



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



# Kakovost zraka v Sloveniji v letu 2010



# **KAKOVOST ZRAKA V SLOVENIJI V LETU 2010**

 **AGENCIJA REPUBLIKE SLOVENIJE ZA OKOLJE**

Ljubljana, julij 2011

### **Izdajatelj:**

Ministrstvo za okolje in prostor  
Agencija RS za okolje  
Vojkova 1b, Ljubljana  
Spletni naslov: [www.arso.gov.si](http://www.arso.gov.si)  
E-naslov: [gp.arso@gov.si](mailto:gp.arso@gov.si)

Urad za hidrologijo in stanje okolja: Jože Knez, direktor urada  
Sektor za kakovost zraka: mag. Tanja Bolte, vodja sektorja

### **Urednica:**

mag. Tanja Bolte

### **Avtorji:**

Agencija RS za okolje: mag. Andrej Šegula, mag. Tanja Bolte, Tanja Koleša, Bojan Rode, Zorana Komar, Marijana Murovec, dr. Gregor Muri, mag. Drago Groselj, mag. Tanja Cegnar, Andrej Hrabar, Manca Štrajhar, Mateja Gjerek

Fakulteta za matematiko in fiziko, Katedra za meteorologijo Ljubljana: dr. Rahela Žabkar, Marko Rus  
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, Ljubljana:  
dr. Franc Batič, dr. Klemen Eler, dr. Boris Turk

Gozdarski inštitut, Ljubljana: Petra Kajdiš

Institut Jožef Stefan, Odsek za znanosti o okolju, Ljubljana: doc.dr. Zvonka Jeran, dr. Darja Mazej, Janja Smrke, dr. Zdenka Šlejkovec

### **Sodelavci:**

Marinka Lešnik, Anton Planinšek, Darko Turk, Peter Pavli, Janez Rus, Janez Debeljak, Tilen Čepar, dr. Janja Turšič, Irena Kranjc, Judita Burger, Slavica Tratnik, Barbara Ropotar, Karla Hrovat, Marjetka Vrankar, Slavica Šerjak, Jana Radinja, Miha Korenčan

### **Kemijske analize:**

Kemijske analize delcev PM<sub>10</sub> in PM<sub>2,5</sub> ter kemijske analize padavin je opravil Kemijsko analitski laboratorij Agencije RS za okolje

Kemijske analize živega srebra v zunanjem zraku in v padavinah na merilnem mestu Iskrba je opravil Institut Jožef Stefan, Odsek za znanost o okolju

Kvantitativno določitev vulkanskega prahu je izvedel Zavod za gradbeništvo Slovenije, Oddelek za materiale, Laboratorij za kamen in agregat

### **Kartografija:**

Petra Krsnik

### **Fotografije:**

mag. Albert Kolar, mag. Andrej Šegula, dr. Gregor Muri, mag. Drago Groselj, Tanja Koleša, mag. Tanja Bolte, Roman Kocuvan, Marijana Murovec

### **Priprava podatkov iz drugih merilnih mrež:**

Elektroinštitut Milan Vidmar  
Mestna občina Ljubljana  
Zavod za zdravstveno varstvo Maribor  
Salonit Anhovo

ISSN 1855-0827

#### Deskriptorji:

Slovenija, zrak, kakovost zraka, žveplov dioksid, dušikovi oksidi, ogljikov monoksid, ozon, delci, težke kovine, lahkoahlapni ogljikovodiki, kakovost padavin, emisija

#### Descriptions:

Slovenia, air, air quality, sulphur dioxide, nitrogen oxides, carbon monoxide, ozone, particulate matter, heavy metals, volatile organic compounds, precipitation quality, emission



Spoštovani,

Publikacija se posveča pereči temi kakovosti zraka, ki je posebno v zadnjem času postala zelo aktualna. Onesnaženost zraka je posledica tako človekovega delovanja, kot tudi naravnih dejavnikov, v veliki meri pa na kakovost zraka vplivata relief in seveda meteorologija.

Agencija RS za okolje je vodilna slovenska institucija, ki opravlja strokovne, analitične in upravne naloge s področja okolja na državni ravni. Naše poslanstvo je med drugim spremljanje stanja onesnaženosti okolja in zagotavljanje kakovostnih javnih podatkov; v ta namen razpolagamo z ustrezno merilno mrežo in laboratoriji.

Če želimo ohraniti dobro kakovost zraka, potrebujemo kakovostne podatke in podrobne informacije. Eden od virov so zagotovo podatki monitoringa zunanjega zraka, ki ga izvajamo na Agenciji RS za okolje.

V pričujoči publikaciji je prikazano stanje kakovosti zunanjega zraka v Sloveniji, trendi skozi leta, omenjeni so tudi nekateri možni načini ukrepanja za izboljšanje stanja. Podrobneje so prikazana posamezna onesnaževala, nekatere zanimive vremenske situacije in razlogi za povišane koncentracije.

Publikacijo namenjamo širši javnosti, saj se zavedamo, da upravljanje in varovanje zraka ne omogoča le politika, pač pa z umnim ravnanjem lahko veliko pripomoremo tudi posamezniki. Zrak potrebujemo vsi, je dediščina, ki jo je potrebno skrbno varovati. Brez jasne in odločne akcije za izboljšanje kakovosti zunanjega zraka bodo zaradi posledic bolezni današnjega časa trpeli tudi naši potomci.

Brez zraka ni življenja in ni zdravja!

Dr. Silvo Žlebir  
Generalni direktor Agencije RS za okolje

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Silvo Žlebir'.



# VSEBINA

<b>UVOD</b> .....	<b>1</b>
<b>POVZETEK</b> .....	<b>2</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>4</b>
<b>1. ZAKONODAJA</b> .....	<b>8</b>
<b>1.1. Zunanji zrak</b> .....	<b>9</b>
<b>1.2. Padavine</b> .....	<b>11</b>
<b>2. MERITVE KAKOVOSTI ZRAKA NA STALNIH MERILNIH MESTIH</b> .....	<b>13</b>
<b>2.1. Merilne mreže in nabor meritev</b> .....	<b>14</b>
<b>2.2. Merilne metode in kakovost meritev</b> .....	<b>19</b>
2.2.1. Opis merilnih postopkov in merilne opreme .....	19
2.2.2. Umerjevalni laboratorij Agencije RS za okolje.....	23
2.2.3. Kemijsko analitski laboratorij Agencije RS za okolje .....	26
<b>2.3. Rezultati meritev</b> .....	<b>34</b>
2.3.1. Žveplov dioksid.....	34
Emisije SO <sub>2</sub> (leto 2009) .....	34
Onesnaženost zraka z žveplovim dioksidom .....	35
2.3.2. Dušikovi oksidi .....	41
Emisije dušikovih oksidov (leto 2009) .....	41
Onesnaženost zraka z dušikovimi oksidi .....	42
2.3.3. Ogljikov monoksid.....	48
Emisije ogljikovega monoksida (leto 2009) .....	48
Onesnaženost zraka z ogljikovim monoksidom.....	48
2.3.4. Ozon.....	53
Izvori ozona .....	53
Onesnaženost zraka z ozonom .....	54
Napoved ozona .....	63
2.3.5. Delci .....	66
2.3.5.1 Delci PM <sub>10</sub> .....	67
Emisije delcev PM <sub>10</sub> (leto 2009) .....	67
Onesnaženost zraka z delci PM <sub>10</sub> .....	67
Vulkanski prah nad Slovenijo med 14. 4. in 18. 4. 2010 .....	80
Soljenje in posipavanje cest .....	86
Določitev virov delcev PM <sub>10</sub> s kemijsko analizo .....	87
2.3.5.2 Delci PM <sub>2,5</sub> .....	91
Emisije delcev PM <sub>2,5</sub> (leto 2009) .....	91
Onesnaženost zraka z delci PM <sub>2,5</sub> .....	91
2.3.6. Kemijska analiza delcev .....	94
2.3.6.1 Kemijska analiza delcev PM <sub>10</sub> .....	94
Težke kovine v delcih PM <sub>10</sub> .....	94
Emisije težkih kovin.....	94
Onesnaženost zraka s težkimi kovinami .....	97
Težke kovine v delcih PM <sub>10</sub> v Zgornji Mežiški dolini .....	98
Policiklični aromatski ogljikovodiki v delcih PM <sub>10</sub> .....	100
2.3.6.2 Kemijska analiza delcev PM <sub>2,5</sub> .....	103
Težke kovine v delcih PM <sub>2,5</sub> .....	103
Ioni v delcih PM <sub>2,5</sub> .....	104
Elementarni in organski ogljik (EC/OC) v delcih PM <sub>2,5</sub> .....	104
2.3.7. Lahkohlapni ogljikovodiki .....	105

Emisije lahkih ogljikovodikov (leto 2009).....	105
Onesnaženost zraka z lahkih ogljikovodiki.....	106
2.3.8. Živo srebro v zunanjem zraku.....	108
Emisije živega srebra (leto 2009).....	108
Onesnaženost zraka s Hg.....	108
2.3.9. Žveplove in dušikove spojine ter anorganski ioni.....	111
<b>3. MERITVE KAKOVOSTI ZRAKA Z MOBILNO POSTAJO .....</b>	<b>114</b>
Črnomelj (5.11. 2009 – 21.1.2010).....	115
Idrija (27.1.-20.5.2010).....	116
Celje (22.5.-18.10.2010).....	117
<b>4. MERITVE KAKOVOSTI ZRAKA Z DIFUZIVNIMI VZORČEVALNIKI .....</b>	<b>119</b>
<b>5. MODELIRANJE .....</b>	<b>123</b>
<b>6. PROJEKTI.....</b>	<b>129</b>
Projekt PMinter.....	130
Projekt MACC.....	130
<b>7. MERITVE KAKOVOSTI PADAVIN .....</b>	<b>132</b>
<b>7.1. Merilne mreže in nabor meritev .....</b>	<b>133</b>
<b>7.2. Vzorčenje in kakovost meritev.....</b>	<b>136</b>
7.2.1. Merilna mreža DMKP.....	136
Postopki vzorčenja padavin.....	136
Zagotavljanje kakovosti meritev.....	136
7.2.2. Merilne mreže na območjih termoelektrarn.....	137
<b>7.3. Rezultati meritev.....</b>	<b>137</b>
7.3.1. Merilna mreža DMKP.....	137
7.3.1.1 pH vrednost, električna prevodnost in osnovni ioni v padavinah.....	137
7.3.1.2 Težke kovine, celotno živo srebro in PAH v padavinah.....	144
Težke kovine v padavinah.....	144
Celotno živo srebro v padavinah.....	145
Policiklični aromatski ogljikovodiki v padavinah.....	146
7.3.2. Merilne mreže na območjih termoelektrarn.....	147
<b>8. VPLIV ONESNAŽENEGA ZRAKA NA VEGETACIJO .....</b>	<b>150</b>
<b>8.1. Poškodbe po troposferskem ozonu na vegetaciji v Sloveniji /57, 104, 105/ .....</b>	<b>152</b>
<b>8.2. Biomonitoring kovin in dušika z uporabo mahov .....</b>	<b>160</b>
Zaključki.....	165
<b>9. METEOROLOŠKE ZNAČILNOSTI LETA 2010.....</b>	<b>166</b>
<b>10. LITERATURA.....</b>	<b>173</b>
<b>PRILOGE .....</b>	<b>178</b>

## UVOD

Meritve kakovosti zunanjega zraka potekajo v skladu s *Programom monitoringa /17/*, ki je dostopen tudi na spletni strani Agencije RS za okolje.

Letno poročilo vključuje rezultate vseh izvedenih meritev, primerjavo s predpisanimi mejnimi vrednostmi iz veljavne zakonodaje in druge značilnosti, ki izhajajo iz rezultatov.

Z letom 2010 so bile ukinjene meritve žveplovega dioksida v Novi Gorici in Mariboru, ker so bile izmerjene koncentracije zadnjih pet let pod spodnjim ocenjevalnim pragom. Iz istega razloga so se končale meritve dušikovih oksidov v Rakičanu. Izmenično vsako drugo leto bodo meritve ogljikovega monoksida potekale na merilnih mestih Celje in Nova Gorica – v letu 2010 so se izvajale v Novi Gorici.

Ukinitve meritev smo izvedli v skladu s 6.členom *Uredbe o ukrepih za ohranjanje in izboljšanje kakovosti (Ur.l.RS, št.52/03)*, ki pravi, da lahko država članica EU na vseh območjih in v aglomeracijah neprekinjene meritve konča, če je raven onesnaževala pod spodnjim ocenjevalnim pragom. Za ocenjevanje kakovosti zunanjega zraka tako zadostujejo tehnike modeliranja ali objektivne ocene ali obe hkrati.

Z letom 2010 pa so bile vzpostavljene meritve delcev  $PM_{10}$  na mestnih merilnih mestih Kranj in Novo mesto znotraj območja kakovosti SI3 ter v Hrastniku (območje SI2).

Določitev virov delcev  $PM_{10}$  s kemijsko analizo smo v letu 2010 izvedli na merilnih mestih Celje in Nova Gorica. V letu 2010 smo še dodatno vzpostavili analize elementarnega in organskega ogljika ter levoglukozana v delcih  $PM_{10}$ . To je namreč ključnega pomena pri ukrepih za zmanjšanje onesnaženosti zraka z delci.

S kemijsko analizo delcev  $PM_{10}$  in  $PM_{2,5}$  smo tudi v letu 2010 določali vsebnost težkih kovin in policikličnih organskih spojin v delcih na dveh mestnih merilnih mestih in na podeželski lokaciji na Iskrbi. V letu 2010 smo nadaljevali tudi z meritvami delcev  $PM_{10}$  in z analizo težkih kovin svinca v delcih v Zgornji Mežiški dolini, vendar zaradi izboljšanja stanja le še na lokaciji Žerjav. Meritve smo izvajali v skladu z *Odlokom o območjih največje obremenjenosti okolja in o programu ukrepov za izboljšanje kakovosti okolja v Zgornji Mežiški dolini (Ur.l.RS, št.119/2007)*.

Novost v letu 2010 so meritve elementarnega in organskega ogljika v delcih  $PM_{2,5}$  v okviru državne merilne mreže za kakovost zraka (DMKZ) na merilnih mestih, kjer se že sicer izvajajo meritve delcev  $PM_{2,5}$ .

Precejšnja pozornost je veljala spremljanju koncentracij ozona poleti ter s tem povezano opozarjanje prebivalstva in napovedovanje onesnaženosti zraka s tem onesnaževalom.

V skladu z *Uredbo o ukrepih za ohranjanje in izboljšanje kakovosti zunanjega zraka (Ur.l. RS, št. 52/02)* je Agencija v septembru 2009 objavila Oceno o kakovosti zunanjega zraka za obdobje 2002 – 2007. Država mora Oceno o kakovosti zunanjega zraka izdelati vsakih pet let.

## POVZETEK

Zaradi daljših obdobj suhega in hladnega vremena v zimskih mesecih je bila onesnaženost zraka v letu 2010 nekoliko večja kot v letu 2009. To je najbolj očitno pri delcih  $PM_{10}$  in  $PM_{2,5}$ . Predvsem v Zasavju, pa tudi ponekod drugod, kjer daljinsko ogrevanje ni dovolj razvejano, precejšen delež k onesnaženosti zraka z delci prispevajo manjše kurilne naprave oz. individualna kurišča, ki uporabljajo za gorivo drva, premog in lesne odpadke, in imajo pogosto zastarelo tehnologijo. Za večjo onesnaženost zraka v Zasavju so krive tudi zelo neugodne reliefne značilnosti, saj ležijo mesta v ozkih, večino časa neprevetrenih dolinah, zaradi česar je vpliv prometa, industrije in v zimskem času individualnih kurišč večji kot v bolj odprtih območjih.

Kakovost zraka je povsod, posebno pa v kotlinah in dolinah v notranjosti Slovenije, slabša pozimi, ko zaradi dolgih noči in šibkega sončnega obsevanja nastajajo bolj ali manj izrazite temperaturne inverzije, ki omogočajo prevetrenost in s tem razredčevanje in prenos onesnaženega zraka, pa tudi emisije onesnaževal – zlasti delcev - se pozimi povečajo zaradi potrebe po ogrevanju. Tako se npr. prekoračitve mejne dnevne koncentracije delcev  $PM_{10}$  pojavljajo v zadnjih nekaj letih skoraj izključno v hladni polovici leta (januar-marec, oktober-december), saj poleti ni več daljših obdobj stabilnega in suhega vremena.

Koncentracije onesnaževal, katerih glavni vir je promet, imajo značilen dnevni hod z maksimumom zjutraj in zvečer (popoldanska prometna konica se na onesnaženosti zraka odraza pozneje, ko se hitrosti vetra že zmanjšajo). Koncentracije so opazno višje ob delavnikih, ko je promet gostejši, kot ob koncu tedna.

Za tista onesnaževala, za katera so predpisane mejne vrednosti koncentracij, navajamo naslednje značilnosti v letu 2010:

- Povprečna letna koncentracija **delcev  $PM_{10}$**  je prekoračila mejno vrednost le na najbolj prometnem merilnem mestu Ljubljana center, dovoljeno letno število prekoračitev mejne dnevne koncentracije pa je bilo preseženo na vseh mestnih merilnih mestih v notranjosti Slovenije. Zgornji ocenjevalni prag koncentracije je bil prekoračen na vseh drugih merilnih mestih razen na Iskrbi, ki je daleč od večjih virov emisije.
- Vsebnost **kadmija, arzena, niklja in svincea** v delcih  $PM_{10}$  je bila na merilnih mestih Ljubljana- Biotehniška fakulteta, Maribor center in Iskrba pod spodnjim ocenjevalnim pragom koncentracije, V Žerjavu v Zgornji Mežiški dolini pa je bil pri svincu prekoračen spodnji ocenjevalni prag, pri kadmiju pa zgornji ocenjevalni prag.
- Med policikličnimi aromatskimi ogljikovodiki je letna ciljna vrednost predpisana le za **benzo(a)piren** in le-ta je bila v letu 2010 prekoračena na merilnih mestih Ljubljana-Biotehniška fakulteta in Maribor center.
- Koncentracija **benzena**, ki se meri na treh mestnih merilnih mestih, je prekoračila zgornji ocenjevalni prag povprečne letne vrednosti na lokaciji Ljubljana center, na merilnih mestih Maribor center in Ljubljana Bežigrad pa je bila pod spodnjim ocenjevalnim pragom.
- **Delci  $PM_{2,5}$**  niso prekoračili predpisane letne koncentracije.
- Zaradi neizrazitega poletja je bila - tako kot v prejšnjih dveh letih - onesnaženost zraka z **ozonom** razmeroma nizka tudi v letu 2010. Urne koncentracije so nekajkrat prekoračile opozorilno vrednost le na višje ležečih merilnih mestih Krvavec in Otlica nad Ajdovščino, od nižje ležečih

krajev pa le v Kopru. Največ prekoračitev 8-urne ciljne vrednosti pa je bilo tako kot vsako leto na Krvavcu, sledijo pa Otlica, Koper in Vnajarje. Na Krvavcu in Otlici je bila najbolj prekoračena tudi mejna vrednost parametra AOT40 za varstvo rastlin in gozdov. Najvišja povprečna letna koncentracija je bila tako kot vsako leto izmerjena na Krvavcu.

- Koncentracije **žveplovega dioksida** so bile tudi v letu 2010 povsod pod spodnjim ocenjevalnim pragom za zaščito zdravja. Le na dveh višje ležečih krajih v Zasavju je bil prekoračen spodnji ocenjevalni prag za varstvo rastlin.

- Onesnaženost zraka z dušikovimi oksidi je največja na mestnih prometnih lokacijah, ker je glavni vir emisije promet. Povprečna letna koncentracija **dušikovega dioksida** je prekoračila mejno vrednost na najbolj prometnem merilnem mestu Ljubljana center. Zgornji ocenjevalni prag je bil prekoračen na merilnih mestih Ljubljana Bežigrad in Maribor center, spodnji ocenjevalni prag pa v Celju in Novi Gorici.

Pod spodnjim ocenjevalnim pragom za varstvo rastlin so se gibale koncentracije **skupnih dušikovitih oksidov** na merilnih mestih, ki so reprezentativna za naravno okolje.

- Koncentracije **ogljikovega monoksida** so bile na vseh merilnih mestih pod spodnjim ocenjevalnim pragom.

## SUMMARY

Due to longer periods of dry and cold weather during winter months the air pollution in 2010 was somewhat higher than in 2009; the increase is most evident in  $PM_{10}$  and  $PM_{2.5}$  particles. Besides traffic and industry, small individual heating devices using out-of-date technology and »unclean« fuels considerably contribute to pollution with particulate matter in some populated areas with insufficient district heating.

Air quality is significantly worse during wintertime when stable non-moving air boundary layer with frequent temperature inversions occurs especially over valleys and basins (e. g. Zasavje region), and when the need for heating increases.

In 2010 there were more than 35 allowed exceedances of the daily  $PM_{10}$  concentrations at all urban sites in the interior of Slovenia. The upper assessment threshold (UAT) was exceeded elsewhere except at Iskrba EMEP station, which is far from major emission sources.  $PM_{2.5}$  particles were below the limit value

Relatively low **ozone** concentrations in recent years are the result of unpronounced summers. There were only few exceedances of the ozone information threshold in 2010 at the Krvavec and Otlica stations of higher altitude, and at Koper station on the Adriatic coast. As usually, the 8-hour target value was mostly exceeded in the regions of higher altitude, where also the annual average concentrations are highest (Krvavec, Otlica).

**Nitrogen dioxide** was above the limit annual concentration at the urban heavy traffic spot of Ljubljana center. The UAT was exceeded at the sites of Ljubljana Bežigrad and Maribor center, and the lower assessment threshold (LAT) in Celje and Nova Gorica.

**Benzene** exceeded the UAT at the urban heavy traffic spot of Ljubljana center, and **benzo(a)pyrene** exceeded the target value in Ljubljana and Maribor.

Other pollutants remained below the limit values or the lower assessment thresholds with the exception of exceeded  $SO_2$  LAT for vegetation at two sites of higher altitude in the Trbovlje Power Plant influential area, and heavy metals (UAT of cadmium, LAT of lead) in the Zgornja Mežiška dolina (village of Žerjav), which still suffers the effects of former lead mine.

**Tabela:** Pregled koncentracij različnih onesnaževal v letu 2010. Prekoračene mejne vrednosti so v rdečem tisku, v poševnem tisku pa so rezultati z merilnih mest, ki niso reprezentativna za varstvo rastlin.

**Table:** Overview of concentrations of different pollutants in 2010. Exceedences of limit values are in red, italics designate monitoring sites, which are not representative for protection of vegetation.

merilno mesto / site	žveplov dioksid SO <sub>2</sub>				dušikov dioksid NO <sub>2</sub>		dušikovi oksidi NO <sub>x</sub>	ogljikov monoksid CO	delci PM <sub>10</sub>		delci PM <sub>2,5</sub>	Ozon O <sub>3</sub>		benzen C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	arzen v PM <sub>10</sub> As	kadmij v PM <sub>10</sub> Cd	nikelj v PM <sub>10</sub> Ni	svinec v PM <sub>10</sub> Pb	ž. srebro v PM <sub>10</sub> Hg	benzo(a) piren v PM <sub>10</sub>
	leto/ year	zima/ winter	1 ura/ 1 hour	24 ur/ 24hours	leto/ year	1 ura/ 1 hour	leto/ year	8 ur/ 8 hours	leto/ year	24 ur/ 24hours	leto/ year	1 ura/ 1 hour	8 ur/ 8 hours	leto/ year	leto/ year	leto/ year	leto/ year	leto/ year	leto/ year	leto/ year
	Cp (µg/m <sup>3</sup> )	Cp (µg/m <sup>3</sup> )	>MV	>MV	Cp (µg/m <sup>3</sup> )	>MV	Cp (µg/m <sup>3</sup> )	Cmax (mg/m <sup>3</sup> )	Cp (µg/m <sup>3</sup> )	>MV	Cp (µg/m <sup>3</sup> )	>OV	>CV	Cp (µg/m <sup>3</sup> )	Cp (ng/m <sup>3</sup> )	Cp (ng/m <sup>3</sup> )	Cp (ng/m <sup>3</sup> )	Cp (ng/m <sup>3</sup> )	Cp (ng/m <sup>3</sup> )	Cp (ng/m <sup>3</sup> )
<b>DMKZ</b>																				
Ljubljana Bežigrad	2	3	0	0	35	0	64	3,2	30	43		0	21	1,8						
Ljubljana Biotehniška f.									27	32				0,5	0,3	4,5	8,3			1,1
Maribor center					34	0	68	3,1	33	47	24	0	3	1,8	0,8	0,3	3,0	11,7		1,1
Maribor Vrbanski plato											22									
Kranj									32	37										
Novo mesto									31	60										
Celje	6	8	0	0	26	0	53		32	58		0	22							
Trbovlje	3	3	0	0	20	0	40	3,1	34	64		0	22							
Hrastnik	4	6	0	0	18	0	35		27	30		0	32							
Zagorje	8	11	0	0					36	68		0	12							
Murska S.-Rakičan									30	52		0	23							
Nova Gorica					29	0	56	2,5	29	27		0	43							
Koper					21	0	28		25	15		2	56							
Krvavec								0,4				14	82							
Žerjav									26	29				2,2	4,5	1,8	256			
Iskrba	0,6	0,9			0,6				14	5	12	0	36	0,3	0,1	1,8	3,3	1,3		0,2
Otlica												3	57							
<b>EIS TEŠ</b>																				
Soštanj	7	4	1	0																
Topolšica	3	4	0	0																
Veliki Vrh	6	6	0	0																
Zavodnje	6	7	0	0	5	0	7					0	43							
Velenje	2	2	0	0								0	34							
Graška Gora	2	1	0	0																
Pesje	6	6	0	0					22	10										
Škale	4	5	0	0	8	0	9		23	12										
<b>EIS TET</b>																				
Kovk	8	11	0	0	9	0	11					0	47							
Dobovec	6	6	0	0	11	0	12													
Kum	8	7	0	0																
Ravenska Vas	9	12	1	0																
Prapretno									29	29										
OMS Ljubljana center	5	6	0	0	63	7	122		42	74				3,8						
TE-TO Ljubljana (Vnainarie)	3	1	0	0	4	0	4		20	2		0	51							
MO Maribor-Tabor									31	38										
MO Maribor-Pohorje												0	25							
EIS TEB (sv.Mohor)	-	-	-	-	3	0	4					0	13							
EIS Anhovo (Morsko)									19	5										
EIS Anhovo (Gor.Polje)									20	13										

Oznake pri tabeli / legend to table:





Cp	povprečna koncentracija / average concentration	>MV	število primerov s preseženo mejno vrednostjo / number of limit value exceedances
OV	število primerov s preseženo opozorilno vrednostjo / number of information threshold exceedances	>CV	število primerov s preseženo ciljno vrednostjo / number of target value exceedances
<	pod mejo kvantifikacije / below quantification limit	-	ni podatkov / no data
■	ni meritev / no monitoring		





**Tabela:** Raven koncentracij različnih onesnaževal v letu 2010 (z – varovanje zdravja, e – zaščita ekosistemov, v – varstvo rastlin)

**Table:** Concentration level of different pollutants in 2010 (z – protection of health, e – protection of ecosystems, v – protection of vegetation)

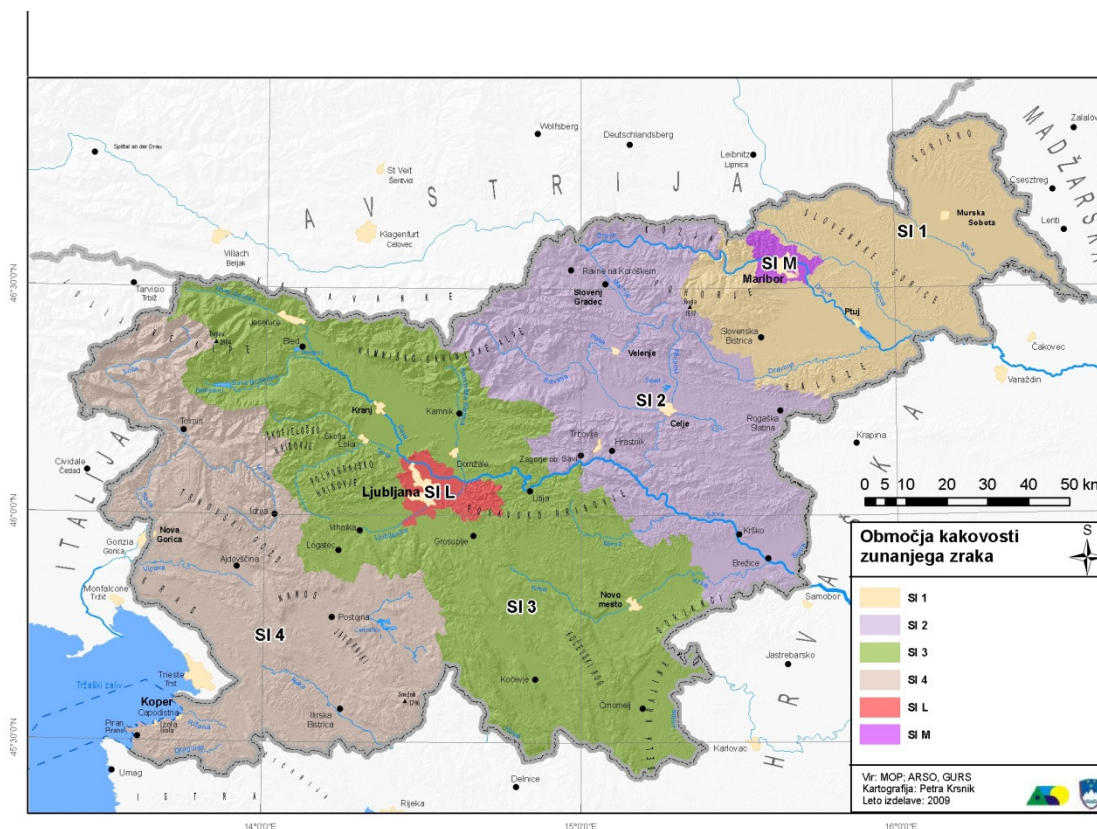
Merilno mesto/ site	območje/ Zone code	Žveplov dioksid SO <sub>2</sub> *		dušikov dioksid NO <sub>2</sub> *		dušikovi oksidi NO <sub>x</sub> *		ogljikov monoksid CO*		ozon O <sub>3</sub>		delci PM <sub>10</sub> *		delci PM <sub>2,5</sub>		benzen C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> *		arzen v PM <sub>10</sub> As*		kadmij v PM <sub>10</sub> Cd*		nikelj v PM <sub>10</sub> Ni*		svinec v PM <sub>10</sub> Pb*		ž.srebro v PM <sub>10</sub> Hg		benzo(a) piren v PM <sub>10</sub> *	
		z	e	z	v	z	z	v	z	z	z	z	z	z	z	z	z	z	z	z	z	z	z	z	z	z	z	z	
<b>DMKZ</b>																													
Ljubljana Bežigrad	SIL																												
Ljubljana Biotehniška f.	SIL																												
Maribor center	SIM																												
Maribor Vrbanski plato	SIM																												
Kranj	SI3																												
Novo mesto	SI3																												
Celje	SI2																												
Trbovlje	SI2																												
Hrastnik	SI2																												
Zagorje	SI2																												
Murska S.-Rakičan	SI1																												
Nova Gorica	SI4																												
Koper	SI4																												
Žerjav	SI3																												
rvavec	SI3																												
Iskrba	SI3																												
Otlica	SI3																												
<b>EIS TEŠ</b>																													
Soštanj	SI2																												
Topolšica	SI2																												
Veliki Vrh	SI2																												
Zavodnje	SI2																												
Velenje	SI2																												
Graška Gora	SI2																												
Pesje	SI2																												
Skale	SI2																												
<b>EIS TET</b>																													
Kovk	SI2																												
Dobovec	SI2																												
Kum	SI2																												
Ravska Vas	SI2																												
Prapretno	SI2																												
OMS Ljubljana center	SIL																												
TE-TO Ljubljana (Vnajnarije)	SI3																												
MO Maribor-Tabor	SIM																												
MO Maribor-Pohorje	SIM																												
EIS TEB (sv.Mohor)	SI2																												
EIS Anhovo (Morsko)	SI4																												
EIS Anhovo (Gor. Polje)	SI4																												

Legenda:

- \* določena sta zgornji in spodnji ocenjevalni prag
-  prekoračena mejna (ciljna) vrednost/ limit (target) value exceeded
-  prekoračen zgornji ocenjevalni prag/ upper assessment threshold exceeded
-  prekoračen spodnji ocenjevalni prag/ lower assessment threshold exceeded
-  koncentracija pod spodnjim ocenjevalnim pragom oz. mejno ali ciljno vrednostjo/ concentration below the lower assessment threshold (or limit or target value)

-  prekoračena opozorilna vrednost/ information threshold exceeded
-  mejna vrednost ni določena/ limit value is not prescribed
-  ni meritev/ no monitoring
-  ni podatkov/ no data





**Slika:** Območja kakovosti zunanjega zraka  
**Picture:** Zones of Air quality

Agencija RS za okolje je v oktobru 2010 pripravila *Oceno onesnaženosti z žveplovim dioksidom, dušikovimi oksidi, delci PM<sub>10</sub>, ogljikovim monoksidom, benzenom, težkimi kovinami (Pb, As, Cd, Ni) in policikličnimi aromatskimi ogljikovodiki (PAH) v Sloveniji /20/* na osnovi podatkov iz obdobja 2005-2009, ki je objavljena na spletni strani Agencije za okolje. V omenjeni oceni je Slovenija še vedno razdeljena na dve aglomeraciji in štiri območja.

Tabela/ Table: Območja /Zones

Območje / zone	Združene statistične enote
SI1	Pomurska in Podravska brez območja mesta Maribor
SI2	Koroška, Savinjska, Zasavska in Spodnjesavska
SI3	Gorenjska, Osrednjeslovenska in Jugovzhodna Slovenija brez območja mesta Ljubljana
SI4	Goriška, Notranjsko-Kraška in Obalno-Kraška

Poseljeno območje/ agglomeration	
SIL	Območje mesta Ljubljana
SIM	Območje mesta Maribor

# 1. ZAKONODAJA



**V državah članicah Evropske skupnosti velja enotna zakonodaja, ki ureja področje okolja in varovanja zdravja ljudi na območju celotne skupnosti.**

**Uredbe, ki urejajo področje kakovosti zunanjega zraka, določajo mejne koncentracije onesnaževal, nad katerimi je ogroženo zdravje ljudi v naseljenih območjih ter ravnotežje naravnih ekosistemov. Države članice so dolžne izvajati meritve onesnaževal, katerih metode in standardi kakovosti so prav tako predpisani z uredbami oz. pravilniki, podatke pa morajo poročati na Evropsko okoljsko agencijo (EEA) ter tudi sproti obveščati domačo javnost o kakovosti zraka. V primeru prekoračitev mejnih vrednosti onesnaževal pa morajo države načrtovati in tudi izvajati ukrepe za izboljšanje razmer.**

**Za kakovost padavin mejne vrednosti koncentracij onesnaževal niso predpisane, zato so rezultati meritev zgolj informativni, in služijo znanstvenim raziskavam in ocenam prenosa onesnaževal z zračnimi tokovi na velike razdalje.**

## 1.1. Zunanji zrak

Osnova slovenske zakonodaje na področju kakovosti zunanjega zraka (v nadaljevanju kakovost zraka) je *Zakon o varstvu okolja (ZVO, Ur.l. RS 39/06-ZVO-1-UPB1, 49/06-ZMetD in 66/06-OdlUS, 112/06-OdlUS, 33/07-ZPNačrt, 57/08-ZFO-1A, 70/08 in 108/09)*.

V veljavi je sledeča zakonodaja s področja kakovosti zunanjega zraka

- Uredba o ukrepih za ohranjanje in izboljšanje kakovosti zunanjega zraka (Ur.l. RS, št. 52/02),
- Uredba o žveplovem dioksidu, dušikovih oksidih, delcih in svincu v zunanjem zraku (Ur.l. RS, št. 52/02),
- Uredba o benzenu in ogljikovem monoksidu v zunanjem zraku (Ur.l. RS, št. 52/02),
- Uredba o ozonu v zunanjem zraku (Ur.l. RS, št. 8/03),
- Uredba o arzeniu, kadmiju, živem srebru, niklju in policikličnih aromatskih ogljikovodikih v zunanjem zraku (Ur.l. RS, št. 56/06),
- Uredba o emisiji snovi v zrak iz nepremičnih virov onesnaževanja (Ur.l. RS, št. 31/07, 61/09),
- Direktiva 2008/50/ES Evropskega parlamenta in sveta z dne 21. maja 2008 o kakovosti zunanjega zraka in čistejšem zraku za Evropo (Ur.l.EU, L152/11, 08),<sup>1</sup>
- Sklep o določitvi območij in stopnji onesnaženosti zaradi žveplovega dioksida, dušikovih oksidov, delcev, svinca, benzena, ogljikovega monoksida in ozona v zunanjem zraku (Ur.l. RS, št. 72/03),
- Pravilnik o monitoringu kakovosti zunanjega zraka (Ur.l. RS, št. 36/07),
- Odlok o območjih največje obremenjenosti okolja in o programu ukrepov za izboljšanje kakovosti okolja v Zgornji Mežiški dolini (Ur.l.RS, št.119/07),
- Konvencija o onesnaževanju zraka na velike razdalje preko meja (CLRTAP, protokol EMEP).

Te uredbe predpisujejo, katera onesnaževala je potrebno spremljati, njihove mejne, ciljne, opozorilne in alarmne vrednosti, najmanjše potrebno število merilnih mest, vrste merilnih mest, njihove gostote v merilnih mrežah, referenčne merilne metode in izračunavanje statističnih vrednosti in izmenjavo oziroma prikaz podatkov.

Mejna vrednost (MV) je raven koncentracije, določena na podlagi znanstvenih spoznanj, katere cilj je izogniti se škodljivim učinkom na zdravje ljudi oziroma naravno okolje (ekosistemi), jih preprečiti ali zmanjšati, in ki jo je v določenem roku treba doseči, ko pa se ta doseže, se ne sme preseči.

Alarmna vrednost (AV) je predpisana raven onesnaženosti, pri kateri je treba zagotoviti takojšnje ukrepe za zavarovanje zdravja ljudi in okolja. Alarmna vrednost se določi pri kritični ravni onesnaženosti, nad katero že kratkotrajna izpostavljenost zaradi snovi v zraku pomeni tveganje za zdravje ljudi.

Pri ozonu sta definirani opozorilna urna vrednost (OV) in ciljna 8-urna vrednost, ki naj bi bila dosežena leta 2010 (CV).

Pri nekaterih onesnaževalih sta definirana še spodnji in zgornji ocenjevalni prag koncentracije (SOP in ZOP). Če so bile izmerjene koncentracije v določenem časovnem obdobju pod SOP, se lahko za nadaljnjo oceno stanja uporabijo le modelni izračuni oziroma strokovne ocene, če pa so med SOP in ZOP, se lahko uporabi kombinacija meritev in modelnih izračunov. V primeru, da koncentracije v določenem časovnem obdobju presegajo ZOP, je potrebno izvajati stalne meritve kakovosti zraka.

