

Kakovost zraka v Sloveniji v letu 2019

Kakovost zraka v Sloveniji

ISSN 1855-0827

Ljubljana, 2020

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

Odgovarja:

Iztok Slatinšek

Generalni direktor

Avtorji: Don Ciglencečki, Mateja Gjerek, Mateja Kastelic, Tanja Koleša, dr. Martina Logar, Luka Matavž, Marijana Murovec, Marko Rus, dr. Rahela Žabkar

Pri pripravi poročila so sodelovali:

Damijan Bec, dr. Jana Faganeli Pucer, Melanija Lešnjak, dr. Janja Turšič

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

©2020, Agencija Republike Slovenije za okolje

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

Kakovost zraka v Sloveniji v letu 2019

AGENCIJA REPUBLIKE SLOVENIJE ZA OKOLJE
Ljubljana, 2020

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 razširitvami (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
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

Nagovor

Spoštovani.

Kakšna je kakovost zunanjega zraka v Sloveniji? Že nekaj let meritve kažejo da se kakovost izboljšuje in da je večina onesnaževal pod zakonsko dovoljenimi vrednostmi. To nas sicer veseli, po drugi strani pa se moramo zavedati, da je kakovost zraka neobhodno povezana tudi z vremenom. Zadnja leta se ukvarjamo predvsem s problematiko delcev. Podrobnejša analiza razkrije, da interpretacija onesnaženosti zraka z delci ni tako enostavna. Če se osredotočimo na posamezne zimske epizode, ki so bile meteorološko ugodne za akumulacijo onesnaževal, ugotovimo, da se ravni delcev v zadnjem obdobju niso zmanjševale. Je pa bilo v letu 2019 tovrstnih epizod manj kot na primer v letu 2017. Vzrok za boljšo kakovost zraka je bil torej predvsem v ugodnejših vremenskih pogojih, ki so bila zadnja leta naklonjena temu, da se je onesnaženje učinkoviteje redčilo. Pri vrednotenju učinkovitosti izvajanja ukrepov za izboljšanje kakovosti zraka moramo biti torej previdni, saj lokalni izpusti kljub navideznem izboljšanju kakovosti zraka še vedno ostajajo na visoki ravni.

Po drugi strani se vsi zelo dobro zavedamo, da so epizode visokega onesnaženja z delci povezane z vremenskimi pogoji, ob katerih se v slabo prevetrenih dolinah in kotlinah zaradi temperaturnega obrata, ki preprečuje redčenje onesnaženj, nabirajo večje količine delcev in drugih onesnaževal. Kljub temu tovrstni neugodni vremenski pogoji niso krivi za onesnažen zrak. Pač pa visoke ravni delcev ob epizodah onesnaženja le odražajo problematiko glede lokalnih izpustov oziroma razkrivajo navade prebivalcev. Že vrsto let namreč opozarjamo, da je kurjenje v neučinkovitih kurilnih napravah v gospodinjstvih glavni vir onesnaženja z delci v zimskem času. Posebej problematično je kurjenje z neustreznimi gorivi (npr. stari papir in karton, vlažni les, plastika, embalaža in drugi odpadki) in nepravilno kurjenje. Oboje vodi do slabega izgorevanja lesne biomase in se pokaže neposredno kot gost temen dim iz dimnika. V jasnih zimskih popoldnevih se valeč dim zadržuje v plitvi plasti nastajajoče inverzije in se sčasoma razprši po celem naselju. Žal je tako, da lahko takšno stanje v mestu ali na vasi povzroči že en sam neozaveščen kurjač.

K boljšemu zraku v Sloveniji lahko torej prispevamo z zamenjavo zastarelih kurilnih naprav, uporabo ustreznega goriva in pravilnim kurjenjem. Izogibajmo se kurjenju na prostem in omejimo uporabo ognjemetov. Izpuste iz prometa lahko bistveno zmanjšamo, če namesto avtomobila uporabljamo skupni ali javni prevoz, k svojemu zdravju pa dodatno prispevamo, če se lahko na delo in po opravkih odpravimo peš ali s kolesom. Naj vsak državljan prispeva po svojih zmožnostih. Vsako dejanje šteje!

Povzetek

Onesnaženost zraka z **delci PM₁₀** je bila v letu 2019 v povprečju nižja kot leta poprej. Odsotnost dolgotrajnih temperaturnih obratov v zimskem obdobju je omogočila boljše razredčevanje izpustov. Število prekoračitev mejne dnevne vrednosti za delce PM₁₀ (50 µg/m³) je v letu 2019 preseglo vrednost 35, ki je dovoljena za celo leto, le na dveh prometnih merilnih mestih. V Celju na Mariborski cesti je bilo 43 prekoračitev in na merilnem mestu Ljubljana Center 37 prekoračitev. V letu 2018 je bilo merilnih mest s prekoračitvami šest, 2017 pa deset, kar je bilo v veliki meri pogojeno z vremenskimi razmerami. Do večine preseganj v letu 2019 je prišlo v prvih dveh mesecih leta, ko so bili pogosti temperaturni obrati. Ti onemogočajo razredčevanje izpustov iz malih kurilnih naprav in prometa, ki sta zlasti v mestih največja vira delcev PM₁₀. Med neugodnimi vremenskimi razmerami so tako ravni delcev še zmeraj višje od standardov kakovosti, ki jih predpisuje zakonodaja, kar se lepo odraža na rezultatih meritev. Zato lahko trdimo, da so za boljšo kakovost zraka v večji meri zaslužne ugodne vremenske razmere in ne zmanjšanje emisij ter ukrepi v okviru sprejetih načrtov za izboljšanje kakovosti zunanega zraka. Letna mejna vrednost za delce PM₁₀ 40 µg/m³ v letu 2019 ni bila presežena na nobenem merilnem mestu. Priporočilo WHO za letno povprečje PM₁₀ znaša 20 µg/m³ in je bilo preseženo skoraj na vseh merilnih mestih po Sloveniji. Trendi onesnaženosti v obdobju med 2002 in 2019 kažejo, da so zadnja leta izmerjene zelo podobne ravni delcev PM₁₀. Medletna nihanja ravni PM₁₀ so predvsem posledica različnih meteoroloških razmer v posameznem letu. Kljub temu je v obdobju od leta 2005 naprej, predvsem na urbanih lokacijah, opazen trend zmanjševanja ravni delcev. Ocenjujemo, da je to predvsem posledica zmanjševanja izpustov iz industrije. Na kmetijsko podeželskih merilnih mestih ni opaznega večjega trenda v zmanjševanju. V tem okolju se za ogrevanje več uporablja pretežno lesno biomaso in zastarele peči, kar prispeva k večjim izpustom.

Ravni **delcev PM_{2,5}** spremljamo na štirih merilnih mestih – Maribor Vrbanski plato, Ljubljana Bežigrad, Nova Gorica in Iskrba in na nobenem ni bila presežena letna mejna vrednost 25 µg/m³. Glede na smernice WHO [1] je povprečna letna raven delcev PM_{2,5} 10 µg/m³ presežena na vseh urbanih merilnih mestih. Kazalnik povprečne izpostavljenosti za PM_{2,5} je znašal leta 2019 za merilna mesta v neizpostavljenem mestnem okolju: v Ljubljani 18 µg/m³ (Ljubljana Biotehniška fakulteta/Ljubljana Bežigrad), v Mariboru 16 µg/m³ (Maribor Vrbanski plato) in v Novi Gorici 14 µg/m³. Obveznost glede stopnje izpostavljenosti znaša 20 µg/m³ in v letu 2019 ni bila presežena na nobenem merilnem mestu.

Povprečna letna raven **benzo(a)pirena** je bila v letu 2019 najvišja na merilnem mestu Ljubljana Bežigrad, kjer je dosegla ciljno vrednost. Nekoliko nižje povprečne letne ravni so bile izmer-

jene na merilnih mestih v Mariboru in Novi Gorici, na Iskrbi pa je bila povprečna letna vrednost benzo(a)pirena po pričakovanjih najnižja. Primerjava ravni benzo(a)pirena v obdobju od 2009 do 2019 kaže, da onesnaženost ostaja približno na istem nivoju.

Povprečne letne ravni **niklja, arzena, kadmija in svinca** so bile v letu 2019 na vseh merilnih mestih nižje od zahtev za kakovost zraka. Najvišje ravni svinca, kadmija in arzena so bile izmerjene v Žerjavu, kjer so povišani nivoji težkih kovin povezani z delovanjem okoliške industrije. Obenem ni mogoče izključiti resuspenzije svinca iz kontaminirane zemlje. Primerjava ravni težkih kovin v obdobju od 2009 do 2019 kaže, da obremenjenost ostaja približno na istem nivoju.

Povprečne letne vrednosti **benzena** so bile leta 2019 na vseh merilnih mestih tako kot že vsa leta prej, pod mejno vrednostjo. Benzen je ena izmed sestavin bencina, zato so po pričakovanjih najvišje ravni benzena izmerjene na prometnem merilnem mestu Ljubljana Center. V letu 2019 je na tem merilnem mestu povprečna letna vrednost znašala manj kot polovico predpisane mejne letne vrednosti. Nižje ravni benzena so bile izmerjene na ostalih merilnih mestih. Ravni benzena so na vseh postajah višje v zimskem obdobju, kar je posledica slabših pogojev za razredčevanje.

Leto 2019 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 ($189 \mu\text{g}/\text{m}^3$), na Otlici ($204 \mu\text{g}/\text{m}^3$) in v Kopru ($192 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Eno preseganje opozorilne vrednosti je bilo zabeleženo še na Sv. Mohorju ($185 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Na drugih merilnih mestih ni bilo preseganja opozorilne vrednosti. Alarmne vrednosti ($240 \mu\text{g}/\text{m}^3$) 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 polet, ko so pogoji za nastanek ozona ugodnejši.

Že od začetka meritev **dušikovih dioksidov** so najvišje ravni izmerjene na prometno zelo obremenjenem merilnem mestu LJ Center. Tu je bila v preteklih letih pogosto presežena tudi letna mejna vrednost. Povprečna letna raven je presegla mejno vrednost tudi v letu 2019 ($45 \mu\text{g}/\text{m}^3$), vendar so podatki s te postaje zgolj informativni zaradi prevelikega izpada podatkov. Urna mejna vrednost $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (dovoljeno število preseganj 18 ur na leto) ni bila presežena na nobenem merilnem mestu. Prav tako tudi letna kritična vrednost za zaščito vegetacije ni bila presežena na nobenem ruralnem merilnem mestu.

Letni izpusti **žveplovega dioksida** so v Sloveniji več kot petkrat nižji od ciljne vrednosti in ta vrednost, kot jo določa zakonodaja, ni bila presežena že vse od leta 2010. Mejni urni vrednosti se občasno približamo le na merilnih mestih okrog TEŠ, tu je bila v letu 2019 nekajkrat presežena dnevna mejna vrednost $125 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ki jo priporoča WHO [1]. Na vseh drugih merilnih mestih so ravni veliko nižje od mejnih in kritičnih vrednosti za varovanje zdravja in rastlin.

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].

Raven onesnaženosti zraka z **živim srebrom** ostaja od leta 2008 dalje zelo nizka. Povprečna koncentracija živega srebra v zraku je bila v letu 2019 nekoliko nižja, kot v preteklem letu in ostaja tudi med najnižjimi v Evropi. Ker smo meritve izvajali le po približno 14 dni v posameznem kvartalu

z izposojenim inštrumentom, jih podajamo zgolj kot informativne vrednosti.

Povprečna letna vrednost pH **padavin** se je v Sloveniji v letu 2019 gibala med 5,2 in 5,6. Najbolj kisle so bile z izjemo meseca marca v obdobju od januarja do maja in pa v obdobju od septembra in decembra, kar povezujemo predvsem z emisijami dušikovih oksidov in žveplovega dioksida v času kurjenja, ki se ob padavinah spirajo iz zraka. Mokre depozicije amonijevih ionov so bile na večini merilnih mest najnižje v januarju in februarju ter od oktobra do decembra, višje pa so bile od marca do septembra, kar povezujemo predvsem s kmetijsko dejavnostjo, kjer nastaja amonijak. Tako depozicije nitratnih kot tudi sulfatnih ionov so bile pretežno povezane s količino padavin in so bile tako z izjemo junija, ko smo zabeležili zelo malo padavin, najvišje med marcem in septembrom ter v novembru. Padavine v Sloveniji so bile v primerjavi z Evropo med manj kislimi, podobno pa so bile tudi koncentracije nitratnih, sulfatnih in amonijevih ionov v spodnjem delu EMEP ocenjevalne lestvice. Raven onesnaženosti s težkimi kovinami, podobno kot v preteklih letih, ostaja med najnižjimi v Evropi. V primerjavi s preteklim letom smo v letu 2019 zabeležili najnižjo depozicijo živega srebra odkar potekajo meritve, vendar so zaradi prevelikega izpada meritev količine padavin (v novembru in decembru), podatki zgolj informativni. Depozicije PAH so bile, podobno kot v preteklih letih, zaradi kurjenja najvišje v zimskih mesecih, na letnem nivoju pa so bile najnižje doslej. Največji trend zmanjšanja depozicij se nakazuje pri benzo(b,j,k)fluorantenih in indeno(1,2,3-cd)pirenu, depozicije ostalih PAH pa ostajajo na primerljivem nivoju.

Summary

Air pollution with **PM₁₀** was on average lower in 2019 than in previous years. The absence of long-term temperature inversions in the winter allowed better dilution of emissions of PM₁₀. The number of exceedances of the daily limit value for PM₁₀ (50 µg/m³) surpassed allowed number of exceedances (35) only at two traffic monitoring sites (Celje Mariborska cesta (43) and Ljubljana Center (37)), while in 2018, there were six such monitoring sites, and in 2017, ten such monitoring sites, which was largely conditioned by local weather conditions. Most of the exceedances in 2019 occurred in the first two months of the year, when temperature inversions were more frequent. These allows the dilution of emissions from small combustion plants and traffic, which are the main sources of PM₁₀ particles emissions in Slovenia. 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. The annual limit value for PM₁₀ 40 µg/m³ was not exceeded at any monitoring site. The World Health Organization (WHO) recommendation for the annual average of PM₁₀ is 20 microg/m³ and was exceeded at almost every monitoring site across Slovenia. Pollution trend from 2002 to 2019 show that PM₁₀ particle levels measured in recent years are very similar. The year-on-year fluctuations of PM₁₀ levels are mainly due to different weather conditions in each year. Nevertheless, since 2005, especially at urban monitoring site, there has been a trend of decreasing particulate matter levels. We estimate that this is mainly due to the reduction of emissions in industry. There is no significant downward trend at agro-rural monitoring sites. In this environment, wood biomass is mostly used for heating, which contributes to higher emissions.

In 2019, levels of **PM_{2,5}** have been monitored at four monitoring sites - Maribor Urbanski plato, Ljubljana Bežigrad, Nova Gorica and Iskrba, with none exceeding the annual average limit value of 25 µg/m³. However, according to the WHO guidelines [1] (10 µg/m³), the average annual level of PM_{2,5} was exceeded at all monitoring sites. In 2019, average exposure index (AEI) of PM_{2,5} at urban background stations, was 18 µg/m³ at monitoring site Ljubljana Biotehniška fakulteta, 16 µg/m³ at monitoring site Maribor Urbanski plato and 14 µg/m³ at monitoring site Nova Gorica. Limit value of average exposure index (AEI) is 20 µg/m³ and was not exceeded at any monitoring site in 2019.

The average annual level of **benzo(a)pyrene** in 2019 was highest at Ljubljana Bežigrad monitoring site, where it reached its target value. Slightly lower average annual levels were measured at monitoring sites in Maribor and Nova Gorica, while at Iskrba the average annual value of

benzo(a)pyrene was expectably the lowest. A comparison of benzo(a)pyrene level during the period 2009 to 2019 indicates, that the pollution remains mainly unchanged.

The average annual levels of **nickel**, **arsenic**, **cadmium** and **lead** were at all monitoring sites lower than the requirements for air quality in 2019. The highest levels of lead, cadmium and arsenic were measured in Žerjav, where elevated levels of heavy metals are due to the surrounding industry. Furthermore, the resuspension of lead from the contaminated soil cannot be excluded. A comparison of the heavy metals levels during the period 2009 to 2019 shows that the pollution remains roughly at the same level.

The average annual level of **benzene** was below the limit value at all monitoring sites in 2019, as in all other years in the series of measurements. Benzene is one of the components of petrol, which is why, as expected, the highest levels of benzene were measured at traffic monitoring site Ljubljana Center. At this monitoring site, the average annual level of benzene was less than half of the prescribed annual limit value. Lower benzene levels were measured at other measurement sites. Benzene levels are higher at all monitoring sites in winter as a result of less favorable conditions for dilution of emissions.

Year 2019 was among the warmest, so **ozone** levels were consequently very high, but they did not reach a record high. The highest hourly values were measured in Nova Gorica ($189 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Otlica ($204 \mu\text{g}/\text{m}^3$) and Koper ($192 \mu\text{g}/\text{m}^3$). One exceedance of the information threshold ($180 \mu\text{g}/\text{m}^3$) was also recorded at the Sv. Mohor ($185 \mu\text{g}/\text{m}^3$). There were no exceedance of the information threshold ($180 \mu\text{g}/\text{m}^3$) at other measuring sites. Alarm threshold ($240 \mu\text{g}/\text{m}^3$) has not been exceeded for more than ten years at any monitoring site. The target value for health protection has been exceeded at almost all monitoring stations, 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.

The values of **nitrogen dioxide** were always the highest at the traffic monitoring site LJ Center. Here, the annual limit value has often been exceeded in recent years. The average annual limit value was also exceeded in 2019 ($45 \mu\text{g}/\text{m}^3$), but the data from this station are only informative due to excessive data loss. The hourly limit value for **nitrogen dioxide** was not exceeded at any monitoring site. Also, the critical value for protecting vegetation was not exceeded at any rural monitoring site.

The average levels of **sulfur dioxide** in Slovenia are more than five times lower than the target value and this value has not been exceeded since 2010. We occasionally record exceedance of hourly limit value only at monitoring site near thermal power plant Šoštanj, where in 2019 the daily limit level recommended by the WHO was exceeded several times. At all other monitoring sites, the levels are much lower than the limit and critical values for health and plant protection.

Levels of **carbon monoxide** have been well below the threshold at all monitoring sites and are even lower than the WHO recommendations [1].

The level of air pollution with **mercury** remains very low since 2008. In 2019 it was slightly lower than in the previous year, and remains among the lowest in Europe. Since the measurements were

performed approximately only every 14 days in an individual quarter with a borrowed instrument, they are given only as informative values.

The average annual value of **precipitations** pH in Slovenia ranged between 5,2 and 5,5 in 2019. With the exception of March, they were the most acidic in the period from January to May and in the period from September and December, which is mainly related to acidic emissions during combustion in heating season. Wet depositions of ammonium ions were lower at most monitoring sites in January and February and from October to December, and higher in the period between March and September, which is associated with the increased activities in agriculture. Depositions of nitrate and sulphate ions were predominantly related to precipitation and were, with the exception of June, when very little precipitation was recorded, highest between March and September, and in November. In comparison with Europe, precipitations in Slovenia were less acidic. Also, concentrations of nitrate, sulphate and ammonium ions were in the lower part of the EMEP assessment scale. The level of precipitation pollution with heavy metals remains among the lowest in Europe. Compared to the previous year, in 2019 we recorded the lowest mercury deposition since the measurements took place, but because the majority of precipitation was lost in November and December, the results are given for information only. As in previous years, PAH deposition was the highest in winter months due to wood burning, but remained at the annual level similar to the previous years. The largest trend of decreasing deposition is indicated for benzo(b, j, k)fluoranthenes and indeno(1,2,3-cd)pyrene, while the deposition of other PAHs remain at a comparable level.

Tabela A: Tabela prikazuje povprečne letne ravni onesnaževal zraka (C_p), število preseganj mejnih (>MV) oziroma ciljnih (>CV) in opozorilnih vrednosti (>OV) v letu 2019. Prikazana je maksimalna povprečna 8-urna vrednost (C_{max}) za ogljikov monoksid.

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

	PM_{10}		$PM_{2,5}$		ozon		NO_2		SO_2				CO	benzen	B(a)P	As	Cd	Ni	Pb
	leto	24 ur	leto		1 ura	8 ur	leto	1 ura	leto	zima	1 ura	24 ur	8 ur	leto	leto	leto	leto	leto	leto
	C_p	>MV	C_p	C_p	>OV	>CV	C_p	>MV	C_p	C_p	>MV	>MV	C_{max}	C_p	C_p	C_p	C_p	C_p	C_p
DMKZ																			
LJ Bežigrad	21	16	16	44	0	19	25	0	4	5	0	0	1,7	1,1	1,2	0,35	0,18	2,1	6,7
LJ Biotehniška	19	8																	
LJ Gospodarsko Maribor	24	21					25	0					2,2	1,5	0,73	0,35	0,16	1,4	6,4
MB Vrbanski			13	54	0	19													
Celje	26	23		44	0	17	25	0	4	4	0	0				0,42	0,52	1,2	6,9
CE Mariborska	29	43																	
MS Rakičan	21	14		53	0	20	13	0											
MS Cankarjeva	26	28																	
Nova Gorica	20	10	13	52	5	42	26	0							0,95				
NG Grčna	23	10																	
Trbovlje	22	16		41	0	13	19	0	4	4	0	0	2,3						
Zagorje	25	28		39	0	7	20	0	3	4	0	0							
Hrastnik	20	9		53*	0*	18*			2*	3*	0*	0*							
Koper	17	8		70	4	44	15	0											
Iskrba	11	2	8	55	0	24	2	0	0,7	0,9	0	0			0,12	0,22	0,06	0,72	1,5
Žerjav	20	1														2,1	1,3	0,96	357
Kranj	19	8																	
Novo mesto	21	10																	
Velenje	17	2																	
Otlica				85	25	55													
Krvavec				95	0	65							0,3						
Dopolnilna merilna mreža																			
TEŠ																			
Pesje	16	1							4	3	0	0							
Škale	15	1					6	0	5	5	0	0							
Šoštanj	18	1					10	0	3	2	0	0							
Zavodnje				79	0	41	5	0	4	4	0	0							
Velenje				49	0	14			3	4	0	0							
Topolšica									3	4	0	0							
Veliki vrh									3	5	0	0							
Graška gora									4	4	0	0							
OMS-MOL																			
LJ Center	34	37					45*	0	5	3	0	0		2,2					
Občina Medvode																			
Medvode	15	2												1,2					
MO Celje																			
CE Gaji	24	25					14	0	8	5	0	0							
EIS TEB																			
Sv. Mohor				69	1	35	5	0	6	6	0	0							
MO Maribor																			
MB Vrbanski Pohorje	18	0					16	0											
EIS Anhovo																			
Morsko Gorenje Polje	15	5																	
Občina Miklavž na Dravskem polju																			
Miklavž	25	31																	
MO Ptuj																			
Ptuj	22	15																	
Občina Ruše																			
Ruše	22	11																	

* Podatki so zaradi prevelikega izpada podatkov informativnega značaja.

Kazalo

1	Uvod	1
2	Ocenjevanje kakovosti zunanjega zraka	7
2.1	Meritve na stalnih merilnih mestih	9
2.2	Ocenjevanje kakovosti zraka s tehniko združevanja podatkov	15
2.2.1	Modelski sistem ALADIN-SI/CAMx	15
2.2.2	Meritve	16
2.2.3	Postopek združevanja meritev in modelskih izračunov	17
2.2.4	Primer rezultatov	17
2.3	Analiza izvora in potencialov zmanjšanja onesnaženja z modelskim orodjem SHERPA	22
2.3.1	Vpliv izpustov znotraj območja Slovenije	23
2.3.2	Onesnaženost v mestih	25
2.3.3	Vpliv sosednjih regij	28
2.3.3.1	Koper	28
2.3.3.2	Nova Gorica	31
2.3.4	Vpliv posameznih slovenskih regij	32
3	Dodatne meritve	35
4	Delci PM₁₀ in PM_{2,5}	39
4.1	Izpusti primarnih delcev in predhodnikov	40
4.2	Zahteve za kakovost zraka	44
4.3	Ravni onesnaženosti	44
4.4	Epizode čezmerne onesnaženosti	56
4.5	Kemijska in elementna sestava delcev	60
4.6	Preseganja mejnih vrednosti zaradi naravnih virov	60
4.7	Ravni onesnaženosti v državah EU	64
5	Onesnaževala v delcih - benzo(a)piren in težke kovine	69
5.1	Benzo(a)piren	69
5.1.1	Zahteve za kakovost zraka	69
5.1.2	Ravni onesnaženosti	69

5.1.3	Ravni onesnaženosti v državah EU	73
5.2	Težke kovine	74
5.2.1	Izpusti	74
5.2.2	Zahteve za kakovost zraka	77
5.2.3	Ravni onesnaženosti	77
5.2.4	Ravni onesnaženosti v EU	87
6	Ozon	91
6.1	Zahteve za kakovost zraka	91
6.2	Ravni onesnaženosti	92
6.3	Ravni onesnaženosti v EU	102
7	Dušikovi oksidi	105
7.1	Izpusti	105
7.2	Zahteve za kakovost zraka	106
7.3	Ravni onesnaženosti	107
7.4	Ravni onesnaženosti v EU	115
8	Žveplov dioksid	117
8.1	Izpusti	117
8.2	Zahteve za kakovost zraka	118
8.3	Ravni onesnaženosti	119
8.4	Ravni onesnaženosti v EU	126
9	Ogljikov monoksid	127
9.1	Izpusti	127
9.2	Zahteve za kakovost zraka	128
9.3	Ravni onesnaženosti	129
9.4	Ravni onesnaženosti v EU	130
10	Benzen	131
10.1	Izpusti	131
10.2	Zahteve za kakovost zraka	133
10.3	Ravni onesnaženosti	133
10.3.1	Primerjava ravni onesnaženosti z EU	133
11	Živo srebro v zraku	137
11.1	Izpusti	138
11.2	Ravni onesnaženosti	139
11.3	Primerjava ravni onesnaženosti v Evropi	140
12	Kakovost padavin	141
12.1	Raven vrednosti pH, električne prevodnosti in onesnaženosti padavin z nekaterimi anorganskimi ioni	141

12.1.1 Mesečna raven vrednosti pH, električne prevodnosti in onesnaženosti padavin z nekaterimi anorganskimi ioni	142
12.1.2 Letna raven vrednosti pH, električne prevodnosti in onesnaženosti padavin z nekaterimi anorganskimi ioni	142
12.1.3 Primerjava ravni onesnaženosti v Evropi	149
12.2 Raven onesnaženosti padavin s težkimi kovinami	151
12.2.1 Primerjava ravni onesnaženosti v Evropi	152
12.3 Raven onesnaženosti padavin z živim srebrom	154
12.3.1 Primerjava ravni onesnaženosti v Evropi	154
12.4 Raven onesnaženosti padavin s policikličnimi aromatskimi ogljikovodiki	155

13 Literatura

159

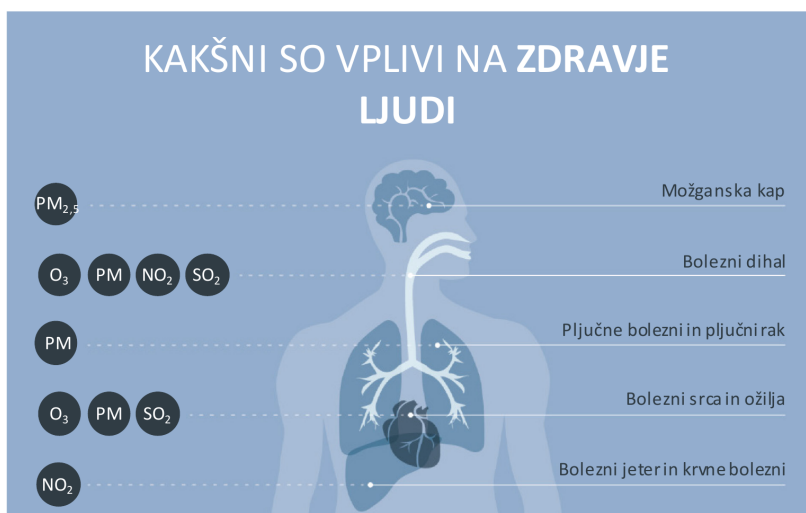
1. Uvod

Onesnaženost zraka po mnenju Svetovne zdravstvene organizacije (WHO) predstavlja največje okoljsko tveganje za zdravje ljudi, v Evropski uniji pa je prepoznana kot drugi največji okoljski problem, takoj za podnebnimi spremembami [2]. Onesnaževala v zraku so lahko posledica lokalnih izpustov in prizadenejo bližnjo okolico ali pa z gibanjem zračnih mas prepotujejo velike razdalje; pri tem nekatera sodelujejo v zapletenih kemijskih pretvorbah in njihov vpliv tako seže tudi daleč od prvotnih virov. Onesnaženost zraka je predvsem posledica delovanja človeka, lahko pa izhaja tudi iz gozdnih požarov, izbruhov vulkanov, erozije vetra in drugih naravnih pojavov.

Na številnih območjih po svetu količina izpustov in posledično onesnaženost ozračja še vedno naraščata. V Sloveniji, podobno kot drugje po Evropi, se emisije postopno zmanjšujejo, vendar kakovost zraka marsikje še vedno ostaja slaba. Največji problem v Sloveniji predstavlja prekomerna onesnaženost z delci PM_{10} v zimskem obdobju, ki je posledica številnih izpustov in specifičnih geografskih pogojev, s katerimi so povezane neugodne vremenske razmere za redčenje onesnaženja. V primeru delcev so najbolj problematičen vir onesnaženja individualna kurišča, zlasti uporaba lesa v zastarelih malih kurilnih napravah. V bližini prometnih cest pa ima pomemben vpliv na ravni delcev tudi promet.

Vpliv onesnaženega zraka na **zdravje ljudi** se običajno vrednoti z ocenjevanjem povečane smrtnosti in obolevnosti prebivalstva ter izrazi bodisi kot izgubljena leta življenja ali pa kot število prezgodnjih smrti. Ocene se pripravljajo na osnovi podatkov o onesnaženosti zraka, demografskih podatkov in povezav med izpostavljenostjo onesnaženemu zraku in obolevnostjo. Po oceni vpliva z delci onesnaženega zraka na število prezgodnjih smrti in izgubljena leta življenja, je v Sloveniji stanje podobno oziroma nekoliko slabše kot v evropskem povprečju [3]. Vpliv najpogostejših onesnaževal na zdravje prikazuje slika 1.1. Preko vpliva na življenjsko dobo prebivalstva, povečanih stroškov medicinske oskrbe in zmanjšane delovne učinkovitosti ima onesnaženost zraka tudi pomemben ekonomski vpliv. Onesnažen zrak poleg tega škoduje ekosistemom, vegetaciji, stavbam in drugi infrastrukturi.

Mnoga onesnaževala vplivajo tudi na **podnebne spremembe**. Izboljšanje kakovosti zraka lahko pomaga pri blaženju podnebnih sprememb, ni pa vedno tako. Nekatera onesnaževala namreč prispevajo k ohlajanju (npr. delci v zraku), druga pa povzročajo segrevanje ozračja (npr. CO , NH_3 in NO_x) [5]. Lesna biomasa, katere uporaba za ogrevanje lahko sprošča visoke izpuste delcev, predstavlja z vidika vpliva na podnebje CO_2 nevtralnno gorivo. Področje kakovosti zraka in področje podnebnih sprememb sta torej dva različna izziva sodobnega časa, ki pa ju je potrebno reševati v medsebojnem sodelovanju.



Slika 1.1: Glavni vplivi PM, NO₂, SO₂ in O₃ na zdravje [4].

Evropska **zakonodaja** pokriva področje kakovosti zraka v treh tematskih sklopih. V prvi sklop sodita Direktivi 2008/50/ES [6], 2004/107/ES [7], 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 Direktivo [8], ki določa nacionalne obveznosti zmanjšanja antropogenih emisij snovi, ki povzročajo zakisljevanje, eutrofikacijo in povečanje troposferskega ozona... V tretjem sklopu pa je evropska zakonodaja, ki določa standarde za industrijske emisije, emisije iz kurilnih naprav, cestnih vozil, delovnih strojev, standarde kakovosti transportnih vozil in energetske 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 [6] in Direktiva 2004/107/ES o arzeniu, kadmiju, živem srebru, niklju in policikličnih aromatskih ogljikovodikih [7] v zunanjem zraku. Direktivi sta bili v slovenski pravni red prenešeni z Uredbo o kakovosti zunanjega zraka [9], Uredbo o arzeniu, kadmiju, živem srebru, niklju in policikličnih aromatskih ogljikovodikih v zunanjem zraku [10] ter s Pravilnikom o ocenjevanju kakovosti zunanjega zraka [11]. 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 spremljamo kakovost zraka v Sloveniji že več desetletij. Skladno s Pravilnikom o ocenjevanju kakovosti zunanjega zraka [11] zagotavljamo v okviru državne merilne mreže na stalnih merilnih mestih zanesljive in kakovostne **meritve** delcev PM₁₀ in PM_{2,5}, ozona (O₃), žveplovega dioksida (SO₂), ogljikovega monoksida (CO), dušikovega dioksida (NO₂), dušikovih oksidov (NO_x), svinca (Pb), benzena (C₆H₆), arzena (As), kadmija (Cd), niklja (Ni) in benzo(a)pirena. Poleg tega občasno izvajamo tudi merilne kampanje oziroma indikativne meritve. Z namenom sodelovanja pri ugotavljanju regionalnega in kontinentalnega prenosa onesnaženja smo z meritvami udeleženi tudi v programu EMEP, ki deluje v okviru Konvencije o onesnaževanju zraka na velike razdalje preko meja [12], in programu Svetovne meteorološke organizacije o Opa-

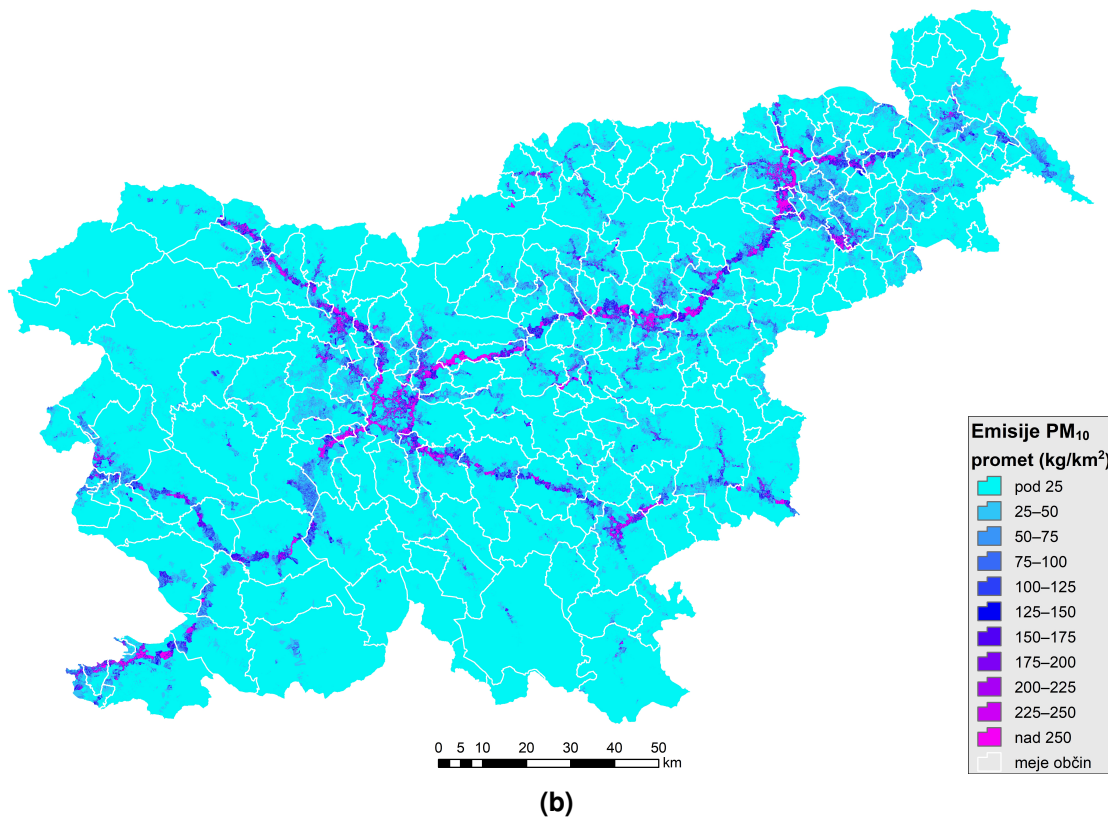
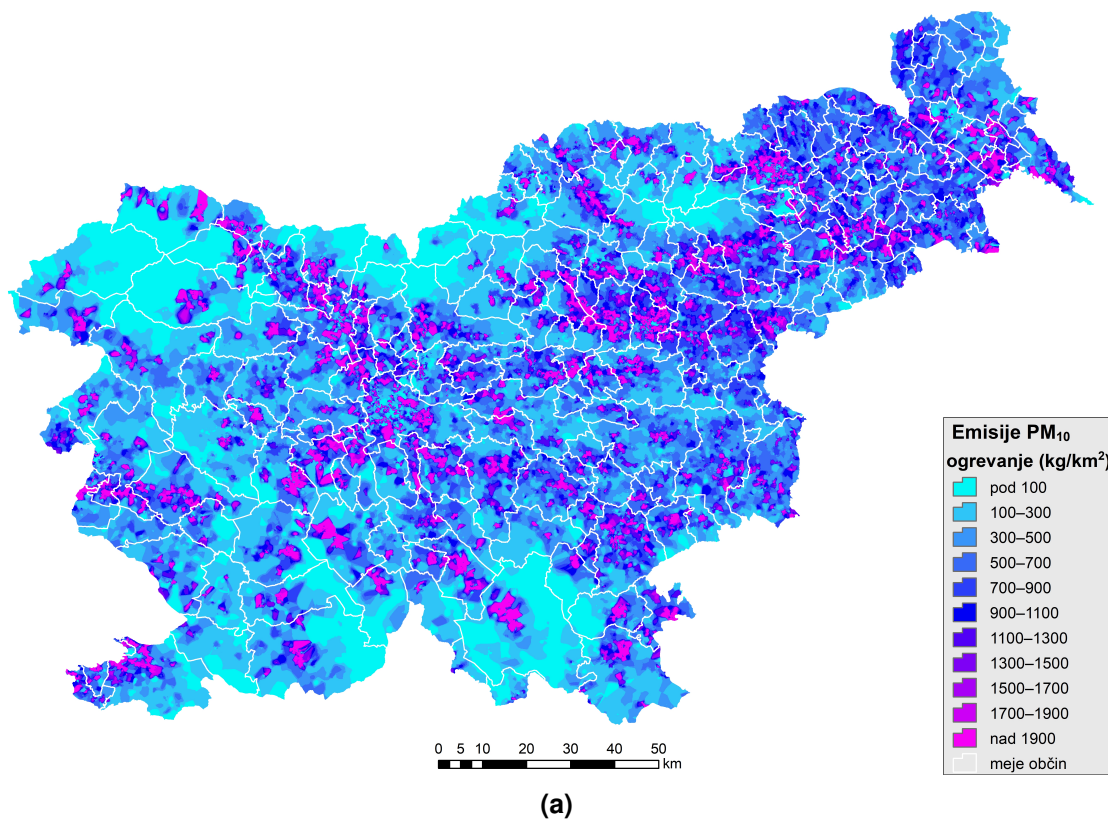
zovanju atmosfere zemlje (WMO-GAW). Te meritve poleg ravni onesnaževal v zraku obsegajo tudi spremljanje kakovosti padavin in usedlin.

Kot pomoč pri ocenjevanju kakovosti zraka, analizah vzrokov čezmerne onesnaženosti in napovedovanju ravni onesnaževal uporabljamo na Agenciji tudi **numerične modele**. Vzpostavljen imamo regionalen disperzijsko-fotokemičen model CAMx, sklopljen z meteorološkim modelom ALADIN/SI ter statistične modele za napovedovanje ravni delcev oziroma ozona po posameznih krajih. Za potrebe celostne ocene vpliva virov po posameznih območjih, onesnaževalih in emisijskih virih, smo vzpostavili tudi orodji SHERPA in RIAT+. Slednji omogoča vrednotenje različnih ukrepov za izboljšanje kakovosti zraka tudi iz ekonomskega vidika.

Podatke o oceni kakovosti zraka skupaj z opisom načina ocenjevanja ter uporabljenimi tehnikami redno **poročamo** Evropski okoljski agenciji (EEA). Poročani podatki so osnova za ugotavljanje skladnosti z mejnimi ali ciljnimi vrednostmi ravni onesnaževal v zraku in predstavljajo osnovno informacijo o ukrepih, njihovih učinkih in politikah za zmanjševanje čezmerne onesnaženosti. 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 tekočo **objavo podatkov** avtomatskih merilnih postaj na spletnih straneh ARSO in na teletekstu nacionalne televizije. Mesečno pregledane podatke meritev objavimo v mesečnem biltenu Naše okolje. Rezultati meritev, objavljeni v letnem poročilu, pa 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 PM₁₀ ali ozona z izdajo obvestil oziroma opozoril prebivalcem omogočimo, da lahko zmanjšajo svojo izpostavljenost onesnaženemu zraku, in sicer s prilagoditvijo aktivnosti na prostem. Ob epizodah povišane onesnaženosti z delci PM₁₀ pa jih želimo tudi vzpodbuditi, da s svojim ravnanjem pripomorejo k nižjim izpustom onesnaževal. V ta namen dnevno izdajamo **napoved** kakovosti zraka; v zimskem času napovedujemo delce PM₁₀, v poletnem pa ozon. Obenem prikazujemo trenutno stopnjo onesnaženosti zraka s prenovljenim **indeksom** kakovosti zunanjega zraka, ki hkrati upošteva ravni delcev PM₁₀, NO₂, SO₂ in O₃.

Na Agenciji od spomladi 2016 do spomladi 2021 izvajamo projekt **Sinica**, v okviru katerega posodabljam in nadgrajujemo sistem za spremljanje kakovosti zraka, da bi v prihodnje zagotovili še bolj kakovostne, ažurne in prostorsko reprezentativne meritve ter modelske izračune onesnaženosti zraka. Nadgrajujejo se stara in na novo vzpostavljajo nekatera nova stalna merilna mesta. Vzpostavljene bodo posebne postaje, namenjene občasnim meritvam za izboljšanje informacije o prostorski porazdelitvi onesnaženosti v državi. Pridobitev prostorsko in časovno podrobnih podatkov o virih onesnaženja, posodobitev laboratorijev, analitsko-informacijskega sistema in računskega centra pa je večinoma zaključena. Omenjena infrastruktura nam bo v pomoč pri boljšem obveščanju in ozaveščanju javnosti, natančnejši podatki o kakovosti zraka pa podlaga za pripravo načrtov za izboljšanje kakovosti zraka. Slika 1.2 prikazuje rezultate projekta pridobljene v okviru sklopa, ki pokriva izdelavo emisijske evidence in scenarijev izpustov. Prikazani so izpusti PM₁₀ iz malih kurilnih naprav in prometa za leto 2016, pridobljeni v okviru projekta Sinica. Nekaj dodatnih informacij o aktivnostih in izvajanju projekta SINICA je na voljo na spletni strani [13].



Slika 1.2: Ocenejeni izpusti delcev PM₁₀ iz malih kurilnih naprav (a) in prometa (b) po prostorskih okoliših za leto 2016.

Agencija sodeluje tudi v projektu **LIFE-IP PREPAIR**, katerega namen je zmanjšati izpuste na območju Padske nižine z izvedbo ukrepov, ki jih predvideva t. i. »padski dogovor« oziroma v Padski nižini sprejeti akcijski načrti za izboljšanje kakovosti zraka. Padske nižina je zaradi goste poselitve, močne industrije in kmetijstva ter gostega prometa močno obremenjena z velikimi izpusti onesnaževal v zrak, zahodni vetrovi pa iz sosednje Italije prinesejo onesnažene zračne mase tudi nad območje Slovenije. Večji vpliv Padske nižine v Sloveniji zaznamo v primeru sekundarnih onesnaževal kot je ozon, še posebej na Primorskem. Pred prihodom fronte občasno vpliv Padske nižine opazimo tudi drugod po Sloveniji. Namen sodelovanja ARSO v projektu LIFE-IP PREPAIR je oceniti vpliv izpustov Padske nižine na kakovost zraka v Sloveniji ter vpliv tam izvedenih ukrepov na izboljšanje kakovosti zraka pri nas. Nekoliko več projektu je na voljo na spletni strani [14], v kasnejših poglavjih tega poročila pa predstavljamo tudi nekaj vmesnih rezultatov.

V tem poročilu prikazujemo rezultate meritev kakovosti zraka v letu 2019, za ponazoritev trendov onesnaženosti zraka pa tudi rezultate meritev iz prejšnjih obdobj. V poročilu smo osredotočeni na onesnaževala s predpisanimi mejnimi ali ciljnimi vrednostmi. Vključili smo tudi rezultate spremljanja kakovosti padavin, s katerimi se onesnaževala izpirajo iz zraka in vnašajo v vode in tla. Pri razlagi epizod onesnaženja si pomagamo z modelskimi izračuni. Po posameznih onesnaževalih navajamo podatke o izpustih iz državnih evidenc, ki se vodijo na ARSO. Podrobneje je predstavljeno združevanje podatkov meritev in modelskih izračunov onesnaženosti zraka na območju Slovenije in Padske nižine. Posebno poglavje namenjamo predstavitvi orodij SHERPA in RIAT+.

2. Ocenjevanje kakovosti zunanjega zraka

V skladu z Uredbo o kakovosti zunanjega zraka [9] in Pravilnikom o ocenjevanju kakovosti zunanjega zraka [11] lahko ocenjevanje kakovosti zunanjega zraka opravljamo s pomočjo rezultatov meritev na stalnih merilnih mestih, z indikativnimi meritvami, modeliranjem kakovosti zraka ter z objektivnimi ocenami. Za meritve na stalnih merilnih mestih zakonodaja predpisuje 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 specifikke iz območja celotne Slovenije izvzeta Zgornja Mežiška dolina.

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 onesnaženosti posameznega onesnaževala pod spodnjim ocenjevalnim pragom, zadostujeta za ocenjevanje kakovosti zraka objektivna ocena ali modeliranje. V primeru, ko so ravni onesnaženosti nad spodnjim ocenjevalnim pragom, so v posameznem območju ali aglomeraciji obvezne meritve na stalnih merilnih mestih. Ko je onesnaženost zraka večja od zgornjega ocenjevalnega praga, so zahteve za najmanjše število stalnih merilnih mest večje.

V nadaljevanju so predstavljene meritve na stalnih merilnih mestih, uporabljene za potrebe ocenjevanja kakovosti zunanjega zraka v letu 2019. 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 merilnih mestih

S sistematičnimi meritvami ravni onesnaževal na stalnih merilnih mestih smo v Sloveniji začeli v sredini sedemdesetih let prejšnjega stoletja. Avtomatske merilnike onesnaženosti zraka smo 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 meritvam ravni žvepovega dioksida. Kasneje smo merilno mrežo postopoma širili in nadgradili še z meritvami drugih onesnaževal. ARSO upravlja državno merilno mrežo za spremljanje kakovosti zunanjega zraka (DMKZ). V letu 2019 je DMKZ sestavljalo 20 merilnih mest, meritve pa ARSO izvaja tudi na merilnem mestu Velenje in MB Vrbanski plato. S temi meritvami zagotavljamo osnovne podatke o kakovosti zraka v Sloveniji. Poleg meritev v okviru DMKZ na stalnih merilnih mestih se meritve izvajajo tudi v okolici nekaterih večjih energetskih in industrijskih objektov z namenom spremljanja vplivov le teh na kakovost zraka. Dodatne meritve zagotavljajo tudi nekatere lokalne skupnosti. V tem poročilu so poleg rezultatov meritev DMKZ navedeni tudi rezultati meritev merilnih mrež termoelektrarn (TEŠ, TET, TEB in TE-TOL), cementarne Salanit Anhovo, mestnih občin Ljubljana, Maribor, Ptuj in Celje ter občin Miklavž na Dravskem polju, Ruše in Medvode.

Podatki o merilnih mestih, na katerih spremljamo ravni onesnaževal in meteorološke parametre, so podani v tabelah 2.3 in 2.4 in prikazani na sliki 2.1. Lokacije merilnih mest v okviru DMKZ so bile izbrane v skladu z določili Pravilnika o ocenjevanju kakovosti zunanjega zraka. Za vsako merilno mesto so podani nadmorska višina, geografske koordinate, tip merilnega mesta, tip in značilnosti območja ter geografski opis (tabela 2.3). Pri tej določitvi so upoštewane smernice Evropske okoljske agencije. V letu 2019 je bilo v okviru DMKZ le nekaj sprememb pri meritvah delcev. V Celju smo 8. 11. 2019 pričeli z meritvami delcev $PM_{2,5}$ ampak v tem poročilu ti podatki še niso predstavljeni, ker meritve niso potekale večino leta. Na Ptujju smo 18. 12. 2019 v okviru DMKZ začeli z meritvami delcev PM_{10} , meritve delcev PM_{10} smo uvedli tudi na merilnem mestu MB Vrbanski 13. 11. 2019. Ker je do sedaj meritve na teh dveh merilnih mestih izvajal Nacionalni Laboratorij za zdravje, okolje in hrano, smo povprečno letno raven in število preseganj mejne dnevne vrednosti za delce PM_{10} v letu 2019 izračunali s kombinacijo podatkov iz obeh merilnih mrež. S 1. 10. 2019 so bile začasno ukinjene meritve kakovosti zraka v Hrastniku zaradi prenove postaje v okviru projekta Sinica.

Merilna mesta mestnega ozadja, med katere uvrščamo Ljubljano Bežigrad, Ljubljano Biotehniška, Celje, Hrastnik, Novo Gorico, Koper, Kranj, Novo mesto, Maribor Vrbanski in Velenje, so reprezentativna za gosteje naseljene predele mest, v katerih živi večina prebivalstva.

Z meritvami na prometnih merilnih mestih Ljubljana center, Maribor, Zagorje, Ljubljana Gospodarsko razstavišče, Nova Gorica Grčna, Celje Mariborska in Murska Sobota Cankarjeva pridobimo podatke o kakovosti zraka ob prometnih cestah.

Merilna mesta predmestnega ozadja, kot na primer merilno mesto Trbovlje podajajo razmere glede kakovosti zraka na obrobju mest ali večjih naselij, za katere je značilna manjša gostota prometa in poselitve.

Merilno mesto Murska Sobota 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 spremljanje transporta toplogrednih plinov in fotooksidantov. Na obeh merilnih mestih v neobremenjenem okolju se spremlja ozadje onesnaženega zraka.

Podrobnejši opis merilnih mest, ki delujejo v okviru DMKZ, je na voljo na spletni strani ARSO v Atlasu okolja. Meritve kakovosti zraka na stalnem merilnem mestu morajo biti točne, natančne in zanesljive ter morajo hkrati izpolnjevati zahteve glede razpoložljivosti rezultatov meritev. Zahteva se uporaba standardiziranih referenčnih metod, ki jih navaja Direktiva o kakovosti zraka in jih povzema Pravilnik o ocenjevanju kakovosti zunanjega zraka. Druge metode se lahko uporabljajo le, če je bila s preizkusi dokazana njihova ekvivalentnost referenčni metodi.

Merilniki na osnovi referenčnih metod za 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 PM_{10} in $PM_{2,5}$ temelji na laboratorijskem tehtanju filtrov, skozi katere se je 24 ur prečrpaval zrak. Podatki referenčnih meritev delcev zagotavljajo dnevno povprečje in so na razpolago z večtedenskim zamikom. Enako velja tudi za določanje ravni težkih kovin in benzo(a)pirena, kjer se v laboratoriju analizira njihova vsebnost v delcih PM_{10} zbranih na filtrih.

Meritve delcev PM_{10} 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 30 minut. Podatke z avtomatskih merilnikov delcev PM_{10} DMKZ uporabljamo predvsem za obveščanje javnosti in analize obdobja s prekomerno onesnaženostjo in ne za določanje skladnosti z mejnimi vrednostmi.

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 2019, ki delujejo v okviru DMKP. Nabor meritev za ugotavljanje kakovosti padavin na merilnih mestih DMKP je podan v tabeli 2.6. Štiri merilna mesta so v podeželskem okolju (Iskrba, Murska Sobota Rakičan, Rateče, Škocjan), v urbanem območju je le merilno mesto Ljubljana Bežigrad. Mreža kakovosti padavin se glede na prejšnja leta ni spremenila.

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

Merilno mesto	NV	GKK _y	GKK _x	Tip merilnega mesta	Tip območja	Značilnost območja
DMKZ						
LJ Bežigrad	299	462673	102490	B	U	RC
LJ Biotehniška	297	459457	100591	B	U	R
LJ Gospodarsko	299	462271	101945	T	U	R
Maribor	270	550305	157414	T	U	RC
Celje	240	520614	121189	B	U	R
CE Mariborska	238	521412	121576	T	U	R
MS Rakičan	188	591591	168196	B	R(NC)	A
MS Cankarjeva	189	588979	168768	T	U	RC
Nova Gorica	113	395909	91034	B	U	RC
NG Grčna	104	395923	90794	T	U	R
Trbovlje	250	503116	110533	B	S	RCI
Zagorje	241	500070	109663	T	U	RCI
Hrastnik	290	506805	111089	B	U	IR
Koper	56	399911	45107	B	U	R
Iskrba	540	489292	46323	B	R(REG)	N
Žerjav	543	490348	149042	I	R	RA
Kranj	391	451356	122802	B	U	R
Novo mesto	214	514163	73066	B	U	R
Otlica	918	415980	88740	B	R(REG)	N
Krvavec	1740	464447	128293	B	R(REG)	N
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
Veliki 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						
Vnajarje	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 Vrbanski	280	548452	158497	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						
Ptuj	230	567737	142758	B	U	R
Občina Ruše						
Ruše	302	539870	155217	B	R	RC
Občina Medvode						
Medvode	346	454441	111411	B	S	RC

Tip merilnega mesta:

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

Tip območja:

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

Začilnosti območja:

R=stanovanjsko (residential), C=poslovno (commercial), I=industrijsko (industrial),
A=kmetijsko (agricultural), N=naravno (natural)

Tabela 2.4: Meritve onesnaževal in meteoroloških parametrov na stalnih merilnih mestih v letu 2019.

Merilno mesto	SO ₂	O ₃	NO ₂ , NO _x	PM ₁₀	PM _{2,5}	CO	Benzen	Težke kovine v PM ₁₀	PAH v PM ₁₀	EC/OC in ioni v PM _{2,5}	Hg	Meteorološki parametri
DMKZ												
LJ Bežigrad	+	+	+	+	+	+	+	+	+			+
LJ Biotehniška				+								
LJ Gospodarsko				+								
Maribor			+	+			+	+	+			+
MB Vrbanski*		+		+	+							
Celje	+	+	+	+	+			+				+
CE Mariborska				+								
MS Rakičan		+	+	+								+
MS Cankarjeva				+								
Nova Gorica		+	+	+	+					+		+
NG Grčna				+								
Trbovlje	+	+	+	+		+						+
Zagorje	+	+	+	+								+
Hrastnik	+	+		+								+
Koper		+	+	+								+
Iskrba	+	+	+	+	+			+	+	+	+	+
Žerjav				+				+				
Kranj				+								
Novo mesto				+								+
Velenje*				+								
Otlica		+										+
Krvavec		+				+						+
Dopolnilna merilna mreža												
EIS TEŠ												
Pesje	+			+								
Škale	+		+	+								+
Šoštanj	+		+	+								+
Zavodnje	+	+	+									+
Velenje	+	+										+
Topolšica	+											+
Veliki Vrh	+											+
Graška gora	+											+
OMS MO LJUBLJANA												
LJ Center	+		+	+			+					+
MO Celje												
CE Gaji	+		+	+								
EIS TEB												
Sv. Mohor	+	+	+									+
MO MARIBOR												
MB Vrbanski			+	+								+
Pohorje		+										
EIS ANHOVO												
Morsko				+								
Gorenje Polje				+								
Občina Miklavž na Dravskem polju												
Miklavž				+								
MO Ptuj												
Ptuj				+								
Občina Ruše												
Ruše				+								
Občina Medvode												
Medvode				+			+					

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

* Z merilnim mestom ne upravlja ARSO.

Tabela 2.5: Nadmorska višina in koordinate merilnih mest 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 merilnih mestih DMKP.

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

Osnovni kationi in anioni:

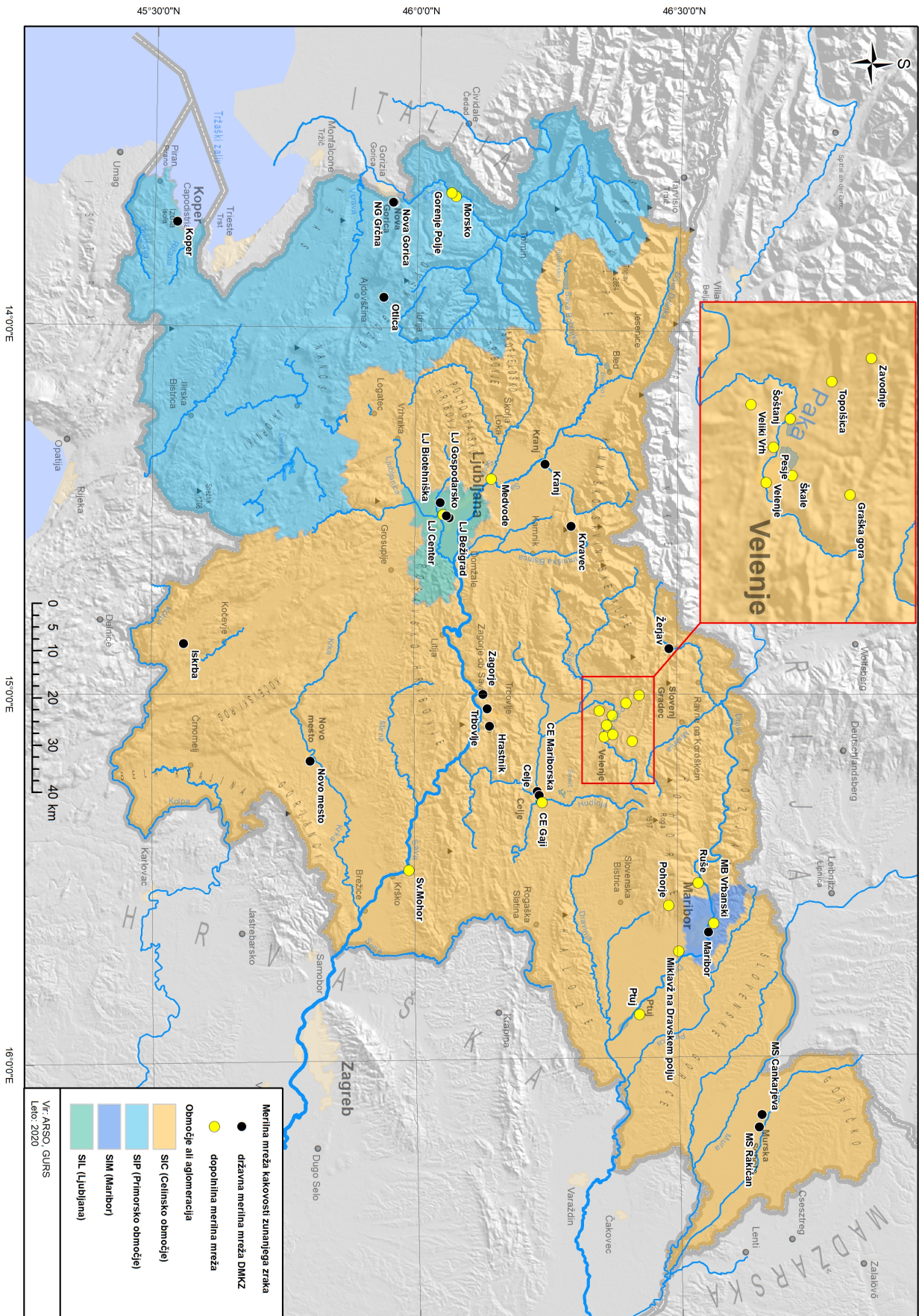
Ca²⁺, Mg²⁺, NH₄⁺, Na⁺, K⁺, Cl⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻

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 2019.

2.2 Ocenjevanje kakovosti zraka s tehniko združevanja podatkov

Za ocenjevanje kakovosti zraka poleg meritev uporabljamo tudi rezultate modeliranja. Meritve nam dajo kakovostno oceno o onesnaženosti zraka na lokacijah merilnih mest, medtem ko z modelskimi izračuni pridobimo informacijo o prostorski porazdelitvi onesnaževal. Rezultati numeričnih modelov imajo zaradi različnih negotovosti omejeno natančnost. Le-to 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.

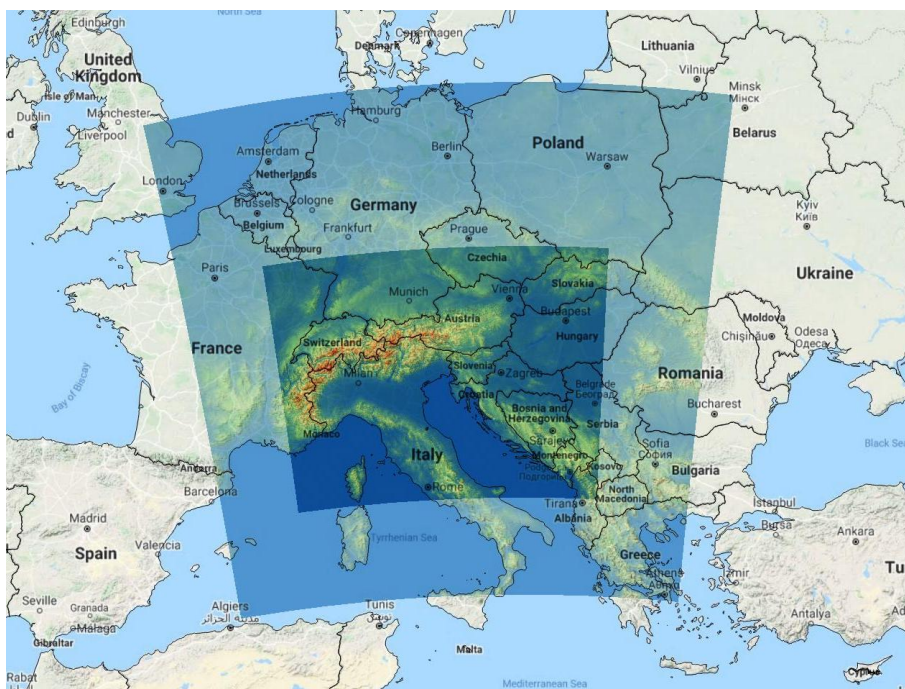
S tehniko združevanja meritev in modelskih izračunov na ARSO v okviru projekta LIFE-IP PREPAIR [14] pripravljamo mesečne in letne karte povprečnih vrednosti onesnaževal PM_{10} in NO_2 ter povprečja dnevnih maksimumov O_3 . Postopek in primeri rezultatov so predstavljeni v nadaljevanju.

2.2.1 Modelski sistem ALADIN-SI/CAMx

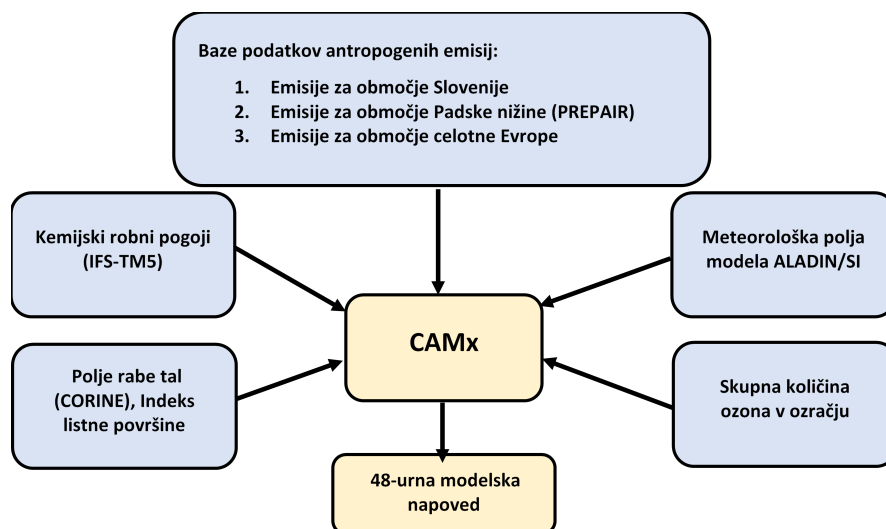
Na ARSO imamo za namen ocenjevanja kakovosti zraka na območju Slovenije, analize vzrokov čezmerne onesnaženosti zraka in za podporo pripravi napovedi onesnaženosti zraka z delci PM_{10} in O_3 , vzpostavljen regionalni disperzijsko-fotokemijski model CAMx (Comprehensive Air quality Model with extensions; Environ, 2018), sklopljen z operativnim meteorološkim modelom ALADIN/SI.

V vzpostavljeni konfiguraciji ALADIN/SI-CAMx je območje modeliranja modela CAMx prilagojeno modelu ALADIN/SI (slika 2.2). Zaradi časovne zahtevnosti izračunov območje modela CAMx ne pokriva celotnega območja meteorološkega modela, ampak predvsem področja, ki najbolj vplivajo na kakovost zraka v Sloveniji. Območje CAMx modela tako med drugim pokriva tudi celotno Padsko nižino. Uporabljena prostorska ločljivost modela CAMx je 4,4 km in je enaka prostorski ločljivosti meteorološkega modela. Vertikalni modelski nivoji v obeh modelih se ujemajo, le da ima model CAMx vključenih samo spodnjih 68 nivojev (do višine približno 11 km) od skupno 87 nivojev v modelu ALADIN/SI.

Za uspešen zagon modela CAMx so poleg meteoroloških vhodnih polj (zračni tlak, temperatura zraka, temperatura tal, hitrost in smer vetra, specifična vlaga) ključni tudi podatki o izpustih, kemijskih robnih pogojih in fiziografskih značilnostih (raba tal, indeks listne površine). Uporabljamo tri vire podatkov o izpustih onesnaževal na območju modeliranja, in sicer prostorsko in časovno podrobne informacije o izpustih za območje Slovenije (ARSO, podatki za leto 2013), popis izpustov Padske nižine (projekt PREPAIR, za leto 2016) in podatki o izpustih na preostalih območjih izven Slovenije (TNO-MACCI, za leto 2011). Ravni onesnaževal na robovih območja modeliranja pridobimo iz globalnega disperzijsko-fotokemijskega modela Evropskega centra za srednjeročne vremenske napovedi (ECMWF). Shema vzpostavljenega sistema modeliranja prikazuje slika 2.3.



Slika 2.2: Prikaz računskega območja modela ALADIN/SI (večje zunanje območje) in računskega območja v modelu CAMx (manjše notranje območje).



Slika 2.3: Vhodni podatki modela CAMx, vzpostavljenega na ARSO.

2.2.2 Meritve

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, tako meritve iz merilnih mest v Sloveniji kot v Padski nižini.

Število vseh merilnih mest, vključenih v pripravo kart prikazanih v nadaljevanju, je po posameznih onesnaževalih navedeno v preglednici 2.7.

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

Onesnaževalo	Število postaj
PM ₁₀	121
NO ₂	107
O ₃	95

2.2.3 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.

2.2.4 Primer rezultatov

V nadaljevanju so prikazani rezultati metode združevanja podatkov za povprečne mesečne vrednosti PM₁₀ in NO₂ ter povprečne mesečne vrednosti dnevni maksimumov O₃, in sicer za mesec februar 2019.

