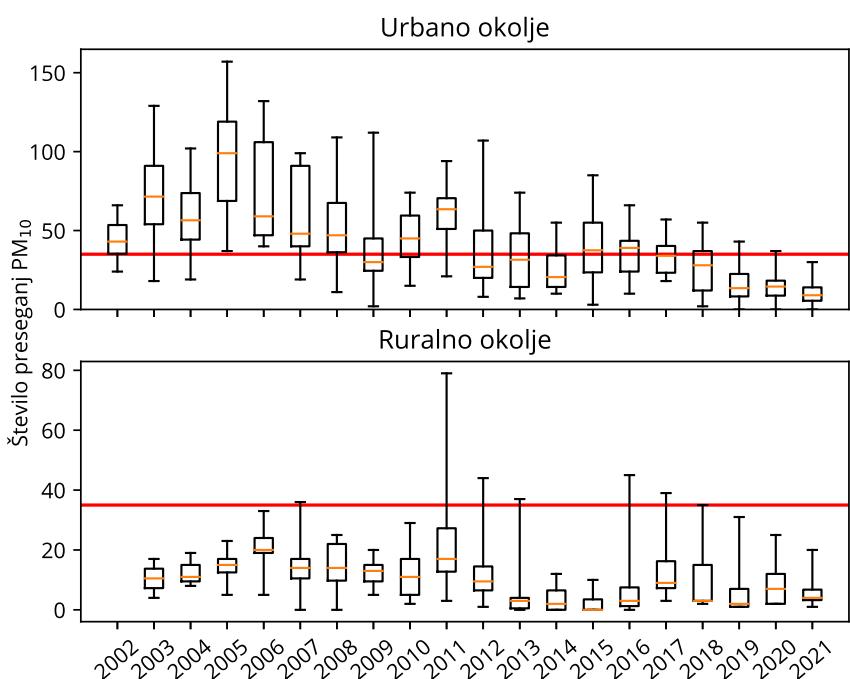
Slika 8.8: Povprečna mesečna raven PM₁₀ na urbanih in ruralnih merilnih mestih v letu 2021. Prikazano je najniže in najvišje mesečno povprečje na merilnih mestih (spodnja in zgornja vodoravna črtica), oba kvartila (vrh in dno pravokotnika) in mediana (rdeča vodoravna črtica v pravokotniku).

Vrbanskem 20 in na Iskrbi 1.

Kazalnik povprečne izpostavljenosti KPI za PM_{2,5} je leta 2021 znašal 14 µg/m³. Obveznost glede stopnje izpostavljenosti za leto 2021 znašal 20 µg/m³ in za Slovenijo ni bila presežena. V prejšnjih letnih poročilih smo napačno podali KPI, saj smo ga izračunali za vsako merilno mesto posebej, po navodilih Evropske okoljske agencije pa je KPI le en podatek za celo Slovenijo. V tem poročilu smo naredili preračun KPI tudi za vsa prejšnja leta (tabela 8.10). KPI je izračunan



Slika 8.9: 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 mejo vrednost.



Slika 8.10: Število preseganj PM₁₀ po letih. Prikazano je najnižje in najvišje število preseganj na skupini merilnih mest (spodnja in zgornja vodoravna črtica), oba kvartila (vrh in dno pravokotnika) in mediana (rdeča vodoravna črtica v pravokotniku). Rdeča črta prikazuje dovoljeno letno število preseganj dnevne mejne vrednosti.

kot triletno povprečje letnega povprečja PM_{2,5} iz vseh ustreznih merilnih mest. Za izračun KPI se upoštevajo letna povprečja PM_{2,5} iz merilnih mest tipa mestno ozadje, ki pokrivajo območja mestnih občin z več kot 100.000 prebivalci. V Sloveniji imamo le dve taki občini: Ljubljano in Maribor. Zato smo za izračun vzeli podatke v Ljubljani iz merilnega mesta Biotehniška do vključno leta 2017, od leta 2018 pa iz merilnega mesta Bežigrad, v Mariboru pa za vsa leta iz merilnega mesta Vrbanski plato. Za leto 2010 je KPI izračunan le iz dveh let 2009 in 2010, ker pred letom 2009 nismo izvajali meritev PM_{2,5}.

Tabela 8.8: Razpoložljivost podatkov (% pod), povprečne letne ravni (C_p), najvišje dnevne ravni (C_{max}) PM_{2,5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ter število dni s povprečno dnevno vrednostjo nad 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (smernice WHO), na merilnih mestih v letu 2021.

	% pod	C_p	C_{max}	WHO
CE bolnica	100	16	66	65
Iskrba	97	7	28	1
LJ Bežigrad	100	15	63	48
MB Vrbanski	99	12	47	20
NG Grčna	96	12	71	28

* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.

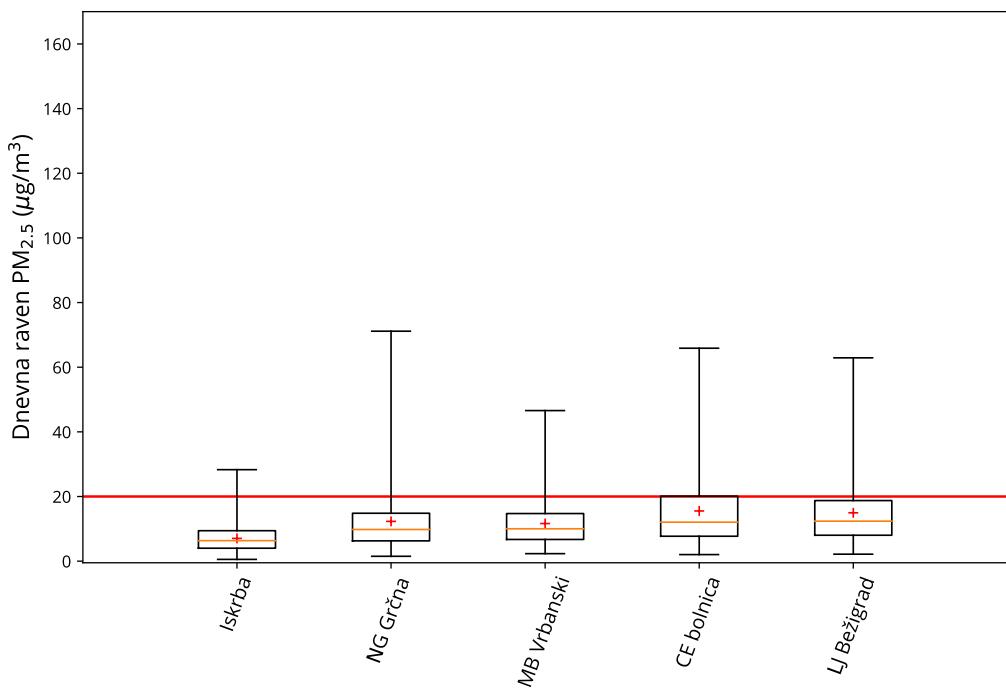
Tabela 8.9: Povprečna letna raven delcev PM_{2,5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) na izbranih merilnih mestih po letih.

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

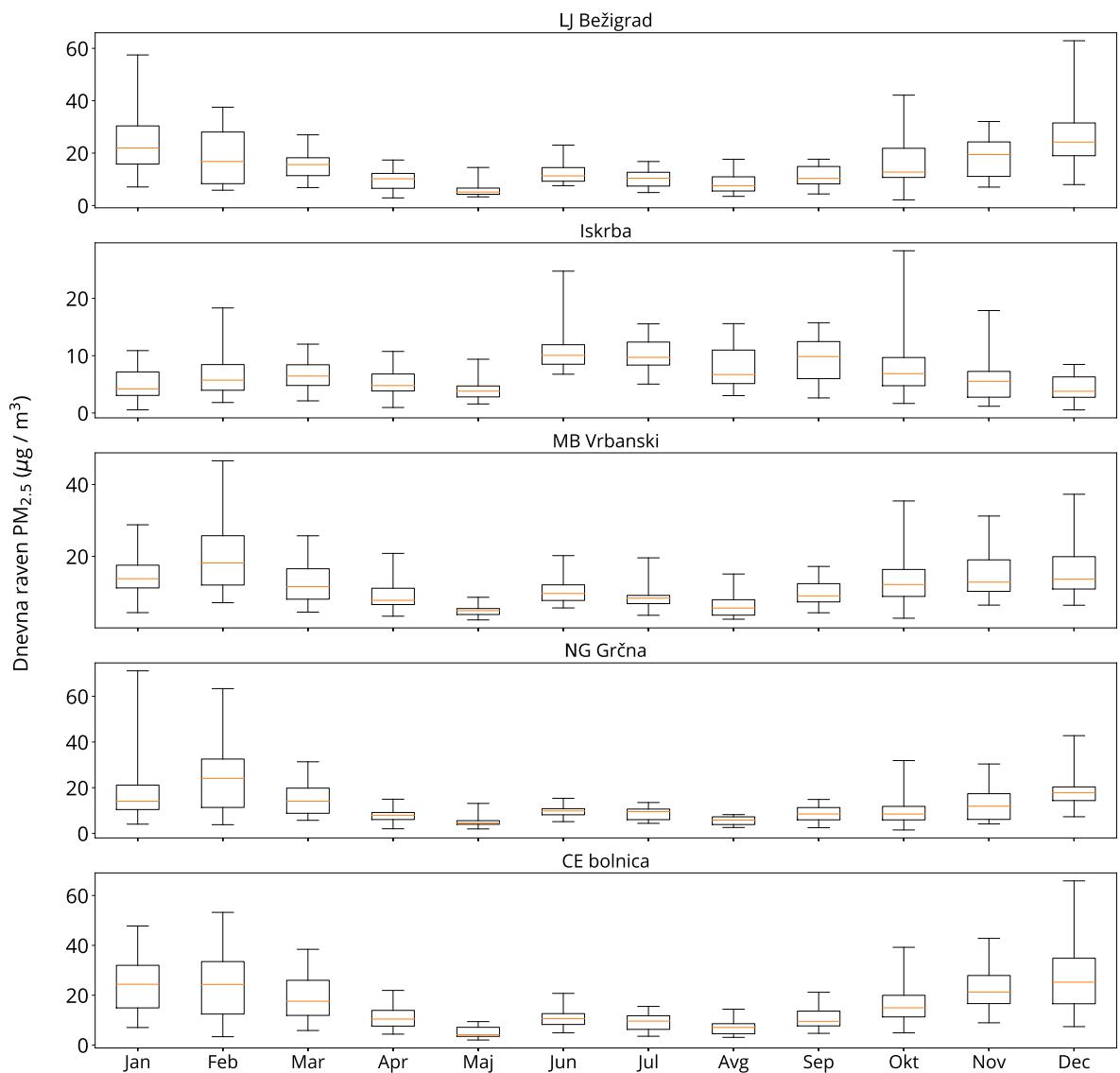
* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.

Tabela 8.10: Kazalnik povprečne izpostavljenosti PM_{2,5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) za Slovenijo.

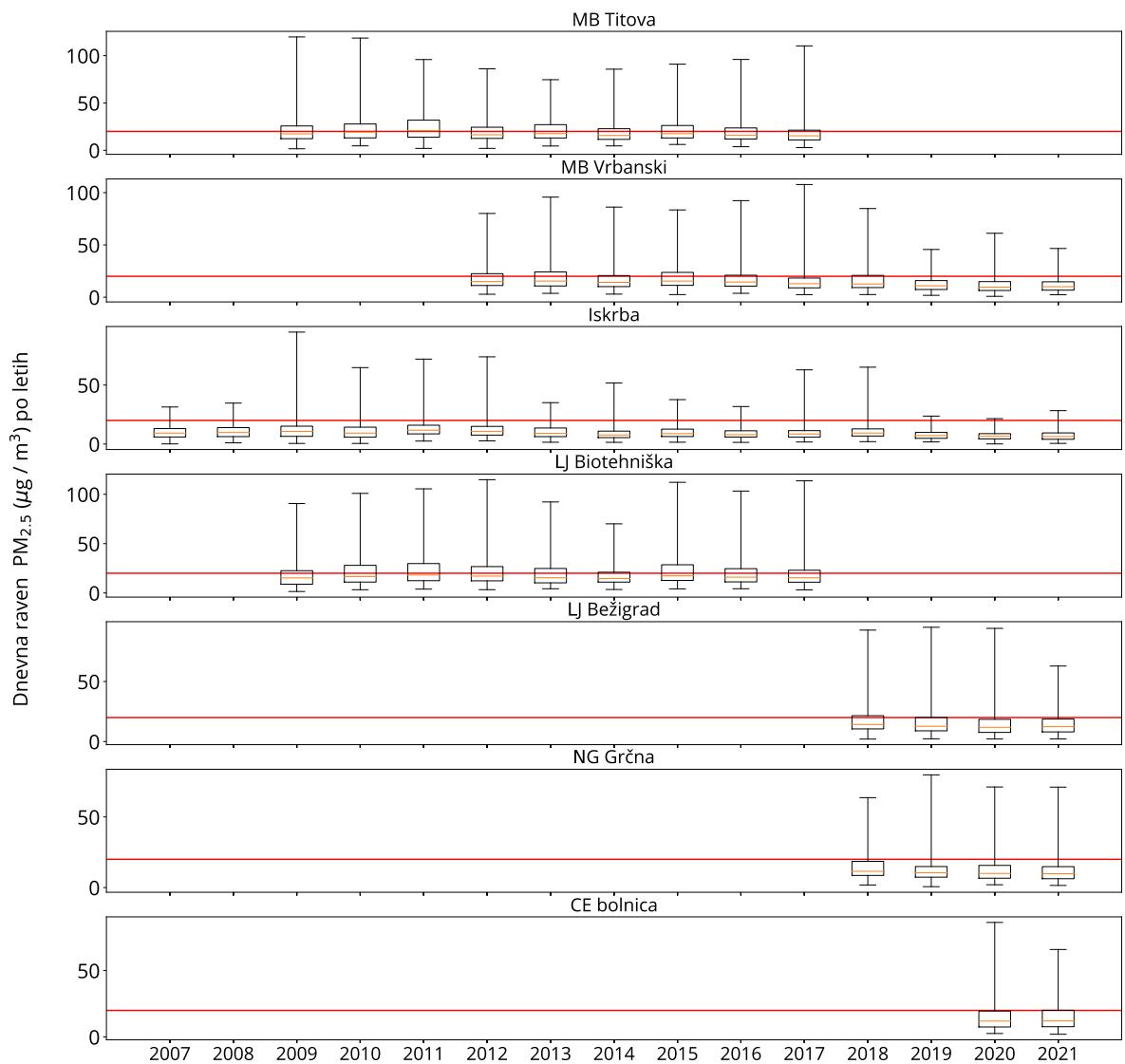
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Slovenija	21	22	22	21	19	20	20	20	19	17	16	14



Slika 8.11: Dnevne vrednosti PM_{2,5} na merilnih mestih v letu 2021. 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 8.12: Dnevne vrednosti PM_{2,5} na izbranih merilnih mestih po mesecih v letu 2020. 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 8.13: 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 črta v pravokotniku). Rdeča črta prikazuje aktualno letno mejno vrednost. Letna mejna vrednost za PM_{2,5} se je z leti spremenjala (tabela 8.2)

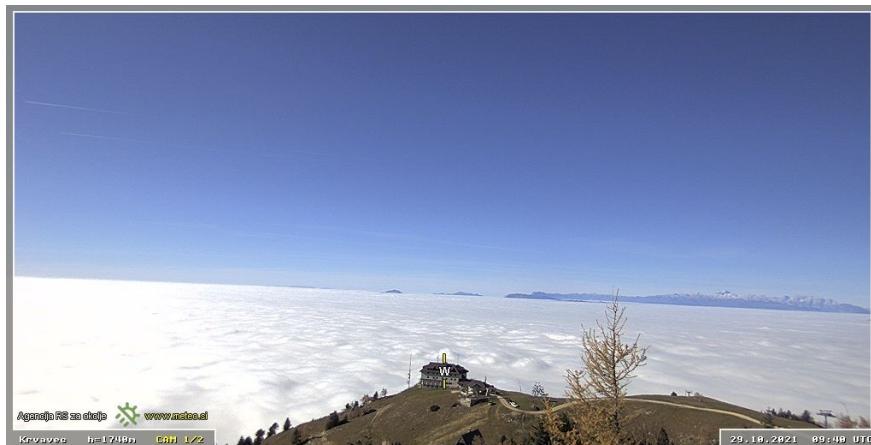
8.4 Epizode čezmerne onesnaženosti

Kljub temu, da v letu 2021 ni bilo niti na enem merilnem mestu preseženo dovoljeno število preseganj ali presežena letna mejna vrednost za delce PM₁₀, pa predvsem v kurični sezoni ob neugodnih vremenskih razmerah še vedno izmerimo visoke ravni delcev PM₁₀. Do preseganj dnevne mejne vrednosti 50 µg/m³ je prišlo v kurični sezoni (januar, februar, marec, oktober, november in december) ter junija zaradi puščavskega prahu, kar je opisano v poglavju 8.6.

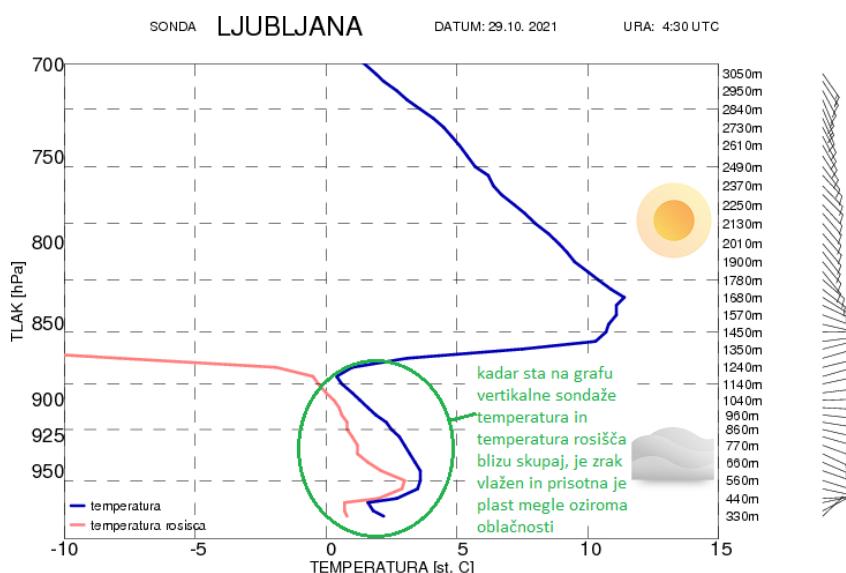
V januarju nismo zabeležili daljše epizode povišanih ravni delcev. Sicer je bilo nekaj preseganj dnevne mejne vrednosti 50 µg/m³ ampak bistveno manj kot januarja v prejšnjih dveh letih (v Celju na Mariborski je bilo v januarju 2021 zabeleženih 7 preseganj, v januarju 2020 in 2019 22 preseganj). Ravni PM₁₀ so bile v kurični sezoni 2021 nižje kot običajno predvsem zaradi pogostih padavin. Na Primorskem je 20. in 21. januarja prineslo onesnažen zrak iz območja Padske nižine. Na vseh štirih merilnih mestih DMKZ na Primorskem je v teh dneh prišlo do preseganja dnevne mejne vrednosti 50 µg/m³. Najvišja dnevna raven 81 µg/m³ je bila izmerjena 20. januarja na merilnem mestu v Novi Gorici Vojkova.

V februarju smo imeli tri ločene epizode povišanih ravni delcev. V prvih dneh februarja je prišlo do preseganj dnevne mejne vrednosti PM₁₀ v vzhodni Sloveniji (Murska Sobota, Maribor, Ptuj in Celje). Takrat so nižje temperature pri tleh v pozno popoldanskih urah onemogočale razredčevanje izpustov. 1. februarja je bila ob 18h v Murski Soboti izmerjena temperatura - 4°C, v Ljubljani 1°C. Med 19. in 21. februarjem je ponovno prineslo na Primorsko onesnažen zrak iz Italije. Na vseh štirih merilnih mestih na Primorskem (Koper, NG Grčna, NG Vojkova in Deskle) je prišlo do preseganja dnevne mejne vrednosti 50 µg/m³. Najvišja dnevna raven 81 µg/m³ je bila takrat izmerjena 20. februarja na prometnem merilnem mestu NG Vojkova. Naslednja epizoda povišanih ravni delcev je bila od 23. do 26. februarja na vseh merilnih mestih po Sloveniji. 24. februarja je bila ob 5. uri v Ljubljani izmerjena temperatura pri tleh 3°C, na 700 metrih pa 13°C. Kljub temu da se je čez dan tudi pri tleh ogrelo, se ozračje po vertikali ni dobro premašalo in je onesnažen zrak ostal ujet v plsati zraka pri tleh. Poleg tega pa modelski izračuni kažejo, da je k onesnaženosti zraka z delci prispeval tudi puščavski prah, ki je v teh dneh prešel Slovenijo. Onesnažen zrak je v tem primeru prišel iz severa in se počasi pomikal proti jugu. Ocenujemo, da so bile dnevne ravni delcev PM₁₀ zaradi vpliva puščavskega prahu višje za približno 25 µg/m³. V Državni merilni mreži je bila najvišja dnevna vrednost PM₁₀ v teh dneh izmerjena 26. februarja na prometnem merilnem mestu v Celju na Mariborski (85 µg/m³).

Zaradi več dni trajajoče inverzije v zadnjih oktobrskih dneh so bile višje ravni delcev predvsem v celinski Sloveniji. Topel zrak v višinah in hladen ter vlažen zrak v nižinah sta bila vzrok za nastanek megle, ki je ponekod vztrajala tudi čez dan. Marsikje so se sicer podnevi pojavila kratka obdobja sončnega vremena z višjimi temperaturami zraka, vendar se dnevne ravni delcev niso bistveno znižale. Glavni razlog je bila izrazita inverzija v višinah (slika 8.14), ki je onemogočala mešanje zračne mase po višini. Radiosondaža z dne 29. oktobra kaže, da je bila temperatura na 1200 m nadmorske višine okoli 0°C, na 1400 m pa kar 10°C (slika 8.15). 31. oktobra je ob postopni krepitvi jugozahodnika v višinah ponekod prevetrilo tudi nižine osrednje Slovenije, medtem ko so visoke ravni delcev v severovzhodni Sloveniji še vztrajale. Tam je prišlo do padca dnevnih ravni delcev šele naslednji dan.



Slika 8.14: Slika iz kamere na Krvavcu (29. oktober dopoldne) prikazuje jezero hladnega zraka v ljubljanski kotlini, ko je zrak ujet pod višino inverzije (1200m).



Slika 8.15: Radiosondaža 29. oktobra, 2021.

Dne 17. in 25. novembra je prišlo do preseganj dnevne mejne vrednosti za PM_{10} na merilnih mestih v vzhodni Sloveniji zaradi advekcijske toplejšega zraka v višinah, ki je ob hladnem zraku v nižinah preprečil vertikalno mešanje zraka.

Mesec december je postregel z dvema epizodama visoke onesnaženosti zraka z delci PM_{10} . V prvem obdobju, ki je trajalo od 12. do 15. decembra, so bile izmerjene najvišje ravni delcev v osrednjem in zahodnem delu Slovenije, ki je bil v višinah pod manjšim vplivom jedra hladnega in vlažnega zraka vzhodno od nas. Na teh območjih je bila zjutraj in dopoldne pogosta megla ali nizka oblačnost, ki se je ponekod zadrževala cel dan. Kljub prevladujočemu severnemu vetru v višinah se je v spodnjih plasteh zadrževal hladen in vlažen zrak, ki je najdlje vztrajal v kotlinah. Najvišje ravni delcev so bile tako izmerjene v Ljubljani, Celju in Kranju. V drugem obdobju, od 19. do 25. decembra, so bile na vseh postajah vsaj enkrat presežene mejne vrednosti delcev PM_{10} . V začetku epizode je bil zaradi izrazitejših temperturnih obratov bolj onesnažen zahodni in osrednji del Slovenije, sredi epizode, 22. in 23. decembra, pa so bile najvišje ravni delcev izmerjene v

nižinah severovzhodne Slovenije (Murska Sobota in Ptuj), kjer je bilo več jasnine in manj izrazit jugozahodnik. Ob koncu epizode so se ravni povišale na Primorskem, ko je pred prihodom fronte z jugozahodnim vetrom prineslo onesnažen zrak iz Padske nižine. 24. in 25. decembra je tako prišlo do preseganj dnevne mejne vrednosti za delce PM₁₀ (50 µg/m³) v Kopru in v Novi Gorici.

8.5 Kemijska in elementna sestava delcev

Sekundarni aerosoli so glavna sestavina delcev v zraku, tako pozimi kot tudi poleti. Pozimi nastajajo kot posledica visokih izpustov primarnih antropogenih virov, predvsem prometa in malih kurilnih naprav, v poletnem času pa zaradi povišanih izpustov iz biogenih virov. Sestava sekundarnih aerosolov vključuje anorganske spojine (predvsem amonij, nitrat in sulfat) in organske spojine (mešanica številnih različnih družin organskih spojin). Kemijska sestava sekundarnih aerosolov kaže na prevladovanje različnih virov predhodnikov glede na letni čas in na različne fizikalne in vremenske pogoje, ki spodbujajo reakcije njihovega nastanka v ozračju. V delcih PM_{2,5} smo na merilnem mestu Iskrba spremljali vsebnost ionov (nitrata, sulfata in amonija) ter elementarnega in organskega ogljika. Rezultati so prikazani ločeno za zimsko obdobje (od januarja do marca in od oktobra do decembra) in poletno obdobje (od aprila do septembra) v tabeli 8.11.

Tabela 8.11: Sestava delcev PM_{2,5} na merilnem mestu Iskrba v letu 2021.

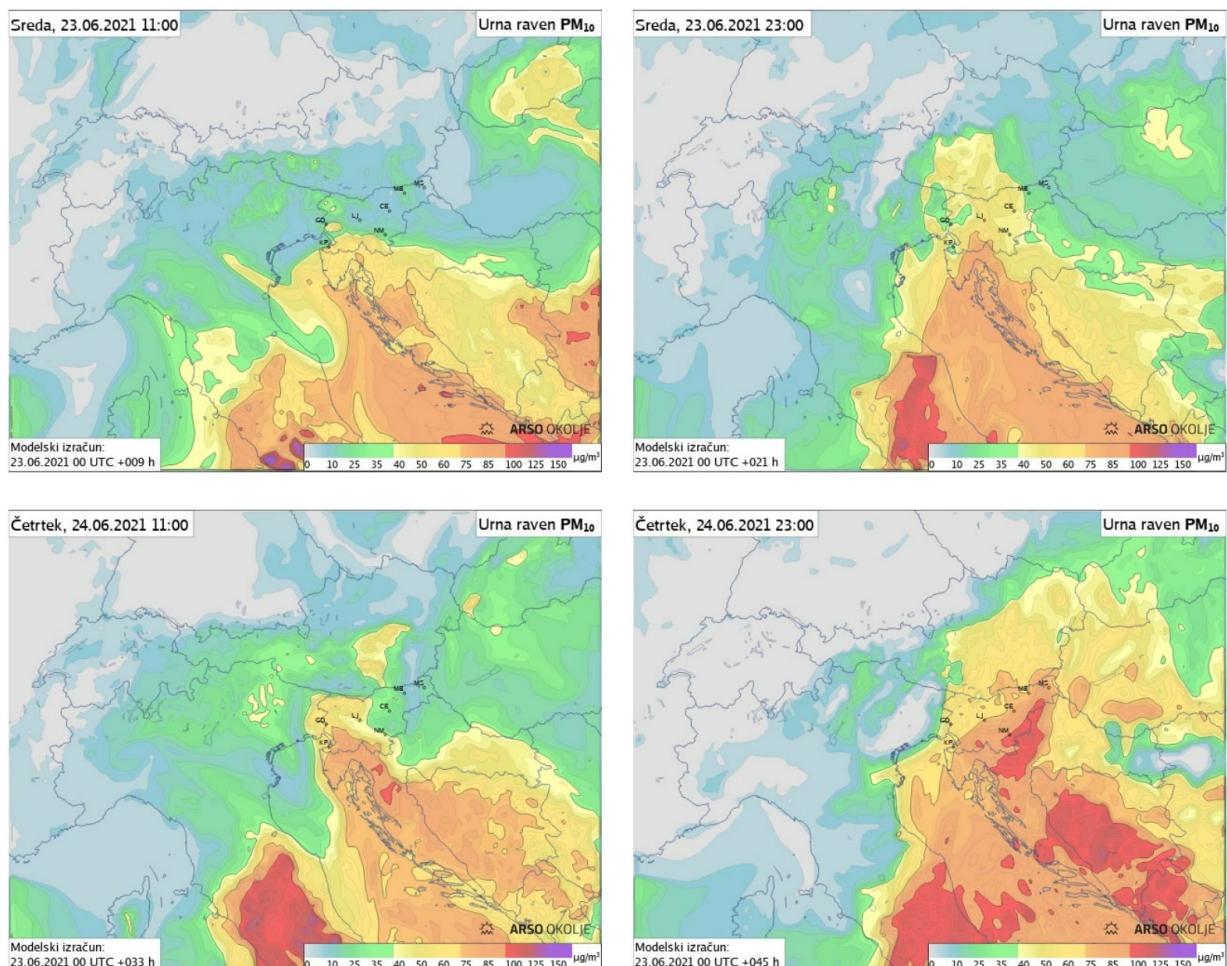
		zimsko obdobje	poletno obdobje
Iskrba	NH ₄ ⁺ +NO ₃ ⁻ +SO ₄ ²⁻ (µg/m ³)	1,8	1,8
	Organski ogljik (µgC/m ³)	2,3	2,1
	Elementarni ogljik (µgC/m ³)	0,22	0,10

8.6 Preseganja mejnih vrednosti zaradi naravnih virov

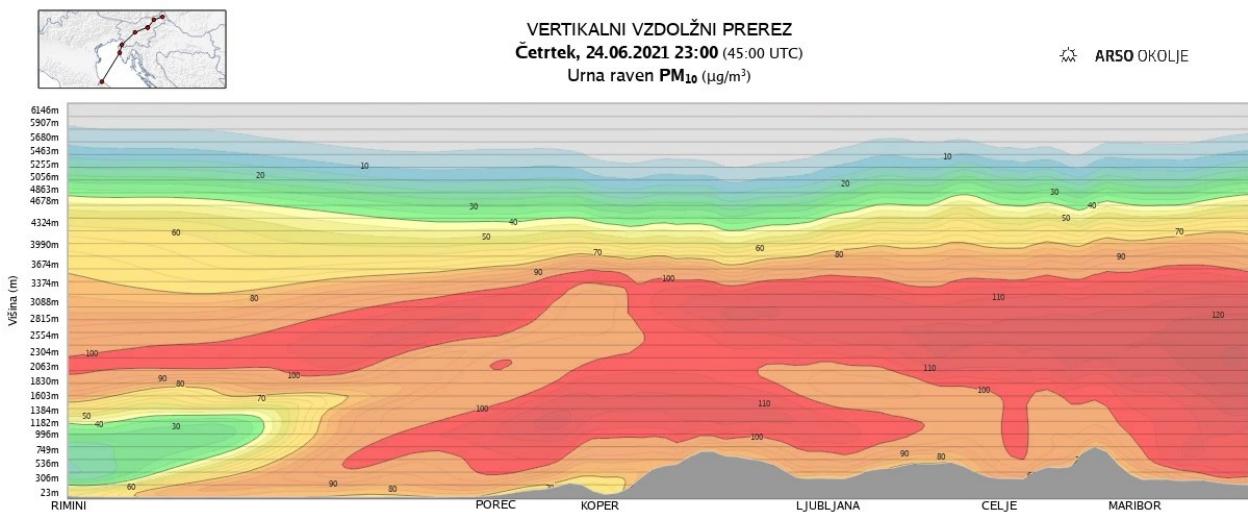
Uredba o kakovosti zunanjega zraka [4] določa, da se preseganja mejnih vrednosti (PM₁₀ nad 50 µg/m³) zaradi prispevka naravnih virov za ugotavljanje skladnosti s standardi kakovosti zraka ne upošteva, če je prispevek naravnih virov mogoče dovolj zanesljivo določiti. Med naravne vire se štejejo: vulkanski prah, puščavski prah, gozdni požari in aerosoli iz morja. V Sloveniji prispevek morskega pršca ni pomemben, v letu 2021 prav tako nismo zabeležili večjih požarov v naravnem okolju in izrazitih vulkanskih izbruhoval, ki bi lahko vplivali na ravni delcev v Sloveniji. Smo pa v mesecu juniju ugotovili vpliv puščavskega prahu.

V navodilu Evropske komisije *Guidance on the quantification of the contribution of natural sources under the EU Air Quality Directive 2008/50/EC* [28] je napisano, da je v primeru ugotovitve prisotnosti puščavskega prahu, potrebno na merilnem mestu, ki je tipa regionalno ozadje, izračunati količino prinešenega puščavskega prahu v µg/m³. Ta prispevek se nato na postaji, kjer je bila izmerjena presežena mejna dnevna vrednost 50 µg/m³ in kvalitativno ugotovljena prisotnost puščavskega prahu, odšteje od izmerjene ravni PM₁₀. V Sloveniji je edino merilno mesto, kjer spremljamo ozadje, Iskrba.

V obdobju med 21. in 24. junijem je Slovenijo prešla zračna masa s puščavskim prahom iz Sahare, ki je povzročila povišanje ravni delcev PM₁₀ (slika 8.16). Na večini merilnih mestih je bila presežena mejna dnevna vrednost 50 µg/m³. Modelske prikaze vertikalnega prereza nad Slovenijo je pokazal, da se je oblak puščavskega prahu raztezel do višine 5 km. Vsebnost delcev je bila v višjih plasteh celo višja kot pri tleh (slika 8.17). V petek, 25. junija, se je zaradi prehoda fronte iz severozahoda ozračje s pomočjo padavin očistilo in ravni delcev PM₁₀ so na vseh merilnih mestih padle na običajno poletno raven.



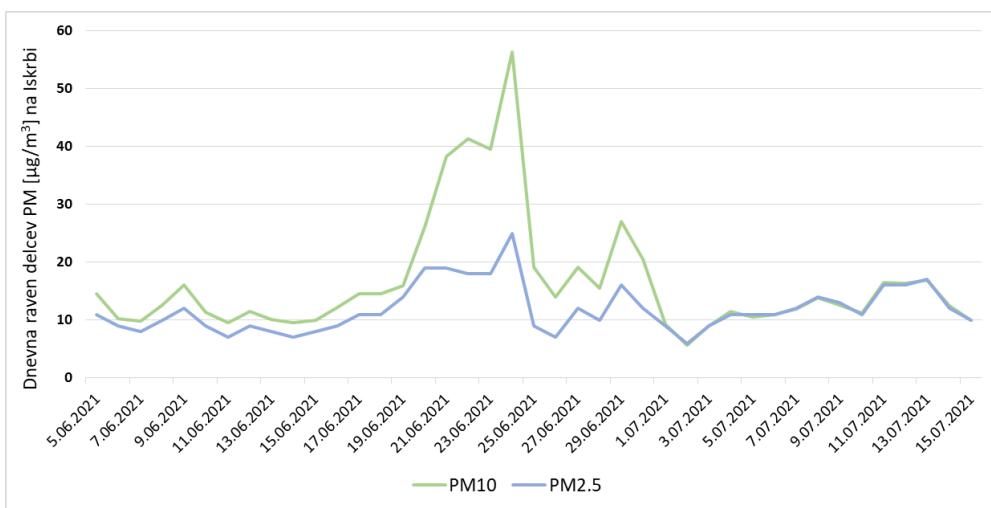
Slika 8.16: Modelske izračune onesnaženosti zraka z delci PM₁₀ prikazujejo prehod puščavskega prahu čez Slovenijo.



Slika 8.17: Vertikalni presek modelskih rezultatov onesnaženosti zraka z delci PM₁₀ preko označenih mest v Sloveniji in Italiji dne 24. junija ob 23h kaže prehod puščavskega prahu čez Slovenijo.

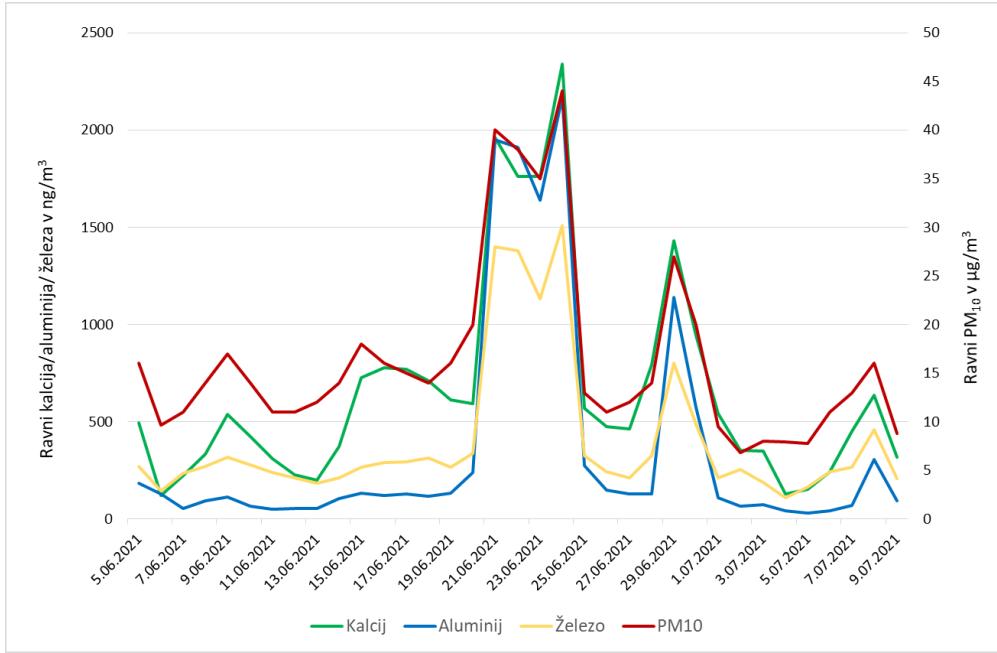
V puščavskem prahu je več delcev večjih dimenzijs kot pri običajni onesnaženosti zraka zaradi antropogenih virov. Tipično opazimo da se pod vplivom puščavskega prahu ravni delcev PM₁₀ v zraku povišajo bolj kot ravni PM_{2,5}. Navedeno je razvidno iz slike 8.18, kjer je prikazan časovni potek ravni PM₁₀ in PM_{2,5} na merilnem mestu Iskrba v dneh pred, med in po epizodi puščavskega prahu.

Oceno epizode puščavskega prahu smo preverili tudi s kemično analizo vzorcev PM₁₀ na merilnem mestu Nova Gorica. Puščavski prah običajno vsebuje aluminij, železo, stroncij, kalcij in magnezij. Kemijska analiza delcev je v dneh, ko je Slovenijo prešel puščavski prah, pokazala povišanje ravni aluminija, železa in kalcija (slika 8.19).



Slika 8.18: Primerjava ravni delcev PM₁₀ in PM_{2,5} na merilnem mestu Iskrba prikazuje vpliv puščavskega prahu teko epizode.

V evidentirani epizodi so bila preseganja dnevne mejne vrednosti za PM₁₀ izmerjena med 21. in 24. junijem. 21. junija na 13 merilnih mestih, 22. junija na 5 merilnih mestih ter 24. junija na 16 merilnih mestih. Za določitev pribitka puščavskega prahu se na neizpostavljenem merilnem mestu



Slika 8.19: Časovni prikaz dnevnih ravnih parametrov, značilnih za puščavski prah. Meritve so bile opravljene v Novi Gorici.

Izkrba izračuna povprečno raven PM_{10} za obdobje 15 dni pred in 15 dni po epizodi puščavskega prahu in to vrednost odšteje od izmerjene ravni delcev PM_{10} tekom epizode. Na ta način izračunan pribitek puščavskega prahu iz meritev na Iskrbi znaša dne 21. junija $26 \mu\text{g}/\text{m}^3$, dne 22. junija $29 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in 24. junija $44 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Po odštetju pribitka puščavskega prahu dobimo na vseh merilnih mestih, kjer je bilo zabeleženo preseganje, nižje vrednosti od dnevne mejne vrednosti. Zato pri ugotavljanju skladnosti s standardi kakovosti teh preseganj ne upoštevamo pri vsoti letnih preseganj mejne vrednosti (tabela 8.12). Pribitek puščavskega prahu smo upoštevali le na merilnih mestih v DMKZ.

Tabela 8.12: Število preseganj dnevne mejne vrednosti PM₁₀ v letu 2021 pred in po upoštevanju deleža puščavskega prahu na postajah DMKZ.

Merilno mesto	Število preseganj mejne dnevne vrednosti za PM ₁₀ pred upoštevanjem puščavskega prahu	po upoštevanju puščavskega prahu
CE bolnica	18	15
CE Ljubljanska	9	6
Hrastnik	8	6
Iskrba	1	0
LJ Bežigrad	12	10
LJ Celovška	15	13
LJ Vič	18	15
MB Titova	13	10
MB Vrbanski	4	2
MS Cankarjeva	29	26
MS Rakičan	14	13
NG Vojkova	12	11
Novo mesto	3	2
Trbovlje	10	9
Velenje	5	3
Zagorje	14	12
Žerjav	6	4

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

9.1 Benzo(a)piren

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

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

9.1.1 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 [5]. Prikazana je v tabeli 9.1.

Tabela 9.1: Ciljna vrednost za benzo(a)piren (ng/m^3).

Cilj	Čas merjenja	Vrednost
Ciljna vrednost	Zdravje	Koledarsko leto
		1

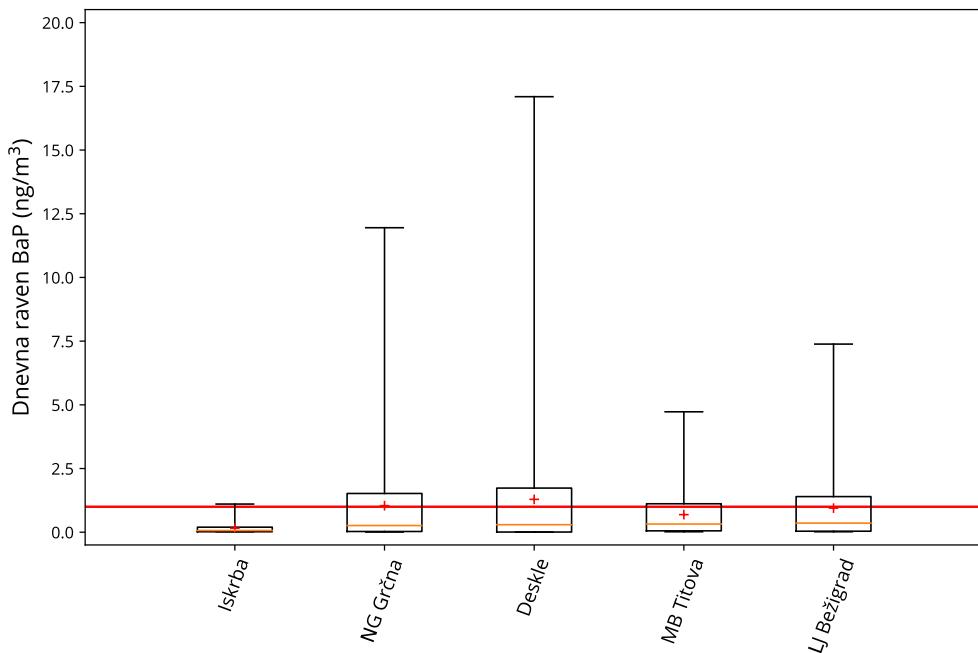
9.1.2 Ravni onesnaženosti

Pregled izmerjenih vrednosti benzo(a)pirena (BaP) v letu 2021 je prikazan v tabeli 9.2 ter na slikah 9.1 in 9.2. 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 2021 izvajali še v Mariboru, Novi Gorici, na Iskrbi in v Desklah. V letu 2021 so ravni benzo(a)pirena na vseh merilnih mestih nekoliko nižje kot leta 2020 (tabela 9.3 in slika 9.3). Na Iskrbi je bila povprečna letna vrednost po pričakovanjih najnižja.