---

<sup>1</sup> Direktiva je bila transponirana v naš pravni red 11. 2. 2011

**Tabela 1.(1):** Mejne, alarmne, dopustne in ciljne vrednosti ter sprejemljiva preseganja koncentracij za leto 2010:

Onesnaževalo	1 ura	3 ure	8 ur	dan	zima	leto	
žveplov dioksid ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	350 (MV) <sup>1</sup>	500 (AV)		125 (MV) <sup>3</sup> 75 (ZOP) <sup>3</sup> 50 (SOP) <sup>3</sup>	20 (KV) 12 (ZOP) 8 (SOP)	20 (MV)	
za varstvo:	zdravja	zdravja		zdravja	rastlin	ekosistemov	
dušikov dioksid ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	200 (MV) <sup>2</sup> 100 (SOP) <sup>2</sup> 140 (ZOP) <sup>2</sup>	400 (AV)				40 (MV) 26 (SOP) 32 (ZOP)	
za varstvo:	zdravja	zdravja				zdravja	
dušikovi oksidi ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )						30 (MV) 19,5 (SOP) 24 (ZOP)	
za varstvo:						rastlin	
ogljikov monoksid ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )			10 (MV) 7 (ZOP) 5 (SOP)				
za varstvo:			zdravja				
benzen ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )						5 (MV) 3,5 (ZOP) 2 (SOP)	
za varstvo:						zdravja	
ozon ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	180(OV) 240(AV)		120 (CV) <sup>5</sup>			40 (MV)	
za varstvo:	zdravja		zdravja			materialov	
						<b>AOT40</b>	
						maj-julij	april-sept.
						18000 (MV) vegetacije	20000 (MV) gozdov
delci PM <sub>10</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) **				50 (MV) <sup>4</sup> 20 (SOP) <sup>4</sup> 30 (ZOP) <sup>4</sup>		40 (MV) 10 (SOP) 14 (ZOP)	
za varstvo:				zdravja		zdravja	
delci PM <sub>2,5</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )						28,6 (MV)=25 (CV) + 3,6 (SP) 12 (SOP) 17 (ZOP)	
za varstvo:						Zdravja	
svinec <sup>▲</sup> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )						0,5 (MV) 0,25 (SOP) 0,35 (ZOP)	
za varstvo:						zdravja	
kadmij <sup>▲</sup> ( $\text{ng}/\text{m}^3$ )						5 (CV) 2 (SOP) 3 (ZOP)	
za varstvo:						zdravja	
arzen <sup>▲</sup> ( $\text{ng}/\text{m}^3$ )						6 (CV) 2,4 (SOP) 3,6 (ZOP)	
za varstvo:						zdravja	
nikelj <sup>▲</sup> ( $\text{ng}/\text{m}^3$ )						20 (CV) 10 (SOP) 14 (ZOP)	
za varstvo:						zdravja	
benzo(a)piren <sup>▲</sup> ( $\text{ng}/\text{m}^3$ )						1 (CV) 0,4 (SOP) 0,6 (ZOP)	
za varstvo:						zdravja	

<sup>1</sup> – vrednost je lahko presežena 24-krat v enem letu

<sup>2</sup> – vrednost je lahko presežena 18-krat v enem letu

<sup>3</sup> – vrednost je lahko presežena 3-krat v enem letu

<sup>5</sup> – vrednost je lahko presežena 25-krat v enem letu (cilj za leto 2010)

<sup>▲</sup> – izmerjeno v delcih PM<sub>10</sub>

<sup>4</sup> – vrednost je lahko presežena 35-krat v enem letu

Za živo srebro ni določene mejne letne ali ciljne koncentracije.

Za delce PM<sub>10</sub> sta bila z novo Direktivo 2008/50/ES Evropskega parlamenta in sveta z dne 21. maja 2008 o kakovosti zunanjega zraka in čistejšem zraku za Evropo (Ur.l.EU, L1/52/11, 08)<sup>2</sup> spremenjena spodnji in zgornji ocenjevalni prag. Nove vrednosti bomo pričeli uporabljati v letu 2012.

Med leti 2008 in 2015 velja za delce PM<sub>2.5</sub> letna mejna vrednost koncentracije 25 µg/m<sup>3</sup> povečana za sprejemljivo preseganje, vsako leto za 20 % (tabela 1.(2)). To pomeni, da je v letu 2010 mejna letna vrednost za delce PM<sub>2.5</sub> 28,6 µg/m<sup>3</sup>.

**Tabela 1.(2):** Vrednosti sprejemljivega preseganja (SP) v µg/m<sup>3</sup> za koncentracijo delcev PM<sub>2.5</sub>

2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
5,0	4,3	3,6	2,9	2,1	1,4	0,7	0,0

Vse uredbe iz zakonodaje Evropske skupnosti na področju zunanjega zraka, ki se nanašajo na različna onesnaževala in ki določajo mejne vrednosti oziroma stopnje koncentracij, nad katerimi so potrebni ukrepi za zmanjševanje koncentracij, so sprejete v slovensko zakonodajo (poglavje 1.1). Za izmenjavo informacij in za nekatere druge tehnične podrobnosti pri obdelavi podatkov pa smo uporabljali še naslednje dokumente EU:

- Guidance for the Demonstration of Equivalence of Ambient Air Monitoring Methods, januar 2010,
- Convention on Long-range Transboundary Air Pollution,
- Council Decision establishing a reciprocal exchange of information and data from networks and individual stations measuring ambient air pollution within the Member States, **97/101/EC**,
- Comission Decision of 17 October 2001 amending the Annexes to Council Decision **97/101/EC** establishing a reciprocal exchange of information and data from networks and individual stations measuring ambient air pollution within the Member States,
- Guideline to Questionnaire laying down a questionnaire to be used for annual reporting on ambient air quality assessment under Council Directives 96/62/EC, 1999/30/EC, 2000/69/EC, 2002/3/EC, and 2004/107/EC, and 2008/50/EC. European Commission, Pilot template, June, 2009,
- Comission Decision of 29 April 2004 laying down a questionnaire to be used for annual reporting on ambient air quality assessment under Council Directives 96/62/EC and 1999/30/EC and under Directives 2000/69/EC and 2002/3/EC of the European Parliament and of the Council.
- 

## 1.2. Padavine

Za izvajanje državnega monitoringa kakovosti padavin v Sloveniji v okviru državne merilne mreže padavin (DMKP) je v skladu z *Zakonom o varstvu okolja* zadolžena Agencija RS za okolje. Namen monitoringa kakovosti padavin je čim natančneje določiti fizikalno kemijske lastnosti padavin in v povezavi s količino le-teh ugotoviti, kakšno je usedanje snovi, ki vplivajo tako na zdravje ljudi kot tudi na stanje okolja v krajših in tudi daljših časovnih obdobjih. Glede na to, da niti slovenska niti evropska zakonodaja ne predpisujeta mejnih vrednosti, je izvajanje meritev depozicij onesnaževal informativnega značaja, služi pa tudi znanstvenim raziskavam na področju ugotavljanja transporta teh snovi na velike razdalje.

Monitoring kakovosti padavin izvajamo v skladu z naslednjimi akti, ki so podrobneje navedeni že pri t. 1.1:

<sup>2</sup> Direktiva je bila transponirana v naš pravni red 11. 2. 2011

- Zakon o varstvu okolja (Ur.l. RS, št. 39/06-ZVO-1-UPB1, 49/06-ZMetD in 66/06-OdlUS, 112/06-OdlUS, 33/07-ZPNačrt, 57/08-ZFO-1A, 70/08 in 108/09),
- Pravilnik o monitoringu kakovosti zunanjega zraka (Ur.l. RS, št. 36/07),
- Uredba o arzeniu, kadmiju, živem srebru, niklju in policikličnih aromatskih ogljikovodikih v zunanjem zraku (Ur.l. RS, št. 56/06) in
- Konvencija o onesnaževanju zraka na velike razdalje preko meja (CRLTAP).



## 2. MERITVE KAKOVOSTI ZRAKA NA STALNIH MERILNIH MESTIH



Mrežo meritev onesnaženosti zraka v Sloveniji sestavljajo avtomatska merilna mreža stalnih ekološko-meteoroloških postaj državne mreže za spremljanje kakovosti zraka (DMKZ), ki jo vodi Agencija RS za okolje (ARSO), ter dopolnilne avtomatske merilne mreže, v katerih izvajajo meritve drugi izvajalci (TE Šoštanj, TE Trbovlje, mestne občine Ljubljana, Maribor, Celje).

Mreža merilnih mest v Sloveniji je gostejša na območjih v bližini večjih virov onesnaženosti zraka. V krajih, ki niso zajeti v okviru stalnih mrež, potekajo občasne meritve onesnaženosti zraka z avtomatsko mobilno ekološko-meteorološko postajo in z difuzivnimi vzorčevalniki.

Na območjih, ki so oddaljena od velikih virov emisije, delujeta postaji Iskrba pri Kočevski Reki (v nadaljevanju Iskrba) in Krvavec, na katerih izvajamo meritve ozadja onesnaženosti zraka in sta vključeni v mednarodni mreži EMEP (European Monitoring and Evaluation Programme) in WMO-GAW (World Meteorological Organisation – Global Atmosphere Watch).

## 2.1. Merilne mreže in nabor meritev

**V letu 2010 so se izvajale meritve kakovosti zunanega zraka na skupno 34 stalnih merilnih mestih po Sloveniji.**

Stalne meritve koncentracij nekaterih onesnaževal (žveplovega dioksida, dušikovih oksidov, ozona, ogljikovega monoksida in delcev) s kontinuirnimi merilniki so se v Sloveniji začele v letu 1992 v državni mreži ANAS (analitično-nadzorni alarmni sistem). Merilna mreža se je z leti počasi širila tako po naboru meritev kot po merilnih mestih.

Podatke za merilna mesta iz mrež TEŠ, TET, TEB, TE-TO Ljubljana in MO Ljubljana nam posreduje Elektroinštitut Milan Vidmar (EIMV).

Z letom 2010 je bilo ukinjeno merilno mesto EIS Celje.

Nadalje so bile z letom 2010 ukinjene meritve žveplovega dioksida v Novi Gorici, Rakičanu in Mariboru, ker so bile izmerjene koncentracije zadnjih pet let pod spodnjim ocenjevalnim pragom. Iz istega razloga so se končale meritve dušikovih oksidov v Rakičanu. Izmenično vsako drugo leto bodo meritve ogljikovega monoksida potekale na merilnih mestih Celje in Nova Gorica – v letu 2010 so se izvajale v Novi Gorici.

Z letom 2010 pa so bile vzpostavljene meritve delcev PM<sub>10</sub> na mestnih merilnih mestih Kranj in Novo mesto znotraj območja kakovosti SI3 ter v Hrastniku (območje SI2)

Na merilnem mestu Maribor center se je od avgusta 2009, ko je bilo odprta južna obvoznica in se je ves tranzitni promet preusmeril na to obvoznico, kakovost zunanega zraka bistveno izboljšala.

Kemijske analize delcev PM<sub>10</sub> in PM<sub>2,5</sub> ne izvajamo le zato, da bi zadostili zakonodaji, temveč da bi natančneje definirali vire delcev, kar je ključnega pomena pri ukrepih za zmanjšanje onesnaženosti zraka z delci.

Poleg stalnih postaj deluje v merilni mreži DMKZ še mobilna postaja, ki je bila v letu 2010 locirana na treh lokacijah v Sloveniji. Z mobilno postajo izvajamo meritve kakovosti zunanega zraka na področjih, kjer ni stalnih meritev.

Lokacije vseh merilnih mest so določene v skladu s priporočili *Pravilnika o monitoringu kakovosti zunanega zraka*, ki določa umestitev vzorčevalnih mest na makro in mikro ravni. Za vsako merilno mesto se določi tip postaje, tip območja, na katerem je postaja, in značilnost območja. Pri omenjeni določitvi smo poštevali določila *EUROAIRNET – site selection, 1998*.

Seznam merilnih mest (tudi lokacij mobilne postaje) in parametri, ki se merijo, so podani v tabelah 2.1.(1) in 2.1.(2). Merilna mesta so prikazana tudi na sliki 2.1.(1).

Merilna mesta mestnega ozadja (Ljubljana Bežigrad, Ljubljana BF, Maribor Vrbanski plato, Celje, Nova Gorica, Koper) so reprezentativna za najbolj naseljene predele teh mest, v katerih živi večina prebivalstva.

Meritve na prometnih mestnih merilnih mestih Ljubljana center, Maribor center in Zagorje kažejo, kakšna je kakovost zraka v ozkem pasu ob prometnih cestah, kjer se ljudje večinoma zadržujejo kratek čas. Onesnaženost na takih lokacijah je od 60 do 70 % višja kot na lokacijah mestnega ozadja.

Merilna mesta predmestnega ozadja (Trbovlje, Hrastnik, Topolšica, Pesje, Škale) podajajo razmere glede kakovosti zraka na obrobju mest ali večjih naselij, kjer je prometa manj kot v samih mestih in so



zato koncentracije onesnaževal, ki izvirajo iz prometa, na takih lokacijah nekoliko nižje. Posebej moramo omeniti merilno mesto Trbovlje, ki leži približno 1 km južno od mesta.

Posebej slabe razmere vladajo v Zasavju, kjer vsa tri mesta – Zagorje, Trbovlje in Hrastnik – ležijo v ozkih, večino časa neprevetrenih dolinah. Predvsem industrijski viri in mala kurišča, občasno pa tudi TE Trbovlje ob tako neugodnih reliefnih značilnostih bistveno vplivajo na kakovost zraka. Predvsem v zimskem času se dokaj enakomerno onesnažen zrak tudi dalj zadržuje v omenjenih dolinah. Zaradi naštetih značilnosti lahko rečemo, da sta merilni mesti Trbovlje in Hrastnik dovolj reprezentativni za opis razmer v teh dveh mestih, medtem ko je onesnaženost zraka v predelih Zagorja, kjer živi večina prebivalstva, nekoliko nižja od izmerjene, ker je merilno mesto v prometnem centru mesta.

Obveznost izvajanja programa EMEP izhaja iz Konvencije o prekomejnem onesnaževanju zraka na velike razdalje (CLRTAP – Convention on Long-range Transboundary Air Pollution), ki sodi med glavne mednarodne sporazume za področje varstva zraka. Podatki meritev z omenjenih merilnih mest so namenjeni za pridobivanje informacij o stanju onesnaženosti zraka na širšem področju za zaščito okolja (narava, rastline, živali) in ljudi ter za potrebe študij daljinskega transporta. Program EMEP se osredotoča predvsem na spremljanje depozicije, zakisljevanja in evtrofikacije v Evropi, GAW pa na zgodnje opozarjanje in napovedovanje sprememb v kemijski sestavi ter v fizikalnih lastnostih atmosfere. Lokaciji merilnih mest za meritve ozadja onesnaženosti zraka sta izbrani v skladu s kriteriji EMEP.

Tabela 2.1. (1): Merilna mesta za meritve kakovosti zraka v letu 2010

Kraj	NV	GKKy	GKKx	Tip m. mesta	Tip območja	Značilnost območja	Geog. opis
<b>DMKZ</b>							
Ljubljana Bežigrad	299	5462673	5102490	B	U	RC	16
Ljubljana BF	297	5459457	5100591	B	U	R	16
Maribor center	270	5550305	5157414	T	U	RC	16
Maribor Vrbanski plato	250	5548432	5158612	B	U	R	16
Kranj	391	5451356	5122802	B	U	R	16
Novo mesto	214	5514163	5073066	B	U	R	16
Celje	240	5520614	5121189	B	U	R	16
Trbovlje	250	5503116	5110533	B	S	RCI	2
Zagorje	241	5500070	5109663	T	U	RCI	2
Hrastnik	290	5506805	5111089	B	U	IR	2
Nova Gorica	113	5395909	5091034	B	U	RC	32
Koper	56	5399911	5045107	B	U	R	32
Murska S. Rakičan	188	5591591	5168196	B	R(NC)	A	16
Žerjav	543	5490348	5149042	I	R	RA	2
Krvavec	1740	5464447	5128293	B	R(REG)	N	1
Iskrba	540	5489292	5046323	B	R(REG)	N	32
Otlica	918	5415980	5088740	B	R(REG)	N	1
<b>MOBILNA postaja-DMKZ</b>							
Črnomelj	155	5515002	5047993	B	U	R	16
Idrija	340	5424735	5095602	B	S	RC	32
Celje D.	240	5520490	5121944	B	U	R	16
<b>OMS LJUBLJANA</b>							
Ljubljana center	300	5462004	5101238	T	U	RC	16
<b>EIS-TEŠ</b>							
Šoštanj	362	5504504	5137017	I	S	I	2
Topolšica	399	5501977	5140003	B	S	IR	2
Veliki Vrh	555	5503542	5134126	I	R(REG)	A	32
Zavodnje	765	5500244	5142689	I	R(REG)	A	32
Velenje	389	5508928	5135147	B	U	RCI	2
Graška gora	774	5509905	5141184	I	R(REG)	A	32
Pesje	391	5506513	5135806	B	S	IR	32
Škale	423	5507764	5138457	B	S	IR	32
<b>EIS-TET</b>							
Dobovec	695	5506034	5106865	I	R	A	32
Kovk	608	5508834	5109315	I	R	A	32
Ravenska vas	577	5501797	5108809	I	R	A	32
Kum	1209	5506031	5104856	B	R(REG)	I	1
Prapretno	384	5506026	5110682	I	R	A	32
<b>EIS-TEB</b>							
Sv. Mohor	390	5537299	5093935	B	R	A	32
<b>EIS-TE-TOL</b>							
Vnajnarje	630	5474596	5100884	I	R	A	32
<b>EIS MARIBOR</b>							
Maribor-Tabor	276	5549846	5155262	B	U	RIC	16
Maribor-Pohorje	725	5544655	5148926	B	R	A	32
<b>EIS ANHOVO</b>							
Morsko	130	5394670	5104013	B	R	AI	32
Gorenje Polje	120	5393887	5103094	B	R	AI	32

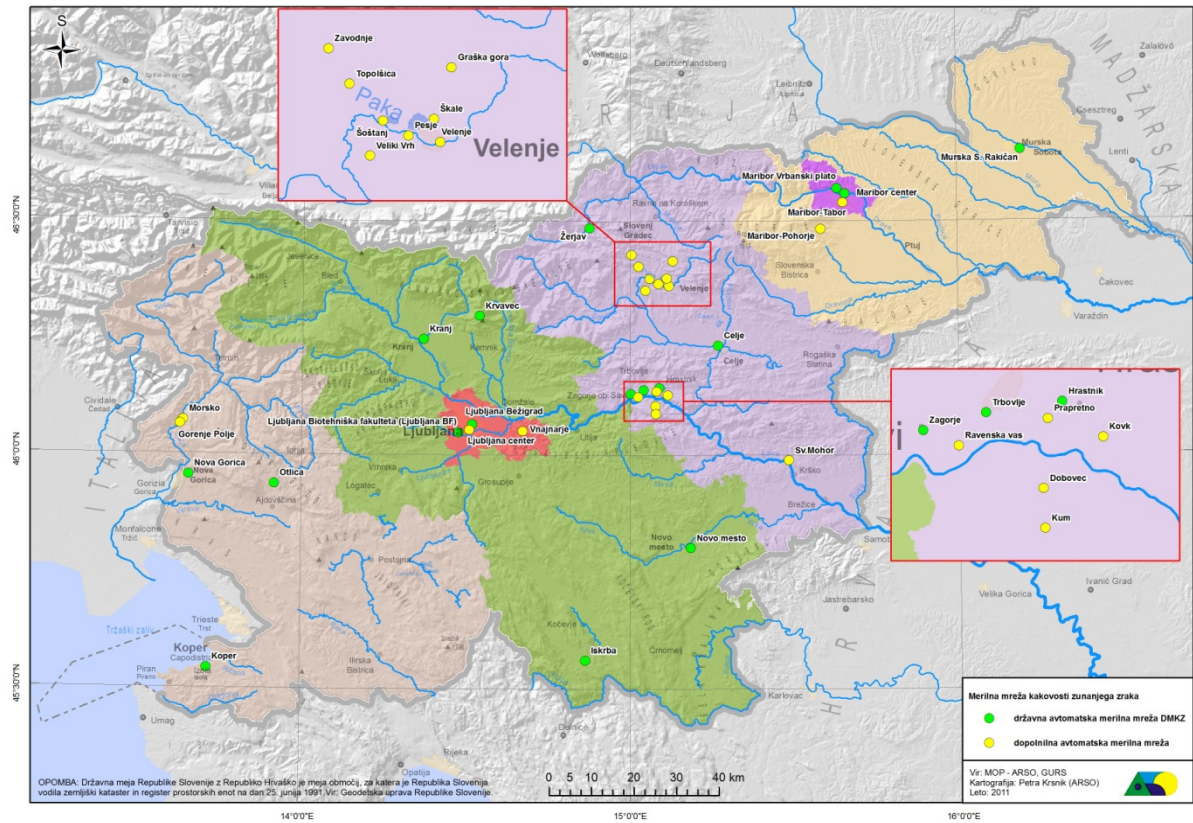
**Legenda:**

**NV:** nadmorska višina (m)

**Tip m. mesta:** B – ozadje  
T – promet  
I - industrijsko  
**Tip območja:** U – mestno  
S – predmestno  
R - podeželsko  
NC - obmestno  
REG - regionalno

**Značilnost območja:**

R – stanovanjsko  
C- poslovno  
I - industrijsko  
A - kmetijsko  
N - naravno  
**Geografska značilnost:** 1 – gorsko  
2 - dolina  
4 – obala  
16 – ravnina  
32 – razgibano



Slika 2.1 (1): Stalna merilna mesta za meritve kakovosti zraka v letu 2010

**Tabela 2.1.(2):** Meritve onesnaževal in meteoroloških parametrov na merilnih mestih v letu 2010

Kraj	žveplov dioksid SO <sub>2</sub>	ozon O <sub>3</sub>	dušikovi oksidi NO <sub>x</sub>	delci PM <sub>10</sub>	delci PM <sub>2,5</sub>	ogljikov monoksid CO	lahko-hlapni ogljikovodiki	težke kovine in PAH v delcih PM <sub>10</sub>	žveplove in dušikove spojine/anorganski ioni	težke kovine in ioni v delcih PM <sub>2,5</sub>	Živo srebro Hg	meteorol. parametri
DMKZ												
Ljubljana Bežigrad	+	+	+	+		+	+					+
Ljubljana BF				+	+			+		+		
Maribor center		+	+	+	+	+	+	+		+		+
Maribor Vrbanski p.					+					+		
Kranj				+								
Novo mesto				+								+
Celje	+	+	+	+								+
Trbovlje	+	+	+	+		+						+
Zagorje	+	+		+								+
Hrastnik	+	+										+
Nova Gorica		+	+	+		+						+
Koper		+		+								+
Murska S. Rakičan		+	+	+								+
Žerjav				+				+				
Krvavec		+				+						+
Iskrba		+	+	+	+			+	+	+	+	+
Otlica		+										+
Mobilna postaja	+	+	+	+		+	+					+
<b>OMS LJUBLJANA</b>												
Ljubljana center	+		+	+			+					+
<b>EIS-TEŠ</b>												
Soštanj	+											+
Topolšica	+											+
Veliki Vrh	+											+
Zavodnje	+	+	+									+
Velenje	+	+										+
Graška gora	+											+
Pesje	+			+								
Škale	+		+	+								+
<b>EIS-TET</b>												
Dobovec	+											+
Kovk	+	+	+									+
Ravenska vas	+											+
Kum	+											+
Prapretno				+								+
<b>EIS-TEB</b>												
Sv.Mohor	+	+	+									+
<b>EIS-TE-TOL</b>												
Vnajarje	+	+	+	+								+
<b>EIS CELJE</b>												
EIS Celje				+								+
<b>EIS MARIBOR</b>												
Maribor-Tabor				+								
Maribor-Pohorje		+										
<b>EIS ANHOVO</b>												
Morsko				+								
Gorenje Polje				+								

**Legenda:**

PM<sub>10</sub> delci z aerodinamičnim premerom do 10 µm  
 PM<sub>2,5</sub> delci z aerodinamičnim premerom do 2,5 µm  
 PAH policiklične organske spojine

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

## 2.2. Merilne metode in kakovost meritev

**Za oceno kakovosti zraka izvajamo meritve koncentracij onesnaževal v zunanjem zraku, ki zahtevajo merilno opremo z visoko selektivnostjo, občutljivostjo, natančnostjo in stabilnostjo.**

### 2.2.1. Opis merilnih postopkov in merilne opreme

Onesnaževala SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub>, nereferečna metoda za PM<sub>10</sub>, CO in VOC se določajo z merilno opremo, katere rezultati so koncentracije v realnem času - t.i. urni podatki.

Koncentracije delcev PM<sub>10</sub> in PM<sub>2,5</sub> spremljamo tudi z referenčno merilno metodo. Meritve potekajo v 24-urnih intervalih, rezultati so dnevne koncentracije, ki so na voljo šele po tehtanju filtrov (navadno se koncentracije podajajo za mesec nazaj). Za določitev težkih kovin, PAH, ionov v PM<sub>10</sub> in PM<sub>2,5</sub> je potrebna analiza vzorčenih filtrov, rezultati so na voljo po zaključku analize.

*Direktiva 2008/50/ES Evropskega parlamenta in sveta z dne 21. maja 2008 o kakovosti zunanjega zraka in čistejšem zraku za Evropo (Ur.l.EU, L1/52/11, 2008) določa, da je treba za plinasta onesnaževala prostornino standardizirati pri temperaturi 293 K in tlaku 101,3 kPa, za delce in snovi, ki jih je treba analizirati v delcih (npr. svinec), pa se obseg vzorčenja nanaša na pogoje v zunanjem zraku, in sicer glede na temperaturo in tlak na dan meritev.*

Meritve izvajamo na stalnih merilnih mestih. Običajno so merilniki nameščeni v kontejnerjih, ki so opremljeni s klimatsko napravo in ADSL linijo, preko katere poteka prenos podatkov na ARSO vsakih 30 minut. Gravimetrični merilniki za delce, so postavljeni na strehi kontejnerja (višina 4 m). V primeru ograjenega oz. kakorkoli drugače zavarovanega prostora pa je merilnik od tal dvignjen 1,5 metra.

Merjenje koncentracij onesnaževal poteka na merilni postaji večinoma avtomatsko. Preko programske opreme postajni računalnik zbira informacije o stanju postaje in meritvah ter vse dobljene podatke združi v polurno datoteko. V polurni datoteki so podatki o stanju postaje, to so temperatura postaje, datum in čas meritve ter podatki o meteoroloških meritvah in meritvah vseh onesnaževal, ki se merijo na danem merilnem mestu.

V polurnem zapisu za posamezno onesnaževalo so zbrani podatki o tipu merilnika, statusu merilnika, o povprečni polurni koncentraciji, o številu meritev ter maksimalni in minimalni izmerjeni vrednosti znotraj polurnega intervala. Tu najdemo tudi informacijo o dnevnem preverjanju merilnika, in sicer podatke o izmerjenih vrednosti ničle in znane testne koncentracije ter datumu izvedbe te kontrolne meritve. Vsaki meritvi je dodana tudi veljavnost podatka.

Že na samem merilnem mestu namreč potekajo prvostopenjske kontrole. Pri teh kontrolah se preverja število minutnih meritev znotraj polurnega intervala, preverjajo se izmerjene vrednosti glede na vnaprej določene meje (maksimum, minimum) in alarmne vrednosti, preverja se status merilnika in stanje merilnika glede na to, ali se v polurnem intervalu izvaja meritev, kontrolna meritev ali servisni poseg. Vse ostalo, kar ni zajeto v tem opisu opozoril oziroma napak, se označi s posebnim statusom.

Nadaljnja kontrola poteka na ARSO, ko so s postaje preneseni vsi podatki in so le ti že vpisani v bazo. Nadzor nad stalnimi meritvami izvajamo s pomočjo programske opreme, ki je bila razvita na ARSO za potrebe kontrole meritev (Prikaz podatkov, Prikaz\_EKO\_ZRAK ter Prikaz\_METEO). Programi omogočajo redno spremljanje ekoloških in meteoroloških podatkov o onesnaženosti zraka. Hkrati pa lahko spremljamo tudi informacije o stanju postaje.

Splošni pregled delovanja avtomatske merilne opreme na AMP izvajamo dnevno. Nadzor nad delovanjem merilne opreme izvaja odgovorna oseba v Sektorju za kakovost zraka (SKZ), ki je

zadolžena za kontrolo podatkov, in odgovorna oseba v Sektorju za vzdrževanje in razvoj merilnih mrež (v nadaljevanju SVRMM). Pregledajo se podatki s postaj, napake se vpišejo v Obratovne dogodke informacijskega sistema merilnih mrež (OD ISMM). Koristne so tudi vse zabeležke o opažanjih, nepravilnostih ter posegih na postaji in merilnikih. Pri večjih napakah se posvetujemo z vzdrževalci merilne opreme v SVRMM ali informatiki. V primeru izpadov podatkov in kakršnih koli nepravilnosti na merilnem mestu v najkrajšem možnem času skupaj z odgovorno osebo preverimo vzrok izpada oz. nepravilnosti in napako odpravimo. V primeru, da napake ne moremo odpraviti sami, o tem obvestimo pooblaščenega zunanjega serviserja.

Najobsežnejša kontrola podatkov se izvede enkrat mesečno. Takrat se še enkrat pregledajo vse meritve in pripadajoče veljavnosti, preveri se stabilnost merilnikov, opravi se primerjava meritev na vseh postajah in raziščejo se vzroki, ki bi lahko vplivali na meritve.

Kakovost podatkov zagotavljamo tudi z merilno negotovostjo, ki je ocenjena za vsako onesnaževalo. Celotna merilna negotovost je sestavljena iz več komponent, ki so podrobno opisani v standardih za posamezen parameter. Merilno negotovost za posamezno onesnaževalo smo ocenili in je v skladu z zahtevami zakonodaje.

Sistem zagotavljanja kakovosti podatkov na EMEP/GAW merilnih mestih sledi splošnim ciljem programov EMEP in GAW.

V nadaljevanju so predstavljene metode za merjenje posameznih onesnaževal, ki jih izvajamo v okviru monitoringa kakovosti zunanjega zraka.

#### **Referenčna metoda za merjenje žveplovega dioksida**

Standard *SIST EN 14212:2005* - Kakovost zunanjega zraka – Standardna metoda za določanje koncentracije žveplovega dioksida z ultravijolično fluorescenco.

#### **Referenčna metoda za merjenje dušikovega dioksida in dušikovih oksidov**

Standard *SIST EN 1412:2005* – Kakovost zunanjega zraka - Standardna metoda za določanje koncentracije dušikovih oksidov - Kemoluminiscenčna metoda.

#### **Referenčna metoda za merjenje ogljikovega monoksida**

Standard *SIST EN 14626:2005* - Kakovost zunanjega zraka – Standardna metoda za določanje koncentracije ogljikovega monoksida z nedisperzivno infrardečo spektroskopijo.

#### **Referenčna metoda za merjenje ozona**

Standard *SIST EN 14625:2005* - Kakovost zunanjega zraka – Standardna metoda za določanje koncentracije ozona z ultravijolično fotometrijo.

#### **Referenčna metoda za vzorčenje in merjenje benzena**

Standard *SIST EN 14662-3:2005* - Kakovost zunanjega zraka – Standardna metoda za določanje koncentracije benzena – 3. del: Avtomatsko vzorčenje s prečrpavanjem in določanje s plinsko kromatografijo na kraju samem (in situ).

#### **Referenčna metoda za vzorčenje in merjenje delcev PM<sub>10</sub>**

Standard *SIST EN 12341:2000* - Kakovost zunanjega zraka – Določitev frakcije suspendiranih delcev PM<sub>10</sub> – Referenčna metoda in terenski preskusni postopek za potrditev enakovrednosti merilnih metod. Načelo meritve temelji na zbiranju frakcije delcev PM<sub>10</sub> v zunanjem zraku na filtru in na gravimetričnem določanju mase.

Meritve delcev PM<sub>10</sub> na petih merilnih mestih izvajamo z merilniki TEOM in na dveh merilnih mestih s TEOM - FDMS, kar ni v skladu z referenčno metodo, zato je potrebno dokazati ekvivalenco. Metodologija dokazovanja je opisana v dokumentu *PRO-KAZ-015: Meritve delcev PM<sub>10</sub> in primerjava*

z referenčno metodo. Na ostalih merilnih mestih meritve delcev  $PM_{10}$  izvajamo z referenčnim merilnikom, s t.i. gravimetrično metodo.

Do leta 2010 smo poleg merilnika TEOM vzpostavili še referenčne meritve delcev  $PM_{10}$  na skoraj vseh merilnih mestih (izjema Nova Gorica, Koper, Ljubljana Bežigrad, Celje in M.Sobota - Rakičan), ki delujejo v sklopu DMKZ.

Agencija bo postopoma do leta 2013 vzpostavila tovrstne meritve na vseh merilnih mestih in tako zadostila zahtevam Direktive o kakovosti zunanjega zraka in čistejšem zraku za Evropo.

Podrobnejši opis vzorčenja in analize je podan v poglavju 2.2.3.

Kjer meritve delcev  $PM_{10}$  izvajamo z referenčnim merilnikom Leckel, uporabljamo steklene ali kvarčne filtre. Časovna resolucija je 24 ur. Menjava filtrov poteka avtomatsko, ob 24.00 uri po lokalnem času. Na merilnem mestu Iskrba menjava filtrov poteka v skladu z EMEP zahtevami, ob 8:30 uri.

#### **Referenčna metoda za vzorčenje in merjenje arzena, kadmija, niklja in svinca v delcih $PM_{10}$**

Standard *SIST EN 14902:2005* - Kakovost zunanjega zraka – Standardna metoda za določevanje Pb, Cd, As in Ni v frakciji  $PM_{10}$  lebdečih delcev.

#### **Referenčna metoda za vzorčenje in merjenje delcev $PM_{2,5}$**

Standard *SIST EN 14907:2005* – Kakovost zunanjega zraka – Standardna gravimetrična metoda za določevanje masne frakcije suspendiranih delcev  $PM_{2,5}$ .

Meritve delcev  $PM_{2,5}$ , ki jih izvajamo v DMKZ, potekajo z referenčno t.i. gravimetrično metodo.

#### **Vzorčenje in analiza ionov v delcih $PM_{2,5}$ in $PM_{10}$**

Standard za analize na filterjih je v pripravi. Trenutno analize izvajamo v vodnem ekstraktu z ionsko kromatografijo, v skladu s standardom *SIST ISO 10304-1*. V oktobru 2011 je predvideno sprejetje standarda za analizo pr *CEN/TR 16269*.

#### **Referenčna metoda za vzorčenje in analizo elementarnega živega srebra v zunanjem zraku**

Referenčna metoda za merjenje elementarnega živega srebra v zunanjem zraku je avtomatizirana metoda, ki temelji na atomski absorpcijski spektrometriji ali atomski fluorescenčni spektrometriji.

#### **Referenčna metoda za vzorčenje in analizo policikličnih aromatskih ogljikovodikov (PAH) v $PM_{10}$**

Standard *SIST EN 15549:2008* – Kakovost zraka – Standardna metoda za določevanje koncentracije benzo(a)pirena (BaP) v zunanjem zraku.

#### **Vzorčenje in analiza delcev $PM_{10}$ (visoko volumski vzorčevalnik Digitel)**

Za vzorčenje s tem merilnikom smo se odločili zaradi lažje in boljše določitve virov onesnaženja. Vzorčenje je v letu 2009 potekalo na dveh različnih merilnih mestih Zagorje ob Savi in Murska Sobota-Rakičan v obdobju enega leta, v katerem so bili zajeti vsi letni časi. Uporabljali smo kvarčne filtre proizvajalca Albet, premera 150 mm. Menjava filtrov je potekala avtomatsko, ob 24.00 po lokalnem času. Časovna resolucija je 24 ur. Filtre pred kondicioniranjem žarimo 3 ure pri temperaturi 700°C. Tehtanje filtrov izvajamo v skladu s standardom *SIST EN 12341:2000*. Po tehtanju filtre z depoziti razrežemo s keramičnimi škarjami in jih pošljemo v analizo, ki jo izvaja notranji izvajalec, Kemijsko analitski laboratorij Agencije Republike Slovenije za okolje (v nadaljnjem besedilu: KAL ARSO). Izvajalec podatke poroča naročniku v časovnih rokih, ki so določeni v projektni nalogi.

Posamezni deli filtra so bili analizirani na težke kovine, PAH-e, ione, elementarni in organski ogljik (EC/OC) in levoglukozan. Namen je izvesti analize, ki nam bodo dale jasno sliko glede posameznih onesnaževal.

## Dušikov dioksid – EMEP metoda

Meritve dušikovega dioksida ( $\text{NO}_2$ ) v zraku izvajamo z jodidno absorpcijsko metodo (metoda EMEP) z impregniranimi steklenimi fritami.

## Žveplove in dušikove spojine ter anorganski ioni – EMEP metoda

Za mednarodna programa EMEP in GAW meritve žveplovih (S) in dušikovih (N) spojin ter še nekaterih drugih anorganskih ionov v zraku izvajamo po metodi EMEP z impregniranimi filtri.

**Tabela 2.2.1.(1):** Meritve kakovosti zunanje zraka

Onesnaževalo	Tip merilnika/vzorčevalnika	Merilni princip
$\text{SO}_2$	MLU, ML	ultravijolična fluorescenca
$\text{NO}_2$	MLU, API, TEI	kemoluminiscenca
$\text{O}_3$	MLU, API, TEI	ultravijolična fotometrična metoda
CO	MLU	nedisperzivna infrardeča absorpcija
VOC	AirmoVOC	plinski kromatograf
$\text{PM}_{10}$	TEOM, TEOM-FDMS referenčni merilnik Leckel, Digtel, Derenda	oscilirajoča mikrotehnična gravimetrična metoda
$\text{PM}_{2,5}$	referenčni merilnik	gravimetrična metoda
Ioni v delcih $\text{PM}_{2,5}$ in $\text{PM}_{10}$	referenčni merilnik	gravimetrična metoda ionska kromatografija
EC/OC v delcih $\text{PM}_{2,5}$ in $\text{PM}_{10}$	referenčni merilnik	gravimetrična metoda OC/EC analizator z optično korekcijo
Težke kovine v delcih $\text{PM}_{10}$	referenčni merilnik	gravimetrična metoda ICP-MS metoda
Policiklični aromatski ogljikovodiki v delcih $\text{PM}_{10}$ (PAH)	referenčni merilnik	gravimetrična metoda plinskim kromatografom sklopljen z masnim spektrometrom (GC-MS),
Levoglukoza v $\text{PM}_{10}$	referenčni merilnik	gravimetrična metoda ionska kromatografija
Elementarno živo srebro v zraku	Mercury Instruments Analytical Technologies	atomska absorpcijska spektroskopija hladnih par
$\text{SO}_4^{2-}(\text{g}), \text{SO}_4^{2-}(\text{p}), \text{NO}_3^-(\text{p})+\text{HNO}_3(\text{g}), \text{NH}_4^+(\text{p})+\text{NH}_3(\text{g}), \text{Na}^+(\text{p}), \text{K}^+(\text{p}), \text{Ca}^{2+}(\text{p}), \text{Mg}^{2+}(\text{p}), \text{Cl}^-(\text{p})$	NILU EK vzorčevalnik zraka	ionska kromatografija
$\text{NO}_2(\text{g})$	NILU SS200 vzorčevalnik zraka	Spektro fotometrija

Legenda:

- (g) - plinasta faza
- (p) - delec (trdni in/ali kapljica)





Referenčni merilnik Leckel, s katerim spremljamo meritve delcev  $PM_{10}$  in  $PM_{2.5}$  (foto: Tanja Bolte)

### 2.2.2. Umerjevalni laboratorij Agencije RS za okolje

V letu 2010 je umerjanja analizatorjev in izvorov plina, ki se uporabljajo v merilni mreži onesnaženosti zraka, izvajal Umerjevalni laboratorij Agencije RS za okolje (v nadaljevanju UmL ARSO) za naslednje parametre kakovosti zraka: ogljikov monoksid ( $CO$ ), žveplov dioksid ( $SO_2$ ), dušikovi oksidi ( $NO_x$ ) in ozon ( $O_3$ ).

