

Kakovost zraka v Sloveniji v letu 2020

Kakovost zraka v Sloveniji

ISSN 1855-0827

Ljubljana, 2021

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

Odgovarja:

mag. Joško Knez, generalni direktor

Avtorji: Don Ciglenečki, Mateja Gjerek, Mateja Kastelic, 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
Salonit Anhovo

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

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

Kakovost zraka v Sloveniji v letu 2020

AGENCIJA REPUBLIKE SLOVENIJE ZA OKOLJE
Ljubljana, 2021

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)
CORINE	Evropski program za koordinacijo informacij o okolju (Coordination of Information on the Environment)
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
IJS	Institut Jožef Stefan
JRC	Skupno raziskovalno središče (Joint Research Centre)
LIFE-IP PREPAIR	Projekt »Učinki ukrepov Dežel Padske nižine na kakovost zraka«
NEC	nacionalne zgornje meje emisij (National Emission Ceilings)
NIJZ	Nacionalni inštitut za javno zdravje
NLZOH	Nacionalni laboratorij za zdravje, okolje in hrano
NUTS	nomenklatura statističnih teritorialnih enot (Nomenclature of Territorial Units for Statistics)
OMS-MOL	okoljski merilni sistem mestne občine Ljubljana

RIAT+	modelsko orodje za vrednotenje različnih ukrepov za izboljšanje kakovosti zraka, ki lahko upošteva tudi ekonomski vidik (Regional Integrated Assessment Modelling tool PLUS)
SHERPA	modelsko orodje za pomoč pri iskanju optimalnih ukrepov za izboljšanje kakovosti zraka (Screening for High Emission Reduction Potential on Air)
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
PPM	Število delcev na milijon
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 2020 nizka in prvič od začetka meritev na nobenem merilnem mestu državne merilne mreže za spremeljanje kakovosti zunanjega zraka vsota prekoračitev mejne dnevne vrednosti za delce PM₁₀ ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ni presegla števila 35, ki je dovoljeno za celo leto. Do večine vseh preseganj v letu 2020 je prišlo v januarju, ko so bili pogosti temperaturni obrati, ki onemogočajo razredčevanje izpustov iz malih kurilnih naprav in prometa, ki sta največja vira delcev PM₁₀. Tudi letna mejna vrednost za delce PM₁₀ v letu 2020 ni bila presežena na nobenem merilnem mestu. Najvišja povprečna letna vrednost, $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$, je bila tako kot vsako leto zabeležena na prometnem merilnem mestu Ljubljana Center. Mejna letna vrednost znaša $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Kljub temu da je onesnaženost zraka z delci v letu 2020 nižja kot v preteklosti, so med neugodnimi vremenskimi razmerami ravni delcev še vedno višje od standardov kakovosti zraka, ki jih predpisuje zakonodaja. Iz navedenega izhaja, da so za boljšo kakovost zraka v večji meri zaslužne ugodne vremenske razmere in ne zmanjšanje emisij ter ukrepi v okviru načrtov za izboljšanje kakovosti zunanjega zraka. Na ARSO v okviru projekta Sinica poteka prenova in posodobitev državne merilne mreže za spremeljanje kakovosti zunanjega zraka. V letu 2020 je zato prišlo do nekaj sprememb, tako merilnih mest kot tudi nabora meritev. Zaradi prenove merilne mreže je ponekod prišlo do daljših izpadov posameznih meritev. Najdaljši izpad meritev je bil v letu 2020 na merilnem mestu Iskrba. Na prometnem merilnem mestu v Ljubljani so se meritve delcev PM₁₀ do 31.januarja 2020 izvajale na lokaciji Gospodarsko razstavišče, od februarja naprej pa na lokaciji Celovška cesta. V Kranju smo 22. decembra 2020 merilnik delcev PM₁₀ prestavili na novo lokacijo k Medgeneracijskemu centru na Planini. V Državnih merilnih mrežih smo na novo uvedli meritve delcev PM₁₀ na Ptiju in na Vrbanskem platoju v Mariboru. Nacionalni laboratorij za zdravje, okolje in hrano je v letu 2020 na novo izvedel meritve PM₁₀ v Spuhlji pri Ptiju za Mestno občino Ptuj, v Mariboru na Teznom za Mestno občino Maribor in v Grosupljem za Občino Grosuplje. Prehod puščavskega prahu nad Slovenijo je v marcu za nekaj dni zelo onesnažil zrak z delci. Dva dni so bile ravni delcev PM₁₀ na večini merilnih mest po Sloveniji višje od $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Najvišja dnevna raven PM₁₀, $195 \mu\text{g}/\text{m}^3$, je bila izmerjena 27. marca v Zagorju. Do preseganj mejne dnevne vrednosti $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ na posameznih merilnih mestih je prišlo v obdobju od 27. marta do 29. marca vsaj dvakrat. Zaradi zelo velike količine puščavskega prahu (na določenih merilnih mestih je bila raven PM₁₀ tudi izven območja preizkušanja), kvantitativno prispevka ni bilo mogoče določiti in ker je bilo evidentno, da so delci naravnega izvora, smo se odločili, da teh podatkov ne upoštevamo pri določitvi skladnosti s standardi kakovosti zraka.

Za **delce PM_{2,5}** je z letom 2020 predpisana mejna letna vrednost $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ kar je za $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$

manj kot prejšnja leta. Kljub strožjemu predpisu, mejna letna v letu 2020 ni bila presežena na nobenem od petih merilnih mest, kjer izvajamo meritve. Letni trendi ravni delcev PM_{2,5}, kažejo, da nivo onesnaženosti ostaja približno enak. V letu 2020 prvič objavljamo rezultate meritve delcev PM_{2,5} na merilnem mestu Celje. Glede na smernice WHO je povprečna letna raven delcev PM_{2,5} 10 µg/m³ presežena na vseh urbanih merilnih mestih. Obveznost glede stopnje izpostavljenosti za PM_{2,5} je leta 2020 znašala 20 µg/m³ in ni bila presežena na nobenem merilnem mestu.

Povprečna letna vrednost **benzo(a)pirena** je v letu 2020 na merilnih mestih Celje bolnica, Ljubljana Bežigrad, Nova Gorica Grčna in Ptuj dosegla ciljno vrednost. Ravni benzo(a)pirena so bile v letu 2020 na vseh merilnih mestih nekoliko višje kot leta 2019. Najvišje ravni benzo(a)pirena so izmerjene v kurilni sezoni. Takrat so izpusti zaradi ogrevanja večji, dodatno pa so za to obdobje značilni tudi neugodni meteorološki pogoji (slaba prevetrenost in izraziti temperaturni obrati). Poleti so ravni na vseh lokacijah znatno nižje.

Letne ravni **niklja, arzena, kadmija in svinca** so bile v letu 2020 na vseh merilnih mestih nižje od zahtev za kakovost zraka. Najvišje ravni svinca, kadmija in arzena so bile izmerjene v Žerjavu, najvišje vrednosti niklja pa na merilnih mestih Ljubljana Bežigrad in Maribor Titova.

Povprečne letne ravni **benzena** so bile v letu 2020 na vseh merilnih mestih približno enake in tako kot že vsa leta poprej pod mejno vrednostjo. Višje ravni benzena so izmerjene v hladnejši polovici leta, kar je posledica večjih izpustov individualnih kurišč zaradi povečane potrebe po ogrevanju, ter slabših vremenskih pogojev za preveritev ozračja.

Leto 2020 ni bilo ekstremno glede ravni **ozona**. Nižje so bile urne, 8-urne in letne ravni ozona, manj je bilo preseganj zakonsko predpisanih vrednosti za ozon. Na to so vplivale predvsem vremenske razmere v poletnem času in ukrepi epidemije COVID-19 z zmanjšanjem izpustov, ki pripomorejo k tvorbi ozona. Opozorilna vrednost je bila v letu 2020 presežena samo dvakrat na merilnem mestu NG Grčna. Precej manj je bilo preseganj dolgoročne ciljne vrednosti za varovanje zdravja ljudi. Več kot 25 preseganj je bilo zabeleženih le na merilnem mestu NG Grčna. Še vedno pa je povsod presežena ciljna vrednost za varovanje rastlin (AOT40), čeprav je bila v letu 2020 občutno nižja kot leta poprej. Nižji AOT40 v letu 2020 je krepko vplival na znižanje 5-letnega povprečja za izračun dolgoročne ciljne vrednosti. V celi Evropi je bil AOT40 leta 2020 najnižji v zadnjih 14 letih. Leto 2020 je bilo med najtoplejšimi odkar potekajo meritve; ravni **ozona** so bile temu primerno višje, vendar niso segle rekordno visoko. Najvišje urne vrednosti so bile izmerjene v Novi Gorici (189 µg/m³), na Otlici (204 µg/m³) in v Kopru (192 µg/m³). Eno preseganje opozorilne vrednosti je bilo zabeleženo še na Sv. Mohorju (185 µg/m³). Na drugih merilnih mestih ni bilo preseganja opozorilne vrednosti. Alarmne vrednosti (240 µg/m³) niso bile presežene že več kot deset let. Ciljna vrednost za varovanje zdravja je bila presežena na skoraj vseh merilnih mestih, razen v Celju in Zasavju. Dolgoročna ciljna vrednost za varovanje zdravja ter ciljna in dolgoročna ciljna vrednost za varovanje rastlin so bile presežene na vseh merilnih mestih. Povprečne letne ravni ozona ne kažejo opaznih trendov v zadnjih letih. Razlike med posameznimi leti so predvsem posledica vremenskih razmer, posebej tistih poleti, ko so pogoji za nastanek ozona ugodnejši.

V letu 2020 smo v okviru projekta Sinica začeli z meritvami **dušikovih dioksidov** na treh novih merilnih mestih: LJ Celovška, Novo mesto, MB Vrbanski. NLZOH pa je uvedel meritve na merilnem mestu MB Tezno. Mejne in kritične vrednosti v letu 2020 niso bile presežne na nobenem

merilnem mestu. Najvišje ravni so izmerjene na prometno zelo obremenjenih merilnih mestih v času prometnih konic. V letu 2020 so bile povsod v Evropi in tudi v Sloveniji zabeležene nižje ravni NO_x kot v preteklih letih. Na znižanje ravni NO_x so imeli velik vpliv ukrepi, ki so bili povezani s širjenjem epidemije COVID-19, predvsem omejevanje gibanja in zmanjšanje cestnega prometa.

Urne, dnevne in letne ravni **žveplovega dioksida** so v Sloveniji na vseh merilnih mestih že več let pod mejnimi vrednostmi za varovanje zdravja in kritičnimi vrednostmi za varovanje rastlin in tako je bilo tudi v letu 2020. Višje ravni občasno izmerimo le okrog TEŠ. Priporočila WHO [1], ki se nanašajo na dnevno mejno vrednost, so bila v letu 2020 presežena le v Zavodnjah, drugih preseganj ni bilo. V celotni Evropi so ravni SO_2 nizke, precej pod mejnimi vrednostmi, višje vrednosti pa so še vedno izmerjene na Balkanskem polotoku in v Turčiji.

Ravni **ogljikovega monoksida** so bile na vseh merilnih mestih, tako kot že vsa leta doslej, pod mejno vrednostjo in so nižje tudi od priporočil WHO [1].

Povprečna letna koncentracija **živega srebra v zraku**, je v letu 2020 znašala $1,4 \text{ ng/m}^3$, kar je za spoznanje višje kot v preteklem letu. Raven onesnaženosti zraka z **živim srebrom** torej tudi v letu 2020, podobno kot vse od leta 2008, ko smo pričeli z meritvami, zelo nizka in ostaja med najnižjimi v Evropi. Ker meritve izvajamo po približno 14 dni v vsakem kvartalu leta z izposojenim inštrumentom, jih podajamo zgolj kot informativne vrednosti.

Povprečna letna vrednost pH **padavin** se je tudi v letu 2020 gibala med 5,2 in 5,6. Višje pH vrednosti so bile na večini merilnih mest med marcem in septembrom, kar povezujemo predvsem s koncentracijami amonijevih ionov, ki so posledica kmetijskih aktivnosti in izparevanja zaradi višjih temperatur. Pretežni del leta so bile padavine najmanj kisle na merilnih mestih Rateče in Rakičan, nekoliko bolj kisle na merilnem mestu Škocjan in najbolj kisle na merilnih mestih LJ-Bežigrad in Iskrba. V primerjavi z Evropo, so bile padavine na merilnih mestih v Sloveniji med manj kislimi. Podobno velja, da so bile povprečne letne koncentracije amonijevih, sulfatnih in nitratnih ionov med najnižjimi v Evropi. Mokre usedline nitratnih in sulfatnih ionov so bile tudi v letu 2020 povezane predvsem z mesečno količino padavin, saj se z večjo količino padavin iz zraka praviloma spere tudi več onesnaževala. Koncentracija Živega srebra v padavinah je bila tudi v letu 2020 med najnižjimi v Evropi, depozicije le-tega pa za spoznanje višje kot v preteklem letu. Depozicije PAH, so razen za benzo (b,j,k) fluorantene nekoliko nižje kot v preteklem letu. **Vsi podatki za merilno mesto Iskrba so le informativnega značaj, ker zaradi prenove merilnega mesta nismo mogli izvesti vseh vzorčenj.**

Summary

Air pollution with **PM₁₀** was low in 2020. For the first time since the start of measurements at any monitoring site of the national outdoor air quality monitoring network, the sum of exceedances of the daily limit value for PM₁₀ (50 µg/m³) did not exceed 35, which is allowed for the whole year. Most of all exceedances in 2020 occurred in January, when temperature inversions were more frequent. These allowes the dilution of emissions from small combustion plants and traffic, which are the main sources of PM₁₀ particles emissions in Slovenia. The annual limit value for PM₁₀ 40 µg/m³ was not exceeded at any monitoring site. The highest annual average value, 30 µg/m³, was recorded at the Ljubljana Center traffic monitoring site. Among adverse weather conditions, particle levels are still higher than the quality standards prescribed by law. Therefore, it can be argued that better air quality is largely due to favorable weather conditions rather than emission reductions and measures under ambient air quality improvement plans. Within the framework of the Sinica project, the ARSO is renovating and modernizing the national monitoring network for monitoring ambient air quality. In 2020, therefore, there were some changes, both in the monitoring sites and in the set of measurements. Due to the renovation of the monitoring network, there were longer outages of individual measurements in some places. The longest missing set of measurements was in 2020 at the Iskrba monitoring site. Until 31 January 2020, measurements of PM₁₀ particles at the traffic monitoring site in Ljubljana were carried out at the Gospodarsko razstavišče location, and from February onwards at the Celovška cesta location. In Kranj, on 22 December 2020, the monitoring site for PM₁₀ particle meter was moved to a new location at the Medgeneracijski center na Planini. In the national outdoor air quality monitoring network, we have newly introduced measurements of PM₁₀ particles in Ptuj and on the Maribor Vrbanski plato. In 2020, the National Laboratory for Health, Environment and Food performed new measurements of PM₁₀ in Spuhlja near Ptuj for the Municipality of Ptuj, in Maribor in Tezno for the Municipality of Maribor and in Grosuplje for the Municipality of Grosuplje. The passage of desert dust over Slovenia in March polluted the air with particles for a few days. For two days, the levels of PM₁₀ particles at most monitoring sites in Slovenia were higher than 100 µg/m³. The highest daily level of PM₁₀, 195 µg/m³, was measured on March 27 in Zagorje. Exceedances of the daily limit value of 50 µg/m³ at individual monitoring sites occurred at least twice in the period from 27 March to 29 March. Due to the very large amount of desert dust, the quantitative contribution could not be determined and since it was evident that the particles are of natural origin, we decided that these data are not taken into account when determining compliance with air quality standards.

For **PM_{2,5}**, an annual limit value of 20 µg/m³ is prescribed from 2020, which is 5 µg/m³ less

than in previous years. Despite stricter regulations, the annual limit in 2020 was not exceeded at any of the five monitoring sites where we perform measurements. The annual trends in the level of PM_{2,5} show that the level of pollution remains approximately the same. In 2020, for the first time, we were publishing the results of measurements of PM_{2,5} particles at the Celje measuring point. According to WHO guidelines, the average annual level of PM_{2,5} 10 µg/m³ was exceeded at all urban measuring points. The exposure limit obligation for PM_{2,5} was 20 µg/m³ in 2020 and was not exceeded at any monitoring site.

The average annual value of **benzo(a)pyrene** in 2020 reached the target value at the monitoring sites Celje bolnica, Ljubljana Bežigrad, Nova Gorica Grčna and Ptuj. Benzo(a)pyrene levels were slightly higher in 2020 at all monitoring sites than in 2019. The highest benzo(a)pyrene levels were measured during the heating season. At that time, emissions due to heating are higher, and in addition, this period is also characterized by unfavorable meteorological conditions. In summer, levels at all locations are significantly lower.

Annual levels of **nickel, arsenic, cadmium and lead** in 2020 were lower than air quality requirements at all monitoring sites. The highest levels of lead, cadmium and arsenic were measured in Žerjav, and the highest values of nickel at the monitoring sites Ljubljana Bežigrad and Maribor Titova.

The average annual levels of **benzene** in 2020 were approximately the same at all monitoring sites and below the limit value as in all previous years. Higher benzene levels were measured in the colder half of the year, which is due to higher emissions from individual fireplaces due to the increased need for heating, and poorer weather conditions to ventilate the atmosphere.

The year 2020 was not extreme in terms of **ozone** levels. Hourly, 8-hour moving average and annual ozone levels were lower, and there were fewer exceedances of the information threshold (180 µg/m³) for ozone. This has been mainly due to summer weather conditions and measures of the COVID-19 epidemic by reducing emissions that contribute to ozone formation. The information threshold (180 µg/m³) was exceeded only twice in 2020 at the NG Grčna measuring site. There were far fewer exceedances of the long-term target value for health. More than 25 exceedances were recorded only at the measuring site NG Grčna. However, the target value for vegetation protection (AOT40) is still exceeded everywhere, although it was significantly lower in 2020 than in previous years. The lower AOT40 in 2020 had a strong impact on lowering the 5-year average for calculating the long-term target value. Across Europe, the AOT40 in 2020 was the lowest in last 14 years. 2020 was one of the warmest since the measurements took place; **ozone** levels were correspondingly higher, but did not reach record highs. The highest hourly values were measured in Nova Gorica (189 µg/m³), Otlica (204 µg/m³) and Koper (192 µg/m³). One exceedance of the information threshold (180 µg/m³) was also recorded at Sv. Mohor (185 µg/m³). There were no exceedance of the information threshold (180 µg/m³) at other measuring sites. Alarm threshold (240 µg/m³) has not been exceeded for more than ten years at any monitoring site. The target value for health protection was exceeded at almost all measuring points, except in Celje and Zasavje. The long-term target value for health and target value for vegetation protection (AOT40) was exceeded at all monitoring sites. The average annual ozone levels do not show noticeable trends in recent years. Differences between each year are mainly due to weather conditions, especially in the

summer, when the conditions for ozone formation are more favourable.

In 2020, as part of the Sinica project, we started measuring **nitrogen dioxides** at three new measuring sites: LJ Celovška, Novo mesto and MB Vrbanski. NLZOH introduced measurements at the measuring site MB Tezno. The hourly limit value was not exceeded at any monitoring site. The highest levels were measured at heavily congested measuring sites during peak hours. In 2020, lower levels of NO_x were recorded throughout Europe and also in Slovenia than in previous years. The reduction in the level of NO_x was greatly influenced by measures related to the spread of the COVID-19 epidemic, in particular the restriction of movement and the reduction of road traffic.

Hourly, daily and annual levels of **sulfurdioxide** in Slovenia have been below the limit values for health protection and critical values for plant protection at all measuring sites for several years, and this was also the case in 2020. Higher levels were occasionally measured only around TEŠ. The daily limit level recommended by the WHO [1] was exceeded in 2020 only in Zavodnje, there were no other exceedances. Across Europe, SO₂ levels were low, well below the limit values. Higher values are still measured in the Balkans and Turkey.

The levels of **carbon monoxide** at all measuring sites, as in all previous years, were below the limit value and were also lower than level recommended by the WHO [1].

The average annual concentration of **mercury in the air** in 2020 was 1.4 ng/m³, which is higher than in the previous year. The level of air pollution with **mercury** was therefore very low in 2020, as it has been since 2008, when we started measuring, and remains among the lowest in Europe. Because measurements are performed for about 14 days in each quarter of the year with a borrowed instrument, they are given for information purposes only.

The average annual value of pH **precipitation** in 2020 also ranged between 5.2 and 5.6. Higher pH values were at most measuring sites between March and September, which is mainly related to the concentrations of ammonium ions resulting from agricultural activities and evaporation due to higher temperatures. Most of the year the precipitation was the least acidic at the measuring sites Rateče and Rakičan, slightly more acidic at the measuring site Škocjan and the most acidic at the measuring sites LJ-Bežigrad and Iskrba. Compared to Europe, precipitation at measuring sites in Slovenia was among the least acidic. Similarly, average annual concentrations of ammonium, sulphate and nitrate ions were among the lowest in Europe. Wet sediments of nitrate and sulphate ions in 2020 were also associated mainly with the monthly amount of precipitation, as more precipitation usually removes more pollutants from the air. The concentration of mercury in precipitation was also among the lowest in Europe in 2020, and its deposits were found to be higher than in the previous year. PAH deposits, except for benzo (b,j,k), fluoranthenes are slightly lower than in the previous year. **All data for the measuring point Iskrba are for information purposes only, because due to the renovation of the measuring point we could not perform all sampling.**

Tabela A: Tabela prikazuje povprečne letne ravni onesnaževal zraka (C_p), število preseganj mejnih ($>MV$) oziroma ciljnih ($>CV$) in opozorilnih vrednosti ($>OV$) v letu 2020. Prikazana je maksimalna povprečna 8-urna vrednost (C_{max}) za ogljikov monoksid.

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

	PM_{10}		$PM_{2,5}$		ozon		NO_2		SO_2				CO	benzen	B(a)P	As	Cd	Ni	Pb	
	leto	24 ur	leto		1 ura	8 ur	leto	1 ura	leto	zima	1 ura	24 ur	8 ur	leto	leto	leto	leto	leto	leto	
	C_p	$>MV$	C_p	$>OV$	$>CV$		C_p	$>MV$	C_p	C_p	$>MV$	C_{max}	C_p	C_p	C_p	C_p	C_p	C_p	C_p	
DMKZ																				
CE bolnica	21	23	17	42	0	10	20	0	3	3	0	0				1,4	0,38	0,64	1,2	7,0
CE Mariborska	26	34																		
Hrastnik	18	7																		
Iskrba	9*	0*	7*	67*	0	22*	3*	0*	0,8*	0,6*	0*	0*				0,17*	0,17*	0,08*	0,87*	1,6*
Koper	19	17		67	0	24	16	0												
Kranj	19	8																		
Krvavec				85	0	24							0,3*							
LJ Bežigrad	22	18	16	41	0	11	20	0	3	4	0	0	2,1	1,2	1,3	0,30	0,25	1,4	7,1	
LJ Biotehniška	19	22																		
LJ Celovška	19*	3*					25*	0*												
LJ Gospodarsko	56*	16*																		
MB Titova	22	15					25	0					2,2*	1,1	0,93	0,34	0,18	1,4	6,4	
MB Vrbanski	16	3	12	46	0	4	8*	0*												
MS Rakičan	21	11		47	0	4	11	0												
MS Cankarjeva	24	19																		
NG Grčna	20	14	14	50	2	32	21	0								1,1				
NG Vojkova	22	16																		
Novo mesto	19	10		39*	0*	0*														
Otlica				76	0	21														
Ptuj	20	14														1,1	0,50	0,16	1,0	4,0
Trbovlje	21	18		38	0	9	15	0	2	4	0	0	2,3							
Velenje	16	0																		
Zagorje	23	24		37	0	3	17	0	3	3	0	0								
Žerjav	22	5															1,4	2,8	0,92	437
Dopolnilna merilna mreža																				
TEŠ																				
Pesje	15	2							3	3	0	0								
Škale	16	2						7	0	2	3	0	0							
Šoštanj	18	2						10	0	2	2	0	0							
Zavodnje				70	0	8	5	0	3	2	0	0								
Velenje				43	0	1			3	3	0	0								
Topolšica									2	3	0	0								
Veliki vrh									2	2	0	0								
Graška gora									3	4	0	0								
OMS MO Ljubljana																				
LJ Center	30	37					35	0	4	3	0	0		1,3						
Občina Medvode																				
Medvode	17	2															1,2			
MO Celje																				
CE Gaji	22	17					12	0	10	11	0	0								
EIS TEB																				
Sv. Mohor				60	0	8	5	0	7	5	0	0								
MO Maribor																				
MB Tezno	20	9		37	0	0	21	0												
Pohorje				72	0	16														
EIS Anhovo																				
Morsko	15	7																		
Gorenje Polje	18	9																		
Občina Miklavž na Dravskem polju																				
Miklavž	22	24																		
MO Ptuj																				
Spuhlja	25	25																		
Občina Ruše																				
Ruše	18	12																		
Občina Grosuplje																				
Grosuplje	28	32																		

* Podatki so zaradi prevelikega izpada podatkov informativnega značaja.

Kazalo

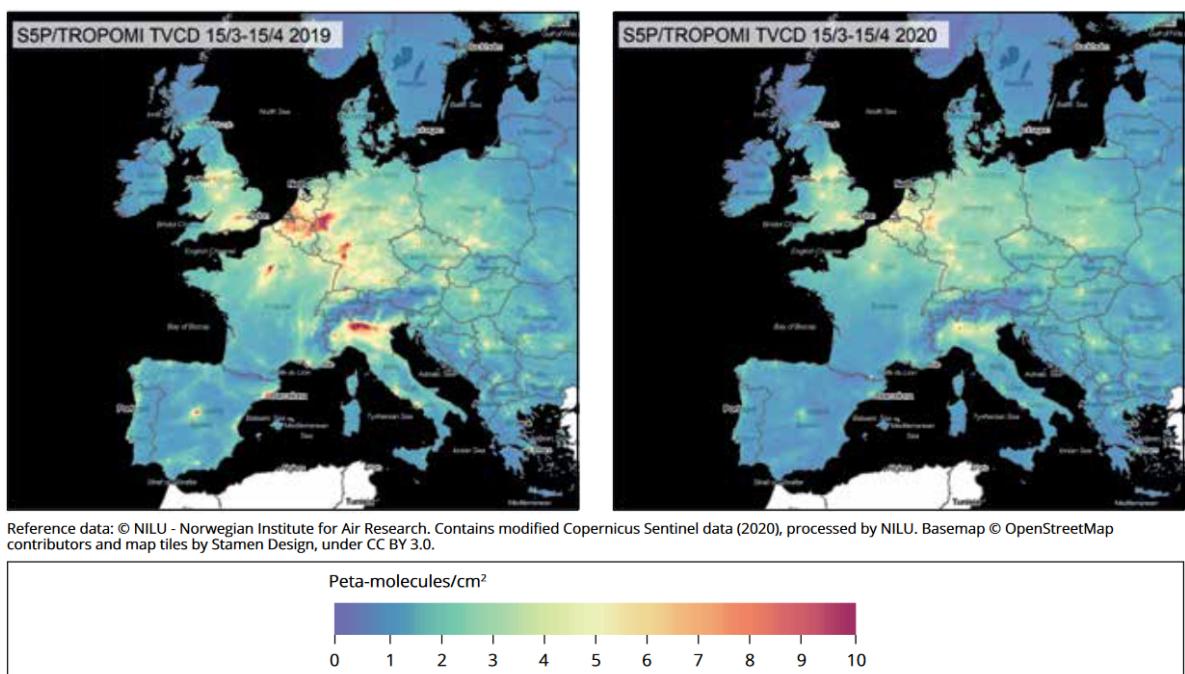
1 Uvod	1
2 Ocenjevanje kakovosti zunanjega zraka	6
2.1 Meritve na stalnih merilnih mestih	8
2.2 Ocena kakovosti zraka s tehniko združevanja podatkov	15
2.2.1 Modelski sistem ALADIN-SI/CAMx in meritve	15
2.2.2 Postopek združevanja meritev in modelskih izračunov	15
2.2.3 Rezultati in analiza za leto 2020	16
2.2.4 Preverjanja uspešnosti tehnike združevanja podatkov	19
3 Vpliv ukrepov zaradi COVID-19 na kakovost zraka	23
3.1 Vpliv ukrepov na kakovost zraka v pomladnjem obdobju	23
3.2 Vpliv ukrepov na kakovost zraka novembra in decembra	26
3.3 Vpliv ukrepov na kakovost zraka v EU	27
4 Epizoda puščavskega prahu	1
4.1 Meteorološka situacija	1
4.2 Izmerjene ravni delcev v Sloveniji	3
4.3 Kemijska sestava delcev PM ₁₀	7
4.4 Modelski izračuni	8
5 Delci PM₁₀ in PM_{2,5}	16
5.1 Izpusti delcev	17
5.2 Zahteve za kakovost zraka	20
5.3 Ravni onesnaženosti	21
5.4 Epizode čezmerne onesnaženosti	35
5.5 Kemijska in elementna sestava delcev	37
5.6 Ravni onesnaženosti v državah EU	37
6 Onesnaževala v delcih - benzo(a)piren in težke kovine	45
6.1 Benzo(a)piren	45
6.1.1 Zahteve za kakovost zraka	45
6.1.2 Ravni onesnaženosti	45

6.1.3 Ravni onesnaženosti v državah EU	48
6.2 Težke kovine	50
6.2.1 Izpusti	51
6.2.2 Zahteve za kakovost zraka	51
6.2.3 Ravni onesnaženosti	51
6.2.4 Ravni onesnaženosti v EU	66
7 Ozon	73
7.1 Zahteve za kakovost zraka	73
7.2 Ravni onesnaženosti	74
7.3 Ravni onesnaženosti v EU	85
8 Dušikovi oksidi	87
8.1 Izpusti	87
8.2 Zahteve za kakovost zraka	88
8.3 Ravni onesnaženosti	89
8.4 Ravni onesnaženosti v EU	98
9 Žveplov dioksid	100
9.1 Izpusti	100
9.2 Zahteve za kakovost zraka	102
9.3 Ravni onesnaženosti	102
9.4 Ravni onesnaženosti v EU	109
10 Ogljikov monoksid	111
10.1 Izpusti	111
10.2 Zahteve za kakovost zraka	112
10.3 Ravni onesnaženosti	113
11 Benzen	114
11.1 Izpusti	114
11.2 Zahteve za kakovost zraka	116
11.3 Ravni onesnaženosti	116
11.4 Primerjava ravni onesnaženosti z EU	120
12 Živo srebro v zraku	122
12.1 Izpusti	123
12.2 Ravni onesnaženosti	124
12.3 Primerjava ravni onesnaženosti v Evropi	125
13 Kakovost padavin	127
13.1 Raven vrednosti pH, električne prevodnosti in onesnaženosti padavin z nekaterimi anorganskimi ioni	127
13.1.1 Podajanje rezultatov meritev	128

13.1.2 Količina padavin, zbranih z ekološkimi vzorčevačniki	128
13.1.3 Mesečna raven vrednosti pH, električne prevodnosti in onesnaženosti padavin z nekaterimi anorganskimi ioni	129
13.1.4 Letna raven vrednosti pH, električne prevodnosti in onesnaženosti padavin z nekaterimi anorganskimi ioni	129
13.1.5 Primerjava ravni onesnaženosti v Evropi	136
13.2 Raven onesnaženosti padavin s težkimi kovinami	139
13.2.1 Primerjava ravni onesnaženosti v Evropi	141
13.3 Raven onesnaženosti padavin z živim srebrom	142
13.3.1 Primerjava ravni onesnaženosti v Evropi	143
13.4 Raven onesnaženosti padavin s policikličnimi aromatskimi ogljikovodiki	144
14 Literatura	146

1. Uvod

V poročilu, ki je pred vami, je prikazana kakovost zraka v letu 2020. To leto je bilo močno zaznamovano z epidemijo oziroma z **ukrepi za omejitev** širjenja COVID-19. V obdobju najbolj intenzivnih ukrepov je zaradi omejitve gibanja, mobilnosti in druženja prebivalstva prišlo do pomembnega zmanjšanja nekaterih izpustov, predvsem iz prometa. V različnih državah po Evropi so bili ukrepi različno intenzivni, praktično povsod pa je bilo zaznati določen vpliv na izboljšanje kakovosti zraka v tem obdobju (slika 1.1). V Sloveniji je bilo izrazito predvsem zmanjšanje ravni dušikovih oksidov spomladi, ko so bile izmerjene vrednosti na merilnih mestih v povprečju 40 % in več nižje kot v enakem obdobju v preteklosti. Podrobnejša analiza vpliva COVID-19 ukrepov na kakovost zraka v Sloveniji je v poročilu prikazana v posebnem poglavju.

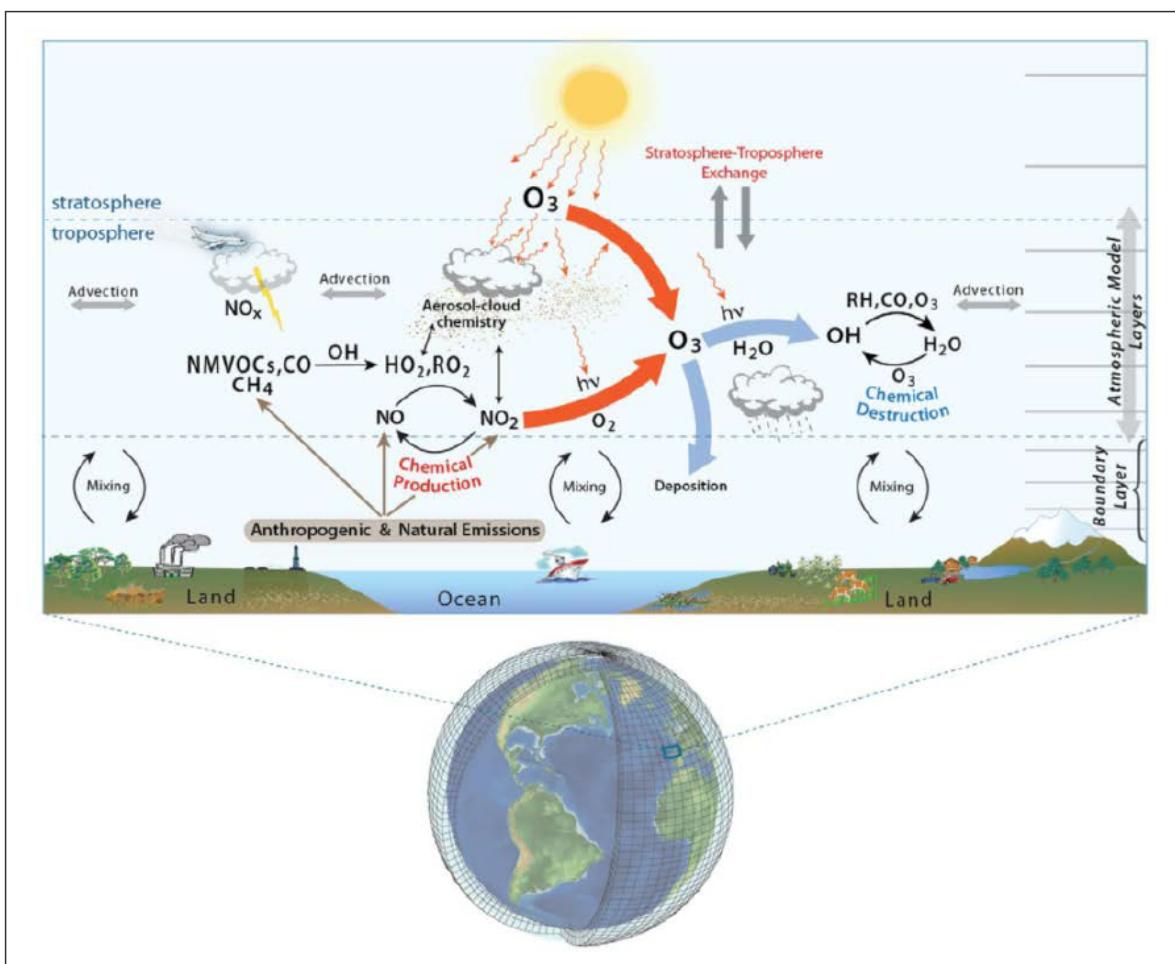


Slika 1.1: Vertikalni stolpec NO₂ v troposferi, povprečne ravni v obdobju med 15. marcem in 15. aprilom 2019 (levo) in enakim obdobjem v letu 2020 (desno), rezultati satelitskih meritev Sentinel-5P/TROPOMI [2].

Nekatere preliminarne študije so nakazale možnost povezave med dolgoročno izpostavljenostjo onesnaženemu zraku in visoko pojavnostjo oziroma resnostjo poteka bolezni COVID-19. Nakazano

je bilo tudi, da bi lahko imel onesnažen zrak vlogo pri aerosolnem prenosu virusne okužbe kratkega doseg, še posebej v notranjih prostorih [2]. Čeprav so za potrditev potrebne nadaljnje raziskave, pa tudi sicer onesnaženost zraka po mnenju Svetovne zdravstvene organizacije (WHO) velja za največje okoljsko tveganje za **zdravje ljudi** v Evropski uniji [3]. Izpostavljeni so zlasti prebivalci mestnih območij. Delci, dušikov dioksid in prizemni ozon so onesnaževala zraka s največjim vplivom na zdravje.

Onesnaževala v zraku so lahko posledica lokalnih izpustov in prizadenejo bližnjo okolico ali pa z gibanjem zračnih mas prepotujejo velike razdalje. Nekatera onesnaževala sodelujejo v zapletenih kemijskih pretvorbah in njihov vpliv lahko seže tudi daleč od prvotnih virov. Onesnaženost zraka je v veliki meri posledica delovanja človeka, lahko pa izhaja tudi iz gozdnih požarov, izbruhovaljanja vulkanov, erozije vetra in drugih naravnih pojavov. Na kakovost zraka poleg izpustov močno vplivajo predvsem vremenske razmere ter geografski pogoji, od katerih je odvisno kako učinkovito se onesnaževala v ozračju redčijo. Slika 1.2 prikazuje shemo kemijskih in fizikalnih procesov, ki vplivajo na troposferski ozon.

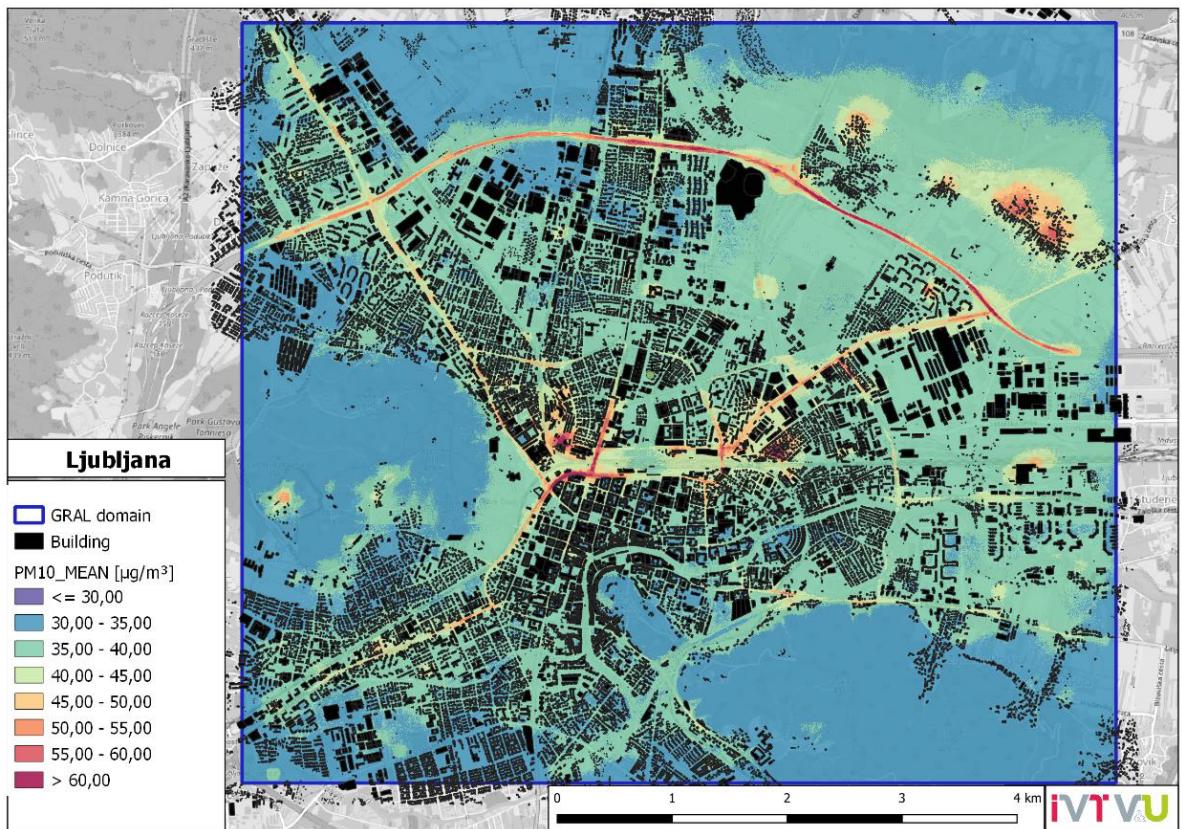


Slika 1.2: Shema kemijskih in fizikalnih procesov, odgovornih za troposferski ozon. Fizikalni procesi vključujejo advekcijski prenos, konvekcijo, turbulenco, mešanje mejne plasti, temperaturo, vlažnost, oblakost, zemljepisno širino/vpadni kot sončnih žarkov in letni čas. Kemijski procesi vključujejo fotokemični proces nastajanja in razgradnje ozona, medsebojni vpliv oblakov in aerosolov, mokro in suho depozicijo ter izpuste predhodnikov iz antropogenih in naravnih virov [4].

Evropska **zakonodaja** pokriva področje kakovosti zraka v treh tematskih sklopih. V prvi sklop sodita Direktivi 2008/50/ES [5], 2004/107/ES [6], 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 t.i. NEC Direktiva [7], ki določa nacionalne obveznosti zmanjšanja antropogenih izpustov snovi, ki povzročajo zaključevanje, 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 [5] in Direktiva 2004/107/ES o arzenu, kadmiju, živem srebru, niklju in policikličnih aromatskih ogljikovodikih [6] v zunanjem zraku. Direktivi sta bili v slovenski pravni red prenešeni z Uredbo o kakovosti zunanjega zraka [8], Uredbo o arzenu, kadmiju, živem srebru, niklju in policikličnih aromatskih ogljikovodikih v zunanjem zraku [9] ter s Pravilnikom o ocenjevanju kakovosti zunanjega zraka [10]. 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.

Na Agenciji RS za okolje (ARSO) spremljamo kakovost zraka v Sloveniji že več desetletij. Skladno s Pravilnikom o ocenjevanju kakovosti zunanjega zraka [10] zagotavljamo v okviru državne meritne mreže na stalnih meritnih mestih zanesljive in kakovostne **meritve** delcev PM_{10} in $PM_{2,5}$, ozona (O_3), žveplovega dioksida (SO_2), ogljikovega monoksida (CO), dušikovega dioksida (NO_2), dušikovih oksidov (NO_x), svinca (Pb), benzena (C_6H_6), arzena (As), kadmija (Cd), niklja (Ni) in benzo(a)pirena. Poleg tega občasno izvajamo tudi 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 [11], in programu Svetovne meteorološke organizacije o Opazovanju atmosfere zemlje (WMO-GAW). Te meritve poleg ravni onesnaževal v zraku obsegajo tudi spremljanje kakovosti padavin in usedlin. V okviru projekta Sinica, ki smo ga na ARSO izvajali od pomladi 2016 do pomladi 2021, smo med drugim drugim posodobili Državno meritno mrežo za spremljanje kakovosti zunanjega zraka. Nadgradili in posodobili smo stara meritna mesta (nova programska oprema, novi meritniki) in vzpostavili meritve na novih stalnih meritnih mestih. Natančnejši opis meritne mreže je naveden v nadaljevanju poročila.

Kot pomoč pri ocenjevanju kakovosti zraka, analizah vzrokov čezmerne onesnaženosti in napovedovanju ravni onesnaževal na ARSO uporabljamo **numerične modele**. Vzpostavljen imamo regionalen disperzijsko-fotokemičen model CAMx, sklopljen z meteorološkim modelom ALADIN/SI ter statistične modele za napovedovanje ravni delcev oziroma ozona po posameznih krajih. Za potrebe prostorsko podrobne ocene kakovosti zraka ter celostne ocene vpliva virov po posameznih območjih, onesnaževalih in emisijskih virih, smo v okviru projekta LIFE-IP PREPAIR [12] vzpostavili ocenjevanje kakovosti zraka s pomočjo postopkov združevanja modelskih rezultatov in meritev za posamezna ponesnaževala (angl. data-fusion) ter orodji SHERPA in RIAT+. Slednji omogoča vrednotenje različnih ukrepov za izboljšanje kakovosti zraka tudi iz ekonomskega vidika. V zaključni



Slika 1.3: Povprečne ravni delcev PM_{10} januarja 2016 na območju Ljubljane. Izračuni so narejeni z verigo modelov ALADIN/SI-CAMx-GRAMM/GRAL v okviru projekta SINICA. Prostorska ločljivost izračunov lokalnega disperzijskega modela GRAL je $4 \text{ m} \times 4 \text{ m}$.

fazi vzpostavljanja v okviru obstoječe modelske verige na ARSO je tudi lokalni model onesnaženja GRAMM/GRAL, katerega primer izračuna onesnaženosti zraka z delci PM_{10} na območju Ljubljane je prikazan na sliki 1.3.

Podatke o oceni kakovosti zraka skupaj z opisom načina ocenjevanja redno **poročamo** Evropski okoljski agenciji (EEA). Poleg meritev smo za leto 2020 prvič poročali tudi izračune regionalnega modela CAMx. Poročani podatki so osnova za ugotavljanje skladnosti z mejnimi in ciljnimi vrednostmi ravni onesnaževal v zraku in predstavljajo osnovno informacijo o ukrepih, 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 meritve objavimo v mesečnem biltenu Naše okolje. Rezultati meritve, 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 PM₁₀ želimo prebivalce vzpodbuditi, da s svojim ravnanjem pripomorejo k nižjim izpustom onesnaževal. V ta namen dnevno izdajamo **napoved** kakovosti zraka; v zimskem času dnevne ravni delcev PM₁₀, v poletnem času pa najvišje urne ravni ozona v dnevnu. Obenem prikazujemo trenutno stopnjo onesnaženosti zraka z **indeksom** kakovosti zunanjega zraka, ki hkrati upošteva ravni več onesnaževal, in sicer delcev PM₁₀, PM_{2,5}, NO₂, SO₂ in O₃.

V tem poročilu prikazujemo rezultate meritev kakovosti zraka v letu 2020, za ponazoritev trendov onesnaženosti zraka pa tudi rezultate meritev iz prejšnjih obdobij. V poročilu smo osredotočeni na onesnaževala s predpisanimi mejnimi in ciljnimi vrednostmi. Vključili smo tudi rezultate spremljanja kakovosti padavin, s katerimi se onesnaževala izpirajo iz zraka in vnašajo v vode in tla. Na več mestih smo za oceno prostorske porazdelitve in za pomoč pri razlagi epizod onesnaženja dodali rezultate modelskih izračunov. Pri posameznih onesnaževalih navajamo podatke o izpustih iz državnih evidenc, ki se vodijo na ARSO. V ločenih poglavjih predstavljamo vpliv COVID-19 ukrepov na kakovost zraka ter izredni dogodek vdora puščavskega prahu iz puščav Azije.

2. Ocenjevanje kakovosti zunanjega zraka

V skladu z Uredbo o kakovosti zunanjega zraka [8] in Pravilnikom o ocenjevanju kakovosti zunanjega zraka [10] lahko ocenjevanje kakovosti zunanjega zraka opravljamo s pomočjo rezultatov meritev na stalnih meritnih mestih, z indikativnimi meritvami, modeliranjem kakovosti zraka ter z objektivnimi ocenami. Za meritve na stalnih meritnih mestih zakonodaja predpisuje stroge zahteve za kakovost in razpoložljivost rezultatov meritev. Zahteve glede kakovosti meritev za indikativne meritve so nižje, zato jih je mogoče opravljati s preprostejšimi metodami in/ali z manjšo časovno pokritostjo.

Slovenija je po Uredbi o kakovosti zunanjega zraka za ocenjevanje kakovosti zunanjega zraka razdeljena na dve aglomeraciji, Ljubljano in Maribor, in dve območji, ki sta različni za težke kovine in za druga onesnaževala (tabeli 2.1 in 2.2). Za ocenjevanje kakovosti zunanjega zraka glede na ravni SO₂, NO₂, CO, O₃, C₆H₆, PM₁₀, PM_{2,5} in BaP je Slovenija razdeljena na celinski (SIC) ter primorski (SIP) del. Za težke kovine je zaradi svoje 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 meritev, ki morajo biti kakovostnejše. Pravilnik o kakovosti zunanjega zraka določa za posamezno onesnaževalo spodnji in zgornji ocenjevalni prag. 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. Ko je onesnaženost zraka večja od zgornjega ocenjevalnega praga, so zahteve za najmanjše število stalnih meritnih mest večje.

V nadaljevanju so predstavljene meritve na stalnih meritnih mestih, uporabljeni za potrebe ocenjevanja kakovosti zunanjega zraka v letu 2020. Predstavljeni so tudi pristopi modeliranja, ki jih uporabljamo na ARSO in temeljijo na izračunih modelskega sistema ALADIN-SI/CAMx.

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

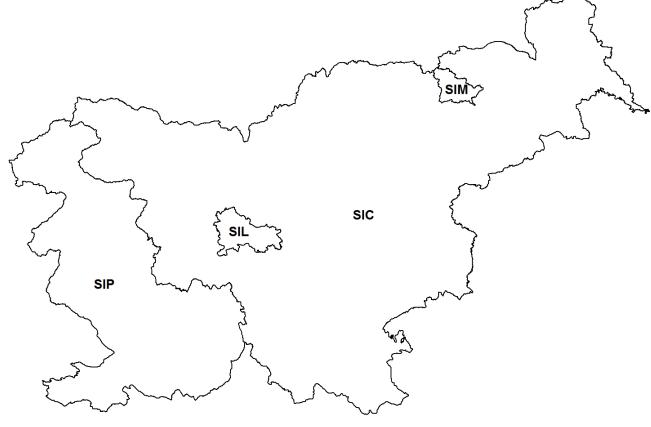
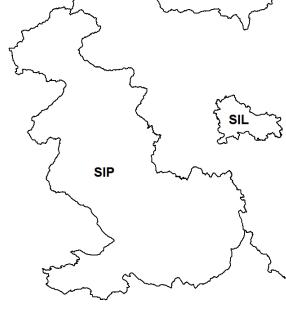
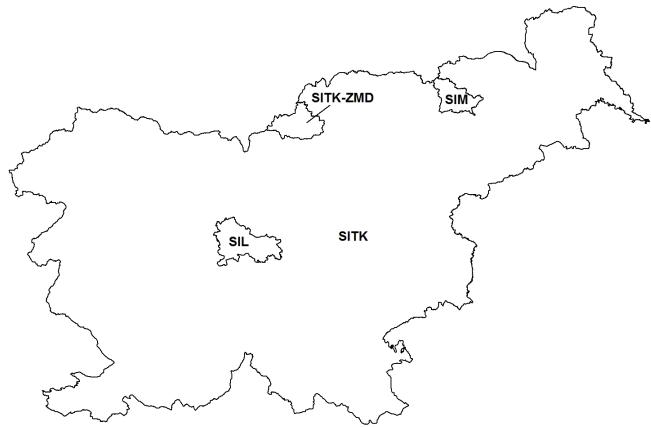
Oznaka območja	Ime območja	Karta območij in aglomeracij
SIC	celinsko območje	
SIP	primorsko območje	
Oznaka aglomeracije	Ime aglomeracije	
SIL	Ljubljana	
SIM	Maribor	

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

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

2.1 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 začeli uvajati v okviru državne mreže ANAS (analitično-nadzorni alarmni sistem) v začetku osemdesetih let. V prvem obdobju delovanja državne mreže je bil poudarek na meritvah ravni žveplovega dioksida. Kasneje smo meritno mrežo postopoma širili in nadgradili še z meritvami drugih onesnaževal. ARSO upravlja državno meritno mrežo za spremljanje kakovosti zunanjega zraka (DMKZ).

V letu 2020 je DMKZ sestavljalo 23 meritnih mest. S temi meritvami zagotavljamo osnovne podatke o kakovosti zraka v Sloveniji. Poleg meritev v okviru DMKZ na stalnih meritnih mestih se meritve izvajajo tudi v okolini 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 poleg rezultatov meritev DMKZ navedeni tudi rezultati meritev meritnih mrež termoelektrarn (TEŠ, TET, TEB in TE-TOL), cementarne Salonit Anhovo, mestnih občin Ljubljana, Maribor, Ptuj in Celje ter občin Miklavž na Dravskem polju, Ruše, Medvode in Grosuplje.

Na ARSO smo od pomladi 2016 do pomladi 2021 izvajali projekt Sinica, v okviru katerega smo med drugim posodobili Državno meritno mrežo za spremljanje kakovosti zunanjega zraka. Nadgradili in posodobili smo stara meritna mesta (nova programska oprema, novi meritniki) in vzpostavili meritve na novih stalnih meritnih mestih. V letu 2020 je zato prišlo do nekaj sprememb, tako meritnih mest kot tudi nabora meritev. Zaradi prenove meritne mreže meritev nismo izvajali celo leto, v preglednicah so ti rezultati označeni z *.

1. oktobra 2019 smo zaradi prenove meritnega mesta ukinili vse meritve v Hrastniku. Ukinjene so bile meritve ozona in SO_2 . 4. 6. 2020 smo tu vzpostavili meritve delcev (PM_1 , $\text{PM}_{2,5}$, PM_4 , PM_{10}). Nabor meritve delcev smo v novi mreži, z novimi avtomatskimi meritniki HORIBA APDA372, razširili. Poleg ravni delcev po velikosti se meri še celotna raven delcev v zraku in število vseh delcev. Taki meritniki so v prenovljeni mreži na vseh meritnih mestih kjer potekajo avtomatske meritve. Nadalje bomo vse te meritve z meritnikom APDA372 navajali kot meritve delcev.

19. 12. 2019 smo pričeli z meritvami na prenovljenem meritnem mestu v Novi Gorici, postajo smo po novem preimenovali v NG Grčna. Nabor meritev je nespremenjen, tu potekajo meritve delcev, ozona in NO_x . Z meritnikom HORIBA APNA merimo vsa tri onesnaževala, in sicer NO_x , NO_2 in NO.

Najdaljši izpad meritov je bil v letu 2020 na meritnem mestu Iskrba. 18. 5. 2020 smo na Iskrbi začeli s celovito prenovo meritnega mesta. S 1. septembrom smo zopet uvedli dnevne meritve delcev PM_{10} in $\text{PM}_{2,5}$, avtomatske meritve onesnaženosti zraka pa se tam izvajajo šele od januarja 2021 (SO_2 , ozon, NO_2 , delci).

27. 5. 2020 so se začele meritve na prenovljenem meritnem mestu v Mariboru. Postajo smo preimenovali v MB Titova. Na tem meritnem mestu so prej potekale meritve delcev, CO in NO_x , na novi postaji pa se merijo sedaj delci in NO_x . Ukinjene so bile meritve CO.

V juniju 2020 so bile vzpostavljene meritve na štirih prenovljenih meritnih mestih. Hrastnik smo omenili že v zgornjem tekstu. 3.6.2020 so se pričele meritve v Celju. Postajo smo preimenovali v CE bolnica. Nabor meritev ostaja enak, meri se delce, SO_2 , ozon in NO_x . 4. 6. 2020 je bila vzpostavljena popolnoma nova prometna avtomatska meritna postaja LJ Celovška. Na tem

merilnem mestu se merijo delci in dušikovi oksidi. Že februarja smo na tem merilnem mestu uvedli meritve delcev z merilnikom Leckel. Merilno mesto LJ Celovška je nadomestilo meritve na prometnem merilnem mestu LJ Gospodarsko razstavišče, kjer so bile meritve ukinjene 31.januarja. 4. 6. 2020 smo vzpostavili novo avtomatsko merilno postajo v Novem mestu. Predtem smo tu merili samo dnevne ravni delcev, sedaj merimo 10 minutne ravni ozona, dušikovih oksidov in delcev.

Mesec dni kasneje, 6. 7. 2020, smo priklopili novo avtomatsko postajo na že obstoječi lokaciji v Zagorju. Na stari postaji smo merili delce, SO_2 , NO_x in ozon, na novi smo tem meritvam dodali še meritve črnega ogljika.

7. 7. 2020 smo na novo priklopili dve avtomatski merilni postaji, MB Vrbanski in MS Rakičan. Na obeh merilnih mestih so predtem meritve že potekale. Do konca leta 2019 je dnevne ravni delcev na lokaciji MB Vrbanski izvajal NLZOH, od 13. 11. 2019 meritve izvaja ARSO. Na merilnem mestu MB Vrbanski smo prej z avtomatskim merilnikom merili samo ozon, sedaj pa poleg ozona merimo še NO_x in delce. Na merilnem mestu MS Rakičan se nabor meritev ni spremenil, ves čas merimo delce, ozon in dušikove okside.

Na Krvavcu smo 30. 10. 2020 na prenovljeni postaji ukinili meritve CO in vpeljali meritve črnega ogljika. Še vedno se na tem merilnem mestu meri raven ozona.

Na Otlici je bila postaja posodobljena 13. 11. 2020, tu se še vedno izvajajo meritve ravni ozona.

Z mobilno postajo kombi smo 16. 12. 2020 pričeli z avtomatskimi meritvami na lokaciji v Desklah. Tu sedaj merimo ravni naslednjih onesnaževal: SO_2 , ozon, NO_x , CO in delce.

17. 12. 2020 smo na Ptiju postavili mini avtomatsko postajo z meritvami delcev. Že od decembra 2019 so na tem merilnem mestu potekale dnevne meritve delcev. Nacionalni laboratorij za zdravje, okolje in hrano je letu 2020 na novo uvedel meritve PM_{10} v Spuhli pri Ptiju za Mestno občino Ptuj.

V Kranju smo 22. 12. 2020 referenčni merilnik delcev PM_{10} prestavili na novo lokacijo k Medgeneracijskemu centru na Planini. Tam je januarja 2021 pričela z delovanjem avtomatska merilna postaja, kjer se merijo ravni delcev.

Prenova ostalih avtomatskih merilnih postaj je bila izvedena v letu 2021.

Nacionalni laboratorij za zdravje, okolje in hrano je v letu 2020, poleg Ptuja (naročnik MO Ptuj), na novo pričel z meritvami še na lokaciji Maribor Tezno za Mestno občino Maribor in v Grosuplju (naročnik Občina Grosuplje).

Merilna mesta so klasificirana glede na mikrolokacijo (tabela 2.4), ki so določena v Pravilniku o ocenjevanju kakovosti zunanjega zraka [10]. 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 MS Rakičan uvrščamo v tip podeželskega/obmestnega ozadja. Na to merilno mesto neposredno vplivajo izpusti iz bližnje ceste in naselja ter obdelava kmetijskih površin. Podatki meritev z merilnih mest Krvavec, Iskrba in Otlica so namenjeni predvsem za pridobivanje informacij o stanju onesnaženosti zraka na širšem področju za zaščito okolja (narava, rastline, živali) in ljudi ter za potrebe ugotavljanja in raziskav daljinskega transporta onesnaženosti. Merilno mesto Žerjav je locirano ob industrijskem obratu, zato ga uvrščamo med industrijska območja.

Merilno mesto Iskrba je vključeno v program EMEP, ki se v okviru Konvencije o onesnaževanju zraka na velike razdalje preko meja osredotoča predvsem na daljinski transport onesnaženosti ter na regionalne probleme zakisljevanja, evtrofikacije, fotokemijskega smoga ter na onesnažen zrak s težkimi kovinami, delci in obstojnimi organskimi onesnaževali. Merilno mesto Krvavec je del programov EMEP in WMO GAW in je pomembno predvsem za spremeljanje transporta toplogrednih plinov in fotooksidantov. Na obeh merilnih mestih v neobremenjenem okolju se spremila 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 uporablajo le, če je bila s preizkusi dokazana njihova ekvivalentnost referenčni metodi.

Merilniki na osnovi referenčnih metod za ozon, dušikove okside, žveplov dioksid, ogljikov dioksid 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.

Meritve delcev PM₁₀ se na nekaterih merilnih mestih vzporedno izvajajo z referenčno in z avtomatsko metodo. Avtomatska metoda je sicer manj točna, vendar so podatki na voljo v realnem času in s časovno ločljivostjo 10 minut na prenovljenih merilnih mestih (prej 30 minut). 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. Z avtomatskimi meritvami hkrati merimo ravni različno velikih delcev: PM₁, PM_{2,5}, PM₄, PM₁₀. Poleg ravni delcev po velikosti se meri še celotna raven delcev v zraku in število vseh delcev.

Meritve kakovosti padavin v okviru državne merilne mreže kakovosti padavin (DMKP), ki jih izvaja ARSO, potekajo na petih po Sloveniji enakomerno razporejenih merilnih mestih. V tabeli 2.5 so podana merilna mesta za meritve kakovosti padavin v letu 2020, ki delujejo v okviru DMKP. Nabor meritev za ugotavljanje kakovosti padavin na merilnih mestih DMKP je podan v tabeli 2.6. Štiri merilna mesta so v podeželskem okolju (Iskrba, Murska Sobota Rakičan, Rateče, Škocjan), v urbanem območju je le merilno mesto Ljubljana Bežigrad. Mreža kakovosti padavin se glede na prejšnja leta ni spremenila.

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.

Tabela 2.3: 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 Mariborska	238	521412	121576	T	U	R
Hrastnik	290	506805	111089	B	U	IR
Iskrba	540	489292	46323	B	R(REG)	N
Koper	56	399911	45107	B	U	R
Kranj	391	451356	122802	B	U	R
Krvavec	1740	464447	128293	B	R(REG)	N
LJ Bežigrad	299	462673	102490	B	U	RC
LJ Biotehniška	297	459457	100591	B	U	R
LJ Celovška	305	460697	103230	T	U	R
LJ Gospodarsko	299	462271	101945	T	U	R
MB Titova	270	550305	157414	T	U	RC
MB Vrbanski	280	548449	158498	B	U	R
MS Cankarjeva	189	588979	168768	T	U	RC
MS Rakičan	188	591591	168196	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	503116	110533	B	S	RCI
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
Zavodnje	765	500244	142689	I	R(REG)	A
Velenje	389	508928	135147	B	U	RCI
Topolšica	399	501977	140003	B	S	IR
Veliiki Vrh	555	503542	134126	I	R(REG)	A
Graška gora	774	509905	141184	I	R(REG)	A
EIS TET						
Dobovec	695	506034	106865	I	R	A
Kovk	608	508834	109315	I	R	A
Ravenska vas	577	501797	108809	I	R	A
Kum	1209	506031	104856	B	R(REG)	I
Prapretno	380	506155	110524	I	R	A
OMS MO Ljubljana						
LJ Center	300	461919	101581	T	U	RC
EIS TE-TOL						
Vnajnarje	630	474596	100884	I	R	A
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	394670	104013	B	R	AI
Gorenje Polje	120	393887	103094	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

Tip merilnega mesta:

B=ozadje (background), T=prometni (traffic), I=industrijski (industrial)

Tip območja:

U=mestni (urban), S=predmestni (suburban), R=podeželjski (rural), NC=primestni (near city)

REG=regionalno (regional)

Začilnosti območja:

R=stanovanjsko (residential), C=poslovno (commercial), I=industrijsko (industrial),

A=kmetijsko (agricultural), N=naravno (natural)

Tabela 2.4: Meritve onesnaževal in meteoroloških parametrov na stalnih merilnih mestih v letu 2020.

Merilno mesto	SO ₂	O ₃	NO ₂ , NO _x	PM ₁₀	PM _{2,5}	CO	Benzén	Težke kovine v PM ₁₀	PAH v PM ₁₀	EC/OC in ioni v PM _{2,5}	Hg	Meteorološki parametri
DMKZ												
CE bolnica	+	+	+	+	+			+				+
CE Mariborska				+								
Hrastnik	+	+		+								+
Iskrba	+	+	+	+	+			+	+	+	+	+
Koper		+	+	+								+
Kranj				+								
Krvavec		+				+						+
LJ Bežigrad	+	+	+	+	+	+	+	+	+			+
LJ Biotehniška				+								
LJ Celovška			+	+								
LJ Gospodarsko				+								
MB Titova		+	+		+	+	+	+	+			+
MB Vrbanski	+		+		+							
MS Rakican	+	+	+									+
MS Cankarjeva				+								
NG Grčna	+	+	+	+					+			+
NG Vojkova				+								
Novo mesto				+								+
Otlica		+										+
Ptuj				+								
Trbovlje	+	+	+	+		+						+
Velenje*				+								
Zagorje	+	+	+	+								+
Žerjav				+				+				
Dopolnilna merilna mreža												
EIS TEŠ												
Pesje	+			+								
Škale	+		+	+								+
Šoštanj	+		+	+								+
Zavodnje	+	+	+									+
Velenje	+	+										+
Topoščica	+											+
Veliki Vrh	+											+
Graška gora	+											+
OMS MO LJUBLJANA												
LJ Center	+	+	+		+							+
MO Celje												
CE Gajji	+	+	+									
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				+								

PM₁₀: delci z aerodinamičnim premerom do 10 µm
 PM_{2,5}: delci z aerodinamičnim premerom do 2,5 µm
 PAH: policklikični aromatski ogljikovodiki v delcih PM₁₀
 Težke kovine: arzen, kadmij, nikelj in svinec v delcih PM₁₀ in PM_{2,5}
 EC/OC: Elementni in organski ogljik
 Meteorološki parametri: temperaturna zraka v okolici, hitrost vetra, smer vetra, relativna vlažnost zraka, globalno sončno sevanje, zračni tlak (se ne meri na Iskrbi)

* Z merilnim mestom ne upravlja ARSO.

Tabela 2.5: Nadmorska višina in koordinate 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 2.6: 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-}

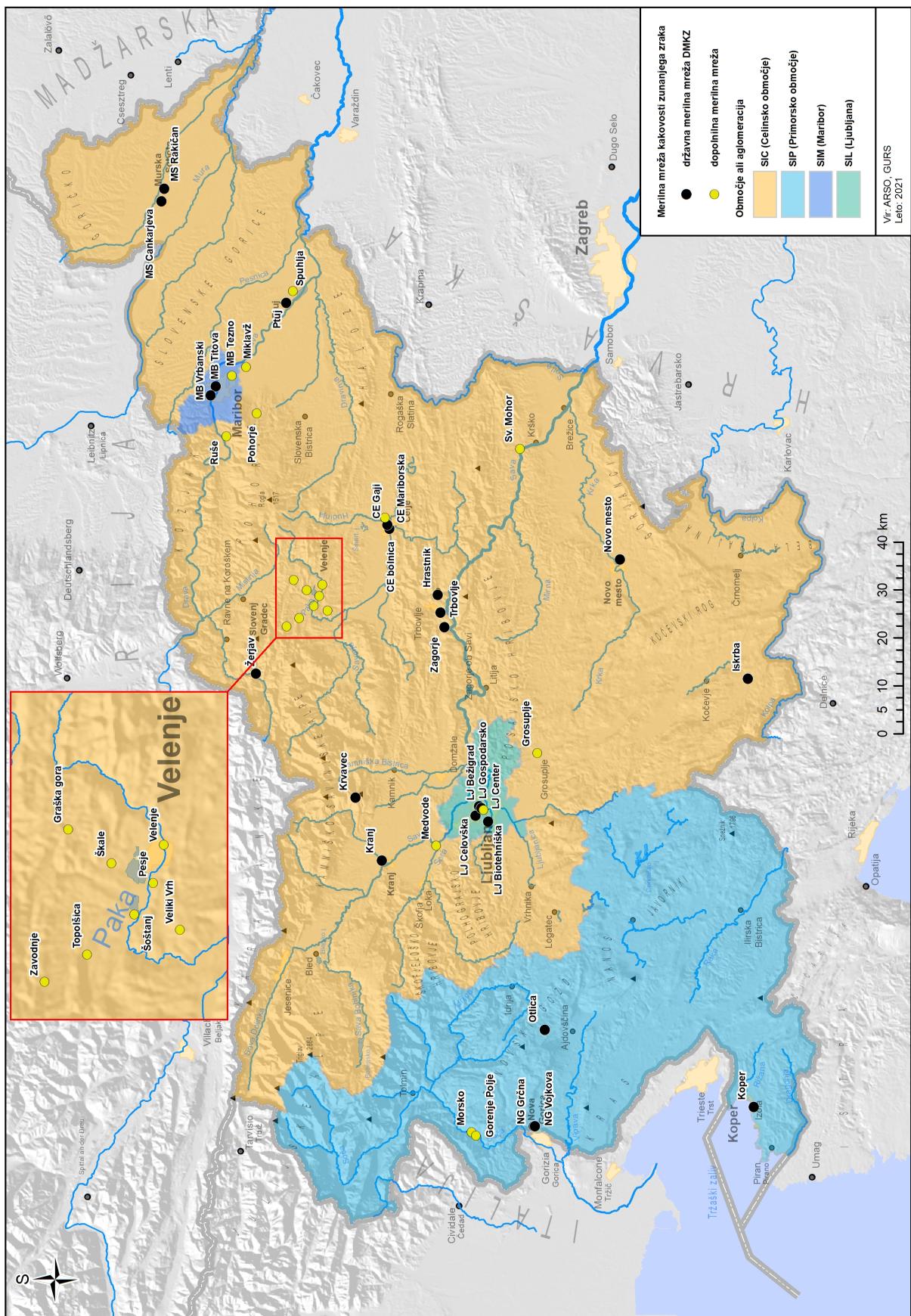
Policiklični aromatski ogljikovodiki (PAH):

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 2.1: Merilna mreža kakovosti zunanjega zraka v letu 2020.

2.2 Ocena kakovosti zraka s tehniko združevanja podatkov

Za ocenjevanje kakovosti zraka poleg meritev uporabljamo tudi rezultate modeliranja. Rezultati numeričnih modelov imajo zaradi različnih negotovosti omejeno natančnost, ki jo je mogoče izboljšati s **tehniko združevanja podatkov**, pri kateri s pomočjo statistične analize optimalno združimo modelske rezultate z meritvami ravni onesnaževal na posameznih merilnih mestih. Kot rezultat dobimo najboljšo možno oceno prostorske porazdelitve onesnaževal.

S tehniko združevanja meritev in modelskih izračunov na ARSO v okviru projekta LIFE-IP PREPAIR [12] pripravljamo letne karte povprečnih vrednosti onesnaževal PM_{10} , $PM_{2,5}$ in NO_2 , ter letna povprečja dnevnih maksimumov 8-urnih drsečih povprečij za O_3 . Postopek priprave in rezultati za leto 2020 so predstavljeni v nadaljevanju.

2.2.1 Modelska sistem ALADIN-SI/CAMx in meritve

Na ARSO imamo za namen ocenjevanja kakovosti zraka na območju Slovenije, analize vzrokov čezmerne onesnaženosti zraka in za podporo pripravi napovedi onesnaženosti zraka z delci PM_{10} in O_3 , vzpostavljen regionalni disperzijsko-fotokemijski model CAMx (Comprehensive Air quality Model with extensions; Environ, 2018), sklopljen z operativnim meteorološkim modelom ALADIN/SI. Podrobnejši podatki o modelskem sistemu so opisani v letnem poročilu kakovosti zraka za leto 2019 [13].

Ocenjevanje kakovosti zraka s tehniko združevanja podatkov je del projekta LIFE-IP PREPAIR, v katerem ARSO sodeluje z namenom oceniti vpliv izpustov Padske nižine na kakovost zraka v Sloveniji ter vpliv v Padski nižini izvedenih ukrepov na izboljšanje kakovosti zraka pri nas. V analizo so tako vključene vse meritve iz območja projekta, meritve iz merilnih mest v Sloveniji kot v Padski nižini. Število vseh merilnih mest, vključenih v pripravo letnih analiz za leto 2020 je po posameznih onesnaževalih navedeno v preglednici 2.7.

Tabela 2.7: Število merilnih mest uporabljenih za pripravo prostorskih kart s tehniko združevanja podatkov za leto 2020.

Onesnaževalo	Število postaj
PM_{10}	218
$PM_{2,5}$	97
NO_2	233
O_3	164

2.2.2 Postopek združevanja meritev in modelskih izračunov

Združevanje podatkov (angl. data fusion) je ena od tehnik asimilacije podatkov. 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 podatkov 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.

2.2.3 Rezultati in analiza za leto 2020

V nadaljevanju so prikazani rezultati metode združevanja podatkov za povprečne letne vrednosti PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$ in NO_2 , ter letna povprečja dnevnih maksimumov 8-urnih drsečih povprečij za O_3 za leto 2020.

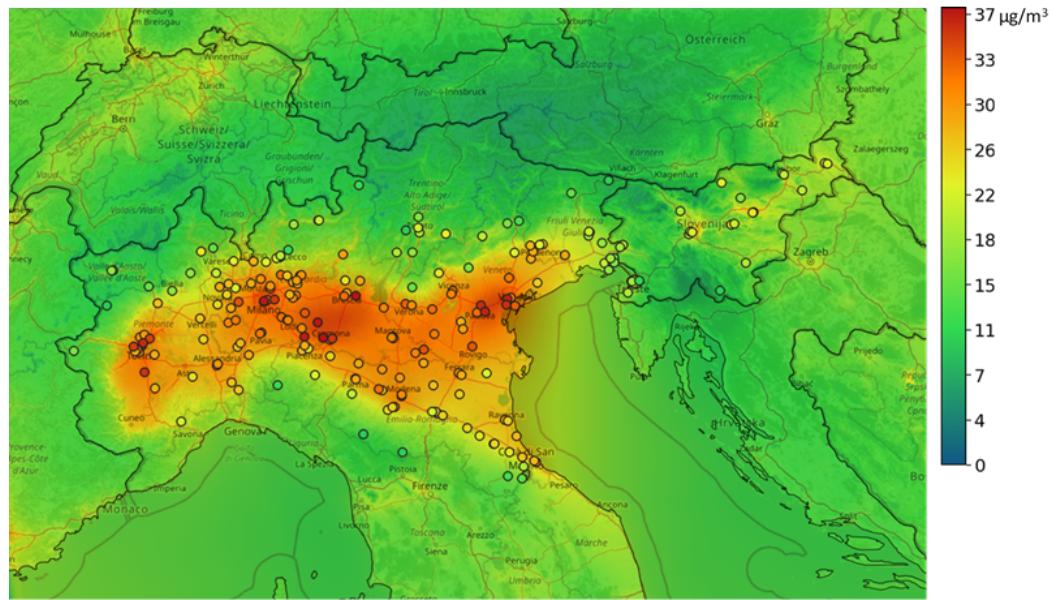
Primerjava prostorske porazdelitve ravni onesnaževal izračunane z numeričnim modelom in karte onesnaženja, ki je rezultat združevanja podatkov (slike 2.2, 2.3, 2.4 in 2.5) pokaže, da z združevanjem podatkov izboljšamo dve stvari. Prvič, izboljšamo ločljivost modelskih rezultatov iz 4,4 km na 1 km z upoštevanjem nadmorske višine, tako da v prostorski porazdelitvi onesnaženja razločimo več podrobnosti povezanih s terenom, ter drugič, rezultate iz prvega koraka dodatno obtežimo z rezultati meritev, da dobimo prostorsko porazdelitev, ki je predvidoma najbližje dejanskemu stanju.

Pri ocenjevanju kakovosti zraka s postopkom združevanja podatkov se srečujemo tudi z nekaterimi pomanjkljivostmi. Model ALADIN-SI/CAMx praviloma vrednosti PM_{10} podcenjuje, nekoliko manj podcenjuje NO_2 , medtem ko so vrednosti O_3 kvečjemu ponekod previsoke (slike 2.2, 2.3, 2.4 in 2.5). Podcenjevanje PM_{10} in $\text{PM}_{2,5}$ je posebej izrazito v ozkih dolinah, kjer sta zaradi slabe modelske ločljivosti pomanjkljivo predstavljena veter in stabilnost ozračja. Precenjevanje pri O_3 opazimo na višje ležečih območjih (npr. zahodne Alpe v Italiji), pri čemer z vključitvijo meritev precenitve zmanjšamo. Pri NO_2 se izkaže, da ponekod vpliv meritev pri popravku modelskih polj preveč razširimo v okolico, saj so večja odstopanja med meritvami in modelom lahko posledica velike lokalne spremenljivosti NO_2 (visoke izmerjene vrednosti v neposredni bližini cest).

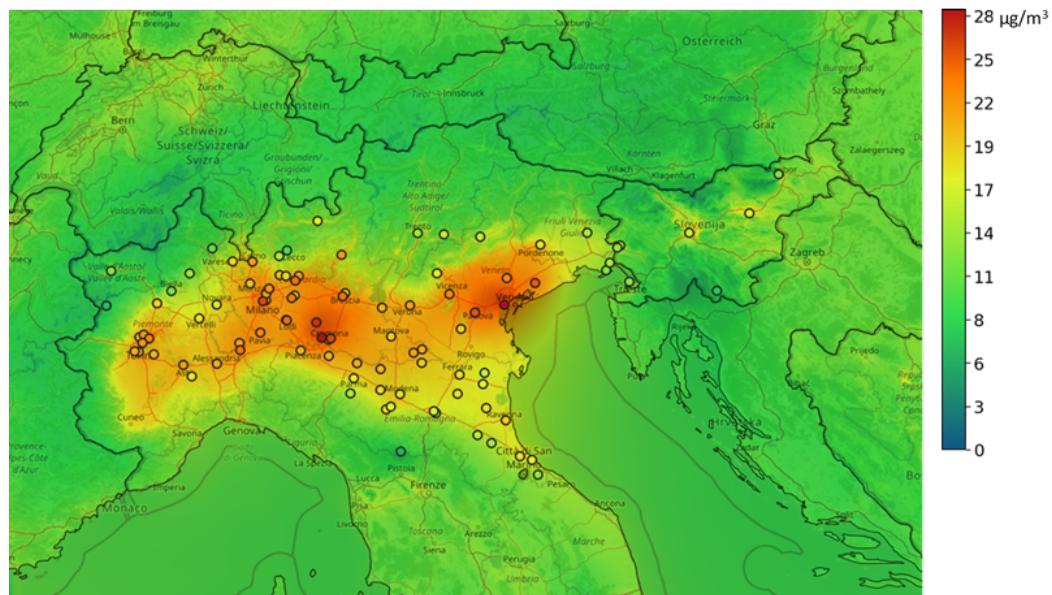
Zaradi pomanjkljivega opisa točkovnih in ploskovnih izpustov onesnaževal izven Slovenije model ALADIN-SI/CAMx onesnaženost zraka na območjih drugih držav pomembno podceni. Med drugim tudi v celotni Padski nižini (slike 2.2, 2.3 in 2.4), kjer z metodo združevanja modelske rezultate z vključitvijo meritev precej izboljšamo.

Težave pri izvedbi združevanja podatkov se ponekod pojavijo tudi zaradi majhnega števila meritnih mest, pri čemer bi potrebovali predvsem dodatne meritve na podeželskih manj poseljenih območjih (eno izmed takšnih meritnih mest je meritno mesto Iskrba), ter na območjih z višjo nadmorsko višino (visokogorje ima namreč na splošno precej nižje ravni delcev PM_{10}). Zaradi pomanjkanja meritev smo z metodo združevanja podatkov v primeru delcev PM_{10} in NO_2 v višjih

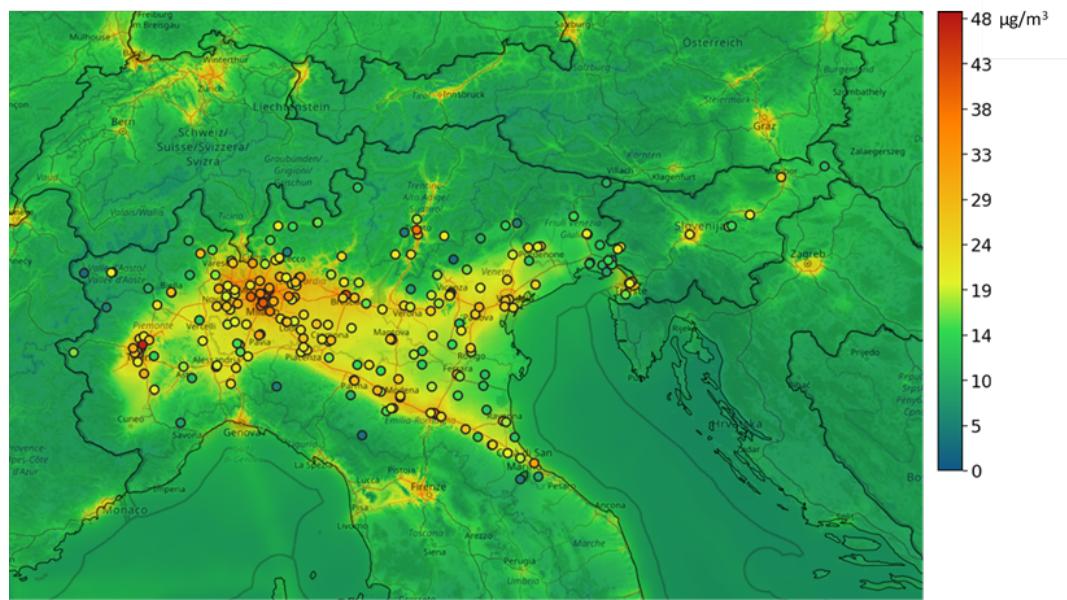
legah (območje Alp,slika 2.4) in na območjih redke poselitve (Prekmurje,slika 2.2) dobili precenjene vrednosti, ki ne odražajo dejanskega stanja.