Letni poteki ravni benzo(a)pirena (slika 9.2) kažejo, da so najvišje ravni izmerjene v kurilni sezoni. Takrat so izpusti zaradi ogrevanja večji, dodatno pa so za to obdobje značilni tudi neugodni meteorološki pogoj (slaba prevetrenost in dlje časa trajajoči temperaturni obrati). Poleti so ravni na vseh lokacijah znatno nižje.

Tabela 9.2: Letna razpoložljivost z dnevnimi podatki (%) pod) in povprečna letna raven (C_p) benzo(a)pirena v ng/m^3 v letu 2021.

	% pod.	C_p
Deskle	99	1,3
Iskrba	33	0,16
LJ Bežigrad	33	0,95
MB Titova	33	0,69
NG Grčna	96	1,0

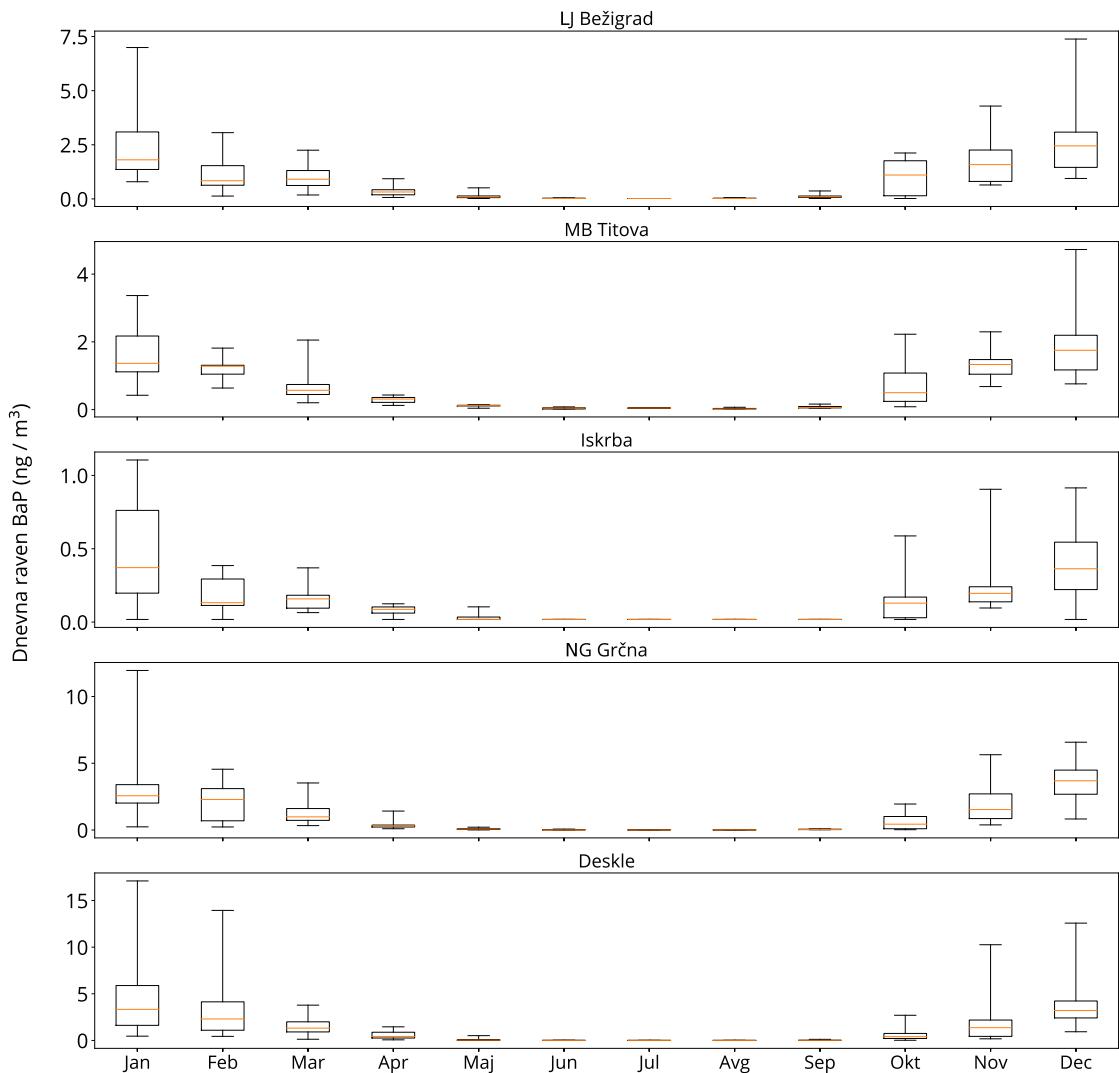


Slika 9.1: Prikaz dnevnih ravni benzo(a)pirena na merilnih mestih v letu 2021. Prikazani so najnižja in najvišja dnevna raven (spodnja in zgornja vodoravna črtica), oba kvartila (vrh in dno pravokotnika) in mediana (rdeča vodoravna črtica v pravokotniku). Križci označujejo povprečno letno raven. Rdeča črta prikazuje letno ciljno vrednost.

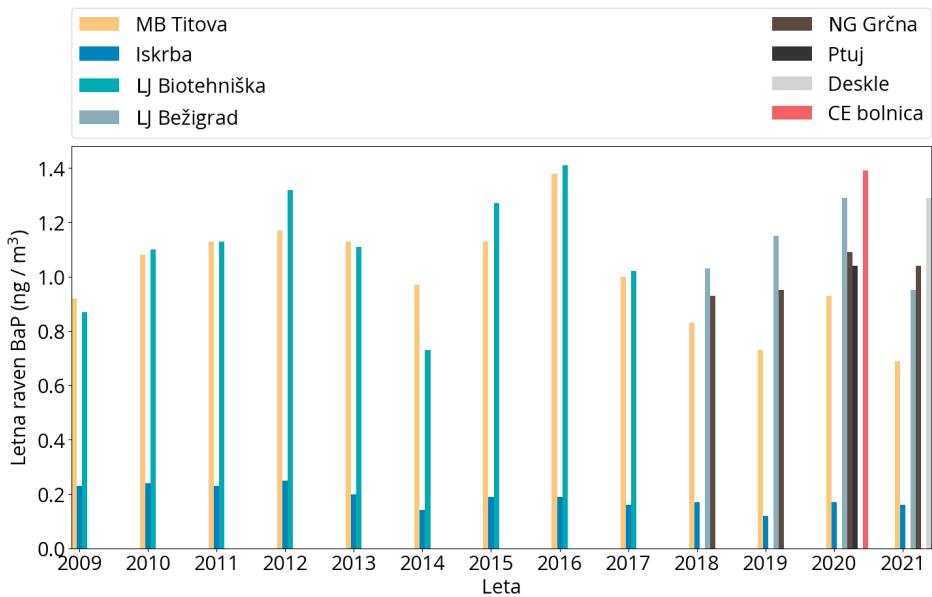
Tabela 9.3: Povprečna letna raven benzo(a)pirena (ng/m^3) na merilnih mestih po letih.

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

* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.



Slika 9.2: Prikaz dnevnih ravni benzo(a)pirena na merilnih mestih po mesecih v letu 2021. 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 9.3: Prikaz povprečnih letnih ravni benzo(a)pirena na različnih postajah po letih.

9.2 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 kopicanja 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 dovzetnost za nastanek raka pljuč, nosu in prostate. Poleg tega povzroča alergične reakcije na koži, motnje hormonske regulacije ter negativno vpliva na respiratorni in imunski sistem. Najbolj izražene so alergične reakcije, saj naj bi bilo približno 10–20 % populacije občutljive na nikelj.

Kadmij je 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 za taljenje 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.

9.2.1 Izpusti

Letni izpusti arzena so v Sloveniji leta 2020 znašali 0,6 ton. V primerjavi z letom 1990 so se zmanjšali za 30 % (slika 9.4). Najpomembnejši vir izpustov arzena je proizvodnja elektrike in toplice. Oskrba z energijo je v letu 2020 prispevala k skupnim državnim izpustom arzena kar 88 % (slika 9.5).

Letni izpusti niklja so v Sloveniji leta 2020 znašali 1,4 ton. V obdobju 1990-2020 so se izpusti zmanjšali za 52 % (slika 9.6). Glavni viri izpustov niklja so bili v letu 2020 industrijski procesi in raba topil (35 %), proizvodnja elektrike (29 %) in mala kurišča (28 %) (slika 9.7).

Letni izpusti kadmija so v Sloveniji leta 2020 znašali 0,5 ton. V primerjavi z letom 1990 so se zmanjšali za 14 % (slika 9.8). 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 (41 %) (slika 9.9).

Letni izpusti svinca so v Sloveniji leta 2020 znašali 3,8 ton. V obdobju 1990-2020 so se zmanjšali za 91 %, predvsem zaradi opustitve osvinčenih motornih bencinov (slika 9.10). Največji delež k skupnim izpustom svinca so prispevali industrijski procesi (48 %) (slika 9.11).

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 [8].

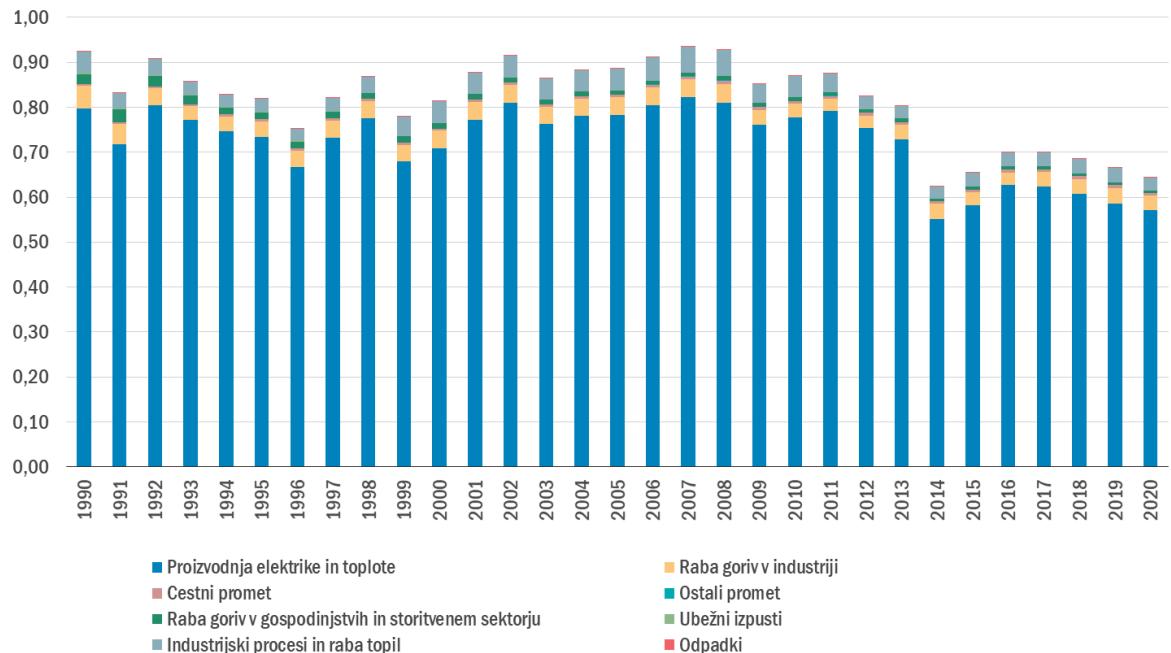
9.2.2 Zahteve za kakovost zraka

Ciljne vrednosti za nikelj, arzen in kadmij so predpisane v Uredbi o arzenu, kadmiju, živem srebru, niklu in policikličnih aromatskih ogljikovodikih v zunanjem zraku [5], mejna vrednost za svinec je določena v Uredbi o kakovosti zunanjega zraka [4]. Predpisane vrednosti so podane v tabeli 9.4.

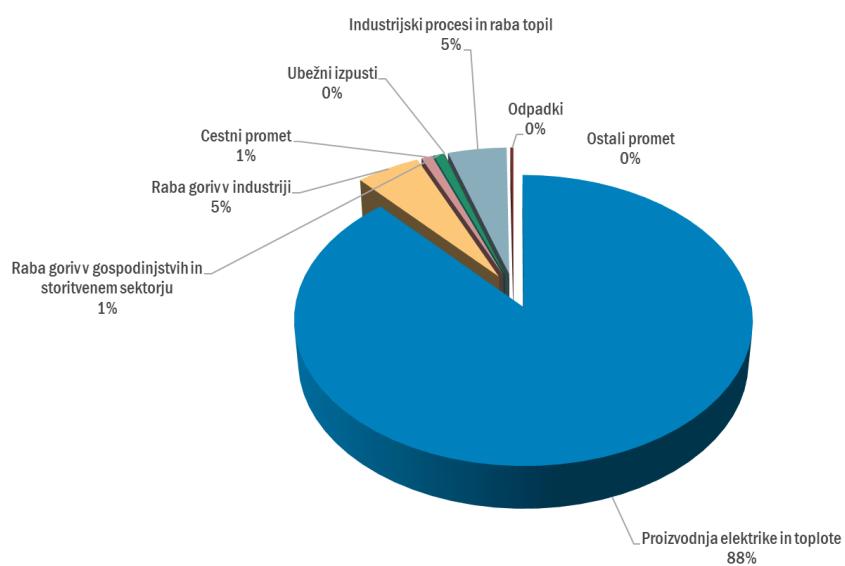
Tabela 9.4: Mejna vrednost za svinec ter ciljne vrednosti za arzen, kadmij in nikelj.

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

Izpusti As (t)

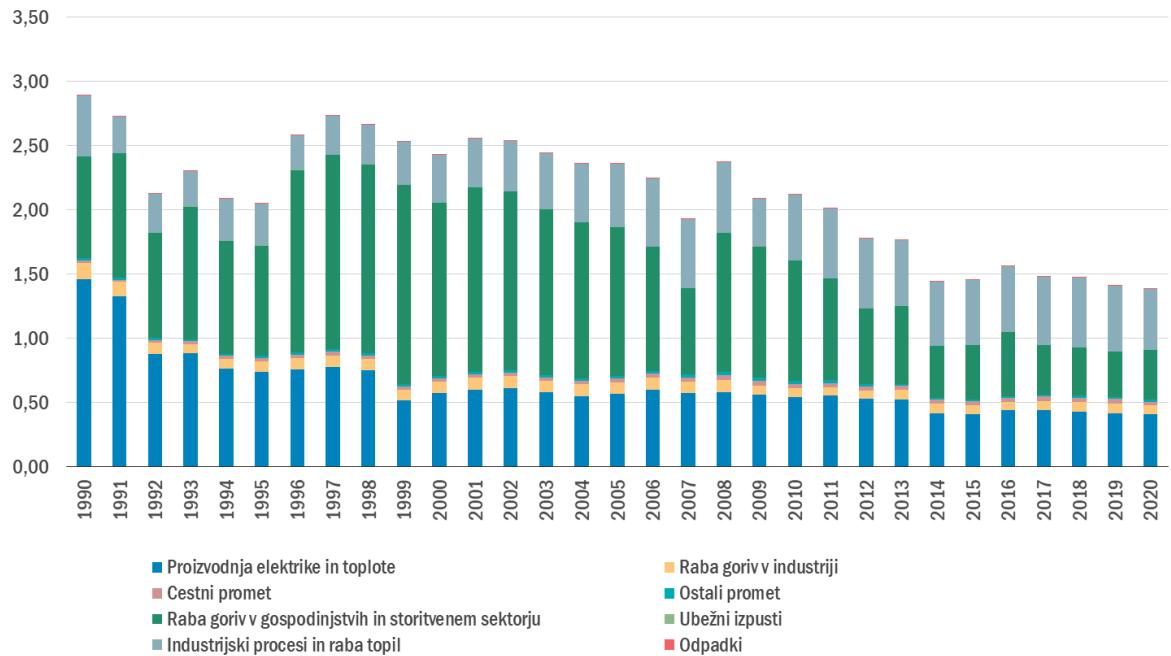


Slika 9.4: Letni izpusti arzena po sektorjih v Sloveniji.

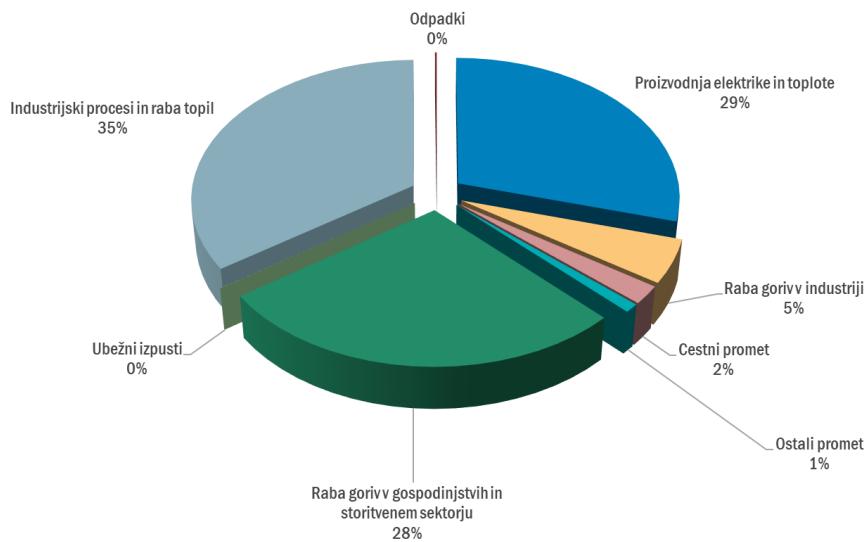


Slika 9.5: Izpusti arzena po sektorjih v Sloveniji v letu 2020.

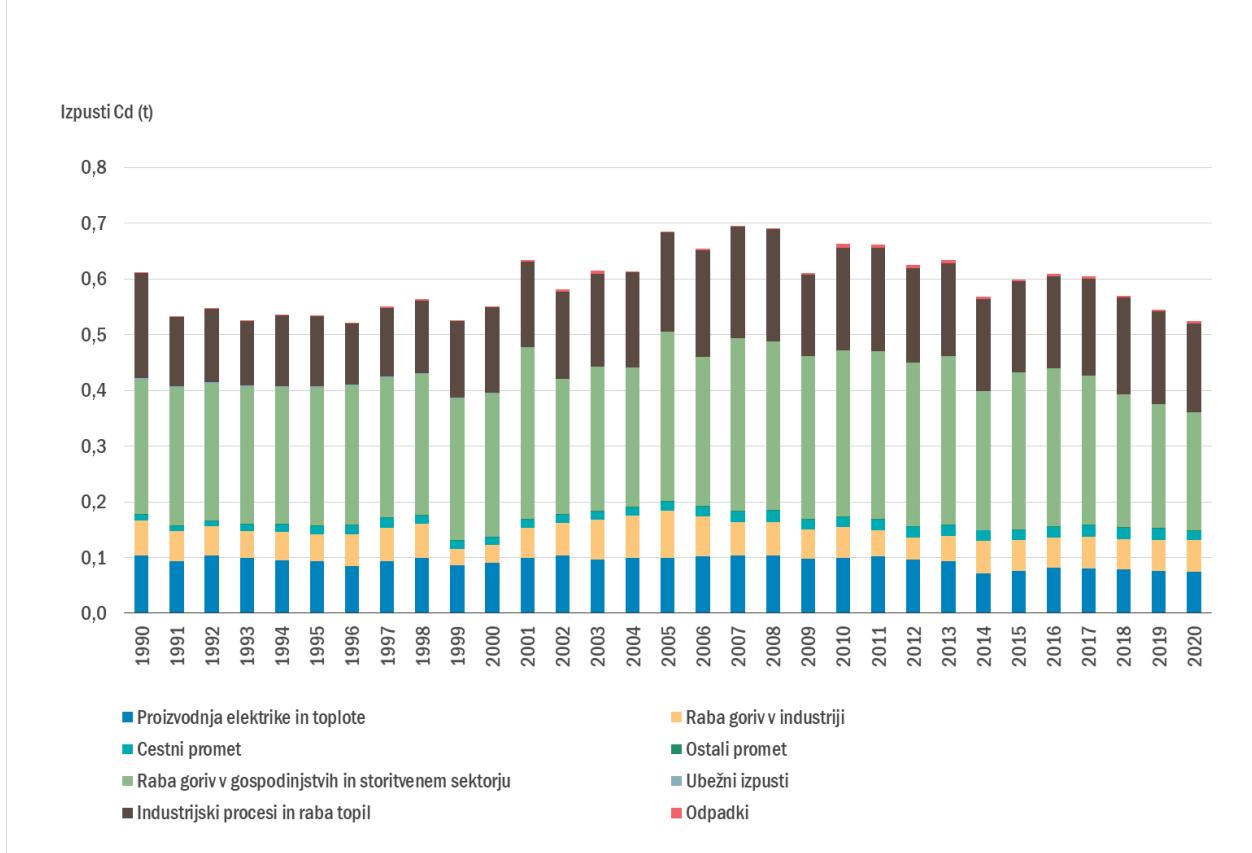
Izpusti Ni (t)



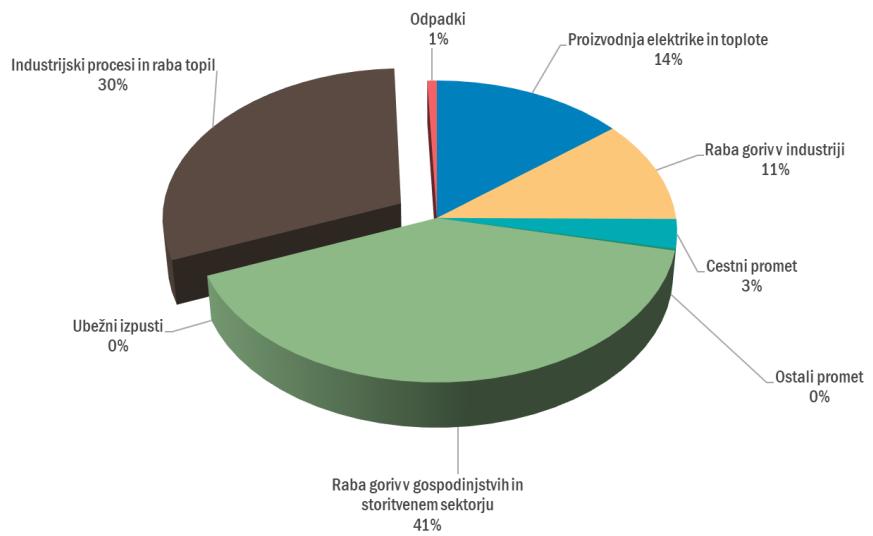
Slika 9.6: Letni izpusti niklja po sektorjih v Sloveniji.



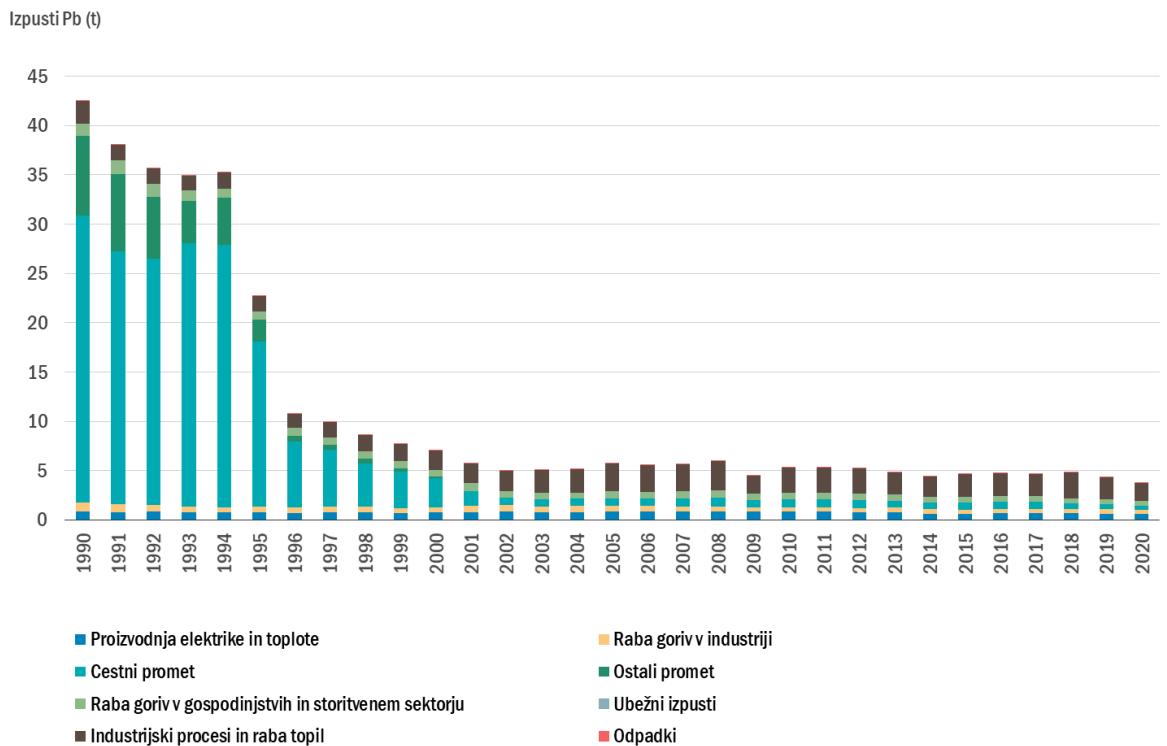
Slika 9.7: Izpusti niklja po sektorjih v Sloveniji v letu 2020.



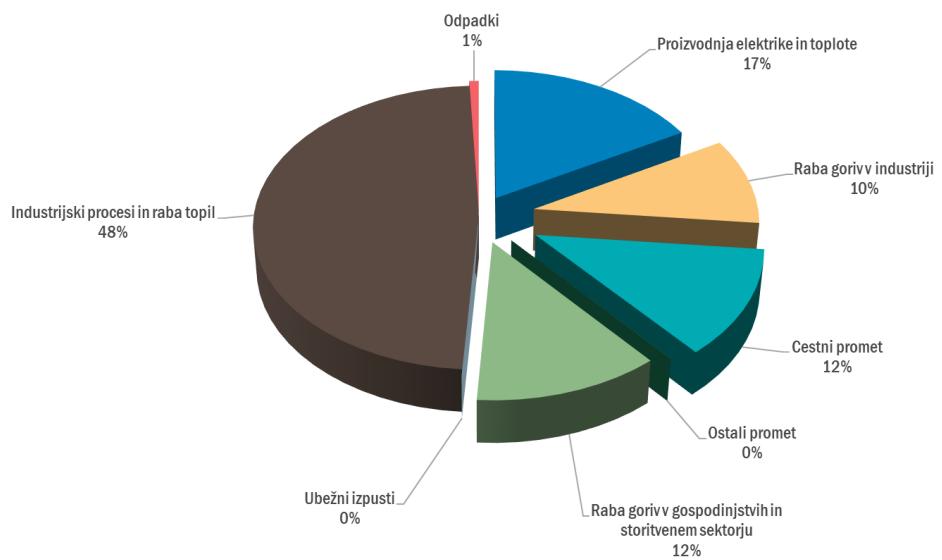
Slika 9.8: Letni izpusti kadmija po sektorjih v Sloveniji.



Slika 9.9: Izpusti kadmija po sektorjih v Sloveniji v letu 2020.



Slika 9.10: Letni izpusti svinca po sektorjih v Sloveniji.



Slika 9.11: Izpusti svinca po sektorjih v Sloveniji v letu 2020.

9.2.3 Ravni onesnaženosti

Pregled letnih ravni težkih kovin v letu 2021 izračunanih iz povprečnih dnevnih vrednosti je prikazan v tabeli 9.5 ter na slikah od 9.12 do 9.15. Meritve težkih kovin stalno izvajamo na petih merilnih mestih: Ljubljana Bežigrad, Maribor Titova, Žerjav, Iskrba in Celje bolnica. V letu 2021 so meritve potekale še v Desklah. V letu 2018 smo v Ljubljani meritve težkih kovin prestavili z merilnega mesta Biotehniška fakulteta na merilno mesto Bežigrad.

Tabela 9.5: Letna pokritost s podatki (% pod) in letna raven težkih kovin (ng/m^3) v letu 2020. Raven onesnaženosti večja od predpisane letne mejne vrednosti je označena krepko.

	% pod	Arzen	Nikelj	Kadmij	Svinec
CE bolnica	19	0,37	1,4	0,34	5,7
Deskle	99	0,19	0,72	0,09	2,6
Iskrba	22	0,18	0,68	0,06	1,2
LJ Bežigrad	22	0,33	2,2	0,20	5,9
MB Titova	22	0,32	1,5	0,13	5,7
NG Grčna	95	0,24	0,9	0,12	4,2
Žerjav	48	2,3	1,7	2,7	694

V letu 2021 so bile letne ravni arzena, niklja, kadmija in svinca v Ljubljani, Mariboru, Novi Gorici, Celju, Desklah in na Iskrbi nižje od predpisane mejne oziroma ciljne vrednosti. Mesečni poteki ravni težkih kovin so prikazani na slikah od 9.16 do 9.19 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 2021 kaže, da obremenjenost ostaja približno na istem nivoju (tabele 9.7 do 9.10 in slike 9.20 do 9.23).

Zgoraj napisano ne velja za merilno mesto Žerjav, kjer so povišani nivoji arzena, kadmija in svinca preko celega leta povezani predvsem z delovanjem okoliške industrije. Povprečne letne vrednosti arzena in kadmija so na merilnem mestu Žerjav višje kot na drugih merilnih mestih a ne presegajo predpisanih standardov kakovosti. V Žerjavu je bila v letu 2021 prvič odkar od leta 2009 izvajamo meritve presežena letna mejna vrednost za svinec. Povprečna letna vrednost svinca je bila v letu 2021 na tem merilnem mestu $694 \text{ ng}/\text{m}^3$ (mejna vrednost znaša $500 \text{ ng}/\text{m}^3$). Najvišje vrednosti svinca so bile izmerjene v drugi polovici junija, ko niti ena dnevna vrednost ni znašala manj kot $1000 \text{ ng}/\text{m}^3$, najvišja dnevna vrednost svinca je bila izmerjena 28. junija 2021 in je znašala kar $7360 \text{ ng}/\text{m}^3$. V tabeli 9.6 so predstavljene povprečne mesečne ravni svinca ter najvišje izmerjene dnevne ravni svinca na merilnem mestu Žerjav. Iz tabele je razvidno, da so se v letu 2021 visoke ravni svinca pojavljale čez celo leto. Razlogov za povišane ravni svinca je lahko več. Iz poročil o emitiranih snoveh podjetja MPI-Reciklaža d.o.o iz Žerjava je razvidno, da so se v letu 2021 emisije svinca povišale za 50% v primerjavi z letom 2020 in za več kot štirikrat v primerjavi z letom 2019. V letu 2021 se je izvajala tudi prenova glavne ceste v Žerjavu in tako ni mogoče izključiti tudi resuspenzije svinca iz kontaminirane zemlje.

Tabela 9.6: Povprečna mesečna vrednost svinca v ng/m^3 in najvišja dnevna vrednost svinca v mesecu na merilnem mestu Žerjav v letu 2021.

	povprečna mesečna vrednost	najvišja dnevna vrednost
Januar	565	2800
Februar	733	2290
Marec	479	1100
April	399	818
Maj	503	2020
Junij	2979	7360
Julij	450	1110
Avgust	297	828
September	784	1930
Oktober	496	1430
November	302	498
December	288	1290

Tabela 9.7: Letna raven arzena (ng/m^3).

	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
CE bolnica	/	/	/	/	/	/	/	0,53	0,55	0,48	0,42	0,38	0,37
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
LJ Bežigrad	/	/	/	/	/	/	/	/	/	0,42	0,35	0,30	0,33
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
NG Grčna	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	0,24
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

* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.

Tabela 9.8: Letna raven niklja (ng/m^3).

	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
CE bolnica	/	/	/	/	/	/	/	1,6	1,6	1,5	1,2	1,2	1,4
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
LJ Bežigrad	/	/	/	/	/	/	/	/	/	3,6	2,1	1,4	2,2
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
NG Grčna	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	0,9
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

* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.

Tabela 9.9: Letna raven kadmija (ng/m^3).

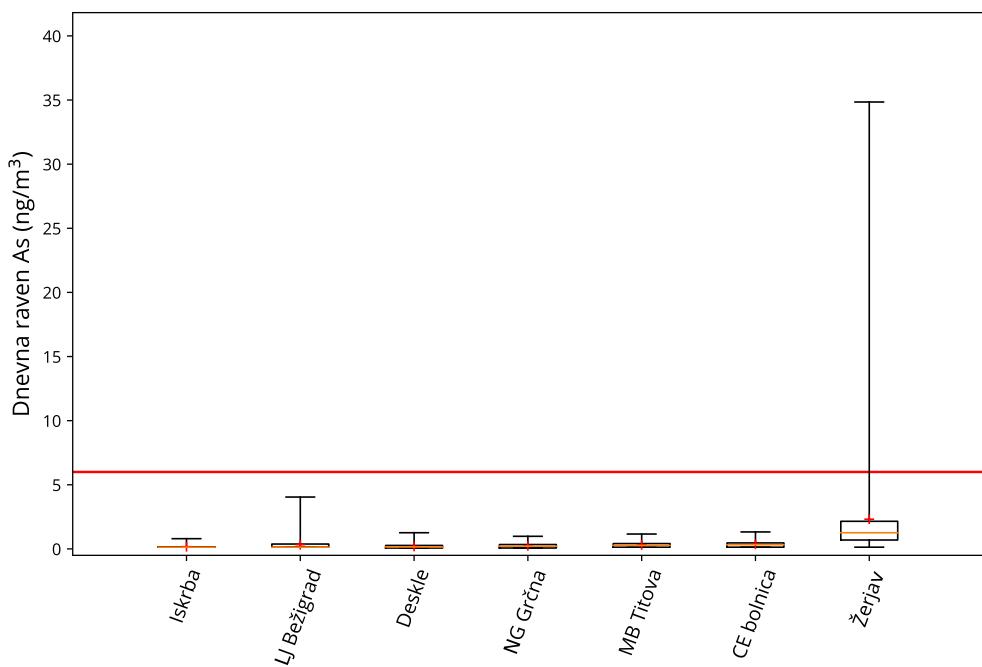
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
CE bolnica	/	/	/	/	/	/	/	0,95	0,38	0,39	0,52	0,64	0,34
Deskle	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	0,09
Iskrba	0,10	0,11	0,26	0,11	0,08	0,09	0,08	0,07	0,07	0,08	0,06	0,08*	0,06
LJ Bežigrad	/	/	/	/	/	/	/	/	/	0,25	0,18	0,25	0,20
LJ Biotehniška	0,22	0,26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

* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.

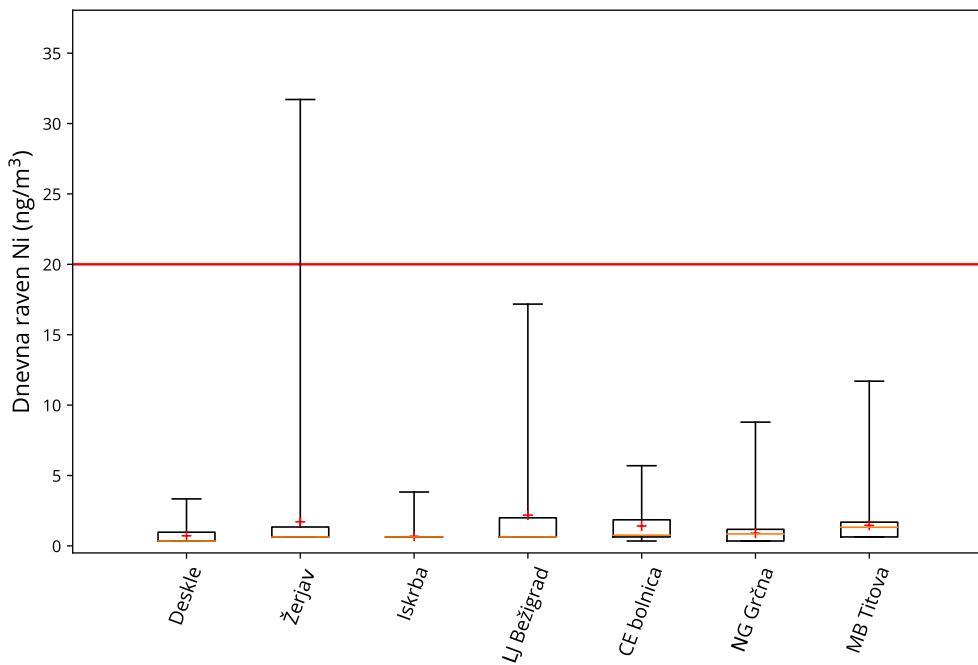
Tabela 9.10: Letna raven svinca (ng/m^3).

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

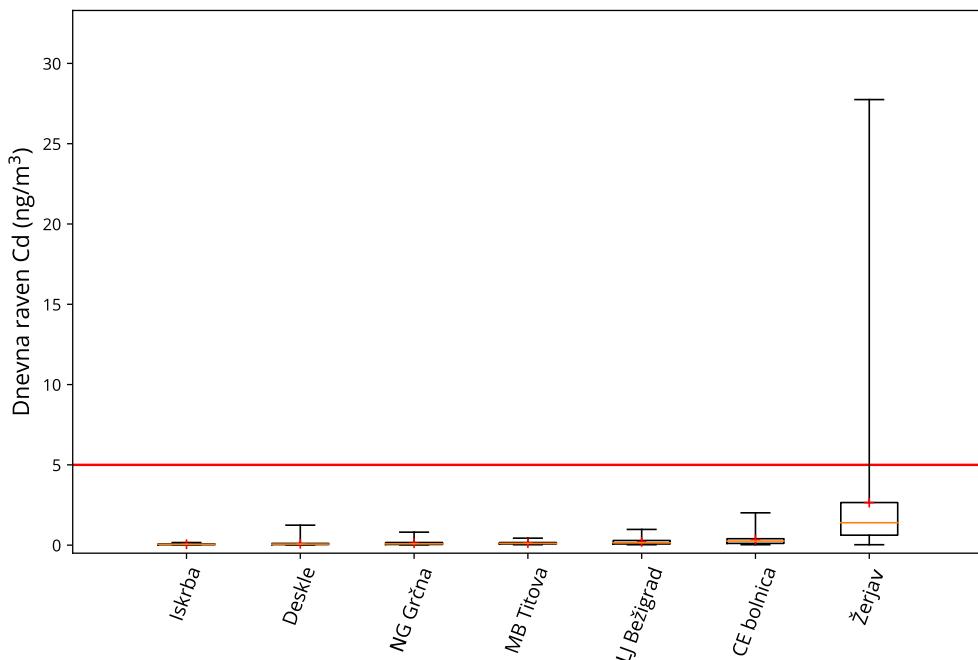
* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.



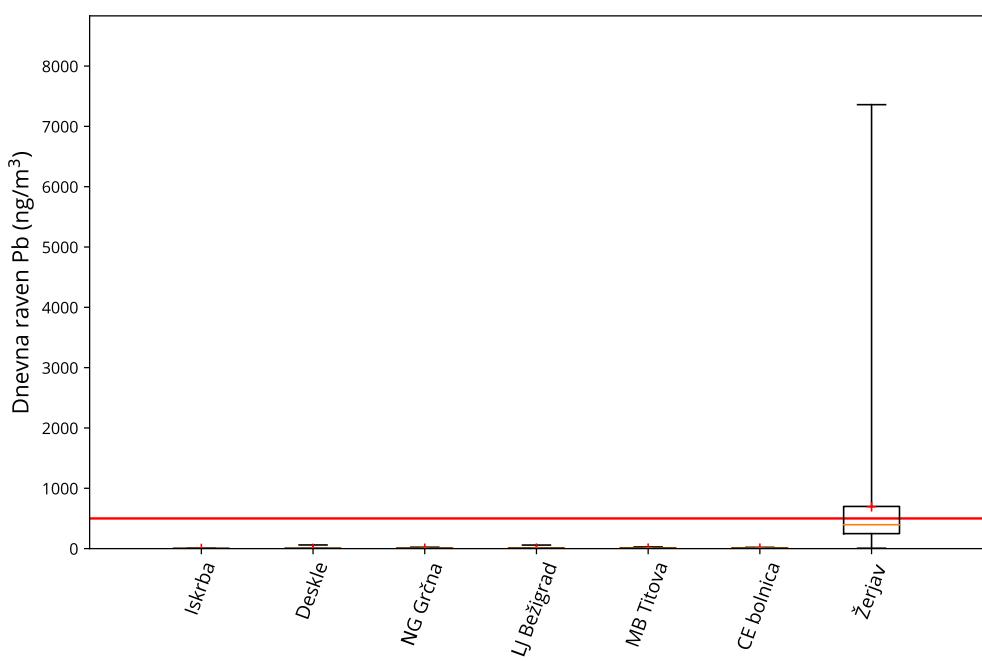
Slika 9.12: Dnevna raven arzena na sedmih merilnih mestih v letu 2021. Prikazani so najnižja in najvišja izmerjena raven (spodnja in zgornja vodoravna črtica), oba kvartila (vrh in dno pravokotnika) in mediana (rdeča vodoravna črtica v pravokotniku). Križec predstavlja povprečno letno raven. Rdeča črta prikazuje letno ciljno vrednost.