Primerjava prostorske porazdelitve ravni onesnaževal izračunane z numeričnim modelom in karte onesnaženja, ki je rezultat združevanja podatkov (slike 2.4, 2.5 in 2.6) pokaže, da z združevanjem podatkov izboljšamo dve lastnosti prostorskih polj:

1. Izboljšamo ločljivost modelskih rezultatov iz 4.4 km na 1 km z upoštevanjem nadmorske višine. Tako v prostorski porazdelitvi onesnaženja razločimo več podrobnosti povezanih s terenom.

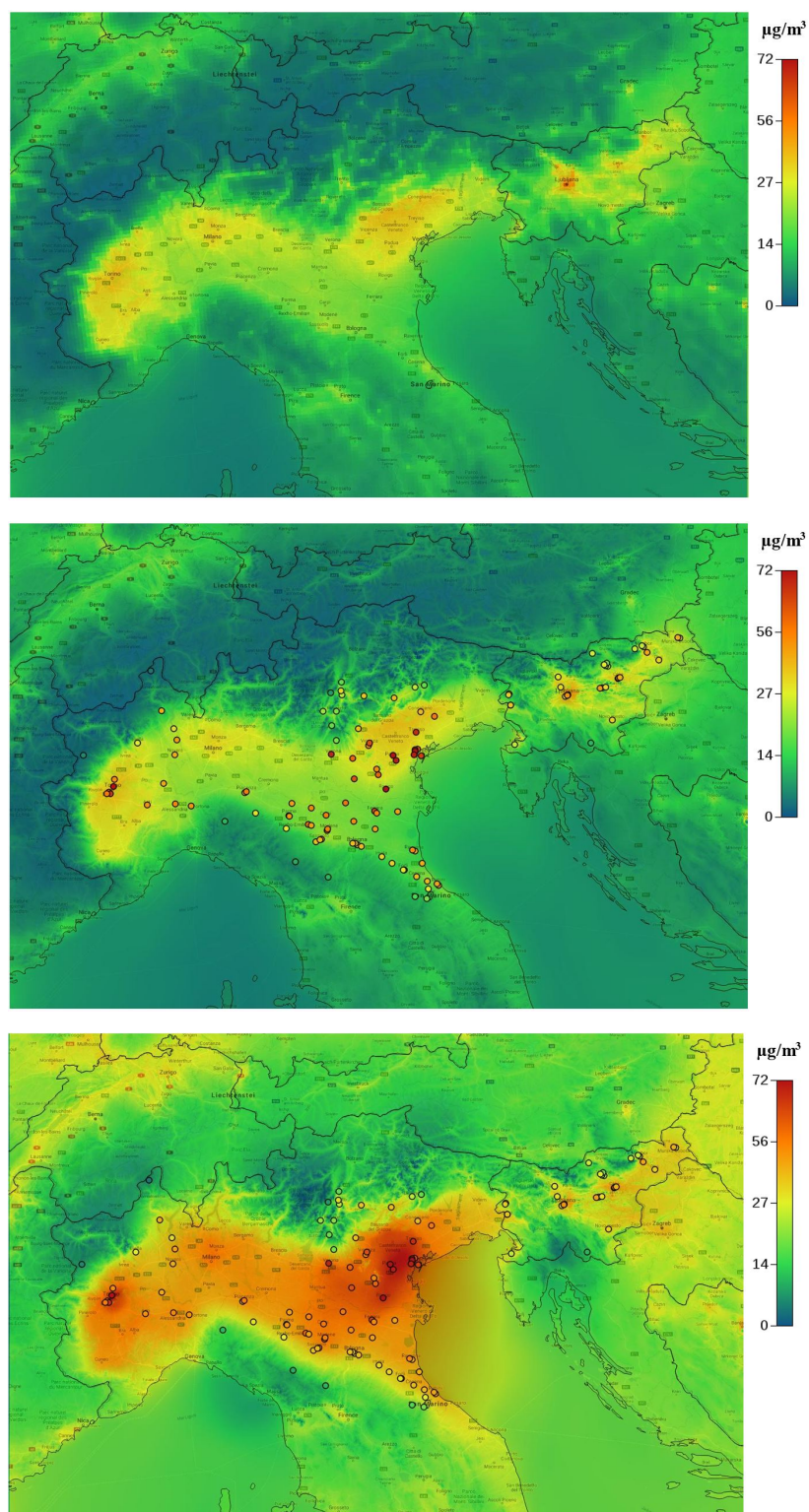
2. Rezultate iz prvega koraka dodatno obtežimo z rezultati meritev, da dobimo prostorsko porazdelitev, ki je predvidoma najbližje dejanskemu stanju.

Pri ocenjevanju kakovosti zraka s postopkom združevanja podatkov se srečujemo tudi z nekaterimi pomanjkljivostmi.

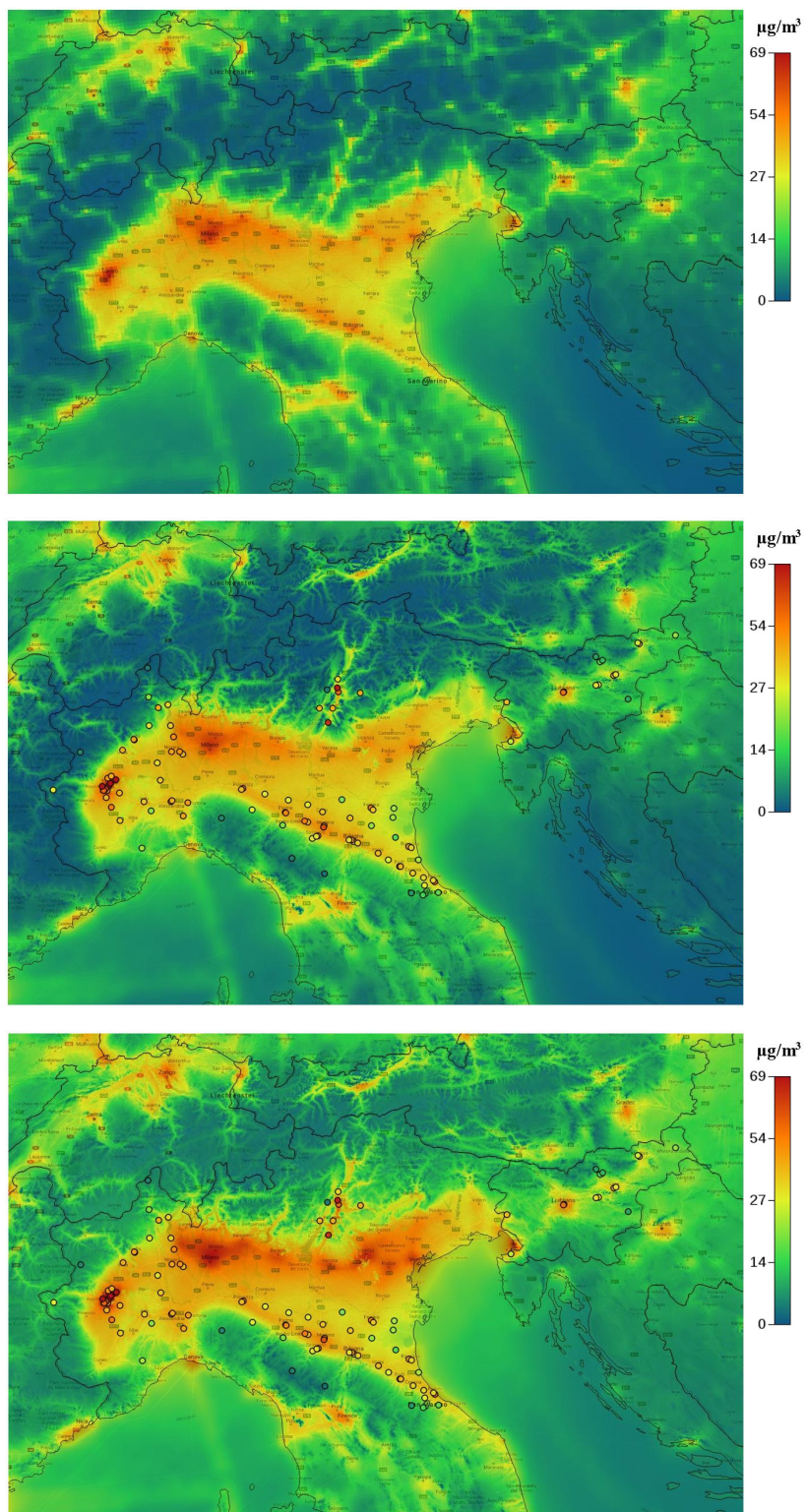
Model ALADIN-SI/CAMx praviloma vrednosti PM_{10} podcenjuje, nekoliko manj podcenjuje NO_2 , medtem ko so vrednosti O_3 kvečjemu ponekod previsoke, (slike 2.4, 2.5 in 2.6). Podcenjevanje PM_{10} je posebej izrazito v ozkih dolinah, kjer sta zaradi slabe modelske ločljivosti pomanjkljivo predstavljena 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 (sliki 2.4 in 2.5), kjer z metodo združevanja modelske rezultate z vključitvijo meritev precej izboljšamo.

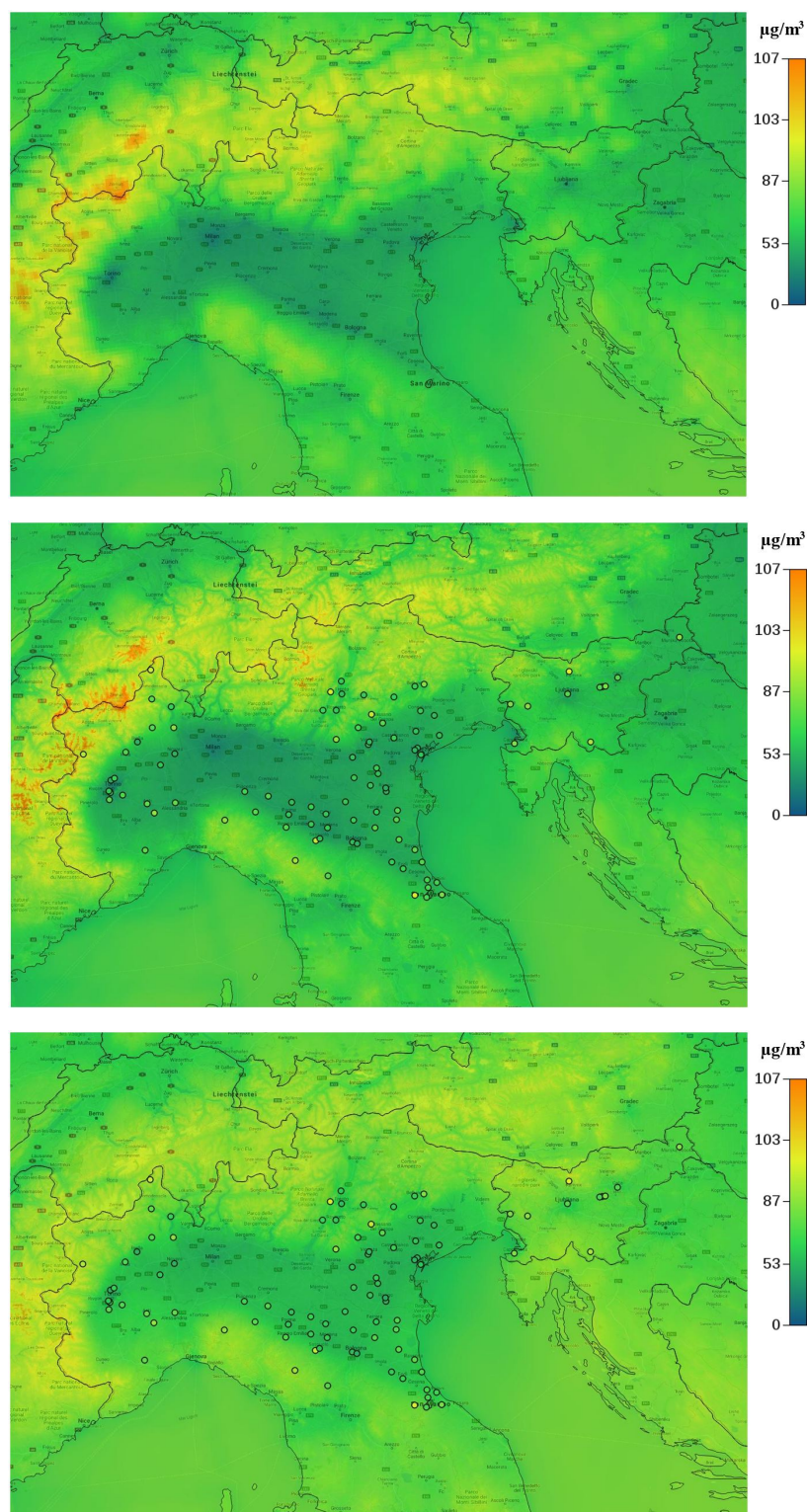
Težave pri izvedbi združevanja podatkov se pojavijo tudi zaradi majhnega števila merilnih mest. Potrebovali bi predvsem dodatne meritve ozadja na podeželskih območjih (kot je merilno mesto Iskrba za onesnaževali, NO_2), kjer so praviloma vrednosti odvisne od nadmorske višine (visokogorje ima na splošno precej nižje ravni delcev PM_{10}) in vplivov okoliških regij (zelo redko poseljena območja imajo 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, 2.5) in na območjih redke poselitve (Prekmurje, 2.4) dobili precenjene vrednosti, ki ne odražajo dejanskega stanja.



Slika 2.4: Prostorska porazdelitev povprečne mesečne ravni delcev PM₁₀ [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] za februar 2019, izračunane z numeričnim modelom ALADIN/SI-CAMx na 4.4 km ločljivosti (zgoraj), po prvem koraku postopka združevanja na ločljivosti 1 km (sredina) ter po drugem koraku postopka združevanja podatkov z vključitvijo meritev (spodaj). Točke prikazujejo rezultate meritev, obarvane skladno z izmerjenimi mesečnimi vrednostmi delcev PM₁₀ na posameznih merilnih postajah.



Slika 2.5: Prostorska porazdelitev povprečne mesečne ravni NO₂ [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] za februar 2019, izračunane z numeričnim modelom ALADIN/SI-CAMx na 4.4 km ločljivosti (zgoraj), po prvem koraku postopka združevanja na ločljivosti 1 km (sredina) ter po drugem koraku postopka združevanja podatkov z vključitvijo meritev (spodaj). Točke prikazujejo rezultate meritev, obarvane skladno z izmerjenimi mesečnimi vrednostmi NO₂ na posameznih merilnih postajah.



Slika 2.6: Prostorska porazdelitev povprečne mesečne ravni dnevni maksimumov O₃ [µg/m³] za februar 2019, izračunane z numeričnim modelom ALADIN/SI-CAMx na 4.4 km ločljivosti (zgoraj), po prvem koraku postopka združevanja na ločljivosti 1 km (sredina) ter po drugem koraku postopka združevanja podatkov z vključitvijo meritev (spodaj). Točke prikazujejo rezultate meritev, obarvane skladno z izmerjenimi mesečnimi ravni dnevni maksimumov O₃ na posameznih merilnih postajah.

2.3 Analiza izvora in potencialov zmanjšanja onesnaženja z modelskim orodjem SHERPA

Ravni onesnaževal v zraku so odvisne od izpustov in geografskih ter meteoroloških pogojev obravnavanega območja. Na nekaterih območjih zaradi geografskih značilnosti visoke ravni onesnaževal vztrajajo dlje kot drugje. Tudi učinki zmanjšanja izpustov so ponekod večji in drugod manjši. Pri načrtovanju optimalnih ukrepov za izboljšanje kakovosti zraka je zato potrebno prispevke posameznih virov onesnaženja analizirati tako na podlagi vrste emisij, kot tudi z vidika geografske povezanosti lokacij izpustov in onesnaženosti posameznih območij.

Evropski raziskovalni center (JRC) je za pomoč pri iskanju optimalnih ukrepov za izboljšanje kakovosti zraka razvil modelsko orodje SHERPA (Screening for High Emission Reduction Potential on Air). Orodje omogoča analizo izvora onesnaževal NO_2 , $\text{PM}_{2,5}$ in PM_{10} v posamezni regiji tudi z upoštevanjem kemijskih pretvorb iz primarnih onesnaževal (NO_x , NMVOC, NH_3 , PPM in SO_x). Sestavljajo ga trije moduli. S prvim modulom določimo prispevek posameznih regij k onesnaženju izbrane regije. Z drugim modulom določimo delež onesnaženja na katerega lahko vplivamo z ukrepi zmanjšanja izpustov po posameznih sektorjih znotraj obravnavanega območja in delež na katerega z ukrepi znotraj obravnavanega območja nimamo vpliva. S tretjim modulom lahko ocenimo učinke scenarija zmanjšanja izpustov, ki ga sestavimo na podlagi rezultatov prvih dveh modulov.

Izpusti so v modelskem orodju SHERPA klasificirani po sektorjih [15] (tabela 2.8).

Tabela 2.8: Izpusti v modelskem orodju SHERPA, klasificirani po sektorjih

sektor 1	izgorevanje v energetiki in industriji
sektor 2	ne-industrijski obrati za izgorevanje
sektor 3	izgorevanje v predelovalni industriji
sektor 4	proizvodni procesi
sektor 5	pridobivanje in distribucija fosilnih goriv
sektor 6	uporaba raztopljenih in podobnih proizvodov
sektor 7	cestni promet
sektor 8	ostali pogonski viri in mehanizacija
sektor 9	odlaganje in ravnanje z odpadki
sektor 10	kmetijstvo

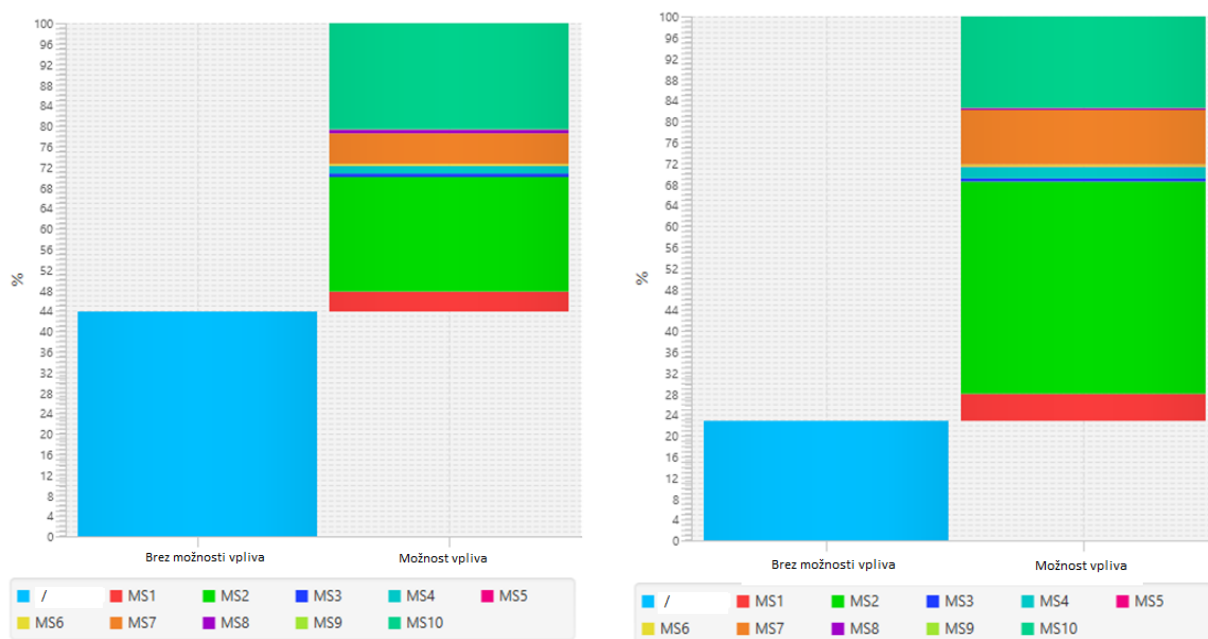
Na Agenciji RS za okolje smo orodje SHERPA nadgradili z implementacijo podrobnejših vhodnih podatkov za območje Slovenije in sosednjih držav. Uporabljeni so bili izpusti NO_x , NMVOC, NH_3 , PPM in SO_x v ločljivosti $4,4 \text{ km} \times 4,4 \text{ km}$, iz treh emisijskih baz, predstavljenih v poglavju 2.2.1. Z modelom ALADIN-SI/CAMx so bila pripravljena polja letnih povprečij NO_2 , $\text{PM}_{2,5}$ in PM_{10} . Posodobljene so bile modelske funkcije, ki povezujejo izpuste in ravni onesnaževal na mreži ločljivosti $4,4 \text{ km} \times 4,4 \text{ km}$.

Rezultati, ki jih dobimo z implementiranimi emisijskimi polji in modelskimi funkcijami, so preliminarni. Še zmerom lahko pričakujemo odstopanja pri obravnavi območij z razgibanim reliefom, npr. takšnih, kjer se viri izpustov nahajajo v dolinah, ki jih uporabljena ločljivost $4,4 \text{ km} \times 4,4 \text{ km}$ ne more zajeti. Razvoj orodja SHERPA se zato nadaljuje. V prihodnje bomo vključili prostorsko

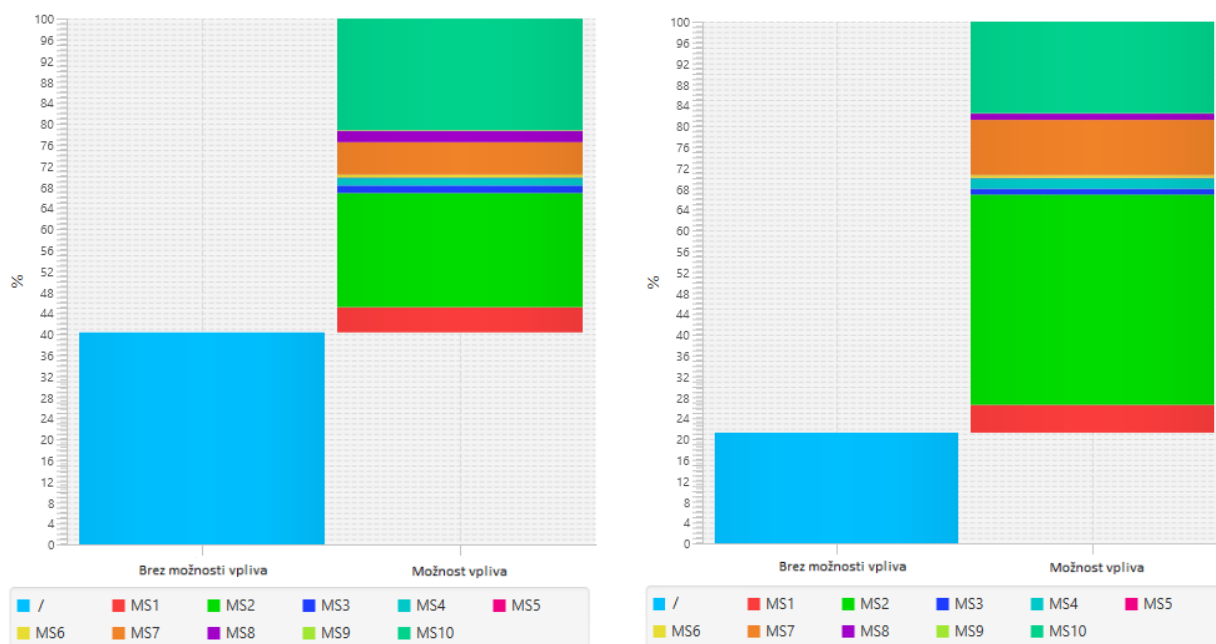
podrobnejše izpuste in modelska polja onesnaževal v ločljivosti 1 km × 1 km.

2.3.1 Vpliv izpustov znotraj območja Slovenije

Analiza izvora onesnaženja pokaže, da je 54 % delež ravni delcev PM₁₀ v Sloveniji posledica izpustov NO_x, NMVOC, NH₃, PPM in SO_x znotraj Slovenije. To je delež onesnaženja z delci PM₁₀, na katerega imamo vpliv z ukrepi znotraj države (Slika 2.7). Največji je prispevek sektorja ne-industrijskih obratov za izgorevanje (sektor 2). Ta vključuje tudi mala kurišča. Sledi kmetijstvo (sektor 10). Na bolj onesnaženih območjih Slovenije je večji del onesnaženja posledica lokalnih izpustov. V skladu s tem je za območja nad 90. percentilom (10 % območij z najvišjimi ravni delcev PM₁₀) potencial zmanjšanja večji in znaša 77 %. Zelo podobne rezultate dobimo za delce PM_{2,5} (Slika 2.8).

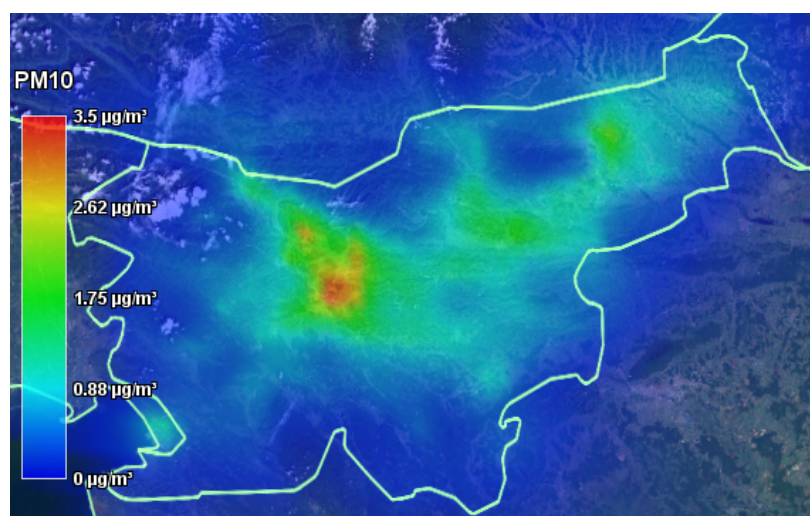


Slika 2.7: Potencial zmanjšanja delcev PM₁₀ v Sloveniji z zmanjšanjem izpustov znotraj države. Grafikon na levi prikazuje potencial zmanjšanja v celotni Sloveniji, grafikon na desni pa potencial za območja Slovenije z onesnaženostjo z delci nad 90. percentilom. Modri stolpec prikazuje delež ravni PM₁₀ na katerega nimamo vpliva z ukrepi znotraj Slovenije, ker je posledica naravnih dejavnikov ali pa izpustov izven države. Večbarvni stolpec prikazuje za koliko lahko ravni delcev PM₁₀ znižamo z zmanjšanjem izpustov v posameznem sektorju.



Slika 2.8: Kot slika 2.7, le za $PM_{2,5}$.

Predpostavimo scenarij ukrepov, po katerem za 10 % zmanjšamo vse izpuste NO_x , NMVOC, NH_3 , PPM in SO_x v celotni Sloveniji. Po modelu SHERPA temu ustreza zmanjšanje ravni delcev PM_{10} kot ga prikazuje slika 2.9. Zmanjšanja so podana v odstotkih.

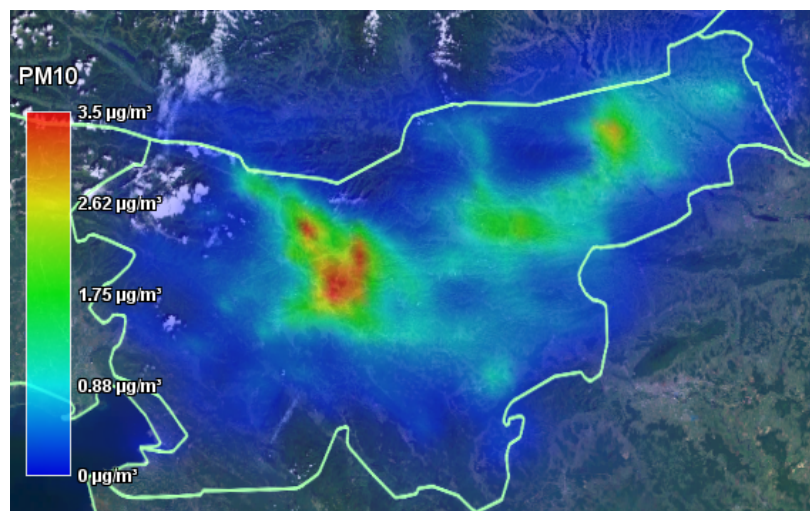


Slika 2.9: Zmanjšanje ravni PM_{10} v primeru zmanjšanja izpustov NO_x , NMVOC, NH_3 , PPM in SO_x za 10 % na območju celotne Slovenije.

Na sliki 2.9 izstopajo nekatera urbana območja. Omejevanje izpustov ima še posebej velik učinek na širšem območju Ljubljane, ki leži v kotlini, hkrati pa je gosto poseljeno.

Ker je velik del ravni delcev PM_{10} posledica izpustov sektorja 2, je smiselno analizirati tudi scenarij, po katerem vsa sredstva investiramo v zmanjšanja izpustov v tem sektorju. Predpostavimo višje, 20 % znižanje izpustov NO_x , NMVOC, NH_3 , PPM in SO_x znotraj sektorja 2 ter nespremenjene

izpuste ostalih sektorjev po celotni Sloveniji. Rezultati so prikazani na sliki 2.10.



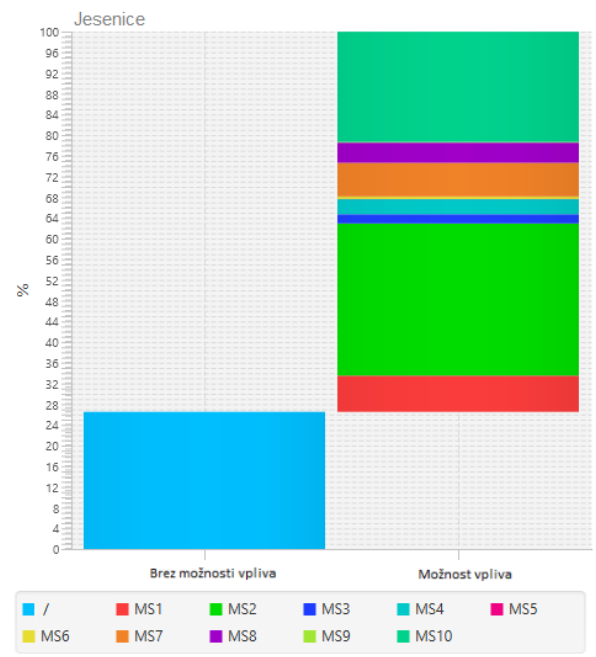
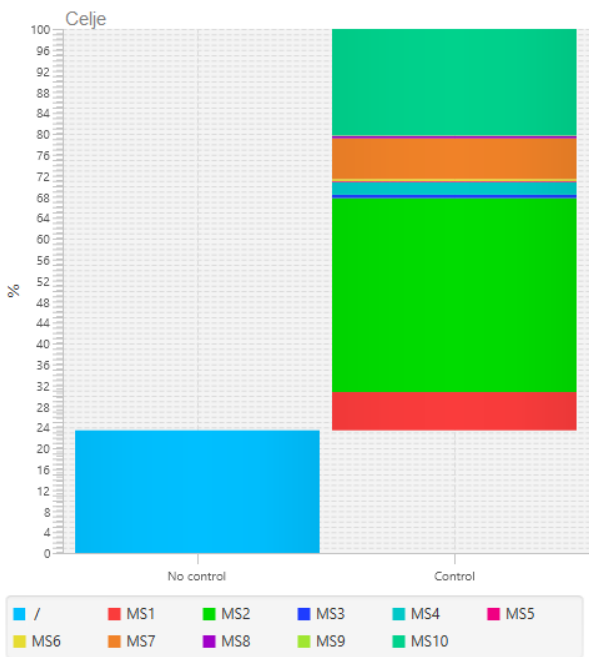
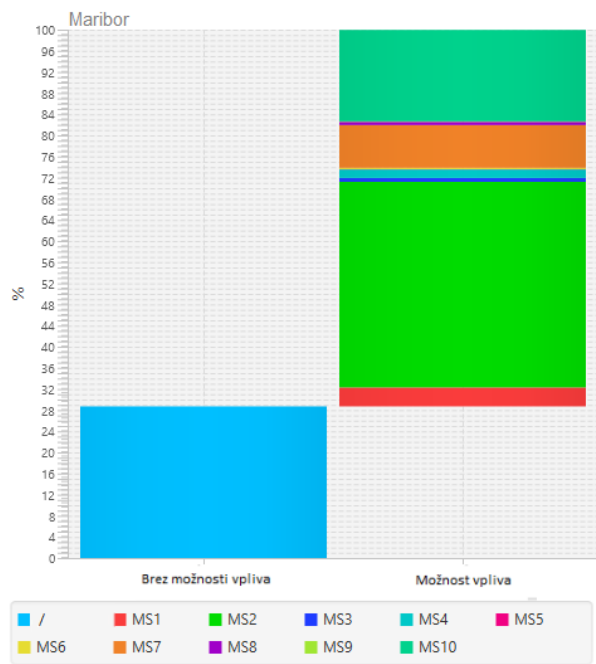
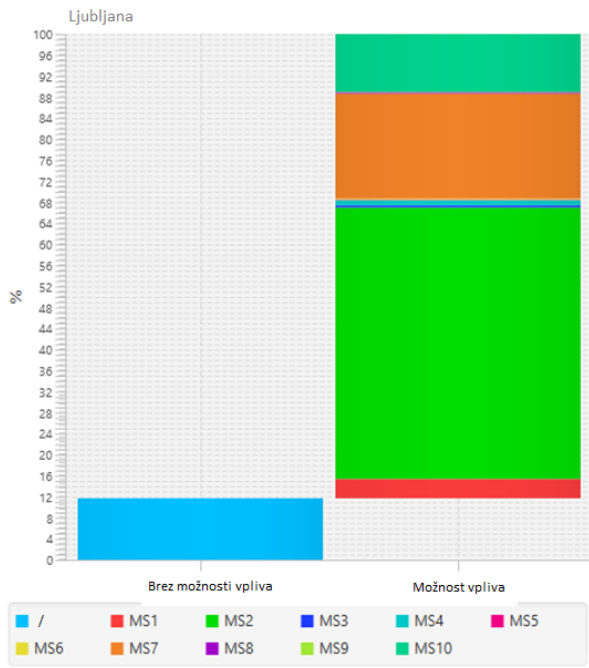
Slika 2.10: Zmanjšanje ravni PM₁₀ v primeru zmanjšanja izpustov NO_x, NMVOC, NH₃, PPM in SO_x znotraj sektorja 2 za 20 % na območju celotne Slovenije.

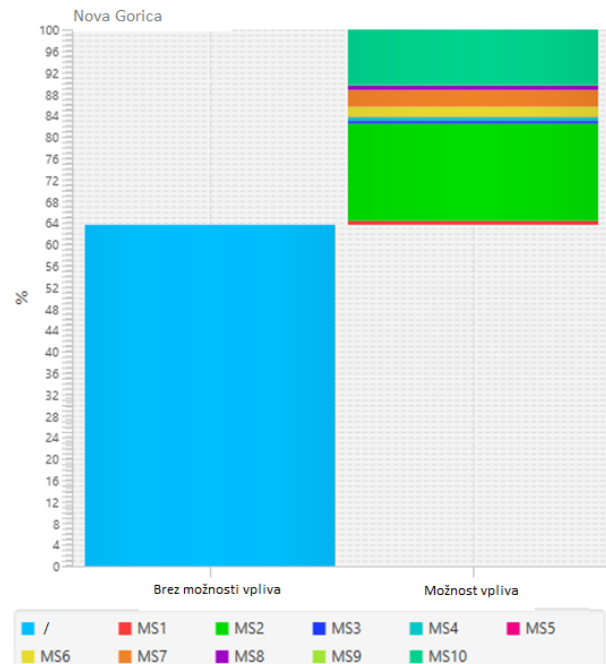
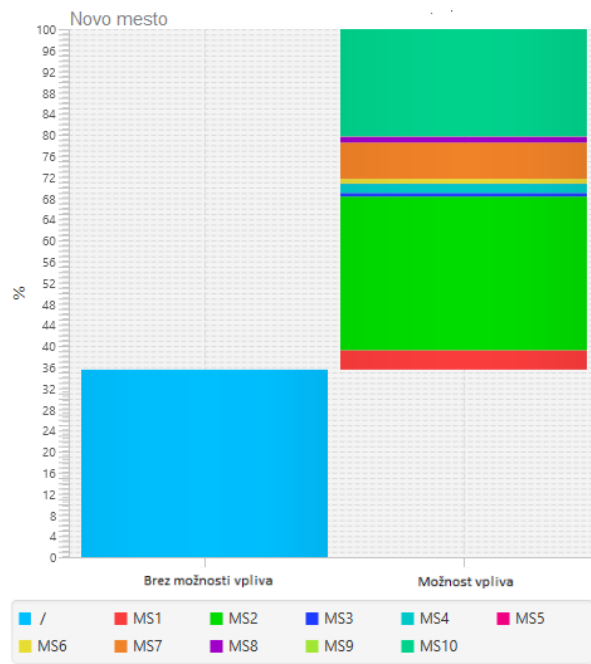
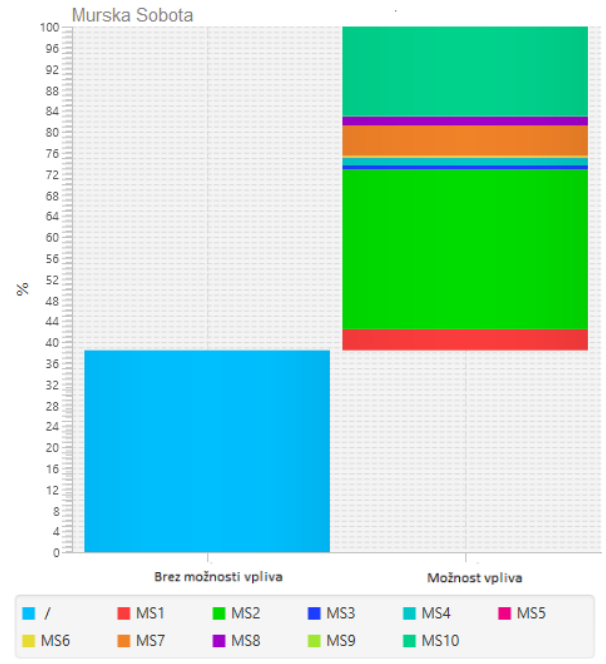
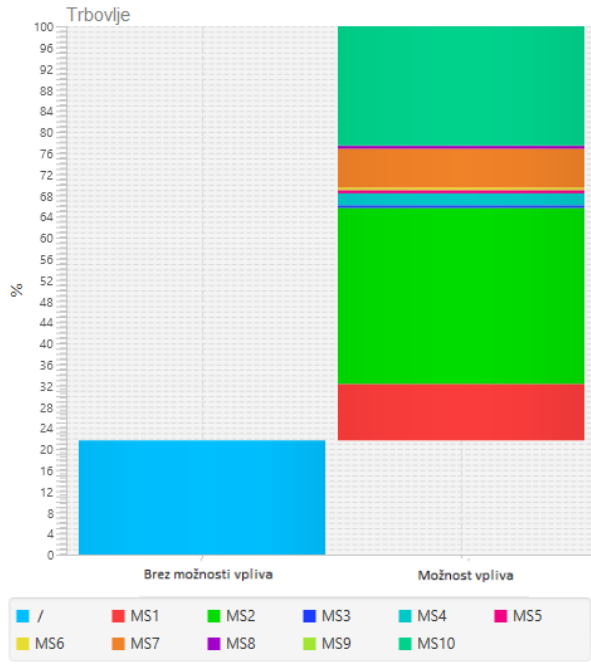
Primerjava scenarijev na slikah 2.9 in 2.10 pokaže, da po drugem dosežemo višji učinek predvsem znotraj gosteje poseljenih območij.

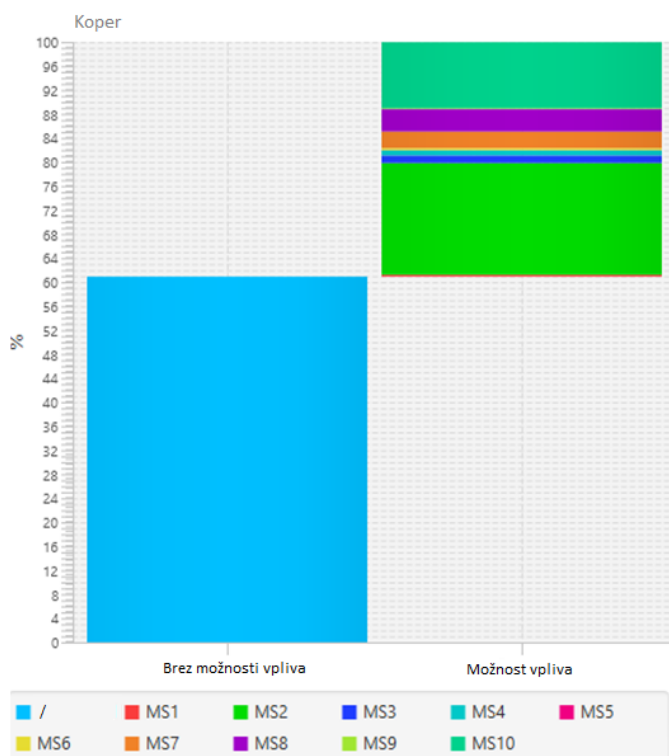
2.3.2 Onesnaženost v mestih

Na enak način lahko določimo potencial zmanjšanja izpustov za izbrane koordinate znotraj izbrane regije. Kot primer je na sliki 2.14 prikazano zmanjšanje ravni PM₁₀ v Ljubljani, Mariboru, Celju, Jesenicah, Trbovljah, Murski Soboti, Novem mestu, Kopru in v Novi Gorici.

Podatki kažejo, da so v mestih največji problem mala kurišča (sektor 2). V Ljubljani ima znaten delež tudi cestni promet (sektor 7). Največjo možnost vpliva imamo v Ljubljani. To je posledica osrednje lege znotraj območja kjer nižamo izpuste, pa tudi tega, da leži v kotlini, zaradi česar se dodatno poveča vpliv lokalnih izpustov. V primerih Maribora, Celja, Jesenic, Murske Sobote in Novega Mesta je možnost vpliva na raven PM₁₀ nekoliko manjša. Razlog je, da imajo večji delež delci naravnega izvora, v obmejnih območjih pa lahko pričakujemo tudi večji vpliv sosednjih regij. Ta je še bolj izrazit v primerih Kopra in Nove Gorice, saj obe mesti ležita ob italijanski meji v neposredni bližini urbanih središč na italijanski strani. V primeru Kopra je opazen vpliv sektorja ostali pogonski viri in mehanizacija (sektor 8), kamor med drugim sodi tudi pristaniška dejavnost. Kmetijstvo (sektor 10) ima med obravnavanimi mesti najmanjši procentualni delež v Ljubljani, kar je pričakovano, saj tam prevladujejo druge dejavnosti. V primeru Trbovelj rezultati odstopajo od pričakovanih vrednosti, saj je delež kmetijstva višji kot pri Murski Soboti. Odstopanja nameravamo odpraviti s predvidenim izboljšanjem ločljivosti polj izpustov in modelskih funkcij.







Slika 2.14: Potencial zmanjšanja delcev PM₁₀ v Ljubljani, Mariboru, Celju, Jesenicah, Trbovljah, Murski Soboti, Novem mestu, Kopru in Novi Gorici ob zmanjšanju izpustov vseh sektorjev znotraj območja Slovenije.

2.3.3 Vpliv sosednjih regij

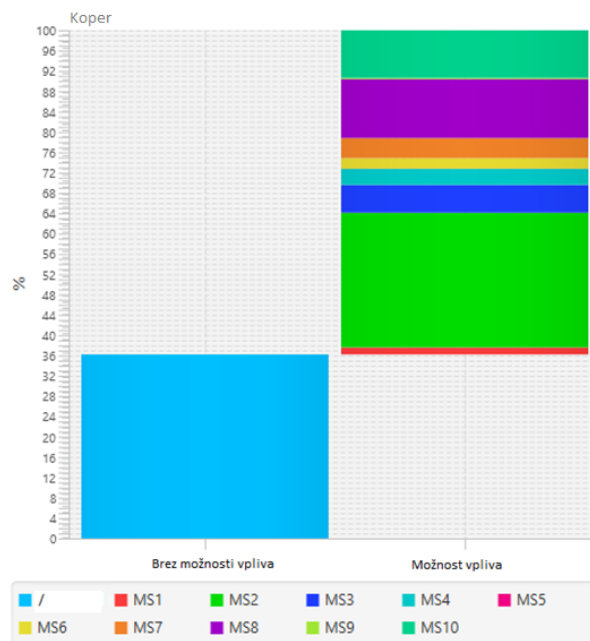
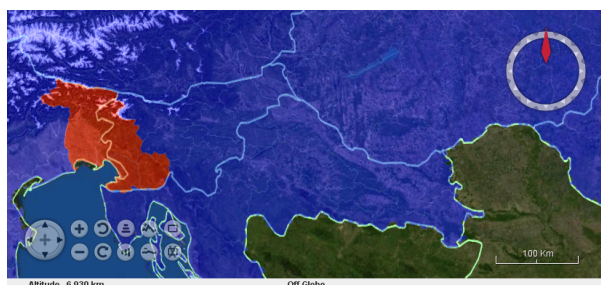
Ker rezultati na sliki 2.14 kažejo, da je v primeru Kopa in Nove Gorice z zmanjšanjem izpustov znotraj Slovenije mogoče vplivati samo na manjši del ravni delcev PM₁₀ v ozračju, je smiselno v analizo vključiti tudi sosednje regije.

Modul za določitev prispevka posameznih regij v primeru Nove Gorice pokaže, da 42,23 % onesnaženja z delci PM₁₀ izvira iz Zahodne Slovenije, 39,07 % iz Furlanije-Juljske Krajine, kar 14,28 % pa je prispevek Benečije. To je pričakovano, saj Nova Gorica leži neposredno ob precej onesnaženi in odprti Padski nižini. V primeru Kopa model pokaže, da je v primeru delcev PM₁₀ prispevek Furlanije - Juljske krajine 39,09 %, Zahodne Slovenije 33,7 % in Benečije 19,5 %.

S pomočjo teh rezultatov ob opuštevanju geografskih okoliščin izberemo regije v katerih bomo analizirali vpliv zmanjšanja emisij na Koper in Novo Gorico:

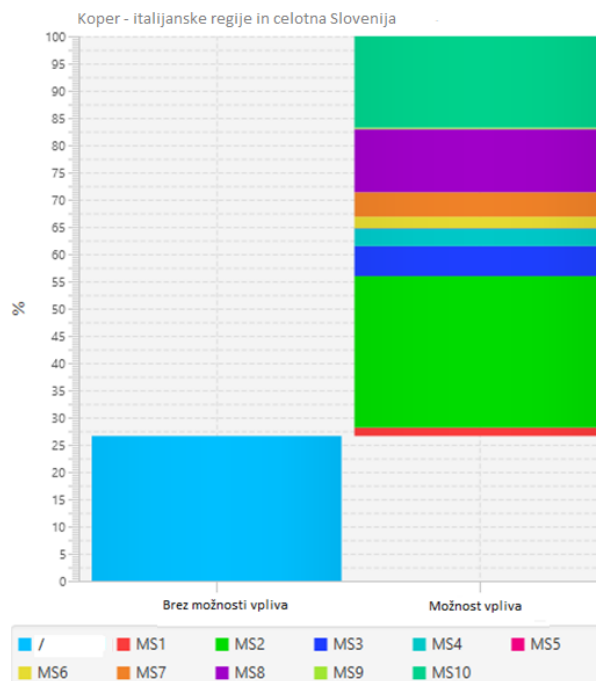
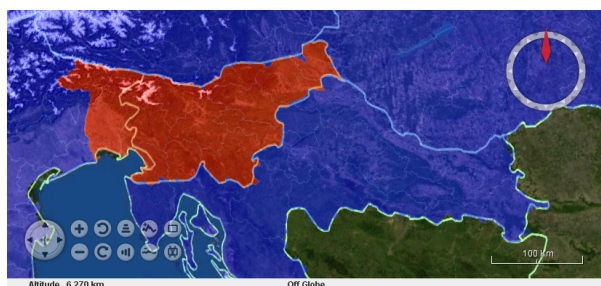
2.3.3.1 Koper

Analiziran je bil potencial zmanjšanja ravni PM₁₀ v Kopru ob zmanjšanju izpustov v Obalno-kraški regiji, Primorsko-notranjski regiji, Goriški, Tržaški regiji, italijanski Gorici (Gorizia) ter v Vidmu (Udine) (slika 2.15). Regije smo izbrali, ker lahko sklepamo, da iz njih izvira večji del izpustov, ki vplivajo na ravni delcev PM₁₀ v Kopru.



Slika 2.15: Potencial zmanjšanja ravni PM₁₀ v Kopru (desno) ob zmanjšanju izpustov v izbranih regijah (levo).

Z ukrepi v izbranih regijah lahko vplivamo na občutno večji del onesnaženja z delci PM₁₀ kot v primeru zmanjšanj znotraj Slovenije (slika 2.14). Za primerjavo dodamo še ostale regije znotraj Slovenije, kot je prikazano na sliki 2.16.

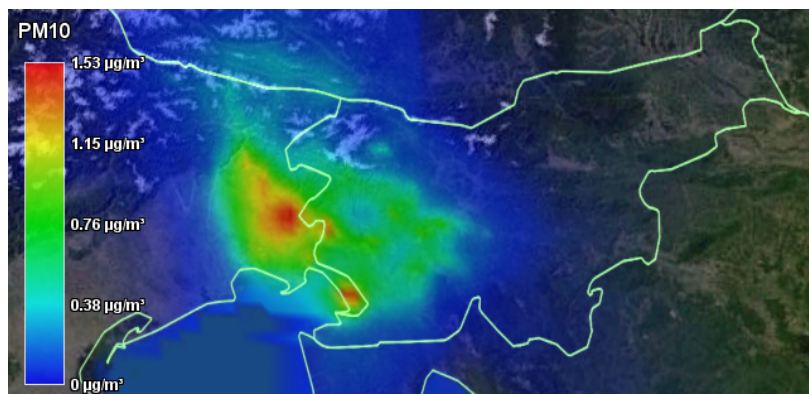


Slika 2.16: Potencial zmanjšanja ravni PM₁₀ v Kopru (desno) ob zmanjšanju izpustov v izbranih regijah (levo).

Primerjava slik 2.15 in 2.16 nam pokaže, da sicer dosežemo večji učinek, če dodamo vse slovenske regije, vendar je razlika sorazmerno majhna; največja je pri kmetijstvu (sektor 10). Da bi

zmanjšali raven onesnaženja z delci PM₁₀ v Kopru je torej ukrepe smiselno najprej usmeriti v regije na sliki 2.15.

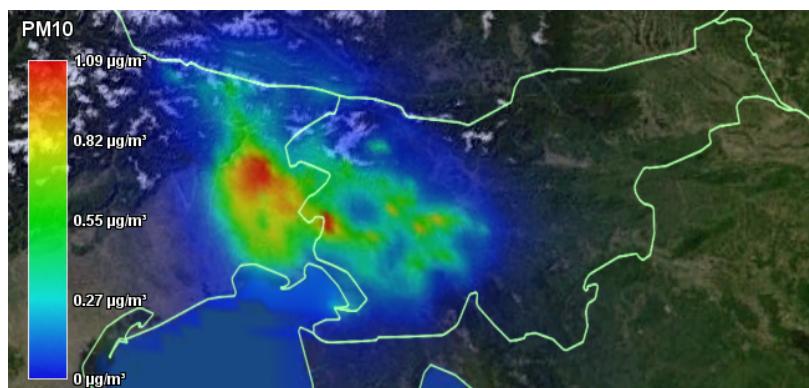
Predpostavimo scenarij ukrepov po katerem za 10 % zmanjšamo vse izpuste NO_x, NMVOC, NH₃, PPM in SO_x na celotnem območju na sliki 2.15. Po modelu SHERPA temu ustreza zmanjšanje ravni PM₁₀, kot je prikazano na sliki 2.17.



Slika 2.17: Zmanjšanje ravni PM₁₀ v primeru zmanjšanja izpustov NO_x, NMVOC, NH₃, PPM in SO_x za 10 % v Obalno-kraški regiji, Primorsko-notranjski regiji, Goriški, Tržaški regiji, italijanski Gorici (Gorizia) ter v Vidmu (Udine).

Čeprav smo ukrepe izbrali z namenom zmanjšanja ravni delcev PM₁₀ v Kopru, se največji učinki kažejo na urbaniziranih območjih na italijanski strani meje. Zato je smiselno, da regije na obeh straneh meje sodelujejo pri načrtovanju ukrepov za odpravo preseganj mejnih vrednosti delcev PM₁₀.

Ker je velik del onesnaženja z delci PM₁₀ posledica izpustov sektorja 2, je smiselno analizirati tudi scenarij, v katerem ukrepe osredotočimo le na ta sektor. Predpostavimo 20 % znižanje izpustov NO_x, NMVOC, NH₃, PPM in SO_x sektorja 2 na območju, prikazanem na sliki 2.15. Rezultat je razviden iz slike 2.18.

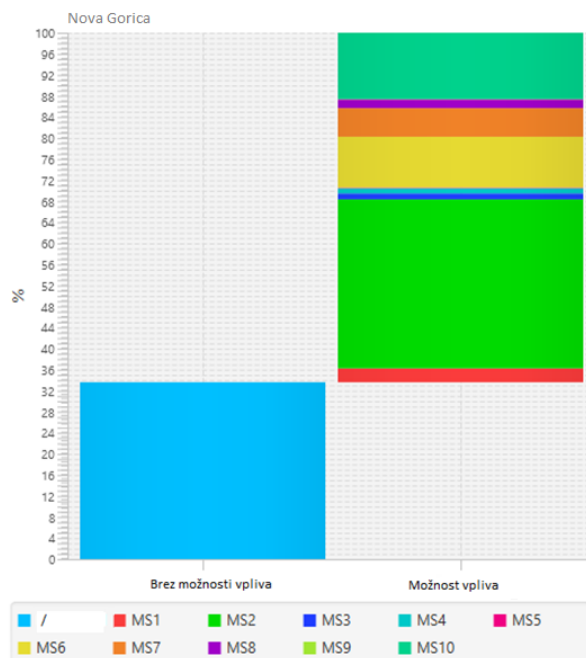
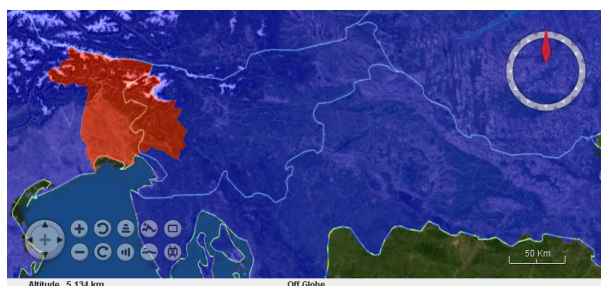


Slika 2.18: Zmanjšanje ravni PM₁₀ v primeru zmanjšanja izpustov NO_x, NMVOC, NH₃, PPM in SO_x znotraj sektorja 2 za 20 % v Obalno-kraški regiji, Primorsko-notranjski regiji, Goriški, Tržaški regiji, italijanski Gorici (Gorizia) ter v Vidmu (Udine).

Sliki 2.18 in 2.17 kažeta da so učinki obeh scenarijev zmanjšanj izpustov primerljivi.

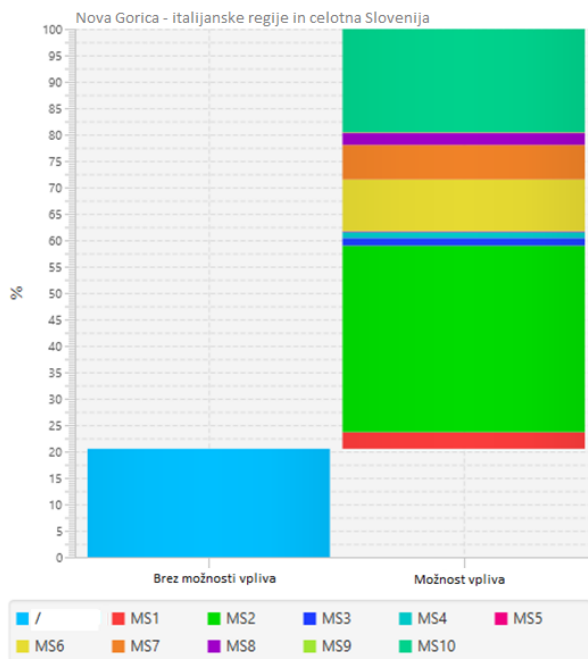
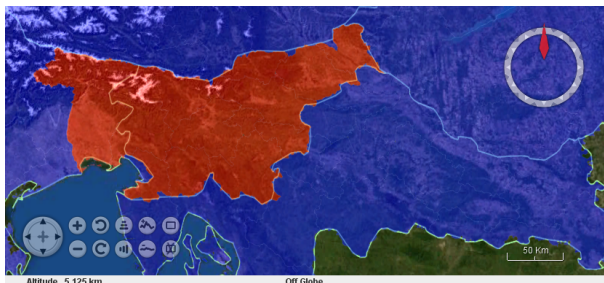
2.3.3.2 Nova Gorica

Analiziran je bil potencial zmanjšanja ravni PM_{10} v Novi Gorici ob zmanjšanju izpustov v Goriški regiji, Tržaški regiji, italijanski Gorici (Gorizia) ter v Vidmu (Udine) (slika 2.19). Regije ustrezajo klasifikaciji NUTS 3.



Slika 2.19: Potencial zmanjšanja ravni PM_{10} v Novi Gorici (desno) ob zmanjšanju izpustov v izbranih regijah (levo).

Enako kot pri Kopru tudi v primeru Nove Gorice vidimo, da imajo zmanjšanja znotraj izbranih regij večji vpliv na raven delcev PM_{10} kot pa zmanjšanja znotraj Slovenije (slika 2.14. Za primerjavo dodamo še ostale regije znotraj Slovenije, kar je prikazano na sliki 2.20).



Slika 2.20: Potencial zmanjšanja ravni PM_{10} v Novi Gorici (desno) ob zmanjšanju izpustov v izbranih regijah (levo).

Ponovno je povečanje deleža, na katerega imamo vpliv, sorazmerno majhno. Opazen je predvsem povečan obseg kmetijstva (sektor 10).

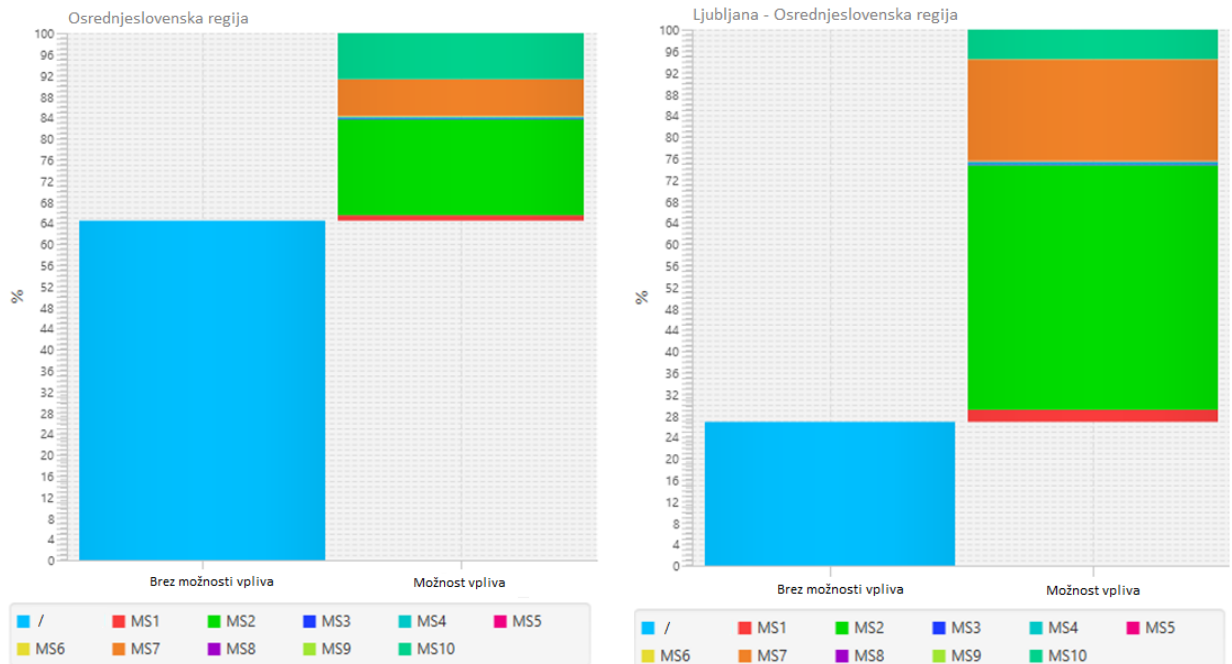
2.3.4 Vpliv posameznih slovenskih regij

Analizo izvora onesnaženja z delci PM_{10} v Ljubljani ponovimo tako, da vključimo samo izpuste iz osrednjeslovenske regije (slika 2.21).

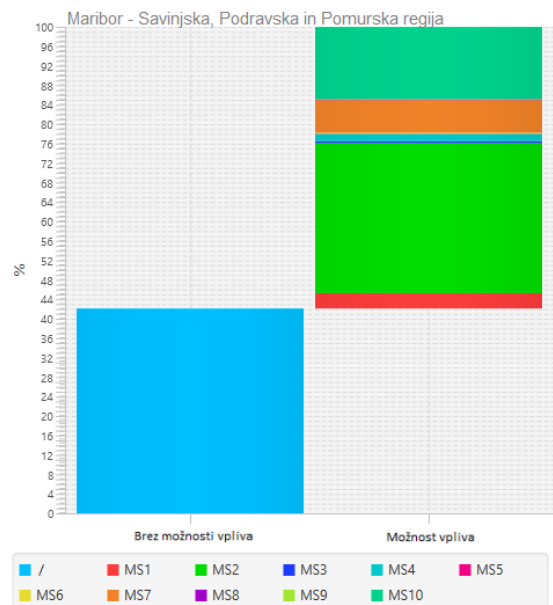
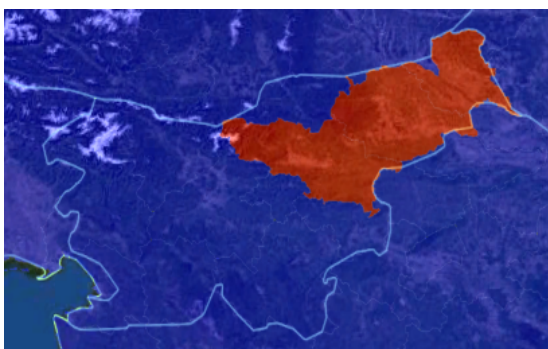
Z zmanjševanjem emisij samo znotraj Osrednjeslovenske regije lahko raven PM_{10} znotraj te regije zmanjšamo za 35 %. Bistveno večje zmanjšanje, za 72 %, z zmanjšani emisij v Osrednjeslovenski regiji dosežemo v Ljubljani, ki geografsko leži v osrednjem delu regije, hkrati pa so emisije človeškega izvora odgovorne za večji delež onesnaženja z delci PM_{10} . To je nekoliko manj kot v primeru zmanjšanja emisij v celotni Sloveniji (88%, slika 2.7).

Primerjamo potencial zmanjšanja ravni PM_{10} v Mariboru v primeru zmanjšanja emisij v Savinjski, Podravski in Pomurski regiji (slika 2.22), ter v primeru zmanjšanja samo v Podravski regiji (slika 2.23).

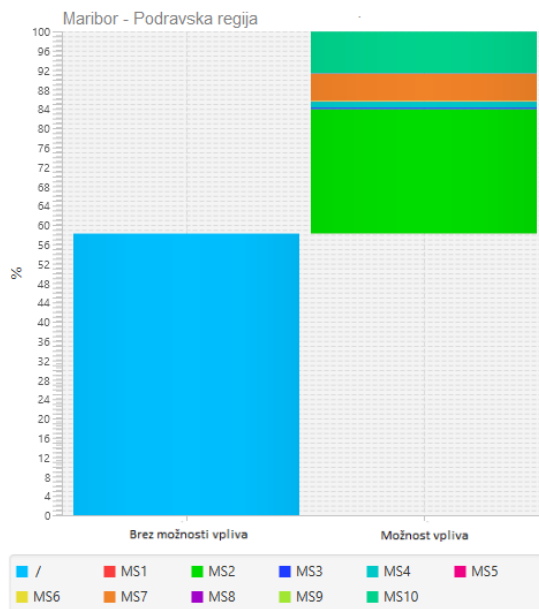
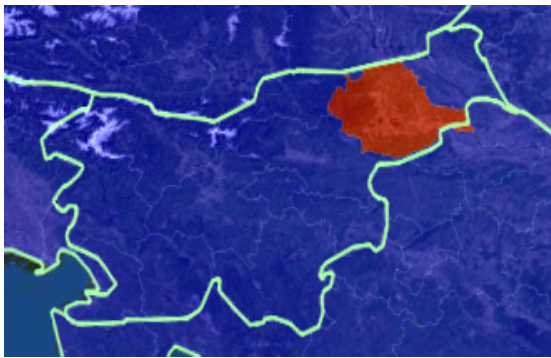
Pričakovano imajo izpusti v Podravski regiji največji vpliv na ravni delcev v Mariboru, kljub temu pa se učinek zmanjšanj lahko zaznavno poveča, če izpuste zmanjšamo tudi Savinjski in Pomurski regiji.



Slika 2.21: Levo: potencial zmanjšanja ravni PM₁₀ v Osrednjeslovenski regiji z zmanjšanjem izpustov znotraj te regije. Desno: potencial zmanjšanja ravni PM₁₀ v Ljubljani z zmanjšanjem emisij znotraj Osrednjeslovenske regije.



Slika 2.22: Potencial zmanjšanja ravni PM₁₀ v Mariboru (desno) ob zmanjšanju izpustov v izbranih Savinjski, Podravski in Pomurski regiji (levo).

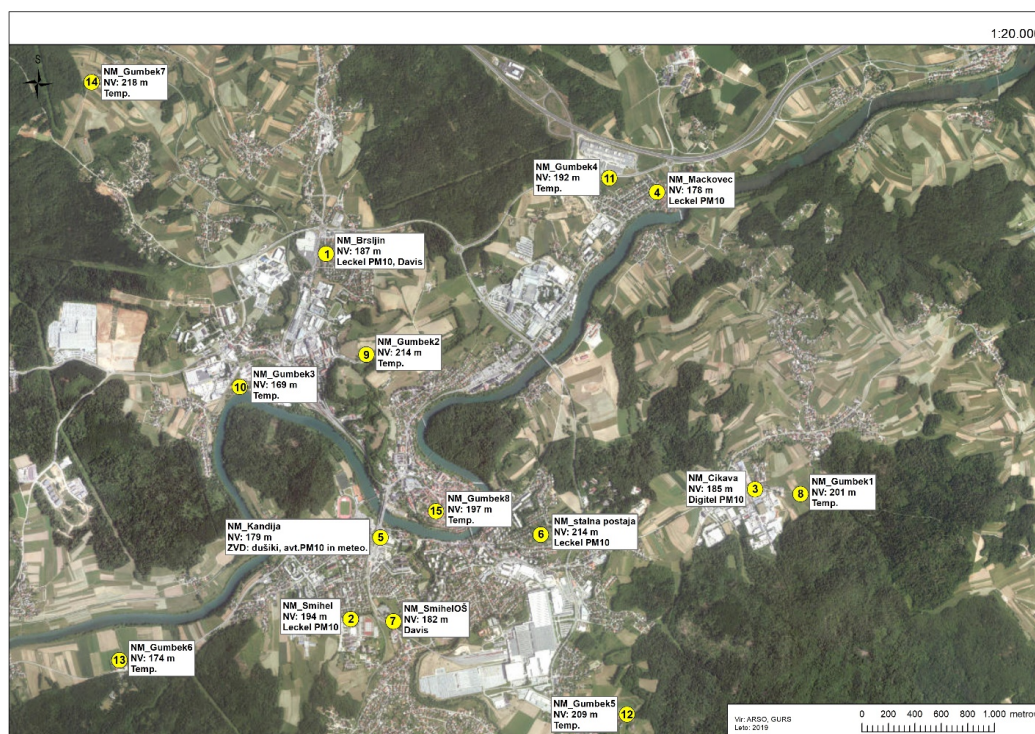


Slika 2.23: Potencial zmanjšanja ravni PM_{10} v Mariboru (desno) ob zmanjšanju izpustov v izbranih Podravski regiji (levo).