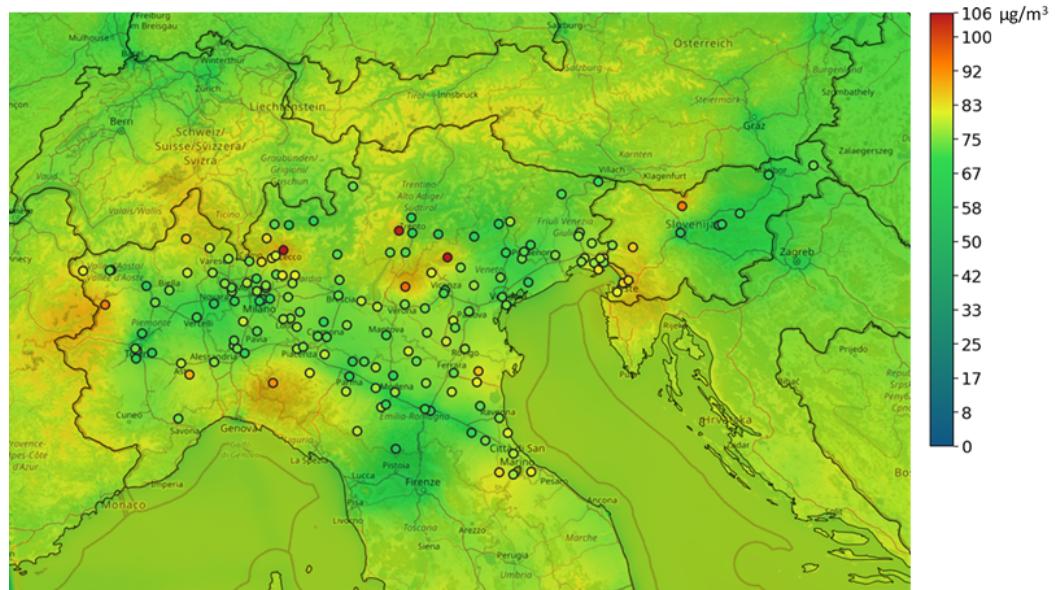
Slika 2.2: Prostorska porazdelitev povprečne letne vrednosti PM₁₀ [µg/m³] za leto 2020, izračunana s postopkom združevanja podatkov. Točke prikazujejo rezultate meritev, obarvane skladno z izmerjenimi letnimi vrednostmi delcev PM₁₀ na posameznih merilnih postajah.



Slika 2.3: Prostorska porazdelitev povprečne letne vrednosti PM_{2,5} [µg/m³] za leto 2020, izračunana s postopkom združevanja podatkov. Točke prikazujejo rezultate meritev, obarvane skladno z izmerjenimi letnimi vrednostmi delcev PM_{2,5} na posameznih merilnih postajah.



Slika 2.4: Prostorska porazdelitev povprečne letne vrednosti NO_2 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] za leto 2020, izračunana s postopkom združevanja podatkov. Točke prikazujejo rezultate meritev, obarvane skladno z izmerjenimi letnimi vrednostmi NO_2 na posameznih merilnih postajah.

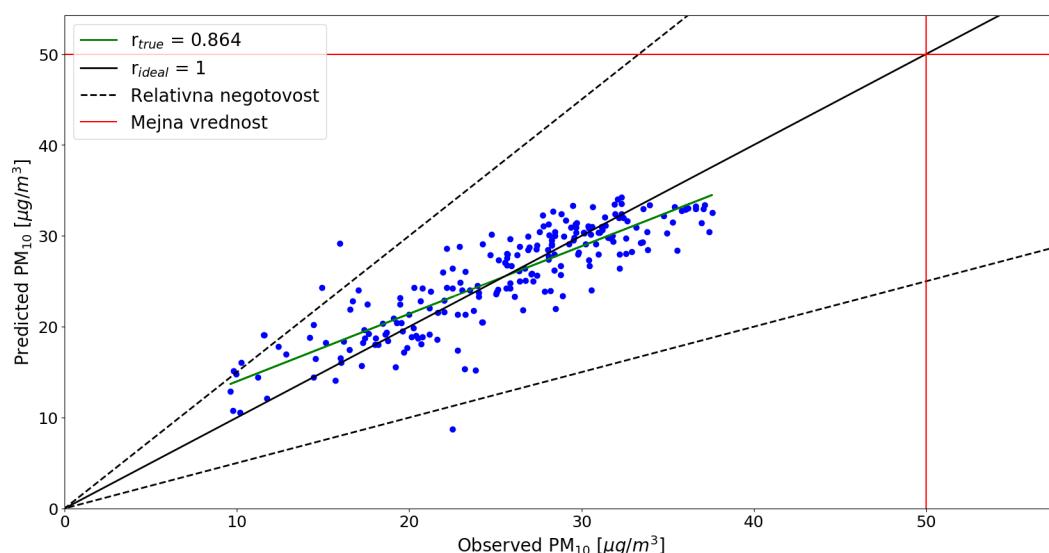


Slika 2.5: Prostorska porazdelitev letnega povprečja dnevnih maksimumov 8-urnih drsečih povprečij O_3 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] za leto 2020, izračunane s postopkom združevanja podatkov. Točke prikazujejo rezultate meritev, obarvane skladno z izmerjenimi letnimi povprečji dnevnih maksimumov 8-urnih drsečih povprečij O_3 na posameznih merilnih postajah.

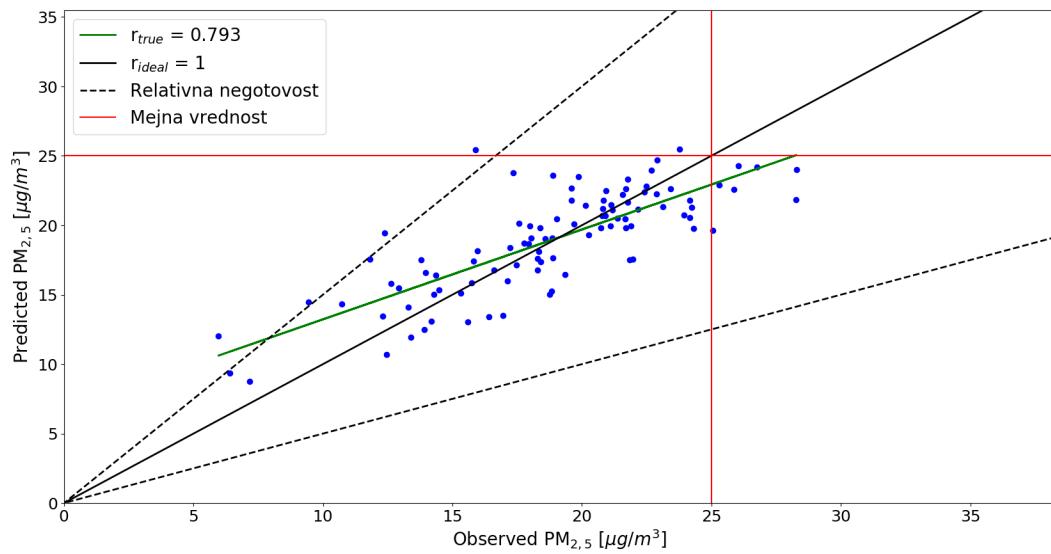
2.2.4 Preverjanja uspešnosti tehnike združevanja podatkov

Da bi preverili uspešnost porazdelitve prostorske napovedi tehnike združevanja podatkov, smo izvedli statistično metodo navzkrižnega preverjanja (angl. cross validation). Za preverjanje je bila uporabljena metodologija z enim izpustom (angl. Leave-one-out cross validation (LOOCV)). Pri tej metodi posamezno točko meritev izključimo in ponovno izvedemo metodo združevanja brez upoštevanja te točke, vse ostale točke opazovanj pa pri tem pustimo vključene. Postopek ponovimo z vsemi točkami meritev. Tako dobimo v vseh točkah meritev tudi napovedane vrednosti (angl. predicted value) ki so bile določene s tehniko združevanja z izključitvijo meritev v tej točki.

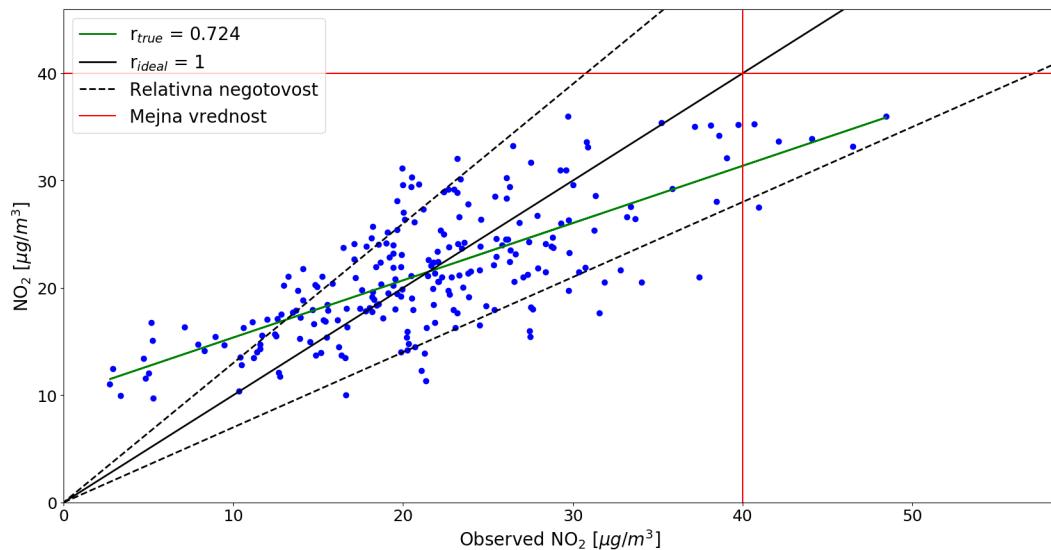
Rezultate smo prikazali s pomočjo razsevnih grafikonov (slike 2.6, 2.7, 2.8 in 2.9), kjer so na x-osi predstavljene izmerjene vrednosti, na y-osi pa t.i. napovedane vrednosti. Iz podatkov prikazanih na razsevnih grafikonih smo izračunali še korelacijski koeficient (r), ki služi kot indeks uspešnosti izvedbe metode združevanja podatkov.



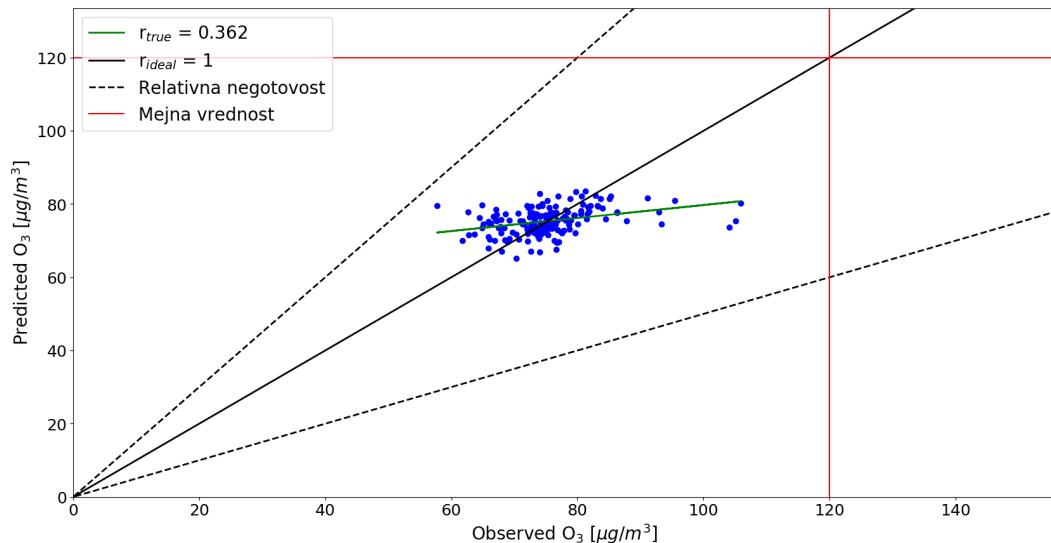
Slika 2.6: Razsevni grafikon navzkrižnega preverjanja povprečne letne vrednosti PM₁₀ [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] za leto 2020. Na x-osi so predstavljene izmerjene vrednosti, na y-osi pa t.i. napovedane vrednosti. Črtkane črte predstavljajo relativno negotovost (50 % za PM₁₀), medtem ko rdeči črti predstavljata letno mejno vrednost ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Zelena črta predstavlja premico linearne regresije k danim podatkom, črna črta pa premico idealne linearne regresije, kjer bi korelacijski koeficient r imel vrednost 1.



Slika 2.7: Razsevni grafikon navzkrižnega preverjanja povprečne letne vrednosti $\text{PM}_{2,5}$ [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] za leto 2020. Na x-osi so predstavljene izmerjene vrednosti, na y-osi pa t.i. napovedane vrednosti. Črtkane črte predstavljajo relativno negotovost (50 % za $\text{PM}_{2,5}$), medtem ko rdeči črti predstavljata mejno vrednost, 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Zelena črta predstavlja premico linearne regresije k danim podatkom, črna črta pa premico idealne linearne regresije, kjer bi korelacijski koeficient r imel vrednost 1.



Slika 2.8: Razsevni grafikon navzkrižnega preverjanja povprečne letne vrednosti NO_2 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] za leto 2020. Na x-osi so predstavljene izmerjene vrednosti, na y-osi pa t.i. napovedane vrednosti. Črtkane črte predstavljajo relativno negotovost (30 % za NO_2), medtem ko rdeči črti predstavljata letno mejno vrednost ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Zelena črta predstavlja premico linearne regresije k danim podatkom, črna črta pa premico idealne linearne regresije, kjer bi korelacijski koeficient r imel vrednost 1.



Slika 2.9: Razsevni grafikon navzkrižnega preverjanja letno povprečje dnevnih maksimumov 8-urnih drsečih povprečij O_3 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] za leto 2020. Na x-osi so predstavljene izmerjene vrednosti, na y-osi pa t.i. napovedane vrednosti. Crtkane črte predstavljajo relativno negotovost (50 % za O_3), medtem ko rdeči črti predstavljata letno mejno vrednost ($120 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Zelena črta predstavlja premico linearne regresije k danim podatkom, črna črta pa premico idealne linearne regresije, kjer bi korelacijski koeficient r imel vrednost 1.

Dodatno smo iz podatkov prikazanih na rezsevnih grafikoni izračunali še nekaj drugih indeksov uspešnosti izvedbe metode združevanja podatkov. In sicer smo izračunali naslednje statistične mere: MAE - povprečna absolutna napaka (ang. Mean Absolute Error), ki je definirana kot povprečje absolutnih napak vrednosti razlik med napovedanimi vrednostmi in izmerjenimi vrednostmi, RMSE - Koren srednje kvadratne napake (angl. Root Mean Square Error), ki je definirana kot koren povprečja kvadratov razlik med napovedanimi vrednostmi in izmerjenimi vrednostmi, ter BIAS - statistična napaka, ki nam pove, kakšno je odstopanje povprečnih napovedanih vrednosti od povprečnih izmerjenih vrednostih (normirano s povprečnimi izmerjenimi vrednostmi). Izračunane vrednosti statističnih mer so prikazane v tabeli 2.8.

Tabela 2.8: Indeksi uspešnosti izvedbe metode združevanja podatkov

Onesnaževalo	MAE	RMSE	BIAS	Koeficient korelacije (r)
Letno povprečje PM_{10}	2,54	3,35	0,13	0,86
Letno povprečje $PM_{2,5}$	2,12	2,78	0,65	0,79
Letno povprečje NO_2	4,54	5,60	0,02	0,72
Letno povprečje dnevnih maksimumov 8-urnih drsečih povprečij za O_3	4,83	6,92	0,07	0,36

Na splošno lahko iz razsevnih grafikonov (slike 2.6, 2.7, 2.8 in 2.9) opazimo relativno dobro ujemanje med izmerjenimi in t.i. napovedanimi vrednostmi. Vidimo lahko tudi, da za onesnaževala PM_{10} , $PM_{2,5}$ in O_3 skoraj vse točke ležijo znotraj mejnih vrednosti, in tudi znotraj območja relativne negotovosti. Točke, ki presegajo mejno vrednost in ki obenem ležijo izven območja relativne negotovosti, pa lahko opazimo pri onesnaževalu NO_2 . Ta odstopanja pri NO_2 so najverjetneje posledica velike prostorske variabilnosti (izmerjene vrednosti znotraj majhnega območja se relativno

precej razlikujejo, kar je posledica tega, da so na postajah prometnega tipa vrednosti precej višje, kot le nekaj kilometrov oddaljenih postajah, ki niso v bližini cest).

Iz rezultatov statističnih mer oz. indeksov uspešnosti predstavljenih v tabeli 2.8 lahko opazimo da se je bila izvedba metode združevanja podatkov relativno uspešna pri onesnaževalih PM₁₀ in PM_{2,5}. Nekoliko slabša je bila izvedba pri onesnaževalih NO₂ in O₃. Pri onesnaževalu NO₂ na to lahko sklepamo predvsem iz statističnih mer MAE in RMSE, kar je posledica že omenjene velike prostorske variabilnosti. Slabo izvedbo metode združevanja podatkov za onesnaževalo O₃ kaže vrednost korelacijskega koeficienta (r), kar bi lahko morda pripisali izrazitemu precenjevanju in podcenjevanju modelskih vrednosti na različnih območjih. Slednje sicer ni razvidno iz prikazanih slik, ampak je bilo opaženo tekom izvedbe postopka združevanja podatkov, kar otežuje kvalitetno izvedbo metode združevanja podatkov. Težko je hkrati po prostoru "razširiti" vpliv podcenjevanja in precenjevanja modelskih rezultatov, ponekod namreč prevlada vpliv enega in drugod drugega, zato je kvalitetna izvedba metode združevanja podatkov v primeru O₃ otežena.

3. Vpliv ukrepov zaradi COVID-19 na kakovost zraka

V času omejitev gibanja in mobilnosti zaradi COVID-19 ukrepov so se pomembno zmanjšali predvsem izpusti iz prometa, kar je posledično vplivalo tudi na kakovost zraka v Sloveniji. Vpliv manjših izpustov na izboljšanje kakovosti zraka je v splošnem odvisen od letnega časa oziroma meteoroloških pogojev, ki vplivajo na kopiranje ali redčenje, prenos, izpiranje in kemijske pretvorbe onesnaževal v ozračju. Ločeno smo zato obravnavali vpliv ukrepov v pomladnjem obdobju, ko je prišlo do izrazitega zaprtja države, ter hladni del leta z nekoliko manj izrazitimi ukrepi zaradi COVID-19.

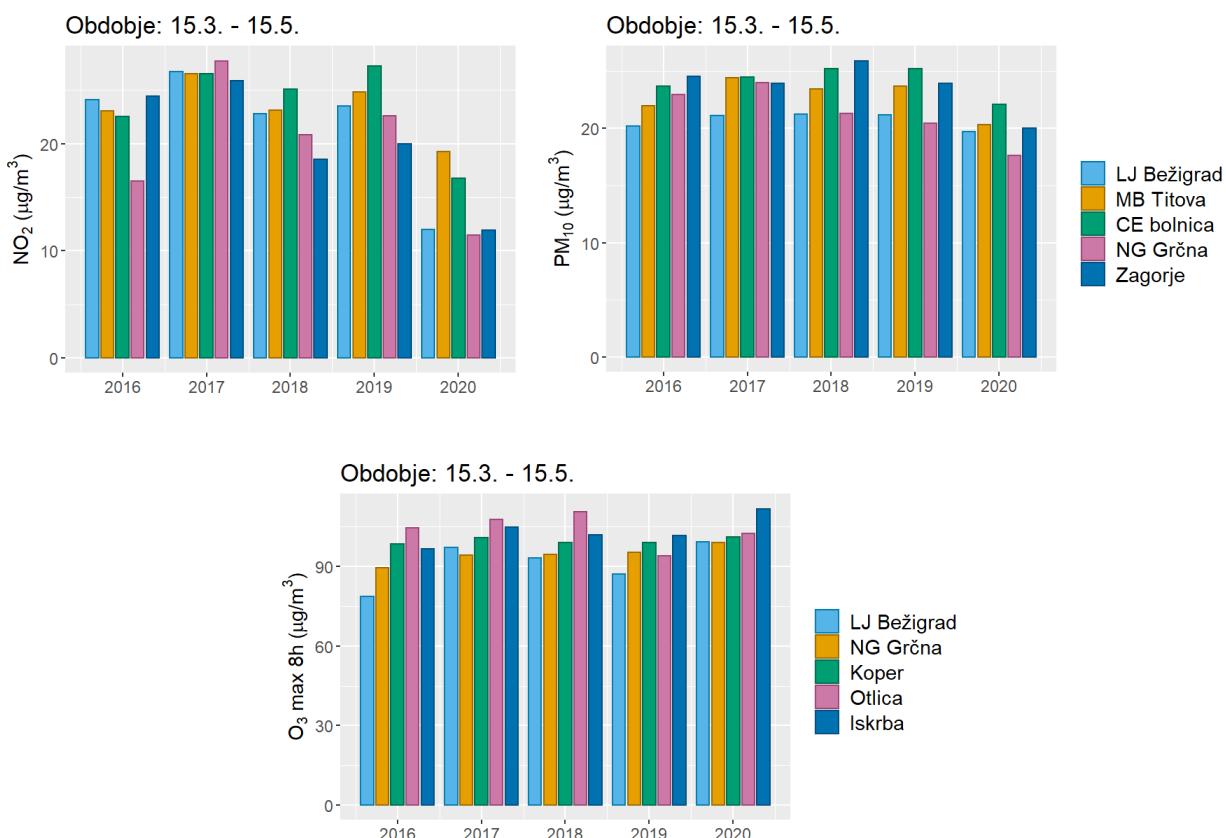
Kot se je izkazalo, je do pomembnega zmanjšanja onesnaženosti zraka zaradi epidemije prišlo predvsem pri dušikovih oksidih spomladi, ko so bili ukrepi najbolj intenzivni. V primeru delcev je bil učinek ukrepov v obdobju pomladnjega zaprtja manj izrazit kot pri dušikovih oksidih, medtem ko pri ozonu zanesljivega vpliva nismo zaznali. Pomladno obdobje je sicer čas, ko zaradi spremenljivosti vremena, manjše potrebe po ogrevanju in odsotnosti zelo nizkih oziroma visokih temperatur, onesnaženost zraka običajno ni problematična. Poleti, ko so običajno visoke ravni ozona, medtem ko z ostalimi onesnaževali ni težav, zelo izrazitega vpliva COVID-19 ukrepov na izpuste onesnaževal in kakovost zraka ni bilo. Do ponovne, vendar manj izrazite omejitve mobilnosti, je prišlo novembra in decembra 2020. V hladnih mesecih običajno najpogosteje prihaja do povišanih ravni delcev, vendar zanesljivega zaključka o pozitivnem oziroma negativnem vplivu ukrepov zaradi COVID-19 na ravni delcev PM_{10} v hladnih mesecih ni bilo mogoče narediti. Izboljšanje kakovosti zraka z dušikovimi oksidi v tem obdobju je bilo manj izrazito kot spomladi. Podrobnejše so rezultati analiz predstavljeni v nadaljevanju.

3.1 Vpliv ukrepov na kakovost zraka v pomladnjem obdobju

Da bi določili vpliv COVID-19 ukrepov na izboljšanje kakovosti zraka smo analizirali ravni delcev PM_{10} , dušikovih oksidov in ozona med 15. marcem in 15. majem 2020 ter jih primerjali z izmerjenimi ravnimi v enakem obdobju v preteklih letih. Na ta način smo upoštevali vpliv medletne variabilnosti meteoroloških pogojev na kakovost zraka in dobili bolj zanesljivo oceno vpliva ukrepov na zmanjšanje onesnaženosti. Obravnavano pomladno obdobje je bilo v primerjavi z enakimi obdobji v preteklih letih bolj suho, s 50 % manj padavinami kot v povprečju v preteklosti, oziroma s tretjino padavin izmerjenih v enakem obdobju leta 2019. Temperature so bile blizu povprečja

preteklih let, na večini merilnih mest je bilo nekoliko bolj vetrovno kot običajno v enakem obdobju v preteklosti.

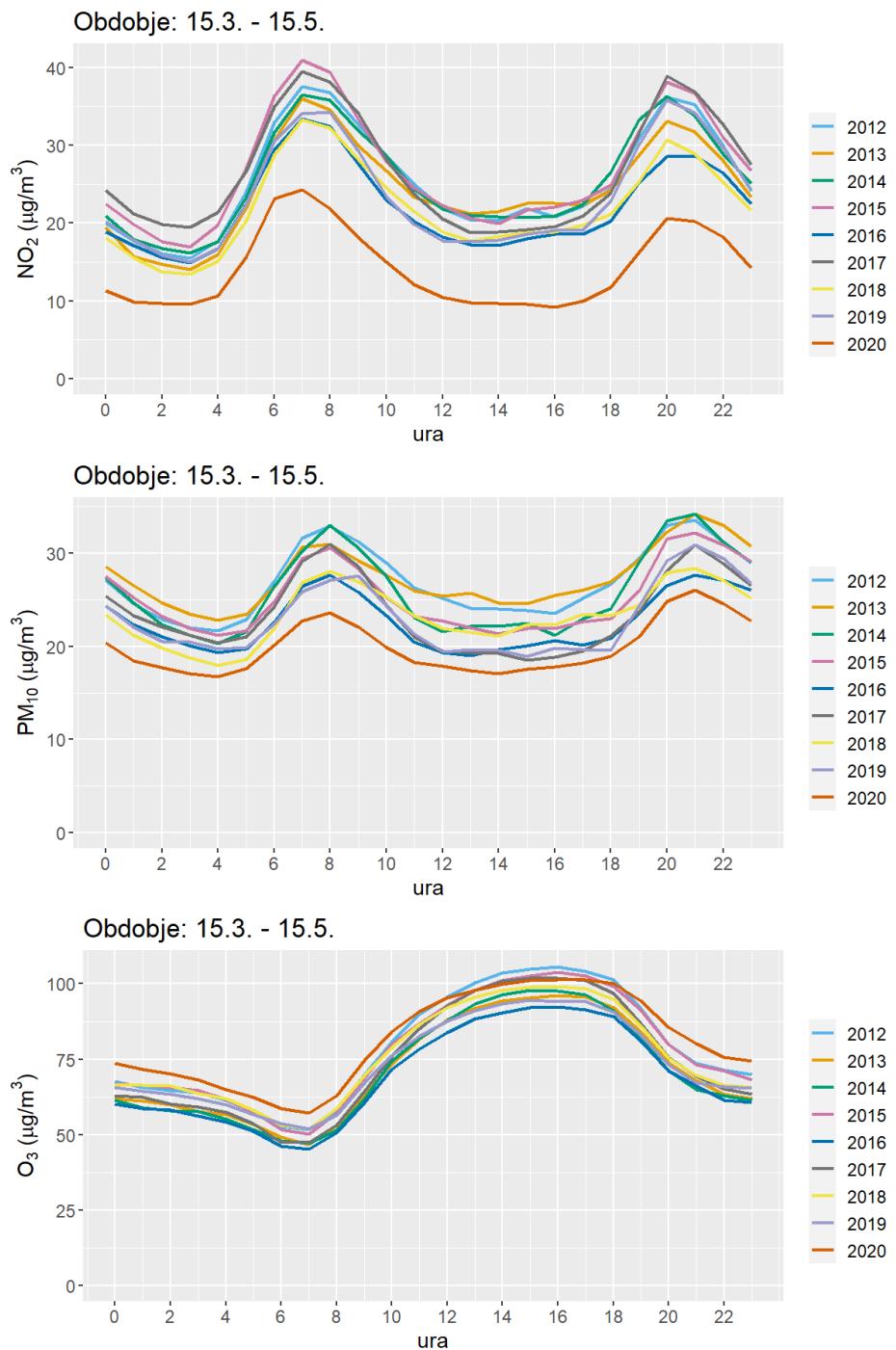
V analizo smo vključili pet merilnih mest, v primeru delcev in dušikovih oksidov LJ Bežigrad, MB Titova, CE bolnica, NG Grčna in Zagorje kot predstavnike različnih urbanih območij v Sloveniji. Pri analizi delcev smo izvzeli dneve epizode puščavskega prahu med 27. marcem in 29. marcem 2020, ko je bila onesnaženost zraka izjemno visoka zaradi vdora prahu iz puščav Azije. V primeru ozona smo v analizo vključili merilna mesta, ki so aktualna z vidika obremenjenosti z ozonom v Sloveniji, in sicer NG Grčna, Koper, Otlica, Iskrba in LJ Bežigrad.



Slika 3.1: Primerjava povprečnih ravnih NO_2 , PM_{10} in 8h dnevnih maksimumov O_3 na posameznih merilnih mestih z ravnimi v enakem obdobju v preteklih letih.

Povprečne izmerjene ravni onesnaževal v obravnavanem pomladnjem obdobju in primerjava z enakim obdobjem v preteklih letih ter primerjava dnevnih potekov je prikazana na slikah 3.1 in 3.2. Največji vpliv ukrepov smo zaznali pri izmerjenih ravneh NO_x , kjer so bile v povprečju na obravnavanih merilnih mestih vrednosti kar 47 % nižje kot v enakem obdobju lani, oziroma 48 % nižje kot povprečje let 2016 do 2019. Rahlo manjši vpliv smo opazili pri NO_2 s 40 % nižjimi izmerjenimi vrednostmi od preteklega leta in od povprečja let 2016 do 2019. Pri delcih PM_{10} je bil vpliv najmanjši, izmerjene ravni so bile 13 % nižje kot lansko leto in 14 % nižje v primerjavi s povprečjem let 2016 do 2019 v enakem časovnem obdobju.

Čeprav v pomladnjem obdobju ravni ozona običajno niso zelo visoke, pa nekaj preseganj ciljne 8-urne vrednosti $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ izmerimo tudi v teh mesecih. Obravnavano pomladno obdobje leta



Slika 3.2: Primerjava povprečnih dnevnih potekov ravnih NO_2 , PM_{10} in O_3 v pomladnem obdobju za leta od 2012 dalje.

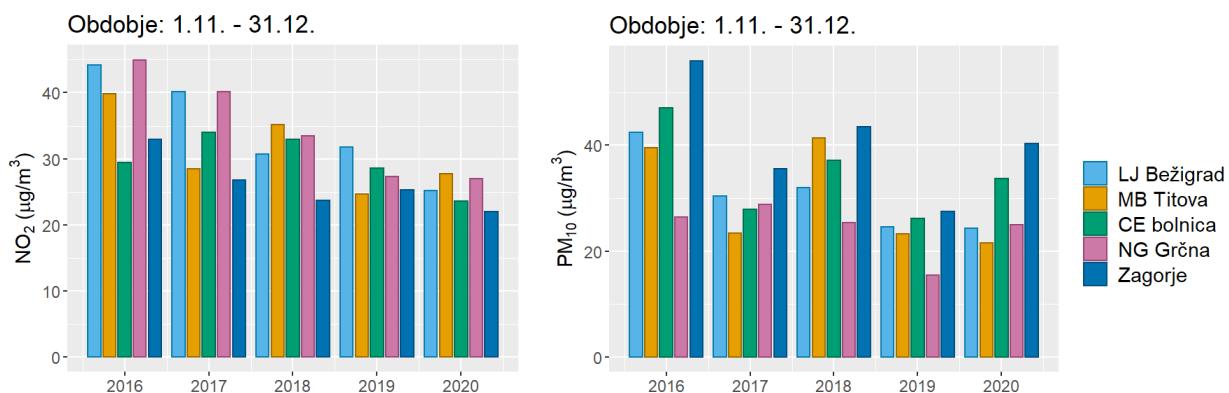
2020 je bilo zaradi suhega in lepega vremena bolj naklonjeno tvorbi ozona kot je sicer značilno za ta čas, kar so z nekoliko višjimi vrednostmi ozona kot v preteklosti, potrdile tudi meritve ozona na ruralnem merilnem mestu Iskrba (slika ni prikazana). Primerjava najvišjih 8-urnih dnevnih vrednosti odstopanj leta 2020 v primeravi s preteklimi leti ni pokazala (slika 3.1). Tudi primerjava povprečnih dnevnih potekov (slika 3.2) potrdi, da v obravnavanem obdobju najvišje dnevne vrednosti ozona niso pomembno odstopale od prejšnjih let. Nekoliko višje ravni ozona v nočnih urah so

najverjetneje povezane z nižjimi izpusti dušikovih oksidov, ki povzročajo razpad ozona na urbanim območjih. Nekoliko višje ravni na ruralnem merilnem mestu Iskrba pa so najverjetneje posledica nadpovprečno ugodnih meteoroloških pogojev za tvorbo ozona v mesecu aprilu. Jasnega vpliva COVID-19 ukrepov na izmerjene ravni ozona sicer ne moremo potrditi.

3.2 Vpliv ukrepov na kakovost zraka novembra in decembra

V hladnih mesecih, ko se poveča potreba po ogrevanju, je onesnaženost zraka v večji meri posledica izpustov malih kurišč. Z omejitvijo gibanja, kot posledico COVID-19 ukrepov, se količina izpustov malih kurišč ni zmanjšala. Kvečjemu bi se zaradi večje prisotnosti prebivalstva na domu izpusti malih kurišč lahko povečali, kar bi lahko imelo negativen učinek na kakovost zraka. Kot posledica omejitev gibanja pa so bili izpusti iz prometa tudi v tem obdobju manjši.

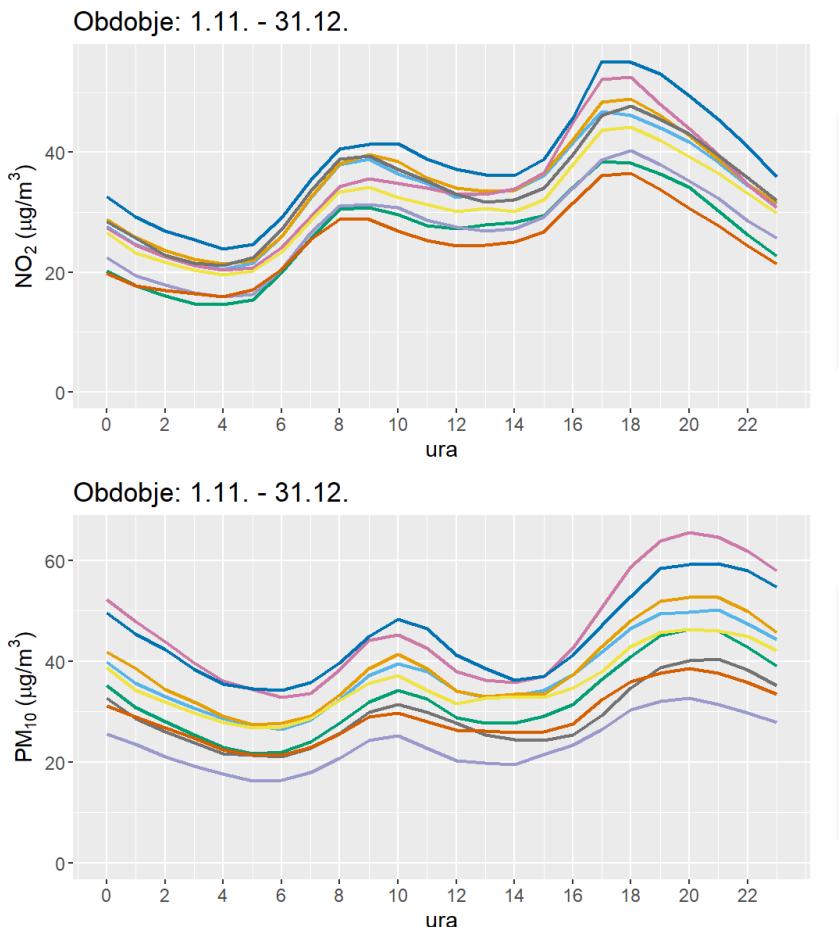
Ukrepi v obdobju od 1. novembra do 31. decembra 2020 so bili milejši kot spomladi. Hkrati so za to obdobje značilne drugačne meteorološke razmere in tudi dinamika izpustov je drugačna kot v pomladnjem obdobju. Mesec november je bil leta 2020 toplejši in bolj sončen od povprečja preteklih let. Mesec december pa toplejši z več padavinami kot v povprečju v preteklosti. Meteorološki pogoji so bili tako za kakovosti zraka nekoliko manj problematični kot običajno v tem obdobju, ko najvišje ravni onesnaževal izmerimo ob mrzlem, suhem in mirnem vremenu.



Slika 3.3: Primerjava povprečnih ravni NO₂ in PM₁₀ na posameznih merilnih mestih z ravnimi v enakem obdobju v preteklih letih.

Povprečne izmerjene ravni onesnaževal v obravnavanem zimskem obdobju in primerjava z enakim obdobjem v preteklih letih ter primerjava dnevnih potekov je prikazana na slikah 3.3 in 3.4. Analiza izmerjenih parametrov zunanjega zraka je pokazala, da so bile povprečne ravni NO_x na merilnih mestih LJ Bežigrad, MB Titova, CE bolnica, NG Grčna in Zagorje novembra in decembra leta 2020 nižje kot v preteklosti. In sicer v primerjavi z enakim obdobjem leta 2019 so bile leta 2020 vrednosti NO_x nižje za 6 %, v primerjavi s povprečjem 2016 do 2019 pa 26 %. V primeru NO₂ primerjava pokaže 9 % znižanje leta 2020 glede na leto 2019, ter 23 % glede na leto 2016 do 2019. Negotov je vpliv ukrepov na ravni delcev PM₁₀, in sicer so bile leta 2020 izmerjene ravni celo za 23 % višje kot leta 2019, po drugi strani pa 15 % nižje kot v obdobju let 2016 do 2019. Pri delcih PM₁₀ je očitno v hladnih mesecih, ko so izpusti malih kurišč visoki, vpliv meteoroloških

pogojev na izmerjene ravni večji od vpliva zmanjšanja izpustov zaradi ukrepov. V letu 2019 so bile namreč ravni delcev PM_{10} nižje kot v enakem obdobju leta 2020, v preostalih letih pa praviloma višje. Zaključka o pozitivnem oziroma negativnem vplivu ukrepov na onesnaženost zraka z delci PM_{10} v hladnih mesecih tako ne moremo narediti.



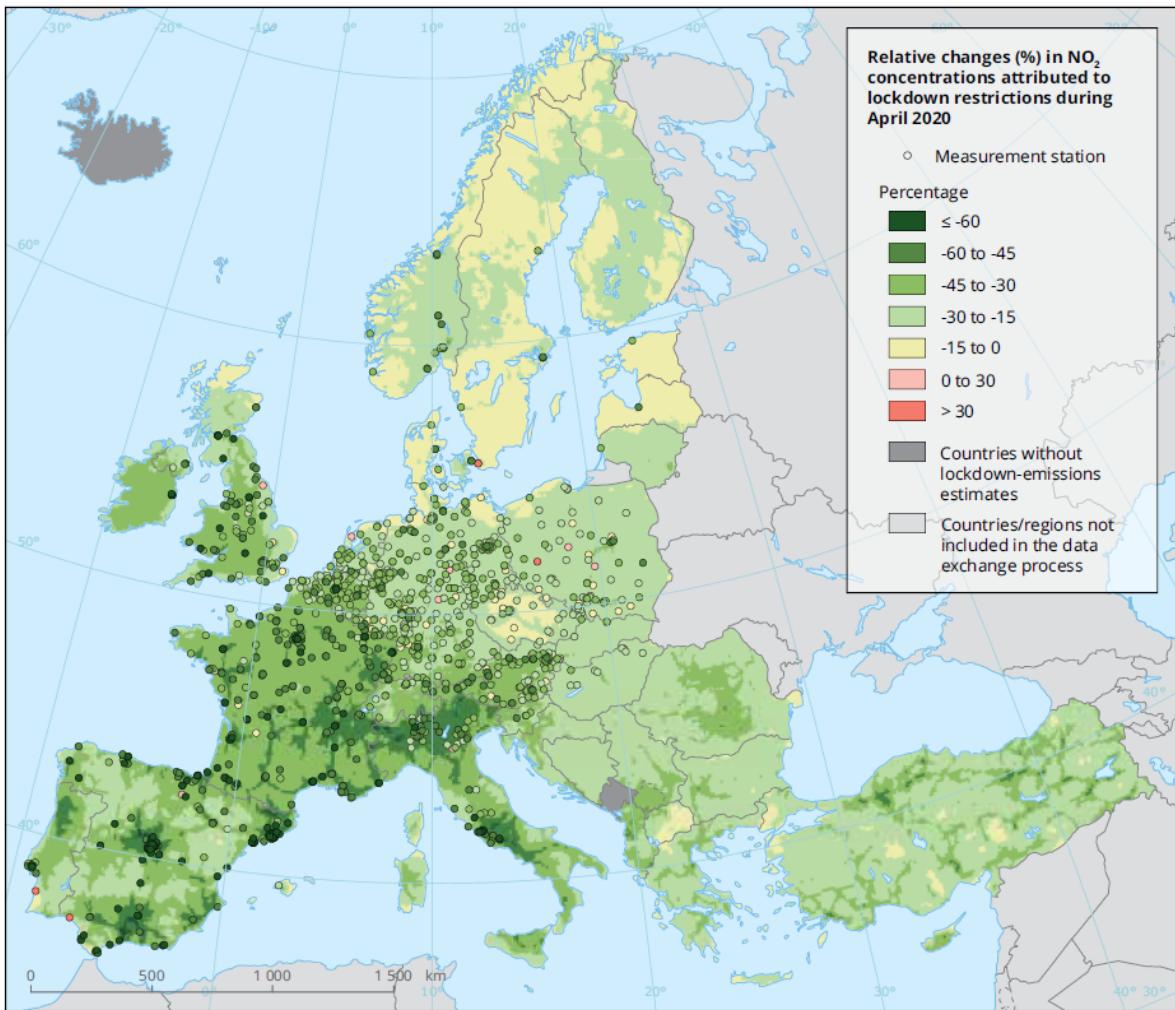
Slika 3.4: Primerjava povprečnih dnevnih potekov ravni NO_2 in PM_{10} v hladnem obdobju za leta od 2012 dalje.

3.3 Vpliv ukrepov na kakovost zraka v EU

Tudi v drugih država EU so zaradi omejitve gibanja in aktivnosti v času COVID-19 epidemije zaznali določeno izboljšanje kakovosti zunanjega zraka. Ocena vpliva ukrepov na ravni NO_2 in PM_{10} , narejena na podlagi meritve in CAMS modelskih ocen za april 2020, je prikazana na slikah 3.5 in 3.6. Pri meritvah in modelskih izračunih je bilo upoštevano enako obdobje v letih 2015 do 2020 ter uporabljen statistični pristop za zmanjšanje vpliva medletne meteorološke variabilnosti.

Rezultati na sliki 3.5 kažejo, da je bilo aprila 2020 praktično na vseh merilnih mestih opaženo zmanjšanje onesnaženosti, ki ga ni moč razložiti z meteorološkimi pogoji. Največji padec ravni NO_2 je bil zabeležen na prometnih postajah v Španiji in Italiji, in sicer za približno 70 %. Slika prav tako prikazuje relativno zmanjšanje onesnaženosti ozadja z NO_2 , izračunano s CAMS modelom z novo ocenjenimi izpusti onesnaževal industrije, potniškega in letalskega prometa v času epidemije.

Onesnaženost ozadja z NO_2 se je zmanjšala do 60 %, največ na najbolj poseljenih območjih Španije, Francije in Italije.

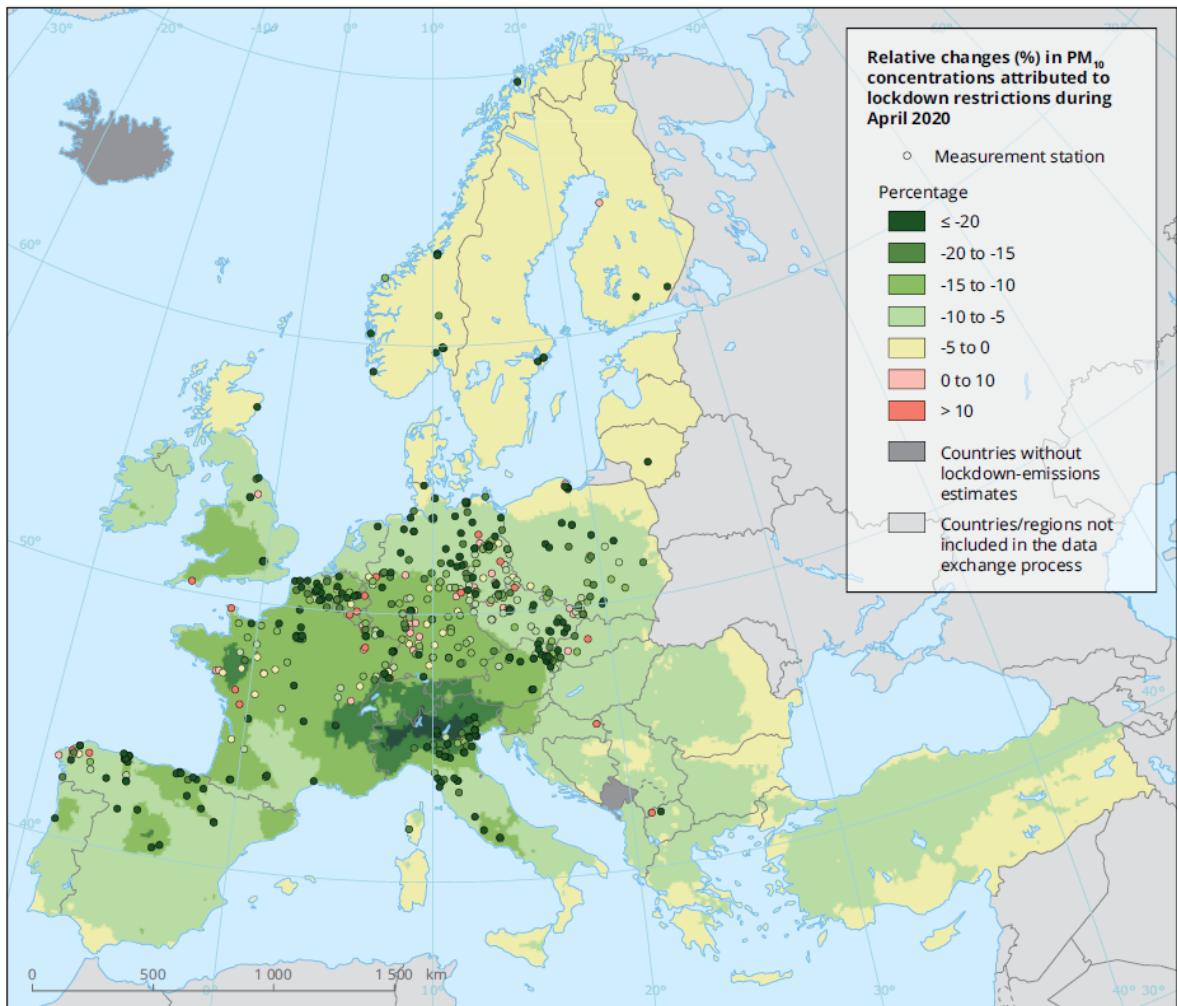


Slika 3.5: Relativne spremembe NO_2 (v %) zaradi COVID-19 ukrepov v EU aprila 2020 [2].

Ocena vpliva ukrepov na ravni PM_{10} je bolj kompleksna in hkrati manj zanesljiva. Ravni delcev se spremenjajo tako zaradi spremenljivih meteoroloških pogojev in izpustov primarnih onesnaževal antropogenega izvora, kot tudi zaradi izpustov naravnega izvora, ki jih je zelo težko oceniti. Posledično so izračuni vpliva ukrepov na delce PM_{10} manj zanesljivi. Poleg tega na sliki 3.6 prikazane modelske ocene vpliva na ravni ozadja onesnaženja upoštevajo samo zmanjšanje izpustov industrije ter letalskega in potniškega prometa, ne pa sprememb izpustov malih kurišč.

Največji vpliv, do 40 %, je opaziti na prometnih meritnih mestih v Španiji in Italiji, do 25 % pa tudi na prometnih meritnih mestih na Norveškem in v Franciji. Na ruralnih meritnih mestih je bil vpliv ukrepov manjši, ponekod so ravni delcev PM_{10} celo narašle. Vendar so na teh meritnih mestih tudi sicer izmerjene ravni delcev nizke. Podobno je vpliv na ravni ozadja z modelskimi izračuni ocenjen do največ 20 %, in sicer v Italiji, kar je bistveno manj kot v primeru NO_2 . Ker so modelske ocene upoštevale le zmanjšanje izpustov industrije, letalskega in potniškega prometa, ne pa tudi spremembe v izpustih malih kurišč, modelski rezultati nikjer ne pokažejo povečanja ravni delcev PM_{10} kot to velja za meritve, pač pa le zmanjšanje. Manjša prostorska spremenljivost modelskih

ocen PM₁₀ v primerjavi z NO₂ je posledica prostorske porazdelitve ozira oziroma prispevka sekundarnih delcev.



Slika 3.6: Relativne spremembe PM₁₀ (v %) zaradi COVID-19 ukrepov v EU aprila 2020 [2].

4. Epizoda puščavskega prahu

Konec marca 2020 je območje jugovzhodne in osrednje Evrope zajel oblak puščavskega prahu. Nebo je bilo nenačadno motno, vidnost slaba. Izredno visoke ravni delcev so bile izmerjene v Srbiji, Bosni, kontinentalni Hrvaški, na Madžarskem, v Sloveniji in severni Italiji. Kakovost zraka je bila večinoma najslabša v popoldanskem času dne 27. marca 2020. Analiza satelitskih meritev je pokazala, da je bil glavni vir puščavskega prahu oddaljena puščava Aralkum na meji med Kazakstanom in Uzbekistanom [14]. Tovrsten vdor puščavskega prahu iz puščav Azije smo v zgodovini merjenja delcev v Sloveniji zaznali prvič. Tako visokih ravni delcev kot so bile tekom te epizode izmerjene z avtomatskimi meritnikami na nekaterih meritnih mestih po Sloveniji ne pomnimo. Epizoda puščavskega prahu marca 2020 je torej za Slovenijo ekstremni dogodek, ki potrebuje posebno obravnavo.

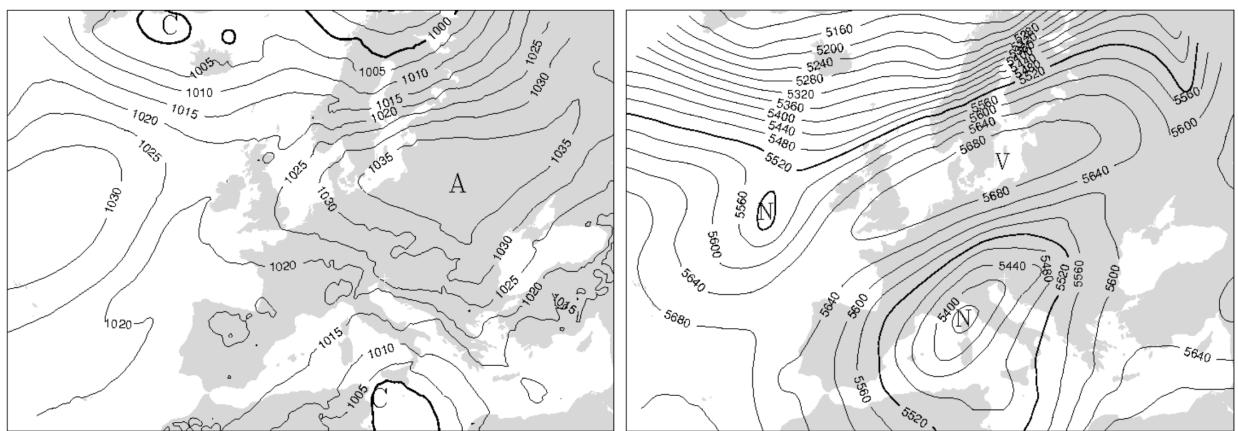
V poglavju so za obravnavano epizodo predstavljeni rezultati meritev, kemijskih analiz in modelskih izračunov s poudarkom na onesnaženosti zraka tekom epizode na območju Slovenije. Poleg analize epizode je namen dokazati, da je prišlo do prekomernega onesnaženja z delci zaradi naravnega vira. Uredba o kakovosti zunanjega zraka oziroma Direktiva 2008/50/ES [15] namreč omogoča, da se za potrebe ocenjevanja skladnosti z mejnimi vrednostmi, preseganja dnevne mejne vrednosti $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ki so delno ali v celoti posledica naravnih virov onesnaženja, odštejejo od letnega števila dni s preseženo dnevno mejno vrednostjo skladno s smernicami [16], ki jih je za ta namen pripravila Evropska komisija. Pri tem so med naravne vire poleg puščavskega prahu, kot posledice prenosa naravnih delcev iz sušnih regij, uvrščeni tudi vulkanski izbruhi, seizmične in geotermalne dejavnosti, požari v naravi, pojavi močnega vetra, morskega pršca in atmosferske resuspenzije.

4.1 Meteorološka situacija

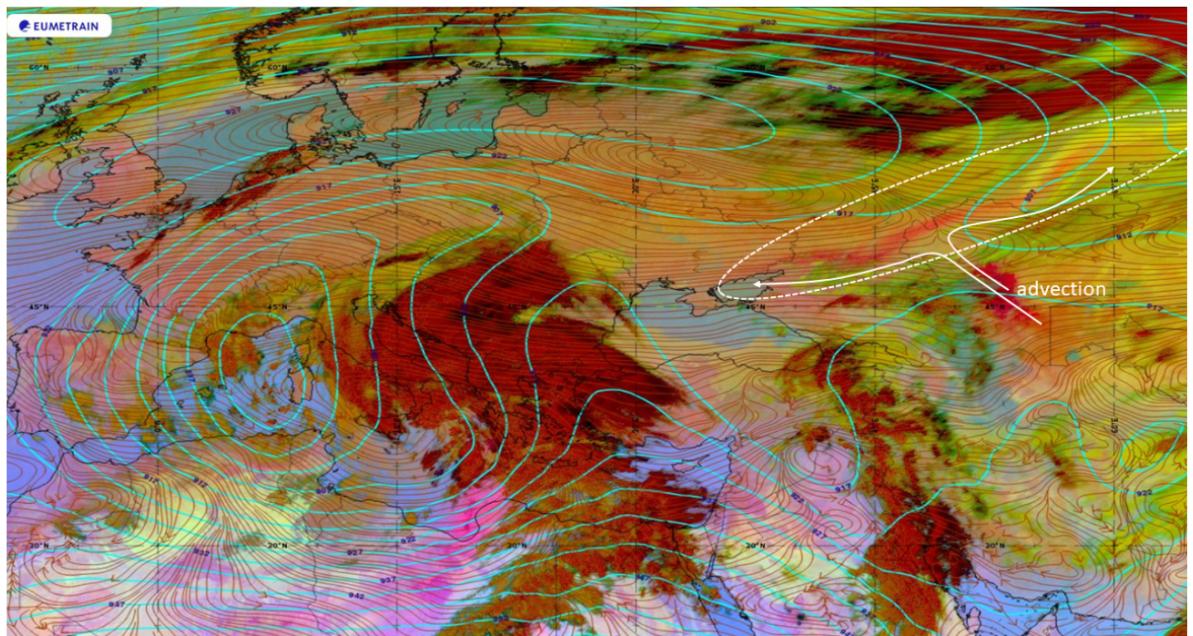
Puščavski prah nad našimi kraji opazimo nekajkrat letno. Običajno izvira iz Sahare, pri čemer pihajo močni vetrovi južnih smeri, ko se nad zahodnim Sredozemljem in severno Afriko oblikuje izrazito območje nizkega zračnega tlaka. Zaradi visokih temperatur in vetra se prašni delci v Saharski puščavi dvignejo visoko, med 1,5 in 8 km višine. Prah lahko nato z močnimi višinskimi vetrovi potuje dolge razdalje, še posebej to velja za manjše delce.

Tudi v času obravnavane epizode se je nad Sredozemljem vzpostavil ciklon, hkrati pa se je nad osrednjo in vzhodno Evropo raztezalo območje visokega zračnega tlaka (slika 4.1). Specifična

sinoptična situacija je bila razlog, da je naše kraje tokrat izjemoma dosegel puščavski prah iz več tisoč kilometrov oddaljene puščave v Aziji. Le ob pričetku epizode je v povezavi s ciklonom nad Sredozemljem prišlo do advekcije puščavskega prahu iz Sahare, vendar se je le ta nad Slovenijo zadrževal predvsem v višjih plasteh dne 26. marca. Glavnina puščavskega prahu v plasti zraka pri tleh dne 27. in 28. marca pa je izvirala iz vzhoda. Kot je pokazala analiza satelitskih meritev Meteosat-8 Dust RGB, je po 23. marcu prišlo do več dvigov prahu puščave Aralkum, ki leži na meji med Kazakstanom in Uzbekistanom. Zaradi sinoptične situacije je oblak prahu dne 26. marca dosegel cono deformacije (slika 4.2) in se razpotegnil v smeri vzhod-zahod ter nato z vzhodnimi vetrovi nadaljeval pot proti JV Evropi.

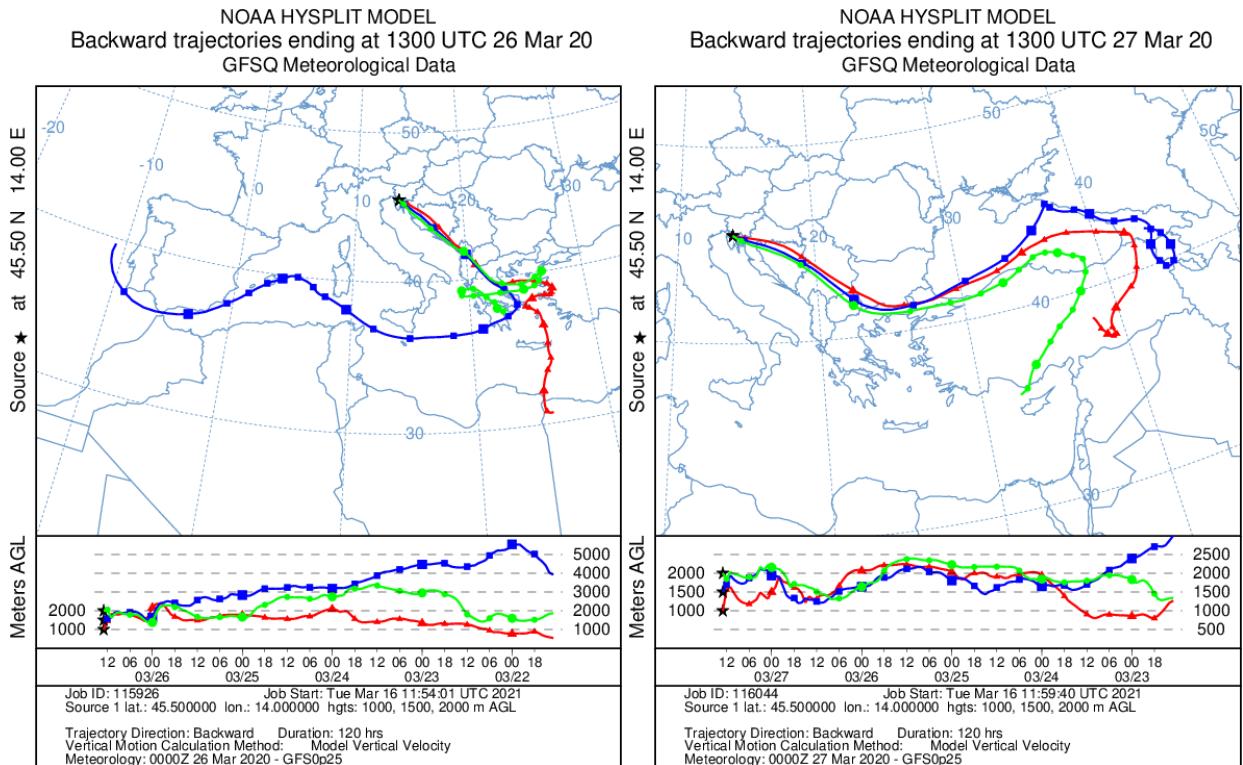


Slika 4.1: Levo: Polje tlaka na nivoju morske gladine dne 25. marca 2020 ob 13. uri. Desno: Topografija 500 mb ploskve dne 25. marca 2020 ob 13. uri.



Slika 4.2: Meteosat-8 Dust RGB dne 26. marca ob 00 UTC, prikazana je tudi topografija 300 hPa ploskve in tokovnice na 850 hPa ploskvi [14].

Analiza trajektorij za območje Slovenije potruje, da je tik pred pričetkom epizode, dne 26. marca, zrak v višjih zračnih plasteh izviral iz severne Afrike, še posebej to velja za Primorsko. Tega dne so bile sicer izmerjene ravni delcev v Sloveniji nizke, vpliva prahu iz Sahare v plasti zraka pri tleh torej v Sloveniji nismo zaznali. Glavnina puščavskega prahu je zatem pripravljala iz vzhoda, iz puščav zahodne Azije. Na sliki 4.3 so prikazane trajektorije za dne 26. in 27. marca. Dne 28. marca 2020 so bile trajektorije podobne trajektorijam predhodnega dne.



Slika 4.3: Trajektorije meteorološkega modela GFS za 120-urno pot zračne mase na različnih višinah do končne točke nad temi. Končna točka je postavljena nad Primorsko. Levo: dne 26. marca 2020. Desno: dne 27. marca 2020 [17].

4.2 Izmerjene ravni delcev v Sloveniji

Delce PM₁₀ v Državni meritni mreži za spremljanje kakovosti zunanjega zraka določamo z dvema metodama, gravimetrično in avtomatsko. Pri gravimetrični metodi se na filtrih 24 ur nabirajo delci in iz razlike v masi polnega in praznega filtra ter pretoka čez glavo vzorčevalnika se izračuna dnevna raven PM₁₀ na posameznem meritnem mestu. Merilna negotovost take meritve je majhna, slabost metode pa je, da je podatek le dnevni. Avtomatska metoda je manj natančna, a so meritve na voljo vsako uro.

Rezultati meritve delcev PM₁₀ so predstavljeni v tabelah 4.1 do 4.3 ter na slikah 4.4 in 4.5. Tabela 4.4 in slika 4.6 prikazujejo ravni delcev PM_{2,5}. RAVNI delcev PM₁₀ so tekom epizode na meritnih mestih po Sloveniji pričele izrazito naraščati v jutranjih oziroma dopoldanskih urah v petek, 27. marca 2020. Tega dne so preko dneva izmerjene urne vrednosti samodejnih meritnih postaj

dosegle izjemno visoke vrednosti nad $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (tabela 3, slika 5). Onesnaženje se je nato v popoldanskih urah istega dne in v soboto dokaj hitro zmanjševalo, a je bila vsebnost prahu v zraku znatna še v nedeljo 29. marca 2020. Najvišje povprečne dnevne ravni epizode so bile izmerjene dne 27. marca v Zagorju ($195 \mu\text{g}/\text{m}^3$), $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in več pa je bilo tega dne izmerjeno dnevno povprečje tudi v Novi Gorici, Ljubljani in Trbovljah. Najdlje so visoke ravni delcev PM_{10} vztrajale v Kopru, kjer je še 30. marca izmerjena povprečna dnevna raven znašala $113 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Tudi delci $\text{PM}_{2,5}$ so se na vseh merilnih mestih povišali (tabela 4.4). Vendar je za puščavski prah značilno drugačno razmerje med večjimi in manjšimi delci, zato smo pri delcih $\text{PM}_{2,5}$ zaznali manj izrazito povišanje kot pri delcih PM_{10} . Običajno delce PM_{10} sestavlja med 70 % do 90 % delcev $\text{PM}_{2,5}$, v primeru puščavskega prahu pa je ta delež med 20 % do 30 %.

Tabela 4.1: Dnevne ravni delcev PM_{10} v $\mu\text{g}/\text{m}^3$ od 24. do 30. marca 2020. Preseganja dnevne mejne vrednosti so označena s krepko pisavo.

Datum	LJ Bežigrad	MB Titova	CE bolnica	MS Rakičan	NG Grčna	Trbovlje	Zagorje	Hrastnik	Koper	Iskrba
24.3.	18	20	NA	19	11	22	19	37	18	17
25.3.	15	21	NA	19	13	17	16	45	17	12
26.3.	25	22	28	22	22	26	26	24	22	19
27.3.	182	157	153	136	180	182	195	124	157	104
28.3.	132	103	101	102	129	117	118	102	158	78
29.3.	59	38	42	45	58	54	52	45	113	34
30.3.	15	11	13	7	13	15	13	11	19	11

Tabela 4.2: Urne ravni delcev PM_{10} v $\mu\text{g}/\text{m}^3$ od 27. do 29. marca 2020.

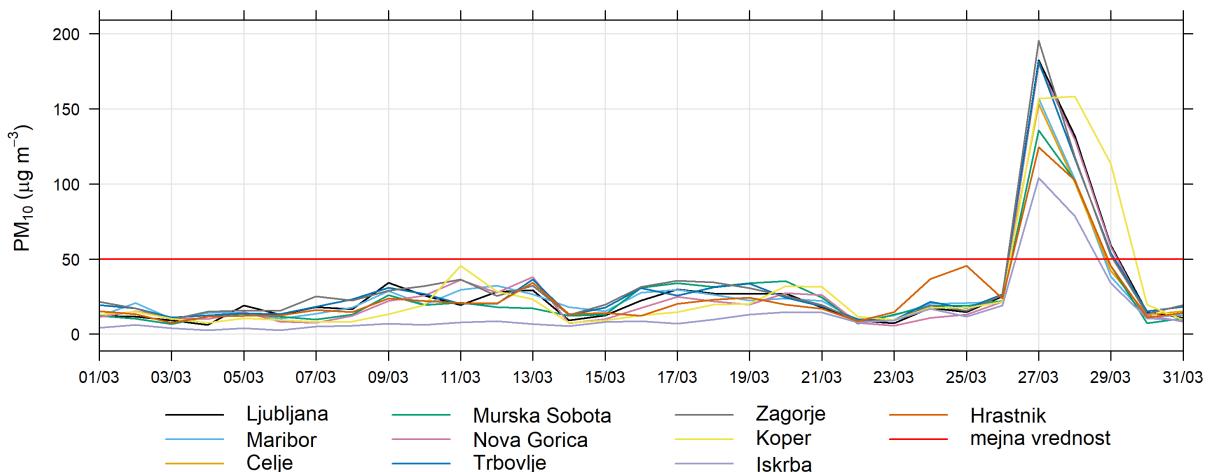
Datum	Ura	LJ Bežigrad	MB Titova	CE bolnica	MS Rakičan	NG Grčna	Trbovlje	Zagorje	Koper
27.03.	00:00	43	20	29	26	73	23	33	49
27.03.	01:00	61	19	25	26	67	30	37	56
27.03.	02:00	63	24	28	28	76	35	39	60
27.03.	03:00	73	22	28	31	65	38	46	56
27.03.	04:00	85	26	31	33	64	42	62	53
27.03.	05:00	95	29	34	57	60	51	66	46
27.03.	06:00	96	32	33	85	78	55	76	42
27.03.	07:00	100	38	44	98	83	63	85	55
27.03.	08:00	114	40	50	136	108	80	107	79
27.03.	09:00	143	48	83	139	111	127	179	103
27.03.	10:00	226	69	249	289	124	191	256	111
27.03.	11:00	272	139	268	338	190	231	295	133
27.03.	12:00	283	374	314	319	242	231	297	162
27.03.	13:00	293	469	417	358	222	260	347	213
27.03.	14:00	287	NA	425	290	200	328	418	222
27.03.	15:00	324	NA	NA	212	202	349	448	243
27.03.	16:00	375	400	NA	195	208	321	415	284
27.03.	17:00	359	328	351	177	221	NA	393	336
27.03.	18:00	367	234	280	174	255	NA	NA	382
27.03.	19:00	323	226	279	183	301	240	NA	382
27.03.	20:00	303	263	249	158	330	214	268	360
27.03.	21:00	286	222	205	152	305	184	258	351
27.03.	22:00	234	202	192	143	290	174	234	321
27.03.	23:00	226	194	180	144	280	142	194	296

Tabela 4.3: Nadaljevanje prejšnje tabele.

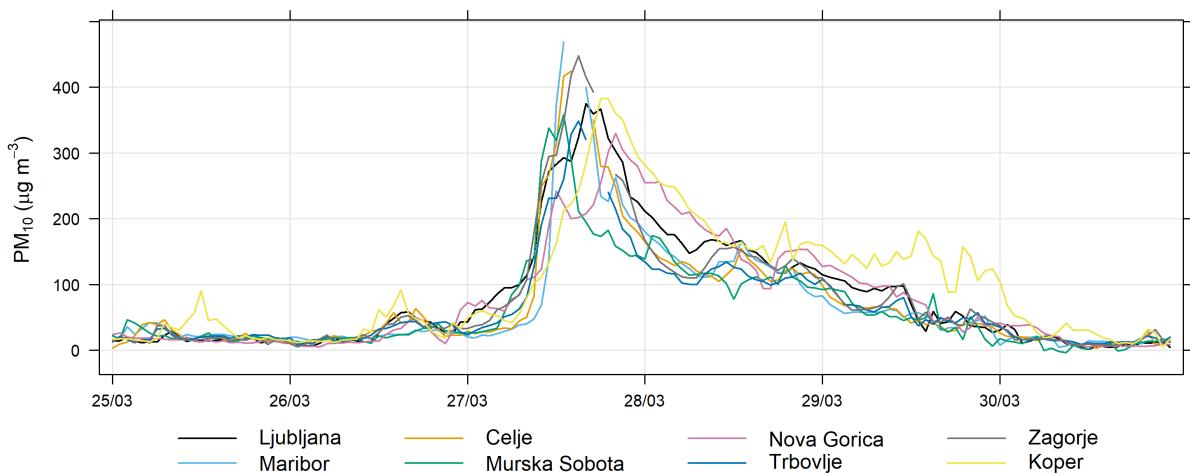
Datum	Ura	LJ Bežigrad	MB Titova	CE bolnica	MS Rakičan	NG Grčna	Trbovlje	Zagorje	Koper
28.03.	00:00	211	180	165	139	255	135	168	282
28.03.	01:00	202	170	150	175	255	124	151	270
28.03.	02:00	188	161	140	171	256	123	135	254
28.03.	03:00	176	149	136	155	228	117	126	250
28.03.	04:00	176	142	129	135	218	116	119	248
28.03.	05:00	163	132	135	124	207	103	112	233
28.03.	06:00	147	125	130	114	210	101	110	214
28.03.	07:00	153	114	120	116	194	100	110	205
28.03.	08:00	165	111	116	118	185	115	125	197
28.03.	09:00	168	113	113	117	177	124	141	182
28.03.	10:00	167	135	105	113	174	128	155	164
28.03.	11:00	160	134	115	101	185	135	154	164
28.03.	12:00	164	136	125	78	166	126	157	158
28.03.	13:00	167	166	155	101	138	123	152	164
28.03.	14:00	152	149	138	107	132	112	144	154
28.03.	15:00	149	137	128	112	122	108	142	152
28.03.	16:00	139	133	118	106	94	105	134	160
28.03.	17:00	128	126	105	112	94	100	129	134
28.03.	18:00	118	119	107	100	139	103	122	163
28.03.	19:00	117	118	121	129	150	110	129	195
28.03.	20:00	127	125	124	111	152	112	139	138
28.03.	21:00	133	101	115	106	154	118	132	161
28.03.	22:00	127	88	119	96	153	107	123	165
28.03.	23:00	124	82	115	95	141	101	111	161
29.03.	00:00	115	83	99	93	127	108	110	160
29.03.	01:00	111	70	81	94	129	99	97	152
29.03.	03:00	106	56	68	89	117	70	71	132
29.03.	04:00	96	58	69	72	111	69	61	146
29.03.	05:00	92	58	66	61	102	67	62	136
29.03.	06:00	89	57	64	54	101	61	63	125
29.03.	07:00	94	57	66	53	96	59	65	147
29.03.	08:00	90	58	66	59	97	65	69	128
29.03.	09:00	97	62	65	51	98	67	81	133
29.03.	10:00	97	61	62	51	81	76	96	150
29.03.	11:00	97	50	52	45	88	80	101	138
29.03.	12:00	71	56	41	50	79	52	77	143
29.03.	13:00	45	57	46	46	73	37	48	182
29.03.	14:00	29	52	39	50	69	46	58	170
29.03.	15:00	59	45	42	86	43	40	43	144
29.03.	16:00	41	30	36	34	48	49	43	136
29.03.	17:00	43	34	29	28	48	44	50	89
29.03.	18:00	59	34	30	35	42	41	40	89
29.03.	19:00	52	39	40	16	28	50	38	158
29.03.	20:00	37	42	40	51	35	48	63	143
29.03.	21:00	36	45	41	36	51	57	53	106
29.03.	22:00	35	52	38	16	38	41	49	121
29.03.	23:00	27	28	35	6	40	39	43	124

Tabela 4.4: Dnevne ravni delcev PM_{2,5} v $\mu\text{g}/\text{m}^3$ od 24. do 30. marca 2020.

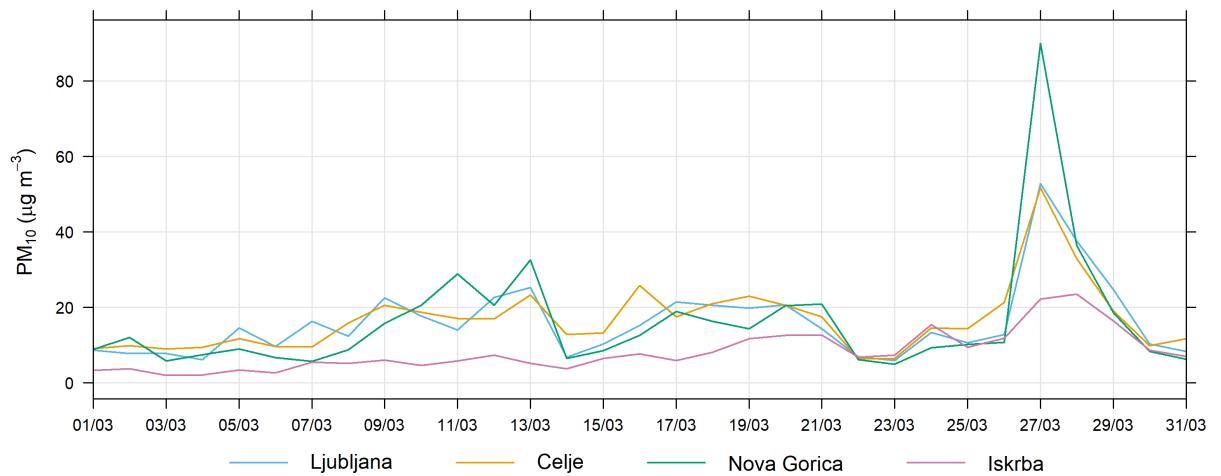
Datum	LJ Bežigrad	CE bolnica	NG Grčna	Iskrba
24.3.	13	15	9	15
25.3.	11	14	10	9
26.3.	13	21	11	12
27.3.	53	52	90	22
28.3.	38	33	36	23
29.3.	25	19	19	16
30.3.	10	10	8	9



Slika 4.4: Dnevne ravni delcev PM₁₀ v $\mu\text{g}/\text{m}^3$ v marcu 2020, izmerjene z gravimetrično metodo na merilnih mestih po Sloveniji.



Slika 4.5: Urne ravni delcev PM₁₀ v $\mu\text{g}/\text{m}^3$ z avtomatskih merilnih postaj na merilnih mestih po Sloveniji.



Slika 4.6: Dnevne ravni delcev $\text{PM}_{2,5}$ v $\mu\text{g}/\text{m}^3$ v marcu 2020, izmerjene z gravimetrično metodo na merilnih mestih po Sloveniji.

4.3 Kemijska sestava delcev PM_{10}

Sestava delcev puščavskega prahu, ki ga občasno zanese nad naše kraje, je drugačna od sestave delcev, ki so povisani v zimskem obdobju in so posledica izpustov zaradi ogrevanja in prometa. V puščavskem prahu je bistveno manj različnih organskih spojin. Sestavlja ga predvsem mineralni delci, ki obsegajo okside aluminija, silicija, železa, mangana, kalcija, magnezija, kalija, natrija in titana. Ob takšnih dogodkih v padavinah in delcih zaznamo povisane ravni teh elementov.

Delce PM_{10} smo v epizodi prehoda puščavskega prahu tudi kemijsko analizirali. V tabelah 4.5 do 4.7 so prikazane ravni kalcija, magnezija, natrija, aluminija, mangana, železa in stroncija, ki so bile v dneh, ko je Slovenijo prešel puščavski prah, močno povisane. Na sliki 4.7 so za merilno mesto Iskrba ravni teh parametrov prikazane tudi grafično.

Tabela 4.5: Dnevne ravni parametrov v PM_{10} na Iskrbi.

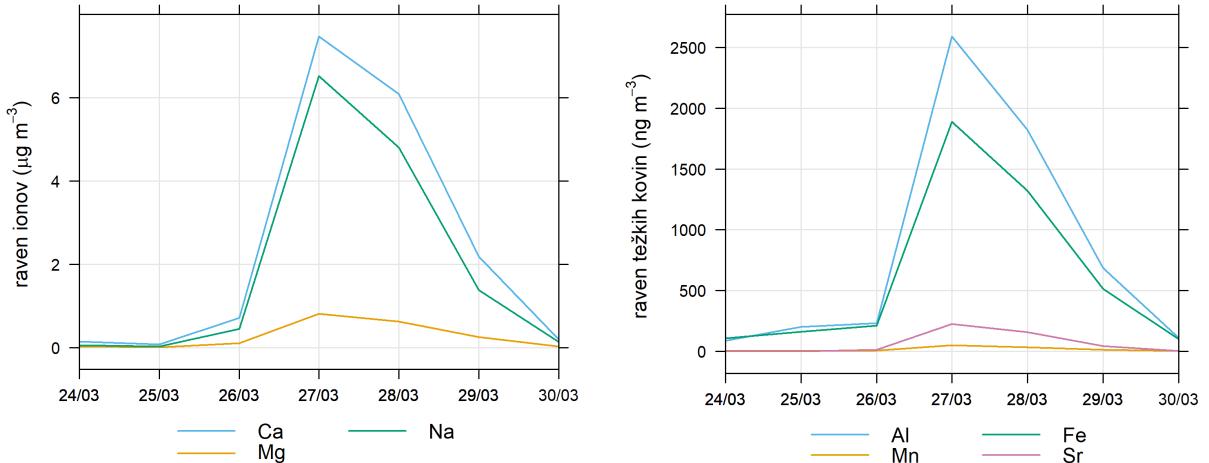
ISKRBA	Ca µg/m ³	Mg µg/m ³	Na µg/m ³	Al ng/m ³	Mn ng/m ³	Fe ng/m ³	Sr ng/m ³
Datum							
24.03.2020	0,15	0,03	0,06	87	3,32	107	0,816
25.03.2020	0,08	0,01	0,03	200	4,19	161	0,599
26.03.2020	0,72	0,11	0,45	231	5,26	210	13,4
27.03.2020	7,47	0,82	6,52	2590	48,4	1890	225
28.03.2020	6,09	0,63	4,80	1820	34	1320	158
29.03.2020	2,19	0,26	1,38	686	13,1	515	43,7
30.03.2020	0,20	0,03	0,14	111	2,72	102	1,71

Tabela 4.6: Dnevne ravni parametrov v PM₁₀ v Ljubljani.