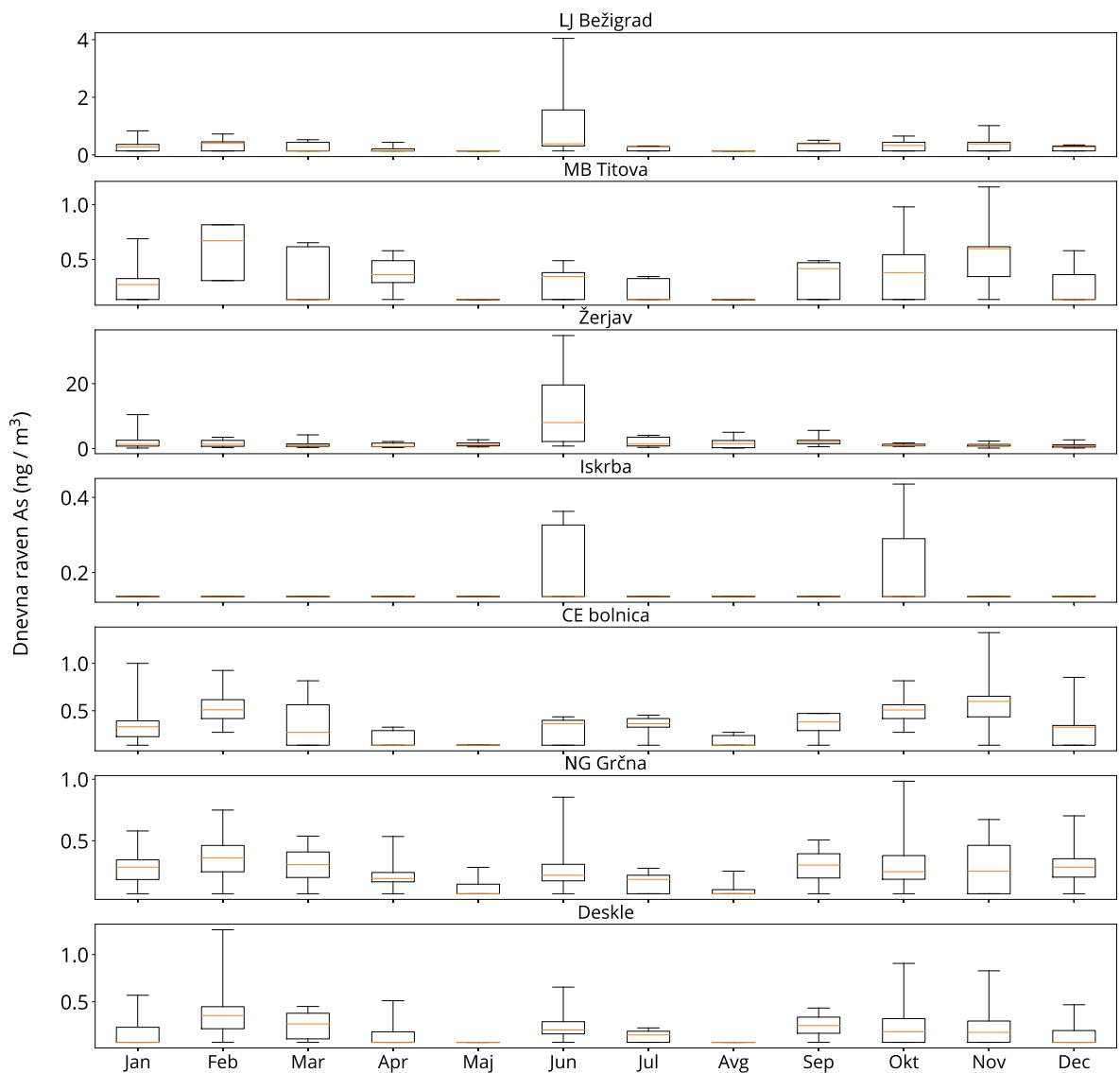
Slika 9.13: Dnevna raven niklja na sedmih merilnih mestih v letu 2021. Prikazani so najnižja in najvišja izmerjena raven (spodnja in zgornja vodoravna črtica), oba kvartila (vrh in dno pravokotnika) in mediana (rdeča vodoravna črtica v pravokotniku). Križec predstavlja povprečno letno raven. Rdeča črta prikazuje letno ciljno vrednost.



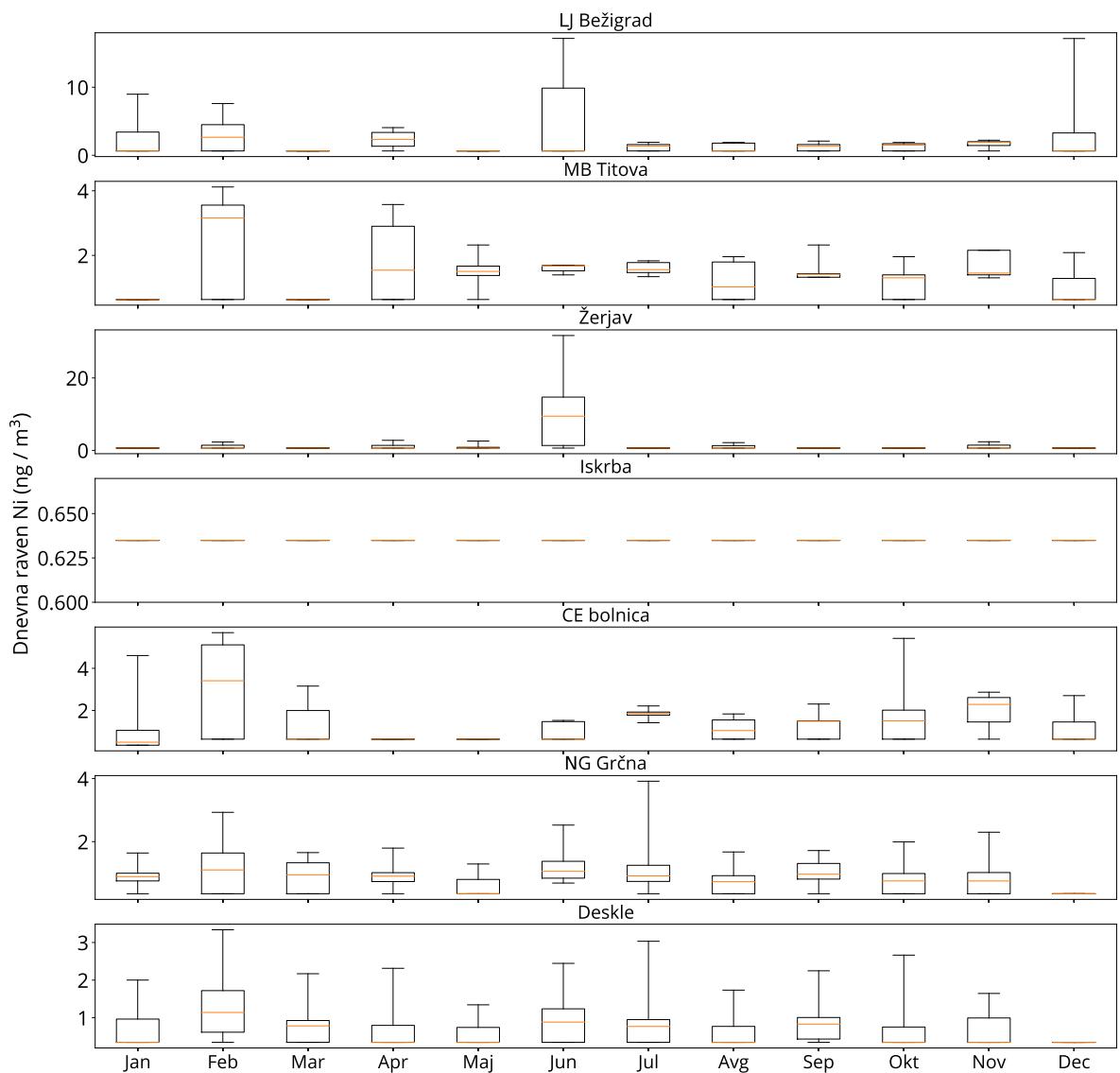
Slika 9.14: Dnevna raven kadmija na sedmih merilnih mestih v letu 2021. Prikazani so najnižja in najvišja izmerjena raven (spodnja in zgornja vodoravna črtica), oba kvartila (vrh in dno pravokotnika) in mediana (rdeča vodoravna črtica v pravokotniku). Križec predstavlja povprečno letno raven. Rdeča črta prikazuje letno ciljno vrednost.



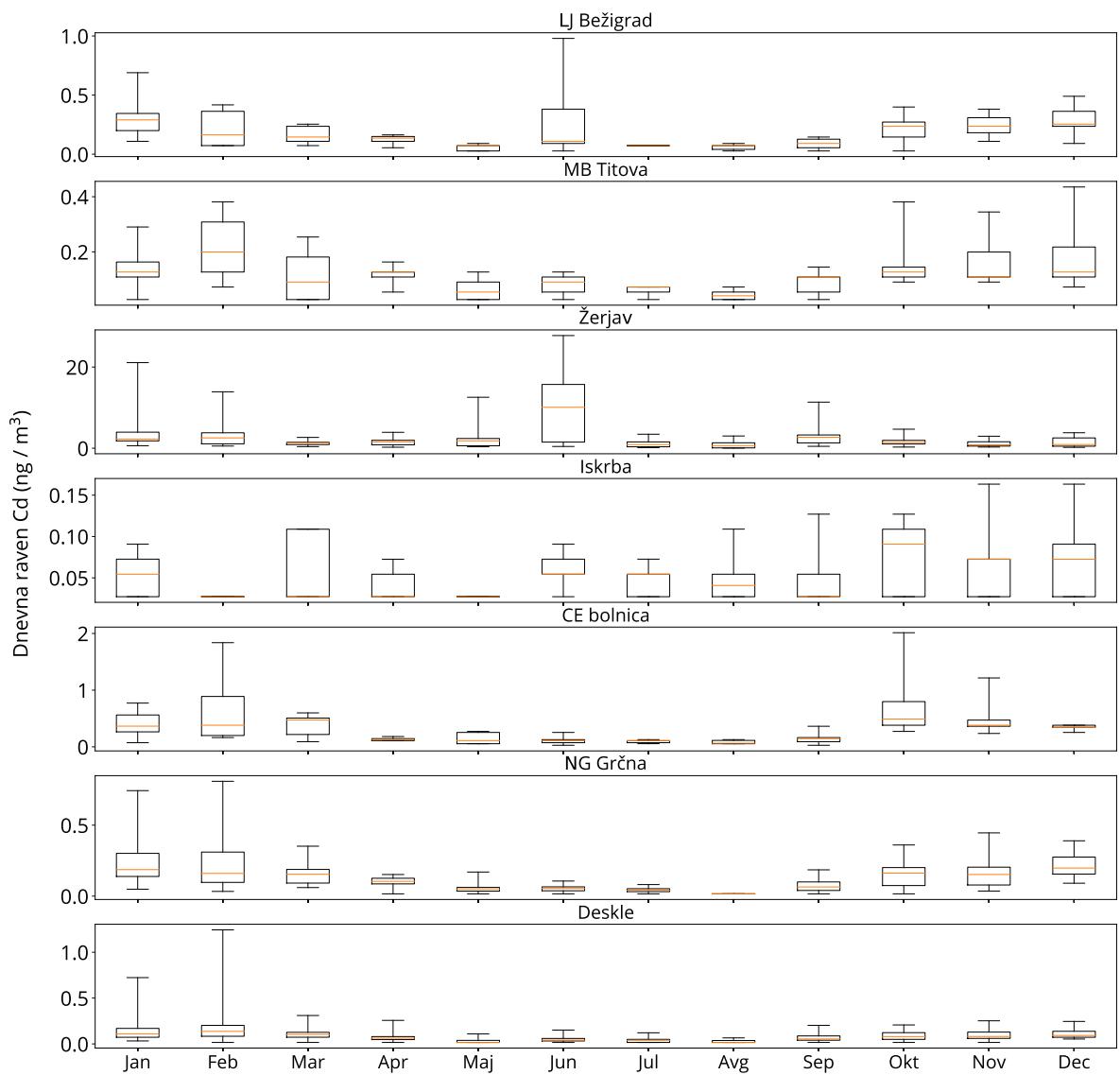
Slika 9.15: Dnevna raven svinca na sedmih merilnih mestih v letu 2021. Prikazani so najnižja in najvišja izmerjena raven (spodnja in zgornja vodoravna črtica), oba kvartila (vrh in dno pravokotnika) in mediana (rdeča vodoravna črtica v pravokotniku). Križec predstavlja povprečno letno raven. Rdeča črta prikazuje letno ciljno vrednost.



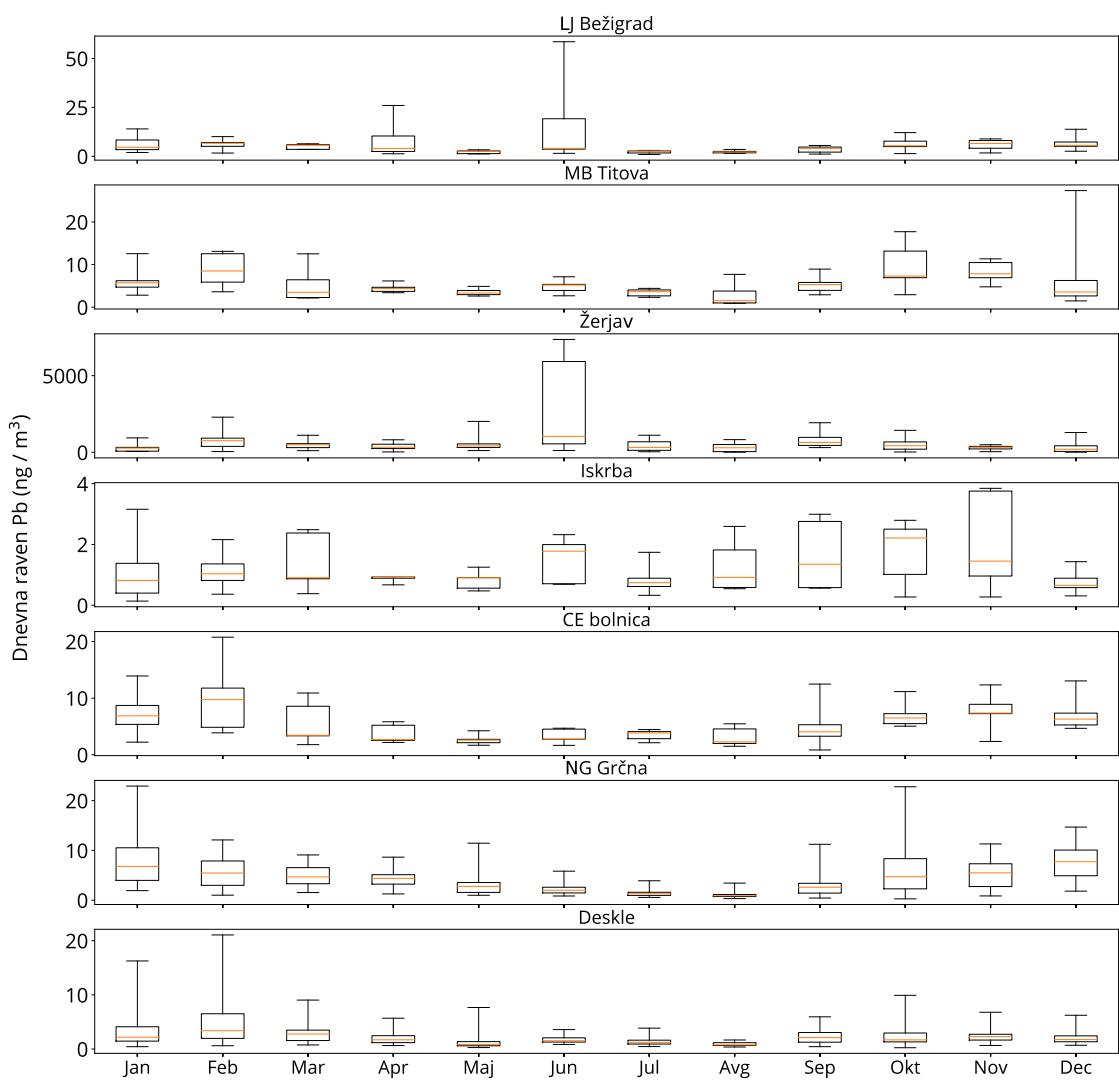
Slika 9.16: Dnevna raven arzena na sedmih merilnih mestih po mesecih v letu 2021. Prikazani so najnižja in najvišja izmerjena raven (spodnja in zgornja vodoravna črtica), oba kvartila (vrh in dno pravokotnika) in mediana (rdeča vodoravna črtica v pravokotniku) za posamezni mesec.



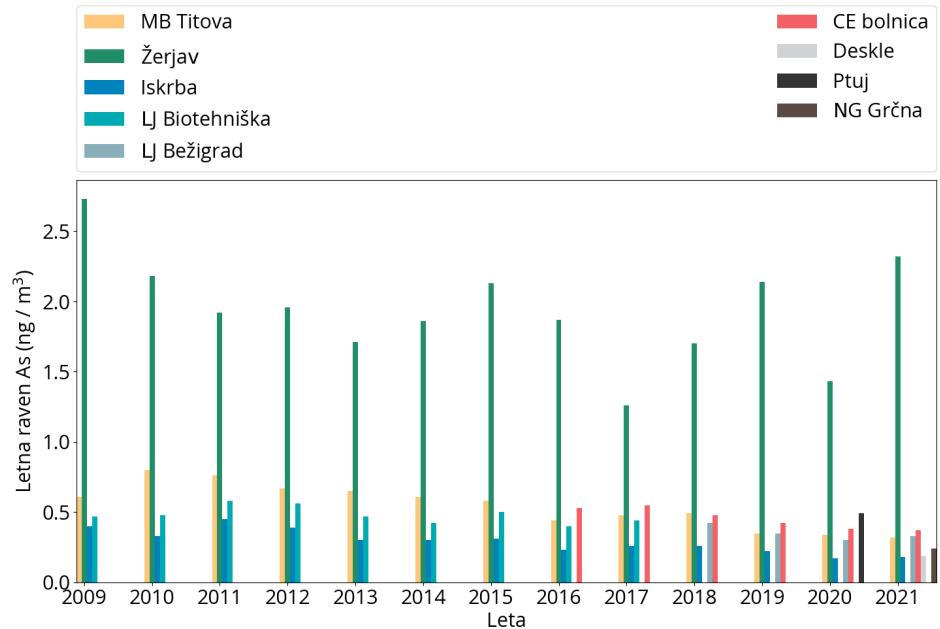
Slika 9.17: Dnevna raven niklja na sedmih merilnih mestih po mesecih v letu 2021. Prikazani so najnižja in najvišja izmerjena raven (spodnja in zgornja vodoravna črtica), oba kvartila (vrh in dno pravokotnika) in mediana (rdeča vodoravna črtica v pravokotniku).



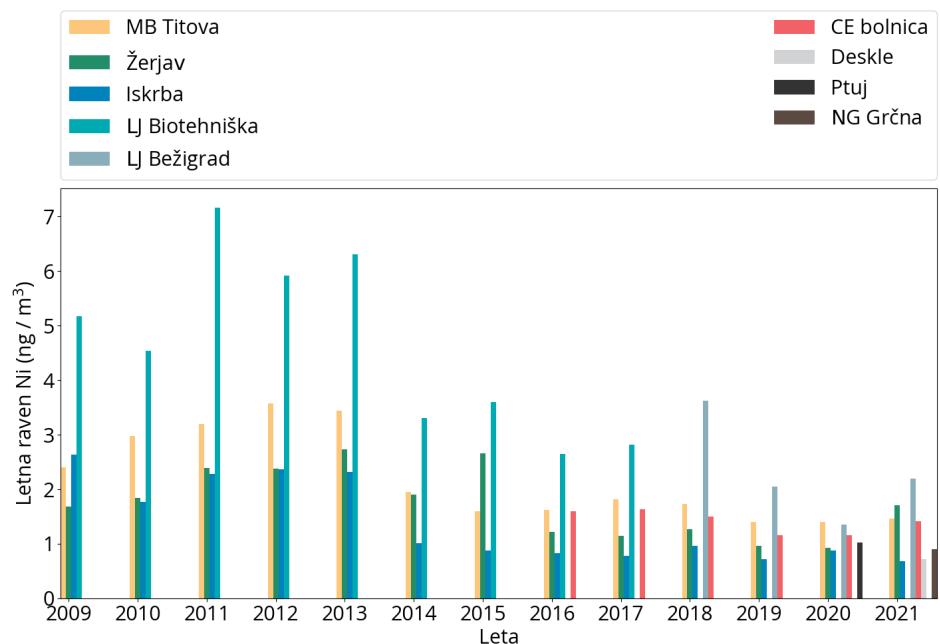
Slika 9.18: Dnevna raven kadmija na sedmih merilnih mestih po mesecih v letu 2021. Prikazani so najnižja in najvišja izmerjena raven (spodnja in zgornja vodoravna črtica), oba kvartila (vrh in dno pravokotnika) in mediana (rdeča vodoravna črtica v pravokotniku).



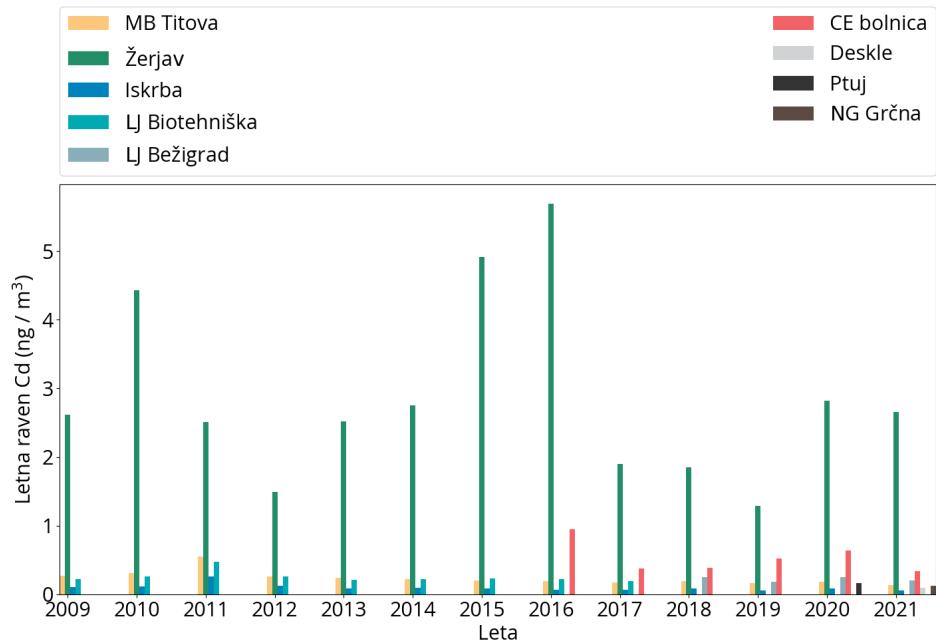
Slika 9.19: Dnevna raven svinca na sedmih merilnih mestih po mesecih v letu 2021. Prikazani so najnižja in najvišja izmerjena raven (spodnja in zgornja vodoravna črtica), oba kvartila (vrh in dno pravokotnika) in mediana (rdeča vodoravna črtica v pravokotniku).



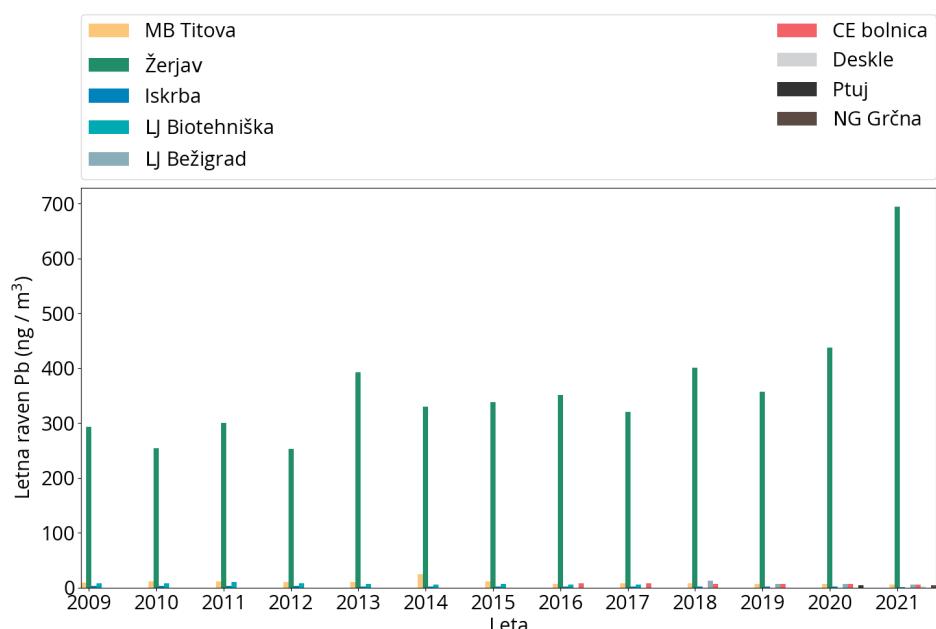
Slika 9.20: Povprečna letna raven arzena po letih.



Slika 9.21: Povprečna letna raven niklja po letih.



Slika 9.22: Povprečna letna raven kadmija po letih.



Slika 9.23: Povprečna letna raven svinca po letih.

10. 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 odprtim reliefom (kot sta lokacija 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 maksimalnih ravneh ozona, ki so v celinskem delu Slovenije nižje kot na Primorskem.

10.1 Zahteve za kakovost zraka

V tabeli 10.1 so prikazane predpisane ciljne, opozorilne in alarmne vrednosti iz Uredbe o kakovosti zunanjega zraka [4] in smernice WHO [29]. Za varovanje zdravja je predpisana ciljna maksimalna dnevna 8-urna povprečna vrednost. 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 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 10.1: Ciljne, opozorilna in alarmna vrednost za ozon ter smernice WHO [29]

Cilj		Čas merjenja	Mejna ali ciljna vrednost	Dovoljeno število preseganj	WHO
Ciljna vrednost	Zdravje	maksimalna dnevna 8-urna povprečna vrednost AOT40* akumulirana od maja do julija	$120 \mu\text{g}/\text{m}^3$	25 dni v triletnem povprečju	$100 \mu\text{g}/\text{m}^3$
Ciljna vrednost	Vegetacija		$18000 \mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{h}$ povprečje petih let		
Dolgoročna ciljna vrednost	Zdravje	maksimalna dnevna 8-urna povprečna vrednost	$120 \mu\text{g}/\text{m}^3$		
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.

10.2 Ravni onesnaženosti

V letu 2021 smo v nadaljevanju projekta Sinica pri meritvah ozona uvedli nekaj sprememb. S 1. junijem so bile ukinjene meritve ozona na starem merilnem mestu v Trbovljah. Na novem merilnem mestu se od takrat naprej merijo samo ravni delcev. V letu 2021 smo izvajali meritve ozona tudi v Desklah. V letu 2021 imamo prvič celoten niz meritev na merilnem mestu Novo mesto. V poročilo smo vključili še meritve iz dveh merilnih mest dopolnilne merilne mreže, ki jih ne izvaja ARSO, in sicer Zadobrovo in Mobilno TEŠ. Meritve so na teh dveh merilnih mestih potekale že dlje časa, rezultati meritev so prikazani v tabelah.

Pregled izmerjenih ravni, število preseženih ciljnih, opozorilnih in alarmnih vrednosti ozona v letu 2021 je podan v tabeli 10.2. V tabeli so tudi podatki za AOT40 za leto 2021 in petletno povprečje ter število prekoračitev smernic WHO. Urne ravni ozona na postajah DMKZ v letu 2021 so prikazane na sliki 10.3.

V letu 2021 je bila opozorilna vrednost ozona $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ presežena samo na dveh merilnih mestih, in sicer na merilnem mestu NG Grčna in v Kopru. Preseganja so bila zabeležena 14. in 15. avgusta, prvi dan v Kopru, drugi dan v NG Grčna. V Kopru je bila urna vrednost presežena ob 12. in 13. uri, najvišja urna vrednost je bila $194 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Naslednji dan so bila preseganja v NG Grčna, in sicer od 11. do 13. ure. Najvišja izmerjena raven je bila $189 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Le malenkost pod opozorilno vrednostjo je bila ta dan tudi najvišja urna vrednost ozona na Otlici. Na ostalih merilnih mestih so bile ta dva dneva izmerjene ravni ozona pod $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

V dnevih od 12. do 16. avgusta je na območju Slovenije, Italije in Jadrana prevladovalo sončno in zelo vroče vreme, temperature so dosegle tudi do 36°C , kar je ugodno vplivalo na tvorbo ozona.

Tabela 10.2: Raven ozona v zunanjem zraku ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) v letu 2021. Prikazana je razpoložljivost podatkov (% pod), letna raven (C_p), maksimalna urna in maksimalna dnevna 8-urna povprečna vrednost (max), število preseganj opozorilne (>OV) in alarmne vrednosti (>AV), število prekoračitev dolgoročne ciljne vrednosti (>CV), AOT40 ter število preseganj 8-urne vrednosti po smernicah WHO [29].

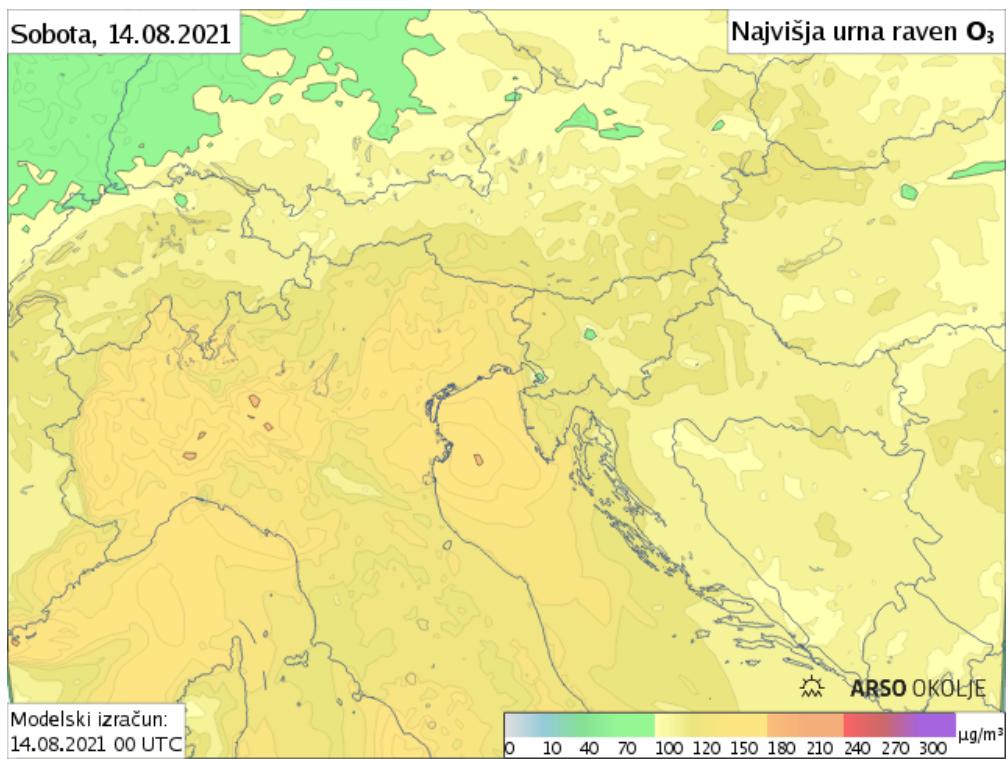
Merilno mesto	%pod	Leto C_p	varovanje zdravja				varovanje rastlin			8 ur WHO
			max	>OV	>AV	max	>CV	maj-julij AOT40	5 let AOT40	
Merilna mreža DMKZ										
LJ Bežigrad	100	46	168	0	0	150	31	19996	/	94
MB Vrbanski	100	52	158	0	0	143	11	16249	/	78
CE bolnica	100	42	149	0	0	130	5	13347	/	59
MS Rakičan	98	45	142	0	0	127	5	10859	17735	48
NG Grčna	99	50	189	3	0	178	35	22555	/	94
Deskle	90	46	172	0	0	149	26	17787	/	61
Trbovlje*	31	42	119	0	0	112	/	/	/	13
Zagorje	100	39	142	0	0	129	3	7208	/	28
Novo mesto	99	46	149	0	0	141	7	12729	/	71
Koper	99	68	194	2	0	167	40	25024	/	112
Otlica	99	83	179	0	0	167	42	23937	26587	112
Iskrba	95	48	145	0	0	136	6	12212	17834	56
Krvavec	100	90	165	0	0	158	43	21994	23703	132
Dopolnilna merilna mreža										
TE Šostanje										
Zavodnje	99	75	163	0	0	156	28	22153	/	/
Velenje	99	48	150	0	0	135	7	16325	/	/
Mobilna TEŠ	99	50	152	0	0	141	11	18832	/	/
TE-TOL										
Zadobrova	98	30	130	0	0	108	0	2587	/	/
TE Brestanica										
Sv. Mohor	95	70	158	0	0	150	39	20447	/	/
MO Maribor										
MB Tezno	100	46	166	0	0	147	20	19516	/	/
Pohorje	98	74	134	0	0	130	12	15994	/	/

* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.

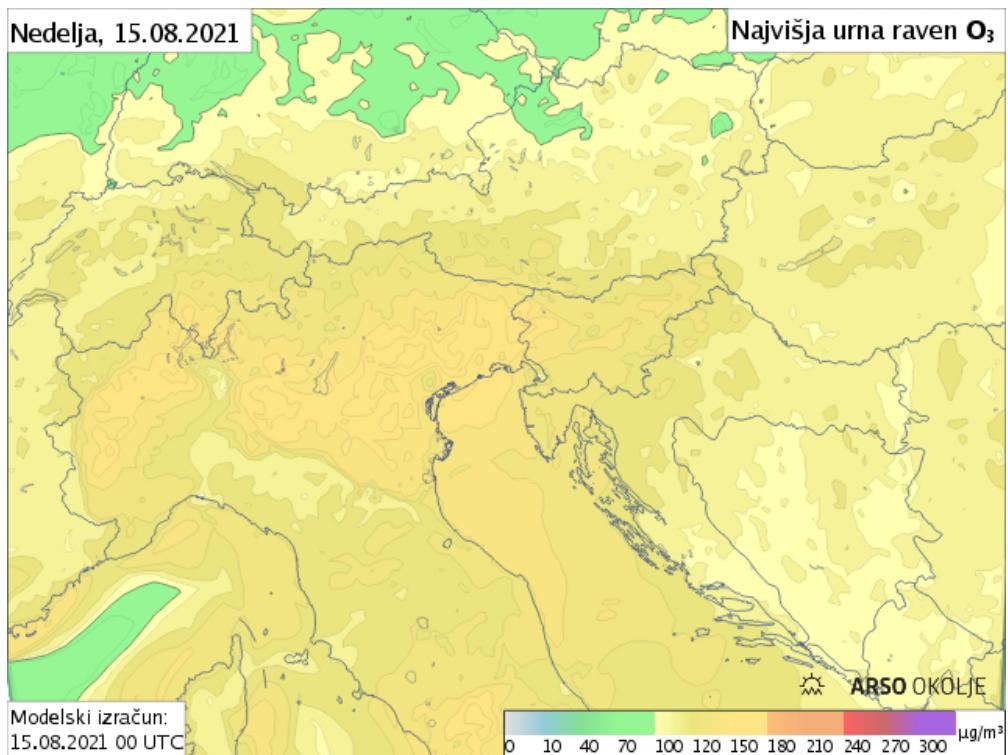
V takih razmerah se ravni ozona v ozračju povečujejo postopoma. Zato ni presenetljivo, da so bile ravni ozona presežene šele po nekaj dnevih, 14. oziroma 15. avgusta. Analiza vetrovnega polja iz meteorološkega modela ter prostorski prikaz ravni ozona iz fotokemijskega modela sta pokazala, da je na obe postaji zračno maso povečini zaneslo iz območja Jadranskega bazena, ki je bilo v tem času precej onesnaženo z ozonom (sliki 10.1 in 10.2). S prehodom hladne fronte naslednji dan so se ravni ozona znižale.

Leto 2021 ni bilo med najtoplejšimi leti, je pa v poletnem času izstopal junij, tako po temperaturah kot po količini sončnega obsevanja. Že v prvi polovici junija je prevladovalo nekoliko nadpovprečno toplo vreme, sredi meseca se je občutno ogrelo in 18. junija se je začel prvi vročinski val v tem letu, ki je trajal vse do konca junija 2021. Temperature so bile na posameznih merilnih mestih višje od 35°C , kar so ugodni vremenski pogoji za nastanek ozona. Na večini merilnih mest so bile junija 2021 zabeležene najvišje mesečne ravni ozona. Kljub ugodnim pogojem za nastanek ozona na nobenem merilnem mestu ni prišlo do preseganja opozorilne urne vrednosti $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Razlog je bil v prisotnosti delcev v ozračju, ki so jih k nam prinesli zračni tokovi iznad alžirskega dela Sahare. Delci v ozračju namreč negativno vplivajo na potek kompleksnih reakcij pri nastanku ozona.

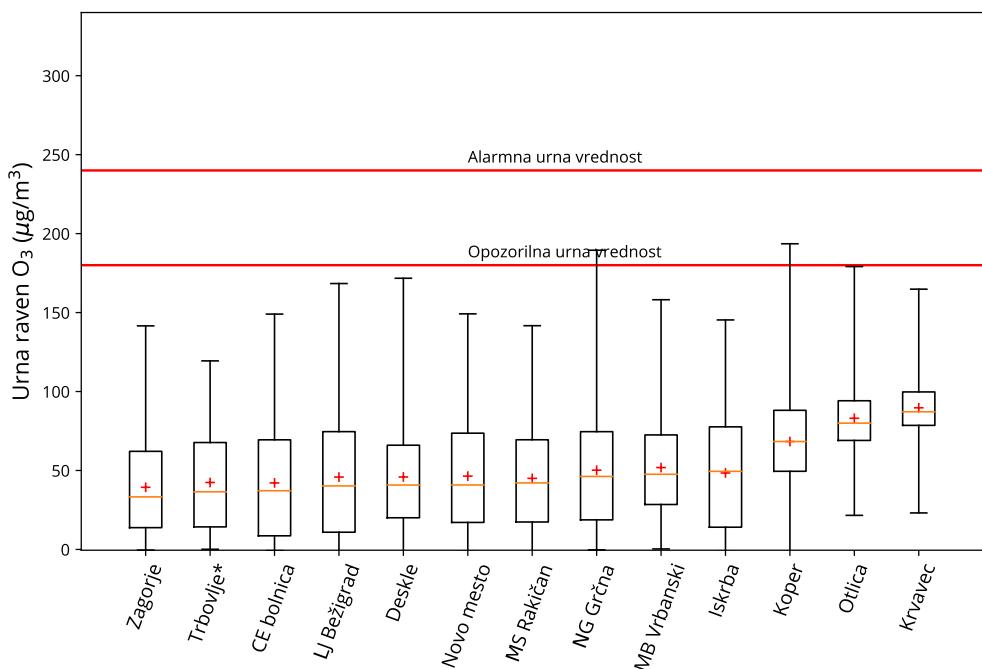
Na sliki 10.4 je prikazan potek dnevnih ravni ozona po mesecih na urbanih in ruralnih merilnih



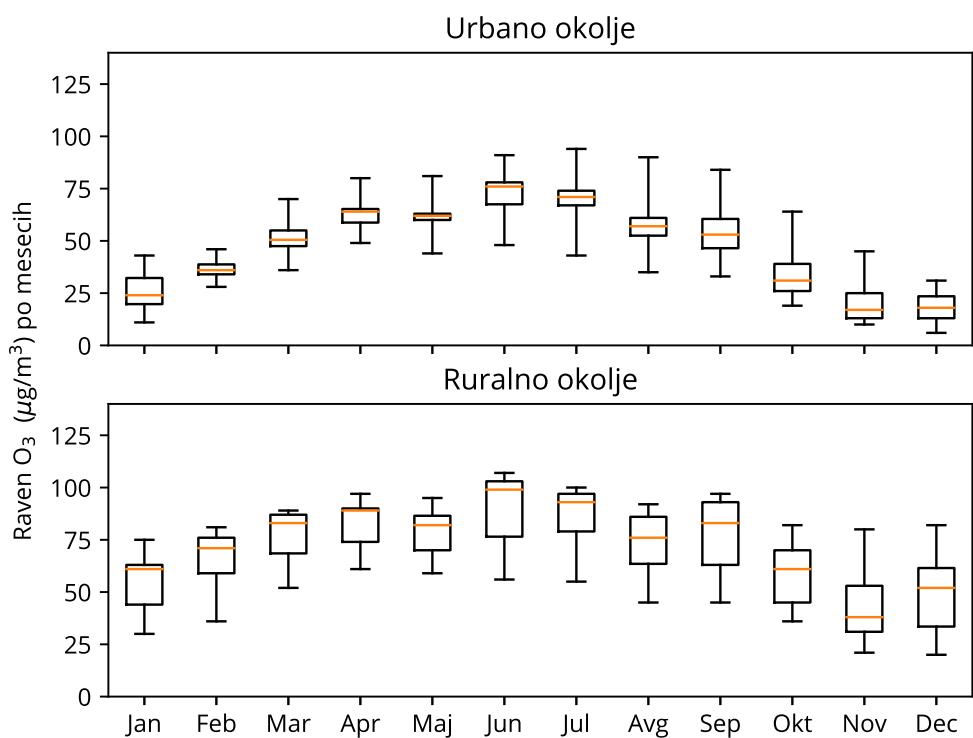
Slika 10.1: Najvišja urna raven ozona dne 14. 8. 2021, izračunana z modelskim sistemom ALADIN/CAMx



Slika 10.2: Najvišja urna raven ozona dne 15. 8. 2021, izračunana z modelskim sistemom ALADIN/CAMx



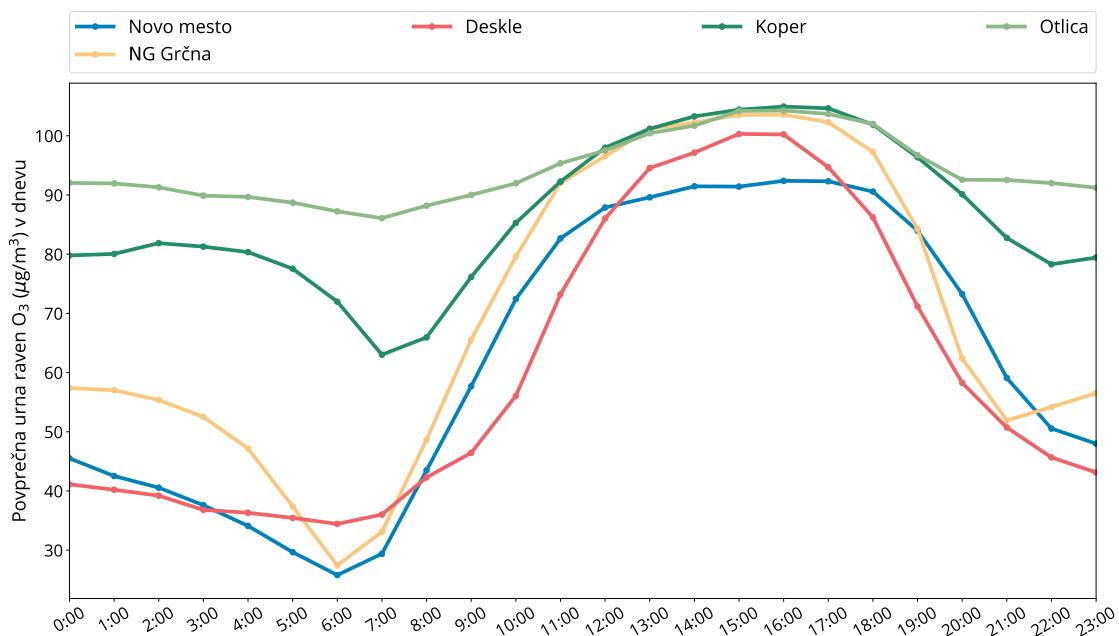
Slika 10.3: Urne ravni O_3 na merilnih mestih DMKZ v letu 2021. Prikazane so najnižja in najvišja izmerjena raven (spodnja in zgornja vodoravna črtica), oba kvartila (vrh in dno pravokotnika) in mediana (rdeča vodoravna črtica v pravokotniku). Znak + prikazuje letno povprečje.



Slika 10.4: Dnevne ravni O_3 po mesecih na urbanih in ruralnih merilnih mestih v letu 2021. 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).

mestih. Iz slike je razvidno, da so bile junija res zabeležene v povprečju najvišje dnevne vrednosti v tem letu. Letni potek dnevnih ravni ozona je podoben za urbano in ruralno okolje (slika 10.4), le da so povprečne dnevne vrednosti večinoma višje na više ležečih ruralnih meritnih mestih. V ruralnem okolju je namreč manj možnosti za reakcije z drugimi snovmi (npr. svežimi izpusti iz prometa), ki povzročajo razpad ozona. V juniju 2021 je bilo zabeleženih tudi največ preseganj 8-urne ciljne vrednosti. Vrednosti po mesecih so prikazane v tabelah 10.3 do 10.6.