Umerjevalni laboratorij je akreditiran po standardu *SIST EN ISO/IEC 17025:2005* za omenjene kalibracije od leta 2005. Akreditirane kalibracije se izvajajo izključno v UmL. Laboratorij ima tudi veljaven status referenčnega laboratorija za področje kakovosti zunanjega zraka (mednarodni nivo) in kot tak sodeluje v evropskem združenju AQUILA – mreže referenčnih laboratorijev za kakovost zraka.



Umerjevalni laboratorij - področje parametrov kakovosti zraka (foto: Drago Groselj)

### **Merilne metode**

UmL uporablja referenčne metode za ocenjevanje koncentracij ogljikovega monoksida, žveplovega dioksida, dušikovega oksida in ozona skladno z zakonodajo in sicer:

- Ogljikov monoksid - standardna metoda za določevanje koncentracij ogljikovega monoksida z nedisperzivno infrardečo spektroskopijo,
- Žveplov dioksid - standardna metoda za določevanje koncentracij žveplovega dioksida z ultrazvočno fluorescenco,
- Dušikovi oksidi - standardna metoda za določevanje koncentracij dušikovih oksidov s kemoluminiscenco,
- Ozon - standardna metoda za določevanje koncentracij dušikovih oksidov z ultrazvočno fotometrijo.

Pri umerjanju, in tudi v monitoringu kakovosti zunanjega zraka, se zagotavlja sledljivost meritev do nacionalne oziroma mednarodne ravni z nabavo referenčnih materialov, z umerjanjem plinskih mešanic v jeklenkah in analizatorjev v izbranem akreditiranem laboratoriju ter s sodelovanjem v mednarodnih medlaboratorijskih primerjalnih meritvah.

### **Sledljivost kalibracij**

Pri kalibracijah ogljikovega monoksida, žveplovega dioksida ter dušikovih oksidov se uporabljajo certificirani referenčni materiali – stabilen izvor plina, ki je kalibriran v akreditiranem češkem hidrometeorološkem inštitutu (CHMI). Certificirane referenčne materiale se uporablja za diseminacijo vrednosti na delovne etalone (analizatorje). Za doseganje najboljših merilnih rezultatov pri kalibraciji se certificirani referenčni materiali lahko uporabljajo tudi pri kalibraciji inštrumenta (analizatorja), ki se kalibrira. Običajno pa se za nadaljnjo diseminacijo vrednosti uporablja delovni etalon, s katerim lahko kalibriramo merilne inštrumente (analizatorje ali izvore plinov – jeklenke), pri čemer se uporablja izvor plina, ki ni certificiran.

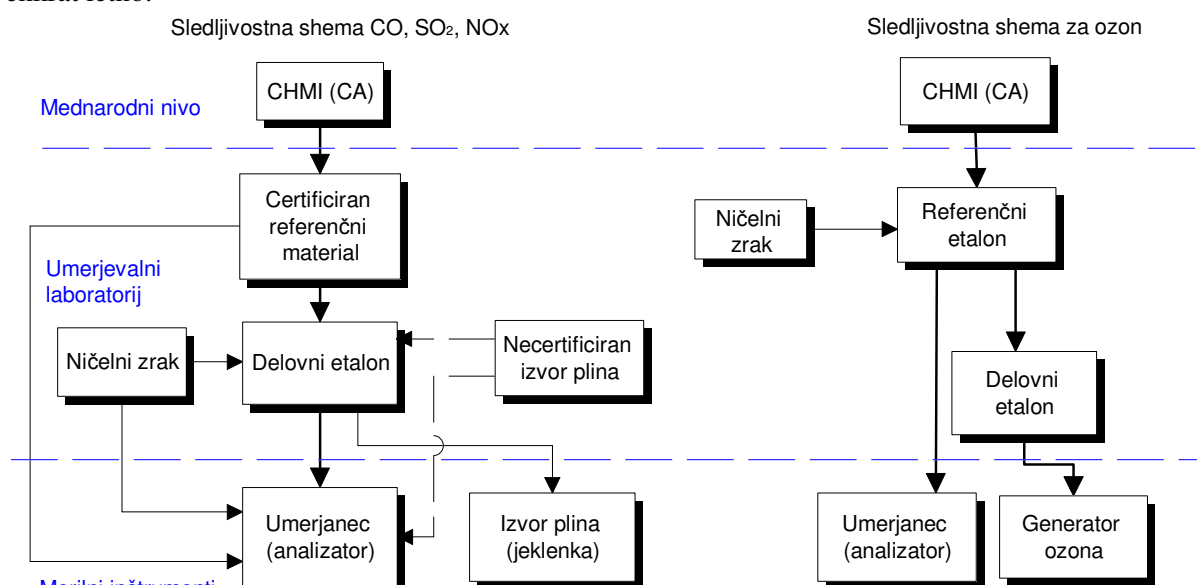
V primeru umerjanja analizatorjev ozona pa se, kot referenčni etalon, uporablja generator ozona, ki je sledljiv na CHMI. Z njim se umerja delovni etalon ali pa direktno merilni inštrument.

Kalibracije se izvajajo v treh kalibracijskih točkah (ničelni zrak, na sredini merilnega območja in na zgornji meji merilnega območja), razen v primeru ozona, kjer je takih kalibracijskih točk lahko več (tipično pet).

Poleg same kalibracije se, za vsak merilni inštrument, v UmL izvede tudi test primernosti, ki vključuje še presoje dodatnih metroloških lastnosti merilnih inštrumentov skladno z *aneksom VI Direktive 2008/50/ES*. Test primernosti vključuje še naslednje meroslovne parametre:

- Test odzivnosti: odzivni čas pri naraščanju koncentracije in odzivni čas pri padanju koncentracije,
- Linearnost: za oceno linearnosti se izvajajo meritve v šestih koncentracijah,
- Kratkotrajno lezenje: kratkotrajno lezenje ničle ter kratkotrajno lezenje spana,
- Test ponovljivosti: ponovljivost ničle ter ponovljivost spana,
- Pri analizatorjih dušikovih oksidov se izvaja tudi test učinkovitosti NO konverterja ter Test koncentracije NO<sub>2</sub>.

Umerjanja in 'testi primernosti' merilnih inštrumentov mreže kakovosti zraka so se v letu 2010 izvajali enkrat letno.



Sledljivostna shema kalibracij v Umerjevalnem laboratoriju

Na področju medlaboratorijskih primerjav UmL redno sodeluje v mednarodni interkomparaciji v Joint Research Centru (JRC) v Ispri za naslednje parametre kakovosti zraka: ogljikov monoksid, dušikovi oksidi, žveplov dioksid in ozon.

**Tabela 2.2.2.(1):** Najboljše merilne zmogljivosti UmL na področju kalibracij parametrov kakovosti zraka

Plinske mešanice			
	Območje	Najboljša merilna zmogljivost	Opombe
Koncentracija CO	300 ÷ 15000 ppbv	280 ppb + c·0.036	Primerjalna metoda
Koncentracija SO <sub>2</sub>	3 ÷ 500 ppb	2.8 ppb + c·0.058	Primerjalna metoda
Koncentracija NO	2 ÷ 500 ppb	2.1 ppb + c·0.075	Primerjalna metoda
Koncentracija NO <sub>2</sub>	4 ÷ 500 ppb	4.2 ppb + c·0.072	Primerjalna metoda
Koncentracija O <sub>3</sub>	6 ÷ 500 ppb	5 ppb + c·0.034	Primerjalna metoda
Analitski inštrumenti - monitorji			
	Območje	Najboljša merilna zmogljivost	Opombe
Analizator CO	0 ÷ 13700 ppbv	170 ppb + c·0.02	Direktna metoda
	0 ÷ 15000 ppbv	280 ppb + c·0.036	Primerjalna metoda
Analizator SO <sub>2</sub>	0 ÷ 380 ppb	1.8 ppb + c·0.05	Direktna metoda
	0 ÷ 500 ppb	2.8 ppb + c·0.058	Primerjalna metoda
Analizator NO	0 ÷ 427 ppb	1.5 ppb + c·0.047	Direktna metoda
	0 ÷ 500 ppb	2.1 ppb + c·0.075	Primerjalna metoda
Analizator NO <sub>2</sub>	0 ÷ 500 ppb	4.2 ppb + c·0.072	Primerjalna metoda
Analizator O <sub>3</sub>	0 ÷ 500 ppb	4.9 ppb + c·0.03	Direktna metoda
	0 ÷ 500 ppb	5 ppb + c·0.034	Primerjalna metoda

Legenda:

c - koncentracija plinske mešanice.

Direktna metoda - pri kalibraciji se uporabi certificirani referenčni material.

Primerjalna metoda - pri kalibraciji se uporabi delovni etalon.

### 2.2.3. Kemijsko analitski laboratorij Agencije RS za okolje

V letu 2010 je vse kemijske analize v delcih in v padavinah (z izjemo živega srebra) izvajal Kemijsko analitski laboratorij Agencije RS za okolje (KAL ARSO).

#### Električna prevodnost

Električna prevodnost se določa v padavinah.

Analizirajo se dnevne padavine iz merilnih postaj Ljubljana – Bežigrad in Iskrba pri Kočevski Reki. Tedenske padavine se analizirajo iz merilnih postaj Rateče – Planica, Rakičan pri Murski Soboti in Škocjan. Slep vzorec predstavlja MQ voda, s katero vzorčevalec spere lijak ob začetku zbiranja vzorca padavine, s čimer se kontrolira čistost vzorčevalnika.

Vzorec padavine prelijemo v čašo ter počakamo, da se segreje na sobno temperaturo. Električno prevodnost izmerimo s konduktometrom WTW InoLab 730. Elektrodo in temperaturni senzor najprej dobro speremo z MQ vodo, potem pa še z vzorcem. Nato elektrodo in temperaturni senzor potopimo v čašo, ter počakamo, da se vrednost električne prevodnosti na inštrumentu stabilizira. Rezultate podajamo v  $\mu\text{S/cm}$  pri 25°C. Električno prevodnost določamo v skladu s standardom *SIST EN 27888*. Metoda je akreditirana pri Slovenski akreditaciji.

#### pH

pH se določa v padavinah. Analizirajo se dnevne padavine iz merilnih postaj Ljubljana – Bežigrad in Iskrba pri Kočevski Reki. Tedenske padavine se analizirajo iz merilnih postaj Rateče – Planica, Rakičan pri Murski Soboti in Škocjan.

Vzorec padavine prelijemo v čašo ter počakamo, da se segreje na sobno temperaturo. pH izmerimo s pH metrom WTW 540 GLP, s stekleno elektrodo SenTix HW. Stekleno elektrodo, temperaturni senzor in mešalo najprej dobro speremo z MQ vodo, potem pa še z vzorcem. Nato stekleno elektrodo, temperaturni senzor in mešalo potopimo v čašo, ter počakamo, da se vrednost pH na inštrumentu stabilizira. pH določamo v skladu s standardom *SIST ISO 10523*. Metoda je akreditirana pri Slovenski akreditaciji.

### **Glavni ioni**

Anioni ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ , in  $\text{SO}_4^{2-}$ ) in kationi ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  in  $\text{Ca}^{2+}$ ) se določajo v padavinah in v vzorcih filtrov zunanjega zraka.

### **Padavine**

Analizirajo se dnevne padavine iz merilnih postaj Ljubljana – Bežigrad in Iskrba pri Kočevski Reki. Tedenske padavine se analizirajo iz merilnih postaj Rateče – Planica, Rakičan pri Murski Soboti in Škocjan. Slep vzorec predstavlja MQ voda, s katero vzorčevalec spere lijak ob začetku zbiranja vzorca padavine, s čimer se kontrolira čistost vzorčevalnika. Vsa embalaža in pripomočki za vzorčenje mora biti ustrezno čista. Njihovo čistost pred oddajo na teren preverimo.

Vzorec padavine analiziramo v čim krajšem času po prejemu v laboratorij. Pred analizo vzorec ne potrebuje dodatne obdelave, temveč ga samo filtriramo skozi membranski filter 0,45  $\mu\text{m}$ , da se odstranijo trdni delci. V vzorcu določamo vse anione in katione. Anione določamo v skladu s standardom *SIST EN ISO 10304-1*, za katione pa je osnova standard *SIST EN ISO 14911*. Obe metodi sta akreditirani pri Slovenski akreditaciji.

### **Filtri**

Analizirajo se dnevni filtri iz filter kompletov (»filter pack«), ki vsebujejo teflonski, oksalni in KOH filter, in sicer iz merilne postaje Iskrba pri Kočevski reki. Analizirajo se tudi dnevni vzorci prašnih delcev  $\text{PM}_{2,5}$  (na kvarčnem filtru  $\varnothing$  47 mm, nizko volumski merilnik) iz stalnih merilnih postaj Iskrba pri Kočevski Reki, Ljubljana in Maribor ter dnevni vzorci prašnih delcev  $\text{PM}_{10}$  (na kvarčnem filtru  $\varnothing$  150 mm, visoko volumski merilnik) iz merilnih postaj po projektih širom Slovenije. Za kontrolo čistosti samih filtrov se redno analizirajo laboratorijski slepi filtri, medtem ko se čistost vzorčevalnika kontrolira z redno analizo terenskih slepih filtrov.

Vzorčenje je 24-urno s pretokom zraka okrog 14 l/min skozi tri zaporedne filtre. Prvi teflonski filter zbira lebdeče delce velikosti okrog 0.1-10  $\mu\text{m}$ . Na tem filtru določamo koncentracije aerosolov  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  in  $\text{K}^+$ . Drugi, celulozni filter Whatman 40, je impregniran z raztopino KOH, ki absorbira kisle pline  $\text{SO}_2$  in  $\text{HNO}_3$ . Tretji, prav tako celulozni filter Whatman 40, je impregniran z oksalno kislino in je namenjen vzorčenju  $\text{NH}_3$ . Metoda omogoča v primeru žvepla dobro ločitev med plinsko fazo ( $\text{SO}_2$ ) in trdno fazo (aerosol  $\text{SO}_4^{2-}$ ), v primeru oksidirane in reducirane oblike dušika pa ločitev ni popolna, zato podajamo rezultat meritve kot vsoto koncentracij v plinski fazi ( $\text{HNO}_3$  in  $\text{NH}_3$ ) in trdi fazi (aerosoli  $\text{NO}_3^-$  in  $\text{NH}_4^+$ ), t.j.  $\text{HNO}_3 + \text{NO}_3^-$  in  $\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$ .

Teflonski filter 30 minut ekstrahiramo v 10 mL MQ vode v ultrazvočni kopeli. V ekstraktu določamo vse glavne anione in katione, kar predstavlja anorganske ione adsorbirane na delcih v zraku. Tudi oksalni filter 30 minut ekstrahiramo v 10 mL MQ vode v ultrazvočni kopeli, na njem pa določamo amonij v zraku, in sicer ga merimo kot  $\text{NH}_4^+$  v ekstraktu. KOH filter 30 minut ekstrahiramo v 10 mL 0,3%  $\text{H}_2\text{O}_2$  v ultrazvočni kopeli. V ekstraktu določamo dušikove in žveplove spojine v zraku. Prve analiziramo kot  $\text{NO}_3^-$ , druge pa kot  $\text{SO}_4^{2-}$ . Ekstrate vseh filtrov pred analizo filtriramo skozi

membranski filter 0,45 µm, da se odstranijo trdni delci. Anione in katione določamo v skladu z zgoraj omenjenima standardoma, vendar analizna metoda za filter komplete še ni v obsegu akreditacije.

1/4 kvarčnega filtra Ø 47 mm 30 minut ekstrahiramo v 10 mL MQ vode v ultrazvočni kopeli. Pri kvarčnih filtrih Ø 150 mm ekstrahiramo samo 1/8 filtra, in sicer 30 minut v 50 mL MQ vode v ultrazvočni kopeli. Ekstrakt pred analizo filtriramo skozi membranski filter 0,45 µm, da se odstranijo trdni delci. Vsak ekstrakt uporabimo tako za določitev vseh anionov kot tudi vseh kationov. Anione in katione določamo v skladu z zgoraj omenjenima standardoma, vendar analizna metoda za filtre še ni v obsegu akreditacije.

### **Inštrumentalna analiza**

Anione določamo z ionskim kromatografom Dionex DX – 120, na koloni IonPack AS14, dimenzije 4 × 250 mm. Na kolono injiciramo 100 µL vzorca. Predkolona služi za zaščito kolone, medtem ko supresor zmanjša prevodnost ozadja, kar olajša detekcijo. Tudi katione analiziramo z ionskim kromatografom Shimadzu, na koloni Shodex IC YK - 421, dimenzije 4,6 × 125 mm, z inštalirano predkolono. Na kolono injiciramo 100 µL vzorca. V obeh inštrumentih za detekcijo ionov uporabljamo detektor za merjenje prevodnosti. Koncentracije ionov v padavinah podajamo v mg/L padavine. Koncentracije ionov na filtrih iz filter kompletov ter v prašnih delcih PM<sub>2,5</sub> pa podajamo v µg/filter.

### **Težke kovine**

Težke kovine se določajo v padavinah (<sup>53</sup>Cr, <sup>58</sup>Ni, <sup>63</sup>Cu, <sup>66</sup>Zn, <sup>75</sup>As, <sup>111</sup>Cd in <sup>206+207+208</sup>Pb) in v vzorcih filtrov zunanjega zraka (<sup>27</sup>Al, <sup>51</sup>V, <sup>53</sup>Cr, <sup>55</sup>Mn, <sup>57</sup>Fe, <sup>58</sup>Ni, <sup>59</sup>Co, <sup>63</sup>Cu, <sup>66</sup>Zn, <sup>75</sup>As, <sup>82</sup>Se, <sup>71</sup>Ga, <sup>88</sup>Sr, <sup>98</sup>Mo, <sup>111</sup>Cd, <sup>121</sup>Sb, <sup>206+207+208</sup>Pb in <sup>205</sup>Tl).

### **Padavine**

Analizirajo se tedenske padavine iz merilne postaje Iskrba pri Kočevski Reki. Poleg vzorcev tedenskih padavin se analizirajo tudi slepi vzorci in suhe usedline. Slep vzorec predstavlja nakisana MQ voda, s katero vzorčevalec spere lijak ob začetku zbiranja vzorca padavine, s čimer se kontrolira čistost vzorčevalnika. Suho usedlino pa predstavljajo delci, ki se naberejo na lijaku vzorčevalnika in jih vzorčevalec spere v posodo z 1% HNO<sub>3</sub> v MQ vodi po koncu vzorčenja. Vsa plastična embalaža in pripomočki za vzorčenje morajo biti ustrezno čisti. Njihovo čistost pred oddajo na teren preverimo.

Vsak vzorec ob prejemu v laboratorij stehtamo. Nato vzorec padavine in slepi vzorec ustrezno nakisamo, tako da je končna koncentracija kisline 1 mL HNO<sub>3</sub> na 100 mL vzorca. Vzorec padavine in suho usedlino pred inštrumentalno analizo centrifugiramo. Težke kovine se določajo v skladu s standardom *SIST EN ISO 17294-2 in EMEP* navodili. Metoda je akreditirana pri Slovenski akreditaciji.



Analizator za organski in elementarni ogljik (foto: Gregor Muri)

## Filtri

Analizirajo se dnevni vzorci delcev  $PM_{2.5}$  in  $PM_{10}$  (na kvarčnem filtru  $\varnothing$  47 mm, nizko volumski merilnik) iz stalnih merilnih postaj Iskrba pri Kočevski Reki, Ljubljana in Maribor ter dnevni vzorci delcev  $PM_{10}$  (na kvarčnem filtru  $\varnothing$  150 mm, visoko volumski merilnik) iz merilnih postaj po projektih širom Slovenije. Za kontrolo čistosti samih filtrov se redno analizirajo laboratorijski slepi filtri, medtem ko se čistost vzorčevalnika kontrolira z redno analizo terenskih slepih filtrov.

Za nadaljnjo analizo uporabimo 1/2 kvarčnega filtra  $\varnothing$  47 mm, oziroma 1/8 kvarčnega filtra  $\varnothing$  150 mm. Za obdelavo filtra uporabljamo kislinski razklop v mikrovalovni pečici, in sicer z mešanico 8 mL  $HNO_3$  in 2 mL  $H_2O_2$ . Temperaturno kontroliran razklop v mikrovalovni pečici doseže najvišjo temperaturo  $220^\circ C$ , traja pa 55 minut. Vzorec po razklopu razredčimo na 50 mL v merilni bučki. Pred inštrumentalno analizo vzorec centrifugiramo, oziroma samo odlijemo bistri del tekočine. Težke kovine se določajo v skladu s standardom *SIST EN 14902*. Analizna metoda je validirana, v začetku leta 2011 pa je bila presojana s strani Slovenske akreditacije.

## Inštrumentalna analiza

Težke kovine določamo z masnim spektrometrom, z vzbujanjem v induktivno sklopljeni plazmi (ICP-MS), Perkin Elmer Elan 6100. Standardne raztopine za umeritveno krivuljo so pripravljene z ustrežno koncentracijo dušikove kisline, in sicer 1 mL  $HNO_3$  na 100 mL za padavine oziroma 16 mL  $HNO_3$  na 100 mL za filtre. Pri kvantizaciji si pomagamo tudi z internimi standardi, ki kompenzirajo trenutne pogoje na inštrumentu. Pri padavinah kot interni standard uporabljamo samo Rh, pri filtrih pa Sc, Ge, Rh in Gd. Koncentracije težkih kovin v padavinah podajamo v  $\mu g/L$  padavine, v prašnih delcih  $PM_{2.5}$  in  $PM_{10}$  pa v  $\mu g/filter$ .

## PAH

Policiklični aromatski ogljikovodiki (PAH) se določajo v padavinah in v vzorcih filtrov zunanjega zraka. Določa se 7 PAH, in sicer benzo(a)antracen, benzo(b)fluoranten, benzo(j)fluoranten, benzo(k)fluoranten, indeno(123-cd)piren in dibenzo(ah)antracen.



## Padavine

Analizirajo se tedenske padavine iz merilne postaje Iskrba pri Kočevski Reki. Preden se zamenja steklenica v vzorčevalniku, se lijak spere s 150 mL metanola, da se v vzorec spere tudi suha usedlina, oziroma delce, ki se tekom tedna naberejo na lijaku vzorčevalnika. Poleg vzorcev tedenskih padavin se analizirajo tudi slepi vzorci. Slepi vzorec predstavlja MQ voda, s katero vzorčevalec spere lijak ob začetku zbiranja vzorca padavine, s čimer se kontrolira čistost vzorčevalnika. Vsa steklena embalaža in pripomočki za vzorčenje morajo biti ustrezno čisti. Čistost steklene embalaže dosegamo z žganjem v sušilniku, in sicer 2 uri na temperaturi 400 °C, s čimer se odstrani organska snov.

Vsakemu vzorcu dodamo 50 ng devteriranih PAH standardov benzo(a)antracen  $d_{12}$ , benzo(a)piren  $d_{12}$  in indeno(123-cd)piren  $d_{12}$ . Devteriranih PAH v naravi ni, zato se jih uporablja za kontrolo izkoristka analizne metode. Vzorcju po potrebi dodamo tudi metanol ali MQ vodo, tako da je končna koncentracija metanola v padavini okrog 10%. S tem se zagotovi, da se PAH nahajajo v vodni fazi, saj se zmanjša adsorpcija PAH na stene posode. Vzorec nato s pomočjo podtlaka počasi prečrpamo skozi SPE kolono, ki je polnjena s C<sub>18</sub> trdno fazo. SPE kolono je potrebno pred uporabo kondicionirati, kar pomeni, da jo speremo z diklorometanom, metanolom in MQ vodo. Ker so PAH relativno nepolarni, se zadržijo na SPE koloni, medtem ko padavina odteče skozi kolono. Po koncu črpanja SPE kolono nekaj minut sušimo s podtlakom, nato pa PAH eluiramo iz SPE kolone z diklorometanom. Dobljen eluat posušimo z Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, da se odstranijo sledovi vode. Končno vzorec skoncentriramo na 1 mL, topilo pa zamenjamo v aceton. PAH se določajo v skladu s standardom *pr EN 15980*. Analizna metoda je validirana, vendar še ni v obsegu akreditacije.

## Filtri

Analizirajo se dnevni vzorci prašnih delcev PM<sub>10</sub> (na kvarčnem filtru Ø 47 mm, nizko volumski merilnik) iz stalnih merilnih postaj Iskrba pri Kočevski Reki, Ljubljana in Maribor ter dnevni vzorci prašnih delcev PM<sub>10</sub> (na kvarčnem filtru Ø 150 mm, visoko volumski merilnik) iz merilnih postaj po projektih širom Slovenije. Za kontrolo čistosti samih filtrov se redno analizirajo laboratorijski slepi filtri, medtem ko se čistost vzorčevalnika kontrolira z redno analizo terenskih slepih filtrov.

Za nadaljnjo analizo uporabimo 1/2 kvarčnega filtra Ø 47 mm, oziroma 1/8 ali ustrezno manjši delež kvarčnega filtra Ø 150 mm (odvisno od letnega časa in s tem povezane koncentracije PAH v trdnih delcih). Vsakemu vzorcu dodamo 50 ng devteriranih PAH standardov benzo(a)antracen  $d_{12}$ , benzo(a)piren  $d_{12}$  in indeno(123-cd)piren  $d_{12}$ . Devteriranih PAH v naravi ni, zato se jih uporablja za kontrolo izkoristka analizne metode. Za obdelavo filtra uporabljamo ekstrakcijo v mikrovalovni pečici, in sicer z mešanico topil heksan:aceton (1:1). Temperaturno kontroliran razklop v mikrovalovni pečici doseže najvišjo temperaturo 100°C, traja pa 45 minut. Ekstrakt nato skoncentriramo v toku dušika na nekaj mL ter ga čistimo na SPE koloni, ki je polnjena s siliko (Si) kot trdno fazo. SPE kolono je potrebno pred uporabo kondicionirati, kar pomeni, da jo speremo z diklorometanom in heksanom. PAH eluiramo iz SPE kolone z mešanico topil heksan:diklorometan (2:3), ostale snovi pa ostanejo na SPE koloni. Dobljen eluat skoncentrira na 1 mL, topilo pa zamenjamo v aceton. PAH se določajo v skladu s standardom *SIST EN 15549*. Analizna metoda je validirana, v začetku leta 2011 pa je bila presojana s strani Slovenske akreditacije.

## Inštrumentalna analiza

PAH določamo s plinskim kromatografom, ki je sklopljen z masnim spektrometrom (GC-MS), Agilent Technologies 6890 GC / 5975 MS, na ultra inertni koloni DB-5, dolžine 30 m, premera 0,25 mm, z debelino nanosa stacionarne faze 0,25 µm. Na kolono injiciramo 1 µL vzorca. Vsaki standardni raztopini za umeritveno krivuljo dodamo 50 ng devteriranih PAH standardov. Benzo(b)fluoranten, benzo(j)fluoranten in benzo(k)fluoranten so težko kromatografsko ločljivi, zato jih podajamo kot vsoto. Kot detektor uporabljamo masni spektrometer, ki poleg tega posname tudi masni spekter spojine, katerega se lahko uporabi za identifikacijo spojine. Rezultati so avtomatsko popravljeni za izkoristek



posameznega vzorca. Koncentracije PAH v padavinah podajamo v ng v padavini, v prašnih delcih PM<sub>10</sub> pa v ng/filter.



Ionski kromatograf, s katerim določamo levoglukozan in ostale sladkorje v delcih (foto: Gregor Muri)

## NO<sub>2</sub>

NO<sub>2</sub> se določa v vzorcih zunanjega zraka.

Metoda je primerna za vzorčevalna mesta, kjer so koncentracije dušikovega dioksida nizke, t.j. za območje 0,1–10 µg NO<sub>2</sub>-N/m<sup>3</sup>. Izpostavljeni vzorci so stabilni več tednov, zato je omenjena metoda primerna tudi takrat, ko je vzorčevalno mesto oddaljeno od kemijskega laboratorija.

Analizirajo se dnevni vzorci iz merilne postaje Iskrba pri Kočevski Reki. Poleg dnevnih vzorcev se analizirajo še terenski slepi vzorci in laboratorijski slepi vzorci. Steklene frite morajo biti pred impregnacijo ustrezno očiščene. Pred odhodom na teren preverimo vsebnost NO<sub>2</sub><sup>-</sup> na impregniranih fritah.

V impregniranih steklenih fritah je filter debeline 4 mm, premera 25 mm in poroznosti 40–60 µm.

Zrak se s pretokom približno 0,5 L/min črpa skozi stekleno frito, ki je impregnirana z NaJ in NaOH. NO<sub>2</sub> iz zraka se absorbira na frito in J reducira NO<sub>2</sub> do NO<sub>2</sub><sup>-</sup>. Koncentracijo NO<sub>2</sub> v zraku nato določamo spektrofotometrično, z jodidno absorpcijsko metodo (modificirana Griessova metoda).

## **Inštrumentalna analiza**

Pri ekstrakciji v izpostavljeno stekleno frito dodamo raztopino za redukcijo (trietanolamin v MQ vodi) in pri 230 obratih 15 min stresamo na stresalniku. Nato ekstraktu dodamo barvni reagent (sulfanilamid, NEDA (N-(1-naftil)-etilendiamin-dihidroklorid), H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>). NO<sub>2</sub><sup>-</sup> in sulfanilamid ob dodatku NEDA v kisljih raztopinah tvorita vijolično azo barvo. Po 15 min izmerimo absorbanco vzorca z UV/VIS spektrofotometrom Varian Cary 50, s ksenonsko žarnico, 1cm kiveto, pri valovni dolžini 540 nm. Koncentracijo podajamo v µg NO<sub>2</sub>-N/mL.



Induktivno sklopljena plazma z masno selektivnim detektorjem (foto: Gregor Muri)

## OC/EC

Organski in elementni ogljik (OC/EC) se določata v vzorcih filtrov zunanjega zraka.

Analizirajo se dnevni vzorci prašnih delcev  $PM_{2.5}$  (na kvarčnem filtru  $\varnothing$  47 mm, nizko volumnski merilnik) iz stalnih merilnih postaj Iskrba pri Kočevski Reki, Ljubljana in Maribor ter dnevni vzorci prašnih delcev  $PM_{10}$  (na kvarčnem filtru  $\varnothing$  150 mm, visoko volumnski merilnik) iz merilnih postaj po projektih širom Slovenije. Za kontrolo čistosti samih filtrov se redno analizirajo laboratorijski slepi filtri, medtem ko se čistost vzorčevalnika kontrolira z redno analizo terenskih slepih filtrov.

Za analizo uporabimo  $1,5 \text{ cm}^2$  kvarčnega filtra  $\varnothing$  47 oziroma  $\varnothing$  150 mm. Analizna metoda še ni standardizirana, v pripravi pa je standard *pr CEN/TR 16243*.

## **Inštrumentalna analiza**

OC/EC določamo z OC/EC analizatorjem z optično korekcijo, Sunset Laboratory Inc. Vzorec vložimo v žarilno peč. Temperatura v njej se dviguje po korakih, v skladu s protokolom EUSAAR 2. Atmosfera je najprej reduktiva (He). Desorbirani organski ogljik iz vzorca potuje v oksidacijsko peč ( $MnO_2$ ), kjer se ogljik oksidira v  $CO_2$ . Nastali  $CO_2$  se meša z vodikom, v metanatorju (Ni katalizator) pa se reducira v  $CH_4$ , ki se končno detektira s FID detektorjem. Nato se inštrument preklopi v oksidativno atmosfero (He + 10 %  $O_2$ ), temperatura v žarilni peči pa se ponovno dviguje po korakih. V tej fazi se iz vzorca desorbira tudi pirolizirani organski ogljik in elementni ogljik. Pretvorbe v  $CO_2$  in  $CH_4$  so enake kot v reduktivni atmosferi, ravno tako detekcija. Na koncu skozi inštrument potuje še kalibracijski plin (He + 5 %  $CH_4$ ), s katerim umerimo inštrument pri vsaki analizi. Ločitev med organskim in elementnim

ogljikom je določena s točko, kjer je prepustnost laserja enaka začetni prepustnosti, ko smo vzorec vstavili v žarilno peč.

### **Sladkorji in njihovi derivati**

Sladkorji in njihovi derivati se določajo v vzorcih filtrov zunanega zraka. Določa se 9 sladkorjev oziroma in njihovih derivatov, in sicer ksilitol, levoglukozan, arabitol, manitol, galaktosan, glukoza, galaktoza, fruktoza in saharoza. Med temi je iz vidika interpretacije podatkov o sestavi delcev najpomembnejši levoglukozan, ki nastaja kot posledica izgorevanja biomase.

Analizirajo se dnevni vzorci prašnih delcev PM<sub>10</sub> (na kvarčnem filtru Ø 150 mm, visoko volumski merilnik) iz merilnih postaj po projektih širom Slovenije. Za kontrolo čistosti samih filtrov se redno analizirajo laboratorijski slepi filtri, medtem ko se čistost vzorčevalnika kontrolira z redno analizo terenskih slepih filtrov.

Za nadaljnjo analizo uporabimo 1/8 kvarčnega filtra Ø 150 mm. Filter ekstrahiramo 30 minut, in sicer v 50 mL MQ vode v ultrazvočni kopeli. Ekstrakt pred analizo filtriramo skozi membranski filter 0,45 µm, da se odstranijo trdni delci.

### **Inštrumentalna analiza**

Sladkorje in njihove derivate določamo z ionskim kromatografom Dionex ICS-3000. Tehnika temelji na sklopitvi med separacijo na visoko selektivni anionsko izmenjevalni koloni in detekciji s pulzno amperometričnim detektorjem. Separacija poteka pri visoki pH vrednosti na koloni Dionex CarboPac MA1 (4 x 250 mm) in predkoloni MA1 (4 x 50mm). Za ločitev je uporabljen sledeči gradient (Y. Iinuma et.al, Atmospheric Environment 43, 2009, 167-1371):

- 0-20 min: 0,48 mol L<sup>-1</sup> NaOH
- 20-35 min: linearno naraščanje koncentracije med 0,48 in 0,65 mol L<sup>-1</sup> NaOH
- 35-45 min: 0,65 mol L<sup>-1</sup> NaOH
- 45-60 min: ekvilibracija kolone na 0,48 L<sup>-1</sup> NaOH

Pretok eluenta je 0,4 ml min<sup>-1</sup>, na kolono se injicira 50 µl vzorca.

Pulzno amperometrična detekcija je osnovana na meritvi toka, ki nastane pri oksidaciji sladkorjev na površini zlate elektrode. Ker se produkti oksidacije vežejo na površino, jo je potrebno med posmeznimi meritvami regenerirati. To se naredi s pomočjo uporabe dovolj visoke napetosti, ki oksidira površino zlate elektrode, kar povzroči desorbcijo produktov oksidacije. Napetost se nato zniža in elektrodna površina se ponovno reducira do zlata. Pulzno amperometrična detekcija torej obsega ponavljajoče sekvence treh napetosti, ki si sledijo v kratkih časovnih intervalih. Možne so različne oblike sekvenc napetosti. Uporabljena je bila standardna oblika s štirimi potenciali (standard quadruple waveform).

## 2.3. Rezultati meritev

**Stanje kakovosti zraka bi bilo treba tam, kjer je že sedaj dobro, vzdrževati ali ga izboljšati. Če cilji o kakovosti zunanega zraka niso izpolnjeni, bi morala država z ustreznimi ukrepi zagotoviti skladnost z mejnimi vrednostmi ter po možnosti doseči ciljne vrednosti in dolgoročne cilje.**

To poglavje obsega tabelarične in grafične prikaze nekaterih osnovnih izvedenih statističnih parametrov izmerjenih koncentracij žveplovega dioksida, dušikovih oksidov, ogljikovega monoksida, ozona, delcev PM<sub>10</sub> in PM<sub>2,5</sub>, nekaterih lahkihlahapnih ogljikovodikov, težkih kovin in nekaterih policikličnih aromatskih ogljikovodikov v delcih PM<sub>10</sub>, ionov v delcih PM<sub>2,5</sub>, žveplovih in dušikovih spojin, anorganskih ionov v zunanjem zraku v Sloveniji v letu 2010. Rezultati za isto onesnaževalo so prikazani skupaj, ne glede na metodo meritev.

Osnova za rezultate kontinuirnih meritev so urni podatki. Rezultati za referenčne metode meritve delcev in analize v delcih pa so dobljeni na osnovi dnevnih podatkov. Zimski čas v grafičnih prikazih se nanaša na mesece januar-marec in oktober-december v koledarskem letu, poletni čas pa na mesece od aprila do septembra.

Na začetku poglavij posameznih onesnaževal so podani emisijski podatki za leto 2009, ker podatki za leto 2010 še niso na voljo.

Oznake pri tabelah:

% pod	odstotek veljavnih podatkov
Cp	povprečna koncentracija
max	najvišja koncentracija
>MV	število primerov s prekoračeno mejno vrednostjo
>AV	število primerov s prekoračeno alarmno vrednostjo
>OV	število primerov s prekoračeno opozorilno vrednostjo
>CV	število primerov s prekoračeno ciljno vrednostjo
AOT40	vsota [ $\mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{ure}$ ] razlik med urnimi koncentracijami ozona, ki presegajo $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in vrednostjo $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in so izmerjene med 8.00 in 20.00 po srednjeevropskem zimskem času. Vsota se računa od aprila do septembra. Mejna vrednost za zaščito gozdov je $20.000 \mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{h}$
*	informativni podatek – premalo veljavnih podatkov

Obrazložitev posameznih simbolov je pri poglavju 1.