LJUBLJANA	Ca	Mg	Na	Al	Mn	Fe	Sr
Datum	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	ng/m ³	ng/m ³	ng/m ³	ng/m ³
24.03.2020	0,46	0,04	0,10	99	5,1	158	0,871
25.03.2020	0,20	0,02	0,09	172	4,21	161	0,58
26.03.2020	0,99	0,14	0,76	366	7,93	329	19,2
27.03.2020	8,52	1,23	15,50	2060	75,2	2980	350
28.03.2020	8,41	1,02	9,09	2830	57,5	2280	248
29.03.2020	4,06	0,42	2,48	1080	21,4	884	73,7
30.03.2020	0,61	0,06	0,16	130	4,39	142	2,92

Tabela 4.7: Dnevne ravni parametrov v PM₁₀ v Mariboru.

MARIBOR	Ca	Mg	Na	Al	Mn	Fe	Sr
Datum	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	ng/m ³	ng/m ³	ng/m ³	ng/m ³
24.03.2020	0,34	0,05	0,12	175	6,29	295	1,29
25.03.2020	0,14	0,02	0,13	382	8,74	379	1,4
26.03.2020	0,14	0,02	0,13	265	11,4	209	1,45
27.03.2020	8,26	1,17	12,20	3840	81,1	2940	337
28.03.2020	7,16	0,92	6,48	2340	49,9	1810	186
29.03.2020	2,13	0,35	1,32	753	17	663	44,2
30.03.2020	0,47	0,07	0,21	173	5,22	276	2,29

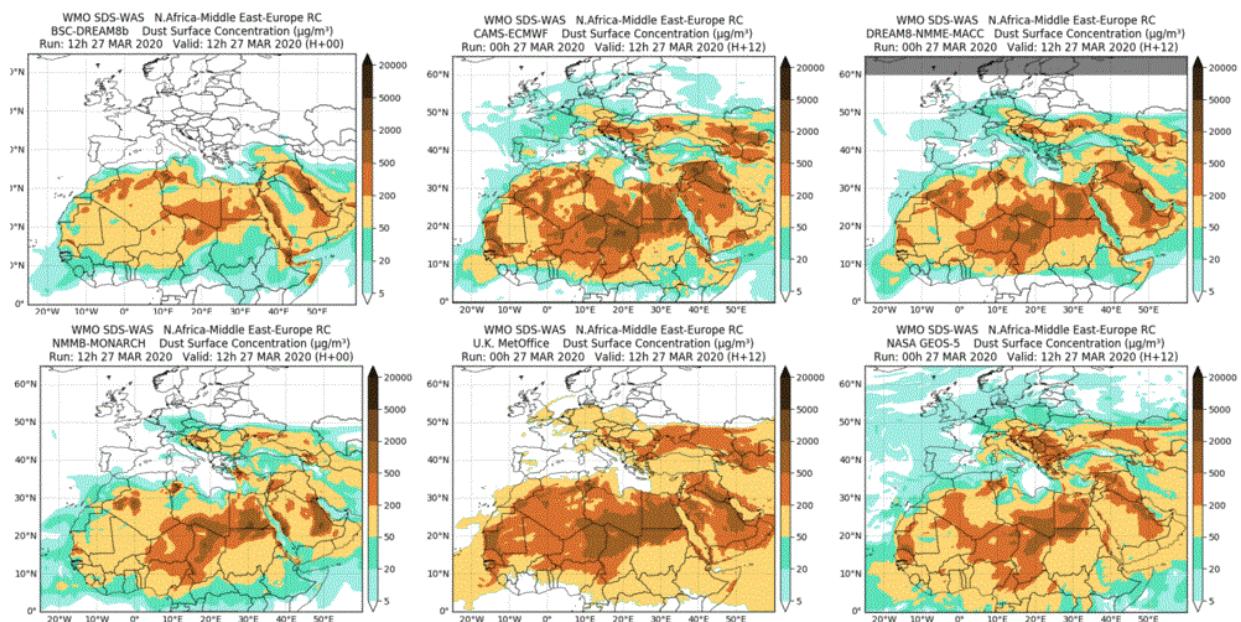


Slika 4.7: Dnevne ravni ionov (levo) in težkih kovin (desno) na merilnem mestu Iskrba.

4.4 Modelske izračuni

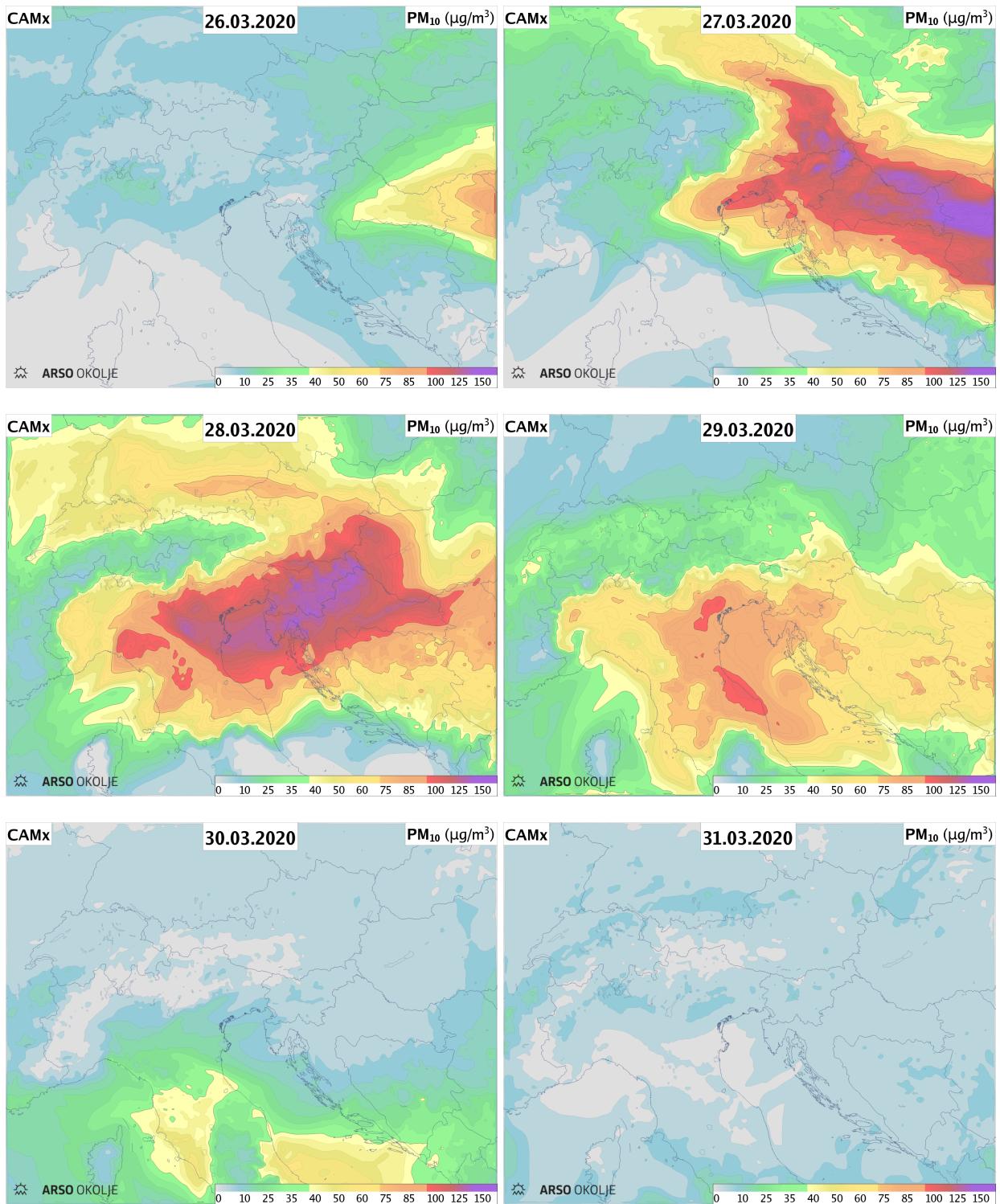
V nadaljevanju so za epizodo puščavskega prahu predstavljeni izračuni modelskega sistema ALADIN/SI-CAMx. Model CAMx simulira transport, disperzijo, suho ter mokro depozicijo onesnaževal ter kemijske pretvorbe z uporabo SAPRC07TC kemijskega modula v ločljivosti 4,4 km v 270 x 210 modelskih točkah na 68 vertikalnih nivojih. V časovnem razmaku 1 ure je model CAMx sklopljen z operativnim meteorološkim modelom ALADIN/SI. Območje modeliranja onesnaženosti poleg Slovenije in Padske nižine obsega tudi območja sosednjih držav, medtem ko informacije o onesnaženju iz virov zunaj območja modeliranja CAMx dobi iz globalnega disperzijsko-fotokemijskega modela CAMS Evropskega centra za srednjeročne vremenske napovedi (ECMWF). Tudi puščavski prah

izvira iz puščav izven območja modeliranja ALADIN/SI-CAMx, zato je natančnost izračunov močno odvisna od globalnega modela CAMS. V praksi se izkaže, da je modeliranje vdorov puščavskega prahu z globalnimi modeli lahko precejšen izziv in da lahko različni modeli dajo tudi drugačne rezultate. Uporabljajo namreč različne parametrizacije kemijskih in fizikalnih procesov, emisij in odlaganja prahu, vključujejo ali pa ne asimilacijo in/ali povratne učinke v meteoroloških modelih, imajo različne prostorske in časovne ločljivosti ter tudi različna območja modeliranja (niso vsi modeli za modeliranje puščavskega prahu globalni). Na sliki 4.8 so za dne 27. marca 2020 prikazani izračuni puščavskega prahu na nivoju tal, narejeni z različnimi globalnimi modeli, vključenimi v projekt Svetovne meteorološke organizacije, imenovan The Sand and Dust Storm Warning Advisory and Assessment System (SDS-WAS). Opazimo lahko pomembne razlike v rezultatih za območje Slovenije.



Slika 4.8: Vsebnost prahu v plasti zraka pri tleh v $\mu\text{g}/\text{m}^3$, izračuni različnih globalnih modelov, za dne 27. marca 2020 ob 12 UTC. Izračun modela CAMS-ECMWF, ki zagotavlja informacije o vdorih onesnaženja modelu CAMx na Ageniji za okolje, je prikazan na sredini prve vrstice [18].

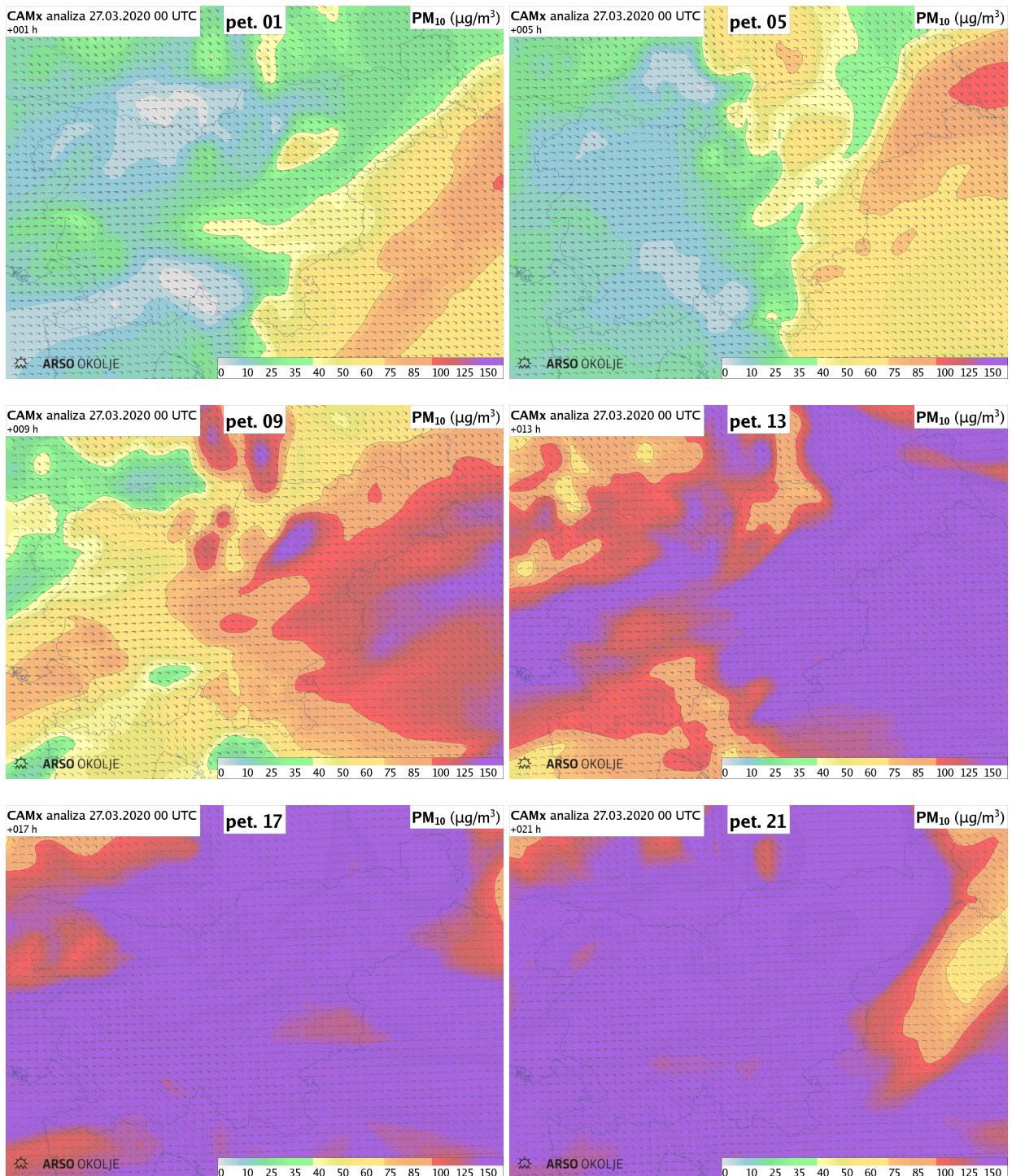
Širjenje oblaka puščavskega prahu na območju modeliranja ALADIN/SI-CAMx v dneh med 26. marcem in 31. marcem 2020 prikazuje slika 4.9. Prikazane so povprečne dnevne ravni delcev PM_{10} . Oblak prahu, ki se je na območju modela CAMx pojavit 26. marca je v polnosti dosegel Slovenijo 27. marca. Po modelskih izračunih se je dne 28. marca glavnina onesnaženja zadrževala nad Slovenijo, nad večino Hrvaške, severnim Jadranom in delom Padske nižine. Naslednji dan, 29. marca je bilo nekaj prahu v ozračju še prisotnega, največ nad severnim Jadranom in zahodnim delom Padske nižine. Severovzhodni vetrovi so nato ostanke oblaka puščavskega prahu potisnili proti jugu. Dne 30. marca je bilo ozračje nad Slovenijo čisto, dan za tem pa sledi puščavskega prahu na območju modeliranja ALADIN/SI-CAMx ni bilo več zaznati.



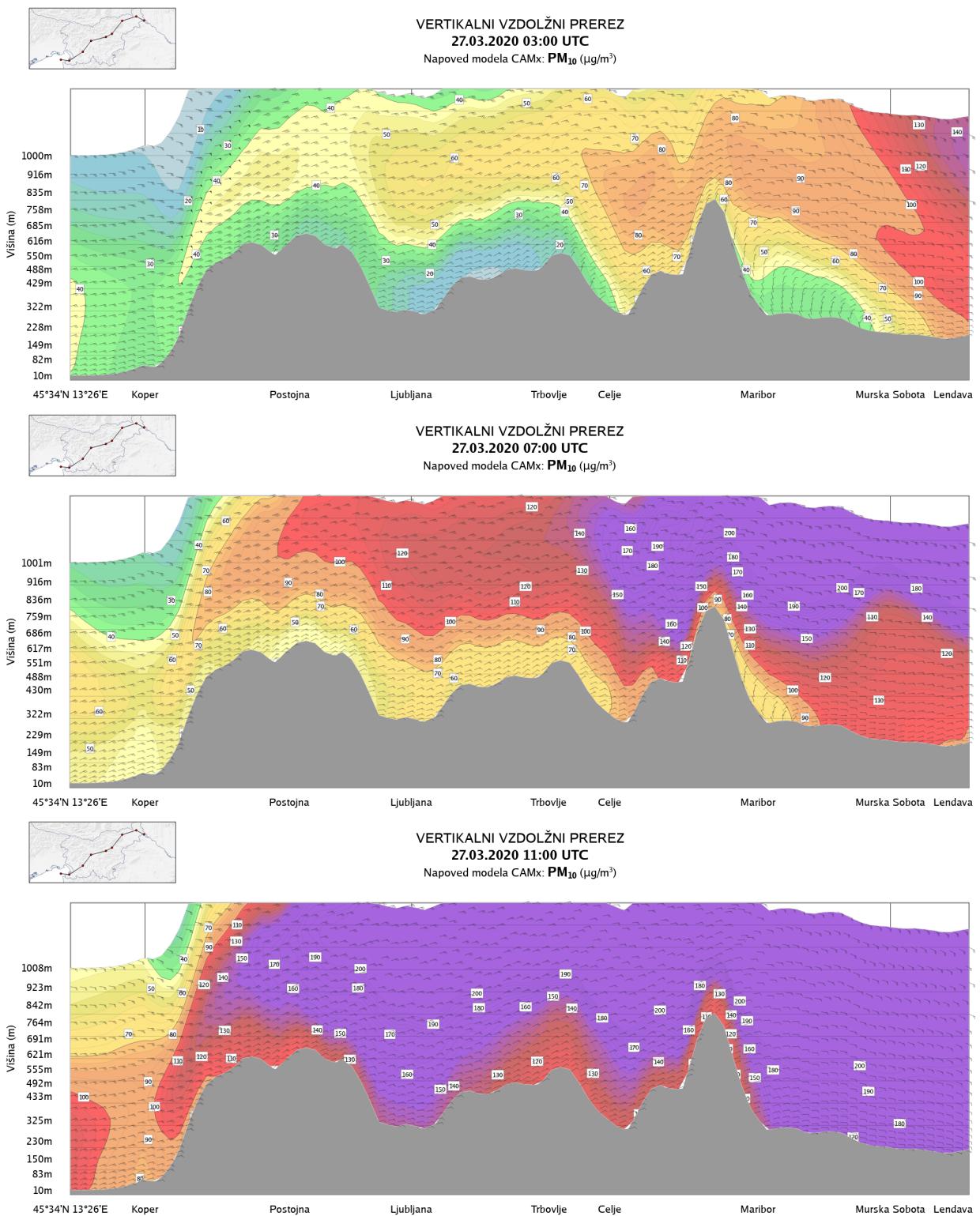
Slika 4.9: Povprečne dnevne ravnine delcev PM₁₀ v plasti zraka pri tleh v µg/m³, izračunane z ALADIN/SI-CAMx modelom na celotnem računskem območju modeliranja.

Nekaj primerov urnih vrednosti delcev PM₁₀ nad območjem Slovenije dne 27. marca, ko je prišlo do ekstremnega porasta onesnaženja, je prikazano na sliki 4.10. V dopoldanskih urah tega dne je onesnaženje zajelo celotno Slovenijo. Kot prikazuje vertikalni krajevni prerez onesnaženja od Kopra do Lendave ob treh izbranih terminih tega dne na sliki 4.11, se je oblak puščavskega prahu v višjih plasteh nad Slovenijo pojavil že v nočnih urah dne 27. marca in nato od vzhoda nekaj ure kasneje dosegel tudi tla, najkasneje v Kopru. Čiščenje ozračja s severovzhodnimi vetrovi je najprej prineslo izboljšanje v višjih plasteh, medtem ko so visoke ravni delcev najdlje vztrajale v plasti zraka pri tleh, kar je deloma razvidno iz slike 4.12, ki prikazuje vertikalni časovni potek onesnaženja tekom epizode nad Ljubljano. Opazimo lahko tudi razliko v jakosti vetrov pred, med in po epizodi puščavskega prahu. V obdobju, ko se oblak puščavskega prahu zadržuje nad našimi kraji, prevladujejo šibki vetrovi, medtem ko je prihod onesnaženja in njegovo čiščenje povezano z močnejšim vetrom vzhodnih smeri.

Hkrati prikaz modelskih izračunov in meritve pri tleh vidimo na sliki 4.13. Izmerjene in modelirane dnevne vrednosti delcev PM₁₀ za izbrana merilna mesta po Sloveniji v mesecu marcu 2020 so pokazale ekstremno preseganje dnevne mejne vrednosti v dneh epizode. Opazimo, da modelski izračuni dajejo višje povprečne dnevne ravni drugi dan epizode, 28. marca, medtem ko meritve dajejo višje ravni prvi dan, 27. marca 2020 (slika 4.13a). Tako model kot meritve kažejo, da je onesnaženje najdlje vztrajalo v Kopru. Primerjava urnih vrednosti modelskih izračunov z urnimi avtomatskimi meritvami samodejnih postaj po Sloveniji za delce PM₁₀ na sliki 4.13b pokaže prvi dan nekaj ur časovnega zamika najvišjih vrednosti modela v primerjavi z meritvami ter nižji maksimum modelskih vrednosti na vseh postajah. Drugi dan so bile modelske vrednosti in meritve ravni delcev PM₁₀ med seboj zelo podobne na vseh postajah. Slika 4.13c prikazuje izmerjene in modelirane dnevne ravni delcev PM_{2,5}. Podobno kot v primeru delcev PM₁₀ model tudi v tem primeru časovno zamakne maksimum onesnaženja na vseh merilnih mestih. Tudi pri delcih PM_{2,5} modelski maksimum nastopi dne 28. marca, dne 29. marca pa so modelske ravni v tem primeru celo primerljive z ravnimi na prvi dan epizode 27. marca 2020. Pri delcih PM_{2,5} so na vseh postajah modelski maksimumi približno enako izraziti, medtem ko pri meritvah opazimo med maksimumi dnevnih vrednosti delcev po postajah precejšnje razlike. Model teh razlik v maksimumih dnevnih vrednosti delcev PM_{2,5} ne pokaže tako kot to pokaže meritve (Nova Gorica najvišja izmerjena dnevna vrednost 90 µg/m³, Iskrba 23 µg/m³, v modelu sta maksimuma za Iskrbo in Novo Gorico primerljiva).



Slika 4.10: Urne ravni delcev PM₁₀ v plasti zraka pri tleh v $\mu\text{g}/\text{m}^3$, izračunane z ALADIN/SI-CAMx modelom na območju Slovenije. Prikazanih je nekaj izbranih terminov dne 27. marca 2020.



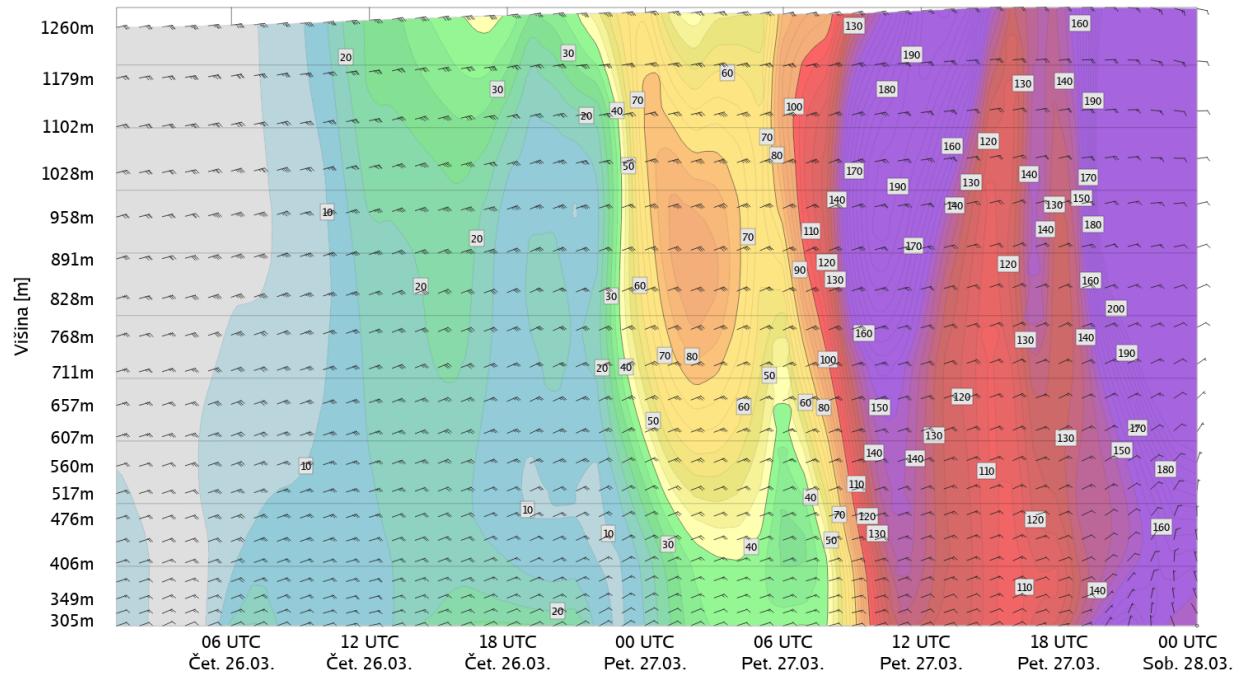
Slika 4.11: Vertikalni krajevni prerez ravni delcev PM_{10} v $\mu\text{g}/\text{m}^3$ preko Slovenije (potek prereza je označen levo zgoraj), izračunani narejeni z modelom ALADIN/SI-CAMx za izbrane termine dne 27. marca 2020.

VERTIKALNI ČASOVNI PRESEK

26.03.2020 01:00 - 28.03.2020 00:00

LJUBLJANA/BEŽIGRAD

Napoved modela CAMx: PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

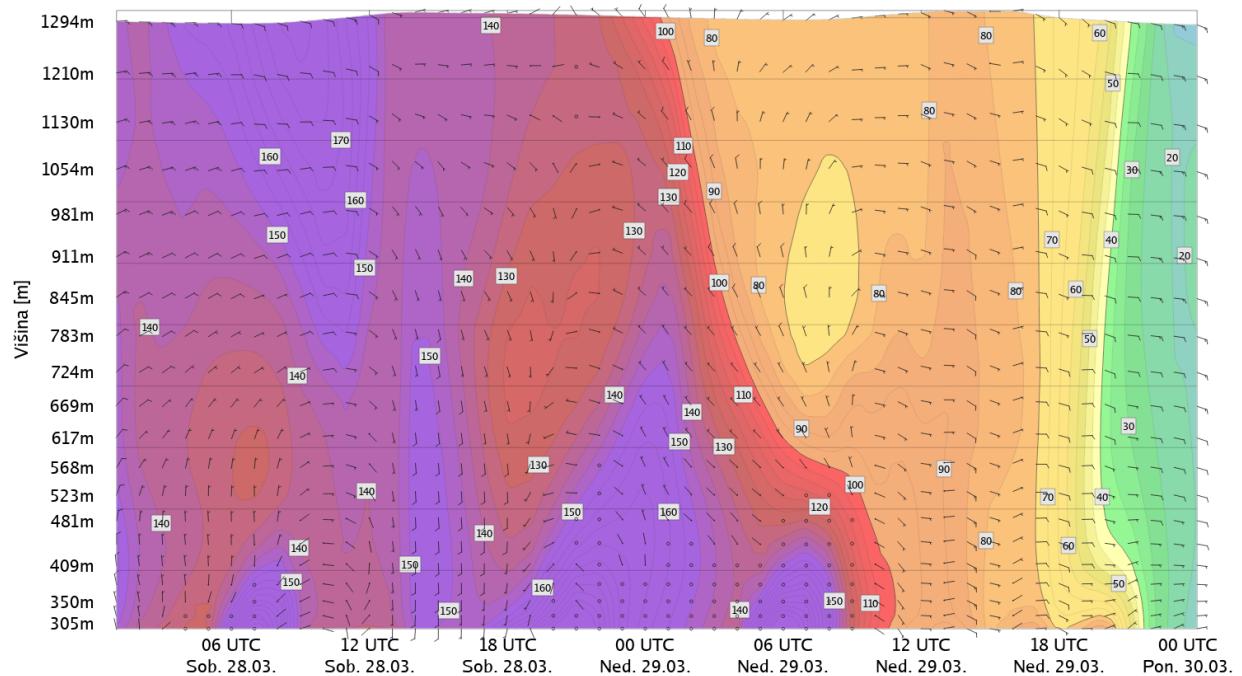


VERTIKALNI ČASOVNI PRESEK

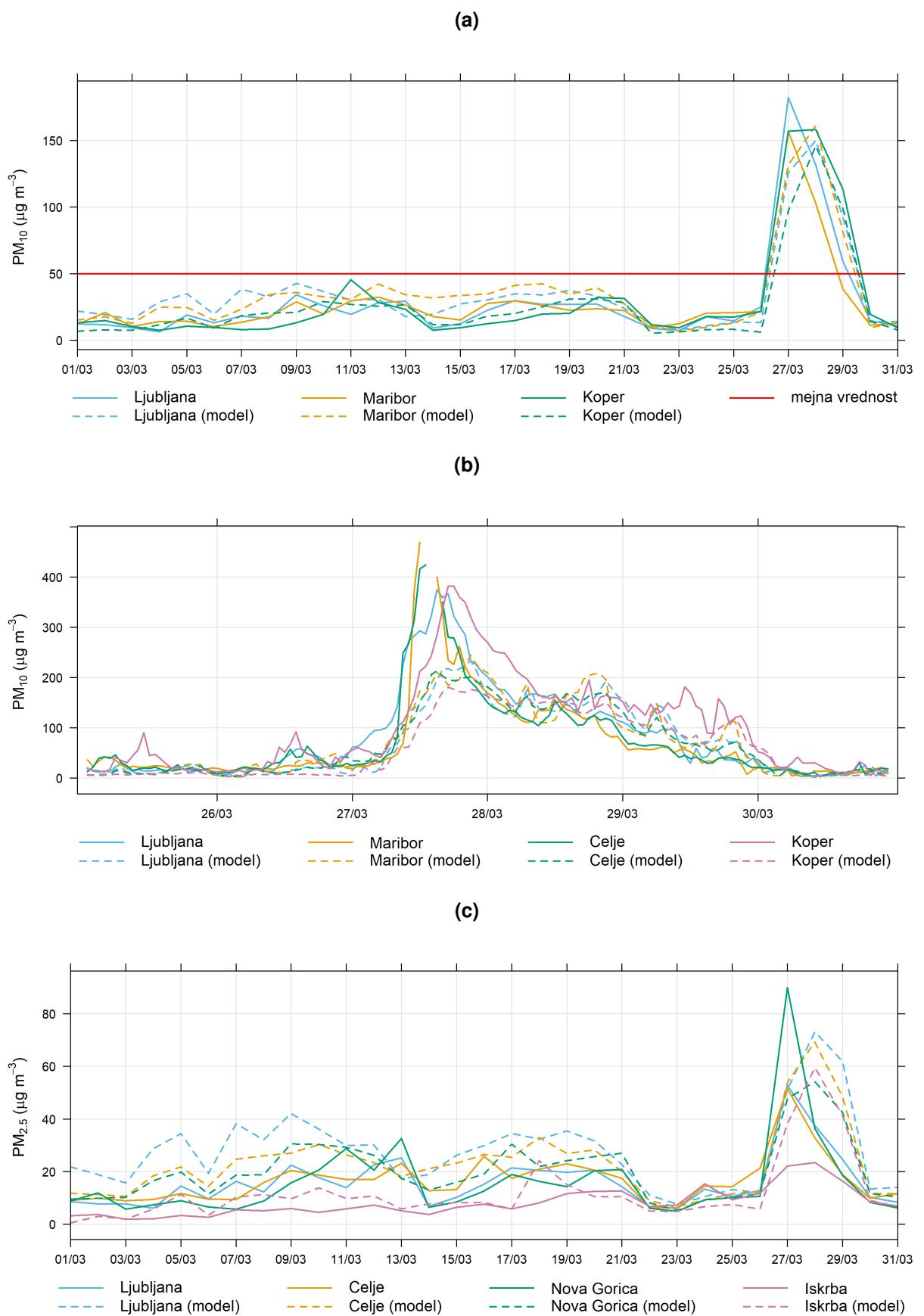
28.03.2020 01:00 - 30.03.2020 00:00

LJUBLJANA/BEŽIGRAD

Napoved modela CAMx: PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)



Slika 4.12: Vertikalni časovni prerez ravni delcev PM_{10} v $\mu\text{g}/\text{m}^3$ nad Ljubljano, izračunani narejeni z modelom ALADIN/SI-CAMx za 26. in 27. marca 2020 (zgoraj) ter 28. in 29. marca 2020 (spodaj).



Slika 4.13: Izmerjene (polne črte) in z modelom ALADIN/SI-CAMx izračunane (črtkane črte) (a) dnevne vrednosti delcev PM_{10} v mesecu marcu 2020, (b) urne vrednosti delcev PM_{10} dneh epizode puščavskega prahu in (c) dnevne vrednosti delcev $\text{PM}_{2.5}$ v mesecu marcu 2020 za merilna mesta po Sloveniji.

5. Delci PM₁₀ in PM_{2,5}

Izraz delci (angl. Particulate Matter – PM) uporabljamo kot splošen pojem, ki označuje suspendirane delce (tekoče in trdne) v plinu. S PM_{2,5} označujemo 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 sproščajo v ozračje viri izpustov 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.

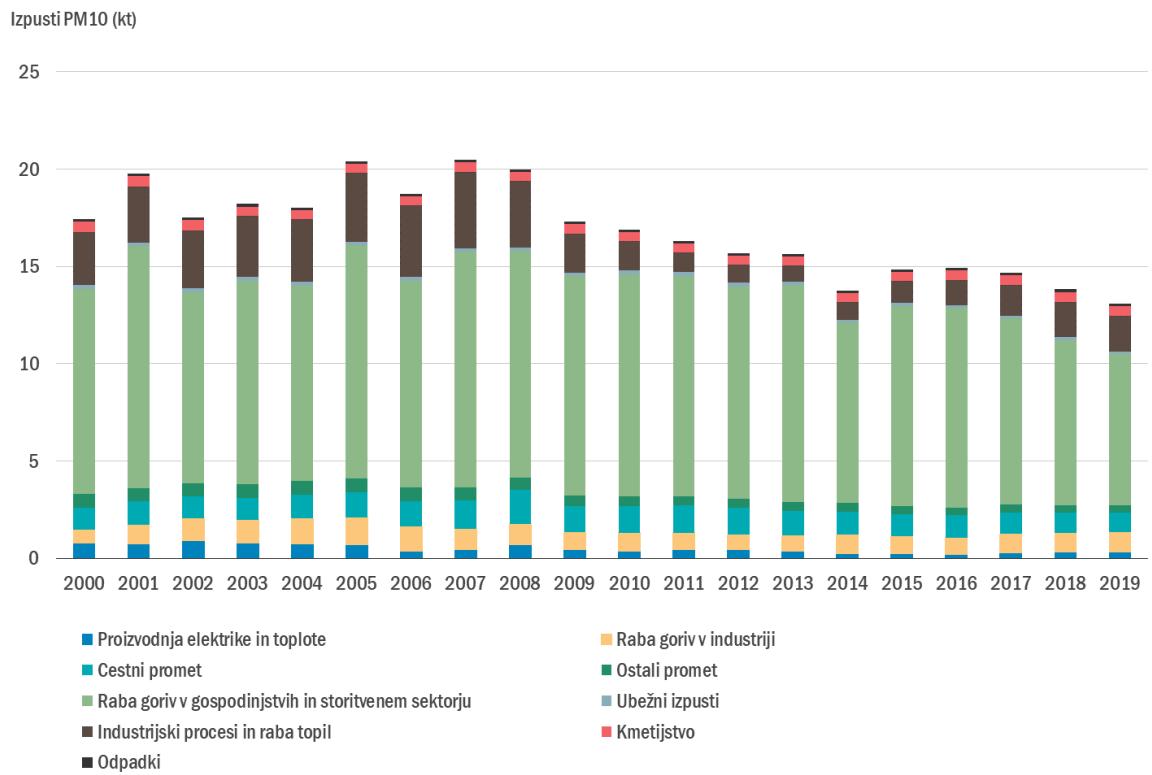
Povišane ravni delcev PM₁₀ se pri nas tipično pojavljajo v zimskih mesecih, ko se v primeru anticiklonalnih razmer s šibkimi vetrovi v prizemnih plasteh pogosto pojavi temperaturni obrat. V teh plasteh imamo šibko vertikalno mešanje zraka, kar povzroči, da se onesnaževala dlje časa zadržujejo v bližini tal. Obenem so v zimskih mesecih najbolj aktivna mala kurišča, ki imajo največji prispevek k izpustom delcev PM₁₀.

5.1 Izpusti delcev

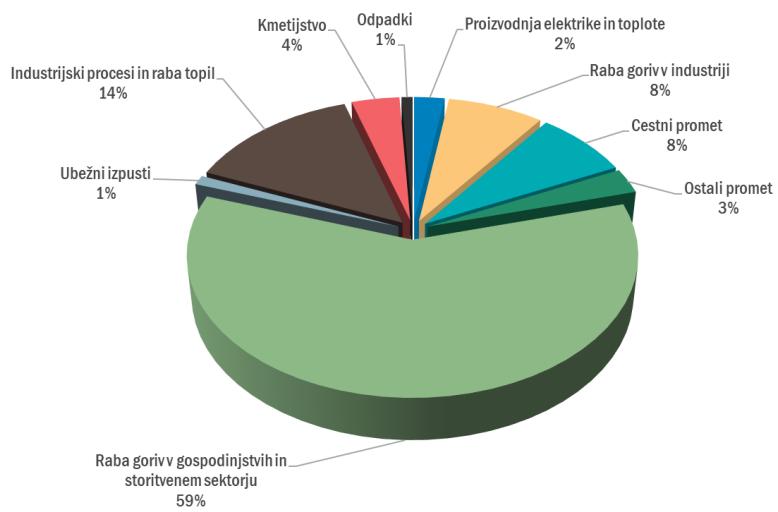
Letni izpusti delcev PM₁₀ so v Sloveniji leta 2019 znašali 13 tisoč ton (slika 5.1), letni izpusti primarnih delcev manjših od 2,5 µm (PM_{2,5}) pa 11 tisoč ton (slika 5.3). V obdobju 2000-2019 so se izpusti delcev PM₁₀ in PM_{2,5} zmanjšali za 25 %. Zmanjšanje izpustov je posledica izboljšanja energetske 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 2019 prispevala 59 % (slika 5.2), k skupnim izpustom PM_{2,5} pa kar 72 % (slika 5.4). Iz slike 5.5 je razvidna prevladujoča vloga kurilnih naprav na les v skupnih izpustih malih kurilnih naprav.

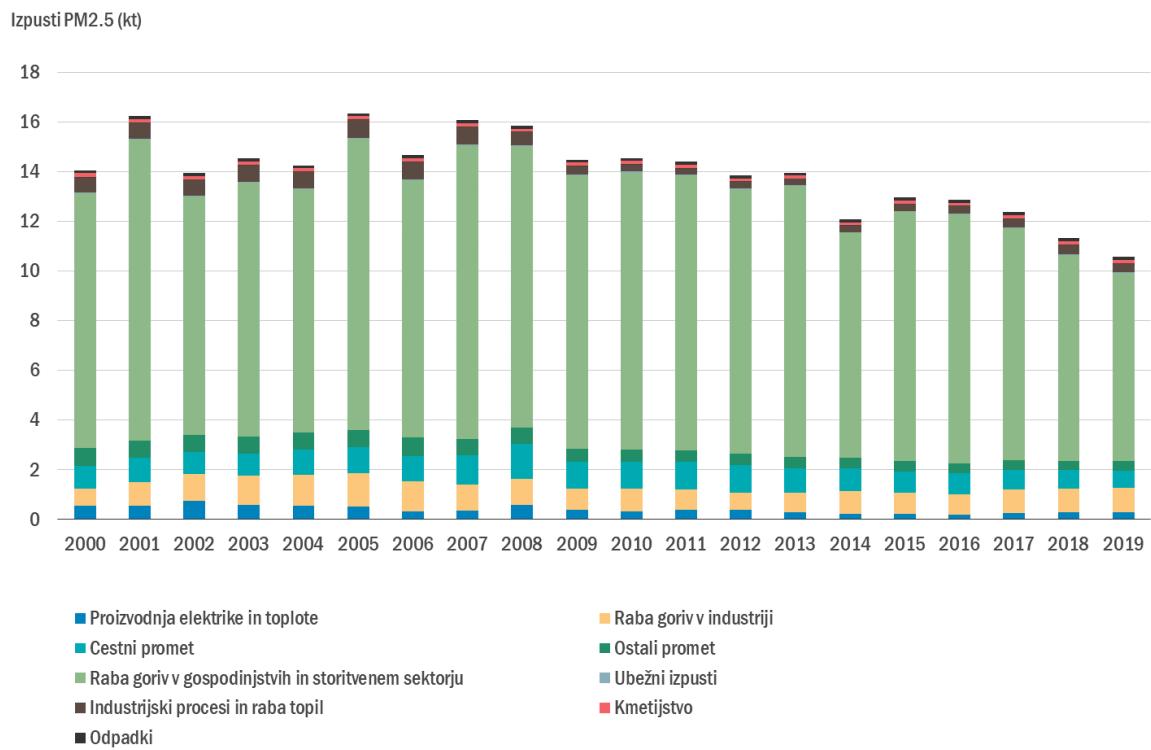
K izpustom delcev znatno prispeva tudi cestni promet. Izpusti PM₁₀ iz cestnega prometa so leta 2019 predstavljeni 8 % skupnih državnih izpustov, delež k izpustom PM_{2,5} je znašal 7 %. Delci v cestnem prometu nastajajo tudi pri obrabi cest, gum in zavor.



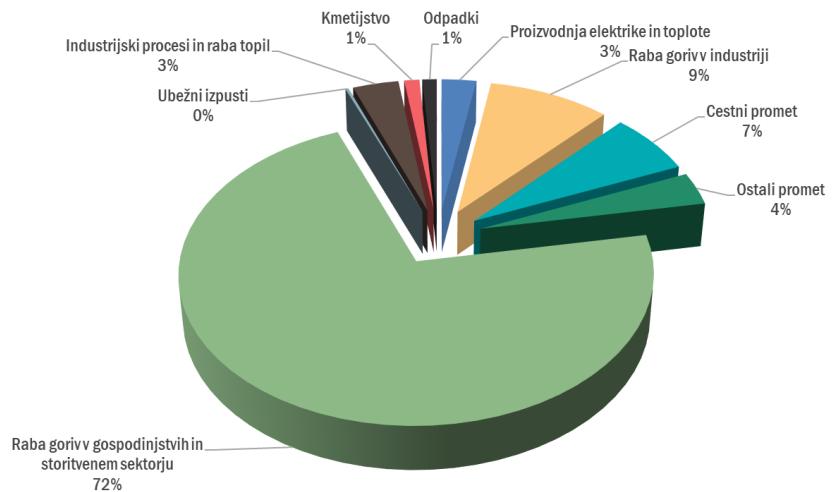
Slika 5.1: Letni izpusti delcev PM₁₀ po sektorjih v Sloveniji.



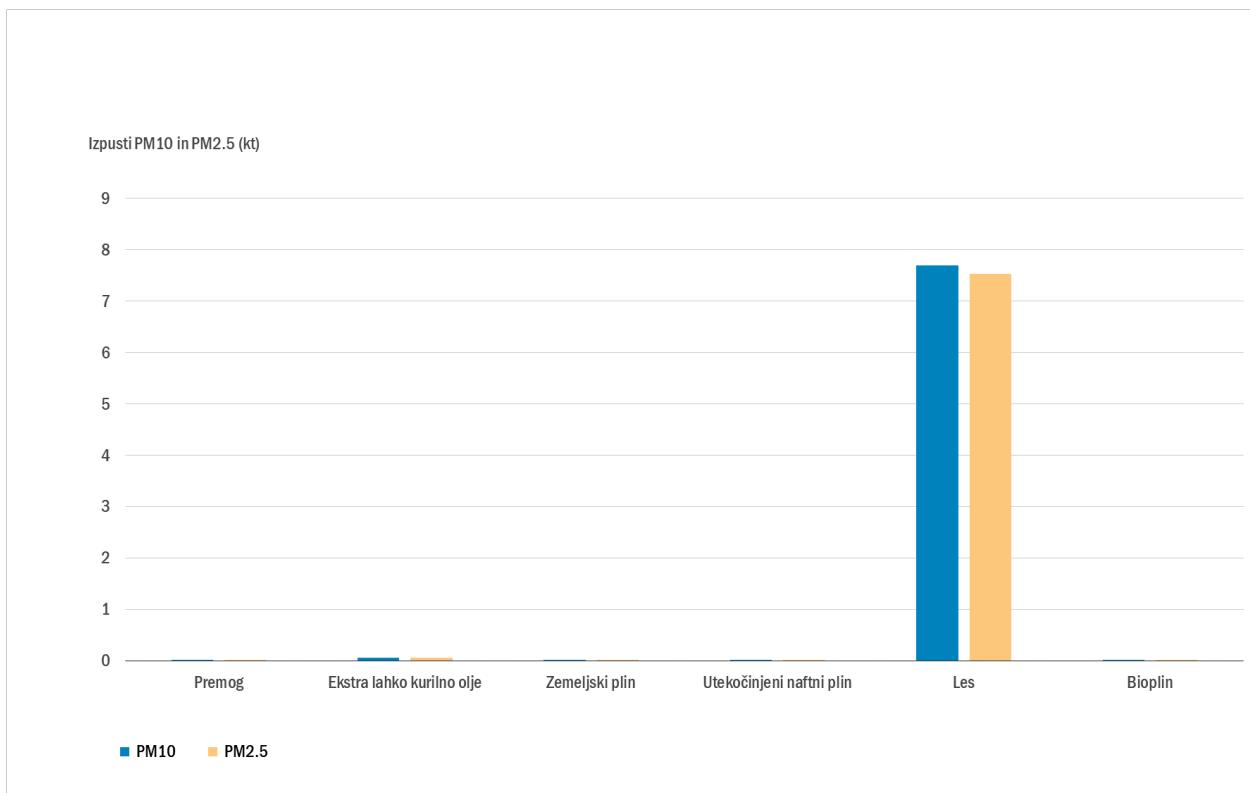
Slika 5.2: Izpusti delcev PM₁₀ po sektorjih v Sloveniji v letu 2019.



Slika 5.3: Letni izpusti delcev PM_{2,5} po sektorjih v Sloveniji.



Slika 5.4: Izpusti delcev PM_{2,5} po sektorjih v Sloveniji v letu 2019.



Slika 5.5: Izpusti delcev PM₁₀ in PM_{2.5} iz malih kurilnih naprav glede na vrsto uporabljenega goriva v letu 2019.

5.2 Zahteve za kakovost zraka

Mejne vrednosti za delce so predpisane v Uredbi o kakovosti zunanjega zraka [8]. Prikazane so v tabeli 5.1. 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 5.2). V tabeli 5.1 so poleg zakonodajno predpisanih vrednosti napisane tudi smernice Svetovne zdravstvene organizacije v stolpcu WHO.

Tabela 5.1: 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 5.2: Mejna vrednost za delce PM_{2.5} (µg/m³) po letih.

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

Kazalnik povprečne izpostavljenosti KPI za PM_{2,5}, izražen v $\mu\text{g}/\text{m}^3$, temelji na meritvah na mestih v neizpostavljenem mestnem okolju. Mesta v neizpostavljenem mestnem okolju so meritna mesta na lokacijah, na katerih so ravni reprezentativne za izpostavljenost mestnega prebivalstva in nanje praviloma ne vpliva samo en vir onesnaženja. KPI je potrebno oceniti kot drseče povprečje srednjih vrednosti letnih ravni v treh zaporednih koledarskih letih na relevantnih vzorčevalnih mestih. KPI za leto 2020 je triletno drseče povprečje vrednosti ravni na vseh teh vzorčevalnih mestih za leta 2018, 2019 in 2020. Predpisana stopnja izpostavljenosti znaša od leta 2015 dalje 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (tabela 5.1). KPI uporabljamo za preverjanje doseganja ciljnega zmanjšanja izpostavljenosti na nacionalni ravni.

5.3 Ravni onesnaženosti

Onesnaženost zraka z delci PM₁₀ je bila v letu 2020 nizka in prvič od začetka meritev na nobenem meritnem mestu državne meritne mreže za spremljanje kakovosti zunanjega zraka vsota prekoračitev mejne dnevne vrednosti za delce PM₁₀ (50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) ni presegla števila 35, ki je dovoljeno za celo leto. V letu 2019 je bilo na dveh meritnih mestih preseganj več, v 2018 na šestih in v 2017 na desetih (tabela 5.7). Do večine vseh preseganj v letu 2020 je prišlo v januarju (tabela 5.5), ko so bili pogosti temperaturni obrati, ki onemogočajo razredčevanje izpustov iz malih kurilnih naprav in prometa, ki sta največja vira delcev PM₁₀. V podoglavlju Epizode čezmerne onesnaženosti so podrobno opisana obdobja, ko so bile ravni delcev PM₁₀ v letu 2020 povišane. Tudi letna mejna vrednost za delce PM₁₀ v letu 2020 ni bila presežena na nobenem meritnem mestu. Najvišja povprečna letna vrednost, 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, je bila tako kot vsako leto zabeležena na prometnem meritnem mestu Ljubljana Center. Mejna letna vrednost znaša 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Pregled izmerjenih ravni delcev PM₁₀ v letu 2020 je prikazan v tabelah 5.3, 5.4 in 5.5 ter na slikah 5.6 in 5.8.

Prehod puščavskega prahu nad Slovenijo je v marcu za nekaj dni zelo onesnažil zrak z delci. Dva dni so bile ravni delcev PM₁₀ na večini meritnih mest po Sloveniji višje od 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Najvišja dnevna raven PM₁₀, 195 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, je bila izmerjena 27. marca v Zagorju. Do preseganj mejne dnevne vrednosti 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ na posameznih meritnih mestih je prišlo v obdobju od 27. marec do 29. marca vsaj dvakrat. Uredba o kakovosti zunanjega zraka določa, da se preseganje mejnih vrednosti PM₁₀ zaradi prispevka naravnih virov za ugotavljanje skladnosti s standardi kakovosti zraka odšteje, če je prispevek naravnih virov mogoče dovolj zanesljivo določiti. Zaradi zelo velike količine puščavskega prahu (na določenih meritnih mestih je bila raven PM₁₀ tudi izven območja preizkušanja), kvantitativno prispevka ni bilo mogoče določiti in ker je bilo evidentno, da so delci naravnega izvora, smo se odločili, da teh podatkov ne upoštevamo pri določitvi skladnosti s standardi kakovosti zraka. Podrobnejši rezultati in analize tega dogodka, so predstavljeni v poglavju Epizoda puščavskega prahu.

Na ARSO od pomladi 2016 do pomladi 2021 izvajamo projekt Sinica, v okviru katerega med drugim posodabljamemo državno meritno mrežo za spremljanje kakovosti zunanjega zraka. Nadgrajujejo se stara in na novo vzpostavljajo nekatera nova stalna meritna mesta. V letu 2020 je zato prišlo do nekaj sprememb, tako meritnih mest kot tudi nabora meritev. Zaradi prenove meritne mreže je ponekod prišlo do daljših izpadov posameznih meritev. V preglednicah so ti rezultati označeni

z *. Najdaljši izpad meritov je bil v letu 2020 na merilnem mestu Iskrba. 18. maja 2020 smo na Iskrbi začeli s celovito prenovo merilnega mesta. S 1. septembrom smo zopet uvedli meritve delcev PM_{10} in $PM_{2,5}$, ostale meritve onesnaženosti zraka pa se tam izvajajo šele od januarja 2021. Na prometnem merilnem mestu v Ljubljani so se meritve delcev PM_{10} do 31.januarja 2020 izvajale na lokaciji Gospodarsko razstavišče, od februarja naprej pa na lokaciji Celovška cesta. V Kranju smo 22. decembra 2020 merilnik delcev PM_{10} prestavili na novo lokacijo k Medgeneracijskemu centru na Planini. V Državni merilni mreži smo na novo uvedli meritve delcev PM_{10} na Ptuju in na Vrbanskem platoju v Mariboru. Nacionalni laboratorij za zdravje, okolje in hrano je v letu 2020 na novo izvedel meritve PM_{10} v Spuhliji pri Ptaju za Mestno občino Ptuj, v Mariboru na Teznom za Mestno občino Maribor in v Grosupljem za Občino Grosuplje.

Povprečni dnevni hodi ravni PM_{10} v kurilni sezoni za merilna mesta Ljubljana Bežigrad, Zagorje, Maribor in Koper so prikazani na sliki 5.7. Na vseh lokacijah sta opazna jutranji in večerni maksimum. Bolj izrazit je večerni maksimum, ko se prometni konici pridružijo še izpusti zaradi ogrevanja, hkrati pa se v večernem času začne tvoriti temperaturni obrat in posledično zmanjša redčenje onesnaženega zraka.

V tabelah 5.6 in 5.7 ter na slikah 5.9 in 5.10 so prikazani trendi onesnaženosti v obdobju med 2002 in 2020, ki kažejo, da so zadnja leta izmerjene zelo podobne ravni delcev PM_{10} . Medletna nihanja ravni PM_{10} so predvsem posledica različnih meteoroloških razmer v posameznem letu. Kljub temu je v obdobju od leta 2005 naprej, predvsem na urbanih lokacijah, opazen trend zmanjševanja ravni delcev. Na kmetijsko podeželskih merilnih mestih ni opaznega 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.

Za delce $PM_{2,5}$ je z letom 2020 predpisana mejna letna vrednost $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ kar je za $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ manj kot prejšnja leta. Kljub strožjemu predpisu, mejna letna v letu 2020 ni bila presežena na nobenem od petih merilnih mest, kjer izvajamo meritve: Maribor Vrbanski plato, Ljubljana Bežigrad, Nova Gorica, Celje bolnica in Iskrba. Pregled izmerjenih vrednosti za delce $PM_{2,5}$ v letu 2020 je prikazan v tabeli 5.8 ter na slikah 5.11 in 5.12. Letni trendi ravni delcev $PM_{2,5}$, ki so prikazani v tabeli 5.9 in na sliki 5.13, kažejo, da nivo onesnaženosti ostaja približno enak. V letu 2020 prvič objavljamo rezultate meritov delcev $PM_{2,5}$ na merilnem mestu Celje.

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 5.8 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 2020 takih dni 57, v Ljubljani Bežigrad in Novi Gorici Grčna 50 in na Maribor Vrbanskem 28.

Kazalnik povprečne izpostavljenosti KPI za $PM_{2,5}$ je leta 2020 na neizpostavljenem merilnem mestu v Ljubljani znašal $17 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Ljubljana Bežigrad), v Mariboru $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Maribor Vrbanski plato) in v Novi Gorici $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Nova Gorica Grčna). Obveznost glede stopnje izpostavljenosti je leta 2020 znašala $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in ni bila presežena na nobenem merilnem mestu. V Ljubljani smo meritve delcev $PM_{2,5}$ v letu 2017 prestavili z merilnega mesta Biotehniška fakulteta na merilno mesto Bežigrad. Obe merilni mesti sta tipa neizpostavljeni mestno ozadje, zato smo kazalnik

Tabela 5.3: 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 2020. Število preseganj, ki je večje od dopustnega, je označeno s krepko pisavo.

Merilno mesto	%pod	Leto		Dan
		C_p	max	>MV
DMKZ				
CE bolnica	91	21	101	23
CE Mariborska	99	26	111	34
Hrastnik	99	18	58	7
Iskrba*	69	9	23	0
Koper	99	19	105	17
Kranj	95	19	69	8
LJ Bežigrad	99	22	99	18
LJ Biotehniška	99	19	90	12
LJ Celovška	90	19	59	3
LJ Gospodarsko*	8	56	103	16
MB Titova	99	22	82	15
MB Vrbanski	98	16	63	3
MS Cankarjeva	98	24	90	19
MS Rakičan	91	21	81	11
NG Grčna	99	20	85	14
NG Vojkova	96	22	85	16
Novo mesto	99	19	82	10
Ptuj	89	20	103	14
Trbovlje	99	21	89	18
Velenje	99	16	50	0
Zagorje	99	23	94	24
Zerjav	98	22	58	5
Dopolnilna merilna mreža				
EIS Šoštanj				
Pesje	97	15	137	2
Škale	97	16	137	2
Šoštanj	98	18	99	2
OMS-MOL				
LJ Center	98	30	195	37
Občina Medvode				
Medvode*	83	17	65	2
MO Celje				
CE Gaji	91	22	162	17
MO Maribor				
MB Tezno	97	20	158	9
Občina Miklavž na Dravskem polju				
Miklavž	100	22	157	24
MO Ptuj				
Spuhlja	99	25	162	25
Občina Ruše				
Ruše	97	18	124	12
Občina Grosuplje				
Grosuplje	100	28	179	32
Salonit Anhovo				
Morsko	99	15	114	7
Gorenje polje	97	18	115	9

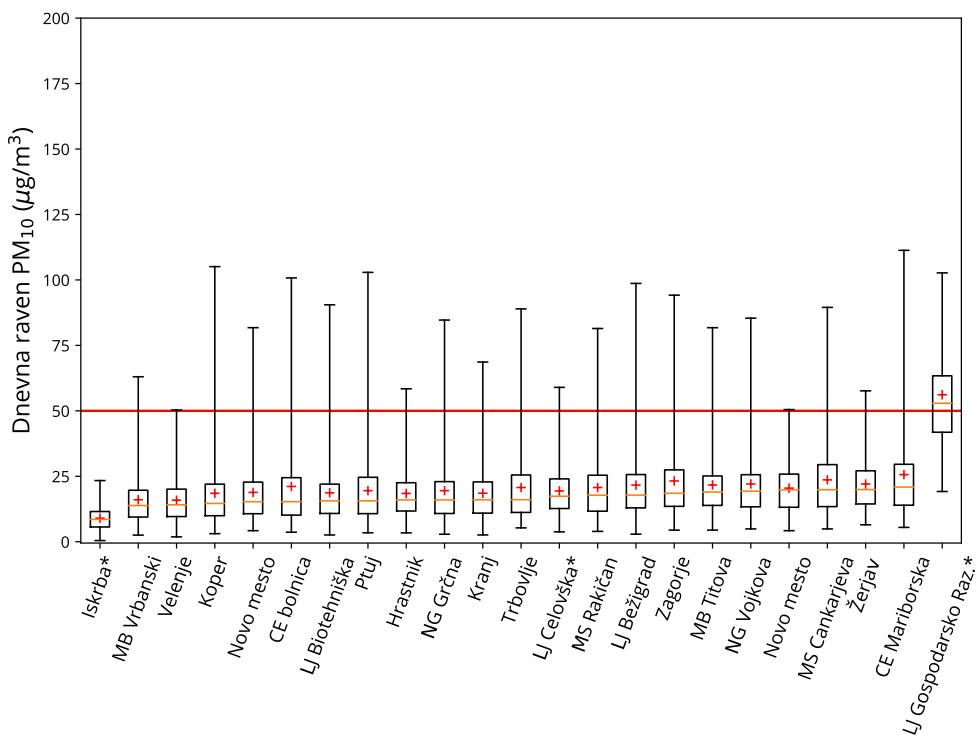
* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.

Tabela 5.4: Povprečna mesečna raven PM₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) v letu 2020.

	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
CE bolnica	59	24	17	21	11	10	10	13	14	14	30	29
CE Mariborska	66	28	24	26	15	14	14	18	19	19	35	32
Hrastnik	37	19	19	20	13	12	13	15	14	15	24	21
Iskrba	9	6	8	14	9	/	/	/	10	9	9	6
Koper	33	28	17	18	13	11	13	16	15	15	22	22
Kranj	38	21	16	18	11	10	11	14	14	15	27	25
LJ Bežigrad	53	23	18	21	13	12	15	17	18	16	28	25
LJ Biotehniška	45	20	16	19	11	10	13	15	14	14	23	23
LJ Celovška	/	26	19	22	14	13	14	17	18	18	28	26
LJ Gospodarsko	56	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
MB Titova	49	21	19	21	15	14	15	19	20	18	25	22
MB Vrbanski	35	15	14	17	10	11	10	13	15	13	20	18
MS Cankarjeva	53	26	21	22	12	13	14	17	19	22	35	29
MS Rakičan	45	21	18	21	11	13	13	16	18	16	27	24
NG Grčna	38	34	17	18	12	11	13	14	14	16	24	23
NG Vojkova	40	38	20	21	14	14	15	17	17	19	25	24
Novo mesto	46	20	18	20	11	10	11	14	14	14	24	23
Ptuj	45	18	18	20	11	11	11	14	14	14	28	29
Trbovlje	49	24	21	23	11	11	12	13	14	16	30	26
Velenje	31	16	14	18	10	11	12	14	14	12	20	18
Zagorje	56	25	22	23	13	13	15	17	15	18	36	26
Žerjav	41	23	21	25	16	14	16	17	19	20	27	24
Pesje	19	13	22	20	12	11	12	14	15	12	16	16
Škale	20	12	21	18	14	14	15	18	16	11	16	16
Šoštanj	29	17	22	21	12	11	13	14	15	14	24	22
LJ Center	64	32	35	32	20	18	19	23	23	23	39	34
Medvode	26	11	4	4	4	12	13	17	16	18	31	30
CE Gaji	45	20	26	20	13	13	16	18	13	17	26	29
MB Tezno	42	21	26	21	12	12	14	15	15	18	29	24
Miklavž	54	22	29	24	12	12	15	15	16	17	29	25
Spuhlja	56	25	33	25	13	15	16	16	16	19	34	29
Ruše	41	17	21	18	12	11	12	13	11	13	21	27
Grosuplje	59	31	37	27	18	23	21	19	17	20	31	27
Morsko	24	26	21	17	9	10	12	12	11	12	17	14
Gorenje polje	29	30	23	19	10	11	13	13	13	14	19	15

Tabela 5.5: Število preseganj dnevne mejne vrednosti PM₁₀ po mesecih v letu 2020.

	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
CE bolnica	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	4
CE Mariborska	22	1	0	0	0	0	0	0	0	0	4	7
Hrastnik	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Iskrba	0	0	0	0	0	/	/	/	0	0	0	0
Koper	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	3	4
Kranj	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
LJ Bežigrad	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
LJ Biotehniška	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
LJ Celovška	/	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
LJ Gospodarsko	16	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
MB Titova	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MB Vrbanski	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MS Cankarjeva	17	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
MS Rakičan	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NG Grčna	5	6	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2
NG Vojkova	6	7	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2
Novo mesto	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ptuj	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0
Trbovlje	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2
Velenje	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Zagorje	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	3
Žerjav	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0
Pesje	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Škale	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Šoštanj	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LJ Center	21	2	3	1	0	0	0	0	0	0	5	5
Medvode	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
CE Gaji	12	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	3
MB Tezno	6	0	2	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Miklavž	19	0	2	1	0	0	0	0	0	0	1	1
Spuhlja	17	2	3	0	0	0	0	0	0	0	2	1
Ruše	9	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Grosuplje	21	1	5	0	0	1	0	0	0	0	2	2
Morsko	0	5	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Gorenje polje	1	5	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0



Slika 5.6: Dnevne vrednosti PM_{10} na merilnih mestih DMKZ v letu 2020. 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. V Ljubljani na Gospodarskem razstavišču so meritve potekale le v mesecu januarju (obdobje največjega onesnaženja z delci v letu 2020), zato na sliki meritve zelo odstopajo od ostalih.

Tabela 5.6: Povprečne letne ravni PM₁₀ (µg/m³). Vrednosti, ki presegajo letno mejno vrednost, so napisane s krepko pisavo.

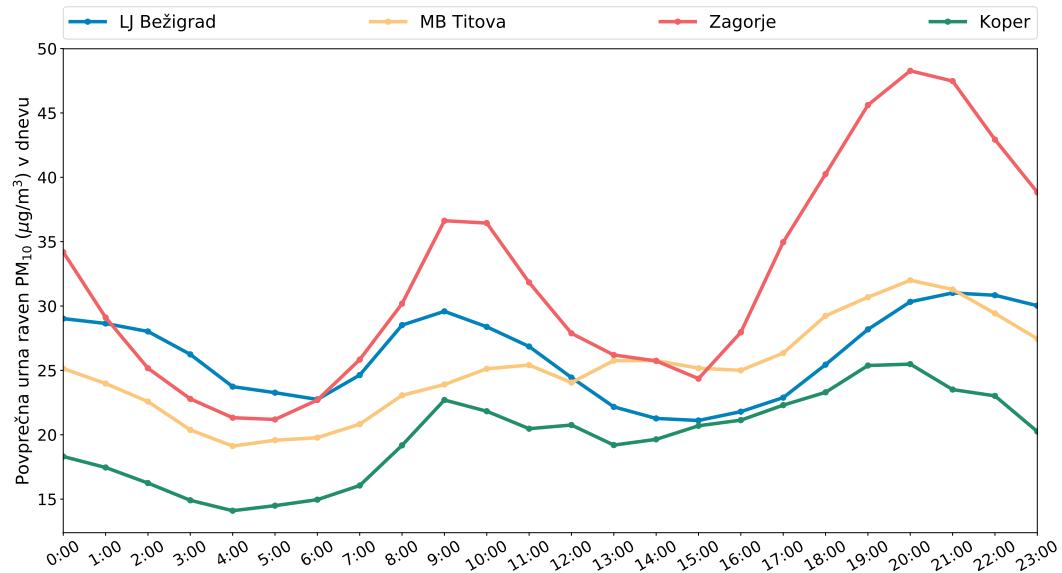
Merilno mesto	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
CE bolница	46	53	41	43	35	32	30	31	32	35	31	29	28	32	32	30	28	26	21
CE Gajji	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	26	29	35	27	25	29	24	22
CE Mariborska	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	33	31	29	26
Gorenje Polje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

* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritve informativnega značaja.

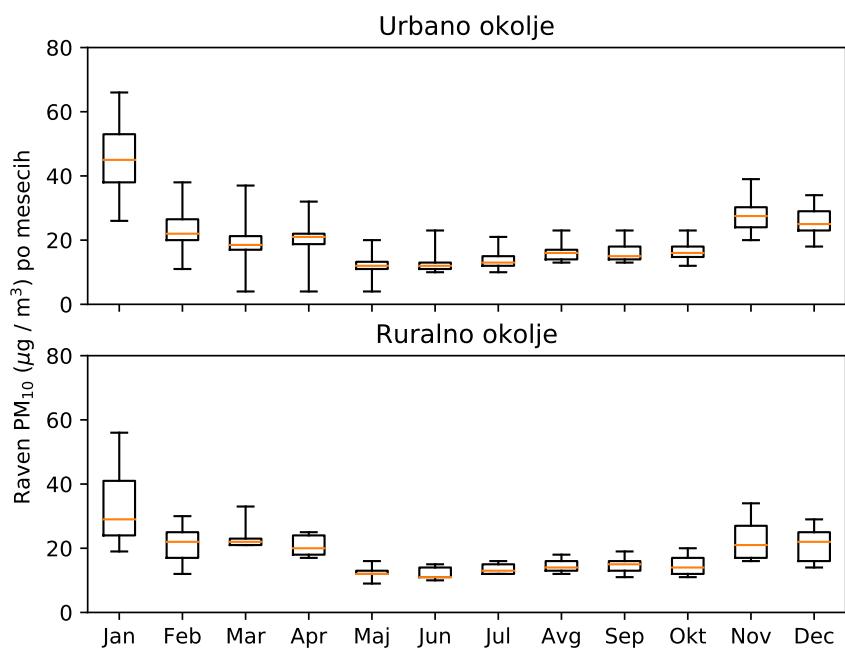
Tabela 5.7: Letno število preseganj dnevne mejne vrednosti PM₁₀ po letih. Število preseganj, ki je večje od dopustnega, je napisano s krepko pisavo.

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

* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritve informativnega značaja.

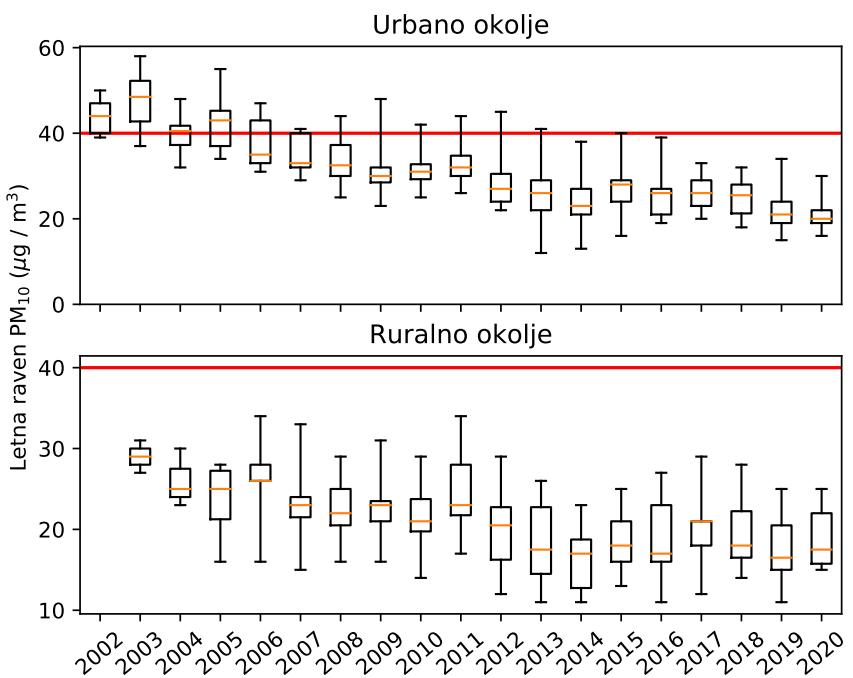


Slika 5.7: Dnevni potek povprečne urne ravni PM₁₀ na izbranih merilnih mestih v kurilni sezoni leta 2020 (januar do marec in oktober do decembra).

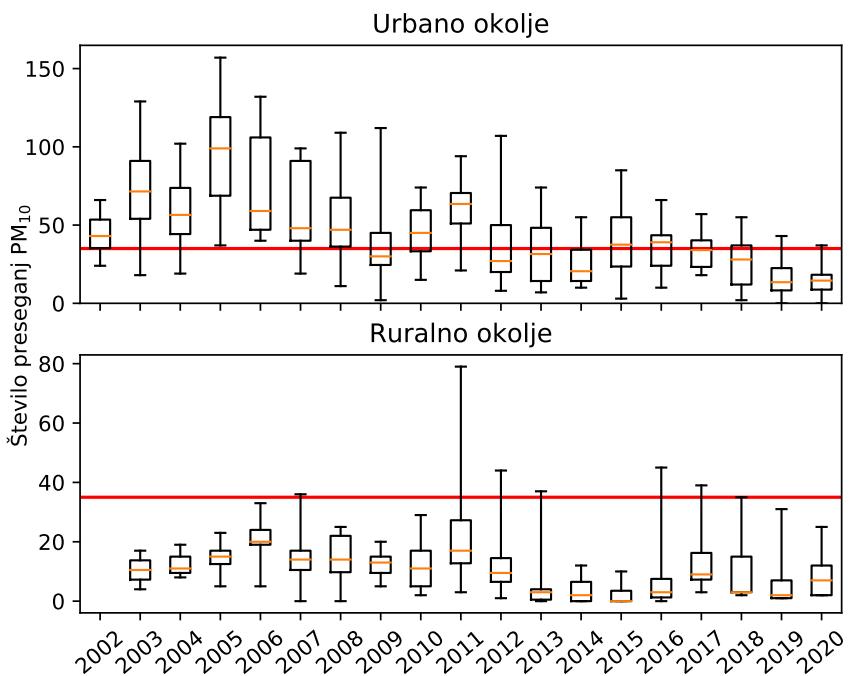


Slika 5.8: Povprečna mesečna raven PM₁₀ na urbanih in ruralnih merilnih mestih v letu 2020. Prikazano je najnižje in najvišje mesečno povprečje na merilnih mestih (spodnja in zgornja vodoravna črtica), oba kvartila (vrh in dno pravokotnika) in mediana (rdeča vodoravna črtica v pravokotniku).

povprečne izpostavljenosti za leti 2018 in 2019 izračunali kot triletno povprečje obeh merilnih mest. Izračuni KPI so prikazani v tabeli 5.10. Za merilno mesto Celje bolnica izračuna KPI za leto 2020 nismo naredili, ker meritve potekajo šele eno leto.



Slika 5.9: Povprečna letna raven PM_{10} na merilnih mestih urbanega in ruralnega okolja. Prikazano je najnižje in najvišje letno povprečje na skupini merilnih mest (spodnja in zgornja vodoravna črtica), oba kvartila (vrh in dno pravokotnika) in mediana (rdeča vodoravna črtica v pravokotniku). Rdeča črta prikazuje letno mejno vrednost.



Slika 5.10: Število preseganj PM_{10} 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.

Tabela 5.8: 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 2020.

	% pod	C_p	C_{max}	WHO
CE bolnica	98	17	86	57
Iskrba*	66	7	21	0
LJ Bežigrad	97	16	94	50
MB Vrbanski	97	12	61	28
NG Grčna	99	14	71	50

* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.

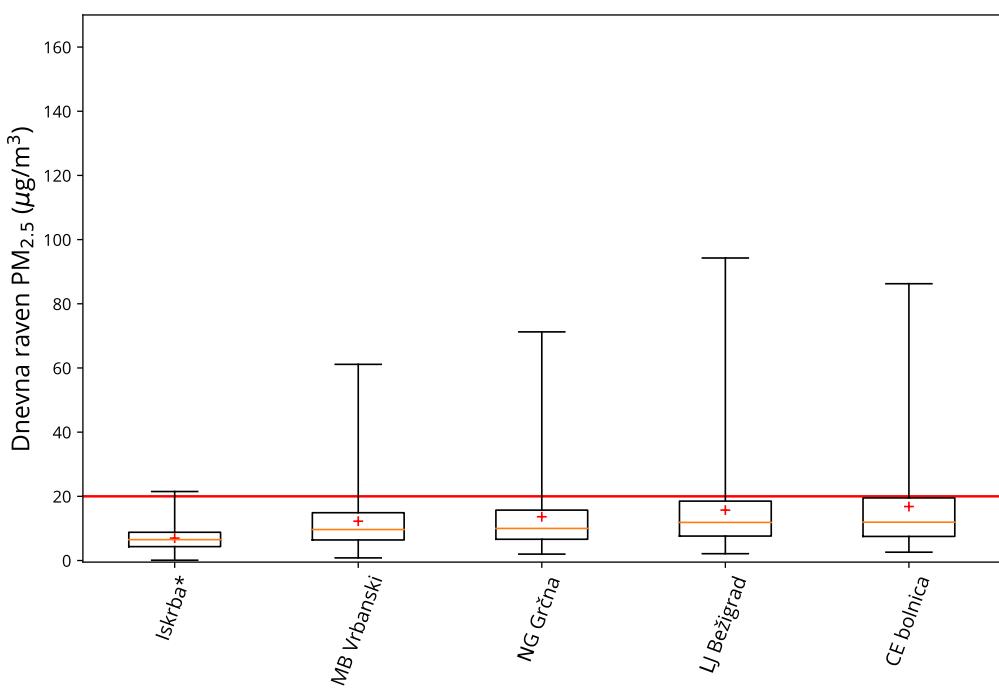
Tabela 5.9: Povprečna letna raven delcev $PM_{2,5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) na izbranih merilnih mestih po letih.

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

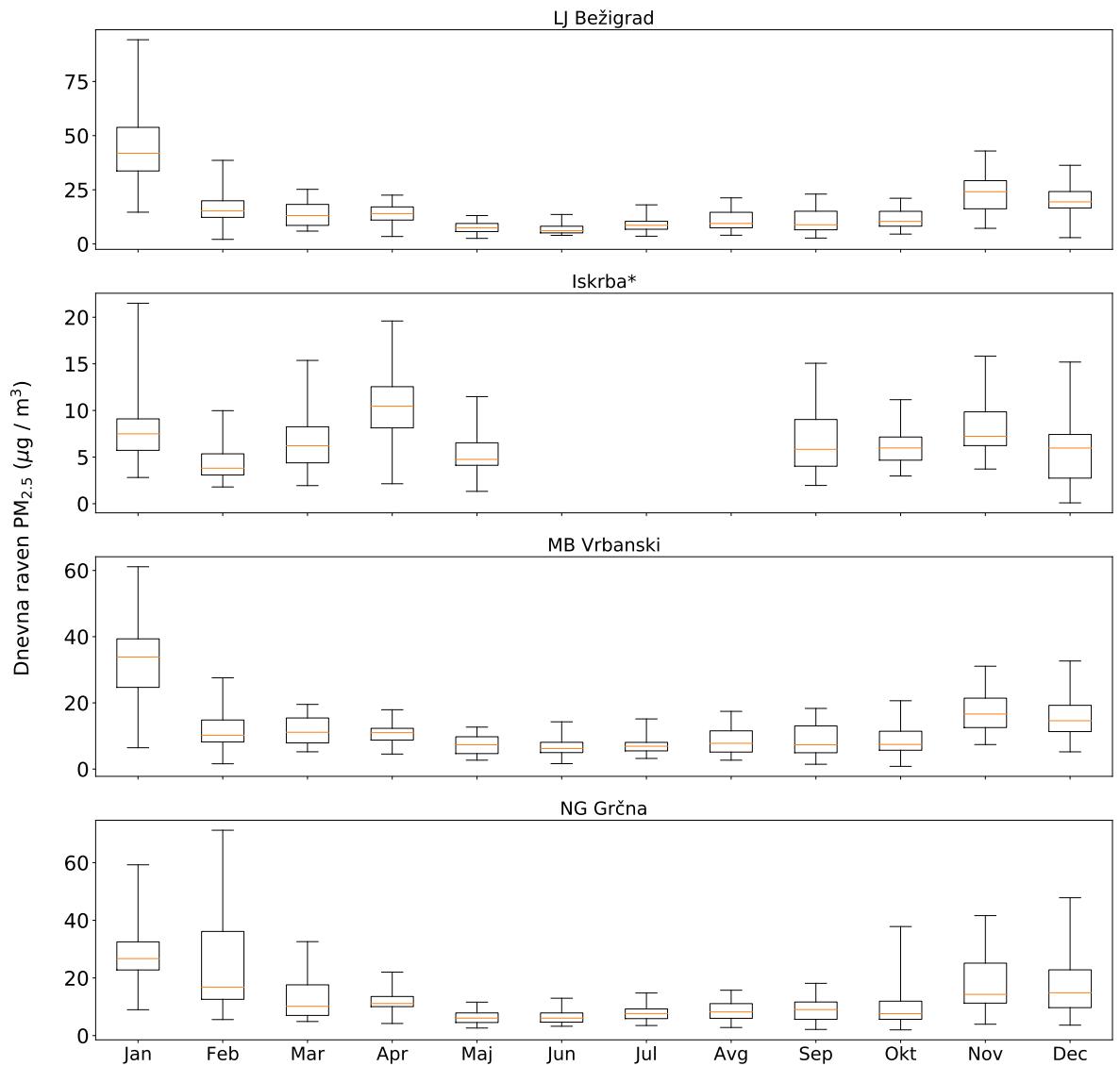
* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.

Tabela 5.10: Kazalnik povprečne izpostavljenosti $PM_{2,5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) na merilnih mestih neizpostavljenega mestnega ozadja po letih.