Dnevni potek povprečnih urni ravni ozona med aprilom in septembrom je prikazan na sliki 10.5. Prikazan je dnevni potek urnih ravni ozona za postajo Novo mesto, kjer so meritve potekale prvo leto in za vsa meritna mesta na Primorskem. Razlika med posameznimi poteki ozona preko dneva je odvisna od nadmorske višine in vpliva prometa na meritno mesto. Na više ležečih odprtih legah, kamor spada meritno mesto Otlica, kjer ni vpliva lokalnega prometa, je dnevni hod ozona precej manj izrazit. Na vseh meritnih mestih nastopi izrazit maksimum med 13. in 17. uro, ko je sončno obsevanje močno in so temperature zraka najvišje. Potek ravni ozona preko dneva je odvisen predvsem od mikro lokacije meritnega mesta. Najnižje ravni so 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 meritno mesto locirano stran od večjih prometnic.



Slika 10.5: Dnevni potek povprečne urne raven O_3 na izbranih meritnih mestih med aprilom in septembrom 2021

Ravni ozona so bile v letu 2021 na večini meritnih mest višje kot v letu 2020. Na ravni ozona vplivajo predvsem vremenske razmere v poletnem času in za razliko od nadpovprečno namočenega poletja 2020 je bilo poletje 2021 bolj suho, dežja je opazno primanjkovalo. Najvišje povprečne letne vrednosti ozona so zabeležene na više ležečih meritnih mestih. V meritni mreži DMKZ sta to meritni mesti Krvavec in Otlica (tabela 10.2), v dopolnilni meritni mreži pa Pohorje in Zavodnje. Sledi meritno mesto Koper na Primorskem, kjer so pogoji za tvorbo ozona podnevi najbolj ugodni. NG Grčna ima nižje letne ravni ozona, ker je meritno mesto bolj izpostavljen prometu. Najvišja povprečna letna vrednost v letu 2021, $90 \mu\text{g}/\text{m}^3$, je bila kot že vsa leta doslej dosežena na Krvavcu.

Na vseh ostalih merilnih mestih se v letu 2021 ravni ozona gibljejo med $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, nekoliko nižje so le na s prometom bolj obremenjenih merilnih mestih (Zagorje, Celje, Zadobrova).

Dolgoročna ciljna vrednost za varovanje zdravja $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ je bila v letu 2021 presežena na vseh merilnih mestih, razen na merilnem mestu Trbovlje, kjer smo z meritvami končali sredi leta 2021 in na merilnem mestu Zadobrova. V letu 2021 je bilo preseganj več v primerjavi z letom 2020, ki je bilo v poletnem času precej deževno. Dolgoročna ciljna vrednost je $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in v posameznem letu ne bi smela biti presežena, da bi bil dosežen dolgoročni cilj.

Več kot 25 preseganj dolgoročne ciljne vrednosti je bilo leta 2021 zabeleženih na merilnih mestih Koper, NG Grčna, Deskle in Ljubljana Bežigrad ter na visokoležečih merilnih mestih Otlica, Krvavec, Zavodnje in na merilnem mestu Sv. Mohor, ki leži nad Brestanico. Na vseh ostalih merilnih mestih je bilo preseganj te vrednosti manj kot 25 (tabela 10.2 in tabela 10.6). Število preseganj dolgoročne ciljne vrednosti je pomembno pri določanju ciljne vrednosti za varovanje zdravja, ki se izračuna kot triletno povprečje preseganj dolgoročne ciljne vrednosti. Število preseganj 8-urne ciljne vrednosti v drsečem povprečju treh let za obdobje 2004-2021 je podano v tabeli 10.9, število preseganj v posameznem letu pa v tabeli 10.8. V letu 2020 in 2021 je bilo preseganj 8 urne povprečne vrednosti manj kot v prejšnjih letih (tabela 10.8), zato je bilo v letu 2021 tudi manj preseganj ciljne vrednosti za varovanje zdravja ljudi. Ciljna vrednost za varovanje zdravja ljudi je bila v merilni mreži DMKZ v letu 2021 presežena le v NG Grčna, Desklah (samo meritve v letu 2021) in Kopru ter na Krvavcu in Otlici. Za določitev skladnosti s ciljno vrednostjo za varovanje zdravja, če ni na voljo zaporednega triletnegra niza podatkov, je zadostno že število veljavnih podatkov za eno leto (tabela 10.9).

Za varovanje rastlin je predpisana ciljna vrednost AOT40, in sicer $18.000 \mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{h}$. Ocenujemo jo kot 5-letno povprečje AOT40 na merilnih mestih zunaj pozidanih območij (Murska Sobota Rakičan, Iskrba, Krvavec, Otlica). Na vseh merilnih mestih so ravni višje od ciljne vrednosti (tabela 10.2). Vrednosti AOT40 so bile v letih 2020 in 2021 nižje od vrednosti v letih 2017, 2018, 2019, kar je nekoliko znižalo 5-letno povprečje. V celotni Evropi je bil leta 2020 AOT40 najnižji v zadnjih 14 letih ([30]) na kar so v večji meri vplivali ukrepi za obvladovanje pandemije COVID in vremenska situacija v poletnem času. Tudi v letu 2021 nismo dosegli dolgoročne ciljne vrednosti za vegetacijo ($6000 \mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{h}$) na merilnih mestih v neizpostavljenem podelželskem okolju.

Tabela 10.3: Povprečna mesečna raven ozona ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) v letu 2021

	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
LJ Bežigrad	20	41	51	64	63	79	73	62	53	26	12	7
MB Vrbanski	36	38	57	66	61	77	74	60	64	40	22	26
CE bolnica	23	35	46	58	62	71	67	51	46	26	11	12
MS Rakičan	30	36	52	61	59	57	69	51	45	36	21	20
NG Grčna	25	31	49	64	63	77	76	74	62	41	28	14
Deskle	31	35	52	65	60	66	70	57	53	38	29	18
Trbovlje*	23	42	48	59	/	/	/	/	/	/	/	/
Zagorje	19	35	41	55	51	58	58	46	45	25	15	25
Novo mesto	26	37	55	64	60	69	67	54	59	31	17	14
Koper	43	46	70	80	81	91	94	90	84	64	45	31
Otlica	65	71	85	91	88	102	98	91	96	76	65	69
Iskrba	50	53	56	64	62	56	55	45	47	39	28	27
Krvavec	75	81	89	97	95	107	100	92	97	82	80	82
Zavodnje	61	65	83	89	85	104	96	81	90	61	38	52
Velenje	37	37	55	67	64	76	71	54	47	31	14	22
Mobilna TEŠ	31	38	57	68	65	77	72	54	52	37	18	26
Sv. Mohor	38	75	89	89	78	96	89	76	79	51	34	40
Zadobrova	14	28	36	49	44	48	43	35	33	19	10	6
MB Tezno	11	28	50	64	63	80	74	57	57	38	17	19
Pohorje	61	77	81	84	82	99	93	76	83	64	41	54

* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.

Tabela 10.4: Maksimalna urna raven ozona ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) po mesecih v letu 2021

	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
LJ Bežigrad	67	96	124	132	116	168	153	160	163	101	75	58
MB Vrbanski	81	84	120	127	110	135	137	137	158	107	92	70
CE bolnica	74	87	116	123	116	133	140	142	149	101	83	66
MS Rakičan	82	100	114	118	110	126	142	126	138	98	85	70
NG Grčna	75	85	127	143	131	161	167	189	169	106	97	72
Deskle	72	98	135	154	130	156	160	164	172	99	76	60
Trbovlje*	73	93	115	119	/	/	/	/	/	/	/	/
Zagorje	67	86	104	111	105	129	133	142	140	97	73	62
Novo mesto	84	104	119	128	118	131	127	129	149	99	77	68
Koper	79	88	129	143	124	155	165	194	162	103	97	73
Otlica	84	96	129	148	119	159	157	179	174	113	97	96
Iskrba	85	90	121	137	120	129	126	126	145	99	86	78
Krvavec	94	101	134	145	120	149	143	155	165	122	109	101
Zavodnje	90	95	126	121	130	144	149	145	163	94	86	85
Velenje	81	91	126	123	116	143	148	141	150	96	78	73
Mobilna TEŠ	84	96	131	128	124	147	152	150	150	101	82	78
Sv. Mohor	85	129	153	158	125	145	157	138	150	119	84	78
Zadobrova	54	77	99	102	101	120	113	130	118	75	57	51
MB Tezno	83	85	116	126	121	144	138	150	166	108	91	78
Pohorje	84	92	123	123	113	134	132	133	130	93	90	84

* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.

Podatki o povprečnih letnih ravneh ozona za obdobje 2000 - 2021 in število preseganj ciljne 8-urne vrednosti za obdobje 2002 - 2021 za posamezna meritna mesta so podani v tabelah [10.7](#) do [10.9](#) in na slikah [10.6](#) in [10.7](#). V tabeli [10.10](#) je prikazano število preseganj opozorilne vrednosti za leta od 2002 do 2021. Povprečne letne ravni ozona ne kažejo opaznih tendenc v zadnjih letih. Manjša 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 izražena

Tabela 10.5: Število prekoračitev urne opozorilne vrednosti ($180 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ozona v letu 2021

	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
LJ Bežigrad	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MB Vrbanski	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
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	0	3	0	0	0	0
Deskle	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Trbovlje*	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	0	2	0	0	0	0
Otlica	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Iskrba	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
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	0	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

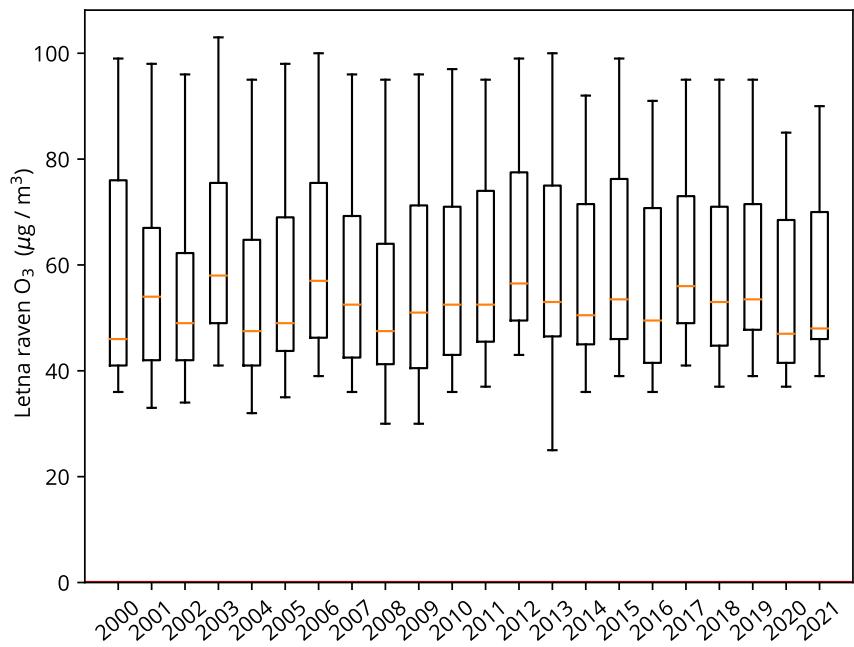
* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.

Tabela 10.6: Število prekoračitev 8-urne ciljne vrednosti ($120 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ozona v letu 2021

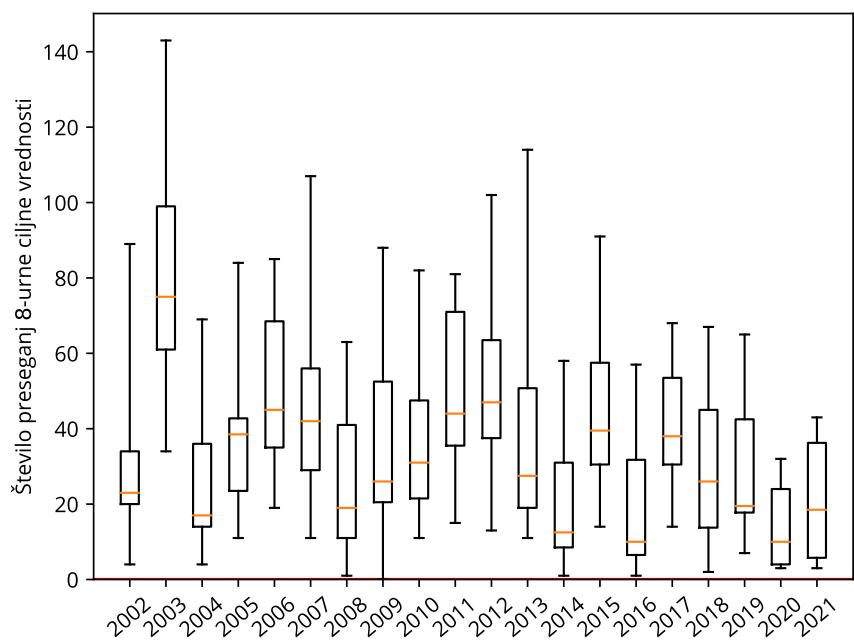
	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
LJ Bežigrad	0	0	0	2	0	10	6	7	6	0	0	0
MB Vrbanski	0	0	0	0	0	2	1	2	6	0	0	0
CE bolnica	0	0	0	0	0	1	1	1	2	0	0	0
MS Rakičan	0	0	0	0	0	1	3	0	1	0	0	0
NG Grčna	0	0	0	2	1	12	9	5	6	0	0	0
Deskle	0	0	1	4	1	8	4	3	5	0	0	0
Trbovlje*	0	0	0	0	/	/	/	/	/	/	/	/
Zagorje	0	0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

* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.

v številu prekoračitev opozorilne urne in ciljne 8-urne vrednosti. Nekoliko nižje vrednosti so bile zabeležene v zadnjih dveh letih, ko smo se z različnimi ukrepi borili proti COVID-u.



Slika 10.6: Letne ravni O_3 na vseh merilnih mestih za posamezna leta od leta 2000 - 2021. 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 10.7: Preseganja 8-urne ciljne vrednosti za ozon na merilnih mestih DMKZ za posamezna leta v obdobju 2002 - 2021. 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 10.7: Povprečna letna raven ozona ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) za obdobje 2000 - 2021

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Krvavec	99	98	96	103	95	98	100	95	96	95	97	95	99	100	92	99	91	95	95	95	85	90
Iskrba	61	58	53	60	54	56	60	54	50	53	55	51*	56	52	52	51	50	59	51	55	67*	48
Otlica	/	/	/	/	/	/	95	88	82	83	80	87	88*	78	83	78	84	83	85	76	83	83
LJ Bežigrad	42	44	41	48	42	44	45	42	42	40	41	43	46	46	38	43	39	49	45	44	41	46
MB Titova	36	33	37	44	34	35	39	37	37	39	40	37	43	25*	/	/	/	/	/	/	/	/
MB Vrbanski	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	52	49	55	49	56	55	54	52
CE bolnica	41	44	46	50	38	43	45	42	41	39	42	45	49	46	42	42	39	46	44	44	42	42
Tribovlje	37	/	40	48	35	37	41	38	33	40	42	41	46	43	39	42	36	44	42	41	38	42*
Hrastnik	46	37	46	52	43	35	50	44	41	42	48	47	51	48	45	47	41	52	47	53*	/	/
Zagorje	/	/	34	41	32	44	39	36	30	30	36	41	43*	42	36	39	36	41	37	39	37	39
Novo mesto	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	39*	46
MS Rakičan	46	54	52	58	48	50	50	47	45	45	51	52	55	53	45	46	48	53	55	53	47	45
NG Grčna	/	/	45	58	47	48	50	47	43	44	46	53	57	53	46	52	46	50	50	52	50	50
Koper	/	/	/	/	/	/	74	66	67	69	68	72	74	73	69	74	67	73	69	70	67	68
Zavodnje	58	75	66	78	64	75	76	71	65	72	73	74	78	75	70	77	72	73	79	79	70	75
Velenje	38	40	54	55	43	46	54	51	42	49	51	48	52	51	46	43	49	44	49	43	48	/
Kovk	76	71	65	78	69	72	72	67	61	68	71	74	76	67	80	87	75	/	/	/	/	/
Sv. Mohor	/	/	/	/	57	68	66	64	59	54	71	67	75	67	70	54	68	68	69	60	70	/
Vnajnarje	77	63	67	73	67	68	76	70	60	74	73	77	82	86*	76	74	66	69	/	/	/	/
MB Pohorje	86	/	/	88	76	79	82	76	74	71	80	80	76	72	81	72	74	77	76	72	74	/
MB Tezno	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	37	46	/	/

* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.
Opomba: Podatki za leto od 1992-2000 so na voljo v [31](#).

Tabela 10.8: Število preseganj 8-urne ciljne vrednosti ($120 \mu\text{g}/\text{m}^3$) v posameznem letu za obdobje 2002 – 2021

	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
LJ Bežigrad	23	73	31	36	45	42	19	26	20	44	47	29	7	42	13	51	22	19	11	31
MB Titova	4	18	1	0	7	3	0	4	3	0*	5	0*	/	/	/	/	/	/	/	/
MB Vrbanski	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	7	53	7	31	30	19	4	11
CE bolnica	29	75	17	43	38	32	15	20	22	39	39	21	10	29	7	29	14	17	10	5
MS Rakičan	36	99	15	31	26	33	9	15	22	44	47	26	9	31	7	34	30	20	4	5
NG Grčna	34	101	42	41	55	47	24	31	41	66	65	48	31	65	34	51	42	42	32	35
Trbovlje	9	61	4	13	32	15	6	23	21	23	23	11	10	22	5	28	10	13	9	/
Zagorje	4	34	5	11	19	11	1	0	11	15	13	13	1	14	1	14	2	7	3	3
Hrastnik	20	60	14	21	39	26	13	21	31	36	36	24	15	33	5	33	13	18*	/	/
Novo mesto	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	0*	7	
Koper	/	/	/	42	72	51	58	57	56	81	62	64	42	79	51	61	54	44	24	40
Otlica	/	/	/	/	85	98	50	67	54	76	73	59*	31	55	31	61	55	55	21	42
Iskrba	23	82	36	58	65	61	32	48	36	54	33	24	37	14	42	17	24	22*	6	
Krvavec	89	143	69	84	84	107	63	88	82	76	102	114	58	91	57	68	67	65	24	43

* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.

Tabela 10.9: Število preseganj 8-urne ciljne vrednosti ($120 \mu\text{g}/\text{m}^3$) v drsečem povprečju treh let za obdobje 2004 – 2021. Prekoračitve predpisane vrednosti so označene odebelenjo.

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
LJ Bežigrad	42	47	37	41	35	29	22	30	37	40	28	26	21	35	29	31	17	20
MB Titova	8	6	3	3	3	2	2	2*	3	/	/	/	/	/	/	/	/	/
MB Vrbanski	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	24	22	30	23	27	18	11
CE bolnica	40	45	33	38	28	22	19	27	33	33	23	20	15	22	17	20	14	11
MS Rakičan	50	48	24	30	23	19	15	27	38	39	27	22	16	24	24	28	18	10
NG Grčna	59	61	46	48	42	34	32	46	57	60	48	48	43	50	42	45	39	35
Trbovlje	25	26	16	20	18	15	17	22	22	19	15	14	12	18	14	17	11	11
Zagorje	14	17	12	14	10	4	4	9	13	14	9	9	5	10	6	8	4	4
Hrastnik	31	32	25	29	26	20	22	29	34	32	25	24	18	24	17	21*	16	18
Novo mesto	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	0*	7
Koper	/	/	/	55	60	55	57	65	66	69	56	62	57	64	55	53	41	36
Otlica	/	/	/	/	78	72	57	66	68	69*	54*	48*	39	49	49	57	44	39
Iskrba	47	59	53	61	53	47	39	40	42	41	37	31	25	31	24	28	21	15
Krvavec	100	99	79	92	85	86	78	82	87	97	91	88	69	72	64	67	52	44

* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.

Tabela 10.10: Število preseganj opozorilne vrednosti ($180 \mu\text{g}/\text{m}^3$) za obdobje 2002 – 2021

	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
LJ Bežigrad	4	18	4	11	9	7	0	0	0	0	3	1	0	0	0	6	0	0	0	
MB Titova	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	/	/	/	/	0	/	/	/	0	
MB Vrbanski	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	0	0	0	0	0	0	0	
CE bolnica	0	2	0	0	3	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
MS Rakičan	0	6	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
NG Grčna	26	100	25	31	33	18	0	0	0	2	18	20	0	6	0	4	9	5	2	3
Trbovlje	0	6	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	4	0	0	0	
Zagorje	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Hrastnik	0	1	0	0	4	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0*	0	
Novo mesto	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	0*	0	
Koper	/	/	/	16	36	9	0	3	2	4	13	22	0	9	0	5	1	4	0	2
Otlica	/	/	/	/	67	43	5	2	3	1	12	33*	0	0	0	15	3	25	0	0
Iskrba	0	11	1	0	1	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0*	
Krvavec	0	8	7	7	23	18	0	0	14	0	10	6	0	1	0	1	0	0	0	

* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.

10.3 Ocena onesnaženosti zraka z O₃ s tehniko združevanja podatkov

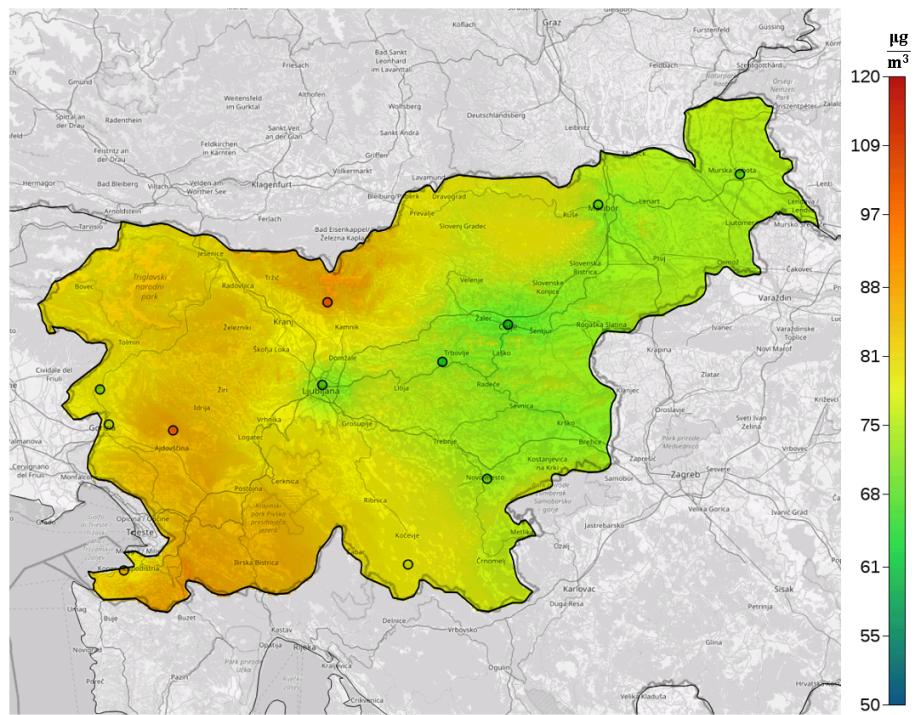
V nadaljevanju so prikazani rezultati metode združevanja podatkov modelskih rezultatov in meritev za letna povprečja dnevnih maksimumov 8-urnih drsečih povprečij za O₃ v letu 2021 (metoda je opisana v poglavju 4.2).

Model ALADIN/CAMx praviloma vrednosti O₃ podcenjuje, ponekod pa so vrednosti tudi previšoke (slika 10.8). Precenjevanje O₃ opazimo na više ležečih območjih (npr. zahodne Alpe v Italiji), pri čemer z vključitvijo meritev te precenitve modela zmanjšamo.

Po preverjanju uspešnosti tehnike združevanja podatkov s statistično metodo navzkrižnega preverjanja (angl. *cross validation*) (podrobnosti metode so opisne v [32]), smo ugotovili, da je kvaliteta izvedbe metode združevanja podatkov za onesnaževalo O₃ nekoliko slabša. To bi lahko pripisali izrazitemu precenjevanju oziroma podcenjevanju modelskih izračunih na različnih območjih. Slednje sicer ni razvidno iz prikazanih slik, temveč je bilo opaženo tekom izvedbe postopka združevanja podatkov in je oteževalo kvalitetno izvedbo metode. Težko je hkrati po prostoru "razširiti" vpliv podcenjevanja in precenjevanja modelskih rezultatov, ponekod namreč prevlada vpliv enega in drugod drugega.

Rezultat združevanja modelskih rezultatov in meritev je ne glede na pomanjkljivosti najboljša možna prostorska ocena onesnaženosti na podlagi podatkov, ki jih imamo na voljo.

Karta onesnaženosti z O₃ na območju Slovenije (slika 10.8) pokaže najvišjo obremenjenost v visokogorju in na Primorskem oziroma na območju JZ Slovenije. Ljubljana z okolico, poseljene doline in kotline oziroma nižje ležeča območja osrednje in vzhodne Slovenije so z O₃ manj obremenjena.



Slika 10.8: Prostorska porazdelitev letnega povprečja dnevnih maksimumov 8-urnih drsečih povprečij O_3 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] za leto 2021, izračunana s postopkom združevanja modelskih rezultatov in meritev. Točke prikazujejo rezultate meritev, obarvane skladno z izmerjenimi letnimi povprečji dnevnih maksimumov 8-urnih drsečih povprečij O_3 na posameznih merilnih postajah.

11. Dušikovi oksidi

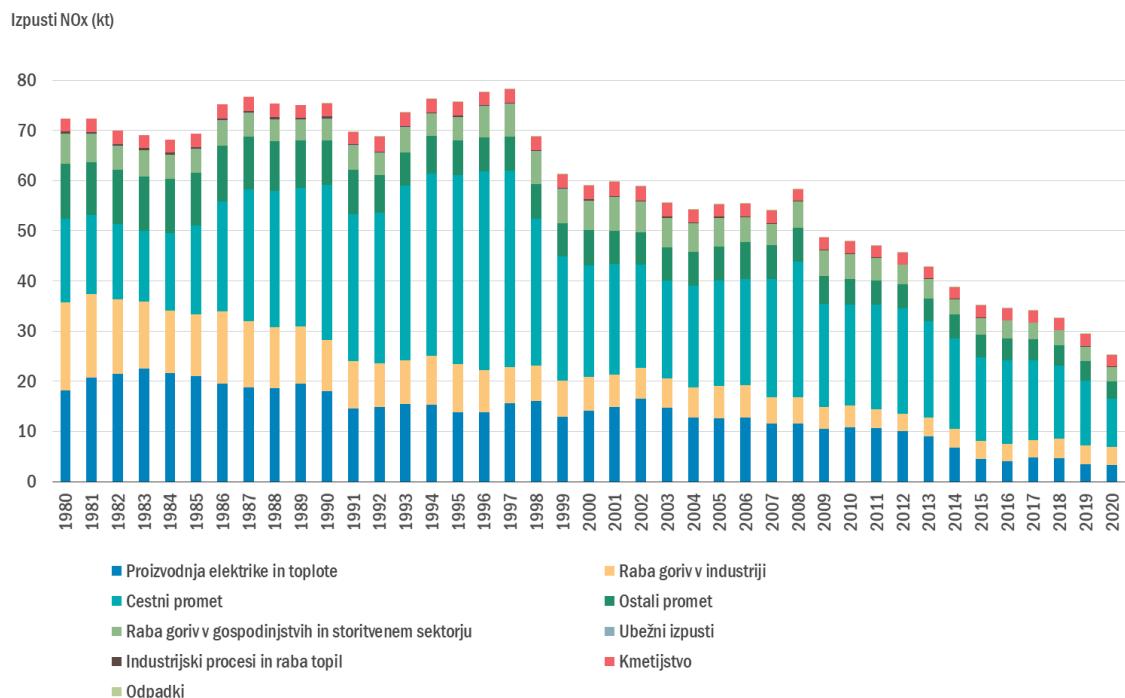
Dušikovi oksidi (NO_x) so spojine, sestavljene iz atomov kisika in dušika. Obstaja šest takšnih spojin: NO , NO_2 , N_2O , N_2O_3 , N_2O_4 in N_2O_5 . V ozračju je največ dušikovega monoksida (NO) in dušikovega dioksida (NO_2). Iz izpustov prihaja v zrak največ dušikovega monoksida, ki v ozračju postopno 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 segrevanja 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 [33], [34]. Zdravju škodljiv je dušikov dioksid, 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.

11.1 Izpusti

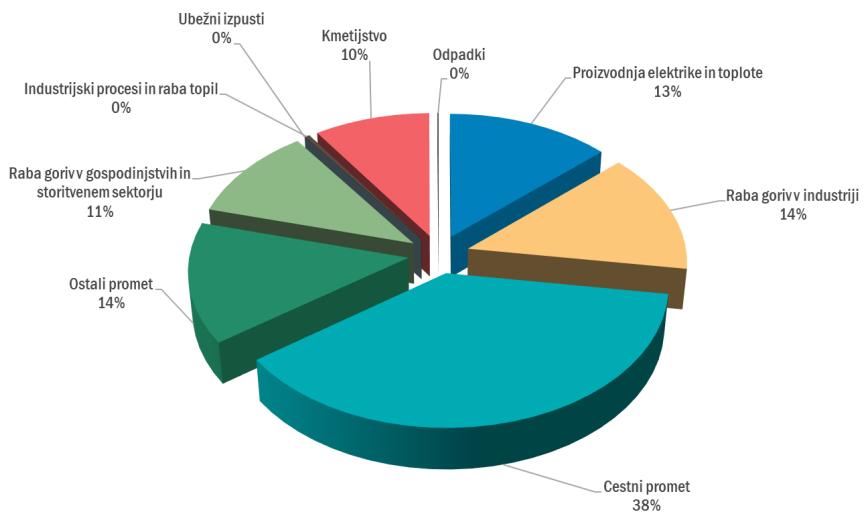
Več kot polovica izpustov NO_x prihaja v ozračje iz prometa. Največji vir izpustov NO_x je v letu 2020 predstavljal cestni promet, saj je k skupnim državnim izpustom prispeval kar 38 %. Precejšen delež prispeva tudi ostali promet (14 %) in v enakem deležu poraba goriv v industriji (14 %) ter proizvodnja električne in toplotne energije (13 %). Letni izpusti NO_x so v Sloveniji leta 2020 znašali 25 tisoč ton. V obdobju 1980-2020 so se izpusti zmanjšali za 65 %. 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 1980-2020 so prikazani na slikah 11.1 in 11.2.

Slovenija izpolnjuje vse obveznosti iz Direktive (EU) 2016/2284 o zmanjšanju nacionalnih izpustov za nekatera onesnaževala zraka (t.i. direktive NEC) ([3]) in iz Protokola o zmanjševanju zakisljevanja, evtrofifikacije in prizemnega ozona (Goeteborškega protokola) ([35]) h Konvenciji o onesnaževanju zraka preko meja na velike razdalje (CLRTAP) ([7]). Skupni državni izpusti NO_x so bili v letu 2020 za 44 % 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 leta 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 [8].



Slika 11.1: Letni izpusti dušikovih oksidov po sektorjih v Sloveniji



Slika 11.2: Izpusti dušikovih oksidov po sektorjih v Sloveniji v letu 2020

11.2 Zahteve za kakovost zraka

V Uredbi o kakovosti zunanjega zraka [4] so predpisane mejni in alarmna vrednost za zaščito zdravja ter kritična vrednost za zaščito vegetacije. Prikazane so v tabeli 11.1.

Tabela 11.1: Mejni, alarmna in kritična vrednost za dušikove okside [4], ter smernice WHO [29]

Cilj	Čas merjenja	Vrednost	Dovoljeno število preseganj	WHO
Mejna vrednost	Zdravje	1 ura	200 µg/m ³ NO ₂	18 ur na leto
Mejna vrednost	Zdravje	Koledarsko leto	40 µg/m ³ NO ₂	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	

11.3 Ravní onesnaženosti

Z nadaljevanjem izvajanja projekta Sinica smo v letu 2021 uvedli še nekaj sprememb v merilni mreži DMKZ pri meritvah dušikovih oksidov. S 1. junijem 2021 so bile ukinjene meritve na starem merilnem mestu v Trbovljah. Podatki s tega merilnega mesta so za leto 2021 zgolj informativni. Na novem merilnem mestu, ki je locirano parku oziroma v bližini občine, se od takrat naprej merijo samo ravni delcev in meteorološki parametri. V letu 2021 smo izvajali izredne meritve dušikovih oksidov tudi v Desklah. V poročilo smo vključili še meritve iz dveh merilnih mest dopolnilne merilne mreže, in sicer Mobilno TEŠ in Zadobrovo. Tu meritve potekajo že dlje časa, vendar rezultati prej niso bili vključeni v letna poročila.

Letna in urna mejna vrednost NO₂, ki sta predpisani za zaščito zdravja, v letu 2021 nista bili preseženi na nobenem merilnem mestu v merilni mreži DMKZ niti v dopolnilni merilni mreži. Najvišja letna povprečna raven je bila izmerjena na merilnem mestu LJ Center (33 µg/m³), sledi merilno mesto LJ Celovška (32 µg/m³). Nekoliko nižje letne ravni so bile izmerjene na ostalih bolj prometnih merilnih mestih MB Titova in MB Tezno, NG Grčna, LJ Bežigrad in CE bolnica. Letna mejna vrednost za NO₂ za varovanje zdravja je 40 µg/m³. Najvišje urne ravni NO₂ so bile izmerjene na merilnih mestih v LJ Center (130 µg/m³) in NG Grčna (123 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. Najvišje letne ravni NO_x so bile v letu 2021 prav tako izmerjene na merilnih mestih LJ Center in LJ Celovška. Rezultati vseh meritev v letu 2021 so prikazani v tabeli 11.2.

Za zaščito vegetacije je predpisana kritična letna vrednost NO_x 30 µg/m³, ki se uporablja za neizpostavljeni ruralni merilni mesta. V DMKZ med ruralna merilna mesta uvrščamo Mursko Soboto Rakičan in Iskrbo, vendar na Iskrbi merimo samo ravni NO₂, ne pa tudi NO_x. V dopolnilni merilni mreži sta ruralni merilni mesti Zavodnje in Sveti Mohor. Na nobenem ruralnem merilnem mestu kritična vrednost za NO_x ni bila presežena (tabela 11.2). Najvišja raven je bila med ruralnimi mesti izmerjena na merilnem mestu MS Rakičan, in sicer 16 µg/m³. Na vseh ostalih ruralnih merilnih mestih so bile ravni NO_x še precej nižje.

Tabela 11.2: 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 2021.

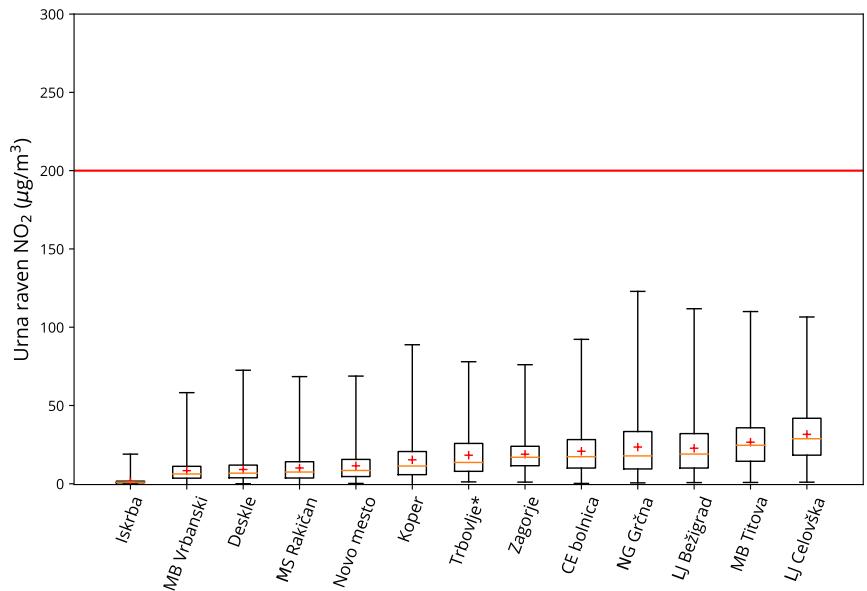
Merilno mesto	%pod	varovanje zdravja NO_2				varovanje rastlin NO_x	
		C_p	max	>MV	>AV	%pod	C_p
Merilna mreža DMKZ							
LJ Bežigrad	100	23	112	0	0	100	38
LJ Celovška	99	32	107	0	0	99	69
MB Titova	100	27	110	0	0	100	54
MB Vrbanski plato	100	8	58	0	0	100	11
CE bolnica	100	21	92	0	0	100	39
MS Rakičan	100	10	68	0	0	100	16
NG Grčna	100	23	123	0	0	100	45
Deskle	99	9	73	0	0	99	13
Trbovlje*	40	18	78	0	0	40	31
Zagorje	98	19	76	0	0	98	38
Koper	99	15	89	0	0	99	19
Novo mesto	98	11	69	0	0	98	16
Iskrba	92	1	19	0	0	/	/
Dopolnilna merilna mreža							
TE Šoštanj							
Šoštanj	100	10	56	0	0	100	14
Zavodnje	99	4	73	0	0	99	7
Škale	99	7	79	0	0	98	9
Mobilna TEŠ	99	11	49	0	0	100	18
TE Brestanica							
Sv. Mohor	99	5	40	0	0	99	6
TE-TOL							
Zadobrova	92	16	77	0	0	92	26
OMS MOL							
LJ Center	90	33	130	0	0	90	79
MO Celje							
CE Gaji	92	16	80	0	0	91	27
MO Maribor							
MB Tezno	100	21	112	0	0	100	38

* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.

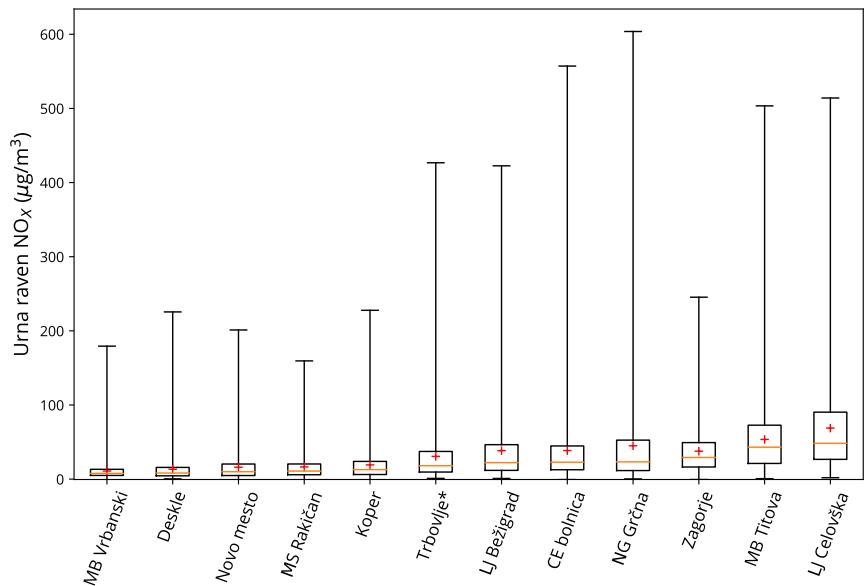
Urne ravni NO_2 na merilnih mestih DMKZ so prikazane na sliki 11.3. Najvišje izmerjene urne vrednosti NO_2 so bile na vseh merilnih mestih pod mejno urno vrednostjo $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ki je lahko po zakonodaji presežena 18-krat v enem letu. Na sliki 11.4 so prikazane urne ravni NO_x . Najvišje 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).

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, 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 11.3 - 11.5 ter sliki 11.5 in 11.6). Na ravni dušikovih oksidov so v zadnjih mesecih leta 2021 vplivali tudi poostreni ukrepi za preprečevanje širjenja COVID-a.

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



Slika 11.3: Urne ravni NO_2 na meritnih mestih DMKZ v letu 2021. 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.
 * Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.



Slika 11.4: Urne ravni NO_x na meritnih mestih DMKZ v letu 2021. 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.

* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.

obdobje višjih ravni dušikovih oksidov zaradi povečanih izpustov iz prometa. V popoldanskem oziroma večernem času pa se pojavi še drugo povišanje kot posledica umiritev ozračja v plasti zraka pri tleh, ki je na različnih meritnih mestih bolj ali manj izrazito. Najbolj izrazito povišanje ob prometnih konicah je na meritnem mestu NG Grčna. Na meritnem mestu LJ Celovška in MB Titova, ki sta klasificirani kot prometni postaji, nihanje ravni dušikovega oksida tekom dneva ni tako izrazito

in je povisano preko celega dneva. V Novem mestu, so ravni dušikovih oksidov nižje, saj merilno mesto ni neposredno pod vplivom prometa. Na sliki 11.7 lahko opazimo razliko med delavniki ter vikendi. Ob delavnikih so večino dneva ravni višje zaradi intenzivnejšega prometa, medtem ko so med vikendi najvišje vrednosti zabeležene v večernem času.

V zadnjih desetih letih je bilo zabeleženo preseganje letne mejne vrednosti za zaščito zdravja le na merilnem mestu Ljubljana Center. V letu 2020 in 2021 tudi na tem merilnem mestu mejna letna vrednost ni bila presežena (tabela 11.6 in slika 11.8). Na sliki 11.8 so prikazane letne ravni NO₂ od leta 2010 naprej za vsa merilna mesta Državne merilne 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 11.8, ker so podatki le informativni zaradi prevelikega izpada meritov. Na tej sliki so v letu 2021 prikazani tudi podatki z merilnega mesta Novo mesto in LJ Celovška, kjer smo sicer meritve začeli izvajati že junija 2020, vendar je bilo za to leto premalo podatkov. Meritve kažejo, da se povprečne letne ravni dušikovega dioksida nekoliko spreminja (slika 11.8), kar je tudi posledica meteoroloških pogojev. Ob toplejših zimah z več vetra in padavin ter ob manjšem številu temperaturnih obratov so ravni nižje, ob drugačnih pogojih pa višje. Zadnja leta 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.

Tabela 11.3: Mesečna raven NO₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) v letu 2021

Merilno mesto	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
LJ Bežigrad	30	25	27	18	14	15	14	15	21	25	28	40
LJ Celovška	37	33	37	26	22	24	23	25	31	33	36	50
MB Titova	31	34	31	23	21	25	24	20	28	26	28	29
MB Vrbanski	11	12	8	4	5	5	5	5	6	9	13	17
CE bolnica	29	27	26	18	12	13	14	13	21	22	24	30
MS Rakičan	15	14	11	8	6	7	6	5	7	9	14	19
NG Grčna	28	29	27	18	14	15	16	16	25	27	29	37
Deskle	12	12	11	9	8	7	9	7	8	9	8	11
Trbovlje*	24	19	22	15	11	/	/	/	/	/	/	/
Zagorje	26	24	24	17	14	14	13	14	18	17	20	23
Novo mesto	17	16	14	10	7	8	7	7	10	12	14	17
Koper	21	25	18	13	9	13	10	11	12	12	16	24
Iskrba	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	2	2
Šoštanj	13	14	11	7	6	6	8	6	9	19	14	17
Zavodnje	4	6	5	4	2	2	2	3	3	4	7	6
Škale	9	9	8	5	4	4	5	4	5	7	11	12
Mobilna TEŠ	14	15	13	9	6	7	6	6	10	9	14	19
Sv. Mohor	8	7	6	4	2	2	2	3	5	7	9	12
LJ Center	45	34	39	27	23	24	32	32	39	29	26	44
Zadobrova	29	21	21	14	11	12	13	11	13	16	17	23
CE Gaji	24	22	21	13	12	11	10	9	15	10	17	24
MB Tezno	28	31	27	18	13	14	13	12	19	19	25	35

* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritov informativnega značaja.