### 2.3.1. Žveplov dioksid

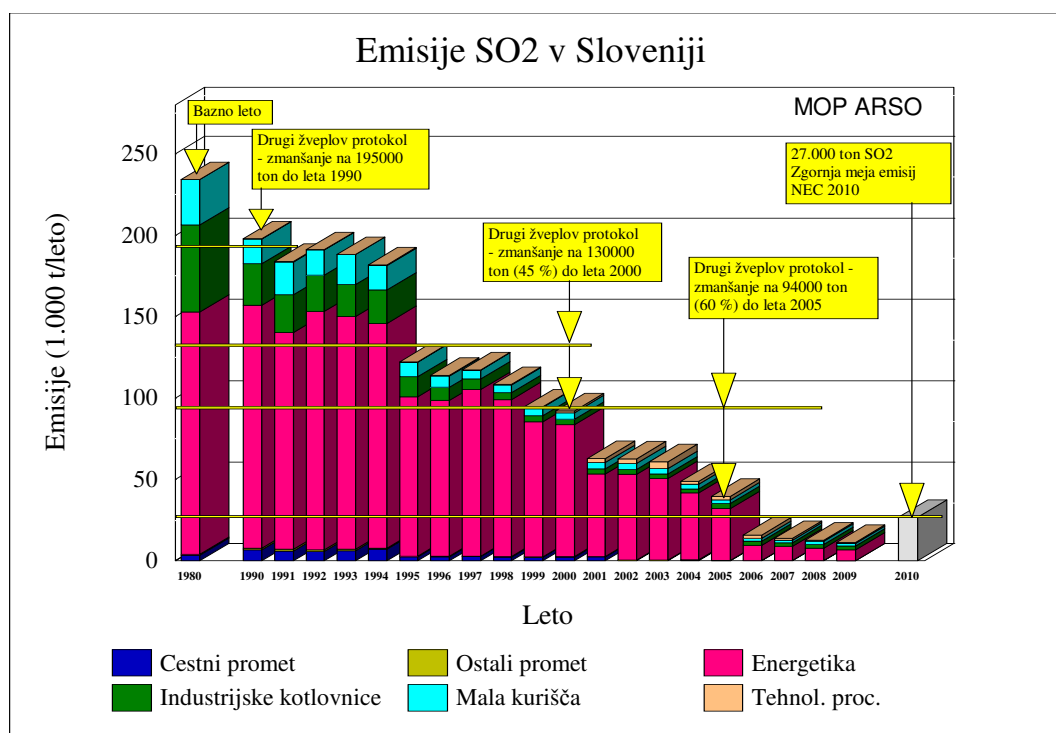
**Koncentracije SO<sub>2</sub> so bile povsod pod spodnjim ocenjevalnim pragom za zaščito zdravja. Koncentracije SO<sub>2</sub> v letu 2010 so bile povsod pod spodnjim ocenjevalnim pragom (SOP) za zaščito zdravja. SOP za varstvo rastlin pa je bil prekoračen ponekod na višje ležečih krajih v Zasavju.**

#### Emisije SO<sub>2</sub> (leto 2009)

Letni izpusti SO<sub>2</sub> v Sloveniji so se od leta 1980 do leta 2009 zmanjšali za 95,1 %. V letu 1995 so se izpusti SO<sub>2</sub> glede na predhodna leta znatno zmanjšali, predvsem zaradi delovanja razžvepljevalne naprave na bloku 4 v TE - Šoštanj, pa tudi zaradi nižje vsebnosti žvepla v tekočih gorivih, kakor to

zahteva *Uredba o kakovosti tekočih goriv*. Nadaljnje znatno zmanjšanje je prispevala razžvepljevalna naprava na bloku 5 TE – Šoštanj, ki je začela obratovati v drugi polovici leta 2000 in razžvepljevalna naprava v TE Trbovlje, ki je pričela obratovati konec leta 2005. V letih 2008 in 2009 so se začeli znatno zniževati izpusti iz sektorja tehnološki procesi zaradi zahtev, ki so povezane z izdajo IPPC dovoljenj. V zadnjem letu so se znižali tudi izpusti iz cestnega prometa, ker je začela veljati *Uredba o fizikalno-kemijskih lastnostih tekočih goriv*.

Največji delež k skupnim izpustom 11.530 t SO<sub>2</sub> v letu 2009 prispevajo termoelektrarne in toplarne (TE-TOL), in sicer 56,9 %.



Slika 2.3.1.(1): Emisije SO<sub>2</sub> v Sloveniji

Obveznost po direktivi NEC in Göteborgskem protokolu je, da v letu 2010 skupni izpusti SO<sub>2</sub> ne smejo presežati 27 tisoč ton. Slovenija je to obveznost izpolnila že v letu 2006.








### Onesnaženost zraka z žveplovim dioksidom

Letni pregled onesnaženosti zraka z SO<sub>2</sub> na skupaj 20 merilnih mestih po Sloveniji v letu 2010 je podan v tabeli 2.3.1.(1). Sprememba glede na leto 2009 je nadaljnja ukinitiv meritev na merilnih mestih Nova Gorica in Maribor center, ker so bile izmerjene koncentracije pet let zapored pod spodnjim ocenjevalnim pragom. Zaradi pogostih nepravilnosti v delovanju merilnika podatkov na merilnem mestu TEB sv. Mohor v letu 2010 ne objavljamo. Meritve so avtomatske povsod razen na Iskrbi, kjer se izvajajo 24-urne neavtomatske meritve koncentracij žveplovega dioksida. V *Uredbi o žveplovem dioksidu, dušikovih oksidih, delcih in svincu v zunanjem zraku* so za koncentracijo SO<sub>2</sub> predpisani naslednji statistični parametri s pripadajočimi dovoljenimi mejnimi vrednostmi: **povprečna celoletna in povprečna zimska koncentracija z mejno vrednostjo za zaščito ekosistemov, najvišja dnevna in najvišja urna koncentracija ter število dni s prekoračeno mejno dnevno, mejno urno ter alarmno 3-urno vrednostjo za varovanje zdravja.**

**Tabela 2.3.1.(1):** Koncentracije SO<sub>2</sub> v zunanjem zraku (µg/m<sup>3</sup>) v letu 2010 – sivo obarvani podatki so za merilna mesta, ki niso reprezentativna za ugotavljanje vpliva na ekosisteme

Merilno mesto	% pod	Leto		1 ura		3 ure	24 ur *	
		C <sub>p</sub>	zima *	max	>MV	>AV	max	>MV
		zaščita ekosistemov		varovanje zdravja				
Ljubljana Bežigrad	91	2	3	29	0	0	14	0
Celje	93	6	8	64	0	0	26	0
Trbovlje	92	3	3	52	0	0	18	0
Hrastnik	92	4	6	46	0	0	21	0
Zagorje	86	8	11	57	0	0	29	0
Iskrba <sup>▲</sup>	92	1,3	1,8				10	0
Ljubljana.center	92	5	6	22	0	0	12	0
Vnajnarje	92	3	1	45	0	0	20	0
Šoštanj	95	7	4	1357	1	0	85	0
Topolšica	95	3	4	52	0	0	10	0
Veliki Vrh	95	6	6	269	0	0	28	0
Zavodnje	94	6	7	98	0	0	22	0
Velenje	95	2	2	110	0	0	14	0
Graška Gora	95	2	1	106	0	0	17	0
Pesje	95	6	6	81	0	0	25	0
Škale	92	4	5	73	0	0	26	0
Kovk	95	8	11	159	0	0	29	0
Dobovec	89	6	6	209	0	0	35	0
Kum	94	8	7	99	0	0	37	0
Ravenska Vas	95	9	12	560	1	0	38	0

Legenda:

- \* določena sta zgornji in spodnji ocenjevalni prag
-  prekoračena mejna vrednost
-  prekoračen zgornji ocenjevalni prag
-  prekoračen spodnji ocenjevalni prag
-  koncentracija pod spodnjim ocenjevalnim pragom
-  koncentracija pod mejno vrednostjo (kjer ni predpisan ocenjevalni prag)
-  merilno mesto ni reprezentativno za varstvo rastlin
-  dnevne meritve

Opomba: Zima tu vključuje mesece od oktobra prejšnjega leta do marca tega leta.

## Koncentracije v večjih mestih

Na vseh nižje ležečih merilnih mestih z odprtim reliefom, ki niso pod neposrednim vplivom emisij iz velikih termoenergetskih objektov in industrije, so bile – kar se tiče varovanja zdravja - povprečne dnevne koncentracije SO<sub>2</sub> **pod spodnjim ocenjevalnim pragom** (SOP), urne koncentracije pa **pod mejno vrednostjo**.

Nekoliko povišane koncentracije SO<sub>2</sub> se občasno in za kratek čas pojavljajo v mestih v Zasavju ter v Velenju. Mesta v Zasavju imajo, kar se tiče razredčevanja onesnaževal iz lokalnih virov emisije (TE Trbovlje, industrija, promet, individualna kurišča), zelo neugodno lego, saj ležijo v ozkih dolinah oziroma kotlinah. Treba pa je poudariti, da je med omenjenimi viri vpliv TE Trbovlje v teh nižjih predelih komaj zaznaven, in to le še ob prekinitvah delovanja odžveplovalne naprave, je pa bolj zaznaven vpliv emisij iz ostalih industrijskih virov. Vpliv TE Šoštanj pa je zaznaven v Velenju le ob močnejšem zahodnem vetru, ki pa je redek.

## Koncentracije na vplivnem območju TE Šoštanj

Emisija SO<sub>2</sub> v TE Šoštanj je sicer zaradi razžvepljevalnih naprav zmanjšana, a pri polni obremenitvi zaradi omejene zmogljivosti omenjenih naprav občasno še vpliva predvsem na višje ležeče kraje v okolici termoelektrarne. Do tega pride, kadar veter neposredno prenaša dimne pline do merilnega mesta (npr. Veliki Vrh), v zimskem času pa se to lahko zgodi ob dolgotrajnejši temperaturni inverziji, ko se dimni plini kopičijo v višje ležeči plasti zraka (Zavodnje). Pri močnejšem jugozahodnem vetru pa zaradi vpliva bližnjega hriba zanese turbulenca dimne pline iz nižjih dimnikov tudi do nižje ležečega

merilnega mesta v Šoštanju, ki pa glede na lego izven ožjega naseljenega območja za sam Šoštanj ni reprezentativno.

Na merilnem mestu Šoštanj je bila enkrat prekoračena mejna urna koncentracija 6. decembra. Tu sta bili izmerjeni tudi najvišja urna in najvišja dnevna koncentracija v Sloveniji v letu 2010: 1357  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  in 85  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

### **Koncentracije na vplivnem območju TE Trbovlje**

Kadar pride do izpada v delovanju razžvepljevalne naprave v TE Trbovlje, se lahko pojavijo še kratkotrajne prekoračitve mejnih vrednosti na višje ležečih krajih v okolici. Kolikšen delež koncentracij prispevajo v zimskem času individualna kurišča iz doline, nismo ocenili, tako tudi ne vpliva trboveljske cementarne Lafarge in druge industrije. Najvišje urno in dnevno povprečje koncentracije  $\text{SO}_2$  560  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (prekoračena mejna urna vrednost) oziroma 38  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  sta bila izmerjena na merilnem mestu Ravenska vas na pobočju nad stičiščem doline Save in doline, ki vodi proti Trbovljam, in sicer 20. septembra ob šibkem vzhodnem vetru.

### **Letni in dnevni hod koncentracij**

Koncentracije  $\text{SO}_2$  v nižjih predelih so nekoliko višje v hladnem delu leta, ko so vremenske razmere za razredčevanje onesnaženega zraka slabše, predvsem v Zasavju pa je zaznaven tudi vpliv emisije iz individualnih kurišč. Na višje ležečih krajih vplivnih območij TEŠ in TET pa se povišane koncentracije pojavljajo ne glede na letni čas, ker so visoki dimniki TEŠ in TET precej nad višino prizemnih temperaturnih inverzij, in gre v teh primerih za bolj neposreden prenos dimnih plinov do višje ležečih krajev.

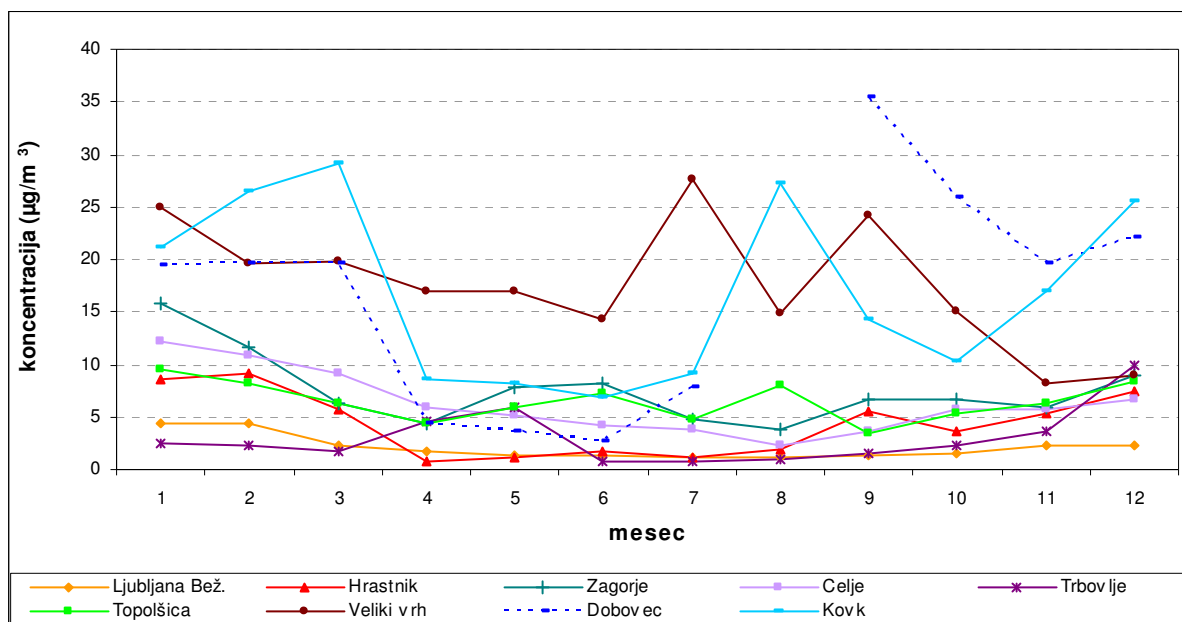
Koncentracije so višje podnevi kot ponoči, vendar je opazen samo en neizrazit maksimum. Viri emisije  $\text{SO}_2$  so namreč industrija, veliki termoenergetski objekti in individualna kurišča, medtem ko je promet z jutranjo in popodansko konico zanemarljiv vir emisije.

### **Časovni trend**

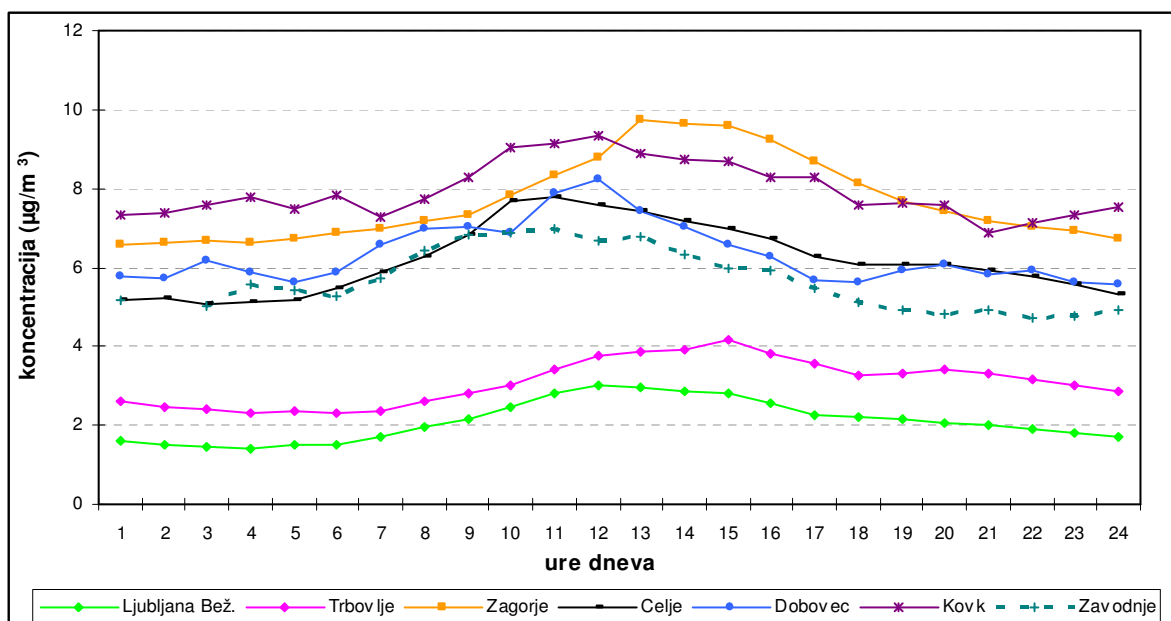
Iz analize večletnih vrednosti (slike 2.3.1.(4-6), tabele 2.3.1.(5-7) v Prilogi) sledi:

Padajoči trend koncentracij  $\text{SO}_2$  se je v letu 2010 ustavil, kar je glede na emisije, ki ostajajo v zadnjih dveh letih v glavnem enake, pričakovano, in marsikje so koncentracije tako nizke, da so le malo nad vrednostjo, ki jo merilniki lahko še izmerijo.

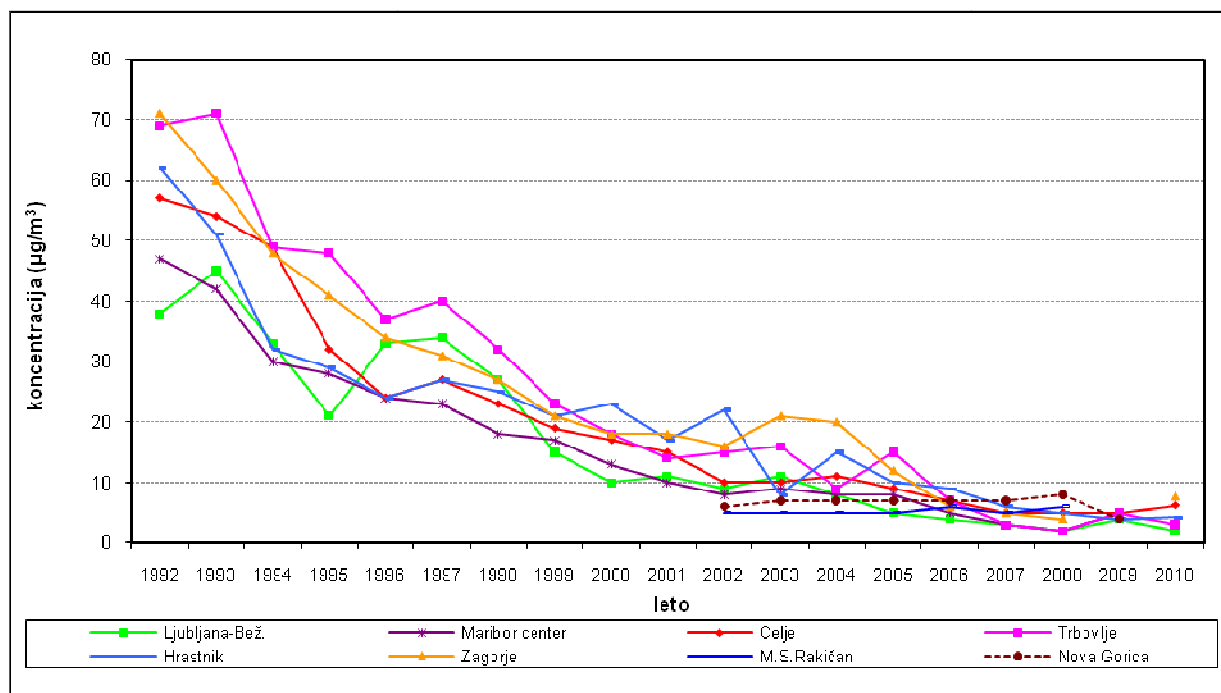




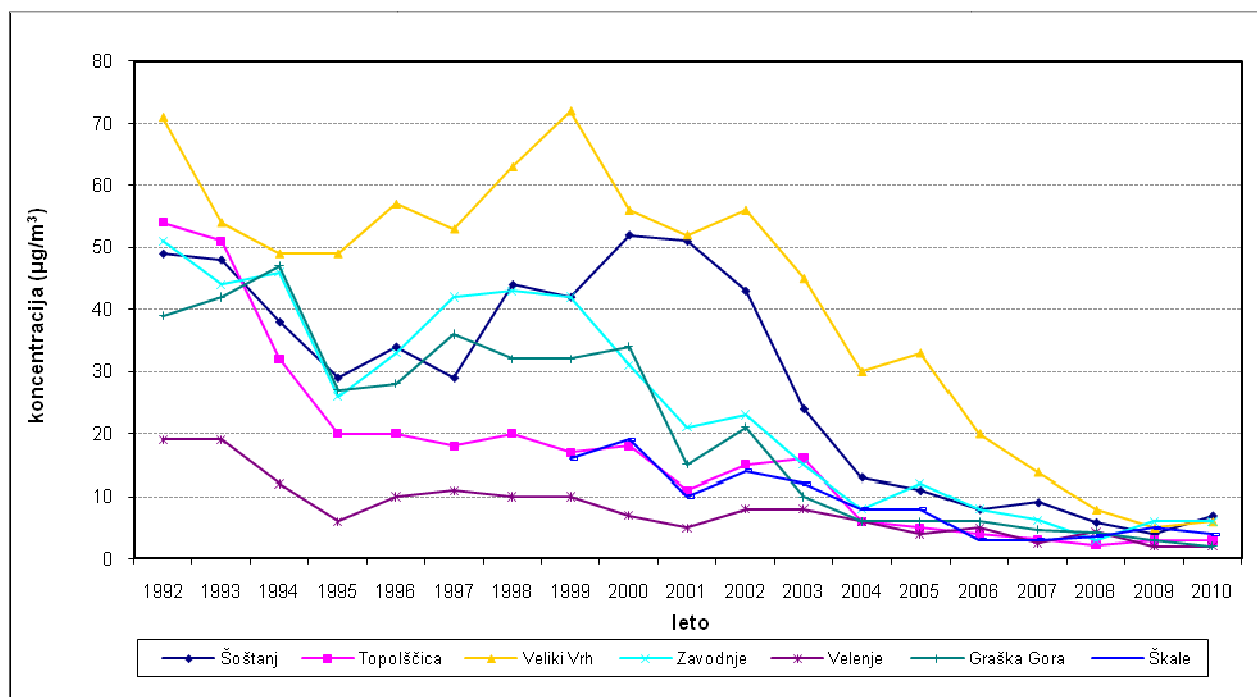
Slika 2.3.1.(2): Povprečne mesečne koncentracije SO<sub>2</sub> za 9 merilnih mest v letu 2010



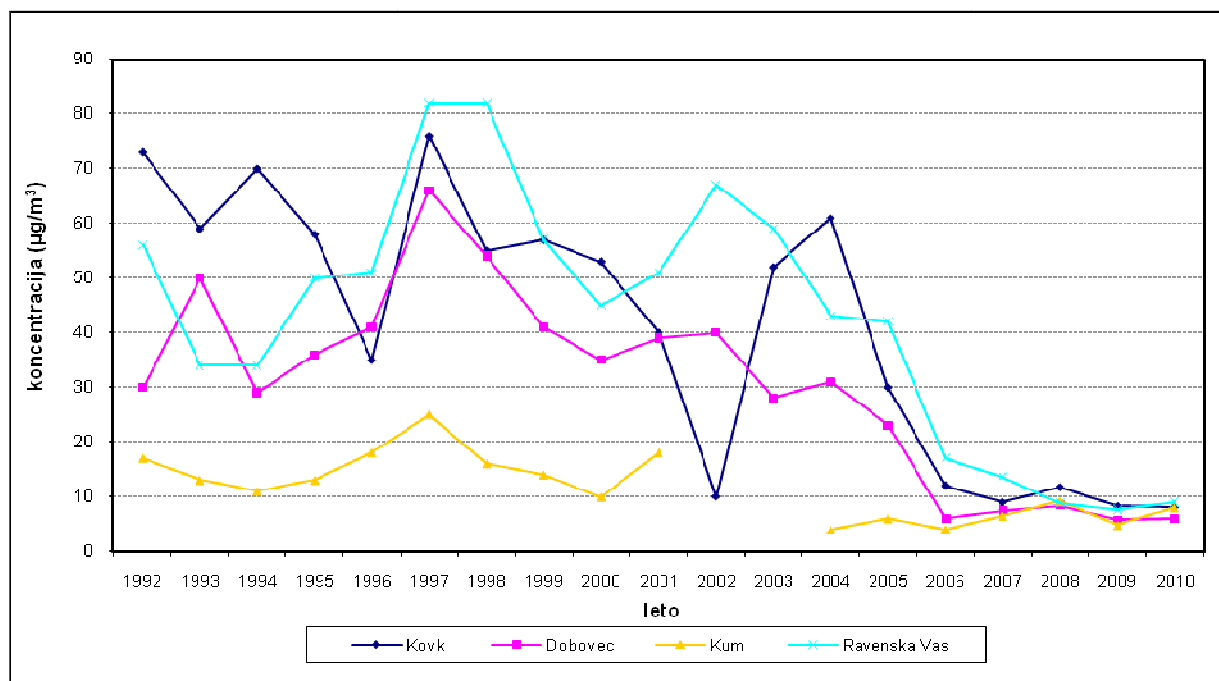
Slika 2.3.1.(3): Dnevni hod koncentracij SO<sub>2</sub> na nekaterih merilnih mestih DMKZ v letu 2010



Slika 2.3.1.(4): Povprečne letne koncentracije SO<sub>2</sub> na merilnih mestih DMKZ



Slika 2.3.1.(5): Povprečne letne koncentracije SO<sub>2</sub> na merilnih mestih TEŠ



Slika 2.3.1.(6): Povprečne letne koncentracije SO<sub>2</sub> na merilnih mestih TET



Merilno mesto Šoštanj (foto: Roman Kocuvan)

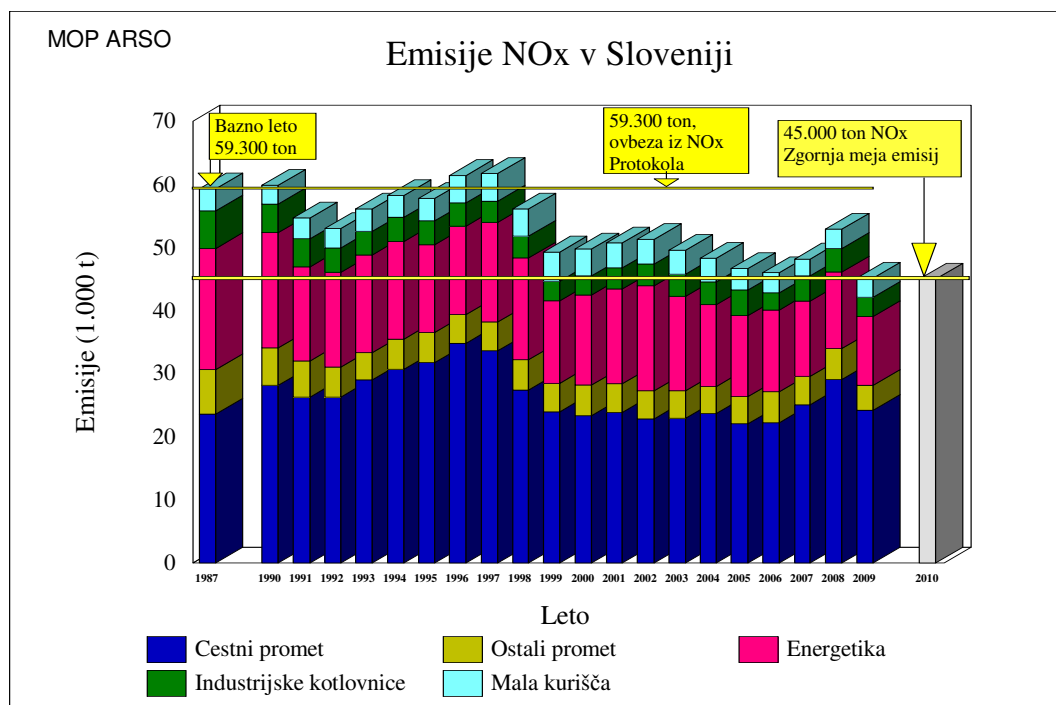
## 2.3.2. Dušikovi oksidi

Visoke koncentracije dušikovih oksidov so omejene predvsem na ozek pas ob prometnih cestah in ulicah. Koncentracija NO<sub>2</sub> je v letu 2010 prekoračila mejno letno vrednost na prometnem merilnem mestu Ljubljana center. Zgornji ocenjevalni prag za zaščito zdravja je bil prekoračen na merilnih mestih Ljubljana Bežigrad in Maribor center. Spodnji ocenjevalni prag je bil prekoračen na merilnih mestih Celje in Nova Gorica. Koncentracije NO<sub>x</sub> so bile pod spodnjim ocenjevalnim pragom za zaščito vegetacije.

### Emisije dušikovih oksidov (leto 2009)

Letni izpusti NO<sub>x</sub> v Sloveniji so se leta 2009 zmanjšali za skoraj 23,8 % v primerjavi z letom 1987. Po letu 1992 so se izpusti NO<sub>x</sub> začeli povečevati, zlasti zaradi povečane gostote prometa z motornimi vozili in s tem povečane prodaje tako bencina, kot tudi dizel goriva. Naraščanje je bilo veliko, kljub vedno večjemu številu vozil s katalizatorji. Po letu 1997 so se izpusti NO<sub>x</sub> opazno znižali zaradi zmanjšane porabe goriv iz cestnega prometa na račun manjše prodaje v maloobmejnem prometu. Po letu 2006, pa so začeli izpusti NO<sub>x</sub> ponovno naraščati, predvsem zaradi povečane prodaje dizelskega goriva, in povečevanja tranzitnega prometa preko Slovenije. V zadnjem letu pa so se znatno znižali, predvsem zaradi veliko manjše porabe dizelskega goriva v cestnem prometu, kot tudi manjše porabe energentov v sektorjih: energetika, industrijske kotlovnice in mala kurišča. Največji delež k celotnim izpustom NO<sub>x</sub> prispeva cestni promet, in sicer 53,7% v letu 2009.

Leta 2006 je Slovenija ratificirala NO<sub>x</sub> protokol, zato bo potrebno paziti, da v prihajajočih letih ne presežemo vrednost izpustov NO<sub>x</sub> iz leta 1987. Obveznost po direktivi NEC in Göteborgskem protokolu pa je, da v letu 2010 skupni izpusti NO<sub>x</sub> ne smejo presegati 45 tisoč ton. V letu 2009 so bili izpusti NO<sub>x</sub> za 0,33 % višji od predvidene ciljne vrednosti.



Slika 2.3.2.(1): Emisije dušikovih oksidov NO<sub>x</sub> v Sloveniji

Ker je glavni vir dušikovih oksidov promet, je onesnaženost zraka omejena na obcestni pas in na gosto poseljena območja. Vir emisije pa so tudi veliki termoenergetski objekti, ki uporabljajo za gorivo premog, vendar v okolici obeh velikih termoelektrarn v zadnjih letih ni opazno povišanih koncentracij.

### **Onesnaženost zraka z dušikovimi oksidi**

V izpušnih plinih znaša delež NO med 80 in 90 %, v zraku pa NO oksidira v NO<sub>2</sub>. Zato podajamo tudi skupne koncentracije NO<sub>x</sub>, ker so le tako med sabo primerljivi podatki z merilnih mest, ki so različno oddaljena od izvora (prometnic) in je zaradi tega stopnja oksidacije različna. Stopnja oksidacije dušikovega monoksida, emitiranega iz prometa v višje okside, raste z oddaljenostjo od izvora (koncentracija zaradi razredčenja pada). Odvisna je tudi od meteoroloških razmer, predvsem sončnega sevanja in temperature, letnega obdobja in seveda lokacije.

Letni pregled onesnaženosti zraka z dušikovimi oksidi na skupaj 15 merilnih mestih po Sloveniji v letu 2010 je podan v tabeli 2.3.2.(1). V letu 2010 so bile ukinjene meritve v Rakičanu, ker so bile izmerjene koncentracije pet let zapored pod spodnjim ocenjevalnim pragom. Za obdobje enega leta so bile vzpostavljene meritve NO<sub>x</sub> v Hrastniku. Meritve so kontinuirne povsod razen na Iskrbi, kjer se izvajajo 24-urne meritve koncentracij dušikovega dioksida. V *Uredbi o žveplovem dioksidu, dušikovih oksidih, delcih in svincu v zunanjem zraku* so za koncentracijo dušikovih oksidov predpisani naslednji statistični parametri s pripadajočimi dovoljenimi mejnimi vrednostmi: **za NO<sub>2</sub> mejna urna vrednost, 3-urna alarmna vrednost in mejna letna vrednost za zaščito zdravja ljudi, za NO<sub>x</sub> pa mejna letna vrednost za varstvo rastlin na tistih merilnih mestih, ki niso v bližini cest in večjih naselij.**

Koncentracije dušikovih oksidov na mestnih merilnih mestih, ki so bolj ali manj pod vplivom emisij iz prometa, so bile tako kot v letu 2009 od pet do desetkrat višje, kot na podeželskih merilnih mestih.

**Najvišje urne koncentracije NO<sub>2</sub>** so bile v mestih med 100 in 220 µg/m<sup>3</sup>. Tudi v letu 2010 je bilo na prvem mestu merilno mesto Ljubljana center (7 prekoračitev mejne vrednosti, prekoračen zgornji ocenjevalni prag ZOP), na drugem mestu merilno mesto mestnega ozadja Ljubljana Bežigrad (prekoračen ZOP) in na tretjem mestu prometno merilno mesto Maribor center (prekoračen spodnji ocenjevalni prag SOP). SOP je bil prekoračen še v Celju in Novi Gorici.

**Povprečna letna koncentracija NO<sub>2</sub>** je bila daleč najvišja na merilnem mestu Ljubljana center (prekoračena mejna vrednost), sledijo pa merilna mesta Ljubljana Bežigrad, Maribor center (prekoračen ZOP) in Nova Gorica (prekoračen SOP). Letne koncentracije na območjih, ki niso neposredno izpostavljena vplivu prometa, so dosegle do 40 % vrednosti SOP, v naravnem okolju na lokaciji Iskrba pa le 20 % SOP.

**Povprečne letne koncentracije NO<sub>x</sub>** na merilnih mestih, ki so reprezentativna za varstvo rastlin v ekosistemih, so bile pod spodnjim ocenjevalnim pragom.

### **Letni in dnevni hod koncentracij**

Večinoma sta oba hoda dobro izražena. Najvišje mesečne koncentracije NO<sub>2</sub> so bile skoraj povsod dosežene v zimskih mesecih, ko so pogoji za disperzijo zlasti ob stabilnem vremenu s temperaturnimi inverzijami najslabši in ostane onesnažen zrak na območju prometnih poti. Manjša onesnaženost zraka v notranjosti Slovenije poleti je tudi posledica manjšega prometa v juliju in avgustu zaradi dopustov oz. šolskih počitnic.

Značilno je bilo obdobje visokih koncentracij dušikovih oksidov v drugi polovici januarja 2010, ko skoraj ni bilo padavin, pa še te so bile v notranjosti Slovenije v obliki snega, ki zrak manj prečisti kot dež. Podrobneje je to obdobje visokih koncentracij onesnaževal opisano pri poglavju 2.3.5.1 (slika 2.3.5.1(8)).

Prevladujoč vpliv emisij iz prometa se kaže v tem, da so bile koncentracije NO<sub>2</sub> najvišje na prometnih mestnih merilnih mestih, in da so bile najvišje v jutranjih in večernih urah. Popoldanska prometna konica okrog 16. ure ne prinese maksimuma koncentracij, ker so v tem dnevnem času najugodnejše vremenske razmere za razredčevanje (največ vetra, najvišje prizemne temperature), pač pa se maksimum pojavi šele okrog 20. ure. Na vpliv prometa kaže tudi to, da so koncentracije izmerjene v delovnih dnevih precej višje kot ob sobotah, nedeljah in praznikih (slika 2.3.2.(5)).

### Časovni trend

Povprečna letna koncentracija NO<sub>2</sub> se od leta 2002 naprej bistveno ne spreminja in je povsod razen na lokaciji Ljubljana center pod mejno vrednostjo.