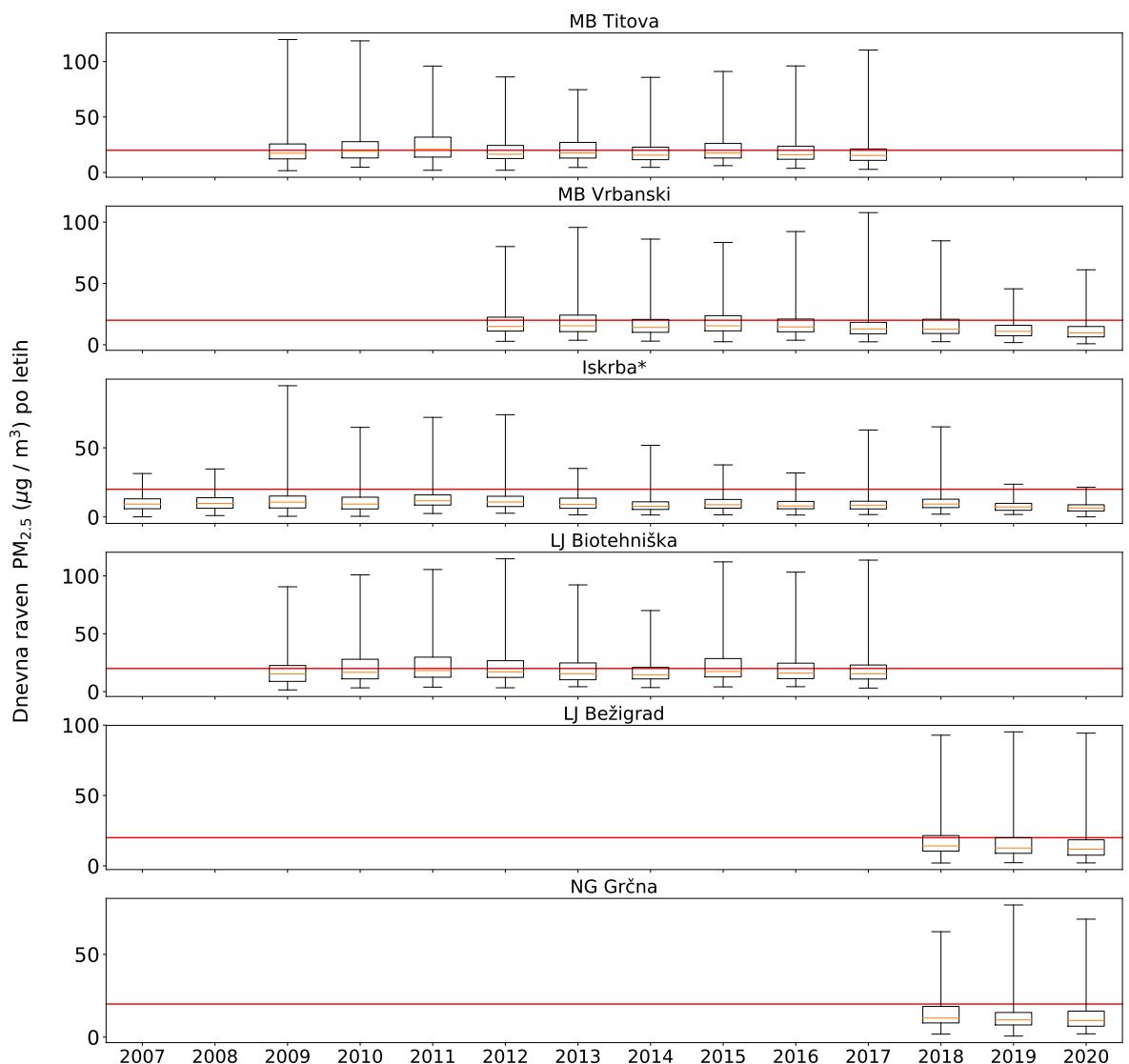
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
LJ Biotehniška/LJ Bežigrad	22	23	22	20	20	21	22	21	18	17
MB Vrbanski	22	21	20	18	19	18	19	18	16	14
NG Grčna	/	/	/	/	/	/	/	/	14	14



Slika 5.11: Dnevne vrednosti PM_{2.5} na merilnih mestih 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). S križcem je označena povprečna letna raven, ki jo lahko primerjamo z letno mejno vrednostjo, ki je prikazana z rdečo črto.



Slika 5.12: 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 5.13: Dnevne vrednosti PM_{2,5} na izbranih merilnih mestih po letih. Prikazane so najnižja in najvišja izmerjena vrednost (spodnja in zgornja vodoravna črtica), oba kvartila (vrh in dno pravokotnika) in mediana (rdeča vodoravna črtica v pravokotniku). Rdeča črta prikazuje aktualno letno mejno vrednost. Letna mejna vrednost za PM_{2,5} se je z leti spremojala (tabela 5.2)

5.4 Epizode čezmerne onesnaženosti

V letu 2020 je bila onesnaženost zraka v Sloveniji nižja kot leta poprej. Ravni vseh onesnaževal so ustrezale standardom kakovosti, ki jih predpisuje zakonodaja. Kljub temu smo občasno še vedno izmerili ravni, ki so zdravju škodljive. V januarju 2020 so zaradi neugodnih vremenskih pogojev in večje potrebe po ogrevanju na najbolj obremenjenih merilnih mestih v celinski Sloveniji povprečne dnevne ravni delcev več kot polovico meseca presegale mejno dnevno vrednost $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Sledi podrobna analiza meteoroloških razmer v zimskem obdobju leta 2020, ko so bile ravni delcev PM_{10} povišane.

V celinski Sloveniji so bile zaradi izrazitih temperaturnih obratov, ki onemogočajo razredčevanje izpustov, večino **januarja** ravni delcev visoke. Vmes je prišlo do nekaj krajsih obdobij, ko so se ravni delcev znižale bodisi zaradi dotoka nove zračne mase (5. januar in 10. januar) ali padavin, ki so sprale delce iz ozračja (18. januar ter med 25. in 28. januarjem). Na večini merilnih mest v celinski Sloveniji so bile najvišje ravni izmerjene v prvih dneh meseca, ko je bilo pri tleh hladno (-6°C), v višinah pa toplo ($+7^\circ\text{C}$). Podobna situacija je v celinski Sloveniji prevladovala tudi med 6. in 9. januarjem. Najvišje ravni delcev PM_{10} so bile zabeležene na prometnih merilnih mestih, kjer se izpustom iz individualnih kurišč pridružijo še izpusti iz prometa. Več kot 20 preseganj mejne dnevne vrednosti smo v januarju zabeležili na treh prometnih merilnih mestih: Celje Mariborska (22), Ljubljana Center (21) in Grosuplje (21). Najvišja dnevna raven PM_{10} , $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$, je bila izmerjena 4. januarja na prometnem merilnem mestu v Ljubljani Center. Zaradi več dni prisotnega izrazitega temperaturnega obrata so bile v začetku leta tudi na vseh drugih merilnih mestih v Ljubljani ravni delcev PM_{10} izredno visoke. Do preseganj v januarju ni prišlo le na merilnih mestih: Iskrba pri Kočevski Reki, Velenje, Medvode, Morsko in na merilnih mestih okrog TEŠ. Povišane so bile tudi ravni delcev $\text{PM}_{2,5}$. Najvišja povprečna mesečna raven delcev $\text{PM}_{2,5}$ je bila zabeležena v Celju in je znašala $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Na Primorskem so bile najvišje ravni delcev v januarju izmerjene okrog 15. januarja oziroma ob koncu meseca, ko so bile na vseh drugih merilnih mestih ravni delcev nižje. Povišane ravni in tudi preseganja mejne dnevne vrednosti PM_{10} na merilnih mestih na Primorskem sovpadajo z visokimi vrednostmi v severni Italiji.

Februarja so bila tri krajša obdobja povišanih ravni delcev na Primorskem, ko so pogosti dotoki zračnih mas iz zahodnih smeri prinesli onesnaženje iznad Padske nižine. Prvo obdobje je trajalo od 1. do 3. februarja. Na vseh petih merilnih mestih na Primorskem smo vse tri dni izmerili preseganja mejne dnevne vrednosti $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Najvišja dnevna raven PM_{10} v tem obdobju je bila izmerjena 3. februarja v Kopru ($105 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Drugo obdobje je trajalo od 9. do 11. februarja. V tem obdobju so bile ravni nekoliko nižje kot v prvem, mejne dnevne vrednosti pa so bile vseeno presežene. Zadnje obdobje je trajalo le en dan, in sicer 24. februarja. Ta dan smo izmerili povišane ravni le na Goriškem (Nova Gorica $52 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Nova Gorica Grčna $58 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Morsko $54 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in Gorenje Polje $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$), na Obali pa povišanih ravni delcev ni bilo zaznati. Dinamika povišanja ravni delcev PM_{10} je bila v vseh treh obdobjih praktično identična. Dotok toplega zraka v višinah je povzročil dvignjen temperaturni obrat in s tem omogočil visoke ravni delcev PM_{10} na širšem območju Padske nižine. Temperaturni obrat v višinah namreč predstavlja pokrov, znotraj katerega se postopno nabirajo in mešajo izpusti PM_{10} . Kadar ob vztrajajočem obratu v višinah veter prevetri spodnje plasti, se onesnaženje pod pokrovom začne mešati le v horizontalni smeri – premika se s smerjo vetra

in hkrati redči. Redčenje ravni delcev PM₁₀ z zahodnikom je tudi vzrok, zakaj oblak onesnaženja iznad Padske nižine seže večinoma zgolj do obmejnih krajev (Nova Gorica, Koper). Kadar dvignjen temperaturni obrat razpade (krepitev vetra, ohladitev v višinah), se onesnaženje premeša tudi po vertikali, kar privede do hitrega upada ravni delcev tudi pri tleh. V celinski Sloveniji so bile ravni delcev nižje, le občasno so na vseh urbanih merilnih mestih narasle zaradi plitvih temeraturnih obratov in lokalnih virov. Redkokdaj se zgodi, da bi bilo v zimskih mesecih na Primorskem več preseganj mejne vrednosti PM₁₀ v primerjavi z ostalimi lokacijami. Zaradi nadpovprečno visokih temperatur v februarju izraziti temperaturni obrati niso bili pogosti, če pa je do njih že prišlo, se je ob sončnem vremenu ozračje čez dan premešalo in razredčilo, zato so bile izmerjene ravni delcev PM₁₀ nižje. To je bil tudi razlog, da smo v celinski Sloveniji februarja zabeležili večinoma nizke oz. zmerne ravni delcev PM₁₀. Najbolj ugodne razmere za povišanje ravni delcev PM₁₀ kot posledica lokalnih virov so vladale v obdobju od 7. februarja do 9. februarja, ko so bile dnevne ravni delcev marsikje čez 40 µg/m³.

V prvih dneh **novembra** je prišlo do povišanih vrednosti delcev na Primorskem. V tem času so bile visoke tudi ravni delcev v sosednji Italiji na območju Padske nižine. V Kopru je bila mejna dnevna vrednost PM₁₀ presežena trikrat in enkrat na obeh merilnih mestih v Novi Gorici. Na Primorskem in Notranjskem je bila v teh dneh prisotna nizka oblačnost, z občasno meglo. 4. novembra je na Primorskem zapihala burja, ki je znižala ravni delcev.

V Zagorju so od 6. do 17. novembra v bližini merilne postaje potekala gradbena dela (obnova križišča), zato je občasno prihajalo do povišanih vrednosti delcev. Trikrat je bila presežena tudi mejna dnevna vrednost za PM₁₀.

Od 23. do 27. novembra so se v celinski Sloveniji zaradi neugodnih vremenskih razmer in povišanih izpustov predvsem iz malih kurilnih naprav in prometa, pojavljale visoke vrednosti delcev PM₁₀. V tistih dneh je bilo nad Alpami in Balkanom območje visokega zračnega tlaka, v višinah se je ob šibkih vetrovih zadrževal topel in suh zrak. Najbolj izrazita dvignjena inverzija je bila 26. novembra, ko je bilo zjutraj na 600 m -4°C, na 1300 m pa 8 °C. Pretežno jasno je bilo, po nižinah v notranjosti je bila zjutraj in dopoldne megla ali nizka oblačnost, ki se je ponekod zadržala ves dan. Najvišje število preseganj je bilo novembra izmerjeno na prometnem merilnem mestu Ljubljana Center. V Celju na Mariborski cesti pa je bila 23. novembra izmerjena najvišja dnevna vrednost 69 µg/m³ v tem obdobju povišanih ravni.

Od 4. do 6. **decembra** je bilo v celinski Sloveniji ponovno zabeleženo obdobje povišanih ravni delcev. V teh dneh je bil prisoten izrazit temperaturni obrat in kljub obilnim padavinam je bila mejna dnevna vrednost za delce PM₁₀ na več merilnih mestih presežena. Najvišja dnevna raven PM₁₀, 75 µg/m³, je bila izmerjena 4. decembra na prometnem merilnem mestu v Ljubljani Center.

Na Primorskem so bile izmerjene povišane ravni delcev v obdobju med 20. in 23. decembrom zaradi vpliva iz onesnažene Padske nižine v Italiji. Mejna dnevna vrednost za PM₁₀ je bila štirikrat presežena v Kopru in dvakrat na obeh merilnih mestih v Novi Gorici.

Onesnaženja zraka zaradi ognjemetov, ki so značilni za praznični čas ob koncu leta, ni bilo opaziti. Občinski ognjemeti so bili zaradi epidemije v letu 2020 prepovedani.

Kljub temu da je onesnaženost zraka z delci v letu 2020 nižja kot v preteklosti, je iz opisa zgornjih epizod razvidno, da so med neugodnimi vremenskimi razmerami ravni delcev višje od

standardov kakovosti zraka, ki jih predpisuje zakonodaja. Iz navedenega izhaja, da so za boljšo kakovost zraka v večji meri zaslužne ugodne vremenske razmere in ne zmanjšanje emisij ter ukrepi v okviru načrtov za izboljšanje kakovosti zunanjega zraka.

5.5 Kemijska in elementna sestava delcev

Sekundarni aerosoli so glavna sestavina delcev v zraku tako pozimi kot tudi poleti iz dveh razlogov: povišani izpusti iz primarnih antropogenih virov, predvsem prometa in malih kurih naprav v zimskem času in povišanih izpustov iz biogenih virov v poletnem času. 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 5.11. Zaradi prenove merilnega mesta Iskrba, meritev ni bilo med 18. majem 2020 in 31. avgustom, zato so rezultati za poletno obdobje informativne narave in so označeni z *.

Tabela 5.11: Sestava delcev PM_{2,5} na merilnem mestu Iskrba v letu 2020.

		zimsko obdobje	poletno obdobje
Iskrba	NH ₄ ⁺ +NO ₃ ⁻ +SO ₄ ²⁻ (µg/m ³)	1,6	2,3*
	Organski ogljik (µgC/m ³)	2,4	2,6*
	Elementarni ogljik (µgC/m ³)	0,24	0,17*

* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.

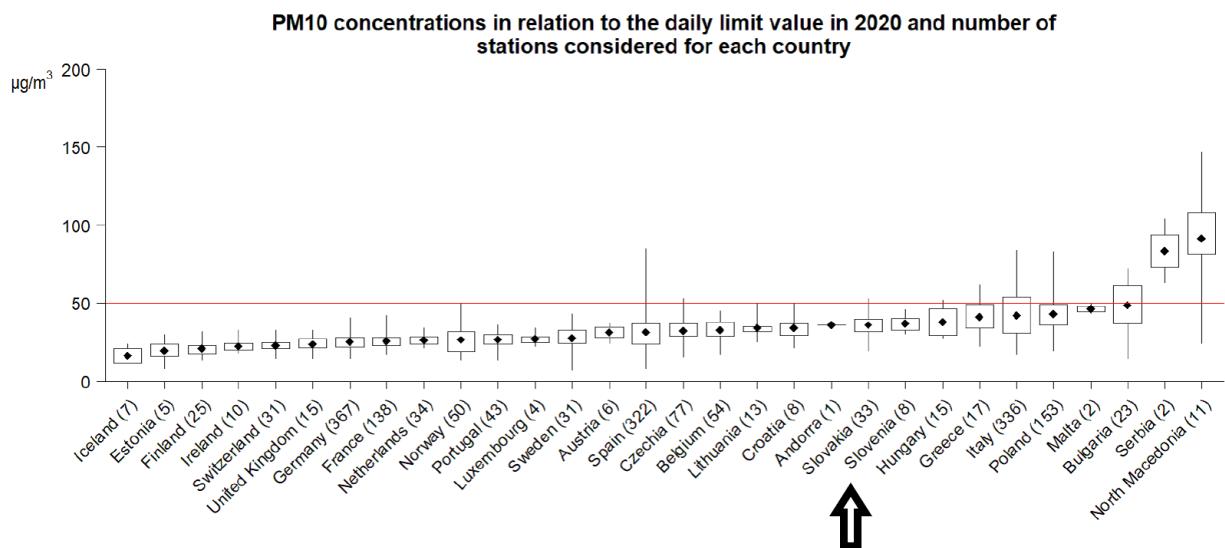
5.6 Ravni onesnaženosti v državah EU

V tem poglavju so iz poročila [19] povzete ključne informacije o stanju onesnaženosti zraka z delci PM₁₀ in PM_{2,5} v Evropi leta 2020. V državah EU je čezmerna raven delcev v zraku eden izmed najbolj izpostavljenih okoljskih problemov. Podatki za leto 2020 so v realnem času posredovani podatki in so nepreverjeni (avtomatski merilniki). V prejšnjih poglavjih letnega poročila so predstavljeni podatki za PM₁₀ iz referenčnih merilnikov, ki se lahko razlikujejo od predstavljenih v tem poglavju.

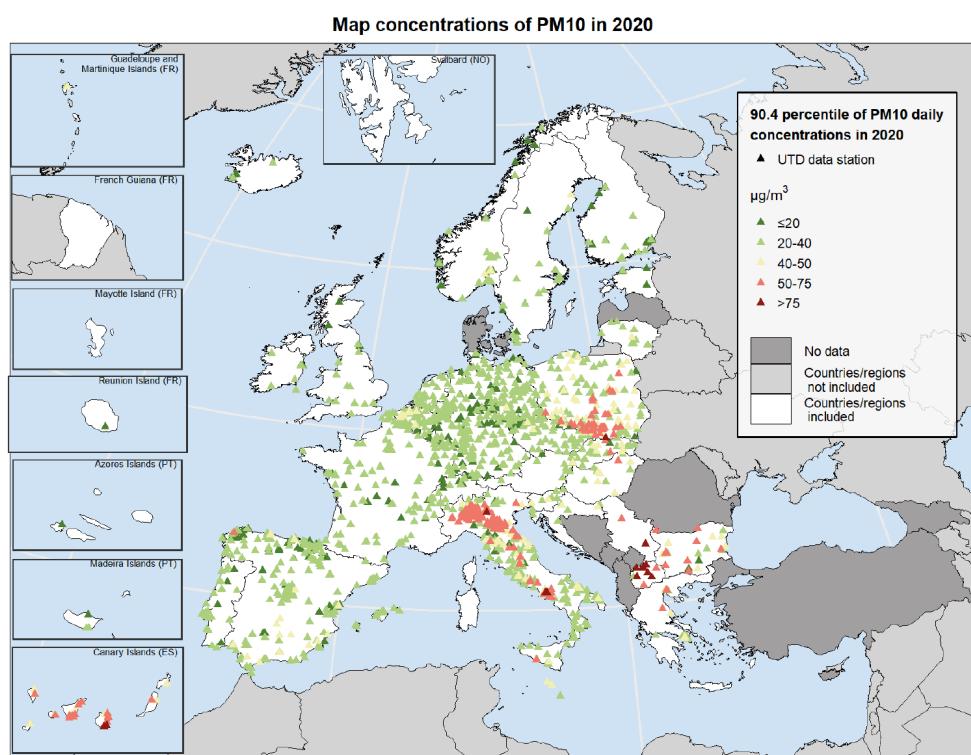
Za leto 2020 je Evropska okoljska agencija prejela podatke za PM₁₀ iz 30 držav po Evropi (1848 merilnih mest za izračun povprečne letne vrednosti in 1841 postaj za dnevno mejno vrednost). Osem držav EU-27 in še dve drugi državi so poročali o preseganjih mejne dnevne vrednosti PM₁₀ na svojih merilnih postajah (slika 5.14 in 5.15). Takih postaj je bilo 190 (10 % od poročanih merilnih mest). Povprečna letna vrednost za PM₁₀ je bila presežena na 16 merilnih mestih (1 % od poročanih merilnih mest), sliki 5.17 in 5.18. Povprečna letna vrednost 20 µg/m³, ki jo za PM₁₀ priporoča Svetovna zdravstvena organizacija in je bila presežena na 34 merilnih mestih in sicer v vseh

državah, ki so poročale podatke, razen v Estoniji, Finski, Irski, Islandiji in Luksemburgu (slika 5.18). Slovenija sodi med države z višjo ravnjo onesnaženosti z delci PM₁₀. Najboljša kakovost zraka je glede na skladnost z dnevnimi mejnimi vrednostmi za delce PM₁₀ v dobro prevetrenih in redkeje naseljenih severnih državah (Islandija, Finska, Estonija in Irska), čeprav so v nekaterih od teh držav specifični izpusti na prebivalca med višjimi. Barvni prikaz onesnaženosti zraka z delci PM₁₀ v obdobju od 2000 do 2020 kaže izboljšanje v večini držav (slika 5.16 in slika 5.19).

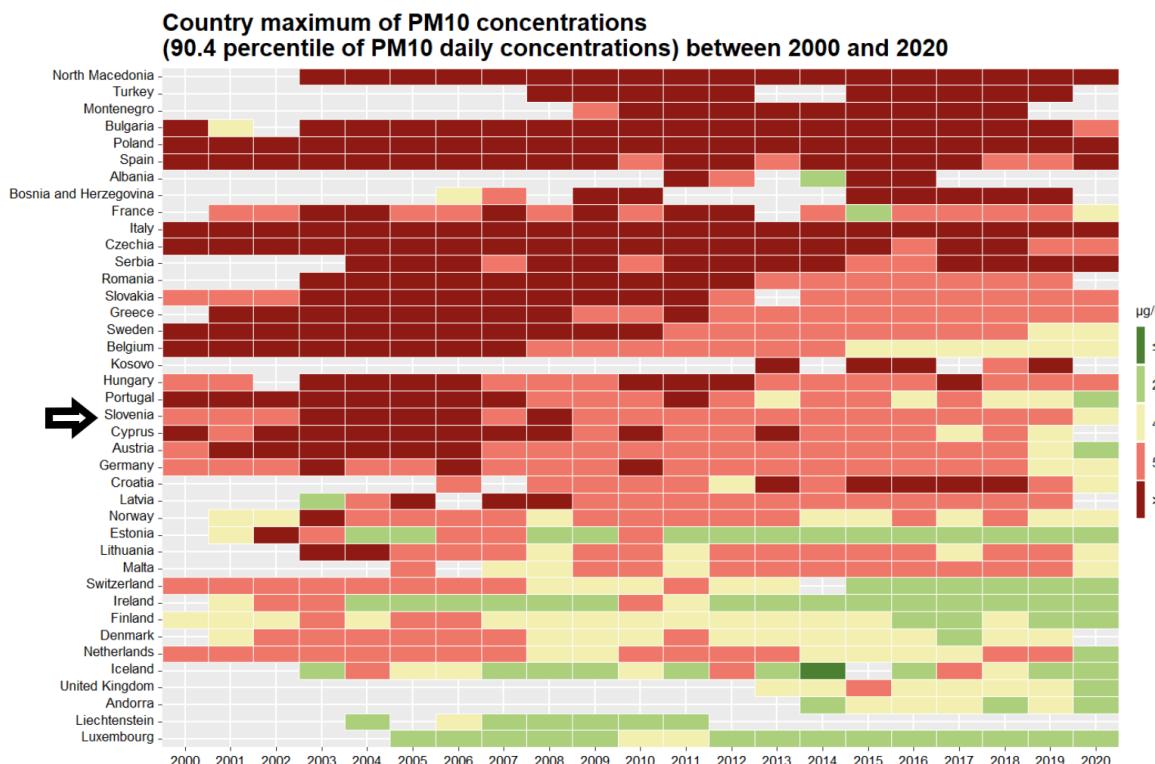
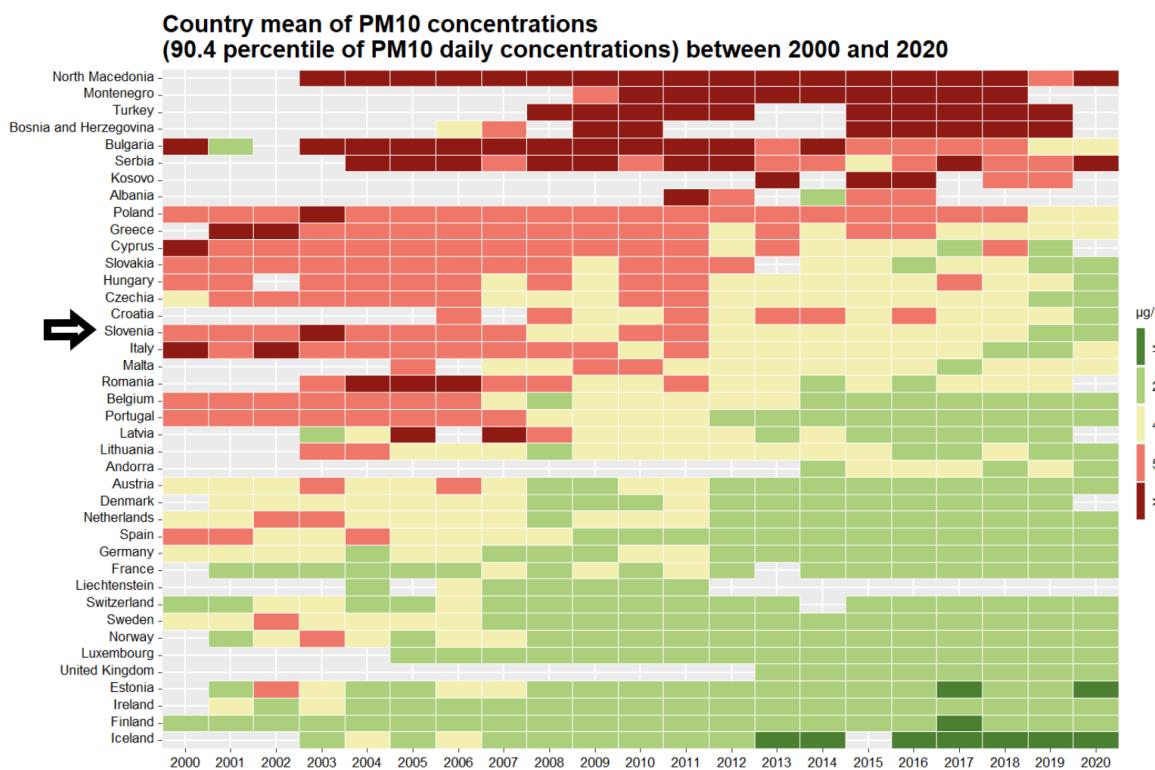
Podatki o onesnaženosti zraka z delci PM_{2,5} so pridobljeni iz 885 merilnih mest po Evropi. Za leto 2020 so uporabljeni podatki iz avtomatskih merilnikov. V Sloveniji v letu 2020 teh merilnikov še nismo imeli, zato podatkov za Slovenijo za to leto ni (slika 5.20). V Evropi je bila letna vrednost za PM_{2,5} na dveh merilnih mestih višja od (20 µg/m³). Merilnih mest, ki presegajo priporočila Svetovne zdravstvene organizacije (10 µg/m³), je 42 %. Tudi z vidika ravni onesnaženosti z delci PM_{2,5} je Slovenija med državami z višjo ravnjo onesnaženosti (slika 5.21). Visoke ravni onesnaženosti z delci v Sloveniji so predvsem posledica visoke gostote izpustov zaradi ogrevanja ter neugodnih pogojev za razredčevanje izpustov v ozračju, ki so zlasti v zimskem času značilni za celinski del Slovenije.



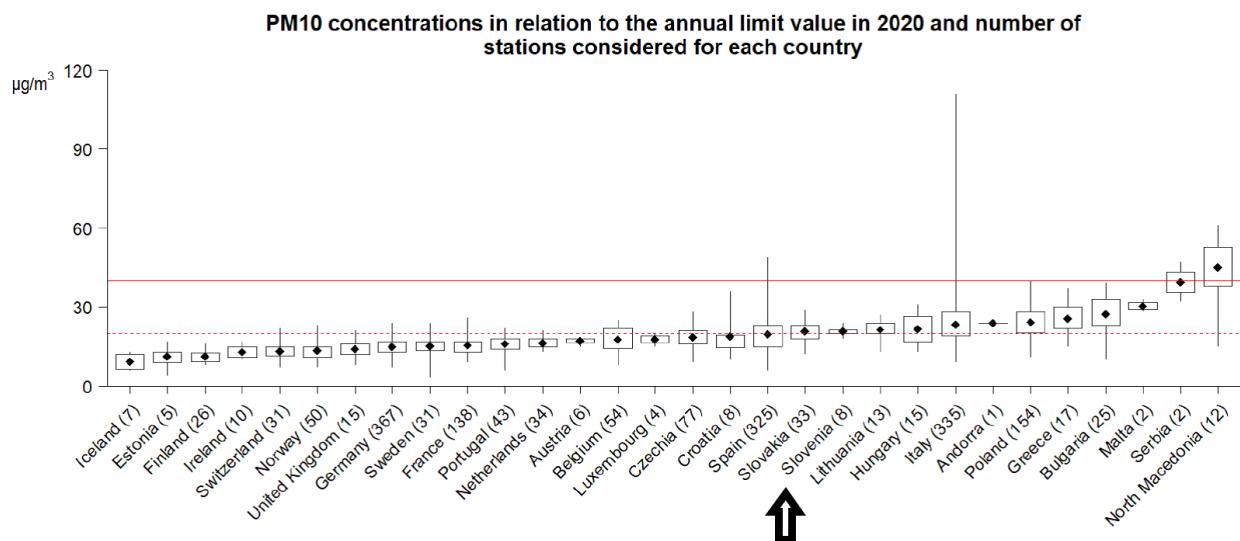
Slika 5.14: Prikaz ravni onesnaženosti zraka z delci PM₁₀ v Evropski Uniji v letu 2020 s 36. najvišjo dnevno vrednostjo. Za vsako državo so prikazani najnižja in najvišja izmerjena vrednost, oba kvartila (vrh in dno pravokotnika) ter povprečje 90.4 percentila. Število merilnih mest v posamezni državi je zapisan v oklepaju. Mejna dnevna vrednost 50 µg/m³ je prikazana z rdečo črto.



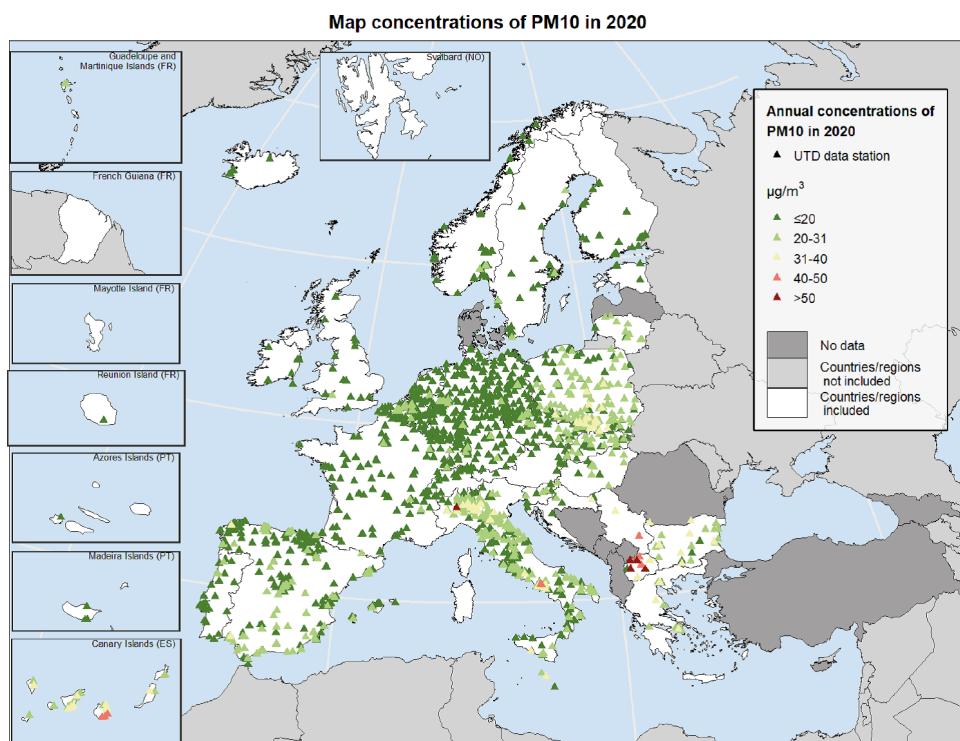
Slika 5.15: Prikaz 90,4 percentila (36. najvišja vrednost) dnevnih ravnih PM₁₀ v Evropski uniji v letu 2020 [19]. Z barvo je prikazan razred, v katerega sodi merilno mesto glede na število preseganj mejne dnevne vrednosti. Prikaz vsebuje tudi podatke, ki so posledica naravnega vira. Prikazana so samo tista merilna mesta, kjer je bilo več kot 75 % veljavnih meritev.



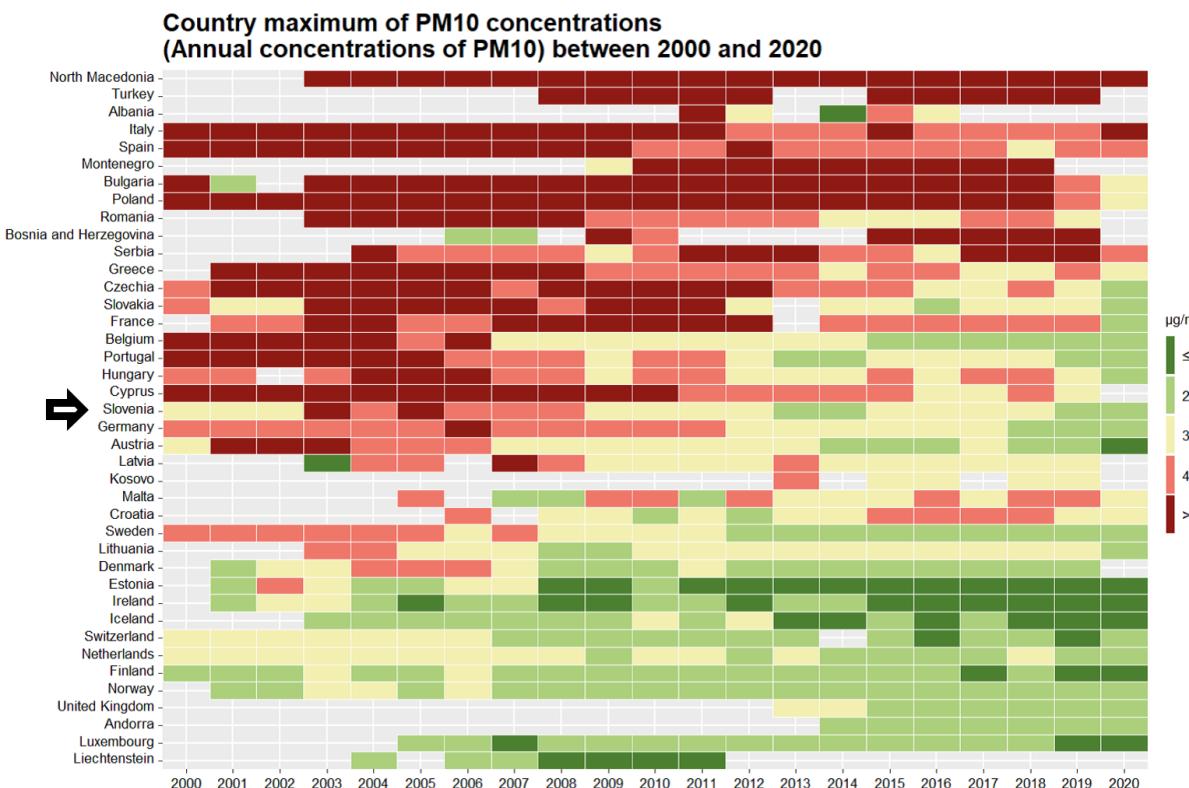
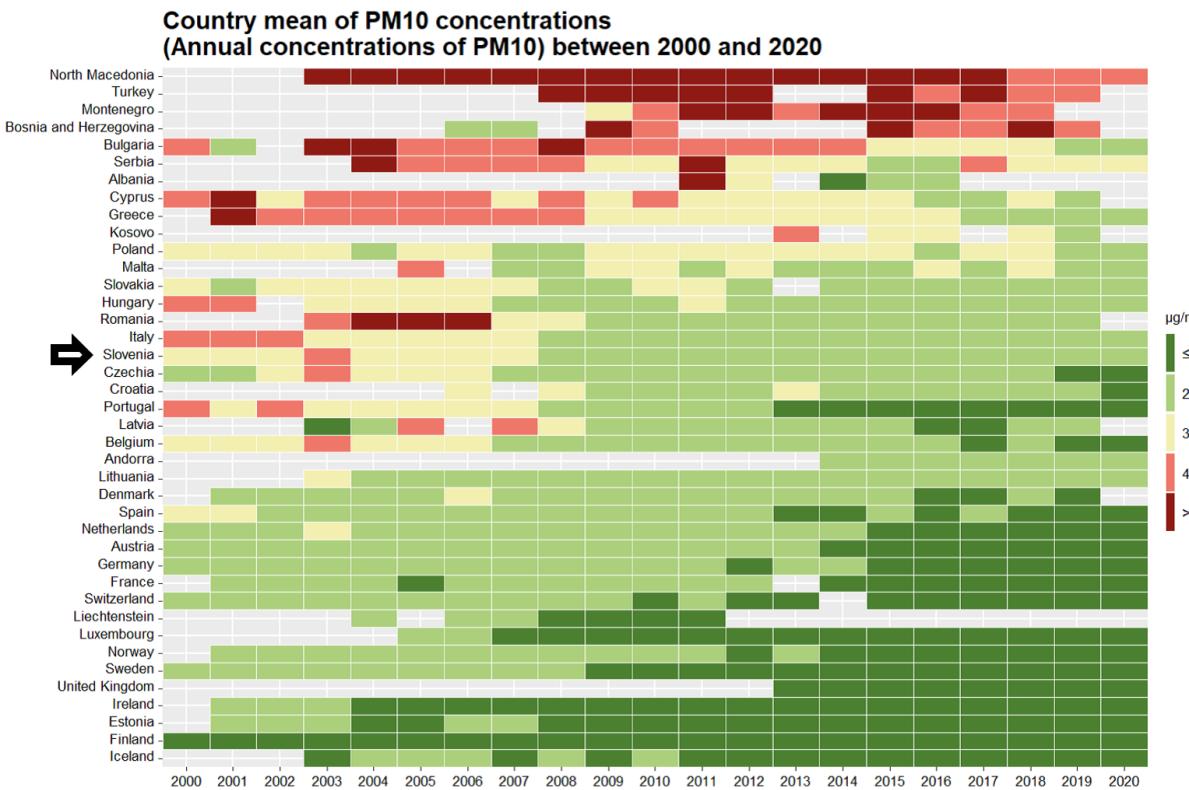
Slika 5.16: Prikaz povprečnih (zgoraj) in maksimalnega 90.4 percentila (spodaj) dnevne ravni PM₁₀ v državah Evropske unije v letih 2000 - 2020 [19]. Število, lokacije in klasifikacije merilnih mest so z leti lahko različne. Podatki za leto 2020 so v realnem času posredovani podatki in so nepreverjeni.



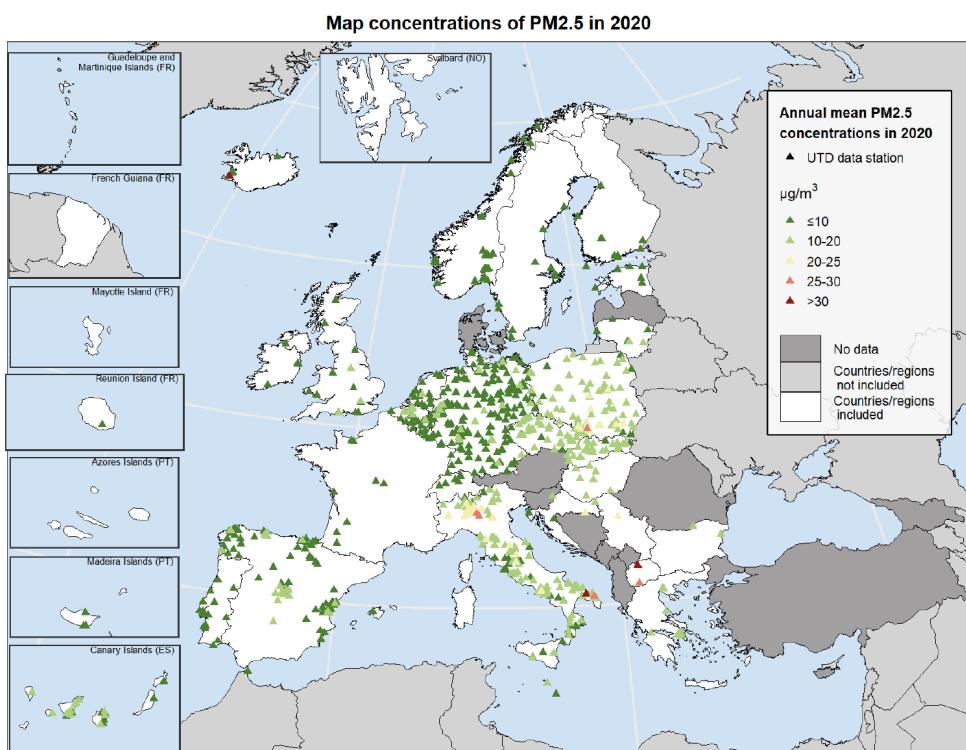
Slika 5.17: Prikaz povprečnih letnih ravnih delcev PM₁₀ v Evropski Uniji v letu 2020. Za vsako državo so prikazani najnižja in najvišja izmerjena vrednost, oba kvartila (vrh in dno pravokotnika) ter povprečna vrednost. Število merilnih mest v posamezni državi je zapisano v oklepaju. Mejna letna vrednost 40 µg/m³ je prikazana z rdečo črto.



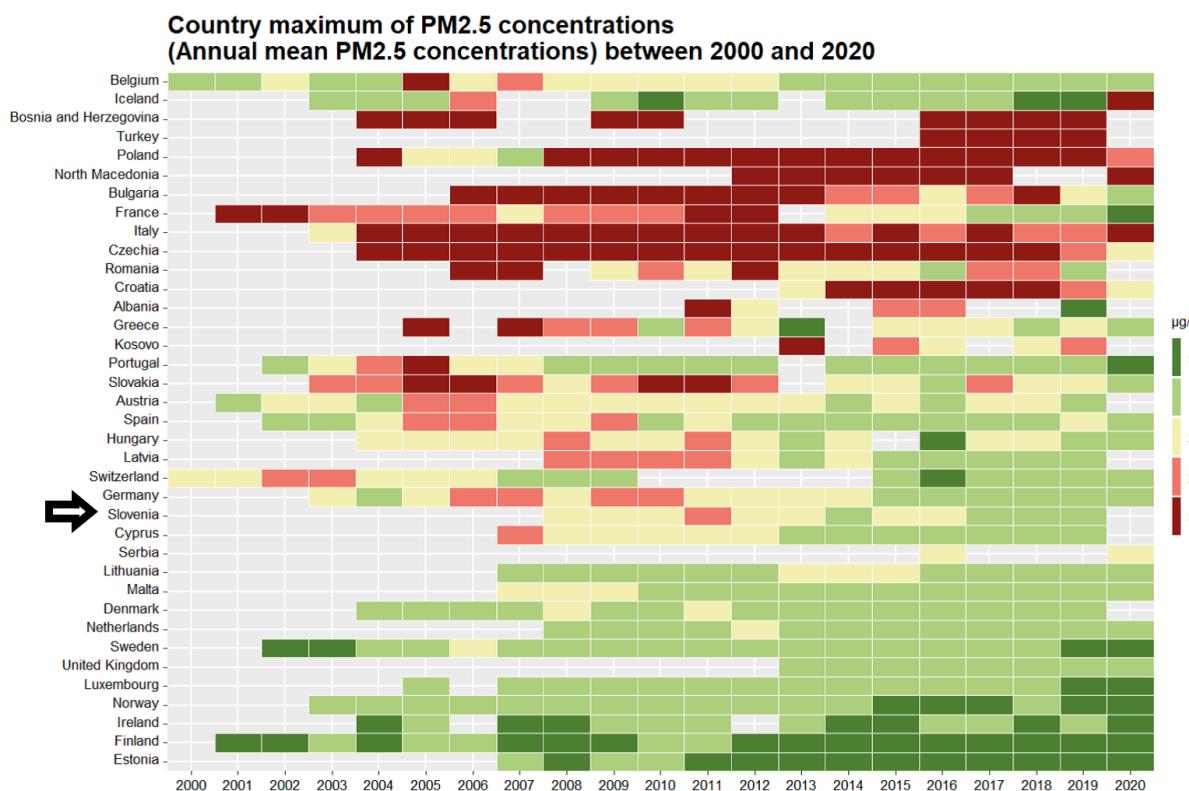
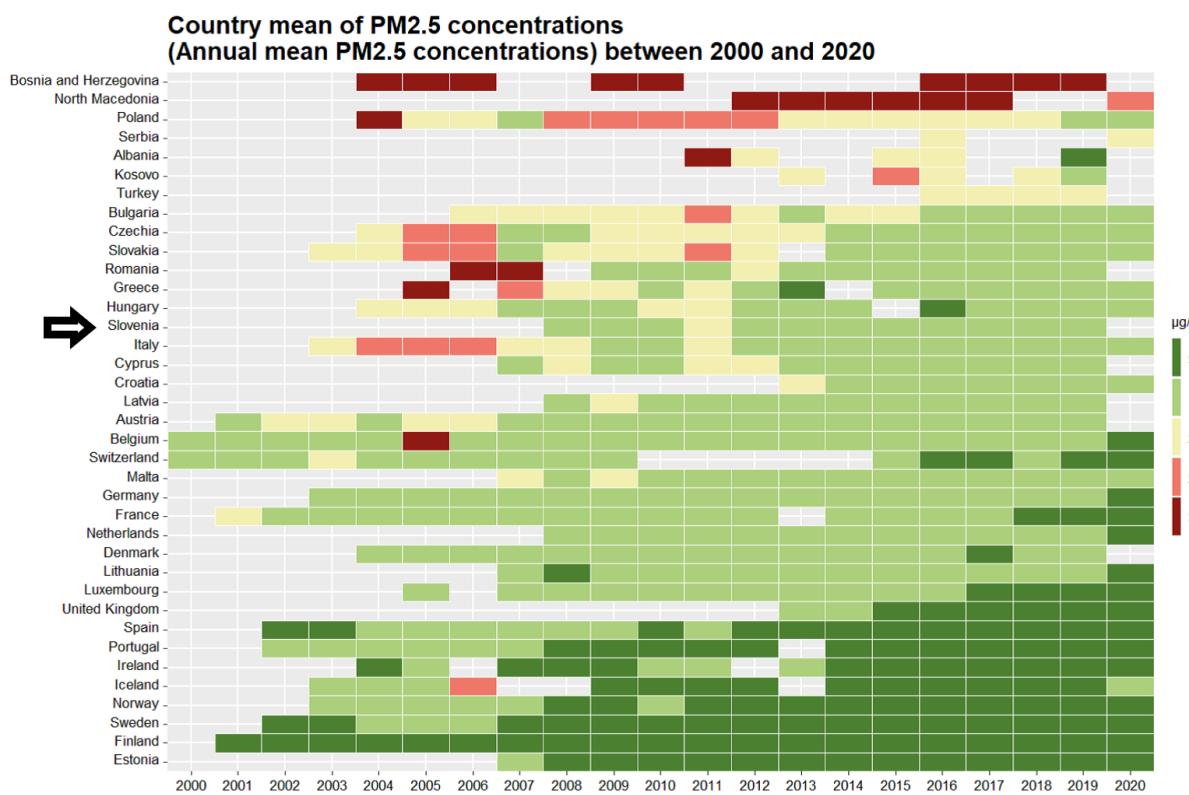
Slika 5.18: Povprečna letna raven PM₁₀ za poročana merilna mesta držav Evropske unije. Z barvo je označen razred, v katerega padejo letne ravni na posameznem merilnem mestu. Prikazana so samo tista merilna mesta, kjer je bilo več kot 75 % veljavnih meritev.



Slika 5.19: Prikaz povprečnih (zgoraj) in maksimalnih (spodaj) letnih ravni PM₁₀ v državah Evropske unije v letih 2000 - 2020 [19]. Število, lokacije in klasifikacije merilnih mest so z leti lahko različne. Podatki za leto 2020 so v realnem času posredovani podatki in so nepreverjeni.



Slika 5.20: Povprečna letna raven PM_{2.5} za poročana merilna mesta držav Evropske unije. Z barvo je označen razred, v katerega padejo letne ravni na posameznem merilnem mestu. Prikazana so samo tista merilna mesta, kjer je bilo več kot 75 % veljavnih meritev.



Slika 5.21: Prikaz povprečnih (zgoraj) in maksimalnih (spodaj) letnih ravnih PM_{2.5} v državah Evropske unije v letih 2000 - 2020 [19]. Število, lokacije in klasifikacije merilnih mest so z leti lahko različne. Podatki za leto 2020 so v realnem času posredovani podatki in so nepreverjeni.

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

6.1 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 predstavljajo izpusti iz zastarelih malih kurišnih naprav gospodinjstev na trdna goriva, za katere so značilni slabši proces zgorevanja, slab energetski izkoristek ter posledično visok izpust delcev in organskih spojin. Pomemben vir benzo(a)pirena je tudi promet.

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

6.1.1 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 [9]. Prikazana je v tabeli 6.1.

Tabela 6.1: Ciljna vrednost za benzo(a)piren (ng/m³).

	Cilj	Čas merjenja	Vrednost
Ciljna vrednost	Zdravje	Koledarsko leto	1

6.1.2 Ravni onesnaženosti

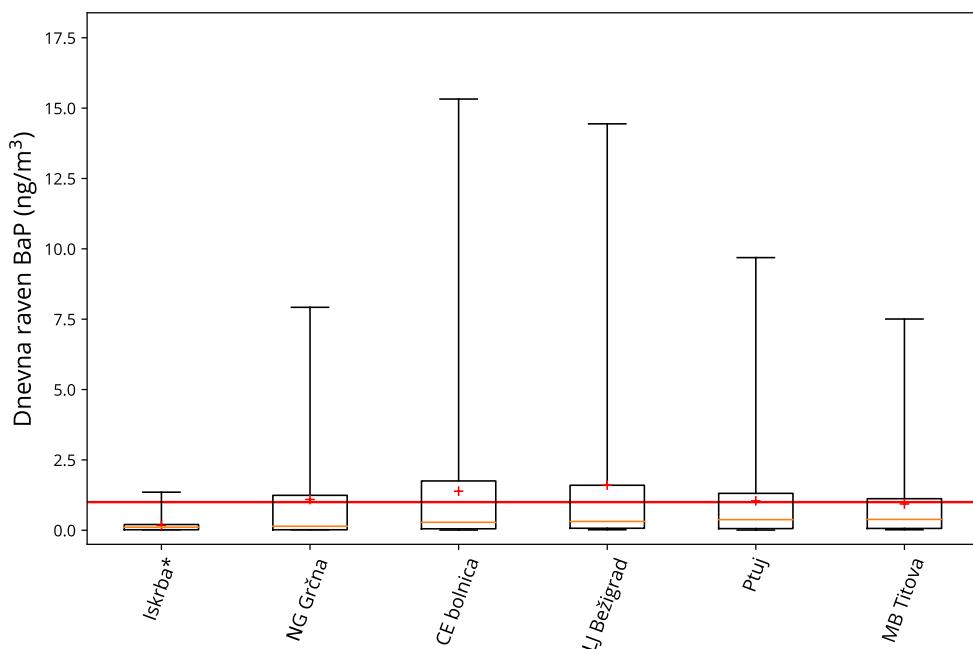
Pregled izmerjenih vrednosti benzo(a)pirena (BaP) v letu 2020 je prikazan v tabeli 6.2 ter na slikah 6.1 in 6.2. V letu 2018 smo v Ljubljani meritve benzo(a)pirena prestavili z merilnega mesta Biotehniška fakulteta na merilno mesto Bežigrad. Poleg tega smo meritve v letu 2020 izvajali še v Mariboru, Novi Gorici, Iskrbi, Celju in na Ptuju. V letu 2020 so ravni benzo(a)pirena na vseh merilnih mestih nekoliko višje kot leta 2019 (tabela 6.3 in slika 6.3). Povprečna letna vrednost je na merilnih mestih Celje bolnica, Ljubljana Bežigrad, Nova Gorica Grčna in Ptuj dosegla ciljno vrednost. Na Iskrbi je bila povprečna letna vrednost po pričakovanjih najnižja. Zaradi prenove merilnega mesta Iskrba je tam prišlo do daljšega izpada (od 18. maja do 31. avgusta) meritev benzo(a)pirena. Na slikah in v preglednicah so ti rezultati označeni z *.

Letni potek ravni benzo(a)pirena (slika 6.2) kažejo, da so najvišje ravni izmerjene v kuirilni sezoni. Takrat so izpusti zaradi ogrevanja večji, dodatno pa so za to obdobje značilni tudi neugodni meteorološki pogoji (slaba prevetrenost in izraziti temperturni obrati). Poleti so ravni na vseh lokacijah znatno nižje.

Tabela 6.2: Letna razpoložljivost z dnevnimi podatki (% pod) in povprečna letna raven (C_p) benzo(a)pirena v ng/m^3 v letu 2020.

	% pod.	C_p
CE bolnica	88	1,4
Iskrba	23	0,17*
LJ Bežigrad	33	1,3
MB Titova	33	0,93
Ptuj	90	1,1
NG Grčna	33	1,1

* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.

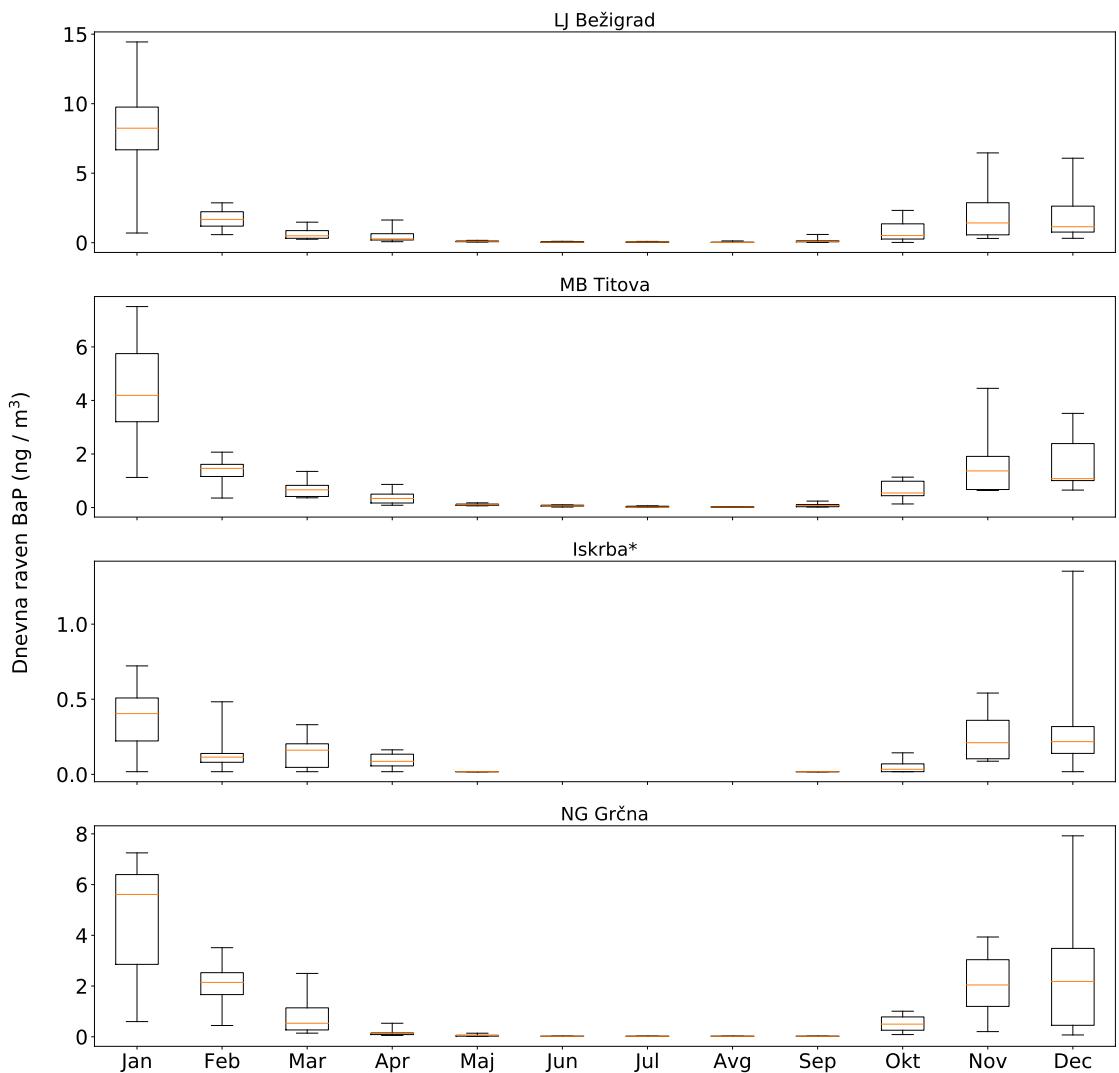


Slika 6.1: Prikaz dnevnih ravni benzo(a)pirena na merilnih mestih v letu 2020. Prikazani so najnižja in najvišja dnevna raven (spodnja in zgornja vodoravna črtica), oba kvartila (vrh in dno pravokotnika) in mediana (rdeča vodoravna črtica v pravokotniku). Križci označujejo povprečno letno raven. Rdeča črta prikazuje letno ciljno vrednost.

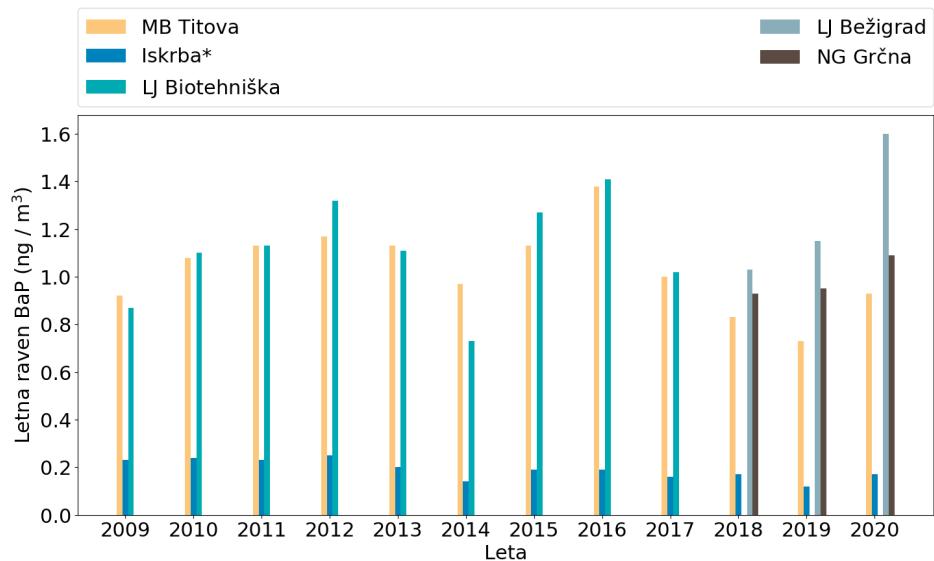
Tabela 6.3: Povprečna letna raven benzo(a)pirena (ng/m^3) na merilnih mestih po letih.

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

* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.



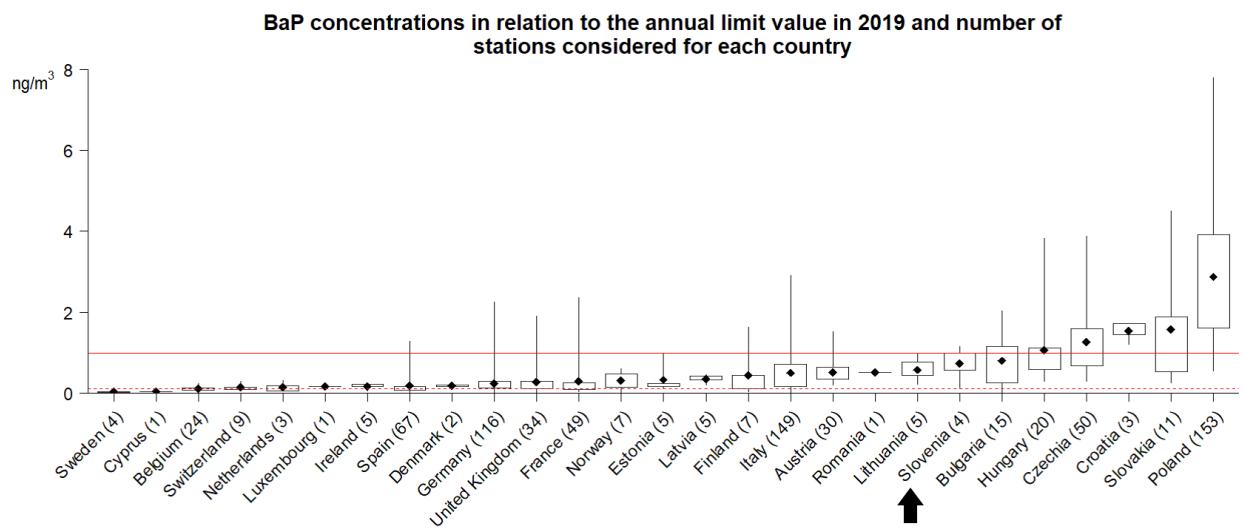
Slika 6.2: Prikaz dnevnih ravni benzo(a)pirena na merilnih mestih po mesecih v letu 2020. Prikazani so najnižja in najvišja izmerjena vrednost (spodnja in zgornja vodoravna črtica), oba kvartila (vrh in dno pravokotnika) in mediana (rdeča vodoravna črtica v pravokotniku).



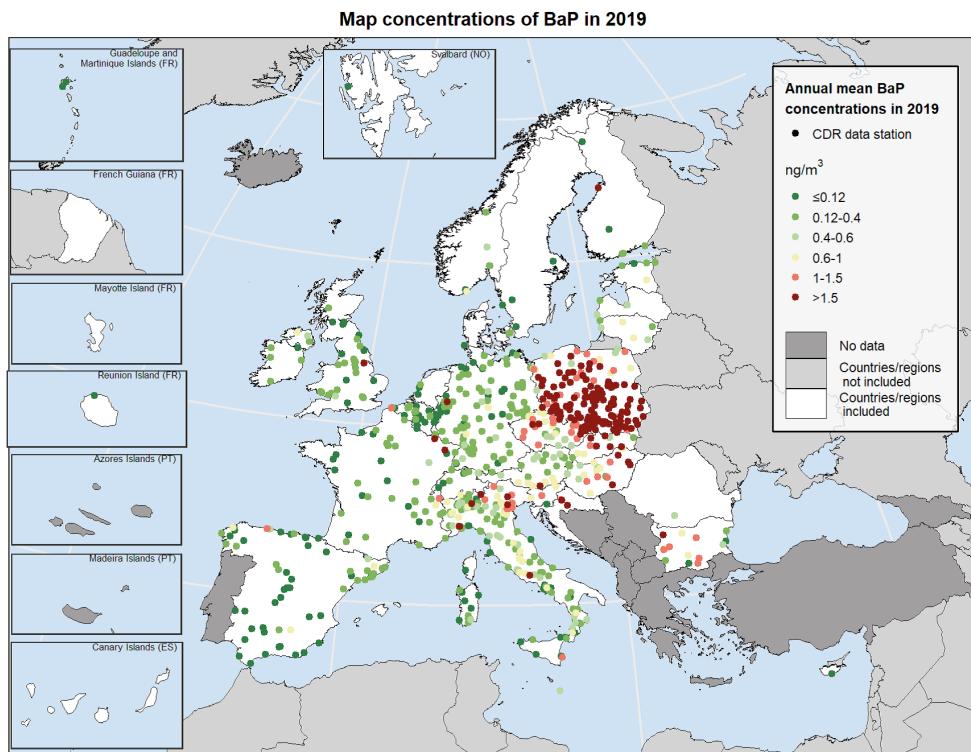
Slika 6.3: Prikaz povprečnih letnih ravni benzo(a)pirena na različnih postajah po letih.

6.1.3 Ravni onesnaženosti v državah EU

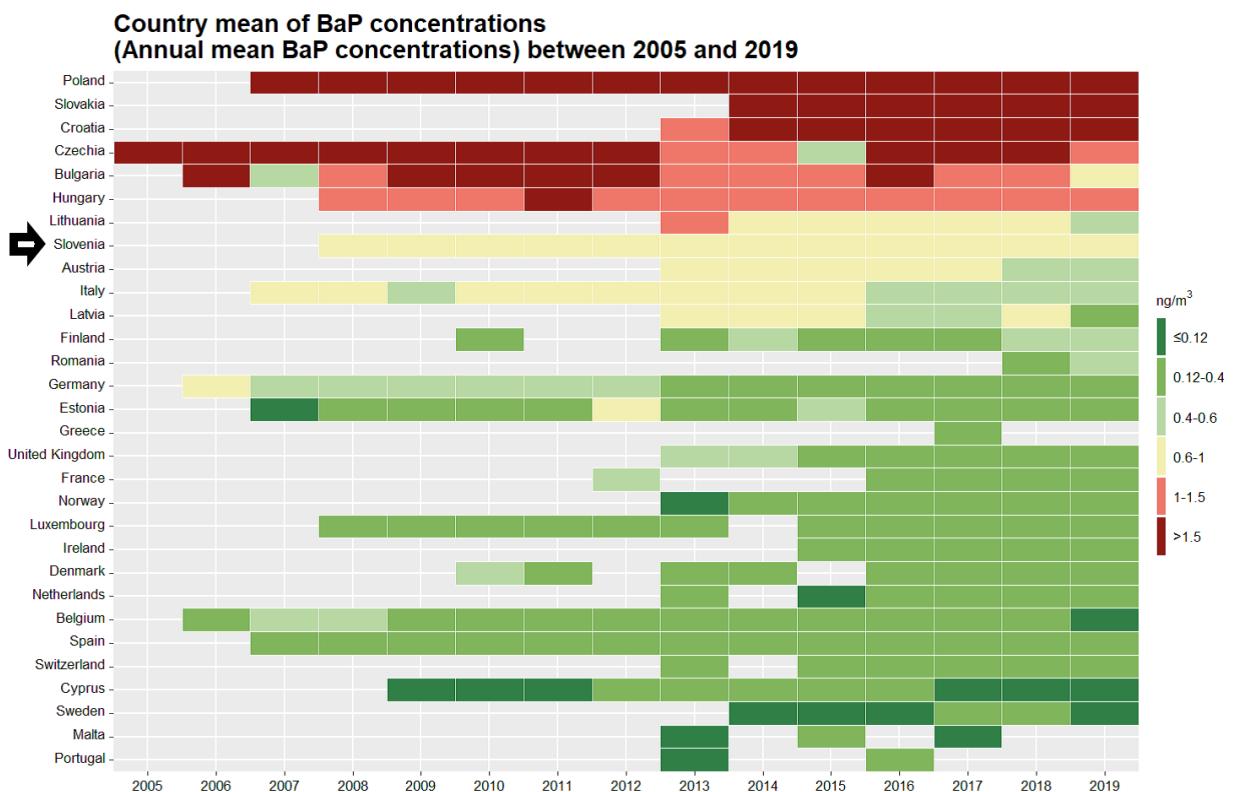
Podatke o onesnaženosti zraka z benzo(a)pirenom za leto 2019 so v Evropi poročani iz 780 merilnih mest. 14 držav je poročalo ravni benzo(a)pirena višje od $1,0 \text{ ng}/\text{m}^3$ (sliki 6.4 in 6.5). Ravni benzo(a)pirena so bile v letu 2019 najvišje na Poljskem, Slovaškem, Hrvaškem in Češkem, kar je v veliki meri posledica uporabe trdih goriv za ogrevanje v zastarelih malih kuirlnih napravah gospodinjstev. Slovenija se po onesnaženosti z benzo(a)pirenom uvršča v zgornjo polovico držav v Evropi. Barvni prikaz onesnaženosti zraka z benzo(a)pirenom po letih (slika 6.6 in slika 6.7) od 2000 do 2019 ne kaže nobenega izboljšanja.



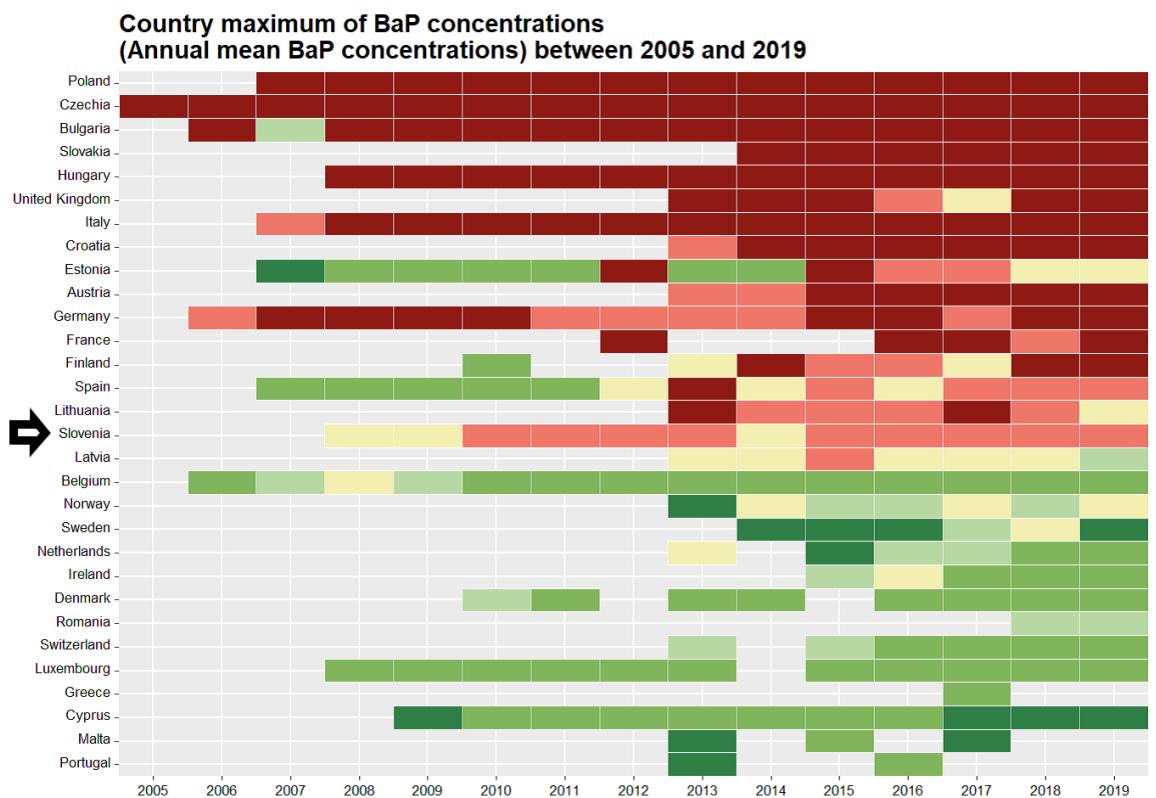
Slika 6.4: Prikaz povprečnih letnih ravni delcev benzo(a)pirena v Evropski Uniji v letu 2019. Za vsako državo so prikazane najnižja in najvišja izmerjena vrednost, oba kvartila (vrh in dno pravokotnika) ter povprečna vrednost. Število merilnih mest v posamezni državi je zapisano v oklepaju. Mejna vrednost je prikazana z rdečo črto.



Slika 6.5: Prikaz povprečne letne raven BaP v Evropski uniji v letu 2019 [2]. Z barvo je prikazan razred, v katerega sodi merilno mesto glede na povprečno letno raven.



Slika 6.6: Prikaz povprečnih ravni benzo(a)pirena v državah Evropske unije v letih 2000 - 2019 [19]. Število, lokacije in klasifikacije merilnih mest so z leti lahko različne.



Slika 6.7: Prikaz maksimalnih ravnih benzo(a)pirena v državah Evropske unije v letih 2000 - 2019 [19]. Število, lokacije in klasifikacije merilnih mest so z leti lahko različne.

6.2 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 kopičenja 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 kurišnih olj, rudarjenje in rafiniranje niklja ter sežig gospodinjskih odpadkov so glavni antropogeni viri izpustov niklja v ozračje. Nikelj pri višjih vrednostih pa 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 drobnih 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, zgorevanje 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 kopči tudi v ledvicah, jetrih in kosteh.

6.2.1 Izpusti

Letni izpusti arzena so v Sloveniji leta 2019 znašali 0,64 ton. V primerjavi z letom 1990 so se zmanjšali za 29 % (slika 6.8). Najpomembnejši vir izpustov arzena je proizvodnja elektrike in toplotne. Oskrba z energijo je v letu 2019 prispevala k skupnim državnim izpustom arzena kar 91 % (slika 6.9).

Letni izpusti niklja so v Sloveniji leta 2019 znašali 1,4 ton. V obdobju 1990-2019 so se izpusti zmanjšali za 52 % (slika 6.10). Glavni viri izpustov niklja so bili v letu 2019 industrijski procesi in raba topil (38 %), proizvodnja elektrike (30 %) in mala kurišča (26 %) (slika 6.11).

Letni izpusti kadmija so v Sloveniji leta 2019 znašali 0,6 ton. V primerjavi z letom 1990 so se zmanjšali za 7 % (slika 6.12). Glavni razlog za nižje izpuste kadmija v zadnjih letih je posodobitev tehnoloških procesov. Največji delež k skupnim izpustom kadmija je v letu 2019 prispevala raba goriv v gospodinjstvih in storitvenem sektorju 40 % (slika 6.13).

Letni izpusti svinca so v Sloveniji leta 2019 znašali 4,3 ton. V obdobju 1990-2019 so se zmanjšali za 98 %, predvsem zaradi opustitve osvinčenih motornih bencinov (slika 6.14). Največji delež k skupnim izpustom svinca so prispevali industrijski procesi 51 % (slika 6.15).

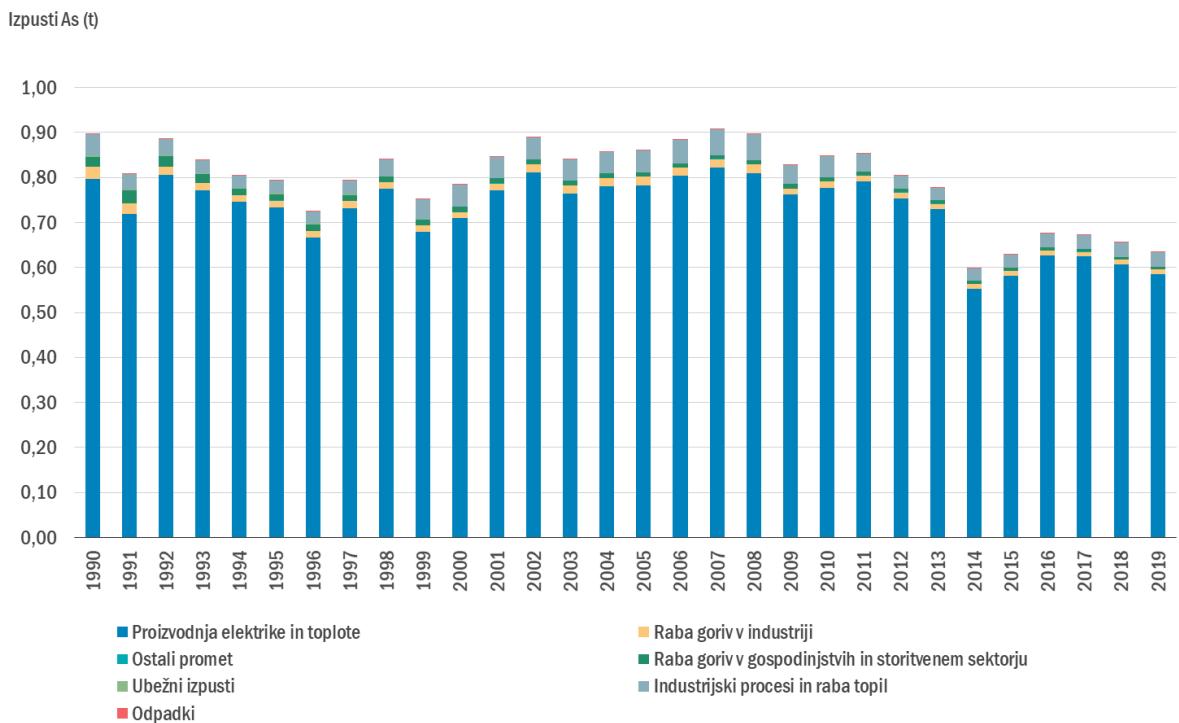
Slovenija izpolnjuje zahteve iz Protokola o težkih kovinah h Konvenciji o onesnaževanju zraka na velike razdalje preko meja [26]. Skupne državne vrednosti izpustov kadmija in svinca ne presegajo vrednosti iz izhodiščnega leta 1990.

6.2.2 Zahteve za kakovost zraka

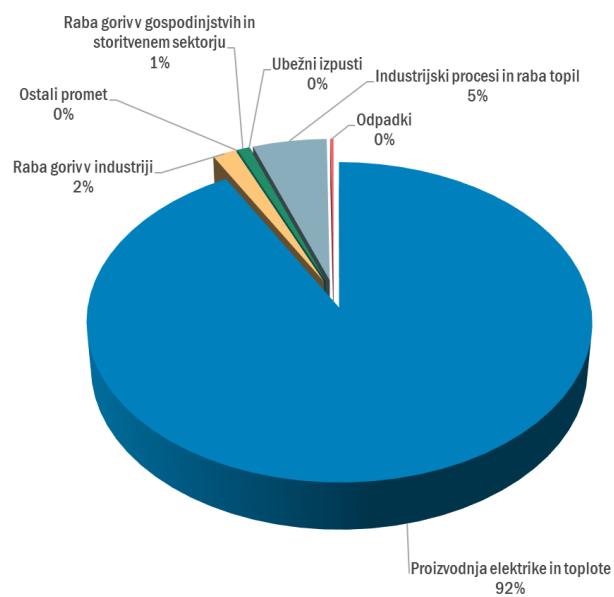
Ciljne vrednosti za nikelj, arzen in kadmij so predpisane v Uredbi o arzenu, kadmiju, živem srebru, niklju in policikličnih aromatskih ogljikovodikih v zunanjem zraku [9], mejna vrednost za svinec pa je določena v Uredbi o kakovosti zunanjega zraka [8]. Predpisane vrednosti so podane v tabeli 6.4.

6.2.3 Ravni onesnaženosti

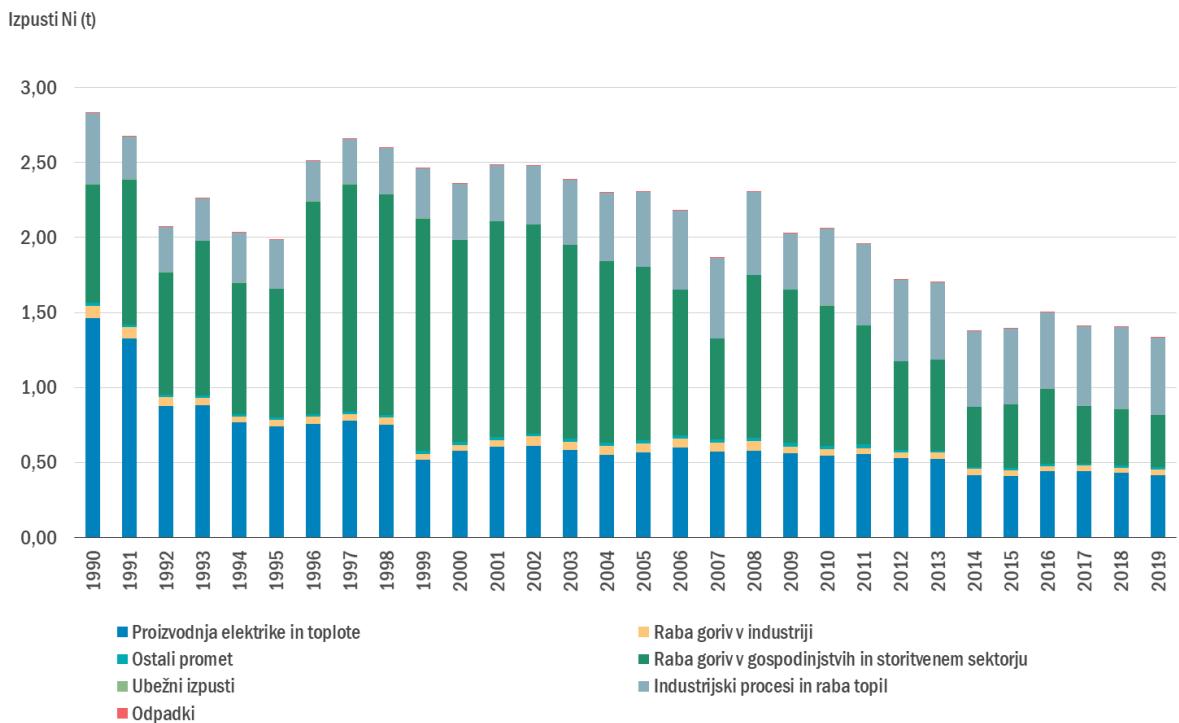
Pregled letnih ravni težkih kovin v letu 2020 izračunanih iz povprečnih dnevnih vrednosti je prikazan v tabeli 6.5 ter na slikah od 6.16 do 6.19. Meritve težkih kovin izvajamo na petih merilnih mestih:



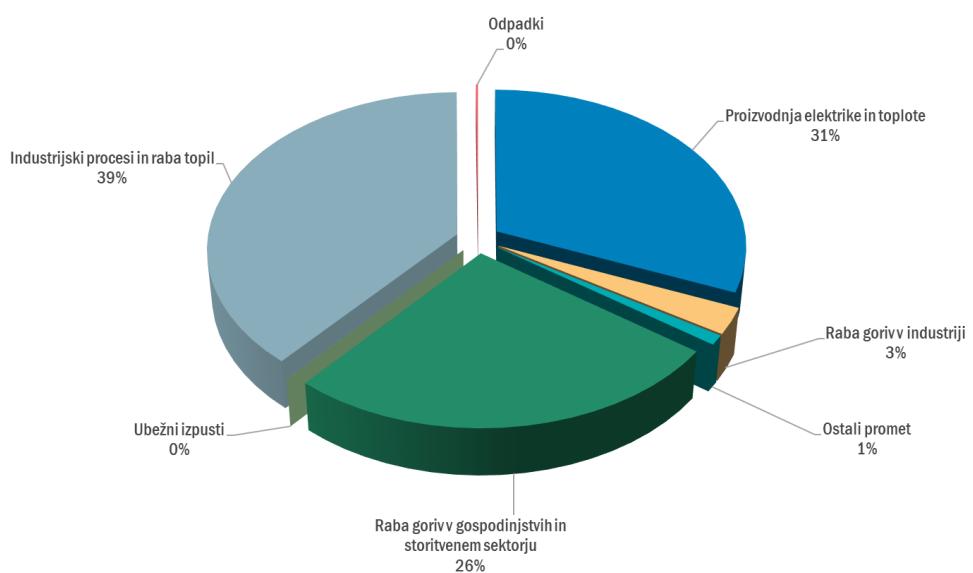
Slika 6.8: Letni izpusti arzena po sektorjih v Sloveniji.