Tabela 11.4: Maksimalna urna raven NO₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) po mesecih v letu 2021

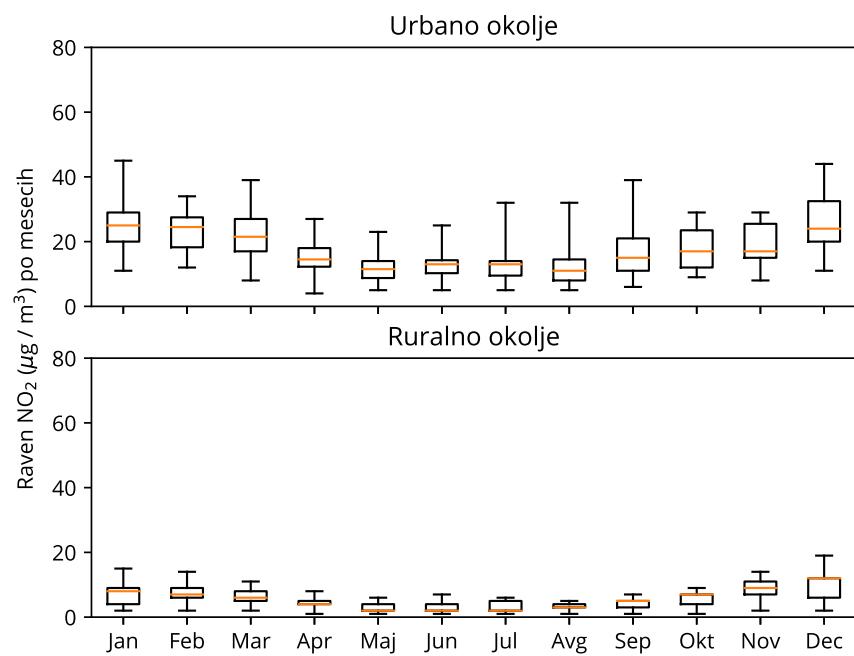
Merilno mesto	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
LJ Bežigrad	78	112	107	67	50	49	45	67	83	79	87	85
LJ Celovška	87	100	105	86	67	66	62	90	92	82	91	107
MB Titova	79	108	110	97	82	77	63	59	84	84	81	65
MB Vrbanski	47	49	49	29	37	26	18	18	31	34	46	58
CE bolnica	90	92	87	81	62	60	63	43	67	73	61	76
MS Rakičan	50	68	51	46	23	28	30	18	43	56	50	60
NG Grčna	79	108	103	86	84	68	58	88	123	88	98	109
Deskle	42	47	49	52	47	53	62	43	73	51	31	41
Trbovlje*	78	76	70	72	45	/	/	/	/	/	/	/
Zagorje	69	69	76	61	46	41	36	41	61	59	52	54
Novo mesto	60	69	65	45	52	46	28	35	55	57	46	44
Koper	69	82	89	76	53	81	51	58	79	69	62	65
Iskrba	9	14	13	5	4	9	4	3	6	7	19	9
Šoštanj	43	56	41	39	26	23	51	47	38	36	41	47
Zavodnje	32	30	17	11	28	23	32	15	73	26	27	58
Škale	79	30	23	18	18	15	26	40	17	35	29	39
Mobilna TEŠ	40	44	42	34	26	29	49	29	33	28	44	45
Sv. Mohor	37	34	24	19	13	15	11	12	15	24	29	40
LJ Center	85	130	119	84	74	54	96	113	127	70	70	96
Zadobrova	77	59	68	56	37	54	38	34	53	47	52	63
CE Gaji	64	64	65	57	80	39	35	31	72	41	58	59
MB Tezno	96	103	112	91	61	70	47	73	86	75	69	103

* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.

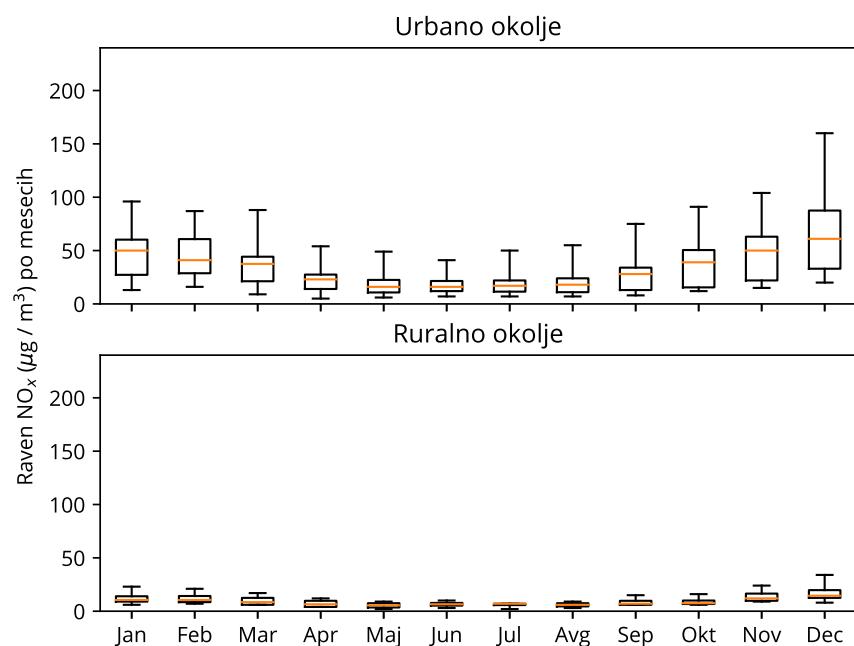
Tabela 11.5: Mesečna raven NO_x ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) v letu 2021

Merilno mesto	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
LJ Bežigrad	50	42	39	23	19	19	17	18	28	48	60	95
LJ Celovška	83	74	70	45	40	36	37	41	54	82	104	155
MB Titova	60	75	60	40	39	41	37	34	52	61	74	72
MB Vrbanski	13	16	9	5	7	8	7	7	8	12	18	22
CE bolnica	61	55	44	25	16	16	21	19	30	43	53	80
MS Rakičan	23	21	17	12	9	10	7	9	15	16	24	34
NG Grčna	64	60	45	27	22	21	22	24	37	53	66	99
Deskle	16	17	14	11	10	10	12	9	12	14	15	20
Trbovlje*	47	30	36	23	16	/	/	/	/	/	/	/
Zagorje	56	49	43	29	24	22	22	24	31	39	50	61
Koper	28	33	22	15	11	14	11	13	14	14	21	35
Novo mesto	25	25	19	11	6	7	7	10	12	17	23	31
Šoštanj	17	20	15	10	8	8	9	8	11	12	19	26
Zavodnje	6	9	6	4	4	6	7	7	8	6	9	8
Škale	11	12	11	9	7	7	7	5	6	8	14	15
Mobilna TEŠ	22	26	21	13	10	11	9	8	15	16	25	34
Sv. Mohor	10	7	6	4	2	3	2	3	6	7	10	14
LJ Center	96	87	88	54	49	76*	50	55	75	91	94	160
Zadobrova	50	40	29	17	13	15	17	15	17	26	32	50
CE Gaji	50	36	32	19	16	16	15	12	15	24	36	61
MB Tezno	51	63	44	26	19	18	18	18	29	39	53	80

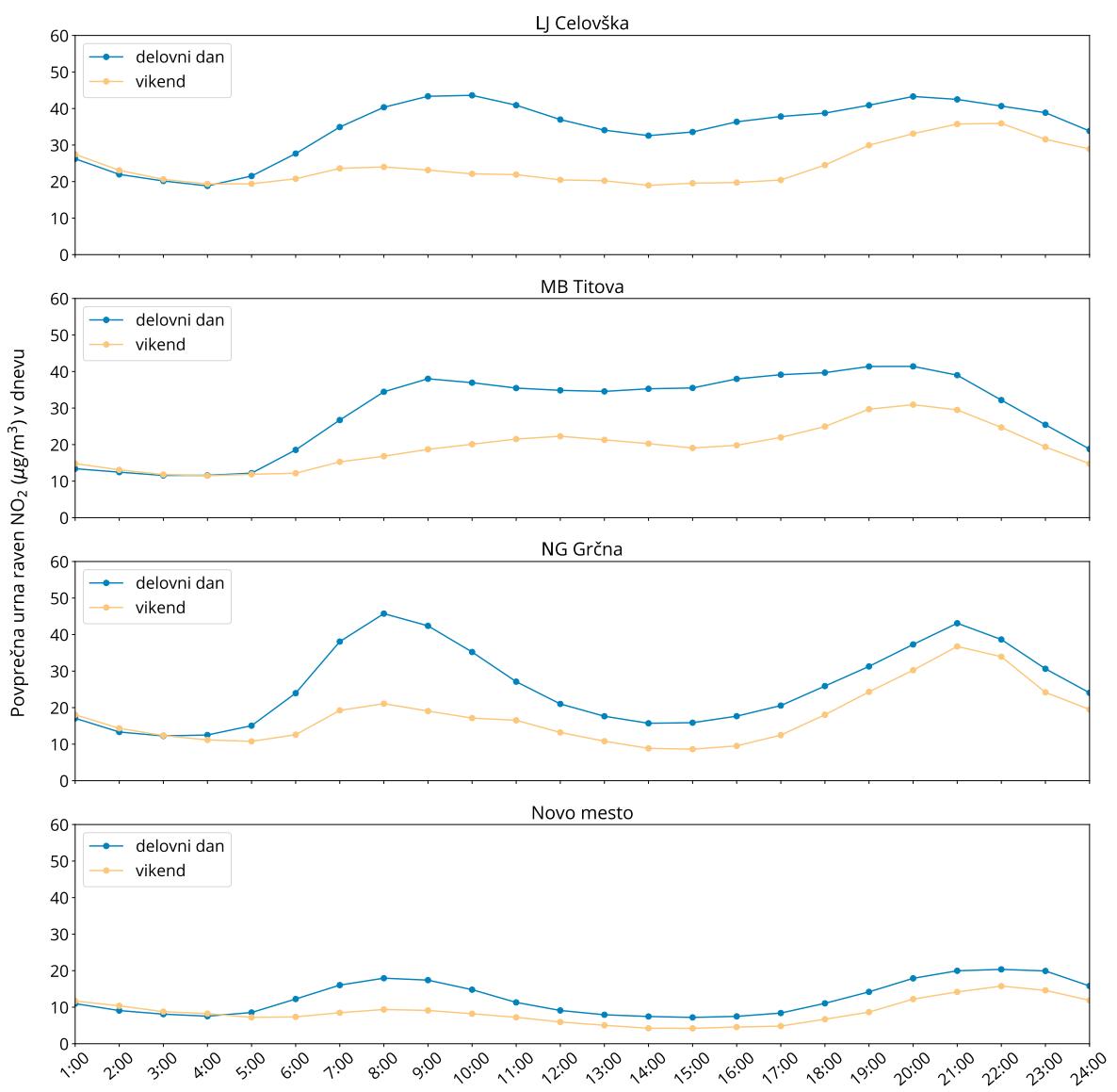
* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.



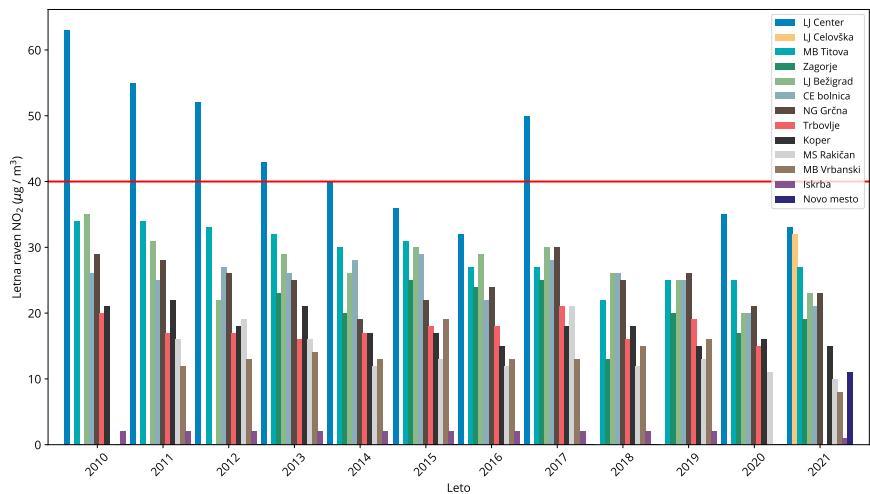
Slika 11.5: Mesečne ravni NO_2 na urbanih in ruralnih merilnih mestih v letu 2021. Prikazani so najnižja in najvišja izmerjena raven (spodnja in zgornja vodoravna črtica), oba kvartila (vrh in dno pravokotnika) in mediana (oranžna vodoravna črtica v pravokotniku).



Slika 11.6: Mesečne ravni NO_x na merilnih mestih v urbanem in ruralnem okolju v letu 2021. Prikazani so najnižja in najvišja izmerjena raven (spodnja in zgornja vodoravna črtica), oba kvartila (vrh in dno pravokotnika) in mediana (oranžna vodoravna črtica v pravokotniku).



Slika 11.7: Dnevni potek povprečne urne ravni NO_2 na merilnih mestih v letu 2021



Slika 11.8: Letne ravni NO_2 na vseh merilnih mestih DMKZ za posamezna leta. Rdeča črta prikazuje letno mejno vrednost.

Tabela 11.6: Letne ravnine NO₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) v letih 2000-2020. Ravnini, ki presegajo letno mejno vrednost so napisane v krepki pisavi.

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
LJ Figovec	38	36	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
LJ Bežigrad	/	/	29	32	29	27	29	28	29	31	35	31	22	29	26	30	29	30	26	25	20	23
LJ Center	/	/	/	/	/	/	/	/	/	55	63	55	52	43	40	36	32	50	48*	45*	35	33
LJ Celovška	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	25*	32	
MB Titova	44	38	36	37	31	33	39	37	34	32	34	33	34	32	30	31	27	27	22	25	25	27
MB Vrbanski	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	12	13	14	13	19	13	13	15	16	8*	8	
MB Tezno	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	21	21
CE bolnica	30	26	24	27	24	26	28	23	21	22	26	25	27	26	28	29	22	28	26	25	20	21
Trbovlje	28	/	28	32	27	24	23	22	23	17	20	17	17	16	17	18	18	21	16	19	15	18*
Zagorje	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	23	20	25	24	25	20	20	17
NG Grčna	/	/	27	27	25	24	24	25	30	28	29	28	26	25	19	22	24	30	25	26	21	23
Koper	/	/	/	/	/	/	/	/	21	19	21	22	18	21	17	17	15	18	18	15	16	15
MS Rakičan	/	/	14	15	11	14	15	17	16	14	/	16	19	16	12	13	12	21	12	13	11	10
Iskrba	/	/	/	2	3	2	/	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3*	1
Zelena trava	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	8	16	12	18	/	/	/	/	
Šoštanj	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	20	12	10	10	
Zavodnje	7	6	/	6	5	3	4	3	4	5	9	10	8	7	7	5	6	5	5	5	4	
Škale	8	6	/	8	9	5	9	8	8	9	8	8	8	9	7	8	9	8	7	6	7	
Kovk	7	6	6	3	13	10	12	12	9	9	11	7	13	8	8	6	/	/	/	/	/	
Dobovec	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	11	6	6	15	13	3	1	/	/	/	/	
Sveti Mohor	/	/	/	/	/	5	3	4	4	4	7	3	8	5	7	7	7	7	5	5	5	
Vnajnajre	4	5	6	5	5	4	5	5	4	4	7	8	8	7	9	9	17	/	/	/	/	
CE Gajji	53	38	30	22	/	/	/	/	/	/	20	23	23	16	22	17	14	12	16			

Opomba: Podatki za leta od 1992-2000 so na voljo v [31].

* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.

11.4 Ocena onesnaženosti z NO₂ s tehniko združevanja podatkov

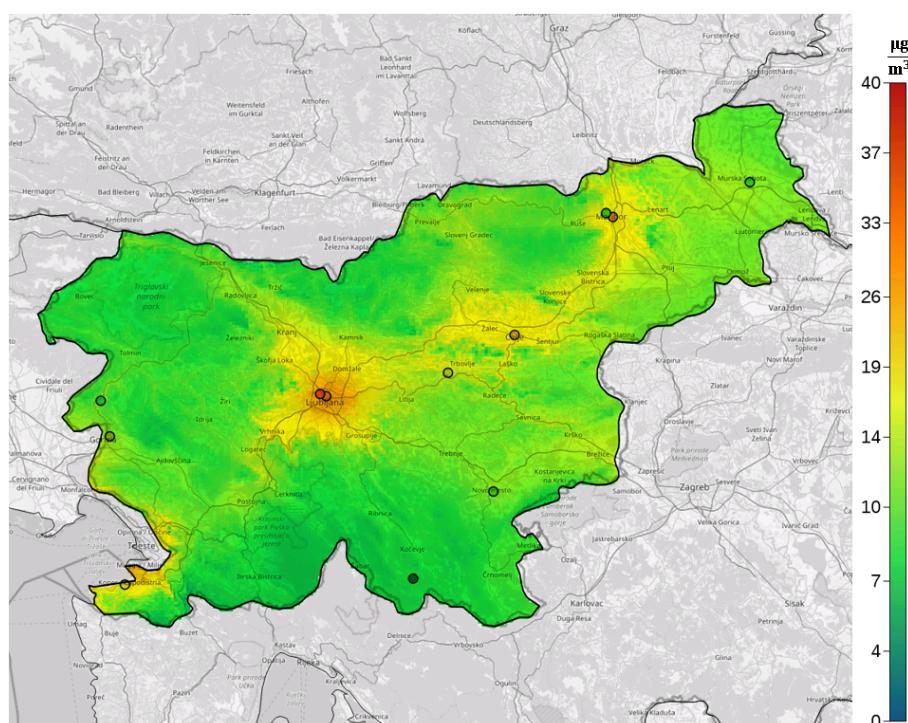
V nadaljevanju so prikazani rezultati metode združevanja podatkov modelskih rezultatov in meritov za povprečne letne vrednosti NO₂, v letu 2021 (metoda je opisana v poglavju 4.2).

Pri ocenjevanju kakovosti zraka s postopkom združevanja podatkov se srečujemo z nekaterimi težavami. NO₂ ima namreč veliko prostorsko spremenljivost in lahko vpliv meritov pri popravku modelskih polj preveč razširimo v okolico, saj so večja odstopanja med meritvami in modelom lahko posledica velike prostorske variabilnosti. Tako so na postajah prometnega tipa vrednosti NO₂ precej višje, kot le nekaj 100 metrov stran, kjer ni neposrednega vpliva prometa.

Težave pri izvedbi združevanja podatkov se ponekod pojavijo tudi zaradi majhnega števila meritnih mest. Potrebovali bi predvsem dodatne meritve na podeželskih, manj poseljenih območjih (kot je merilno mesto Iskrba), ter na območjih z višjo nadmorsko višino (v visokogorju so precej nižje ravni NO₂). Zaradi pomanjkanja meritov smo z metodo združevanja podatkov pri NO₂ v višjih legah (območje Alp, slika 11.9) dobili precenjene vrednosti, ki ne odražajo dejanskega stanja.

Rezultat združevanja modelskih rezultatov in meritov je ne glede na pomanjkljivosti najboljša možna prostorska ocena onesnaženosti na podlagi podatkov, ki jih imamo na voljo.

Karta onesnaženosti na območju Slovenije (slika 11.9) kaže največjo obremenjenost z NO₂ na najbolj poseljenih območjih, medtem ko je onesnaženost zraka z NO₂ v visokogorju in na podeželju, oziroma na neposeljenih območjih manjša. Ločljivost karte ne omogoča, da bi se jasno videla obremenjenost zraka z NO₂ v neposredni bližini večjih prometnic.



Slika 11.9: Prostorska porazdelitev povprečne letne vrednosti NO₂ [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] za leto 2021, izračunana s postopkom združevanja podatkov. Točke prikazujejo rezultate meritov,obarvane skladno z izmerjenimi letnimi vrednostmi NO₂ na posameznih merilnih postajah.

12. 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.

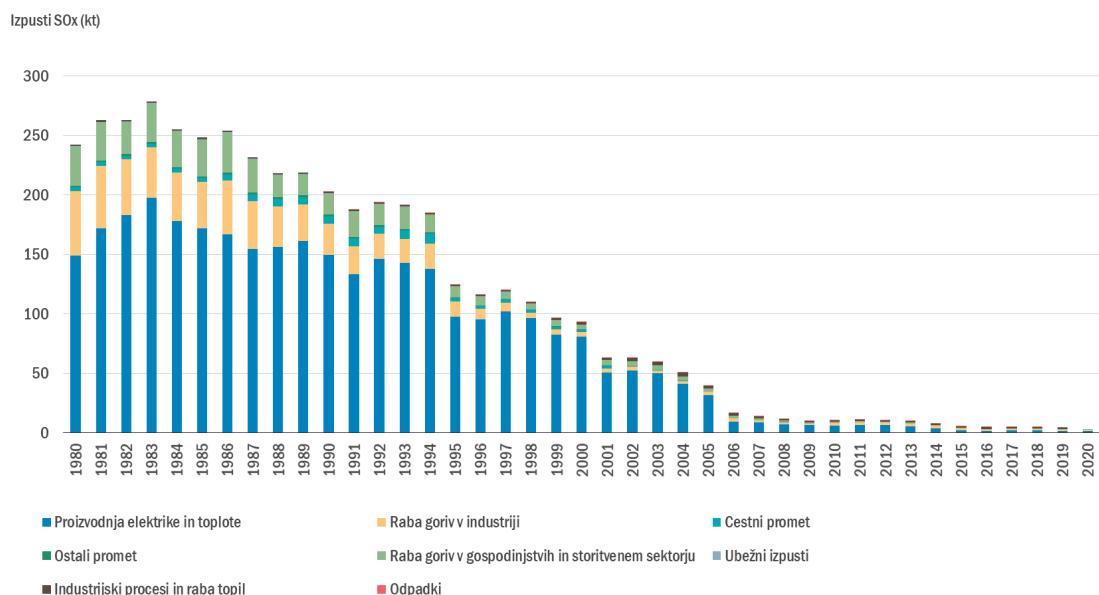
12.1 Izpusti

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 2020 znašali 4,0 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 2020 prispevale termoelektrarne in toplarne, 39 %, sledijo industrijski procesi s 24 % ter raba goriv v industriji s 23 %. Izpusti SO_x po posameznih virih so prikazani na slikah 12.1 in 12.2.

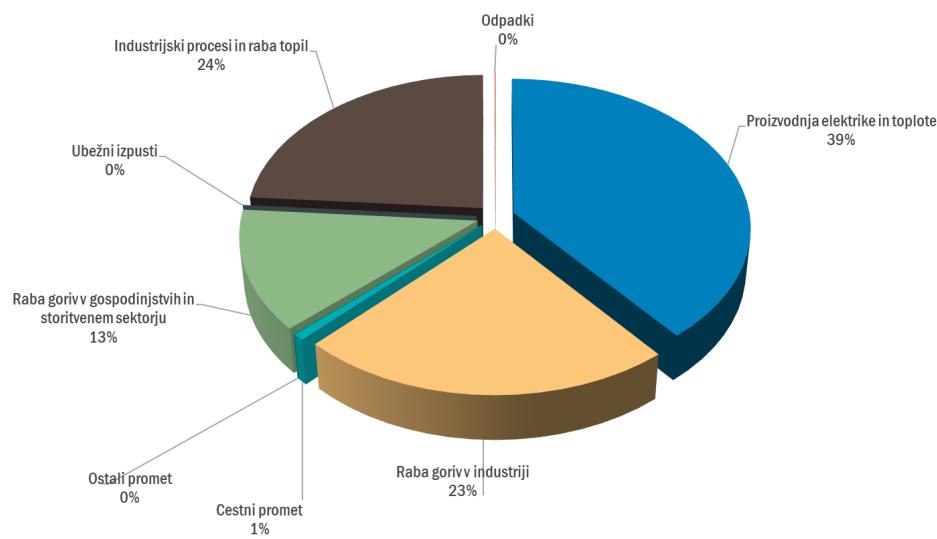
Slovenija izpolnjuje obveznosti iz Direktive (EU) 2016/2284 o zmanjšanju nacionalnih emisij za nekatera onesnaževala zraka (t.i. direktive NEC) (3) in iz Protokola o zmanjševanju zakisljevanja, evtrofikacije in prizemnega ozona (Goeteborški protokol) (35) h Konvenciji o onesnaževanju zraka na velike razdalje preko meja (CLRTAP) (7). Skupni izpusti žveplovih oksidov so bili v letu 2020 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 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 (EU). Izpusti žveplovih oksidov se podajajo kot vsota vseh žveplovih oksidov, izraženih kot SO₂.

Podrobne informacije o izpustih žveplovih oksidov (SO_x) in metodologiji izračuna izpustov so na voljo v [8].



Slika 12.1: Izpusti SO_x v Sloveniji po letih in virih



Slika 12.2: Izpusti SO_x v Sloveniji po virih v letu 2020

12.2 Zahteve za kakovost zraka

V Uredbi o kakovosti zunanjega zraka [4] sta predpisani mejni in alarmna vrednost za zaščito zdravja ter kritični vrednosti za zaščito vegetacije. Prikazane so v tabeli 12.1.

Tabela 12.1: Mejni, kritični in alarmna vrednost za žveplov dioksid [4], ter smernice WHO [29]

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

12.3 Ravni onesnaženosti

Ravni SO₂ so že več let na vseh merilnih mestih pod mejno oziroma kritično vrednostjo tako za varovanje zdravja kot tudi za varovanje vegetacije. Za SO₂ sta predpisani urna in dnevna mejna vrednost in alarmna vrednost za varovanje zdravja ter kritična letna in zimska vrednost za varovanje vegetacije. Urna mejna vrednost je 350 µg/m³ in je lahko presežena 24 krat v koledarskem letu. Predpisana dnevna mejna vrednost 125 µg/m³ je lahko presežena 3 krat v koledarskem letu. Alarma vrednost je 500 µg/m³ in mora biti presežena 3 ure zapored, da se šteje za presejanje. Za zaščito vegetacije je določena letna kritična vrednost 20 µg/m³ in je enaka kritični vrednosti za zimski čas, ki zajame meritve od 1. oktobra 2020 do 31. marca 2021 (tabela 12.1).

V letu 2021 so bile na vseh postajah, razen v Zavodnjah, izmerjene ravni nižje od predpisanih vrednosti. V Zavodnjah je bilo 25. novembra 2021 ob 7. uri zabeleženo presejanje urne mejne vrednosti, izmerjeno je bilo 1151 µg/m³ (tabela 12.2). Merilno mesto Zavodnje se nahaja v okolici Termoelektrarne Šoštanj, kjer je ta dan ob zagonu bloka 5 prišlo do enournega povišanja ravni žveplovega dioksida. Do presejanja urne mejne vrednosti je prišlo tudi 14. decembra 2021. Pri zagonu bloka 5 so se ta dan pojavile tehnične težave. Razžvepljevalna naprava se ni vključila, ob tem je prišlo do izpusta SO₂ v zunanji zrak. Ravni žveplovega dioksida so bile povisane kar nekaj ur. V Zavodnjah je bila ta dan ob 7., 8. in 10. uri presežena mejna urna vrednost. Presejanje je bilo najbrž tudi ob 9. uri, ko s tega merilnega mesta ni podatka zaradi samodejne kontrole merilnika. Najvišja raven žveplovega dioksida je bila izmerjena ob 10. uri, in sicer 428 µg/m³.

Mejna dnevna vrednost v letu 2021 ni bila presežena na nobenem merilnem mestu, niti v Zavodnjah, kjer so bile ob remontu bloka 5 izmerjene povisane urne ravni žveplovega dioksida. Najvišja dnevna vrednost v letu 2021 je bila izmerjena v Zavodnjah 80 µg/m³. V teh omenjenih dneh je bila v Zavodnjah presežena dnevna mejna vrednost, ki jo priporoča WHO [29].

V letu 2021 smo v okviru projekta Sinica nekoliko omejili meritve žveplovega dioksida v državni merilni mreži. Na merilnem mestu Ljubljana Bežigrad smo meritve zaključili že prve dni januarja, v Trbovljah pa 1. junija 2021. Celo leto so dodatne meritve SO₂ potekale v Desklah. V tabeli 12.2

je v stolpcu % pod prikazan letni izplen podatkov z odštetimi rednimi servisi in kontrolo podatkov. Podatki za določeno postajo so veljavni, če je izplen večji od 90 %, tako so podatki s prej omenjenih postaj zgolj informativni. Je pa veljaven podatek za Trbovlje za zimsko obdobje (kritična vrednost za zaščito vegetacije), ker se za zimsko obdobje upoštevajo meritve od 1. oktobra 2020 do 31. marca 2021. Podatka nista veljavna za zimsko obdobje za postaji Iskrba in Deskle (označeni z zvezdico), ker je bil izplen podatkov prenizek. Na Iskrbi smo namreč avtomatske meritve po prenovi merilnega mesta vzpostavili šele v začetku januarja 2021, v Desklah smo z meritvami začeli sredi decembra 2020. V letošnjem letu smo v poročilu dodali dve postaji, mobilno TEŠ in Zadobrovo, kjer meritve potekajo sicer že nekaj let. Obe postaji sta v dopolnilni merilni mreži, podatki z obeh postaj so vključeni v vse tabele. Prikaz podatkov mesečnih, najvišjih urnih in dnevnih ravni je prikazan v tabelah 12.3 do 12.5. 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 se vidi tudi v tabeli 12.4, kjer so na posameznih merilnih mestih urne ravni celo najvišje v poletnem času. Dnevne ravni žveplovega dioksida so precej nižje od dnevne mejne vrednosti $125 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

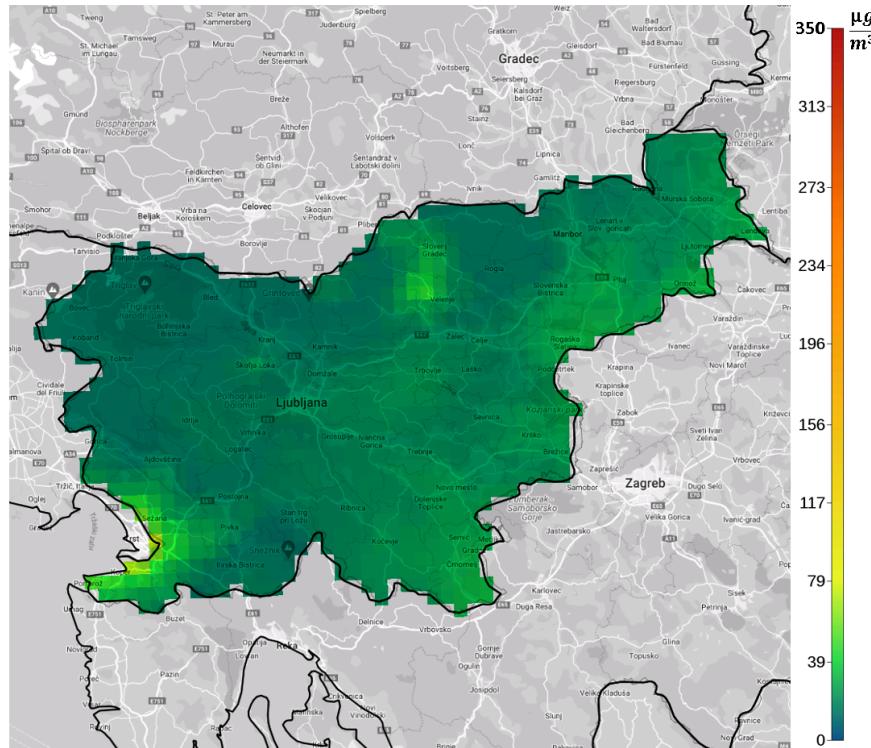
Tabela 12.2: Letna in zimska raven (C_p), najvišja dnevna (C_{max}) in najvišja urna (C_{max}) raven, izražene v $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Število preseganj dnevnih ($>\text{MV}$) in urnih mejnih vrednosti ($>\text{MV}$) ter alarmnih vrednosti ($>\text{AV}$) in število preseganj dnevne vrednosti, ki jo priporoča WHO [29], v letu 2021.

Merilno mesto	%pod	Leto C_p	Zima C_p	1 ura C_{max}		3 ure $>\text{AV}$	1 dan C_{max}	
				$>\text{MV}$	$>\text{AV}$		$>\text{MV}$	WHO
LJ Bežigrad*	3	4	3	7	0	0	4	0
CE bolnica	100	3	3	43	0	0	8	0
Trbovlje*	40	3	2	8	0	0	4	0
Zagorje	100	3	3	16	0	0	5	0
Iskrba	96	0.8	0.6*	25	0	0	5	0
Deskle	99	2	2*	19	0	0	8	0
Dopolnilna merilna mreža								
OMS - MOL								
LJ Center	99	2	2	8	0	0	7	0
MO Celje								
CE Gaji	97	1	3	97	0	0	5	0
TE-TOL								
Zadobrova	99	2	2	10	0	0	5	0
TE Šoštanj								
Šoštanj	100	3	2	71	0	0	9	0
Topolšica	99	3	2	37	0	0	10	0
Zavodnje	99	4	3	1151	4	0	80	0
Veliki vrh	99	4	3	114	0	0	20	0
Graška gora	99	4	2	121	0	0	12	0
Velenje	100	4	3	44	0	0	10	0
Pesje	100	4	2	41	0	0	9	0
Škale	99	4	3	91	0	0	10	0
Mobilna TEŠ	99	4	2	54	0	0	11	0
TE Brestanica								
Sv. Mohor	99	4	7	30	0	0	12	0

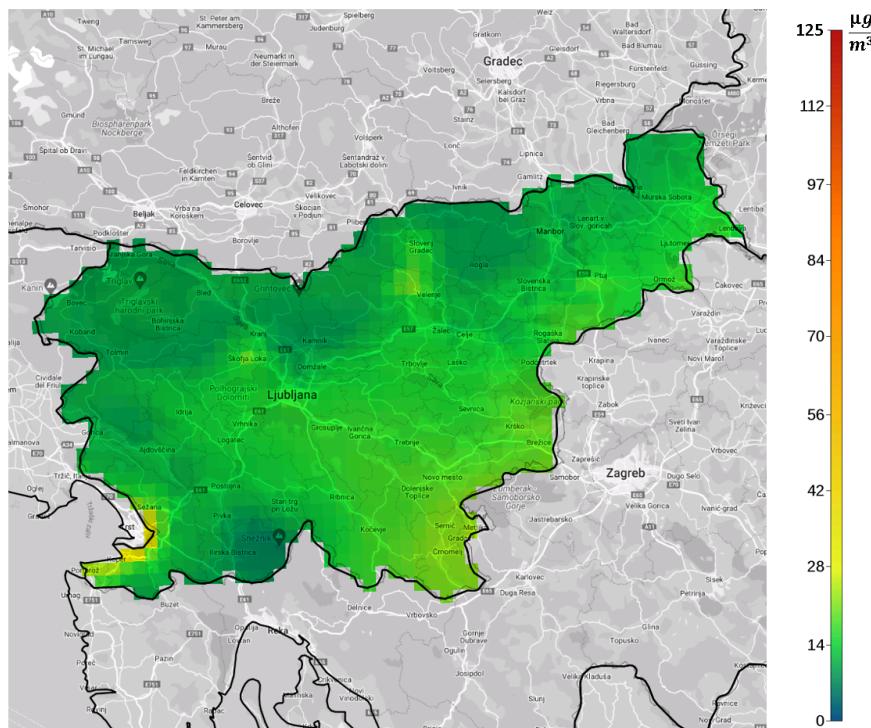
* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.

Na sliki 12.3 in 12.4 so prikazani modelski izračuni najvišjih urnih in dnevnih ravni SO_2 . Na sliki 12.3 se vidi, da so ravni SO_2 nekoliko povisane v okolici Trsta in Termoelektrarne Šoštanj, povsod drugod pa so urne vrednosti nizke in daleč pod urno mejno vrednostjo $350 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Tudi najvišje dnevne ravni SO_2 so povsod v Sloveniji nižje od dnevne mejne vrednosti za varovanje zdravja (125

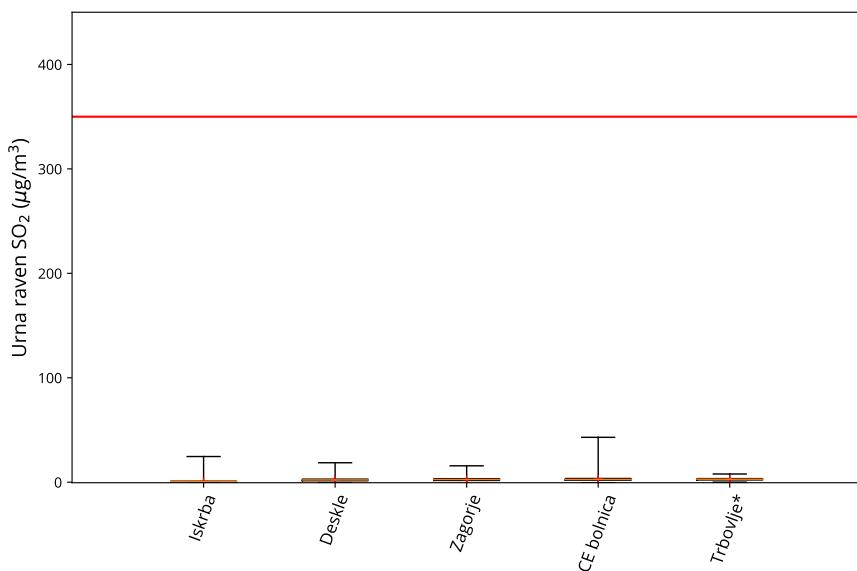
$\mu\text{g}/\text{m}^3$), in so celo pod spodnjim ocenjevalnim pragom, ki znaša $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. To pomeni, da bi lahko meritve SO₂ nadomestili z rezultati modelske ocene.



Slika 12.3: Modelski izračun najvišje urne vrednosti SO₂ v letu 2021



Slika 12.4: Modelski izračun najvišje dnevne vrednosti SO₂ v letu 2021



Slika 12.5: Urne ravni SO_2 na merilnih mestih DMKZ v letu 2021. 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 12.3: Mesečna raven SO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) v letu 2021

	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
LJ Bežigrad*	4*	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
CE bolnica	3	4	4	3	2	3	3	2	2	3	4	4
Trbovlje*	2	2	3	3	4	/	/	/	/	/	/	/
Zagorje	4	3	3	2	3	3	2	1	2	3	4	1
Iskrba	1	0,3	0,4	0,4	0,6	0,6	0,7	0,8	1	1	1	1
Deskle	2	3	1	2	3	1	2	1	1	3	4	3
Šoštanj	2	2	2	4	4	4	4	3	3	3	4	4
Topolščica	2	2	2	3	3	3	2	4	3	2	2	2
Zavodnje	3	3	3	2	3	4	2	3	7	4	6	6
Veliki vrh	2	1	1	2	3	5	5	5	5	4	4	5
Graška gora	2	2	2	2	4	6	4	5	6	5	5	5
Velenje	5	1	1	2	3	5	5	5	5	5	7	4
Pesje	2	1	2	2	3	4	5	6	5	6	7	3
Škale	4	4	4	2	3	5	2	2	3	4	4	5
Mobilna TEŠ	4	2	3	4	4	5	7	4	3	3	4	5
Sv. Mohor	8	6	9	7	4	4	4	3	2	2	2	2
Lj Center	1	2	3	3	3	4	2	1	2	1	1	3
Zadobrova	2	3	3	3	2	2	3	3	2	2	2	3
CE Gaji	3	1	1	1	1	2	1	0	1	2	2	1

* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.

Tabela 12.4: Najvišja urna raven SO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) po mesecih v letu 2021

	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
LJ Bežigrad*	7*	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
CE bolnica	15	43	11	16	27	25	19	8	18	23	13	21
Trbovlje*	4	8	6	5	5	/	/	/	/	/	/	/
Zagorje	6	5	5	7	6	8	3	3	12	16	9	5
Iskrba	2	3	7	3	23	5	3	3	25	19	5	6
Deskle	4	6	7	4	7	8	6	6	7	14	19	6
Šoštanj	23	15	10	14	24	50	71	18	69	30	10	10
Topolšica	4	7	8	7	19	37	25	12	28	12	5	18
Zavodnje	17	15	7	13	21	61	21	44	1151	22	14	428
Veliki vrh	4	7	4	10	31	66	26	25	41	31	68	114
Graška gora	7	7	6	10	72	84	27	27	121	17	20	21
Velenje	8	3	2	4	4	42	8	10	44	17	9	9
Pesje	9	14	3	12	12	41	9	10	41	17	10	20
Škale	8	7	7	14	15	51	15	20	91	20	8	24
Mobilna TEŠ	7	14	9	13	11	54	48	17	29	18	7	9
Sv. Mohor	30	12	14	12	8	5	6	7	16	21	6	5
LJ Center	3	8	8	6	6	5	5	2	6	3	3	8
Zadobrova	8	6	7	6	4	4	5	6	5	8	6	10
CE Gaji	13	97	23	14	40	34	35	12	15	16	15	17

* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.

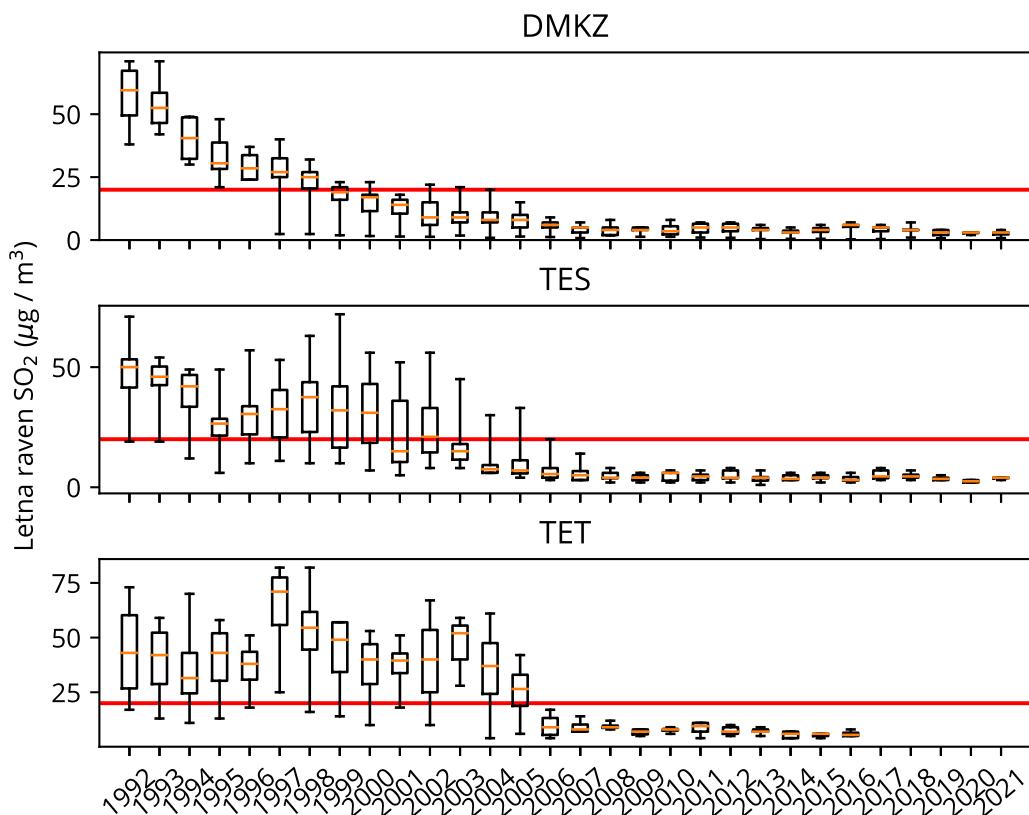
Tabela 12.5: Najvišja dnevna raven SO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) po mesecih v letu 2021

	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
LJ Bežigrad*	4*	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
CE bolnica	5	8	6	5	5	4	5	3	4	6	6	7
Trbovlje*	2	3	4	4	4	/	/	/	/	/	/	/
Zagorje	4	5	4	4	4	5	2	2	3	5	4	4
Iskrba	2	2	2	0,8	1	1	1	1	4	5	2	2
Deskle	3	4	2	3	4	4	2	3	3	7	8	4
Šoštanj	9	5	4	5	8	9	9	4	9	8	5	6
Topolšica	3	3	4	4	10	7	5	5	6	3	3	4
Zavodnje	5	4	5	3	4	13	4	4	67	12	8	80
Veliki vrh	3	2	2	3	6	11	7	7	9	8	10	20
Graška gora	4	3	3	4	8	12	9	7	11	11	7	8
Velenje	7	3	2	3	4	10	6	6	8	7	9	8
Pesje	9	3	2	3	4	8	6	7	7	9	9	9
Škale	5	5	5	5	6	10	6	4	9	7	6	7
Mobilna TEŠ	5	3	4	5	5	9	11	8	6	6	6	6
Sv. Mohor	10	8	11	12	5	4	5	5	5	7	3	3
LJ Center	3	6	4	4	3	4	3	1	3	2	2	7
Zadobrova	5	4	4	3	3	2	3	3	3	3	4	4
CE Gaji	4	4	2	2	5	3	5	1	3	4	4	2

* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.