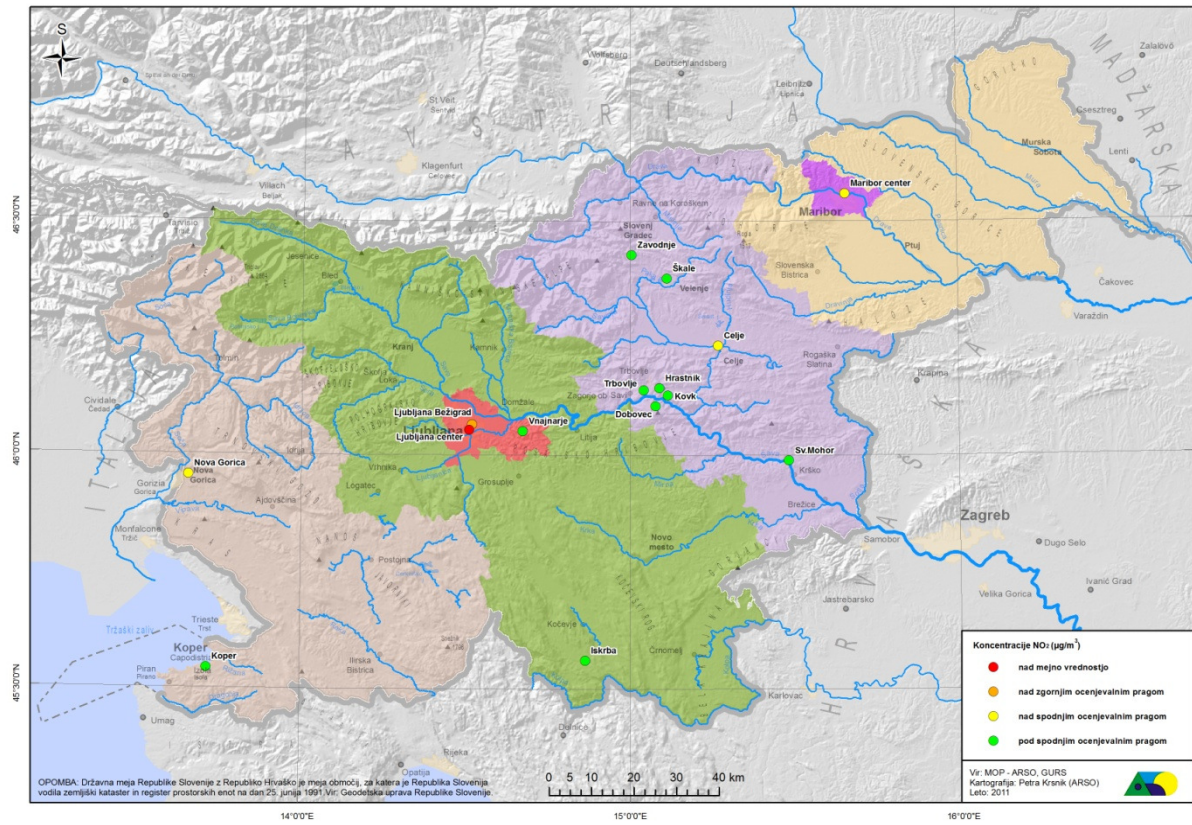
**Tabela 2.3.2.(1):** Raven koncentracij NO<sub>2</sub> in NO<sub>x</sub> v zraku (µg/m<sup>3</sup>) v letu 2010

Postaje	NO <sub>2</sub>		NO <sub>x</sub>		NO <sub>2</sub>		
	varovanje zdravja		varstvo rastlin		varovanje zdravja		
	Leto				1 ura *		3 ure
	% pod	C <sub>p</sub> *	% pod	C <sub>p</sub> **	max	>MV	>AV
Ljubljana Bežigrad	94	35		64	176	0	0
Maribor center	90	34		68	174	0	0
Celje	94	26		53	126	0	0
Trbovlje	88	20		40	100	0	0
Hrastnik	95	18		35	78	0	0
Nova Gorica	94	29		56	135	0	0
Koper	90	21		28	107	0	0
Iskrba <sup>▲</sup>	86	1,8					
Ljubljana center	96	63	96	122	225	7	0
Vnajarje	93	4	93	4	68	0	0
Zavodnje	98	5	98	7	67	0	0
Skale	92	8	92	9	74	0	0
Kovk	93	9	93	11	111	0	0
Dobovec	80	11	78	12	122	0	0
Brestanica-sv.Mohor	83	3	86	4	37	0	0

Legenda:

- \* določena sta zgornji in spodnji ocenjevalni prag
- prekoračena mejna vrednost
- prekoračen zgornji ocenjevalni prag
- prekoračen spodnji ocenjevalni prag
- koncentracija pod spodnjim ocenjevalnim pragom
- merilno mesto ni reprezentativno za varstvo rastlin
- dnevne meritve



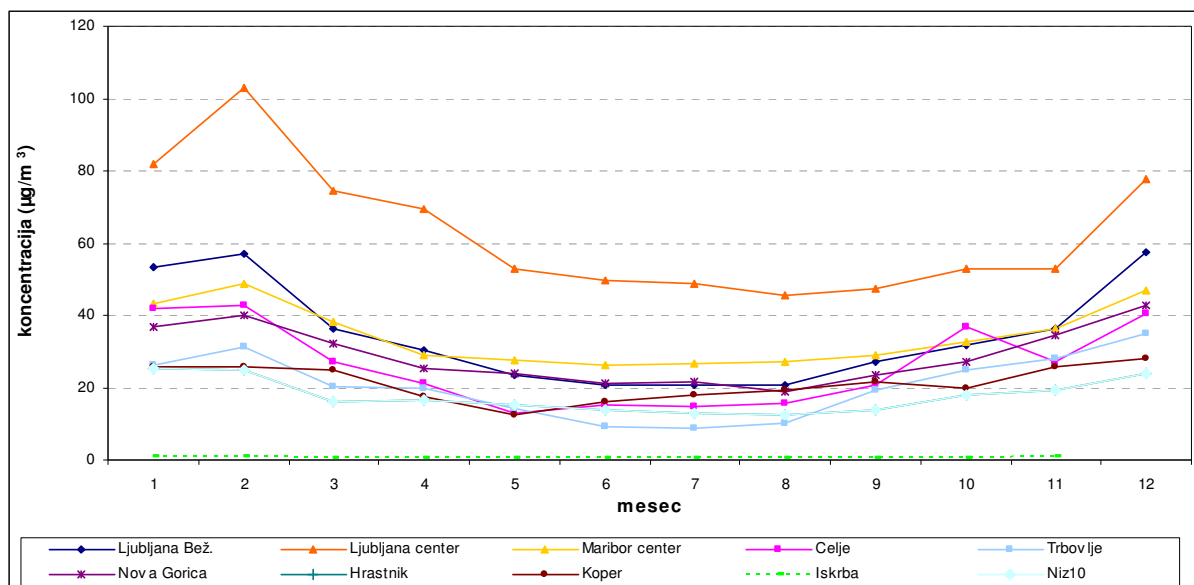


Slika 2.3.2.(2): Koncentracije NO<sub>2</sub> v zunanjem zraku v letu 2010

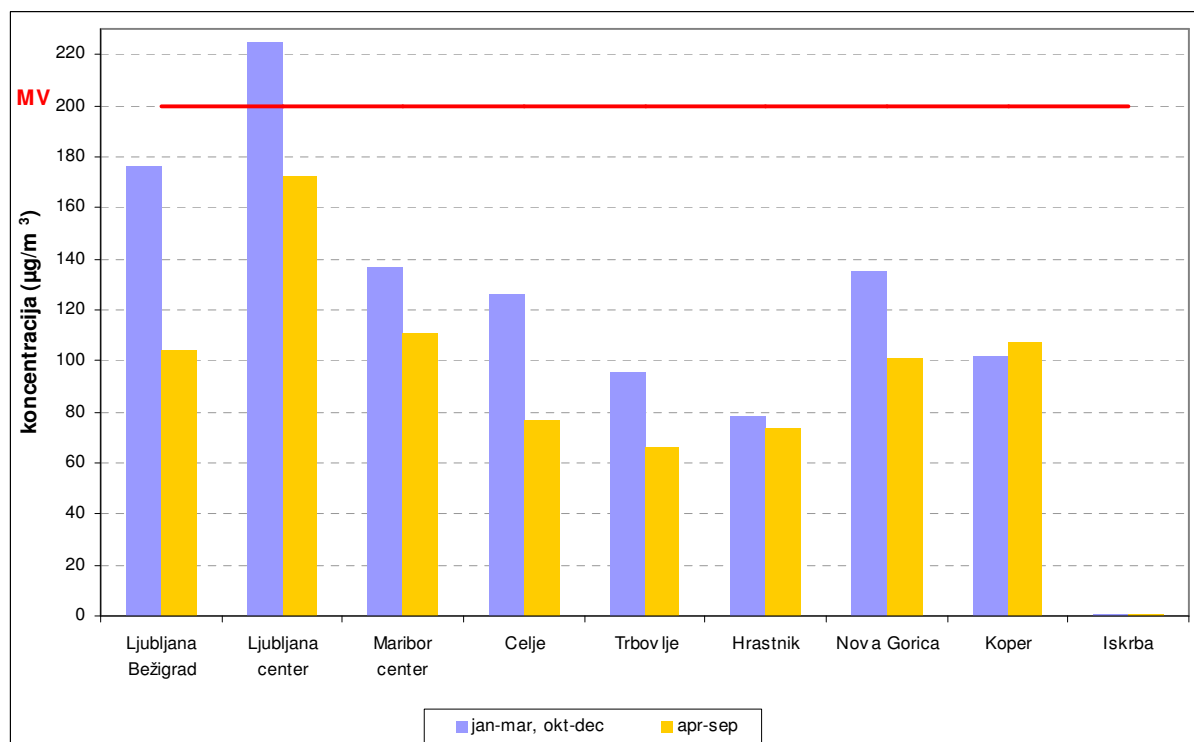


Merilno mesto Ljubljana center (foto : Andrej Piltaver)

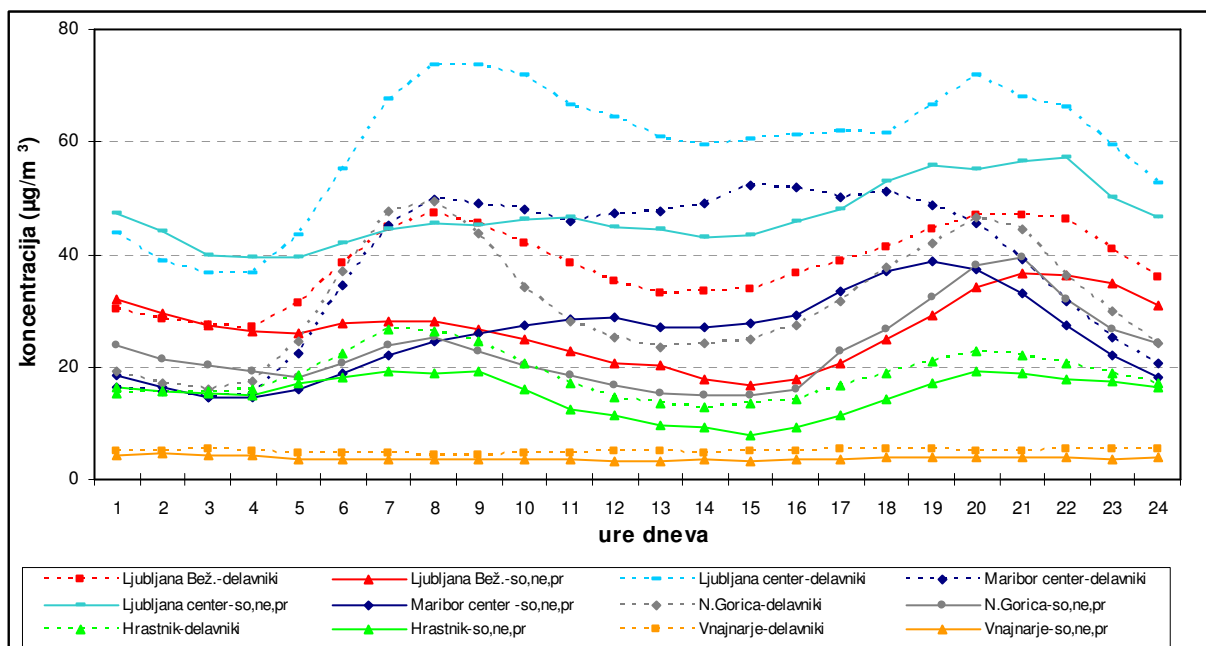




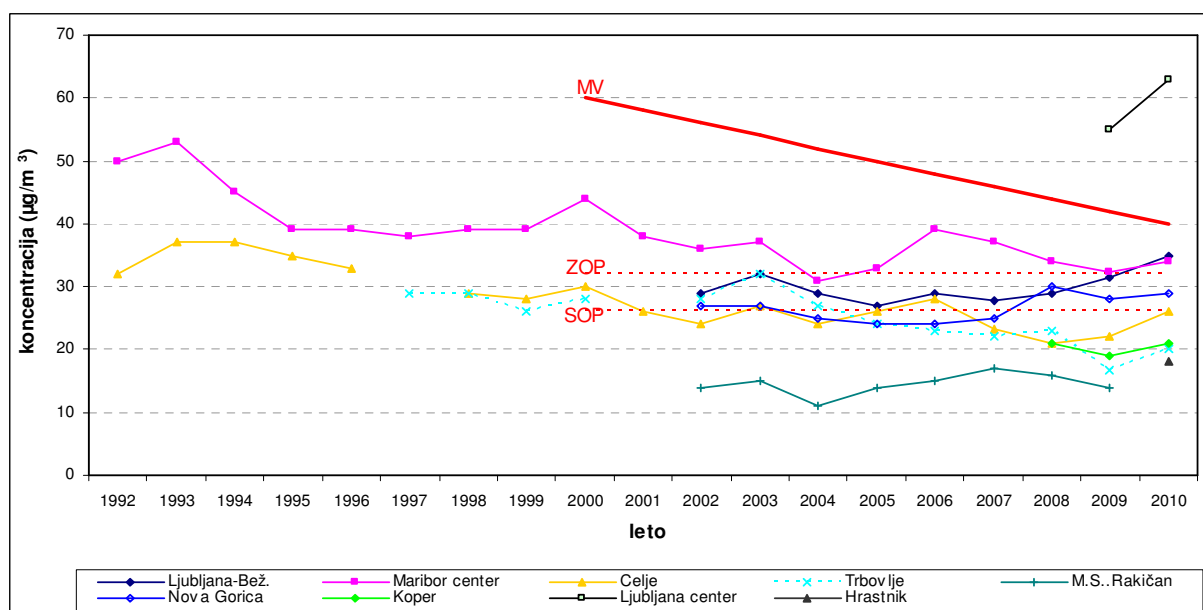
Slika 2.3.2.(3): Povprečne mesečne koncentracije NO<sub>2</sub> v letu 2010



Slika 2.3.2.(4): Najvišje urne koncentracije NO<sub>2</sub> v obdobju januar, - marec, oktober - december in v obdobju april-september 2010



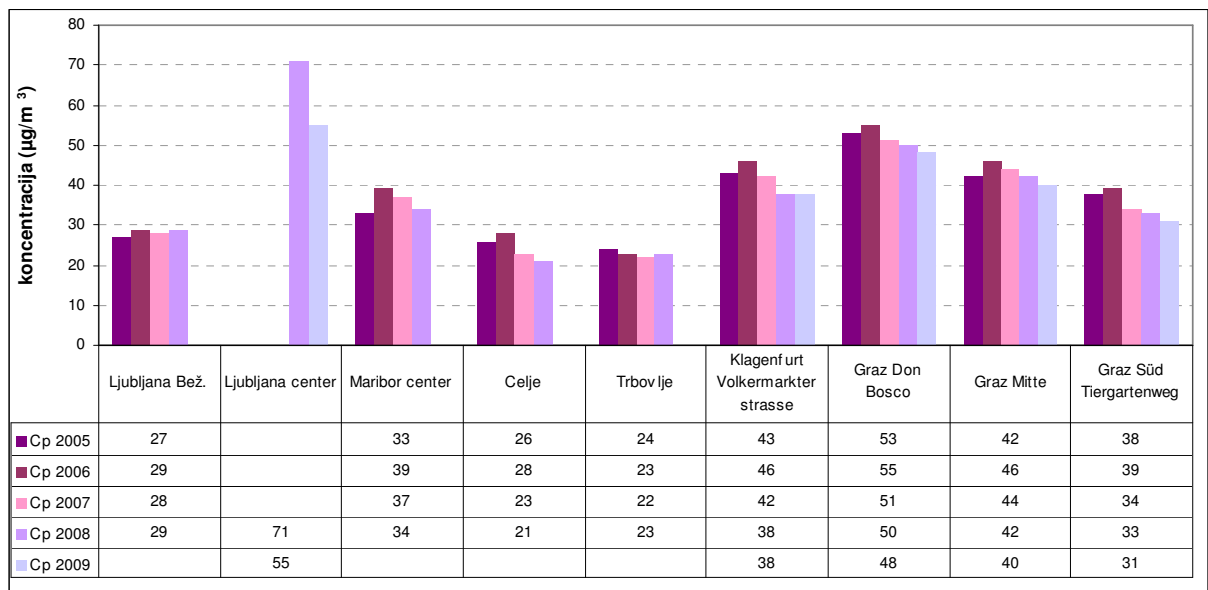
Slika 2.3.2.(5): Dnevni hod koncentracije NO<sub>2</sub> na štirih merilnih mestih v letu 2010



Slika 2.3.2.(6): Povprečne letne koncentracije NO<sub>2</sub>

### Primerjava s podatki iz Avstrije

Za primerjavo navajamo podatke o povprečnih letnih koncentracijah NO<sub>2</sub> za obdobje 2005 - 2009 z nekaterih naših mestnih merilnih mest in s štirih mestnih merilnih mest v Celovcu in Gradcu v sosednji Avstriji /32/, od katerih je najbolj prometno Gradec (Don Bosco), ki ima približno enako frekvenco prometa kot merilni mesti Ljubljana center in Maribor center (slika 2.3.2.(7)). Vidimo, da so koncentracije v štirih slovenskih mestih nižje kot v Celovcu in Gradcu, merilno mesto Ljubljana center pa je po višini koncentracij na prvem mestu.

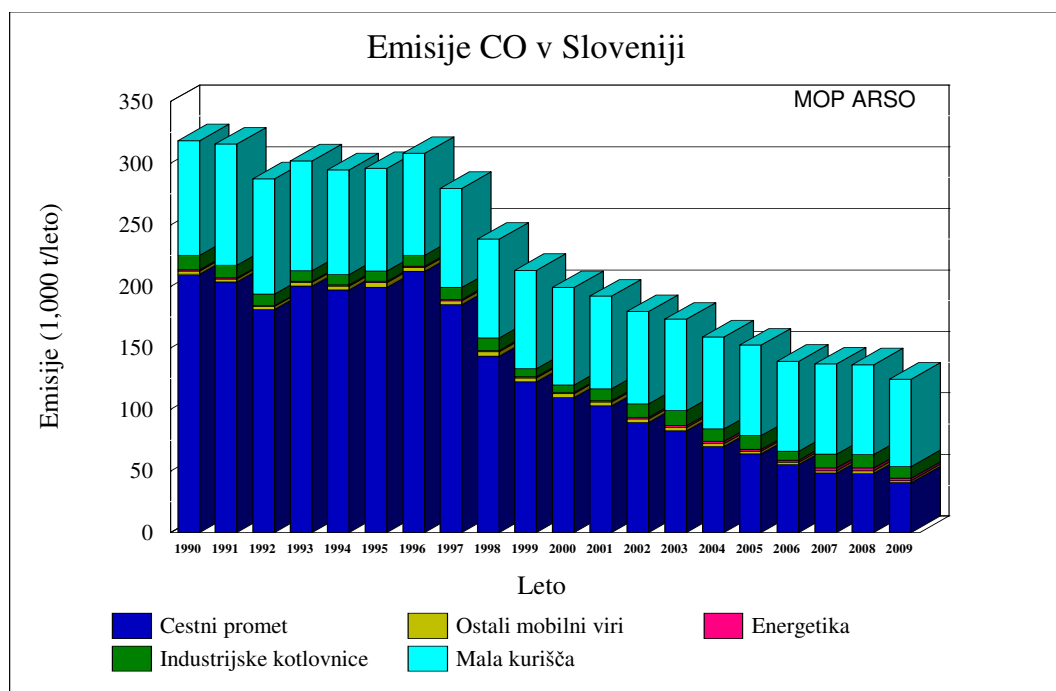


**Slika 2.3.2.(7):** Povprečne letne koncentracije (Cp) NO<sub>2</sub> na nekaterih mestnih merilnih mestih v Sloveniji in sosednji Avstriji v obdobju 2005-2009

### 2.3.3. Ogljikov monoksid

Onesnaženost zraka z ogljikovim monoksidom tako kot v prejšnjih letih tudi ob najbolj prometnih cestah ni prekoračila spodnjega ocenjevalnega praga. Koncentracije CO v letu 2010 so bile tako kot prejšnja leta pod spodnjim ocenjevalnim pragom za varovanje zdravja.

#### Emisije ogljikovega monoksida (leto 2009)



Slika 2.3.3.(1): Emisije CO v Sloveniji

Od leta 1980 do leta 2009 so letni izpusti CO v Sloveniji bolj ali manj v enakomernem trendu upadanja in so se zmanjšali za 56,38 %. V zadnjem letu so se znatno znižali, predvsem zaradi veliko manjše porabe dizelskega goriva v cestnem prometu. Največji delež k skupnim izpustom 124.630 t CO v letu 2009 prispeva sektor »mala kurišča«, in sicer 57,16 %.

Izpusti malih kurišč za CO niso problematični, ker so razpršeni po večjih površinah, medtem ko so emisije iz prometa omejene na občestna območja. Zato so vsa leta najvišje koncentracije izmerjene na mestnih merilnih mestih, ki so blizu prometnih cest in parkirišč.

#### Onesnaženost zraka z ogljikovim monoksidom

Po Uredbi o benzenu in ogljikovem monoksidu v zunanjem zraku je za CO predpisana le **8-urna mejna vrednost koncentracije za zaščito zdravja**. Meritve se izvajajo na petih merilnih mestih mreže DMKZ. Zaradi petletnega obdobja nizkih koncentracij bomo meritve CO izvajali na merilnih mestih Celje in Nova Gorica izmenično vsako drugo leto. Podatki o onesnaženosti zraka z ogljikovim monoksidom v Sloveniji so zbrani v tabeli 2.3.3.(1).

Zrak je bil z ogljikovim monoksidom tako kot vsa leta doslej tudi v letu 2010 malo onesnažen.

**8-urna mejna koncentracija** ni bila prekoračena na nobenem merilnem mestu. Najvišja maksimalna dnevna 8-urna koncentracija je dosegla največ 32 % mejne vrednosti 10 mg/m<sup>3</sup> na merilnem mestu Ljubljana Bežigrad.

### Letni in dnevni hod koncentracij

Tako kot pri dušikovih oksidih je tudi tu na mestnih lokacijah izrazit letni hod z maksimumom pozimi in minimumom poleti. Močnejše sončno obsevanje poleti ugodno vpliva na mešanje zraka, medtem, ko pozimi ob stabilnem vremenu s temperaturnimi inverzijami ostane onesnažen zrak na ozkem območju prometnih poti. Omenjena značilnost je komaj opazna na merilnem mestu Krvavec, saj je le-to v naravnem okolju daleč od virov emisije in v glavnem nad višino temperaturnih inverzij.





Da je največji vir CO v mestih promet, kaže slika dnevnega hoda koncentracij z izraženim jutranjim in večernim maksimumom ter precej višjimi koncentracijami ob delovnih dnevih kot ob koncu tedna. Značilno je tudi, da na Krvavcu, ki je daleč proč od prometnih poti, ni dnevnega hoda koncentracije, niti ni razlik med delavniki in koncem tedna.

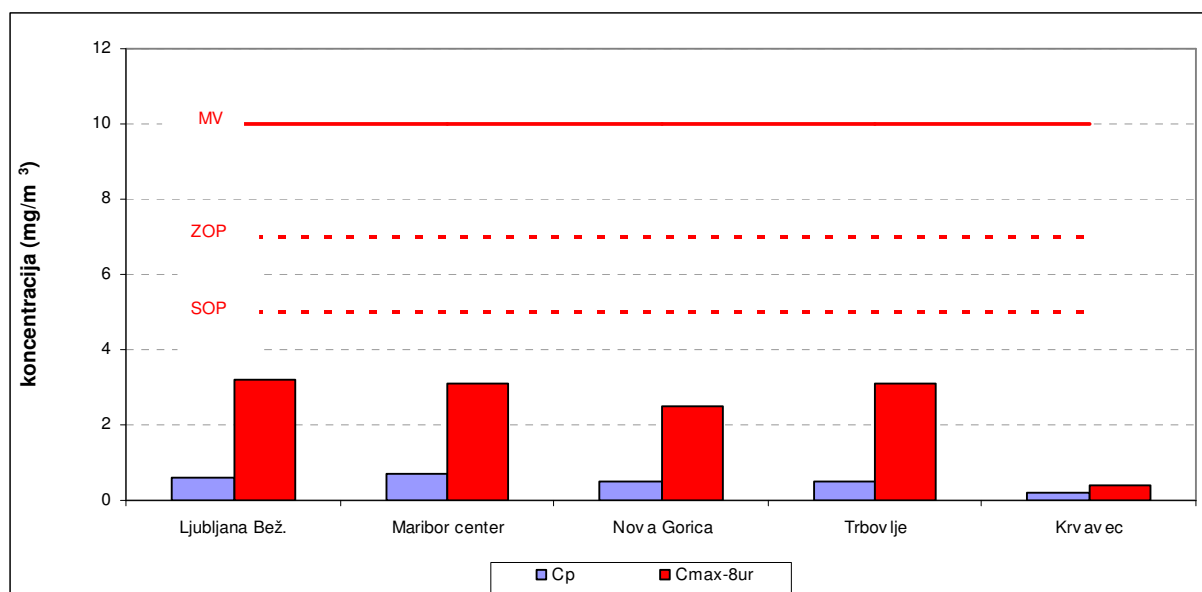
V zadnjih letih se raven koncentracij CO bistveno ne spreminja.

**Tabela 2.3.3.(1):** Koncentracije CO v zraku (mg/m<sup>3</sup>) v letu 2010

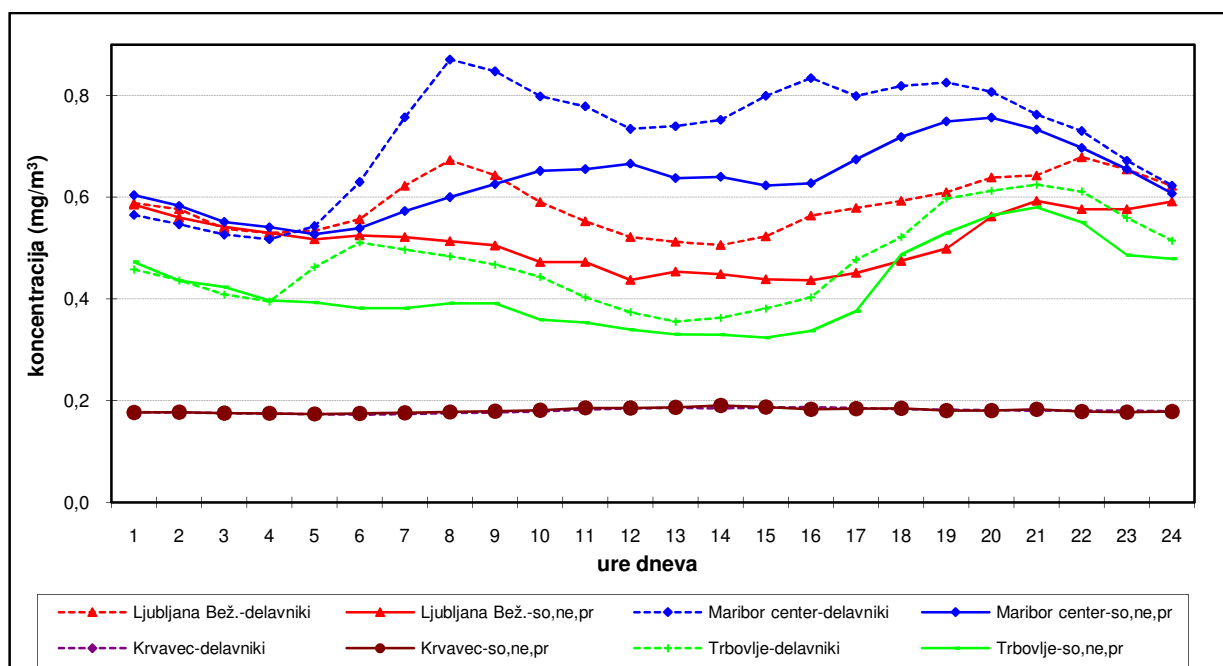
Postaje	Leto		8 ur*	
	% pod	C <sub>p</sub>	max	>MV
Ljubljana Bežigrad	81	0,6	3,2	0
Maribor center	94	0,7	3,1	0
Nova Gorica	92	0,5	2,5	0
Trbovlje	94	0,5	3,1	0
Krvavec	90	0,2	0,4	0

Legenda:

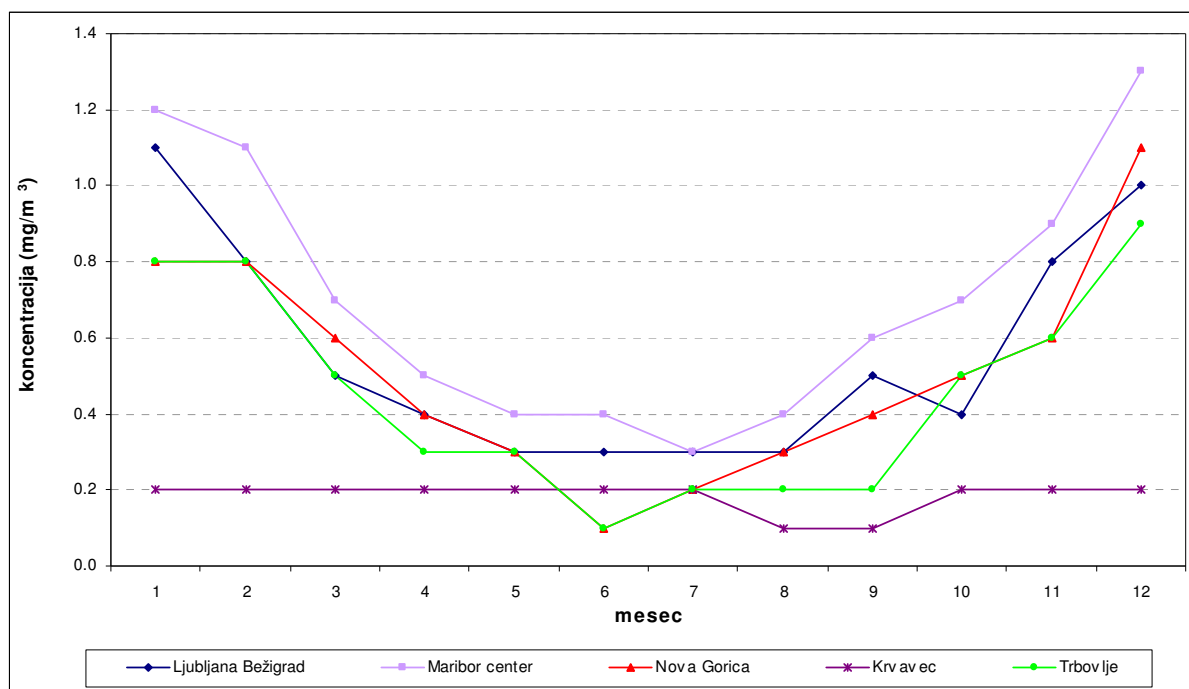
- \* določena sta zgornji in spodnji ocenjevalni prag
-  prekoračena mejna vrednost
-  prekoračen zgornji ocenjevalni prag
-  prekoračen spodnji ocenjevalni prag
-  koncentracija pod spodnjim ocenjevalnim pragom



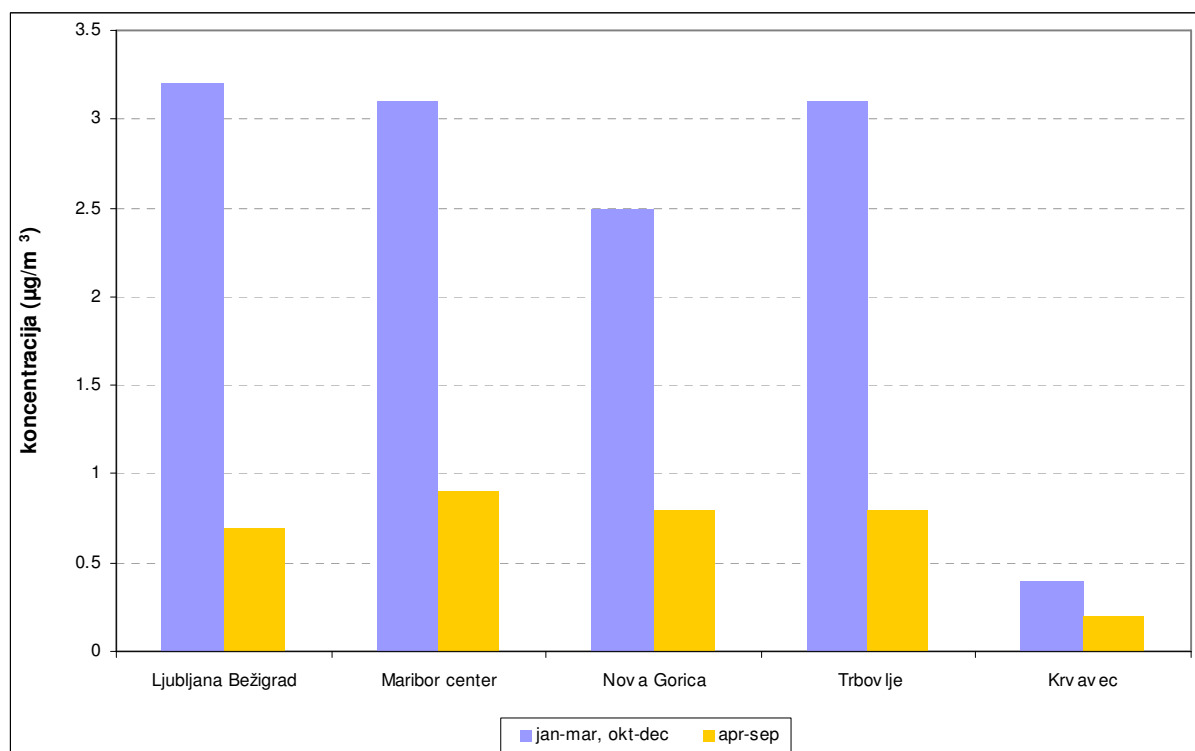
Slika 2.3.3.(2): Povprečne letne in maksimalne 8-urne koncentracije CO v letu 2010 v mg/m<sup>3</sup> (MV-mejna vrednost, SOP-spodnji ocenjevalni prag, ZOP-zgornji ocenjevalni prag)



Slika 2.3.3.(3): Dnevni hod koncentracije CO na štirih merilnih mestih DMKZ v letu 2010

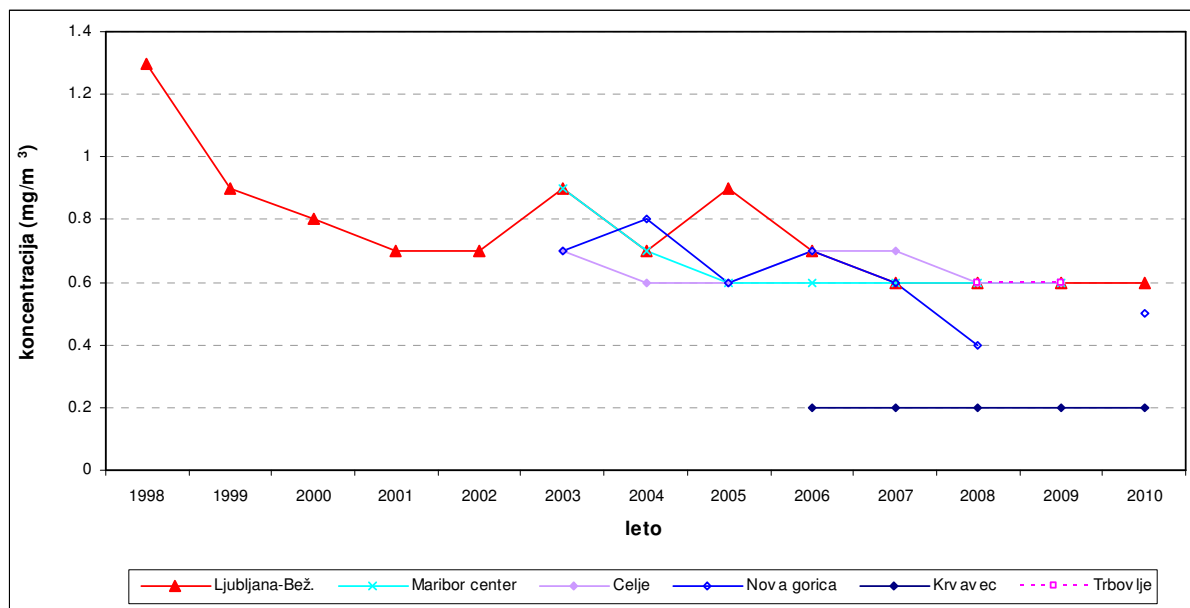


Slika 2.3.3.(4): Povprečne mesečne koncentracije CO (mg/m<sup>3</sup>) po mesecih v letu 2010



Slika 2.3.3.(5): Najvišje 8-urne koncentracije CO v obdobju januar - marec, oktober - december in v obdobju april-september 2010





Slika 2.3.3.(6): Povprečne letne koncentracije CO na merilnih mestih DMKZ

#### 2.3.4. Ozon

Podobno kot v prejšnjih dveh letih so bile koncentracije ozona zaradi neizrazitega poletja razmeroma nizke tudi v letu 2010.

Koncentracije ozona so prekoračile opozorilno urno vrednost  $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$  14-krat na Krvavcu, 3-krat na Otlici nad Ajdovščino in 2-krat v Kopru.

Letno dovoljeno število prekoračitev ciljne 8-urne vrednosti koncentracije ozona  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$  je bilo preseženo na vseh višje ležečih merilnih mestih ter na Primorskem in ob Obali, od mest v notranjosti Slovenije pa le v Ljubljani in v Hrastniku.

Mejna vrednost faktorja AOT40 za zaščito vegetacije in gozdov je bila prekoračena skoraj na vseh za to reprezentativnih merilnih mestih.



Krvavec, kjer doseže povprečna letna koncentracija ozona najvišjo vrednost (foto: Nataša Kovač)

#### Izvori ozona

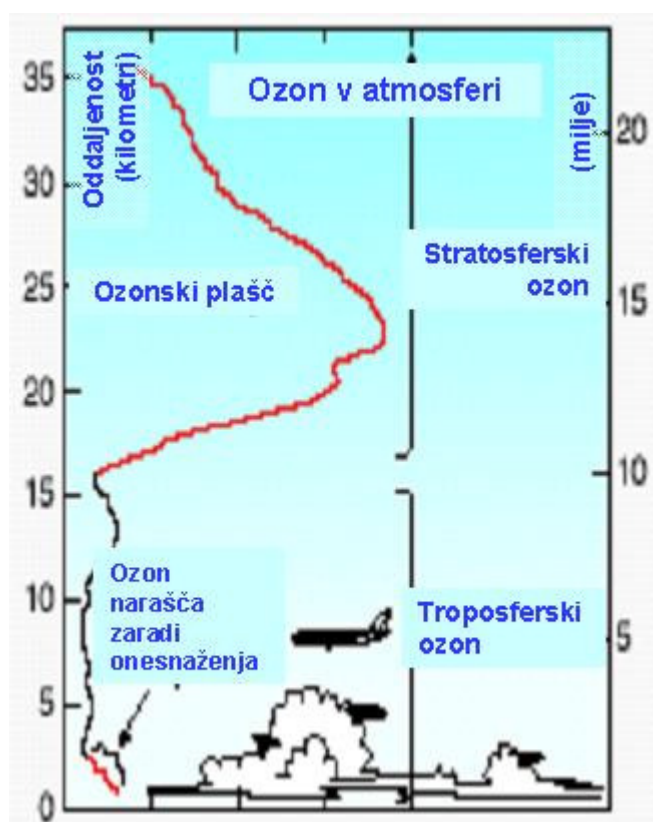
Ozon v prizemnih plasteh zraka je onesnaževalo, ki ga avtomobilski motorji ali industrija ne izpuščajo neposredno, ampak nastaja s kemično reakcijo ob prisotnosti sončne svetlobe (fotokemična reakcija) iz dušikovih oksidov, ki jih pride največ v ozračje iz prometa (motorji z notranjim izgorevanjem) in iz lahkih organskih snovi, ki jih prispevajo industrija, promet, gospodinjstva, bencinske črpalke, kemične čistilnice itd. Snovem, iz katerih nastaja ozon, pravimo predhodniki ozona. Reakcije so tem intenzivnejše, čim višja je temperatura (tabela 2.3.4.(2)) in čim močnejše je sončno obsevanje, zato je onesnaženost zraka z ozonom večja poleti (zato ga imenujemo tudi »poletno« onesnaževalo) in čez dan.

Ločimo dve vrsti ozona: stratosferski »koristen ozon« in troposferski »škodljiv« ozon. Prvi nas ščiti pred nevarnimi UV žarki.