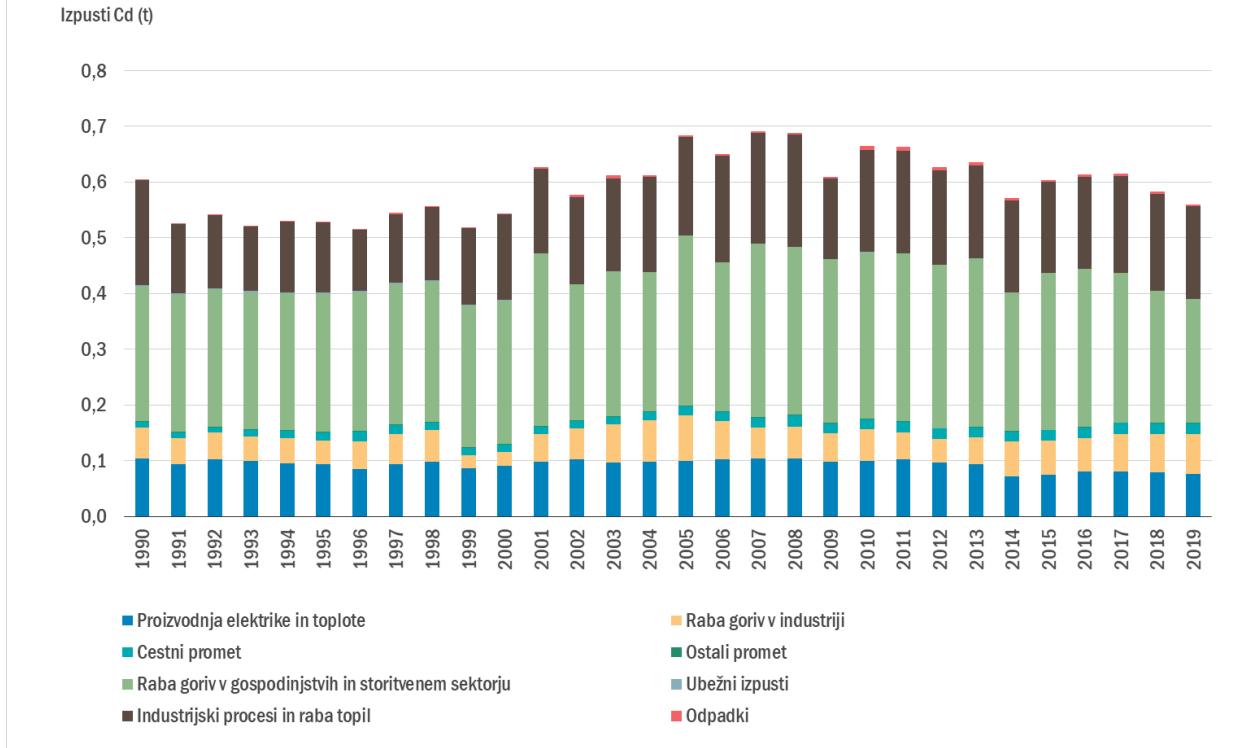
Slika 6.9: Izpusti arzena po sektorjih v Sloveniji v letu 2019.



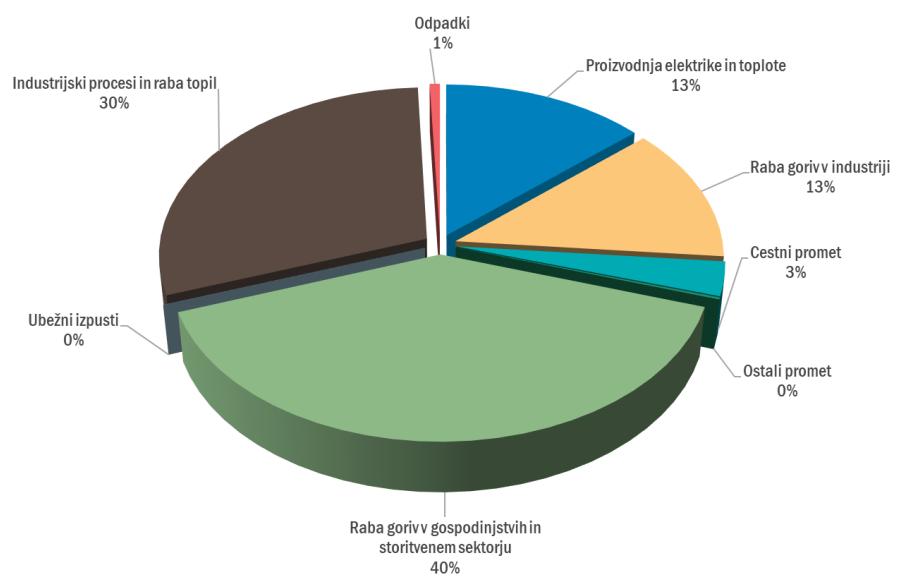
Slika 6.10: Letni izpusti niklja po sektorjih v Sloveniji.



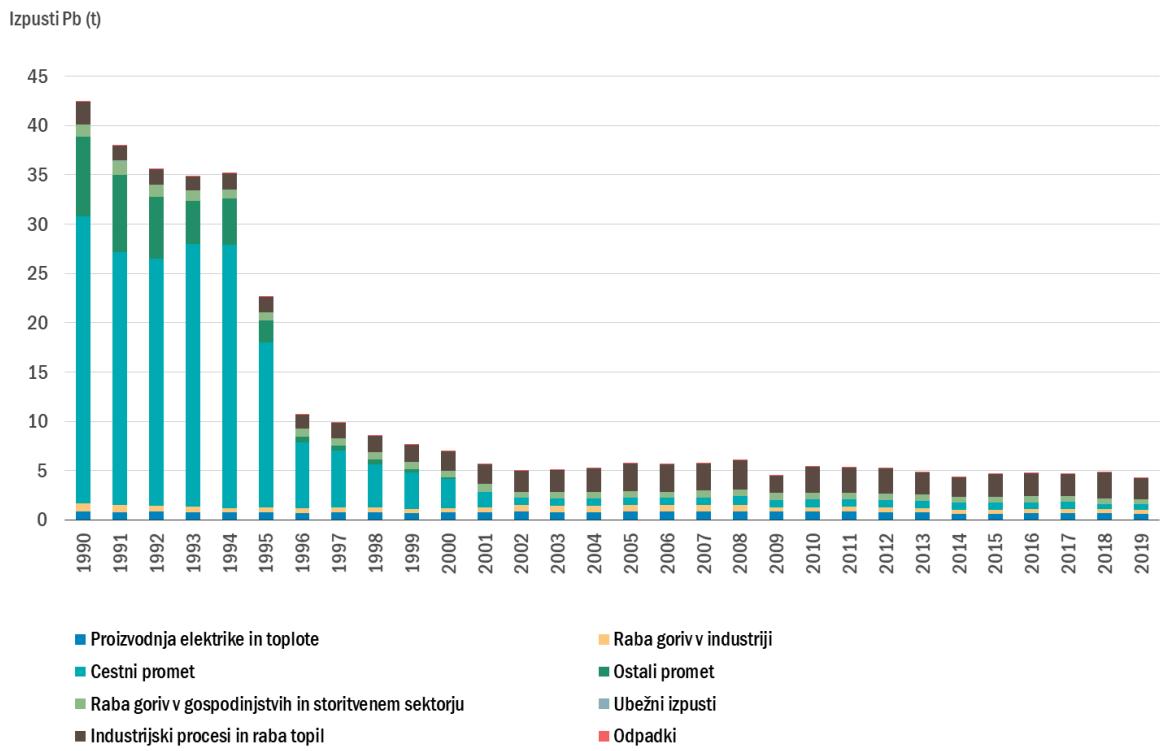
Slika 6.11: Izpusti niklja po sektorjih v Sloveniji v letu 2019.



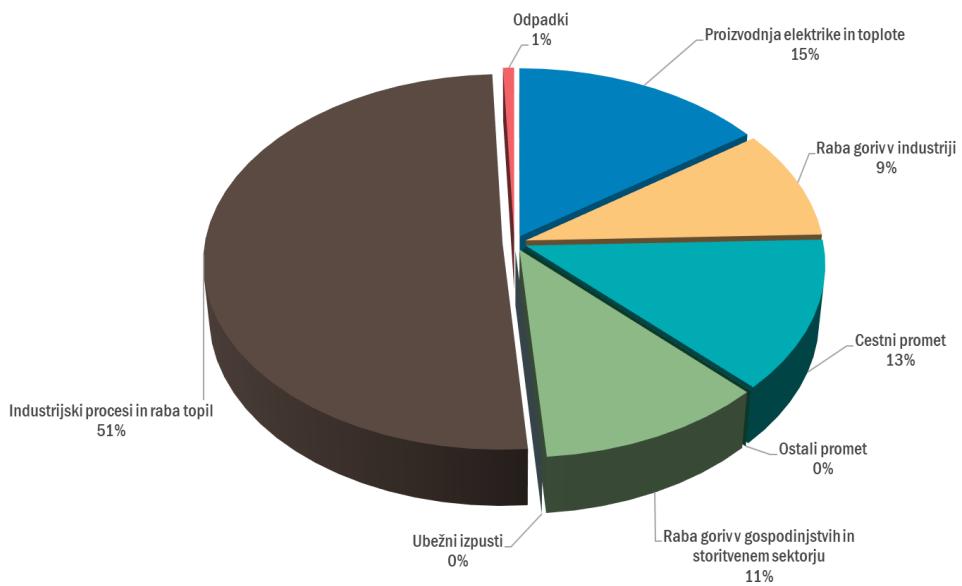
Slika 6.12: Letni izpusti kadmija po sektorjih v Sloveniji.



Slika 6.13: Izpusti kadmija po sektorjih v Sloveniji v letu 2019.



Slika 6.14: Letni izpusti svinca po sektorjih v Sloveniji.



Slika 6.15: Izpusti svinca po sektorjih v Sloveniji v letu 2019.

Tabela 6.4: Mejna vrednost za svinec ter ciljne vrednosti za arzen, kadmij in nikelj.

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

Ljubljana Bežigrad, Maribor Titova, Žerjav, Iskrba in Celje bolnica. V letu 2020 so meritve potekale še na Ptiju. Letne ravni niklja, arzena, kadmija in svinca so bile v letu 2020 na vseh merilnih mestih nižje od zahtev za kakovost zraka. Najvišje ravni svinca, kadmija in arzena so bile izmerjene v Žerjavu, najvišje vrednosti niklja pa na merilnih mestih Ljubljana Bežigrad in Maribor Titova. V letu 2018 smo v Ljubljani meritve težkih kovin prestavili z merilnega mesta Biotehniška fakulteta na merilno mesto Bežigrad. V Celju je bila 14. novembra izmerjena zelo visoka vrednost kadmija 98 ng/m³ (slika 6.18), vendar razloga za to nismo ugotovili. Zaradi prenove merilnega mesta Iskrba je tam prišlo do daljšega izpada (od 18. maja do 31. avgusta) meritve težkih kovin. Na slikah in v preglednicah so ti rezultati označeni z *.

Letni poteki ravni težkih kovin kažejo, da so vrednosti najvišje v kurilni sezoni (slike 6.20 do 6.23). Takrat so izpusti večji, dodatno pa so za hladno obdobje leta značilni tudi neugodni meteorološki pogoji za razredčevanje izpustov. Zimski maksimumi so manj izraziti na merilnem mestu Žerjav, kjer so povišani nivoji svinca preko celega leta povezani z delovanjem okoliške industrije. Obenem ni mogoče izključiti resuspenzije svinca iz kontaminirane zemlje. Primerjava ravni težkih kovin v obdobju od 2009 do 2020 kaže, da obremenjenost ostaja približno na istem nivoju (tabele 6.7 do 6.8 in slike 6.24 do 6.27). Raven onesnaženosti večja od dopustnega je označeno s krepko.

Tabela 6.5: Letna pokritost s podatki (% pod) in letna raven težkih kovin (ng/m³) v letu 2020.

	% pod	Arzen	Nikelj	Kadmij	Svinec
CE bolnica	91	0,38	1,2	0,64	7,0
Iskrba *	19	0,17	0,87	0,08	1,6
LJ Bežigrad	24	0,30	1,4	0,25	7,1
MB Titova	24	0,34	1,4	0,18	6,4
Ptuj	90	0,50	1,0	0,16	4,0
Žerjav	48	1,4	0,92	2,8	437

* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritve informativnega značaja.

Tabela 6.6: Letna raven arzena (ng/m³).

	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
CE bolnica	/	/	/	/	/	/	/	0,53	0,55	0,48	0,42	0,38
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*
LJ Bežigrad	/	/	/	/	/	/	/	/	/	0,42	0,35	0,30
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
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

* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritve informativnega značaja.

Tabela 6.7: Letna raven niklja (ng/m³).

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

* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.

Tabela 6.8: Letna raven kadmija (ng/m³).

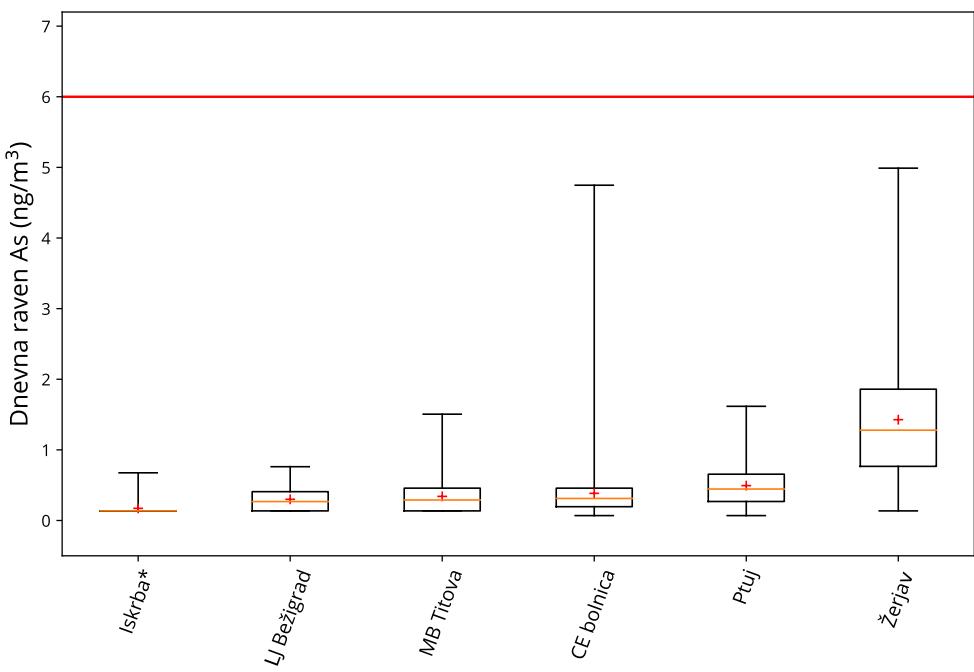
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
CE bolnica	/	/	/	/	/	/	/	0,95	0,38	0,39	0,52	0,64
Iskrba	0,10	0,11	0,26	0,11	0,08	0,09	0,08	0,07	0,07	0,08	0,06	0,08*
LJ Bežigrad	/	/	/	/	/	/	/	/	/	0,25	0,18	0,25
LJ Biotehniška	0,22	0,26	0,47	0,25	0,28	0,22	0,23	0,22	0,19	/	/	/
MB Titova	0,27	0,31	0,55	0,24	0,24	0,22	0,20	0,19	0,17	0,19	0,16	0,18
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

* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.

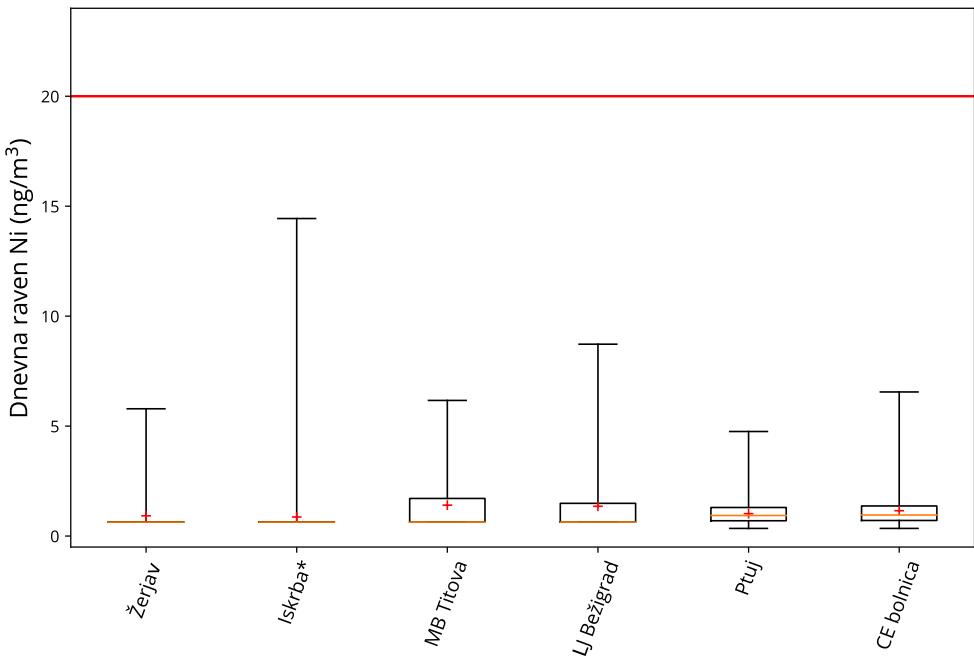
Tabela 6.9: Letna raven svinca (ng/m³).

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

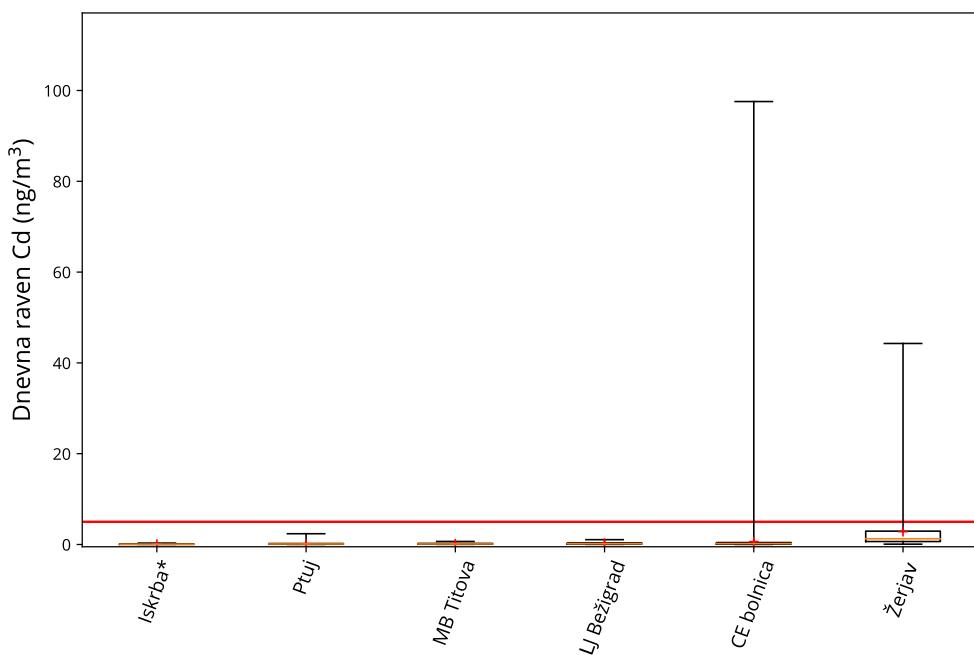
* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.



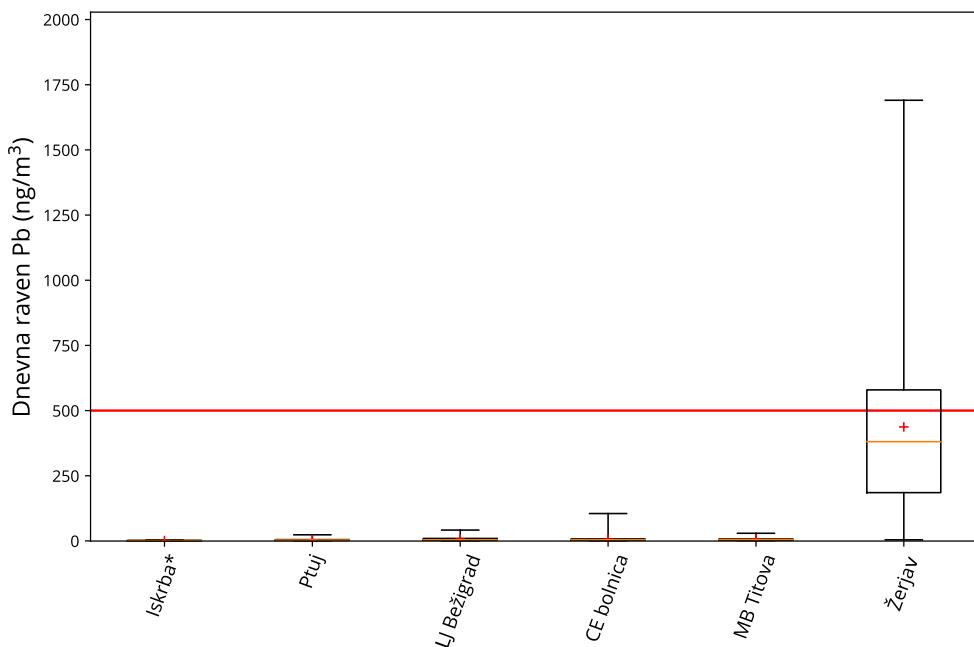
Slika 6.16: Dnevna raven arzena na petih merilnih mestih v letu 2020. Prikazani so najnižja in najvišja izmerjena raven (spodnja in zgornja vodoravna črtica), oba kvartila (vrh in dno pravokotnika) in mediana (rdeča vodoravna črtica v pravokotniku). Križec predstavlja povprečno letno raven. Rdeča črta prikazuje letno ciljno vrednost.



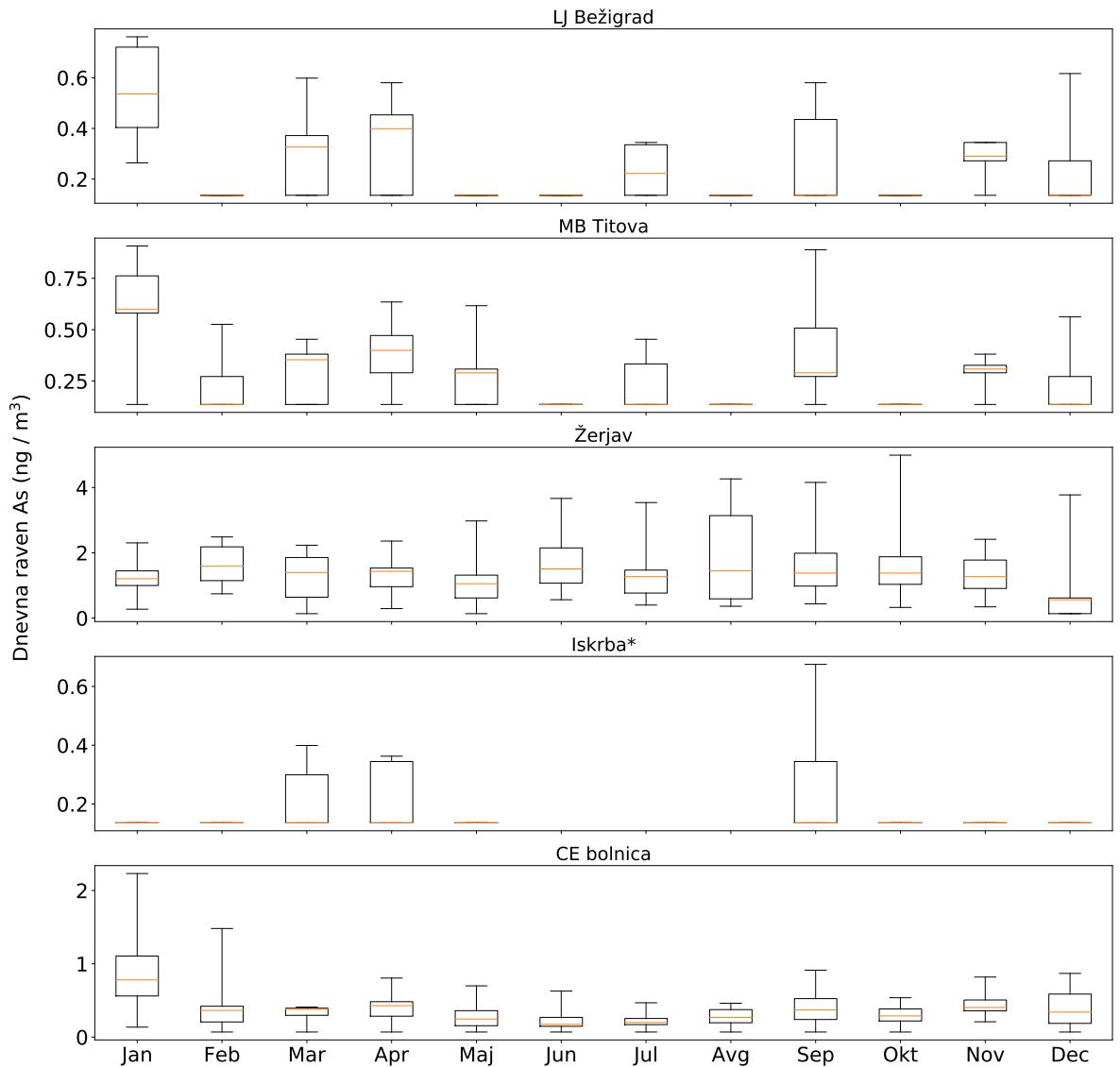
Slika 6.17: Dnevna raven niklja na petih merilnih mestih v letu 2020. Prikazani so najnižja in najvišja izmerjena raven (spodnja in zgornja vodoravna črtica), oba kvartila (vrh in dno pravokotnika) in mediana (rdeča vodoravna črtica v pravokotniku). Križec predstavlja povprečno letno raven. Rdeča črta prikazuje letno ciljno vrednost.



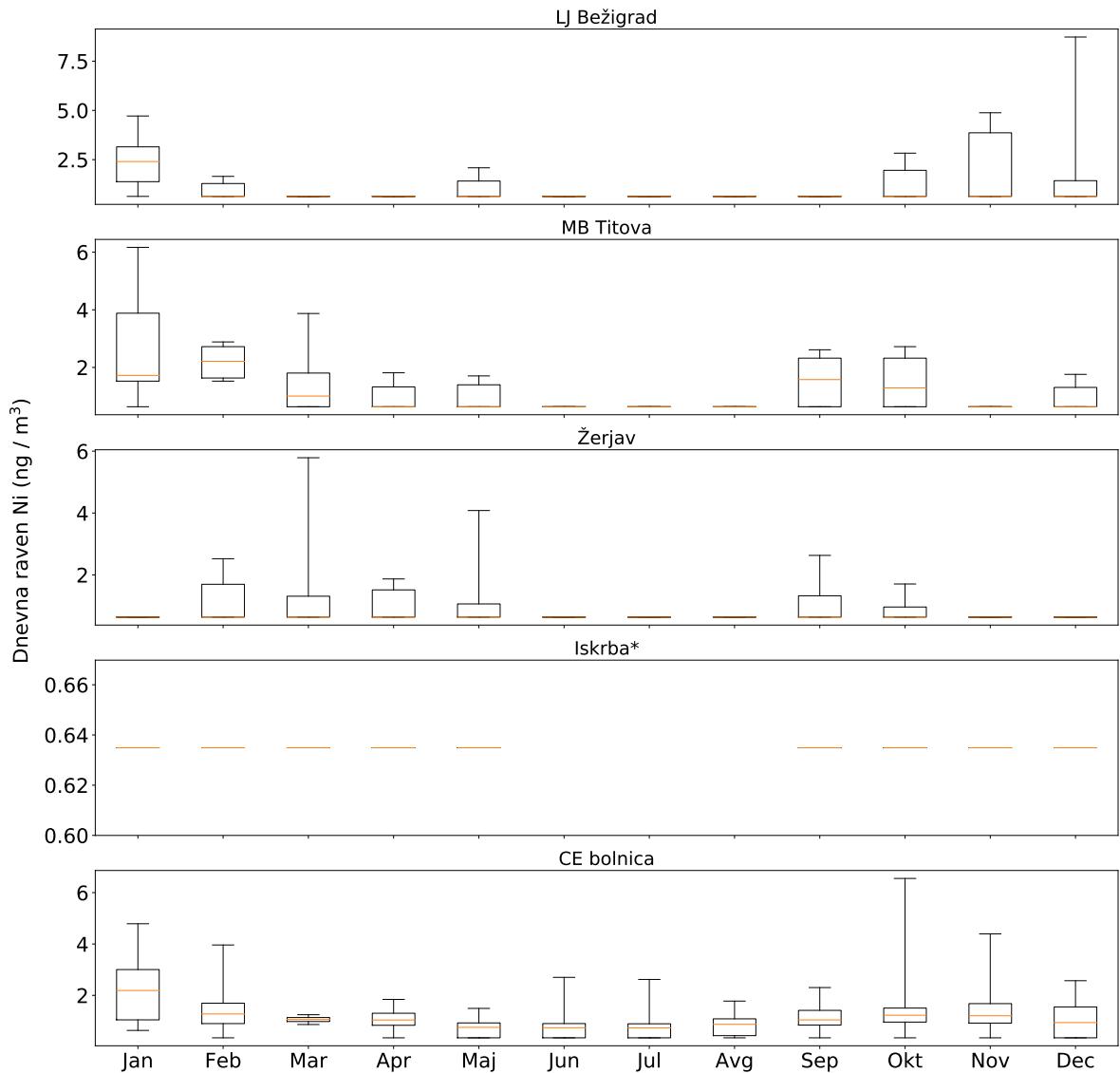
Slika 6.18: Dnevna raven kadmija na petih merilnih mestih v letu 2020. Prikazani so najnižja in najvišja izmerjena raven (spodnja in zgornja vodoravna črtica), oba kvartila (vrh in dno pravokotnika) in mediana (rdeča vodoravna črtica v pravokotniku). Križec predstavlja povprečno letno raven. Rdeča črta prikazuje letno ciljno vrednost.



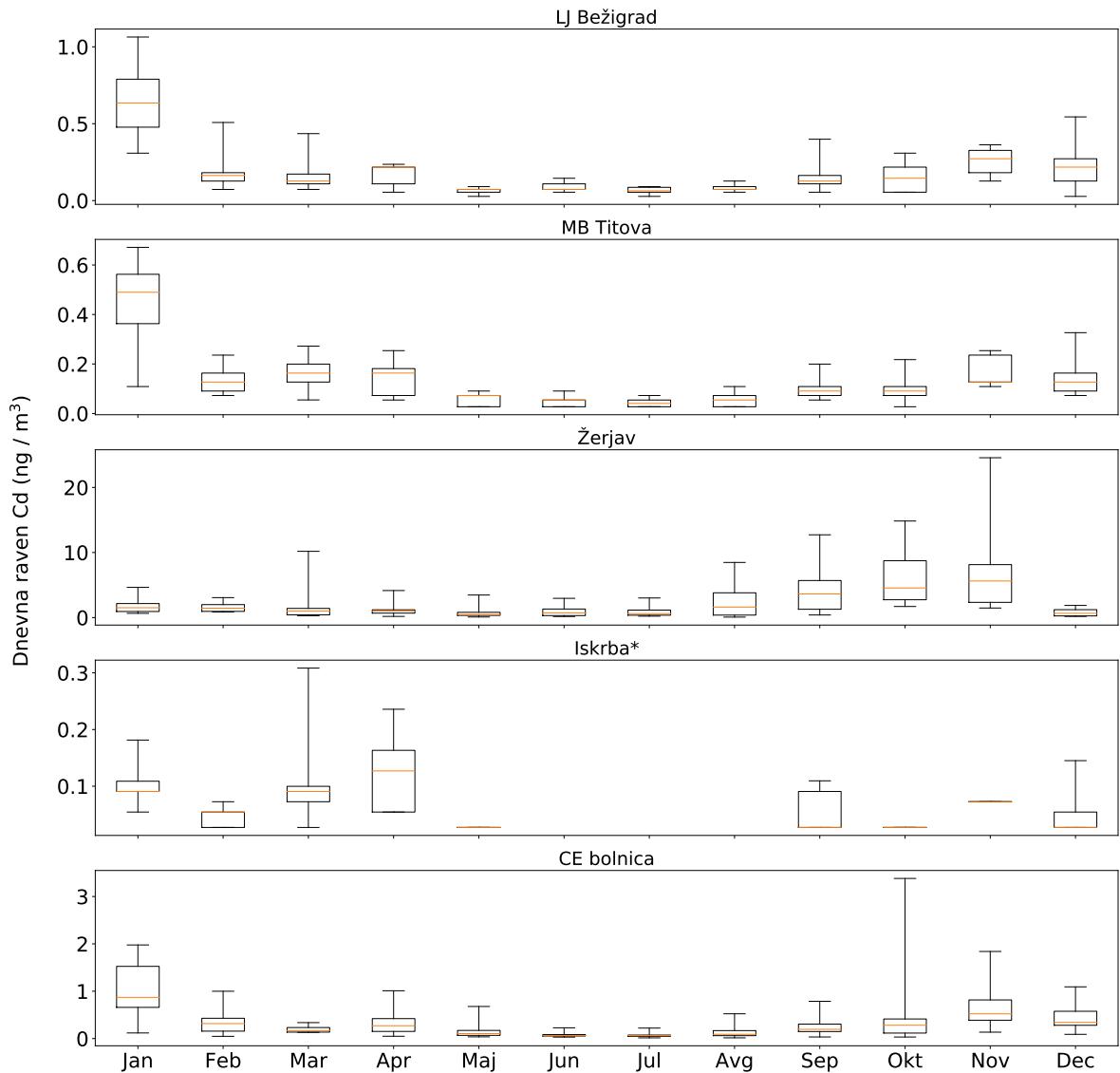
Slika 6.19: Dnevna raven svinca na petih merilnih mestih v letu 2020. Prikazani so najnižja in najvišja izmerjena raven (spodnja in zgornja vodoravna črtica), oba kvartila (vrh in dno pravokotnika) in mediana (rdeča vodoravna črtica v pravokotniku). Križec predstavlja povprečno letno raven. Rdeča črta prikazuje letno ciljno vrednost.



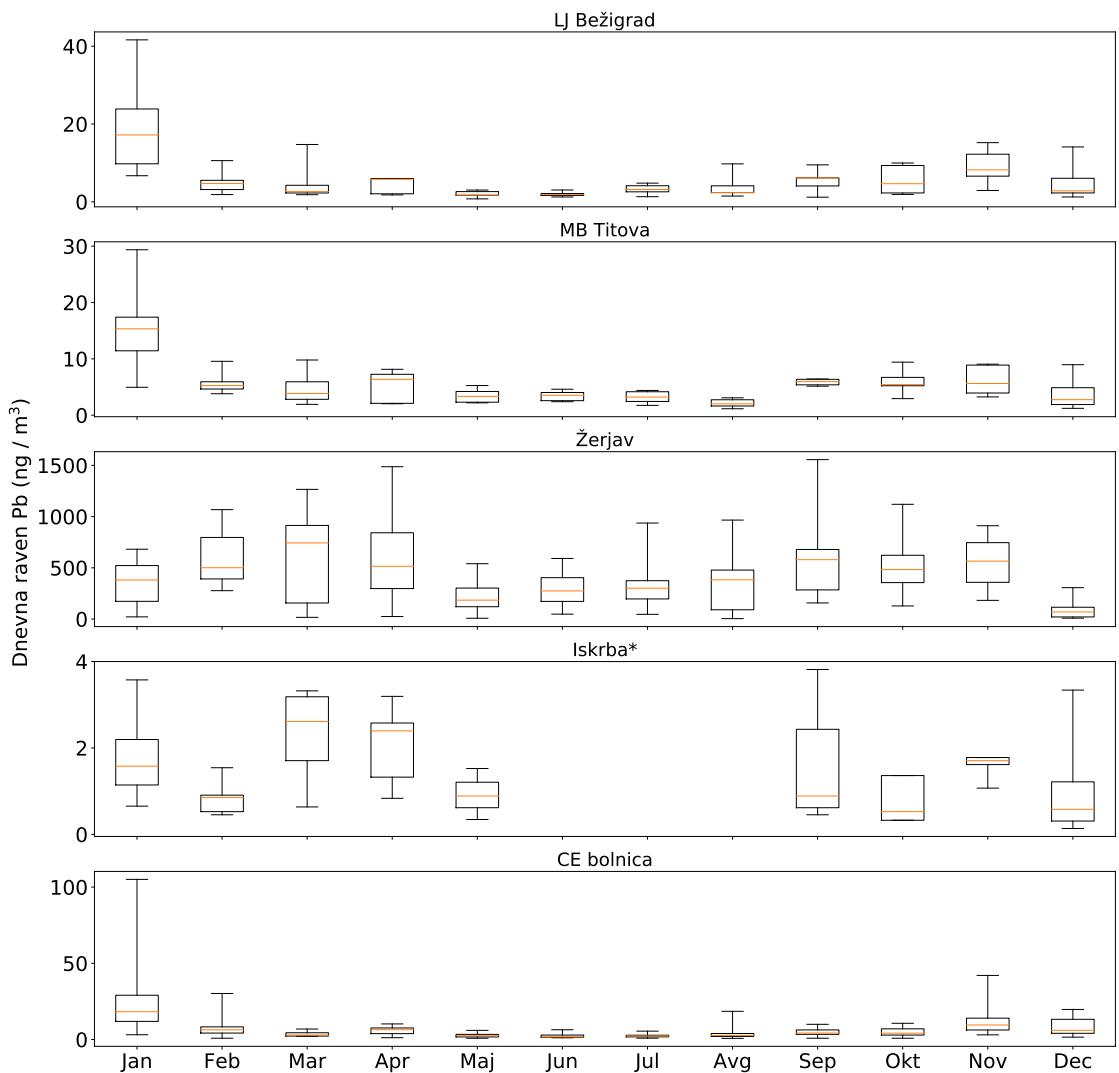
Slika 6.20: Dnevna raven arzena na petih merilnih mestih po mesecih v letu 2020. Prikazani so najnižja in najvišja izmerjena raven (spodnja in zgornja vodoravna črtica), oba kvartila (vrh in dno pravokotnika) in mediana (rdeča vodoravna črtica v pravokotniku) za posamezni mesec.



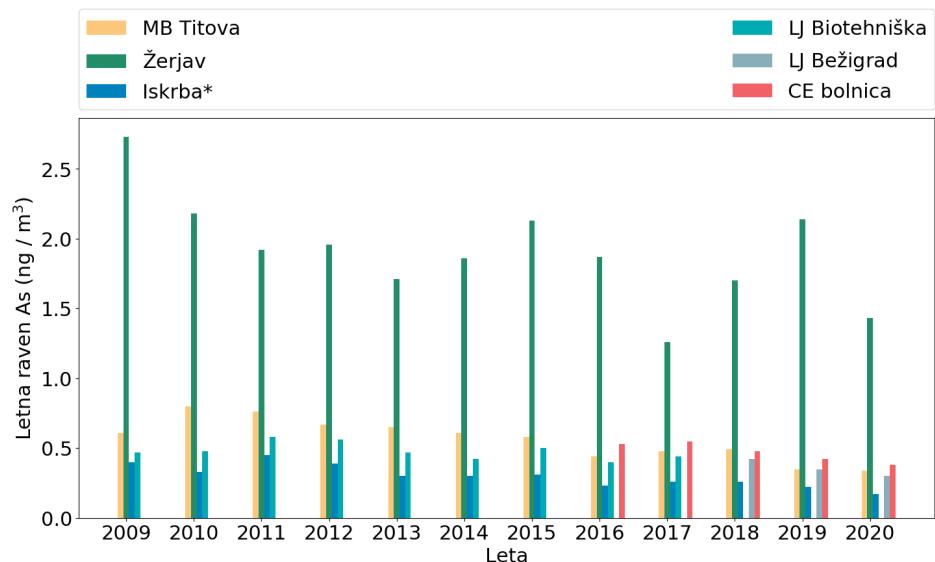
Slika 6.21: Dnevna raven niklja na petih merilnih mestih po mesecih v letu 2020. Prikazani so najnižja in najvišja izmerjena raven (spodnja in zgornja vodoravna črtica), oba kvartila (vrh in dno pravokotnika) in mediana (rdeča vodoravna črtica v pravokotniku).



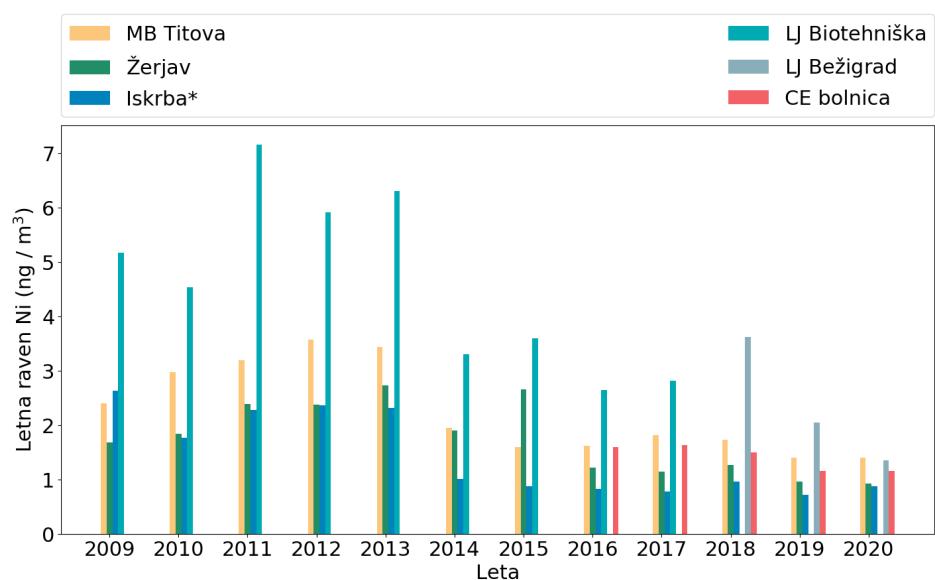
Slika 6.22: Dnevna raven kadmija na petih merilnih mestih po mesecih v letu 2020. Prikazani so najnižja in najvišja izmerjena raven (spodnja in zgornja vodoravna črtica), oba kvartila (vrh in dno pravokotnika) in mediana (rdeča vodoravna črtica v pravokotniku).



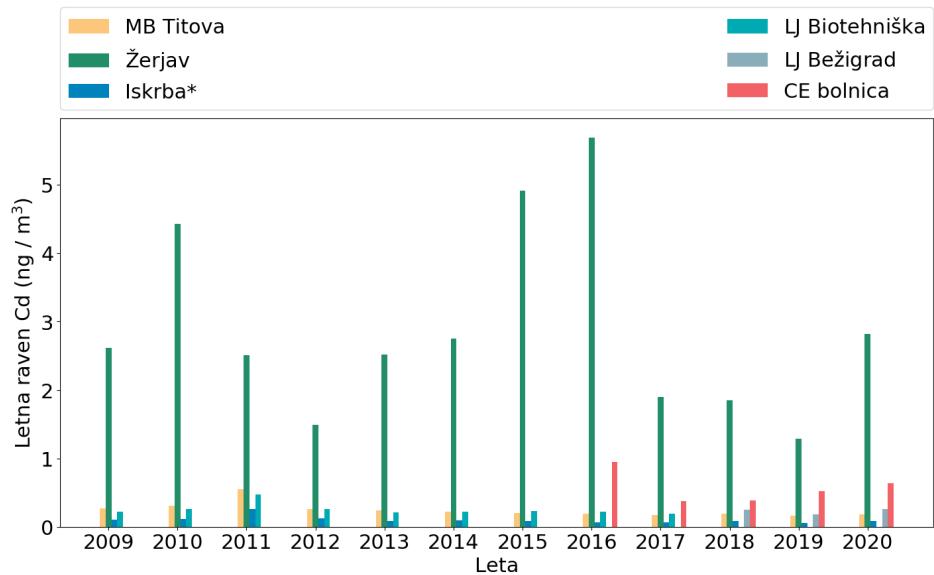
Slika 6.23: Dnevna raven svinca na petih merilnih mestih po mesecih v letu 2020. Prikazani so najnižja in najvišja izmerjena raven (spodnja in zgornja vodoravna črtica), oba kvartila (vrh in dno pravokotnika) in mediana (rdeča vodoravna črtica v pravokotniku).



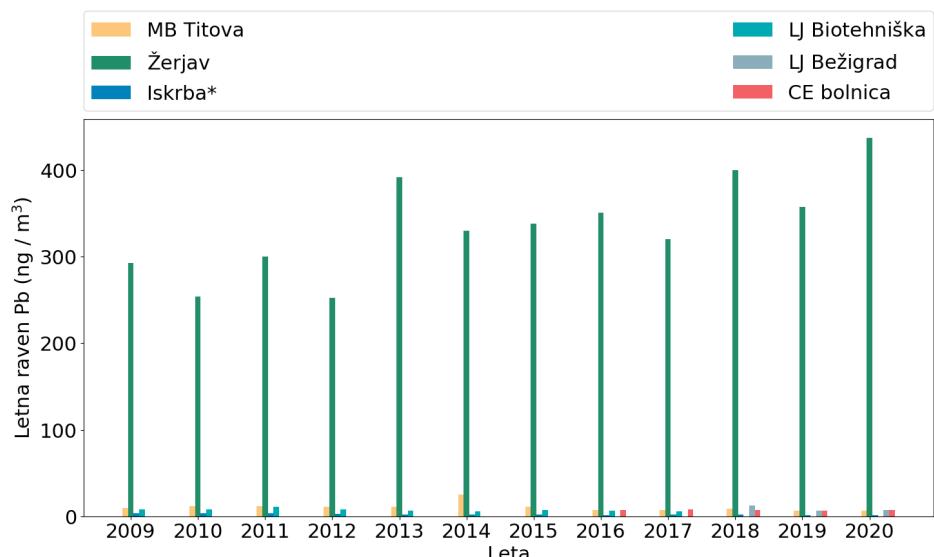
Slika 6.24: Povprečna letna raven arzena po letih.



Slika 6.25: Povprečna letna raven niklja po letih.



Slika 6.26: Povprečna letna raven kadmija po letih.



Slika 6.27: Povprečna letna raven svinca po letih.

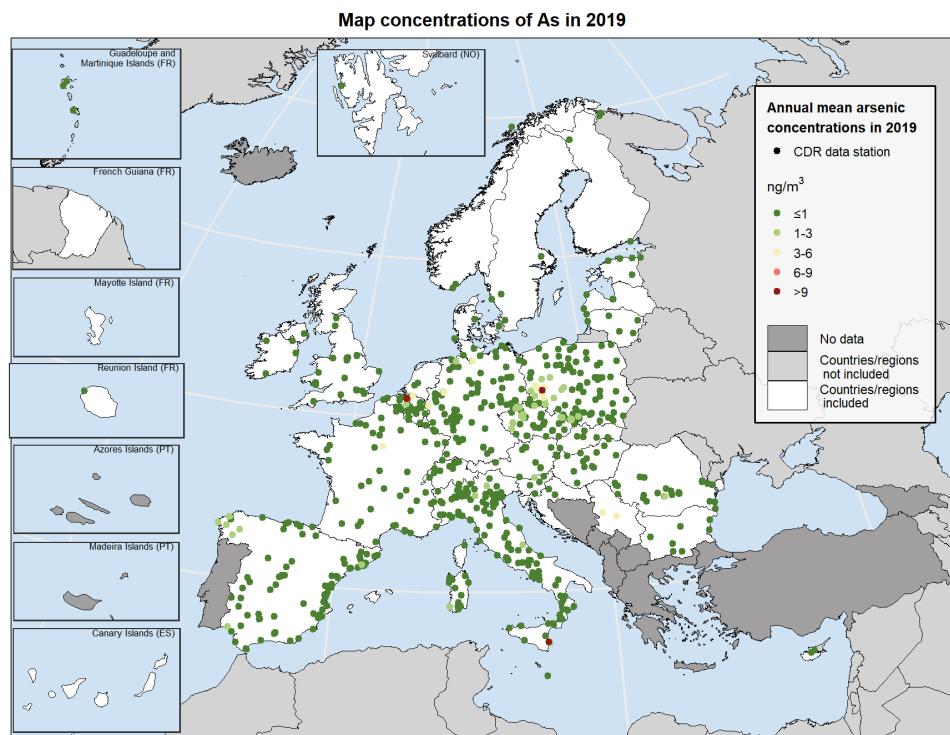
6.2.4 Ravni onesnaženosti v EU

Podatki o onesnaženosti zraka z arzenom za leto 2019 so bili v Evropi poročani iz 699 merilnih mest. Povprečne letne ravni arzena so bile višje od ciljne vrednosti 6 ng/m^3 na petih merilnih mestih, tri v Belgiji in po ena v Italiji in na Poljskem (slika 6.28). 96 % vseh merilnih mest ima povprečno letno vrednost arzena nižjo od spodnjega ocenjevalnega praga ($2,4 \text{ ng/m}^3$), kar velja tudi za Slovenijo (slika 6.29 in slika 6.30).

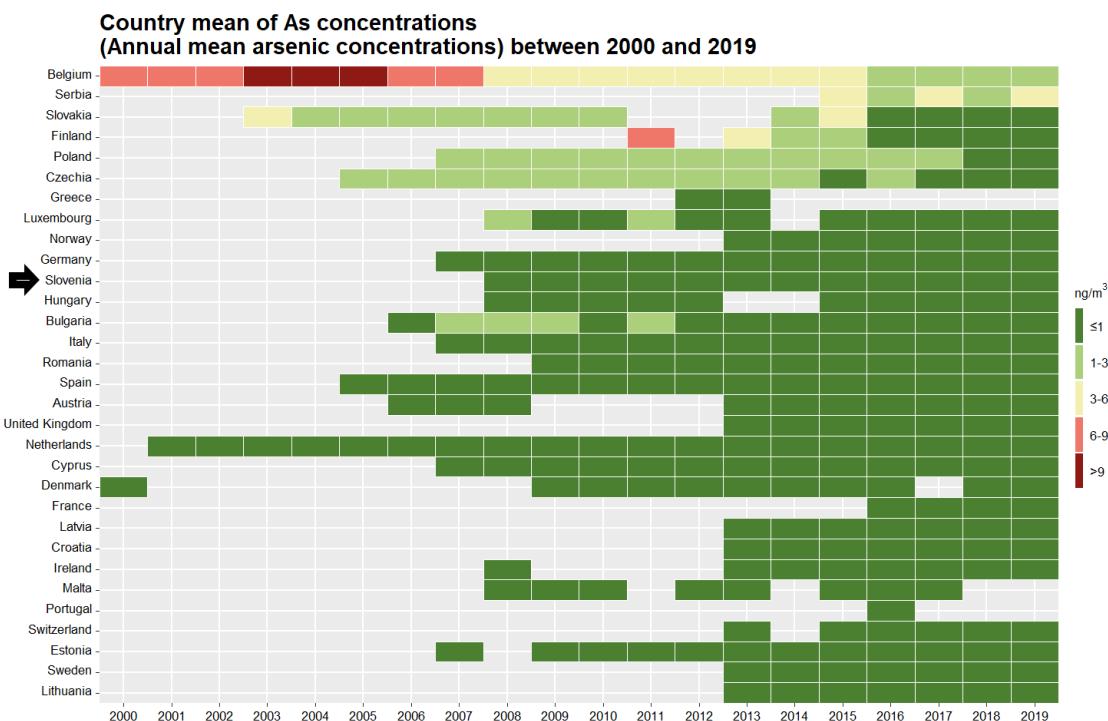
Podatki o onesnaženosti zraka z nikljem za leto 2019 so bili v Evropi poročani iz 704 merilnih mest. Povprečne letne ravni niklja so bile višje od ciljne vrednosti 20 ng/m^3 na treh merilnih mestih, v Franciji, na Norveškem in v Veliki Britaniji (slika 6.31). 98 % vseh merilnih mest ima povprečno letno vrednost niklja nižjo od spodnjega ocenjevalnega praga (10 ng/m^3), kar velja tudi za Slovenijo (slika 6.32 in slika 6.33).

Podatki o onesnaženosti zraka s kadmijem za leto 2019 so bili v Evropi poročani iz 728 merilnih mest. Povprečna letna raven kadmija je bila višja od ciljne vrednosti 5 ng/m^3 le na enem merilnem mestu v Belgiji (slika 6.34). 98 % vseh merilnih mest ima povprečno letno vrednost kadmija nižjo od spodnjega ocenjevalnega praga ($2,0 \text{ ng/m}^3$). Barvni prikaz trendov onesnaženosti s kadmijem od leta 2000 do 2019 je prikazan na slikah 6.35 in 6.36. Slovenija se na tem prikazu zaradi višjih vrednosti kadmija na merilnem mestu Žerjav uvršča zelo visoko.

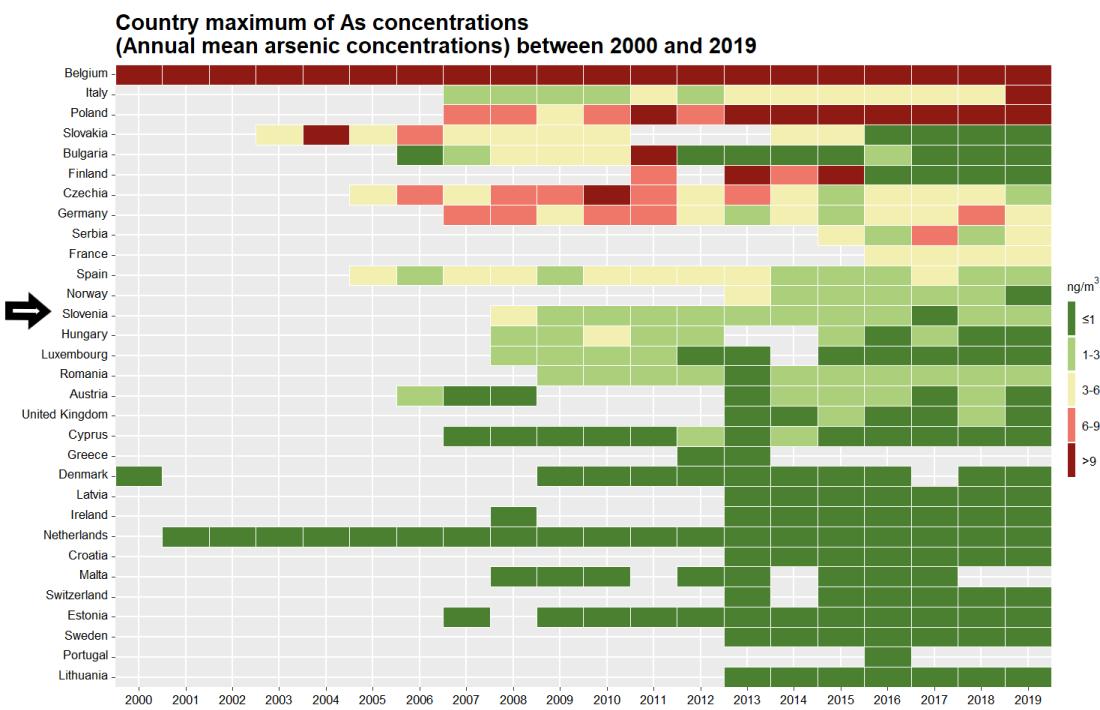
Podatki o onesnaženosti zraka s svincem za leto 2019 so bili v Evropi poročani iz 723 merilnih mest. Povprečna letna raven svinca je bila višja od ciljne vrednosti 500 ng/m^3 le na enem merilnem mestu na Irskem (slika 6.37). 99 % vseh merilnih mest ima povprečno letno vrednost svinca nižjo od spodnjega ocenjevalnega praga (250 ng/m^3). Barvni prikaz trendov onesnaženosti s kadmijem od leta 2000 do 2019 je prikazan na slikah 6.38 in 6.39. Slovenija se na tem prikazu zaradi višjih vrednosti svinca na merilnem mestu Žerjav uvršča zelo visoko.



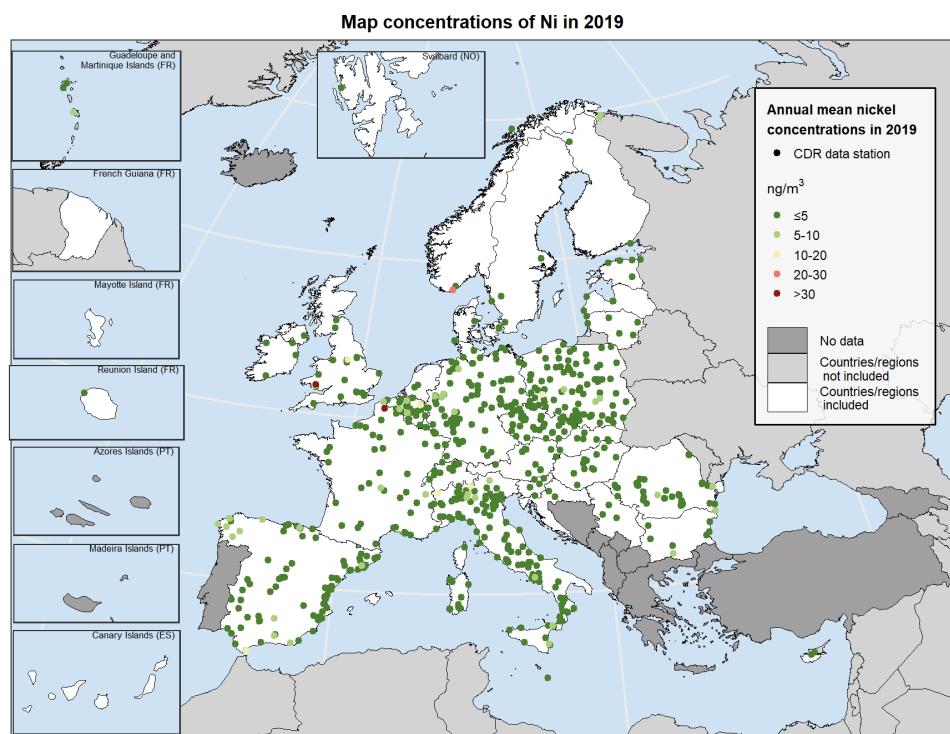
Slika 6.28: Prikaz povprečne letne ravni arzena v Evropski uniji v letu 2019 [2]. Z barvo je prikazan razred, v katerega sodi merilno mesto glede na povprečno letno raven.



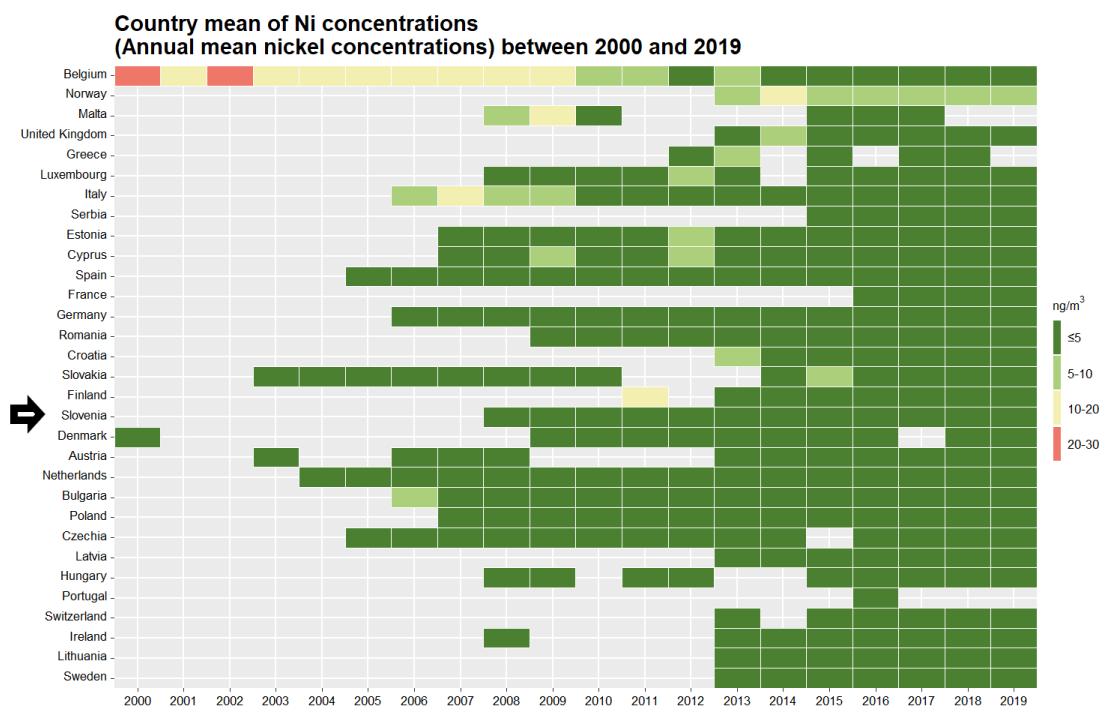
Slika 6.29: Prikaz povprečnih ravni arzena v državah Evropske unije v letih 2000 - 2019 [19]. Število, lokacije in klasifikacije merilnih mest so z leti lahko različne.



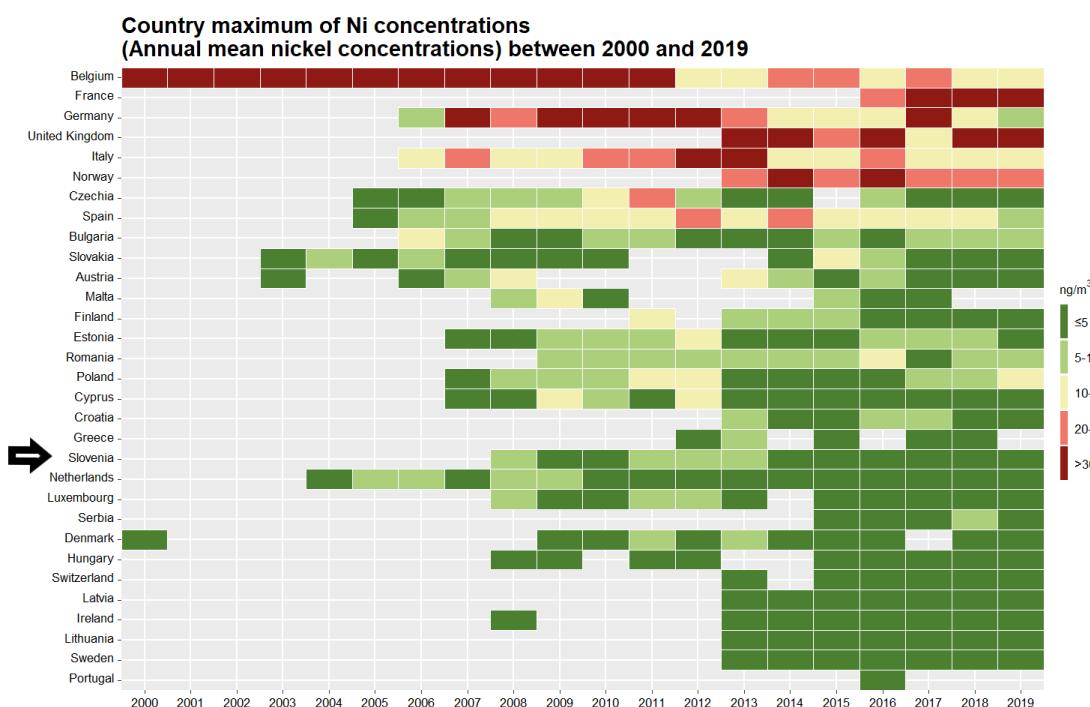
Slika 6.30: Prikaz maksimalnih ravnih arzena v državah Evropske unije v letih 2000 - 2019 [19]. Število, lokacije in klasifikacije merilnih mest so z leti lahko različne.



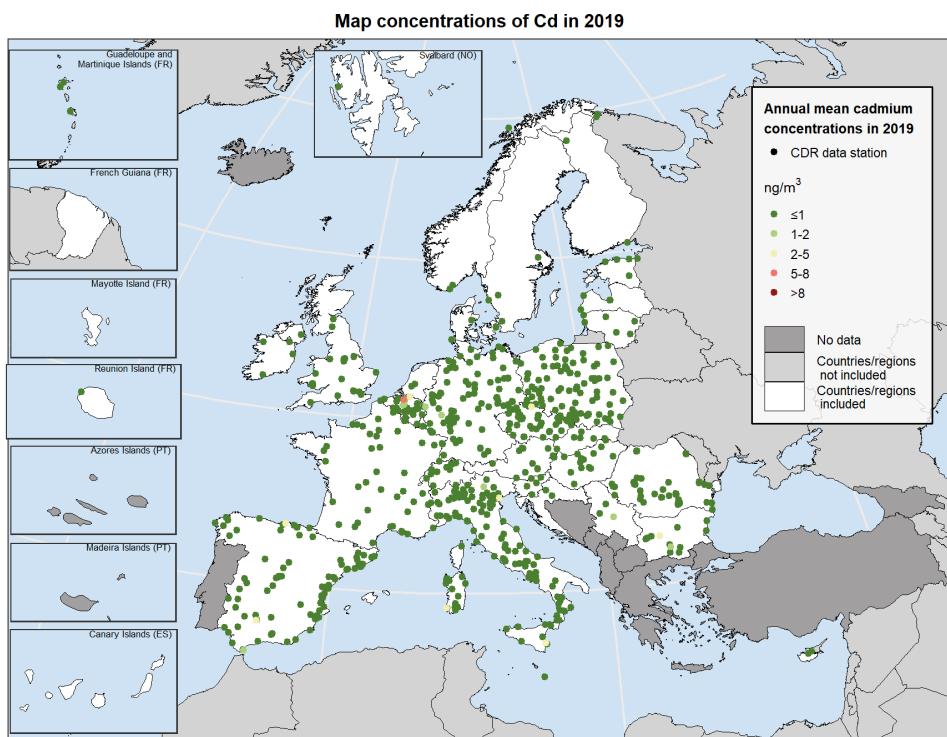
Slika 6.31: Prikaz povprečne letne ravni niklja v Evropski uniji v letu 2019 [2]. Z barvo je prikazan razred, v katerega sodi merilno mesto glede na povprečno letno raven.



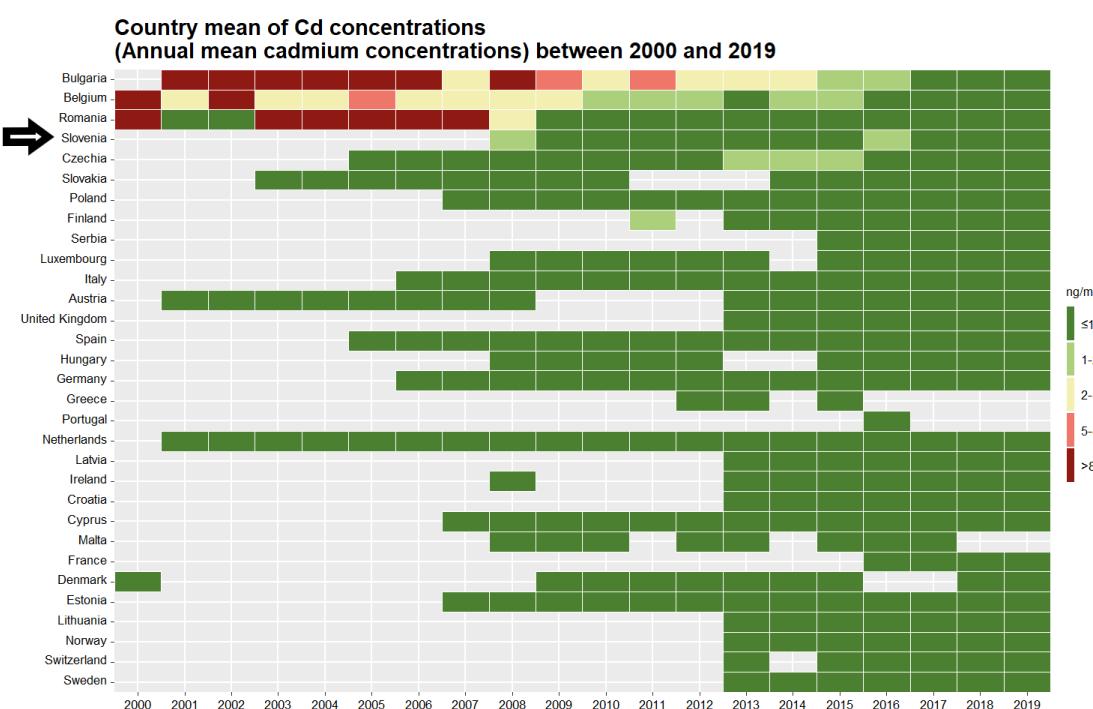
Slika 6.32: Prikaz povprečnih ravni niklja v državah Evropske unije v letih 2000 - 2019 [19]. Število, lokacije in klasifikacije merilnih mest so z leti lahko različne.



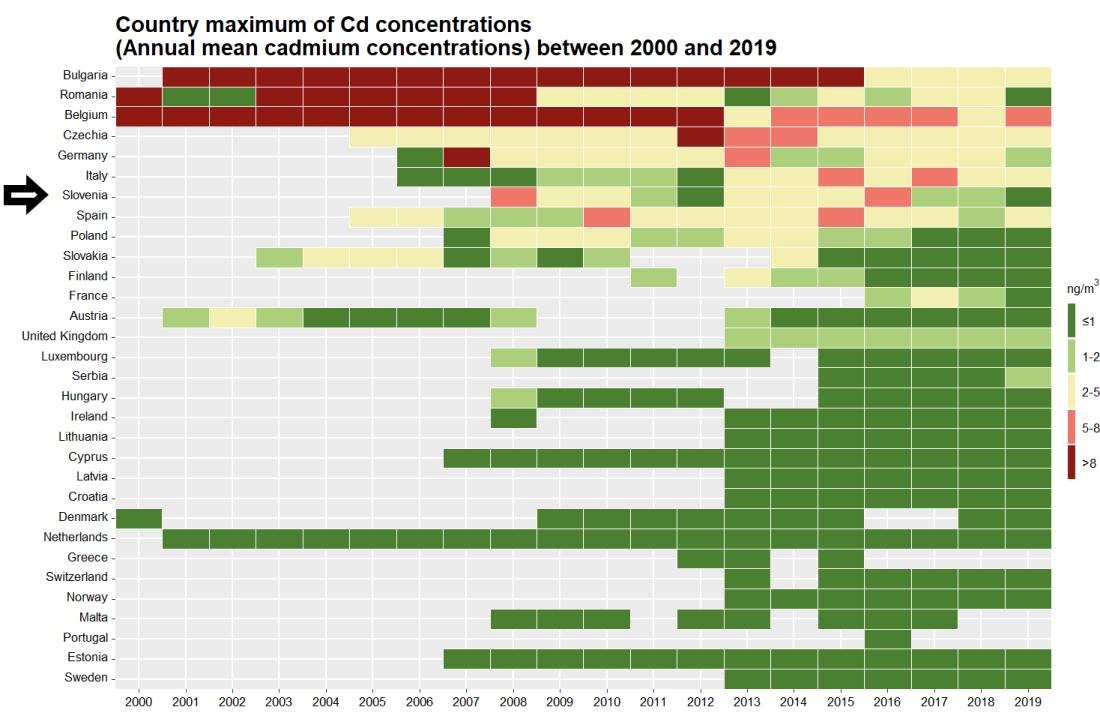
Slika 6.33: Prikaz maksimalnih ravni niklja v državah Evropske unije v letih 2000 - 2019 [19]. Število, lokacije in klasifikacije merilnih mest so z leti lahko različne.



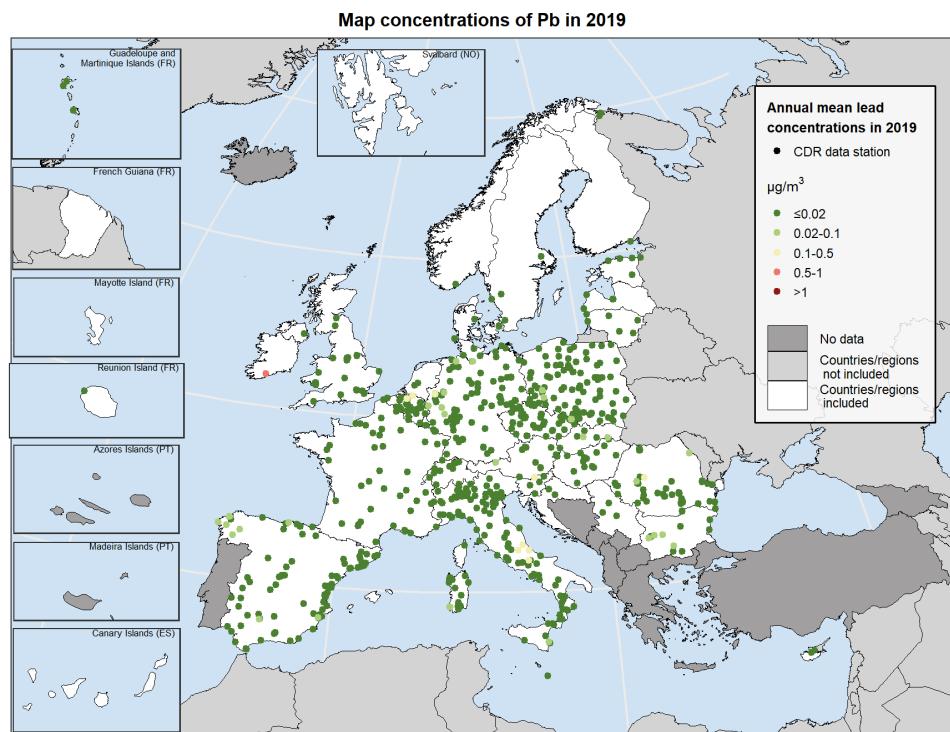
Slika 6.34: Prikaz povprečne letne ravni kadmija v Evropski uniji v letu 2019 [2]. Z barvo je prikazan razred, v katerega sodi merilno mesto glede na povprečno letno raven.



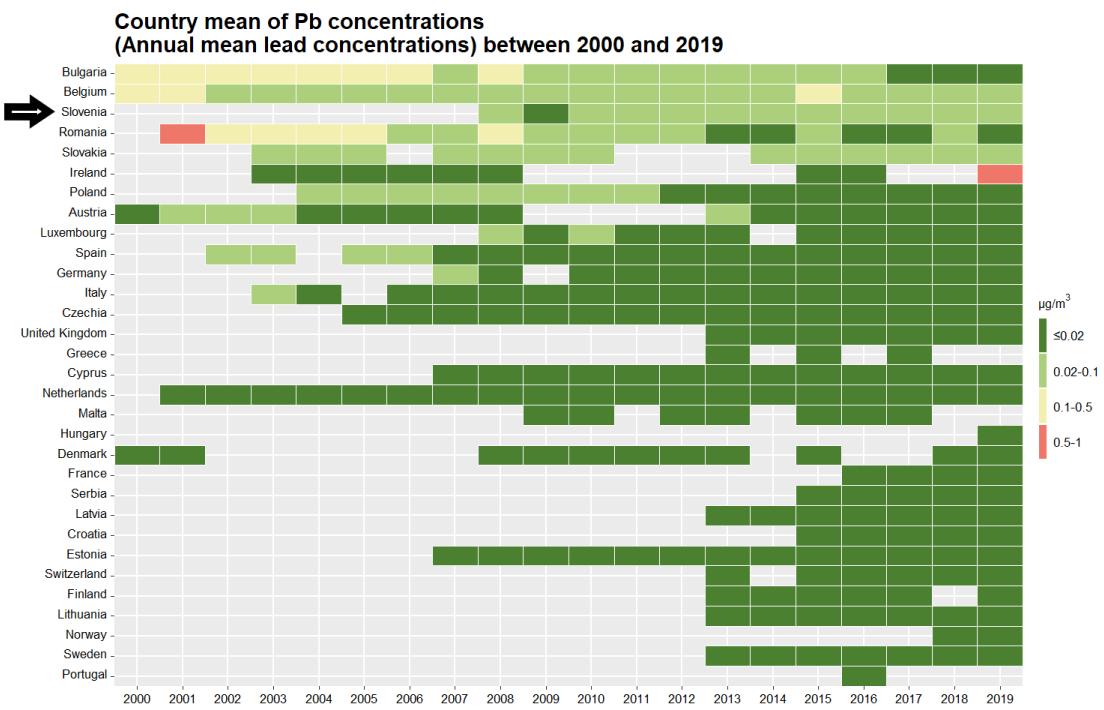
Slika 6.35: Prikaz povprečnih ravni kadmija v državah Evropske unije v letih 2000 - 2019 [19]. Število, lokacije in klasifikacije merilnih mest so z leti lahko različne.



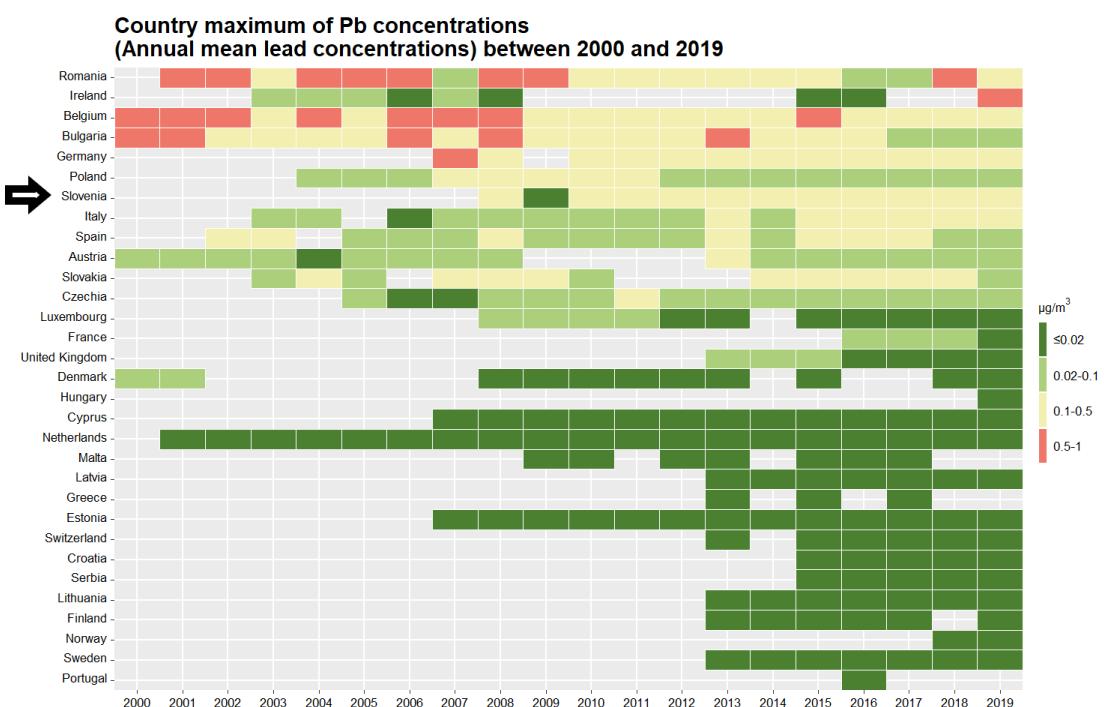
Slika 6.36: Prikaz maksimalnih ravni kadmija v državah Evropske unije v letih 2000 - 2019 [19]. Število, lokacije in klasifikacije merilnih mest so z leti lahko različne.