Raven onesnaženosti zunanjega zraka z SO_2 se je od začetka meritev leta 1992 do leta 2021 močno znižala. Podatki do leta 2000 so na voljo v poročilih o Kakovosti zraka v Sloveniji pred letom 2018. Letna raven, najvišja urna raven in najvišja dnevna raven po letu 2000 za posamezna merilna mesta so podane v tabelah 12.6, 12.7 in 12.8. Letne ravni SO_2 od leta 1992 dalje so prikazane na sliki 12.6. Znatno znižanje letnih ravni (slika 12.6 in tabela 12.6) je posledica zmanjšanja izpustov (slika 12.1). Ravni na merilnih mestih državne mreže so do leta 2007 padale, nato pa so se ustalile na zelo nizki ravni. Na merilnih mestih okoli obeh termoelektrarn so bile razlike med posameznimi

leti nekoliko višje in so odvisne od intenzivnosti obratovanja termoelektrarn ter vremenskih razmer. Posebej so očitna znižanja ravni po vgradnji čistilnih naprav na posameznih blokih termoelektrarn (slika 12.6). Konec leta 2014 je z obratovanjem prenehala Termoelektrarna Trbovlje, maju 2017 so se zaključile meritve onesnaženosti zraka v vplivni okolici. V tabele 12.6 do 12.8 smo vključili tudi podatke za merilni mesti Zadobrova in Mobilna TEŠ.



Slika 12.6: 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.

Tabela 12.6: Letne ravnih SO₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) za obdobje 2000-2021. Ravnji, ki presegajo kritično vrednost za zaščito vegetacije, so napisane v krepki pisavi.

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	
LJ Figovec	10	9	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	
LJ Bežigrad	10	11	9	11	8	5	4	3	2	4	2	3	6	4	3	4	6	5	4	4	3	4*	
LJ Center	/	/	/	/	/	/	/	/	6	5	4	4	2	2	2	2	1	5	4	2	/	/	
MB Titova	13	10	8	9	8	5	3	2	5	/	3	4	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	
CE bolnica	17	15	10	10	11	9	7	5	5	6	6	7	4	3	5	6	6	7	4	3	3	3	
Tribovje	18	14	15	16	9	15	7	3	2	5	3	7	7	4	4	6	7	5	4	4	2	3*	
Hrastnik	23	17	22	8	15	10	9	6	5	4	4	5	5	6	3	4	6	5	4	2*	/	/	
Zagorje	18	18	16	21	20	12	6	5	4	/	8	7	3	5	5	3	5	3	4	3	3	3	
NG Grčna	/	/	6	7	7	7	7	8	4	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	
MS Rakičan	/	/	5	5	5	5	6	5	6	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	
Iskrba	1,6	1,4	1,3	1,8	0,9	1,4	1,2	0,8	1,8	1,3	1,3	1	0,9	0,4	0,5	0,5	0,5	0,3	0,4	1,0	0,7	0,8*	0,8
Šoštanj	52	51	43	24	13	11	8	9	6	4	7	5	7	4	5	4	2	3	3	2	3	2	3
Topolščica	18	11	15	16	6	5	4	3	2	3	3	3	3	2	3	5	3	5	4	3	2	3	3
Veliki vrh	56	52	56	45	30	33	20	14	8	5	6	6	7	4	4	4	3	4	7	3	2	4	4
Zavodnje	31	21	23	15	8	12	8	6	3	6	6	4	4	4	5	3	2	2	3	4	4	3	4
Velenje	7	5	8	8	6	4	5	3	4	2	2	3	4	1	3	3	3	4	4	4	3	3	4
Graška gora	34	15	21	10	6	6	6	5	4	3	2	2	2	3	3	4	4	4	7	5	4	3	4
Pesje	/	/	15	7	6	4	5	6	4	6	5	4	4	5	6	6	6	7	6	4	3	4	3
Škale	19	10	14	12	8	8	3	3	4	5	6	7	8	7	6	5	5	8	5	5	5	2	4
Mobilna TEŠ	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	2	2	3	3	4	3	4
Kovk	53	40	10	52	61	30	12	9	12	8	8	11	10	8	7	6	5	/	/	/	/	/	/
Dobovec	35	39	40	28	31	23	6	7	8	6	6	8	7	7	6	6	8	/	/	/	/	/	/
Kum	10	18	/	/	4	6	4	7	9	5	8	4	6	5	4	4	5	/	/	/	/	/	/
Ravenska vas	45	51	67	59	43	42	17	14	9	8	9	11	9	9	7	6	6	/	/	/	/	/	/
Zelena trava	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	5	7	4	5	/	/	/	/	/	/
Vnajnarje	6	7	8	10	/	8	4	4	3	3	3	3	3	3	6	4	3	3	6	/	/	/	/
CE Gaj	20	6	/	8	5	3	1	/	/	/	/	/	/	6	5	5	4	5	6	8	10	1	1
EIS Krško	51	46	46	55	37	36	23	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Sv. Mohor	/	/	/	/	10	12	14	/	12	15	3	4	4	4	/	/	/	/	/	5	6	7	4
Zadobrova	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	3	2	2	2

* Podatki so informativnega značaja zaradi prevelikega izpada meritov.

Opomba: Podatki za leta od 1992-2000 so na voljo v [31].

Tabela 12.7: Najvišje urne ravni SO₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) za obdobje 2000–2021. Ravnii, ki presegajo mejno vrednost so napisane v krepki pisavi.

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	
LJ Figovec	128	468	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	
LJ Bežigrad	184	273	157	202	129	94	81	46	58	93	29	77	48	41	45	26	29	34	25	23	37	7*	
LJ center	/	/	/	/	/	/	/	/	/	37	20	28	28	22	14	10	20	47	8				
MB Titova	117	180	89	70	64	58	60	21	32	35	68	56	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	
CE bolnica	379	666	224	619	396	157	90	76	82	37	64	210	89	43	41	36	36	40	62	26	38	43	
Tribovje	634	552	811	758	521	848	379	264	65	76	52	90	87	40	44	22	23	26	21	15	15	8*	
Hrastnik	720	731	2168	507	1799	549	134	260	81	52	46	228	103	44	69	16	39	33	27	18*	/	/	
Zagorje	653	1111	788	693	1165	954	183	83	112	/	57	37	75	31	44	23	15	34	35	11	27	16	
NG Grčna	/	/	64	131	89	98	80	64	35	52	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	
MS Rakičan	/	/	58	55	45	53	54	64	49	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	
Iskrba	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	
Šoštanj	2855	2099	2000	1392	937	642	1028	643	360	342	1357	124	485	216	333	396	75	47	61	39	216	11*	25
Topolščica	987	835	1350	812	291	284	288	144	211	118	52	130	92	90	52	35	44	166	28	200	37		
Veliki vrh	1678	1569	1450	1320	1329	1110	771	535	561	344	269	636	887	415	301	143	148	237	297	93	87	114	
Zavodnje	1187	954	1536	947	680	1106	731	252	164	577	98	433	150	& 388	96	274	86	103	219	347	166	1151	
Velenje	563	187	725	361	164	210	86	87	151	37	110	89	93	60	19	140	24	15	25	22	25	44	
Graška gora	1505	990	1024	824	463	497	175	509	242	345	106	148	107	53	76	57	127	60	188	238	110	121	
Pesje	/	/	/	495	198	256	162	118	192	51	81	81	75	96	75	184	63	39	37	21	29	41	
Škale	/	/	522	396	220	262	184	100	161	104	81	190	131	67	75	230	61	47	42	108	26	91	
Mobilna TEŠ	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	191	51	43	57	34	50	
Kovk	1237	1451	702	1806	1514	1063	511	958	312	389	159	201	564	681	286	28	65	/	/	/	/	/	
Dobovec	4073	3978	4043	2910	4056	1662	2290	2088	299	456	209	1036	200	343	277	26	23	/	/	/	/	/	
Kum	1131	685	1397	2093	1378	1779	3275	590	220	437	352	560	528	254	157	75	27	21	/	/	/	/	
Ravenska vas	1471	1397	2093	1378	1779	3275	590	220	437	352	560	528	254	157	75	27	21	/	/	/	/	/	
Zelena trava	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	135	318	68	36	/	/	/	/	
Vnajnarje	/	374	248	232	327	212	115	115	52	/	45	85	75	63	101	47	58	64	/	/	/	/	
CE Gaj	356	355	289	74	222	67	/	/	/	/	/	/	55	474	37	136	49	38	34	43	97		
EIS Krško	868	1473	1404	1427	877	836	1108	/	/	82	66*	59	37	46	52	35	58	42	31	27	19	30	
Sv. Mohor	/	/	/	/	1385	416	455	74	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	17	12	10		
Zadobrova	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/					

* Podatki so informativnega značaja zaradi prevelikega izpada meritev.

Tabela 12.8: Najvišje dnevne ravnine SO₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) za obdobje 2000–2021. Ravnini, ki presegajo mejno vrednost, so napisane v krepki pisavi.

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
LJ Figovec	56	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
LJ Bežigrad	67	35	38	59	38	33	41	14	14	36	19	25	13	19	14	21	17	15	10	10	4*	
LJ center	/	/	/	/	/	/	/	/	/	33	14	14	20	6	11	11	6	7	3	16	9	7
MB Titova	75	36	37	35	22	31	24	11	22	28	12	19	27	/	/	/	/	/	/	/	/	/
CE bolnica	165	102	111	72	100	44	35	15	20	22	26	22	34	15	23	12	15	15	20	11	9	8
Tribovje	134	246	328	100	84	129	43	23	19	19	18	29	35*	15	16	16	19	14	12	10	8	4*
Hrastnik	133	184	235	93	625	86	44	30	23	25	21	39	27	19	23	12	11	19	11	5*	/	/
Zagorje	157	391	315	136	561	158	47	19	14	29	37	26	13	21	9	12	21	12	5	8	5	
NG Grčna	/	/	25	23	47	22	24	19	17	12	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
MS Rakičan	/	/	16	29	15	33	20	16	28	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Iskrba	/	/	/	/	/	/	/	/	/	38	10	15	15	6	10	10	4	10	7	5	3*	5
Šoštanj	560	526	553	288	165	116	308	78	54	33	85	28	44	41	25	33	16	16	19	10	14	9
Topolščica	255	85	254	82	102	42	29	22	26	19	10	13	12	12	15	17	9	10	13	9	17	10
Veliki vrh	383	269	344	413	263	191	106	72	101	42	28	42	51	37	29	25	23	37	33	57	10	20
Zavodnje	344	140	442	182	72	221	85	49	40	69	22	32	18	51	14	22	15	22	43	57	29	80
Velenje	60	54	57	66	64	27	24	26	22	10	14	15	13	5	9	14	12	9	10	6	9	10
Graška gora	343	126	196	88	99	59	55	72	30	27	17	19	15	14	13	15	16	19	23	33	16	12
Pesje	/	/	82	55	31	32	29	31	14	25	19	24	18	17	17	34	15	13	20	14	11	9
Škale	139	68	131	75	55	66	41	33	19	23	25	24	29	25	19	28	14	17	21	12	9	10
Mobilna TEŠ	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	17	11	10	11	10	17
Kovk	360	293	258	383	844	219	88	65	38	36	29	56	52	65	23	15	15	/	/	/	/	/
Dobovec	841	1516	695	332	837	346	196	127	41	102	35	110	36	58	32	17	16	/	/	/	/	/
Kum	165	229	/	/	78	101	6	25	41	30	37	18	30	19	14	24	28	/	/	/	/	/
Ravenska vas	353	601	580	325	824	490	120	55	67	42	38	72	38	30	25	19	17	/	/	/	/	/
Zelena trava	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	28	26	31	12	/	/	/	/
Vnajnarje	49	56	53	51	83	57	42	42	22	/	20	28	16*	16	21	14	12	31	/	/	/	/
CE Gaj	120	40	38	41	45	28	20	/	/	/	/	/	/	20	30	11	12	14	14	20	20	5
EIS Krško	317	240	285	356	347	276	280	/	/	36	41*	31	28	14	29	15	17	22	14	12	14	12
Sv. Mohor	/	/	/	/	114	41	90	49*	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	3	2	
Zadobrova	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

* Podatki so informativnega značaja zaradi prevelikega izpada meritov.

Opomba: Podatki za leta od 1992-2000 so na voljo v [31].

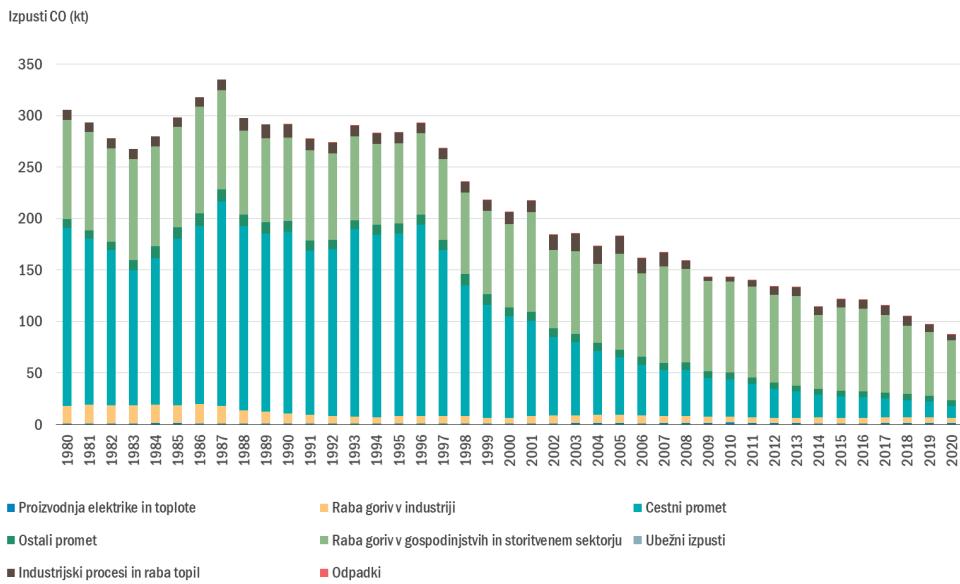
13. Ogljikov monoksid

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. Nastaja zaradi nepopolnega zgorevanja v kuriščih in motorjih z notranjim izgorevanjem ter pri tehničnih procesih v industriji. Življenska doba CO v zraku je približno 2 meseca, daljša je v višjih legah. CO prispeva k tvorbi ozona in posledično k segrevanju ozračja. Raven onesnaženosti zunanjega zraka s CO je na merilnih mestih DMKZ že vrsto let pod mejno vrednostjo za varovanje zdravja (tabela 13.1).

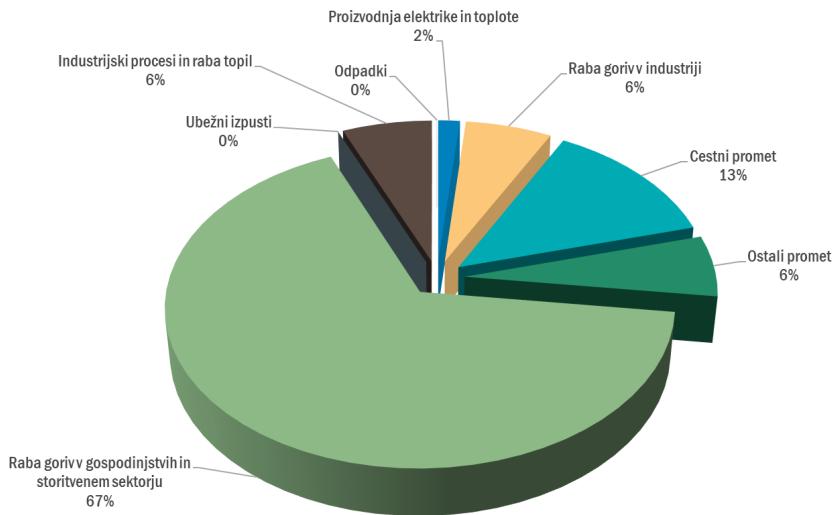
13.1 Izpusti

Letni izpusti CO so v Sloveniji leta 2020 znašali 87 tisoč ton. V obdobju 1980-2020 so se zmanjšali za 71 % (slika 13.1). Največji, skoraj dvotretjinski delež k skupnim izpustom CO, je v letu 2020 prispevala raba goriv v gospodinjstvih in storitvenem sektorju (slika 13.2). 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 (CO) in metodologiji izračuna izpustov so na voljo v [8].



Slika 13.1: Letni izpusti ogljikovega monoksida po sektorjih v Sloveniji



Slika 13.2: Izpusti ogljikovega monoksida po sektorjih v Sloveniji v letu 2020

13.2 Zahteve za kakovost zraka

V Uredbi o kakovosti zunanjega zraka [4] je predpisana mejna vrednost za zaščito zdravja, in sicer kot 8-urna mejna vrednost . Mejna vrednost ter smernice WHO so prikazane v tabeli 13.1.

Tabela 13.1: Mejna vrednost za ogljikov monoksid [4], ter smernice WHO [29]

Cilj	Čas merjenja	Vrednost	WHO
Mejna vrednost Zdravje maksimalna dnevna 8-urna povprečna vrednost 1 ura		10 mg/m ³ 30 mg/m ³	10 mg/m ³ 30 mg/m ³

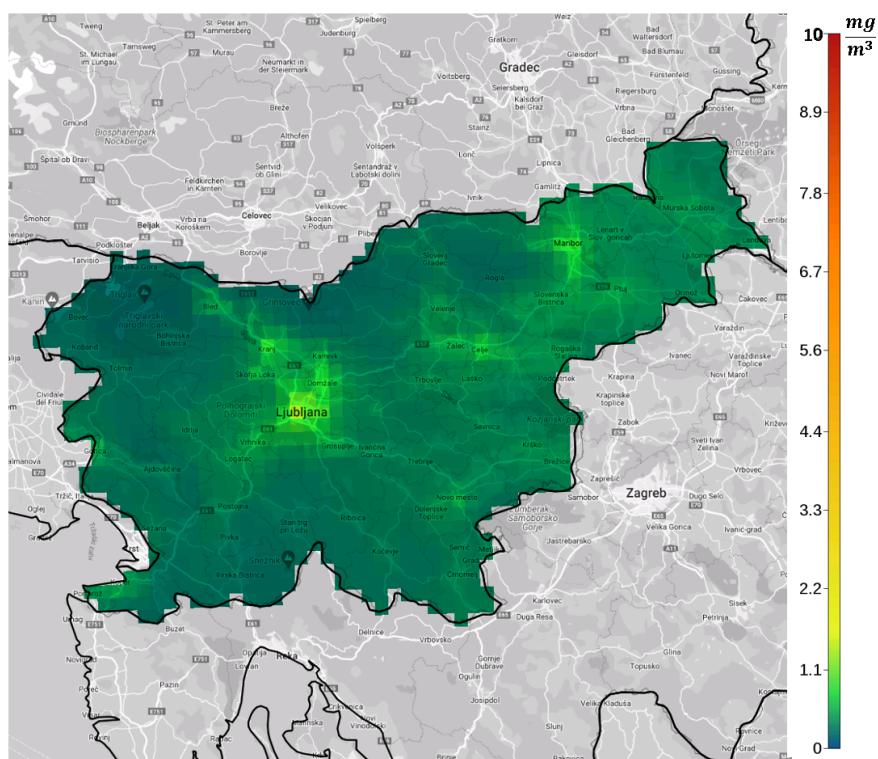
13.3 Ravni onesnaženosti

Ravni 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 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. Tako so bile v letu 2021 v začetku januarja zaključene meritve v LJ Bežigrad, v juniju, s pričetkom delovanja nove postaje tudi v Trbovljah. V okviru enoletnih meritev v Desklah smo od aprila do decembra 2021 na tej lokaciji merili tudi ravni CO. Podatki za leto 2021 z vseh merilnih mest, ki so podani v tabeli 13.2 in prikazani na sliki 13.4, so torej zgolj informativni. V času izvajanja meritev so ravni primerljive s prejšnjimi leti in so nižje od mejne vrednosti. Na vseh merilnih mestih v Sloveniji so ravni CO že več let nižje tudi od priporočenih vrednosti svetovne zdravstvene organizacije. Na sliki 13.3 so prikazani rezultati modelskega izračuna najvišjih 8-urnih vrednosti CO v letu 2021. Ravni CO so povišane v okolici Ljubljane in Maribora, vendar so precej nižje od predpisane mejne vrednosti $10 \text{ mg}/\text{m}^3$.

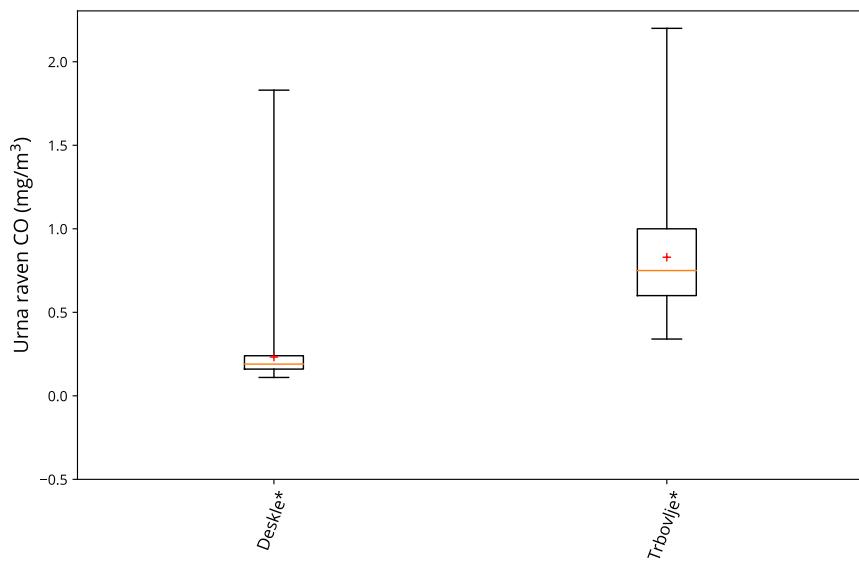
Tabela 13.2: Razpoložljivost podatkov (% pod), letna raven (C_p) in najvišja 8-urna raven (C_{max}) v mg/m^3 , število preseženih mejnih vrednosti (MV) in smernic WHO v letu 2021.

	Leto % pod	C_p	8 ur C_{max}	MV	1 ura WHO
LJ Bežigrad*	3	0.4	0.7	0	0
Trbovlje*	41	0.8	2.0	0	0
Deskle*	70	0.2	1.6	0	0

* Podatki so informativnega značaja zaradi prevelikega izpada meritev.



Slika 13.3: Modelski izračun najvišje 8-urne vrednosti CO v letu 2021



Slika 13.4: Urna raven CO na meritnih mestih DMKZ v letu 2021. 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.

14. Benzen

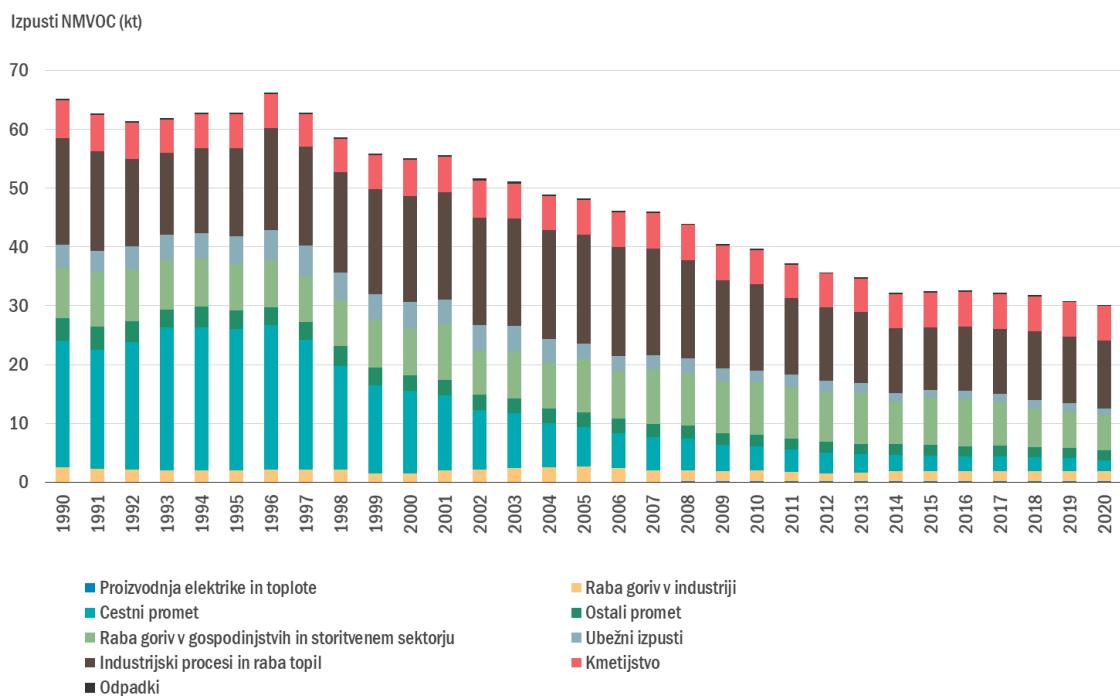
Benzen je aromatska ogljiko-vodikova spojina s formulo C₆H₆, ki je vezana v obroč. Je bistra, brezbarvna, lahko hlapna in zelo vnetljiva tekočina. Spada med nemetanske hlapne organske spojine - NMVOC (Non Methane Volatile Organic Compounds), ki predstavljajo širok spekter snovi in nekatere med njimi 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 [36]. 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 gorenje biomase v procesu kurjenja biomase, posebno v malih kuriščih, 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 cigaretrem dimu. Naravni viri teh spojin so požari, pretvorba organske usedline v fosilna goriva in vulkanski izbruhi [36], [37].

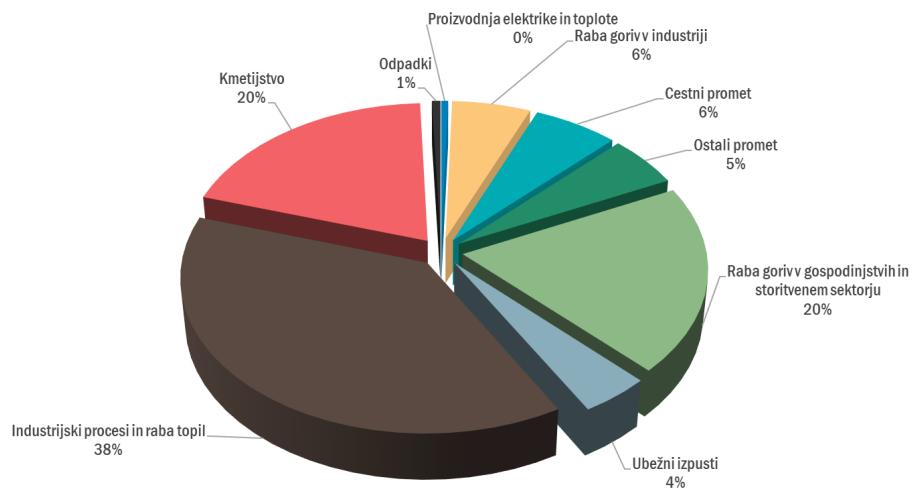
14.1 Izpusti

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 tudi 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 2020 prispevali industrijski procesi in raba topil (38 %). Znaten del izpustov prispevajo male kuirne naprave, ki so predvsem produkti nepopolnega zgorevanja v zastarelih kuirnih napravah na les. Izpusti NMVOC po posameznih virih so prikazani na slikah 14.1 in 14.2.

Podrobne informacije o izpustih benzena in metodologiji izračuna izpustov so na voljo v [8].



Slika 14.1: Letni izpusti nemetanskih hlapnih organskih spojin po sektorjih v Sloveniji.



Slika 14.2: Izpusti nemetanskih hlapnih organskih spojin po sektorjih v Sloveniji v letu 2020.

14.2 Zahteve za kakovost zraka

Mejna vrednost za benzen je predpisana v Uredbi o kakovosti zunanjega zraka [4]. Prikazana je v tabeli 14.1. Svetovna zdravstvena organizacija (WHO) podaja mejno vrednost za benzen 1,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. [36].

Tabela 14.1: Mejna vrednost za benzen.

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

14.3 Ravni onesnaženosti

V okviru merilne mreže DMKZ stalno merimo ravni benzena na merilnih mestih Ljubljana Bežigrad in Maribor Titova. V letu 2021 so se izvajale kampanjske meritve v obdobju enega leta tudi na lokaciji Deskle. Poleg meritve na stalnih merilnih mestih DMKZ so v poročilu upoštevani podatki o ravneh benzena iz dveh merilnih mest dopolnilne merilne mreže, Ljubljana Center in Medvode. V letu 2021 so bile izmerjene povprečne letne ravni benzena na vseh merilnih mestih približno enake in tako kot že vsa leta poprej pod mejno vrednostjo (tabela 14.2). Najvišja letna povprečna vrednost je bila izmerjena na lokaciji Ljubljana Center, in sicer 1,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ s precej slabšo razpoložljivostjo podatkov v primerjavi z ostalimi lokacijami, zgolj 33 %.

Iz slike 14.3 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. Na lokaciji Deskle so bile ravni še posebno visoke v januarju in februarju, medtem ko so bile povprečne vrednosti v aprilu in maju precej podobne vrednostim na ostalih merilnih mestih. 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 merilni mesti Ljubljana Bežigrad in Maribor Titova, kot je prikazano na sliki 14.4. Na lokaciji Deskle je opazen večji vrh v popoldansko večernih urah.

Najvišja vrednost, 25,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ je bila izmerjena na merilnem mestu Deskle v januarju, medtem ko je bila na lokaciji Ljubljana Bežigrad izmerjena najvišja vrednost 11,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ter na lokaciji Maribor Titova 8,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ v mesecu decembru.

Tabela 14.3 in slika 14.5 prikazujeta primerjavo ravni benzena po letih. Najvišje vrednosti so izmerjene ne lokaciji Ljubljana Center, z izjemo leta 2020, kjer so bile izmerjene vrednosti precej podobne na vseh lokacijah. Trend meritve je v zadnjih desetih letih precej enakomeren. Manjsa medletna variabilnost je posledica spremenljivih meteoroloških pogojev in delno tudi vpliva sprejetih ukrepov za zajezitev širjenja COVID-19 v letu 2020.

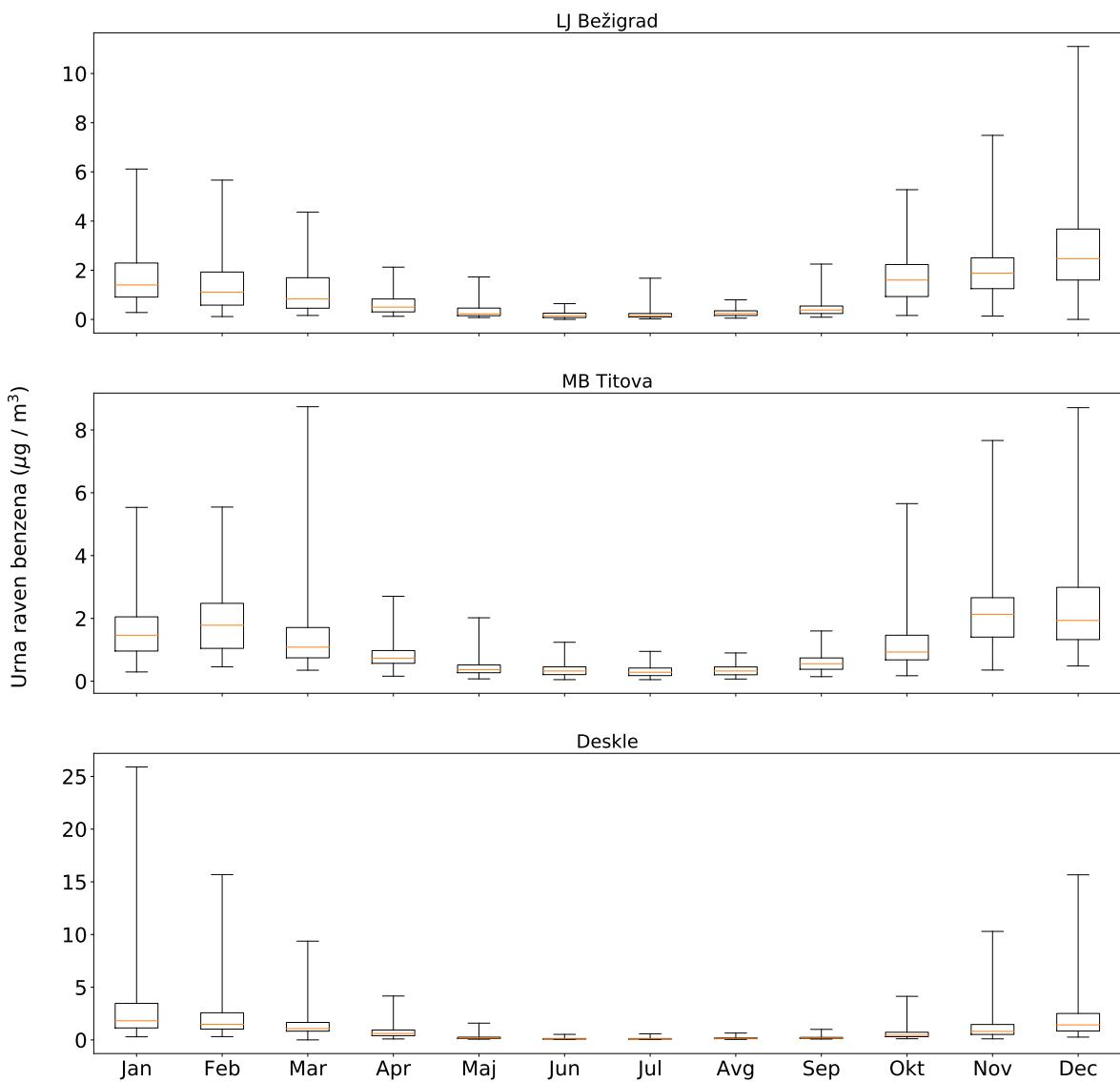
Tabela 14.2: Razpoložljivost urnih podatkov (% pod) in povprečne letne ravni (C_p) benzena v $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

	% pod	C_p
LJ Bežigrad	67	1,1
MB Titova	81	1,1
Deskle	90	1,0
LJ Center	33	1,8
Medvode	80	0,9

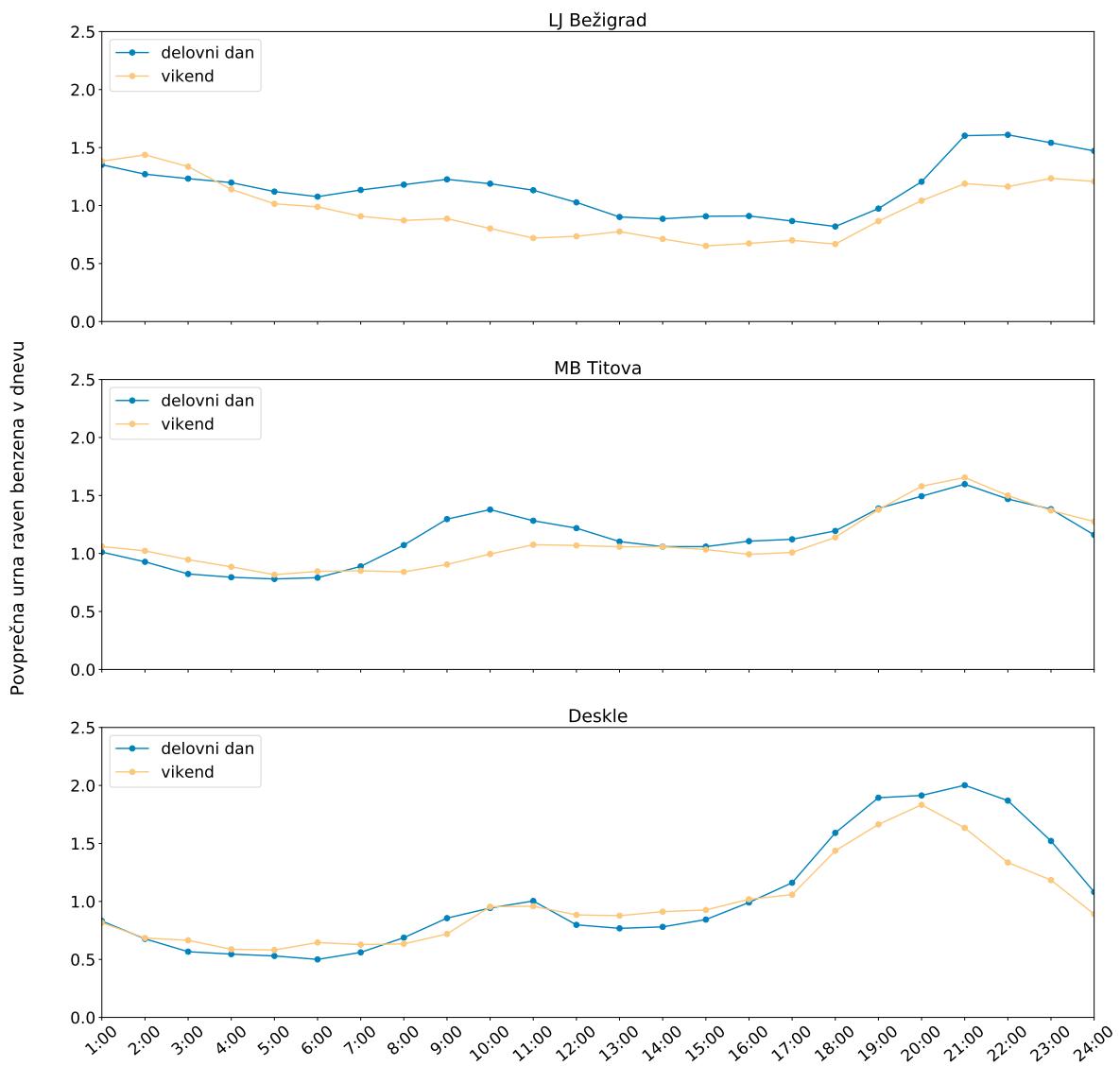
Tabela 14.3: Povprečna letna raven benzena ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) za obdobje 2007 - 2021

	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
LJ Bežigrad	1,4	1,6	1,0	1,3	1,9	/	1,5	1,1	1,2	1,1
MB Titova	1,6	1,8	1,5	1,6	1,4	0,7	0,7*	1,5	1,1	1,1
LJ Center	/	/	/	/	/	3,0	2,4	2,2	1,3	1,8*
Medvode	/	/	/	/	/	/	1,4	1,2	1,2	0,9

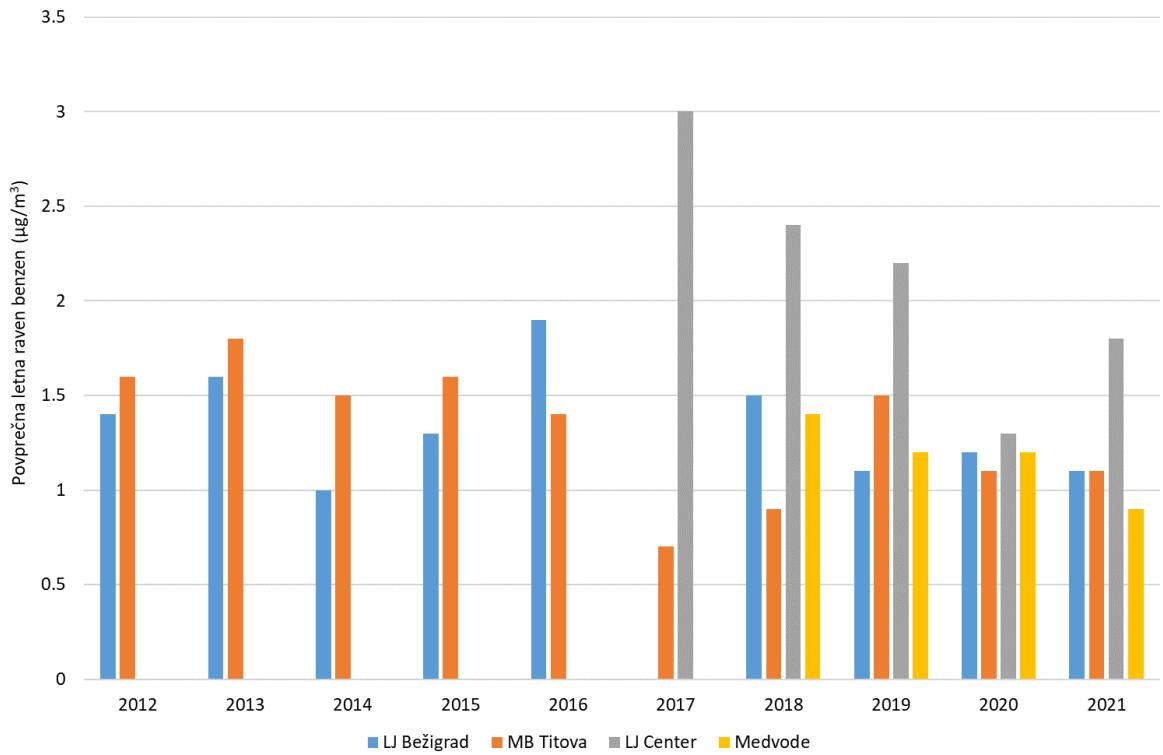
* Podatki so informativnega značaja zaradi prevelikega izpada meritev.



Slika 14.3: Porazdelitev urnih ravni benzena po mesecih v letu 2021. 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 14.4: Urni potek ravni benzena v letu 2021 na postajah Ljubljana Bežigrad, Maribor Titova in Deskle.



Slika 14.5: 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.