Za nastajanje »škodljivega« ozona pri tleh (troposferski ozon) pa so krive emisije onesnaževal, ki so posledica človekove dejavnosti. Troposferski ozon nastaja pri zapletenih fotokemijskih reakcijah med predhodniki ozona ob pomoči sončne svetlobe. Večina emisij predhodnikov ozona, to je, dušikovih oksidov in ogljikovodikov, prihaja predvsem iz cestnega prometa in delno iz industrije.

V troposferi je največ ozona na višini med 1800 in 2200 metrov. Od naših merilnih mest sega v ta pas Krvavec (nadmorska višina 1740 m), kjer je letna povprečna koncentracija ozona najvišja. Na drugem mestu je Otlica (918 m).

Na prometnih merilnih mestih (npr. Maribor center, Zagorje) pa so koncentracije ozona nižje, ker le-ta hitro reagira z dušikovim monoksidom iz izpušnih plinov in razpade nazaj na kisik. Kraji z naraščajočo nadmorsko višino in odprtim reliefom imajo vse bolj značilnosti proste atmosfere, kjer je na eni strani majhen neposredni vpliv emisij predhodnikov ozona, na drugi strani pa je močnejše ultravijolično sevanje sonca. To se kaže v nižjih maksimalnih koncentracijah ozona, medtem ko je raven povprečnih koncentracij višja kot v nižjih predelih.



Shematski prikaz procesa nastajanja ozona

### Onesnaženost zraka z ozonom

Uredba o ozonu v zunanjem zraku (Ur.l. RS, št. 8/03) predpisuje za zaščito zdravja **opozorilno in alarmno urno koncentracijo ter ciljno vrednost najvišje 8-urne dnevne koncentracije**, za varstvo rastlin in gozdov sta določeni mejni vrednosti faktorja AOT40 za čas vegetacije, od maja do julija oz. od aprila do septembra, za zaščito materialov pa je določena mejna letna vrednost. Letni pregled onesnaženosti zraka z ozonom na skupaj 18 merilnih mestih po Sloveniji v letu 2009 je podan v tabeli 2.3.4.(1).

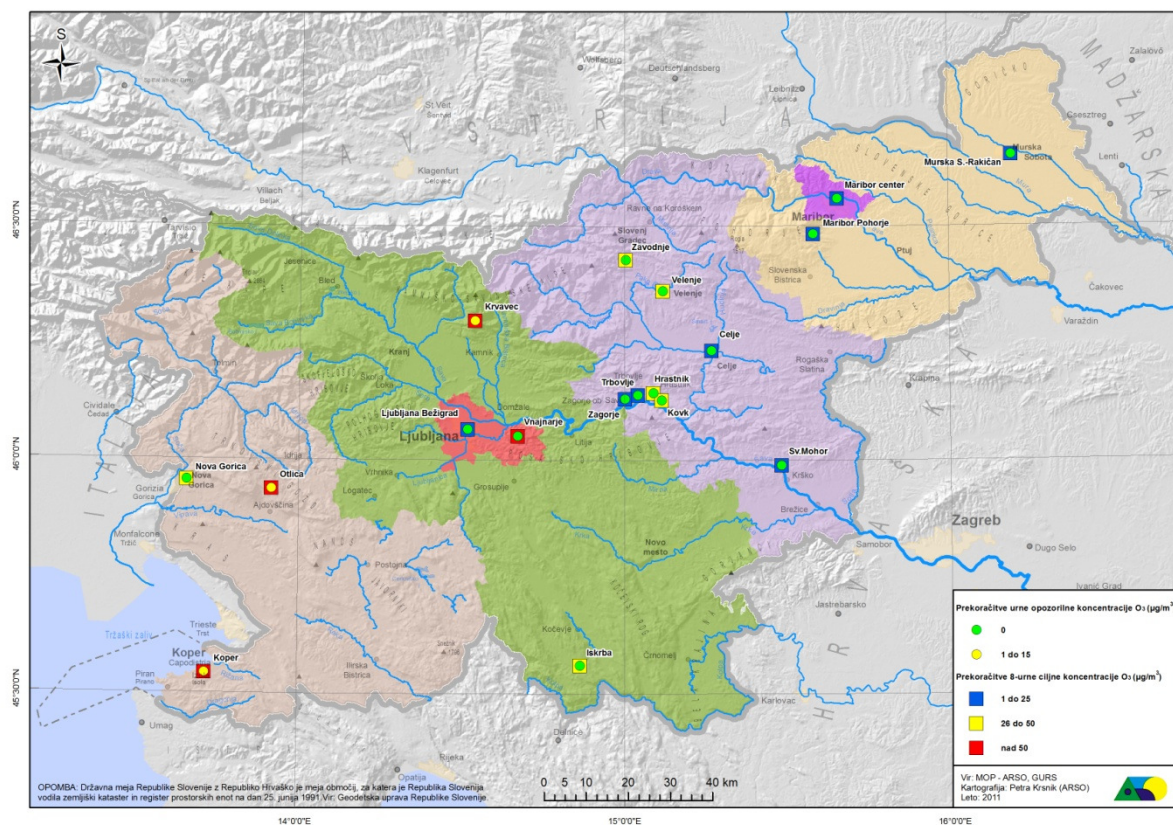
Kot smo že v poročilih iz prejšnjih let ugotovili, se najvišje koncentracije ozona pojavljajo poleti na Obali in na Primorskem. Takrat so naši kraji na zahodnem obrobju območja visokega zračnega pritiska, ko prevladujejo pri nas šibki vetrovi zahodne in jugozahodne smeri. Ker takih vremenskih situacij tako kot v letu 2009 tudi leta skoraj 2010 ni bilo, je bilo vsega skupaj pet prekoračitev opozorilne vrednosti – tri **na Otlici** in dve **v Koprju**. Temperature zraka so bile sicer v povprečju od aprila do avgusta nad dolgoletnim povprečjem, vendar so krajša vroča obdobja prekinjale fronte z nevihtami. Največ padavin je bilo v južni in zahodni Sloveniji. Da v obdobjih z visokimi temperaturami koncentracije ozona niso bile zelo visoke je bila kriva prevladujoča severna do severovzhodna cirkulacija zraka.

Nepričakovano pa se je pri takem vremenu pojavilo nekaj visokih koncentracij nad opozorilno vrednostjo **na Krvavcu** v dneh od 30. 6. do 2. 7. 2010. Iz trajektorij (slike v nadaljevanju) na višini 850 milibarov (višina 1500 metrov) je razvidno, da je prevladovala prva dva dneva severna cirkulacija, kar pomeni, da je pritekal onesnažen zrak na Krvavec preko Avstrije, 2. 7. pa preko Hrvaške in vzhodne Slovenije, vendar ni bila narejena ocena, kolikšen delež izmerjenega ozona je prispel iz teh smeri.

Omeniti moramo še nenavadno visoke koncentracije ozona 17. in 18. 2. 2010 na merilnem mestu Rakičan. 17. februarja je po daljšem obdobju hladnega vremena nastopila izrazita otoplitev z južnim vetrom. Povišane koncentracije ozona so bile izmerjene še v Mariboru.

**Tabela 2.3.4.(1):** Koncentracije ozona v zraku ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) v letu 2010 (prekoračena mejna vrednost AOT40 in mejna letna vrednost ter preseženo dovoljeno število prekoračitev 8-urne ciljne vrednosti koncentracije so v rdečem tisku, nereprezentativna mesta za varstvo gozdov in rastlin pa so sivo obarvana).

Merilno mesto	n.v. (m)	% pod	Leto	1 ura			8 ur		AOT40	
			C <sub>p</sub>	max	>OV	>AV	max	>CV	apr-sep	maj-jul
			zaščita materialov	varovanje zdravja						varstvo gozdov
Krvavec	1740	91	97	187	14	0	182	82	60721	38915
Iskrba	540	87	55	158	0	0	152	36	34289	21949
Otlica	918	95	83	189	3	0	173	57	51990	33445
Ljubljana Bežigrad	299	94	41	159	0	0	147	21	26361	19311
Maribor center	270	94	40	135	0	0	123	3	9418	7014
Celje	240	91	42	161	0	0	151	22	25580	19141
Trbovlje	250	92	42	166	0	0	158	22	25751	18333
Hrastnik	290	92	48	172	0	0	158	32	32866	22929
Zagorje	241	94	36	160	0	0	146	12	15500	12307
Murska S.-Rakičan	188	93	51	177	0	0	148	23	27251	18728
Nova Gorica	113	89	46	179	0	0	162	43	39050	26836
Koper	56	93	68	190	2	0	163	56	49824	32179
Vnajnarje	630	93	73	175	0	0	165	51	35736	23293
Maribor Pohorje	725	96	71	152	0	0	148	25	22666	15228
Zavodnje	770	94	73	173	0	0	159	43	38498	27862
Velenje	390	94	51	169	0	0	157	34	35345	24076
Kovk	600	95	71	172	0	0	164	47	40787	27862
Sv.Mohor	390	86	54	155	0	0	140*	13	16263	13851



Slika 2.3.4.(1): Število prekrasitev urne opozorilne in 8-urne ciljne koncentracije ozona v letu 2010

Tabela 2.3.4.(2): Najnižja povprečna dnevna in najnižja maksimalna dnevna temperatura zraka na treh merilnih mestih za dneve v obdobju 2005 - 2010, ko je vsaj ena urna koncentracija ozona prekrasila opozorilno vrednost  $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Merilno mesto	$T_{\text{povp}}$ (st.C)	$T_{\text{max}}$ (st.C)
Nova Gorica	23	30
Koper	25	30
Ljubljana-Bežigrad	23	30

### Letni in dnevni hod koncentracij

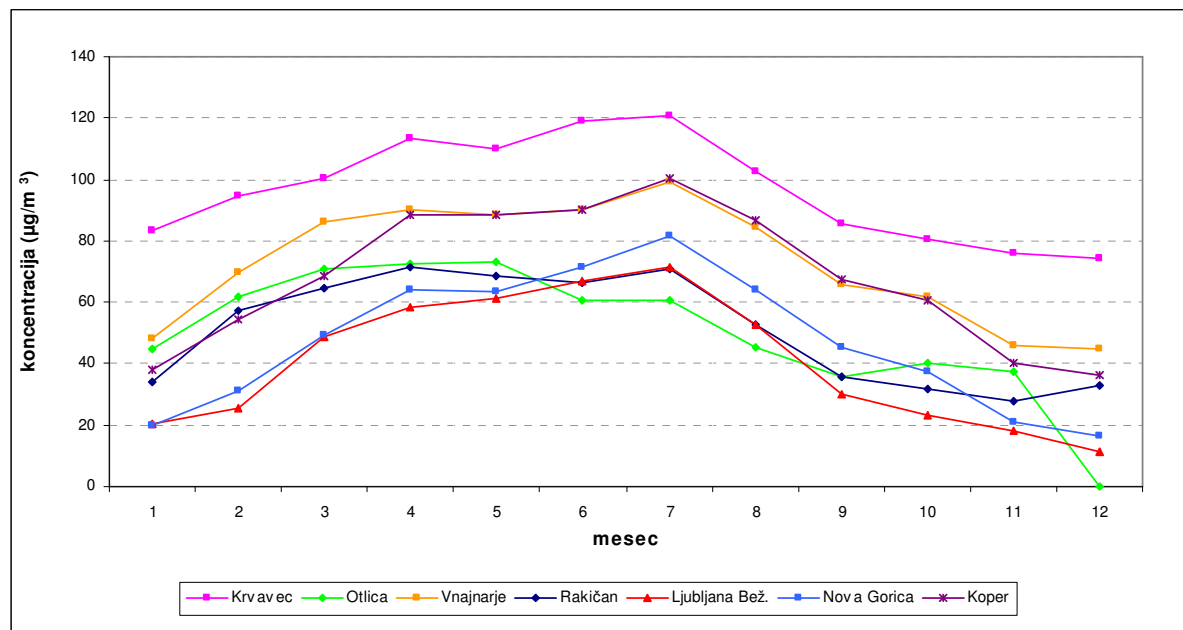
Zaradi vpliva sončnega obsevanja in temperature zraka na kemijske reakcije, pri katerih se razvija ozon, so koncentracije poleti precej višje kot pozimi. Razlika je večja v nižinskih krajih, kjer je pozimi manj sonca zaradi pogoste megle s temperaturno inverzijo.

Na merilnih mestih v nižinskih krajih nastopi izrazit maksimum koncentracij okrog 14. ure, ko je močno sončno obsevanje in ko so temperature zraka najvišje. Na višje ležečih odprtih legah (Krvavec, Otlica nad Ajdovščino) je ta hod precej manj izrazit. Vpliv emisij predhodnikov ozona na prometnih oziroma mestnih lokacijah se kaže v precej nižjih koncentracijah ozona ob delavnikih kot ob koncu tedna (slika 2.3.4.(4)).

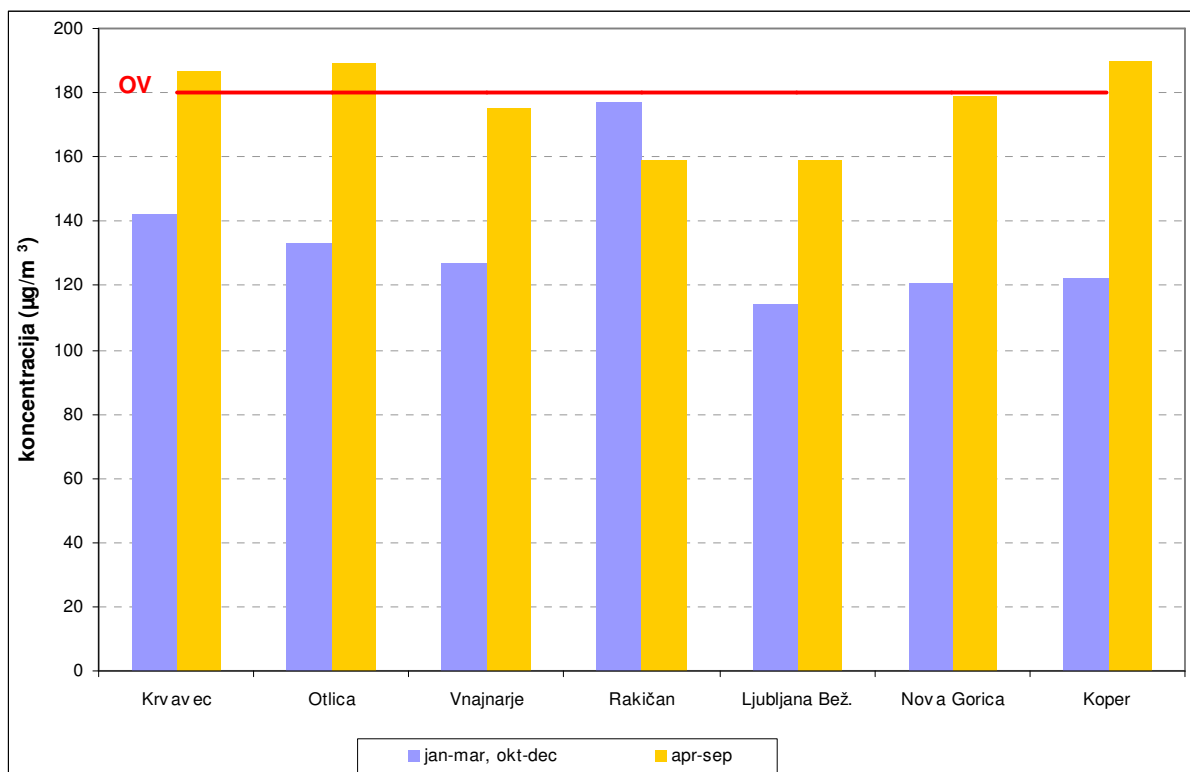


## Časovni trend

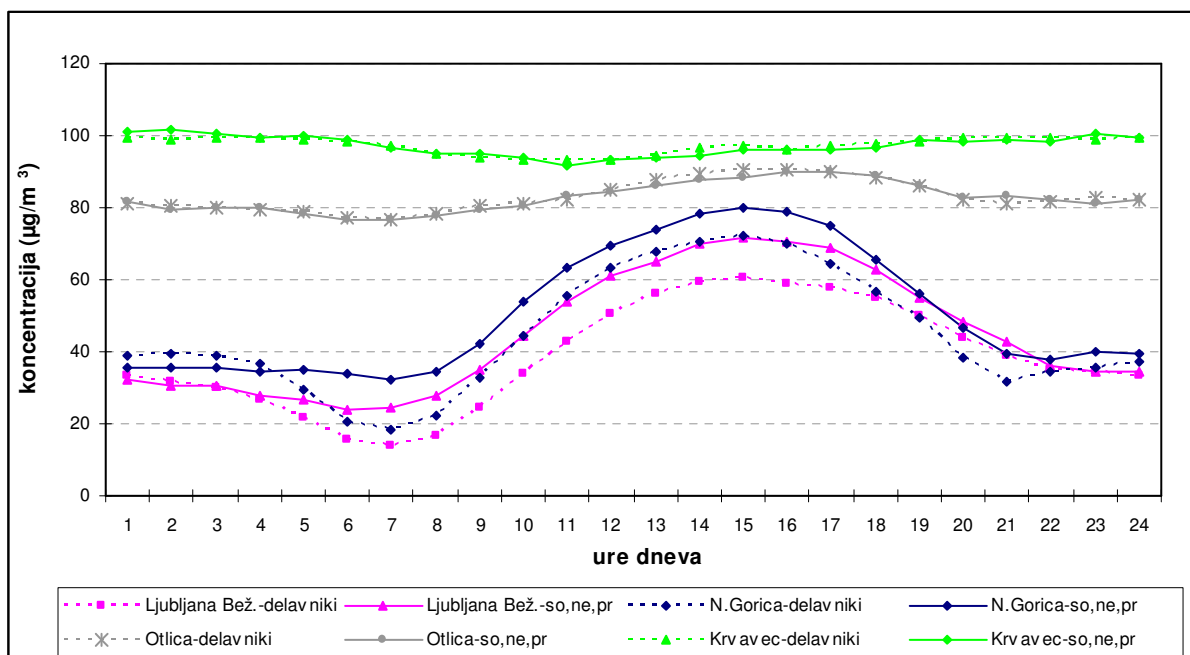
Povprečne letne koncentracije ozona ne kažejo opaznih tendenc v zadnjih letih. Manjša nihanja so posledica vremenskih razmer, posebej tistih poletj, ko so pogoji za nastanek ozona zaradi močnejšega sončnega obsevanja in višjih temperatur ugodnejši (npr. dolgo vroče poletje leta 2003, deževno poletje 2004, deloma tudi neizraziti poletji 2008 in 2009). Ta nihanja so bolj izražena pri številu prekoračitev ciljne 8-urne vrednosti, še bolj pa pri številu prekoračitev opozorilne urne vrednosti (slike 2.3.4.(5 - 7)).



Slika 2.3.4.(2): Povprečne mesečne koncentracije ozona v letu 2010

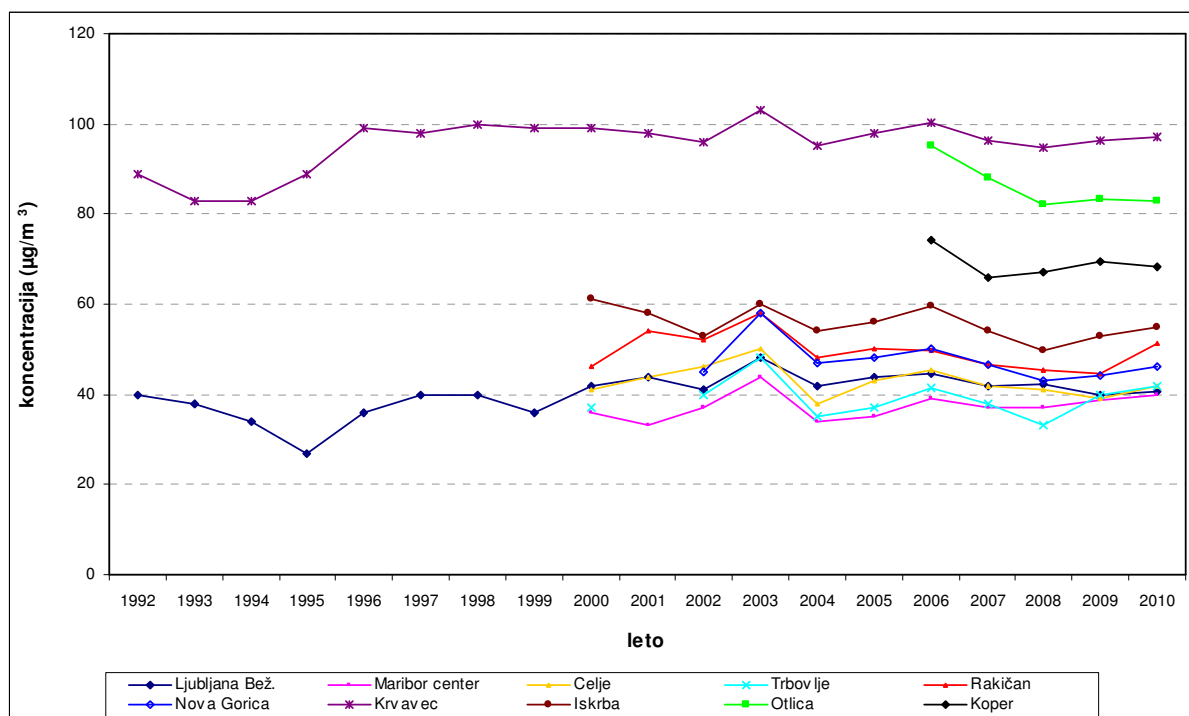


Slika 2.3.4.(3): Najvišje urne koncentracije ozona v obdobju januar - marec, oktober - december in v obdobju april - september 2010 (OV – opozorilna vrednost)

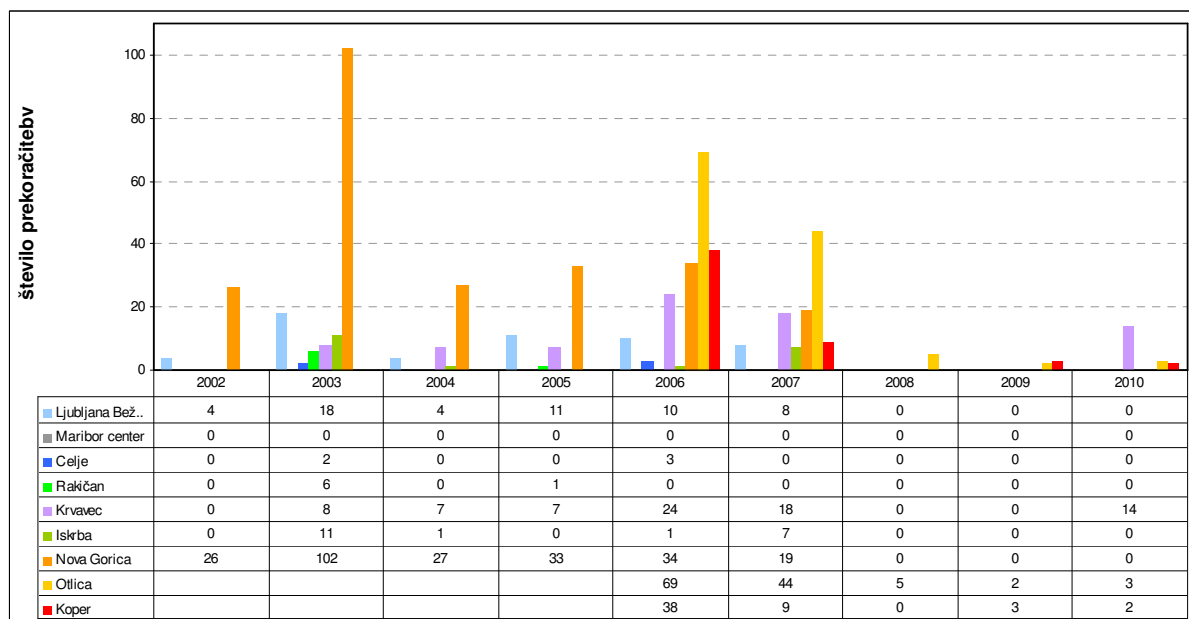


Slika 2.3.4.(4): Dnevni hodi koncentracij ozona za obdobje junij - avgust 2010

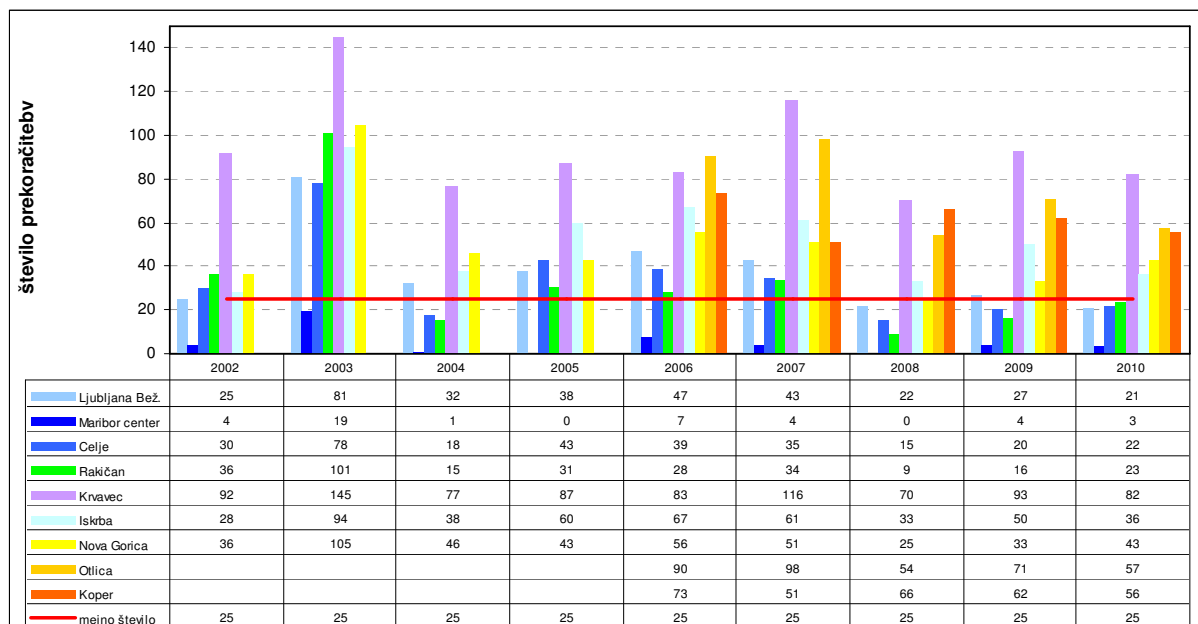




Slika 2.3.4.(5): Povprečne letne koncentracije ozona



Slika 2.3.4.(6): Število prekoračitev urne opozorilne koncentracije ozona za obdobje 2002 - 2010



Slika 2.3.4.(7): Število preoračitev ciljne 8-urne koncentracije ozona za obdobje 2002 - 2010

Analiza 29.06.2010 00 UTC

24 - urne trajektorije v točko Krvavec

Napoved za 30.06.2010 15 UTC

SR 15



ALADIN/SI

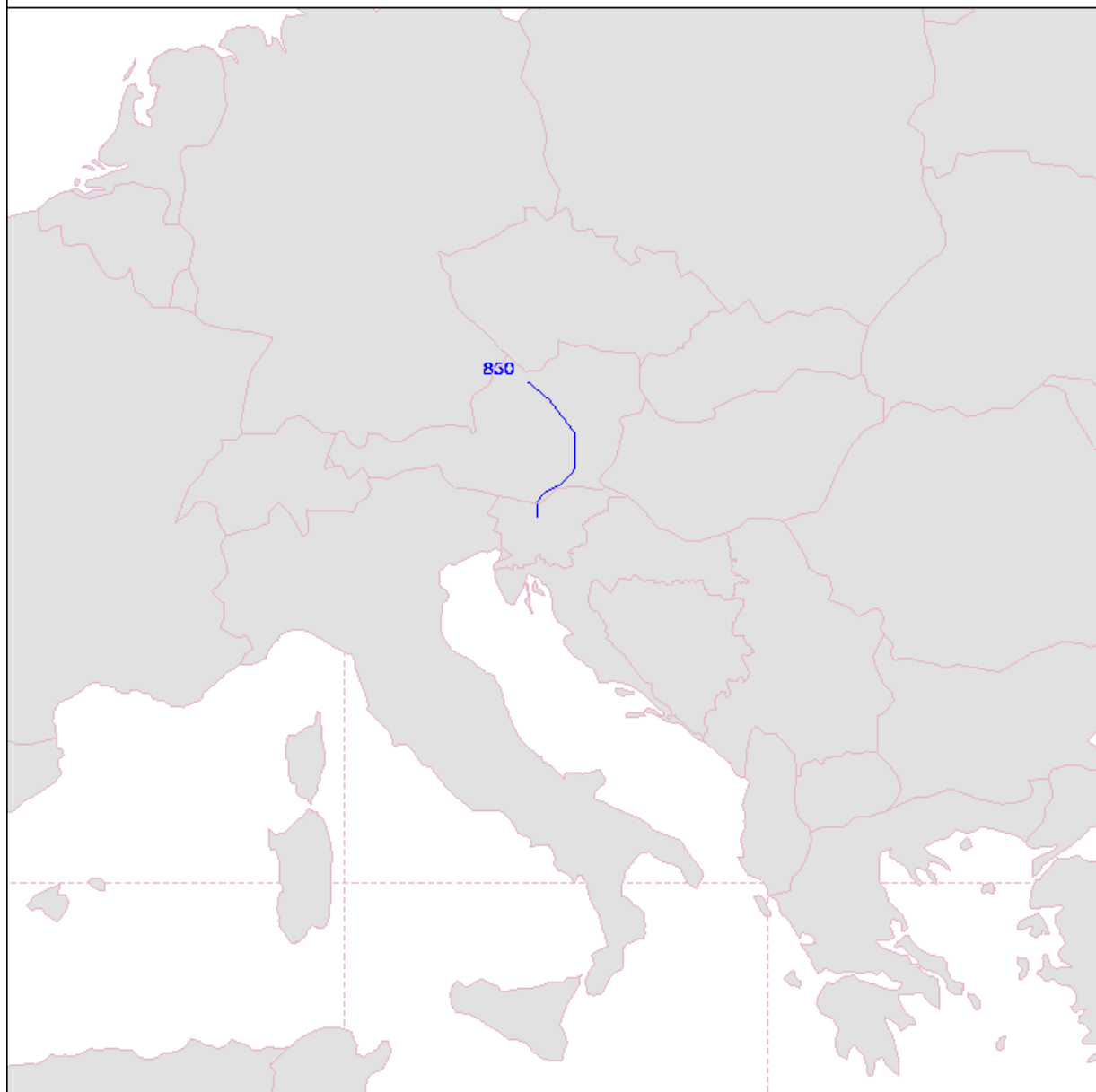


Izračunana trajektorija na višini 850 mb za 30. 6. 2010 za točko Krvavec

Analiza 29.06.2010 12 UTC  
Napoved za 01.07.2010 03 UTC

CE 03

24 - urne trajektorije v točko Krvavec



ALADIN/SI



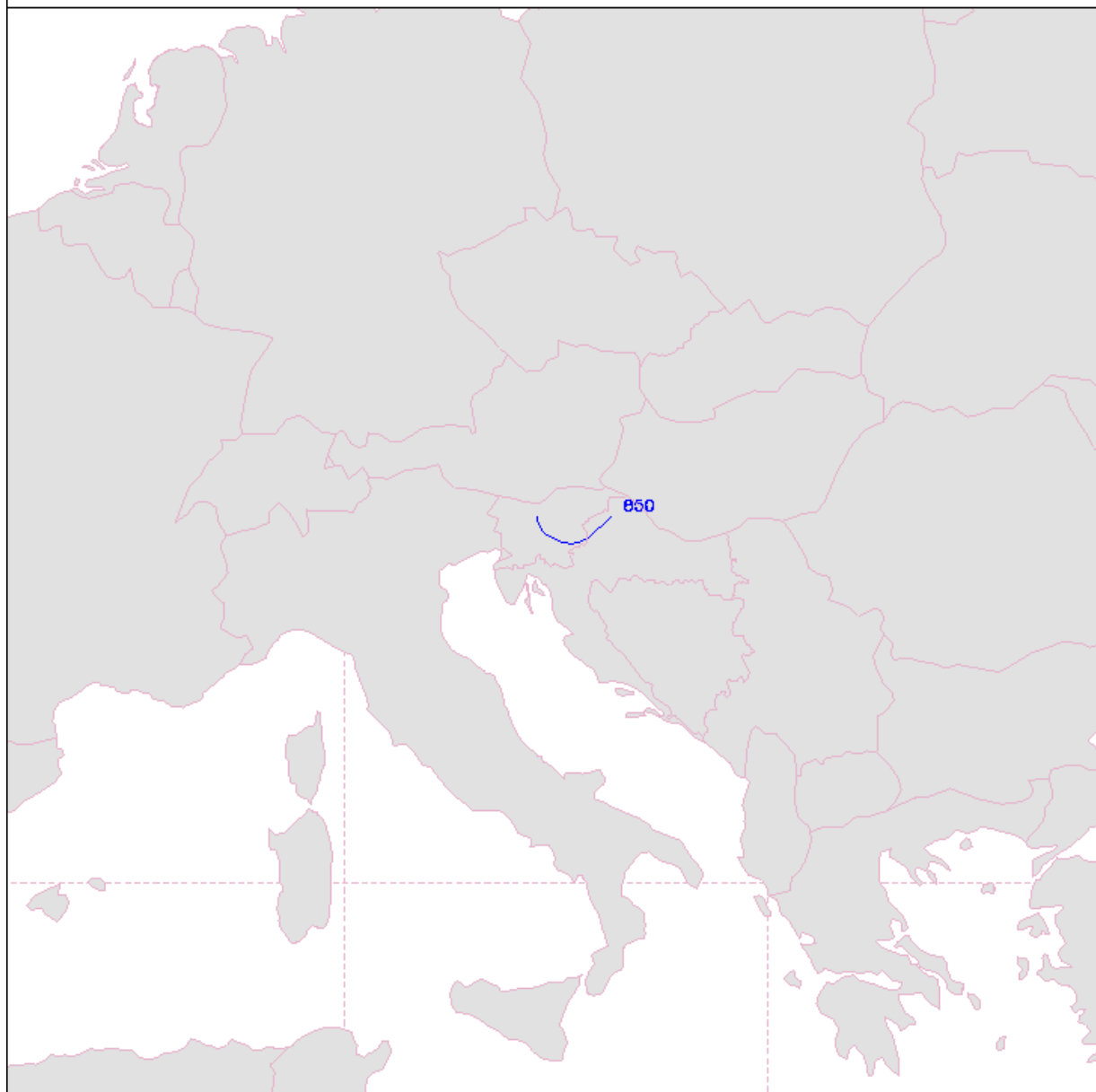
Izračunana trajektorija na višini 850 mb za 1. 7. 2010 za točko Krvavec

Analiza 01.07.2010 00 UTC

24 - urne trajektorije v točko Krvavec

Napoved za 02.07.2010 15 UTC

PE 15



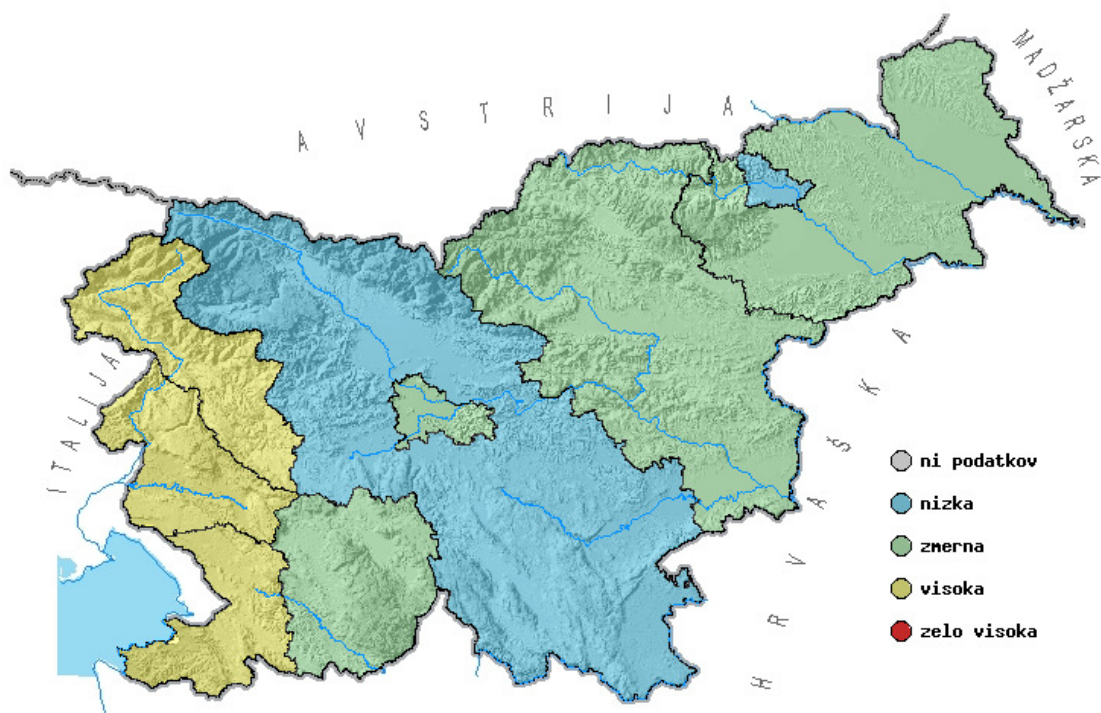
ALADIN/SI



Izračunana trajektorija na višini 850 mb za 2. 7. 2010 za točko Krvavec

### **Napoved ozona**

Kot za vsa onesnaževala je tudi za ozon predpisana mejna vrednost koncentracije - opozorilna vrednost je  $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , alarmna pa  $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Ti dve vrednosti sta tisti, pri katerih je potrebno obvestiti javnost in podati informacijo o možnih učinkih na zdravje in priporočenem vedenju. Ena od glavnih nalog Agencije RS za okolje je obveščanje javnosti, zato napovedujemo koncentracijo ozona za dva dni vnaprej za celotno Slovenijo /47/, ki je objavljena na spletni strani ARSO.



Obrazložitev legende:

➤ **Ni podatkov**

Podatki manjkajo zaradi nepravilnega delovanja merilne opreme.

➤ **Nizka (0 - 60 µg/m<sup>3</sup>)**

Onesnaženost zunanjega zraka z ozonom je majhna in ne vpliva na zdravje ljudi.

➤ **Zmerna (60 – 120 µg/m<sup>3</sup>)**

Pri najbolj občutljivi skupini ljudi se lahko pojavijo prvi simptomi težav v respiratornem sistemu.

➤ **Visoka (120 – 180 µg/m<sup>3</sup>)**

Pri občutljivih posameznikih, predvsem bolnikih s kroničnimi boleznimi dihal in krvožilnega sistema se lahko pojavljajo blagi učinki, navadno na respiratorni sistem. Ti ljudje naj se izogibajo zunanjim aktivnostim.