Slika 6.37: Prikaz povprečne letne ravni svinca v Evropski uniji v letu 2019 [2]. Z barvo je prikazan razred, v katerega sodi merilno mesto glede na povprečno letno raven.



Slika 6.38: Prikaz povprečnih ravni svinca v državah Evropske unije v letih 2000 - 2019 [19]. Število, lokacije in klasifikacije merilnih mest so z leti lahko različne.



Slika 6.39: Prikaz maksimalnih ravni svinca v državah Evropske unije v letih 2000 - 2019 [19]. Število, lokacije in klasifikacije merilnih mest so z leti lahko različne.

7. Ozon

Molekula ozona je sestavljena iz treh atomov kisika. Zaradi nestabilne strukture je ozon močno reaktivnen 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 iz 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.

7.1 Zahteve za kakovost zraka

V tabeli 7.1 so prikazane predpisane ciljne, opozorilne in alarmne vrednosti iz Uredbe o kakovosti zunanjega zraka [8] in smernice WHO [1]. 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 7.1: Ciljne, opozorilna in alarmna vrednost za ozon ter smernice WHO [1]

Cilj		Čas merjenja	Mejna ali ciljna vrednost	Dovoljeno število preseganj	WHO
Ciljna vrednost	Zdravje	maksimalna dnevna 8-urna povprečna vrednost	$120 \mu\text{g}/\text{m}^3$	25 dni v triletnem povprečju	$100 \mu\text{g}/\text{m}^3$
Ciljna vrednost	Vegetacija	AOT40* akumulirana od maja do julija	$18000 \mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{h}$ povprečje petih let		
Dolgoročna ciljna vrednost	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 enovernih vrednosti, izmerjenih vsak dan med 8:00 in 20:00 po srednjeevropskem času.

7.2 Ravni onesnaženosti

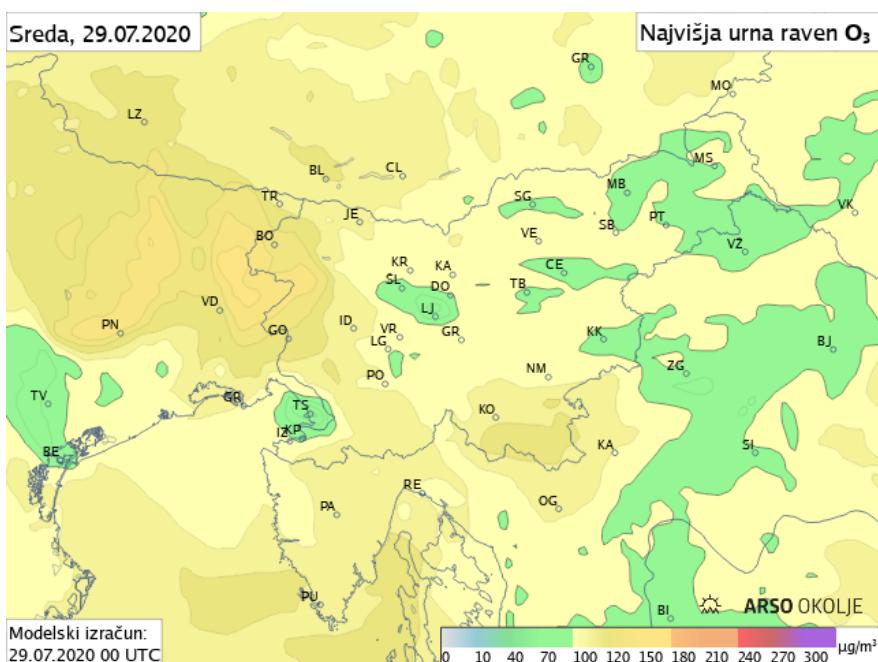
V okviru projekta Sinica smo pri meritvah ozona uvedli nekaj sprememb. Oktobra 2019 so se zaključile meritve ozona v Hrastniku. V sredini decembra 2019 smo začeli z meritvami na prenovljeni meritni postaji v Novi Gorici. Junija 2020 smo na novo uvedli meritve ozona v Novem mestu. Zaradi prenove meritnega mesta na Iskrbi smo imeli daljši izpad podatkov od sredine maja 2020 do januarja 2021. Podatki s teh dveh meritnih mest so zgolj informativni. Na Otlici je bil zaradi okvare meritnika daljši izpad meritov od sredine oktobra do sredine novembra. Ta izpad podatkov ne vpliva na letno statistiko. NLZOH je v letu 2020 uvedel meritve ozona na novem meritnem mestu MB Tezno.

Pregled izmerjenih ravni in število preseženih ciljnih, opozorilnih in alarmnih vrednosti ozona v letu 2020 je podano v tabelah 7.2 do 7.6 ter na slikah 7.3 in 7.4. Tabele 7.7 do 7.10 ter sliki 7.6 in 7.7 prikazujejo primerjavo s prejšnjimi leti.

Leto 2020 je bilo v marsičem posebno. Zaznamovano je bilo s pandemijo COVID-19 in ukrepi brez primere, ki so se z namenom obvladovanja epidemije izvajali povsod po svetu. Omejeno je bilo gibanje, zmanjšal se je promet, posledično je bilo manj izpustov, ki pripomorejo k nastanku ozona. Na raven ozona vplivajo tudi vremenske razmere v poletnem času. Leto 2020 je bilo sicer eno od najtoplejših let, morda celo najtoplejše odkar potekajo meritve ([20]), vendar so k višjemu letnemu povprečju prispevale predvsem visoke temperature pozimi in jeseni, ko so pogoji za nastanek ozona slablji. Poleti in pomladi so bile temperature povprečne, bilo je le nekaj krajših vročinskih valov, zato leto 2020 glede ravni ozona ni bilo ekstremno.

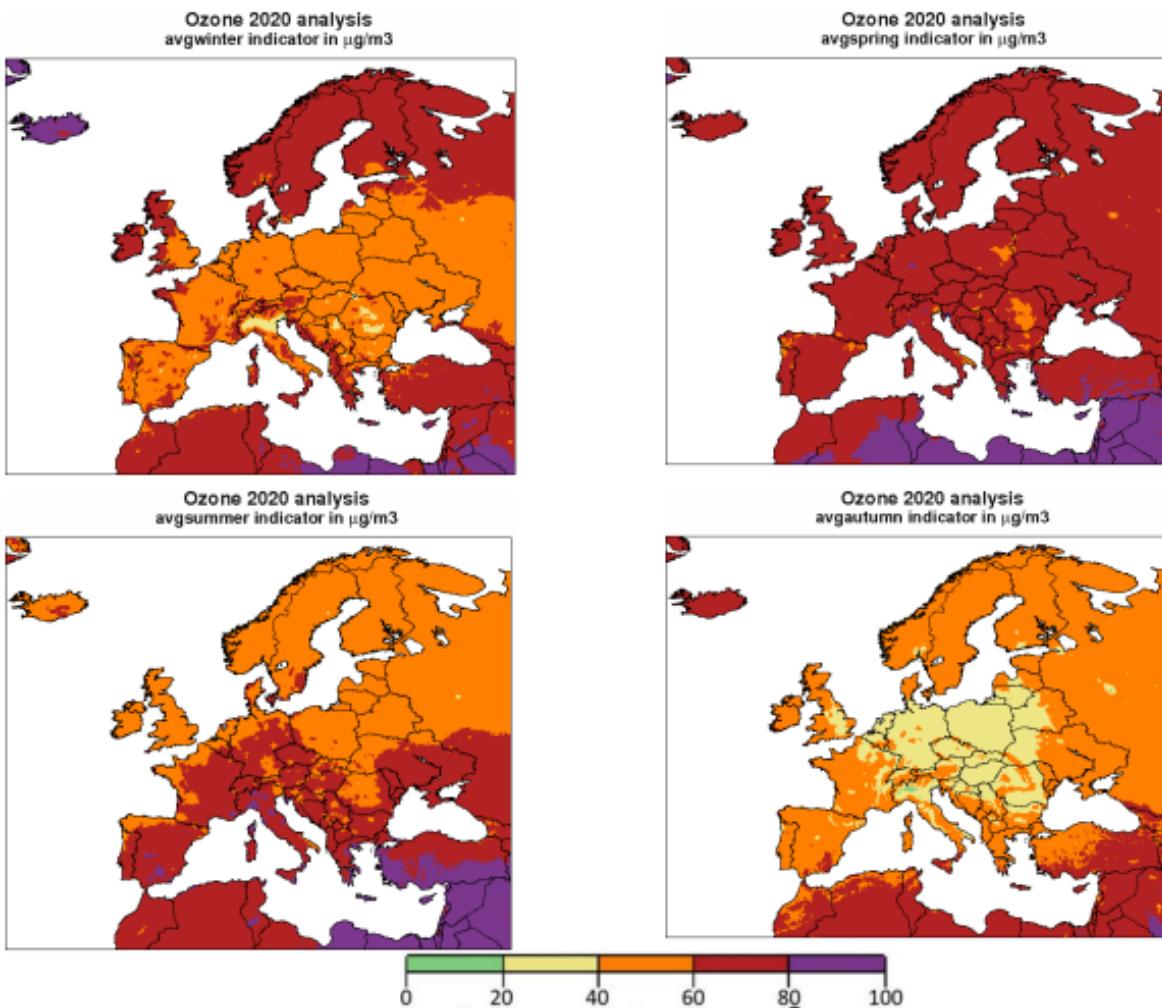
V letu 2020 je bila opozorilna vrednost ozona $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ presežena samo dvakrat, in sicer

obakrat dne 29. 7. 2020 na merilnem mestu NG Grčna. Izmerili smo $183 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Obenem so bile tega dne na ostalih merilnih mestih najvišje ravni ozona razmeroma nizke. Vzrok je vremenska situacija. Tega dne so bili naši kraji v šibkem območju visokega zračnega tlaka, v višinah je z zahodnimi vetrovi pritekal zelo topel in suh zrak. Na Goriškem je temperatura zrasla na 35°C . Ob prehodu fronte, ki se je prek Alp pomikala proti vzhodu in oplazila tudi naše kraje, predvsem severni, osrednji in vzhodni del Slovenije, ne pa tudi Primorske, so bila na Gorenjskem in Koroškem močna neurja. Na merilnem mestu Koper smo ta dan izmerili najvišjo urno vrednost $166 \mu\text{g}/\text{m}^3$, na Otlici $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$, na vseh ostalih merilnih mestih so bile najvišje urne ravni še nižje. Modelske izračune maksimalnih urnih ravni za ta dan je prikazan na sliki 7.1 in prikazuje sliko ravni ozona v Sloveniji.



Slika 7.1: Maksimalna urna raven ozona za dan 29. 7. 2020, izračunana z modelskim sistemom ALADIN-SI/CAMx

Leto 2020 je izstopalo tudi po tem, da so bile najvišje urne in mesečne ravni ozona na skoraj vseh merilnih mestih izmerjene aprila. Ta mesec je bilo zabeleženih največ preseganj 8-urne povprečne vrednosti. April 2020 je bil namreč rekordno osončen glede na celotno obdobje po letu 1961 naprej, toplejši od povprečja in zelo skromen s padavinami. Aprila se dan hitro daljša in moč sončnih žarkov je v drugi polovici že primerljiva z močjo sončnih žarkov v drugi polovici avgusta.



Slika 7.2: Povprečne ravni ozona v letu 2020 v Evropi po letnih časih. Slika zgoraj levo zima, desno pomlad, spodaj levo poletje in desno jesen (20)

Najvišje povprečne letne vrednosti so izmerjene na više ležečih merilnih mestih. V merilni mreži DMKZ sta to merilni mesti Krvavec in Otlica (tabela 7.2). Visoke letne ravni so zabeležene tudi na merilnih mestih Pohorje in Zavodnje. Sledi merilno mesto Koper na Primorskem, kjer so pogoji za tvorbo ozona podnevi najbolj ugodni. NG Grčna ima nižje letne ravni ozona, ker je merilno mesto bolj izpostavljeno prometu. Najvišja povprečna letna vrednost v letu 2020, $85 \mu\text{g}/\text{m}^3$, je bila kot že vsa leta doslej izmerjena na Krvavcu.

Dolgoročna ciljna vrednost za varovanje zdravja $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ je bila v letu 2020 presežena na vseh merilnih mestih, razen na merilnem mestu Novo mesto in MB Tezno. Je bilo pa v tem letu preseganj bistveno manj v primerjavi s preteklimi leti. Več kot 25 preseganj je bilo leta 2020 zabeleženih le na merilnem mestu NG Grčna. Čez dvajset preseganj je bilo še na visokoležečih merilnih mestih Krvavec in Otlica ter v Kopru in na Iskrbi, čeprav so tam meritve potekale le do sredine maja. Večina preseganj je bilo v obdobju od aprila do avgusta, največ prav aprila (tabela 7.6).

V letu 2020 je bilo preseganj 8 urne povprečne vrednosti precej manj kot v prejšnjih letih (tabela 7.8), zato je bilo v letu 2020 tudi manj preseganj ciljne vrednosti za varovanje zdravja ljudi, ki je izračunana kot triletno povprečje. Ciljna vrednost za varovanje zdravja ljudi je bila presežena

le v NG Grčna in Kopru ter na Krvavcu in Otlici (tabela 7.9).

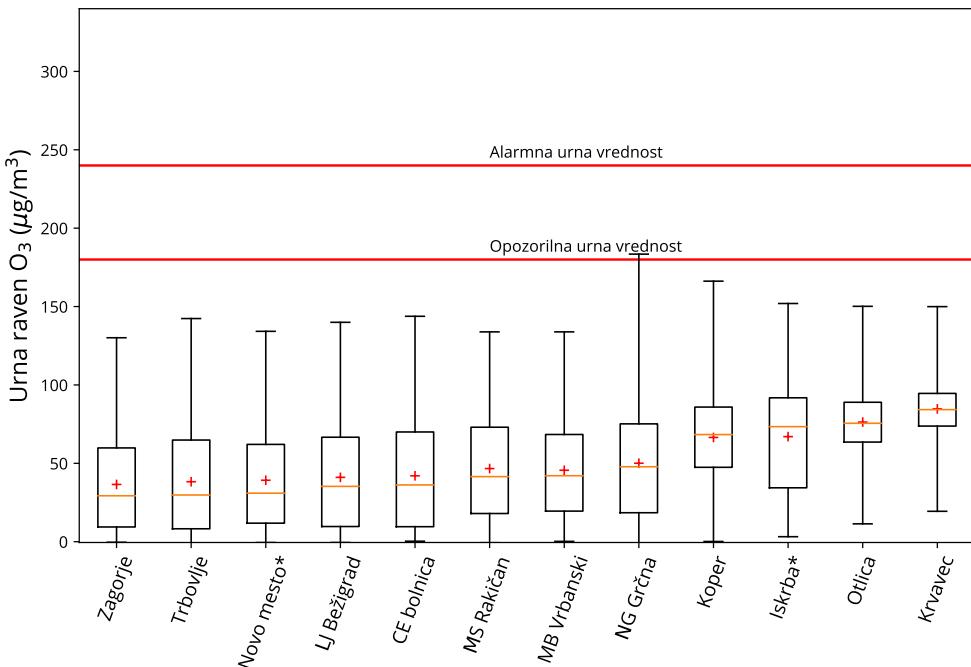
Za varovanje rastlin je predpisana ciljna vrednost AOT40, in sicer $18.000 \mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{h}$. Ocenujemo jo kot 5-letno povprečje AOT40 na merilnih mestih zunaj pozidanih območij (Murska Sobota Rakičan, Iskrba, Krvavec, Otlica). Na vseh merilnih mestih so ravni višje od ciljne vrednosti (tabela 7.2). Je pa leto 2020 z nizkimi vrednostmi AOT40 precej prispevalo k znižanju 5-letnega povprečja. V celotni Evropi je bil AOT40 leta 2020 najnižji v zadnjih 14 letih (20).

Tudi v letu 2020 nismo dosegli dolgoročne ciljne vrednosti za vegetacijo ($6000 \mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{h}$) na merilnih mestih v neizpostavljenem podelželskem okolju. Je pa bila ta vrednost nižja v Zagorju, vendar tam na meritve vplivajo neposredni izpusti prometa.

Tabela 7.2: Raven ozona v zunanjem zraku ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) v letu 2020. Prikazana je razpoložljivost podatkov (%) pod), letna raven (C_p), maksimalna urna in maksimalna dnevna 8-urna povprečna vrednost (max), število preseganj opozorilne ($>\text{OV}$) in alarmne vrednosti ($>\text{AV}$), število prekoračitev dolgoročne ciljne vrednosti ($>\text{CV}$), AOT40 ter število preseganj 8-urne vrednosti po smernicah WHO [1].

Merilno mesto	%pod	Leto C_p	varovanje zdravja				varovanje rastlin		8 ur WHO	
			max	$>\text{OV}$	$>\text{AV}$	max	$>\text{CV}$	maj-julij AOT40	5 let AOT40	
Merilna mreža DMKZ										
LJ Bežigrad	100	41	140	0	0	138	11	8045	/	50
MB Vrbanski	98	46	134	0	0	128	4	8850	/	50
CE bolnica	100	42	144	0	0	136	10	8797	/	49
MS Rakičan	100	47	134	0	0	131	4	10854	18891	58
NG Grčna	100	50	183	2	0	168	32	18221	/	90
Trbovlje	100	38	142	0	0	137	9	6262	/	37
Zagorje	100	37	130	0	0	125	3	4315	/	26
Novo mesto*	58	39	134	0	0	118	0	11033	/	24
Koper	99	67	166	0	0	156	24	18698	/	92
Otlica	92	76	150	0	0	138	21	11918	26779	77
Iskrba*	36	67	152	0	0	146	22	/	18689	47
Krvavec	97	85	150	0	0	145	24	11543	24739	88
Dopolnilna merilna mreža										
TE Šostanj										
Zavodnje	100	70	136	0	0	131	8	8822	/	/
Velenje	98	43	126	0	0	121	1	6580	/	/
TE Brestanica										
Sv. Mohor	97	60	143	0	0	128	8	7300	/	/
MO Maribor										
Pohorje	95	72	135	0	0	129	16	8822	14439	/
MB Tezno	95	37	128	0	0	118	0	5674	/	/

* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.



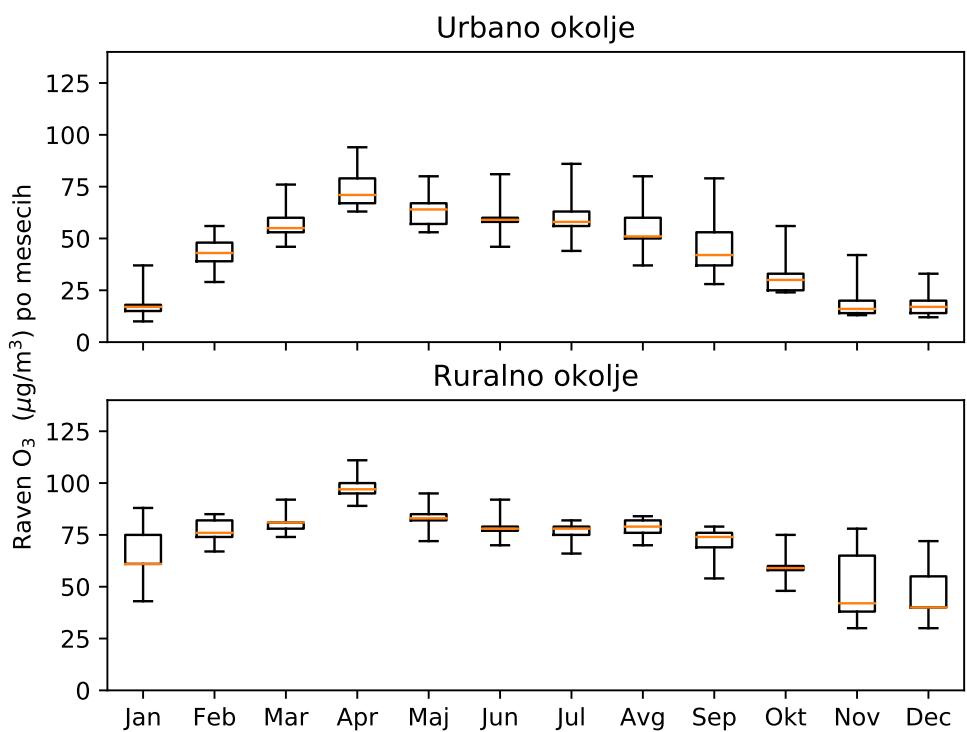
Slika 7.3: Urne ravni O_3 na merilnih mestih DMKZ v letu 2020. Prikazane so najnižja in najvišja izmerjena raven (spodnja in zgornja vodoravna črtica), oba kvartila (vrh in dno pravokotnika) in mediana (rdeča vodoravna črtica v pravokotniku). Znak + prikazuje letno povprečje.

Sončno obsevanje in visoke temperature zraka vplivajo na kemijske reakcije, pri katerih nastaja ozon, zato so ravni tega onesnaževala poleti precej višje kot pozimi (tabele 7.3 – 7.6, slika 7.4). V letu 2020 so bile najvišje ravni izmerjene aprila. Pomlad je bila rekordno sončna, z malo padavin. Poletje pa je bilo bolj deževno in hladnejše od prejšnjih petih poletij.

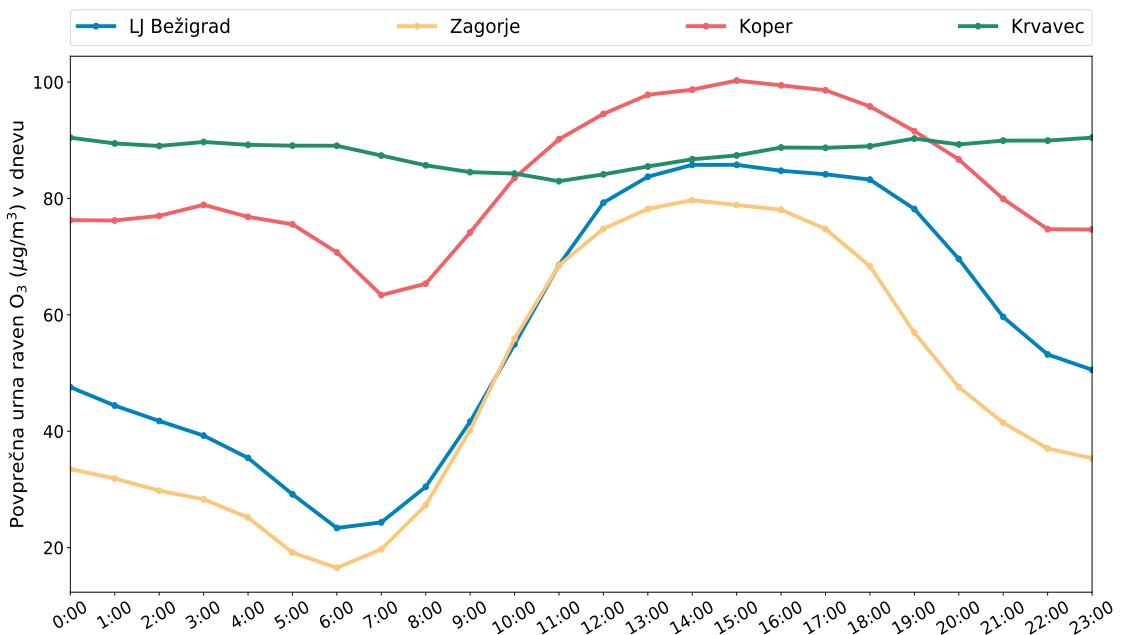
Na sliki 7.4 so prikazane mesečne vrednosti dnevnih ravni ozona za več merilnih mest skupaj, ločeno za urbano in ruralno okolje. Letni potek je podoben za obe skupini, le da so povprečne dnevne vrednosti večinoma višje na višje ležečih ruralnih merilnih mestih. V ruralnem okolju je namreč manj možnosti za reakcije z drugimi snovmi (npr. svežimi izpusti iz prometa), ki povzročajo razpad ozona. Na višje ležečih odprtih legah (Krvavec in Otlica) je dnevni hod ozona precej manj izrazit, kar je za Krvavec vidno tudi na sliki 7.5. Na merilnih mestih v nižinah nastopi izrazit maksimum med 13. in 17. uro, ko je sončno obsevanje močno in so temperature zraka najvišje. Najnižje ravni so zaznane v času jutranje prometne konice, ko ozon reagira z dušikovim monoksidom iz prometa. Na Krvavcu ni vpliva lokalnega prometa in se ravni ozona tekom dneva ne spremenjajo veliko.

Podatki o povprečnih letnih ravneh ozona za posamezna merilna mesta in število preseganj ciljne 8-urne vrednosti so podani v tabelah 7.7 do 7.9. V tabeli 7.10 je prikazano število preseganj opozorilne vrednosti. Na slikah 7.6 in 7.7 so prikazane statistične vrednosti za vsa merilna mesta DMKZ skupaj po posameznih letih.

Povprečna letna raven ozona je bila v letu 2020 precej nižja v primerjavi s preteklimi leti. Na to so vplivali drugačni meteorološki pogoji in znižanje izpustov NO_x iz prometa zaradi ukrepov COVID-19. Najvišje letne ravni ozona v merilni mreži DMKZ so bile izmerjene na višje ležečih merilnih mestih Krvavec in Otlica, sledi merilno mesto Koper na Primorskem. Presenetljivo visoko



Slika 7.4: Dnevne ravni O_3 po mesecih na urbanih in ruralnih merilnih mestih v letu 2020. 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 7.5: Dnevni potek povprečne urne ravni O_3 na izbranih merilnih mestih med aprilom in septembrom 2020

Tabela 7.3: Povprečna mesečna raven ozona ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) v letu 2020

	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
LJ Bežigrad	11	34	53	79	61	59	59	50	37	25	14	12
MB Vrbanski	10	40	60	75	67	59	63	60	53	31	16	17
CE bolnica	16	43	53	67	64	60	58	50	39	29	13	14
MS Rakičan	25	51	64	71	69	58	56	53	44	30	20	20
NG Grčna	17	29	59	82	67	63	76	68	58	34	25	21
Trbovlje	18	47	55	70	55	50	44	37	28	25	14	16
Zagorje	15	39	46	63	53	46	48	43	35	24	14	14
Novo mesto	/	/	/	/	/	60	59	52	42	26	18	20
Koper	37	56	76	94	80	81	86	80	79	56	42	33
Otlica	75	82	81	100	83	78	79	76	74	/	/	55
Iskrba	42	61	70	85	/	/	/	/	/	/	/	/
Krvavec	88	85	92	111	95	92	75	82	69	75	78	72
Zavodnje	61	76	78	95	82	77	78	79	76	59	38	40
Velenje	18	48	52	65	57	60	58	51	42	33	16	20
Sv. Mohor	43	67	74	89	72	70	66	70	54	48	30	30
Pohorje	61	74	81	97	85	79	82	84	79	60	42	40

* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.

Tabela 7.4: Maksimalna urna raven ozona ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) po mesecih v letu 2020

	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
LJ Bežigrad	62	80	117	140	135	126	137	122	108	87	64	52
MB Vrbanski	48	96	108	134	132	123	120	128	128	87	66	66
CE bolnica	80	100	116	139	144	128	120	119	117	93	63	61
MS Rakičan	76	93	123	134	133	134	118	127	120	83	66	70
NG Grčna	69	89	120	144	138	162	183	141	148	103	80	83
Trbovlje	80	98	114	135	142	124	118	118	102	90	66	54
Zagorje	68	92	106	129	130	119	115	113	105	89	64	58
Novo mesto	/	/	/	/	/	123	119	134	114	87	74	70
Koper	80	96	122	143	131	130	166	138	151	99	73	82
Otlica	100	110	127	150	145	140	150	129	127	/	/	82
Iskrba	94	103	135	152	/	/	/	/	/	/	/	/
Krvavec	113	105	126	150	144	133	141	119	101	101	100	100
Zavodnje	94	111	111	136	135	133	133	128	121	107	78	75
Velenje	84	101	103	126	125	120	125	124	113	94	71	65
Sv. Mohor	80	97	115	133	130	120	125	143	100	96	78	75
Pohorje	90	96	111	135	128	119	124	128	125	92	86	75

* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.

je letno povprečje na Iskrbi, kjer so meritve potekale le do sredine maja, kar še dodatno potrjuje ugodne meteorološke razmere za tvorbo ozona v prvi polovici leta. Še bolj opazna razlika med letom 2020 in preteklimi leti je v številu preseganj 8-urne ciljne vrednosti (slika 7.7). Po številu preseganj opozorilne urne vrednosti v vseh letih izstopajo Koper, NG Grčna, Otlica in Krvavec. Je pa v zadnjih letih število preseganj nižje.

Število preseganj 8-urne ciljne vrednosti za varovanje zdravja je izračunano kot triletno povprečje. Dovoljenih je 25 preseganj na leto. To število je bilo v letu 2020 preseženo le na merilnih mestih Koper, NG Grčna, Otlica in Krvavec (tabela 7.9).

Tabela 7.5: Število prekoračitev urne opozorilne vrednosti ($180 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ozona v letu 2020

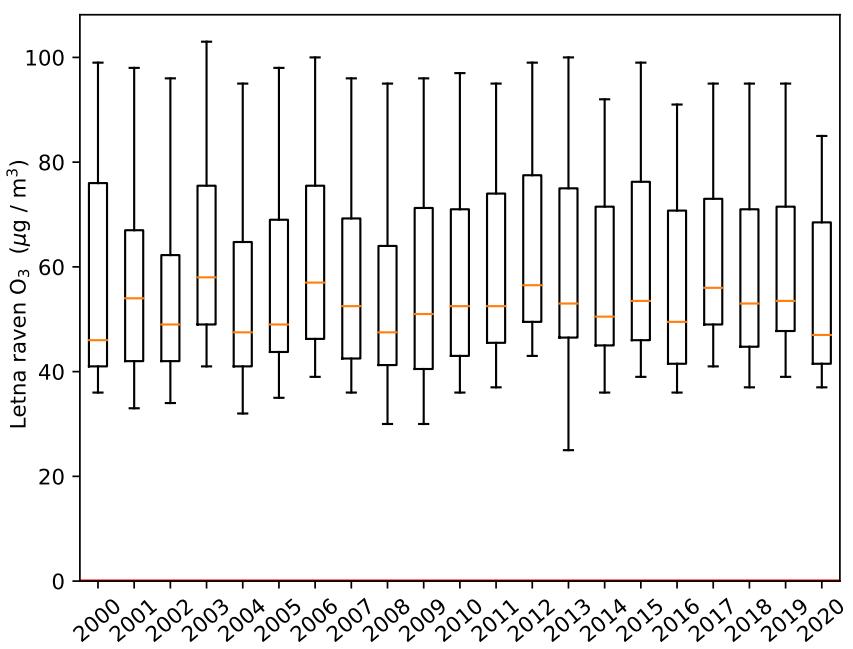
	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
LJ Bežigrad	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MB Vrbanski	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CE bolnica	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MS Rakičan	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NG Grčna	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0
Trbovlje	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Zagorje	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Novo mesto	/	/	/	/	/	0	0	0	0	0	0	0
Koper	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Otlica	0	0	0	0	0	0	0	0	0	/	/	0
Iskrba	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
Sv. Mohor	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.

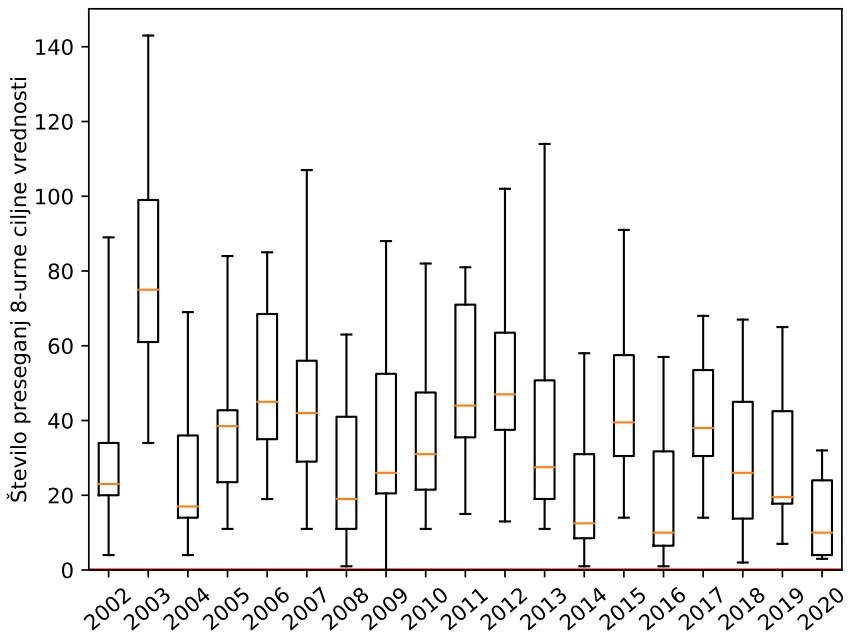
Tabela 7.6: Število prekoračitev 8-urne ciljne vrednosti ($120 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ozona v letu 2020

	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
LJ Bežigrad	0	0	0	8	1	0	2	0	0	0	0	0
MB Vrbanski	0	0	0	1	2	0	0	1	0	0	0	0
CE bolnica	0	0	0	5	4	1	0	0	0	0	0	0
MS Rakičan	0	0	0	2	1	1	0	0	0	0	0	0
NG Grčna	0	0	0	9	3	3	10	6	1	0	0	0
Trbovlje	0	0	0	7	2	0	0	0	0	0	0	0
Zagorje	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0
Novo mesto	/	/	/	/	/	0	0	0	0	0	0	0
Koper	0	0	0	5	2	2	10	2	3	0	0	0
Otlica	0	0	0	11	4	1	4	1	0	/	/	0
Iskrba	0	0	2	17	/	/	/	/	/	/	/	/
Krvavec	0	0	1	18	4	1	0	0	0	0	0	0
Zavodnje	0	0	0	4	2	0	0	2	0	0	0	0
Velenje	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Sv. Mohor	0	0	0	6	1	0	0	1	0	0	0	0
Pohorje	0	0	0	4	1	0	0	3	0	0	0	0

* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.



Slika 7.6: Letne ravni O₃ na vseh merilnih mestih za posamezna leta od leta 2000 - 2020. 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 7.7: Preseganja 8-urne ciljne vrednosti za ozon na merilnih mestih DMKZ za posamezna leta v obdobju 2002 - 2020. 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 7.7: Povprečna letna raven ozona ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) za obdobje 2000 - 2020

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

* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.

Opomba: Podatki za leto od 1992-2000 so na voljo v [21].

Tabela 7.8: Število preseganj 8-urne ciljne vrednosti ($120 \mu\text{g}/\text{m}^3$) v posameznem letu za obdobje 2002 – 2020

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

* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.

Tabela 7.9: Število preseganj 8-urne ciljne vrednosti ($120 \mu\text{g}/\text{m}^3$) v drsečem povprečju treh let za obdobje 2004 – 2020. Prekoračitve predpisane vrednosti so označene odebelenjeno.

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

* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.

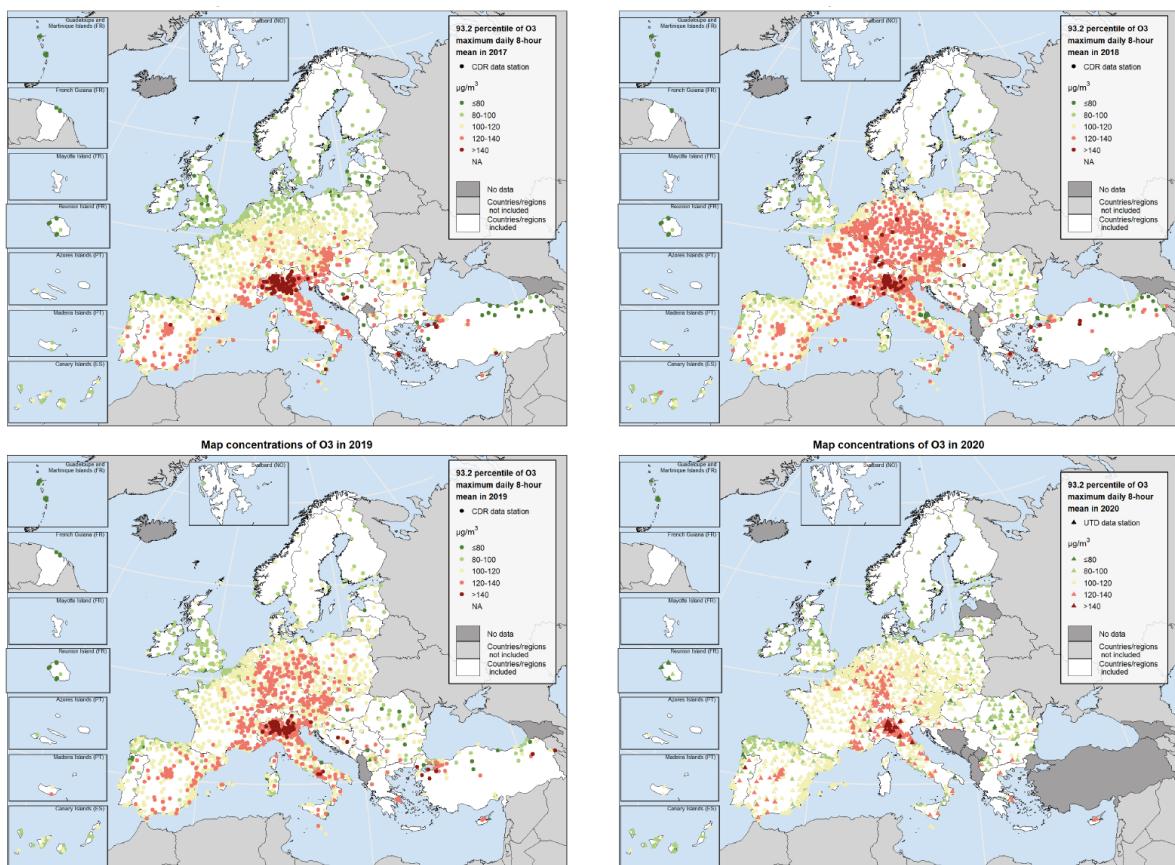
Tabela 7.10: Število preseganj opozorilne vrednosti ($180 \mu\text{g}/\text{m}^3$) za obdobje 2002 – 2020

	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
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	
MS Rakičan	0	6	0	1	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
Trbovlje	0	6	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	4	0	0	
Zagorje	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	1	0	0	0	0	0	1	0	0*	
Novo mesto	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	0*	
Koper	/	/	/	16	36	9	0	3	2	4	13	22	0	9	0	5	1	4	0
Otlica	/	/	/	/	67	43	5	2	3	1	12	33*	0	0	0	15	3	25	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

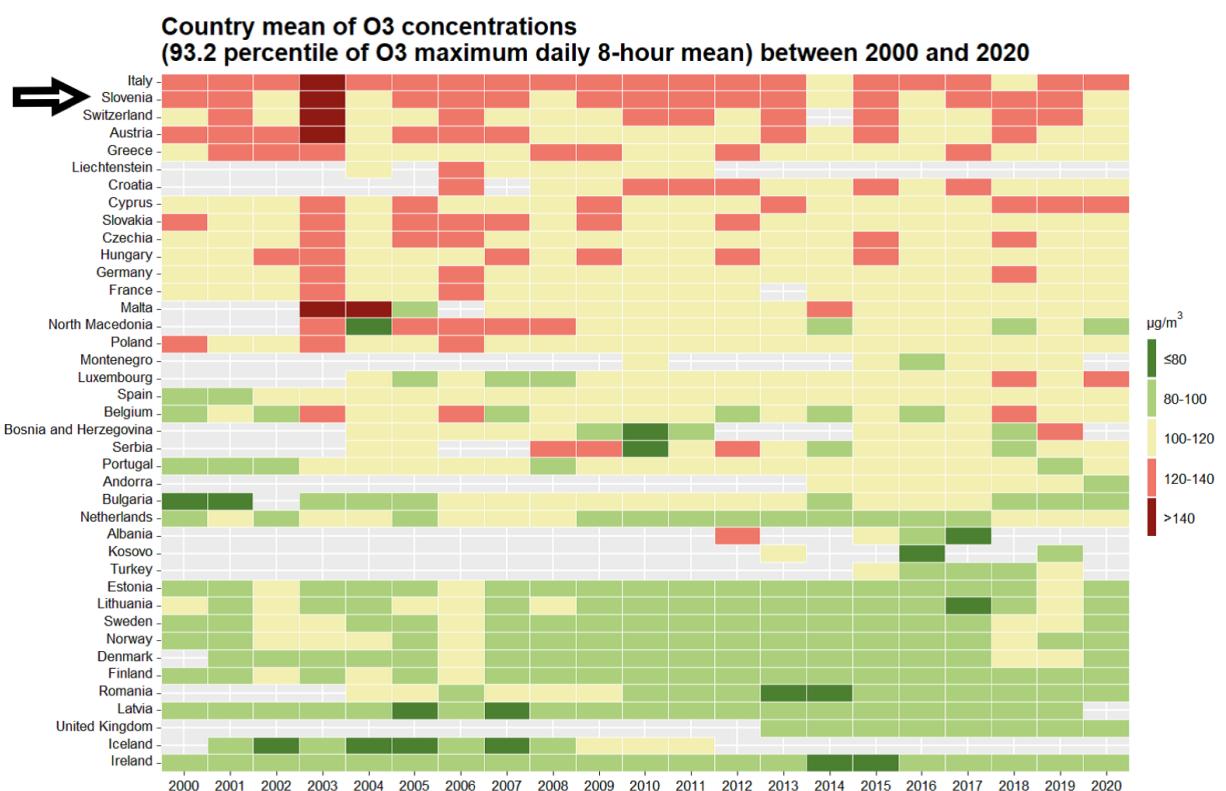
* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.

7.3 Ravni onesnaženosti v EU

Leto 2020 je bilo v marsičem posebno. Zaznamovano je bilo s pandemijo COVID-19, bilo je eno najtoplejših let v zgodovini, vendar je bilo poletje hladnejše, toplejša pa sta bila jesen in zima. Vse to je vplivalo na ravni ozona, ki so bile precej nižje kot leta poprej. Razlika ravni ozona v letih 2017 - 2020 je lepo vidna na sliki 7.8. Na sliki so prikazane 26. najvišje dnevne 8-urne povprečne ravni za posamezna merilna mesta za eno leto in ne povprečja za tri leta, kot je definirana ciljna vrednost za varovanje zdravja. Še vedno so najvišje ravni izmerjene v Italiji, kar vpliva tudi na ravni ozona v Sloveniji. Glede na doseganje skladnosti s ciljno vrednostjo sodi Slovenija v skupino z ozonom bolj obremenjenih držav. Na sliki 7.9 so prikazana povprečja šestindvajsete najvišje dnevne 8-urne povprečne ravni O₃ na vseh merilnih mestih v državi v letih 2000 - 2020 [19] v državah Evropske unije. To pomeni, da je bila najvišja dnevna 8-urna povprečna raven le petindvajset dni v letu višja od prikazane. Slovenija je razvrščena takoj za Italijo, sledita Švica in Avstrija. Na večini merilnih mest je tudi v letu 2020 presežena vrednost, ki jo priporoča WHO, in sicer 100 µg/m³.



Slika 7.8: Šestindvajseta najvišja dnevna 8-urna povprečna raven O₃ v letih 2017 - 2020 [19] za merilna mesta držav Evropske unije (označene s piko). Z barvo je označen razred, v katerega spadajo merilna mesta glede na 26. najvišjo 8-urno povprečno raven O₃. Podatki za leto 2020 so v realnem času posredovani podatki (UTD) in so nepreverjeni, podatki za leta 2017 - 2019 so uradno poročani podatki na EEA.



Slika 7.9: Povprečje šestindvajsete najvišje dnevne 8-urne povprečne ravni O₃ na vseh merilnih mestih v državi v letih 2000 - 2020 [19] v državah Evropske unije. Z barvo je označen razred, v katerega pade ta vrednost v posamezni državi. Podatki za leto 2020 so v realnem času posredovani podatki (UTD) in so nepreverjeni, podatki za leta 2000 - 2019 so uradno poročani podatki na EEA. [19]

8. Dušikovi oksidi

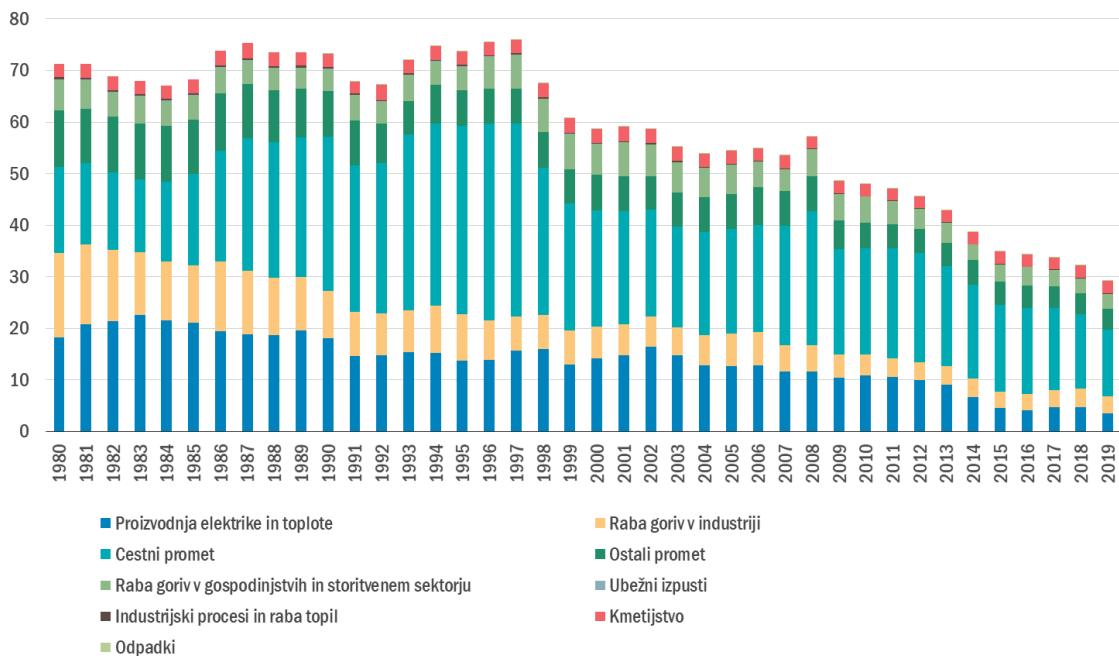
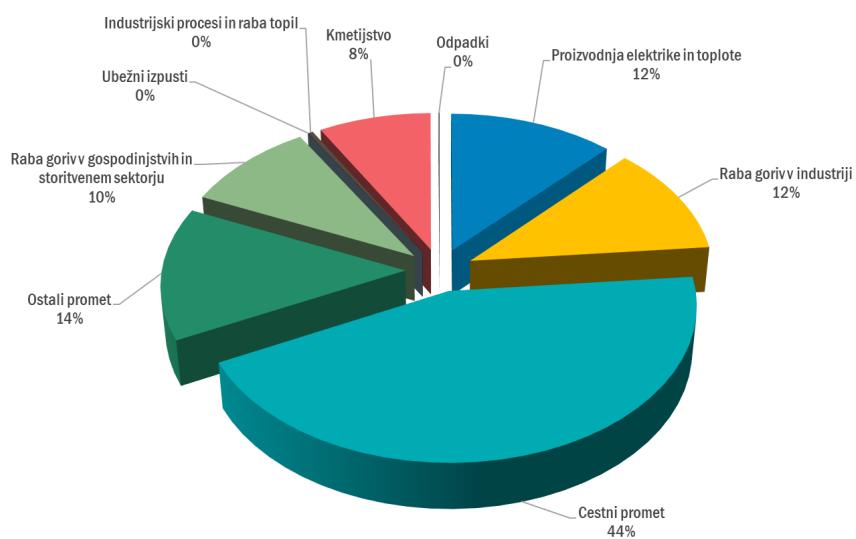
Dušikovi oksidi (NO_x) so spojine, sestavljene iz atomov kisika in dušika. Obstaja šest takšnih spojin: NO , NO_2 , N_2O , N_2O_3 , N_2O_4 in N_2O_5 . V ozračju je največ dušikovega monoksida (NO) in dušikovega dioksida (NO_2). Iz izpustov prihaja v zrak največ dušikovega monoksida, ki v ozračju postopno 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 njegov prispevek k skupnemu ogrevanju ozračja v primerjavi s CO_2 relativno majhen [22], [23]. 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, hkrati pa dvigujeta tudi raven nitratov v prsti in tekočih vodah.

8.1 Izpusti

Več kot polovica izpustov NO_x prihaja v ozračje iz prometa. Največji vir izpustov NO_x je v letu 2019 predstavljal cestni promet, saj je k skupnim državnim izpustom prispeval kar 44 %. Precejšen delež prispeva tudi ostali promet (14 %), sledijo proizvodnja električne energije in toplotne (12 %) in v enakem deležu poraba goriv v industriji (12 %). Letni izpusti NO_x so v Sloveniji leta 2019 znašali 29 tisoč ton. V obdobju 1980-2019 so se izpusti zmanjšali za 59 %. 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 1980-2019 so prikazani na slikah 8.1 in 8.2.

Slovenija izpolnjuje vse obveznosti iz Direktive (EU) 2016/2284 o zmanjšanju nacionalnih izpustov za nekatera onesnaževala zraka (t.i. direktive NEC) ([7]) in iz Protokola o zmanjševanju zakisljevanja, evtrofifikacije in prizemnega ozona (Goeteborškega protokola) ([24]) h Konvenciji o onesnaževanju zraka preko meja na velike razdalje (CLRTAP) ([11]). Skupni državni izpusti NO_x so bili v letu 2019 za 35 % 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 .

Izpusti NOx (kt)

**Slika 8.1:** Letni izpusti dušikovih oksidov po sektorjih v Sloveniji**Slika 8.2:** Izpusti dušikovih oksidov po sektorjih v Sloveniji v letu 2019

8.2 Zahteve za kakovost zraka

V Uredbi o kakovosti zunanjega zraka [8] so predpisane mejne in alarmne vrednosti za zaščito zdravja ter kritična vrednost za zaščito vegetacije. Prikazane so v tabeli 8.1.

Tabela 8.1: Mejni, alarmna in kritična vrednost za dušikove okside [8], ter smernice WHO [1]

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

8.3 Ravni onesnaženosti

S projektom Sinica smo uvedli kar nekaj sprememb v meritni mreži DMKZ pri meritvah dušikovih oksidov. V letu 2020 smo junija pričeli z meritvami na meritnem mestu LJ Celovška in v Novem mestu ter julija na meritnem mestu MB Vrbanski. Na Iskrbi so bile zaradi prenove meritnega mesta meritve ukinjene maja 2020 in so bile zopet vzpostavljene šele januarja 2021. Podatki s teh meritnih mest za leto 2020 so tako zgolj informativni. Nove so tudi meritve na meritnem mestu MB Tezno, kjer meritve od začetka leta 2020 izvaja NLZOH.

Letna in urna mejna vrednost NO₂, ki sta predpisani za zaščito zdravja, v letu 2020 nista bili preseženi na nobenem meritnem mestu v meritni mreži DMKZ (tabela 8.2) niti v dopolnilni meritni mreži. Najvišja letna povprečna raven in najvišja urna vrednost NO₂ sta bili izmerjeni na meritnem mestu LJ Center, sledijo ostala prometna meritna mesta MB Tezno in MB Titova, NG Grčna, LJ Bežigrad in LJ Celovška, CE bolnica. V letu 2020 ni bila presežena alarmna vrednost za zaščito zdravja, saj so najvišje izmerjene urne ravni dosegle le tretjino te vrednosti. Na meritnem mestu LJ Center so bile izmerjene tudi najvišje ravni NO_x.

Za zaščito vegetacije je predpisana kritična letna vrednost NO_x, ki se uporablja za neizpostavljenja ruralna meritna mesta. V DMKZ med ruralna meritna mesta uvrščamo Mursko Soboto Rakičan in Iskrbo, kjer pa ne merimo ravni NO_x. V dopolnilni meritni mreži sta ruralni meritni mesti Zavodnje in Sveti Mohor. Na nobenem ruralnem meritnem mestu kritična vrednost za NO_x ni bila presežena (tabela 8.2). Najvišja raven je bila med ruralnimi mesti izmerjena na meritnem mestu MS Rakičan in je dosegla le polovico predpisane vrednosti. Na vseh ostalih ruralnih meritnih mestih so bile ravni NO_x še precej nižje.

Urne ravni NO₂ na meritnih mestih DMKZ so prikazane na sliki 8.3. Najvišje izmerjene urne vrednosti so na vseh meritnih mestih pod mejno urno vrednostjo 200 µg/m³, ki je lahko po zakonodaji presežena 18-krat v enem letu.

Ravni NO₂ imajo značilen letni in dnevni hod. Na vseh meritnih mestih so najniže 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 8.3-8.5 ter sliki 8.5 in 8.6).

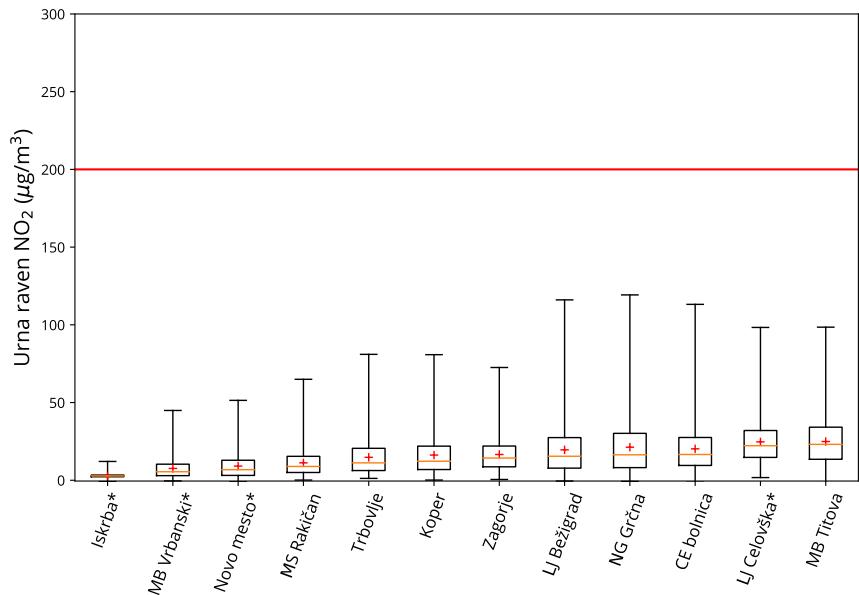
Dnevni hod kaže, da so najniže ravni NO₂ med delovniki izmerjene ponoči (slika 8.7). Ob jutranji prometni konici se pojavi prvo obdobje višjih ravni dušikovih oksidov zaradi povečanih izpustov iz prometa, v popoldanskem oziroma večernem času pa se pojavi še drugo povišanje kot posledica umiritve ozračja v plasti zraka pri tleh v večernih urah, ki je na različnih meritnih mestih

bolj ali manj izrazito. Na sliki 8.7 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.

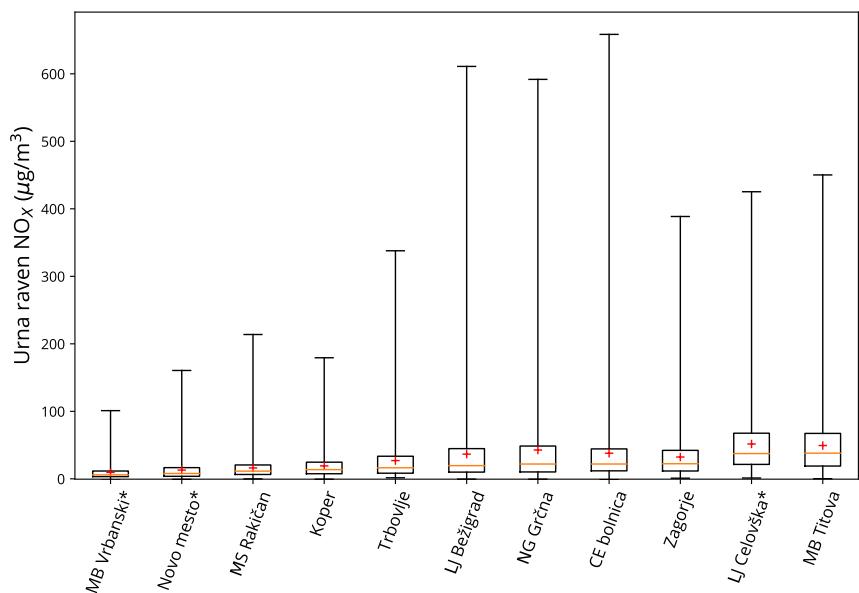
Tabela 8.2: Razpoložljivost podatkov (% pod), povprečna letna (C_p) in maksimalna urna raven (max) v letu, izražene v $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ter število preseganj mejne (>MV) in alarmne (>AV) vrednosti za NO_2 . Razpoložljivost podatkov (% pod) in letna raven za NO_x (C_p), izražena v $\mu\text{g}/\text{m}^3$ v letu 2020.

Merilno mesto	%pod	varovanje zdravja				varovanje rastlin	
		C_p	NO ₂ max	>MV	>AV	NO _x C_p	
Merilna mreža DMKZ							
LJ Bežigrad	100	20	116	0	0	100	37
LJ Celovška*	58	25	98	0	0	58	52
MB Titova	95	25	99	0	0	95	49
MB Vrbanski plato*	48	8	45	0	0	48	9
CE bolnica	100	20	113	0	0	100	38
MS Rakičan	100	11	65	0	0	100	16
NG Grčna	100	21	119	0	0	100	43
Trbovlje	99	15	81	0	0	99	27
Zagorje	99	17	73	0	0	99	32
Koper	99	16	81	0	0	99	19
Novo mesto*	58	9	51	0	0	58	13
Iskrba*	36	3	12	0	0	/	/
Dopolnilna merilna mreža							
TE Šoštanj							
Šoštanj	98	10	68	0	0	99	15
Zavodnje	100	5	62	0	0	100	6
Škale	99	7	49	0	0	99	10
TE Brestanica							
Sv. Mohor	97	5	41	0	0	97	6
OMS MOL							
LJ Center	93	35	135	0	0	92	82
MO Celje							
CE Gaji*	57	12	68	0	0	57	37
MO Maribor							
MB Tezno	95	21	129	0	0	95	36

* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.



Slika 8.3: Urne ravni NO_2 na merilnih mestih DMKZ v letu 2020. 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 + označuje letno raven. Rdeča črta prikazuje urno mejno vrednost.
* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.



Slika 8.4: Urne ravni NO_x na merilnih mestih DMKZ v letu 2020. 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 + označuje letno raven. * Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.

V zadnjih desetih letih je bilo zabeleženo preseganje letne mejne vrednosti za zaščito zdravja le na merilnem mestu Ljubljana Center, v letu 2020 tudi na tem merilnem mestu ta vrednost ni bila presežena (tabela 8.6). Meritve kažejo, da se povprečne letne ravni dušikovega dioksida nekoliko spreminjajo (slika 8.8), kar je predvsem 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. Na sliki 8.8 je najnižja izmerjena raven (spodnja vodoravna črtica) v letu 2020 višja, ker v prikazu ni podatkov z merilnega mesta Iskrba, saj tam meritve niso potekale celo leto. Tako je bilo tudi v letu 2002 in 2006, ko se meritve na Iskrbi niso izvajale. V letu 2020 so letne ravni na večini merilnih mest nižje kot leta poprej. Podatki o letni ravni za posamezna merilna mesta od leta 2000 so prikazani v tabeli 8.6. Na sliki 8.8 so prikazane letne ravni NO₂ na vseh merilnih mestih od leta 2002 naprej.

Leto 2020 je bilo posebno zaradi pandemije COVID-19. Omejeno je bilo gibanje, večina zaposlenih je delala od doma, šola je potekala na daljavo, zmanjšal se je cestni in letalski promet. Predvsem marca in aprila so se v celotni Evropi zmanjšali izpusti NO_x iz prometa in posledično so se znižale ravni NO₂ v mestnem in primestnem okolju ([20]). Tudi v Sloveniji so bile ravni dušikovih oksidov v letu 2020 na večini merilnih mest nižje kot leta poprej. Naredili smo analizo vpliva COVID-19 ukrepov na kakovost zraka v Sloveniji. Več o vplivih ukrepov na kakovost zraka je v poglavju 3.

Tabela 8.3: Mesečna raven NO₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) v letu 2020

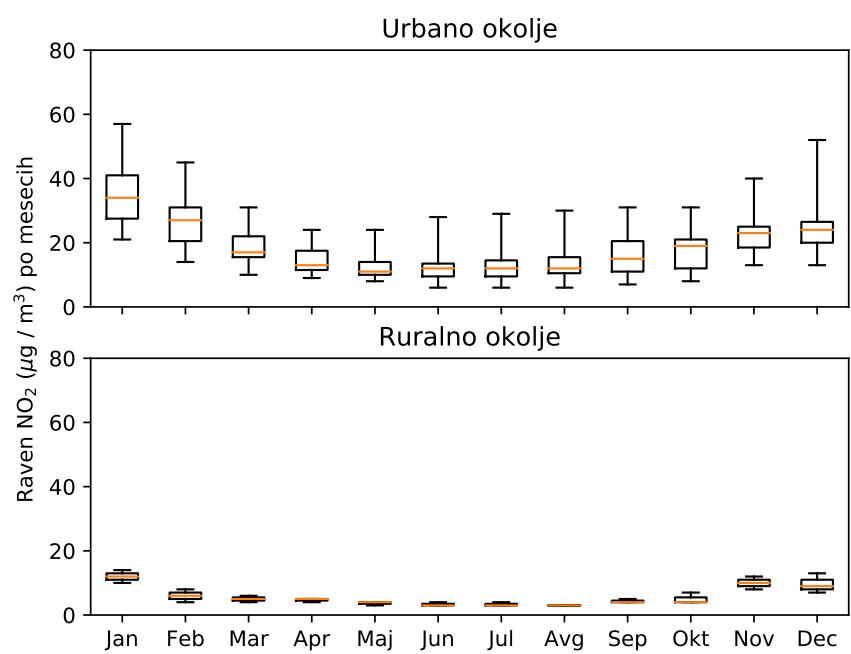
Merilno mesto	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
LJ Bežigrad	42	27	15	13	12	12	12	13	18	21	24	27
LJ Celovška	/	/	/	/	/	19	20	20	25	25	29	34
MB Titova	34	30	23	17	20	21	21	21	27	27	26	29
MB Vrbanski	/	/	/	/	/	/	4	4	5	8	12	13
CE bolnica	37	28	21	18	14	13	12	15	19	19	23	24
MS Rakičan	21	16	11	11	10	10	7	6	7	9	13	13
NG Grčna	40	32	18	12	11	14	15	16	22	21	28	26
Trbovlje	26	19	16	15	10	9	9	10	12	12	19	19
Zagorje	29	22	17	13	10	8	12	12	15	17	21	23
Koper	32	25	17	11	10	10	14	12	10	12	18	21
Iskrba	3	3	3	3	2	/	/	/	/	/	/	/
Šoštanj	21	14	10	9	8	6	6	7	8	8	14	14
Zavodnje	10	6	5	5	4	3	3	3	4	4	10	7
Škale	14	8	6	5	4	4	3	3	5	7	12	13
Sv. Mohor	12	4	4	4	3	3	4	3	4	4	8	9
LJ Center	57	45	31	24	24	28	29	30	31	31	40	52
CE Gaji	22	16	10	7	8	6	/	/	/	/	/	17
MB Tezno	45	34	23	20	14	13	10	11	15	20	24	25

Tabela 8.4: Maksimalna urna raven NO₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) po mesecih v letu 2020

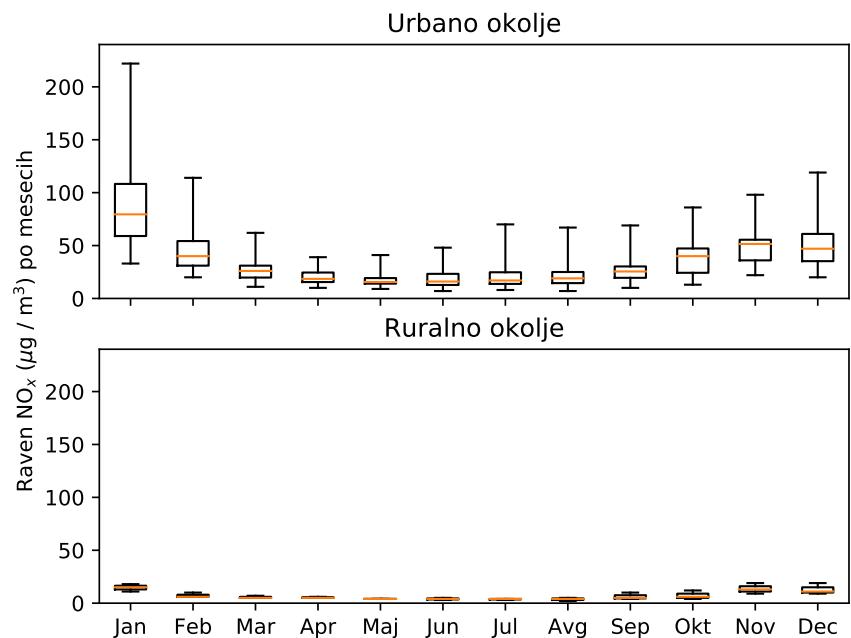
Merilno mesto	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
LJ Bežigrad	116	85	78	64	43	44	48	43	57	72	68	74
LJ Celovška	/	/	/	/	/	62	46	69	76	65	83	98
MB Titova	79	94	99	59	57	59	56	71	74	91	74	69
MB Vrbanski	/	/	/	/	/	/	20	22	24	40	45	43
CE bolnica	113	97	90	93	66	60	42	54	62	62	66	75
MS Rakičan	65	64	45	52	52	41	33	24	30	37	50	35
NG Grčna	119	90	100	83	61	60	66	72	86	68	94	78
Trbovlje	73	81	53	81	44	34	37	33	42	40	64	73
Zagorje	73	63	59	45	47	21	38	31	43	56	62	52
Koper	77	81	71	62	64	45	66	49	60	51	71	62
Iskrba	12	7	7	9	5	/	/	/	/	/	/	/
Šoštanj	68	50	37	37	34	35	33	30	29	29	42	47
Zavodnje	62	34	45	27	27	27	18	19	20	23	54	30
Škale	43	24	23	18	12	13	14	10	25	34	32	49
Sv. Mohor	41	25	21	22	17	15	22	14	19	24	27	37
LJ Center	135	123	104	84	73	76	86	80	99	80	98	92
CE Gaji	68	52	37	27	40	28	/	/	/	/	/	65
MB Tezno	129	112	111	100	84	69	40	50	73	66	76	66

Tabela 8.5: Mesečna raven NO_x ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) v letu 2020

Merilno mesto	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
LJ Bežigrad	112	41	20	16	15	13	17	18	29	41	54	59
LJ Celovška	/	/	/	/	/	33	32	33	46	57	70	89
MB Titova	90	58	36	23	32	37	36	34	49	58	60	67
MB Vrbanski	/	/	/	/	/	/	5	5	6	8	15	17
CE bolnica	108	53	31	26	19	18	17	20	28	35	51	49
MS Rakičan	33	23	14	14	14	13	8	7	10	16	22	20
NG Grčna	109	65	30	16	17	20	21	22	34	46	63	70
Trbovlje	66	32	22	21	15	14	14	15	22	27	40	37
Zagorje	69	37	24	16	14	12	20	21	29	39	52	53
Koper	38	28	19	13	11	11	16	13	12	15	22	30
Šoštanj	36	20	11	10	9	7	8	10	12	13	24	21
Zavodnje	11	6	5	5	4	3	3	4	5	6	13	9
Škale	18	10	7	6	4	5	4	5	10	12	19	19
Sv. Mohor	15	6	5	5	4	4	4	2	4	4	9	11
LJ Center	222	114	62	39	41	48	49	52	69	86	98	119
CE Gaji	69	39	28	29	20	33	70	67	22	51	43	43
MB Tezno	103	53	31	24	16	18	13	15	23	42	52	45



Slika 8.5: Mesečne ravni NO_2 na urbanih in ruralnih merilnih mestih v letu 2020. 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).



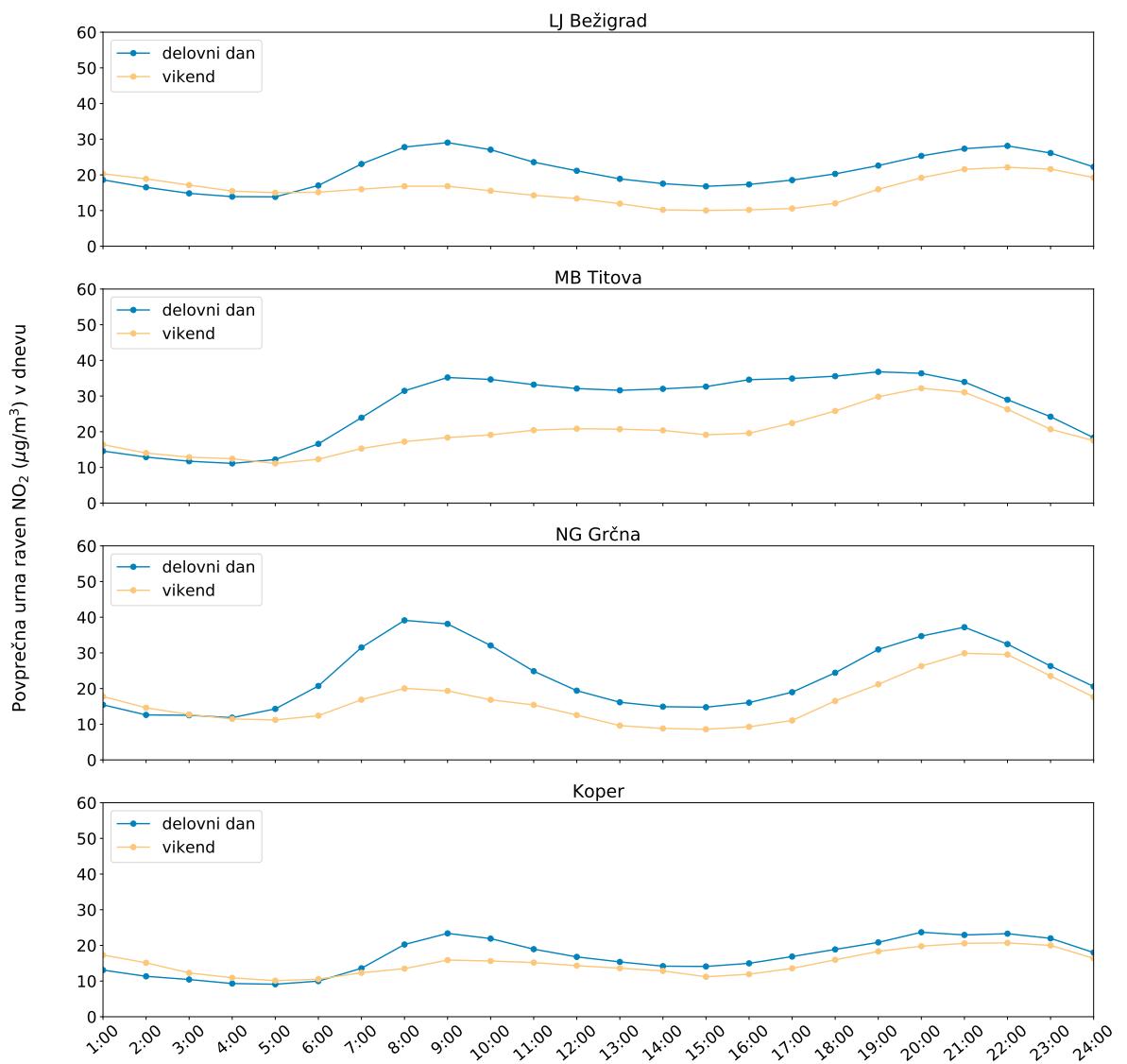
Slika 8.6: Mesečne ravni NO_x na merilnih mestih v urbanem in ruralnem okolju v letu 2020. Prikazani so najnižja in najvišja izmerjena raven (spodnja in zgornja vodoravna črtica), oba kvartila (vrh in dno pravokotnika) in mediana (rdeča vodoravna črtica v pravokotniku).

Tabela 8.6: Letne ravni NO₂ (µg/m³) v letih 2000-2020. Ravni, ki presegajo letno mejno vrednost so napisane v krepki pisavi.

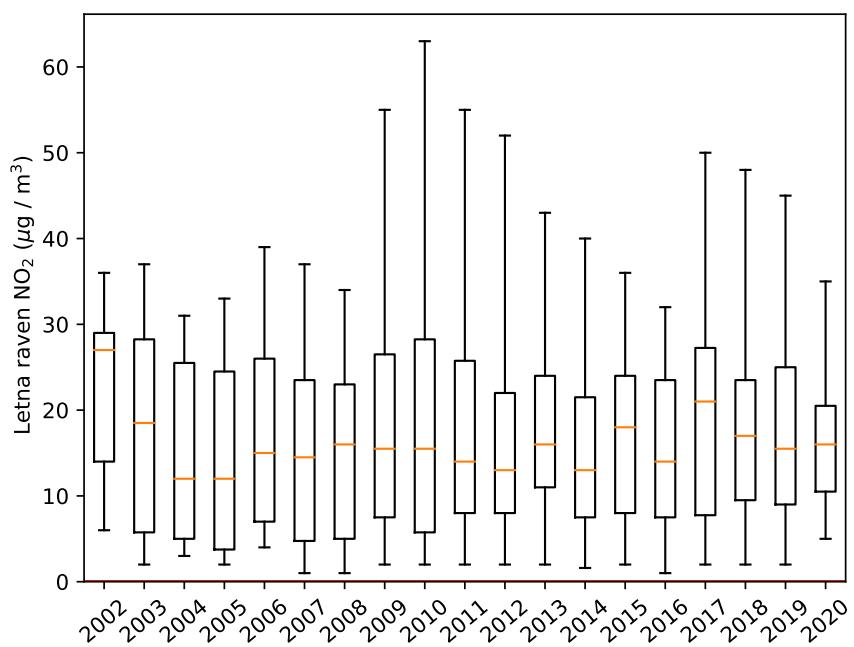
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
LJ Figovec	38	36	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
LJ Bežigrad	/	/	29	32	29	27	29	28	29	31	35	31	22	29	26	30	29	30	26	25	20
LJ Center	/	/	/	/	/	/	/	/	/	55	63	55	52	43	40	36	32	50	48*	45*	35
LJ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

Opoomba: Podatki za leto od 1992-2000 so na voljo v [21].

* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.



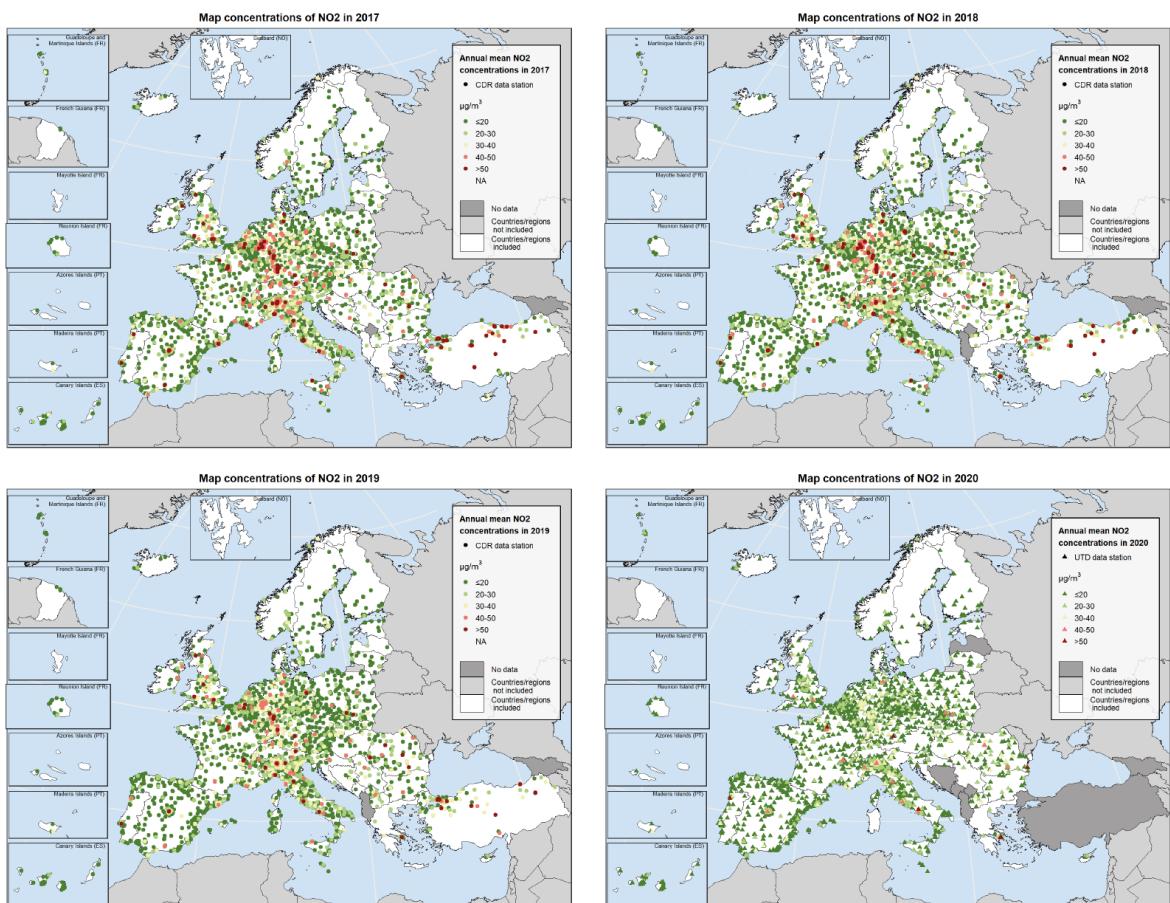
Slika 8.7: Dnevni potek povprečne urne ravni NO₂ na merilnih mestih v letu 2020



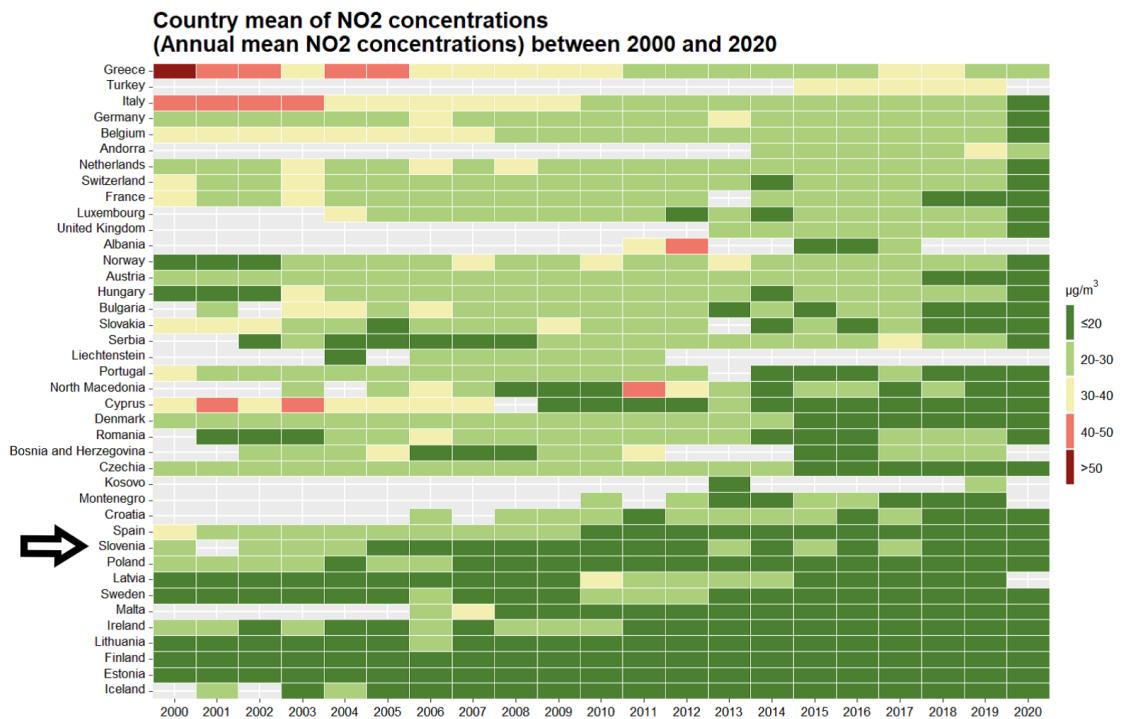
Slika 8.8: Letne ravni NO₂ na vseh merilnih mestih za posamezna leta. Prikazani so najnižja in najvišja izmerjena raven (spodnja in zgornja vodoravna črtica), oba kvartila (vrh in dno pravokotnika) in mediana (rdeča vodoravna črtica v pravokotniku).