15. 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.

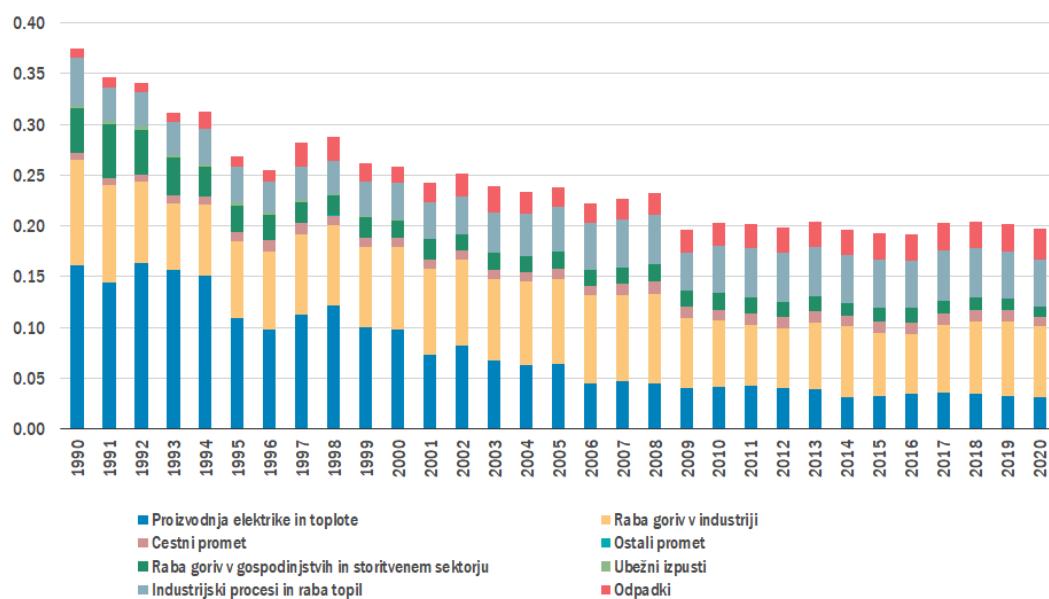
Količina živega srebra, sproščenega v atmosfero, se je povečala s pričetkom industrijske dobe. Največji delež živega srebra v atmosferi predstavljajo pare elementarnega živega srebra. Te v ozračju krožijo do enega leta, zato se lahko na široko razpršijo in od virov emisij prepotujejo na tisoče kilometrov. 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 ravni 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 [38].

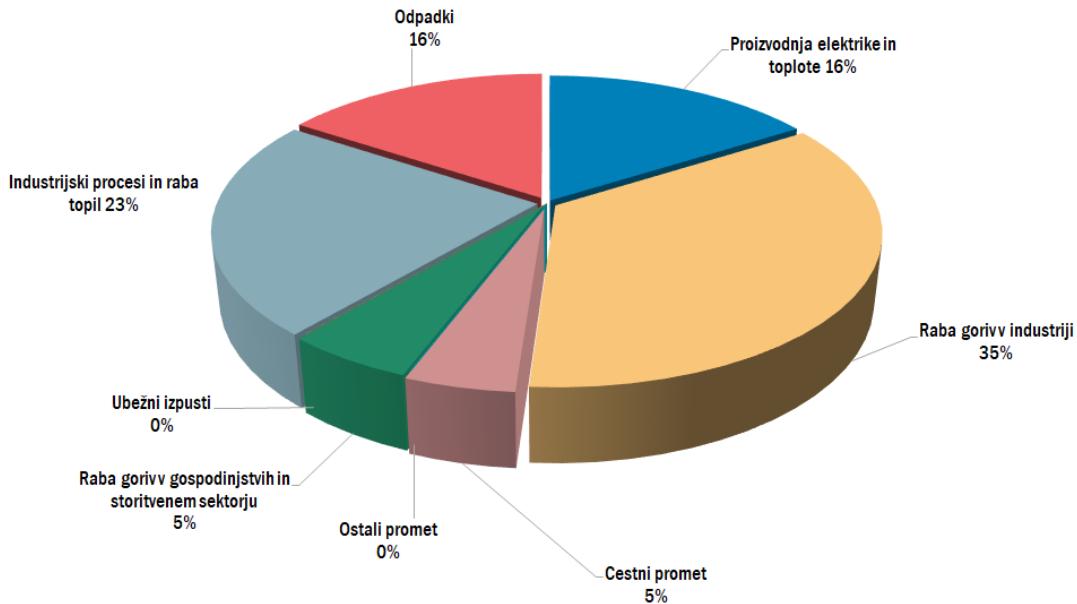
Izpostavljenost živemu srebru ogroža človekovo zdravje s številnimi, pogosto nepopravljivimi strupenimi učinki. Najbolj ogroženi so otroci, ki so lahko izpostavljeni metilnemu živemu srebru že v maternici, če se mati prehranjuje z onesnaženimi ribami in školjkami. Ta izpostavljenost lahko negativno vpliva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

15.1 Izpusti

Letni izpusti živega srebra (Hg) so v Sloveniji leta 2020 podobno kot v preteklih letih znašali manj kot 0,2 tone. V primerjavi z letom 1990 so se zmanjšali za 47 %. Največji delež k skupnim državnim izpustom živega srebra je v letu 2020 prispevala raba goriv v industriji (35 %), sledijo industrijski procesi in raba topil (23 %). Sektorja proizvodnje elektrike in toplote ter ravnanje z odpadki sta prispevala vsak po 16 %. Slovenija izpolnjuje zahteve iz Protokola o težkih kovinah h Konvenciji CLRTAP [11], saj skupne državne količine izpustov živega srebra ne presegajo vrednosti iz leta 1990. Izpusti živega srebra po glavnih sektorjih so prikazani na slikah 15.1 in 15.2.



Slika 15.1: Letni izpusti živega srebra po sektorjih v Sloveniji



Slika 15.2: Izpusti živega srebra po sektorjih v Sloveniji v letu 2021

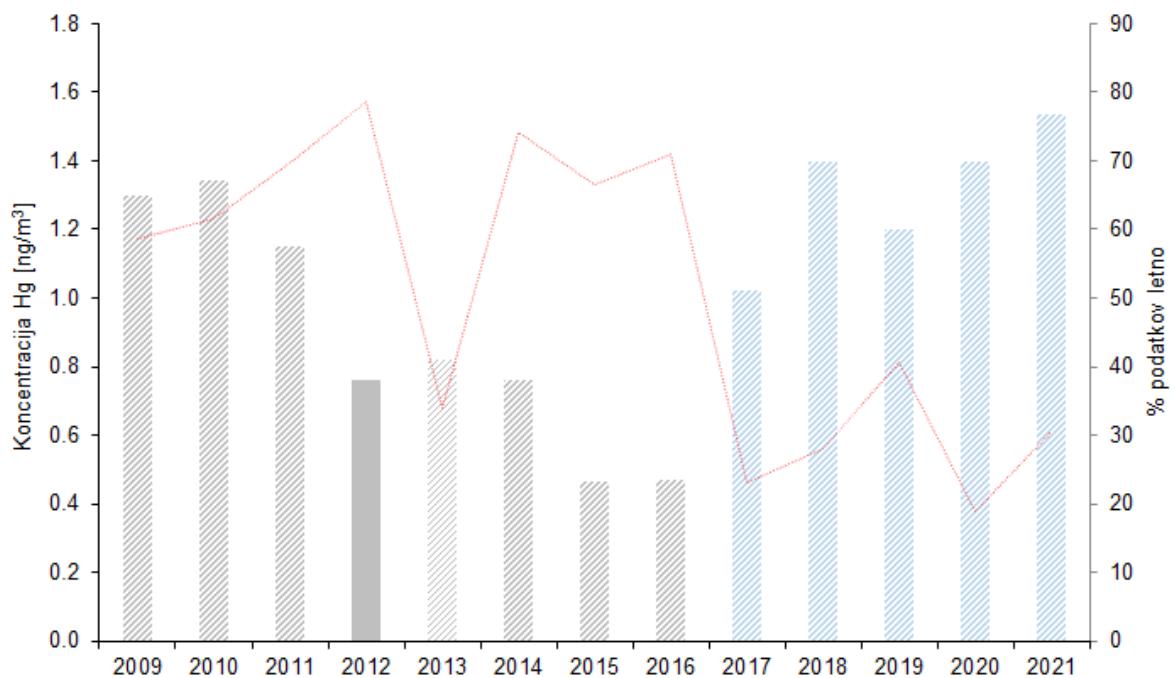
15.2 Ravni onesnaženosti

Meritve ravni celotnega živega srebra v zraku izvajamo le na mednarodnem merilnem mestu Iskrba. Z meritvami smo skladno z Uredbo o arzenu, kadmiju, živem srebru, niklju in policikličnih aromatskih ogljikovodikih v zunanjem zraku [5] 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. Povprečna raven Hg v zraku v letu 2021, izmerjena s tem inštrumentom, znaša $1,4 \text{ ng/m}^3$. Ker so bile vrednosti po letu 2017 izmerjene z drugo merilno tehniko kot predhodne, jih na sliki 15.3 podajamo v drugačni, modri barvi. V letu 2020 je potekala prenova merilnega mesta, zato smo meritve ravni Hg v zraku lahko izvajali le v prvi polovici leta. Pokritost z veljavnimi meritvami Hg v zraku na letnem nivoju je bila v letih od 2009 do 2021, z izjemo leta 2012, manjša od 75 odstotkov, zato rezultate teh meritev podajamo zgolj kot informativne vrednosti.

V letu 2021 je povprečna letna raven Hg v zraku znašala $1,5 \text{ ng/m}^3$. Iz tabele 15.1 in slike 15.3 je razvidno, da je bila povprečna letna raven Hg nekoliko višja kot v preteklem letu in v obdobju od leta 2017 dalje, odkar uporabljamo enako merilno tehniko, kaže rahel trend naraščanja.

Tabela 15.1: Povprečne letne ravni živega srebra v zraku v ng/m^3 na merilnem mestu Iskrba od leta 2009 dalje.

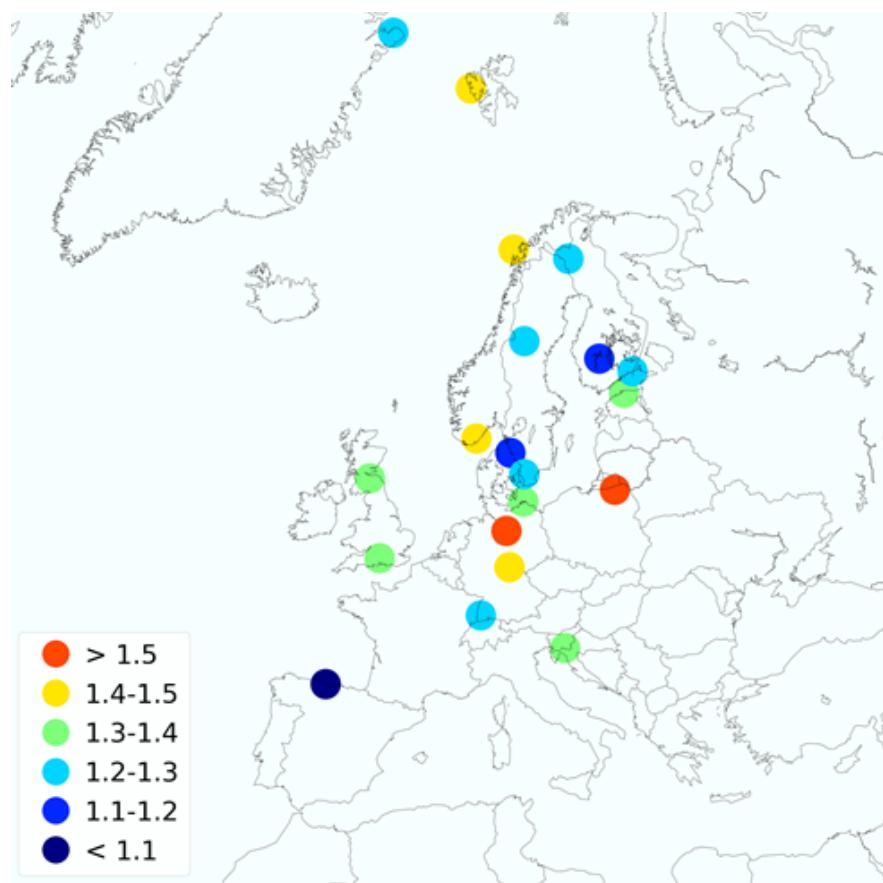
2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
1,6	1,3	1,2	0,8	0,8	0,8	0,5	0,5	1,0	1,4	1,2	1,4	1,5



Slika 15.3: Letne ravni živega srebra na Iskrbi od leta 2009 dalje

15.3 Primerjava ravni onesnaženosti v Evropi

Povprečna letna raven Hg v zraku izmerjena v Sloveniji v letu 2021 je znašala $1,5 \text{ ng/m}^3$, kar je za $0,1 \text{ ng/m}^3$ višje kot v preteklem letu. To nas je glede na lestvico EMEP uvrstilo med s Hg v zraku bolj onesnažena področja v Evropi [39].



Slika 15.4: Geografska porazdelitev živega srebra v zraku v Evropi v letu 2020 na neobremenjenih merilnih mestih [39]

16. 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 16.6).

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 [40].

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 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 [41], 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 [42] (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, niklu in policikličnih aromatskih ogljikovodikih v zunanjem zraku [5]. Za meritve parametrov v padavinah mejne in ciljne vrednosti niso določene. Meritve z merilnega mesta Iskrba posredujemo v izmenjavo na EEA in EMEP [42], ostalih meritov v okviru DMKP pa ne pošiljamo.

16.1 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 [43] ter v skladu Priročnikom EMEP [41]. 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.

16.1.1 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.

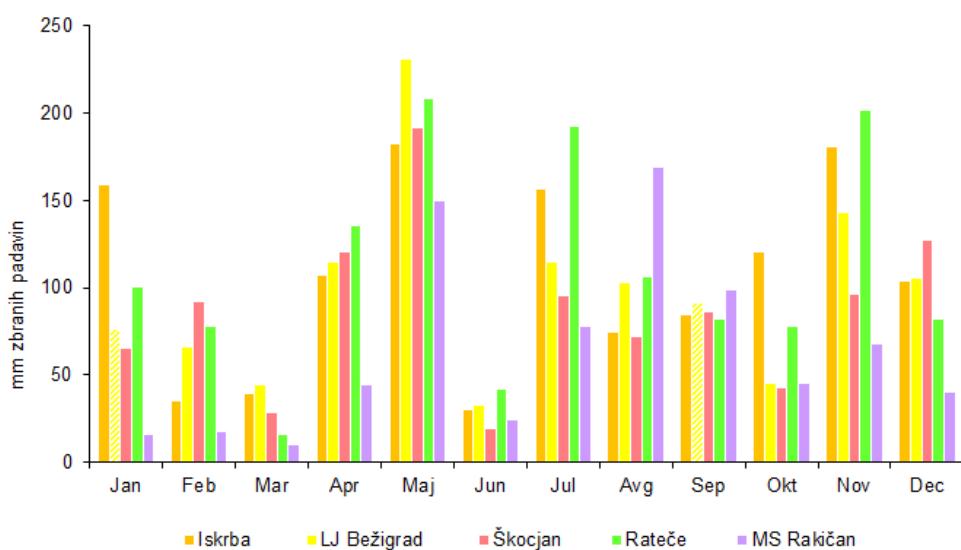
Najpogostejši razlog za izpad >10 % padavin pri vzorčenju dnevnih padavin za določitve pH, električne prevodnosti in nekaterih ionov je dejstvo, da so avtomatski vzorčevalniki padavin dimenzionirani za zajem največ 44 mm padavin, med tem ko vse pogosteje prihaja do hudih nalivov, ko v 24 urah pade tudi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

Tabela 16.1: Razlogi za izpad rezultatov meritev oziroma za podajanje zgolj informativnih vrednosti do leta 2021

	Leto	Razlog
Iskrba	2010	Izjemne padavine v septembru, izpad >10 %, podane zgolj informativne vrednosti.
	2017	Nepravilno delovanje vzorčevalnika izpad >10 % padavin, podane le informativne vrednosti.
	2020	Prenova merilnega mesta od maja do decembra, podane le informativne vrednosti.
LJ Bežigrad	2013	Zaradi gradnje prizidka je vzorčenje potekalo le do oktobra, podane le informativne vrednosti.
	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 >10 % padavin na letnem nivoju.
	2021	Izpad >10 % padavin zaradi odsotnosti opazovalcev januarja in močnih padavin septembra.
Škocjan	2003	Meritev ni ker postaja še ni bila vključena v mrežo DMKP.
	2004	Meritev ni ker postaja še ni bila vključena v mrežo DMKP.
Rateče	2009	Zaradi okvare vzorčevalnika izpad >10 % padavin, podane le informativne vrednosti.
	2020	Izjemne padavine v 5 od 53 tednov zato izpad >10 % padavin, podane le informativne vrednosti.
MS Rakičan	2017	Nepravilno delovanje vzorčevalnika izpad >10 % padavin, podane le informativne vrednosti.

16.1.2 Količina padavin, zbranih z ekološkimi vzorčevalniki

Količino padavin za določitve pH, el. prevodnosti in nekaterih ionov zbranih s pomočjo ekoloških vzorčevalnikov primerjamo s podatki meteoroloških meritev padavin. V kolikor se količina padavin zbranih za posamezno postajo razlikuje več kot 10 odstotkov skladno s Priročnikom EMEP [41] podatki za to postajo niso veljavni in jih zato podajamo kot informativne vrednosti.



Slika 16.1: Mesečna količina padavin zbranih za določitve pH, el. prevodnosti in nekaterih ionov z ekološkimi vzorčevalniki v letu 2021

Iz slike (slika 16.1) je razvidno, da je bila v splošnem druga polovica leta 2021 znatno bolj bogata s padavinami kot prva. Izjemi sta meseca april in maj. V maju smo prav na vseh merilnih mestih razen Rakičana zabeležili najvišjo letno količino padavin, količina padavin v maju pa se je gibala med 150 in 231 mm.

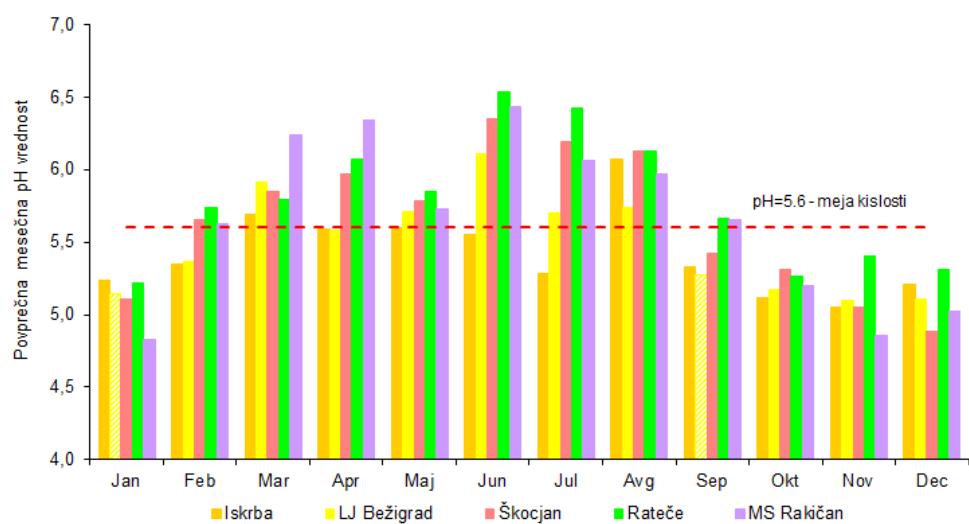
Kot navadno smo tudi v letu 2021 zabeležili največ padavin na merilem mestu Rateče in sicer 1323 mm, najmanj pa na merilnem mestu MS Rakičan, kjer je letna količina zbranih padavin z

ekološkimi vzorčevalniki znašala 761 mm. Na merilnem mestu Škocjan smo zbrali 1038 mm, v LJ Bežigrad 1167 mm in na Iskrbi 1274 mm.

V letu 2021 smo imeli največji (14,6 %) izpad vzorcev padavin glede na meteorološko izmerjene količine, na merilnem mestu LJ Bežigrad, zato podatke za to merilno mesto na letnem nivoju podajamo zgolj informativno. Do tako velikega izpada je prišlo zaradi odsotnosti opazovalcev v mesecu januarju zaradi epidemioloških razmer in pa zaradi izjemno velikega naliva dne 29. septembra 2021, ko je v 24 urah padlo 122 mm padavin, vzorčevalniki pa so dimenzionirani tako, da brez ročne menjave plastenk lahko prestrežejo le 44 mm padavin. Na vseh ostalih merilnih mestih se je količina zbranih padavin razlikovala od meteoroloških med 1,2 in 9,3 %, zato so vsi ostali podatki veljavni.

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

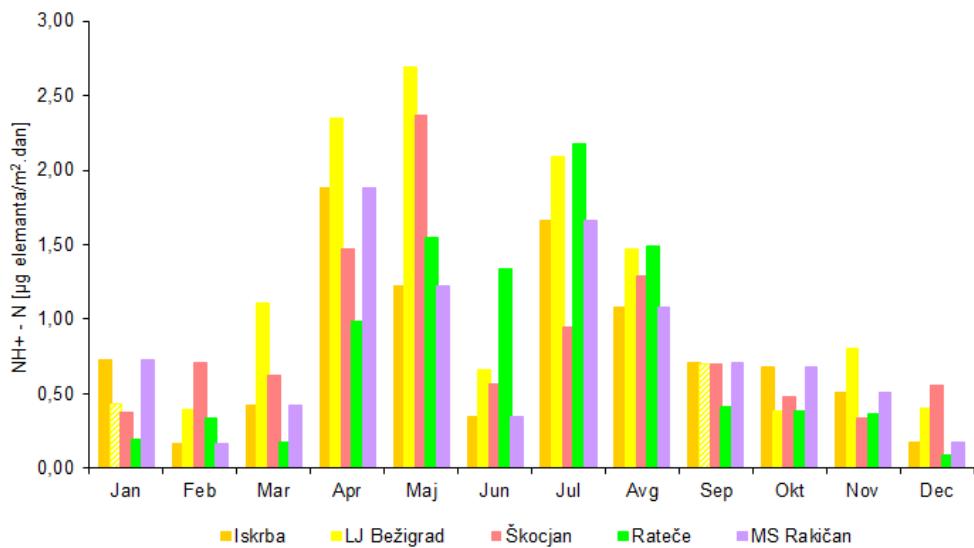
Pretežni del leta so bile padavine po vsej državi manj kisle med februarjem in avgustom. Skoraj praviloma so bile najmanj kisle na merilnih mestih Rateče in MS Rakičan, saj je bila njihova pH vrednost nad mejo kislosti (vrednost 5,6) med februarjem in septembrom leta 2021 (Slika 16.2). Nekoliko bolj kisle so bile padavine na merilnem mestu Škocjan, kjer so bile pH vrednosti padavin nad mejo kislosti le od februarja do vključno avgusta ter na merilnem mestu LJ Bežigrad, kjer so bile pH vrednosti pH nad mejo kislosti od marca do avgusta. Najnižje vrednosti pH, ki predstavljajo najvišjo kislost so bile padavine na merilnem mestu Iskrba. Višje pH vrednosti od marca do oktobra povezujemo predvsem s koncentracijami amonijevih ionov, ki so posledica kmetijskih aktivnosti in izparevanja zaradi višjih temperatur (slika 16.3). Sicer pa k povišanju pH vrednosti prispevajo tudi kalcijevi in magnezijevi ioni, ki se nahajajo v prašnih delcih in jih padavine spirajo iz ozračja.



Slika 16.2: Povprečne mesečne pH vrednosti padavin v letu 2021

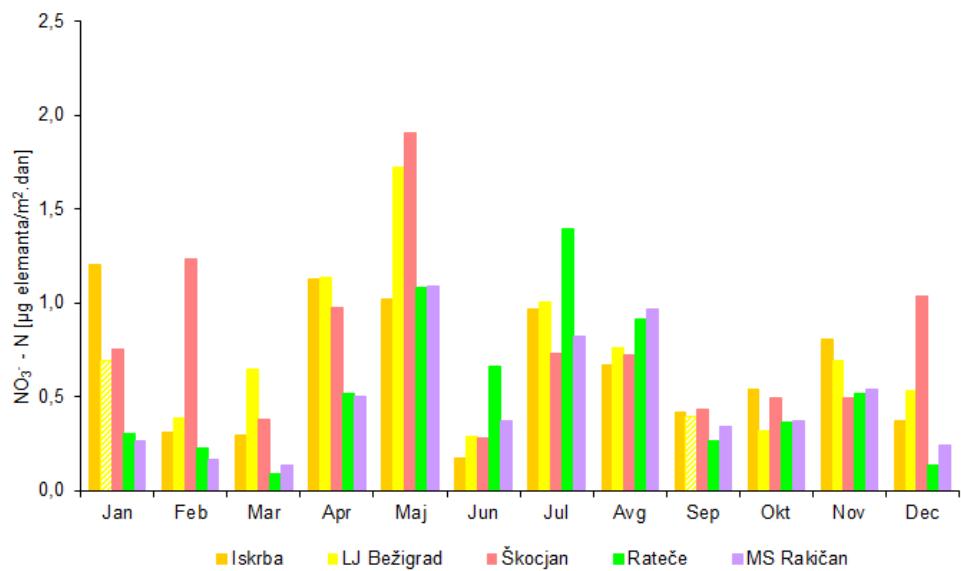
Porazdelitev mokrih usedlin ionov, preračunano na mg/m^2 dan, ki poglavito vplivajo na zakisljevanje in evtrofikacijo, je po mesecih prikazana na slikah 16.3 do 16.5. Mokre usedline amonijevih ionov so bile po pričakovanjih tudi v letu 2021 na večini merilnih mest višje v toplejšem delu leta, ko

je v zraku več amoniaka, le ta pa se s padavinami spere na tla.

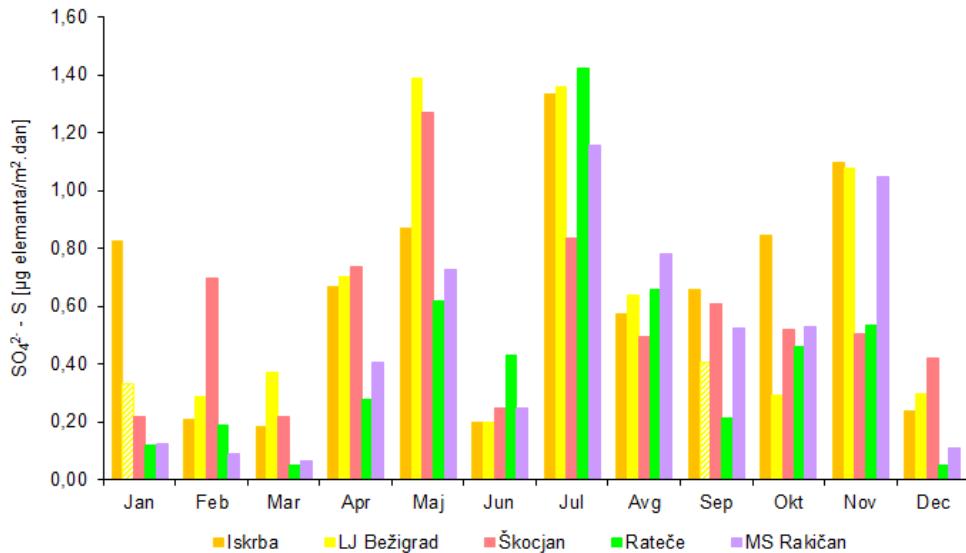


Slika 16.3: Mesečna mokra usedlina dušika amoniakalnega izvora v padavinah v letu 2021

Mesečne mokre usedline nitratnih in sulfatnih ionov so bile tudi v letu 2021 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 2021 zabeležili v mesecih z večjo količino padavin.



Slika 16.4: Mesečna mokra usedlina dušika nitratnega izvora v padavinah v letu 2021



Slika 16.5: Mesečna mokra usedlina žvepla sulfatnega izvora v padavinah v letu 2021

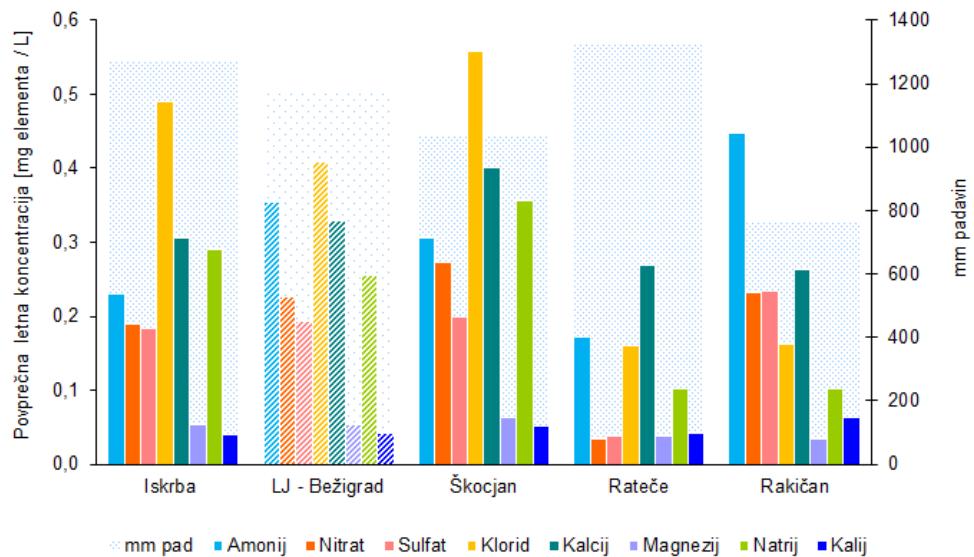
16.1.4 Letna raven vrednosti pH, električne prevodnosti in onesnaženosti padavin z nekaterimi anorganskimi ioni

Povprečne letne vrednosti pH, električne prevodnosti in povprečne letne koncentracije posameznih anorganskih ionov v padavinah ter njihove minimalne in maksimalne vrednosti za leto 2021 so podane v tabeli 16.2. Grafično so povprečne letne koncentracije posameznih ionov prikazane na sliki 16.6, kjer so podane tudi letne količine padavin, zbrane s pomočjo ekoloških vzorčevalnikov.

Tabela 16.2: 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 2021

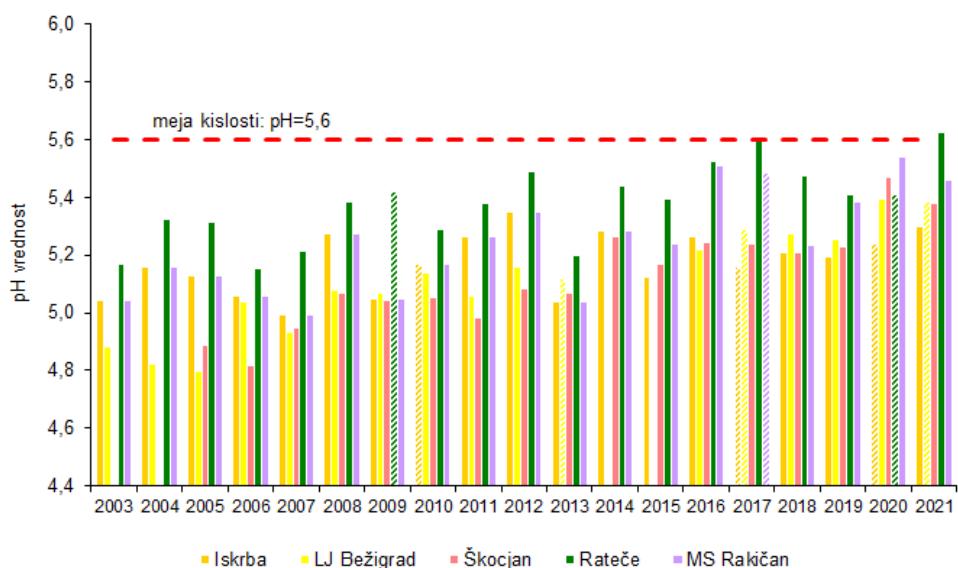
		pH	El. prev.	NH_4^+ -N	NO_3^- -N	SO_4^{2-} -S	Cl^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+
Iskrba	C_p	5,30	8	0,229	0,189	0,184	0,489	0,306	0,054	0,291	0,041
	C_{min}	4,56	2	0,008	0,030	0,016	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010
	C_{max}	6,90	24	2,65	2,071	2,14	9,89	3,84	0,768	7,04	0,366
LJ Bežigrad	C_p	5,37	9	0,355	0,226	0,194	0,409	0,330	0,053	0,255	0,043
	C_{min}	4,33	2	0,041	0,026	0,031	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010
	C_{max}	6,88	46	2,38	2,42	1,13	5,47	4,41	0,443	3,72	0,255
Škocjan	C_p	5,62	6	0,305	0,273	0,200	0,557	0,400	0,063	0,356	0,051
	C_{min}	4,58	3	0,041	0,043	0,059	0,087	0,039	0,010	0,049	0,010
	C_{max}	7,14	59	5,17	3,03	1,38	2,11	2,91	0,183	1,33	0,184
Rateče	C_p	5,62	6	0,171	0,034	0,039	0,160	0,269	0,039	0,102	0,041
	C_{min}	5,03	3	0,030	0,049	0,020	0,024	0,033	0,010	0,010	0,010
	C_{max}	6,80	23	2,38	1,36	1,15	0,815	1,40	0,336	0,587	0,254
MS Rakičan	C_p	5,46	8	0,447	0,232	0,234	0,162	0,263	0,035	0,101	0,062
	C_{min}	4,67	3	0,099	0,088	0,035	0,028	0,032	0,010	0,010	0,010
	C_{max}	7,00	31	3,97	2,15	0,91	0,518	1,82	0,167	0,306	0,708

Na sliki 16.7 je prikazana povprečna letna pH vrednosti padavin od leta 2003 dalje. Podobno kot v preteklih letih so bile tudi v letu 2021 nekoliko bolj kisle padavine z merilnih mest Iskrba, LJ Bežigrad in Škocjan. Manj kisle so bile padavine z merilnega mesta MS Rakičan. To povezujemo s kmetijskimi aktivnostmi, ki potekajo v neposredni bližini tega merilnega mesta in vplivajo na višje



Slika 16.6: Povprečna letna koncentracija posameznih ionov, izraženih kot element, v padavinah v letu 2021

koncentracije amonijevih ionov, te pa nevtralizirajo kisle komponente. Manjšo kislost padavin iz MS Rakičan povezujemo tudi z nizkimi vrednostmi kislih kloridnih ionov. Daleč najmanj kisle so bile padavine z merilnega mesta Rateče, pri katerih je povprečna letna vrednost pH prvič v zgodovini izvajanja meritev presegla mejo kislosti. Nizko pH vrednost v Ratečah povezujemo s pojmom abrazije okoliških kamnin pretežno apnenčastega izvora, ki so vir kalcijevih ionov, ti pa nevtralizirajo kisle komponente.



Slika 16.7: Povprečne letne pH vrednosti padavin od leta 2003 dalje.

Na sliki 16.6 so prikazane povprečne letne koncentracije posameznih ionov v padavinah, izraženo na element. Tudi v letu 2021 je bila povprečna letna koncentracija dušika amoniakalnega izvora v mg NH₄⁺-N/L zaradi intenzivnega kmetijstva v neposredni bližini merilnega mesta, najvišja

na MS Rakičan (0,447 mg/L), nižja je bila na merilnem mestu LJ Bežigrad (0,355 mg NH₄⁺-N/L), še nižja na merilnih mestih Škocjan (0,305 mg) in LJ Bežigrad (0,229 mg/L) ter daleč najnižja na merilnem mestu Rateče (0,171 mg/L).

Povprečne letne koncentracije dušika nitratnega izvora NO₃⁻-N so bile na vseh merilnih mestih na približno enakem nivoju in so se gibale med 0,189 in 0,273 mg/L, izjema je merilno mesto Rateče, kjer je bila ta koncentracija znatno nižja in je znašala 0,034 mg/L. Podobno se je tudi 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 usedelin posameznih ionov, preračunano v mg elementa na m² na dan, so podane v tabeli 16.3, grafično pa so prikazane na sliki 16.8.

Tabela 16.3: Letna količina zbranih padavin (mm) in letne mokre usedline ionov v mg/m².dan v letu 2021

Količina padavin	H ⁺ *	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	SO ₄ ²⁻ -S	Cl ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	
Iskrba	1274	5,6	0,803	0,661	0,645	1,71	1,07	0,188	1,02	0,143
LJ Bežigrad	1167	5,0	1,13	0,718	0,616	1,30	1,05	0,168	0,811	0,136
Škocjan	1037	4,42	0,873	0,786	0,570	1,59	1,14	0,180	1,02	0,147
Rateče	1323	3,15	0,801	0,542	0,424	0,581	0,977	0,142	0,372	0,150
MS Rakičan	756	2,65	0,935	0,485	0,488	0,338	0,549	0,073	0,212	0,130

* 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.

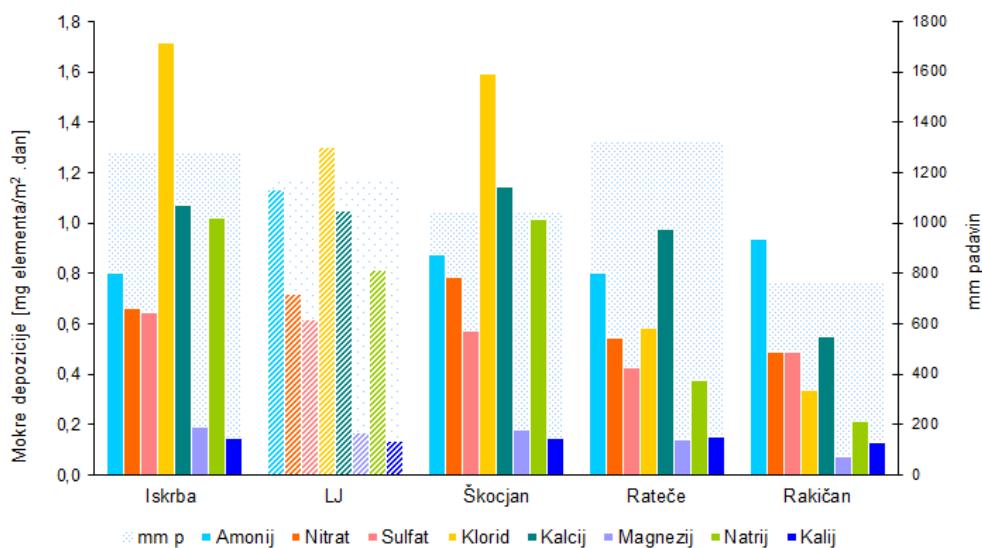
Mokro usedanje dušika amoniakalnega izvora je bilo podobno kot v preteklih letih kot posledica človekove aktivnosti najvišje na merilnem mestu LJ-Bežigrad (1,13 mgN/m².dan). Nekoliko nižje je bilo kot posledica kmetijskih aktivnosti v neposredni bližini na merilnem mestu MS-Rakičan (0,935 mgN/m².dan), še nižje je bilo na merilnem mestu Škocjan (0,873 mgN/m².dan), ki se nahaja v ruralnem okolju, najnižje pa na merilnih mestih Iskrba (0,803 mgN/m².dan) in Rateče (0,801 mgN/m².dan).

Mokro usedanje dušika nitratnega izvora je bilo v letu 2021 najvišje na merilnem mestu Škocjan (0,786 mgN/m².dan). Nekoliko nižja mokra depozicija dušika nitratnega izvora je bila na urbanem merilnem mestu LJ Bežigrad (0,718 mgN/m².dan), še nižja na merilnem mestu Iskrba (0,645 mgN/m².dan) in v Ratečah (0,542 mgN/m².dan) in najnižja na merilnem mestu MS Rakičan (0,485 mgN/m².dan). Iz slike 16.10 je razvidno, da so njihove vrednosti na enakem nivoju kot v preteklem letu.

Najvišje mokro usedanje žvepla sulfatnega izvora smo zabeležili na merilnem mestu Iskrba (0,645 mgS/m².dan), nekoliko nižje na merilnih mestih LJ Bežigrad (0,616 mgS/m².dan) in Škocjan (0,570 mgS/m².dan), najnižje pa na merilnih mestih MS Rakičan (0,488 mgS/m².dan) in Rateče

(0,424 mgS/m².dan). Tudi vrednosti mokrih depozicij žvepla sulfatnega izvora ostajajo na enakem nivoju kot v preteklem letu.

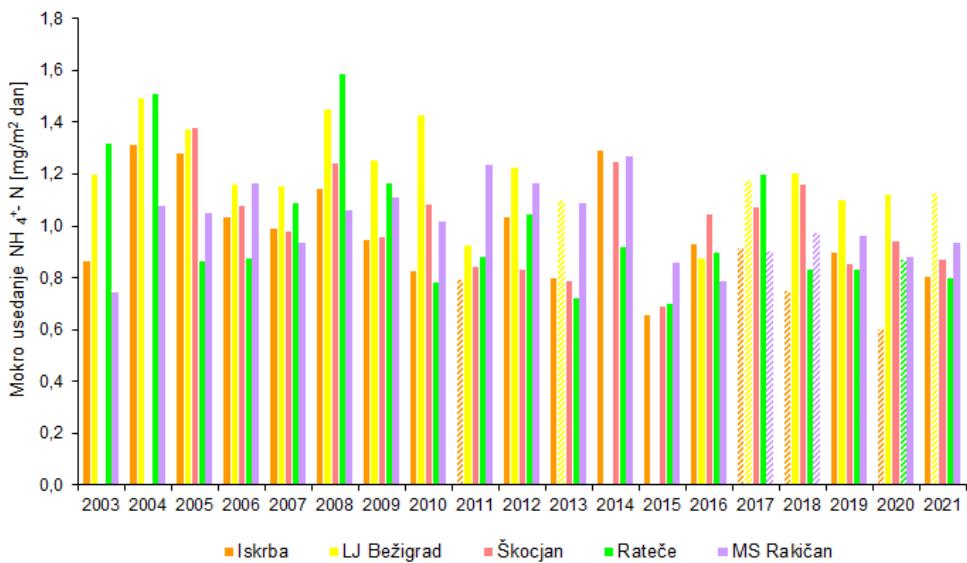
Predvidevamo, da so višje koncentracije dušika nitratnega izvora in žvepla sulfatnega izvora v padavinah in posledično njihovo mokro usedanje višje na merilnih mestih Škocjan, LJ Bežigrad in Iskrba zaradi večje podvrženosti vplivom prenosa onesnaževal na velike razdalje preko meja.