➤ **Zelo visoka (> 180 µg/m<sup>3</sup>)**

Pri občutljivih posameznikih se lahko pojavljajo značilni efekti, kot so otežkočeno dihanje, tesnoba v prsnem košu, kašljanje, pekoč občutek v očeh. Omenjeni učinki so možni pri otrocih in ljudeh, ki izvajajo določene aktivnosti na prostem. Ljudje naj se v času zelo visokih koncentracij izogibajo intenzivnim telesnim dejavnostim na prostem.

Primer napovedi ozona, ki je vidna na spletni strani ARSO

Ko je opozorilna urna koncentracija presežena, pošljemo obvestila na različne naslove: bolnišnice, zdravstveni domovi, mediji, center za reševanje, občine, šole, vrtci.

Ponavljajoča se izpostavljenost povišanim koncentracijam ozona lahko povzroči stalne okvare pljuč. Četudi je ozon prisoten v nižjih koncentracijah, lahko njegovo vdihavanje povzroči množico zdravstvenih problemov, bolečine v prsih, kašljanje, bruhanje in draženje grla, vpliva pa lahko tudi na bronhitis, srčne bolezni in astmo.

Ker običajno ozon nastaja v vročem poletnem vremenu, ko se večinoma zadržujemo zunaj, je lahko prizadet vsakdo, ki preživlja svoj čas na prostem, posebno otroci, starejši ljudje, delavci na prostem in rekreativni športniki. Priporočamo, da se bolne in občutljive osebe odpovedo napornim opravilom na prostem, predvsem opoldne in v popoldanskih urah.

Celotna Agencija je vključena v proces ISO 9001. Proces kakovosti zraka spremljamo oziroma nadzorujemo tako s posameznimi kontrolnimi točkami, kot tudi z indikatorji procesa. Eden od indikatorjev procesa je tudi uspešnost napovedi ozona. Za leto 2010 je bil določen plan, da imamo 75 % uspešnih napovedi ozona. Dejansko pa je bilo v povprečju 78 % uspešno izvedenih napovedi za »danes« in 73 % pravilnih napovedi za »jutri«, kar v povprečju pomeni 75 % pravilnih napovedi ozona. To pomeni, da je bil plan za leto 2010 v celoti realiziran.

Konec leta 2010 smo napoved ozona izboljšali. Obstoječi statistični model za napovedovanje smo nadgradili z modelom, izgrajenim na daljšem časovnem nizu podatkov za posamezno merilno mesto, poleg tega smo v napoved vključili tudi višje ležeča merilna mesta (Krvavec in Otlica). Takšna napoved bo javnosti dostopna v letu 2011 /48/.



### 2.3.5. Delci

**Zaradi velike onesnaženosti zraka z delci bo potrebno čimprej sprejeti in izvajati programe za zmanjšanje emisij.**

**Onesnaženost zraka z delci je v Evropi pereč problem, še posebej zaradi delcev manjših od 10 mikronov. Sestava delcev je različna: sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ), amonij ( $\text{NH}_4^+$ ), različne kovine ter ogljik v organski in anorganski obliki.**

Aerosol je disperzni sistem, ki vsebuje trdne ali tekoče delce, suspendirane v plinu, ki ga imenujemo zrak. Delež delcev se emitira v atmosfero iz virov na površini (primarni delci), medtem ko so drugi posledica različnih pretvorb v onesnaženi atmosferi (sekundarni delci).

Delci so naravnega izvora (cvetni prah, vegetacija, morska sol, dim gozdnih požarov, meteorski prah, vulkanski pepel) ali antropogenega izvora – vpliv človeške aktivnosti (energetski objekti, industrija, promet, poljedelstvo, individualna kurišča). Delci pomembno vplivajo na zdravje ljudi, kakor tudi na klimo, vidnost itd. V nadaljevanju je predstavljen primer naravnega izvora vulkanskega prahu, ki je bil v Sloveniji zaznan od 14. – 18. 4. 2010. V nadaljevanju je tudi prispevek o soljenju cest in o vplivu soljenja na koncentracijo  $\text{PM}_{10}$ .

Delci, ki nastanejo s procesi med plini, in delci tako v plinski kot v tekoči fazi, so v glavnem velikosti pod  $1 \mu\text{m}$  ( $10^{-6} \text{ m}$ ) in se imenujejo fini delci (v angleščini izraz fine particles). Na zemeljski površini pa nastanejo delci, v glavnem večji od  $1 \mu\text{m}$ , imenujemo jih grobi delci (coarse particles). Sem štejemo tudi bioaerosole, npr. pelod, trose, katerih izvor je vegetacija. Delci, ki nastanejo pri gorenju, se lahko nahajajo v obeh velikostih razredih. Delci različnega izvora so različne kemijske sestave in prav tako različne oblike in različnih fizikalnih stanj.

Določitev velikosti aerosola je eden pomembnejših elementov kar se tiče meritev in modeliranja dinamike aerosola. Premer delcev največkrat opišemo z izrazom »aerodinamični premer«. Aerodinamični premer je definiran kot premer okroglega delca z gostoto  $1 \text{ g/cm}^3$ . To pomeni, da se v zraku obnaša kot vodna kapljica definiranega premera. Delci enake oblike in velikosti, toda različne gostote, imajo različen aerodinamični premer. Na podlagi aerodinamičnega premera ločimo delce:

- $\text{PM}_{10}$  - delci z aerodinamičnim premerom do  $10 \mu\text{m}$ ,
- $\text{PM}_{2,5}$  - delci z aerodinamičnim premerom do  $2,5 \mu\text{m}$ ,
- $\text{PM}_{1,0}$  - delci z aerodinamičnim premerom do  $1 \mu\text{m}$ ,
- UFP ali UP – zelo fini delci z aerodinamičnim premerom do  $0,1 \mu\text{m}$ .

Sestava delcev je odvisna od izvora delcev. V glavnem velja, da se manjši in svetlejši delci zadržujejo v zraku dalj časa. Večji delci (večji kot  $10 \mu\text{m}$  premera) se zadržujejo v atmosferi nekaj ur, medtem ko manjši delci (manjši od  $1 \mu\text{m}$ ) lahko ostanejo v atmosferi tedne in se navadno odstranijo iz atmosfere s padavinami.

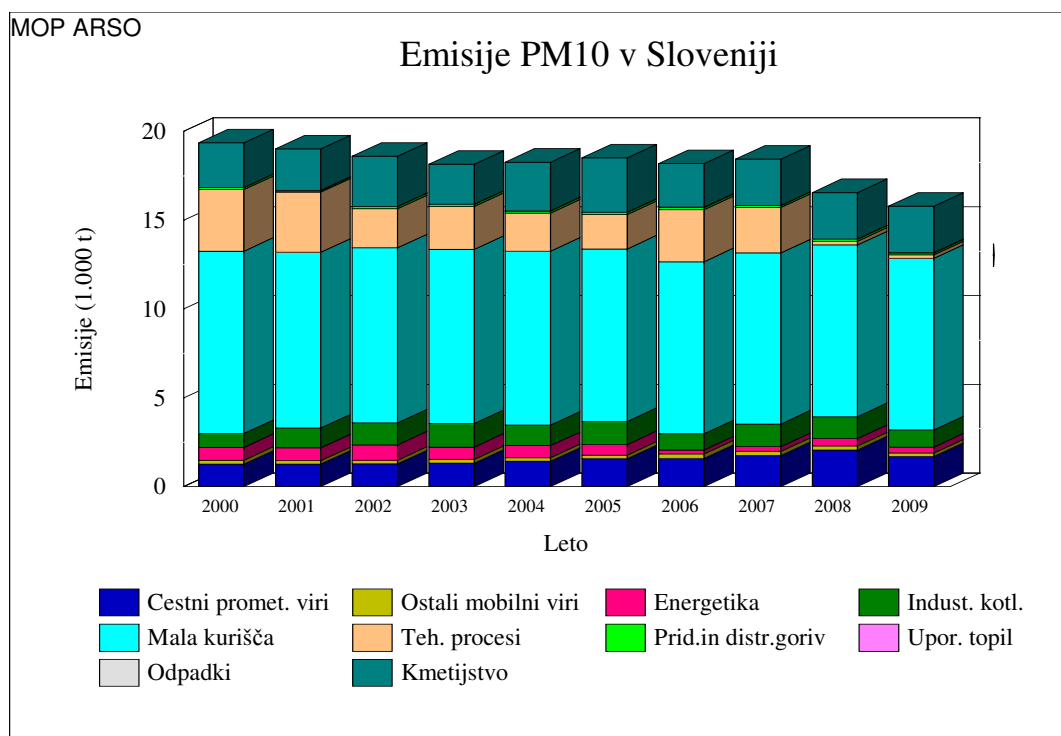
Na Agenciji RS za okolje izvajamo meritve delcev  $\text{PM}_{10}$  in  $\text{PM}_{2,5}$  na različnih lokacijah po Sloveniji.

### 2.3.5.1 Delci PM<sub>10</sub>

Koncentracija delcev PM<sub>10</sub> je v letu 2010 presegla letno mejno vrednost na merilnem mestu Ljubljana center. Dovoljeno število dnevnih prekoračitev je bilo preseženo na večini mestnih merilnih mest. Koncentracija je bila pod zgornjim ocenjevalnim pragom le na Iskrbi.

#### Emisije delcev PM<sub>10</sub> (leto 2009)

Od leta 2000 do leta 2009 so se letni izpusti PM<sub>10</sub> v Sloveniji zmanjšali za 18,5 %. V letih 2008 in 2009 so se začele znatno zniževati emisije iz sektorja tehnološki procesi zaradi zahtev, ki so povezane z izdajo IPPC dovoljenj. Največji delež k skupnim izpustom 15.790 t PM<sub>10</sub> v letu 2009 prispeva sektor »mala kurišča«, in sicer 61,3 %.



Slika 2.3.5.1.(1): Emisije delcev PM<sub>10</sub> v Sloveniji

#### Onesnaženost zraka z delci PM<sub>10</sub>

Uredba o žveplovem dioksidu, dušikovih oksidih, delcih in svincu v zunanjem zraku (Ur.l.RS, št.52/02) predpisuje dovoljene mejne vrednosti koncentracij delcev PM<sub>10</sub> za zaščito zdravja - **mejno dnevno vrednost in dovoljeno letno število prekoračitev le-te ter mejno letno vrednost**. Z letom 2010 smo vzpostavili meritve delcev PM<sub>10</sub> v Kranju, Novem mestu (dodatni lokaciji tipa mestno ozadje v območju kakovosti zraka SI3) in Hrastniku (primestno ozadje v Zasavju v območju SI2). V letu 2010 objavljamo tudi podatke za merilno mesto Žerjav, kjer s krajšimi prekinitvami izvajamo vzorčenje delcev PM<sub>10</sub> in kasnejšo kemijsko analizo težkih kovin (arzen, kadmij, nikelj in svinec) že od leta 2007.

Meritve delcev PM<sub>10</sub> v okviru MO Maribor so bile konec oktobra 2010 predstavljene z lokacije Tabor, ki je blizu centra mesta, na lokacijo Vrbanski plato zunaj centra mesta, kjer že drugo leto potekajo tudi meritve delcev PM<sub>2,5</sub>, ki jih izvaja Agencija v sklopu DMKZ. Koncentracije na novi lokaciji so nekaj nižje kot na Taboru. Iz vzporednih meritev na obeh lokacijah je bila narejena ekstrapolacija za meritve na lokaciji Tabor do konca leta 2010 /24/.

Letni pregled onesnaženosti zraka z delci na skupaj 22 merilnih mestih po Sloveniji v letu 2010 je podan v tabeli 2.3.5.1.(1).

Meritve z referenčno gravimetrično 24-urno metodo vzorčenja so se v letu 2010 izvajale že na večini merilnih mest. Merilniki TEOM imajo sicer prednost, da dajejo tekoče oz. »real time« podatke, iz katerih lahko ugotavljamo trenutno stanje, njihova slaba stran pa je, da meritve niso izvedene v skladu s standardom *SIST EN 12341:2005* in je zato potrebno upoštevati korekcijske faktorje, dobljene s primerjalnimi meritvami z referenčnim merilnikom.

V skladu s navodilom *Guidance for the Demonstration of Equivalence of Ambient Air Monitoring Methods, januar 2010* smo na ARSO določili korekcijske faktorje na tistih merilnih mestih, kjer meritve delcev  $PM_{10}$  izvajamo z merilnikom TEOM ali TEOM FDMS. To pomeni primerjalne meritve z referenčno metodo. Korekcijski faktorji, ki so bili v uporabi za določeno merilno mesto v letu 2010, so navedeni v Tabeli 2.3.5.1.(1).

Omenili smo že, da smo do leta 2010 poleg merilnika TEOM vzpostavili še referenčne meritve delcev  $PM_{10}$  na skoraj vseh merilnih mestih (izjema so Nova Gorica, Koper, Ljubljana Bežigrad, Celje in M.Sobota- Rakičan), ki delujejo v sklopu DMKZ. Agencija bo postopoma do leta 2013 vzpostavila tovrstne meritve na vseh merilnih mestih in tako zadostila zahtevam *Direktive o kakovosti zunanjega zraka in čistejšem zraku za Evropo*.

Na priporočilo Evropske okoljske agencije (EEA) smo zaradi manjših razhajanj med statističnimi rezultati koncentracij delcev  $PM_{10}$ , izračunanimi na sedežu EEA, in rezultati v naših letnih poročilih o kakovosti zraka, ponovno izračunali povprečne letne koncentracije in število prekoračitev mejne dnevne vrednosti za vsa leta nazaj po nekoliko spremenjeni metodi, ki so nam jo predlagali v februarju 2011.

Zlasti je problematično določanje števila prekoračitev mejne dnevne koncentracije. Pri tem smo do zdaj uporabljali dve različni metodi za določitev praga, nad katerim se šteje, da je koncentracija prekoračila mejno vrednost. Novi izračuni pa upoštevajo že tretjo pravkar predlagano metodo, po kateri »računa večina držav«.

Po novem dobljeni rezultati se razlikujejo od prejšnjih. Na eni strani se pojavljajo razlike med temi novimi rezultati in med rezultati v naših dosedanjih letnih poročilih o kakovosti zraka, na drugi strani pa med njimi in med rezultati, ki so objavljeni na EEA. Razlike pa niso le posledica razlike med omenjenimi različnimi metodami računanja, pač pa tudi posledica različne obravnave negativnih vrednosti koncentracij v preteklosti, morebitne razlike med našo bazo podatkov in bazo podatkov, ki je posredovana na EEA (AIRBASE), marsikje pa razlogov za razlike nismo našli, oz. so razlogi neznani.

Povprečne letne koncentracije se najbolj razlikujejo za leto 2006, do 13 %, sicer so razlike do 5 % pred letom 2006, v letih 2007-2009 pa razlik ni. Razlike razen primera postaje Trbovlje v letu 2006 ne vplivajo na to, ali je bila letna mejna koncentracija prekoračena ali ne.

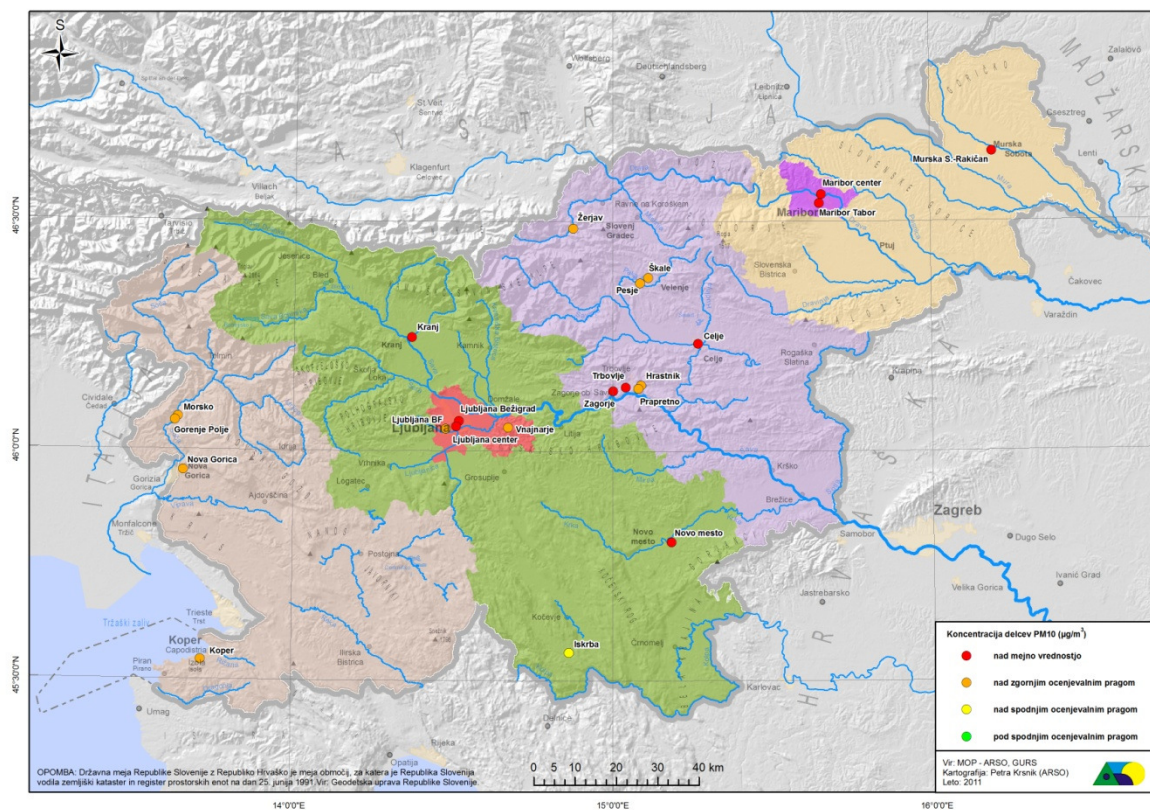
Števila prekoračitev mejne dnevne koncentracije se najbolj razlikujejo v letih 2004 - 2006, do 15 %. V letih pred tem in po tem so razlike minimalne. Razlike v nobenem primeru ne vplivajo na to, ali je bilo preseženo letno dovoljeno število prekoračitev.

Tabela 2.3.5.1.(1): Koncentracije delcev PM<sub>10</sub> v zraku (µg/m<sup>3</sup>) v letu 2010

Merilno mesto	Leto*		Dan*		korek. faktor		
	% pod	C <sub>p</sub>	max	>MV	pozimi		poleti
					jan-mar	okt-dec	
Ljubljana Bežigrad	98	30	155	43	1,24	1,24	1,03
Ljubljana BF (R)	99	27	119	32			
Maribor center (R)	98	33	127	47			
Kranj (R)	84	32	117	37			
Novo mesto (R)	98	31	108	60			
Celje	98	32	122	58	1,12	1,12	1,06
Trbovlje (R)	95	34	116	64			
Zagorje (R)	99	36	128	68			
Hrastnik (R)	100	27	98	30			
Murska S.-Rakičan	99	30	133	52	1,22	1,22	1,04
Nova Gorica	87	29	84	25	1,00 <sup>▲</sup>	1,00 <sup>▲</sup>	1,00 <sup>▲</sup>
Koper	95	25	68	15	1,30	1,30	1,03
Žerjav (R)	97	26	138	29			
Iskrba (R)	97	14	65	5			
Ljubljana center	91	42	224	74	1,30	1,00 <sup>▲</sup>	1,00 <sup>▲</sup>
Maribor Tabor	81	31	100	38	1,30	1,30	1,30
Vnajarje (R)	84	20	57	2			
Pesje	98	22	71	10	1,00 <sup>▲</sup>	1,00 <sup>▲</sup>	1,00 <sup>▲</sup>
Škale	95	23	94	12	1,30	1,30	1,30
Prapretno	96	29	103	29	1,30	1,30	1,30
Morsko (R)	92	19	78	5			
Gorenje Polje (R)	97	20	89	13			

Legenda:

- \* določena sta zgornji in spodnji ocenjevalni prag
- prekoračena mejna vrednost
- prekoračen zgornji ocenjevalni prag
- prekoračen spodnji ocenjevalni prag
- koncentracija pod spodnjim ocenjevalnim pragom
- (R) meritve z referenčnim merilnikom – LVS
- ▲ meritve z merilnikom TEOM FDMS



Slika 2.3.5.1.(2): Število prekoračitev mejne dnevne koncentracije delcev PM<sub>10</sub> (50 µg/m<sup>3</sup>) v letu 2010

Merilno mesto **Ljubljana center** je bilo po onesnaženosti zraka z delci PM<sub>10</sub> tudi v letu 2010 na prvem mestu. Edino na tej lokaciji je bila prekoračena povprečna letna mejna koncentracija. Sledijo mesta v Zasavju (**Zagorje, Trbovlje**), **Novo mesto, Celje, Rakičan, Maribor center, Ljubljana Bežigrad, Maribor Tabor** in **Kranj**. Na vseh teh postajah je bilo preseženo letno dovoljeno število prekoračitev mejne dnevne koncentracije.

Rezultati meritev kažejo, da so bile koncentracije delcev PM<sub>10</sub> v letu 2010 višje kot v letu 2009 povsod razen na merilnem mestu Ljubljana center, kjer so bile nižje. Glavni vzrok za to je zamenjava merilnika TEOM, pri katerem je bil upoštevan korekcijski faktor 1,30, 25. marca 2010, z merilnikom TEOM FDMS. Privzeti faktor 1,30 je namreč previsok, ampak določen v skladu s predpisi Evropske komisije, ko niso bile izvedene primerjalne meritve z referenčnim merilnikom. Zato so bile koncentracije do tega datuma višje kot po tem datumu.

V Zasavju poleg prometa dodatno vplivajo na povečano onesnaženost zraka z delci tudi industrija in individualna manjša kurišča, zlasti pa je za to kriva zelo neugodna topografija, saj so naselja v ozkih, neprevetrenih dolinah. Vpliv individualnih kurišč je zaznaven tudi v nekaterih drugih krajih, predvsem tam, kjer ni razširjeno daljinsko ogrevanje (npr. v Črnomlju, kjer smo z mobilno postajo pozimi 2010 izmerili zelo visoke koncentracije delcev PM<sub>10</sub>) /34/.





Viri delcev (foto: Albert Kolar)

### Letni in dnevni hod koncentracij

Nižje koncentracije delcev  $PM_{10}$  poleti in višje pozimi so očitne zlasti v notranjosti Slovenije na mestnih merilnih mestih, saj se pozimi zaradi stabilnejše atmosfere in šibkejših vetrov onesnažen zrak zadržuje v bližini cestišč, ki so izvor emisije. Emisija iz prometa je sicer - razen manjšega minimuma v času poletnih počitnic v mestih v notranjosti Slovenije - skozi vse leto skoraj enaka. Do povišanih koncentracij delcev prihaja v zimskem času zaradi dodatnih emisij iz individualnih kurišč. Predvsem najnovejša gospodarska kriza je veliko pripomogla k uporabi cenejših in s tem »nečistih« energentov – predvsem drv, premoga in biomase, kurilne naprave pa so pogosto stare in imajo slab toplotni izkoristek.

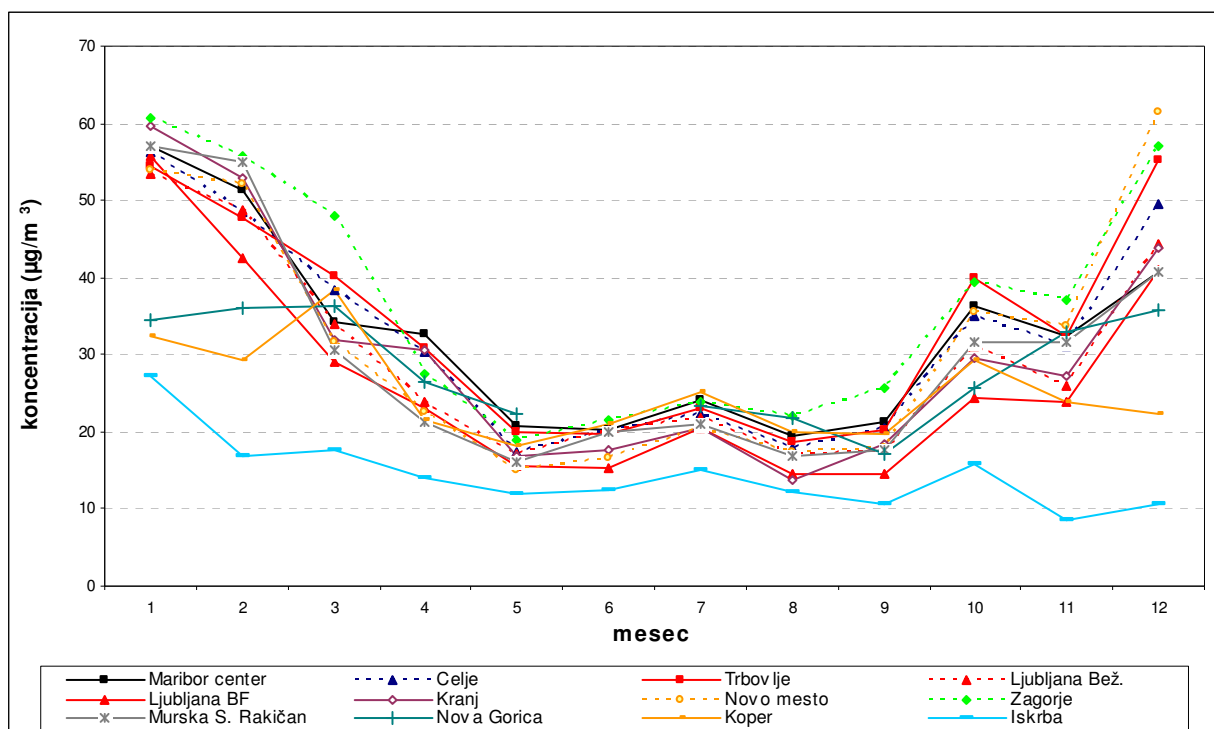
Precej manj kot v notranjosti Slovenije je zimski maksimum koncentracij izražen na Obali in na Primorskem, saj je tam malo temperaturnih inverzij in manj emisij iz kurišč zaradi manjše potrebe po ogrevanju. Zimski maksimum je neizrazit tudi na območjih, ki so daleč od virov emisij (npr. Iskrba).

Jutranji in večerni maksimum sta predvsem posledica prometnih konic, pri čemer je vpliv popoldanske premaknjen na večerni čas, ko se hitrost vetra zmanjšuje. Precej višje koncentracije se pojavljajo ob delovnih dnevih kot ob koncu tedna in ob praznikih.

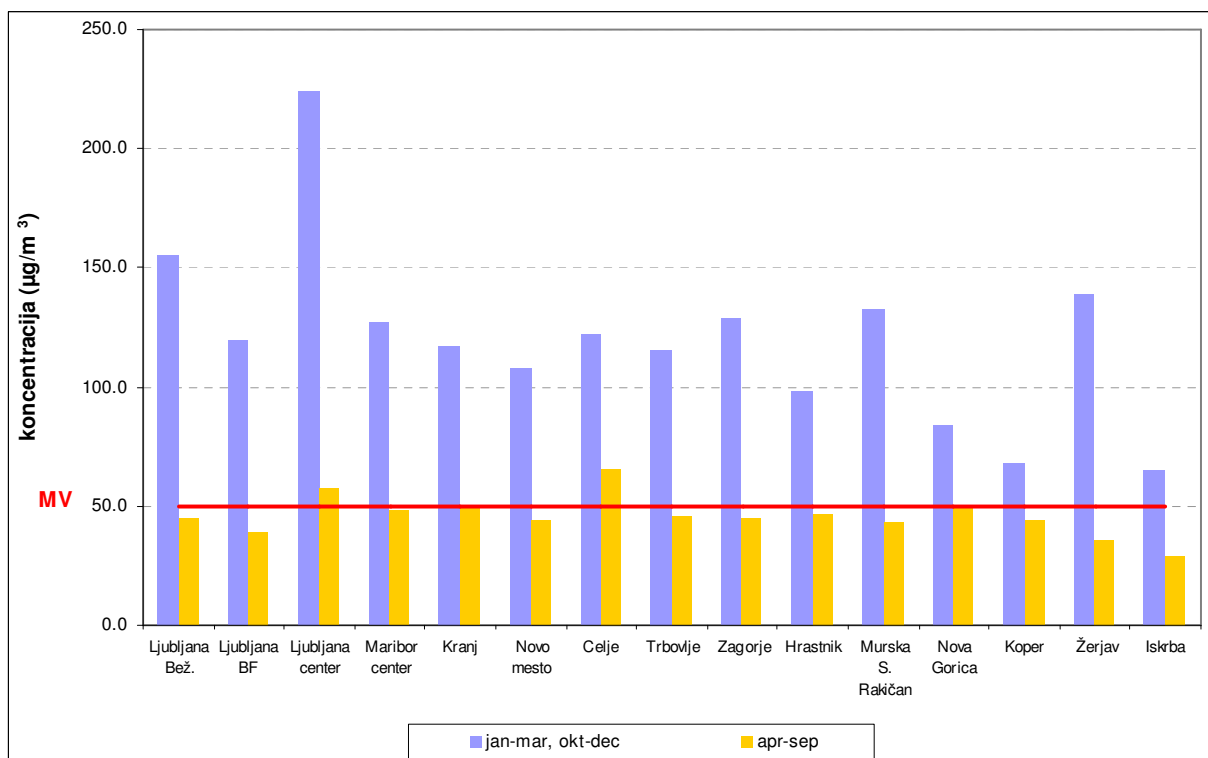
### Časovni trend

Pri časovnem trendu koncentracij je opazen vpliv prevladujočih vremenskih situacij. Trend zmanjševanja koncentracij delcev  $PM_{10}$  od 2003 naprej je delno posledica zmanjševanja emisije zaradi izgradnje čistilnih naprav na industrijskih objektih, delno pa posledica ugodnih vremenskih razmer v zadnjih letih. Tako so bile npr. koncentracije delcev visoke v zelo sušnem letu 2003, nižje v letu 2004, ko je prevladovalo mokro poletje, in spet višje leta 2005, ko smo imeli v januarju in začetku februarja precej mrzlo in suho vreme, kar je vplivalo na večjo onesnaženost zraka. Na nižje koncentracije v letu 2007 je vplivala nadpovprečno topla in vetrovna prva polovica leta, v letih 2008 in 2009 pa pogoste padavine zlasti v poletnem času.

V letu 2010 se je glede na leto 2009 povečalo zlasti število prekoračitev mejne dnevne koncentracije, ki je doseglo raven iz leta 2008. To je predvsem posledica zelo visokih koncentracij v januarju, februarju in decembru, ko smo imeli daljša suha obdobja mrzlega zimskega vremena.

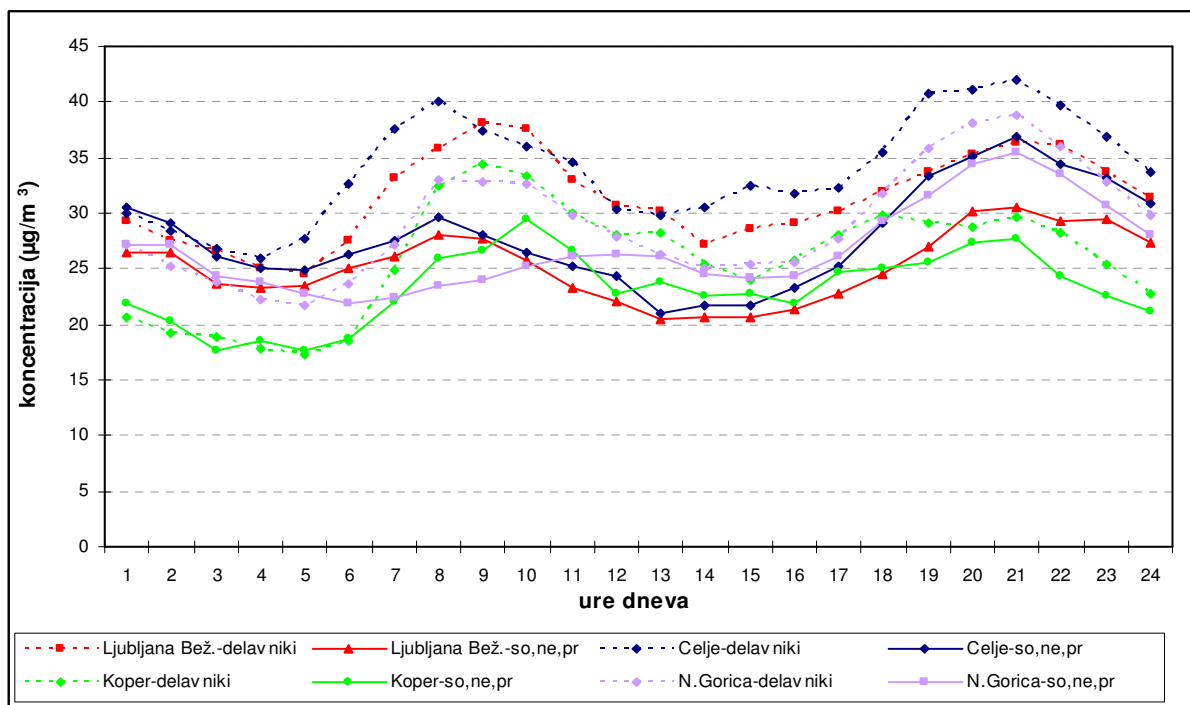


Slika 2.3.5.1.(3): Povprečne mesečne koncentracije delcev PM<sub>10</sub> v letu 2010

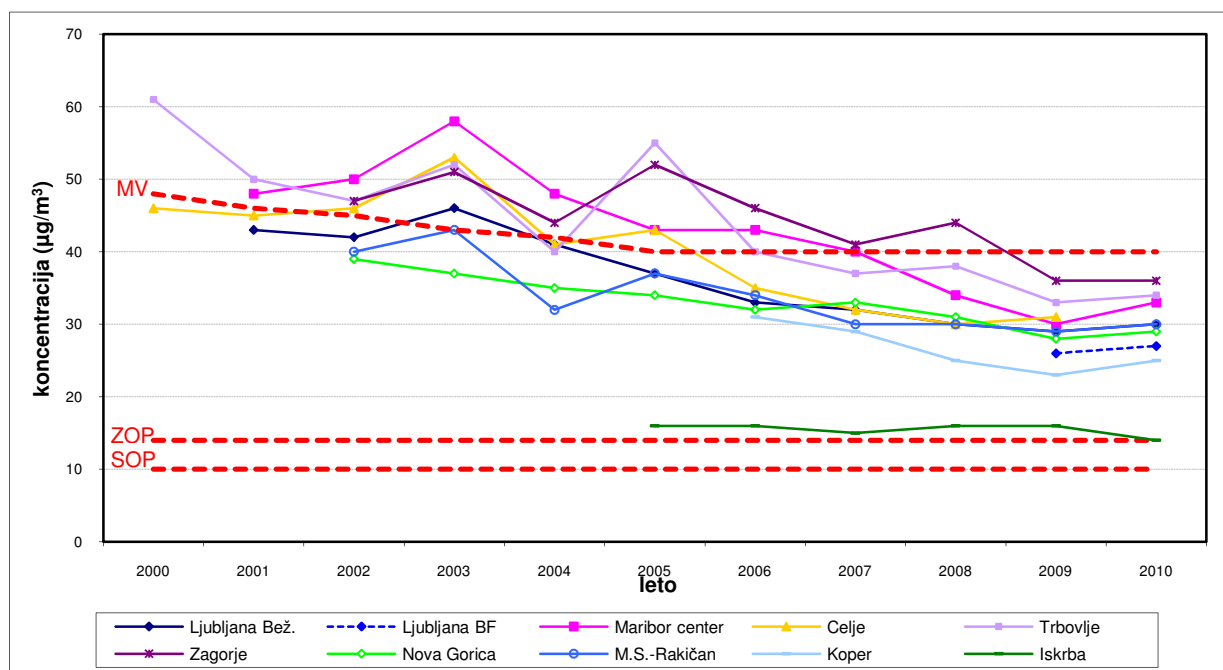


Slika 2.3.5.1.(4): Najvišje dnevne koncentracije delcev PM<sub>10</sub> v obdobju januar-marec, oktober-december in v obdobju april-september 2010

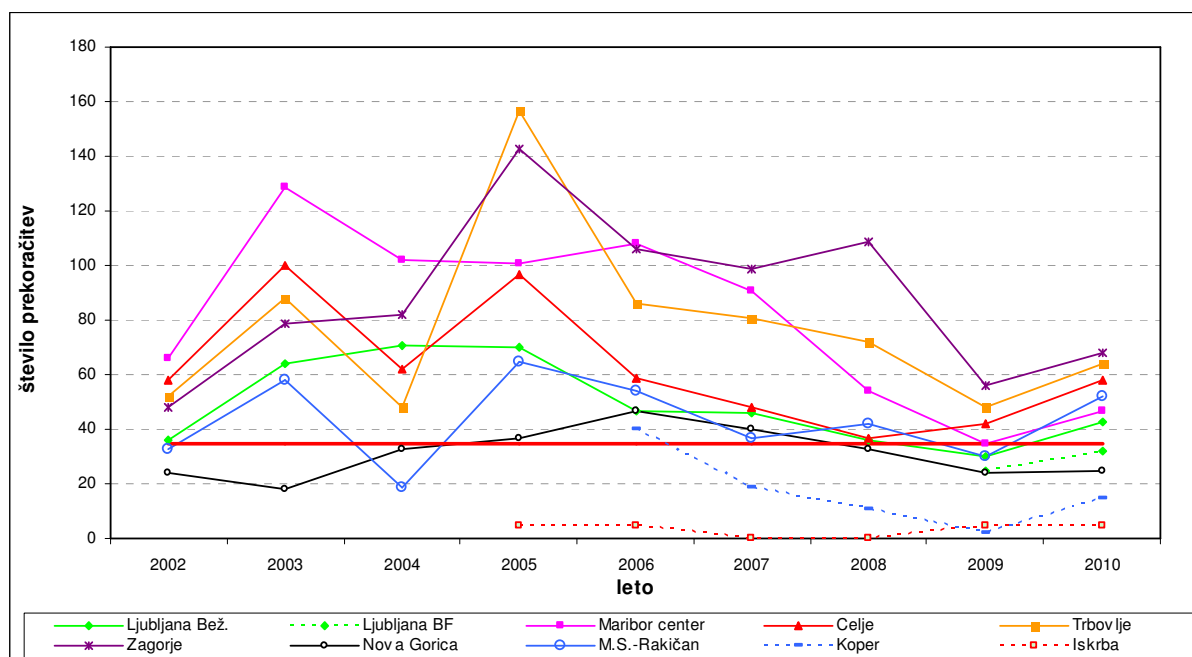




Slika 2.3.5.1.(5): Dnevni hodi koncentracij delcev PM<sub>10</sub> za leto 2010 na štirih merilnih mestih



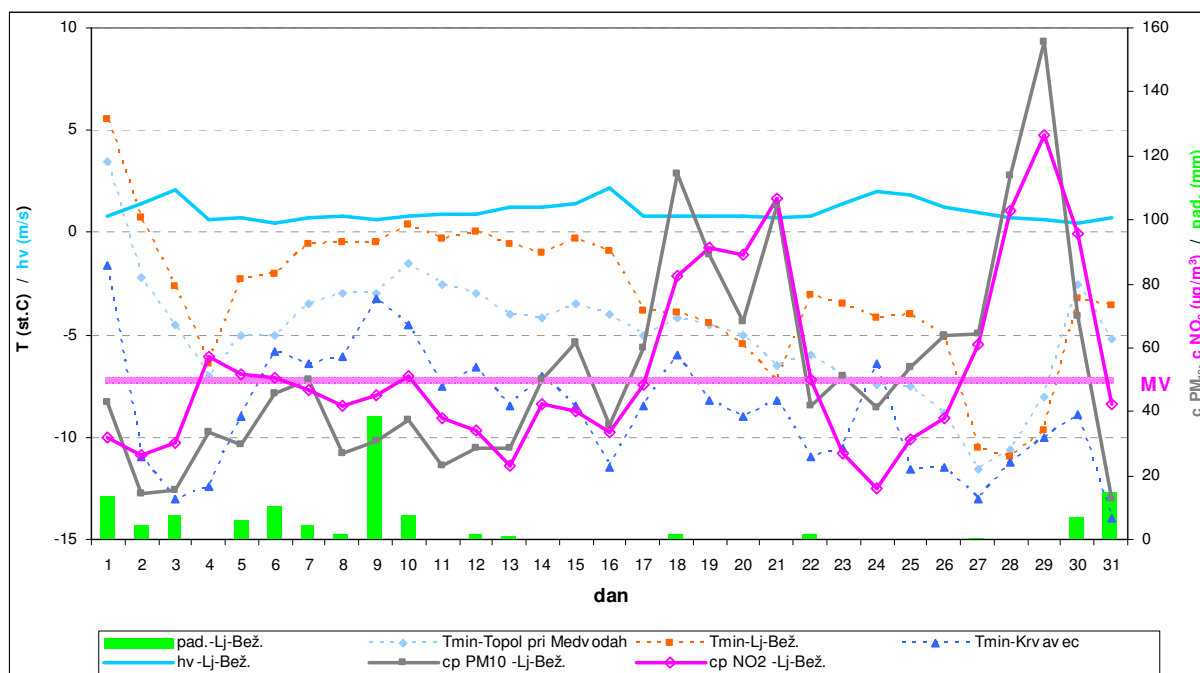
Slika 2.3.5.1.(6): Povprečne letne koncentracije delcev PM<sub>10</sub> z upoštevanim korekcijskim faktorjem (MV-mejna vrednost, SOP-spodnji ocenjevalni prag, ZOP-zgornji ocenjevalni prag)



Slika 2.3.5.1.(7): Število prekoščitev mejne dnevne koncentracije delcev PM<sub>10</sub> za obdobje 2002 - 2010

### Obdobje visokih koncentracij

Kot smo že omenili, je bila onesnaženost zraka z delci v letu 2010 zelo velika v januarju, februarju in decembru. Za visoke koncentracije delcev in tudi drugih onesnaževal v nižjih predelih notranjosti Slovenije je bila neugodna npr. druga polovica januarja, ko razen občasnega rahlega sneženja skoraj ni bilo padavin in smo imeli pravo zimo z nizkimi temperaturami ter nizko oblačnostjo ali meglo. Razen 28. in 29. januarja, ko so bile koncentracije najvišje, temperaturne inverzije skoraj ni bilo. Prevladovali so zelo šibki vetrovi severne do severovzhodne smeri, tako da prenosa onesnaženega zraka skoraj ni bilo in se je le akumuliral. Zanimiv je padec koncentracij 24. januarja, ki je bil le posledica povečane hitrosti severovzhodnega vetra (slika 2.3.5.1.(8)).