8.4 Ravni onesnaženosti v EU

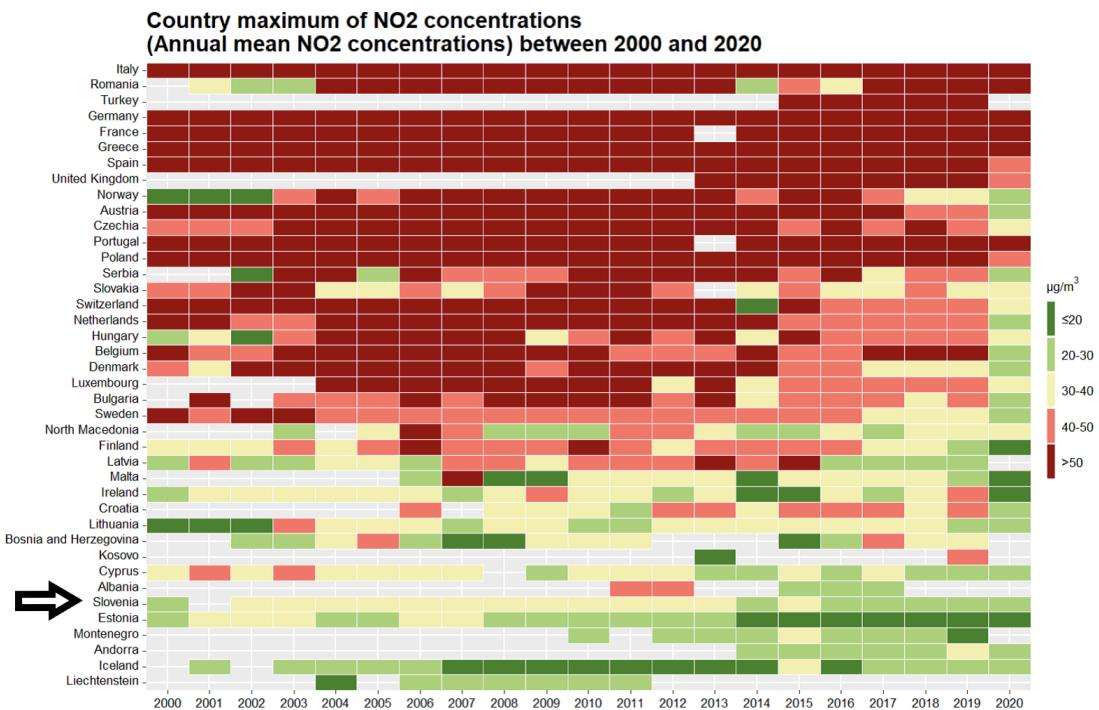
Letne ravni NO₂ so bile v državah EU presežene tudi v letu 2020 in to večinoma le na prometnih meritnih mestih v mestih. Preseganj je bilo v letu 2020 bistveno manj kot v preteklih treh letih kar je prikazano na sliki 8.9. Na ravni NO₂ so v letu 2020 bistveno vplivali ukrepi povezani s COVID-19. Je pa potrebno upoštevati, da na ravni NO₂ vplivajo tudi vremenske razmere. Na sliki 8.9 so z rdečo označena meritna mesta, kjer je bilo zabeleženo preseganje mejne letne ravni NO₂. V Sloveniji preseganja v letu 2020 nismo zabeležili. Na sliki 8.10 je prikazana razvrstitev držav glede na povprečno letno raven NO₂ v državah EU, na sliki 8.11 pa razvrstitev glede na najvišjo letno raven NO₂ v državah EU. Slovenija sodi med države z nižjo ravnjo onesnaženosti zraka z NO₂. V izmenjavo podatkov na EEA posredujemo samo meritve državne meritne mreže DMKZ, zato na grafih ni prikazano preseganje mejne vrednosti, ki je bilo v Sloveniji že vse od začetka izvajanja meritve dušikovih oksidov zabeleženo le na meritnem mestu LJ Center .



Slika 8.9: Povprečna letna raven NO₂ za poročana meritna mesta držav Evropske unije (označene s piko) v letih 2017 - 2020 [19]. Z barvo je označen razred, v katerega padejo letne ravni na posameznem meritnem mestu. Podatki za leto 2020 so v realnem času posredovani podatki (UTD) in so nepreverjeni, podatki za leta 2017 - 2019 so uradno poročani podatki na EEA.



Slika 8.10: Povprečje letnih ravnih NO₂ v državah Evropske unije v letih 2000 - 2020 [19]. Število, lokacije in klasifikacije merilnih mest so z leti lahko različne. Podatki za leto 2020 so v realnem času posredovani podatki (UTD) in so nepreverjeni, podatki za leta 2017 - 2019 so uradno poročani podatki na EEA.



Slika 8.11: Najvišja letna raven NO₂ v državah Evropske unije v letih 2000 - 2020 [19]. Število, lokacije in klasifikacije merilnih mest so z leti lahko različne. Podatki za leto 2020 so v realnem času posredovani podatki (UTD) in so nepreverjeni, podatki za leta 2017 - 2019 so uradno poročani podatki na EEA.

9. Žveplov dioksid

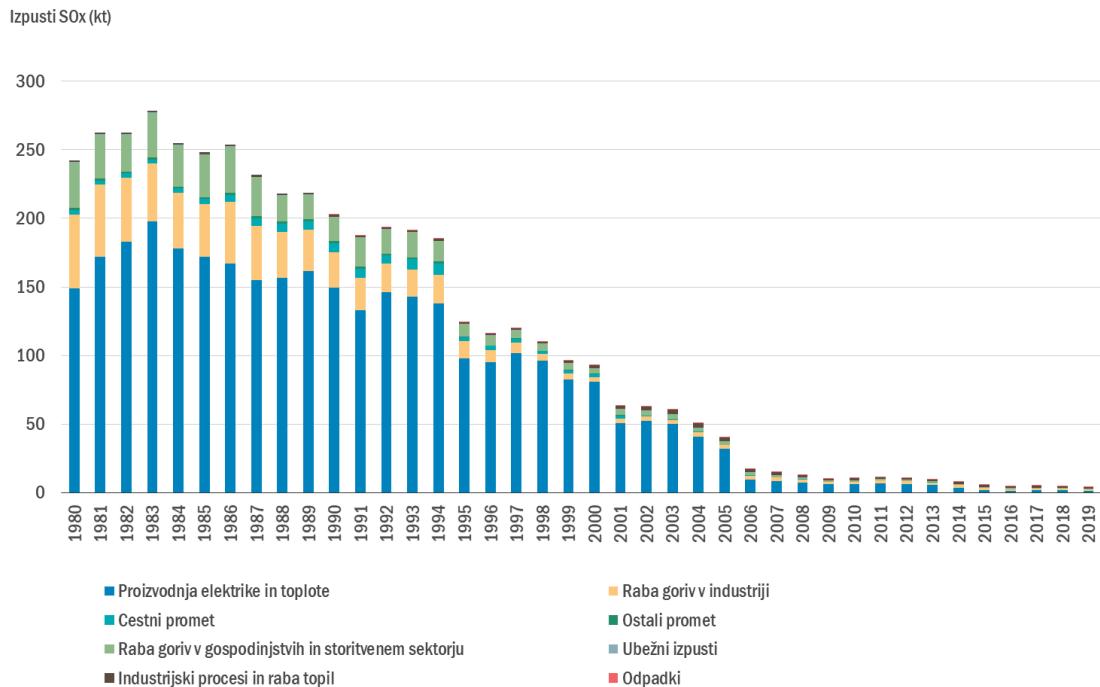
Žveplov dioksid (SO_2) je onesnaževalo, ki je pred nekaj desetletji predstavljalo največji problem onesnaženosti zraka v slovenskih mestih in v okolini termoelektrarn. Največji viri emisij so bili takrat energetika, industrija in kurjenje premoga v individualnih kuriščih. Z opuščanjem premoga v individualnih 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 slabijo 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.

9.1 Izpusti

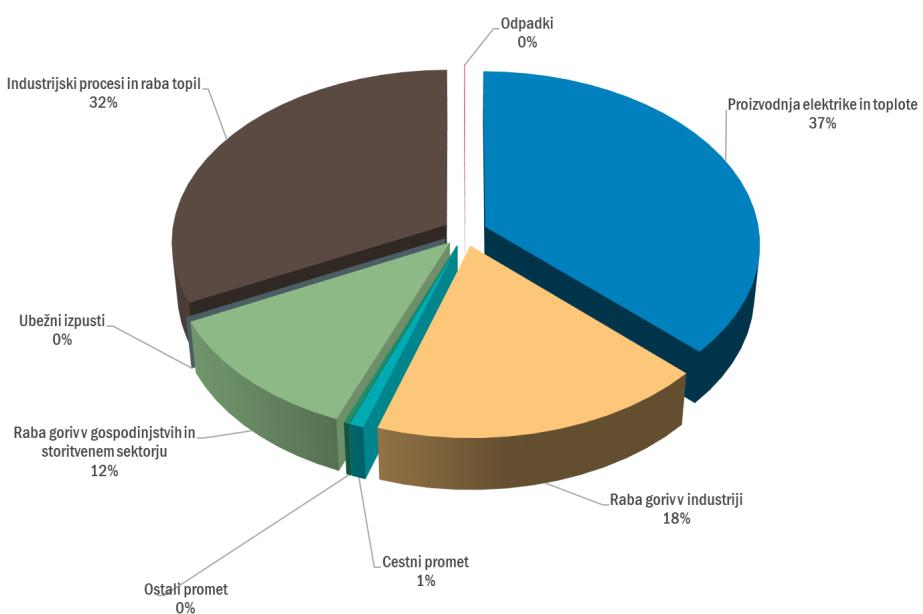
Največji viri žveplovih oksidov (SO_x) so proizvodnja električne in toplotne energije, industrijski procesi ter raba goriv v industriji, v preteklosti tudi raba premoga za ogrevanje gospodinjstev. Letni izpusti SO_x so v Sloveniji leta 2019 znašali 4,3 tisoč ton. V primerjavi z letom 1980 so se zmanjšali 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 2019 prispevale termoelektrarne in toplarne, 37 %, sledijo industrijski procesi z 32 %. Izpusti SO_x po posameznih virih so prikazani na slikah 9.1 in 9.2.

Slovenija izpolnjuje obveznosti iz Direktive (EU) 2016/2284 o zmanjšanju nacionalnih emisij za nekatera onesnaževala zraka (t.i. direktive NEC) ([7]) in iz Protokola o zmanjševanju zakisljevanja, evtrofikacije in prizemnega ozona (Goeteborški protokol) ([24]) h Konvenciji o onesnaževanju zraka na velike razdalje preko meja (CLRTAP) ([11]). Skupni izpusti žveplovih oksidov so bili v letu 2019 za 84 % 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 nadalnjem zmanjševanju emisij žvepla h Konvenciji o onesnaževanju zraka na velike razdalje

preko meja ([11]). Izpusti žveplovih oksidov se podajajo kot vsota vseh žveplovih oksidov, izraženih kot SO₂.



Slika 9.1: Izpusti SO_x v Sloveniji po letih in virih



Slika 9.2: Izpusti SO_x v Sloveniji po virih v letu 2019

9.2 Zahteve za kakovost zraka

V Uredbi o kakovosti zunanjega zraka [8] sta predpisani mejni in alarmna vrednost za zaščito zdravja ter kritični vrednosti za zaščito vegetacije. Prikazane so v tabeli [9.1].

Tabela 9.1: Mejni, kritični in alarmna vrednost za žveplov dioksid [8], ter smernice WHO [1]

	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	20 µg/m 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		

9.3 Ravni onesnaženosti

Urne, dnevne in letne ravni SO₂ so že več let na vseh merilnih mestih pod mejno in kritično vrednostjo tako za varovanje zdravja kot tudi za varovanje rastlin. Mejna urna vrednost SO₂, tako kot že veliko let prej, tudi v letu 2020 ni bila presežena na nobenem merilnem mestu. Do enkratnega povišanja urnih vrednosti žveplovega dioksida je prišlo 22. avgusta na merilnih mestih v okolini Termoelektrarne Šoštanj. Ta dan je bila na merilnem mestu Šoštanj ob 15. uri izmerjena urna vrednost SO₂ 216 µg/m³, že pred tem, ob 11. uri, je bila v Topolščici izmerjena vrednost 200 µg/m³ in v Zavodnjah 166 µg/m³.

Preseganje mejne dnevne vrednosti v letu 2020 ni bilo zabeleženo na nobenem merilnem mestu. Le v Zavodnjah je bilo zabeleženo preseganje dnevne vrednosti, ki jo priporoča WHO [1].

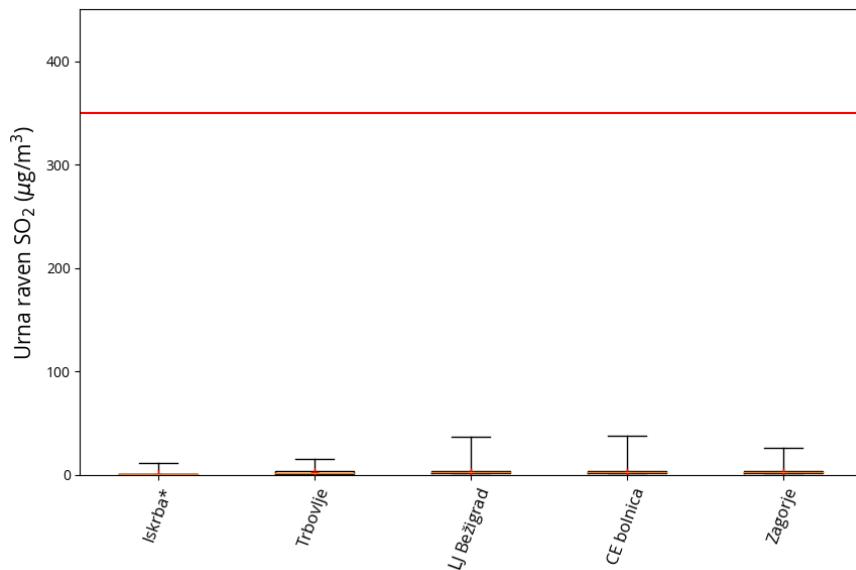
Na Iskrbi je od sredine maja 2020 do januarja 2021 potekala prenova merilnega mesta v okviru projekta Sinica. Meritve SO₂ se v tem obdobju niso izvajale, zato so podatki iz tega merilnega mesta zgolj informativni. Veljavna je le kritična vrednost za zaščito vegetacije, ki je določena za zimsko obdobje od začetka oktobra 2019 do konca marca 2020. Podatki so zbrani v tabelah [9.2] do [9.5].

Raven onesnaženosti zunanjega zraka z SO₂ se je od začetka meritev leta 1992 do leta 2020 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 [9.6], [9.7] in [9.8]. Vsi podatki od leta 1992 dalje so prikazani na sliki [9.4]. Znatno znižanje letnih ravni (slika [9.4] in tabela [9.6]) je posledica zmanjšanja izpustov (slika [9.1]). 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 [9.4]). Konec leta 2014 je z obratovanjem prenehala Termoelektrarna Trbovlje in v maju 2017 so se zaključile meritve onesnaženosti zraka v okolici.

Tabela 9.2: 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 presežene dnevne vrednosti, ki jo priporoča WHO [1], v letu 2020.

Merilno mesto	%pod	Leto C_p	Zima C_p	1 ura C_{max}	$>\text{MV}$	3 ure $>\text{AV}$	1 dan C_{max}	1 dan $>\text{MV}$	WHO
LJ Bežigrad	100	3	4	37	0	0	10	0	0
CE bolnica	100	3	3	38	0	0	9	0	0
Trbovlje	100	2	4	15	0	0	8	0	0
Zagorje	98	3	3	27	0	0	8	0	0
Iskrba*	36	0,8	0,6	11,2	0	0	2,9	0	0
Dopolnilna merilna mreža									
OMS - MOL									
LJ Center	97	4	3	47	0	0	9	0	/
MO Celje									
CE Gaji	99	10	11	43	0	0	20	0	/
TE Šoštanj									
Šoštanj	98	2	2	216	0	0	14	0	/
Topolšica	99	2	3	200	0	0	17	0	/
Zavodnje	99	3	2	166	0	0	29	0	/
Veliki vrh	99	2	2	87	0	0	10	0	/
Graška gora	99	3	4	110	0	0	16	0	/
Velenje	100	3	3	25	0	0	9	0	/
Pesje	99	3	3	29	0	0	11	0	/
Škale	100	2	3	26	0	0	9	0	/
TE Brestanica									
Sv. Mohor	97	7	5	19	0	0	14	0	/

* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.



Slika 9.3: Urne ravni SO_2 na merilnih mestih DMKZ v letu 2020. 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). Rdeča črta prikazuje urno mejno vrednost. *Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.

Tabela 9.3: Mesečna raven SO₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) v letu 2020

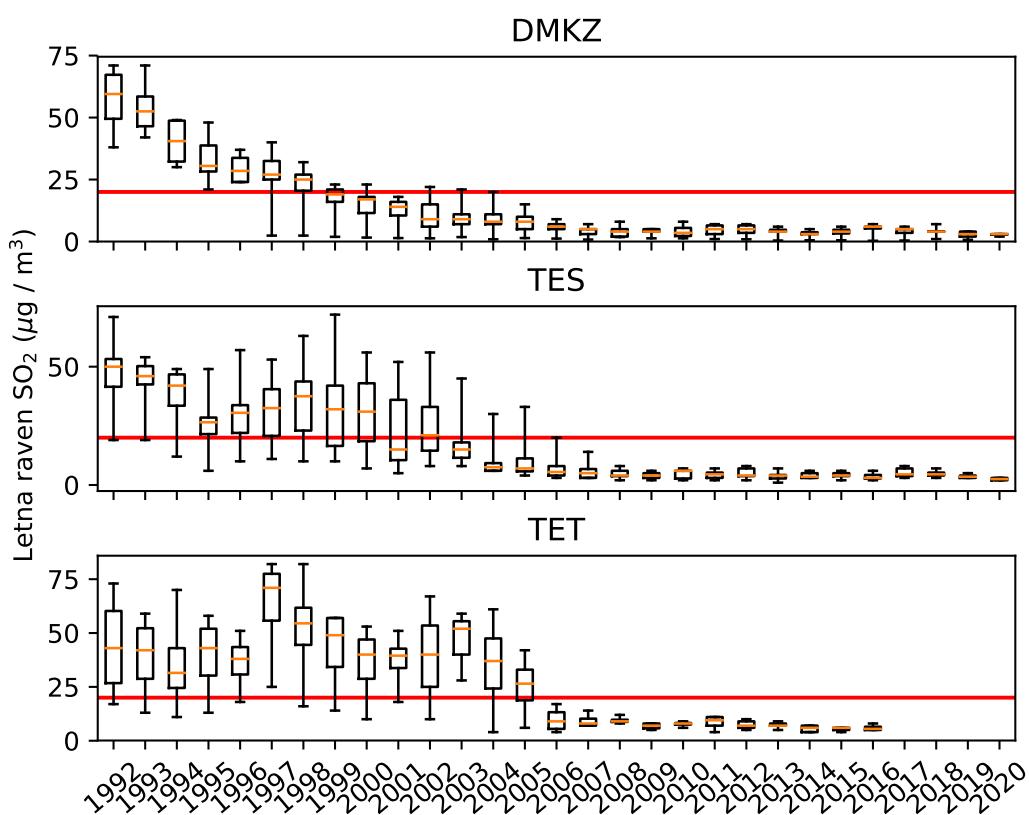
	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
LJ Bežigrad	5	7	4	3	2	2	1	1	2	2	3	4
CE bolnica	5	3	2	2	2	3	3	2	2	3	3	3
Trbovlje	5	4	4	4	4	2	1	1	1	2	1	2
Zagorje	5	3	2	3	4	4	1	2	3	3	2	3
Iskrba	0,2	0,7	0,8	1,4	1,0	/	/	/	/	/	/	/
Šoštanj	2	3	2	3	3	3	2	3	3	2	2	2
Topolščica	3	3	3	4	1	1	1	3	2	1	2	3
Zavodnje	3	2	1	1	1	2	3	5	3	3	5	4
Veliki vrh	2	1	2	1	1	1	3	2	3	3	4	3
Graška gora	6	4	4	3	1	1	2	3	2	4	2	3
Velenje	3	3	3	4	3	4	4	4	3	4	3	3
Pesje	2	3	3	5	1	3	3	2	4	3	3	4
Škale	2	2	3	2	2	1	2	3	2	2	3	3
Sv. Mohor	5	5	7	7	7	10	9	8	10	9	6	6
Lj Center	3	3	4	5	7	7	5	4	4	3	3	2
CE Gaji	9	10	13	16	14	13	16	15	5	4	6	2

Tabela 9.4: Najvišja urna raven SO₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) po mesecih v letu 2020

	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
LJ Bežigrad	30	37	21	6	3	3	5	7	20	21	16	23
CE bolnica	38	25	14	22	15	12	19	36	23	23	27	21
Trbovlje	12	15	15	10	7	7	3	4	4	13	4	6
Zagorje	7	27	13	6	7	7	5	2	6	5	6	10
Iskrba	1,6	11,2	10,5	9,7	4,7	/	/	/	/	/	/	/
Šoštanj	20	29	20	14	27	23	18	216	18	20	38	26
Topolščica	11	14	12	10	10	8	22	200	12	5	37	23
Zavodnje	63	15	10	14	141	10	14	166	26	49	95	40
Veliki vrh	41	42	13	76	33	24	62	9	50	87	25	21
Graška gora	17	18	17	14	24	73	11	40	110	22	15	22
Velenje	9	9	8	9	21	8	8	9	25	8	7	14
Pesje	5	13	11	9	29	7	14	7	25	11	12	23
Škale	7	8	10	14	25	16	10	11	26	18	12	23
Sv. Mohor	12	9	15	14	10	13	19	11	14	13	12	18
Lj Center	6	6	8	8	24	9	6	7	13	47	5	6
CE Gaji	31	19	29	43	41	19	19	23	7	30	39	33

Tabela 9.5: Najvišja dnevna raven SO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) po mesecih v letu 2020

	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
LJ Bežigrad	8	10	7	4	2	2	3	2	6	4	5	7
CE bolnica	9	7	5	5	3	5	6	7	5	6	7	5
Trbovlje	8	6	7	7	6	5	1	1	2	3	2	2
Zagorje	6	8	4	4	4	4	2	2	3	4	4	4
Iskrba	0,5	2,6	2,9	2,8	2,0	/	/	/	/	/	/	/
Šoštanj	5	8	4	5	6	7	6	14	6	6	5	8
Topolšica	7	8	5	6	3	4	2	17	4	2	5	6
Zavodnje	9	5	4	3	16	5	5	16	9	9	29	11
Veliki vrh	8	3	4	4	5	3	7	4	6	8	8	10
Graška gora	10	10	6	5	5	6	4	7	13	16	5	9
Velenje	6	6	6	8	5	8	7	6	7	6	5	9
Pesje	3	4	5	7	5	4	4	5	7	6	6	11
Škale	2	4	5	4	8	3	4	4	7	6	5	9
Sv. Mohor	7	6	10	10	9	11	14	9	11	12	10	9
LJ Center	4	4	5	6	8	8	6	6	7	9	4	4
CE Gaji	15	16	18	20	20	16	17	18	6	7	9	10



Slika 9.4: Letne ravni SO_2 na meritnih mestih DMKZ in meritnih 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 (rdeča vodoravna črtica v pravokotniku). Rdeča črta prikazuje letno kritično vrednost za zaščito vegetacije.

Tabela 9.6: Letne ravnini SO₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) za obdobje 2000-2020. Ravnini, 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	
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	
LJ Center	/	/	/	/	/	/	/	/	/	6	5	4	4	2	2	2	2	1	5	4		
MB Titova	13	10	8	9	8	5	3	2	5	/	3	4	/	/	/	/	/	/	/	/	/	
CE bolnica	17	15	10	10	11	9	7	5	5	5	6	6	7	4	3	5	6	6	7	4	3	
Trbovlje	18	14	15	16	9	15	7	3	2	5	3	7	7	4	4	6	7	5	4	4	2	
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	
NG Grčna	/	/	6	7	7	7	7	8	4	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	
MS Rakičan	/	/	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	0,3	0,4	1,0	0,7	0,8*	
Šoštanj	52	51	43	24	13	11	8	9	6	4	7	5	7	4	5	4	2	3	3	3	2	
Topolščica	18	11	15	16	6	5	4	3	2	3	3	3	3	2	3	5	3	5	4	3	2	
Veliki vrh	56	52	56	45	30	33	20	14	8	5	6	6	7	4	4	4	3	4	7	3	2	
Zavodnje	31	21	23	15	8	12	8	6	3	6	4	4	5	3	2	2	3	4	4	4	3	
Velenje	7	5	8	8	6	4	5	3	4	2	2	3	4	1	3	3	3	4	4	3	3	
Graška gora	34	15	21	10	6	6	6	5	4	3	2	2	3	3	4	4	7	5	4	3	2	
Pesje	/	/	15	7	6	4	5	6	4	5	6	5	4	4	5	6	6	7	6	4	3	
Škale	19	10	14	12	8	8	3	3	4	5	6	7	8	7	6	5	5	8	5	5	2	
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	6	4	3	6	/	/	/	
CE Gaj	20	6	/	8	5	3	1	/	/	/	/	/	/	6	5	5	4	5	6	8	10	
EIS Krško	51	46	46	55	37	36	23	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	
Sv .Mohor	/	/	/	/	10	12	12	14	/	12	15	3	4	4	4	5	3	4	5	6	7	

* Podatki so informativnega značaja zaradi previlikega izpada meritev.

Opomba: Podatki za leto od 1992-2000 so na voljo v [21].

Tabela 9.7: Najvišje urne ravni SO₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) za obdobje 2000–2020. Ravni, 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
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
LJ center	/	/	/	/	/	/	/	/	/	78	22	33	37	20	28	28	22	14	10	20	47
MB Titova	117	180	89	70	64	58	60	21	32	35	68	56	/	/	/	/	/	/	/	/	/
CE bolница	379	666	224	619	396	157	90	76	82	37	64	210	89	43	41	36	36	40	62	62	38
Trbovљe	634	552	811	758	521	848	379	264	65	76	52	90	87	40	44	22	23	26	21	15	15
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
NG Grčna	/	/	64	131	89	98	80	64	35	52	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
MS Rakičan	/	/	58	55	45	53	54	64	49	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Iskrba	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	28	17	11*
Šoštanj	2855	2099	2000	1392	937	642	1028	643	360	342	1357	124	485	216	333	396	75	47	61	39	216
Topolščica	987	835	1350	812	291	284	144	211	118	52	130	92	90	52	35	44	166	28	200		
Veliki vrh	1678	1569	1450	1320	1329	1110	771	535	561	344	269	636	887	415	301	143	148	237	297	93	87
Zavodnje	1187	954	1536	947	680	1106	731	252	164	577	98	433	150	388	96	274	86	103	219	347	166
Velenje	563	187	725	361	164	210	86	87	151	37	110	89	93	60	19	140	24	15	25	22	25
Graška gora	1505	990	1024	824	463	497	175	509	242	345	106	148	107	53	76	57	127	60	188	238	110
Pesje	/	/	/	495	198	256	162	118	192	51	81	81	75	96	75	184	63	39	37	21	29
Škale	/	/	522	396	220	262	184	100	161	104	81	190	131	67	75	230	61	47	42	108	26
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																			
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	52	/	45	85	75	63	101	47	58	64	/	/	/	/
CE Gaj	356	355	289	74	222	67	/	/	/	/	/	55	474	37	136	49	38	34	34	43	
EIS Krško	868	1473	1404	1427	877	836	1108	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Sv. Mohor	/	/	/	/	1385	416	455	74	/	82	66*	59	37	46	52	35	58	42	31	27	19

* Podatki so informativnega značaja zaradi previlikega izpada meritev.

Opomba: Podatki za leto od 1992-2000 so na voljo v [21].

Tabela 9.8: Najvišje dnevne ravnine SO₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) za obdobje 2000–2020. Ravnini, ki presegajo mejno vrednost, so napisane v krepki pisavi.

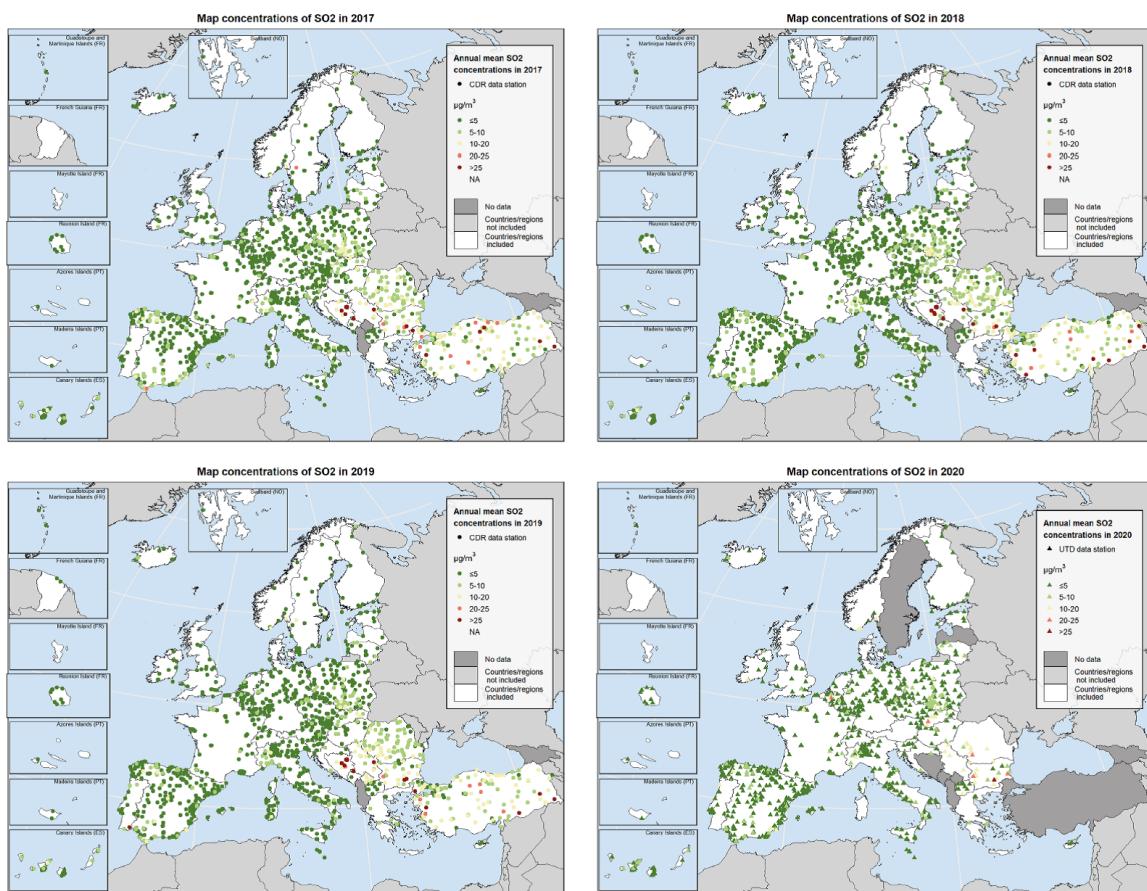
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
LJ Figovec	56	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
LJ Bežigrad	67	35	38	59	38	33	41	14	36	19	25	13	19	14	21	17	15	10	10	10	
LJ center	/	/	/	/	/	/	/	/	/	33	14	14	20	6	11	11	6	7	3	16	9
MB Titova	75	36	37	35	22	31	24	11	22	28	12	19	27	/	/	/	/	/	/	/	/
CE bolница	165	102	111	72	100	44	35	15	20	22	26	22	34	15	23	12	15	15	20	11	9
Trbovlje	134	246	328	100	84	129	43	23	19	19	18	29	35*	15	16	16	19	14	12	10	8
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	
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*
Šoštanj	560	526	553	288	165	116	308	78	54	33	85	28	44	41	25	33	16	16	19	10	14
Topolščica	255	85	254	82	102	42	29	22	26	19	10	13	12	12	15	17	9	10	13	9	17
Veliki vrh	383	269	344	413	263	191	106	72	101	42	28	42	51	37	29	25	23	37	33	57	10
Zavodnje	344	140	442	182	72	221	85	49	40	69	22	32	18	51	14	22	15	22	43	57	29
Velenje	60	54	57	66	64	27	24	26	22	10	14	15	13	5	9	14	12	9	10	6	9
Graška gora	343	126	196	88	99	59	55	72	30	27	17	19	15	14	13	15	16	19	23	33	16
Pesje	/	/	82	55	31	32	29	31	14	25	19	24	18	17	34	15	13	20	14	11	
Škale	139	68	131	75	55	66	41	33	19	23	25	24	29	25	19	28	14	17	21	12	9
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 travna	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	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	
EIS Krško	317	240	285	356	347	276	280	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	
Sv. Mohor	/	/	/	/	114	41	90	49*	/	36	41*	31	28	14	29	15	17	22	14	12	14

* Podatki so informativnega značaja zaradi previlikega izpada meritev.

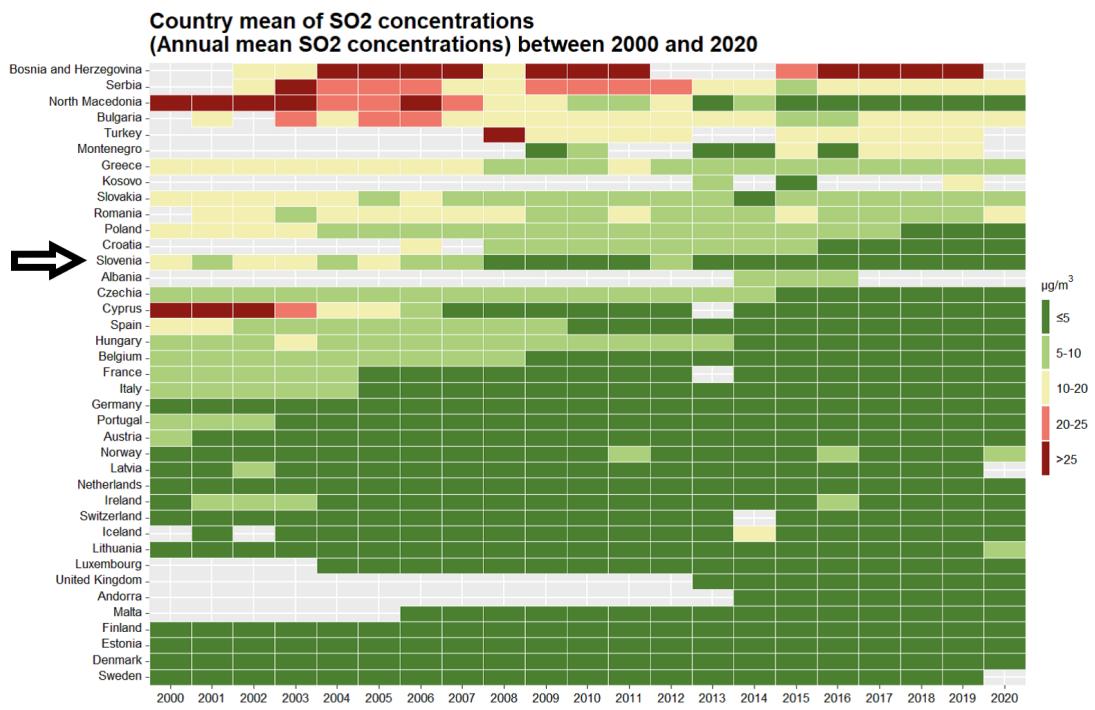
Opomba: Podatki za leto od 1992-2000 so na voljo v [21].

9.4 Ravni onesnaženosti v EU

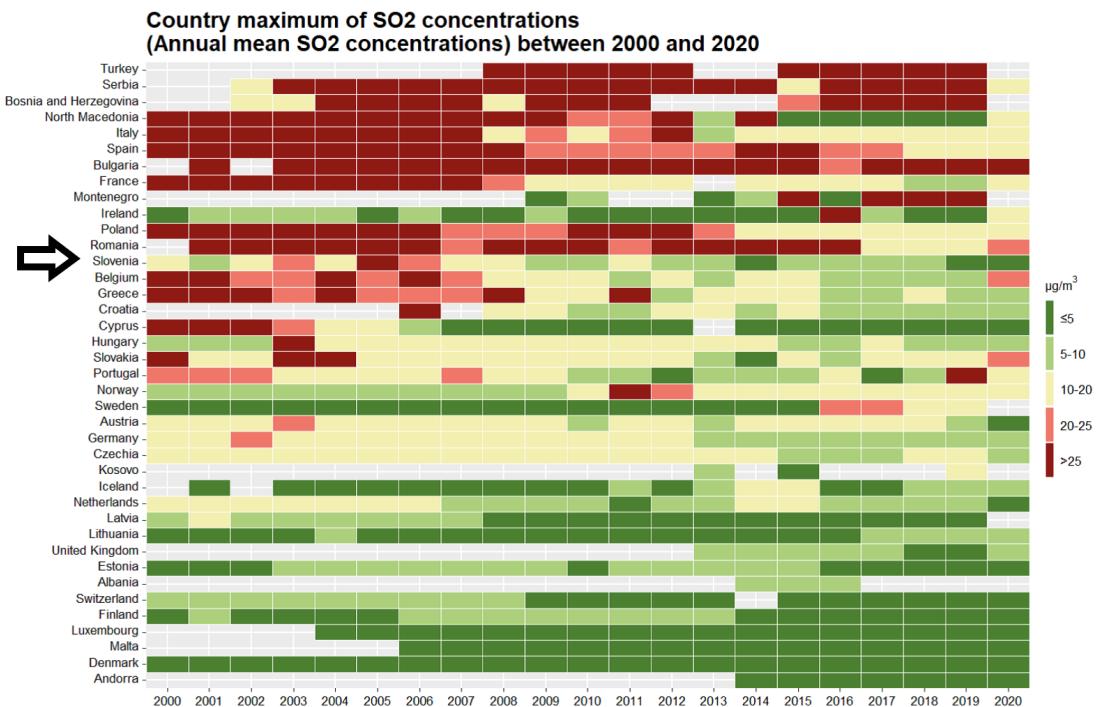
Ravni SO₂ so v državah EU nizke in precej pod mejnimi vrednostmi za zaščito zdravja. V letu 2020 so bile le na 2 merilnih mestih v državah EU ravni višje od mejne dnevne vrednosti in le na 4 merilnih mestih višje od mejne urne vrednosti. Še vedno pa so na četrtini vseh merilnih mest ravni višje od smernic WHO ($20\mu\text{g}/\text{m}^3$) [1]. Na sliki 9.5 so prikazane letne ravni SO₂ na posameznih merilnih mestih v državah EU za leta 2017 do 2020. Razredi so vezani na letno kritično vrednost za zaščito vegetacije ($20\mu\text{g}/\text{m}^3$). Na sliki 9.6 je prikazana razvrstitev držav glede na povprečno letno raven SO₂, na sliki 9.7 pa razvrstitev glede na najvišjo letno raven SO₂. V Sloveniji so ravni precej pod mejnimi vrednostmi že od leta 2006, ko so se bistveno znižali izpusti. Najvišje ravni so izmerjene na Balkanskem polotoku in v Turčiji.



Slika 9.5: Povprečna letna raven SO₂ za poročana merilna mesta evropskih držav (označene s piko) v letih 2017 - 2020 [19]. Z barvo je označen razred, v katerega padejo letne ravni na posameznem merilnem mestu. Podatki za leto 2020 so v realnem času posredovani podatki (UTD) in so nepreverjeni, podatki za leta 2017 - 2019 so uradno poročani podatki na EEA.



Slika 9.6: Povprečje letnih ravnih SO₂ v evropskih državah v letih 2000 - 2020 [19]. Število, lokacije in klasifikacije meritnih mest so z leti lahko različne. Podatki za leto 2020 so v realnem času posredovani podatki (UTD) in so nepreverjeni. Podatki za leta 2017 - 2019 so uradno poročani podatki na EEA. [19]



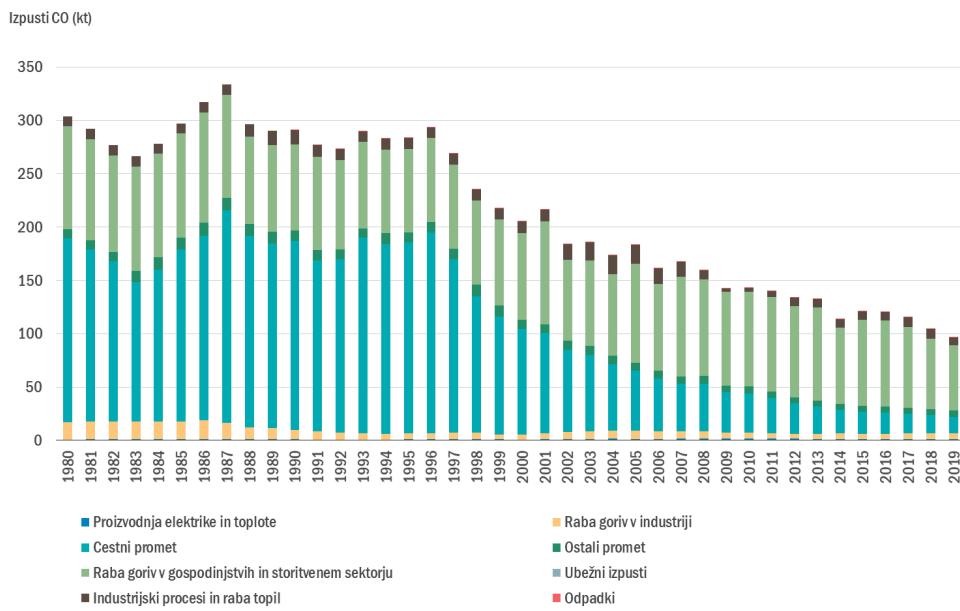
Slika 9.7: Najvišja letna raven SO₂ v evropskih državah v letih 2000 - 2020 [19]. Število, lokacije in klasifikacije meritnih mest so z leti lahko različne. Podatki za leto 2020 so v realnem času posredovani podatki (UTD) in so nepreverjeni. Podatki za leta 2017 - 2019 so uradno poročani podatki na EEA. [19]

10. Ogljikov monoksid

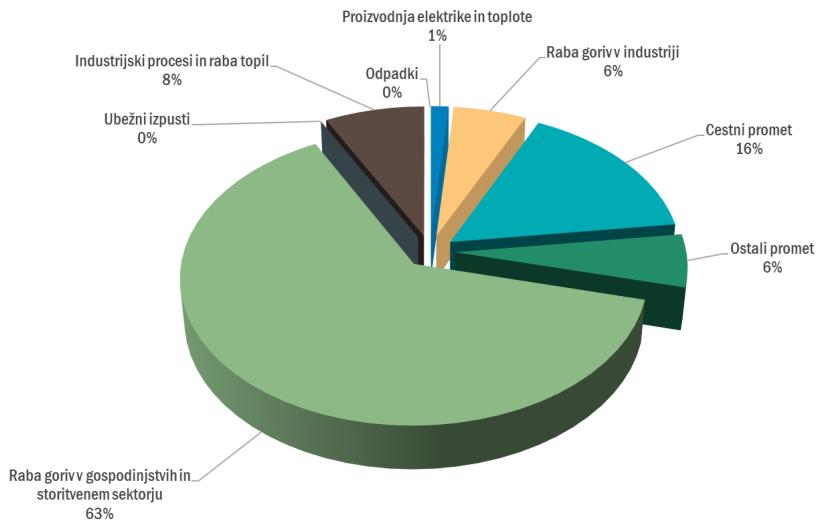
Ogljikov monoksid (CO) je plin brez barve, vonja in okusa. To pomeni, da ga s človeškimi čutili ne moremo videti, okusiti ali vonjati. CO je toksičen, lahko povzroči glavobol in v velikih količinah celo smrt. Nastaja zaradi nepopolnega zgorevanja v kuriščih in motorjih z notranjim izgorevanjem ter pri tehnoloških procesih v industriji. Življenska doba CO v zraku je približno 2 meseca, daljša je višjih legah. CO prispeva k tvorbi ozona. Raven onesnaženosti zunanjega zraka s CO je na merilnih mestih DMKZ že nekaj let pod mejno vrednostjo za varovanje zdravja (tabela 10.1).

10.1 Izpusti

Letni izpusti CO so v Sloveniji leta 2019 znašali 97 tisoč ton. V obdobju 1980-2019 so se zmanjšali za 68 % (slika 10.1). Največji, skoraj dvotretjinski delež k skupnim izpustom CO, je v letu 2019 prispevala raba goriv v gospodinjstvih in storitvenem sektorju (slika 10.2). 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.



Slika 10.1: Letni izpusti ogljikovega monoksida po sektorjih v Sloveniji



Slika 10.2: Izpusti ogljikovega monoksida po sektorjih v Sloveniji v letu 2019

10.2 Zahteve za kakovost zraka

V Uredbi o kakovosti zunanjega zraka [8] je predpisana mejna vrednost za zaščito zdravja, in sicer kot 8-urna mejna vrednost. Mejna vrednost ter smernice WHO so prikazane v tabeli 10.1.

Tabela 10.1: Mejna vrednost za ogljikov monoksid [8], ter smernice WHO [1]

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

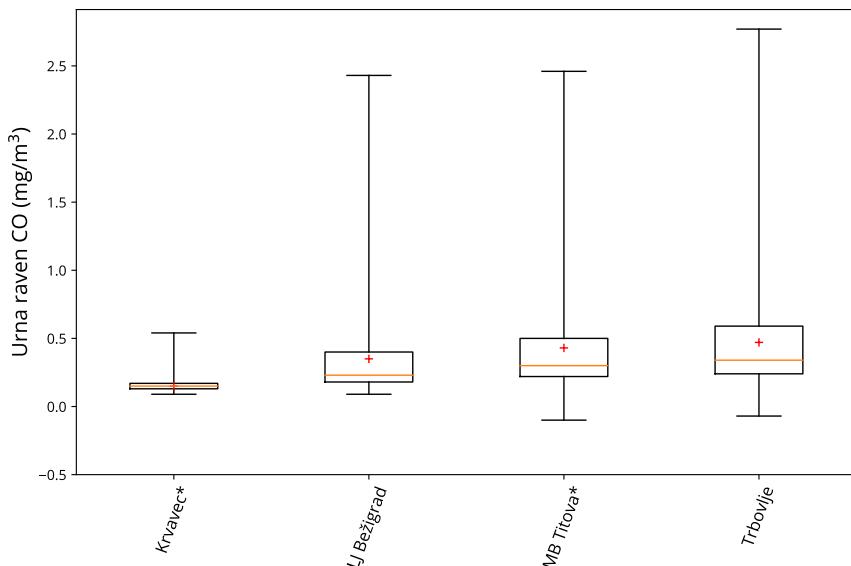
10.3 Ravni onesnaženosti

Ravni ogljikovega monoksida so na območju Slovenije zelo nizke, tako je bilo tudi v letu 2020. V Ljubljani Bežigrad in Trbovljah so ravni precej pod mejno vrednostjo (tabela 10.2 in slika 10.3) za varovanje zdravja. Vrednosti izmerjene v Mariboru in na Krvavcu so zgolj informativne, ker meritve niso potekale celo leto. Meritve CO so bile v okviru projekta Sinica v Mariboru zaključene maja, na Krvavcu pa oktobra. V zadnjih desetih letih so najvišje dnevne 8-urne povprečne vrednosti pod spodnjim ocenjevalnim pragom, zato lahko ravni CO v prihodnje ocenimo z indikativnimi meritvami, subjektivno oceno ali modelskimi rezultati. Na vseh merilnih mestih so ravni CO pod priporočenimi vrednostmi svetovne zdravstvene organizacije že več let.

Tabela 10.2: Razpoložljivost podatkov (% pod), letna raven (C_p) in najvišja 8-urna raven (C_{max}) v mg/m³, število preseženih mejnih vrednosti (MV) in smernic WHO v letu 2020.

	Leto % pod	8 ur			1ura WHO
		C_p	C_{max}	MV	
LJ Bežigrad	100	0,3	2,1	0	0
MB Titova*	39	0,4	2,2	0	0
Trbovlje	100	0,5	2,3	0	0
Krvavec*	71	0,1	0,3	0	0

* Podatki so informativnega značaja zaradi prevelikega izpada meritve.



Slika 10.3: Urna raven CO na merilnih mestih DMKZ v letu 2020. 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). Znak + označuje letno raven. * Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.

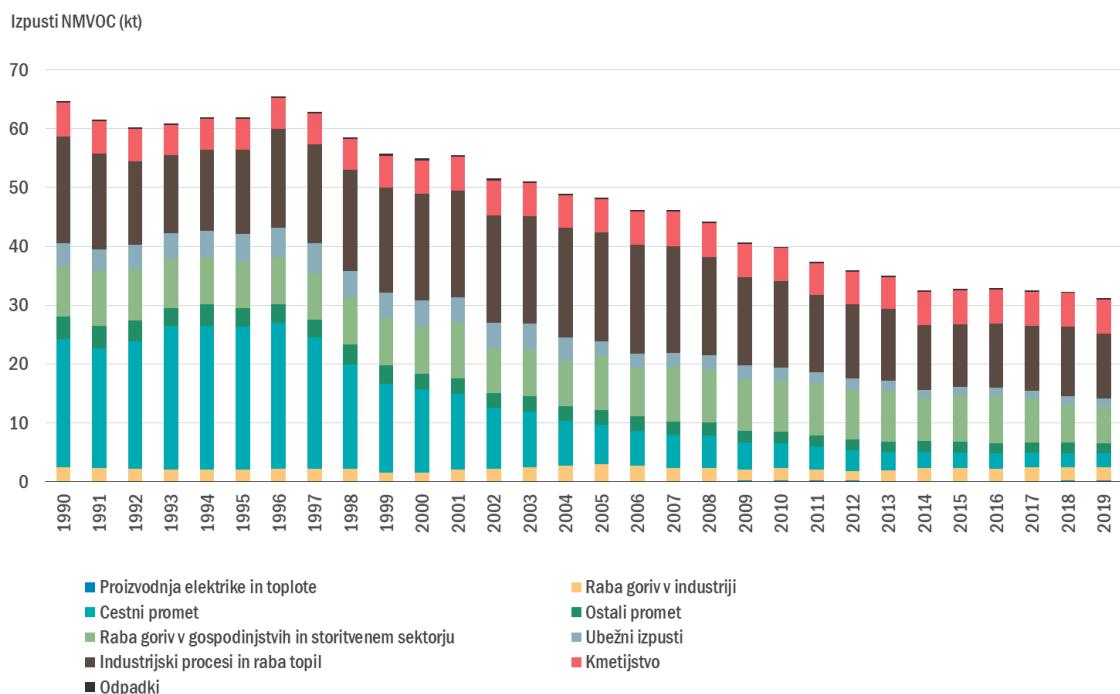
11. Benzen

Benzen je aromatska spojina s formulo C₆H₆. 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 nekateri med njimi škodljivo vplivajo na zdravje ljudi. Te snovi povečujejo tvorbo prizemnega ozona in sodelujejo pri učinku tople grede. V telo prihajajo preko respiratornega sistema. Benzen je kancerogen. Ob dolgotrajni izpostavljenosti vpliva na spremembo genetskega materiala v celicah. Kronična izpostavljenost lahko poškoduje kostni mozeg, kar povzroča zmanjšanje števila belih in rdečih krvnih celic.

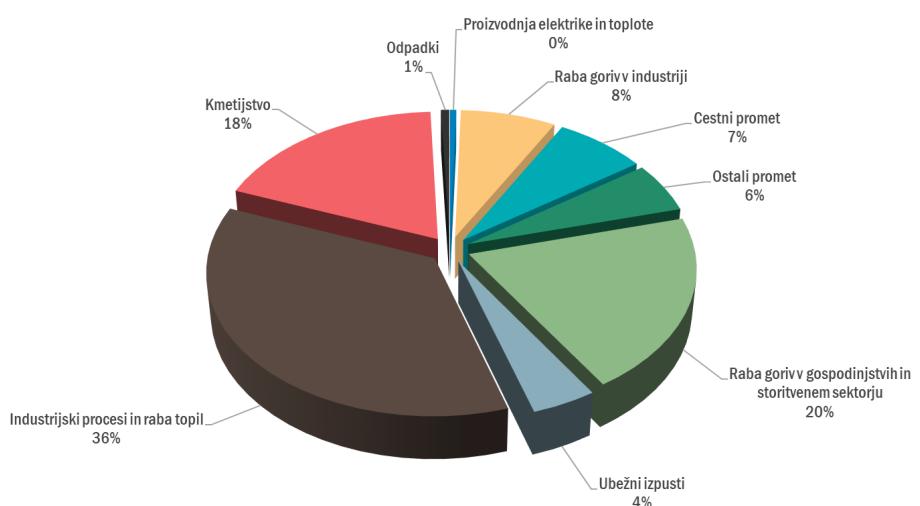
Benzen je dokaj stabilna spojina, ki lahko v ozračju ostane več dni in se zato lahko prenaša na daljše razdalje. V tem času se iz ozračja izloča s pomočjo fotokemičnih reakcij, ki vodijo do tvorbe ozona. Glavni vir izpustov benzena je promet. Benzen se namreč uporablja kot ena izmed sestavin bencina. Drugi viri benzena so še industrija nafte in plina ter dejavnosti, pri katerih se uporabljajo oziroma proizvajajo veziva, barve in topila. Vir benzena so tudi individualna kurišča, kjer se v zadnjem času za kurjenje uporablja vse več lesa in lesnih odpadkov. Naravni izvor benzena so vulkani in gozdni požari. Prisoten je tudi v cigaretinem dimu.

11.1 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 2019 prispevali industrijski procesi in raba topil (36 %). Znaten del izpustov prispevajo male kurišne naprave, ki so predvsem produkti nepopolnega zgorevanja v zastarelih kurišnih napravah na les. Izpusti NMVOC po posameznih virih so prikazani na slikah 11.1 in 11.2.



Slika 11.1: Letni izpusti nemetanskih hlapnih organskih spojin po sektorjih v Sloveniji.



Slika 11.2: Izpusti nemetanskih hlapnih organskih spojin po sektorjih v Sloveniji v letu 2019.

11.2 Zahteve za kakovost zraka

Mejna vrednost za benzen je predpisana v Uredbi o kakovosti zunanjega zraka [8]. Prikazana je v tabeli 11.1. WHO priporočilo znaša $1,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Tabela 11.1: Mejna vrednost za benzen.

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

11.3 Ravní onesnaženosti

V okviru merilne mreže DMKZ stalno merimo ravni benzena na merilnih mestih Ljubljana Bežigrad in Maribor Titova. Poleg teh dveh merilnih mest objavljamo podatke o ravneh benzena tudi iz dveh merilnih mest dopolnilne merilne mreže, Ljubljana Center in Medvode. V letu 2020 so bile izmerjene povprečne letne ravni benzena na vseh merilnih mestih približno enake in tako kot že vsa leta poprej pod mejno vrednostjo (tabela 11.2).

Iz slike 11.3 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. Povprečni dnevni hod ravni benzena, prikazan za merilni mesti Ljubljana Bežigrad in Maribor Titova na sliki 11.4, ni izrazit.

Najvišja urna raven benzena je bila na merilnem mestu Ljubljana Bežigrad izmerjena januarja in je znašala $11,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Prav tako je bila januarja izmerjena najvišja povprečna mesečna vrednost, in sicer $4,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Na merilnem mestu Maribor Titova je bila najvišj urna raven bezena izmerjena v novembру, znašala je $7,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Najvišja povprečna mesečna vrednost na tem merilnem mestu je bila zabeležena decembra, in sicer $2,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Zaradi težav z delovanjem merilnika na merilnem mestu Maribor Titova za januar in junij nimamo podatkov o urnih ravneh benzena. Prav tako je bil zaradi težav z merilnikom na tem merilnem mestu daljši izpad meritev februarja, meritve so potekale le šest dni.

Tabela 11.3 in slika 11.5 prikazujeta primerjavo ravni benzena po letih. Od leta 2009 naprej je v Mariboru zaznati izrazit padec ravni benzena, ker se je zaradi izgradnje obvoznice v tem letu znatno zmanjšal promet v neposredni okolici merilnega mesta. Medletna variabilnost, ki jo opazimo v obdobju po izrazitem padcu, je posledica spremenljivih meteoroloških pogojev.

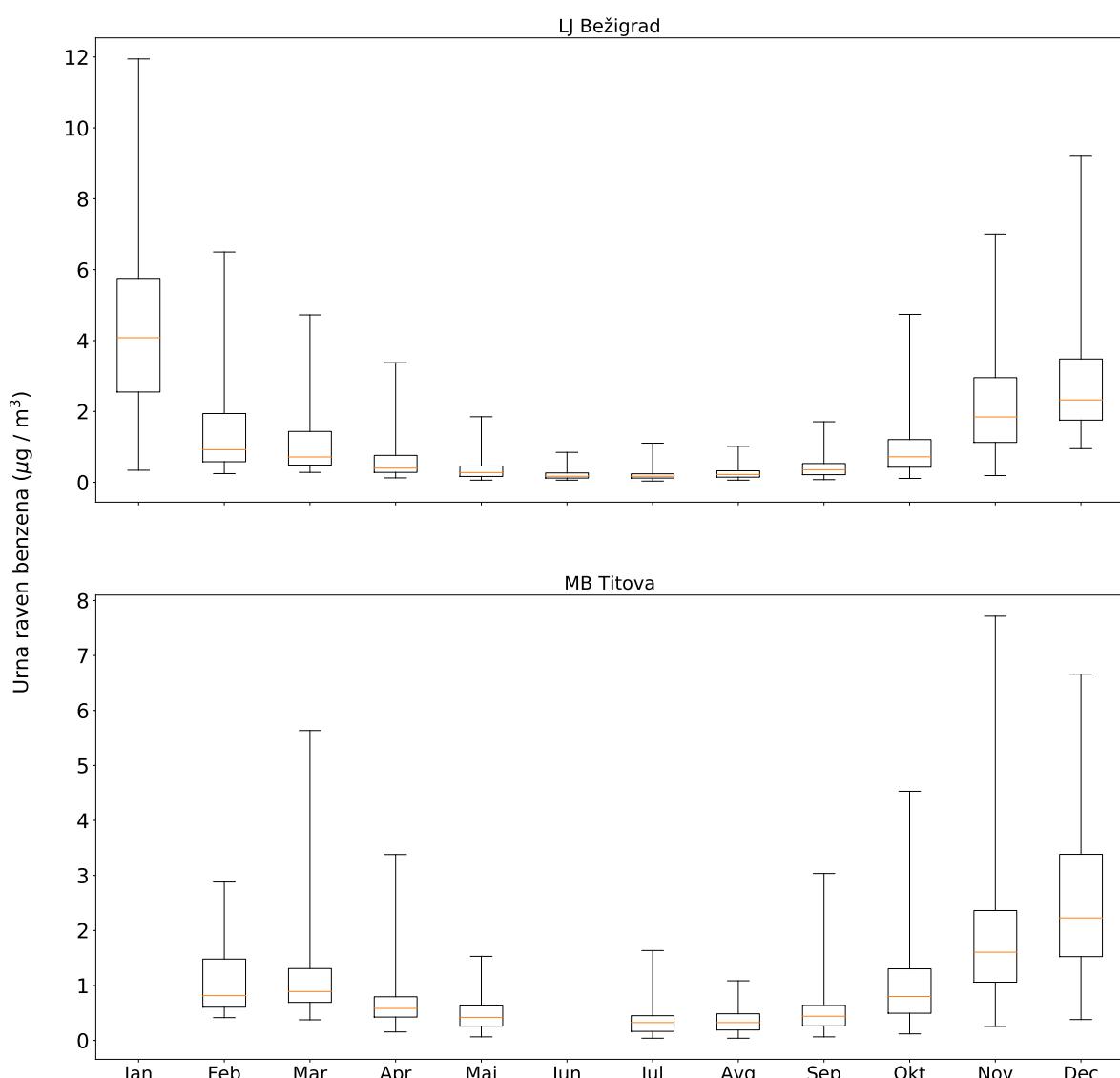
Tabela 11.2: Razpoložljivost urnih podatkov (%) pod) in povprečne letne ravni (C_p) benzena v $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

	% pod	C_p
LJ Bežigrad	87	1,2
MB Titova	59	1,1
LJ Center	74	1,3
Medvode	87	1,2

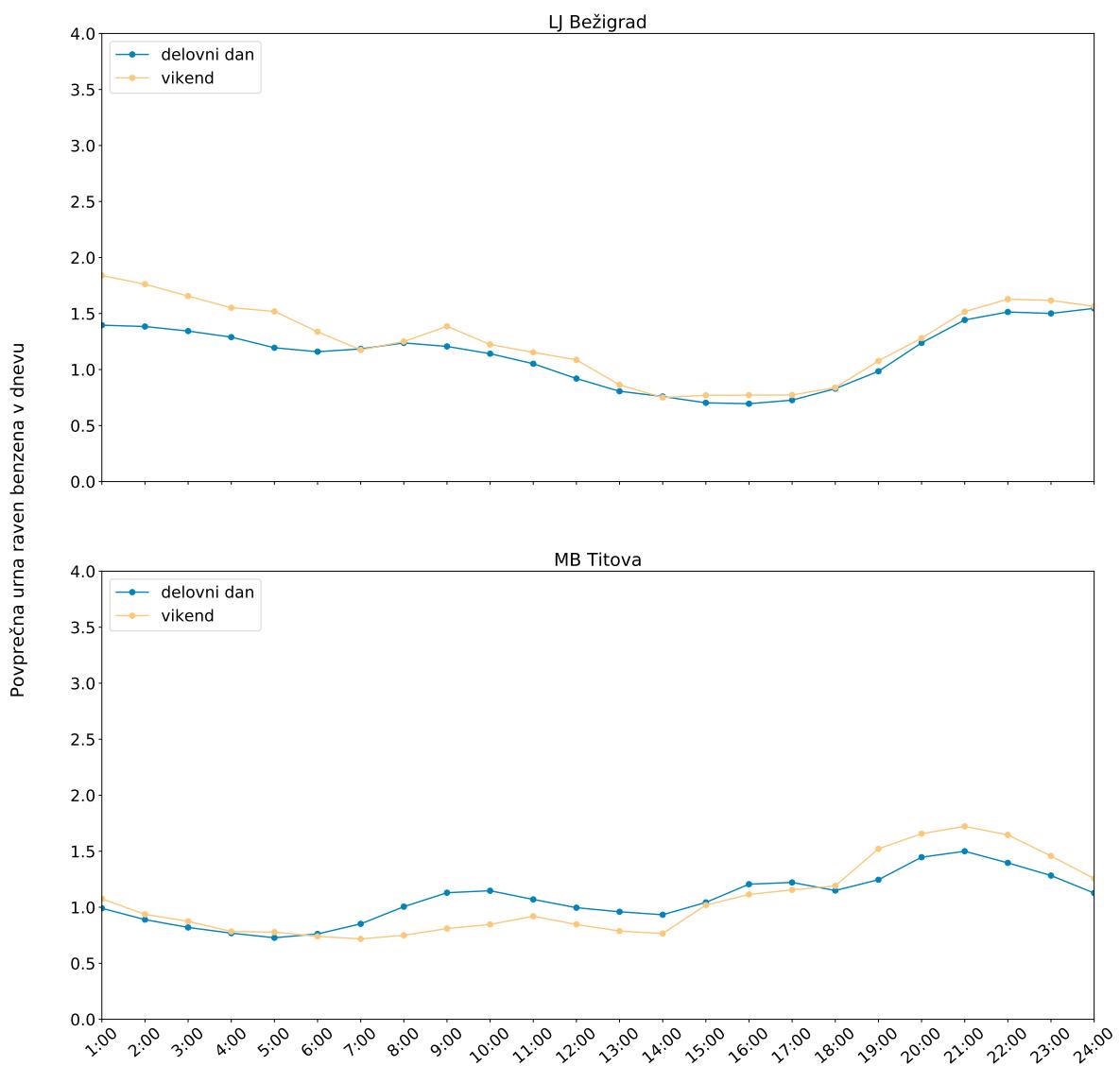
Tabela 11.3: Povprečna letna raven benzena ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) za obdobje 2007 - 2020

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
LJ Bežigrad	2,1	2,4	1,7	1,8	1,8	1,4	1,6	1,0	1,3	1,9	/	1,5	1,1	1,2
MB Titova	3,6	3,8	1,5	1,8	2,1	1,6	1,8	1,5	1,6	1,4	0,7	0,7*	1,5*	1,1
LJ Center	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	3,0	2,4	2,2	1,3
Medvode	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	1,4	1,2	1,2

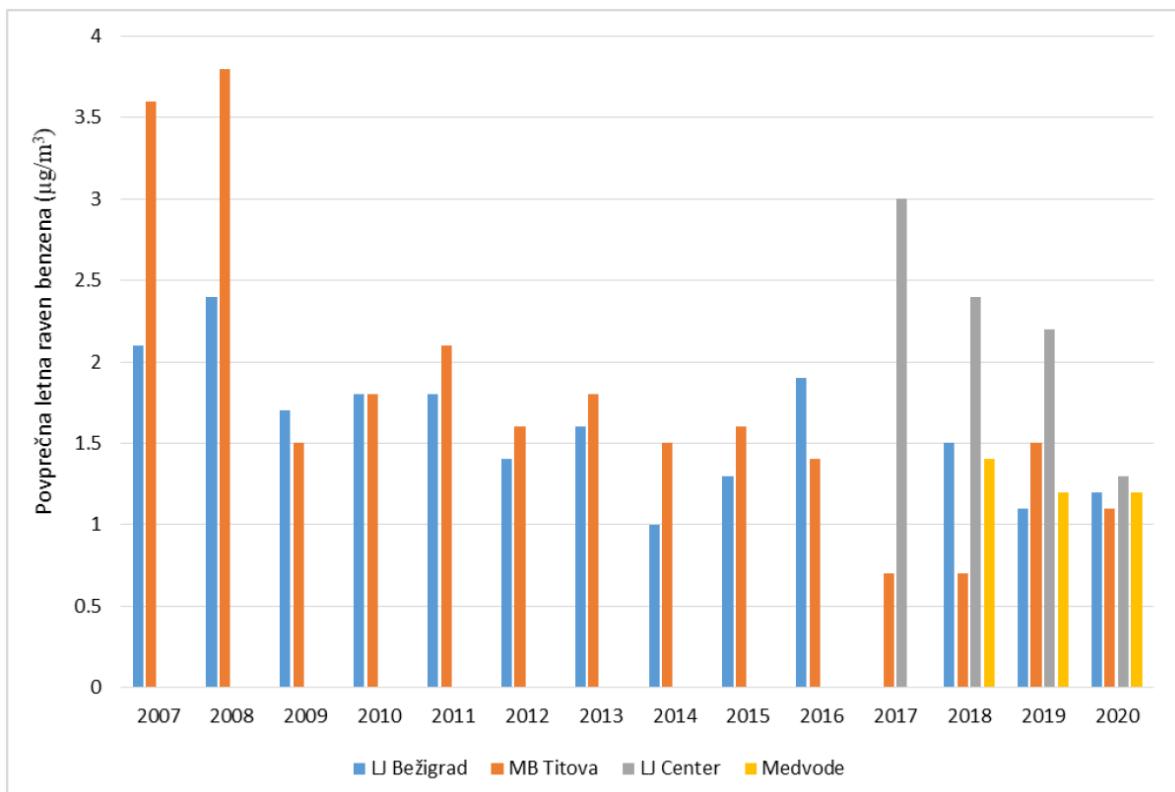
* Merilnik v okvari.



Slika 11.3: Porazdelitev urnih ravn benzena po mesecih v letu 2020. 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 11.4: Urni potek ravni benzena v letu 2020 na postajah Ljubljana Bežigrad in Maribor Titova.

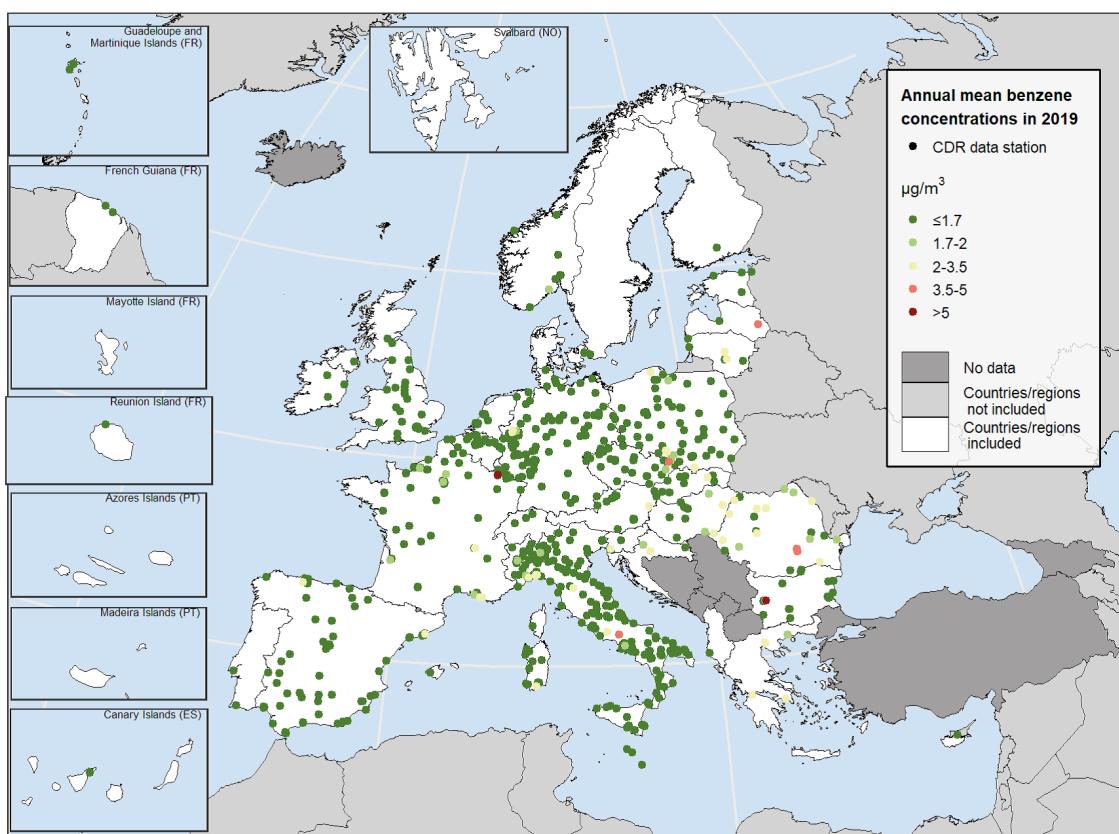


Slika 11.5: Povprečne letne ravni benzena po letih na postajah LJ Bežigrad, MB Titova, LJ Center in Medvode. Posamezne ravni na merilnih postajah so prikazane z različno obarvanimi stolpcji.

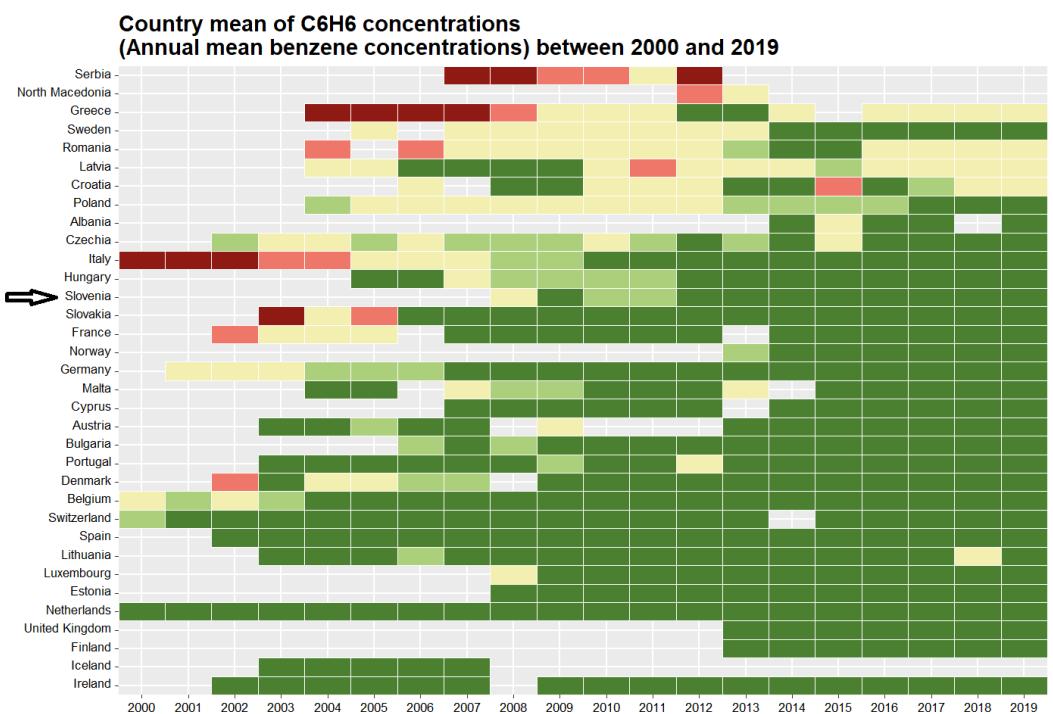
11.4 Primerjava ravni onesnaženosti z EU

O ravneh benzena je v letu 2019 poročalo 31 evropskih držav iz 749 merilnih mest. Letna mejna vrednost $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ je bila presežena le na dveh merilnih mestih, v Bolgariji (mestno ozadje) in v Franciji (predmestno industrijski tip). V letu 2019 je bila na 93 % merilnih mest povprečna letna raven benzena nižja od $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (slika 11.6). Po priporočilu WHO povprečna letna vrednost benzena naj ne bi presegala $1.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$. V letu 2019 temu kriteriju ni zadostilo 11 % vseh merilnih mest v 15 evropskih državah.

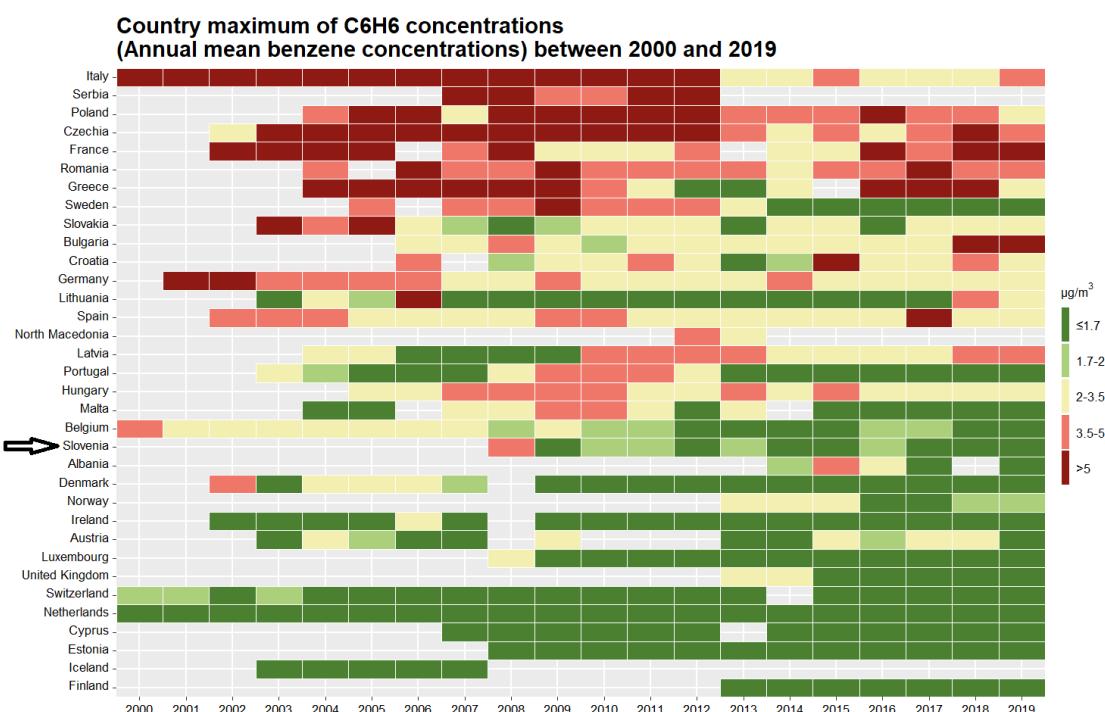
Na sliki 11.7 so prikazane povprečne letne ravni benzena v posameznih državah Evropske unije za leta 2000 do 2019, na sliki 11.8 pa so prikazane najvišje izmerjene letne ravni benzena po državah EU za enako obdobje 2000 do 2019. V Sloveniji so ravni benzena nizke, precej pod mejno vrednostjo za varovanje zdravja že vsa leta meritev. Slovenija tako sodi med mnoge države z nizko onensaženostjo zraka z benzenom.



Slika 11.6: Onesnaženost držav Evropske unije z benzenom [2] v letu 2019. S pikami so označena poročana merilna mesta v EU, z barvo pa razred v katerega se uvrščajo glede na letno raven benzena.



Slika 11.7: Povprečne letne ravni benzena po državah Evropske unije v obdobju od leta 2000 - 2019 [2]. Število, lokacije in kvalifikacije merilnih mest so lahko z leti različne.



Slika 11.8: Maksimalne letne ravni benzena po državah Evropske unije v obdobju od leta 2000 - 2019 [2]. Število, lokacije in kvalifikacije merilnih mest so lahko z leti različne.

12. Živo srebro v zraku

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

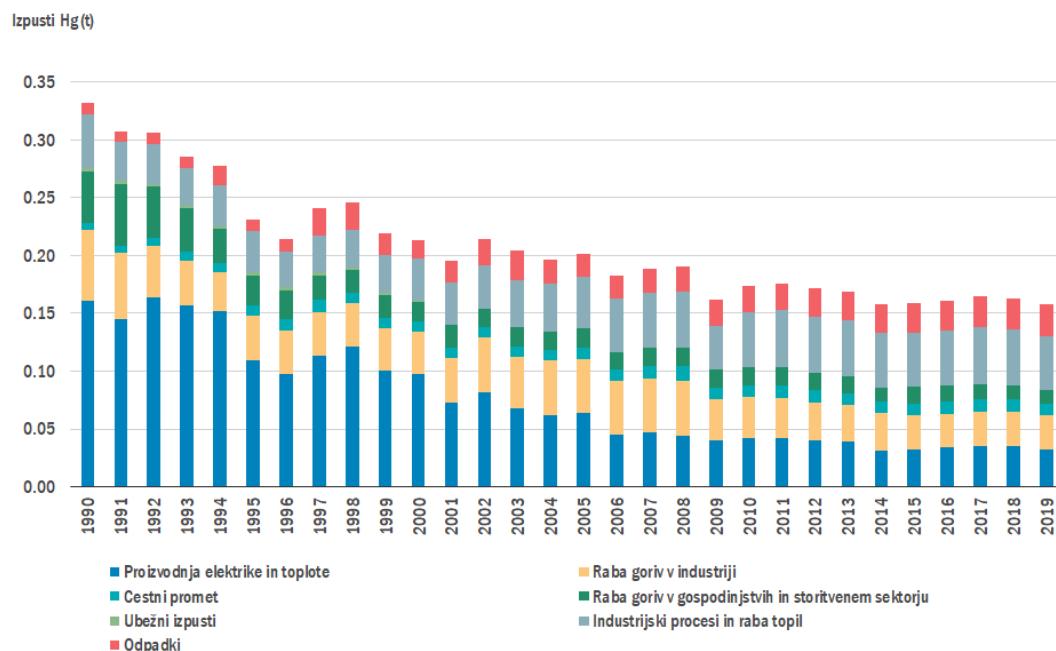
Količina živega srebra, sproščenega v atmosfero, se je povečala s pričetkom industrijske dobe. Največji delež živega srebra v atmosferi predstavljajo pare elementarnega živega srebra. Te v ozračju krožijo do enega leta, zato se lahko na široko razpršijo in od virov emisij prepotujejo na tisoče kilometrov.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

Živo srebro se intenzivno nabira v vodni prehranjevalni verigi. Deponirano živo srebro lahko določeni mikroorganizmi pretvorijo v metilno živo srebro. Le-to je visoko neurotoksična oblika živega srebra, ki se vgradi v tkiva rib, školjk in živali, ki jih ribe jedo. Plenilski organizmi na vrhu prehranjevalne verige na splošno vsebujejo višje koncentracije živega srebra. Skoraj vse živo srebro, ki se nabira v ribjem tkivu, je metilno živo srebro. Anorgansko živo srebro, ki se manj učinkovito absorbira in se lažje izloči iz telesa kot metilno živo srebro, ni podvrženo bioakumulaciji [25].