3. Dodatne meritve

Na Agenciji za okolje poleg meritev na stalnih merilnih mestih v okviru rednega spremljanja in ocenjevanja kakovosti zunanjega zraka občasno izvedemo tudi dodatne meritve. V letu 2019 smo tako izvedli obsežnejše meritve kakovosti zraka v Novem mestu.

Okrepljene meritve kakovosti zunanjega zraka s poudarkom na meritvah delcev PM_{10} so bile izvedene v obdobju od 11. 1. 2019 do 10. 4. 2019. Namen meritev je bil določitev prostorske in časovne spremenljivosti onesnaženosti zraka in ocena reprezentativnosti obstoječe stalne merilne postaje. Hkrati smo želeli ugotoviti v kolikšnem obsegu k onesnaženosti zunanjega zraka z delci PM_{10} prispevajo industrija, promet, individualna kurišča in resuspenzija. Na več lokacijah v občini Novo mesto smo postavili merilnike kakovosti zunanjega zraka. Poleg teh merilnikov smo na različnih lokacijah postavili tudi merilnike meteoroloških parametrov, saj na razredčevanje izpustov zelo vplivajo meteorološke razmere. Zemljevid z označenimi lokacijami merilnih postaj je prikazan na sliki 3.1. Sliki 3.2 in 3.3 prikazujeta dve merilni mesti.



Slika 3.1: Zemljevid Mestne občine Novo mesto z merilnimi lokacijami.



Slika 3.2: NM Cikava vzorčevalnik delcev Digitel PM₁₀.



Slika 3.3: NM Šmihel OŠ meteorološka postaja Davis.

V preglednici 3.1 so zbrane povprečne ravni delcev in število preseganj dnevne mejne vrednosti po posameznih merilnih mestih v času trajanja merilne kampanje. Na sliki 3.4 so meritve predstavljene grafično.

Tabela 3.1: Povprečna in maksimalna dnevna vrednost delcev PM₁₀ v µg/m³ v času kampanje ter število preseganj mejne dnevne vrednosti na vseh merilnih mestih kampanje Novo mesto in na merilnih mestih Ljubljana in Celje.

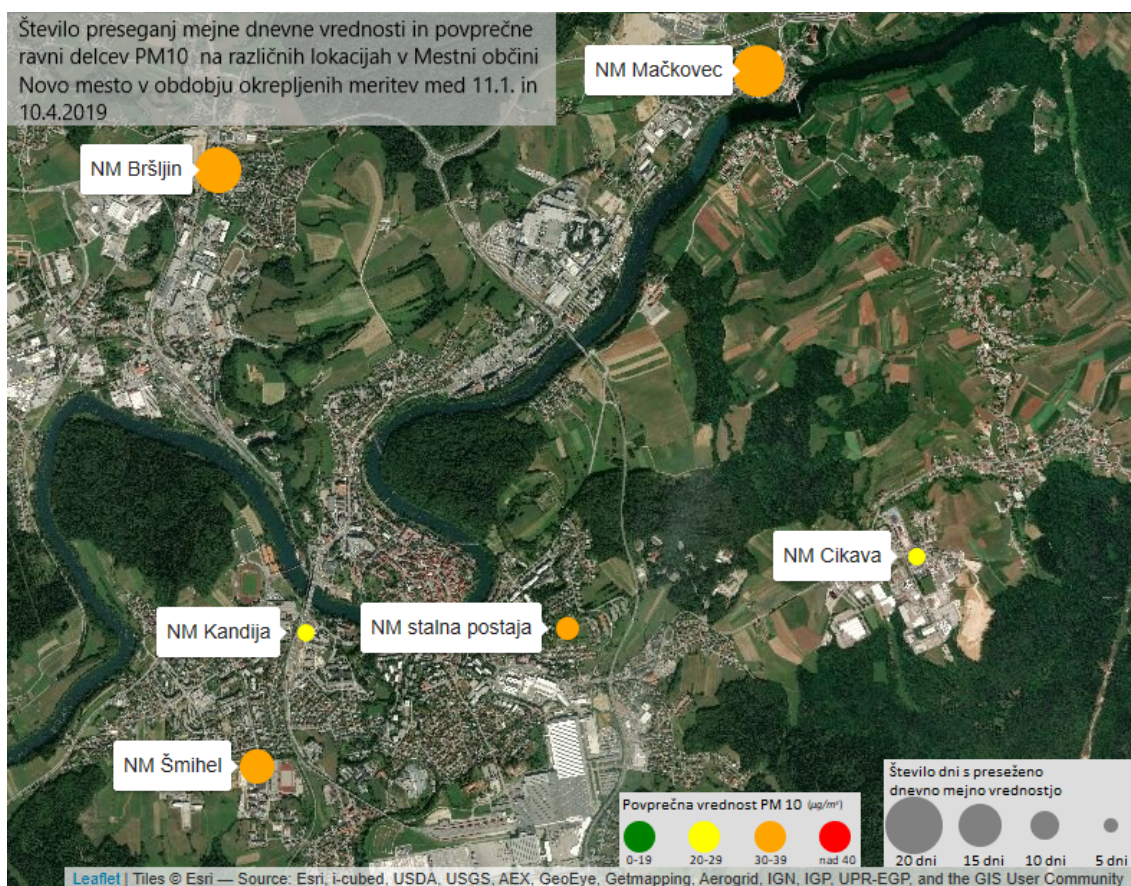
Merilno mesto	C _p	C _{max}	>MV
NM Šmihel	34	75	12
NM Bršljin	37	85	16
NM Mačkovec	36	77	18
NM Cikava	28	63	6
NM stalna	31	70	8
NM Kandija	25	71	6
Ljubljana	31	113	13
Celje	40	86	19

C_p - Povprečna raven PM₁₀ v obdobju meritev (mejna letna vrednost je 40 µg/m³).

C_{max} - Najvišja dnevna vrednost v obdobju meritev.

>MV - Število dni, ko je bila presežena mejna dnevna vrednost 50 µg/m³.

Najvišja povprečna raven PM₁₀ je bila v celotnem obdobju izmerjena v Bršljinu 37 µg/m³, prav tako je bila na tem mestu izmerjena najvišja dnevna vrednost v celotnem obdobju meritev (85 µg/m³). Najnižja povprečna raven PM₁₀ pa je bila zabeležena na Kandiji 25 µg/m³. Dnevna mejna vrednost je bila največkrat presežena na merilni postaji Mačkovec (18-krat). Za primerjavo: v istem obdobju je bila v Ljubljani dosežena najvišja dnevna vrednost (113 µg/m³), v Celju pa je bilo zabeleženo največje število dni s preseganjem dnevne mejne vrednosti (19). Potek ravni delcev PM₁₀ za merilni mesti Ljubljana in Celje je podoben kot pri merilnih postajah, ki so bile del kampanje Novo mesto 2019. Na kakovost zunanega zraka zelo vplivajo vremenske razmere, saj je ob enakih izpustih ob ugodnih vremenskih razmerah (padavine, veter) kakovost zraka dobra, ob neugodnih (temperaturni obrat, brezvetrje) pa lahko zelo slaba. V celotnem obdobju okrepljenih meritev je bilo veliko padavin, ki sperejo ozračje in poskrbijo za boljšo kakovost zunanega zraka. Zato je bilo v 90 dneh zelo malo dni s preseženo mejno dnevno vrednostjo 50 µg/m³. V dneh, ko so bile vremenske razmere neugodne, so ravni delcev narasle na vseh merilnih mestih v Novem mestu. V povprečju so najvišje ravni delcev izmerjene v Bršljinu in Mačkovcu, nato sledita stalna postaja in Šmihel, najnižje ravni pa so bile izmerjene na Cikavi in Kandiji. Največji lokalni vir delcev PM₁₀ so individualna kurišča na drva, ki v posameznih naseljih ob slabih vremenskih pogojih, poslabšujejo kakovost zunanega zraka. Najvišje ravni delcev so tako izmerjene v tistih v naseljih kjer je gostota individualnih hiš največja.



Slika 3.4: Zemljevid Mestne občine Novo mesto z merilnimi lokacijami.

Na merilnem mestu Cikava so meritve delcev PM₁₀ v celotnem obdobju potekale z vzorčevalnikom z velikim volumskim pretokom Digital. Cilj je bil pridobiti čim več informacij o kemijski sestavi delcev na tem merilnem mestu. S pomočjo statističnega modela PMF (Positive Matrix Factorization) smo na podlagi pridobljenih rezultatov kemijske analize delcev PM₁₀ določili prispevke posameznih virov emisij delcev PM₁₀ za celotno obdobje meritev. Analiza virov delcev PM₁₀ je pokazala, da na merilnem mestu Cikava v zimskem obdobju prevladujejo štirje viri onesnaženja. Največji delež (40 %) pripada sekundarnim delcem, 23,2 % jih lahko pripišemo izpustom iz prometa, 21,8 % individualnim kuriščem na trda goriva ter 14,9 % resuspenziji.

Za obdobje od 11. 1. do 4. 3. 2019 se je na merilnih postajah NM Šmihel, NM Bršljin, NM Mačkovec, NM Cikava in NM stalna postaja delce PM₁₀ analiziralo na prisotnost določenih ionov, PAH-ov, levoglukozana, organskega in elementarnega ogljika. Z upoštevanjem merilne negotovosti posameznega parametra rezultati kemijske analize niso za noben parameter pokazali večjega odstopanja med posameznimi merilnimi mesti. Občasno se na določenih merilnih mestih poviša raven kakega onesnaževala, kar je pričakovano in je posledica občasnih izpustov oziroma značilnosti mikrolokacije. Najbolj zanimivo je da najvišje izmerjene ravni kalija in levoglukozana sovpadajo na vseh merilnih mestih z najvišjimi ravni delcev PM₁₀. Levoglukozan in kalij sta indikatorja za kurjenje lesa, kar pomeni da je ta vir pomembno doprinesel k najvišjim ravni delcev PM₁₀.

Celotno poročilo o okrepljenih meritvah je objavljeno na spletni strani Agenciji za okolje [16].

4. Delci PM₁₀ in PM_{2,5}

Izraz delci (angl. Particulate Matter – PM) uporabljamo kot splošen pojem, ki označuje suspendirane delce (tekoče in trdne) v plinu. S PM_{2,5} označujemo fine delce (angl. fine particles), ki imajo aerodinamični premer manjši od 2,5 µm, s PM₁₀ pa delce z aerodinamičnim premerom pod 10 µm. 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 med SO₂, NO_x in NH₃ pride do nastanka spojin, ki vsebujejo sulfat, nitrat in amonij in s kondenzacijo tvorijo delce, ki jih imenujemo sekundarni anorganski aerosoli. Pri oksidaciji nekaterih hlapnih organskih spojin nastajajo manj hlapne spojine, ki tvorijo sekundarne organske aerosole. Nastajanje sekundarnih delcev je odvisno 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 prometa in individualnih kurišč 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. Celotno 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 zmanjšajo vidljivost, povzročajo škodo na objektih, vplivajo na padavinski režim in spreminjajo odbojnost zemeljske površine za svetlobo.

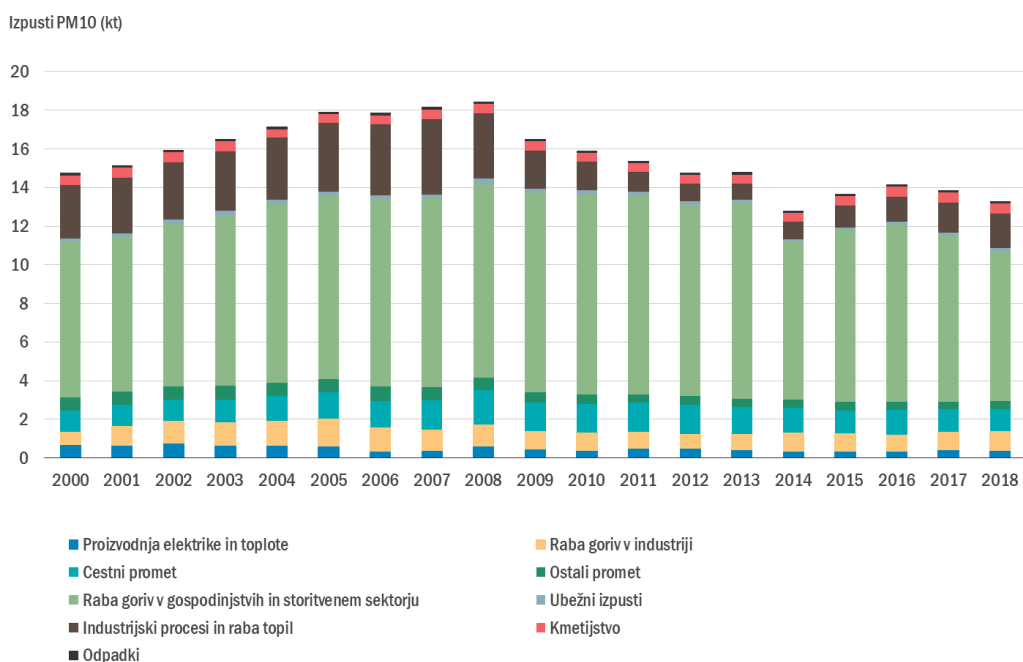
Povišane ravni delcev PM_{10} se pri nas tipično pojavljajo v zimskih mesecih, ko se v primeru anticiklonalnih razmer s šibkimi vetrovi v prizemnih plasteh pogosto pojavi temperaturni obrat. V teh plasteh imamo šibko vertikalno mešanje zraka, kar povzroči, da se onesnaževala dlje časa zadržujejo v bližini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

4.1 Izpusti primarnih delcev in predhodnikov

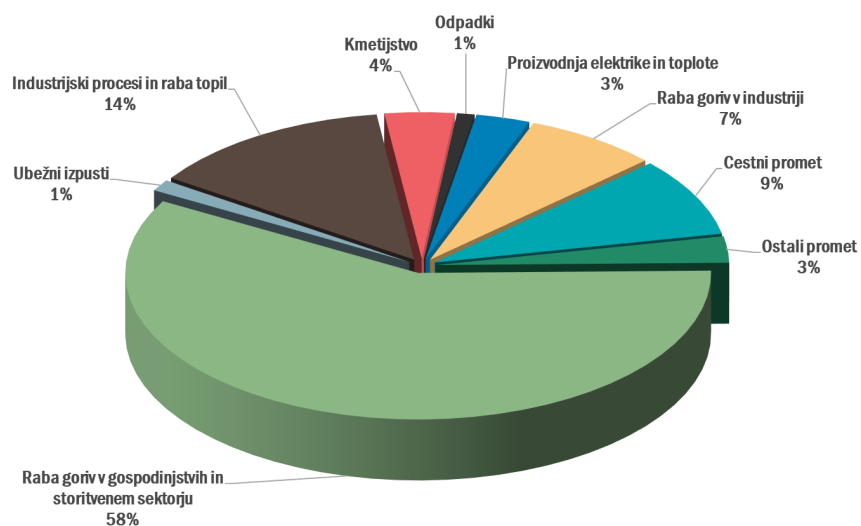
Letni izpusti primarnih delcev PM_{10} so v Sloveniji leta 2018 znašali 13 tisoč ton (slika 4.1), letni izpusti primarnih delcev manjših od $2,5\ \mu m$ ($PM_{2,5}$) pa 11 tisoč ton (slika 4.3). V obdobju 2000-2018 so se izpusti delcev PM_{10} zmanjšali za 10 %. Izpusti delcev $PM_{2,5}$ so se v enakem obdobju zmanjšali za 5 %.

Glavni antropogeni vir primarnih delcev je zgorevanje goriv v gospodinjstvih in storitvenem sektorju, predvsem zaradi uporabe lesa v zastarelih kurilnih napravah. Mala kurišča so k skupnim izpustom PM_{10} na nivoju države v letu 2018 prispevala 58 % (slika 4.2), k skupnim izpustom $PM_{2,5}$ pa kar 70 % (slika 4.4). Iz slike 4.5 je razvidna prevladujoča vloga kurilnih naprav na les v skupnih izpustih malih kurilnih naprav.

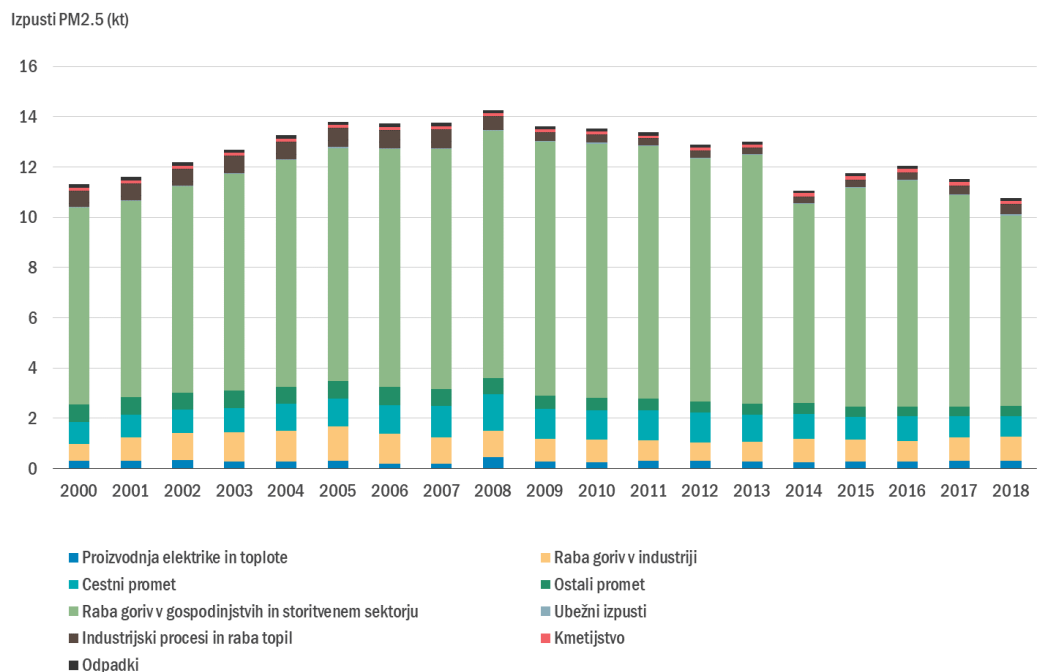
K izpustom delcev znatno prispeva tudi cestni promet. Izpusti PM_{10} iz cestnega prometa so leta 2018 predstavljali 9 % skupnih državnih izpustov, delež k izpustom $PM_{2,5}$ je znašal 8 %. Delci v cestnem prometu nastajajo tudi pri obrabi cest, gum in zavor.



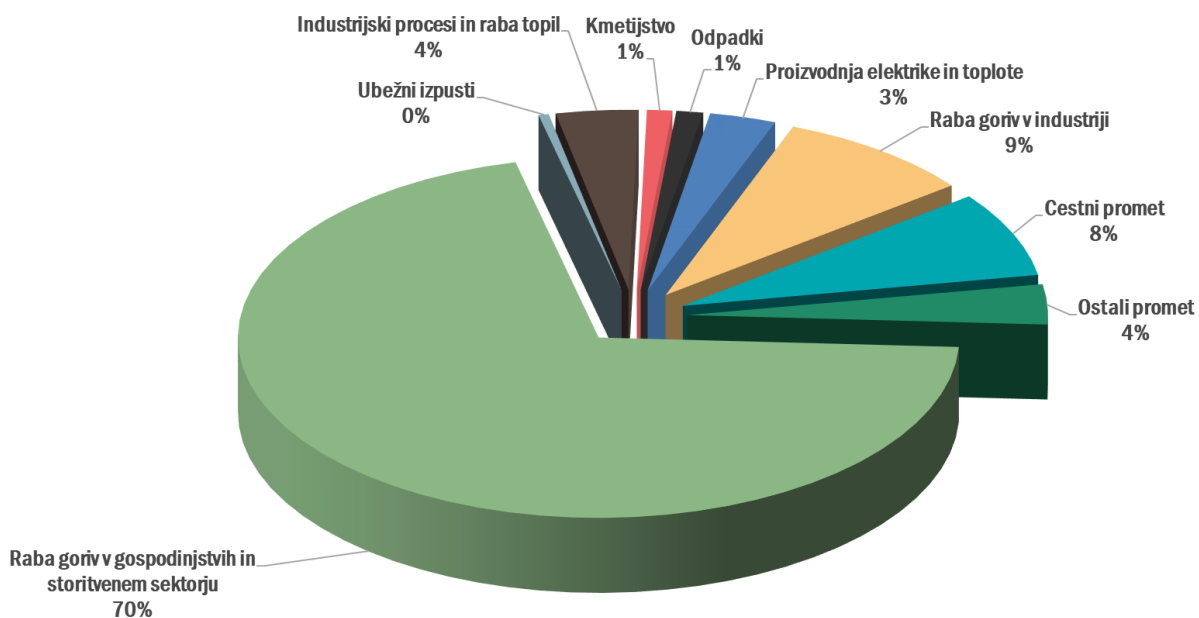
Slika 4.1: Letni izpusti delcev PM₁₀ po sektorjih v Sloveniji.



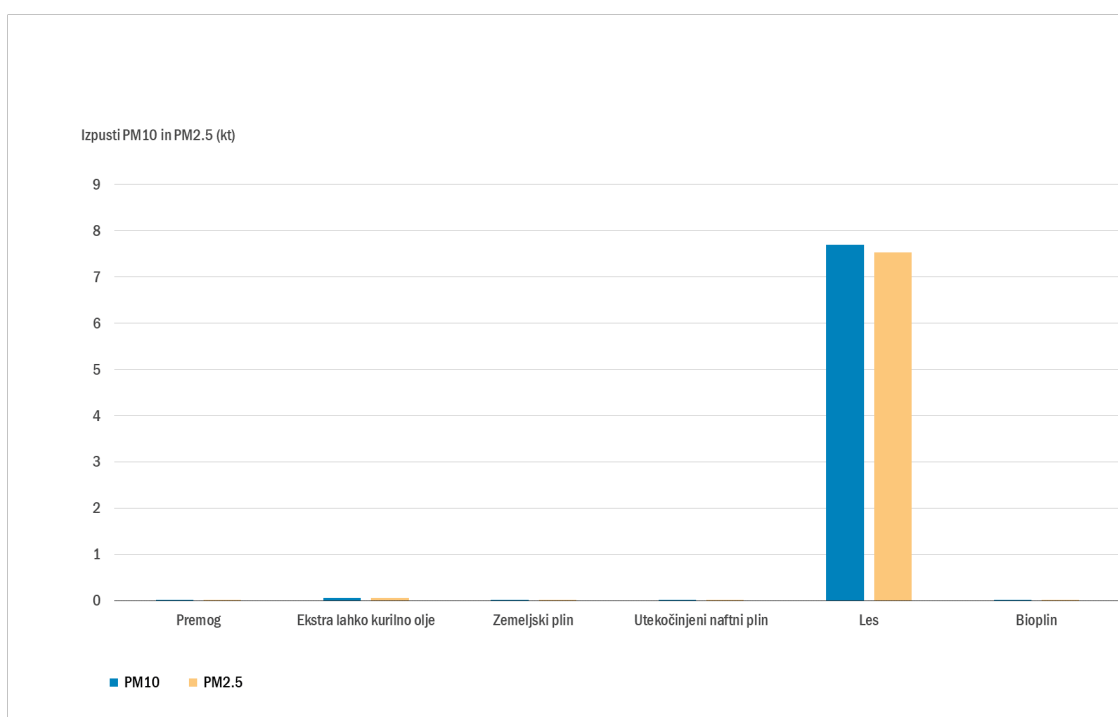
Slika 4.2: Izpusti delcev PM₁₀ po sektorjih v Sloveniji v letu 2018.



Slika 4.3: Letni izpusti delcev PM_{2,5} po sektorjih v Sloveniji.



Slika 4.4: Izpusti delcev PM_{2,5} po sektorjih v Sloveniji v letu 2018.



Slika 4.5: Izpusti delcev PM₁₀ in PM_{2,5} iz malih kurilnih naprav glede na vrsto uporabljenega goriva v letu 2018.

4.2 Zahteve za kakovost zraka

Mejne vrednosti za delce so predpisane v Uredbi o kakovosti zunanjega zraka [9]. Prikazane so v tabeli 4.1. Za delce PM₁₀ sta predpisani dnevna in letna mejna vrednost. Dnevna mejna vrednost, ki znaša 50 µg/m³, ne sme biti presežena več kot 35-krat v koledarskem letu. Letna mejna vrednost za delce PM₁₀ je 40 µg/m³, za delce PM_{2,5} pa 25 µg/m³ (tabela 4.2). v tabeli 4.1 so poleg zakonodajno predpisanih vrednosti v koloni WHO napisane tudi smernice Svetovne zdravstvene organizacije.

Tabela 4.1: 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	25 µg/m ³	Datum, do katerega je bilo treba doseči mejno vrednost, je 1.1.2015.	10 µg/m ³
PM _{2,5} , mejna vrednost veljavna od 2020	Koledarsko leto	20 µg/m ³	Datum, do katerega je treba doseči mejno vrednost, je 1.1.2020.	
PM _{2,5} , obveznost glede stopnje izpostavljenosti	Triletno povprečje	20 µg/m ³	Datum, do katerega je bilo treba doseči mejno vrednost, je 1.1.2015.	
PM _{2,5} , ciljno zmanjšanje izpostavljenosti	0-20 % zmanjšanje izpostavljenosti (odvisno od indeksa povprečne onesnaženosti v referenčnem letu)			

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

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

Kazalnik povprečne izpostavljenosti KPI za PM_{2,5}, izražen v µg/m³ temelji na meritvah na mestih v neizpostavljenem mestnem okolju. Mesta v neizpostavljenem mestnem okolju so merilna mesta na lokacijah, na katerih so ravni reprezentativne za izpostavljenost mestnega prebivalstva in nanje praviloma ne vpliva samo en vir onesnaženja. KPI je potrebno oceniti kot drseče povprečje srednjih vrednosti letnih ravni v treh zaporednih koledarskih letih na relevantnih vzorčevalnih mestih. KPI za leto 2019 je triletno drseče povprečje vrednosti ravni na vseh teh vzorčevalnih mestih za leta 2017, 2018 in 2019. Predpisana stopnja izpostavljenosti znaša od leta 2015 dalje 20 µg/m³ (tabela 4.1). KPI uporabljamo za preverjanje doseganja ciljnega zmanjšanja izpostavljenosti na nacionalni ravni.

4.3 Ravni onesnaženosti

Pregled izmerjenih ravni delcev PM₁₀ v letu 2019 je prikazan v tabelah 4.3, 4.4 in 4.5 ter na slikah 4.6 in 4.8. Leta 2019 je vremenska situacija v Sloveniji v zimskih mesecih ugodno vplivala na onesnaženost zraka, saj so bile ravni delcev PM₁₀ nižje kot leto poprej (sliki 4.9 in 4.10). Odsotnost dolgotrajnih temperaturnih obratov v zimskem obdobju je omogočila boljše razredčevanje izpustov. Število prekoračitev mejne dnevne vrednosti za delce PM₁₀ (50 µg/m³) je v letu 2019 preseglo vrednost 35, ki je dovoljena za celo leto, le na dveh prometnih merilnih mestih. V Celju na Mariborski

cesti je bilo 43 prekoračitev in na merilnem mestu Ljubljana Center 37 prekoračitev. V letu 2018 je bilo merilnih mest s prekoračitvami šest, 2017 pa deset, kar je bilo v veliki meri pogojeno z vremenskimi razmerami. Do večine preseganj v letu 2019 je prišlo v prvih dveh mesecih leta, ko so bili pogosti temperaturni obrati. Ti onemogočajo razredčevanje izpustov iz malih kurilnih naprav in prometa, ki sta največja vira delcev PM₁₀. Novembra in decembra so prevladovali ugodne vremenske razmere z veliko padavinami, ki spirajo ozračje, zato so bile ravni delcev večino tega obdobja nizke (tabela 4.5). Letna mejna vrednost za delce PM₁₀ v letu 2019 ni bila presežena na nobenem merilnem mestu. Najvišja povprečna letna vrednost 34 µg/m³ je bila tako kot vsako leto zabeležena na prometnem merilnem mestu Ljubljana Center.

V letu 2019 so na voljo podatki za PM₁₀ iz novega merilnega mesta Medvode, ki je tipa predmestno ozadje. Z 18. decembrom 2019 smo v okviru Državne mreže za spremljanje kakovosti zunanje zraka pričeli izvajati meritve delcev PM₁₀ na Ptuju. Do sedaj je meritve na tem merilnem mestu za Mestno občino Ptuj izvajal Nacionalni laboratorij za zdravje, okolje in hrano. Povprečno mesečno raven PM₁₀ in število preseganj smo izračunali s kombinacijo podatkov iz obeh merilnih mrež. V Trbovljah in Celju so se januarja pojavile težave z vzorčevalnikoma za meritve delcev PM₁₀. Zato povprečna mesečna vrednost in število preseganj nista primerljivi s podatki z ostalih merilnih mest. Na merilnih mestih Trbovlje, Velenje in Ljubljana Center je zaradi okvare merilnika v decembru prišlo do večjega izpada podatkov za PM₁₀, prav tako se je zgodilo tudi na Iskrbi z merilnikom PM_{2,5}.

Povprečni dnevni hodi ravni PM₁₀ v kurilni sezoni za merilna mesta Ljubljana Bežigrad, Zagorje, Maribor in Koper so prikazani na sliki 4.7. Na vseh lokacijah sta opazna jutranji in večerni maksimum. Bolj izrazit je večerni maksimum, ko se prometni konici pridružijo še izpusti zaradi ogrevanja, hkrati pa se v večernem času začne tvoriti temperaturni obrat in posledično redčenje onesnaženega zraka.

V tabelah 4.6 in 4.7 ter na slikah 4.9 in 4.10 so prikazani trendi onesnaženosti v obdobju med 2002 in 2019, ki kažejo, da so zadnja leta izmerjene zelo podobne ravni delcev PM₁₀. Medletna nihanja ravni PM₁₀ so predvsem posledica različnih meteoroloških razmer v posameznem letu. Kljub temu je v obdobju od leta 2005 naprej, predvsem na urbanih lokacijah, opazen trend zmanjševanja ravni delcev. Ocenjujemo, da je to predvsem posledica zmanjševanja izpustov iz industrije. Na kmetijsko podeželskih merilnih mestih ni opaznega večjega trenda zmanjševanja. V Žerjavu smo zabeležili veliko znižanje ravni delcev in preseganj mejne dnevne vrednosti v letu 2014. Razlog je v prestavitvi vzorčevalnika sredi leta 2013 izven neposrednega vpliva izpusta iz dimnika bližnje hiše.

Za delce PM_{2,5} je predpisana mejna letna vrednost, ki v letu 2019 ni bila presežena na nobenem od štirih merilnih mest, kjer izvajamo meritve: Maribor Vrbanški plato, Ljubljana Bežigrad, Nova Gorica in Iskrba. Pregled izmerjenih vrednosti za delce PM_{2,5} v letu 2019 je prikazan v tabeli 4.8 ter na slikah 4.11 in 4.12. Letni trendi ravni delcev PM_{2,5}, ki so prikazani v tabeli 4.9 in na sliki 4.13, kažejo, da nivoji onesnaženosti ostajajo na približno enake. 8. novembra 2019 smo na novo uvedli meritve delcev PM_{2,5} na merilnem mestu Celje. Rezultati meritev v tem poročilu niso objavljeni, ker meritve niso potekale celo leto 2019.

Glede na smernice WHO je povprečna letna raven delcev PM_{2,5} 10 µg/m³ presežena na vseh urbanih merilnih mestih. V tabeli 4.8 je v stolpcu z oznako WHO izračunano število dni s preseženo

Tabela 4.3: Razpoložljivost podatkov (% pod), povprečne letne (C_p) in maksimalne dnevne (max) ravni ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ter število preseganj mejne vrednosti (>MV) za delce PM_{10} na stalnih merilnih mestih v Sloveniji v letu 2019. Število preseganj, ki je večje od dopustnega, je označeno s krepko pisavo.

Merilno mesto	Leto		Dan	
	%pod	C_p	max	>MV
DMKZ				
LJ Bežigrad	99	21	113	16
Maribor	98	23	71	13
Celje	94	26	86	23
MS Rakičan	98	21	72	14
Nova Gorica	99	20	92	10
Trbovlje	87	22	88	16
Zagorje	99	25	93	28
Hrastnik	100	20	73	9
Koper	98	17	83	8
Iskrba	99	11	55	2
Zerjav	98	20	51	1
LJ Biotehniška	99	19	103	8
Kranj	99	19	70	8
Novo mesto	99	21	70	10
Velenje	92	17	52	2
LJ Gospodarsko	100	24	116	21
NG Grčna	98	23	96	10
MS Cankarjeva	100	26	99	28
CE Mariborska	100	29	109	43
Dopolnilna merilna mreža				
EIS Šoštanj				
Pesje	96	16	58	1
Škale	94	15	60	1
Šoštanj	99	18	55	1
OMS-MOL				
LJ Center	86	34	153	37
Občina Medvode				
Medvode	95	15	57	2
MO Celje				
CE Gaji	94	24	107	25
MO Maribor				
MB Vrbanski	99	18	50	0
Občina Miklavž na Dravskem polju				
Miklavž	98	25	84	31
MO Ptuj				
Ptuj	98	22	67	15
Občina Ruše				
Ruše	95	22	68	11
Salonit Anhovo				
Morsko	99	15	89	5
Gorenje polje*	89	17	95	7

Tabela 4.4: Povprečna mesečna raven PM₁₀ (µg/m³) v letu 2019.

	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
LJ Bežigrad	36	39	21	22	10	20	14	16	13	19	18	31
Maribor	37	33	20	26	14	24	18	16	15	20	22	27
Celje	42*	50	30	30	15	22	17	19	16	21	23	36
MS Rakičan	35	34	19	24	11	20	17	15	14	19	22	28
Nova Gorica	30	37	23	20	10*	19	13	15	14	20	15	25
Trbovlje	26*	44	26	30	11	19	13*	15	13	20	24	37*
Zagorje	43	49	27	25	12	21	17	17	15	20	22	36
Hrastnik	28	33	20	23	10	19	15	15	12	18	18	25
Koper	17	25*	18	20	10	21	15	17	12	20	13	17
Iskrba	11	11	9	16	7	16	12	14	10	12	6	8
Žerjav	28	26	19	22	14	22	14	16	14	19	15	26
LJ Biotehniška	31	32	18	20	9	20	14	15	12	17	17	26
Kranj	33	31	21	19	10	19	14	15	13	19	17	25
Novo mesto	40	36	23	24	11	18	13	16	13	16	19	30
Velenje	25	27	18	20	9	16	12	15	13	18*	13	18*
LJ Gospodarsko	37	44	23	25	12*	23	17	18	16	21	19	32
NG Grčna	32	39	24	21	13	23	16	19	17	25	18	29*
CE Mariborska	53	55	32	30	14	21	16	18	17	22	27	41
MB Vrbanski	25	25	15	21	11	23	17	14	11	15	15	19
MS Cankarjeva	46	44	26	27	13	21	17	17	15	22	25	35
Pesje	17	20	16	20	10	21	16*	17*	14	16	12	14
Škale	16	19	15	19	9	20	15*	17*	12	14	12	13
Šoštanj	25	29	19	22	10	19	13	15	14	20	17	17
Morsko	19	28	17	15	8	15	11	14	10	17	8	16
Gorenje Polje	27*	36*	21	18	8	16	12	15	13*	17*	8	19*
LJ Center	52	51	30	33	20	29	29	33	25	26	31*	32*
CE Gaji	48	43	24	27*	13*	23	15	17	13	17	18	19
Miklavž	46	47	24	26	13	24	21*	16	13	20	20	32
Ptuj	32	36	20	25	12	23	18*	16	13	18	20	26
Medvode	31	33	22*	19*	9	15	10	12	7	7	8	9
Ruše	25*	25*	17	20*	11	22	16	14	10	17	20	20

* Informativni podatek zaradi prenizke razpoložljivosti podatkov meritev.

Tabela 4.5: Število preseganj dnevne mejne vrednosti PM₁₀ po mesecih v letu 2019.

	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
LJ Bežigrad	5	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Maribor	5	4	0	1	0	0	0	0	0	0	0	3
Celje	5*	14	0	1	0	0	0	0	0	0	0	3
MS Rakičan	6	6	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
Nova Gorica	1	7	0	1	0*	0	0	0	0	0	0	1
Trbovlje	0*	11	0	3	0	0	0*	0	0	0	1	1*
Zagorje	10	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
Hrastnik	1	6	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
Koper	0	4*	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1
Iskrba	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
Žerjav	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
LJ Biotehniška	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Kranj	5	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Novo mesto	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Velenje	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0*	0	0*
LJ Gospodarsko	5	13	0	1	0*	0	0	0	0	0	0	2
NG Grčna	1	7	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1*
CE Mariborska	17	17	2	2	0	0	0	0	0	0	0	5
MS Cankarjeva	15	10	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2
MB Vrbanski	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pesje	0	0	0	1	0	0	0*	0*	0	0	0	0
Škale	0	0	0	1	0	0	0*	0*	0	0	0	0
Šoštanj	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Morsko	0	4	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Gorenje Polje	1*	5*	0	0	0	0	0	0	0*	1*	0	0*
LJ Center	13	15	0	1	0	0	0	2	0	0	0*	6*
CE Gaji	12	12	0	0*	0*	0	0	0	0	0	0	1
Miklavž	13	14	0	0	0	0	0*	0	0	0	0	4
Ptuj	5	7	0	1	0	0	0*	0	0	0	0	2
Medvode	0	2	0*	0*	0	0	0	0	0	0	0	0
Ruše	0*	0*	0	0*	0	0	0	0	0	0	0	1

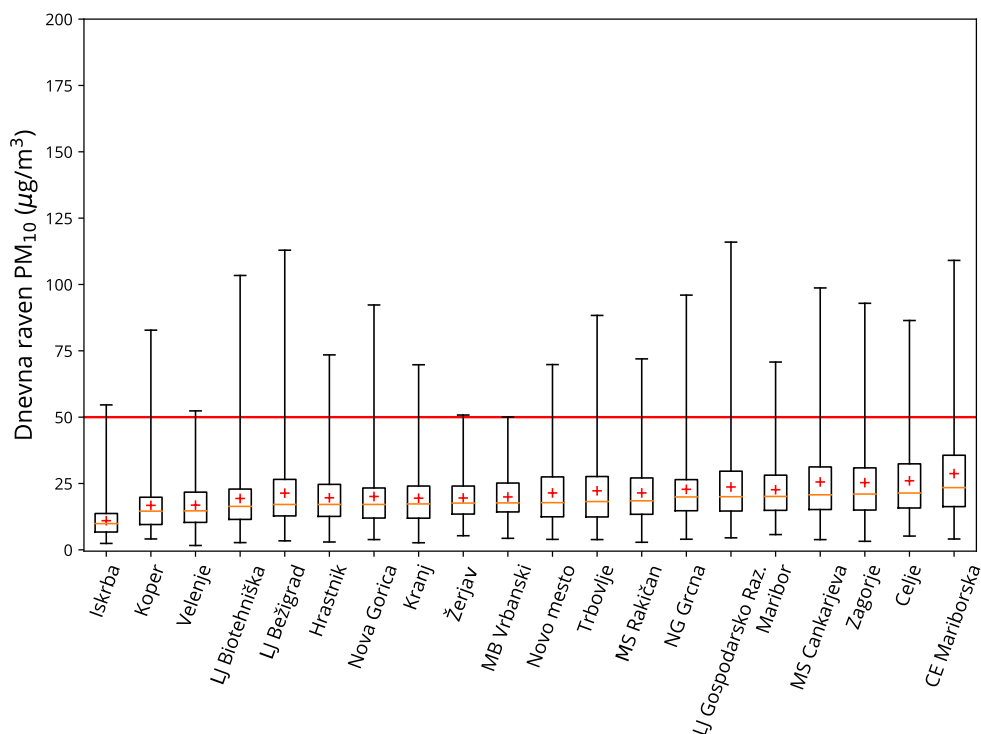
* Informativni podatek zaradi prenizke razpoložljivosti podatkov meritev.

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

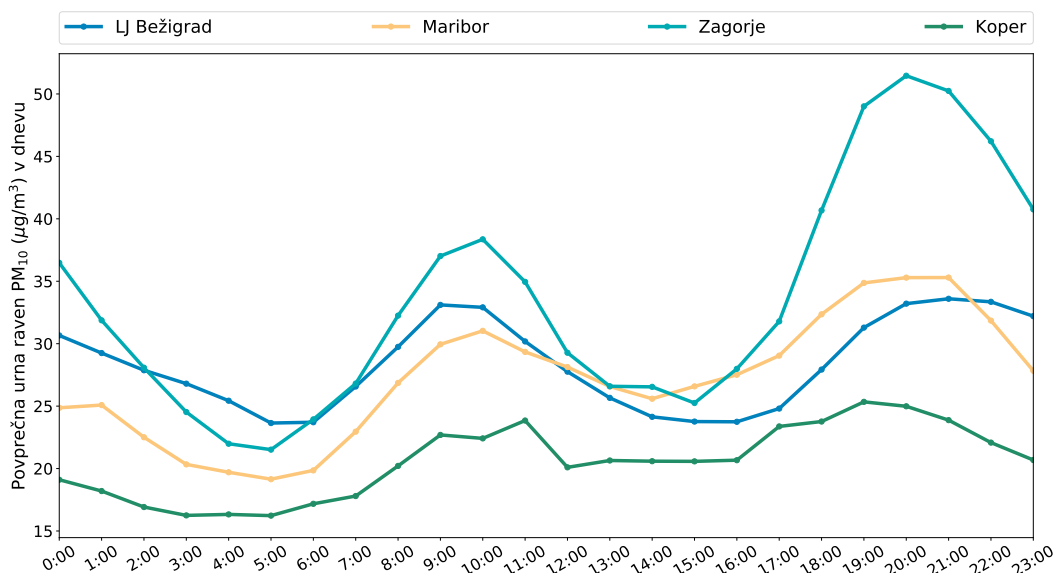
Merilno mesto	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
LJ Bežigrad	42	46	41	37	33	32	30	29	30	32	26	24	23	28	24	25	27	21
LJ Biotehniška	/	/	/	/	/	/	/	/	26	27	30	27	26	22	27	27	25	21
LJ Center	/	/	/	/	/	/	/	44	48	42	44	45	41	38	40	40	33	35
LJ Gospodarsko	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	29	24	24
Maribor	50	58	48	43	43	40	34	30	33	34	30	30	27	28	27	28	28	23
Kranj	/	/	/	/	/	/	/	/	32	30	26	25	22	26	23	26	22	19
Novo mesto	/	/	/	/	/	/	/	/	31	32	28	27	23	28	26	27	26	21
Celje	46	53	41	43	35	32	30	31	32	35	31	29	28	32	32	30	28	26
CE Mariborska	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	33	31	29
Trbovlje	47	52	40	55	40	37	38	33	34	35	32	30	27	29	26	29	27	22
Zagorje	47	51	44	52	46	41	44	36	36	37	32	29	28	32	29	29	32	25
Hrastnik	/	/	/	/	/	/	/	/	27	30	24	23	21	24	22	23	22	20
Velenje	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	22	21	20	22	19	21	19	17
MS Rakičan	40	43	32	37	34	30	30	29	30	33	29	28	25	29	26	29	26	21
MS Cankarjeva	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	30
Nova Gorica	39	37	35	34	32	33	31	28	29	27	24	22	21	24	21	23	20	20
NG Grčna	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	25	24	23
Koper	/	/	/	/	31	29	25	23	25	27	24	20	19	23	19	20	18	17
Žerjav	/	/	/	/	/	/	/	/	26	34	29	26	21	25	23	21	23	20
Iskrba	/	/	/	16	16	15	16	16	14	17	15	13	11	13	11	12	14	11
Morsko	/	/	/	/	/	23	22	20	19	21	20	16	15	18	16	18	15	15
Gorenje Polje	/	/	/	/	/	24	26	23	20	23	21	18	17	20	17	19	17	17
MB Vrbanski	/	/	/	/	/	/	/	/	26	24	20	19	21	20	20	21	18	18
Vnajnarje	/	/	/	/	26	22	/	23	20	26	23	24	18	16	17	21	/	/
Pesje	/	31	25	27	28	21	20	22	22	22	20	23	23	24	23	24	19	16
Škale	/	27	23	23	26	24	22	24	23	23	22	17	17	17	16	17	17	15
CE Gaji	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	26	29	35	27	25	29	24
Šoštanj	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	12	13	16	19	20	21	18
Miklavž	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	27	29	28	25
Ptuj	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	26	25	22
Ruše	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	21	22	22
MB Tabor	40	42	38	43	47	40	35	30	31	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Prapretno	/	/	30	28	34	33	29	31	29	34	28	22	19	21	18	/	/	/
Medvode	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	20	15
Kovk	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	15	14	12	13*	/	/	/	/
Dobovec	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	12	11	11	12*	/	/	/	/

Tabela 4.7: Letno število preseganj dnevne mejne vrednosti PM₁₀. 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
LJ Bežigrad	36	64	71	70	47	46	36	30	43	63	27	22	19	43	36	30	28	16
LJ Biotehniška	/	/	/	/	/	/	/	25	32	51	21	24	12	35	40	32	16	8
LJ Center	/	/	/	/	/	/	101	112	74	94	107	74	55	85	66	51	51	37
LJ Gospodarsko	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	39	20	21
Maribor	66	129	102	101	108	91	54	35	47	64	34	36	25	34	43	35	30	13
Kranj	/	/	/	/	/	/	/	/	37	55	27	28	12	17	27	28	13	8
Novo mesto	/	/	/	/	/	/	/	/	60	69	45	49	22	40	41	33	31	10
Celje	58	100	62	97	59	48	37	42	58	73	55	51	41	70	53	49	35	23
CE Mariborska	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	57	45	43
Trbovlje	52	88	48	157	86	81	72	48	64	68	65	50	33	50	38	39	37	16
Zagorje	48	79	82	143	106	99	109	56	68	75	62	48	38	70	51	46	55	28
Hrastnik	/	/	/	/	/	/	/	/	30	51	17	15	10	22	25	19	11	9
Velenje	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	11	8	15	9	10	19	2	2
MS Rakičan	33	58	19	65	54	37	42	30	52	71	44	38	33	47	42	44	34	14
MS Cankarjeva	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	46	28
Nova Gorica	24	18	33	37	47	40	33	24	25	28	19	12	19	24	15	24	6	10
NG Grčna	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	21	5	10
Koper	/	/	/	/	40	19	11	2	15	21	23	10	16	28	11	18	4	8
Žerjav	/	/	/	/	/	/	/	/	29	79	44	37	3	6	19	9	5	1
Iskrba	/	/	/	5	5	0	0	5	5	3	1	0	0	0	0	3	2	2
Morsko	/	/	/	/	/	18	16	14	5	13	10	3	8	7	6	6	3	5
Gorenje Polje	/	/	/	/	/	16	24	16	13	18	11	5	11	10	3	7	3	7
MB Vrbanski	/	/	/	/	/	/	/	/	/	25	8	7	10	3	21	12	0	0
Vnajnarje	/	/	/	/	20	10	7	2	12	8	3	0	1	2	8	/	/	/
Pesje	/	17	11	23	24	14	9	12	10	16	2	6	12	9	8	20	3	1
Škale	/	4	8	15	19	11	12	13	12	20	9	0	5	0	1	9	3	1
CE Gaji	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	35	41	76	45	39	43	25
Šoštanj	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	0	0	0	3	14	4	1
Miklavž	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	45	39	35	31
Ptuj	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	38	25	15
Ruše	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	17	15	11
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	/	/	/
Medvode	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	7	2
Kovk	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	1	0	0	/	/	/	/
Dobovec	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	1	0	0	/	/	/	/



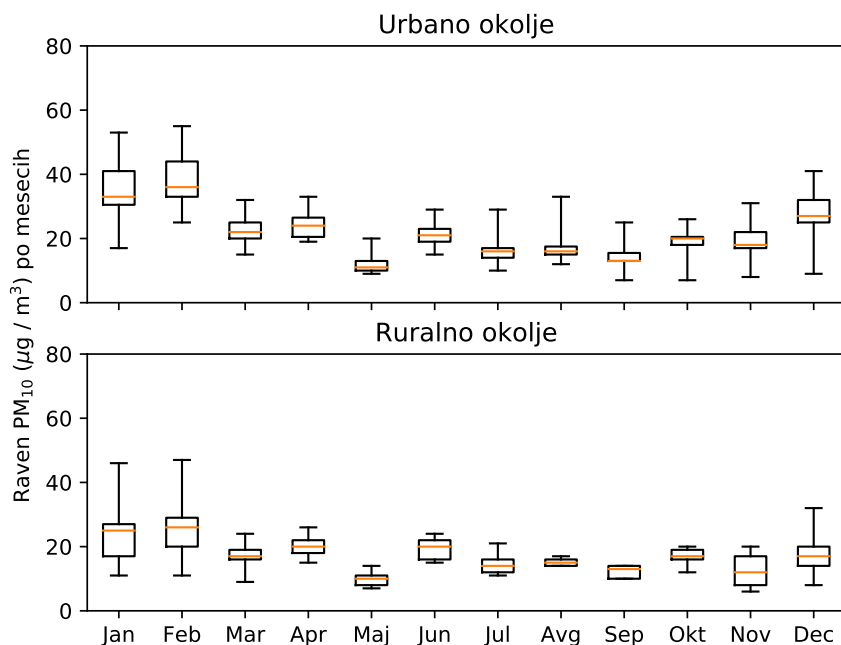
Slika 4.6: Dnevne vrednosti PM₁₀ na merilnih mestih DMKZ v letu 2019. Prikazani so najvišja in najnižja izmerjena raven (spodnja in zgornja vodoravna črtica), oba kvartila (vrh in dno pravokotnika) in mediana (rdeča vodoravna črtica v pravokotniku). Z + označujemo povprečno letno raven. Rdeča črta prikazuje dnevno mejno vrednost.



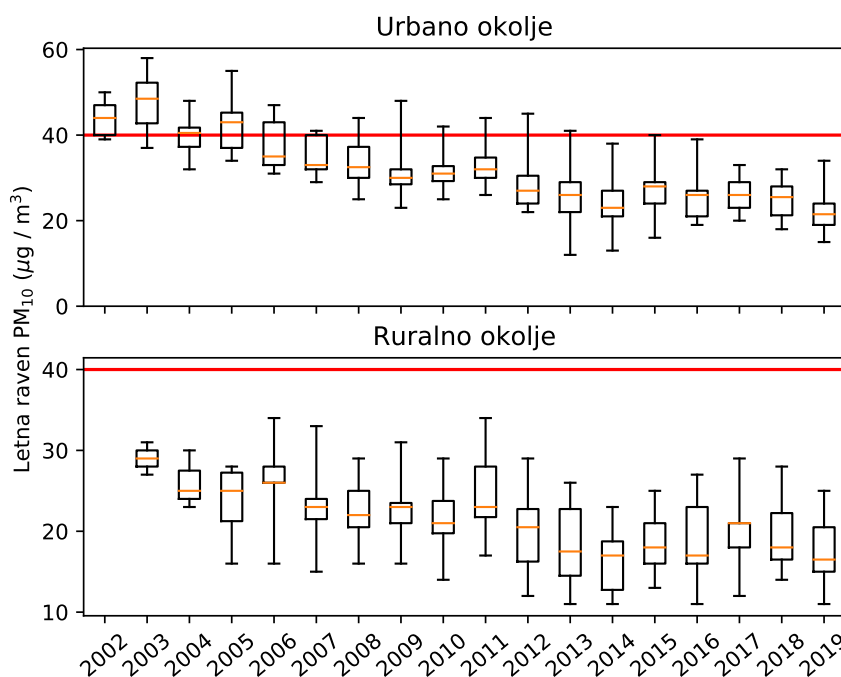
Slika 4.7: Dnevni potek povprečne urne ravni PM₁₀ na izbranih merilnih mestih v kurilni sezoni leta 2019 (januar do marec in oktober do december).

dnevno ravno 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, ki po smernicah WHO ne sme biti presežena. Na merilnem mestu Ljubljana Bežigrad je v letu 2019 takih dni 54, v Novi Gorici 28 in na Maribor Vrbanskem 26. Edino na Iskrbi do teh preseganj ni prišlo.

Kazalnik povprečne izpostavljenosti za PM_{2,5} je leta 2019 na merilnih mestih v neizpostavljenem

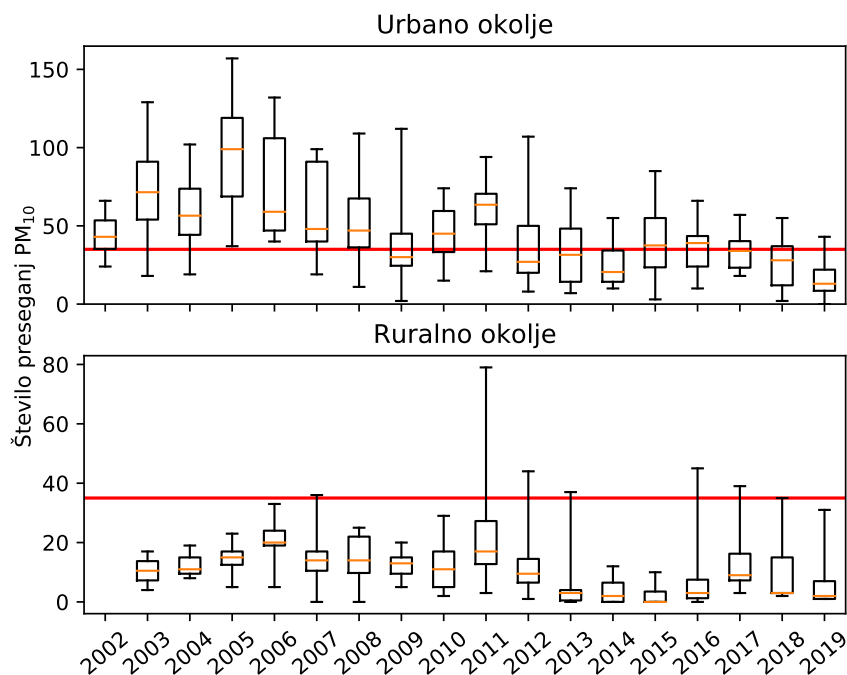


Slika 4.8: Povprečne mesečne ravni PM_{10} na urbanih in ruralnih merilnih mestih v letu 2019. Prikazano je najnižje in najvišje mesečno povprečje na merilnih mestih (spodnja in zgornja vodoravna črtica), oba kvartila (vrh in dno pravokotnika) in mediana (rdeča vodoravna črtica v pravokotniku).



Slika 4.9: Povprečne letne ravni 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.

mestnem okolju v Ljubljani znašal $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Ljubljana Biotehniška fakulteta/Ljubljana Bežigrad), v Mariboru $16 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Maribor Vrbanški plato) in v Novi Gorici $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Obveznost glede stopnje



Slika 4.10: 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.

izpostavljenosti je leta 2019 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 neizpostavljeno mestno ozadje, zato smo kazalnik povprečne izpostavljenosti za leto 2019 izračunali kot triletno povprečje obeh merilnih mest (letno povprečje iz leta 2017 smo vzeli z merilnega mesta Biotehniška fakulteta in letno povprečje za leti 2018 in 2019 z merilnega mesta Bežigrad). V Novi Gorici meritve delcev $PM_{2,5}$ potekajo šele od leta 2018, zato je kazalnik povprečne izpostavljenosti za leto 2019 izračunan kot dvoletno povprečje, kar je tudi v skladu z Uredbo o kakovosti zraka. Izračuni kazalnika povprečne izpostavljenosti so prikazani v tabeli 4.10.

Tabela 4.8: Razpoložljivost podatkov (% pod), povprečne letne ravni (C_p) in najvišje dnevne ravni (C_{max}) $PM_{2,5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ter število dni s povprečno dnevno vrednostjo nad $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (WHO), na merilnih mestih v letu 2019.

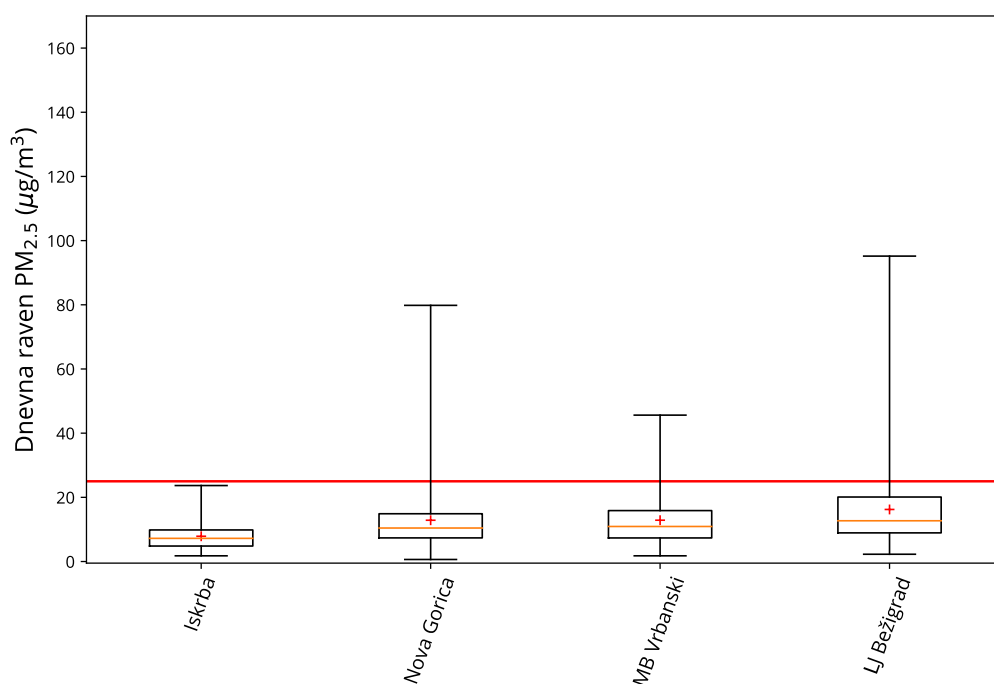
	% pod	C_p	C_{max}	WHO
MB Vrbanski	99	13	46	26
LJ Bežigrad	99	16	95	54
Nova Gorica	94	13	80	28
Iskrba	90	8	24	0

Tabela 4.9: Povprečna letna raven delcev PM_{2,5} (μg/m³) na izbranih merilnih mestih po letih.

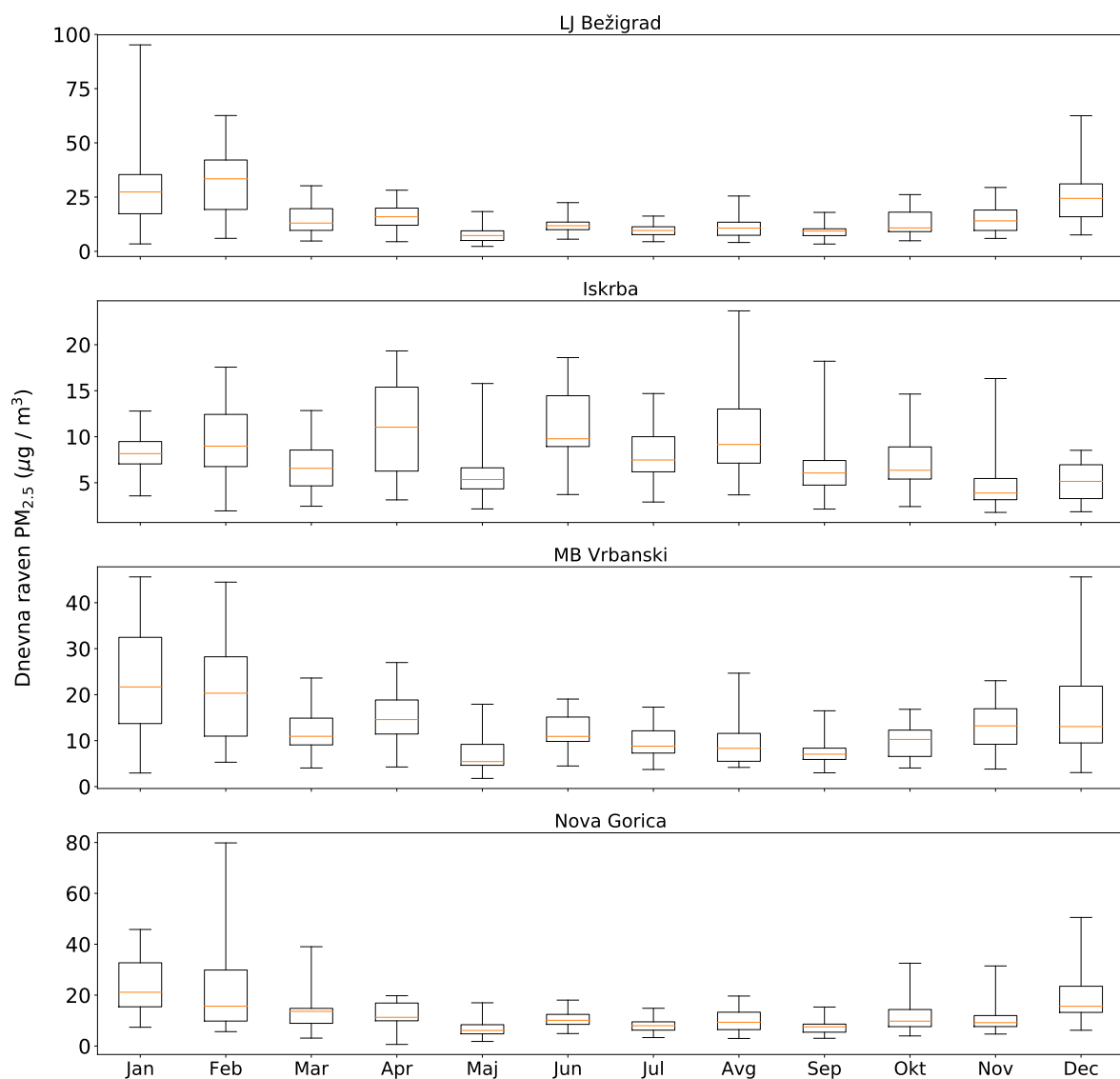
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Maribor	/	/	22	24	26	21	22	19	21	21	20	/	/
MB Vrbanški	/	/	20	22	23	18	20	17	19	19	18	17	13
LJ Biotehniška	/	/	18	22	25	21	20	18	23	23	20	/	/
LJ Bežigrad	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	19	16
Nova Gorica	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	14	13
Iskrba	10	11	12	12	14	13	11	9	10	9	10	11	8

Tabela 4.10: Kazalnik povprečne izpostavljenosti PM_{2,5} (μg/m³) na merilnih mestih neizpostavljenega mestnega ozadja.

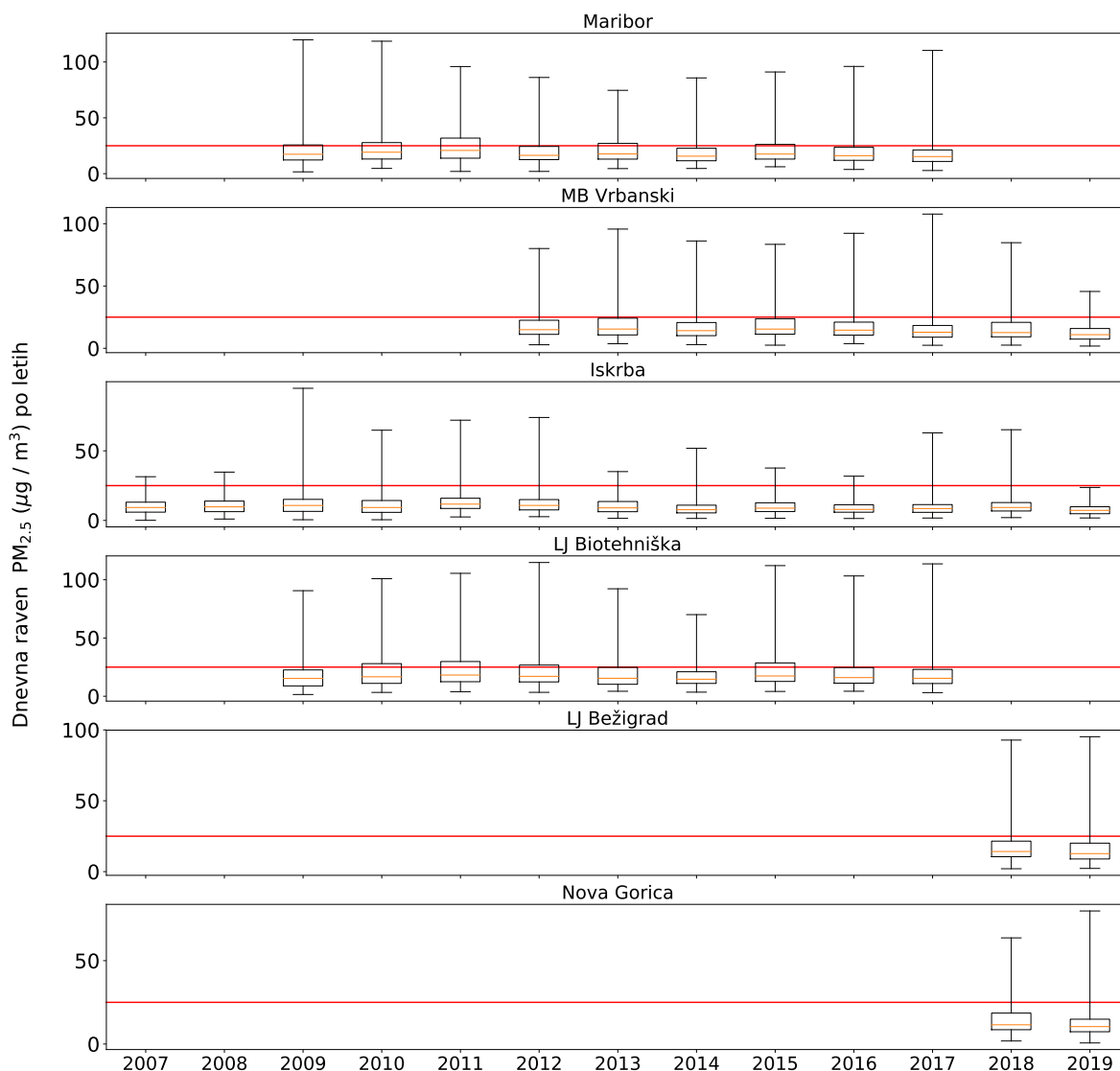
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
LJ Biotehniška/LJ Bežigrad	22	23	22	20	20	21	22	21	18
Nova Gorica	/	/	/	/	/	/	/	/	14
MB Vrbanški	22	21	20	18	19	18	19	18	16



Slika 4.11: Dnevne vrednosti PM_{2,5} na merilnih mestih v letu 2019. Prikazane so najnižja in najvišja izmerjena vrednost (spodnja in zgornja vodoravna črtica), oba kvartila (vrh in dno pravokotnika) in mediana (rdeča vodoravna črtica v pravokotniku). Z + je označena povprečna letna raven, ki jo lahko primerjamo z letno mejno vrednostjo prikazano z rdečo črto.