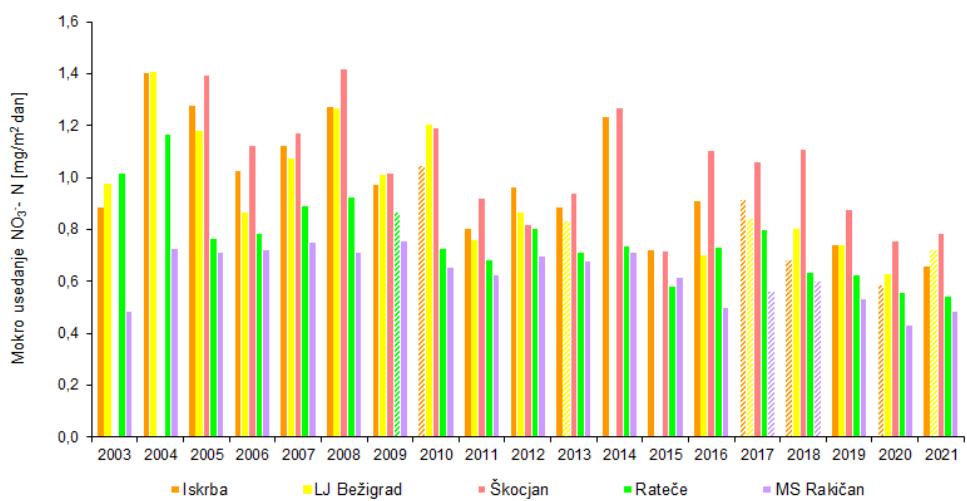
Slika 16.8: Mokra usedlina nekaterih ionov po merilnih mestih v letu 2021

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 2021 skladno s pričakovanji najvišje na merilnem mestu Škocjan, najnižje pa na merilnem mestu MS Rakičan.

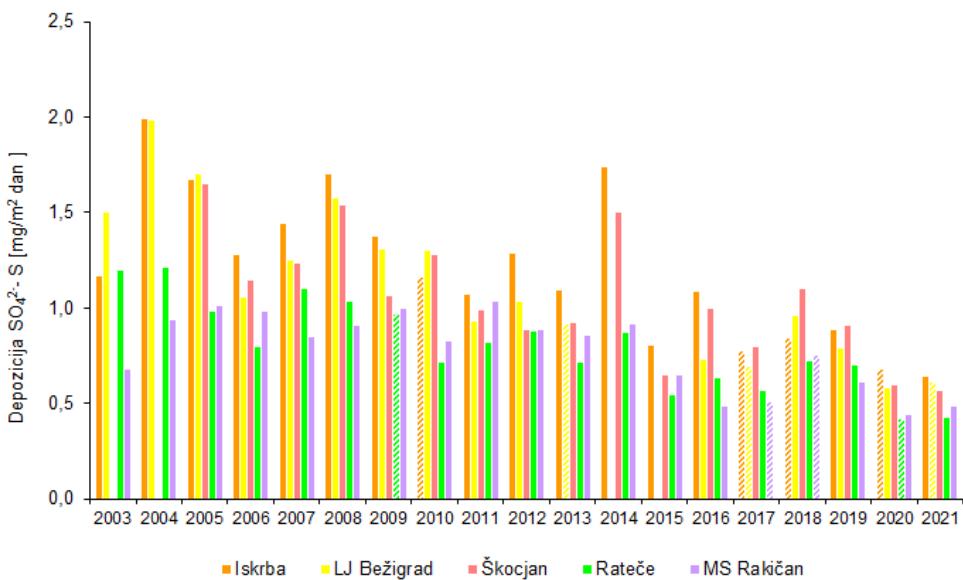
Podobno kot v preteklem letu smo tudi v letu 2021 najvišje mokre usedline kalcijevih ionov določili na merilnem mestu Škocjan, nekoliko nižje so bile na merilnih mestih Iskrba, LJ Bežigrad in Rateče, daleč najnižje pa na merilnem mestu MS Rakičan.



Slika 16.9: 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 zadnjem odstavku podpoglavlja 16.1.1).



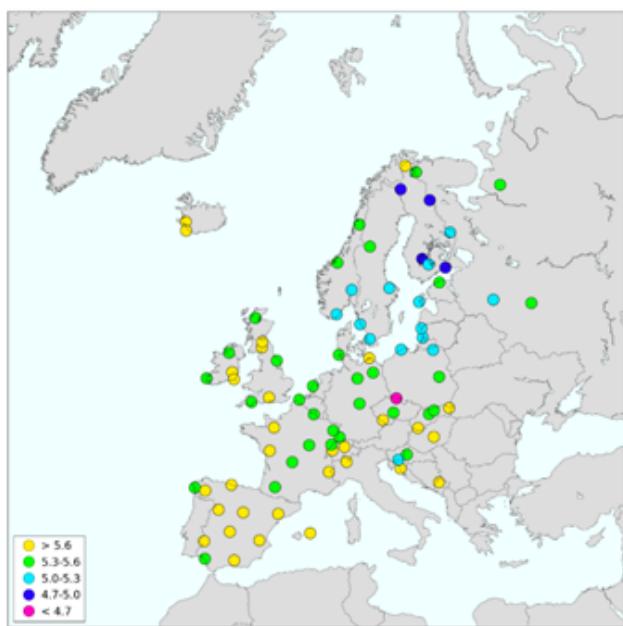
Slika 16.10: Mokra usedlina dušika nitratnega izvora v padavinah po letih. Podatki, ki jih podajamo informativno, so v grafih prikazani z enako barvo vendar šrafirano (obrazložitev se nahaja v zadnjem odstavku podpoglavlja 16.1.1).



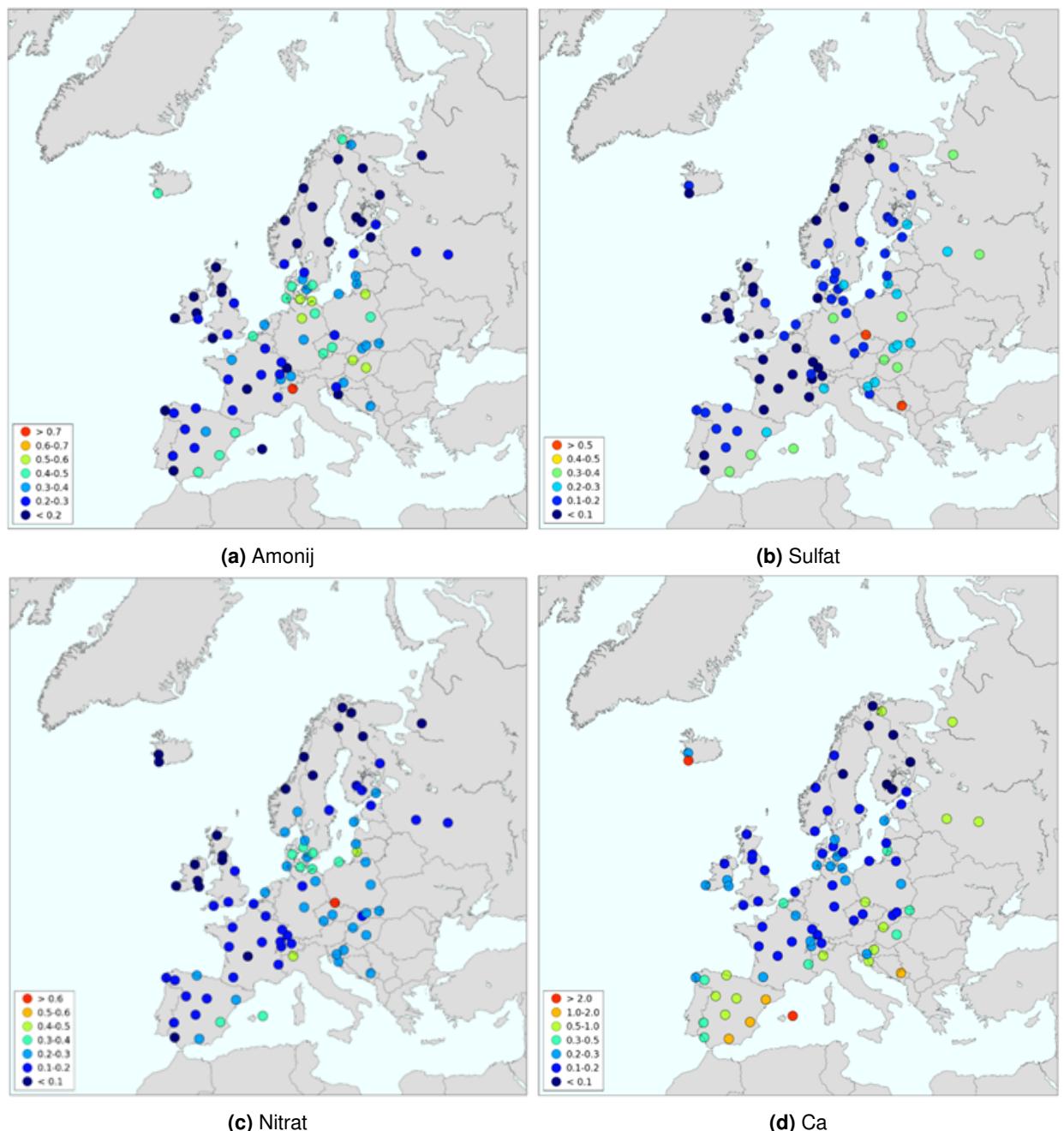
Slika 16.11: Mokra usedlina žvepla sulfatnega izvora po letih. Podatki, ki jih podajamo informativno, so v grafih prikazani z enako barvo vendar šrafirano (obrazložitev se nahaja v zadnjem odstavku podpoglavlja 16.1.1).

16.1.5 Primerjava ravni onesnaženosti v Evropi

Povprečna letna vrednost pH se je na merilnih mestih v letu 2021 gibala med 5,30 in 5,62, kar Slovenijo glede na EMEP lestvico kislosti uvršča med države z najmanj kislimi padavinami v Evropi. Povprečne letne koncentracije dušika amonijevega izvora so se gibale med 0,220 in 0,413 mgN/L, kar nas na EMEP lestvici uvršča med področja z nižjimi do srednje visokimi koncentracijami. Tudi povprečne letne koncentracije dušika nitratnega izvora (med 0,189 in 0,225 mg N/L) in žvepla sulfatnega izvora (med 0,117 in 0,225 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 0,211 in 0,288 mg Ca/L, kar nas podobno kot pri koncentracijah ostalih ionov na EMEP lestvici uvrščajo med področja z nižjimi do srednje visokimi koncentracijami tega iona.



Slika 16.12: Geografska porazdelitev vrednosti pH vrednosti padavin po Evropi v letu 2020 [44]



Slika 16.13: Geografska porazdelitev koncentracij amonija, sulfata, nitrata in kalcija (mg/L) v padavinah po Evropi v letu 2020 [44]

16.2 Raven onesnaženosti 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 rabo goriv v storitvenem sektorju in gospodinjstvih.

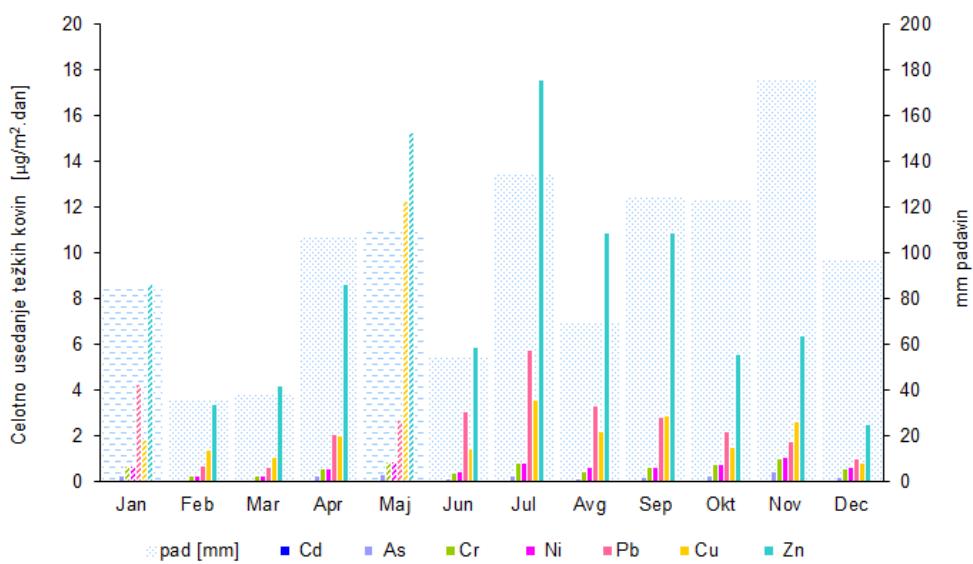
Meritve težkih kovin v padavinah izvajamo le na merilnem mestu Iskrba. Vzorčenje poteka v tedenskih intervalih s pomočjo t.i. *bulk* vzorčevalnika, ki je ves čas odprt in zajame tako mokri kot tudi suhi del usedlin. Kemijsko analitski laboratorij Agencije RS za okolje določi koncentracije posameznih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

Mesečne vrednosti depozicij nekaterih težkih kovin za merilno mesto Iskrba so podane v tabeli 16.4 in na sliki 16.14. Tudi v letu 2021 smo nekoliko višje usedline bakra, svinca in niklja in cinka, ki so glavna sestavina urbanega prahu, zabeležili med aprilom in septembrom. Najvišje depozicije smo zabeležili v mesecu juliju, zaradi intenzivne epizode puščavskega prahu med 12. in 14. julijem 2021. Takrat smo poleg povečane količine težkih kovin, ki so glavna sestavina urbanega prahu, zabeležili tudi večje depozicije aluminija, barija, železa, mangana in stroncija. K temu prispevajo večje količine aluminijevih in železovih oksidov ter drugih snovi, ki se nahajajo v puščavskem prahu.

Tabela 16.4: Vrednosti celotnih usedlin posameznih težkih kovin v $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{dan}$ in količina zbranih padavin v mm na merilnem mestu Iskrba v letu 2021

Mesec	Aluminij	Arzen	Barij	Kadmij	Krom	Baker	Nikelj	Svinec	Cink	Železo	Stroncij	mm
Januar	55,4	0,178	3,73	0,036	0,526	1,36	0,526	3,19	6,48	37,4	6,05	86,2
Februar	55,6	0,092	2,21	0,018	0,276	1,36	0,276	0,687	3,35	30,4	2,42	35,9
Marec	16,8	0,093	1,11	0,021	0,241	1,05	0,244	0,614	4,17	17,3	0,88	38,1
April	133	0,237	5,22	0,058	0,542	2,00	0,542	2,05	8,64	89,6	5,08	106,6
Maj	117	0,216	6,47	0,043	0,649	9,24	0,649	2,00	11,4	89,7	6,72	109,2
Junij	88,2	0,140	4,31	0,031	0,363	1,43	0,418	3,05	5,88	65,4	3,62	53,9
Julij	935	0,272	27,1	0,053	0,783	3,59	0,837	5,76	17,6	599	20,1	134,5
Avgust	135	0,155	5,93	0,054	0,467	2,19	0,616	3,31	10,9	102	4,61	69,5
September	72,5	0,211	4,38	0,051	0,627	2,86	0,614	2,84	10,9	45,0	2,85	123,8
Oktobar	38,3	0,253	3,32	0,069	0,739	1,52	0,739	2,17	5,59	42,1	2,65	122,5
November	47,1	0,417	2,70	0,094	1,03	2,61	1,04	1,78	6,40	25,8	3,75	175,3
December	14,2	0,090	2,08	0,018	0,268	0,449	0,269	0,364	1,43	11,6	1,97	96,3

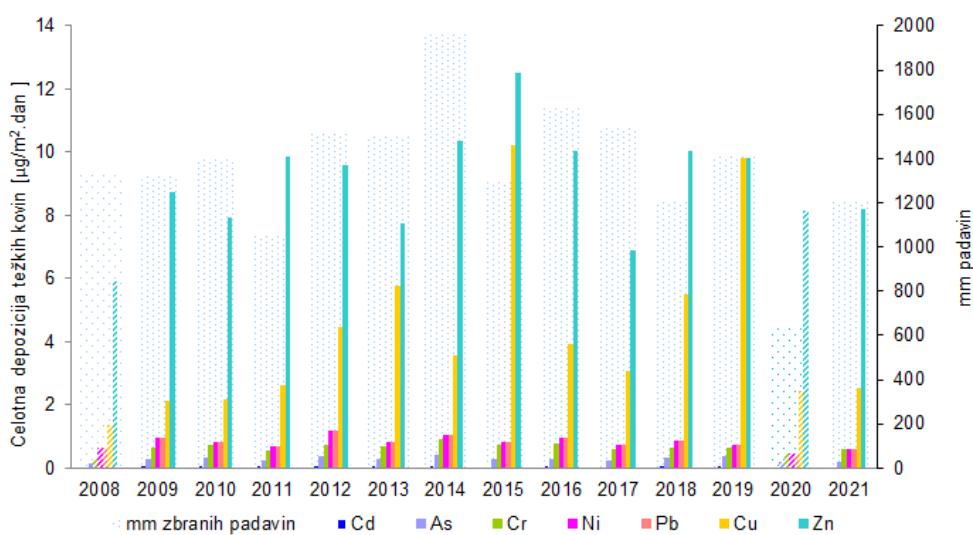
Letne vrednosti celotne usedline nekaterih težkih kovin izražene v $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{dan}$ so prikazane v tabeli 16.5. Ravni celotnih (suhih in mokrih) usedlin so za prikazane težke kovine na približno enakem nivoju kot v preteklem letu. Iz slike 16.15 je mogoče razbrati, da se raven celotnih usedlin večine kovin od začetka meritev v letu 2008 do leta 2021 bistveno ni spreminala. 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.



Slika 16.14: Celotna usedlina nekaterih težkih kovin v $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{dan}$ po mesecih za leto 2021

Tabela 16.5: Celotna usedlina nekaterih težkih kovin na Iskrbi v letu 2021 izražena v $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{dan}$

Leto	Aluminij	Arzen	Barij	Kadmij	Krom	Baker	Nikelj	Svinec	Cink	Železo	Stroncij	mm
2021	152	0,205	5,92	0,017	0,568	2,45	0,589	2,38	7,90	103	5,16	1152



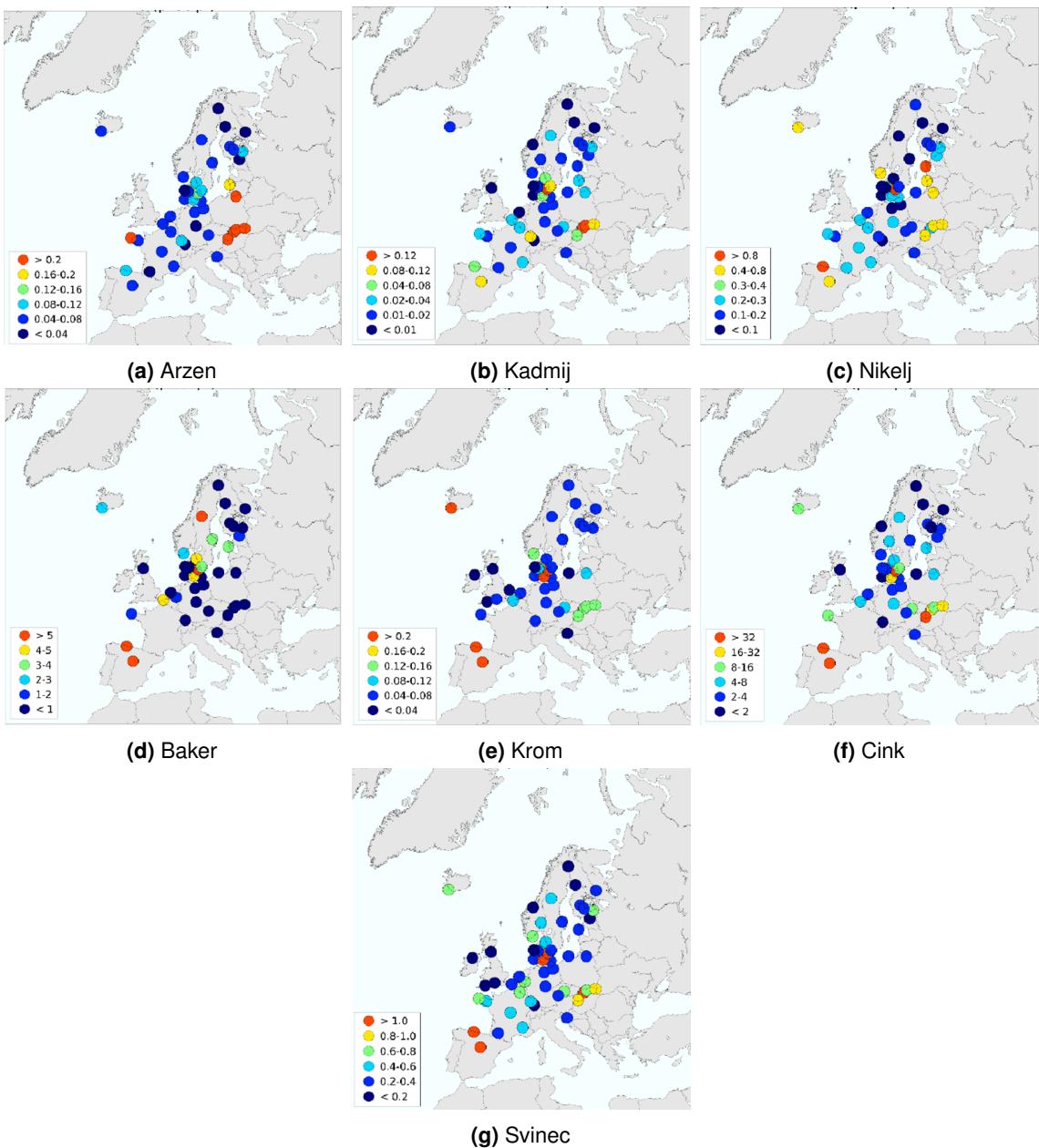
Slika 16.15: Celotna usedlina izbranih kovin v $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{dan}$ v letih od 2008 do 2021

16.2.1 Primerjava ravni onesnaženosti v Evropi

Primerjava ravni onesnaženosti z Evropo je povzeta iz poročila EMEP[39]. Iz tabele 16.6 in pripadajočih slik za posamezno težko kovino. Iz slike 16.16 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 16.6: Povprečna letna koncentracija nekaterih težkih kovin ($\mu\text{g}/\text{L}$) na Iskrbi v letu 2021

Aluminij	Arzen	Barij	Kadmij	Krom	Baker	Nikelj	Svinec	Cink	Železo	Stroncij
43,6	0,056	1,60	0,012	0,154	0,623	0,160	0,532	2,09	29,3	1,46



Slika 16.16: 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 [39]

16.3 Raven onesnaženosti padavin z živim srebrom

Živo srebro prihaja v padavine preko izpustov kot posledica industrijskih procesov, rabe topil, proizvodnje elektrike in toplotne 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.

Mokra usedlina živega srebra po mesecih za leto 2021 je prikazana v tabeli 16.7 in na sliki 16.17. Najvišjo usedlino Hg smo zabeležili v maju 2021, ko smo izmerili tudi največjo količino padavin in je znašala 40,6 ng/m² dan, najnižjo pa v mesecu oktobru, ko smo zabeležili tudi najnižjo količino padavin.

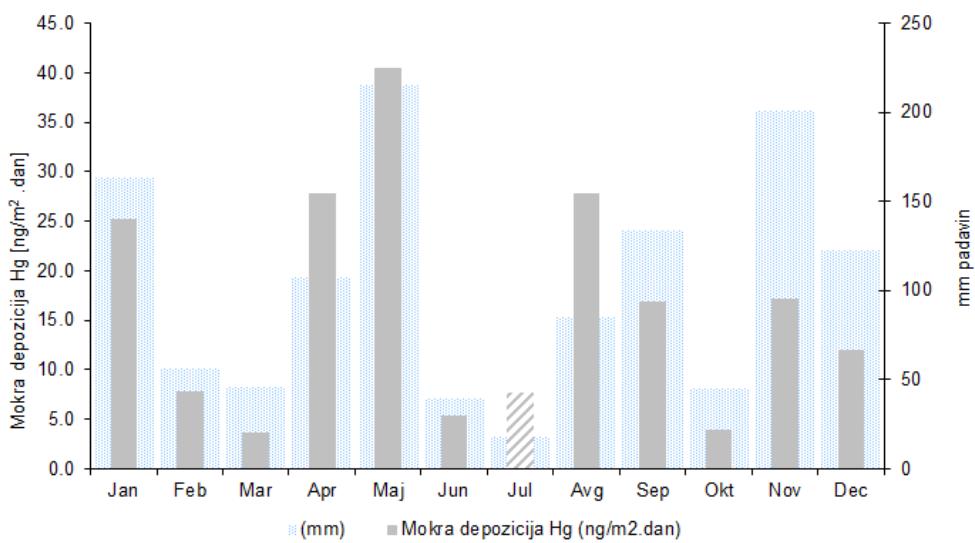
Tabela 16.7: Mesečna mokra depozicija Hg (ng/m²dan) in zbrana količina padavin na Iskrbi v letu 2021

Mesec	Depozicija Hg	mm zbranih padavin
Januar	25,2	163,5
Februar	7,83	55,9
Marec	3,63	45,9
April	27,8	107,3
Maj	40,6	215,2
Junij	5,41	39,2
Julij*	7,74	17,9
Avgust	27,8	85,0
September	16,9	134,1
Oktobar	3,93	44,7
November	17,1	201,2
December	12,1	123,0

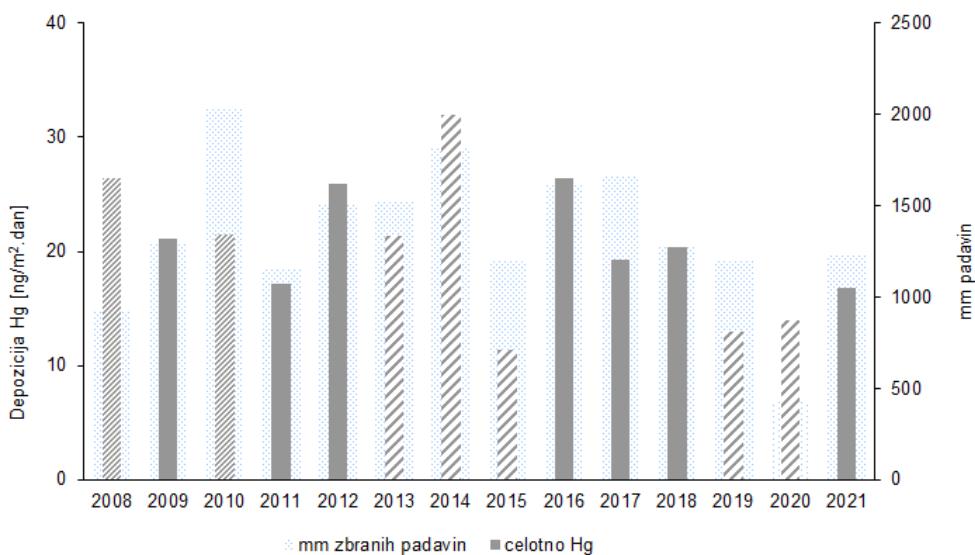
Mokra usedlina živega srebra na merilnem mestu Iskrba je v letu 2021 znašala 16,8 ng/m² dan. Bila je nekoliko višja kot v preteklem letu (slika 16.18) in je bila podobno kot lani pod povprečno vrednostjo meritve izvedenih med 2008 in 2021 in znaša 20,8 ng/m² dan.

16.3.1 Primerjava ravni onesnaženosti v Evropi

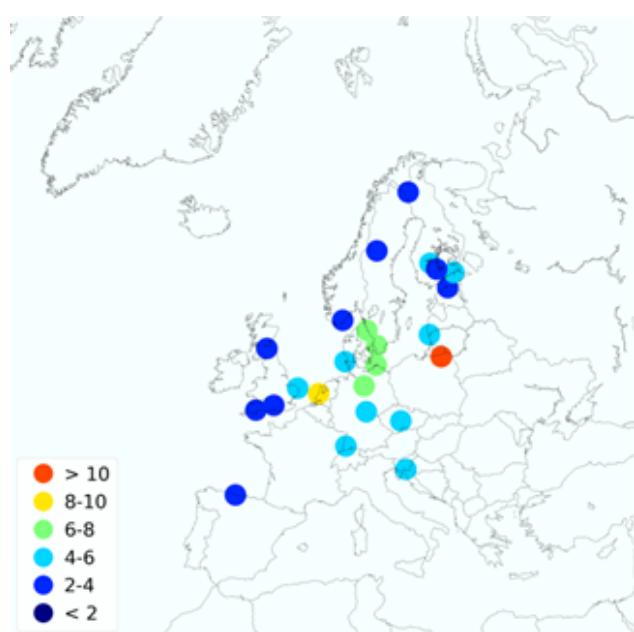
Slika 16.19 prikazuje geografsko porazdelitev ravnih živega srebra v padavinah po Evropi. Koncentracije celotnega živega srebra v padavinah v Sloveniji so se v letu 2021 gibale med 2,45 in 10,1 ng/L. Povprečna letna vrednost, utežena glede na količino padavin v posameznem mesecu ob upoštevanju vseh izvedenih meritov, je znašala 4,75 ng/L, kar merilno mesto Iskrba glede na EMEP lestvico uvršča med področja s srednje visoko koncentracijo Hg v padavinah v Evropi.



Slika 16.17: Mokra usedlina celotnega Hg po mesecih za leto 2021. Podatke, prikazane z vzorcem, zaradi izpada več kot 10 % količine padavin glede na meteorološke meritve podajamo zgolj informativno.



Slika 16.18: Mokra usedlina celotnega Hg po letih v ng/m²dan. Podatke, prikazane z vzorcem, zaradi izpada več kot 10 % količine padavin glede na meteorološke količine padavin podajamo zgolj informativno.



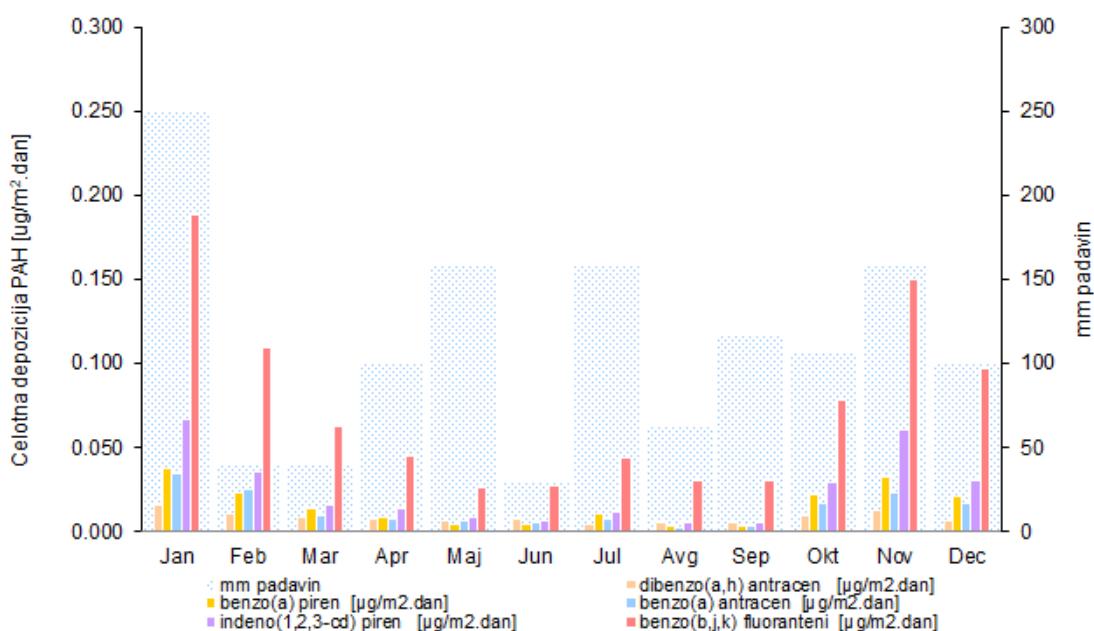
Slika 16.19: Geografska porazdelitev koncentracij živega srebra v padavinah podana v ng/m^2 na merilnih mestih EMEP v letu 2020 [39]

16.4 Raven onesnaženosti padavin s policikličnimi aromatskimi ogljikovodiki

Tudi policiklični aromatski ogljikovodi (PAH) veljajo za možne ali verjetne rakotvorne snovi, zato jih ameriška agencija za varstvo okolja (EPA) obravnava kot prednostna onesnaževala. Atmosferski izvor PAH je zelo raznolik, je stranski proizvod pri nepopolnem zgorevanju fosilnih goriv in lesa, ogrevanju stanovanj in proizvodnji koksa. Izpusti iz prometa so glavni vir onesnaževanja urbane atmosfere. Pomemben naravni vir PAH je izgorevanje biomase v gozdnih požarih. Razumevanje prispevkov različnih virov je pomembno za ustrezno upravljanje ravni PAH v okolju. Za razliko od drugih onesnaževal, se PAH po vstopu v ozračje prerazporedijo med plinsko fazo in delce. Razkrojeni so lahko z neposredno in / ali posredno fotolizo in se kot taki deponirajo prek vlažnih in suhih mehanizmov. Deponirani PAH lahko ponovno hlapijo in se s pomočjo transporta na velike razdalje ponovno odložijo na tla in na vodne površine daleč od virov izpustov [45].

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 celotnih usedlin posameznih PAH za leto 2020 je prikazana na sliki 16.20. Višje celotne usedline večine PAH smo v letu 2020 zabeležili v času od januarja do marca 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 16.20: Celotna usedlina nekaterih PAH po mesecih v letu 2021 v ng/m²dan

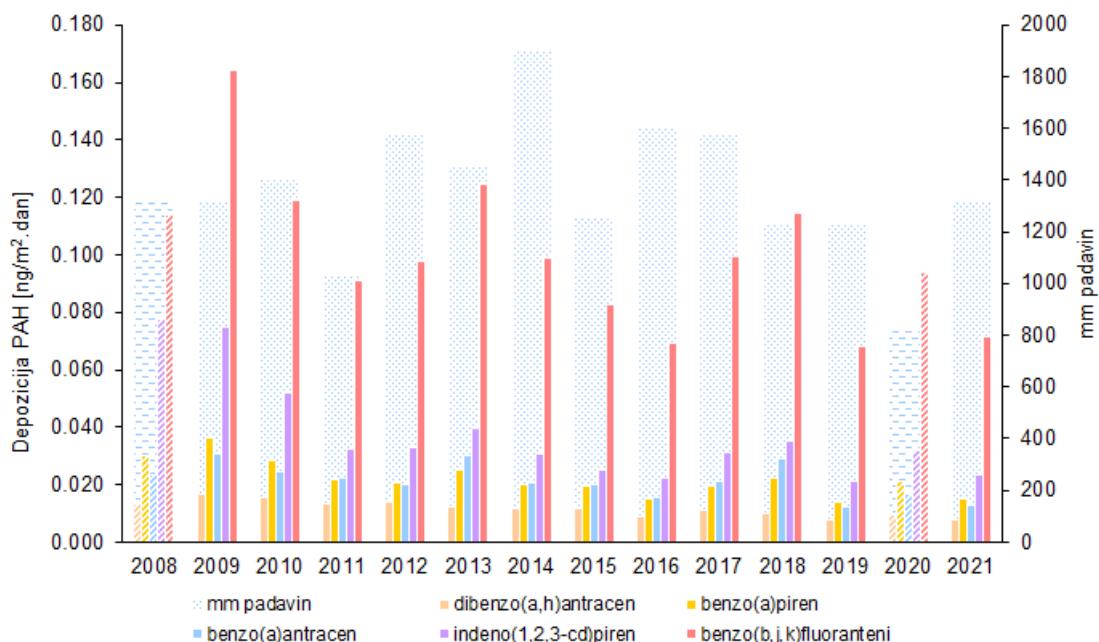
V tabeli 16.8 je prikazana celotna usedlina nekaterih PAH v letu 2021 v ng/m²dan. Primerjava usedlin PAH med posameznimi leti nakazuje, da le-te ostajajo na približno isti ravni kot v letu 2019

(slika 16.21).

Podobno kot v preteklih letih smo tudi v letu 2021 zabeležili največjo celotno usedlino vsote benzo(b,j,k)fluorantenov, najnižja pa je bila kot navadno celotna usedlina dibenzo(a,h)antracen (tabela 16.8 in slika 16.21). V primerjavi z letom 2019 so bile celotne usedline vseh PAH le za spoznanje nižje. V obdobju od 2008 do 2021 opažamo rahel trend upadanja usedlin PAH, kar je verjetno posledica spremenjenih kurilnih navad na področju okrog merilnega mesta Iskrba in širše. Ker so bile v letu 2020 meritve izvedene pretežno le za kurilni del sezone, ko so koncentracije PAH višje, zato ta vrednost ne odraža reprezentativne vrednosti za celo leto.

Tabela 16.8: Celotna usedlina nekaterih PAH (v $\text{ng}/\text{m}^2\text{dan}$) za leto 2021 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
12,7	15,0	71,7	7,85	23,6



Slika 16.21: Celotne letne usedline PAH od leta 2008 do leta 2021 v $\text{ng}/\text{m}^2\text{dan}$

16.4.1 Primerjava ravni onesnaženosti v Evropi

Ne poročilo EMEP ([39]) niti poročilo EEA ([46]) ne podajata meritev usedanja posameznih PAH, katerih meritve izvajamo skladno z Uredbo o arzenu, kadmiju, živem srebru, niklu in policikličnih aromatskih ogljikovodikih v zunanjem zraku ([5]), zato te primerjave nimamo.

17. Literatura

- [1] Direktiva 2008/50/ES Evropskega parlamenta in sveta o kakovosti zunanjega zraka in čistejšem zraku za Evropo. Uradni list Evropske unije. L152.
- [2] Direktiva 2004/107/ES Evropskega parlamenta in sveta o arzenu, kadmiju, živem srebru, niklju in policikličnih aromatskih ogljikovodikih v zunanjem zraku. Uradni list Evropske unije. L23.
- [3] 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.
- [4] Uredba o kakovosti zunanjega zraka. (Uradni list RS. 9/11, 8/15 in 66/18).
- [5] Uredba o arzenu, kadmiju, živem srebru, niklju in policikličnih aromatskih ogljikovodikih v zunanjem zraku. Uradni list RS. 56/06.
- [6] Pravilnik o ocenjevanju kakovosti zunanjega zraka. Uradni list RS. 55/11,6/15.
- [7] Zakon o ratifikaciji konvencije o onesnaževanju zraka na velike razdalje preko meja (Uradni list SFRJ – Mednarodne pogodbe, št. 11/86), UNECE, 1979.
- [8] 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.
- [9] R. Bertalanič, J. Cedilnik, J. Rakovec, G. Skok, M. Žagar, and N. Žagar, *Vetrovnost v Sloveniji*. Ljubljana: Inštitut za antropološke in prostorske študije in Fakulteta za matematiko in fiziko UL, 2009.
- [10] P. Z., “Vpliv vremena na onesnaženost zraka v sloveniji,” *Slovensko meteorološko društvo, Vetrnica*, pp. 7–9, 2014.
- [11] R. J., *Meteorološka situacija mesta Ljubljane: študija za Zavod SRS za varstvo pri delu*. 1979.
- [12] A. Planinšek and D. Hrček, “Obdobje velikih merilnih kampanj in začetkov celovitih rešitev,” *Slovensko meteorološko društvo, Vetrnica*, pp. 9–16, 2014.
- [13] Cizerl K. Jezera hladnega zraka in oblačna morja., view 28.4.2022, <https://ciklon.si/stran/?p=27278>.

- [14] P. B., "Nekaj karakteristik onesnaženja zraka v ljubljani," *Razprave – papers*, 12, pp. 54–74, 1970.
- [15] M. Česen and M. Đorić, "Modelski izračun porabe energije in goriv v gospodinjstvih v Sloveniji za leto 2020," *IJS-DP-13608*, 06 2021.
- [16] *Kakovost zraka v Sloveniji v letu 2019*, ARSO, 2020.
- [17] *Project PREPAIR – LIFE15 IPE IT013*, view 10.09.2018, <http://www.lifeprepair.eu/>.
- [18] *Poročilo o meritvah kakovosti zraka v Desklah v občini Kanal ob Soči v letu 2021*, view 24.11.2022, http://www.arso.gov.si/zrak/kakovost%20zraka/poro%c4%8dila%20in%20publikacije/Porocilo_Deskle_2021.pdf.
- [19] *Projekt Sinica*, ogled 4.7.2022, <https://www.gov.si/zbirke/projekti-in-programi/projekt-sinica-nadgradnja-sistema-za-spremljanje-onesnazenosti-zraka-ugotavljanje-vz>
- [20] *Black carbon / Climate & Clean Air Coalition*, view 28.4.2022, <https://www.ccacoalition.org/en/slcpes/black-carbon>.
- [21] *Particulate Matter (PM) Basics / US EPA*, view 28.4.2022, <https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics>.
- [22] *What is Black Carbon? / Center for Climate and Energy Solutions*, view 3.5.2022, <https://www.c2es.org/document/what-is-black-carbon/>
- [23] U. N. E. Programme, "Integrated assessment of black carbon and tropospheric ozone: summary for decision makers," 2011.
- [24] *The EU Background on Black Carbon / Artic Monitoring & Assessment Program*, view 3.5.2022, <https://eua-bca.amap.no/background>.
- [25] J. Sandradewi, A. S. H. Prévôt, E. Weingartner, R. Schmidhauser, M. Gysel, and U. Baltensperger, "A study of wood burning and traffic aerosols in an alpine valley using a multi-wavelength aethalometer," *Atmospheric Environment*, vol. 42, pp. 101–112, 2008.
- [26] J. Sandradewi, A. S. H. Prévôt, M. R. Alfara, S. Szidat, M. N. Wehrli, M. Ruff, S. Weimer, V. A. Lanz, E. Weingartner, N. Perron, A. Caseiro, A. Kasper-Giebl, H. Puxbaum, L. Wacker, and U. Baltensperger, "Comparison of several wood smoke markers and source apportionment methods for wood burning particulate mass," *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions*, vol. 8, pp. 8091–8118, 2008.
- [27] O. Favez, I. Haddad, C. Piot, A. Boreave, A. Ehgere, N. Marchand, J. J.-L, J.-L. Besombes, P. M.-B, J. Sciare, W. H, C. George, and B. D'Anna, "Inter-comparison of source apportionment models for the estimation of wood burning aerosols during wintertime in an alpine city (grenoble, france)," *Atmospheric Chemistry and Physics*, vol. 10, 06 2010.
- [28] *Guidance on the quantification of the contribution of natural sources under the EU Air Quality Directive 2008/50/EC*, European Commission, Brussels, 2011.

- [29] 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).
- [30] *Interim Annual Assessment Report for 2021, European air quality in 2021*, Norwegian Institute for Air Research (NILU), 2022.
- [31] *Kakovost zraka v Sloveniji v letu 2017*, ARSO, 2018.
- [32] *Kakovost zraka v Sloveniji v letu 2020*, ARSO, 2021.
- [33] *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.
- [34] *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.
- [35] *Zakon o ratifikaciji Protokola o zmanjševanju zakisljevanja, evtrofifikacije 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.
- [36] WHO, “Exposure to benzene: a major public health concern,” pp. 3–6, 2019.
- [37] *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.
- [38] 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.
- [39] W. Aas and P. B. Nizzetto, “Heavy metals and pop measurements 2018,” *EMEP/CCC-Report 3/2020*, no. 3, 2020.
- [40] M. Pidwirny, “Acid Precipitation,” *Fundamentals of Physical Geography, 2nd Edition*, 2006.
- [41] 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.
- [42] *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.
- [43] *Manual for the GAW Precipitation Chemistry Programme. Guidelines, Data Quality Objectives and Standard Operating Procedures*, no. 160, WMO, 2004.

- [44] A.-G. Hjellbrekke, "Data report 2018 particulate matter, carbonaceous and inorganic compounds," *EMEP/CCC-Report 1/2020*, no. 1, 2020.
- [45] O. Delhomme, E. R. Rieb, and M. Millet, "Polycyclic aromatic hydrocarbons analyzed in rainwater and erstein," *Polycyclic Aromatic Compounds*, no. 1, 2008.
- [46] *Air quality in Europe-2020 report*, European Environment Agency, 2020.



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