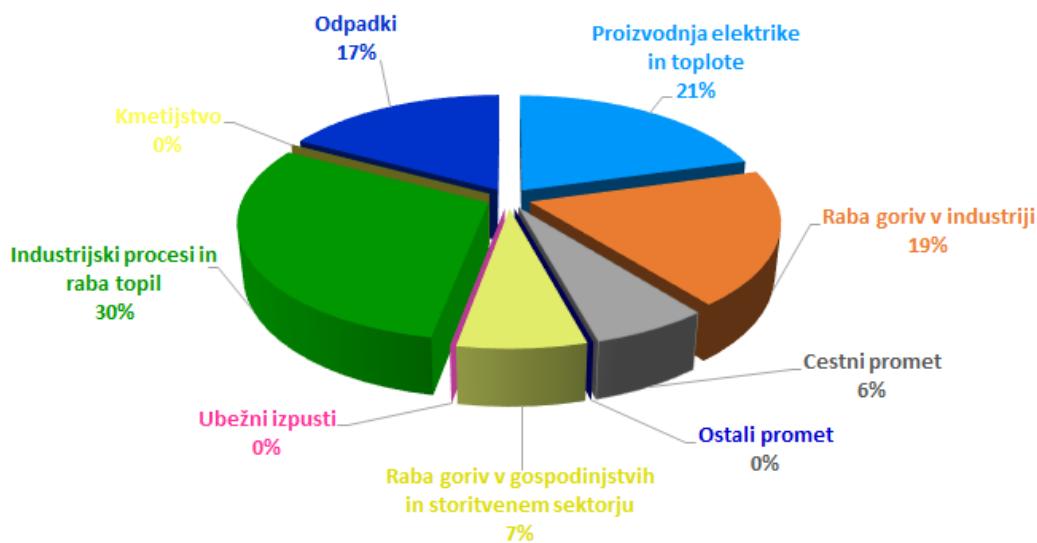
Izpostavljenost živemu srebru ogroža človekovo zdravje s številnimi, pogosto nepopravljivimi strupenimi učinki. Najbolj ogroženi so otroci, ki so lahko izpostavljeni metilnemu živemu srebru že v maternici, če se mati prehranjuje z onesnaženimi ribami in školjkami. Ta izpostavljenost lahko negativno vpliva 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.

12.1 Izpusti

Letni izpusti živega srebra (Hg) so v Sloveniji leta 2019 podobno kot v preteklih letih znašali manj kot 0,2 tone. V primerjavi z letom 1990 so se zmanjšali za 52 %. Največji delež k skupnim državnim izpustom živega srebra so v letu 2019 prispevali industrijski procesi in raba topil (30 %), sledi proizvodnja elektrike in toplice (21 %) raba goriv v industriji (19 %) odpadki (17 %) in raba goriv v gospodinjstvih in storitvenem sektorju (7 %). Prispevki cestnega in ostalega prometa so znašalinekoliko manj kot (6,5 %), ubežni izpusti pa so znašali pod (1 %). 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 12.1 in 12.2.



Slika 12.1: Letni izpusti živega srebra po sektorjih v Sloveniji



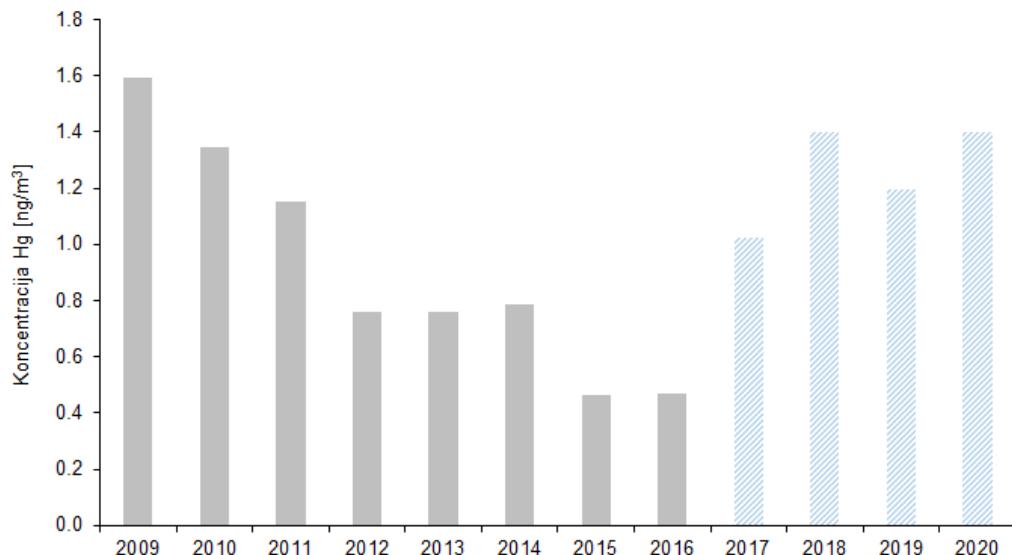
Slika 12.2: Izpusti živega srebra po sektorjih v Sloveniji v letu 2019

12.2 Ravni onesnaženosti

Meritve koncentracij 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 [9] 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 meritvev, s katerim zagotavljamo najmanj 14-odstotno pokritost z meritvami na letnem nivoju. Povprečna koncentracija Hg v zraku v letu 2020, 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 podajamo v drugačni, modri barvi. Ker je v letu 2020 potekala prenova merilnega mesta, smo meritve koncentracije Hg v zraku lahko izvajali le v prvi polovici leta. Pokritost z meritvami Hg v zraku na letnem nivoju je bila v letih od 2017 do 2020 manjša od 75 odstotkov, zato rezultate teh meritvev podajamo zgolj kot informativne vrednosti.

Tabela 12.1: Povprečne letne koncentracije živega srebra v zraku v ng/m^3 na merilnem mestu Iskrba od leta 2009 dalje.

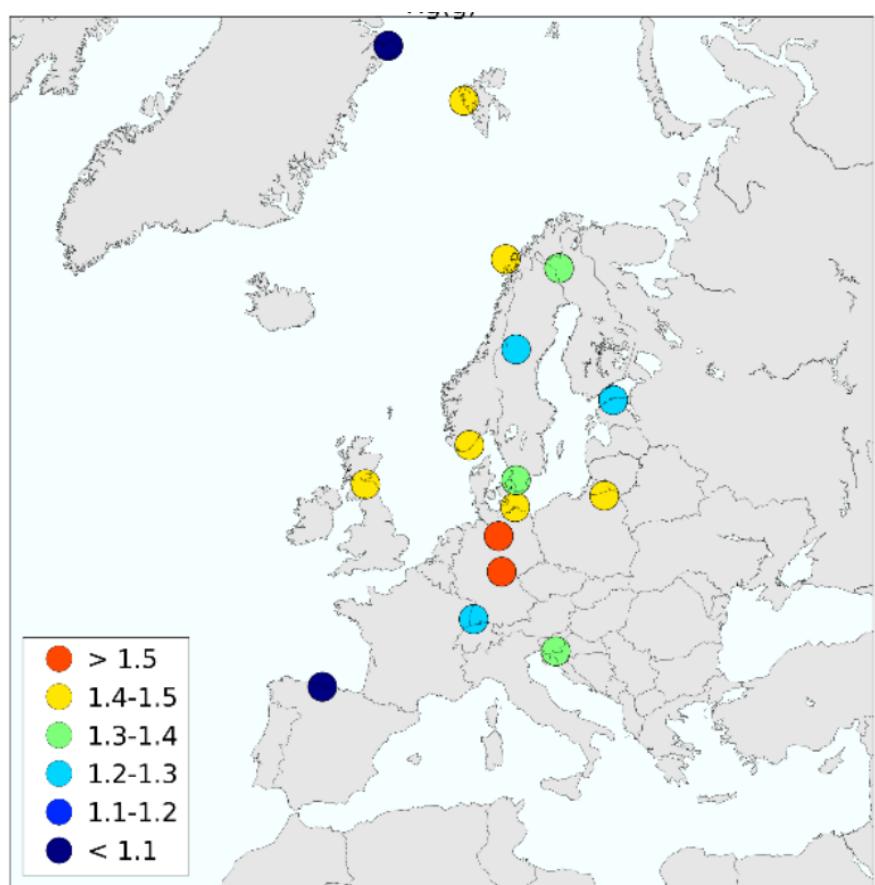
2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
1,6	1,3	1,2	0,8	0,8	0,8	0,5	0,5	1,0	1,4	1,2	1,4



Slika 12.3: Letne ravni živega srebra na Iskrbi od leta 2009 dalje

12.3 Primerjava ravni onesnaženosti v Evropi

Povprečna letna koncentracija Hg v zraku izmerjena v Sloveniji v letu 2020 je znašala $1,4 \text{ ng}/\text{m}^3$, kar je za $0,2 \text{ ng}/\text{m}^3$ više kot v preteklem letu in na enakem nivoju kot v letu 2018. Glede na podatke EMEP za leto 2018 sodi merilno mesto Iskrba med srednje onesnažene v Evropi [26].



Slika 12.4: Geografska porazdelitev živega srebra v zraku v Evropi v letu 2019 na neobremenjenih merilnih mestih [26]

13. Kakovost padavin

Kemijska sestava padavin je eno izmed meril onesnaženosti zraka. Z vidika kakovosti zraka je v padavinah najpomembnejša vsebnost produktov oksidacije najpogostejših onesnaževal v zraku (SO_2 , NO_x , CO, ogljikovodiki). Ti v obliki disociiranih kislin (SO_4^{2-} , NO_3^- , CO_3^{2-} , Cl^-) povzročajo kislost padavin. H kislosti padavin lahko v manjši meri prispevajo tudi specifična onesnaževala (fluoridi, fosfati, organske kisline). Te spojine se pojavljajo v nižjih ravneh kot pa žveplove in dušikove spojine. V skladu z mednarodnim dogovorom so kisle padavine tiste, katerih pH vrednost je manjša od 5,6 [27].

Kislost padavin je odvisna 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. Dušikove spojine prispevajo tudi k evtrofikaciji. Spremljanje padavin določa Uredba o arzenu, kadmiju, živem srebru, niklju in policikličnih aromatskih ogljikovodikih v zunanjem zraku [9]. Za meritve parametrov v padavinah mejne in ciljne vrednosti niso določene. Meritve z merilnega mesta Iskrba posredujemo v izmenjavo na EEA in EMEP [28], ostalih meritev v okviru DMKP pa ne pošiljamo.

Velik vpliv na ravni onesnaževal ima gibanje zračnih mas, pri čemer prihaja do prenosa onesnaževal na velike razdalje. V mirnem ozračju pa na ravni onesnaževal, tudi v padavinah, bolj vplivajo lokalne razmere. Ravni natrijevih in kloridnih, pa tudi kalcijevih in sulfatnih ionov so tako v neposredni povezavi z gibanjem zračnih mas in oddaljenostjo od morja (slika 13.7). 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 in posledično z večjo mikrobiološko aktivnostjo v njih, kot tudi s povečanimi kmetijskimi aktivnostmi. Povečane kmetijske aktivnosti na lokalnem nivoju vplivajo tudi na ravni dušika nitratnega izvora.

13.1 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 [29] ter v skladu Priročnikom EMEP [30]. Za vzorčenje uporabljamo t.i. *wet-only* vzorcevalnike, 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.

13.1.1 Podajanje rezultatov meritev

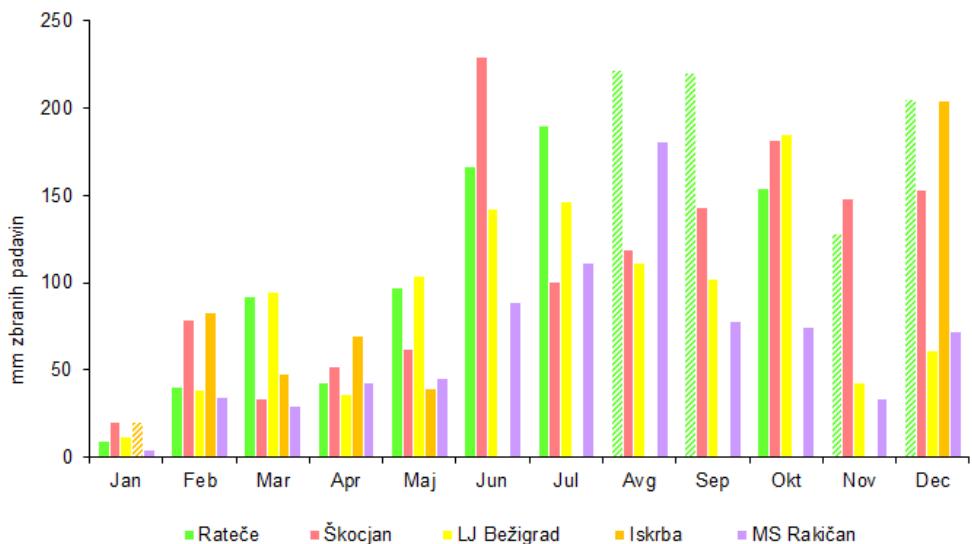
Za primere, ko smo za določen termin z vzorčevalniki uspeli zbrati manj kot 90 % padavin glede na podatke meteoroloških meritev, rezultate ekoloških meritev padavin za posamezne parametre podajamo zgolj informativno. Takšni so rezultati meritev z merilnega mesta Rateče iz leta 2009, ko je zaradi okvare vzorčevalnika prišlo do izpada večje količine meritev padavin. Prav tako so zgolj informativne narave rezultati meritev z merilnega mesta LJ Bežigrad iz leta 2013, ko je zaradi gradnje prizidka vzorčenje potekalo le do konca meseca oktobra. V letih 2014 in 2015 vzorčenj na tej lokaciji nismo izvajali. V informativni obliki podajamo tudi rezultate meritev z merilnega mesta Iskrba za september leta 2010, ko zaradi izrednih razmer ni bila zbrana zadostna količina padavin, in podatke s treh merilnih mest (Iskrba, LJ Bežigrad in MS Rakičan) za leto 2017, ko je zaradi nepravilnega delovanja vzorčevalnikov zbrana količina padavin od vrednosti meteoroloških meritev padavin odstopala za več kot 10 %. Podobno so zgolj informativne narave rezultati meritev za merilno mesto Iskrba za leto 2020, saj je na tem merilnem mestu potekala prenova od sredine maja do konca novembra. Zaradi izjemno visokih tedenskih količin padavin na merilnem mestu Rateče, v kar 5 od skupaj 53 tednov leta 2020, nismo uspeli zbrati celotne količine padavin, zato tudi rezultate teh meritev podajamo zgolj informativno.

13.1.2 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 [30] podatki za to postajo niso veljavni in jih zato podajamo kot informativne vrednosti.

Iz slike (slika 13.1) je razvidno, da je v prvih petih mesecih leta 2020 na vseh merilnih mestih padlo znatno manj padavin kot v mesecih od junija do decembra. Kot običajno je bilo padavin največ na merilem mestu Rateče, najmanj pa na merilnem mestu MS Rakičan. Količina padavin na merilnih mestih Škocjan, Rateče in LJ Bežigrad je v večini mesecev primerljiva.

V letu 2020 smo imeli največji (65,4 %) izpad vzorcev padavin na merilnem mestu Iskrba pri Kočevski Reki. Do tako velikega izpada je prišlo zaradi prenove merilnega mesta, ki je trajala od sredine maja do konca novembra 2020. Precej velik izpad vzorcev padavin smo imeli tudi na merilnem mestu Rateče (17,7 %), kar je posledica izjemno velike količine padavin (preko 100 mm) v 35., 39., 40., 49. in 53. tednu, ko opazovalec ni opravil menjave plastenk. Na ostalih postajah so bile razlike med ekološkimi in meteorološkimi količinami padavin pod 10 %. Letni podatki za merilni mestni Iskrba in Rateče, so zato v tabelah podani v ležeči pisavi.



Slika 13.1: Mesečna količina padavin zbranih za določitve pH, el. prevodnosti in nekaterih ionov z ekološkimi vzorčevalniki v letu 2020

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

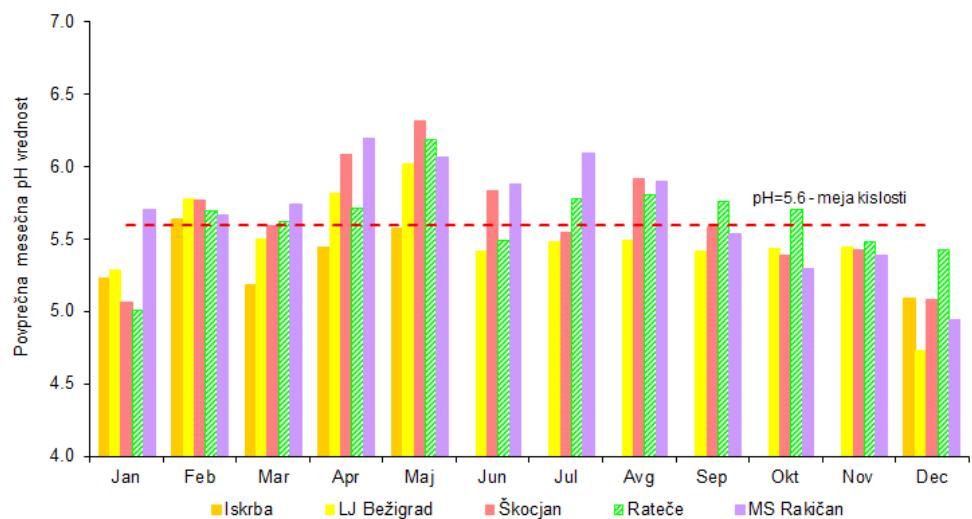
Pretežni del leta so bile padavine najmanj kisle na meritnih mestih Rateče in MS Rakičan, saj je bila njihova pH vrednost med februarjem in oktobrom v kar osmih mesecih leta 2020 nad mejo kislosti (Slika 13.2). Nekoliko bolj kisle so bile padavine na meritnem mestu Škocjan, kjer so bile pH vrednosti padavin nad mejo kislosti (vrednost 5,6) od februarja do vključno junija ter v avgustu. Najnižje so bile vrednosti pH v padavinah na meritnih mestih LJ Bežigrad in Iskrba. Višje pH vrednosti od marca do septembra povezujemo predvsem s koncentracijami amonijevih ionov, ki so posledica kmetijskih aktivnosti in izparevanja zaradi višjih temperatur 13.3. Sicer pa k povišanju pH vrednosti prispevajo tudi kalcijevi in magnezijevi ioni, ki nad naše kraje prispejo s puščavskim prahom.

Porazdelitev mokrih usedlin ionov, ki poglavito vplivajo na zakisljevanje in evtrofikacijo, je po mesecih prikazana na slikah 13.3 do 13.4. Mokre usedline amonijevih ionov so bile po pričakovanjih tudi v letu 2020 na večini meritnih mest višje v toplejšem delu leta, ko je v zraku več amoniaka, le ta pa se s padavinami spere na tla.

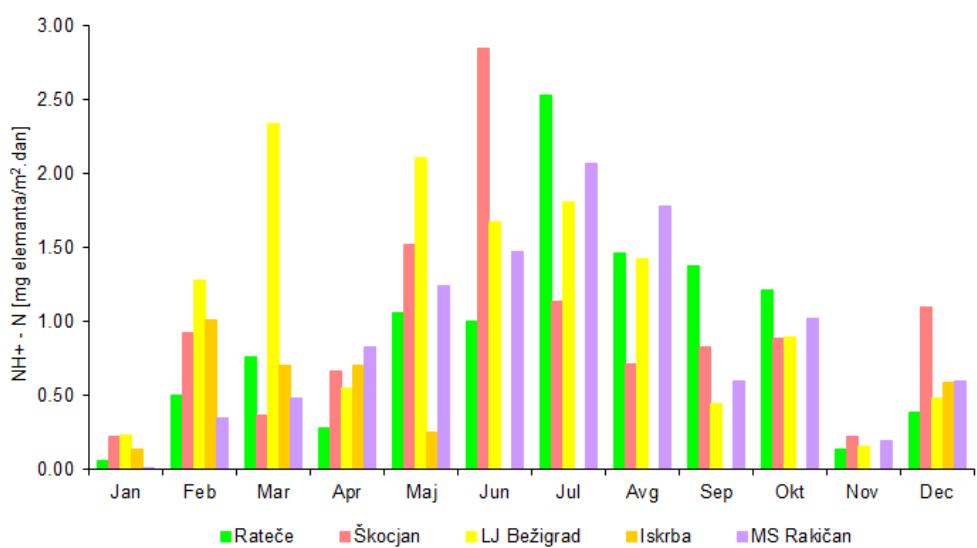
Mesečne mokre usedline nitratnih in sulfatnih ionov so bile tudi v letu 2020 povezane predvsem z mesečno količino padavin, saj se z večjo količino padavin iz zraka praviloma spere tudi več teh onesnaževal.

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

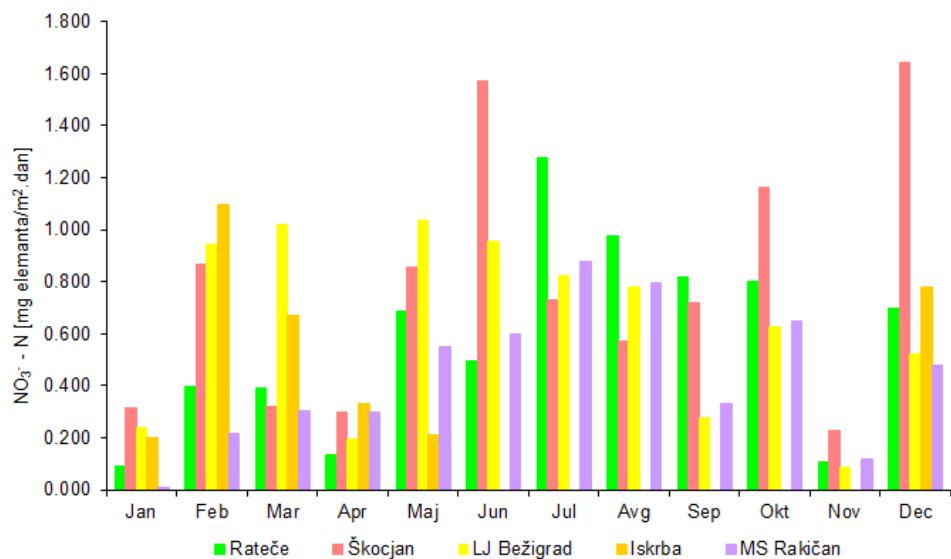
Povprečne letne vrednosti pH, električne prevodnosti in ravni posameznih anorganskih ionov v padavinah ter njihove minimalne in maksimalne vrednosti za leto 2020 so podane v tabeli 13.1. Grafično so povprečne letne ravni posameznih ionov prikazane na sliki 13.7, kjer so podane tudi



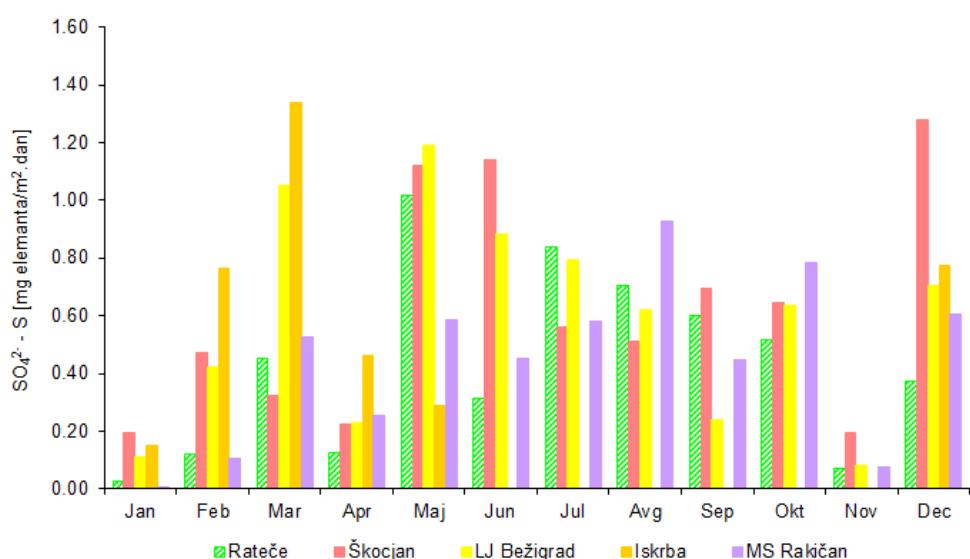
Slika 13.2: Povprečne mesečne pH vrednosti padavin v letu 2020



Slika 13.3: Mesečna mokra usedlina dušika amoniakalnega izvora v padavinah v letu 2020



Slika 13.4: Mesečna mokra usedlina dušika nitratnega izvora v padavinah v letu 2020



Slika 13.5: Mesečna mokra usedlina žvepla sulfatnega izvora v padavinah v letu 2020

letne količine padavin, zbrane na ekoloških vzorčevalnikih.

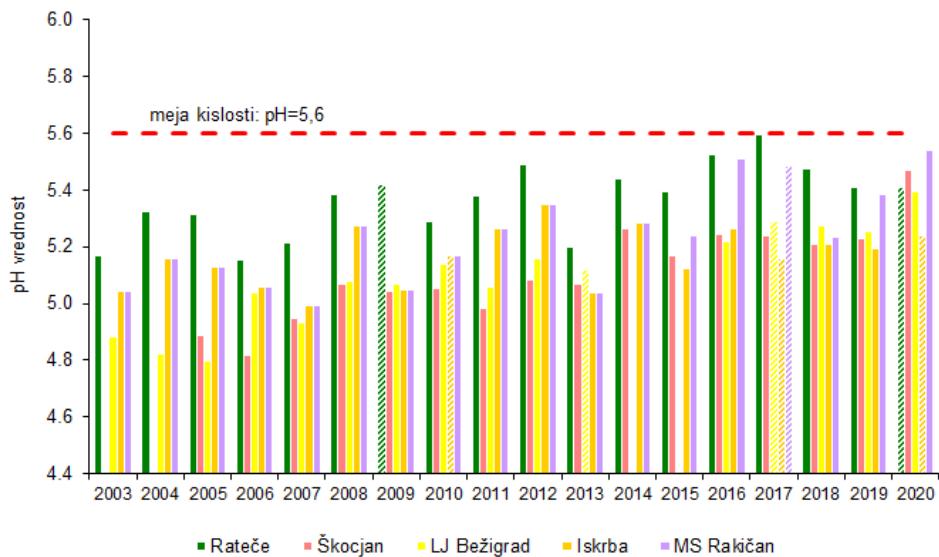
Tabela 13.1: Srednja vrednost (C_p), minimum (C_{min}) in maksimum (C_{max}) pH, električna prevodnost pri 25 °C (el. prev.) ($\mu\text{S}/\text{cm}$) in ravni ionov v padavinah (mg ion/L) na vzorčevalnih mestih DMKP v letu 2020

	pH	El. prev.	$\text{NH}_4^+ \text{-N}$	$\text{NO}_3^- \text{-N}$	$\text{SO}_4^{2-} \text{-S}$	Cl^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+	
Iskrba	C_p	5,24	10	0,226	0,220	0,255	0,880	0,247	0,079	0,572	0,071
	C_{min}	4,51	4	0,043	0,050	0,032	0,064	0,028	0,010	0,032	0,010
	C_{max}	6,53	114	2,90	2,42	9,35	10,0	7,70	0,848	7,41	1,00
LJ Bežigrad	C_p	5,39	8	0,381	0,213	0,198	0,343	0,288	0,048	0,213	0,045
	C_{min}	4,50	2	0,054	0,0,035	0,022	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010
	C_{max}	6,62	43	3,74	2,09	2,91	6,68	10,9	0,624	3,88	0,518
Škocjan	C_p	5,47	9	0,271	0,217	0,172	0,686	0,284	0,059	0,418	0,043
	C_{min}	4,77	2	0,023	0,043	0,015	0,010	0,046	0,010	0,024	0,010
	C_{max}	6,73	21	8,00	7,27	10,0	5,77	10,6	1,06	10,7	0,840
Rateče	C_p	5,64	5	0,213	0,135	0,102	0,223	0,233	0,047	0,113	0,036
	C_{min}	4,88	2	0,021	0,040	0,005	0,010	0,026	0,010	0,010	0,010
	C_{max}	6,74	30	2,45	0,904	1,26	0,821	1,57	0,265	0,531	0,451
MS Rakičan	C_p	5,54	7	0,412	0,202	0,207	0,140	0,211	0,029	0,103	0,047
	C_{min}	4,48	3	0,115	0,071	0,033	0,026	0,044	0,010	0,010	0,010
	C_{max}	6,97	46	4,36	1,74	2,94	0,858	2,03	0,255	3,03	1,19

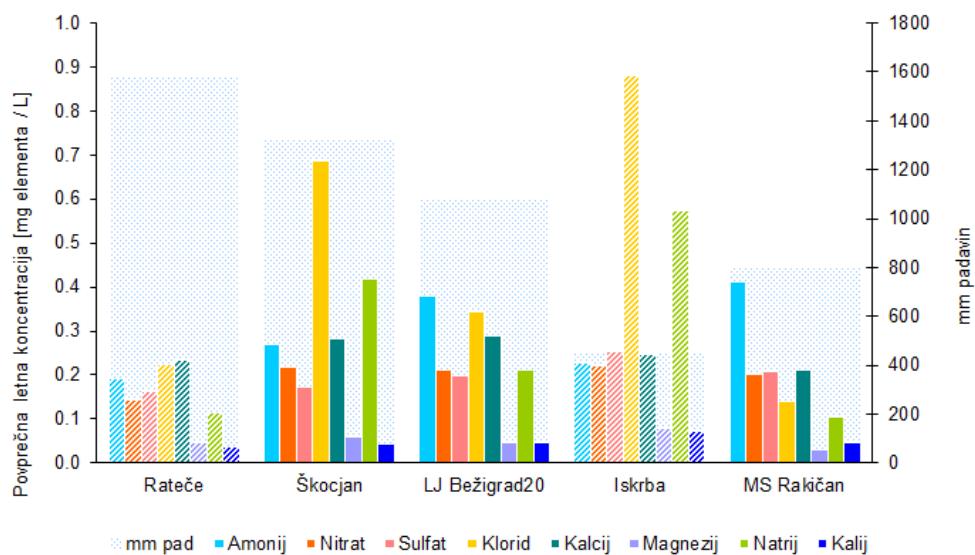
Na sliki 13.6 je prikazana povprečna letna pH vrednosti padavin od leta 2003 dalje. Podobno kot v preteklih letih so bile tudi v letu 2020 nekoliko bolj kisle padavine z merilnih mest Iskrba in LJ Bežigrad, kjer so se vrednosti pH gibale med 4,5 in 6,62. Manj kisle so bile padavine z merilnih mest Rateče in Škocjan, z vrednostmi pH med 4,77 in 6,74. Ocenjujemo, da so v letu 2020 na nekoliko višjo pH vrednost padavin v Škocjanu v primerjavi s preteklimi leti delno vplivale tudi gradbene aktivnosti pri vzpostavljanju kanalizacijske infrastrukture v bližnji in daljni okolini merilnega mesta. Kot vedno, pa so bile najmanj kisle padavine z merilnega mesta MS Rakičan, kjer se je pH vrednost padavin gibala med vrednostma 4,48 in 6,97. Višje pH vrednosti na merilnem mestu MS Rakičan povezujemo s kmetijskimi aktivnostmi, ki potekajo v neposredni bližini in vplivajo na višje ravni amonijevih ionov ter z najnižjimi izmerjenimi vrednostmi kislih kloridnih ionov. Nizko pH vrednost v Ratečah pa povezujemo s pojavom abrazije okoliških kamnin, ki so pretežno apnenčastega izvora in so vir kalcijevih ionov, ki nevtralizirajo kisle komponente.

Iz tabele 13.1 in slike 13.7 je razvidno, da je bila tudi v letu 2020 povprečna letna koncentracija dušika amoniakalnega izvora v mg $\text{NH}_4^+ \text{-N}/\text{L}$ zaradi intenzivnega kmetijstva v neposredni bližini najvišja na merilnem mestu MS Rakičan (0,412 mg $\text{NH}_4^+ \text{-N}/\text{L}$), nekoliko nižja je bila na merilnem mestu LJ Bežigrad (0,381 mg $\text{NH}_4^+ \text{-N}/\text{L}$), še nižja na merilnem mestu Škocjan (0,271 mg $\text{NH}_4^+ \text{-N}/\text{L}$) in najnižja na merilnem mestu Rateče (0,213 mg $\text{NH}_4^+ \text{-N}/\text{L}$). Povprečna koncentracija dušika amoniakalnega izvora na merilnem mestu Iskrba je znašala 0,226 mg $\text{NH}_4^+ \text{-N}/\text{L}$. Moramo pa upoštevati, da v letu 2020 od sredine maja do konca novembra (izvzet je del sezone, ko so koncentracije višje kot v hladnjem delu) s tega merilnega mesta nimamo podatkov.

Povprečne letne koncentracije dušika nitratnega izvora so bile na vseh merilnih mestih na približno enakem nivoju in so se gibale med 0,202 in 0,220 mg $\text{NO}_3^- \text{-N}/\text{L}$, izjema je merilno mesto Rateče, kjer je bila ta raven znatno nižja in je znašala 0,135 mg $\text{NO}_3^- \text{-N}/\text{L}$. Podobno se je tudi raven žvepla sulfatnega izvora na vseh merilnih mestih, razen Rateč, kjer je znašala 0,102 mg $\text{SO}_4^{2-} \text{-S}/\text{L}$, gibala med 0,172 in 0,255 mg $\text{SO}_4^{2-} \text{-S}/\text{L}$. Koncentracije natrijevih (Na^+), kloridnih (Cl^-) in magnezijevih ionov (Mg^{2+}) so bile podobno kot v preteklih letih odvisne od oddaljenosti od morja



Slika 13.6: Povprečne letne pH vrednosti padavin od leta 2003 dalje. Podatki, ki jih podajamo informativno, so v grafih prikazani z enako barvo vendar šrafirano (obrazložitev se nahaja v zadnjem odstavku podpoglavlja 13.1.1).



Slika 13.7: Povprečna letna koncentracija posameznih ionov, izraženih kot element, v padavinah v letu 2020

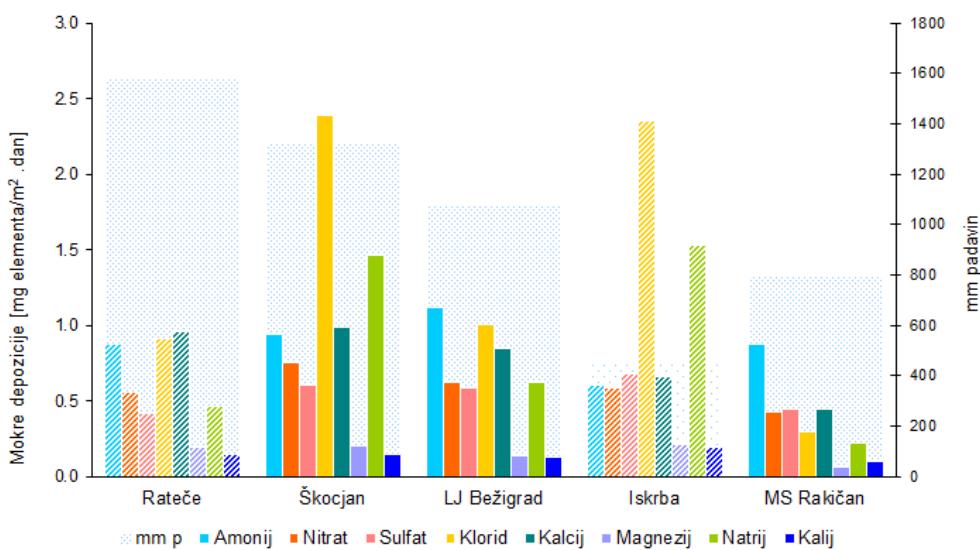
in so bile zato najvišje na merilnem mestu Škocjan, najnižje pa na merilnem mestu MS Rakičan. Ravni ostalih ionov, ki so predvsem naravnega izvora, ostajajo na približno enakem nivoju kot v preteklih letih.

Celotna količina padavin, zbranih z ekološkimi vzorčevalniki, in vrednosti mokrih usedlin posameznih ionov, preračunano v mg na element in na dan, so podane v tabeli 13.2, grafično pa so podane na sliki 13.8.

Tabela 13.2: Letna količina zbranih padavin (mm) in letne mokre usedline ionov v miligramih na kvadratni meter na dan na vzorčevalnih mestih DMKP v letu 2020

	Količina padavin	H ⁺ *	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	SO ₄ ²⁻ -S	Cl ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺
Iskrba	451	5,8	0,605	0,588	0,681	2,35	0,659	0,210	1,53	0,189
LJ Bežigrad	1076	4,05	1,12	0,626	0,583	1,01	0,847	0,140	0,626	0,132
Škocjan	1322	3,40	0,944	0,758	0,600	2,394	0,991	0,206	1,46	0,150
Rateče	1568	2,29	0,873	0,556	0,417	0,913	0,955	0,192	0,464	0,147
MS Rakičan	796	2,88	0,877	0,430	0,441	0,297	0,449	0,062	0,219	0,100

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



Slika 13.8: Mokra usedlina nekaterih ionov po merilnih mestih v letu 2020

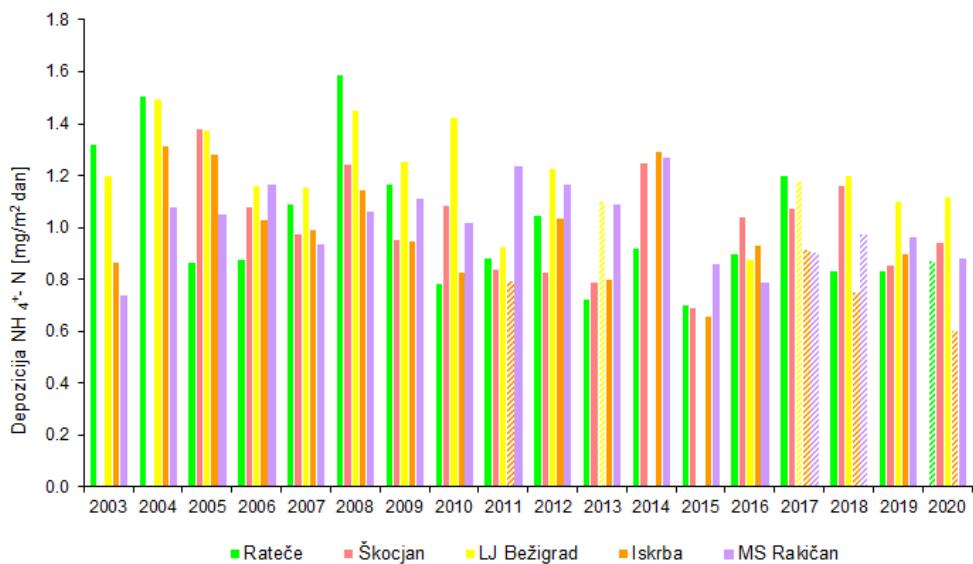
Na zakisljevanje okolja odločilno vplivajo usedline dušika nitratnega izvora in žvepla sulfatnega izvora. Kot navadno smo najvišje mokro usedlino dušika nitratnega izvora na dan v letu 2020 izmerili na merilnem mestu Škocjan, nekoliko nižjo na merilnem mestu LJ Bežigrad, še nižjo na Iskrbi in v Ratečah ter najnižjo v MS Rakičan.

Najvišje depozicije žvepla sulfatnega izvora na dan smo zabeležili na merilnem mestu Iskrba, nekoliko nižje na merilnih mestih Škocjan in LJ Bežigrad, najnižje pa na merilnih mestih MS Rakičan in Rateče.

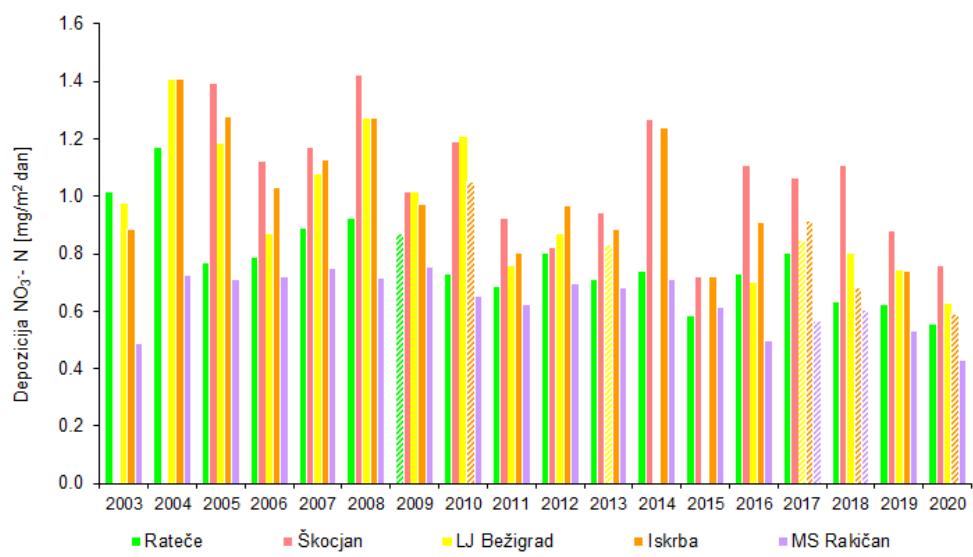
Mokre usedline klorida in natrija so v direktni povezavi z oddaljenostjo merilnih mest od morja in so bile najvišje na merilnem mestu Škocjan, najnižje pa na merilnem mestu MS Rakičan.

Za razliko od preteklih let smo v letu 2020 najvišje mokre usedline kalcijevih ionov določili na merilnem mestu Škocjan. Ocenujemo, da je to posledica gradbene aktivnosti v okolini merilnega

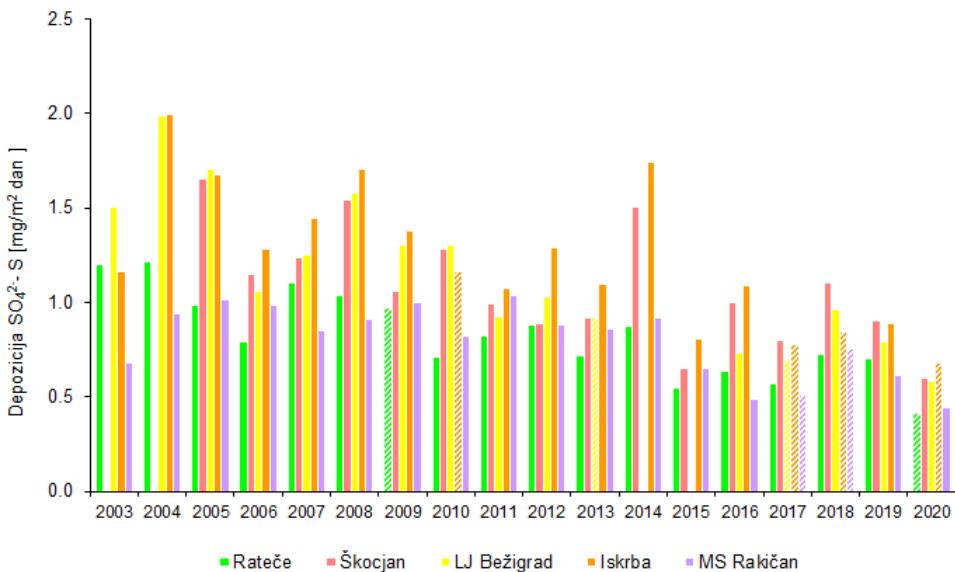
mesta skozi vse leto. Nekoliko nižje so bile mokre usedline kalcijevih ionov na merilnem mestu Rateče, kar je posledica pojava abrazije okoliških apnenčastih kamnin. Še nižje so mokre depozicije kalcijevih ionov na merilnem mestu LJ Bežigrad, sledi merilno mesto Iskrba, daleč najnižje pa so na merilnem mestu MS Rakičan.



Slika 13.9: 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 podpoglavja 13.1.1).



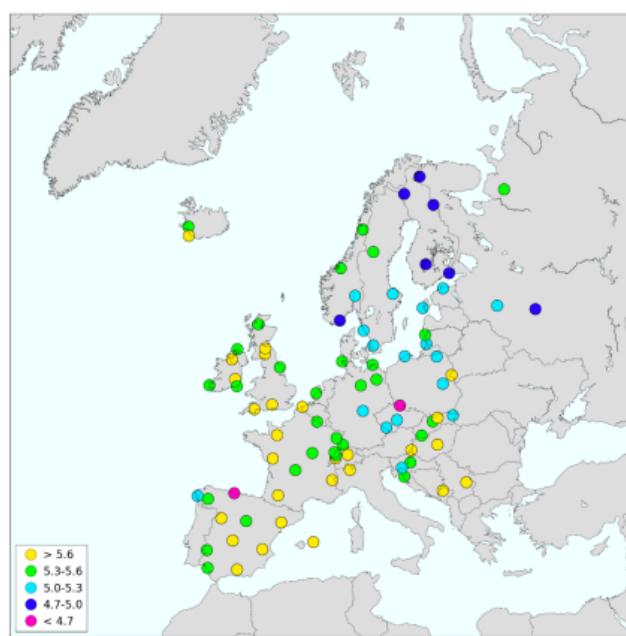
Slika 13.10: Mokra usedlina dušika nitratnega izvora v padavinah po letih. Podatki, ki jih podajamo informativno, so v grafih prikazani z enako barvo vendar šrafirano (obrazložitev se nahaja v zadnjem odstavku podpoglavja 13.1.1).



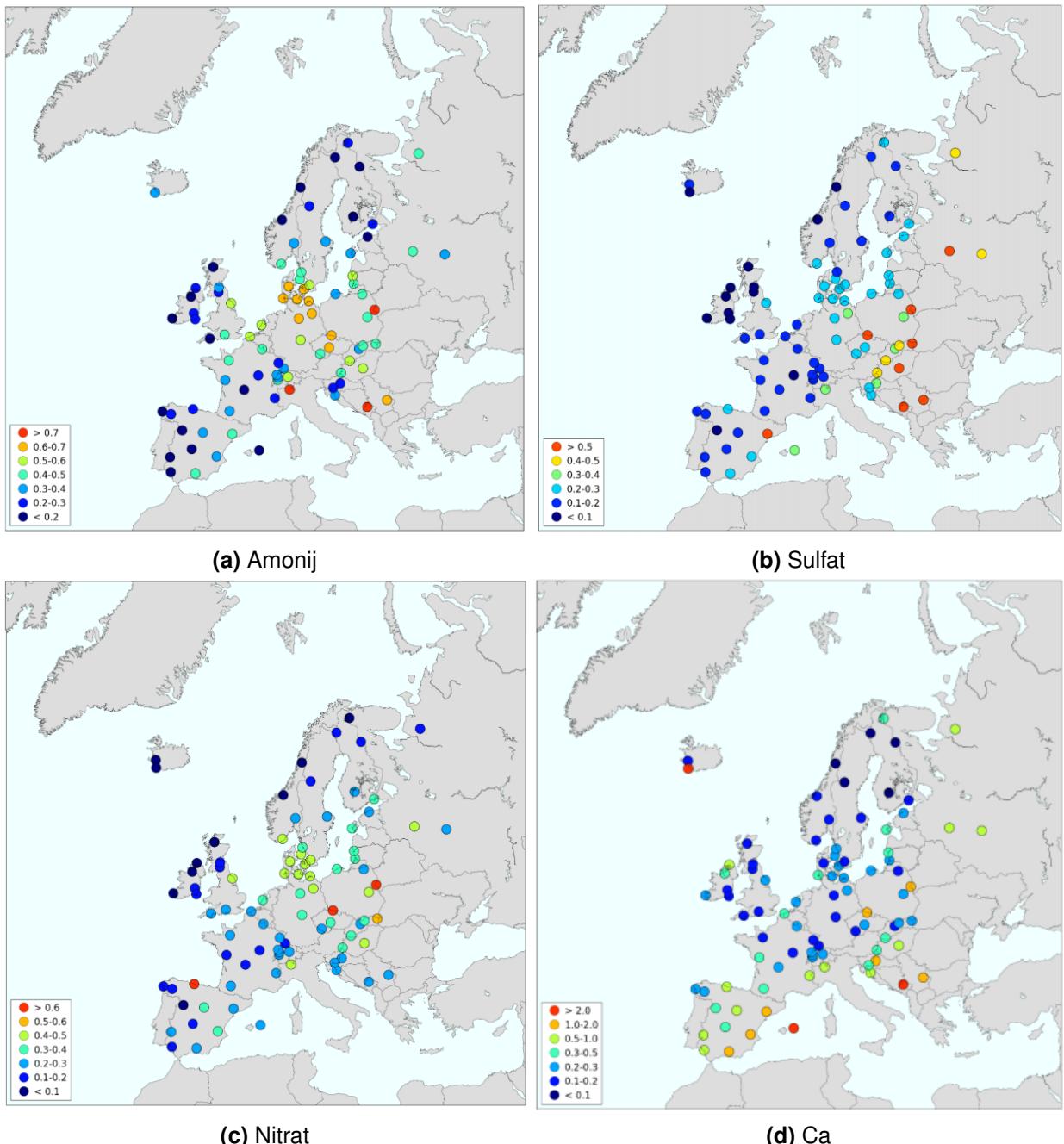
Slika 13.11: Mokra usedlina žvepla sulfatnega izvora po letih. Podatki, ki jih podajamo informativno, so v grafih prikazani z enako barvo vendar šrafirano (obrazložitev se nahaja v zadnjem odstavku podpoglavlja 13.1.1).

13.1.5 Primerjava ravni onesnaženosti v Evropi

Raven pH vrednosti in onesnaženost padavin s posameznimi ioni v Sloveniji je glede na podatke programa EMEP med nižje oziroma srednje visokimi v Evropi. Vsa EMEP merilna mesta, kjer se spremišča tudi kakovost padavin, so umeščena v neizpostavljeno neurbano okolje, tako kot naše merilno mesto Iskrba. Povprečne letne pH vrednosti padavin v Sloveniji so v letu 2020 znašale med 5,24 in 5,64 in so bile med srednje kislimi v Evropi. Povprečne letne koncentracije ionov, izražene kot NH_4^+ -N, NO_3^- -N, SO_4^{2-} -S, ki odločilno vplivajo na zakisljevanje in evtrofikacijo, so za amonijev ion znašale med 0,191 in 0,396 mg N/L, za nitratni ion med 0,213 in 0,412 mg N/L in za sulfatnega med 0,162 in 0,253 mg S/L. Povprečne letne ravni koncentracij 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.



Slika 13.12: Geografska porazdelitev vrednosti pH vrednosti padavin po Evropi v letu 2018 [31]



Slika 13.13: Geografska porazdelitev koncentracij amonija, sulfata, nitrata in kalcija (mg/L) v padavinah po Evropi v letu 2018 [31]

13.2 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 elektrike, toplice 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 posamezne težke kovine za obdobje vzorčenja na kvadratni meter in to vrednost delimo številom dni tega obdobja.

Porazdelitev celotnih usedlin nekaterih težkih kovin po mesecih za leto 2020 na merilnem mestu Iskrba, je prikazana na sliki 13.14. Ker je v letu 2020 na merilnem mestu Iskrba potekala prenova, vzorčenja padavin za določitve težkih kovin nismo mogli izvajati od 18. 5. 2020 do 7. 9. 2020, zato podatkov za to obdobje nimamo.

Najvišje usedline arzena smo zabeležili v marcu in so znašale $0,333 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{dan}$, najnižje pa v januarju, in sicer $0,056 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{dan}$.

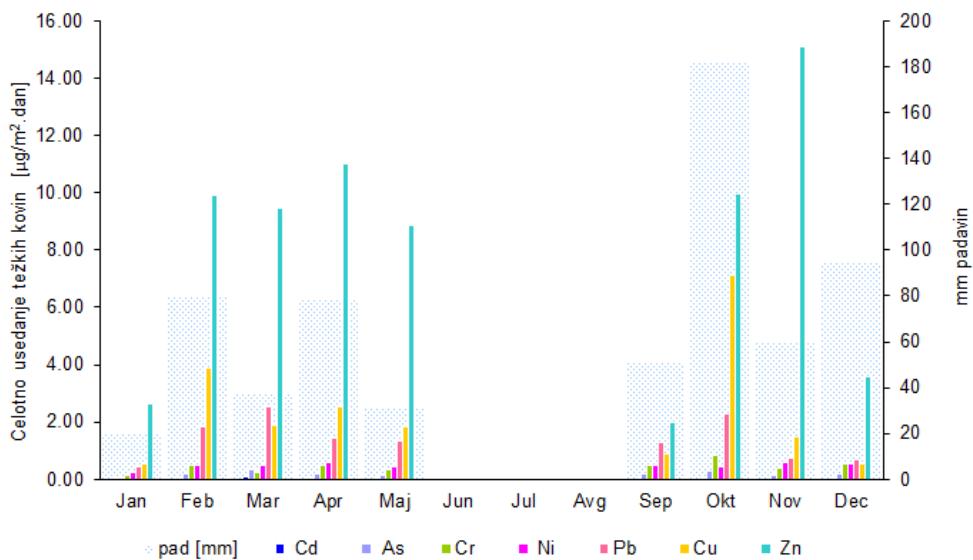
Tabela 13.3: Količina zbranih padavin (mm) in vrednosti celotnih usedlin posameznih težkih kovin v $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{dan}$ na merilnem mestu Iskrba v letu 2020

Mesec	Arzen	Kadmij	Krom	Baker	Nikelj	Svinec	Cink	Količina padavin
Januar	0,056	0,013	0,167	0,535	0,256	0,450	2,65	19,7
Februar	0,174	0,042	0,508	3,89	0,508	1,83	9,91	79,6
Marec	0,333	0,090	0,247	1,90	0,469	2,55	9,45	37,2
April	0,214	0,063	0,493	2,55	0,571	1,45	11,0	78,1
Maj	0,132	0,035	0,346	1,84	0,441	1,34	8,86	31,6
Junij	/	/	/	/	/	/	/	/
Julij	/	/	/	/	/	/	/	/
Avgust	/	/	/	/	/	/	/	/
September	0,175	0,037	0,480	0,909	0,489	1,28	1,99	50,6
Oktobar	0,283	0,045	0,848	7,12	0,441	2,27	9,95	182,0
November	0,154	0,037	0,396	1,47	0,597	0,755	15,1	59,4
December	0,175	0,035	0,526	0,526	0,526	0,677	3,59	94,7
Letna vrednost	0,193	0,045	0,445	2,43	0,472	1,43	8,14	633,0

Mesečne vrednosti depozicij težkih kovin so podane v tabeli 13.3 in na sliki 13.14. Najvišje usedline bakra, svinca in niklja, ki so glavna sestavina urbanega prahu smo zabeležili med februarjem in majem, kar povezujemo predvsem s čezmejnimi transporti onesnaževal. Medtem ko višje vrednosti v oktobru in novembру povezujemo z lokalnim vplivom, saj so potekala zaključna dela prenove merilnega mesta.

Vrednosti celotne usedline nekaterih težkih kovin so prikazane v tabeli 13.4. Ravnici celotnih usedlin so za vse težke kovine na približno enakem nivoju kot v preteklih letih.

Iz slike 13.15 je mogoče razbrati, da se raven celotnih usedlin večine kovin od začetka meritev v letu 2008 do leta 2020 bistveno ni spremenjala. Največja nihanja v usedlinah opažamo pri cinku in bakru. Nekoliko manjša so ta nihanja pri usedlinah svinca, še manjša pri usedlinah niklja in

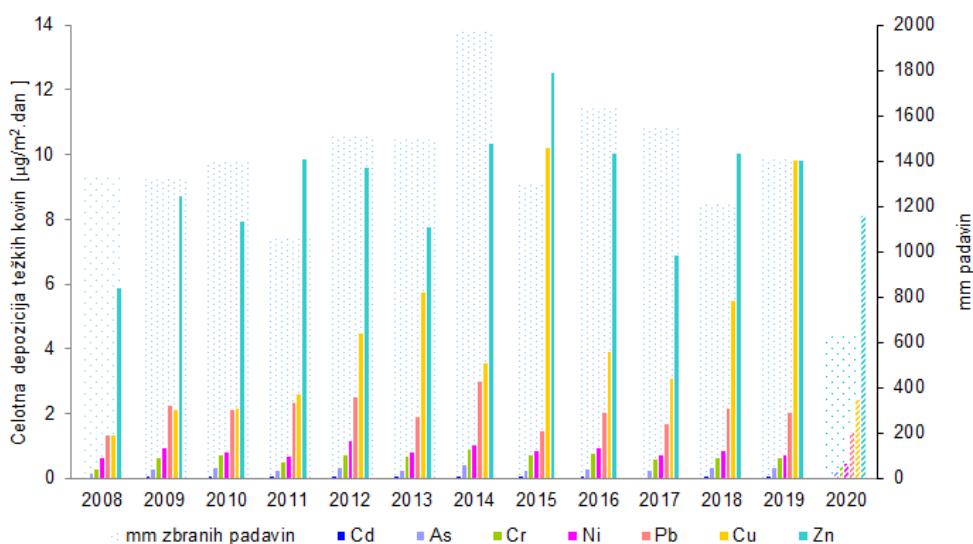


Slika 13.14: Celotna usedlina nekaterih težkih kovin v $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{dan}$ po mesecih za leto 2020

Tabela 13.4: Celotna usedlina nekaterih težkih kovin na Iskrbi v letu 2020 izražena v $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{dan}$

Arzen	Kadmij	Krom	Baker	Nikelj	Svinec	Cink
0,193	0,045	0,445	2,43	0,472	1,43	8,14

kroma ter najmanjša pri usedlinah arzena. Ocenujemo, da so navedena nihanja delno posledica nezaznanih lokalnih vplivov, delno pa transporta urbanega prahu na velike razdalje preko meja.



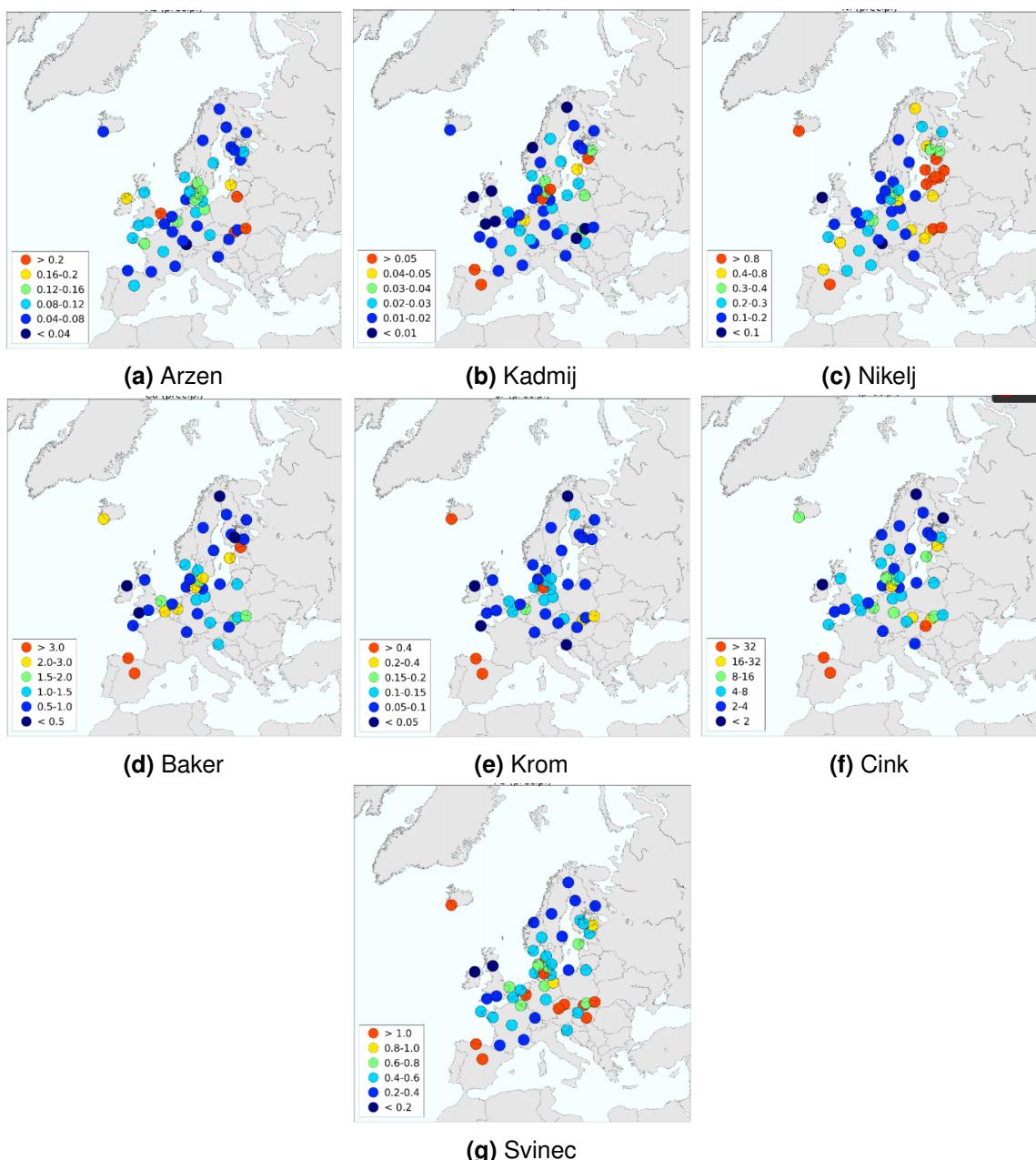
Slika 13.15: Celotna usedlina izbranih kovin v $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{dan}$ v letih od 2008 do 2020

13.2.1 Primerjava ravni onesnaženosti v Evropi

Primerjava ravni onesnaženosti z Evropo je povzeta iz poročila EMEP[26]. Iz tabele 13.5 in slike 13.16 je razvidno, da so bile podobno kot v preteklosti, tudi v letu 2020 povprečne letne ravni koncentracij težkih kovin v padavinah z merilnega mesta Iskrba med nižjimi v Evropi.

Tabela 13.5: Povprečna letna koncentracija nekaterih težkih kovin ($\mu\text{g}/\text{L}$) na Iskrbi v letu 2020

Arzen	Kadmij	Krom	Baker	Nikelj	Svinec	Cink
0,027	0,008	0,039	0,298	0,062	0,151	1,65



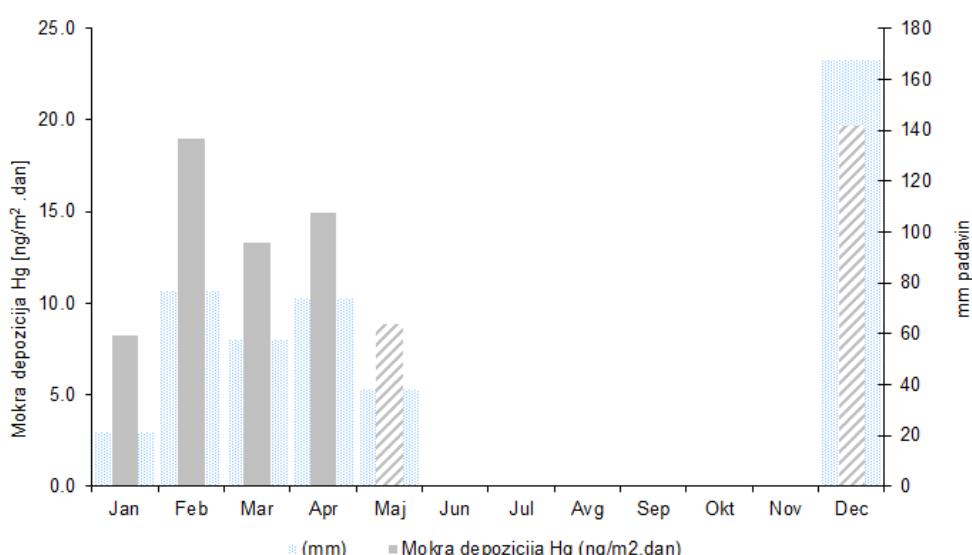
Slika 13.16: Geografska porazdelitev koncentracij arzena, kadmija, niklaja, bakra, kroma, cinka in svinca ($\mu\text{g}/\text{L}$) v padavinah na merilnih mestih EMEP v letu 2018 [26]

13.3 Raven onesnaženosti padavin z živim srebrom

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

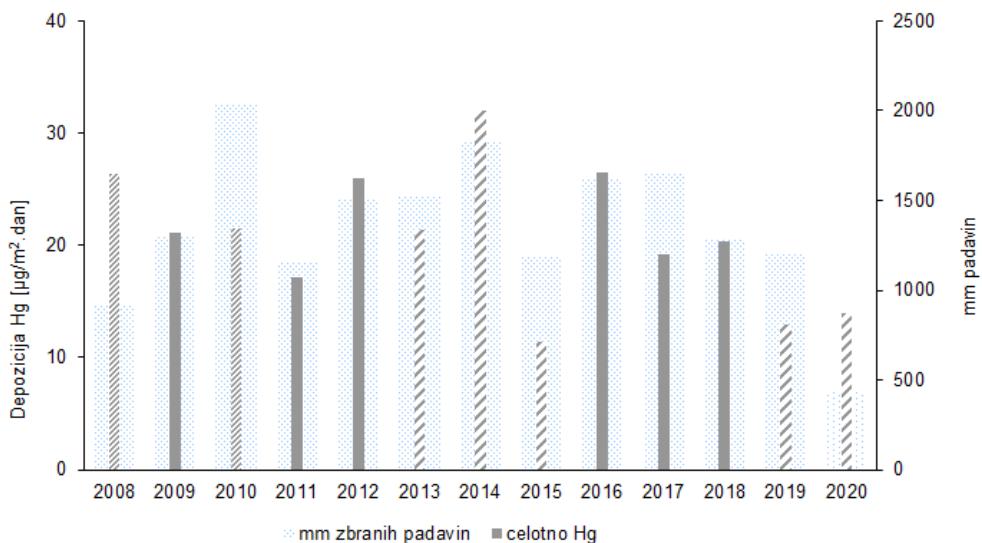
Tako kot meritve težkih kovin in PAH, tudi meritve celotnega živega srebra (anorganske in organske spojine Hg) v padavinah izvajamo le na merilnem mestu Iskrba. Za vzorčenje padavin za določitve celotnega živega srebra v padavinah uporabljamo t.i. *wet-only* vzorčevalnik, ki zajema le mokri del padavin.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

Mokra usedlina živega srebra po mesecih za leto 2020 je prikazana na sliki 13.17, pri čemer zaradi prenove merilnega mesta podatkov od junija do vključno novembra ni, podatki za december pa so podani zgolj informativno, saj zaradi tehničnih težav pri vzorčenju ni bila analizirana celotna mesečna količina padavin. Najvišjo usedlino Hg smo zabeležili v decembru 2020 in je znašala 19,6 ng/m² dan.



Slika 13.17: Mokra usedlina celotnega Hg po mesecih za leto 2020. Podatke, prikazane z vzorcem, zaradi izpada več kot 10 % količine padavin glede na meteorološke meritve podajamo zgolj informativno. Do izpada meritve med junijem in novembrom je prišlo zaradi prenove merilnega mesta. V mesecu maju je vzorčenje potekalo le 18 dni, v decembru pa je bil izplen vzorčenja pod 90 odstotkov.

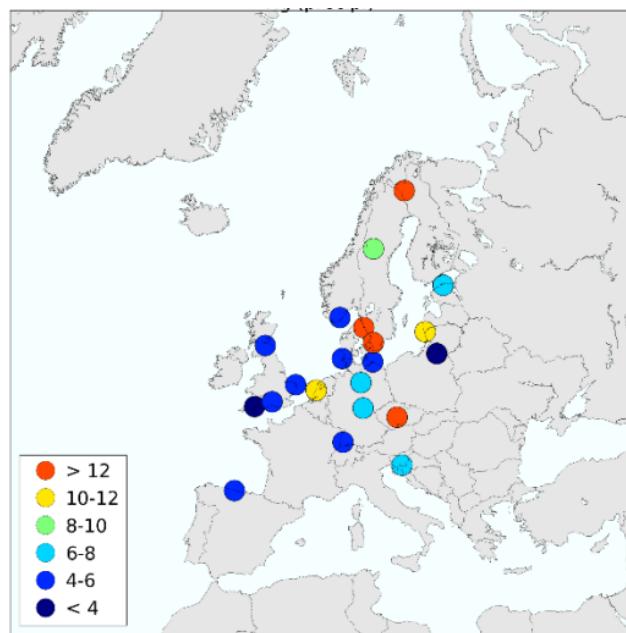
Celotna mokra usedlina živega srebra na merilnem mestu Iskrba je ob upoštevanju vseh izvedenih meritov v letu 2020 znašala 14,3 ng/m² dan. Bila je nekoliko višja kot v preteklem letu (slika 13.18) in je bila pod povprečno vrednostjo meritov izvedenih med 2008 in 2020 (20,08 ng/m² dan). Ker se količina analiziranih vzorcev v celiem letu 2020 za več kot 10 odstotkov razlikuje od meteorološke količine, tudi ta podatek podajamo zgolj informativno.



Slika 13.18: Mokra usedlina celotnega Hg po letih v $\text{ng}/\text{m}^2\text{dan}$. Podatke, prikazane z vzorcem, zaradi izpada več kot 10 % količine padavin glede na meteorološke količine padavin podajamo zgolj informativno.

13.3.1 Primerjava ravni onesnaženosti v Evropi

Slika 13.19 prikazuje geografsko porazdelitev ravni živega srebra v padavinah po Evropi. Ravni celotnega živega srebra v padavinah v Sloveniji so se v letu 2018 gibale med 0,6 in 16,8 ng/L . Povprečna letna vrednost, utežena glede na količino padavin v posameznem mesecu ob upoštevanju vseh izvedenih meritev, znaša 3,94 ng/L , kar merilno mesto Iskrba uvršča med najmanj onesnažena področja v Evropi.



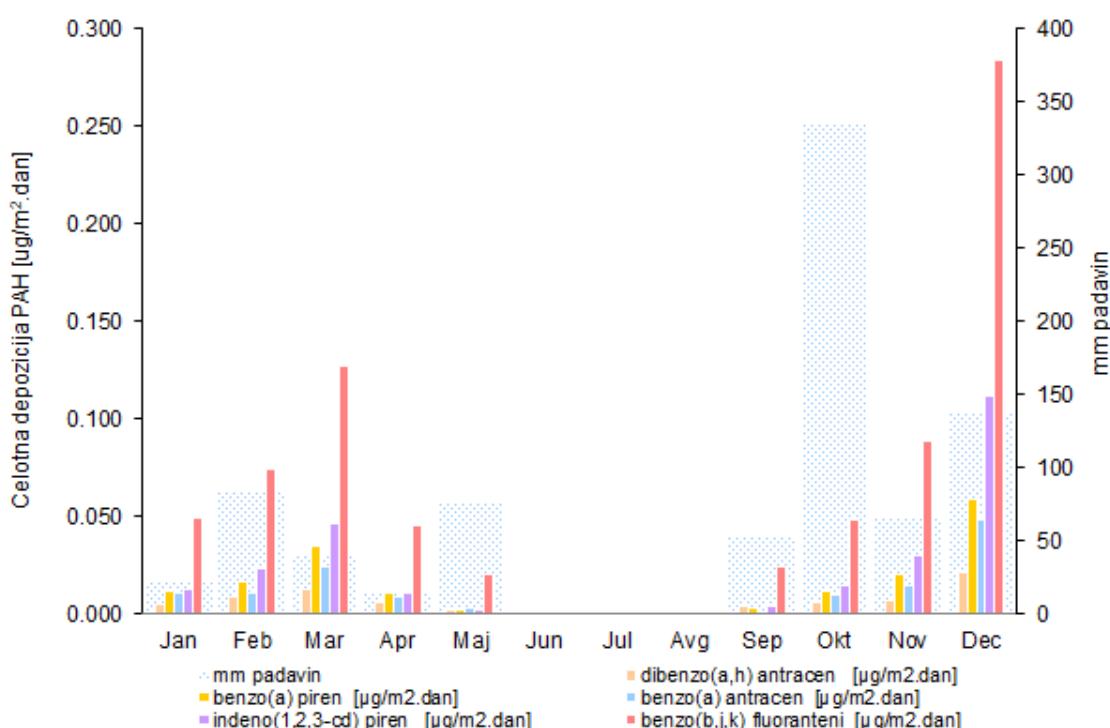
Slika 13.19: Geografska porazdelitev koncentracij živega srebra v padavinah na merilnih mestih EMEP v letu 2018 [26]

13.4 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 [32].

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 13.20. 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 pri tleh.

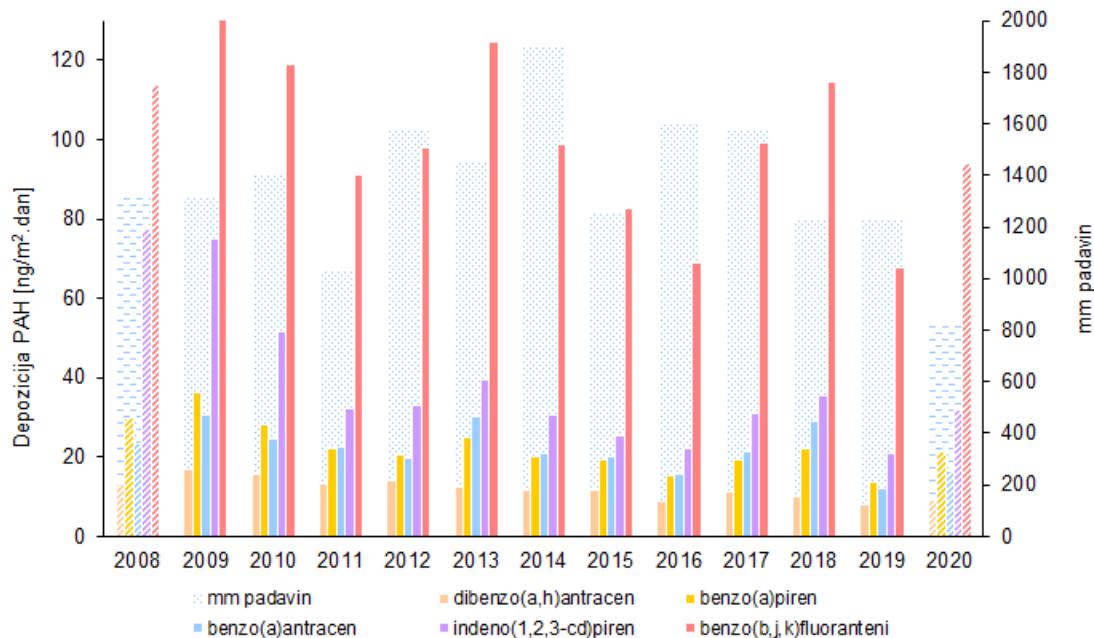


Slika 13.20: Celotna usedlina nekaterih PAH po mesecih v letu 2020 v $\text{ng}/\text{m}^2\text{dan}$

V tabeli 13.6 je prikazana celotna usedlina nekaterih PAH v letu 2020 v ng/m^2 dan. Primerjava usedlin PAH med posameznimi leti nakazuje, da le-te ostajajo na približno isti ravni (slika 13.21). Podobno kot v preteklih letih smo tudi v letu 2020 zabeležili največjo celotno usedlino vsote benzo(b,j,k)fluorantenov, najnižja pa je bila kot navadno celotna usedlina dibenzo(a,h)antracen (tabela 13.6 in slika 13.21). V primerjavi z letom 20119 so bile celotne usedline vseh PAH nekoliko višje. V obdobju od 2008 do 2020 ne opažamo kakršnegakoli trenda naraščanja ali upadanja usedlin PAH, kar je verjetno posledica nespremenjenih kurišnih navad na področju okrog merilnega mesta Iskrba in širše.

Tabela 13.6: Celotna usedlina nekaterih PAH (v ng/m^2 dan) za leto 2020 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
15,1	19,6	86,1	8,07	29,1



Slika 13.21: Celotne letne usedline PAH od leta 2008 do leta 2020 v ng/m^2 dan

14. Literatura

- [1] 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).
- [2] *Air quality in Europe-2020 report*, European Environment Agency, 2020.
- [3] W. H. Organization et al., “Ambient air pollution: A global assessment of exposure and burden of disease,” 2016.
- [4] *Alpski signali – posebna izdaja 8, Kakovost zraka v Alpah, 8. Poročilo o stanju Alp*, Alpska konvencija, 2021.
- [5] *Direktiva 2008/50/ES Evropskega parlamenta in sveta o kakovosti zunanjega zraka in čistejšem zraku za Evropo*. Uradni list Evropske unije. L152.
- [6] *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.
- [7] *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.
- [8] *Uredba o kakovosti zunanjega zraka*. (Uradni list RS. 9/11, 8/15 in 66/18).
- [9] *Uredba o arzenu, kadmiju, živem srebru, niklju in policikličnih aromatskih ogljikovodikih v zunanjem zraku*. Uradni list RS. 56/06.
- [10] *Pravilnik o ocenjevanju kakovosti zunanjega zraka*. Uradni list RS. 55/11, 6/15.
- [11] *Zakon o ratifikaciji konvencije o onesnaževanju zraka na velike razdalje preko meja (Uradni list SFRJ – Mednarodne pogodbe, št. 11/86)*, UNECE, 1979.
- [12] *Project PREPAIR – LIFE15 IPE IT013*, view 10.09.2018, <http://www.lifeprepair.eu/>.
- [13] *Kakovost zraka v Sloveniji v letu 2019*, ARSO, 2020.
- [14] EUMETSAT, “Aralkum desert dust pollutes air in south-east europe.” <https://www.eumetsat.int/aralkum-desert-dust-pollutes-air-south-east-europe>.

- [15] Direktiva 2008/50/ES Evropskega parlamenta in sveta o kakovosti zunanjega zraka in čistejšem zraku za Evropo, Uradni list Evropske unije, 2008.
- [16] Guidance on the quantification of the contribution of natural sources under the EU Air Quality Directive 2008/50/ES, An official website of the European Union, 2011.
- [17] N. A. R. L. (ARL), "Hysplittransport and dispersion model." <https://www.ready.noaa.gov>.
- [18] N. A.-M. E.-E. N.-M.-E. R. Center, "Forecast comparison." <https://sds-was.aemet.es/forecast-products/dust-forecasts/forecast-comparison>.
- [19] Status report of air quality in Europe for year 2019, using validated data, European Topic Centre on Air Pollution, Noise, Transport and Industrial Pollution (ETC/ATNI), 2021.
- [20] Interim Annual Assessment Report for 2020, European air quality in 2020, Norwegian Institute for Air Research (NILU), 2021.
- [21] Kakovost zraka v Sloveniji v letu 2017, ARSO, 2018.
- [22] 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%202016%202016%29_1.pdf.
- [23] 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%202016%202016%29_1.pdf.
- [24] Zakon o ratifikaciji Protokola o zmanjševanju zakisljevanja, evtrofikacije in prizemnega ozona h Konvenciji iz leta 1979 o onesnaževanju zraka na velike razdalje preko meja (Uradni list RS – Mednarodne pogodbe, št. 9/04), UNECE, 2004.
- [25] 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.
- [26] W. Aas and P. B. Nizzetto, "Heavy metals and pop measurements 2018," EMEP/CCC-Report 3/2020, no. 3, 2020.
- [27] M. Pidwirny, "Acid Precipitation," Fundamentals of Physical Geography, 2nd Edition, 2006.
- [28] 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.
- [29] Manual for the GAW Precipitation Chemistry Programme. Guidelines, Data Quality Objectives and Standard Operating Procedures, no. 160, WMO, 2004.
- [30] 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.

- [31] A.-G. Hjellbrekke, "Data report 2018 particulate matter, carbonaceous and inorganic compounds," *EMEP/CCC-Report 1/2020*, no. 1, 2020.
- [32] O. Delhomme, E. R. Rieb, and M. Millet, "Polycyclic aromatic hydrocarbons analyzed in rainwater and erstein," *Polycyclic Aromatic Compounds*, no. 1, 2008.



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