Slika 4.12: Dnevne vrednosti PM_{2,5} na izbranih merilnih mestih po mesecih v letu 2019. 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 4.13: Dnevne vrednosti $PM_{2,5}$ na izbranih merilnih mestih po letih. Letna mejna vrednost začne veljati januarja 2015. Med leti 2008 in 2016 se sprejemljivo preseganje mejne vrednosti zmanjšuje, kot je podano v tabeli 4.2. 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 letno mejno vrednost.

4.4 Epizode čezmerne onesnaženosti

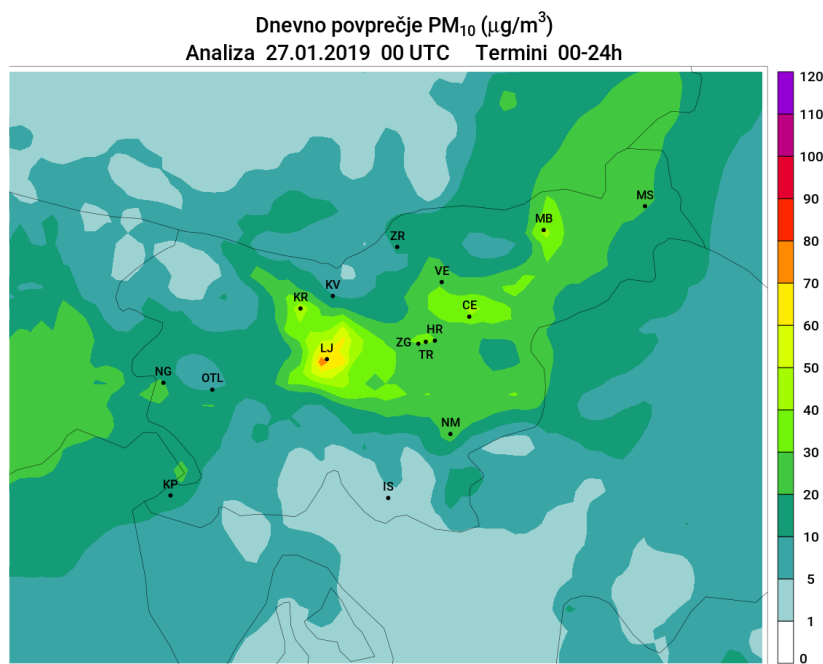
Leta 2019 je vremenska situacija v Sloveniji v zimskih mesecih ugodno vplivala na onesnaženost zraka zato so bile ravni delcev PM_{10} nižje kot leto poprej. Do večine preseganj v letu 2019 je prišlo v prvih dveh mesecih leta, ko so bili pogosti temperaturni obrati, ki onemogočajo razredčevanje onesnaženega zraka.

Januarja in februarja smo zabeležili več obdobj s povišanimi ravnimi delcev PM_{10} . Na prometnem merilnem mestu Celje Mariborska je bilo zabeleženih kar 17 preseganj mejne dnevne vrednosti v januarju in prav tako 17 preseganj v februarju. Sledi podrobna analiza meteoroloških razmer v zimskem obdobju leta 2019, ko so bile povišane ravni delcev PM_{10} .

V celinski Sloveniji je bila med 5. in 13. januarjem epizoda povišanih ravni delcev PM_{10} .

Razlogi so bili izraziti temperaturni obrati, ki so v ozkih dolinah in kotlinah vztrajali dlje kot drugje, saj se tam zrak težje izmenja. Zato je največ preseganj mejne dnevne vrednosti v tem obdobju zabeleženih v Zagorju in Celju. Najvišja dnevna vrednost PM₁₀ v januarju (153 µg/m³) je bila zabeležena 27. januarja na prometnem merilnem mestu Ljubljana Center. 26. in 27. januarja so bile na vseh urbanih merilnih mestih v celinski Sloveniji v tem mesecu izmerjene najvišje ravni delcev. Razlog je, da se je 26. januarja pri tleh močno ohladilo (v Celju Medlog je bila izmerjena minimalna temperatura -13°C) kar je povečalo potrebo po ogrevanju. Naslednji dan je bilo še dodatno onemogočeno razredčevanje emisij zaradi postopnega dotoka toplejšega zraka v višinah. Visoke vrednosti so vztrajale do večera, ko je zapihalo in zato so se ravni delcev PM₁₀ povsod močno znižale. V Trbovljah in Celju so se januarja pojavile težave z vzorčevalnikoma za meritve delcev PM₁₀, zato povprečna mesečna vrednost in število preseganj nista primerljivi s podatki z ostalih merilnih mest.

Za 27. januar so na spodnji sliki prikazane ravni delcev PM₁₀, izračunane z modelskim sistemom ALADIN-SI/CAMx.



Slika 4.14: Ravni delcev PM₁₀, izračunane z modelskim sistemom ALADIN-SI/CAMx za dan 27. 1. 2019. v Sloveniji

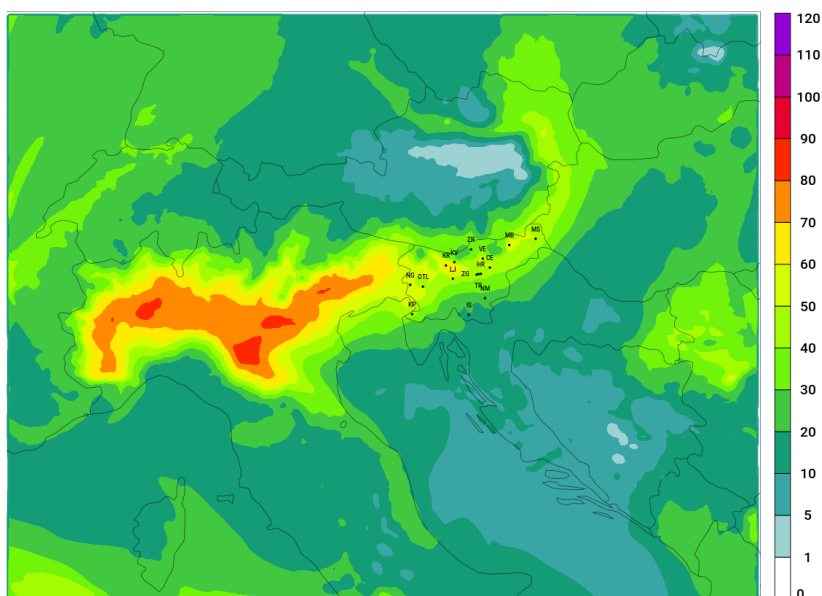
Visoka onesnaženost zraka z delci PM₁₀ se je zaradi neugodnih vremenskih razmer, ki so onemogočale razredčevanje izpustov tako iz malih kurilnih naprav kot tudi drugih virov, nadaljevala tudi v februarju. Kakovost zraka se je februarja močno izboljšala ob treh večjih spremembah vremena, prve dni februarja, 11. februarja in 23. februarja, ko so Slovenijo zajele padavine ali močan veter, ki je ozračje dobro premešal. V februarju sta bili tako dve epizodi povišanih ravni delcev. Prva je trajala med 7. in 10. februarjem, ko so bile v celinski Sloveniji povišane ravni zaradi temperaturnega obrata. Najvišja dnevna raven PM₁₀ je bila v tej epizodi zabeležena 8. februarja na

prometnem merilnem mestu v Celju ($82 \mu\text{g}/\text{m}^3$). 10. februarja je prešla Slovenijo hladna fronta, ki je premešala ozračje in ravni delcev PM_{10} so se povsod razen na Goriškem močno znižale. Na Goriško je 9. in 10. februarja z zahodnimi vetrovi prišel onesnažen zrak iz severne Italije. Takrat je do preseganja mejne dnevne vrednosti PM_{10} prišlo na vseh štirih merilnih mestih na Goriškem: Nova Gorica, Nova Gorica Grčna, Morsko in Gorenje Polje. Zvečer 10. februarja so se padavine na zahodu okrepile in posledično so se ravni delcev tudi na Goriškem močno znižale.

Druga epizoda povišanih ravni delcev v februarju je bila daljša. Trajala je od 14. do 22. februarja. Ravni delcev so v tem obdobju presegle mejno dnevno vrednost $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ na vseh urbanih merilnih mestih tako v celinski Sloveniji kot tudi na Primorskem. V jutranjem času je bila nad nami močna temperaturna inverzija. Na okoli 1000 m nadmorske višine je bila temperatura okoli 9°C , pri tleh pa nekaj stopinj pod lediščem. 23. februarja je zapihal močan severovzhodni veter, ki je premešal ozračje in povsod znižal ravni delcev.

14. oktobra so na štirih merilnih mestih na Primorskem, v Kopru, Novi Gorici Grčna, Morsko in Gorenje Polje ravni delcev PM_{10} presegle mejno dnevno vrednost. Tega dne je bilo močno onesnaženo širše območje Padske nižine. V Novi Gorici ta dan ni zabeleženega preseganja, saj je na merilni postaji prišlo do izpada elektrike. Zaradi prehoda fronte so se ravni delcev na vseh merilnih mestih naslednji dan znižale. Izračuni ravni delcev PM_{10} na širšem območju Slovenije in Padske nižine, narejeni z modelskim sistemom ALADIN-SI/CAMx, so za izbrane dneve te epizode prikazani na spodnjih slikah. Na slikah je lepo viden prehod onesnaženega zraka iz Padske nižine v zahodno Slovenijo.

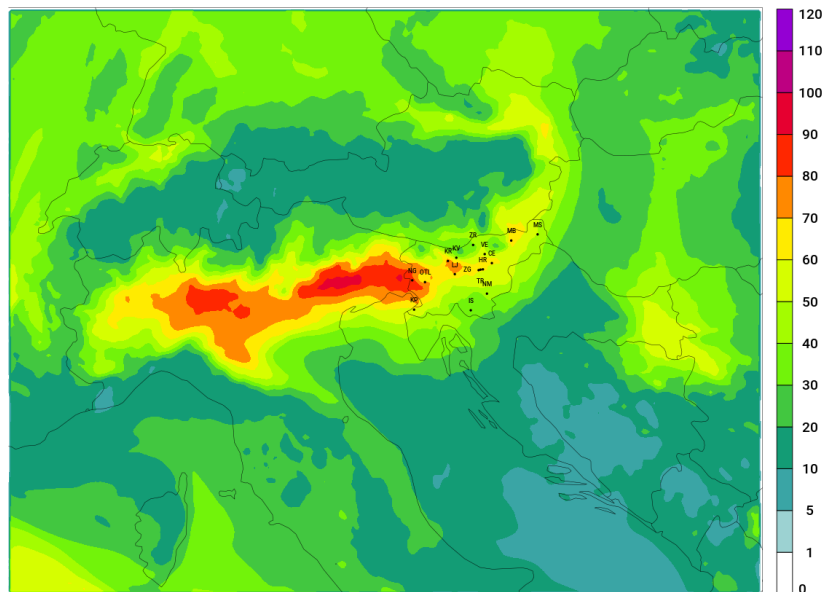
Dnevno povprečje PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Analiza 13.10.2019 00 UTC Termini 00-24h



Slika 4.15: Ravni delcev PM_{10} , izračunane z modelskim sistemom ALADIN-SI/CAMx za dan 13. 10. 2019.

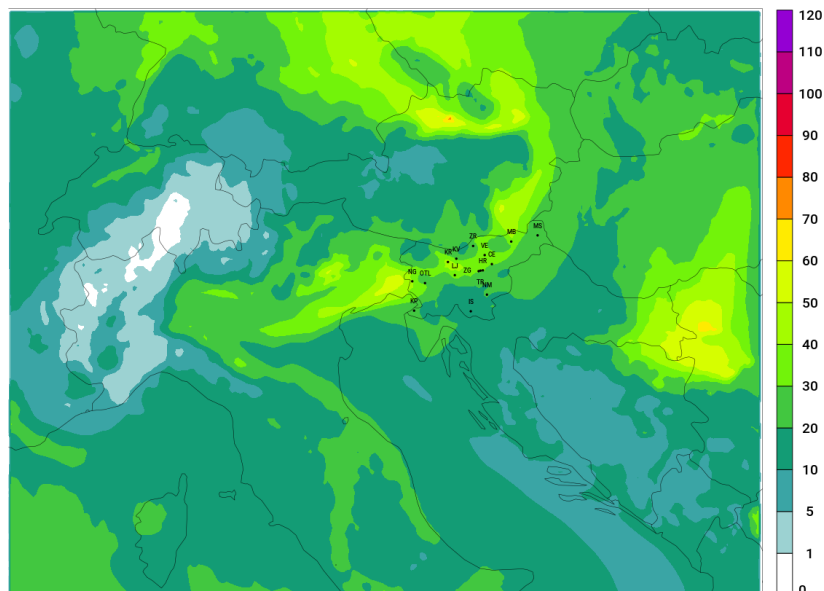
V decembru so se zaradi neugodnih vremenskih pogojev in večje potrebe po ogrevanju večkrat

Dnevno povprečje PM₁₀ (μg/m³)
Analiza 14.10.2019 00 UTC Termini 00-24h



Slika 4.16: Ravni delcev PM₁₀, izračunane z modelskim sistemom ALADIN-SI/CAMx za dan 14. 10. 2019.

Dnevno povprečje PM₁₀ (μg/m³)
Analiza 15.10.2019 00 UTC Termini 00-24h



Slika 4.17: Ravni delcev PM₁₀, izračunane z modelskim sistemom ALADIN-SI/CAMx za dan 15. 10. 2019.

povišale ravni delcev. V celinski Sloveniji sta bili zabeleženi dve krajši obdobji povišanih ravni delcev. 6. decembra, ko je bila izrazita temperaturna inverzija (temperatura pri tleh je bila -4°C,

na 500 metrih pa +3 °C) so ravni delcev PM₁₀ na več merilnih mestih presegle mejno dnevno vrednost. Druga epizoda povišanih ravni delcev pa se je začela v zadnjih dneh decembra, ko so neugodne vremenske razmere (izrazit temperaturni obrat s temperaturo pri tleh -5°C, na 900 metrih pa +5°C) onemogočale razredčevanje izpustov iz kurilnih naprav in ognjemetov, ki so v tistih dneh z delci dodatno onesnaževali ozračje. Na Primorskem so bile v obeh obdobjih zaradi bolj ugodnih vremenskih razmer ravni delcev nižje. Kljub temu je bila v decembru na Primorskem nekajkrat presežena mejna dnevna vrednost PM₁₀, in sicer enkrat v Kopru (dne 8. decembra 53 µg/m³) in enkrat na obeh merilnih mestih v Novi Gorici (dne 16. decembra 69 µg/m³ v Novi Gorici in 68 µg/m³ v Novi Gorici Grčna). V obeh primerih gre za vpliv iz onesnažene Padske nižine.

Kljub temu da je onesnaženost zraka z delci v letu 2019 nižja kot leta poprej, 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.

4.5 Kemijska in elementna sestava delcev

V Evropi približno eno tretjino mase delcev PM₁₀ in polovico mase delcev PM_{2,5} v zraku predstavlja vsota anorganskih ionov amonija, nitrata in sulfata (sekundarni anorganski aerosoli). Te spojine so posledica kemijskih reakcij v ozračju, ki vključujejo plinske predhodnike NH₃, NO_x in SO_x. Druga glavna komponenta delcev so organske snovi, ki predstavljajo približno 30 % mase PM_{2,5} in 20 % mase PM₁₀. V delcih PM_{2,5} smo na merilnem mestu Iskrba spremljali vsebnost ionov (nitrata, sulfata in amonija) ter elementarnega in organskega ogljika. Rezultati so prikazani ločeno za zimsko obdobje (od januarja do marca in od oktobra do decembra) in poletno obdobje (od aprila do septembra) v tabeli 4.11.

Tabela 4.11: Sestava delcev PM_{2,5} na merilnem mestu Iskrba v letu 2019.

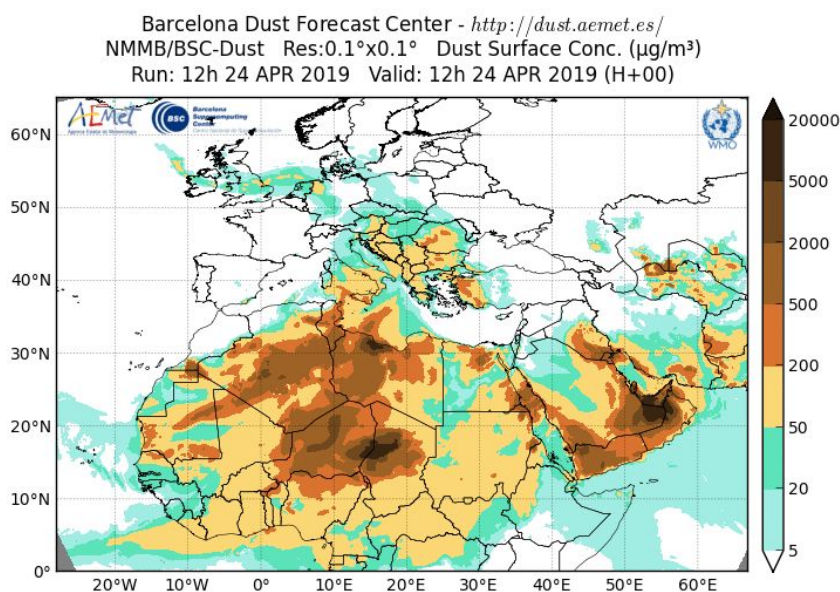
		zimsko obdobje	poletno obdobje
Iskrba	NH ₄ ⁺ +NO ₃ ⁻ +SO ₄ ²⁻ (µg/m ³)	1,9	2,7
	Organski ogljik (µgC/m ³)	2,7	2,5
	Elementarni ogljik (µgC/m ³)	0,24	0,11

4.6 Preseganja mejnih vrednosti zaradi naravnih virov

Uredba o kakovosti zunanjega zraka [9] določa, da se preseganje mejnih vrednosti (PM₁₀ nad 50 µg/m³) zaradi prispevka naravnih virov lahko za ugotavljanje skladnosti s standardi kakovosti zraka odšteje, če je prispevek naravnih virov mogoče dovolj zanesljivo določiti. Med naravne vire se štejejo: vulkanski prah, puščavski prah, gozdni požari in aerosoli iz morja. V Sloveniji prispevek morskega pršca ni pomemben, v letu 2019 prav tako nismo zabeležili večjih požarov v naravnem okolju in izrazitih vulkanskih izbruhov, ki bi lahko vplivali na ravni delcev v Sloveniji. Smo pa določili prehod puščavskega prahu.

Navodilo Evropske komisije *Guidance on the quantification of the contribution of natural sources under the EU Air Quality Directive 2008/50/EC* [17] do pravi, da je v primeru ugotovitve prisotnosti puščavskega prahu, potrebno na merilnem mestu, ki je tipa regionalno ozadje, določiti prispevek puščavskega prahu. Ta prispevek se nato na postaji, kjer je bila izmerjena presežena mejna dnevna vrednost $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, odšteje od izmerjene ravni PM_{10} . V Sloveniji je edino merilno mesto, kjer spremljamo ozadje, Iskrba.

Epizode puščavskega prahu za leto 2019 smo ocenili s pomočjo modela NMMB/BSC-Dust [18]. 24., 25. in 26. aprila je viden prehod puščavskega prahu nad Slovenijo (slike 4.18, 4.19 in 4.20). V teh dneh so se ravni delcev povišale na vseh merilnih mestih po Sloveniji, do preseganja mejne dnevne vrednosti PM_{10} $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pa je prišlo le 25. in 26. aprila in še to ne na vseh merilnih mestih. Na sliki 4.21 je prikaz za 27. april, kjer se vidi, da puščavskega prahu nad Slovenijo ni več.



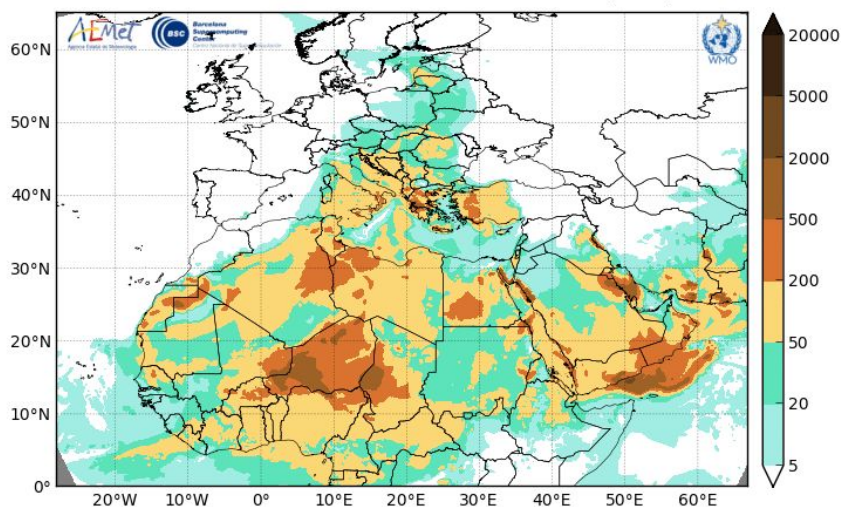
Slika 4.18: Modelski izračun ravni puščavskega prahu nad Evropo za dan 24. 4. 2019.

V puščavskem prahu je več delcev večjih dimenzij. Zato pričakujemo, da se ravni delcev PM_{10} povišajo bolj kot ravni $\text{PM}_{2,5}$. Navedeno je razvidno iz slike 4.22, kjer je prikazan časovni potek ravni PM_{10} in $\text{PM}_{2,5}$ na merilnem mestu Iskrba.

Oceno epizode puščavskega prahu smo preverili tudi s kemično analizo vzorcev iz postaje Iskrba, ki predstavlja stanje v neizpostavljenem podeželskem okolju. Puščavski prah naj bi vseboval aluminij, železo, stroncij, kalcij in magnezij. Kemijska analiza delcev je v dneh, ko je Slovenijo prešel puščavski prah, pokazala povišanje ravni aluminija, železa, stroncija, kalcija, magnezija, natrija in klorida (slika 4.23). Po programu ocenjevanja kakovosti zunanjega zraka se kemijska analiza aluminija, železa in stroncija izvaja v delcih PM_{10} , kalcija, magnezija, klorida in natrija pa v delcih $\text{PM}_{2,5}$. Na sliki so prikazana razmerja posameznega parametra glede na 20. april 2019, ko puščavski prah nad Slovenijo ni bil prisoten. Razvidno je, da se je v času prehoda puščavskega prahu (26. aprila) največ povečala raven stroncija in aluminija.

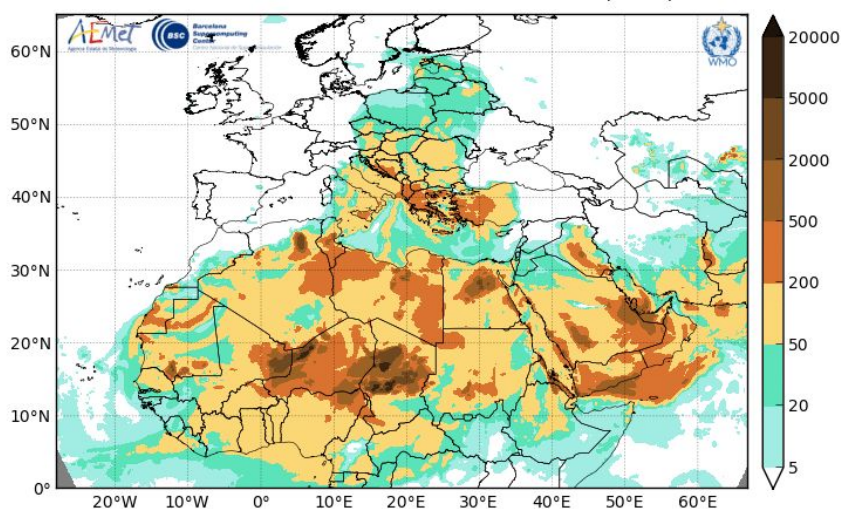
V evidentirani epizodi so bila preseganja mejne dnevne vrednosti za PM_{10} izmerjena 25. in 26. aprila. 25. aprila na treh merilnih mestih: Nova Gorica, Koper in Iskrba ter 26. aprila na devetih

Barcelona Dust Forecast Center - <http://dust.aemet.es/>
NMMB/BSC-Dust Res:0.1°x0.1° Dust Surface Conc. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Run: 12h 24 APR 2019 Valid: 00h 26 APR 2019 (H+36)



Slika 4.19: Modelski izračun ravni puščavskega prahu nad Evropo za dan 25. 4. 2019.

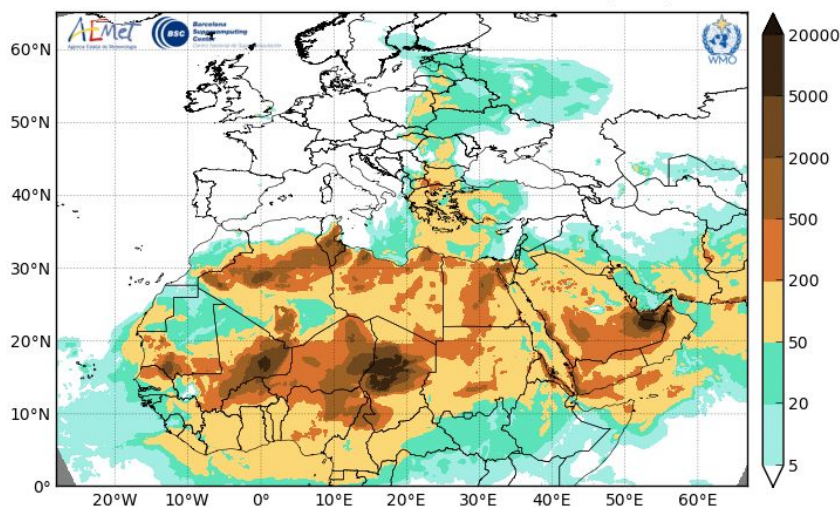
Barcelona Dust Forecast Center - <http://dust.aemet.es/>
NMMB/BSC-Dust Res:0.1°x0.1° Dust Surface Conc. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Run: 12h 24 APR 2019 Valid: 09h 26 APR 2019 (H+45)



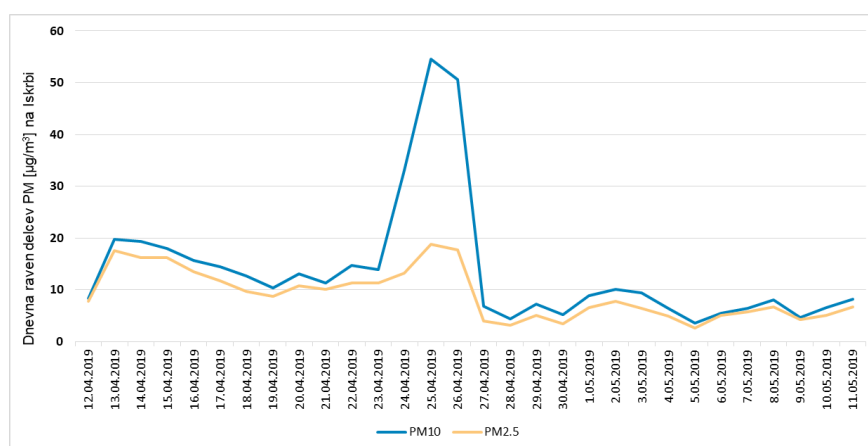
Slika 4.20: Modelski izračun ravni puščavskega prahu nad Evropo za dan 26. 4. 2019.

merilnih mestih: Celje Mariborska, Celje, Murska Sobota Rakičan, Murska Sobota Cankarjeva, Velenje, Maribor, Hrastnik, Ljubljana Gospodarsko in Iskrba. Za določitev pribitka puščavskega prahu se na neizpostavljenem merilnem mestu Iskrba izračuna povprečno raven PM_{10} za obdobje 15 dni pred in 15 dni po epizodi puščavskega prahu. Raven puščavskega prahu znaša za 25. april $44 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in za 26. april $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Po odštetju ocenjene ravni puščavskega prahu dobimo na vseh merilnih mestih, kjer je bilo zabeleženo preseganje, nižje vrednosti od mejne dnevne vrednosti. Zato teh preseganj ne štejemo med letna preseganja mejne vrednosti (tabela 4.12). Pribitek puščavskega prahu smo upoštevali le na merilnih mestih v DMKZ.

Barcelona Dust Forecast Center - <http://dust.aemet.es/>
 NMMB/BSC-Dust Res:0.1°x0.1° Dust Surface Conc. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
 Run: 12h 24 APR 2019 Valid: 12h 27 APR 2019 (H+72)



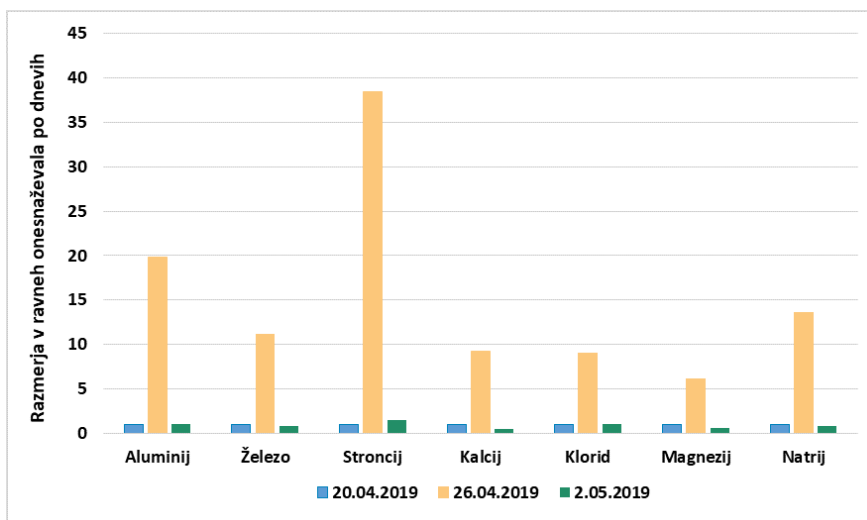
Slika 4.21: Modelski izračun ravni puščavskega prahu nad Evropo za dan 27. 4. 2019.



Slika 4.22: Primerjava ravni delcev PM_{10} in $\text{PM}_{2,5}$ na merilnem mestu Iskrba.

Tabela 4.12: Število preseganj mejne dnevne vrednosti PM_{10} v letu 2019 pred in po upoštevanju deleža puščavskega prahu na postajah DMKZ.

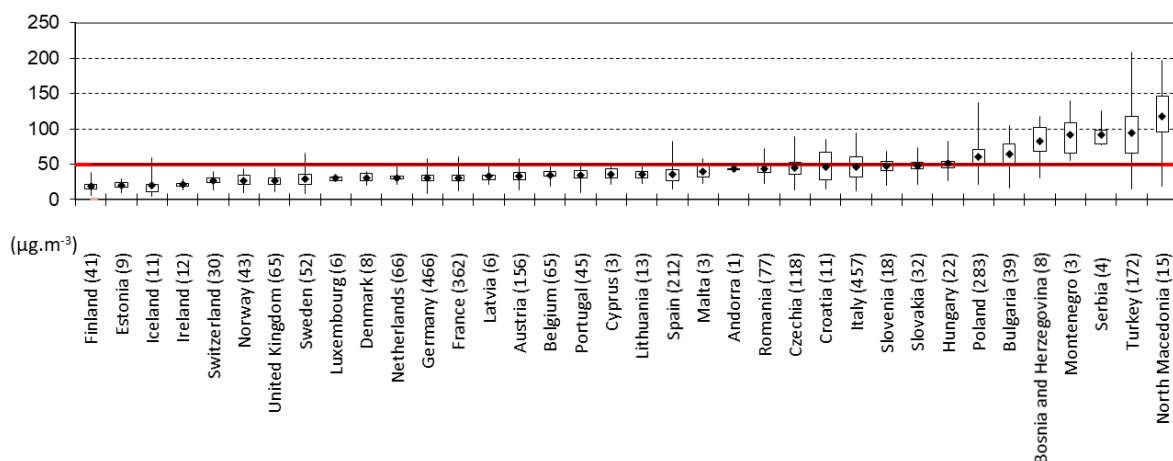
Merilno mesto	Število preseganj mejne dnevne vrednosti	
	pred upoštevanjem puščavskega prahu	po upoštevanju puščavskega prahu
Iskrba	2	0
Koper	8	7
Nova Gorica	10	9
Hrastnik	9	8
MS Rakičan	14	13
MS Cankarjeva	28	27
Maribor	13	12
Velenje	2	1
Celje	23	22
CE Mariborska	43	42
LJ Gospodarsko	21	20



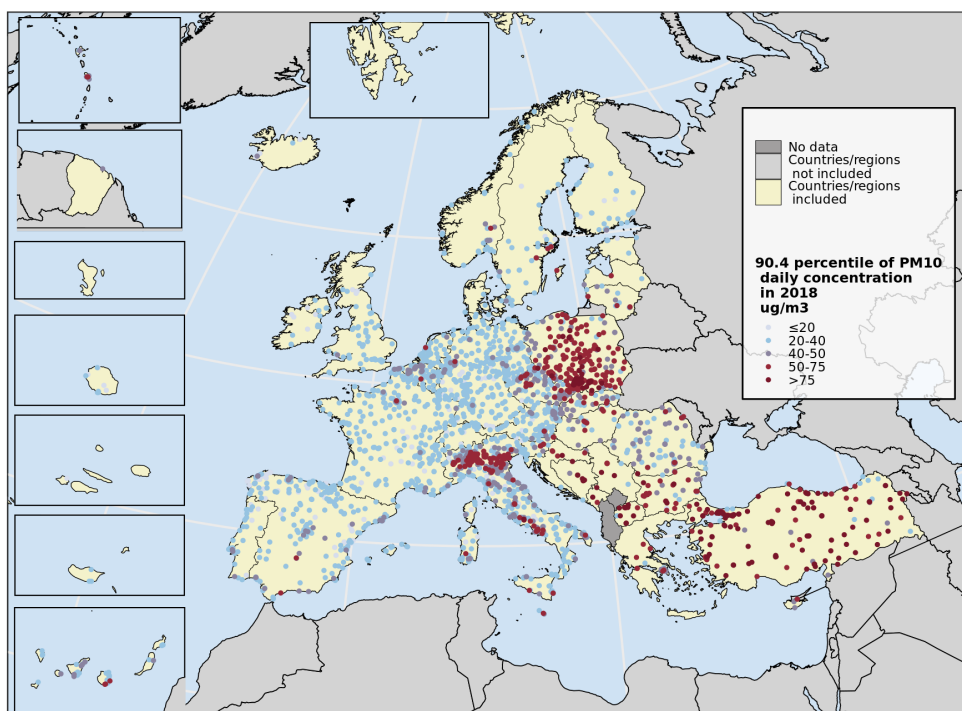
Slika 4.23: Razmerja posameznih parametrov na merilnem mestu Iskrba pred, med in po epizodi prehoda puščavskega prahu.

4.7 Ravni onesnaženosti v državah EU

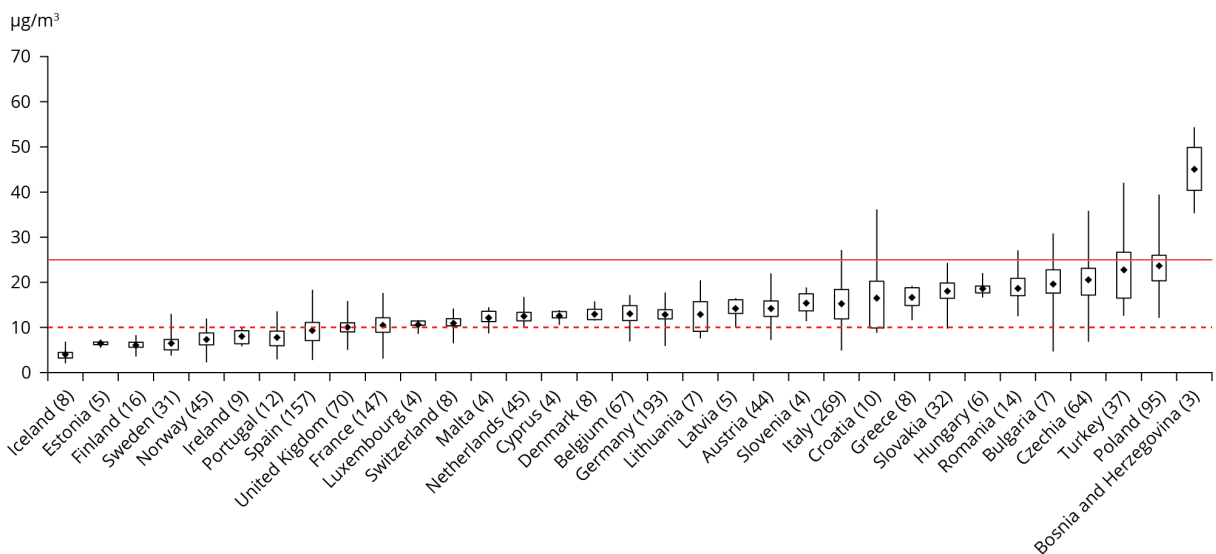
V državah EU je čezmerna raven delcev v zraku eden izmed najbolj izpostavljenih okoljskih problemov. V letu 2018, za katerega so na razpolago zadnji rezultati primerjalnih obdelav Evropske okoljske agencije, le v sedmih državah na nobenem merilnem mestu niso zabeležili večjega števila preseganj dnevne mejne vrednosti, kot je dopustno. Slovenija sodi med države z višjo ravno onesnaženosti z delci PM_{10} . Z vidika doseganja skladnosti z dnevnimi mejnimi vrednostmi delcev PM_{10} je Slovenija med državami Evropske unije v letu 2018 deseta najbolj onesnažena (slika 4.24). Najboljša kakovost zraka je glede na skladnost z dnevnimi mejnimi vrednostmi za delce PM_{10} v dobro prevetrenih in redkeje naseljenih severnih državah - na Islandiji, Finskem, v Estoniji in na Irskem (slika 4.25), čeprav so v nekaterih od teh držav specifični izpusti na prebivalca med višjimi. Tudi z vidika ravni onesnaženosti z delci $PM_{2,5}$ je Slovenija med državami z višjo ravno onesnaženosti (slike 4.26, 4.27 in 4.28). 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.



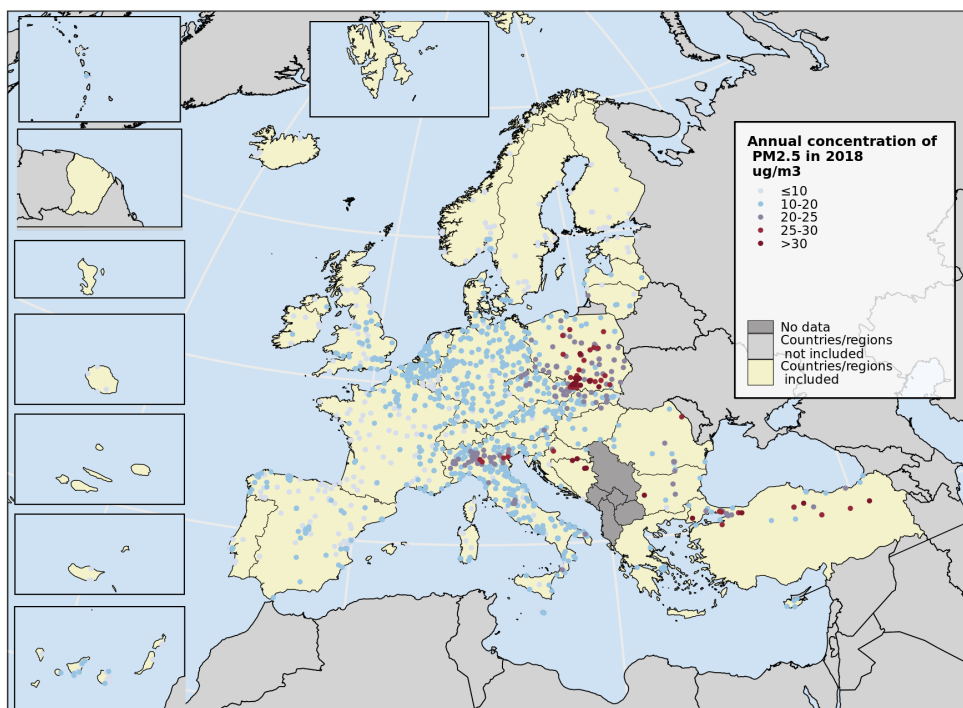
Slika 4.24: Prikaz ravni onesaženosti zraka z delci PM₁₀ v Evropski Uniji v letu 2018 s 36. najvišjo dnevno vrednostjo izmerjeno na posameznem merilnem mestu držav EU v primerjavi z mejno vrednostjo 50 µg/m³ (rdeča črta). Če je ta večja od 50 µg/m³, pomeni, da je bilo na merilnem mestu več kot 35 prekoračitev dnevne mejne vrednosti za delce PM₁₀. Prikazana je najnižja in najvišja vrednost (36. najvišja vrednost za merilno mesto), oba kvartila (vrh in dno pravokotnika) in povprečna 36. najvišja vrednost za merilna mesta v posamezni državi.



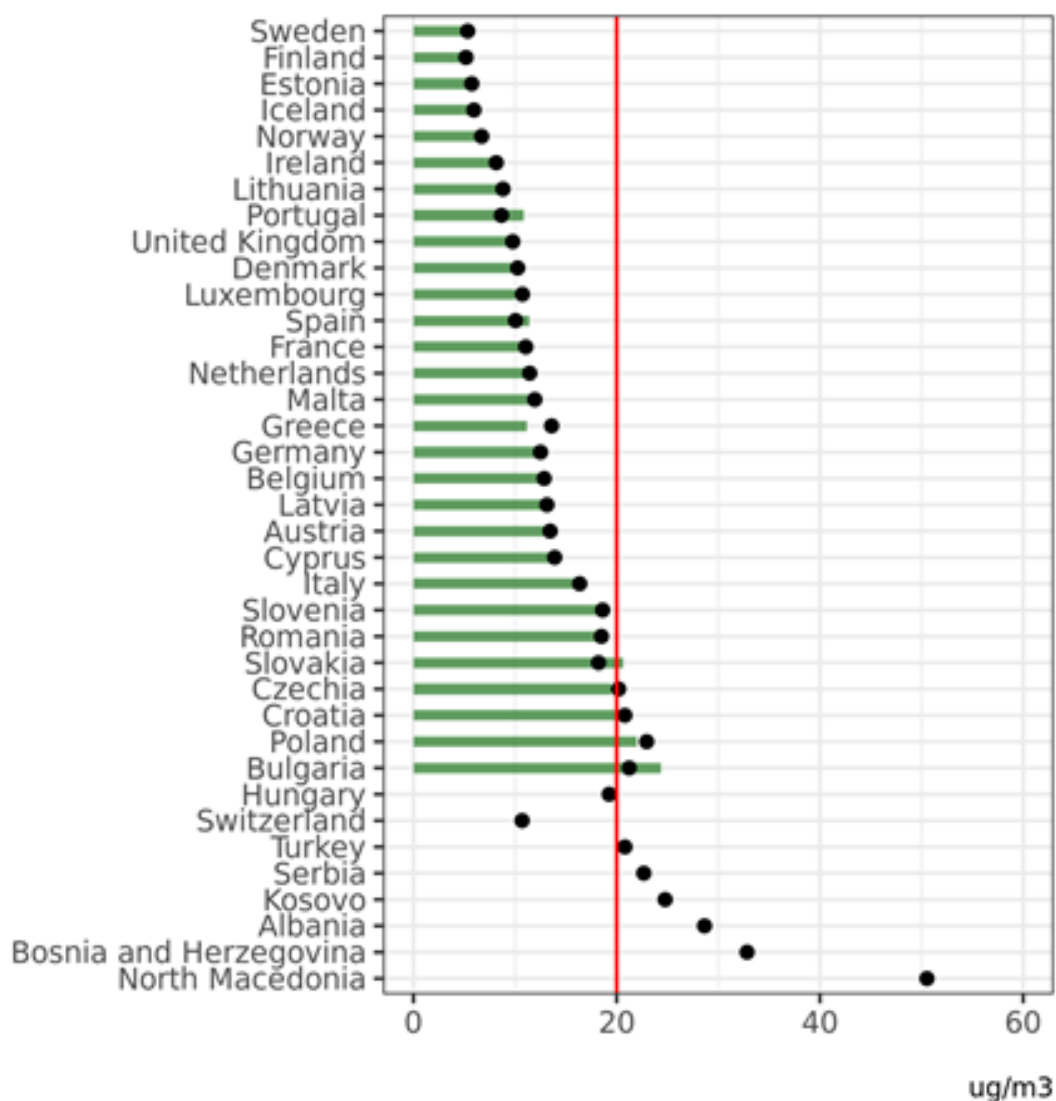
Slika 4.25: Prikaz 90,4 percentila (36. najvišja vrednost) dnevni ravni PM₁₀ v Evropski uniji v letu 2018 [19]. Z barvo je prikazan razred, v katerega sodi merilno mesto glede na število preseganj mejne dnevne vrednosti.



Slika 4.26: Prikaz ravni onesnaženosti zraka z delci $PM_{2,5}$ v Evropski Uniji v letu 2018 [3]. Graf prikazuje 90.41 percentil dnevnih vrednosti $PM_{2,5}$, ki sovpada s 36. najvišjo vrednostjo, izmerjeno na posameznem merilnem mestu držav EU, v primerjavi z mejno vrednostjo $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (rdeča črta). Prikazane so najnižja in najvišja vrednost (36. najvišja vrednost za merilno mesto) (konec spodnje in zgornje navpične črtice na vrhu in dnu pravokotnika) in povprečna 36. najvišja vrednost (črna pika za pravokotniku) za posamezno državo.



Slika 4.27: Onesnaženost Evropske unije z delci $PM_{2,5}$ [3] v letu 2018. Pike označujejo razpored v katerega se uvrščajo poročana merilna mesta glede na povprečno letno raven $PM_{2,5}$.



Slika 4.28: Stolpci prikazujejo kazalnik povprečne izpostavljenosti (KPI) za delce PM_{2,5}, izračunan v letu 2018 (povprečja 2016–2018), za izbrane države v Evropski Uniji (za določene države se KPI ni izračunal). Pike prikazujejo triletno povprečje (2016–2018) ravni delcev PM_{2,5} vseh mestnih in predmestnih merilnih postaj (za postaje, kjer je bila razpoložljivost podatkov vsaj 75 %) v posameznih državah, ki služi kot približek za KPI. Rdeča črta predstavlja predpisano stopnjo izpostavljenosti, ki jo je bilo treba doseči do leta 2015, in znaša 20 µg/m³ [3].

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

5.1 Benzo(a)piren

Benzo(a)piren BaP je policiklična aromatska spojina s petimi obroči. Nastaja pri nepopolnem zgorevanju goriv, tako fosilnega izvora kakor tudi biomase. Glavni vir predstavljajo izpusti iz zastarelih malih kurilnih naprav gospodinjstev na trdna goriva, za katere so značilni slabši proces zgorevanja, slab energetske 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 vpliva na kognitivni razvoj otrok.

5.1.1 Zahteve za kakovost zraka

Ciljna vrednost za benzo(a)piren je predpisana v Uredbi o arzeniu, kadmiju, živem srebru, niklju in policikličnih aromatskih ogljikovodikih v zunanjem zraku [10]. Prikazana je v tabeli 5.1.

Tabela 5.1: Ciljna vrednost za benzo(a)piren v ng/m³.

	Cilj	Čas merjenja	Vrednost
Ciljna vrednost	Zdravje	Koledarsko leto	1

5.1.2 Ravni onesnaženosti

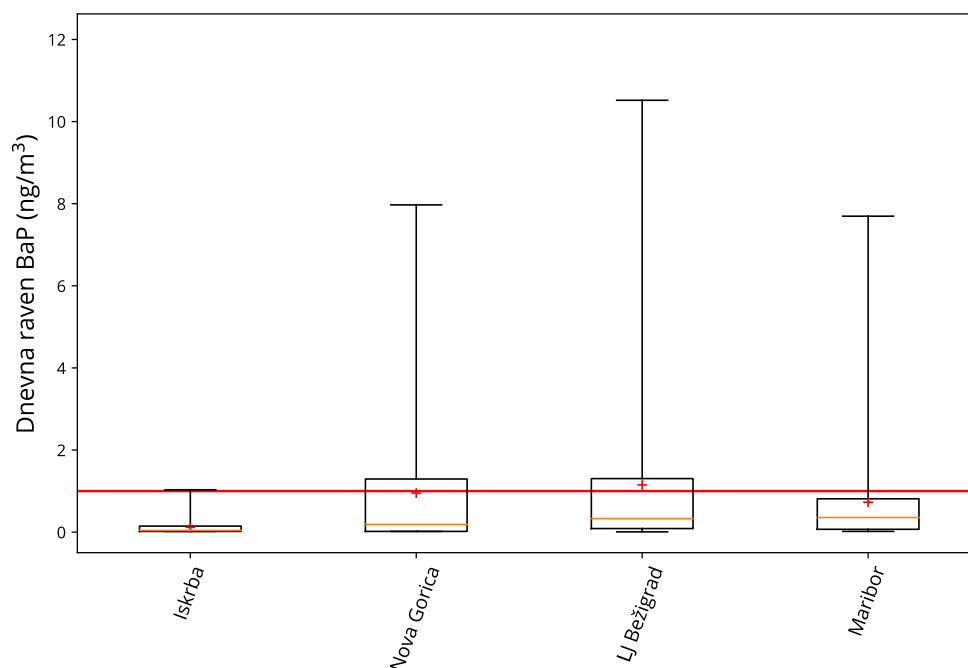
Pregled izmerjenih vrednosti benzo(a)pirena (BaP) v letu 2019 je prikazan v tabeli 5.2 ter na slikah 5.1 in 5.2. V letu 2018 smo v Ljubljani meritve benzo(a)pirena predstavili z merilnega mesta Biotehniška fakulteta na merilno mesto Bežigrad. Poleg tega smo meritve v letu 2019 izvajali še na merilnih mestih Maribor, Nova Gorica in Iskrba. V letu 2019 so ravni benzo(a)pirena na vseh merilnih mestih podobne kot leta 2018 (tabela 5.3 in slika 5.3). Povprečna letna vrednost je na merilnem mestu Ljubljana Bežigrad dosegla ciljno vrednost. Na Iskrbi je bila povprečna letna vrednost po pričakovanjih najnižja.

Letni poteki ravni benzo(a)pirena (slika 5.2) kažejo, da so najvišje ravni izmerjene v kurilni sezoni. Takrat so izpusti zaradi ogrevanja večji, dodatno pa so za to obdobje značilni tudi neugodni

meteorološki pogoji (slaba prevetrenost in izraziti temperaturni obrati). Poleti so ravni na vseh lokacijah znatno nižje.

Tabela 5.2: Letna razpoložljivost z dnevnimi podatki (% pod) in povprečna letna raven (C_p) benzo(a)pirena v ng/m^3 v letu 2019.

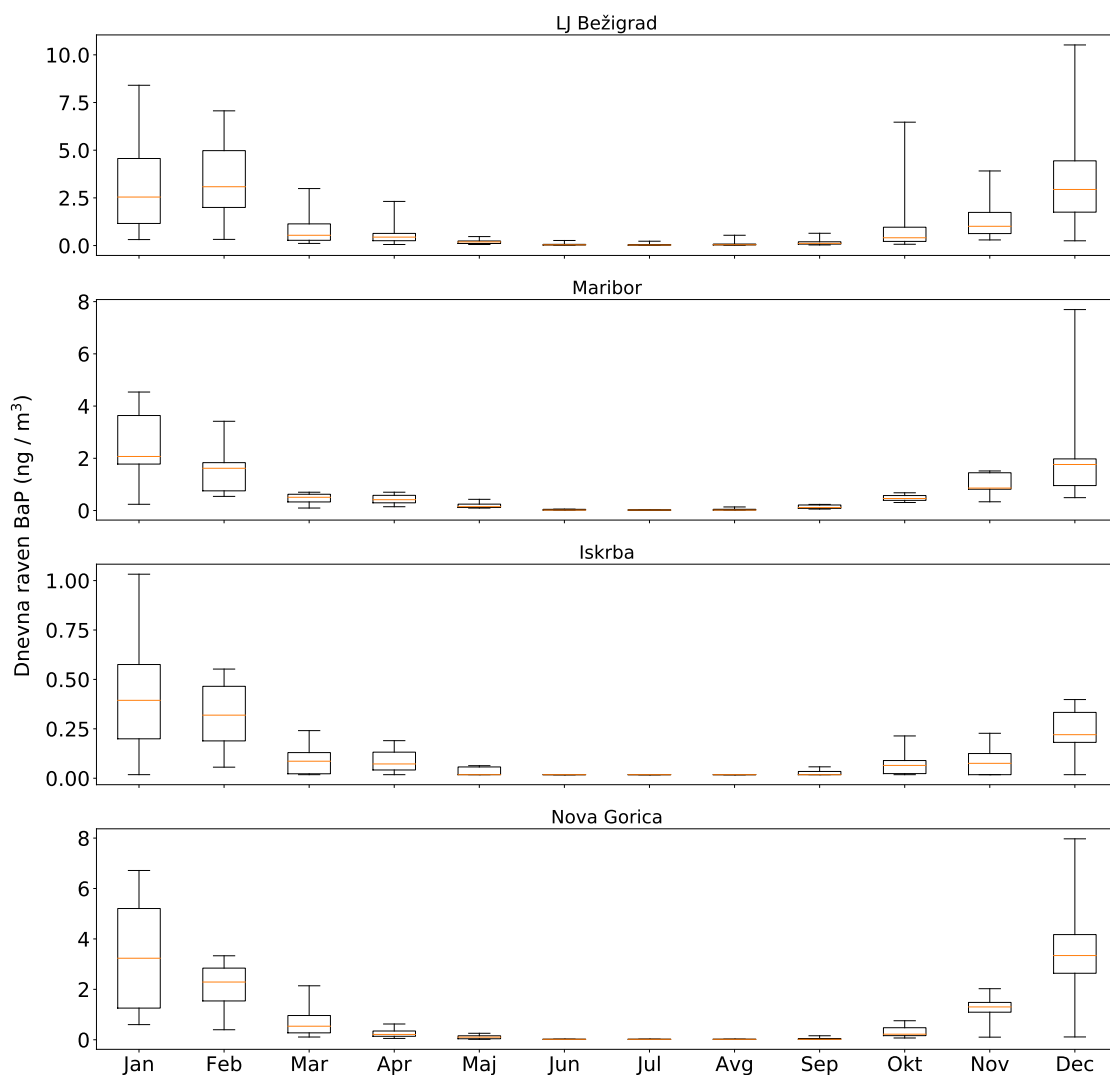
	% pod.	C_p
LJ Bežigrad	99	1,2
Maribor	33	0,73
Nova Gorica	33	0,95
Iskrba	33	0,12



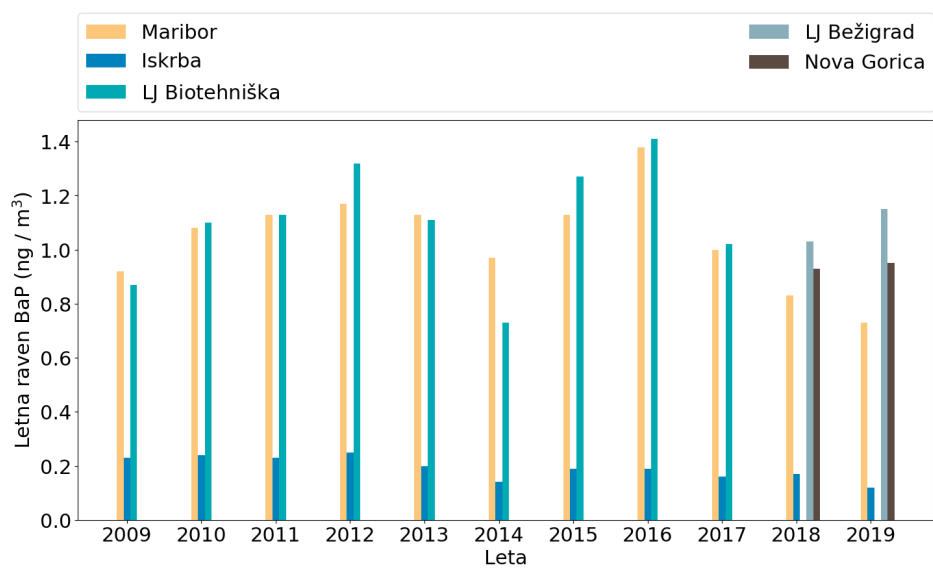
Slika 5.1: Prikaz dnevnih ravni benzo(a)pirena na merilnih mestih v letu 2019. Prikazani so najnižja in najvišja dnevna raven (spodnja in zgornja vodoravna črtica), oba kvartila (vrh in dno pravokotnika) in mediana (rdeča vodoravna črtica v pravokotniku). Križci označujejo povprečno letno raven. Rdeča črta prikazuje letno ciljno vrednost.

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

	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Maribor	0,92	1,1	1,1	1,2	1,1	0,97	1,1	1,4	1,0	0,83	0,73
LJ Biotehniška	0,87	1,1	1,1	1,3	1,1	0,73	1,3	1,4	1,0	/	/
LJ Bežigrad	/	/	/	/	/	/	/	/	/	1,0	1,2
Nova Gorica	/	/	/	/	/	/	/	/	/	0,93	0,95
Iskrba	0,23	0,24	0,23	0,25	0,20	0,14	0,19	0,19	0,16	0,17	0,12



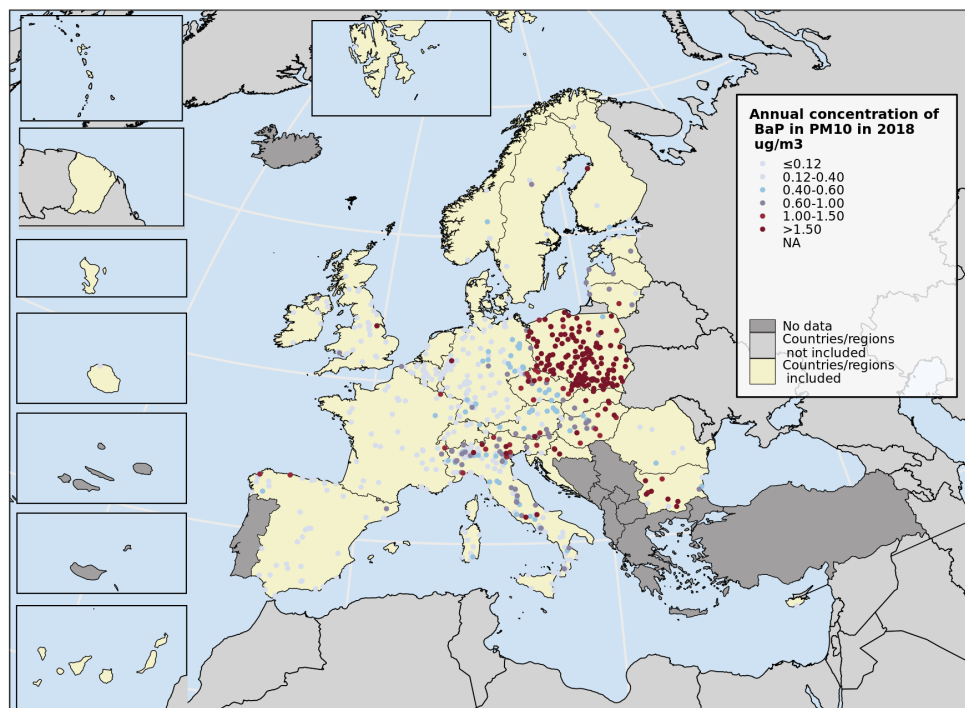
Slika 5.2: Prikaz dnevni ravni benzo(a)pirena na različnih postajah po mesecih v letu 2019. Prikazani so najnižja in najvišja izmerjena vrednost (spodnja in zgornja vodoravna črtica), oba kvartila (vrh in dno pravokotnika) in mediana (rdeča vodoravna črtica v pravokotniku) za posamezen mesec.



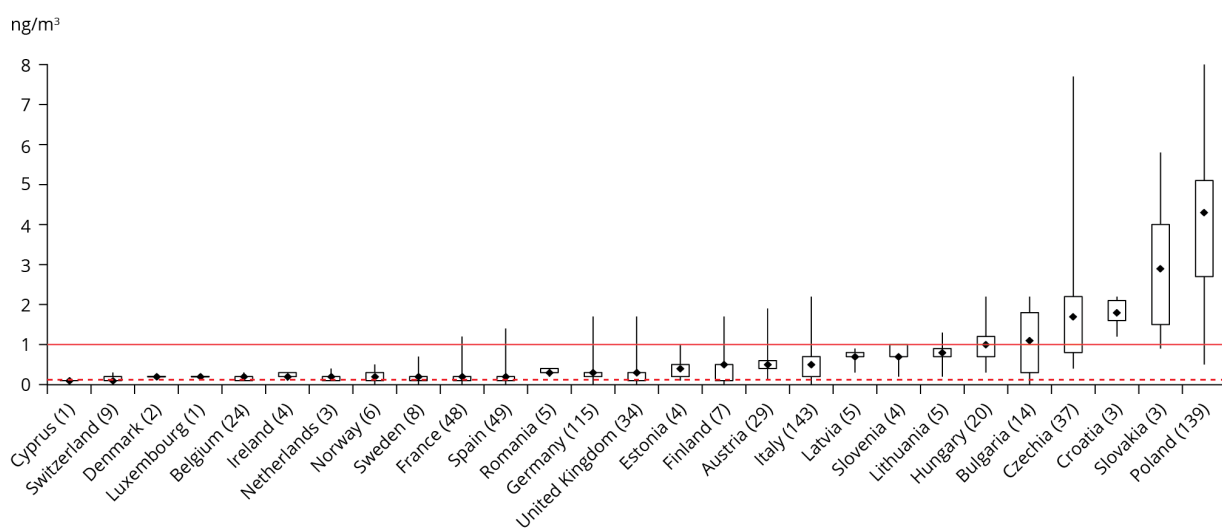
Slika 5.3: Prikaz povprečnih letnih ravni benzo(a)pirena na različnih postajah po letih.

5.1.3 Ravni onesnaženosti v državah EU

Slovenija se po onesnaženosti z benzo(a)pirenom uvršča v zgornjo polovico držav Evropske unije. Ravni benzo(a)pirena so v letu 2018 najvišje na Poljskem, Slovaškem, Hrvaškem in Češkem, kar je v veliki meri posledica uporabe trdih goriv za ogrevanje v zastarelih malih kurilnih napravah gospodinjstev. Letna ciljna vrednost je presežena v polovici držav EU (sliki 5.4 in 5.5).



Slika 5.4: Prikaz povprečne letne ravni BaP v Evropski uniji v letu 2018 [3]. Z barvo je prikazan razred, v katerega sodi merilno mesto glede na povprečno letno raven.



Slika 5.5: Primerjava ravni onesnaženosti zraka z benzo(a)pirenom v državah Evropske unije v letu 2018.

5.2 Težke kovine

Izpusti arzena (As), kadmija (Cd), svınca (Pb) in niklja (Ni) so posledica aktivnosti več industrijskih dejavnosti in zgorevanja premoga. Čeprav so v ozračju njihove ravni nizke, pride z odlaganjem iz zraka na tla do njihovega kopičenja v zemlji, vodah in sedimentih kot tudi v organizmih. 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. Med pomembnejše antropogene vire spadajo izpusti topilnic, izgorevanje goriv in uporaba pesticidov. Toksičnost arzena je zelo odvisna od kemijske oblike. Precej bolj toksičen je anorgansko vezan arzen. Povezujejo ga s povečanim tveganjem za razvoj raka kože in pljuč.

Najpomembnejše izpuste kadmija predstavlja proizvodnja barvnih kovin, železa in jekla, izgorevanje fosilnih goriv v stacionarnih virih, sežiganje odpadkov in proizvodnja cementa. Nezanemarljiv vir predstavlja tudi gnojenje, tako z mineralnimi kot organskimi gnojili. Nevaren je predvsem kostem in ledvicam, poveča pa tudi tveganje za pljučnega raka.

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

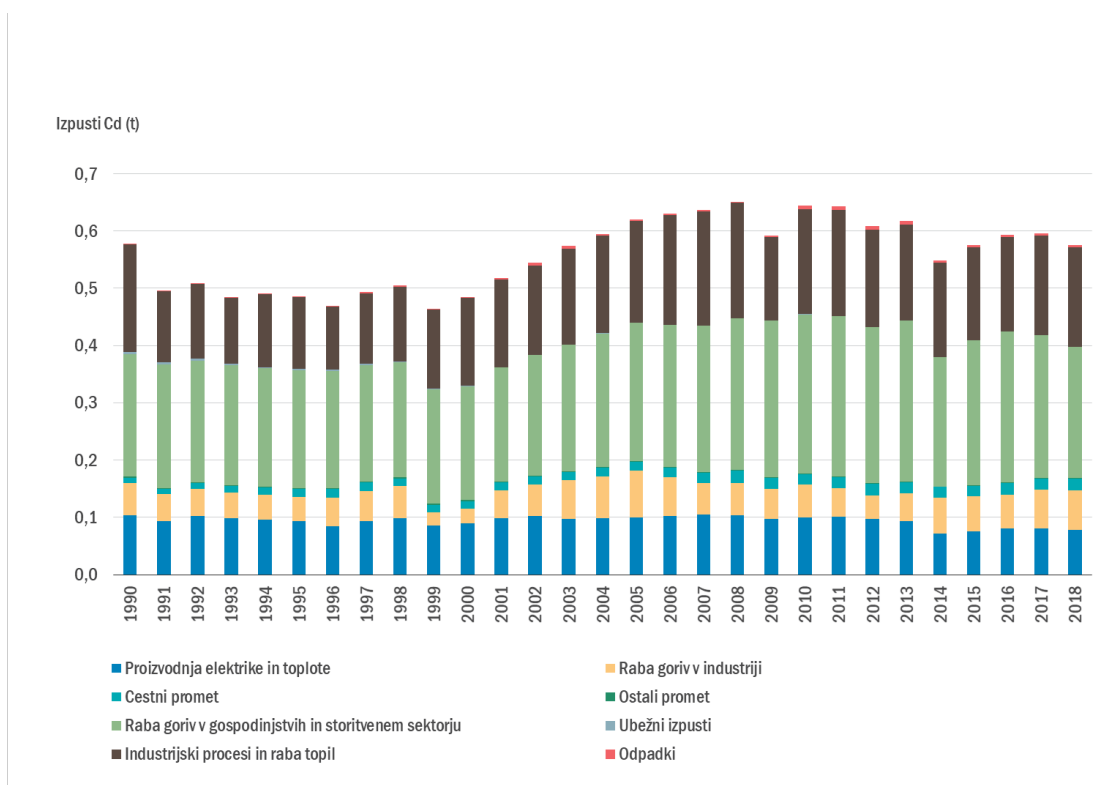
Nikelj se pojavlja v zemlji, vodi in ekosistemih. Pomembni naravni viri so povezani z resuspenzijo zemlje in vulkanskimi izbruhi. Glavni antropogeni vir predstavlja zgorevanje naftnih derivatov. Dodatni izpusti nastajajo še pri pridobivanju niklja, sežiganju odpadkov in odpadnega blata, proizvodnji jekla, elektronski industriji in zgorevanju premoga. Nikelj je v manjših količinah za organizme potrebna kovina, 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.

5.2.1 Izpusti

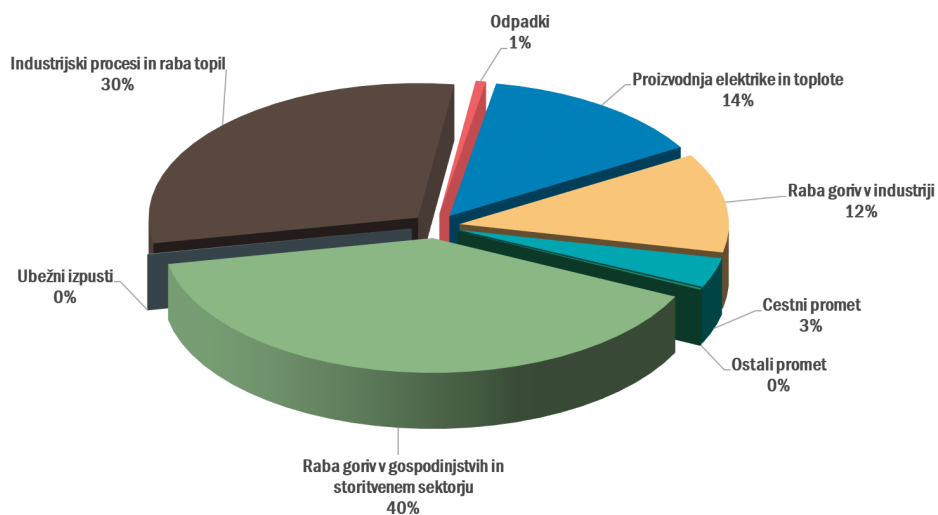
Letni izpusti Cd so v Sloveniji leta 2018 znašali 0,6 ton. V primerjavi z letom 1990 so se zmanjšali za 0,3 % (slika 5.6). Največji delež k skupnim izpustom Cd je v letu 2018 prispevala raba goriv v gospodinjstvih in storitvenem sektorju 40 % (slika 5.7).

Letni izpusti Pb so v Sloveniji leta 2018 znašali 7,2 ton. V obdobju 1990-2018 so se zmanjšali za 98 %, predvsem zaradi opustitve osvinčenih motornih bencinov (slika 5.8). Največji delež k skupnim izpustom Pb je v letu 2018 prispeval cestni promet 44 % (slika 5.9).

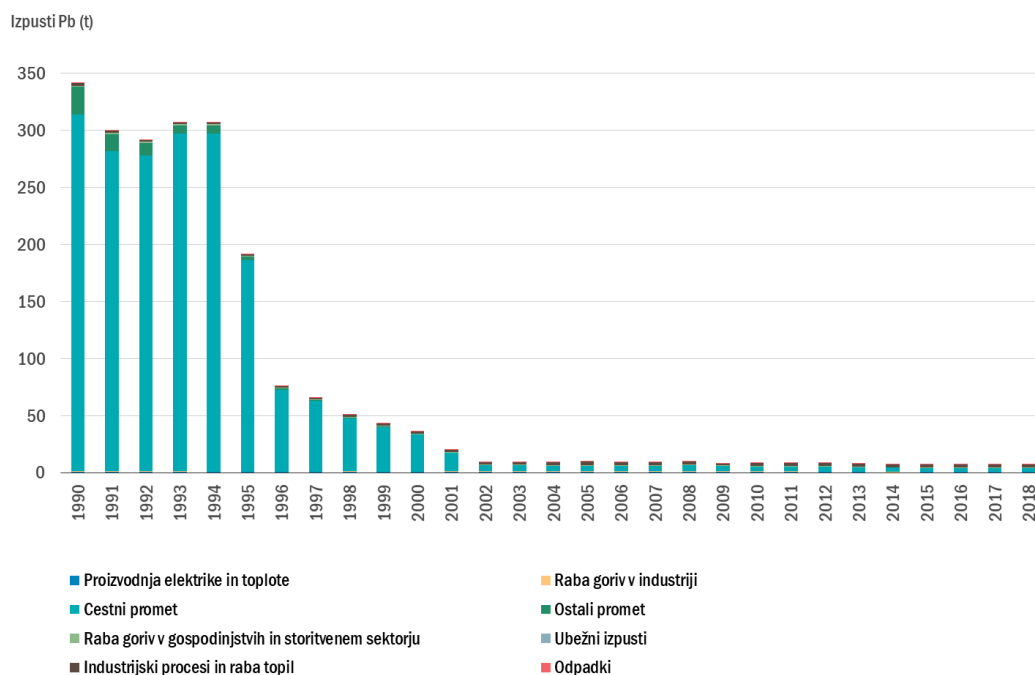
Slovenija izpolnjuje zahteve iz Protokola o težkih kovinah h Konvenciji o onesnaževanju zraka na velike razdalje preko meja [26], ki določa, da nacionalne vrednosti izpustov Cd in Pb ne smejo presegajo vrednosti iz izhodiščnega leta 1990.



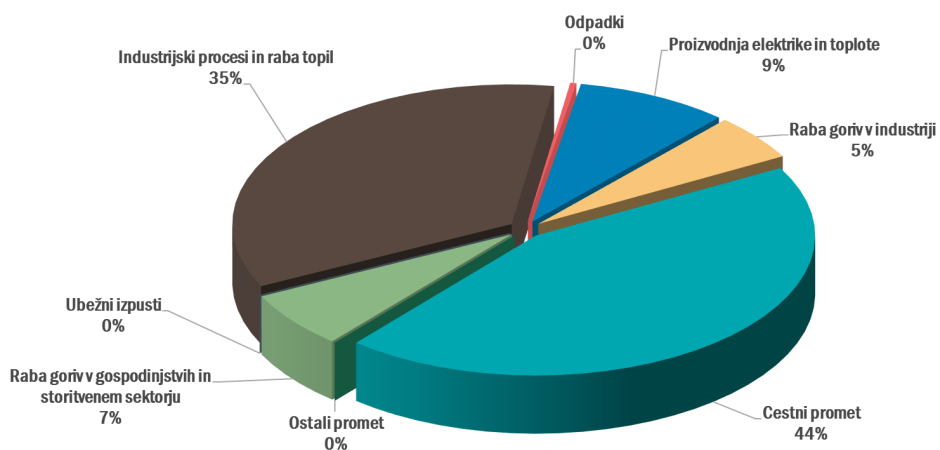
Slika 5.6: Letni izpusti kadmija po sektorjih v Sloveniji.



Slika 5.7: Izpusti kadmija po sektorjih v Sloveniji v letu 2018.



Slika 5.8: Letni izpusti svinca po sektorjih v Sloveniji.



Slika 5.9: Izpusti svinca po sektorjih v Sloveniji v letu 2018.

5.2.2 Zahteve za kakovost zraka

Ciljne vrednosti za nikelj, arzen in kadmij so predpisane v Uredbi o arzenu, kadmiju, živem srebru, niklju in policikličnih aromatskih ogljikovodikih v zunanjem zraku [10], mejna vrednost za svinec pa je določena v Uredbi o kakovosti zunanjega zraka [9]. Predpisane vrednosti so podane v tabeli 5.4.

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

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

5.2.3 Ravni onesnaženosti

Pregled letnih ravni težkih kovin v letu 2019 izračunanih iz povprečnih dnevni vrednosti je prikazan v tabeli 5.5 ter na slikah od 5.10 do 5.13. Meritve težkih kovin izvajamo na petih merilnih mestih: Ljubljana Bežigrad, Maribor, Žerjav, Iskrba in Celje. Letne ravni niklja, arzena, kadmija in svinca so bile v letu 2019 na vseh merilnih mestih precej nižje od zahtev za kakovost zraka. Najvišje ravni svinca, kadmija in arzena so bile izmerjene v Žerjavu, najvišje vrednosti niklja pa na merilnem mestu Ljubljana Bežigrad. V letu 2018 smo v Ljubljani meritve težkih kovin prestavili z merilnega mesta Biotehniška fakulteta na merilno mesto Bežigrad. Obe merilni mesti sta tipa mestno ozadje in rezultati niklja, arzena in kadmija so primerljivi. Ravni svinca so na merilni postaji Ljubljana Bežigrad zaradi bližine parkirišča v povprečju dvakrat višje kot ravni izmerjene na Biotehniški fakulteti.

Letni poteki ravni težkih kovin kažejo, da so vrednosti najvišje v kurilni sezoni (slike 5.14 do 5.17). 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 2019 kaže, da obremenjenost ostaja približno na istem nivoju (tabele 5.7 do 5.8 in slike 5.18 do 5.21). Raven onesnaženosti večja od dopustnega je označeno s krepko.

Tabela 5.5: Letna pokritost s podatki (% pod) in letna raven težkih kovin v ng/m^3 v letu 2019.

	% pod	Arzen	Nikelj	Kadmij	Svinec
Maribor	20	0,35	1,4	0,16	6,4
LJ Bežigrad	19	0,35	2,1	0,18	6,7
Iskrba	20	0,22	0,72	0,06	1,5
Celje	21	0,42	1,2	0,52	6,9
Žerjav	50	2,1	0,96	1,3	357
Iskrba	20	0,22	0,72	0,06	1,5

Tabela 5.6: Letna raven arzena v ng/m³.

	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Maribor	0,61	0,80	0,76	0,66	0,48	0,61	0,58	0,44	0,48	0,49	0,35
LJ Biotehniška	0,47	0,48	0,58	0,56	0,65	0,42	0,50	0,40	0,44	/	/
LJ Bežigrad	/	/	/	/	/	/	/	/	/	0,42	0,35
Celje	/	/	/	/	/	/	/	0,53	0,55	0,48	0,42
Žerjav	2,7	2,2	1,9	2,0	1,7	1,9	2,1	1,9	1,3	1,7	2,1
Iskrba	0,40	0,33	0,45	0,38	0,29	0,30	0,31	0,23	0,26	0,26	0,22

Tabela 5.7: Letna raven niklja v ng/m³.

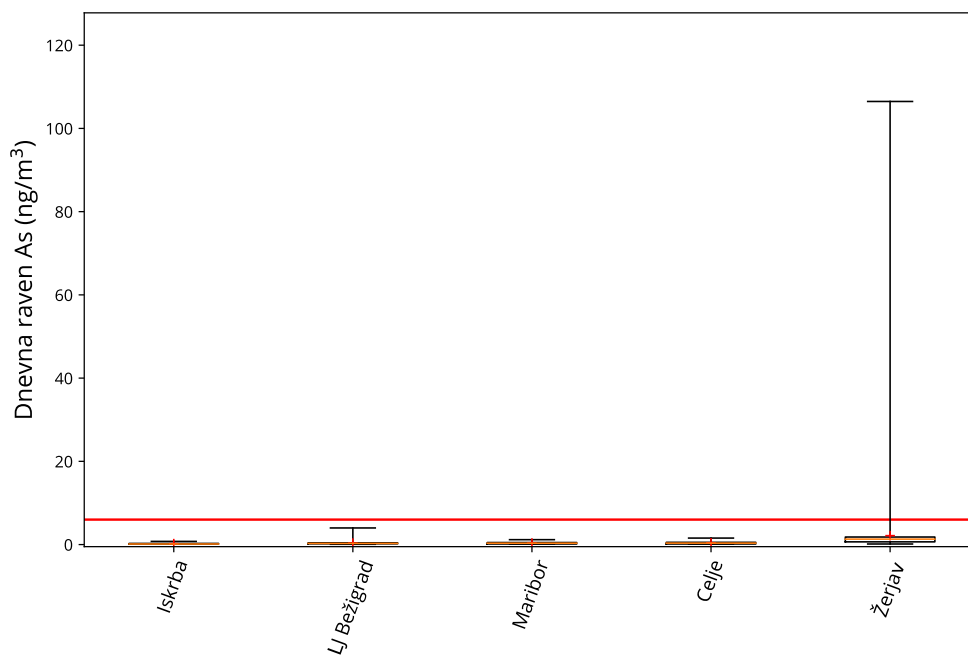
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Maribor	2,4	3,0	3,2	3,8	3,4	2,0	1,6	1,6	1,8	1,7	1,4
LJ Biotehniška	5,2	4,5	7,2	5,7	6,5	3,3	3,6	2,6	2,8	/	/
LJ Bežigrad	/	/	/	/	/	/	/	/	/	3,6	2,1
Celje	/	/	/	/	/	/	/	1,6	1,6	1,5	1,2
Žerjav	1,7	1,8	2,4	2,4	2,8	1,9	2,7	1,2	1,1	1,3	0,96
Iskrba	2,6	1,8	2,3	2,4	2,3	1,0	0,88	0,83	0,78	0,96	0,72

Tabela 5.8: Letna raven kadmija v ng/m³.

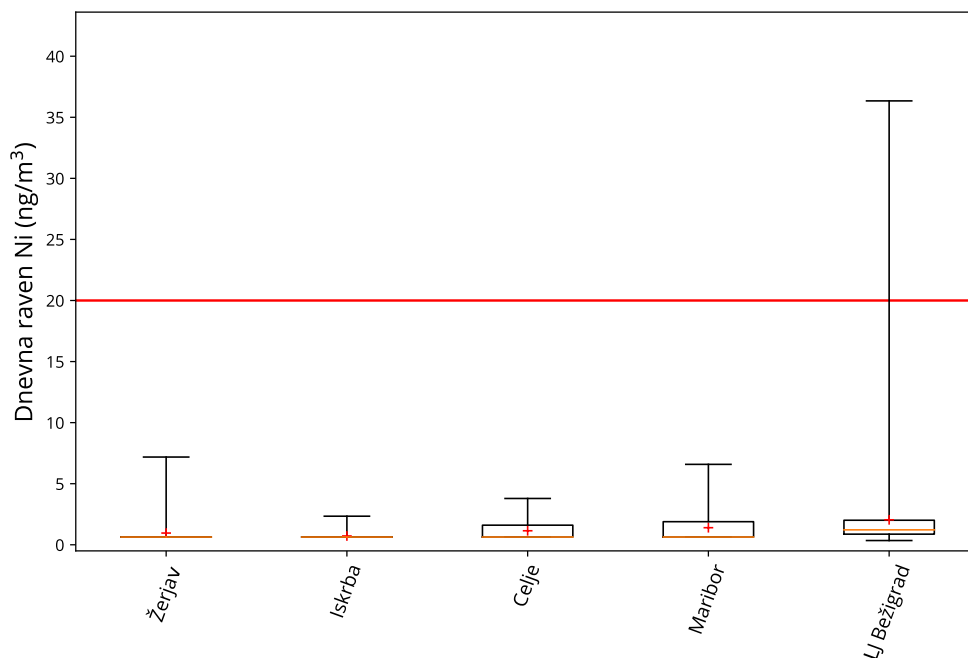
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Maribor	0,27	0,31	0,55	0,24	0,24	0,22	0,20	0,19	0,17	0,19	0,16
LJ Biotehniška	0,22	0,26	0,47	0,25	0,28	0,22	0,23	0,22	0,19	/	/
LJ Bežigrad	/	/	/	/	/	/	/	/	/	0,25	0,18
Celje	/	/	/	/	/	/	/	0,95	0,38	0,39	0,52
Žerjav	2,6	4,4	2,5	1,5	2,5	2,7	4,9	5,7	1,9	1,9	1,3
Iskrba	0,10	0,11	0,26	0,11	0,08	0,09	0,08	0,07	0,07	0,08	0,06

Tabela 5.9: Letna raven svineca v ng/m³.

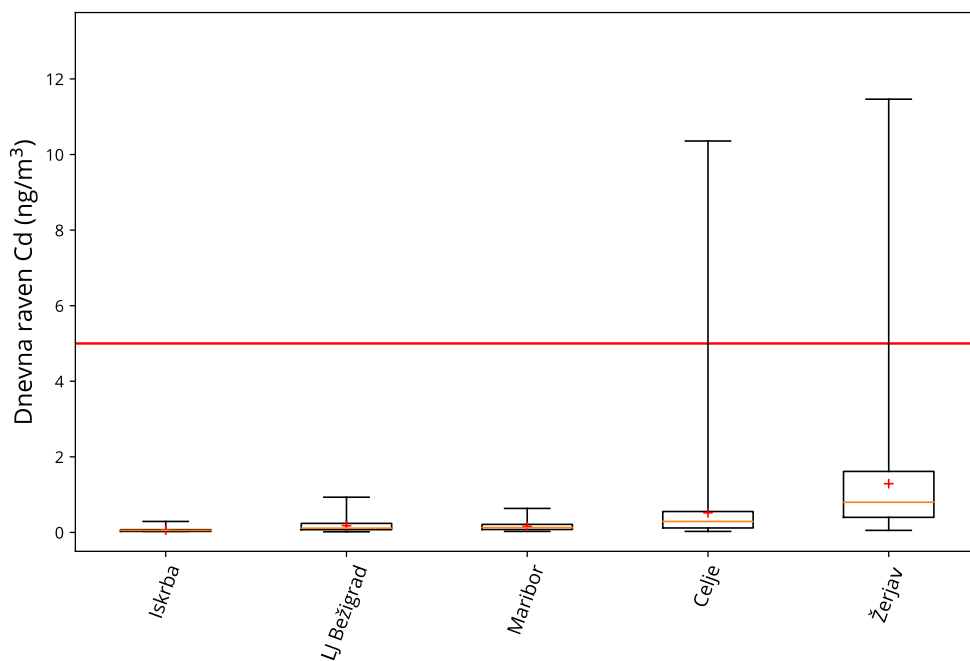
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Maribor	9,7	11,7	11,5	10,5	10,6	25,0	11,1	7,0	7,5	8,4	6,4
LJ Biotehniška	8,3	8,3	10,8	7,4	6,6	5,6	7,1	6,1	5,8	/	/
LJ Bežigrad	/	/	/	/	/	/	/	/	/	12,7	6,7
Celje	/	/	/	/	/	/	/	7,5	7,6	7,4	6,9
Žerjav	293	254	300	252	384	329	338	351	320	400	357
Iskrba	3,3	3,3	3,6	2,9	2,1	2,3	2,0	1,6	1,8	2,1	1,5



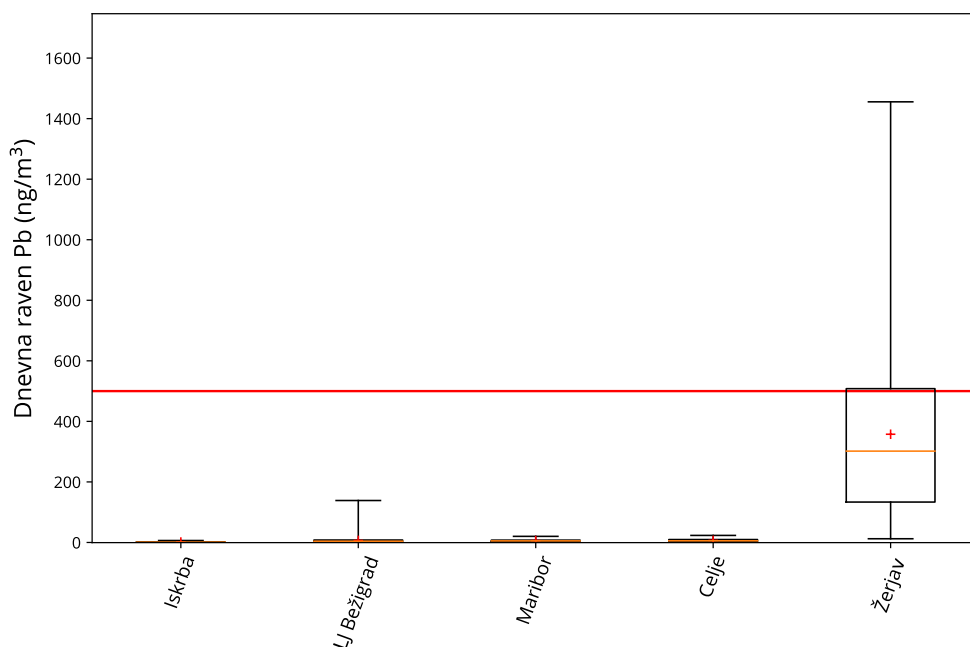
Slika 5.10: Dnevne ravni arzena na petih merilnih mestih v letu 2019. Prikazani so najnižja in najvišja izmerjena raven (spodnja in zgornja vodoravna črtica), oba kvartila (vrh in dno pravokotnika) in mediana (rdeča vodoravna črtica v pravokotniku). Križec predstavlja povprečno letno raven. Rdeča črta prikazuje letno ciljno vrednost.



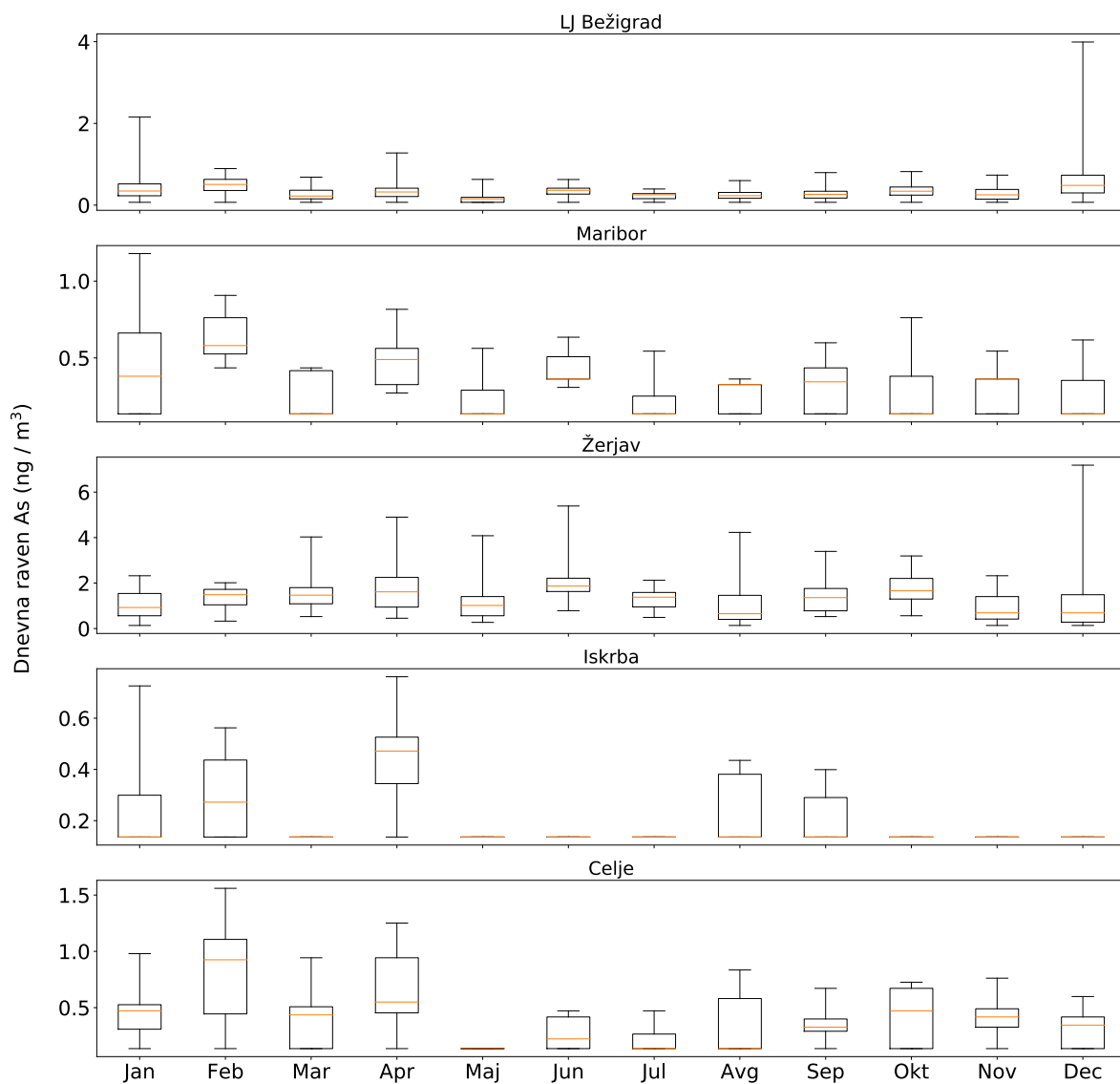
Slika 5.11: Dnevna raven niklja na petih merilnih mestih v letu 2019. Prikazani so najnižja in najvišja izmerjena raven (spodnja in zgornja vodoravna črtica), oba kvartila (vrh in dno pravokotnika) in mediana (rdeča vodoravna črtica v pravokotniku). Križec predstavlja povprečno letno raven. Rdeča črta prikazuje letno ciljno vrednost.



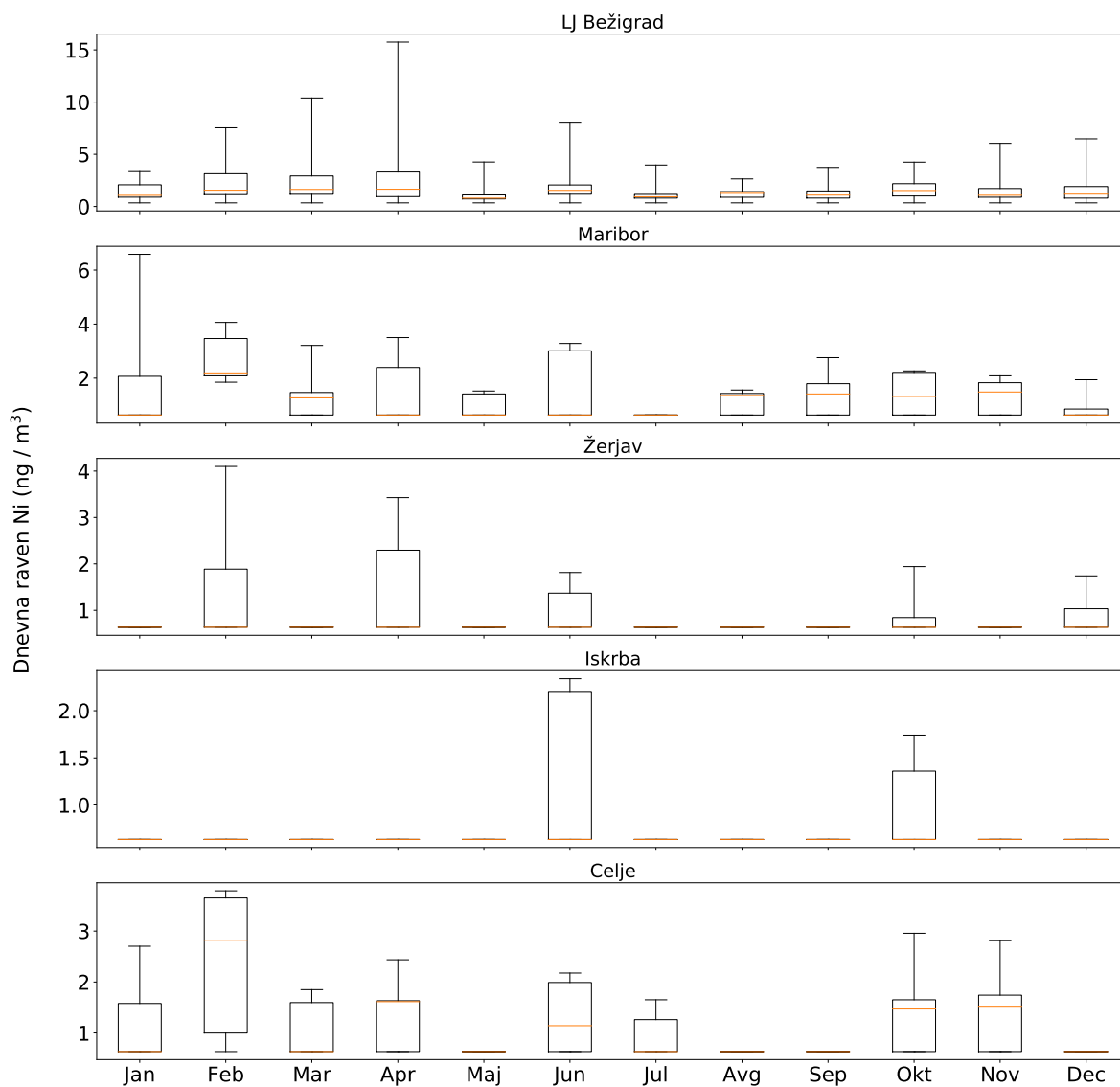
Slika 5.12: Dnevna raven kadmija na petih merilnih mestih v letu 2019. Prikazani so najnižja in najvišja izmerjena raven (spodnja in zgornja vodoravna črtica), oba kvartila (vrh in dno pravokotnika) in mediana (rdeča vodoravna črtica v pravokotniku). Križec predstavlja povprečno letno raven. Rdeča črta prikazuje letno ciljno vrednost.



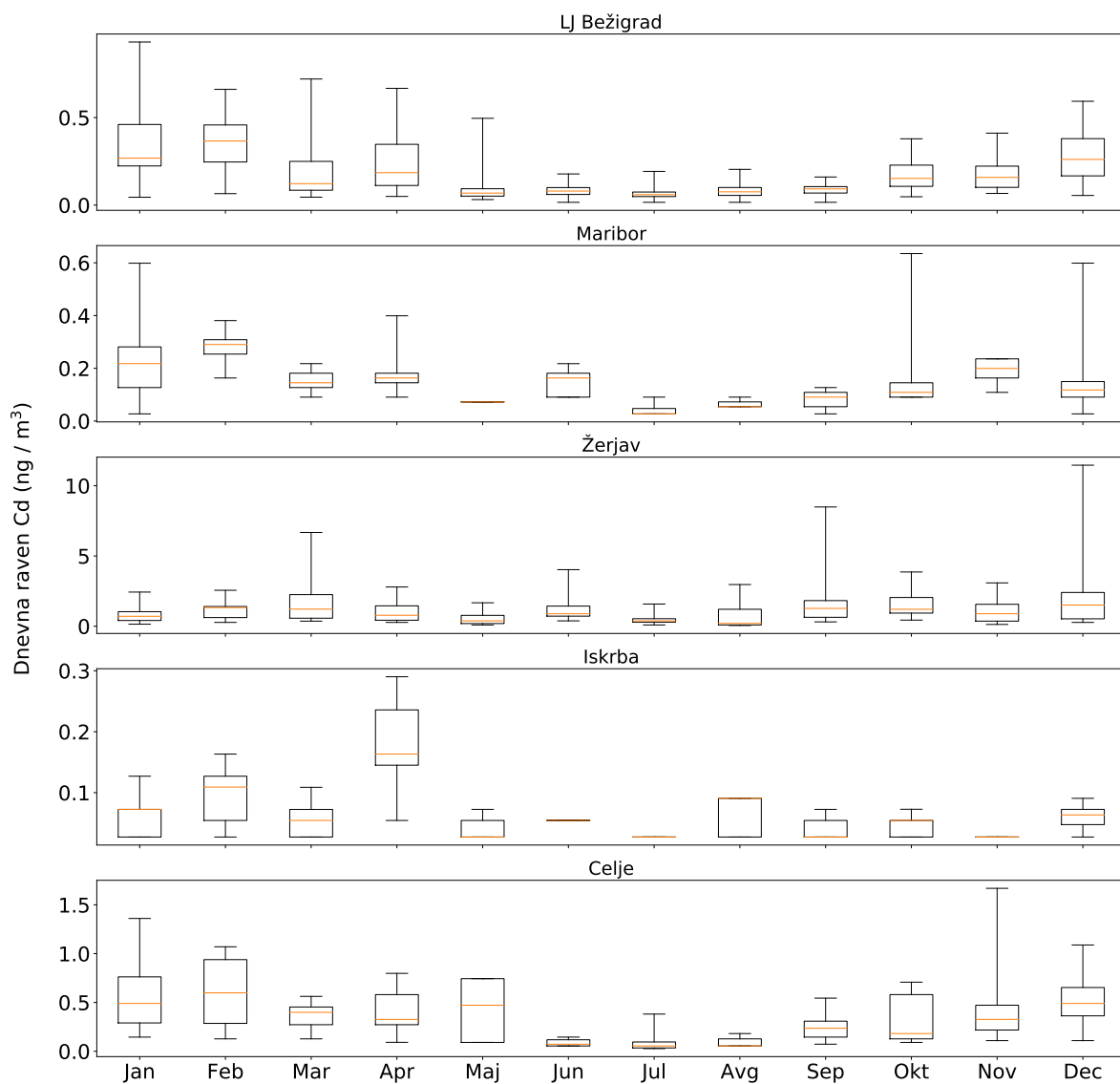
Slika 5.13: Dnevna raven svinca na petih merilnih mestih v letu 2019. Prikazani so najnižja in najvišja izmerjena raven (spodnja in zgornja vodoravna črtica), oba kvartila (vrh in dno pravokotnika) in mediana (rdeča vodoravna črtica v pravokotniku). Križec predstavlja povprečno letno raven. Rdeča črta prikazuje letno ciljno vrednost.



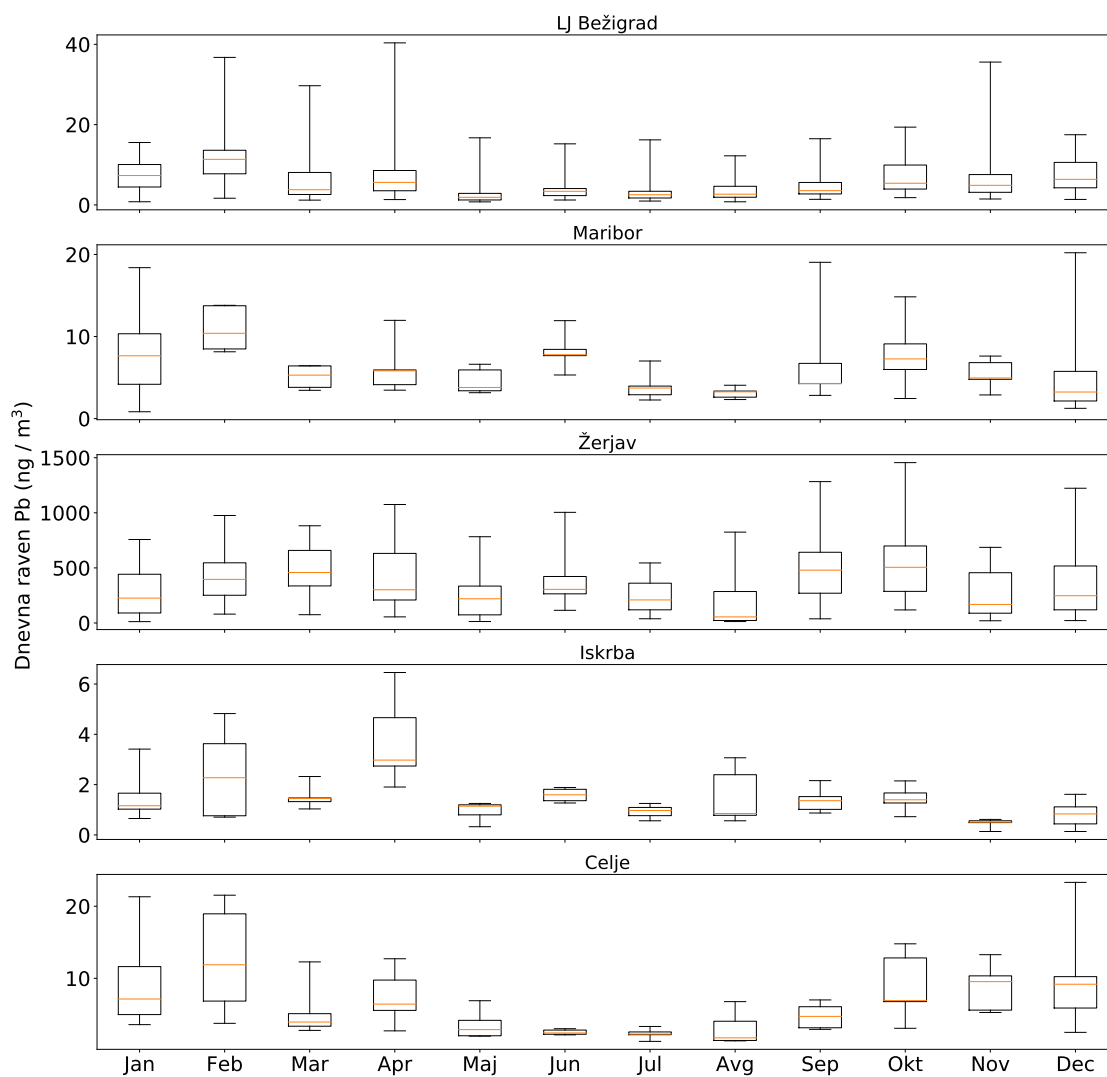
Slika 5.14: Dnevna raven arzena na petih merilnih mestih po mesecih v letu 2019. Prikazani so najnižja in najvišja izmerjena raven (spodnja in zgornja vodoravna črtica), oba kvartila (vrh in dno pravokotnika) in mediana (rdeča vodoravna črtica v pravokotniku) za posamezni mesec.



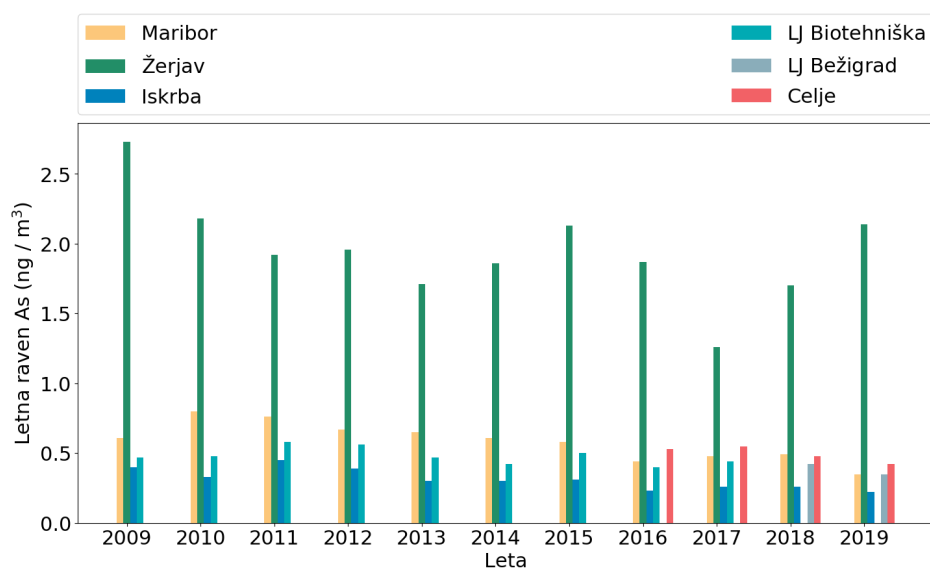
Slika 5.15: Dnevna raven niklja na petih merilnih mestih po mesecih v letu 2019. Prikazani so najnižja in najvišja izmerjena raven (spodnja in zgornja vodoravna črtica), oba kvartila (vrh in dno pravokotnika) in mediana (rdeča vodoravna črtica v pravokotniku) za posamezni mesec.



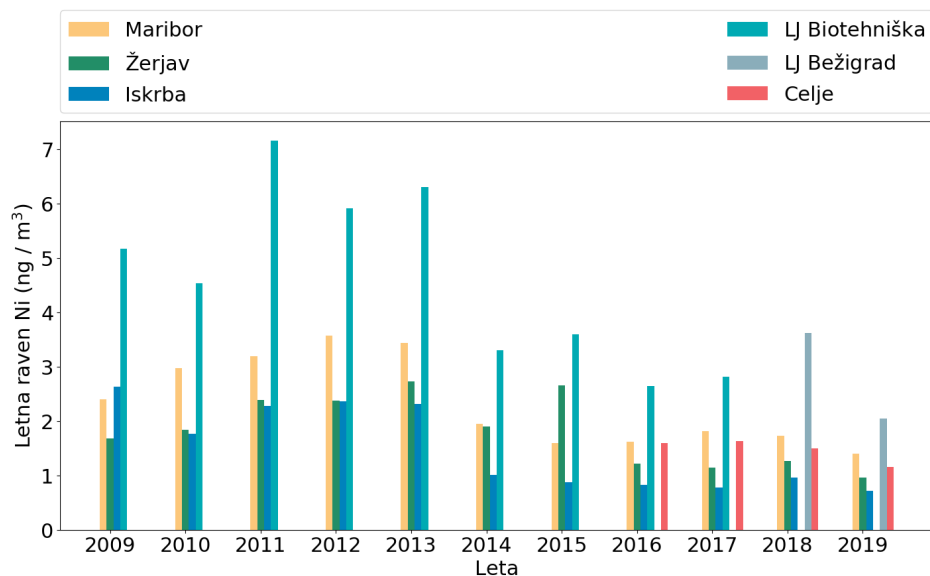
Slika 5.16: Dnevna raven kadmija na petih merilnih mestih po mesecih v letu 2019. Prikazani so najnižja in najvišja izmerjena raven (spodnja in zgornja vodoravna črtica), oba kvartila (vrh in dno pravokotnika) in mediana (rdeča vodoravna črtica v pravokotniku) za posamezni mesec.



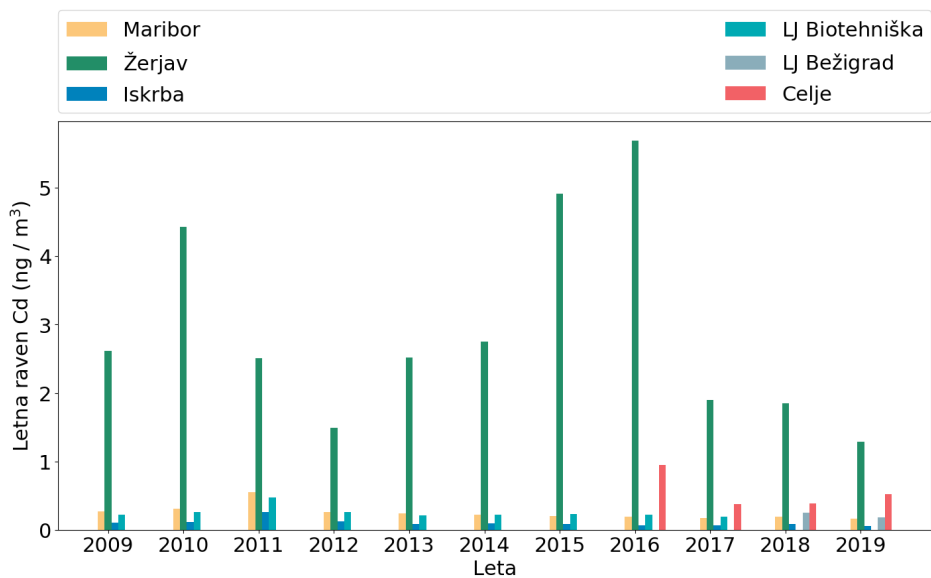
Slika 5.17: Dnevna raven svineca na petih merilnih mestih po mesecih v letu 2019. Prikazani so najnižja in najvišja izmerjena raven (spodnja in zgornja vodoravna črtica), oba kvartila (vrh in dno pravokotnika) in mediana (rdeča vodoravna črtica v pravokotniku) za posamezni mesec.



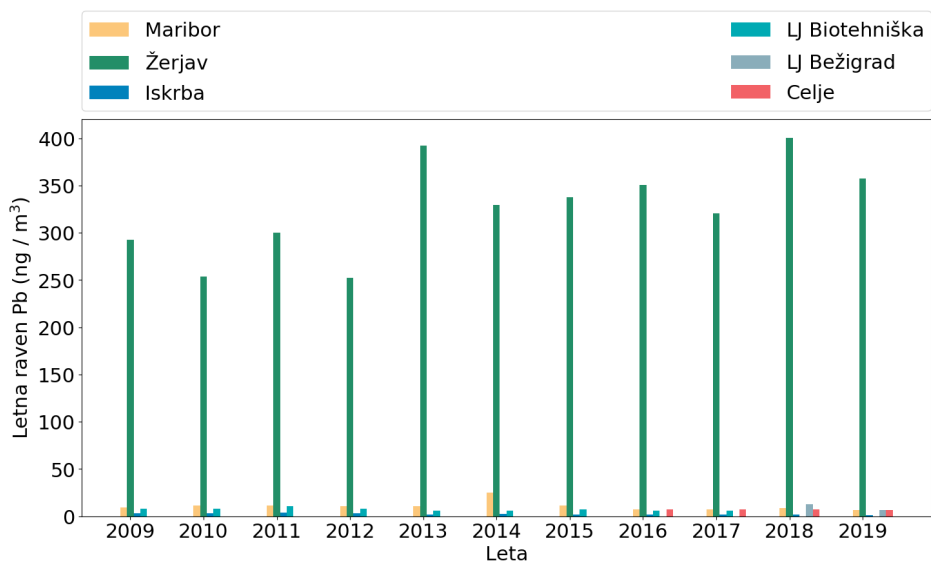
Slika 5.18: Povprečne letne ravni arzena po letih.



Slika 5.19: Povprečne letne ravni niklja po letih.



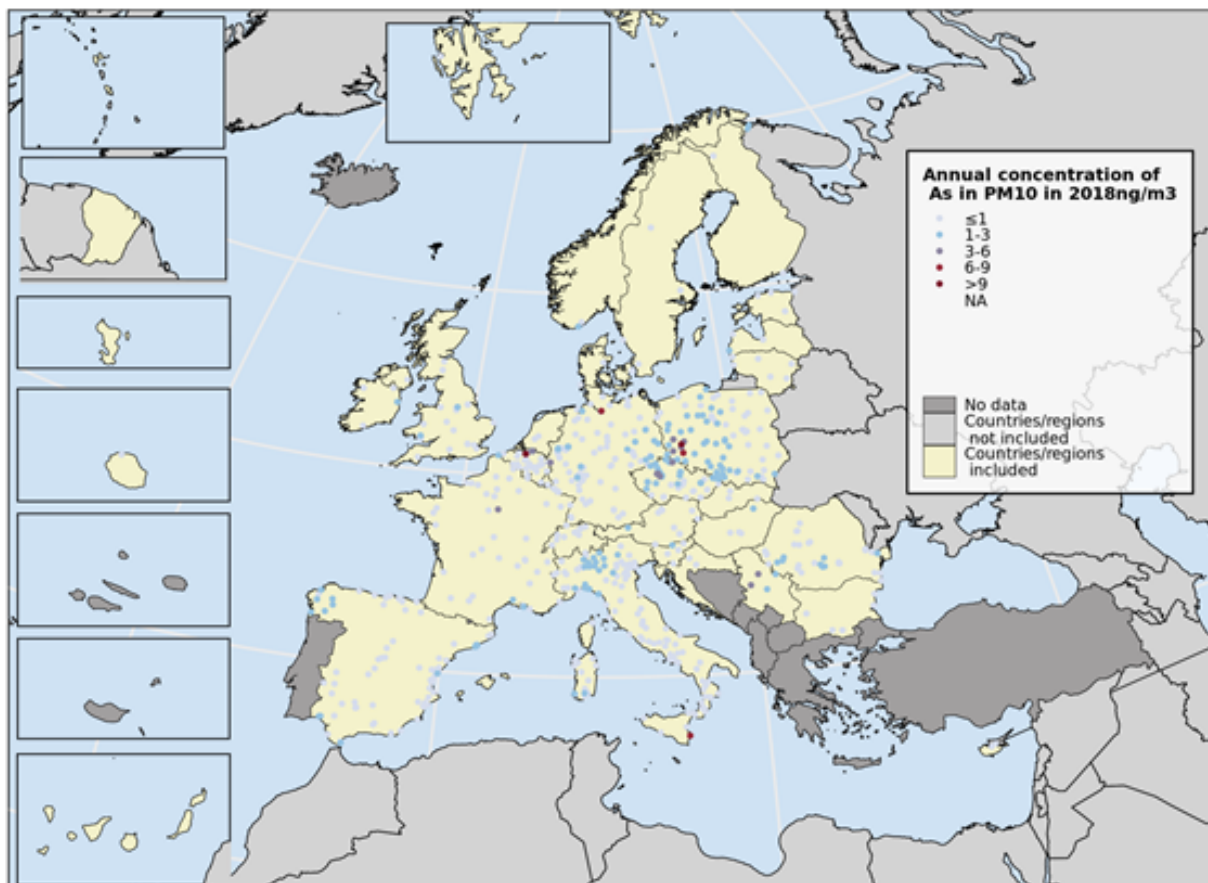
Slika 5.20: Povprečne letne ravni kadmija po letih.



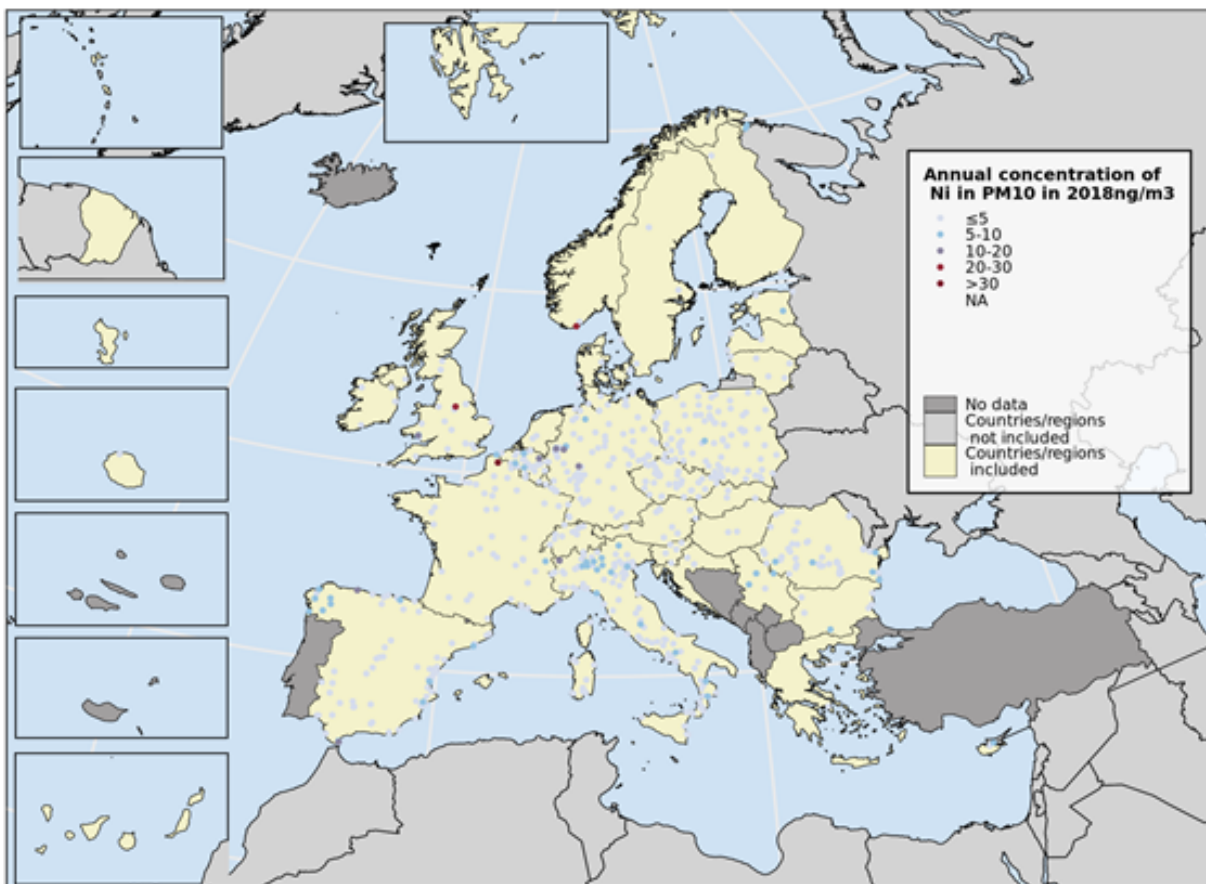
Slika 5.21: Povprečne letne ravni svinca po letih.

5.2.4 Ravni onesnaženosti v EU

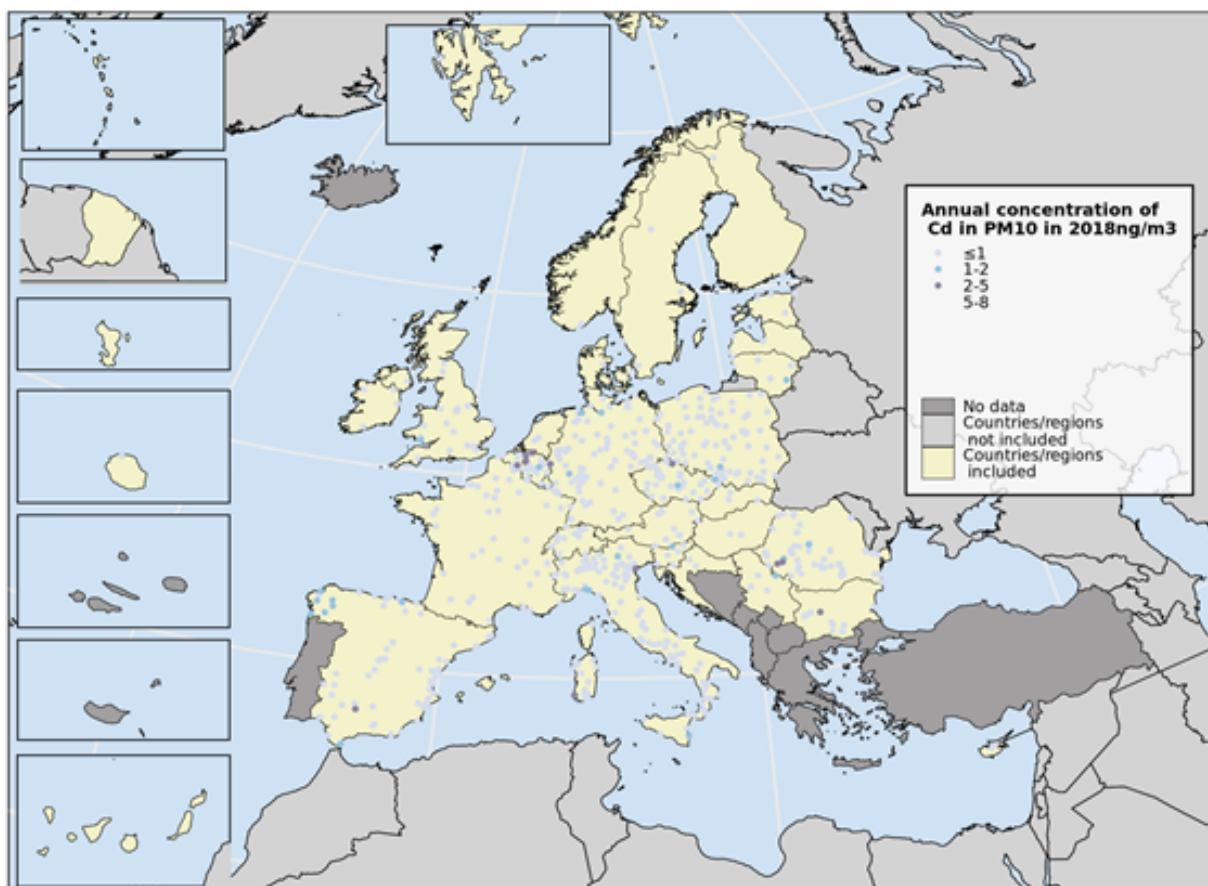
V Sloveniji je nizka onesnaženost zunanjega zraka z arzenom, kadmijem, svincem in nikljem, kar je razvidno tudi na slikah 5.22, 5.24, 5.23 in 5.25.



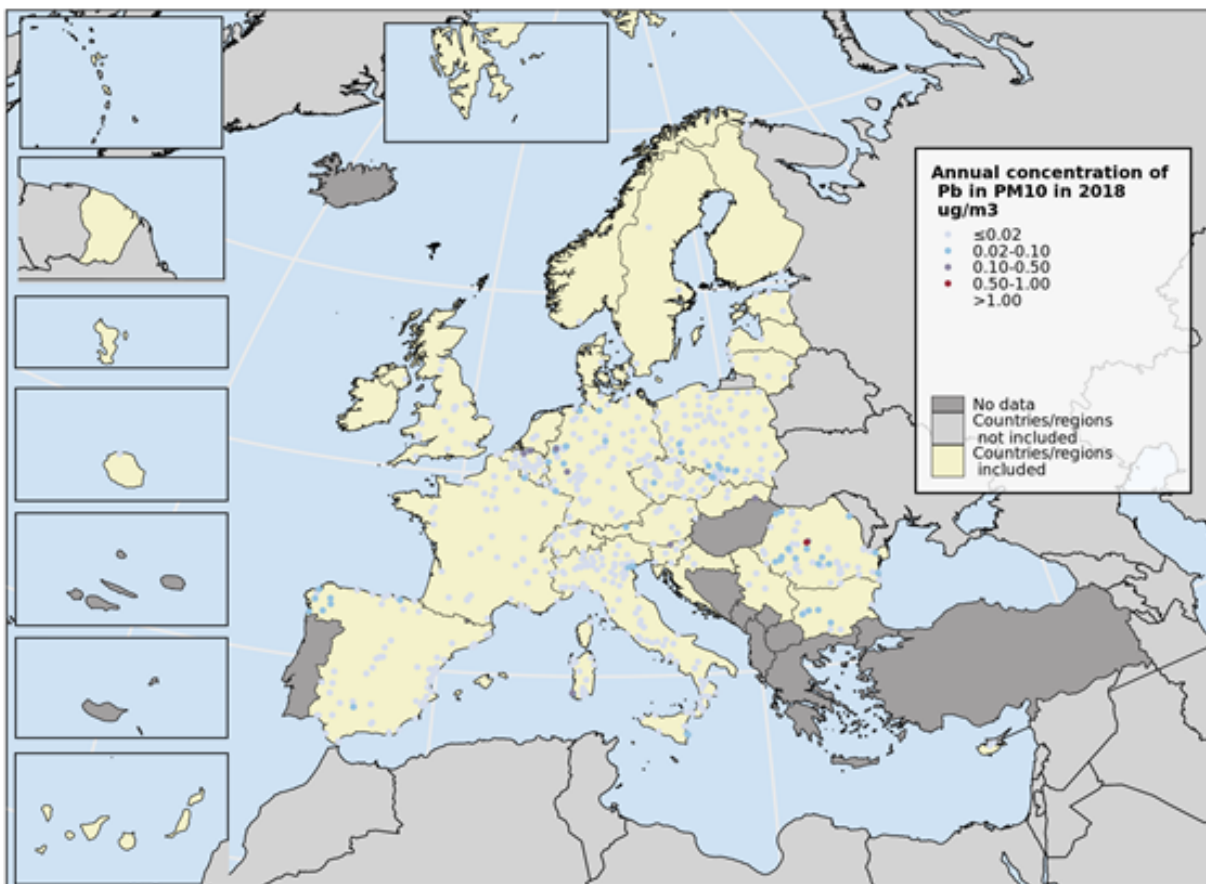
Slika 5.22: Prikaz letne ravni arzena v Evropski uniji v letu 2018 [3]. Z barvo je prikazan razred, v katerega sodi merilno mesto glede na letno raven.



Slika 5.23: Prikaz letne ravni niklja v Evropski uniji v letu 2018 [3]. Z barvo je prikazan razred, v katerega sodi merilno mesto glede na letno raven.



Slika 5.24: Prikaz letne ravni kadmija v Evropski uniji v letu 2018 [3]. Z barvo je prikazan razred, v katerega sodi merilno mesto glede na letno raven.



Slika 5.25: Prikaz letne ravni svinca v Evropski uniji v letu 2018 [3]. Z barvo je prikazan razred, v katerega sodi merilno mesto glede na letno raven.

6. Ozon

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

- stratosferski ozon, ki se nahaja na višini okoli 20 km nad tlemi. Ta plast absorbira večino ultravijoličnih žarkov v sončnem sevanju in s tem 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, zato 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 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 razpade nazaj v običajni dvoatomni kisik tako, da odda atom kisika molekuli dušikovega monoksida in ga oksidira v dušikov dioksid. Kraji z višjo nadmorsko višino in odprtim reliefom (kot sta 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 v nižjih maksimalnih ravneh ozona v celinskem delu Slovenije v primerjavi s Primorsko.

6.1 Zahteve za kakovost zraka

V tabeli 6.1 so prikazane predpisane ciljne, opozorilne in alarmne vrednosti iz Uredbe o kakovosti zunanega zraka [9] in smernice WHO [1]. Za varovanje zdravja je predpisana ciljna maksimalna dnevna 8-urna povprečna vrednost. Ta vrednost glede na Uredbo o kakovosti zunanega 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 6.1: 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	$240 \mu\text{g}/\text{m}^3$		

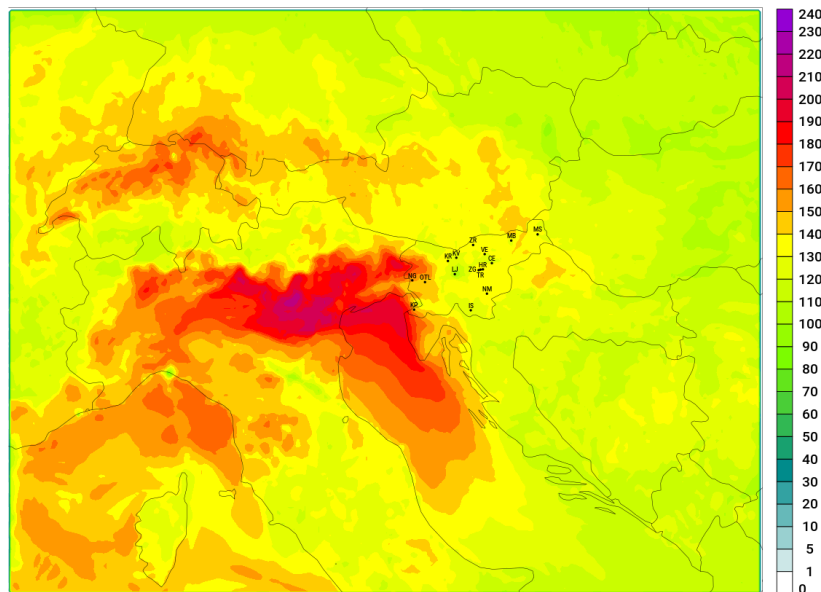
*AOT40 vrednost je izražena v $(\mu\text{g}/\text{m}^3) \cdot \text{ure}$ in pomeni vsoto razlik med urnimi ravnmi večjimi od $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in ravno $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ v danem času z upoštevanjem enournih vrednosti, izmerjenih vsak dan med 8:00 in 20:00 po srednjeevropskem času.

6.2 Ravni onesnaženosti

Pregled izmerjenih ravni in število preseženih ciljnih, opozorilnih in alarmnih vrednosti ozona v letu 2019 je podano v tabelah 6.2 - 6.6 ter na slikah 6.2 in 6.3.

Leto 2019 je bilo v Sloveniji drugo najtoplejše, odkar potekajo meritve. Poleti so temperature povsod presegle dolgoletno povprečje, marsikje je bila najvišja temperatura poletja izmerjena že junija, a rekordno visoko se ni povzpela. Dolgih obdobj z visokimi temperaturami nad 30°C v letu 2019 ni bilo veliko, opozorilne vrednosti ozona so bile presežene ravno v teh obdobjih visokih temperatur. V letu 2019 smo imeli tri taka obdobja. 27. 6. 2019 so bila preseganja zabeležena na Primorskem, in sicer v Novi Gorici, na Otlici in v Kopru, eno preseganje je bilo zabeleženo tudi na Sv. Mohorju. Maksimalna urna raven ozona je bila izmerjena na Otlici $204 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Nad naše kraje je že nekaj dni prej dotekal zelo topel in suh zrak, temperatura se je dvignila do 37°C . V Padski nižini v Italiji je bila ta dan presežena celo alarmna vrednost ozona (slika 6.1). V začetku julija je bilo preseganje zabeleženo samo na Otlici, čeprav so bile visoke ravni ozona povsod po državi. Tretje obdobje je trajalo več dni, in sicer od 20. 7. do 25. 7. 2019, ko je nad našimi kraji prevladovalo šibko območje visokega zračnega tlaka, z dotokom zelo toplega in suhega zraka. Preseganja so bila v tem obdobju le enkrat zabeležena le enkrat v Novi Gorici, sicer pa le na Otlici. Tudi v tem obdobju so bile ravni ozona občasno nad $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Visoke ravni ozona so bile posledica dotoka onesnaženega zraka iznad Padske nižine. Osrednji in vzhodni del Slovenije je imel v tem obdobju razmeroma nizke ravni ozona, saj je zrak na višini pritekal večinoma iz vzhodne smeri. Ravni ozona so se v vseh primerih znižale, ko je ozračje ob visokih temperaturah postalo bolj nestabilno. Alarmna vrednost v Sloveniji ni bila presežena že več kot deset let.

Dnevni maksimumi O₃ (μg/m³)
Analiza 27.06.2019 00 UTC Termini 00-24h



Slika 6.1: Maksimalna urna raven ozona za dan 27. 6. 2019, izračunana z modelskim sistemom ALADIN-SI/CAMx

Najvišje povprečne letne vrednosti so izmerjene na višje ležečih merilnih mestih, na Krvavcu in Otlici (tabela 6.2). V mreži DMKZ sledi merilno mesto na Primorskem, Koper. Nova Gorica ima nižje letne ravni ozona, ker je merilno mesto bolj izpostavljeno prometu. Najvišja povprečna letna vrednost v letu 2019, 95 μg/m³, je bila kot že vsa leta doslej na Krvavcu.

Maksimalna dnevna 8-urna povprečna vrednost je bila v letu 2019 presežena na vseh merilnih mestih. Večina preseganj je bilo v obdobju od aprila do septembra (tabela 6.6). V letu 2019 je bilo v mreži DMKZ zabeleženih več kot 25 preseganj na visokoležečih merilnih mestih Krvavec in Otlica ter v Kopru in Novi Gorici. Ciljna vrednost za varovanje zdravja ljudi je bila za triletno povprečje presežena na večini merilnih mest, razen v Zasavju in Celju (tabela 6.9). Največji doprinos k tej vrednosti je leto 2017 z nadpovprečno visokimi temperaturami v vseh treh poletnih mesecih.

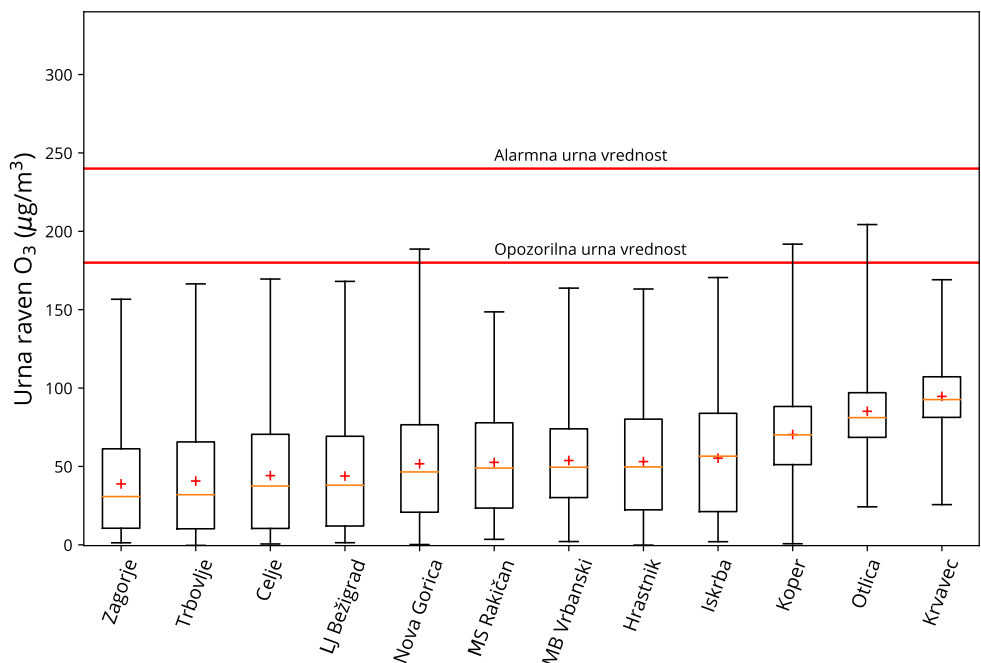
Za varovanje rastlin je predpisana ciljna vrednost AOT40, in sicer 18.000 μg/m³ · h. Ocenjujemo jo kot 5-letno povprečje AOT40 na merilnih mestih zunaj pozidanih območij (Murska Sobota Rakičan, Iskrba, Krvavec, Otlica). Na vseh merilnih mestih so ravni višje od ciljne vrednosti (tabela 6.2).

Dolgoročni ciljni vrednosti za varovanje zdravja, 120 μg/m³ in vegetacije, 6000 μg/m³ · h, na nobenem merilnem mestu nista doseženi (tabela 6.2).

Tabela 6.2: Raven ozona v zunanjem zraku ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) v letu 2019. Prikazana je razpoložljivost podatkov (% pod), letna raven (C_p), maksimalna urna in maksimalna dnevna 8-urna povprečna vrednost (max), število preseganj opozorilne (>OV) in alarmne vrednosti (>AV), število prekorajitev 8-urne ciljne vrednosti (>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
			1 ura max	>OV	>AV	8 ur max	>CV	maj–julij AOT40	5 let AOT40	
Merilna mreža DMKZ										
LJ Bežigrad	99	44	168	0	0	162	19	16046	/	58
MB Vrbanški	98	54	164	0	0	145	19	19801	/	95
Celje	99	44	170	0	0	162	17	16827	/	74
MS Rakičan	95	53	149	0	0	141	20	20193	20410	95
Nova Gorica	94	52	189	5	0	168	42	25531	/	95
Trbovlje	98	41	166	0	0	152	13	12714	/	58
Zagorje	100	39	157	0	0	147	7	10129	/	39
Hrastnik*	74	53	163	0	0	157	18	16941	/	83
Koper	98	70	192	4	0	171	44	27975	/	114
Otlica	99	85	204	25	0	196	55	35237	30218	129
Iskrba	98	55	171	0	0	167	24	18279	19160	101
Krvavec	95	95	169	0	0	158	65	28182	29636	171
Dopolnilna merilna mreža										
TE Šostanj										
Zavodnje	98	79	166	0	0	161	41	24823	/	/
Velenje	99	49	162	0	0	149	14	16385	/	/
TE Brestanica										
Sv. Mohor	98	69	185	1	0	165	35	19294	/	/
MO Maribor										
Pohorje	97	76	166	0	0	145	17	17436	/	/

* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.



Slika 6.2: Urne ravni O_3 na merilnih mestih DMKZ v letu 2019. 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 6.3 – 6.6, slika 6.3).

Na sliki 6.3 so prikazane mesečne vrednosti dnevni 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 višje na večinoma višje ležečih ruralnih merilnih mestih. V ruralnem okolju je namreč manj možnosti za reakcije z drugimi snovmi (npr. svežimi izpusti iz prometa), ki vplivajo na raven ozona. Na višje ležečih odprtih legah (Krvavec in Otlica) je dnevni hod ozona precej manj izrazit, kar je za Krvavec vidno tudi na sliki 6.4. Na merilnih mestih v nižinah nastopi izraziti 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 prometa in se ravni ozona tekom dneva ne spreminjajo veliko.

Tabela 6.3: Povprečna mesečna raven ozona ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) v letu 2019

	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
LJ Bežigrad	27	30	57	58	57	68	70	61	40	30	16	14
MB Vrbanski	36	46	66	72	66	78	75	67	50	39	26	23
Celje	22	27	50	53	61	72	70	60	40	36	19	20
MS Rakičan	35	40	63	72	67	79	67	62	50	39	32	32
Nova Gorica	23	38	59	64	60	77	83	71	51	32	27	22
Trbovlje	31	33	59	52	55	59	55	45	35	32	18	18
Zagorje	26	26	51	49	54	60	56	47	35	28	17	16
Hrastnik*	34	38	62	59	58	67	62	57	40	/	/	/
Koper	47	54	77	84	77	95	96	87	73	59	49	45
Otlica	59	74	83	85	83	110	116	102	90	79	67	73
Iskrba	50	54	74	71	63	60	60	55	44	46	40	44
Krvavec	77	94	98	109	101	113	112	105	86	80	78	80
Zavodnje	64	78	91	97	88	105	96	87	71	61	45	60
Velenje	36	41	54	59	62	73	71	57	39	34	27	32
Sv. Mohor	53	66	84	85	75	93	86	80	63	57	36	51
Pohorje	60	73	85	91	82	99	93	84	71	66	49	63

* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.

Tabela 6.4: Maksimalna urna raven ozona ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) po mesecih v letu 2019

	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
LJ Bežigrad	78	108	119	133	128	168	168	135	130	87	67	66
MB Vrbanski	83	100	125	132	124	164	139	148	127	89	82	76
Celje	76	107	122	138	139	147	170	144	122	101	76	86
MS Rakičan	86	116	128	142	131	149	138	139	126	103	81	84
Nova Gorica	80	105	144	139	134	189	181	140	139	104	76	76
Trbovlje	79	116	126	141	140	140	166	128	111	94	66	80
Zagorje	76	106	120	133	135	122	157	130	114	83	61	67
Hrastnik*	79	115	124	137	135	150	163	137	124	/	/	/
Koper	83	111	133	150	132	192	178	150	144	109	86	83
Otlica	86	119	128	120	134	204	202	151	150	118	94	102
Iskrba	90	127	134	142	130	144	171	143	114	114	84	93
Krvavec	104	124	134	140	133	158	169	153	144	120	104	105
Zavodnje	97	123	126	135	135	161	166	157	131	94	83	131
Velenje	84	112	118	125	124	150	162	153	121	95	75	121
Sv. Mohor	91	118	137	139	138	185	158	148	134	94	75	134
Pohorje	86	109	120	131	126	166	150	134	114	107	76	89

* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.

Tabela 6.5: Število prekoračitev urne opozorilne vrednosti ($180 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ozona v letu 2019

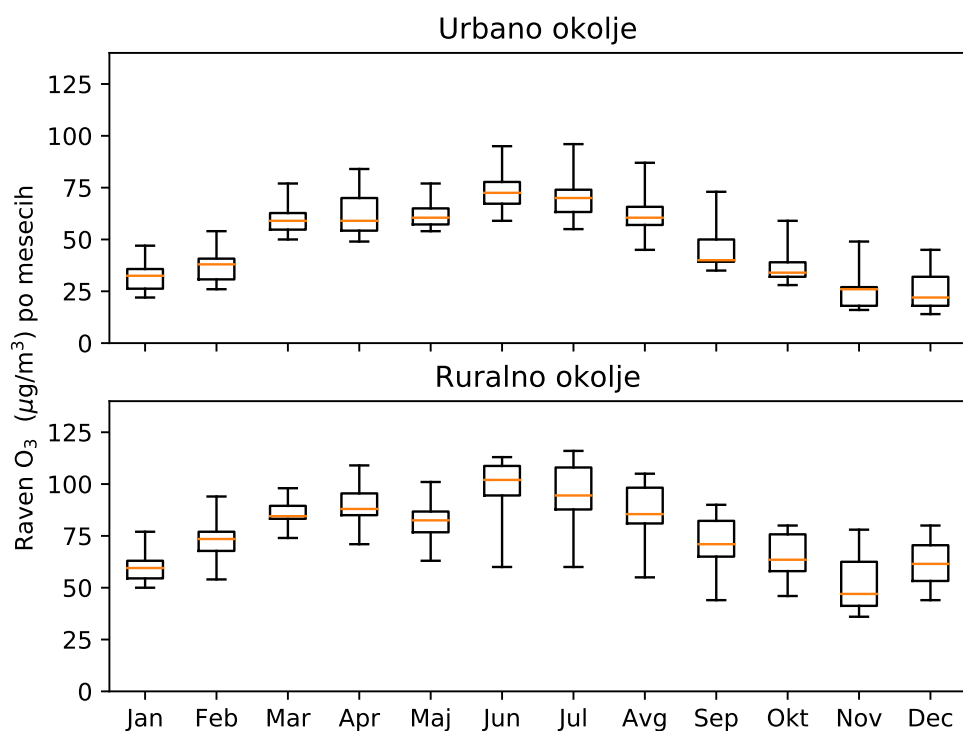
	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
LJ Bežigrad	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MB Vrbanski	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Celje	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MS Rakičan	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nova Gorica	0	0	0	0	0	4	1	0	0	0	0	0
Trbovlje	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Zagorje	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Hrastnik*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	/	/	/
Koper	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0
Otlica	0	0	0	0	0	4	21	0	0	0	0	0
Iskrba	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Krvavec	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Zavodnje	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Velenje	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sv. Mohor	0	0	0	0	0	1	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.

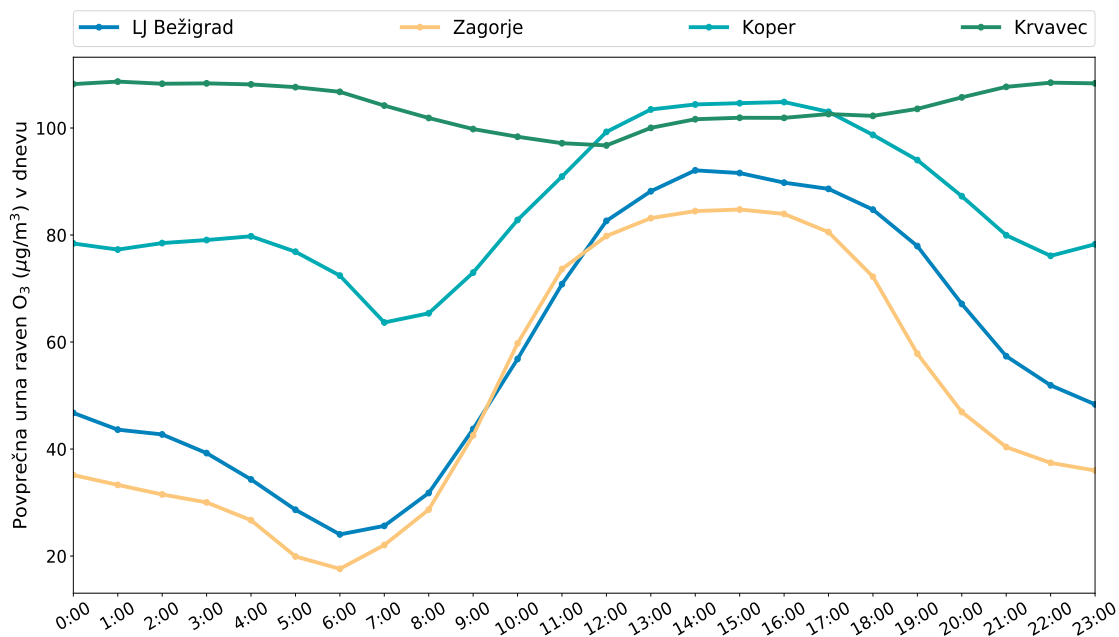
Tabela 6.6: Število prekoračitev 8-urne ciljne vrednosti ($120 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ozona v letu 2019

	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
LJ Bežigrad	0	0	0	2	1	3	9	4	0	0	0	0
MB Vrbanski	0	0	0	4	1	5	8	1	0	0	0	0
Celje	0	0	0	4	2	5	5	1	0	0	0	0
MS Rakičan	0	0	1	6	2	4	3	3	1	0	0	0
Nova Gorica	0	0	1	6	2	9	16	7	1	0	0	0
Trbovlje	0	0	0	5	1	3	4	0	0	0	0	0
Zagorje	0	0	0	3	1	0	3	0	0	0	0	0
Hrastnik*	0	0	0	6	1	4	5	2	0	/	/	/
Koper	0	0	1	5	2	11	17	7	1	0	0	0
Otlica	0	0	0	0	1	17	20	12	5	0	0	0
Iskrba	0	1	2	7	2	2	6	4	0	0	0	0
Krvavec	0	0	2	11	4	16	19	10	3	0	0	0
Zavodnje	0	0	1	7	2	16	13	1	1	0	0	1
Velenje	0	0	0	2	2	4	5	1	0	0	0	0
Sv. Mohor	0	0	1	7	2	9	11	5	0	0	0	0
Pohorje	0	0	0	4	2	4	6	1	0	0	0	0

* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.

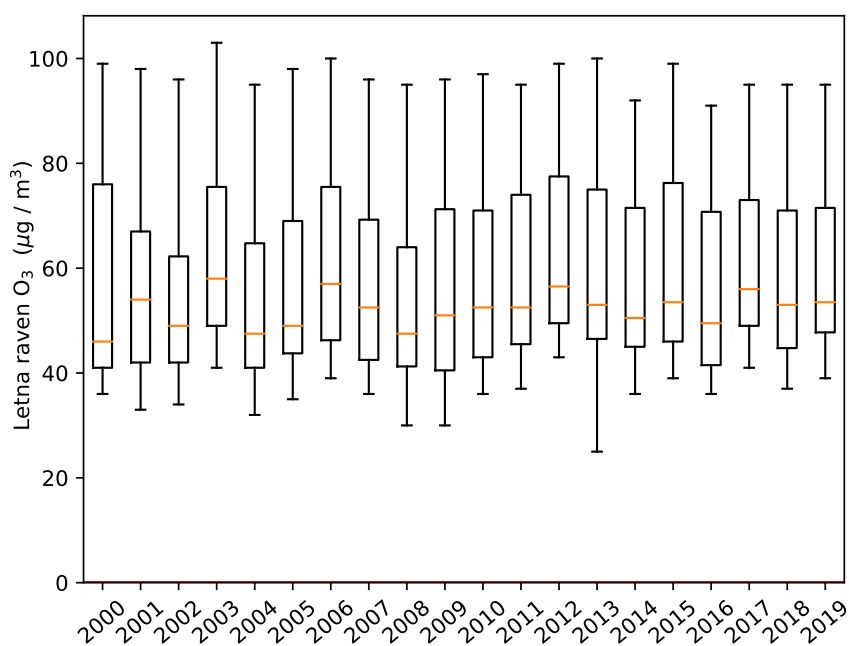


Slika 6.3: Dnevne ravni O₃ po mesecih na urbanih in ruralnih merilnih mestih v letu 2019. Prikazane so najnižja in najvišja izmerjena raven (spodnja in zgornja vodoravna črtica), oba kvartila (vrh in dno pravokotnika) in mediana (rdeča vodoravna črtica v pravokotniku).

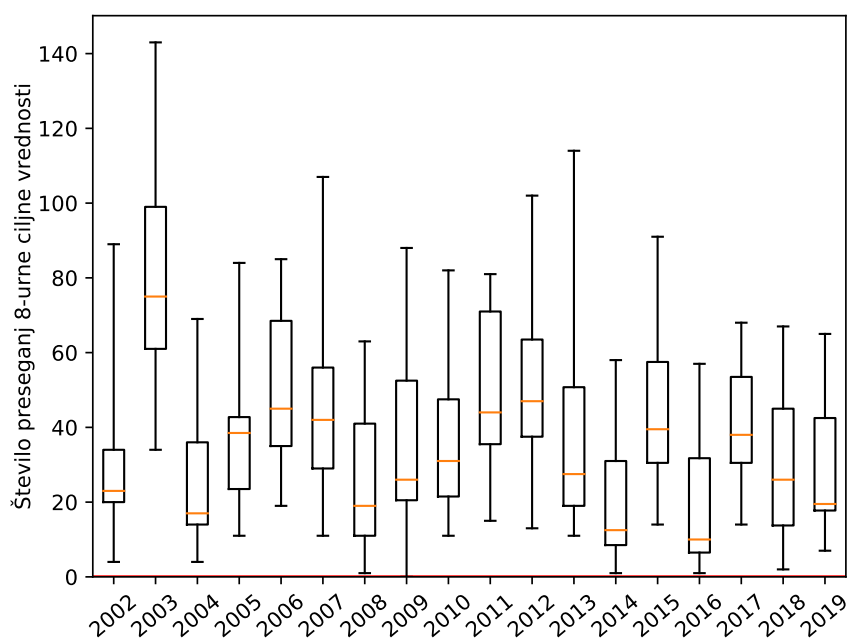


Slika 6.4: Dnevni potek povprečne urne ravni O₃ na izbranih merilnih mestih med aprilom in septembrom 2019

Podatki o povprečnih letnih ravneh ozona za posamezna merilna mesta in število preseganj ciljne 8-urne vrednosti so podani v tabelah 6.7 - 6.9, v tabeli 6.10 je prikazano število preseganj opozorilne vrednosti. Na slikah 6.5 in 6.6 so prikazane statistične vrednosti za vsa merilna mesta DMKZ skupaj po posameznih letih. Povprečne letne ravni ozona ne kažejo opaznih trendov. Najvišje letne ravni ozona v merilni mreži DMKZ so na višje ležečih merilnih mestih Krvavec in Otlica, sledi merilno mesto Koper na Primorskem in Iskrba, kjer je vpliv nizkih emisij iz okolice na meritve manjši. Razlike med posameznimi leti so posledica vremenskih razmer, posebej tistih polet. Visoke ravni ozona izmerimo v vročih dneh, ko so temperature dlje časa nad 30°C in predvsem ob zahodni cirkulaciji zraka, ki lahko prinese bolj onesnažen zrak Italije. Večje razlike kot v letnem povprečju so med posameznimi leti v številu preseganj 8-urne ciljne vrednosti in opozorilne vrednosti. Po številu preseganj opozorilne urne vrednosti v vseh letih izstopajo Koper, Nova Gorica, Otlica in Krvavec. Število preseganj 8-urne ciljne vrednosti za varovanje zdravja, ki je izračunano kot triletno povprečje, presega število 25, ki je določeno kot dovoljeno število preseganj, na večini merilnih mest v DMKZ. Dovoljenega števila preseganj v letu 2019, izračunanega iz triletnega povprečja 2017-2019, nismo zabeležili le v Celju, Zagorju, Trbovljah in Hrastniku (tabela 6.9).



Slika 6.5: Letne ravni O₃ na vseh merilnih mestih za posamezna leta od leta 2000 - 2019. Prikazane so najnižja in najvišja izmerjena raven (spodnja in zgornja vodoravna črtica), oba kvartila (vrh in dno pravokotnika) in mediana (rdeča vodoravna črtica v pravokotniku).



Slika 6.6: Preseganja 8-urne ciljne vrednosti za ozon na merilnih mestih DMKZ za posamezna leta v obdobju 2002 - 2019. Prikazane so najnižja in najvišja izmerjena raven (spodnja in zgornja vodoravna črtica), oba kvartila (vrh in dno pravokotnika) in mediana (rdeča vodoravna črtica v pravokotniku).

Tabela 6.7: Povprečna letna raven ozona ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) za obdobje 2000 - 2019

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Krivavec	99	98	96	103	95	98	100	96	95	96	97	95	99	100	92	99	91	95	95	95
Iskrba	61	58	53	60	54	56	60	54	50	53	55	51*	56	52	52	51	50	59	51	55
Otlca	/	/	/	/	/	/	95	88	82	83	83	80	87	88*	78	83	78	84	83	85
LJ Bežigrad	42	44	41	48	42	44	45	42	42	40	41	43	46	46	38	43	39	49	45	44
Maribor	36	33	37	44	34	35	39	37	37	39	40	37	43	25*	/	/	/	/	/	/
MB Vrbanški	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	52	49	55	49	56	55	54
Celje	41	44	46	50	38	43	45	42	41	39	42	45	49	46	42	42	39	46	44	44
Tbovlje	37	/	40	48	35	37	41	38	33	40	42	41	46	43	39	42	36	44	42	41
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
MS Rakičan	46	54	52	58	48	50	50	47	45	45	51	52	55	53	45	46	48	53	55	53
Nova Gorica	/	/	45	58	47	48	50	47	43	44	46	53	57	53	46	52	46	50	50	52
Koper	/	/	/	/	/	/	74	66	67	69	68	72	74	73	69	74	67	73	69	70
Zavodnje	58	75	66	78	64	75	76	71	65	72	73	74	78	75	70	77	72	73	79	79
Velenje	38	40	54	55	43	46	54	51	42	49	51	48	52	51	46	46	43	49	44	49
Kovk	76	71	65	78	69	72	72	67	61	68	71	74	76	67	80	87	75	/	/	/
Sv. Mohor	/	/	/	/	/	68	66	64	59	54	54	71	67	75	67	70	54	68	68	69
Vnainarje	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	74	71	80	80	76	72	81	72	74	77	76

* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.

Oponaba: Podatki za leta od 1992-2000 so na voljo v [20].

Tabela 6.8: Število preseganj 8-urne ciljne vrednosti ($120 \mu\text{g}/\text{m}^3$) v posameznem letu za obdobje 2002 – 2019

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

* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.

Tabela 6.9: Število preseganj 8-urne ciljne vrednosti ($120 \mu\text{g}/\text{m}^3$) v drsečem povprečju treh let za obdobje 2004 – 2019. Prekoračitve predpisane vrednosti so označene odebeljeno.

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

* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.

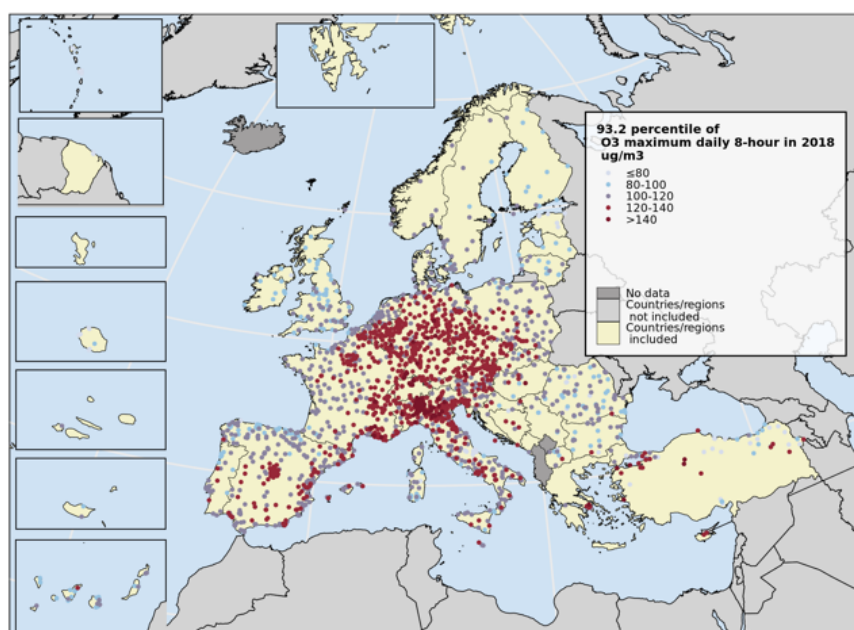
Tabela 6.10: Število preseganj opozorilne vrednosti ($180 \mu\text{g}/\text{m}^3$) za obdobje 2002 – 2019

	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
LJ Bežigrad	4	18	4	11	9	7	0	0	0	0	3	1	0	0	0	6	0	0
Maribor	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	/	/	/	/	/	0	/
MB Vrbanški	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	0	0	0	0	0	0
Celje	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
Nova Gorica	26	100	25	31	33	18	0	0	0	2	18	20	0	6	0	4	9	5
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	0	1	0	0	0	0	1	0	0*
Koper	/	/	/	16	36	9	0	3	2	4	13	22	0	9	0	5	1	4
Otlica	/	/	/	/	67	43	5	2	3	1	12	33*	0	0	0	15	3	25
Iskrba	0	11	1	0	1	7	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

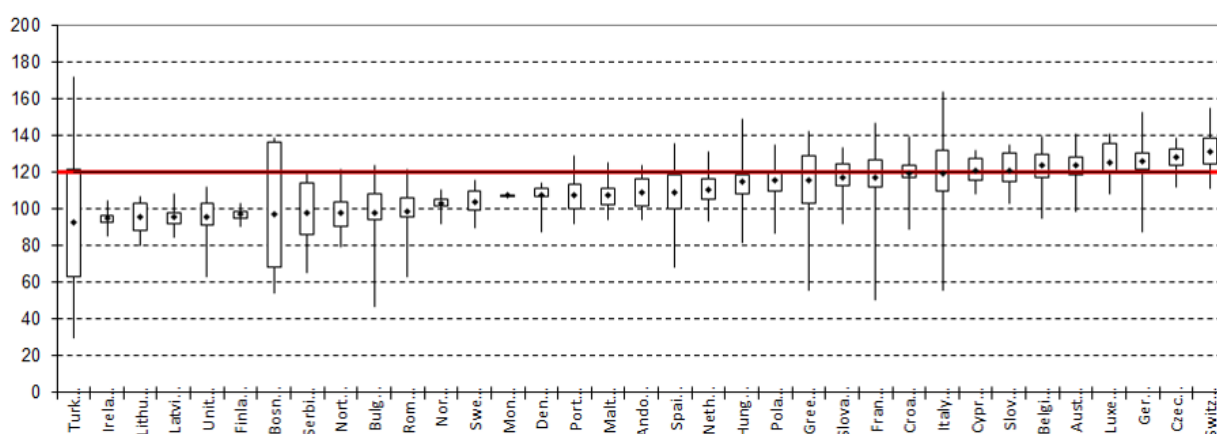
* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.

6.3 Ravni onesnaženosti v EU

Leto 2018 je bilo tretje najtoplejše leto v Evropi. Temperature v osrednji in severni Evropi so bile pozno pomladi in poleti 4 - 8°C nad 10-letnim povprečjem 2008 - 2017 in takšni meteorološki pogoji so ugodni za nastanek ozona. V letu 2018 so bile ravni ozona, zlasti v srednji Evropi, precej višje kot v preteklih letih (slika 6.7). Glede na doseganje skladnosti s ciljno vrednostjo sodi Slovenija v skupino z ozonom bolj obremenjenih držav (slika 6.8).

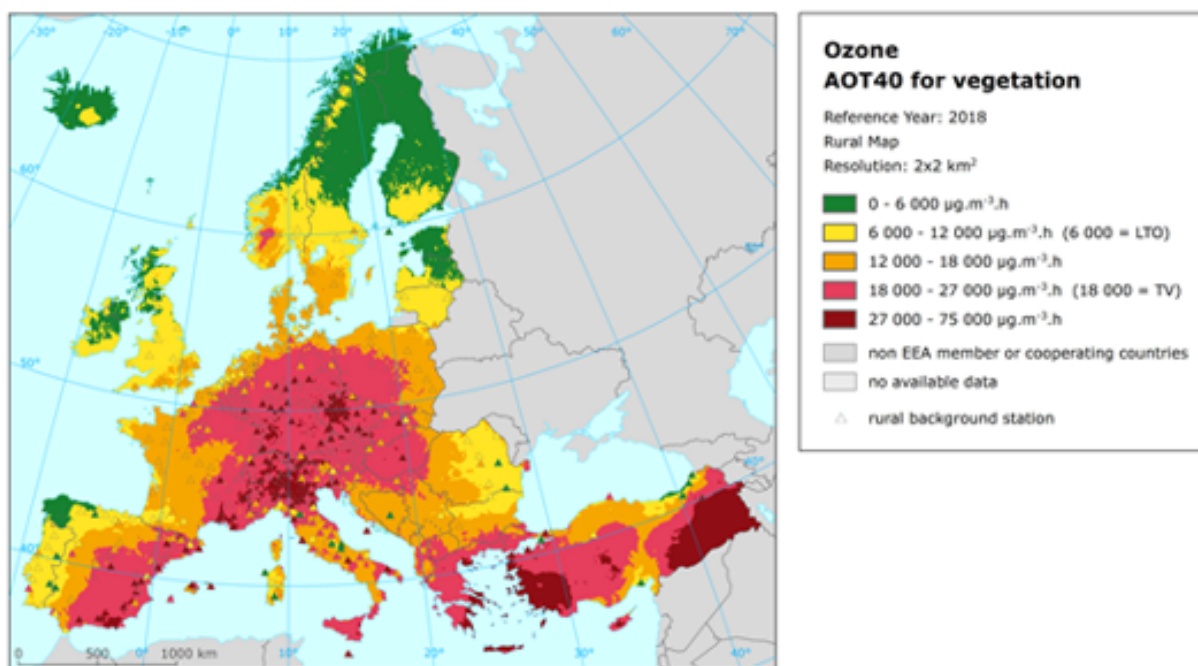


Slika 6.7: Šestindvajseta najvišja dnevna 8-urna povprečna koncentracija O₃ v letu 2018 [3] za poročana merilna mesta držav Evropske unije (označene s piko). Z barvo je označen razred, v katerega spadajo merilna mesta glede na 26. 8-urno povprečno koncentracijo O₃.



Slika 6.8: Stopnja skladnosti za ozon z dnevno 8-urno ciljno vrednostjo za države EU [3] za leto 2018. Graf prikazuje 26. najvišjo 8-urno vrednost (93,15 percentil) na posameznem merilnem mestu po državah EU v primerjavi s ciljno vrednostjo (rdeča črta). Prikazane so najnižja in najvišja koncentracija (26. najvišja za merilno mesto) (konec spodnje in zgornje navpične črtice na vrhu in dnu pravokotnika), oba kvartila (vrh in dno pravokotnika) in povprečna 26. najvišja koncentracija (črna pika v pravokotniku) za posamezno državo.

Visoke ravni ozona škodujejo rastlinskim celicam in ovirajo razmnoževanje in rast rastlin ter s tem zmanjšujejo donose kmetijskih pridelkov, rast gozdov in biotsko raznovrstnost. V mnogih delih srednje in južne Evrope so travniki EU Natura 2000 ogroženi zaradi izpostavljenosti trenutnim ravnom ozona, kar lahko spremeni sestavo rastlinskih združb ter spremeni cvetenje in pridelavo semen pri nekaterih vrstah ([3]). Spreminjanje podnebnih razmer in povečanje emisij ogljikovega dioksida in drugih onesnaževal, kot je reaktivni dušik, spremeni odzive vegetacije na ozon. Poleg tega, da vplivajo na rast rastlin, vplivajo tudi na količino O₃, ki jo prevzamejo listi in tako spreminjajo obseg učinkov na rast rastlin, donose pridelkov in ekosistemske storitve ([3]). Za zaščito vegetacije je določena ciljna vrednost AOT40 (18.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{h}$), ki je bila v letu 2018 presežena na 40 % vseh ruralnih merilnih mestih (slika 6.9).



Slika 6.9: Raven AOT40 za zaščito vegetacije na ruralnih merilnih mestih v letu 2018 [3]

7. Dušikovi oksidi

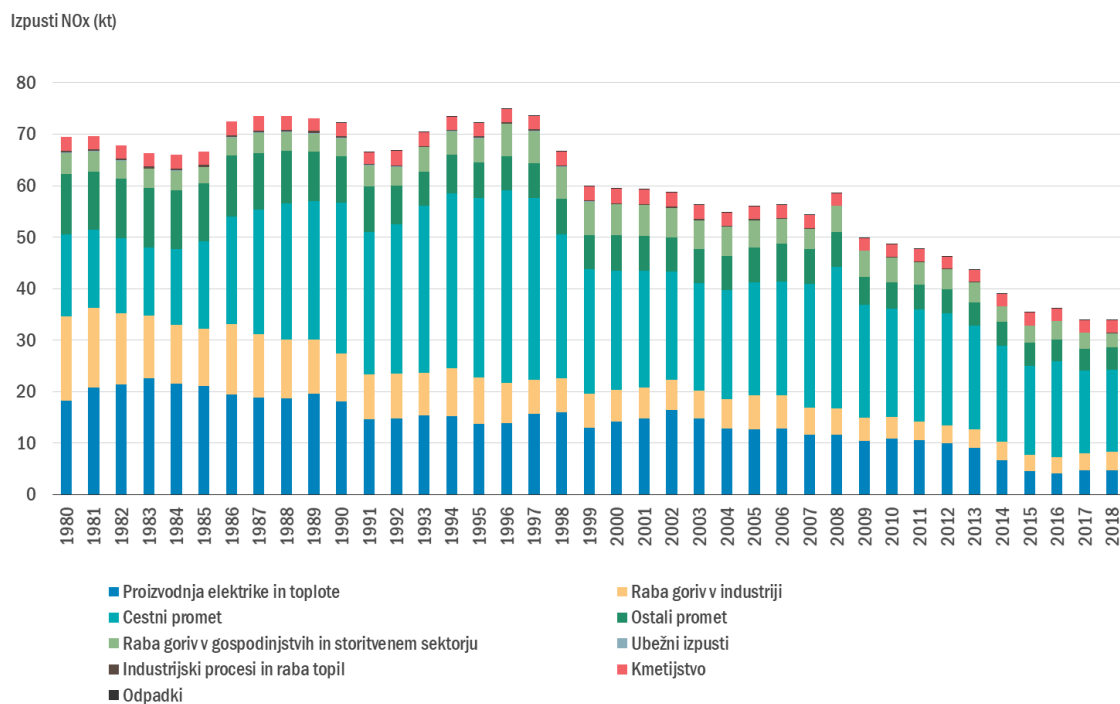
Dušikovi oksidi so spojine, ki so sestavljeni iz atomov kisika in dušika. Obstaja šest takšnih spojin: NO, NO₂, N₂O, N₂O₃, N₂O₄ in N₂O₅. V ozračju je največ dušikovega monoksida (NO) in dušikovega dioksida (NO₂). Iz izpustov prihaja v zrak največ dušikovega monoksida, ki se v ozračju postopno oksidira v dušikov dioksid. Dušikovi oksidi spadajo med predhodnike ozona in vplivajo na podnebne spremembe. Velik toplogredni učinek ima sicer nestrupeni N₂O, saj je njegov učinek na segrevanja ozračja kar 300-krat večji od učinka, ki ga ima CO₂. So pa ravni N₂O v ozračju razmeroma majhne v primerjavi s CO₂ in je zato njegov prispevek k skupnemu ogrevanju ozračja realtivno majhen [21], [22]. Zdravju škodljiv je dušikov dioksid, ki vpliva predvsem na dihala. Dušikovi oksidi in dušikov dioksid pripomoreta k nastanku kislega dežja, ki škoduje vegetaciji in prsti, hkrati pa dvigujeta tudi raven nitratov v prsti in tekočih vodah.

7.1 Izpusti

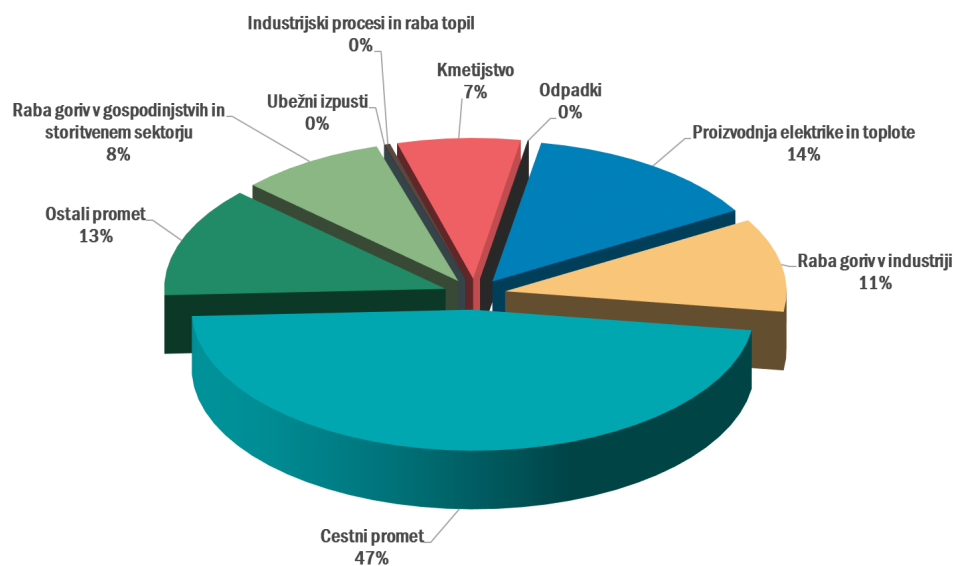
Več kot polovica dušikovitih oksidov prihaja v ozračje iz prometa. Precejšen delež prispeva tudi proizvodnja električne in toplotne energije. Letni izpusti NO_x so v Sloveniji leta 2018 znašali 34 tisoč ton. V obdobju 1980-2018 so se zmanjšali za 51 %. Največji vir izpustov NO_x je v letu 2018 predstavljal cestni promet, saj je k skupnim državnim izpustom prispeval kar 47 %. Izpusti NO_x po posameznih virih so prikazani na slikah 7.1 in 7.2.

Slovenija izpolnjuje obveznosti iz Direktive (EU) 2016/2284 (t.i. direktive NEC) ([8]) in iz Protokola o zmanjševanju zakisljevanja, evtrofikacije in prizemnega ozona h Konvenciji CLRTAP (t.i. Goeteborškega protokola) ([12]). Skupne državne emisije NO_x so bile v letu 2018 za 25 % nižji od ciljne vrednosti 45 tisoč ton, ki ne sme biti presežena od leta 2010 dalje.

Slovenija prav tako izpolnjuje zahteve iz Protokola h Konvenciji CLRTAP glede nadzora nad emisijami dušikovitih oksidov ali njihovih čezmejnih tokov ([12]). Skupne državne vrednosti izpustov dušikovitih oksidov ne presegajo vrednosti iz izhodiščnega leta 1987. Izpusti dušikovitih oksidov se podajajo kot vsota vseh dušikovitih oksidov, izraženih v ekvivalentu NO₂.



Slika 7.1: Letni izpusti dušikovih oksidov po sektorjih v Sloveniji



Slika 7.2: Izpusti dušikovih oksidov po sektorjih v Sloveniji v letu 2018

7.2 Zahteve za kakovost zraka

V Uredbi o kakovosti zunanjega zraka [9] so predpisane mejni in alarmna vrednost za zaščito zdravja ter kritična vrednost za zaščito vegetacije. Prikazane so v tabeli 7.1.

Tabela 7.1: Mejni, alarmna in kritična vrednost za dušikove okside [9], ter smernice WHO [1]

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

7.3 Ravni onesnaženosti

Letna in urna mejna vrednost NO₂, ki sta predpisani za zaščito zdravja, v letu 2019 nista bili preseženi na nobenem merilnem mestu v merilni mreži DMKZ (tabela 7.2). Preseganje letne vrednosti je bilo zabeleženo le na merilnem mestu Ljubljana Center. Vendar pa so podatki za leto 2019 s te postaje zgolj informativni, ker v celem letu ni bilo opravljenih dovolj veljavnih meritev (manjkajo meritve za november). So pa ravni NO₂ na tem merilnem mestu daleč najvišje v primerjavi z drugimi merilnimi mesti, k čemur največ prispeva promet.

Za zaščito vegetacije je predpisana kritična letna vrednost NO_x, ki se uporablja za neizpostavljena ruralna merilna mesta. V DMKZ med ruralna merilna mesta uvrščamo Mursko Soboto Rakičan in Iskrbo, kjer pa ne merimo ravni NO_x. V dopolnilni merilni mreži sta to merilni mesti Zavodnje in Sveti Mohor. Na nobenem ruralnem merilnem mestu kritična vrednost za NO_x ni bila presežena (tabela 7.2).

Urne ravni NO₂ na merilnih mestih DMKZ so prikazane na sliki 7.3. Najvišje izmerjene urne vrednosti so na vseh merilnih mestih pod mejno urno vrednostjo, ki je lahko po zakonodaji presežena 18-krat v enem letu.

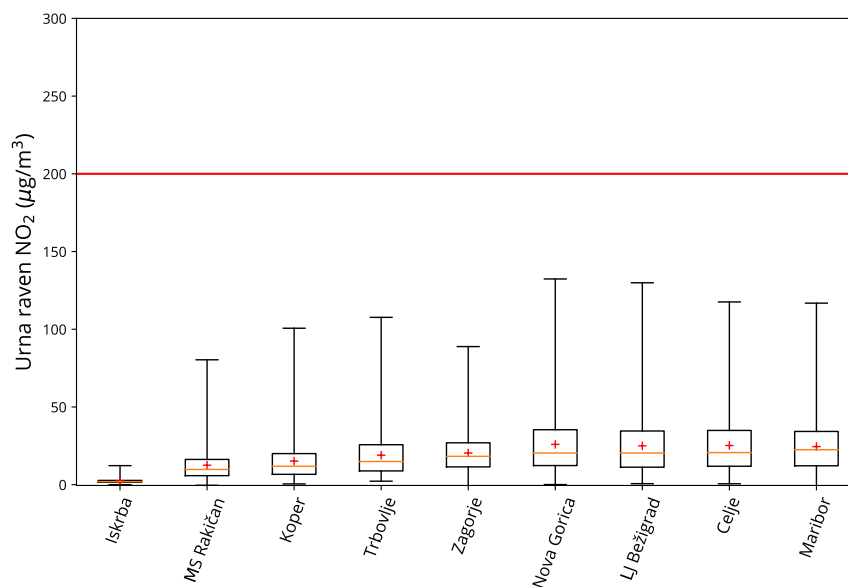
Ravni NO₂ imajo značilen letni in dnevni hod. Na vseh merilnih mestih so najnižje ravni izmerjene v poletnih mesecih, ko so vremenske razmere za razredčevanje izpustov ugodnejše. V tem obdobju so manjši tudi izpusti dušikovih oksidov zaradi zmanjšane prometa (dopusti, počitnice in večja uporaba koles). Ravni dušikovih oksidov so najvišje pozimi, ko je ozračje najbolj stabilno in najslabše prevetreno, izpusti pa nekoliko višji kot poleti (tabele 7.3- 7.5 ter sliki 7.5 in 7.6).

Dnevni hod kaže, da so najnižje ravni NO₂ med delavniki izmerjene ponoči (slika 7.7). 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. Na sliki 7.7 lahko opazimo razliko med delavniki ter vikendi. Ob delavnikih so večino dneva ravni višje zaradi intenzivnejšega prometa, medtem ko so med vikendi najvišje vrednosti zabeležene v večernem času.

Tabela 7.2: Razpoložljivost podatkov (% pod), letna (C_p) in maksimalna urna raven (max), 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 2019.

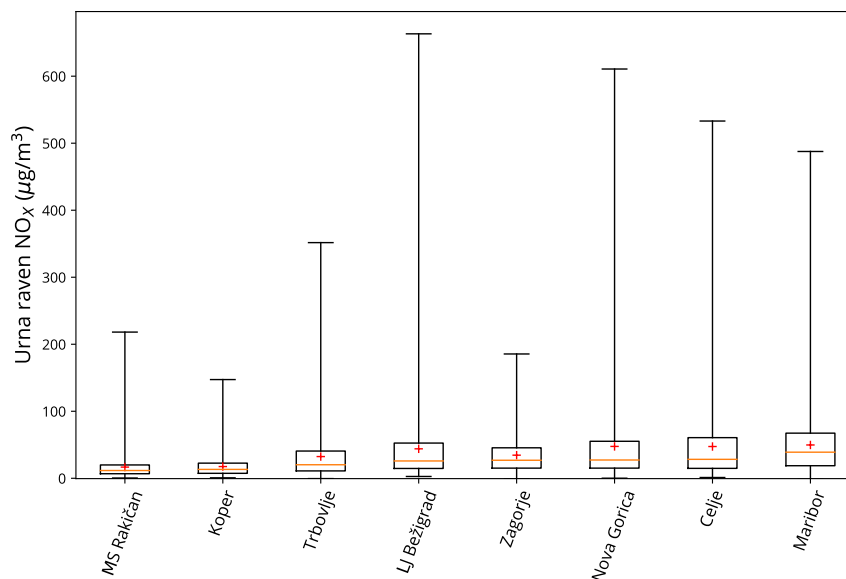
Merilno mesto	varovanje zdravja NO_2					varovanje rastlin NO_x	
	%pod	C_p	max	>MV	>AV	%pod	C_p
Merilna mreža DMKZ							
LJ Bežigrad	99	25	130	0	0	99	44
Maribor	98	25	117	0	0	99	50
Celje	99	25	118	0	0	99	47
MS Rakičan	97	13	80	0	0	97	17
Nova Gorica	90	26	132	0	0	89	48
Trbovlje	95	19	108	0	0	95	32
Zagorje	99	20	89	0	0	100	34
Koper	98	15	101	0	0	98	18
Iskrba	97	2	12	0	0	/	/
Dopolnilna merilna mreža							
TE Šoštanj							
Šoštanj	99	10	51	0	0	99	14
Zavodnje	100	5	49	0	0	100	6
Škale	99	6	38	0	0	99	8
TE Brestanica							
Sv. Mohor	98	5	55	0	0	98	6
OMS MOL							
LJ Center*	81	45	151	0	0	81	107
MO Celje							
CE Gaji	98	14	100	0	0	98	45
MO Maribor							
MB Vrbanski	94	16	105	0	0	89	19

* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.



Slika 7.3: Urne ravni NO_2 na merilnih mestih DMKZ v letu 2019. 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.

V zadnjih desetih letih je bilo zabeleženo preseganje letne mejne vrednosti za zaščito zdravja



Slika 7.4: Urne ravni NO_x na merilnih mestih DMKZ v letu 2019. 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.

le na merilnem mestu Ljubljana Center, drugje preseganj ni bilo (tabela 7.6). Meritve kažejo, da se letne povprečne ravni dušikovega dioksida nekoliko spreminjajo (slika 7.8), predvsem zaradi meteoroloških pogojev. Ob toplejših zimah z več vetra in padavin ter ob manjšem številu temperaturnih obratov so ravni nižje, ob drugačnih pogojih pa višje. Podatki o letni ravni za posamezna merilna mesta od leta 2000 so prikazani v tabeli 7.6. Na sliki 7.8 so prikazane letne ravni NO_2 na vseh merilnih mestih od leta 2002 naprej.

Tabela 7.3: Mesečna raven NO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) v letu 2019

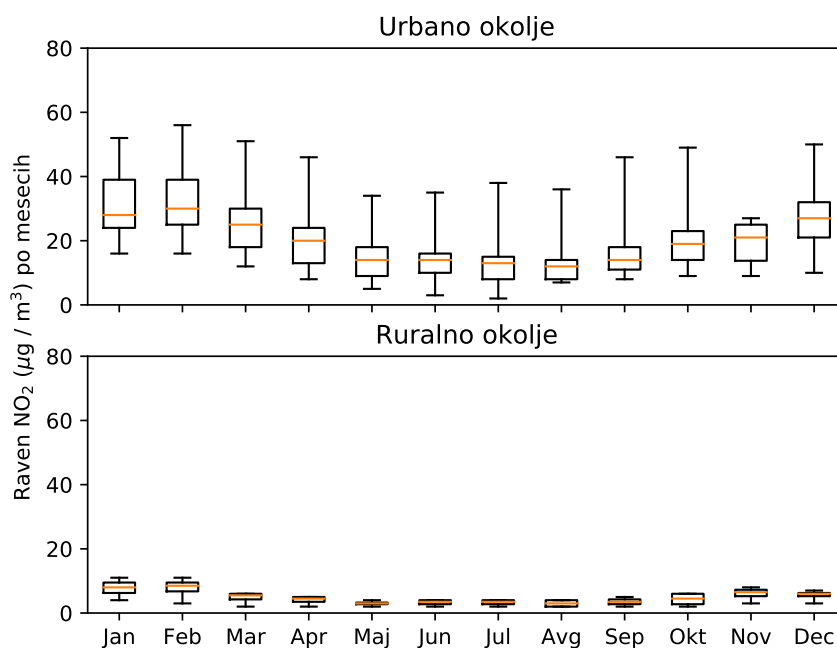
Merilno mesto	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
LJ Bežigrad	39	44	28	23	18	16	15	14	18	23	27	37
Maribor	36	38	30	25	20	21	18	16	18	23	22	28
Celje	43	42	32	27	16	16	15	14	19	22	25	32
MS Rakičan	20	21	14	10	7	8	8	8	10	12	13	18
Nova Gorica	42	39	31	24	19	19	18	18	22	27	26	30
Trbovlje	24	30	26	24	14	12	10	12	14	14	20	25
Zagorje	28	31	25	20	14	14	13	12	17	21	23	27
Koper	20	24	18	16	13	14	14	12	12	11	9	21
Iskrba	4	3	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3
Šoštanj	16	16	12	8	5	8	8	7	8	9	10	10
Zavodnje	7	8	5	5	3	4	4	4	5	6	6	6
Skale	11	11	6	5	4	4	4	4	4	6	8	7
Sv. Mohor	9	9	6	4	3	3	3	2	3	3	7	6
LJ Center	52	56	51	46	34	35	38	36	46	49	/	50
CE Gaji	35	30	18	10	5	3	2	8	11	15	14	16
MB Urbanski	28	25	17	16	12	11	10	7	9	15	25	35

Tabela 7.4: Maksimalna urna raven NO₂ (μg/m³) po mesecih v letu 2019

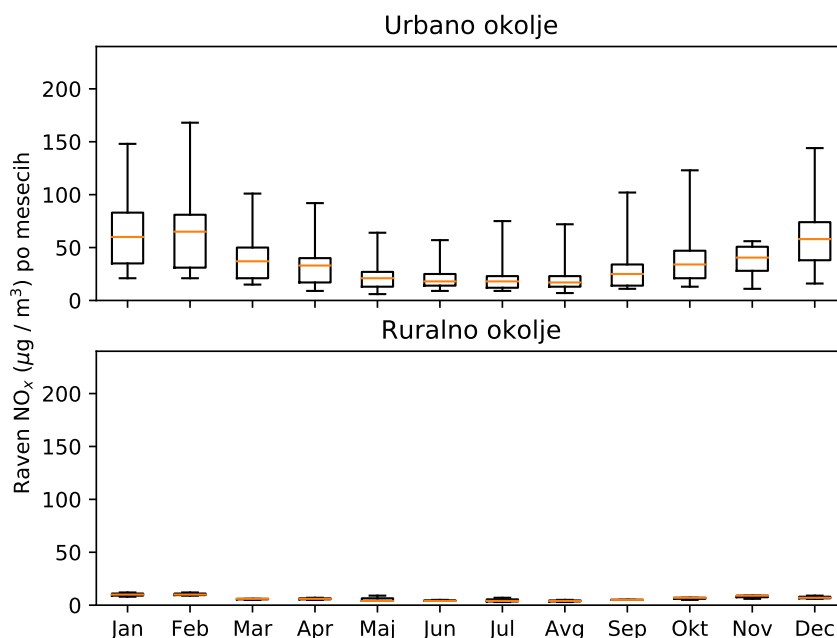
Merilno mesto	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
LJ Bežigrad	102	130	130	107	61	59	50	50	60	70	72	96
Maribor	100	113	117	91	69	62	60	62	75	65	82	106
Celje	106	118	106	82	65	68	54	66	69	90	74	86
MS Rakičan	70	80	67	57	33	24	23	33	38	62	47	64
Nova Gorica	110	124	132	120	71	88	70	88	90	84	68	97
Trbovlje	60	108	95	96	52	47	32	39	41	47	61	59
Zagorje	68	89	81	59	45	41	40	37	43	58	54	63
Koper	73	72	101	78	67	53	55	49	57	46	38	71
Iskrba	12	8	6	7	6	6	7	4	12	8	7	10
Šoštanj	48	51	46	31	26	38	40	27	35	35	36	48
Zavodnje	49	29	18	22	15	18	31	43	44	34	18	44
Škale	34	32	23	26	12	12	22	19	14	28	27	38
Sv. Mohor	32	29	34	19	20	14	16	12	22	30	55	55
LJ Center	110	151	124	125	79	105	96	105	114	106	/	124
CE Gaji	79	100	59	56	32	27	28	37	39	47	46	56
MB Vrbanški	87	82	105	73	57	49	50	29	39	66	88	84

Tabela 7.5: Mesečna raven NO_x (μg/m³) v letu 2019

Merilno mesto	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
LJ Bežigrad	72	89	37	33	24	22	20	20	27	43	50	92
Maribor	83	81	54	43	38	35	29	28	34	52	56	67
Celje	88	92	55	40	22	21	19	19	34	47	53	82
MS Rakičan	26	26	17	12	8	9	10	10	14	19	19	29
Nova Gorica	102	79	50	35	27	25	23	24	36	59	56	74
Trbovlje	41	55	41	38	21	17	14	17	20	23	40	58
Zagorje	49	58	37	30	21	18	18	17	27	38	44	57
Koper	24	28	21	18	15	15	15	13	13	13	11	25
Šoštanj	21	21	15	9	6	10	12	10	11	16	15	16
Zavodnje	8	9	6	6	4	4	3	4	5	7	6	6
Škale	12	12	6	7	9	5	7	5	5	7	9	9
Sv. Mohor	10	10	5	5	4	4	4	3	5	5	9	7
LJ Center	148	168	101	92	64	57	75	72	102	123	/	144
CE Gaji	71	65	42	43	45	50	48	23	25	32	41	38
MB Vrbanški	35	31	18	17	13	11	9	7	11	21	31	45



Slika 7.5: Mesečne ravni NO₂ na urbanih in ruralnih merilnih mestih v letu 2019. Prikazani so najnižja in najvišja izmerjena raven (spodnja in zgornja vodoravna črtica), oba kvartila (vrh in dno pravokotnika) in mediana (rdeča vodoravna črtica v pravokotniku).



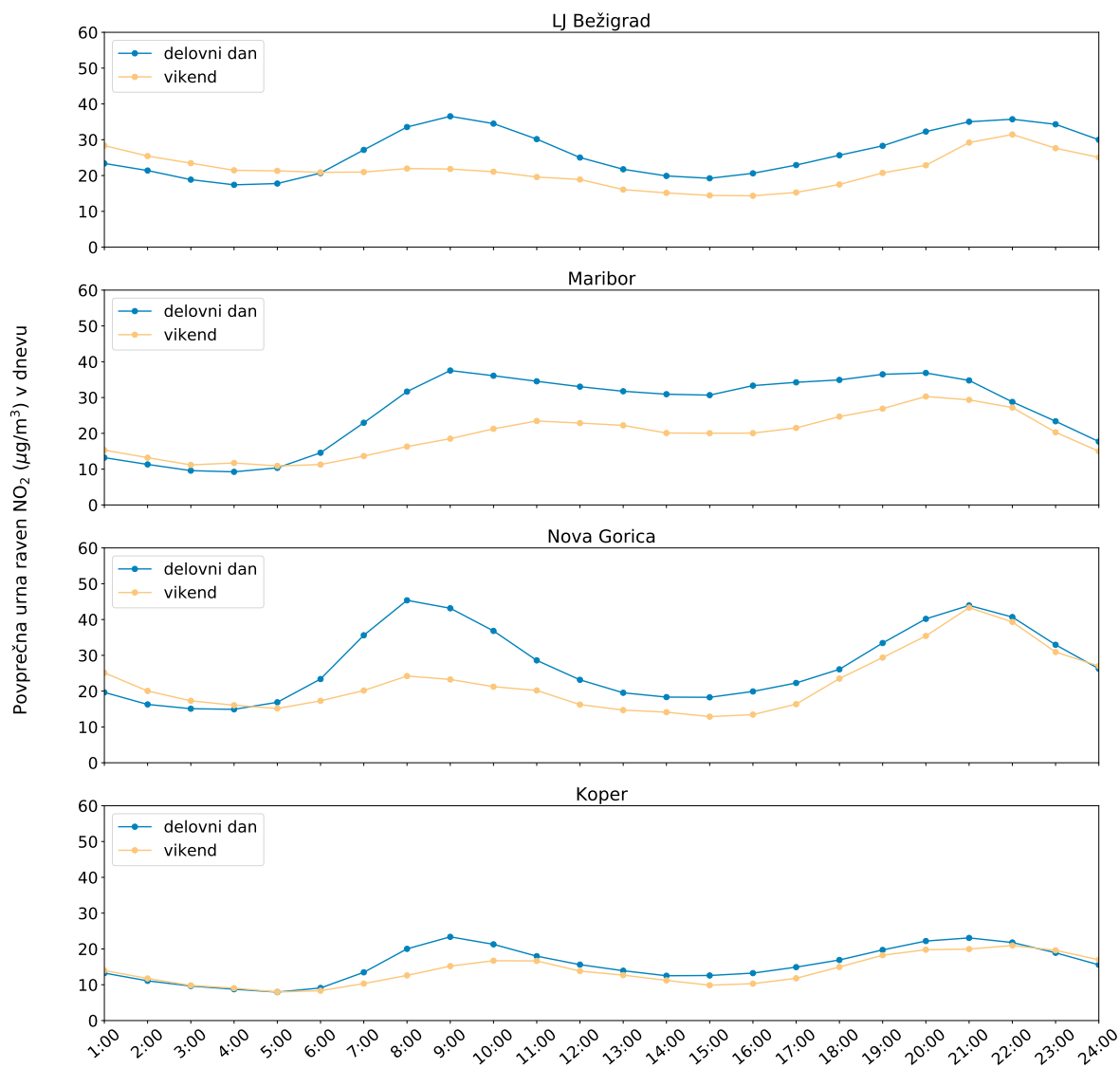
Slika 7.6: Mesečne ravni NO_x na merilnih mestih v urbanem in ruralnem okolju v letu 2019. Prikazani so najnižja in najvišja izmerjena raven (spodnja in zgornja vodoravna črtica), oba kvartila (vrh in dno pravokotnika) in mediana (rdeča vodoravna črtica v pravokotniku).

Tabela 7.6: Letne ravni NO₂ (µg/m³) v letih 2000-2019. Ravni, ki presegajo letno mejno vrednost so napisane v krepki pisavi.

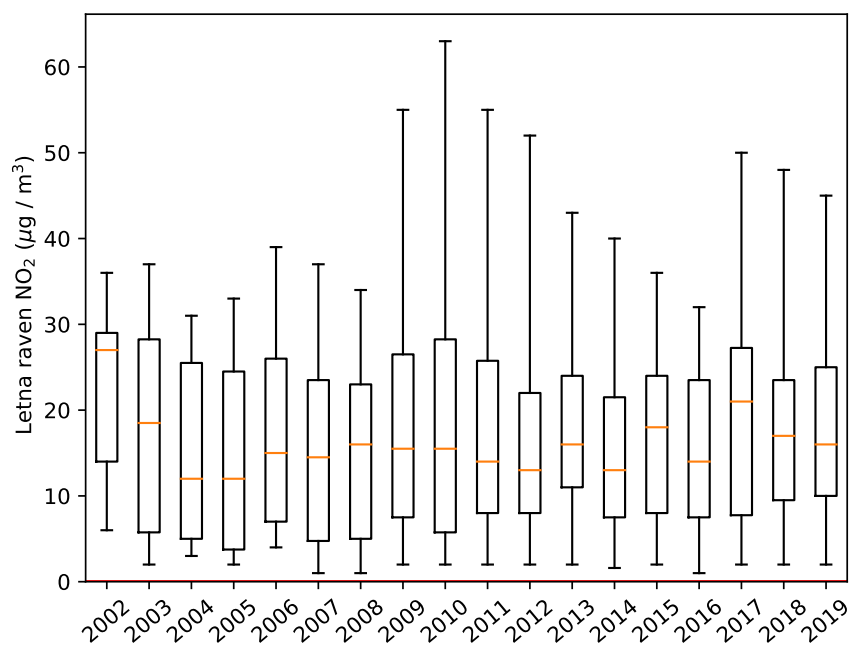
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
LJ Figovec	38	36	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
LJ Bežigrad	/	/	29	32	29	27	29	28	29	31	35	31	22	29	26	30	29	30	26	25
LJ Center	/	/	/	/	/	/	/	/	/	55	63	55	52	43	40	36	32	50	48*	45*
Maribor	44	38	36	37	31	33	39	37	34	32	34	34	33	32	30	31	27	27	22	25
MB Vrbanški	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	12	13	14	13	19	13	13	15	16
Celje	30	26	24	27	24	26	28	23	23	21	22	26	27	26	28	29	22	28	26	25
Tibovlje	28	/	28	32	27	24	23	22	23	17	20	17	17	16	17	18	18	21	16	19
Zagorje	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	23	20	25	24	25	20	20
Nova Gorica	/	/	27	27	25	24	24	25	30	28	29	28	26	25	19	22	24	30	25	26
Koper	/	/	/	/	/	/	/	/	21	19	21	22	18	21	17	17	15	18	18	15
MS Rakičan	/	/	14	15	11	14	15	17	16	14	/	16	19	16	12	13	12	21	12	13
Iskrba	/	/	/	2	3	2	/	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Zelena trava	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	8	16	12	18	/	/	/	/
Soštani	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	20	12
Zavodnje	7	6	/	6	5	3	4	3	3	4	5	9	10	8	7	7	5	6	5	5
Škale	8	6	/	8	9	5	9	8	8	9	8	8	8	9	7	8	9	8	7	6
Kovk	7	6	6	3	13	10	12	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	7	5
Vnainarje	4	5	6	5	5	4	5	5	5	4	4	7	8	8	7	9	9	9	17	/
CE Gaji	53	38	30	22	/	/	/	/	/	/	/	/	/	20	23	23	16	22	17	14

Opomba: Podatki za leta od 1992-2000 so na voljo v [20].

* Podatki so zaradi prevelikega izpada meritev informativnega značaja.



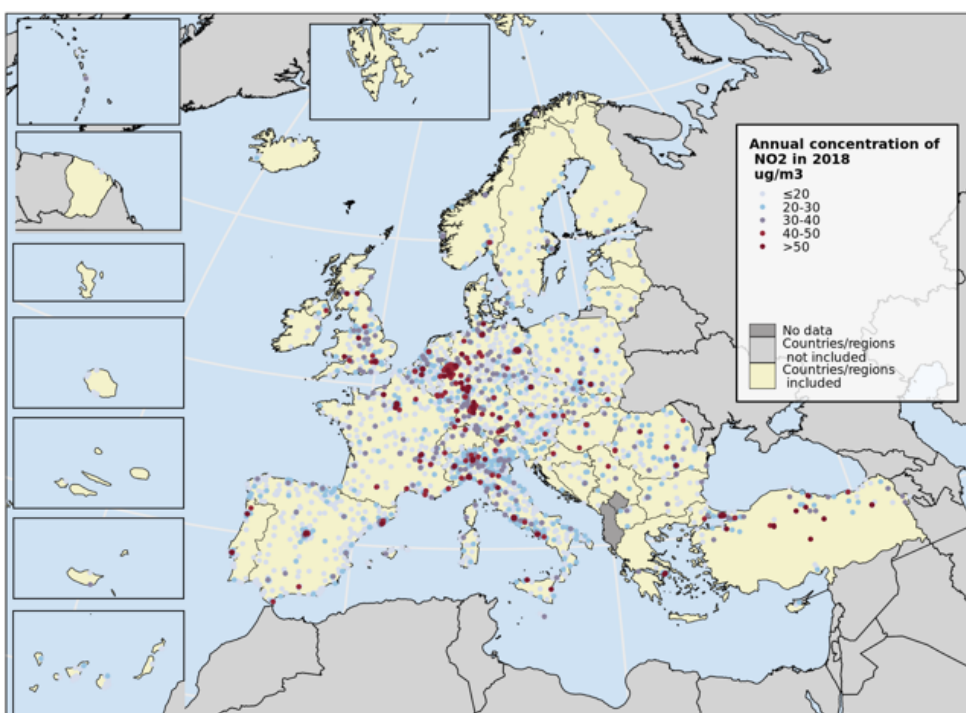
Slika 7.7: Dnevni potek povprečne urne ravni NO₂ na merilnih mestih v letu 2019



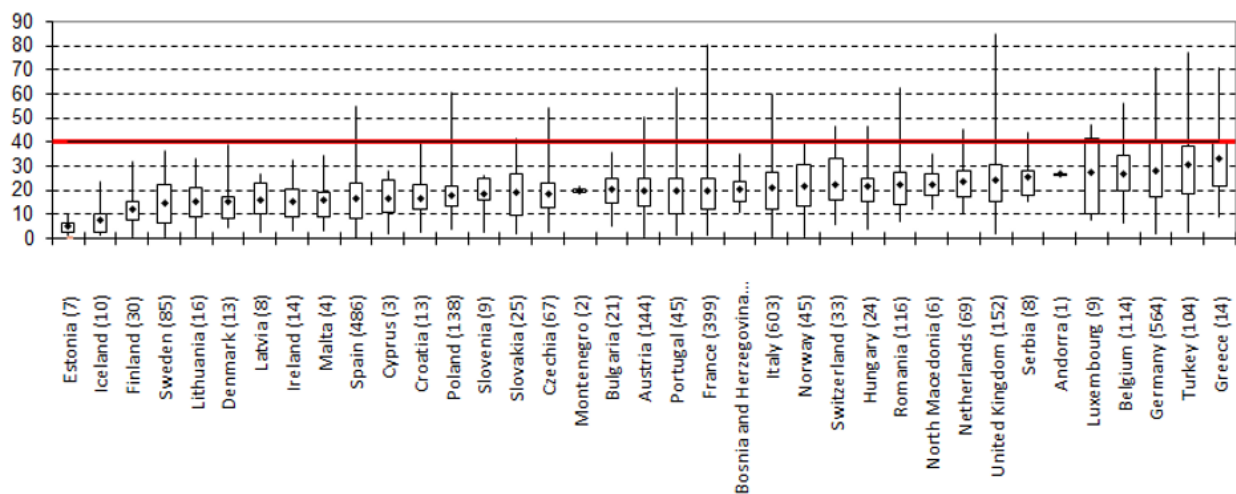
Slika 7.8: Letne ravni NO₂ na vseh merilnih mestih za posamezna leta. Prikazani so najnižja in najvišja izmerjena raven (spodnja in zgornja vodoravna črtica), oba kvartila (vrh in dno pravokotnika) in mediana (rdeča vodoravna črtica v pravokotniku).

7.4 Ravni onesnaženosti v EU

Letne ravni NO₂ so ponekod v državah EU še vedno presežene tudi v letu 2018 in to večinoma na prometnih merilnih mestih. V Sloveniji je bilo preseganje letne vrednosti že vse od začetka izvajanja meritev dušikovih oksidov zabeleženo le na merilnem mestu Ljubljana Center. Na sliki 7.9 so z rdečimi pikami označena merilna mesta, kjer je bilo zabeleženo preseganje mejne letne ravni NO₂. V Sloveniji ni rdeče pike, ker na EEA poročamo samo podatke iz merilne mreže DMKZ. Je pa v Evropi opaziti trend upadanja letne ravni NO₂ v obdobju 2009-2018 za približno 20%, odvisno od tipa merilnega mesta. Znižanje je posledica zmanjšanja skupnih izpustov NO_x. Preseganja urne mejne vrednosti so v državah EU v letu 2018 zabeležena le na nekaj postajah. Slovenija sodi med države z nižjo ravno onesnaženosti zraka z NO₂ (slika 7.10).



Slika 7.9: Prikaz letne ravni NO₂ v državah EU v letu 2018 [3]. Z barvo je prikazan razred, v katerega spada merilno mesto glede na povprečno letno raven.



Slika 7.10: Primerjava ravni onesnaženosti zraka z NO₂ v državah EU v letu 2018 [3]. Graf prikazuje povprečne letne ravni NO₂ na posameznih merilnih mestih po državah EU glede na letno mejno vrednost (rdeča črta). Prikazane so najnižja in najvišja izmerjena raven (konec spodnje in zgornje navpične črtice na vrhu in dnu pravokotnika), oba kvartila (vrh in dno pravokotnika) in povprečje letnih ravni (črna pika v pravokotniku) za posamezno državo. V oklepaju je pri državi navedeno število merilnih mest.

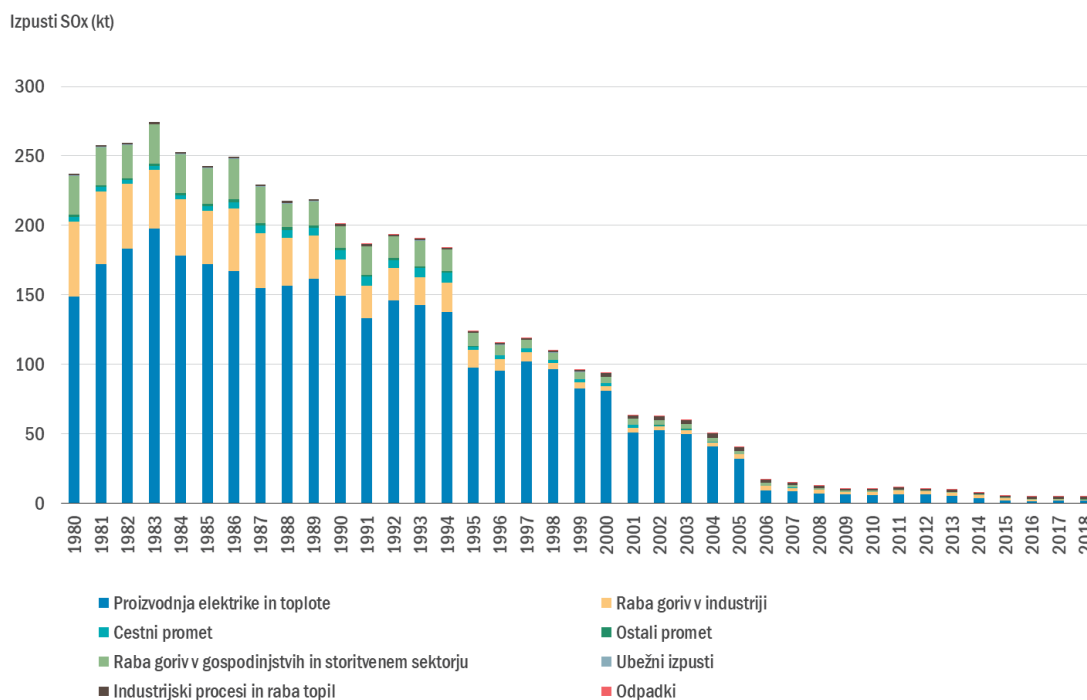
8. Žveplov dioksid

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

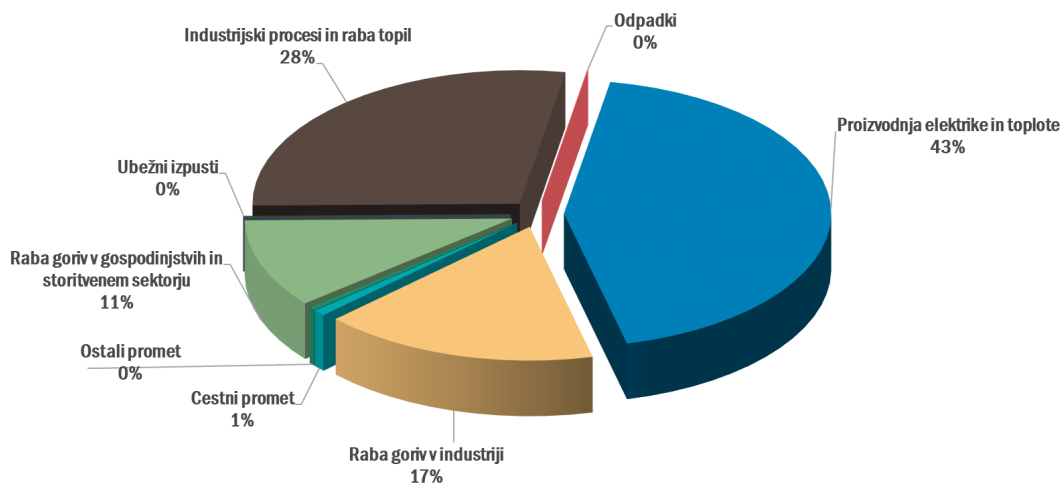
8.1 Izpusti

Največji viri žveplovih oksidov (SO_x) so proizvodnja električne in toplotne energije, industrijski procesi ter raba goriv v industriji, v preteklosti tudi raba premoga za ogrevanje gospodinjstev. Letni izpusti SO_x so v Sloveniji leta 2018 znašali 5 tisoč ton. V primerjavi z letom 1980 so se zmanjšali kar za 98 %. Največji, več kot tretjinski delež k skupnim izpustom SO_x , so v letu 2018 prispevale termoelektrarne in toplarne. Izpusti SO_x po posameznih virih so prikazani na sliki 8.1 in 8.2.

Slovenija izpolnjuje obveznosti iz Direktive (EU) 2016/2284 (t.i. direktive NEC) ([8]) in iz Protokola o zmanjševanju zakisljevanja, eutrofikacije in prizemnega ozona h Konvenciji CLRTAP (t.i. Goeteborškega protokola) ([12]). Skupni izpusti žveplovih oksidov so bili v letu 2018 za 82 % nižji od ciljne vrednosti (27 tisoč ton), ki glede na navedeno direktivo in protokol ne sme biti presežena od leta 2010 dalje. Slovenija prav tako izpolnjuje zahteve iz Protokola o nadaljnjem zmanjševanju emisij žvepla h Konvenciji CLRTAP ([12]). Izpusti žveplovih oksidov se podajajo kot vsota vseh žveplovih oksidov, izraženih kot SO_2 .



Slika 8.1: Izpusti SO_x v Sloveniji po letih in virih



Slika 8.2: Izpusti SO_x v Sloveniji po virih v letu 2018

8.2 Zahteve za kakovost zraka

V Uredbi o kakovosti zunanjega zraka [9] sta predpisani mejni in alarmna vrednost za zaščito zdravja ter kritični vrednosti za zaščito vegetacije. Prikazane so v tabeli 8.1.

Tabela 8.1: Mejni, kritični in alarmna vrednost za žveplov dioksid [9], ter smernice WHO [1]

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

8.3 Ravni onesnaženosti

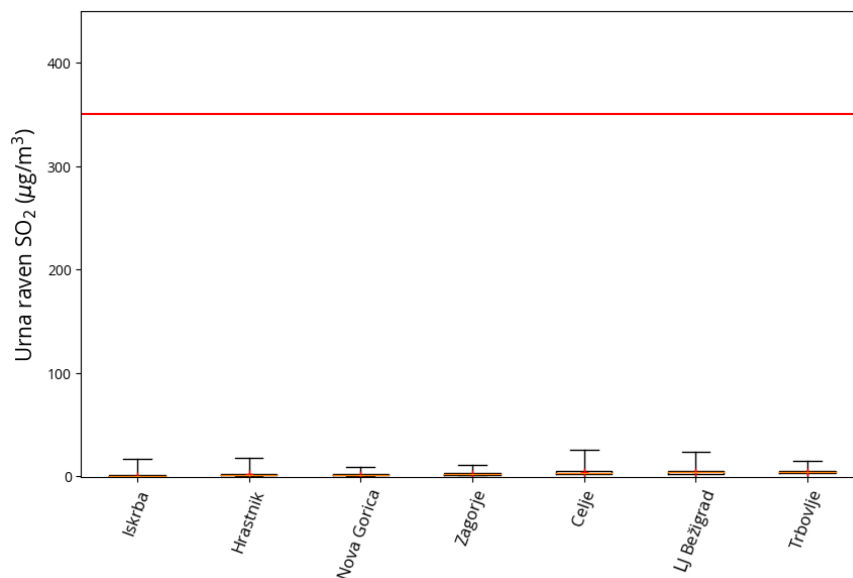
Urne, dnevne in letne ravni SO_2 so že več let na vseh merilnih mestih pod mejno in kritično vrednostjo tako za varovanje zdravja kot tudi za varovanje rastlin. Mejna urna vrednost SO_2 v letu 2019 ni bila presežena na nobenem merilnem mestu. Le okrog Termoelektrarne Šoštanj so bile nekajkrat izmerjene povišane ravni SO_2 . Preseganje mejne dnevne vrednosti v letu 2019 ni bilo zabeleženo na nobenem merilnem mestu. V okolici Termoelektrarne Šoštanj je občasno zabeleženo preseganje dnevne vrednosti, ki jo priporoča WHO [1]. Podatki so zbrani v tabelah 8.2 do 8.5.

Tabela 8.2: 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 preseženih dnevni (>MV) in urnih mejnih vrednosti (>MV) ter alarmnih vrednosti (>AV) in število presežene dnevne vrednosti, ki jo priporoča WHO [1], v letu 2019.

Merilno mesto	%pod	Leto	Zima	1 ura		3 ure	1 dan		WHO
		C_p	C_p	C_{max}	>MV	>AV	C_{max}	>MV	
LJ Bežigrad	96	4	5	23	0	0	10	0	0
Celje	98	4	4	26	0	0	11	0	0
Trbovlje	98	4	4	15	0	0	10	0	0
Zagorje	100	3	4	11	0	0	5	0	0
Hrastnik*	74	2	3	18	0	0	5	0	0
Iskrba	93	0,7	0,9	17	0	0	5	0	0
Dopolnilna merilna mreža									
OMS - MOL									
LJ Center	85	5	3	20	0	0	16	0	/
MO Celje									
CE Gaji	99	8	5	34	0	0	20	0	/
TE Šoštanj									
Šoštanj	100	3	2	39	0	0	10	0	/
Topolšica	99	3	4	28	0	0	9	0	/
Zavodnje	99	4	4	347	0	0	57	0	/
Veliki vrh	100	3	5	93	0	0	13	0	/
Graška gora	97	4	4	238	0	0	33	0	/
Velenje	100	3	4	22	0	0	6	0	/
Pesje	99	4	3	21	0	0	14	0	/
Škale	99	5	5	108	0	0	12	0	/
TE Brestanica									
Sv. Mohor	98	6	6	27	0	0	12	0	/

* Podatki so informativnega značaja zaradi prevelikega izpada meritev.

Raven onesnaženosti zunanjega zraka z SO_2 se je od začetka meritev leta 1992 do leta 2019 močno znižala. Podatki do leta 2000 so na voljo v poročilih o Kakovosti zraka v Sloveniji pred letom



Slika 8.3: Urne ravni SO₂ na merilnih mestih DMKZ v letu 2019. 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.

2018. Letna raven, najvišja dnevna raven in najvišja urna raven po letu 2000 za posamezna merilna mesta so podane v tabelah 8.6, 8.7 in 8.8. Vsi podatki od leta 1992 so prikazani na sliki 8.4. Znatno znižanje letnih ravni (slika 8.4 in tabela 8.6) je posledica zmanjšanja izpustov (slika 8.1). 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 8.4). Konec leta 2014 je z obratovanjem prenehala Termoelektrarna Trbovlje in v maju 2017 so se zaključile meritve onesnaženosti zraka v okolici.

Tabela 8.3: Mesečna raven SO₂ (µg/m³) v letu 2019

	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
LJ Bežigrad	7	5	2	3	5	3	3	3	5	3	4	4
Celje	4	3	6	3	5	3	5	5	4	2	3	3
Trbovlje	5	5	5	5	6	4	3	3	4	4	4	4
Zagorje	3	3	3	4	3	3	1	1	1	2	3	3
Hrastnik*	2	2	1	1	1	1	1	2	3	/	/	/
Iskrba	0,6	0,8	0,6	0,6	0,5	1	0,7	1	0,7	0,7	0,7	0,6
Šoštanj	2	3	2	3	3	2	3	3	2	3	3	2
Topolščica	4	6	4	3	4	3	4	2	2	2	3	2
Zavodnje	4	4	4	4	2	5	5	5	4	3	1	3
Veliki vrh	4	4	3	2	2	2	3	4	3	2	1	2
Graška gora	4	4	4	4	4	5	6	2	3	4	4	4
Velenje	3	3	3	5	2	1	4	4	1	3	4	3
Pesje	2	3	3	4	6	3	5	7	3	3	3	3
Škale	6	5	5	6	5	6	5	7	5	5	2	3
Sv. Mohor	5	6	6	6	7	8	7	6	4	4	4	4
Lj Center	9	4	3	4	3	3	6	7	5	4	4	4
CE Gaji	8	6	5	10	11	9	5	4	6	13	12	9

* Podatki so informativnega značaja zaradi prevelikega izpada meritev.

Tabela 8.4: Najvišja urna raven SO₂ (µg/m³) po mesecih v letu 2019

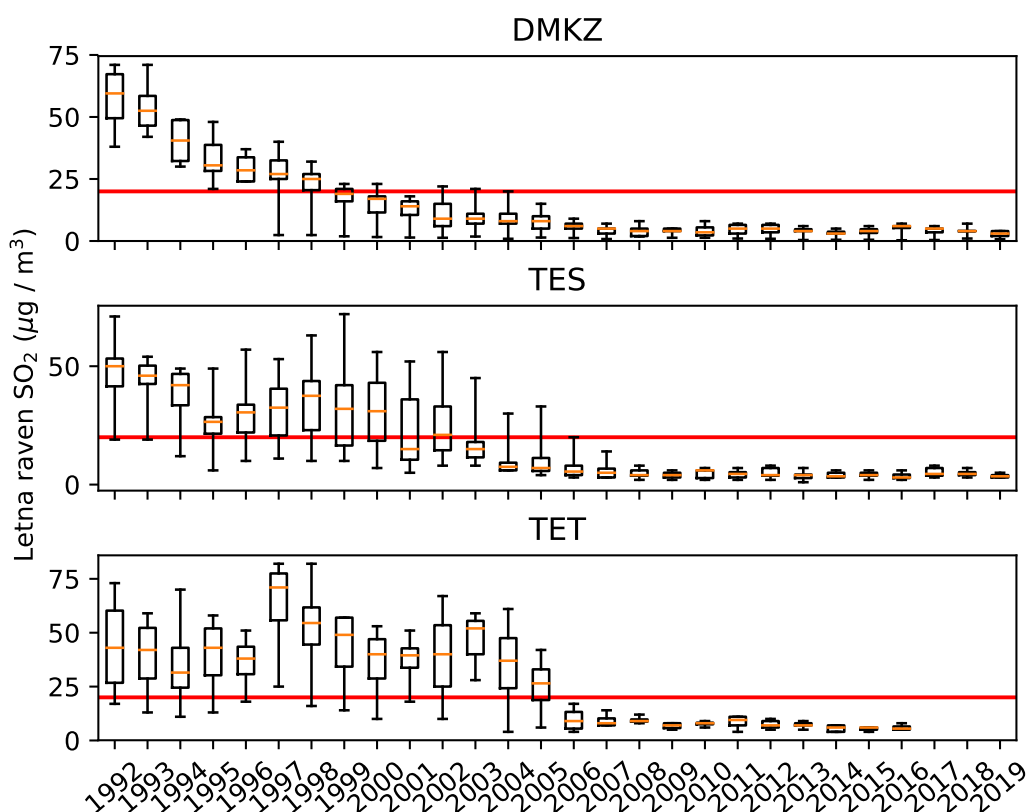
	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
LJ Bežigrad	16	23	12	13	10	11	10	7	7	15	15	14
Celje	16	26	18	20	9	12	12	12	13	12	10	11
Trbovlje	11	10	10	12	15	7	7	6	10	9	11	10
Zagorje	7	7	5	7	9	7	3	6	4	4	11	5
Hrastnik*	10	11	18	5	11	5	4	5	9	/	/	/
Iskrba	17	11	10	6	5	12	8	13	12	7	4	3
Šoštanj	11	38	21	11	11	34	24	21	13	39	21	39
Topolščica	12	20	13	8	13	15	13	21	28	9	7	28
Zavodnje	75	21	12	261	16	28	16	347	22	117	9	330
Veliki vrh	93	23	16	15	11	14	23	74	22	19	11	33
Graška gora	22	29	9	71	9	19	17	18	238	190	10	238
Velenje	9	11	8	8	7	14	7	8	22	7	8	22
Pesje	8	17	9	10	14	16	14	21	15	15	13	15
Škale	14	27	14	16	16	23	22	28	11	108	13	108
Sv. Mohor	11	13	13	9	13	17	11	10	12	8	18	27
Lj Center	20	19	7	6	6	5	11	8	8	6	5	8
CE Gaji	17	25	30	29	34	28	31	22	20	22	24	28

* Podatki so informativnega značaja zaradi prevelikega izpada meritev.

Tabela 8.5: Najvišja dnevna raven SO₂ (µg/m³) po mesecih v letu 2019

	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
LJ Bežigrad	9	10	5	5	6	5	5	5	6	5	6	6
Celje	7	7	10	11	8	5	8	7	7	7	6	5
Trbovlje	8	8	7	8	10	6	6	5	9	7	7	7
Zagorje	4	4	4	5	5	3	1	2	2	2	4	4
Hrastnik*	5	4	2	2	3	2	2	3	4	/	/	/
Iskrba	5	3	2	2	1	4	2	2	2	2	2	2
Šoštanj	4	8	8	5	4	7	7	7	3	8	5	10
Topolšica	5	8	7	5	8	5	7	5	9	5	5	9
Zavodnje	16	8	7	25	4	11	8	57	7	21	3	21
Veliki vrh	13	12	13	9	4	6	7	12	5	5	4	7
Graška gora	10	7	6	11	6	8	9	5	33	26	6	33
Velenje	5	6	4	6	6	5	6	5	3	4	6	6
Pesje	5	7	8	9	10	7	8	14	11	4	6	11
Škale	10	9	9	9	11	12	12	10	8	12	5	12
Sv. Mohor	7	7	8	7	9	12	7	8	5	6	6	10
LJ Center	16	15	3	4	4	4	7	7	6	5	4	6
GE Gaji	12	12	8	14	16	12	12	8	12	17	20	20

* Podatki so informativnega značaja zaradi prevelikega izpada meritev.



Slika 8.4: Letne ravni SO₂ na merilnih mestih DMKZ in merilnih mestih v okolici TEŠ in TET za posamezna leta. Prikazani so najnižja in najvišja izmerjena raven (spodnja in zgornja vodoravna črtica), oba kvartila (vrh in dno pravokotnika) in mediana (rdeča vodoravna črtica v pravokotniku). Rdeča črta prikazuje letno kritično vrednost.

Tabela 8.6: Letne ravni SO₂ (µg/m³) za obdobje 2000-2019. Ravni, 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
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
LJ Center	/	/	/	/	/	/	/	/	/	6	5	4	4	2	2	2	2	2	1	5
Maribor	13	10	8	9	8	8	5	3	2	5	/	3	4	/	/	/	/	/	/	/
Celje	17	15	10	10	11	9	7	5	5	5	6	6	7	4	3	5	6	6	7	4
Trbovlje	18	14	15	16	9	15	7	3	2	5	3	7	7	4	4	6	7	5	4	4
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
Nova Gorica	/	/	6	7	7	7	7	7	8	4	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
MS Rakičan	/	/	5	5	5	5	6	5	6	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Iskrba	1,6	1,4	1,3	1,8	0,9	1,4	1,2	0,8	1,8	1,3	1,3	1	0,9	0,4	0,5	0,5	0,3	0,4	1,0	0,7
Šoštanj	52	51	43	24	13	11	8	9	6	4	7	5	7	4	5	4	2	3	3	3
Topolšica	18	11	15	16	6	5	4	3	2	3	3	3	3	2	3	5	3	5	4	3
Veliki vrh	56	52	56	45	30	33	20	14	8	5	6	6	7	4	4	4	3	4	7	3
Zavodnje	31	21	23	15	8	12	8	6	3	6	6	4	4	5	3	2	2	3	4	4
Velenje	7	5	8	8	6	4	5	3	4	2	2	3	4	1	3	3	3	3	4	3
Graška gora	34	15	21	10	6	6	6	5	4	3	2	2	2	3	3	4	4	4	7	4
Pesje	/	/	/	15	7	6	4	5	6	4	6	5	4	4	5	6	6	7	6	4
Škale	19	10	14	12	8	8	3	3	4	5	6	7	8	7	6	5	5	8	5	5
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	/	/	/	/
Vnajarje	6	7	8	10	/	8	4	4	3	/	3	3	3	3	6	4	3	6	/	/
OE Gaji	20	6	/	8	5	3	1	/	/	/	/	/	/	6	5	5	4	5	6	8
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

* Podatki so informativnega značaja zaradi prevelikega izpada meritev.

Opomba: Podatki za leta od 1992-2000 so na voljo v [20].

Tabela 8.7: Najvišje urne ravni SO₂ (µg/m³) za obdobje 2000–2019. 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
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
LJ center	/	/	/	/	/	/	/	/	/	78	22	33	37	20	28	28	22	14	10	20
Marbor	117	180	89	70	64	58	60	21	32	35	64	68	56	/	/	/	/	/	/	/
Celle	379	666	224	619	396	157	90	76	82	37	64	210	89	43	41	36	36	40	62	26
Trbovlje	634	552	811	758	521	848	379	264	65	76	52	90	87	40	44	22	23	26	21	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	35	11
Nova Gorica	/	/	64	131	89	98	80	64	35	52	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
MS Rakičan	/	/	58	55	45	53	54	64	49	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Iskrba	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	28
Šoštani	2855	2099	2000	1392	937	642	1028	643	360	342	1357	124	485	216	333	396	75	47	61	39
Topoliščica	987	835	1350	812	291	284	288	144	211	118	52	130	92	92	90	52	35	44	166	28
Veliki vrh	1678	1569	1450	1320	1329	1110	771	535	561	344	269	636	887	415	301	143	148	237	297	93
Zavodnje	1187	954	1536	947	680	1106	731	252	164	577	98	433	150	388	96	274	86	103	219	347
Velenje	563	187	725	361	164	210	86	87	151	37	110	89	93	60	19	140	24	15	25	22
Graška gora	1505	990	1024	824	463	497	175	509	242	345	106	148	107	53	76	57	127	60	188	238
Pesje	/	/	/	495	198	256	162	118	192	51	81	81	75	96	75	184	63	39	37	21
Škale	/	/	522	396	220	262	184	100	161	104	81	190	131	67	75	230	61	47	42	108
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	/	1210	1203	11	125	89	60	99	66	192	115	115	48	39	94	/	/	/
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	/	/	/	/
Vrajinje	/	374	248	232	327	212	115	115	52	45	85	75	63	101	47	58	64	/	/	/
CE Gaji	356	355	289	74	222	67	/	/	/	/	/	/	55	474	37	136	49	38	34	/
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	27

* Podatki so informativnega značaja zaradi prevetkega izpada meritev.

Opomba: Podatki za leta od 1992-2000 so na voljo v [20].

Tabela 8.8: Najvišje dnevne ravni SO₂ (µg/m³) za obdobje 2000–2019. Ravni, ki presegajo mejno vrednost, so napisane v krepki pisavi.

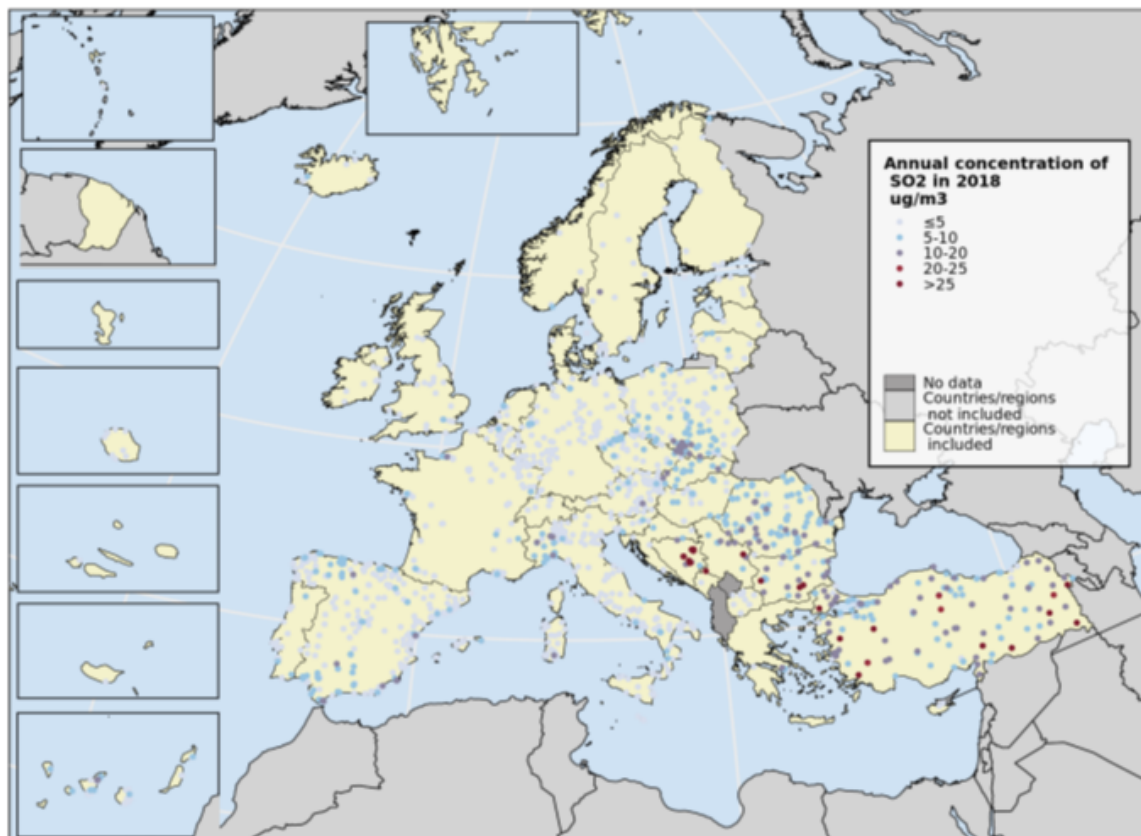
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
LJ Figovec	56	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
LJ Bežigrad	67	35	38	59	38	33	41	14	14	36	/	19	25	13	19	14	21	17	15	10
LJ center	/	/	/	/	/	/	/	/	/	33	14	14	20	6	11	11	6	7	3	16
Maribor	75	36	37	35	22	31	24	11	22	28	12	19	27	/	/	/	/	/	/	/
Celje	165	102	111	72	100	44	35	15	20	22	26	22	34	15	23	12	15	15	20	11
Trbovlje	134	246	328	100	84	129	43	23	19	19	18	29	35*	15	16	16	19	14	12	10
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	26	13	21	9	12	21	12	5
Nova Gorica	/	/	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
Šoštanj	560	526	553	288	165	116	308	78	54	33	85	28	44	41	25	33	16	16	19	10
Topolšiča	255	85	254	82	102	42	29	22	26	19	10	13	12	12	15	17	9	10	13	9
Veliki vrh	383	269	344	413	263	191	106	72	101	42	28	42	51	37	29	25	23	37	33	57
Zavodnje	344	140	442	182	72	221	85	49	40	69	22	32	18	51	14	22	15	22	43	57
Velenje	60	54	57	66	64	27	24	26	22	10	14	15	13	5	9	14	12	9	10	6
Graška gora	343	126	196	88	99	59	55	72	30	27	17	19	15	14	13	15	16	19	23	33
Pesje	/	/	/	82	55	31	32	29	31	14	25	19	24	18	17	34	15	13	20	14
Škale	139	68	131	75	55	66	41	33	19	23	25	24	29	25	19	28	14	17	21	12
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	30	19	14	24	28	/	/	/
Ravenska vas	353	601	580	325	824	490	120	55	67	42	38	72	38	30	25	19	17	/	/	/
Zelena trava	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	28	26	31	12	/	/	/	/
Vnajnarje	49	56	53	51	83	57	42	42	22	/	20	28	16*	16	21	14	12	31	/	/
OE Gaji	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

* Podatki so informativnega značaja zaradi prevetnega izpada meritev.

Opomba: Podatki za leta od 1992-2000 so na voljo v [20].

8.4 Ravni onesnaženosti v EU

Ravni SO₂ so v državah EU nizke in precej pod mejnimi vrednostmi za zaščito zdravja. V letu 2018 so bile le na 16 postajah v državah EU višje od mejne dnevne vrednosti in le na 13 postajah višje od mejne urne vrednosti. Še vedno pa so ravni pogosto višje od smernic WHO (20μg/m³) [1]. V Sloveniji so bila v letu 2018 presežena priporočila WHO le na merilnih mestih okrog Termoelektrarne Šoštanj, kjer se občasno še vedno pojavljajo povišane ravni SO₂, drugod v Sloveniji pa so ravni SO₂ nižje. Na sliki 8.5 so prikazane letne ravni SO₂ na posameznih merilnih mestih v državah EU.



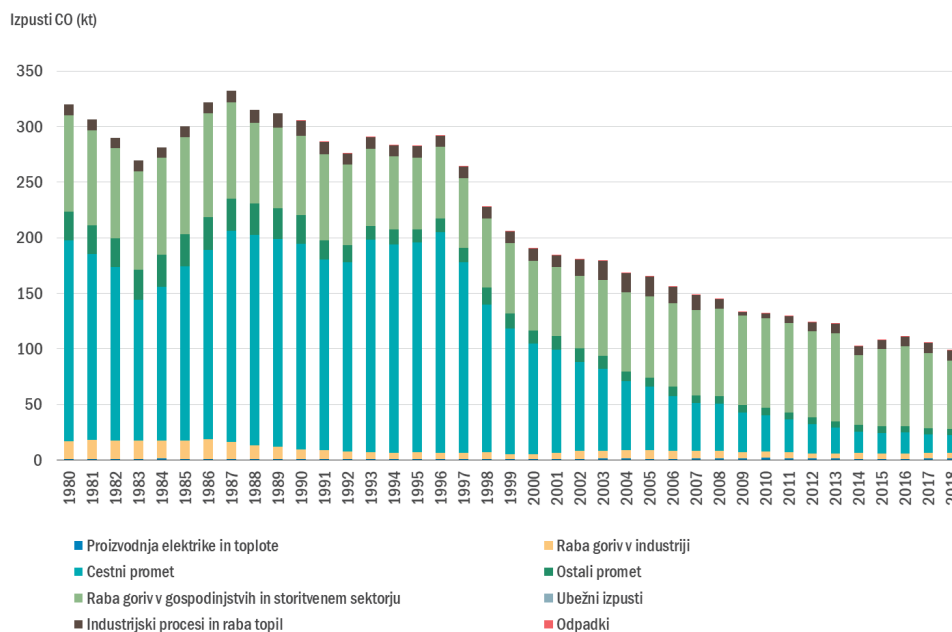
Slika 8.5: Letne ravni SO₂ v letu 2018 [3]

9. Ogljikov monoksid

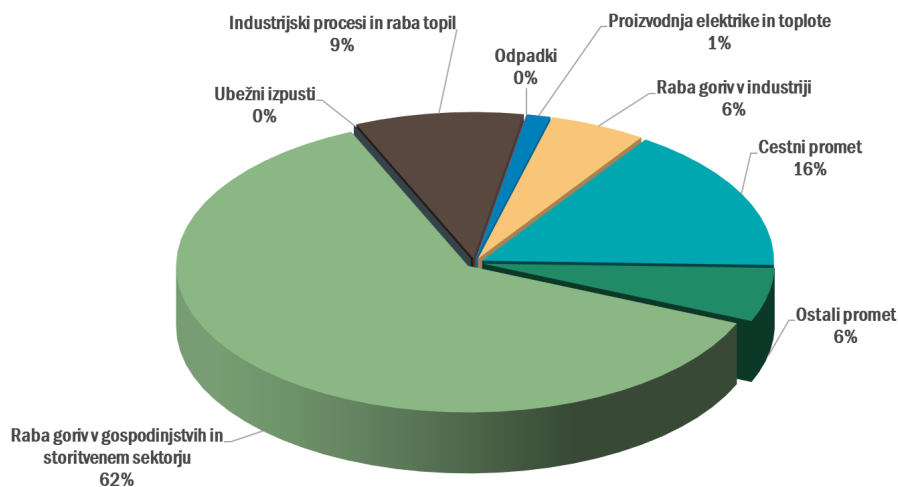
Ogljikov monoksid (CO) je plin brez barve, vonja in okusa. To pomeni, da ga s človeškimi čutili ne moremo videti, okusiti ali vonjati. CO je toksičen, lahko povzroči glavobol in v velikih količinah celo smrt. Nastaja zaradi nepopolnega zgorevanja v kuriščih in motorjih z notranjim izgorevanjem ter pri tehnoloških procesih v industriji. Raven onesnaženosti zunanjega zraka s CO je na merilnih mestih DMKZ že nekaj let pod mejno vrednostjo za varovanje zdravja (tabela 9.1).

9.1 Izpusti

Letni izpusti CO so v Sloveniji leta 2018 znašali 99 tisoč ton. V obdobju 1980-2018 so se zmanjšali za 69 % (slika 9.1). Največji, skoraj dvotretjinski delež k skupnim izpustom CO, je v letu 2018 prispevala raba goriv v gospodinjstvih in storitvenem sektorju (slika 9.2). V preteklosti je večinski delež izpustov CO izhajal iz prometa. Sedaj zaradi napredka tehnologije bencinskih motorjev in uvedbe katalizatorjev glavni delež prispevajo mala kurišča, predvsem zaradi uporabe trdih goriv v zastarelih kotlih in pečeh.



Slika 9.1: Letni izpusti ogljikovega monoksida po sektorjih v Sloveniji



Slika 9.2: Izpusti ogljikovega monoksida po sektorjih v Sloveniji v letu 2018

9.2 Zahteve za kakovost zraka

V Uredbi o kakovosti zunanjega zraka [9] je predpisana mejna vrednost za zaščito zdravja, in sicer kot 8-urna mejna vrednost. Mejna vrednost ter smernice WHO so prikazane v tabeli 9.1.

Tabela 9.1: Mejna vrednost za ogljikov monoksid [9], ter smernice WHO [1]

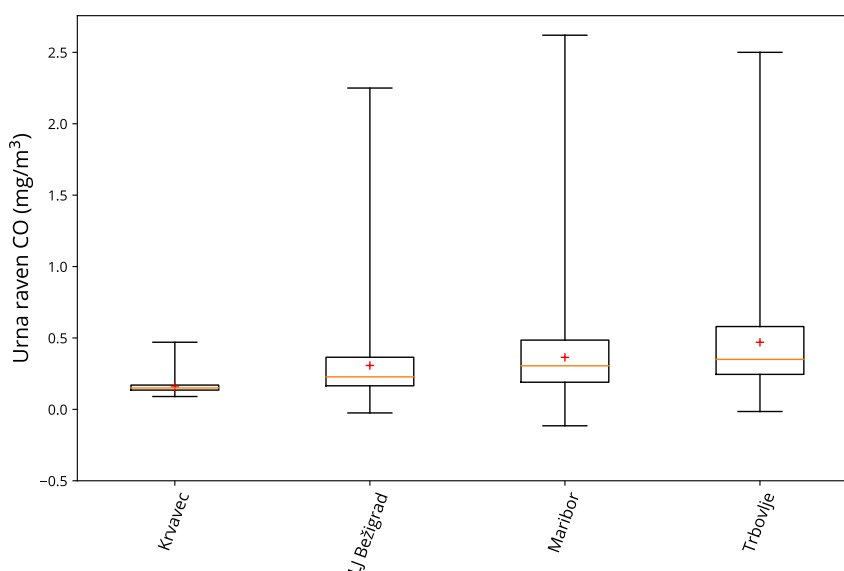
	Cilj	Čas merjenja	Vrednost	WHO
Mejna vrednost	Zdravje	maksimalna dnevna 8-urna povprečna vrednost	10 mg/m ³	10 mg/m ³
		1 ura		30 mg/m ³

9.3 Ravni onesnaženosti

Ravni ogljikovega monoksida so na območju Slovenije zelo nizke, zato ga merimo le na štirih merilnih mestih. V letu 2019 so bile ravni onesnaženosti na vseh merilnih mestih precej pod mejno vrednostjo (tabela 9.2 in slika 9.3). Na urbanih merilnih mestih so ravni nekoliko višje kot na neurbanem merilnem mestu Krvavec. Z meritvami CO na Krvavcu spremljamo ozadje onesnaženosti, zato so tam koncentracije zelo nizke. Sicer pa na občasno povišanje ravni CO na Krvavcu vpliva, poleg kratkotrajnih neposrednih izpustov (kurjenje v bližini, delovanje agregata, vožnja teptalnih strojev za sneg ipd.), tudi dotok onesnaženega zraka iz Ljubljanske kotline. V zadnjih desetih letih so najvišje dnevne 8-urne povprečne vrednosti celo pod spodnjim ocenjevalnim pragom. Na vseh merilnih mestih so ravni pod priporočenimi vrednostmi svetovne zdravstvene organizacije že več let.

Tabela 9.2: Razpoložljivost podatkov (% pod), letna raven (C_p) in najvišja 8-urna raven (C_{max}) v mg/m³, število preseženih mejnih vrednosti (MV) in smernic WHO v letu 2019.

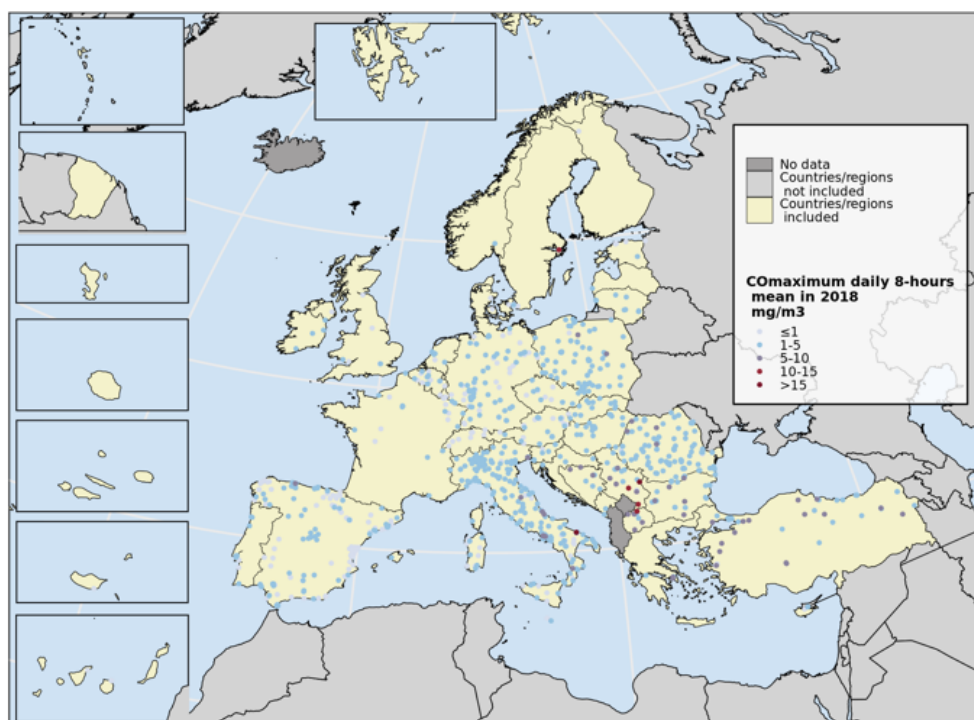
	Leto	8 ur	1 ura		
	% pod	C_p	C_{max}	MV	WHO
LJ Bežigrad	98	0,3	1,7	0	0
Maribor	96	0,4	2,2	0	0
Trbovlje	97	0,5	2,3	0	0
Krvavec	94	0,2	0,3	0	0



Slika 9.3: Urna raven CO na merilnih mestih DMKZ v letu 2019. 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.

9.4 Ravni onesnaženosti v EU

V vseh državah EU je raven onesnaženosti zraka z ogljikovim monoksidom nizka. Najvišje ravni so izmerjene ob prometnih konicah v urbanih področjih in v bližini industrijskih naprav. Ko so ravni CO pod spodnjim ocenjevalnim pragom ($5\text{mg}/\text{m}^3$), meritve niso več obvezne, temveč lahko raven onesnaženosti zraka z ogljikovim monoksidom ocenimo z modelskimi rezultati ali objektivno oceno. V letu 2018 je bila ta raven dosežena skoraj na vseh merilnih mestih v državah EU.



Slika 9.4: Raven onesnaženosti zraka z ogljikovim monoksidom v letu 2018 [3]. Prikazana je maksimalna 8-urna raven ogljikovega monoksida v državah EU.

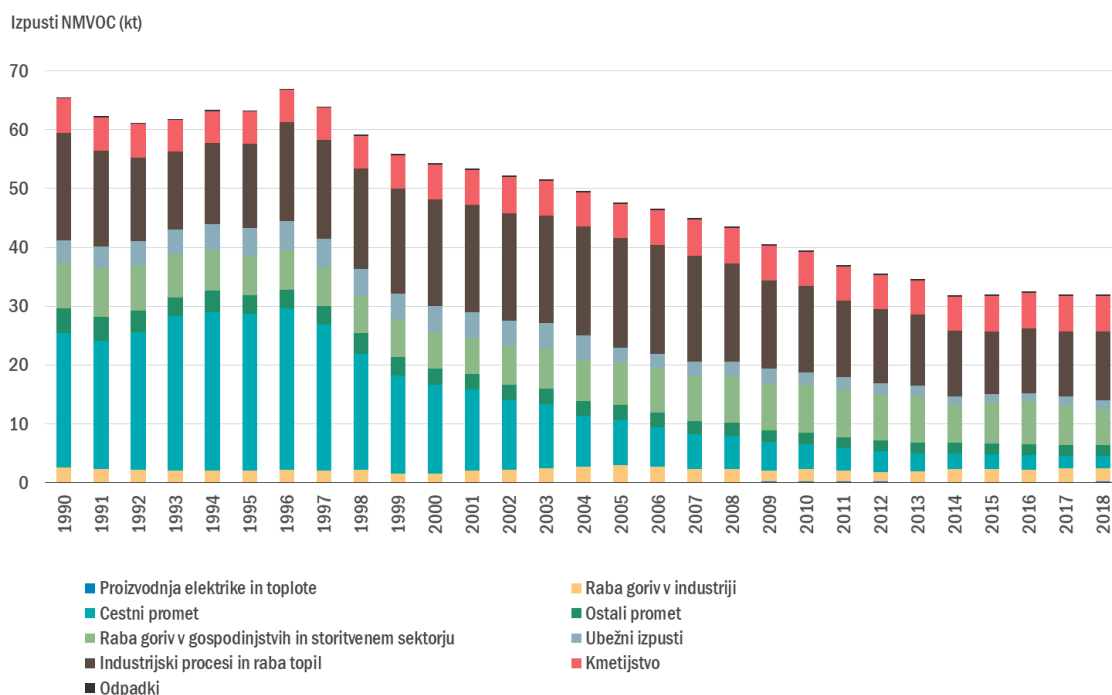
10. Benzen

Benzen je aromatska spojina s formulo C_6H_6 . Je bistra, brezbarvna, lahko hlapna in zelo vnetljiva tekočina. Spada med nemetanske hlapne organske snovi - 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.

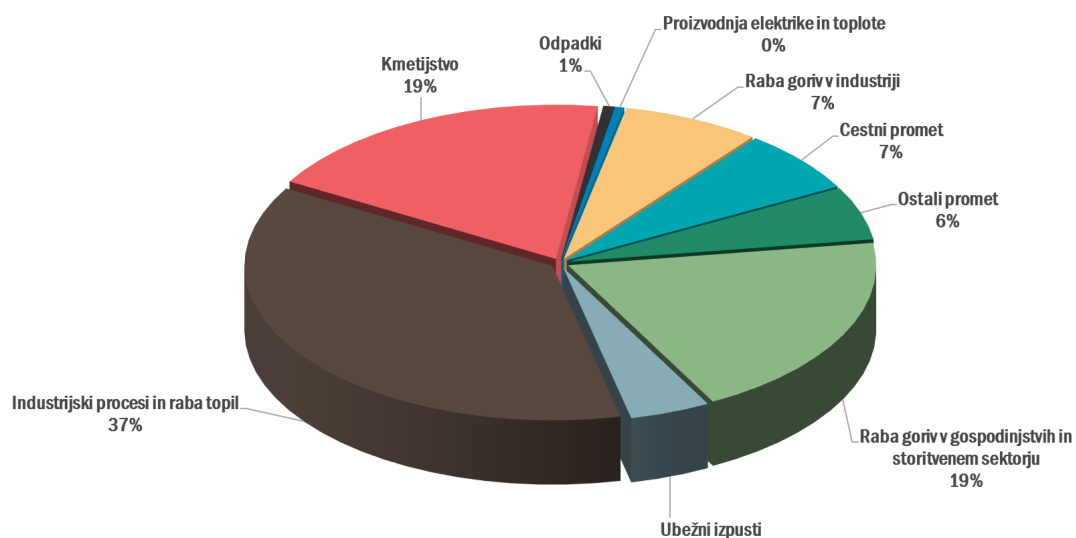
Benzen je dokaj stabilna spojina, ki lahko v ozračju ostane več dni in se zato lahko prenaša na daljše razdalje. V tem času se iz ozračja izloča s pomočjo fotokemičnih reakcij, ki vodijo do tvorbe ozona. Glavni vir izpustov benzena je promet. Benzen se namreč uporablja kot ena izmed sestavin bencina. 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 cigaretnem dimu.

10.1 Izpusti

Benzen v državnih evidencah onesnaževal zraka ne nastopa kot samostojno onesnaževalo. Izpusti benzena so zajeti med izpuste vseh nemetanskih hlapnih organskih snovi (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 goriva pri njegovem prečrpanju. Danes znaten del izpustov NMVOC prispevajo male kurilne naprave in sicer zaradi nepopolnega zgorevanja v zastarelih kurilnih napravah na les. Izpusti NMVOC po glavnih kategorijah sektorjev so prikazani na slikah 10.1 in 10.2.



Slika 10.1: Letni izpusti nemetanskih hlapnih organskih snovi po sektorjih v Sloveniji.



Slika 10.2: Izpusti nemetanskih hlapnih organskih snovi po sektorjih v Sloveniji v letu 2018.

10.2 Zahteve za kakovost zraka

Mejna vrednost za benzen je predpisana v Uredbi o kakovosti zunanjega zraka [9]. Prikazana je v tabeli 10.1. WHO priporočilo znaša $1,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Tabela 10.1: Mejna vrednost za benzen.

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

10.3 Ravni onesnaženosti

V okviru merilne mreže DMKZ stalno merimo ravni benzena na merilnih mestih Ljubljana Bežigrad in Maribor Center. Poleg teh dveh merilnih mest objavljamo tudi podatke o ravneh benzena iz dveh merilnih mest iz dopolnilne merilne mreže: Ljubljana Center in Medvode. Izmerjene ravni so prikazane v tabeli 10.2.

V letu 2019 smo zastarel merilnik na merilnem mestu Maribor zamenjali z novim. Pred in po zamenjavi smo imeli težave z njegovim delovanjem, zato je izpleten podatkov le 30% in je v tabeli 10.2 podatek za Maribor označen z zvezdico.

Povprečne letne vrednosti benzena so bile na vseh merilnih mestih tako kot že vsa leta prej pod mejno vrednostjo. Najvišja povprečna letna raven benzena je bila izmerjena na prometnem merilnem mestu Ljubljana Center in je znašala $2,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, kar je manj kot polovica predpisane mejne letne vrednosti. Prometno merilno mesto Ljubljana Center je zelo obremenjeno z izpusti iz prometa, zato je tu pričakovati višje ravni benzena kot na lokacijah mestnega ozadja.

Ravni benzena so na vseh postajah višje v zimskem obdobju, kar je posledica slabših pogojev za razredčevanje v hladni polovici leta in tudi povečanih izpustov iz individualnih kurišč. Pri dnevnem hodu opazimo rahlo višje ravni benzena v času jutranje prometne konice in zvečer (slika 10.3).

Tabela 10.3 in slika 10.4 prikazujeta primerjavo ravni benzena po letih. Po letu 2009 je v Mariboru zaznati padec ravni benzena, ker se je zaradi izgradnje obvoznice v tem letu znatno zmanjšal promet v neposredni okolici merilnega mesta.

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

	% pod.	C_p
LJ Bežigrad	95	1,1
Maribor	30	1,5*
LJ Center	84	2,2
Medvode	95	1,2

* Merilnik v okvari.

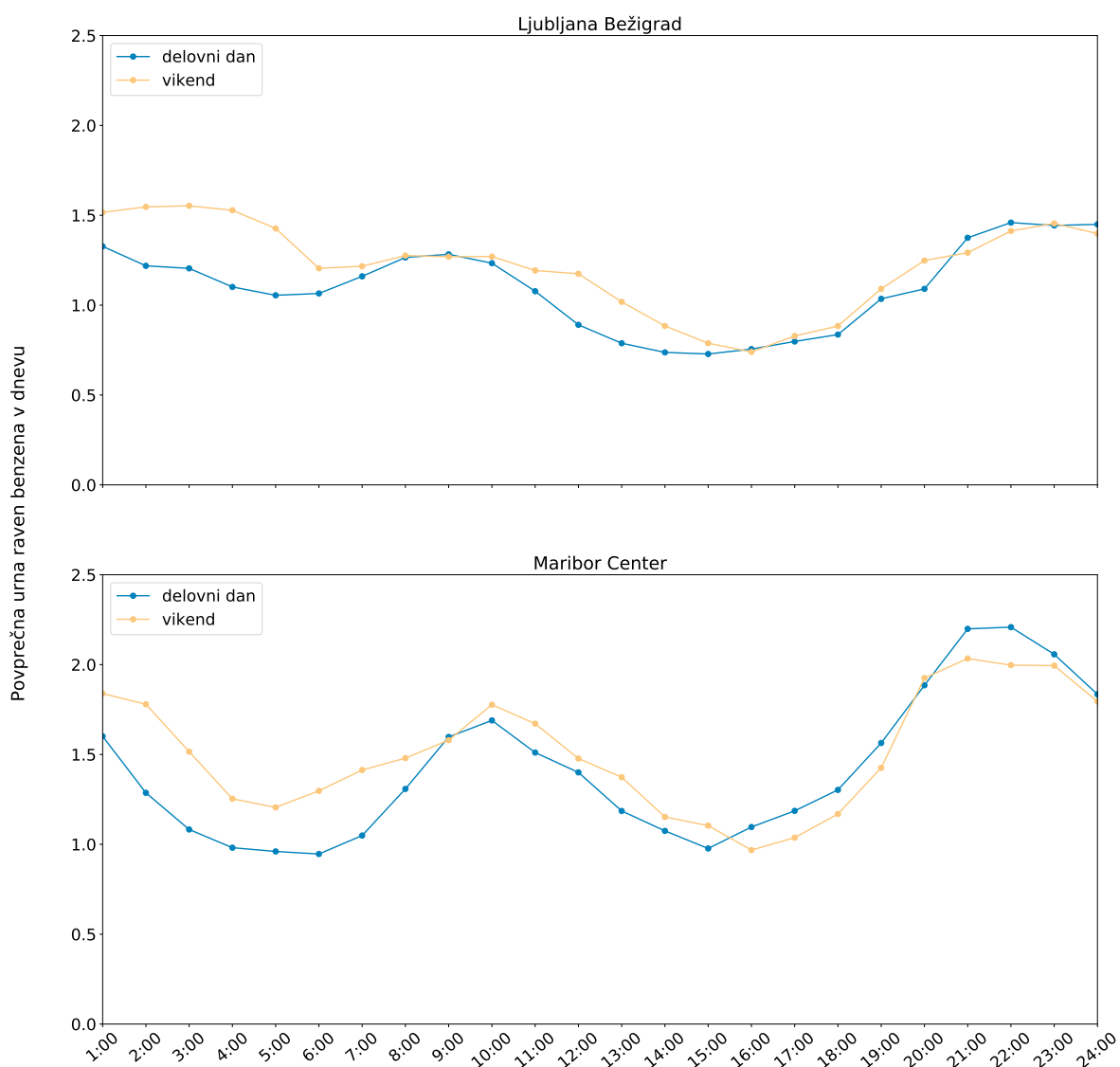
10.3.1 Primerjava ravni onesnaženosti z EU

Ravni benzena je v letu 2018 poročalo 30 evropskih držav (EEA-33, razen Islandije, Lihtenštajna in Turčije) z 806 merilnih mest, kjer je bila razpoložljivost podatkov nad 50%. Letna mejna vrednost 5

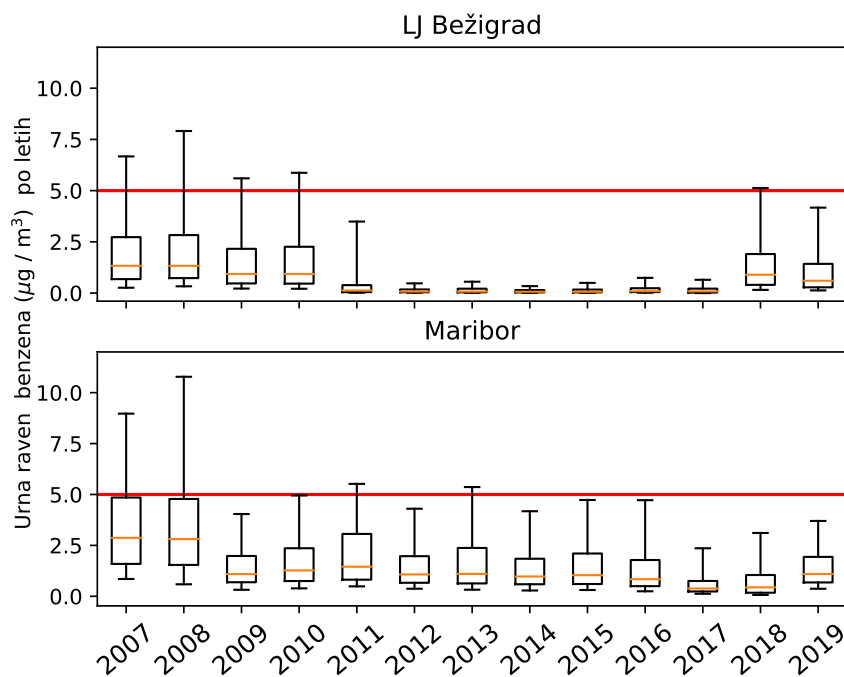
Tabela 10.3: Povprečna letna raven benzena na različnih postajah po letih v $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
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
Maribor	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*
LJ Center	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	3,0	2,4	2,2
Medvode	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	1,4	1,2

* Merilnik v okvari.



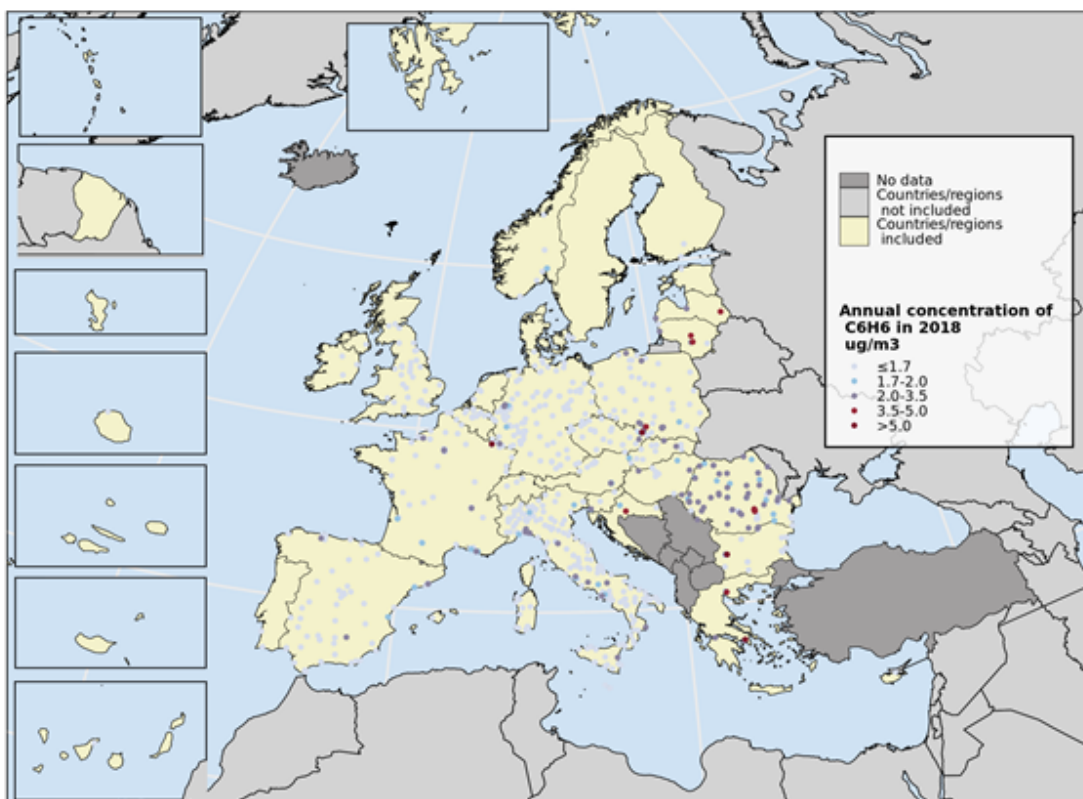
Slika 10.3: Urni potek ravni benzena v letu 2019 na postajah Ljubljana Bežigrad in Maribor.



Slika 10.4: Urne ravni benzena po letih na postajah Ljubljana Bežigrad in Maribor. Prikazani so 5. in 95. percentil (spodnja in zgornja vodoravna črtica), oba kvartila (vrh in dno pravokotnika) in mediana (rdeča vodoravna črtica v pravokotniku). Rdeča črta prikazuje letno mejno vrednost.

$\mu\text{g}/\text{m}^3$ je bila presežena le na štirih merilnih mestih: v Bolgariji (mestno ozadje), Franciji (predmetno industrijski tip), Grčiji (prometni tip) in na Češkem (mestno industrijski tip). V letu 2018 je bila na 87 % merilnih mest (703) povprečna letna raven benzena manj kot $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (slika 10.5).

Po priporočilu WHO naj povprečna letna vrednost ne bi presegala $1,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$. V letu 2018 je temu kriteriju zadostilo 18 % vseh merilnih mest v 16 državah po Evropi.



Slika 10.5: Onesnaženost držav Evropske unije z benzenom [3] v letu 2018. S pikami so označena poročana merilna mesta v EU, z barvo pa razred v katerega se uvrščajo glede na letno raven benzena.

11. 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.

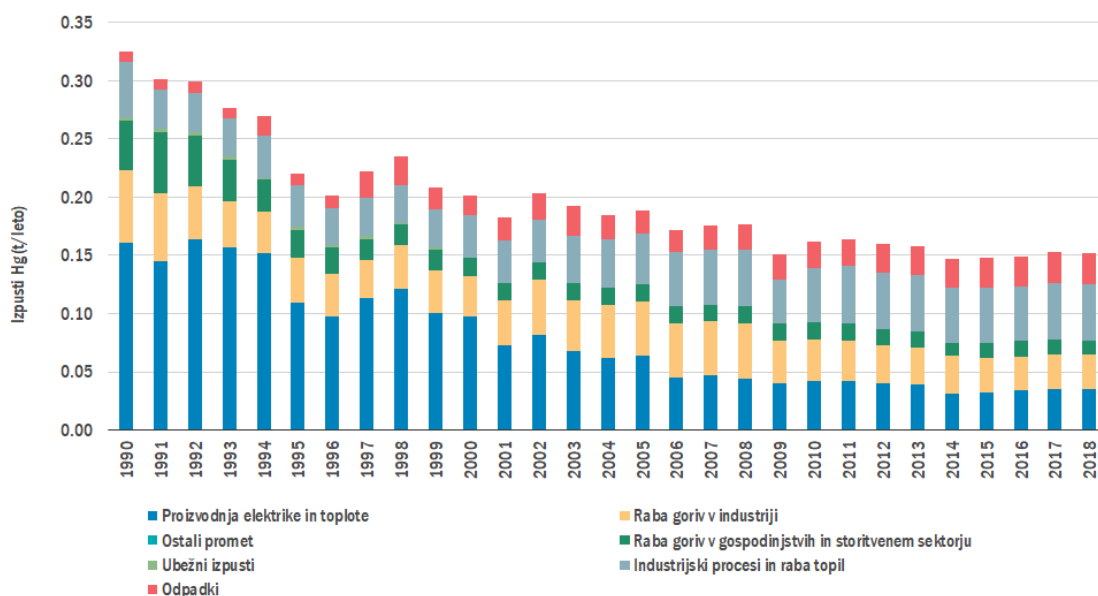
Količina živega srebra, sproščenega v atmosfero, se je povečala s pričetkom industrijske dobe. Največji delež živega srebra v atmosferi predstavljajo pare elementarnega živega srebra. Te v ozračju krožijo do enega leta, zato se lahko na široko razpršijo in od virov emisij prepotujejo na tisoče kilometrov. 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 [23].

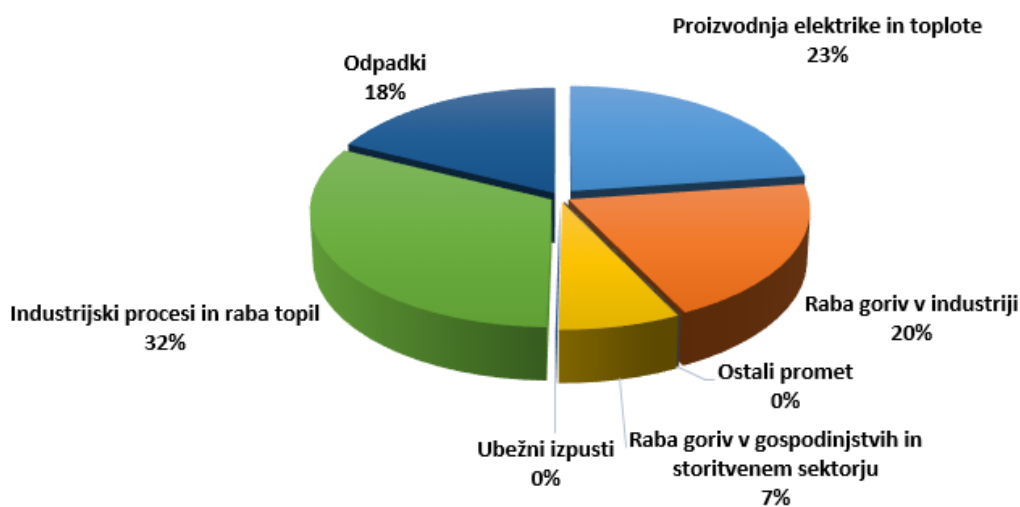
Izpostavljenost živemu srebru ogroža človekovo zdravje s številnimi, pogosto nepopravljivimi strupenimi učinki. Najbolj ogroženi so otroci, ki so lahko izpostavljeni metilnemu živemu srebru že v maternici, če se mati prehranjuje z onesnaženimi ribami in školjkami. Ta izpostavljenost lahko negativno vpliva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

11.1 Izpusti

Letni izpusti živega srebra (Hg) so v Sloveniji leta 2018 podobno kot v preteklih letih znašali 0,2 tone. V primerjavi z letom 1990 so se zmanjšali za 53 %. Največji delež k skupnim državnim izpustom živega srebra so v letu 2018 prispevali industrijski procesi in raba topil (32 %), sledijo odpadki (18 %), proizvodnja elektrike in toplote (23 %), raba goriv v industriji (20 %) ter raba goriv v gospodinjstvih in storitvenem sektorju (8 %). Prispevki cestnega in ostalega prometa ter ubežni izpusti so znašali pod (1 %). Slovenija izpolnjuje zahteve iz Protokola o težkih kovinah h Konvenciji CLRTAP [12], saj skupne državne količine izpustov živega srebra ne presegajo vrednosti iz leta 1990. Izpusti živega srebra po glavnih sektorjih so prikazani na slikah 11.1 in 11.2.



Slika 11.1: Letni izpusti živega srebra po sektorjih v Sloveniji



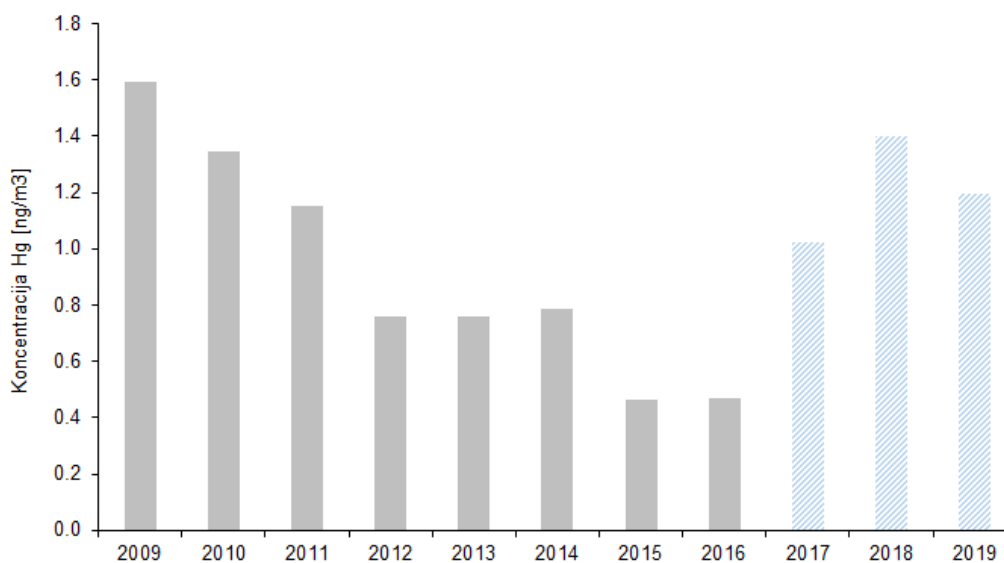
Slika 11.2: Izpusti živega srebra po sektorjih v Sloveniji v letu 2018

11.2 Ravní onesnaženosti

Meritve koncentracij celotnega živega srebra v zraku izvajamo le na mednarodnem merilnem mestu Iskrba. Z meritvami smo skladno z Uredbo o arzeniu, kadmiju, živem srebru, niklju in policikličnih aromatskih ogljikovodikih v zunanjem zraku [10] pričeli v letu 2008. Zaradi velikih težav z lastnim merilnikom od leta 2017 dalje za izvajanje teh meritev najemamo inštrument Inštituta Jožef Stefan z drugačno merilno tehniko. Hkrati smo takrat prešli na tako imenovani indikativni režim meritev, s katerim zagotavljamo najmanj 14-odstotno pokritost z meritvami na letnem nivoju. Povprečna koncentracija Hg v zraku v letu 2019, izmerjena s tem inštrumentom, znaša $1,2 \text{ ng/m}^3$. Ker so bile vrednosti po letu 2017 izmerjene z drugo merilno tehniko kot predhodne, jih na sliki podajamo v drugačni, modri barvi. Pokritost z meritvami Hg v zraku na letnem nivoju je bila med leti 2017 in 2019 manjša od 75 odstotkov, zato so ti podatki zagolj informativne narave.

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

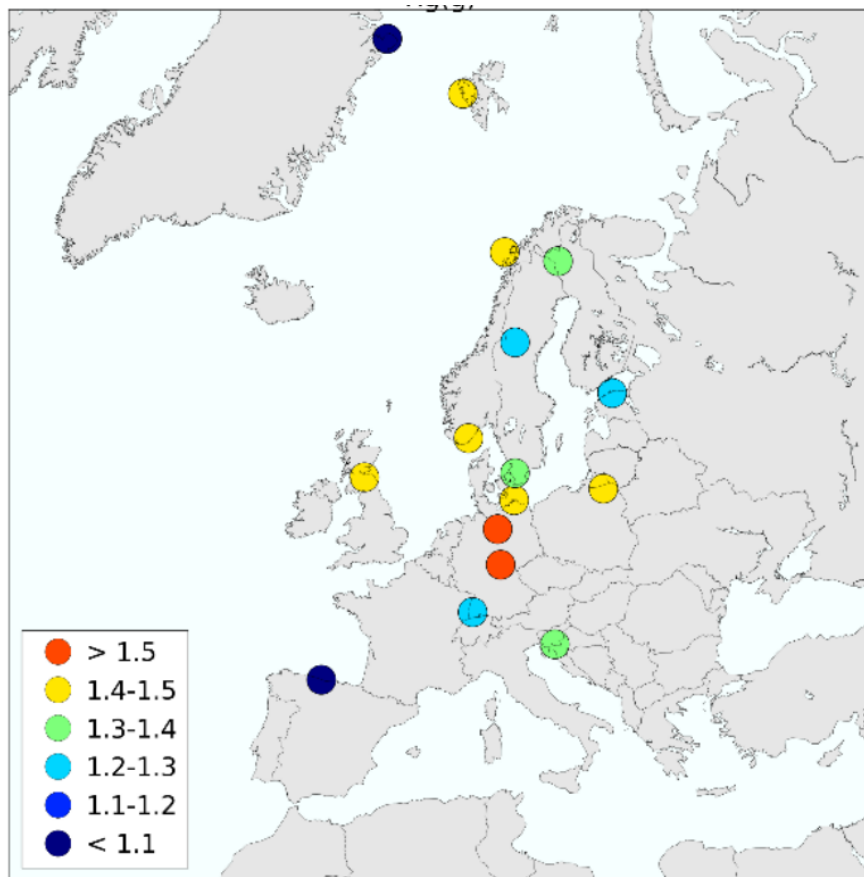
2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
1,6	1,3	1,2	0,8	0,8	0,8	0,5	0,5	1,0	1,4	1,2



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

11.3 Primerjava ravni onesnaženosti v Evropi

Medtem ko je povprečna letna koncentracija Hg v zraku izmerjena v Sloveniji v letu 2018 znašala $1,4 \text{ ng/m}^3$, je za leto 2019 znašala $1,2 \text{ ng/m}^3$. Glede na podatke EMEP za leto 2018 sodi merilno mesto Iskrba med srednje onesnažene v Evropi [24].



Slika 11.4: Geografska porazdelitev živega srebra v zraku v Evropi v letu 2018 na neobremenjenih merilnih mestih [24]

12. Kakovost padavin

Kemijska sestava padavin je eno izmed meril onesnaženosti zraka. S stališča kakovosti zraka je v padavinah najpomembnejša vsebnost produktov oksidacije najpogostejših onesnaževal v zraku (SO_2 , NO_x , CO , ogljikovodiki). Le-ti so v obliki disociiranih kislin (SO_4^{2-} , NO_3^- , CO_3^{2-} , Cl^-) povzročitelji kislosti padavin. H kislosti padavin lahko v manjši meri prispevajo tudi specifična onesnaževala (fluoridi, fosfati, organske kisline). Te spojine se v primerjavi z žveplovimi in dušikovimi spojinami pojavljajo v nižjih ravneh. V skladu z mednarodnim dogovorom so kisle padavine tiste, katerih pH vrednost je manjša od 5,6 [25].

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 eutrofikaciji. Spremljanje padavin določa Uredba o arzeniu, kadmiju, živem srebru, niklju in policikličnih aromatskih ogljikovodikih v zunanjem zraku [10]. Za parametre v padavinah mejne in ciljne vrednosti niso določene. Meritve na merilnem mestu Iskrba izvajamo tudi v okviru programa EMEP [26].

Velik vpliv na koncentracije posameznih onesnaževal ima gibanje zračnih mas, pri čemer prihaja do prenosa onesnaževal na velike razdalje; vremenske razmere, predvsem veter in temperatura pa na koncentracije onesnaževal v padavinah vplivajo bolj na lokalnem nivoju.

Koncentracije natrijevih in kloridnih, pa tudi kalcijevih in sulfatnih ionov so tako v neposredni povezavi z gibanjem zračnih mas in oddaljenostjo od morja (slika 12.5). 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 koncentracije amonijevih ionov pa povezujemo tako z višanjem temperature tal in posledično večjo mikrobiološko aktivnostjo v njih, kot tudi s povečanimi kmetijskimi aktivnostmi. Povečane kmetijske aktivnosti na lokalnem nivoju vplivajo tudi na koncentracije dušika nitratnega izvora.

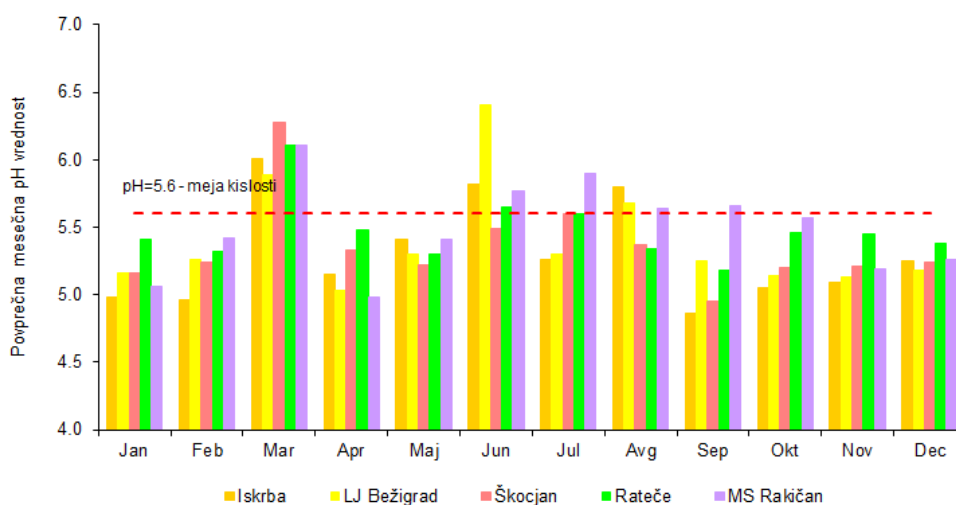
12.1 Raven vrednosti pH, električne prevodnosti in onesnaženosti padavin z nekaterimi anorganskimi ioni

Vzorčenje za določitve pH vrednosti, električne prevodnosti in koncentracij posameznih anorganskih ionov izvajamo v skladu s Priročnikom GAW No. 160 [27] ter v skladu s Priročnikom EMEP [28]. Za vzorčenje uporabljamo t.i. *wet-only* vzorčevalnike, katerih pokrov se odpre le v času padavin in tako zajame le mokro usedlino. Vzorčenje poteka v okviru državne merilne mreže na petih merilnih

mestih v Sloveniji. Na merilnih mestih Iskrba in LJ Bežigrad izvajamo dnevno vzorčenje padavin, na merilnih mestih Škocjan, Rateče in MS Rakičan pa vzorčenje izvajamo tedensko.

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

Na vseh merilnih mestih so bile padavine pretežno del časa pod mejo kislosti, ki znaša 5,6. Izjema je bil predvsem mesec marec (slika 12.1), ko so je bile povprečne mesečne pH vrednosti na vseh merilnih mestih nad mejo kislosti. Na višje pH vrednosti so vplivale predvsem nekoliko višje koncentracije amonijevih, natrijevih in kalcijevih ionov, ki nevtralizirajo kisle komponente padavin.



Slika 12.1: Povprečne mesečne pH vrednosti padavin v letu 2019

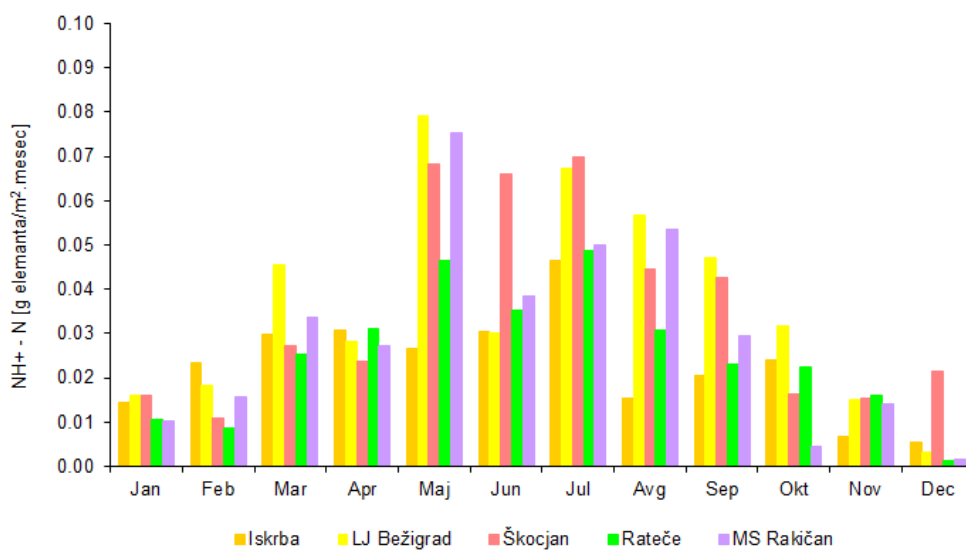
Porazdelitev mokrih usedlin ionov, ki poglavitno vplivajo na zakisljevanje in evtrofikacijo po mesecih, je prikazana na slikah od 12.2 do 12.3. Mokre usedline amonijevih ionov so bile v letu 2019 na večini merilnih mest višje v toplejšem delu leta, kar povezujemo z večjimi kmetijskimi aktivnostmi, ko se amoniak iz zraka s padavinami spere na tla.

Mesečne mokre usedline nitratnih in sulfatnih ionov so bile tudi v letu 2019 povezane predvsem z mesečno količino padavin, saj se z večjo količino padavin iz zraka praviloma spere tudi več onesnaževal.

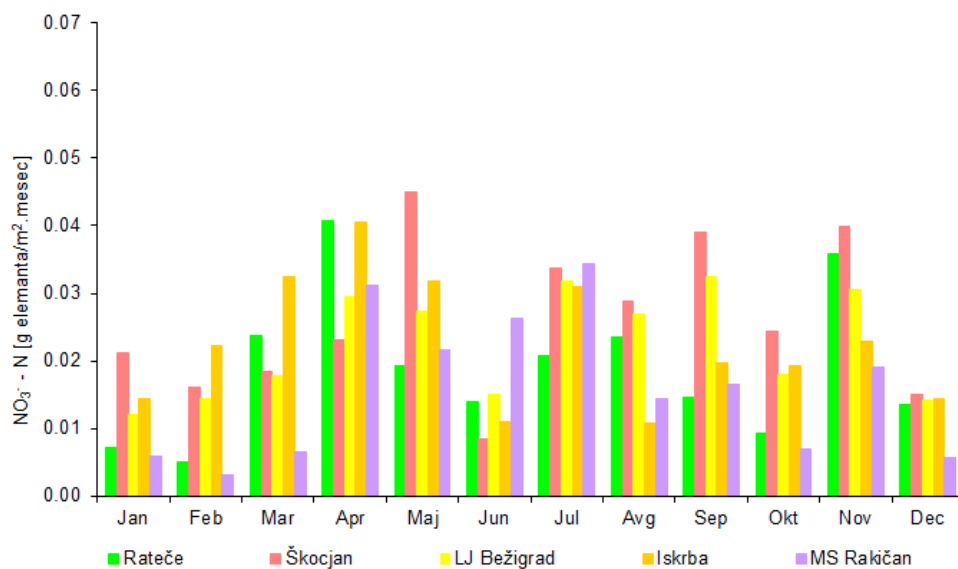
12.1.2 Letna raven vrednosti pH, električne prevodnosti in onesnaženosti padavin z nekaterimi anorganskimi ioni

Povprečne letne vrednosti pH, električne prevodnosti in koncentracije posameznih anorganskih ionov v padavinah ter njihove minimalne in maksimalne vrednosti za leto 2019 so podane v tabeli 12.1, grafično pa so povprečne letne koncentracije posameznih ionov prikazane na sliki 12.5, kjer so podane tudi letne količine padavin, zbrane na ekoloških vzorčevalnikih.

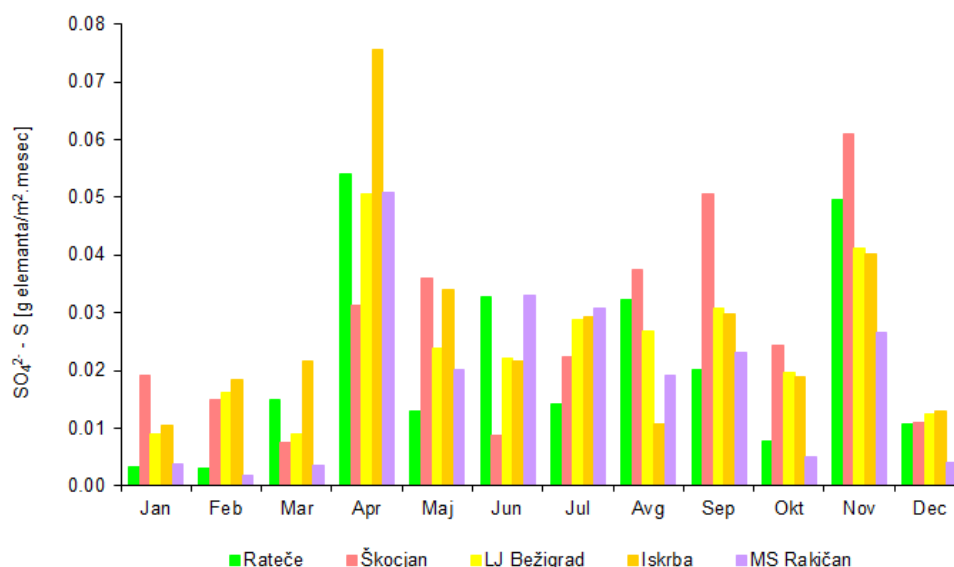
Iz tabele 12.1 in slike 12.5 je razvidno, da je bila kot običajno povprečna letna koncentracija dušika amoniakalnega izvora v $\text{mg NH}_4^+ \text{-N/L}$ zaradi intenzivnega kmetijstva v neposredni bližini najvišja na merilnem mestu Rakičan ($0,396 \text{ mg NH}_4^+ \text{-N/L}$), nekoliko nižja je bila na merilnih mestih



Slika 12.2: Mesečna mokra usedlina dušika amoniakalnega izvora v padavinah v letu 2019



Slika 12.3: Mesečna mokra usedlina dušika nitratnega izvora v padavinah v letu 2019



Slika 12.4: Mesečna mokra usedlina žvepla sulfatnega izvora v padavinah v letu 2019

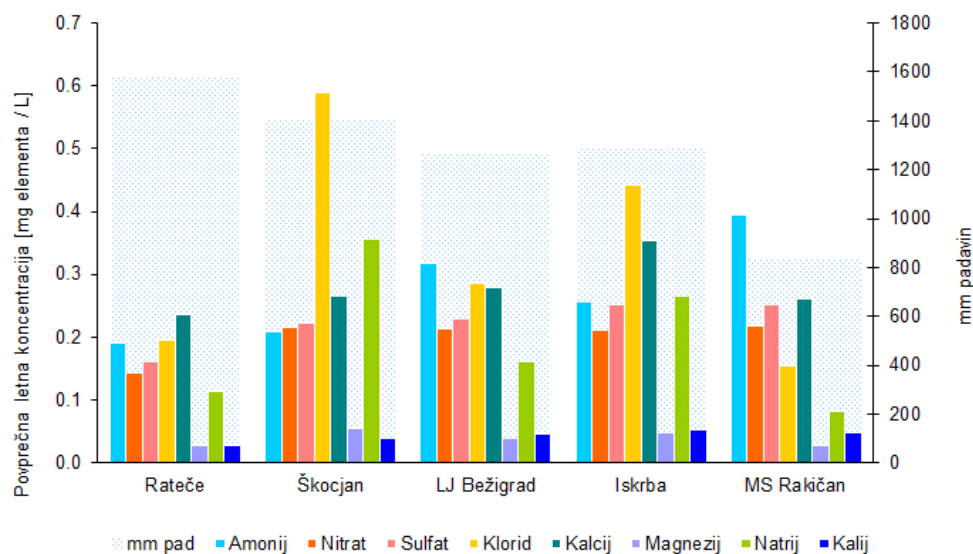
Tabela 12.1: Srednja vrednost (C_p), minimum (C_{min}) in maksimum (C_{max}) pH, električna prevodnost pri 25 °C (el. prev.) ($\mu\text{S}/\text{cm}$) in koncentracije ionov v padavinah (mg ion/L) na vzorčevalnih mestih DMKP v letu 2019

		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	5,19	9	0,256	0,211	0,252	0,443	0,353	0,048	0,256	0,053
	C_{min}	4,39	2	0,016	0,026	0,016	0,010	0,033	0,010	0,010	0,010
	C_{max}	7,25	91	2,68	1,83	1,79	10,6	8,72	0,803	6,64	0,671
LJ Bežigrad	C_p	5,25	8	0,318	0,213	0,229	0,287	0,280	0,040	0,162	0,046
	C_{min}	4,33	2	0,052	0,038	0,019	0,036	0,032	0,010	0,010	0,010
	C_{max}	6,67	37	3,47	1,69	3,21	5,33	4,14	0,239	3,26	2,05
Škocjan	C_p	5,23	9	0,210	0,215	0,222	0,590	0,266	0,054	0,357	0,040
	C_{min}	4,55	3	0,008	0,051	0,025	0,068	0,044	0,010	0,010	0,010
	C_{max}	6,74	30	2,32	1,99	0,921	3,51	1,67	0,303	2,40	0,181
Rateče	C_p	5,41	8	0,191	0,144	0,162	0,196	0,235	0,029	0,113	0,027
	C_{min}	4,99	2	0,026	0,032	0,005	0,010	0,036	0,010	0,010	0,010
	C_{max}	7,28	64	3,74	0,651	1,72	1,28	4,55	0,274	2,13	1,98
MS Rakičan	C_p	5,39	8	0,396	0,219	0,253	0,155	0,262	0,029	0,083	0,048
	C_{min}	4,33	3	0,056	0,051	0,031	0,053	0,020	0,010	0,010	0,010
	C_{max}	7,48	56	1,69	1,08	3,57	1,25	6,86	0,383	0,837	0,432

LJ Bežigrad (0,318 mg $\text{NH}_4^+ - \text{N}/\text{L}$) in Iskrba (0,256 mg $\text{NH}_4^+ - \text{N}/\text{L}$) in še nižja na merilnih mestih Škocjan (0,210 mg $\text{NH}_4^+ - \text{N}/\text{L}$) in Rateče (0,191 mg $\text{NH}_4^+ - \text{N}/\text{L}$).

Povprečne letne koncentracije dušika nitratnega izvora so bile z izjemo merilnega mesta Rateče, nekoliko nižje (0,144 mg $\text{NO}_3^- - \text{N}/\text{L}$), na vseh merilnih mestih na približno enakem nivoju in so znašale med 0,211 in 0,219 mg $\text{NO}_3^- - \text{N}/\text{L}$. Podobno se je tudi koncentracija žvepla sulfatnega izvora na vseh merilnih mestih razen Rateč, kjer je znašala 0,162 mg $\text{SO}_4^{2-} - \text{S}/\text{L}$, gibala med 0,222 in 0,253 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 in so bile zato najvišje na merilnem mestu Škocjan, najnižje pa na merilnem mestu Rakičan. Koncentracije ostalih ionov, ki so predvsem naravnega izvora, ostajajo na približno enakem nivoju kot v preteklih letih.

Celotna količina padavin, zbranih z ekološkimi vzorčevalniki, in celotne letne vrednosti usedlin



Slika 12.5: Povprečna letna koncentracija posameznih ionov, izraženih kot element, v padavinah v letu 2019

posameznih ionov so podane v tabeli 12.2, grafično pa so celotne usedline posameznih ionov (preračunano na element) podane na sliki 12.6.

Tabela 12.2: Letna količina zbranih padavin (mm) in letne mokre usedline ionov (g/m^2) na vzorčevalnih mestih DMKP v letu 2019

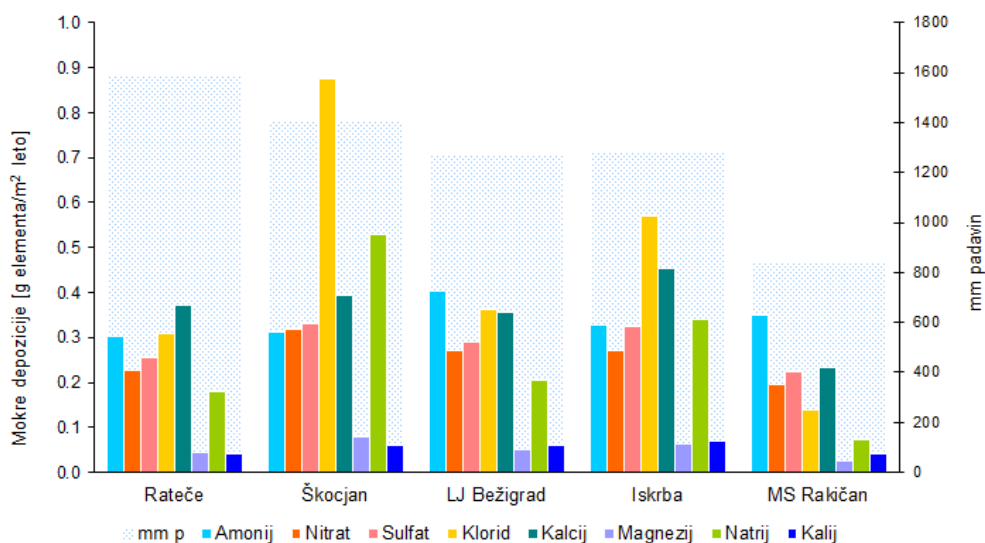
	Količina padavin	H^{+*}	NH_4^+-N	NO_3^--N	$\text{SO}_4^{2--}\text{S}$	Cl^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+
Iskrba	1284	$8,25 \times 10^{-3}$	0,382	0,270	0,342	0,569	0,453	0,062	0,340	0,068
LJ Bežigrad	1267	$7,06 \times 10^{-3}$	0,403	0,270	0,290	0,363	0,355	0,051	0,205	0,059
Škocjan	1401	$8,75 \times 10^{-3}$	0,311	0,320	0,330	0,875	0,395	0,080	0,530	0,059
Rateče	1585	$6,17 \times 10^{-3}$	0,303	0,228	0,256	0,310	0,373	0,045	0,179	0,043
MS Rakičan	837	$3,65 \times 10^{-3}$	0,351	0,194	0,224	0,138	0,232	0,026	0,074	0,042

* Skupna usedlina H^+ je izračunana le iz izmerjenih pH vrednosti.

Mokre usedline nekaterih ionov (za amonij, nitrat in sulfat izraženo kot: NH_4^+-N , NO_3^--N oziroma $\text{SO}_4^{2--}\text{S}$) v letu 2019 so prikazane na sliki 12.6. V splošnem so usedline posameznih ionov povezane s količino padavin in s koncentracijo posameznega iona v padavini (slika 12.6).

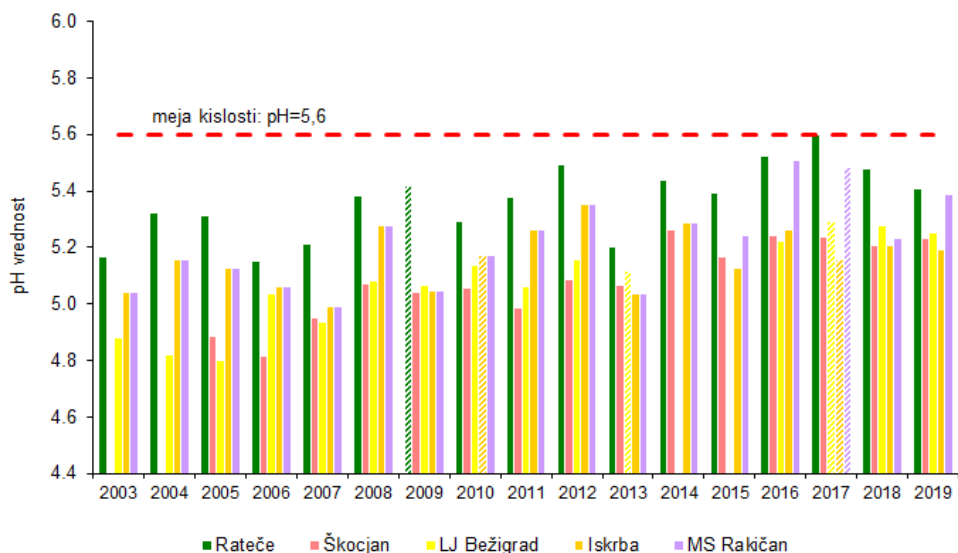
Na zakisljevanje okolja odločilno vplivajo usedline nitratnih in sulfatnih ionov. Mokre usedline žvepla sulfatnega izvora in dušika nitratnega izvora so bile tudi v letu 2019 najvišje na merilnem mestu Škocjan, nekoliko nižje na Iskrbi in v LJ Bežigrad še nižje pa v Ratečah in Rakičanu. Usedline dušika amoniakalnega izvora so bile v letu 2019 najvišje na merilnih mestih LJ Bežigrad in Rakičan, sledita Iskrba in Škocjan, najnižje pa so bile v Ratečah. 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. Najvišje mokre usedline kalcija so bile na merilnih mestih Iskrba in Škocjan, sledili sta merilni mesti Rateče in LJ Bežigrad, najnižje pa so bile v MS Rakičan.

Na sliki 12.7 je prikazana povprečna letna pH vrednosti padavin od leta 2003 dalje. V letu 2019 so bile podobno kot v preteklem letu nekoliko bolj kisle padavine na merilnih mestih Škocjan,



Slika 12.6: Mokra usedlina nekaterih ionov po merilnih mestih v letu 2019

LJ Bežigrad in Iskrba, kjer so se povprečne letne vrednosti pH gibale med 5,19 in 5,25, manj kisle pa so bile na merilnem mestu MS Rakičan, kjer je povprečna letna vrednost pH znašala 5,39 in najmanj kisle na merilnem mestu Rateče, kjer je le-ta znašala 5,41. Višje pH vrednosti na merilnem mestu MS Rakičan povezujemo s kmetijskimi aktivnostmi, ki potekajo v neposredni bližini, v Ratečah pa jih povezujemo s pojavom abrazije okoliških kamnin, ki so pretežno apnenčastega izvora in nevtralizirajo kisle komponente.

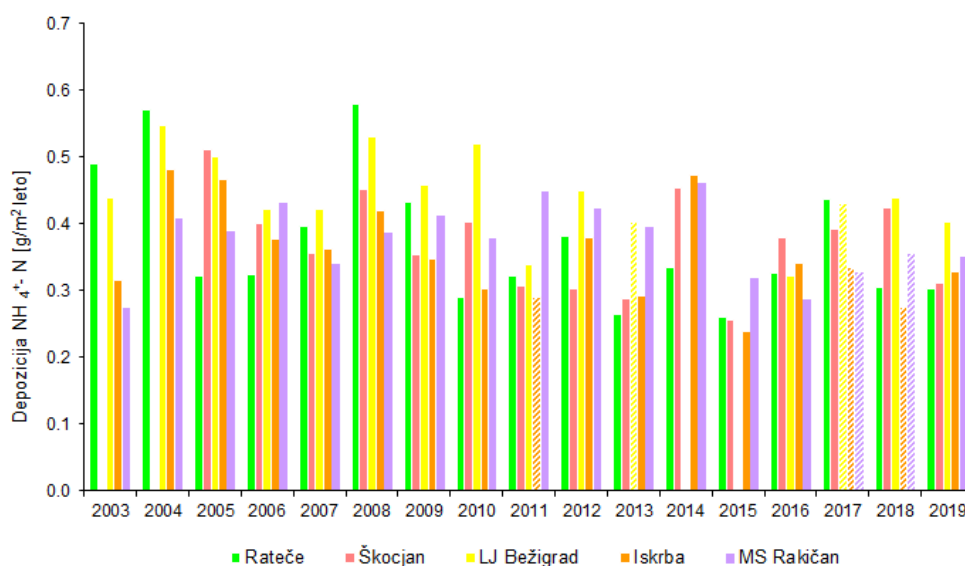


Slika 12.7: Povprečne letne pH vrednosti padavin od leta 2003 dalje. Podatki, ki jih podajamo informativno, so v grafih prikazani z enako barvo vendar šrafirano (obrazložitev se nahaja v zadnjem odstavku podpoglavja 12.1.2).

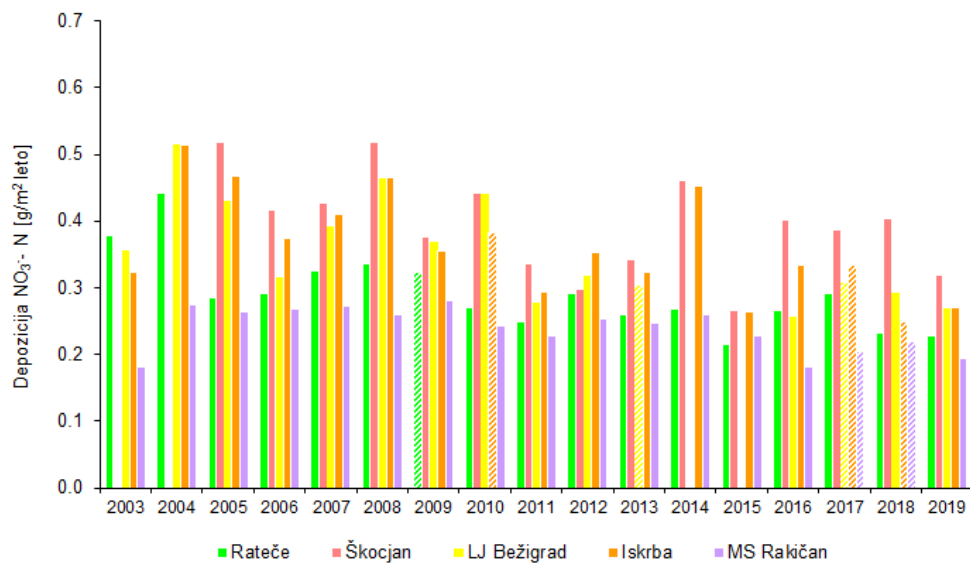
Za nekatera merilna mesta zaradi nereprezentativnosti vrednosti podajamo zgolj informativno. Enako velja za rezultate z merilnega mesta Rateče iz leta 2009, ko je zaradi okvare vzorčevalnika prišlo do izpada večje količine padavin. Prav tako za rezultate z merilnega mesta LJ Bežigrad iz

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 podatke 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 od meteorološke odstopala za več kot 10%.

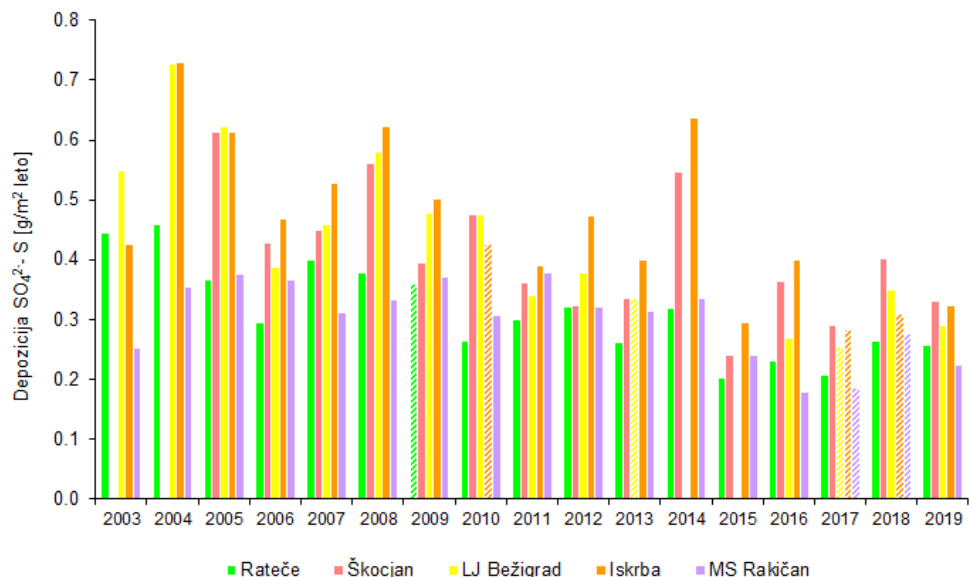
Vrednosti letnih mokrih usedlin ionov, ki najbolj vplivajo na zakisljevanje in eutrofikacijo, od leta 2003 do leta 2019 so prikazane na slikah od 12.8 do 12.9. Razviden je zaznaven trend upadanja mokrih usedlin dušika nitratnega izvora in žvepla sulfatnega izvora, kar povezujemo z zmanjšanjem izpustov žvepla in dušika v Sloveniji in v sosednjih državah. Trend upadanja je manj zaznaven pri mokrih usedlinah dušika amoniakalnega izvora, kar povezujemo z nespremenjenimi izpusti dušika iz kmetijstva 7.1.



Slika 12.8: 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 12.1.2).



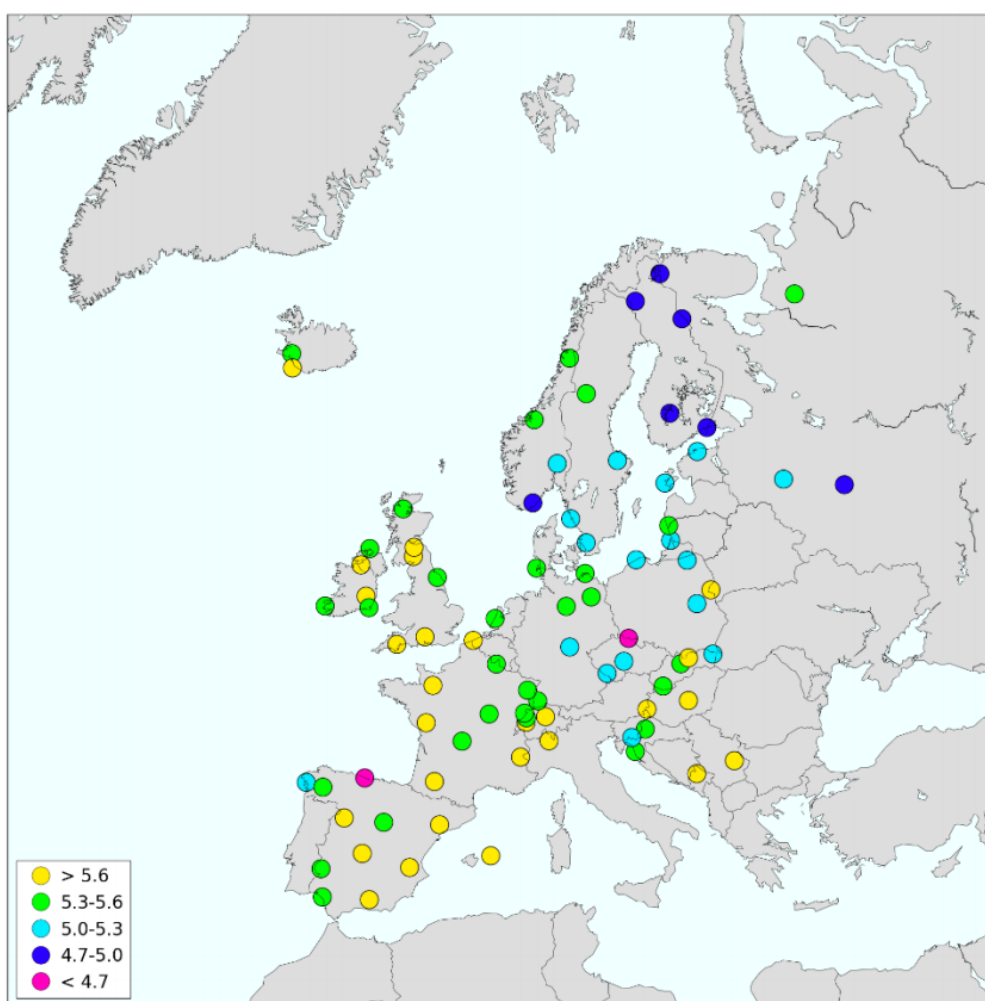
Slika 12.9: Mokra usedlina dušika nitratnega izvora v padavinah po letih. Podatki, ki jih podajamo informativno, so v grafih prikazani z enako barvo vendar šrafirano (obrazložitev se nahaja v zadnjem odstavku podpoglavja 12.1.2).



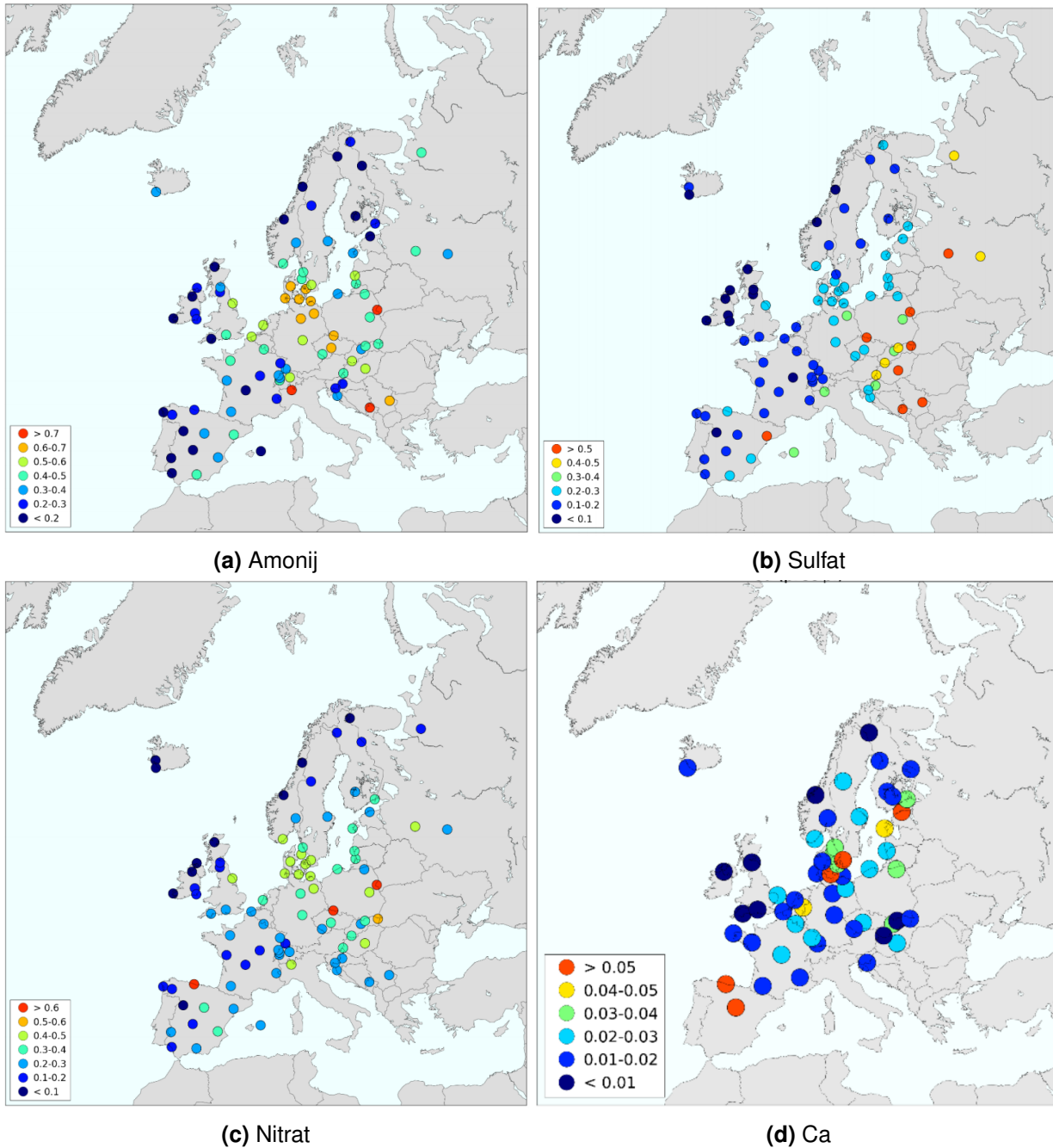
Slika 12.10: Mokra usedlina žvepla sulfatnega izvora po letih. Podatki, ki jih podajamo informativno, so v grafih prikazani z enako barvo vendar šrafirano (obrazložitev se nahaja v zadnjem odstavku podpoglavja 12.1.2).

12.1.3 Primerjava ravni onesnaženosti v Evropi

Raven onesnaženosti padavin v Sloveniji je glede na podatke programa EMEP med nižje oziroma srednje visokimi v Evropi. Povprečne letne pH vrednosti padavin v Sloveniji so v letu 2019 znašale med 5,2 in 5,4 in so bile med srednje kislimi v Evropi. Povprečne letne koncentracije ionov, izražene kot NH_4^+ -N, NO_3^- -N, SO_4^{2-} -S, in Ca^{2+} , ki odločilno vplivajo na zakisljevanje in evtrofikacijo, so za amonijev znašale med 0,191 in 0,396 mg N/L, za nitratni ion med 0,144 in 0,219 mg N/L in za sulfatnega med 0,162 in 0,253 mg S/L, med tem ko so bile koncentracije kalcijevega iona med 0,235 in 0,353 mg Ca/L. Vsa EMEP merilna mesta, kjer se spremlja tudi kakovost padavin, so umeščena v neizpostavljeno neurbano okolje, tako kot naše merilno mesto Iskrba.



Slika 12.11: Geografska porazdelitev povprečnih letnih pH vrednosti padavin po Evropi v letu 2018 [29]



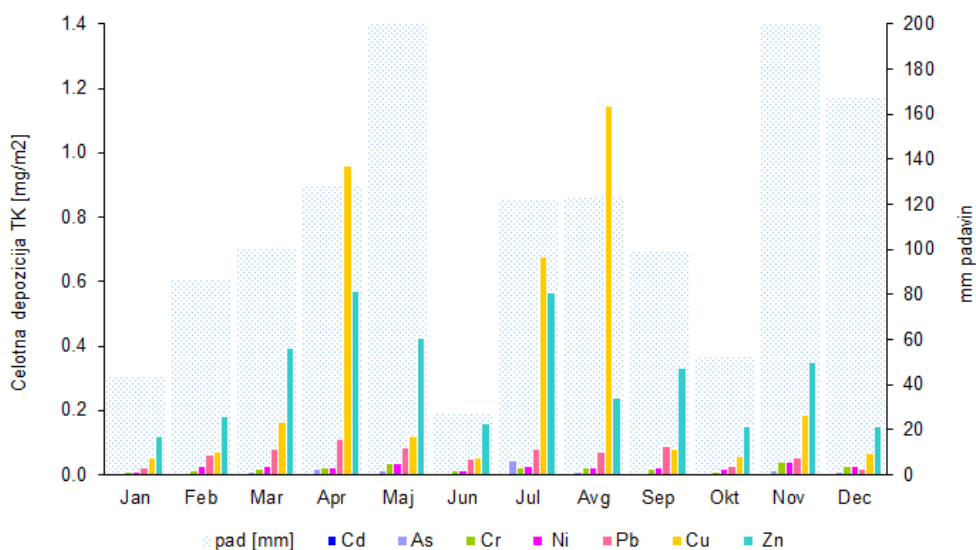
Slika 12.12: Geografska porazdelitev povprečnih letnih koncentracij amonija, sulfata, nitrata in kalcija (mg/L) v padavinah po Evropi v letu 2018 [29]

12.2 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 in toplote ter rabo goriv v gospodinjstvih in storitvenem sektorju.

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 izračunamo celotno usedlino posamezne kovine na kvadratni meter, ki je seštevek mokre in suhe usedline.

Porazdelitev celotnih usedlin nekaterih težkih kovin po mesecih za leto 2019 na merilnem mestu Iskrba, je prikazana na sliki 12.13. V aprilu, juliju in avgustu 2019 smo zabeležili nekoliko višje usedline bakra, svineca in niklja. Višje vrednosti v aprilu povezujemo delno s čezmejnimi vplivi, saj so v tednu od 8. do 15. 4. 2019 pihali močni SV vetrovi, ki so s seboj prinesli onesnažen zrak, delno pa tudi z lokalnim vplivom, saj so med 16. in 20. 4. 2019 v neposredni bližini merilnega mesta potekala dela s kmetijskimi stroji. Tudi julijsko in avgustovsko povišanje bakra, svineca in niklja je povezano predvsem z lokalnim vplivom omenjenih del s kmetijskimi stroji.



Slika 12.13: Celotna usedlina nekaterih težkih kovin po mesecih za leto 2019

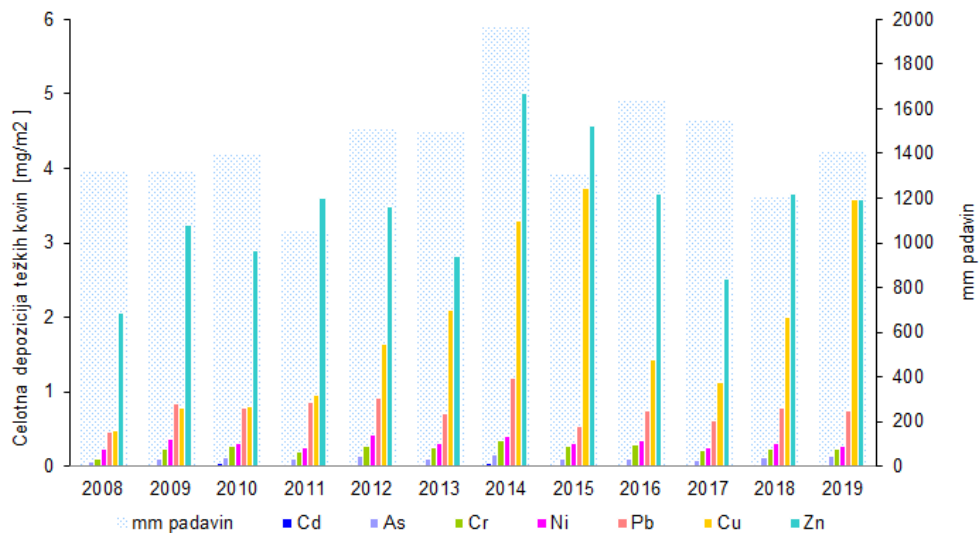
Vrednosti celotne usedline nekaterih težkih kovin so prikazane v tabeli 12.3. Ravni celotnih usedlin so za vse težke kovine na približno enakem nivoju kot v preteklih letih.

Tabela 12.3: Celotna usedlina nekaterih težkih kovin (mg/m^2) na Iskrbi v letu 2019

Arzen	Kadmij	Krom	Baker	Nikelj	Svinec	Cink
0,135	0,026	0,253	3,63	0,283	0,748	3,63

Kot je mogoče razbrati iz slike 12.14, se raven celotnih usedlin večine kovin od začetka meritev

v letu 2008 do leta 2019 bistveno ne spreminja. Največja nihanja v usedlinah opažamo pri cinku in bakru, povezujemo pa jih predvsem z lokalnim vplivom. Nekoliko manjša so ta nihanja pri usedlinah svinca in niklja.



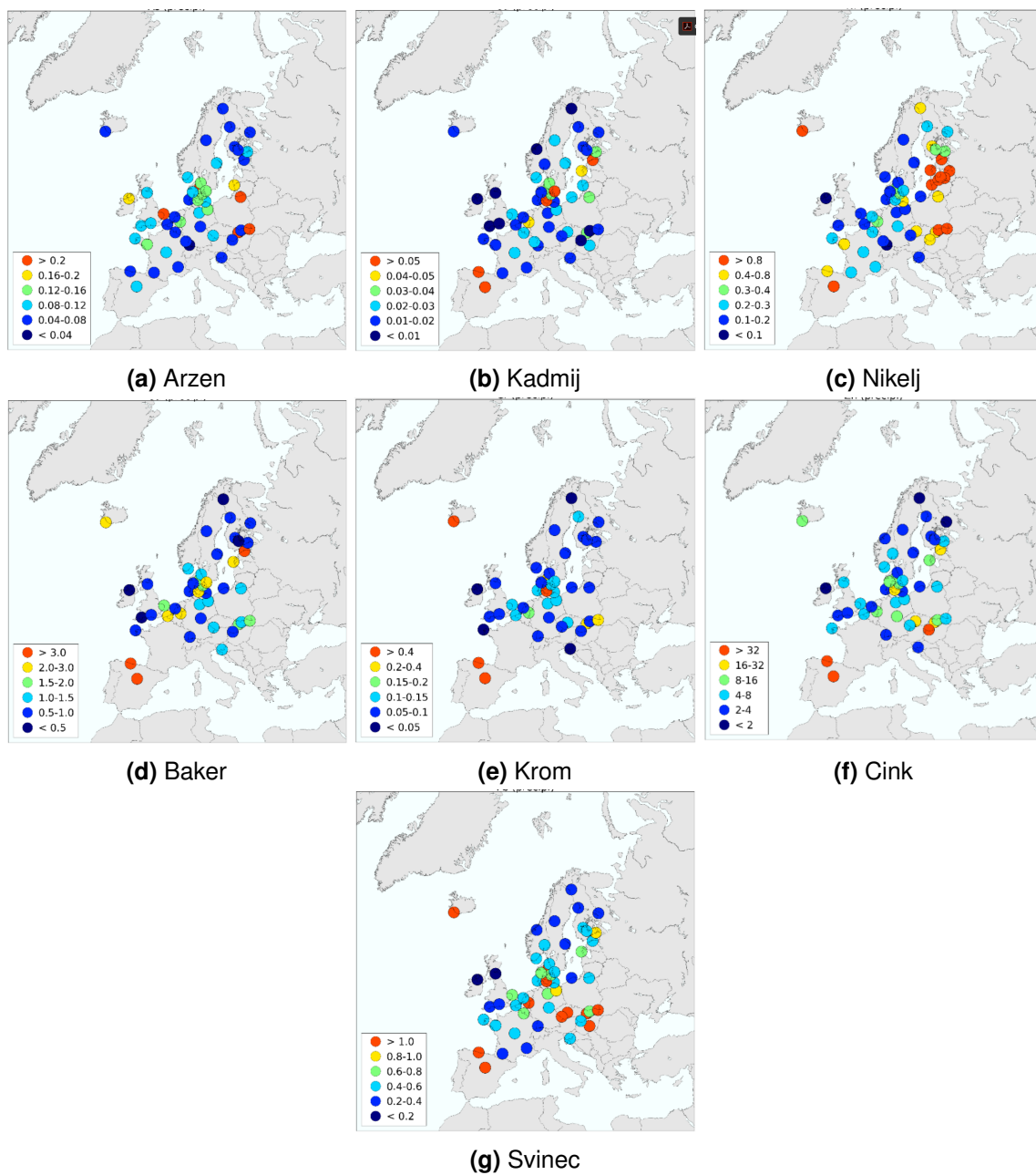
Slika 12.14: Celotna usedlina izbranih kovin v letih od 2008 do 2019

12.2.1 Primerjava ravni onesnaženosti v Evropi

Primerjava ravni onesnaženosti z Evropo je povzeta iz poročila EMEP[24]. Iz slik 12.15 in tabele 12.4 je razvidno, da so bile v letu 2019 povprečne letne koncentracije prikazanih težkih kovin z merilnega mesta Iskrba pri Kočevski Reki med nižjimi v Evropi.

Tabela 12.4: Povprečna letna koncentracija nekaterih težkih kovin ($\mu\text{g/L}$) na Iskrbi v letu 2019

Arzen	Kadmij	Krom	Baker	Nikelj	Svinec	Cink
0,088	0,015	0,157	1,97	0,178	0,365	2,07



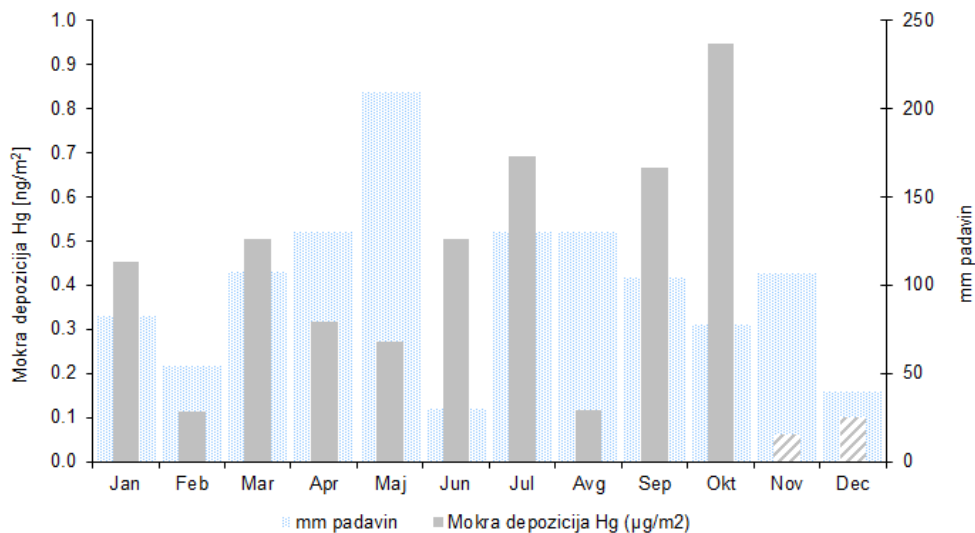
Slika 12.15: Geografska porazdelitev povprečnih letnih koncentracij arzena, kadmija, niklja, bakra, kroma, cinka in svineca $\mu\text{g/L}$) v padavinah na merilnih mestih EMEP v letu 2018 [24]

12.3 Raven onesnaženosti padavin z živim srebrom

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

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

Mokra usedlina živega srebra po mesecih za leto 2019 je prikazana na sliki 12.16, pri čemer vrednosti za november in december podajamo zgolj informativno, saj zaradi tehničnih težav pri vzorčenju, ni bila analizirana celotna mesečna količina padavin. Najvišjo usedlino Hg 0,95 $\mu\text{g}/\text{m}^2$ smo zabeležili v mesecu oktobru.

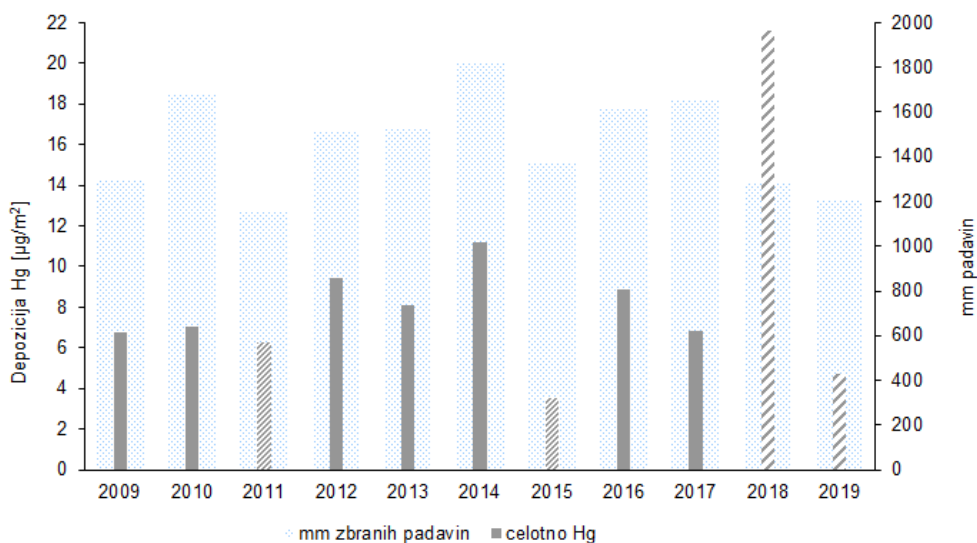


Slika 12.16: Mokra usedlina celotnega Hg po mesecih za leto 2019. Podatke, prikazane z vzorcem, zaradi izpada več kot 10% količine padavin glede na meteorološke količine padavin podajamo zgolj informativno.

Celotna mokra usedlina živega srebra na merilnem mestu Iskrba je ob upoštevanju vseh izvedenih meritev v letu 2019 znašala 4,74 $\mu\text{g}/\text{m}^2$ in je bila približno štirikrat nižja kot v preteklem letu (slika 12.17). Ker se količina analiziranih vzorcev v celem letu 2019 za več kot 10 odstotkov razlikuje od meteorološke količine, tudi ta podatek podajamo zgolj informativno.

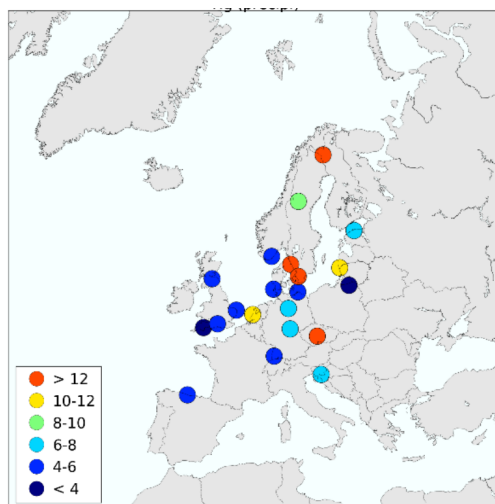
12.3.1 Primerjava ravni onesnaženosti v Evropi

Slika 12.18 prikazuje geografsko porazdelitev koncentracij živega srebra v padavinah po Evropi. Koncentracije celotnega živega srebra v padavinah v Sloveniji so se v letu 2019 gibale med 0,6 in 16,8 ng/L . Povprečna letna koncentracija, utežena glede na količino padavin v posameznem mesecu ob upoštevanju vseh izvedenih meritev, znaša 3,94 ng/L , kar merilno mesto Iskrba uvršča



Slika 12.17: Mokra usedlina celotnega Hg po letih. Podatke, prikazane z vzorcem, zaradi izpada več kot 10% količine padavin glede na meteorološke količine padavin podajamo zgolj informativno.

med najmanj onesnažena področja v Evropi.



Slika 12.18: Geografska porazdelitev povprečnih letnih koncentracij živega srebra v padavinah na merilnih mestih EMEP v letu 2018 [24]

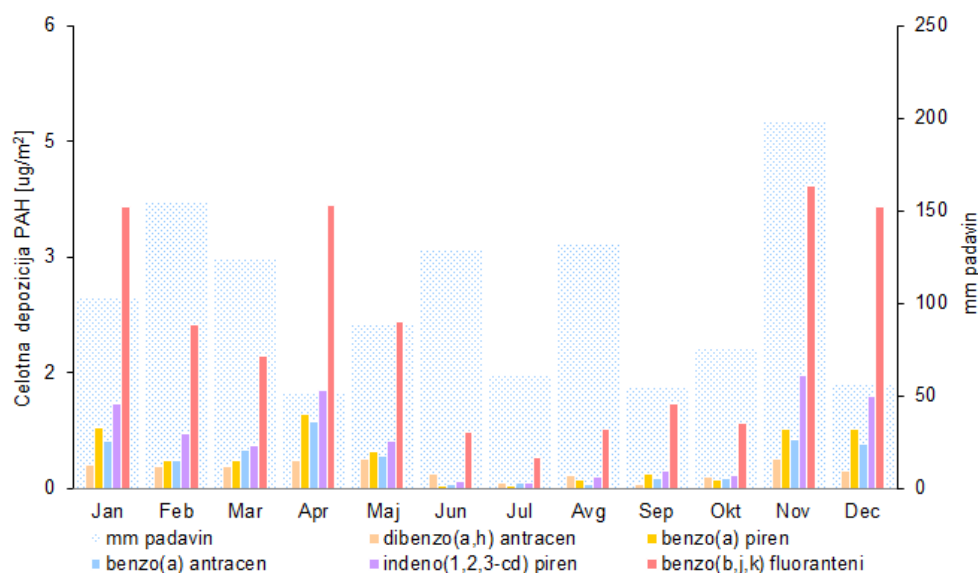
12.4 Raven onesnaženosti padavin s policikličnimi aromatskimi ogljikovodiki

Tudi policiklični aromatski ogljikovodiki (PAH) veljajo za možne ali verjetne rakotvorne snovi, zato jih je ameriška agencija za varstvo okolja (EPA) obravnava kot prednostna onesnaževala. Atmosferski izvor PAH je zelo raznolik: stranski proizvodi pri nepopolnem zgorevanju fosilnih goriv in lesa, ogrevanje stanovanj, proizvodnja koksa in emisije vozil. Slednje lahko štejemo za glavni vir urbane atmosfere. Pomemben naravni vir PAH je izgorevanje biomase v gozdnih požarih. Razumevanje

prispevkov različnih virov je kritično za ustrezno upravljanje koncentracij PAH v okolju. Za razliko od drugih onesnaževal, se PAH po vstopu v ozračje prerazporedijo med plinsko fazo in delce. Razkrojeni so lahko 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 emisij [30].

Tudi meritve PAH 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.

Mesečna porazdelitev celotnih usedlin posameznih PAH za leto 2019 je prikazana na sliki 12.19. Višje celotne usedline večine PAH smo tudi letu 2019 zabeležili v času od januarja do aprila ter v novembru in decembru, torej kot običajno pretežno v hladnejšem obdobju leta, ko so izpusti PAH zaradi ogrevanja s trdimi gorivi višje in ostajajo zaradi pogostih inverzij pri tleh.

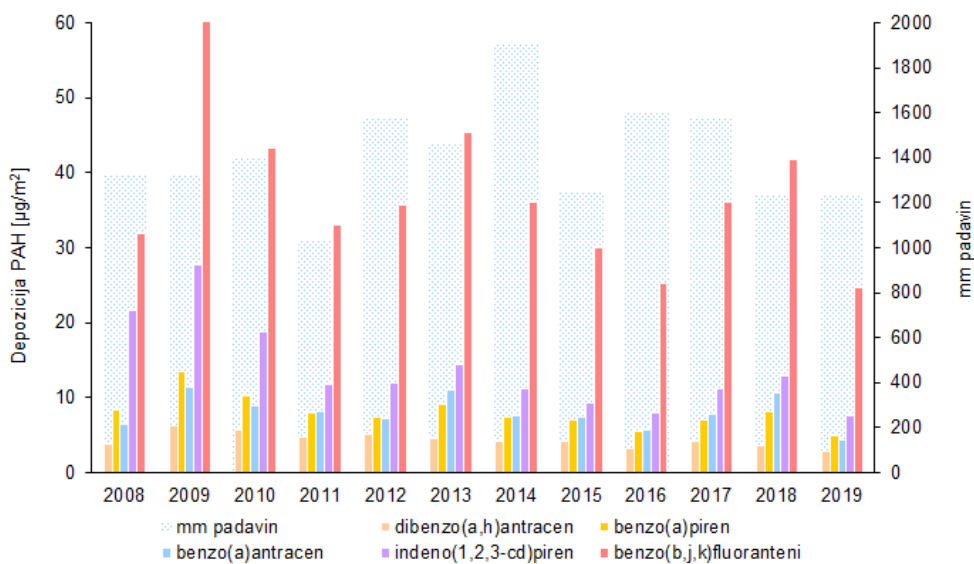


Slika 12.19: Celotna usedlina nekaterih PAH po mesecih v letu 2019

V tabeli 12.5 je prikazana celotna usedlina nekaterih PAH v letu 2019. Primerjava usedlin PAH med posameznimi leti nakazuje, da le-te ostajajo na približno isti ravni (slika 12.20). Podobno kot v preteklih letih smo tudi v letu 2019 zabeležili največjo celotno usedlino vsote benzo(b,j,k)fluorantenov, najnižja pa je bila kot navadno celotna usedlina dibenzo(a,h)antracena (tabela 12.5 in slika 12.20). V primerjavi z letom 2018 so bile celotne usedline vseh PAH kljub enaki letni količini padavin nekoliko nižje. V obdobju od 2008 do 2019 ne opažamo kakršnega koli trenda naraščanja ali upadanja usedlin PAH, kar je verjetno posledica nespremenjenih kurilnih navad na področju okrog merilnega mesta Iskrba in širše.

Tabela 12.5: Celotna usedlina nekaterih PAH ($\mu\text{g}/\text{m}^2$) za leto 2019 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
4,44	4,97	24,7	2,89	7,63



Slika 12.20: Celotne letne usedline PAH od leta 2008 do leta 2019

13. 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] W. H. Organization *et al.*, "Ambient air pollution: A global assessment of exposure and burden of disease," 2016.
- [3] *Air quality in Europe-2020 report*, European Environment Agency, 2020.
- [4] *Onesnaženost zraka: naše zdravje še vedno ni dovolj zaščiteno*, view 10.09.2018, <http://publications.europa.eu/webpub/eca/special-reports/air-quality-23-2018/sl/>.
- [5] *Onesnaženost zraka: naše zdravje še vedno ni dovolj zaščiteno*, view 10.09.2018, <https://www.eea.europa.eu/sl/eea-signal/signali-2013/clanki/podnebne-spremembe-in-zrak>.
- [6] *Direktiva 2008/50/ES Evropskega parlamenta in sveta o kakovosti zunanjega zraka in čistejšem zraku za Evropo*. Uradni list Evropske unije. L152.
- [7] *Direktiva 2004/107/ES Evropskega parlamenta in sveta o arzeniu, kadmiju, živem srebru, niklju in policikličnih aromatskih ogljikovodikih v zunanjem zraku*. Uradni list Evropske unije. L23.
- [8] *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.
- [9] *Uredba o kakovosti zunanjega zraka*. (Uradni list RS. 9/11, 8/15 in 66/18).
- [10] *Uredba o arzeniu, kadmiju, živem srebru, niklju in policikličnih aromatskih ogljikovodikih v zunanjem zraku*. Uradni list RS. 56/06.
- [11] *Pravilnik o ocenjevanju kakovosti zunanjega zraka*. Uradni list RS. 55/11,6/15.
- [12] *Zakon o ratifikaciji konvencije o onesnaževanju zraka na velike razdalje preko meja (Uradni list SFRJ – Mednarodne pogodbe, št. 11/86)*, UNECE, 1979.
- [13] *Projekt SINICA*, view 10.09.2018, <http://www.arso.gov.si/o%20agenciji/EU%20sofinancira/Sinica/>.

- [14] *Project PREPAIR – LIFE15 IPE IT013*, view 10.09.2018, <http://www.lifeprepare.eu/>.
- [15] *EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019, Technical guidance to prepare national emission inventories*, view 16.11.2020, <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2019>.
- [16] *Arso, Kakovost zraka - poročila in publikacije, Izredne meritve, Meritve kakovosti zraka v MO Novo mesto*, http://www.arso.gov.si/zrak/kakovost%20zraka/poro%C4%8Dila%20in%20publikacije/Novo_mesto_poro%C4%8Dilo_2019.pdf.
- [17] *Guidance on the quantification of the contribution of natural sources under the EU Air Quality Directive 2008/50/EC*, European Commission, Brussels, 2011.
- [18] *Barcelona Dust Forecast Center*, view 30.11.2020, <http://dust.aemet.es>.
- [19] *Air quality in Europe-2019 report*, European Environment Agency, 2019.
- [20] *Kakovost zraka v Sloveniji v letu 2017*, ARSO, 2018.
- [21] *Global Warming Potential Values, Greenhouse Gas Protocol*, view 5.12.2020, https://www.ghgprotocol.org/sites/default/files/ghgp/Global-Warming-Potential-Values%20%28Feb%2016%202016%29_1.pdf.
- [22] *Slovenia's National Inventory Report 2020, GHG emissions inventories 1986 - 2018*, view 5.12.2020, https://www.ghgprotocol.org/sites/default/files/ghgp/Global-Warming-Potential-Values%20%28Feb%2016%202016%29_1.pdf.
- [23] M. Keating, K. Mahaffey, R. Schoeny, G. Rice, R. Bullock, R. J. Ambrose, J. Swartou, and J. Nichols, "Mercury study report to congress; volume i: Executive summary," *EPA-452/R-97-003*, no. 1, 1997.
- [24] W. Aas and P. B. Nizzetto, "Heavy metals and pop measurements 2018," *EMEP/CCC-Report 3/2020*, no. 3, 2020.
- [25] M. Pidwirny, "Acid Precipitation," *Fundamentals of Physical Geography, 2nd Edition*, 2006.
- [26] *Zakon o ratifikaciji konvencije o onesnaževanju zraka na velike razdalje preko meja (Uradni list SFRJ – Mednarodne pogodbe, št. 11/86)*, UNECE, 1979.
- [27] *Manual for the GAW Precipitation Chemistry Programme. Guidelines, Data Quality Objectives and Standard Operating Procedures*, no. 160, WMO, 2004.
- [28] N. I. for Air Research, *EMEP Manual for Sampling and Chemical Analysis: EMEP Co-operative Programme for Monitoring and Evaluation of the Long-range Transmission of Air Pollutants in Europe*. EMEP/CCC-Report, Norwegian Institute for Air Research, 1995.
- [29] A.-G. Hjellbrekke, "Data report 2018 particulate matter, carbonaceous and inorganic compounds," *EMEP/CCC-Report 1/2020*, no. 1, 2020.

- [30] O. Delhomme, E. R. Rieb, and M. Millet, "Polycyclic aromatic hydrocarbons analyzed in rainwater and erstein," *Polycyclic Aromatic Compounds*, no. 1, 2008.