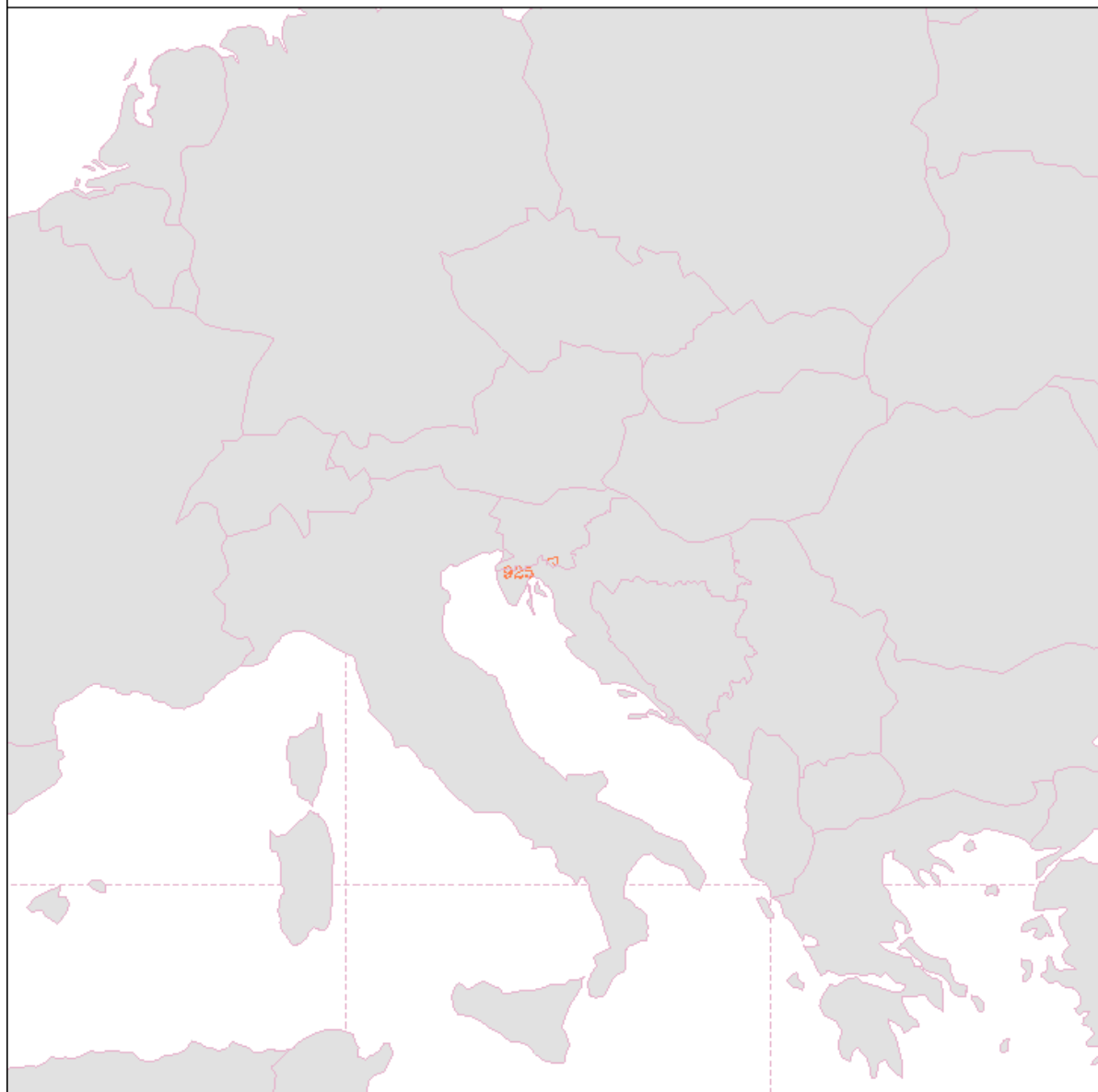
**Slika 2.3.5.1.(8)** : Povprečna dnevna koncentracija ( $c_p$ ) delcev  $PM_{10}$  in  $NO_2$  na merilnem mestu Ljubljana Bežigrad, minimalna temperatura zraka ( $T_{min}$ ) na lokacijah Ljubljana Bežigrad, Topol pri Medvodah in Krvavec, ter povprečna hitrost vetra ( $h_v$ ) in dnevna količina padavin ( $pad$ ) na lokaciji Ljubljana Bežigrad v januarju 2010

Analiza 28.01.2010 00 UTC

24 - urne trajektorije v točko Iskrba

Napoved za 29.01.2010 15 UTC

PE 15



ALADIN/SI



Izračunana 24-urna trajektorija za 29. januar 2010 za točko Iskrba

Analiza 28.01.2010 00 UTC

24 - urne trajektorije v točko NovaGorica

Napoved za 29.01.2010 15 UTC

PE 15



ALADIN/SI



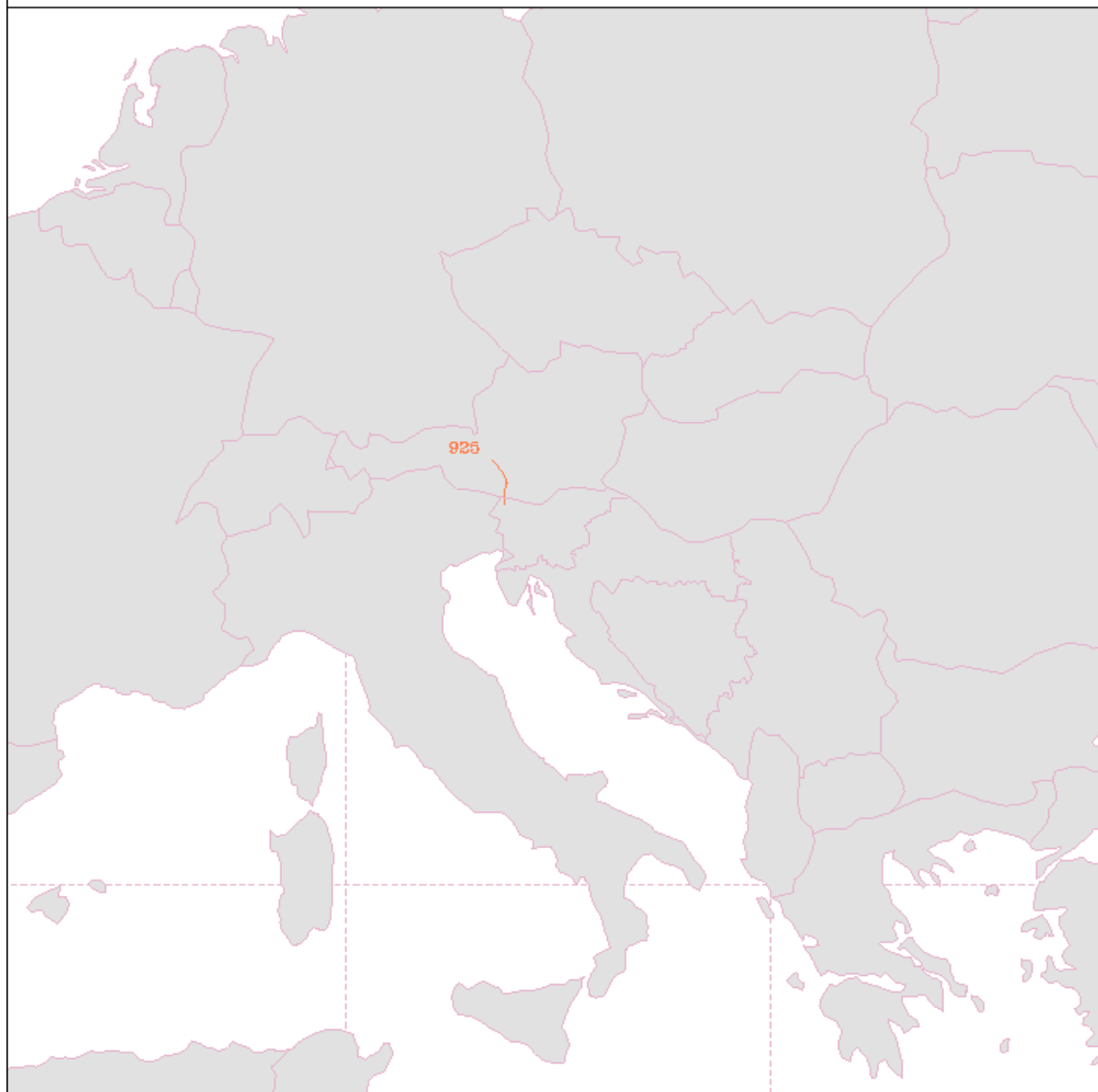
Izračunana 24-urna trajektorija za 29. januar 2010 za točko Nova Gorica

Analiza 28.01.2010 00 UTC

24 - urne trajektorije v točko Ratece

Napoved za 29.01.2010 15 UTC

PE 15



ALADIN/SI



Izračunana 24-urna trajektorija za 29. januar 2010 za točko Rateče

Analiza 28.01.2010 00 UTC

24 – urne trajektorije v točko Otlica

Napoved za 29.01.2010 15 UTC

PE 15



ALADIN/SI

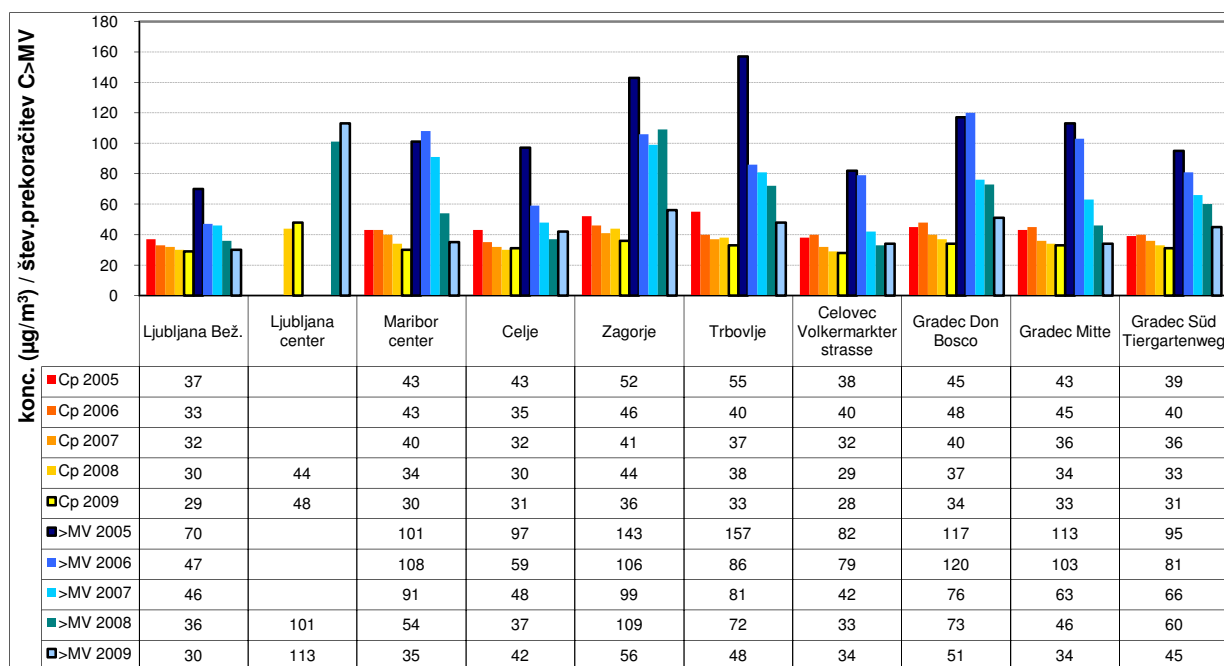


Izračunana 24-urna trajektorija za 29. januar 2010 za točko Otlica

### Primerjava s podatki iz Avstrije

Za primerjavo navajamo podatke o koncentracijah delcev  $PM_{10}$  z nekaterih naših mestnih merilnih mest in štirih mestnih merilnih mest v sosednji Avstriji /32/, od katerih je najbolj prometno Gradec-Don Bosco (slika 2.3.5.1.(9)). Izstopa veliko število prekoračitev dnevne mejne vrednosti v Zasavju (Trbovlje, Zagorje), kjer imajo precejšen vpliv individualno kurjenje v zimskem času, industrija, pa tudi zelo neugodna lega naselij v ozkih dolinah.





Slika 2.3.5.1.(9): Povprečne letne koncentracije (Cp) delcev  $\text{PM}_{10}$  ter število prekoraitev dnevne mejne vrednosti na merilnih mestih v Sloveniji in v sosednji Avstriji v letih 2005- 2009

### Vulkanski prah nad Slovenijo med 14. 4. in 18. 4. 2010

Vulkan Eyjafjoll na Islandiji je začel bruhati vulkanski pepel v sredo, 14. 4. 2010. Zaradi velike količine izbruhnega vulkanskega prahu, vetrovnih in splošnih vremenskih razmer je vulkanski prah v prvih dneh po izbruhu prekril večji del severne in osrednje Evrope. Kot posledica izbruha je prvih nekaj dni po izbruhu praktično obstal letalski promet nad Evropo.

V prvih 72 urah po izbruhu je, na podlagi opravljenih analiz islandskega Inštituta za geo znanost (<http://www.earthice.hi.is/>), volumen izbruhnega materiala dosegal v poprečju med 4-500  $\text{m}^3/\text{s}$  z maksimalnimi količinami okoli 1000  $\text{m}^3/\text{s}$ . Vulkanski pepel je dosegal višine do 11 km, glede na vetrovne razmere ga je kasneje raznašalo proti osrednji Evropi.

Nad Atlantikom je prevladovalo področje visokega zračnega tlaka, ki je deloma segalo tudi nad Britansko otočje. Področje se je počasi pomikalo proti osrednji Franciji. V višinah med 5 km in 10 km je nad Islandijo prevladoval severozahodni veter, ki je pepel nosil proti jugovzhodu. Glavnina vulkanskega pepela se je preko Severnega morja pomikala proti Danski, Nizozemski. Pepel je nadaljeval pot proti Nemčiji, Češki, Poljski, Slovaški, Avstriji, Madžarski in v noči na soboto, 17. 4. 2010 dosegel tudi zračni prostor nad Slovenijo.

Vulkanski prah, ki se je zadrževal v atmosferi nad Slovenijo, je predstavljal potencialno nevarnost predvsem za varno odvijanje zračnega prometa. Zaradi svojih fizikalnih in kemičnih lastnosti lahko vpliva na delovanje letalskih motorjev, vitalnih merilnih instrumentov na letalih itd.

Služba letalske meteorologije znotraj Urada za meteorologijo, je v skladu s sprejetimi mednarodnimi letalskimi standardi in priporočili redno spremljala trenutno in predvideno gibanje vulkanskega prahu, ter obveščala ustrezne službe nadzora zračnega prometa, izvajalce letalskih operacij in regulatorja na državnem nivoju.

Nad področjem visokega zračnega tlaka se padavine niso pojavljale, tako ni bilo možnosti za izpiranje vulkanskega pepela iz atmosfere. Depozicija vulkanski pepela je bila samo posledica lastne teže in trenja ob tla, kar pa ne zadošča za hitro izločanje pepela iz atmosfere.

V noči iz sobote, 17. 4. 2010 na nedeljo, 18. 4. 2010 je nad severno Italijo nastal plitek ciklon. Kot posledica so nastale padavine, ki so se v nedeljo iz severne Italije premikale tudi preko zahodne Slovenije v osrednji del ter naprej proti vzhodu. Padavinski oblaki so dosegali višine okoli 5 km. Tako je do teh višin izpralo vulkanski pepel, ki pa se je zadrževal tudi na večjih višinah. Po prehodu ciklona je v višinah prehodno zapihal okrepljen jugozahodnik, ki je odpihnil ostanke vulkanskega pepela na večjih višinah.

V ponedeljek, 17. 4. 2010 tako vulkanski prah nad Slovenijo ni bil prisoten. Zaradi položaja anticiklona s centrom nad Francijo, so nad Slovenijo prevladovali severni do severovzhodni vetrovi, ki so vulkanski pepel iznad severne strani Alp zopet prinesli tudi nad naše kraje. Tako se je tudi v torek, 18. 4. 2010 nad nami zadrževal vulkanski pepel, vendar na nižjih višinah, tja do višine 6 km.

## **Analiza vzorcev**

Sektor za kakovost zraka, ki deluje znotraj Urada za hidrologijo in stanje okolja, se med drugim ukvarja z meritvami koncentracij onesnaževal na tleh oziroma na višini od 1,5 do 4 metrov, to je, v plasti zraka, kjer ljudje dihamo. Zato te meritve ne zajamejo višjih plasti atmosfere, kjer se je zadrževala večina vulkanskega pepela.

Spremljamo različne vrste onesnaževal, v povezavi z vulkanskim prahom pa so najbolj zanimivi delci različnih velikosti in njihova kemijska analiza.

Evropska komisija je pripravila navodila /49/, na kakšen način detektirati »dogodke«, ki jih uvrščamo med naravne vire emisije, med katere poleg morja, gozdnih požarov, saharskega peska uvrščamo tudi vulkanski prah.

Lokacija izbruha vulkana je navadno dobro znana. Vendar nam lahko prisotnost določenih onesnaževal v zunanjem zraku omogoča popolnejšo informacijo o bolj natančni časovni določitvi posameznega dogodka. Ob prisotnosti vulkanskega prahu se naj bi pojavili posamezni vrhovi povišanih koncentracij žveplovega dioksida in delcev  $PM_{10}$ . Po pregledu izmerjenih koncentracij onesnaževal smo pričakovano ugotovili, da na nobenem merilnem mestu, ki delujejo v sklopu državne merilne mreže ARSO, nismo zaznali povišanih koncentracij onesnaževal. Dnevne koncentracije delcev  $PM_{10}$  so bile nizke in so se v povprečju gibale nekje med 30 in 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (mejna dnevna koncentracija je 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), medtem, ko so bile povprečne maksimalne urne koncentracije žveplovega dioksida 4,8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (predpisana mejna urna koncentracija je 350  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

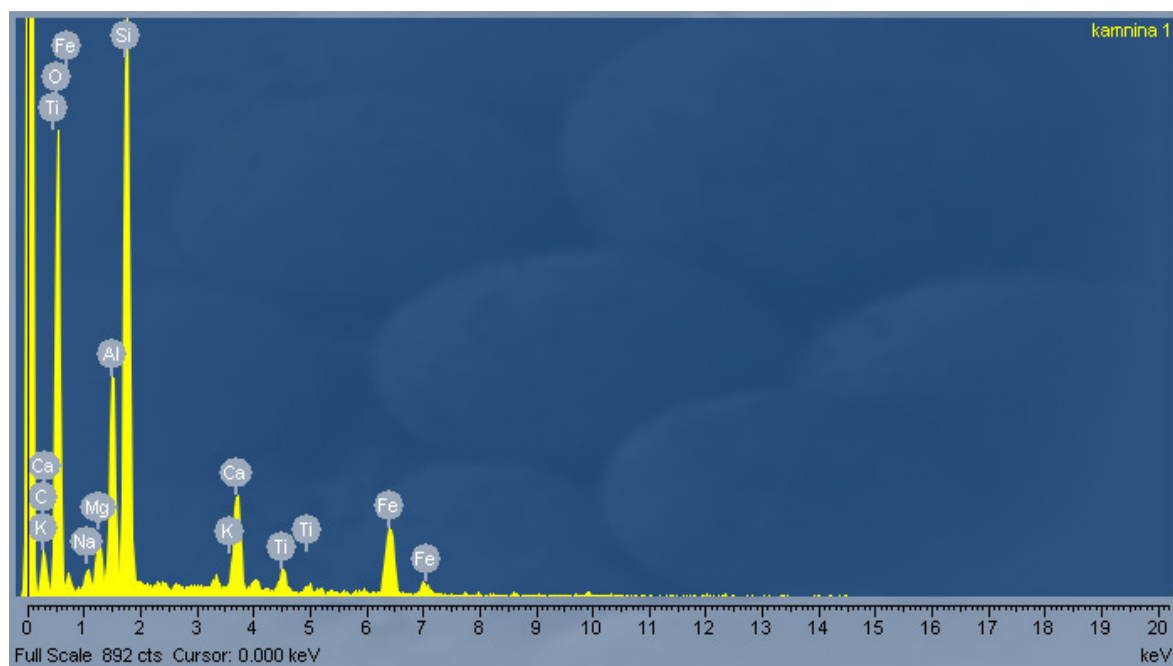
Agencija spremlja meritve delcev tudi z referenčnim merilnikom, kar pomeni vzorčenje na filtre. Ker nam same koncentracije delcev niso dale odgovora glede prisotnosti vulkanskega prahu, smo se dogovorili z Zavodom za gradbeništvo Ljubljana, da so opravili kvalitativno analizo filtrov. V analizo smo posredovali štiri filtre z datumi od 15. 4. do 18. 4. 2010. Kvalitativno fizikalno kemijsko analizo so opravili s kombinacijo vrstične elektronske mikroskopije (SEM) in elektronske disperzne spektroskopije (EDS).

Iz razpoložljivih podatkov o kemični in petrografski sestavi vulkanskega prahu in iz podatkov o geološki sestavi področja izbruha vulkana je bila razvidna bazaltna do srednje bazična sestava produktov vulkanizma. Na podlagi tega je bilo predpostavljeno, da vsi analizirani delci, ki imajo kemijsko sestavo: Si + Al + K + Mg + Ca + Fe + Ti (v variabilnih razmerjih), pripadajo vulkanskemu prahu. Tipični kemijski spekter drobcov je prikazan na sliki 2.3.5.1.(10). V sestavi teh delcev se je v posameznih primerih pojavljalo tudi žveplo. Prah se je pojavljal v obliki zelo drobnih zrn, velikosti približno 1  $\mu\text{m}$ . Zelo malo je bilo aglomeratov, velikih do 20  $\mu\text{m}$ .

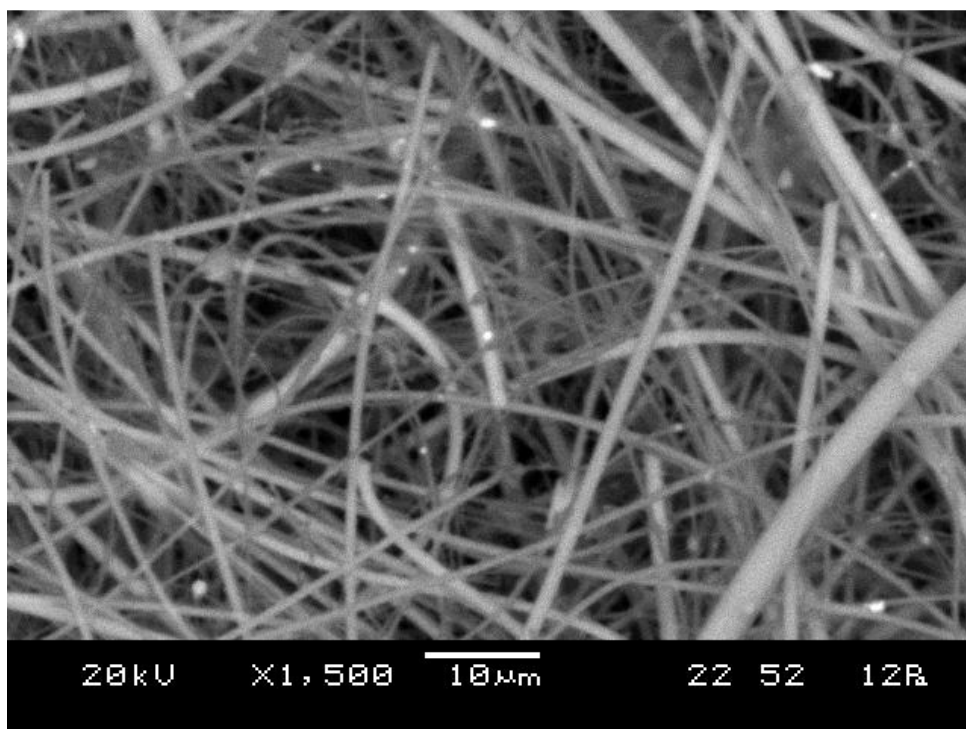
**Tabela 2.3.5.1.(2):** Sestava posameznih vzorcev

Vzorec	Sestava
150410	Malo delcev na filtru: pretežno kremen in kalcit, malo sadre, drobcev kamnin, kovinskih aerosolov in organskih delcev.
160410	Malo delcev na filtru: pretežno kremen in kalcit, malo sadre, drobcev kamnin, kovinskih aerosolov in organskih delcev.
170410	Veliko delcev na filtru: vulkanski prah približno 30 %, ostalo: kremen, kalcit, sadra, drobci kamnin, kovinski aerosoli, organski delci.
180410	Srednje veliko delcev na filtru: vulkanski prah približno 15 %, ostalo: kremen, kalcit, sadra, drobci kamnin, kovinski aerosoli, organski delci.

Iz tabele 2.3.5.1.(2) je razvidno, da je bil vulkanski prah nad Slovenijo prisoten v dneh 17. in 18. 4. 2010. V nedeljo 18. 4. 2010 je bilo na filtrih prisotnih manj delcev vulkanskega izvora zaradi padavin.



**Slika 2.3.5.1.(10):** Kemijski spekter drobca vulkanskega prahu na filtru " 170410"



SEM mikrosnetek filtra "170410" – svetle točke na vlaknih so pretežno zrna vulkanskega prahu

Kot smo že omenili, so bile v nedeljo 18. 4. 2010 prisotne padavine. Tako smo v času od 10. -18. 4. 2010 v Kemijsko analitskem laboratoriju ARSO opravili analize težkih kovin ter osnovnih kationov in anionov. Rezultati analiz niso pokazali večjih odstopanj depozicij od povprečnih vrednosti.

Dne 18. 4. 2010 smo v padavinah zaznali fluoridne ione, ki v padavinah običajno niso prisotni. Zaznali smo tudi nekoliko višjo vrednost kadmija.

Da bi pridobili še dodatne informacije, predvsem na kateri višini se je zadrževala večina vulkanskega prahu, smo se odločili za prelet letala podjetja Janez let. Le-ta je v sodelovanju z Oceanografskim inštitutom OGS iz Trsta opravil meritve vertikalnih profilov koncentracije delcev .



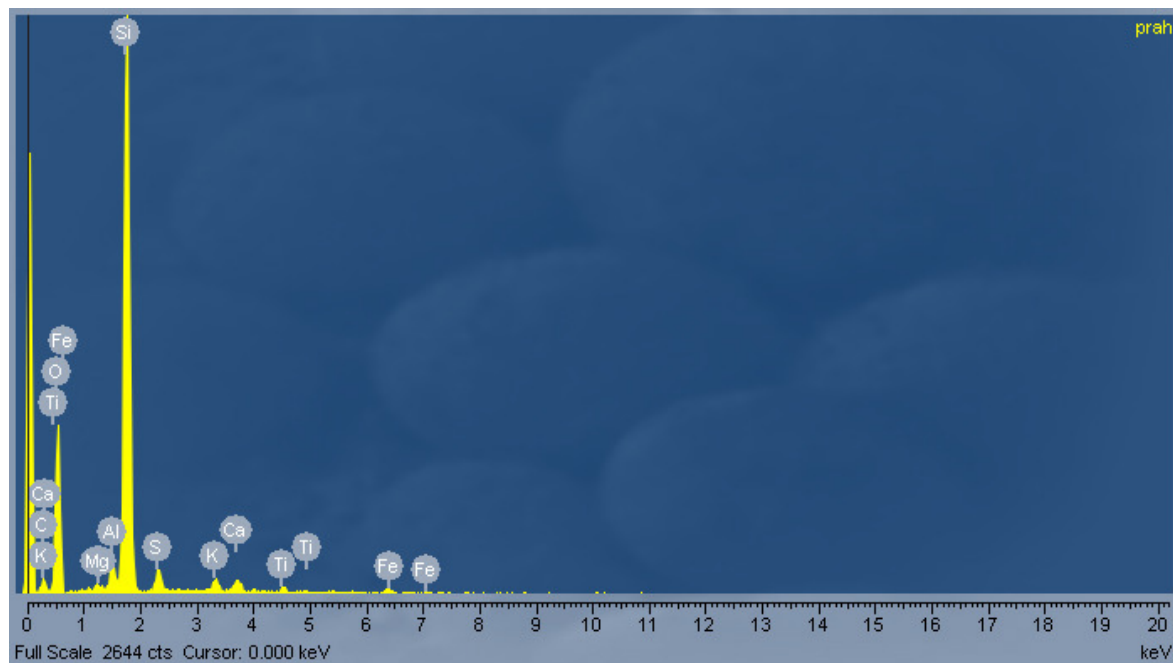
Prelet z letalom

Vzorčili so delce velikosti od 0,3 do 10  $\mu\text{m}$ . V analizo smo posredovali vzorce zraka. Analizo je tudi v tem primeru izvedel Zavod za gradbeništvo Ljubljana. Izvedena je bila kvalitativna določitev na različnih vzorcih. Rezultati analize so pokazali, da je bil na vseh vzorcih prisoten vulkanski prah.

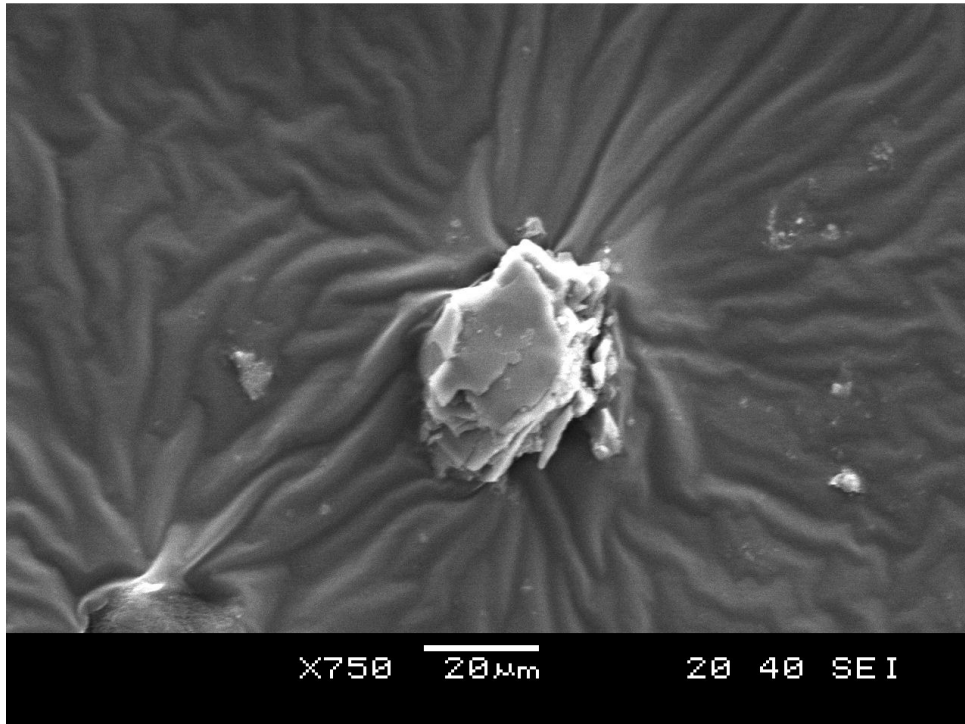
Največ vulkanskega prahu je bilo na vzorcu, ki je bil vzet na 7000 ft (2100 m). Mikroposnetek aglomerata vulkanskega prahu za omenjeni vzorec je pokazal, da so bili prisotni aglomerati zelo drobnih, heterogenih zrn, velikosti približno 70  $\mu\text{m}$ . Tipični kemijski spekter drobcev je prikazan na sliki 2.3.5.1.(11). V sestavi teh delcev, sta se poleg Si+Al+K+Mg+Ca+Fe+Ti pojavljala tudi Na in Cl. Natrij in klor se pojavljata kot aerosola iz morja, ker so prelet z letalom opravili nad morjem. Sicer so se delci pojavljali v dveh oblikah: kot samostojni, oglati drobci, veliki do 50  $\mu\text{m}$  ali kot aglomerati velikosti do približno 70  $\mu\text{m}$ , iz zelo drobnih, heterogenih zrn.

**Tabela 2.3.5.1.(3):** Sestava vzorcev zraka, vzetih na različnih višinah

Vzorec	Sestava
4500 ft	Delcev na traku malo: pretežno vulkanski prah, malo NaCl, kremenca, kalcita, organskih delcev
5000 ft	Delcev na traku malo: pretežno vulkanski prah, malo NaCl
6000 ft	Delcev na traku malo: pretežno vulkanski prah, malo NaCl
7000 ft	Delcev na traku veliko: pretežno vulkanski prah, malo NaCl



**Slika 2.3.5.1.(11):** Kemijski spekter drobca vulkanskega prahu (trak z oznako "7000")



SEM mikrosnetek aglomerata vulkanskega prahu (trak z oznako "7000")

Analize vzorcev so potrdile napovedi meteorologov, da se je nad Slovenijo zadrževal vulkanski pepel.

Kljub temu, da je vulkanski prah potoval prek cele Evrope in povzročil veliko težav v letalskem prometu, pa je Svetovna zdravstvena organizacija (WHO) zaključila, da vulkanski pepel ne povzroča nevarnosti za zdravje ljudi.

### **Prisotnost vulkanskega prahu**

Napovedi prisotnosti vulkanskega prahu temeljijo na tako imenovanih transportnih modelih, ki simulirajo gibanje in koncentracijo onesnaževal v času in prostoru. V konkretnem primeru govorimo o vulkanskem prahu, enaki principi se uporabljajo za izračunavanje širjenja radioaktivne ali kakšne druge vrste kemične onesnaženosti iz znanega vira ali virov. Simulacija gibanja in koncentracij ne more biti popolnoma natančna zaradi zapletenosti in negotovosti v izračunih premikov delcev in problemov z določitvijo količine izpuščenega materiala v atmosfero, ki praviloma ni točno znana. Zato so zelo pomembne meritve dejanskega stanja, ki verificirajo napovedi.

Žal ne obstajajo operativni sistemi za monitoring koncentracije delcev vulkanskega prahu v realnem času. Meteorologi se morajo za verifikacijo svojih napovedi zanašati na meritve redkih ekperimentalnih letal z ustreznimi senzorji, meritve s pomočjo laserjev (LIDAR), posebne meritve s pomočjo satelitov, meritve s senzorji na zračnih balonih ter analize vzorcev zraka in vode. Vse merilne metode imajo svoje prednosti in slabosti, tako da ne obstaja univerzalni merilni sistem, ki bi v realnem času zagotavljal točne in zanesljive podatke o koncentracijah vulkanskega prahu v atmosferi. Do razvoja takega sistema se bo potrebno še zanašati na izračune modelov in na podlagi teh podatkov obveščati zainteresirano javnost.



## Soljenje in posipavanje cest

Kadar koncentracija delcev PM<sub>10</sub> na neki lokaciji prekorači mejno dnevno vrednost v zimskem času, lahko ocenimo, kolikšen delež koncentracije je posledica posipavanja in soljenja cest. Po *Direktivi 2008/50/ES Evropskega parlamenta in sveta z dne 21. maja 2008 o kakovosti zunanjega zraka in čistejšem zraku za Evropo (Ur. l. EU, L1/52/11, 2008)* se ta delež od skupne koncentracije odšteje, in mogoče je, da preostali delež koncentracije ostane pod mejno vrednostjo. V takih primerih se lahko šteje, da prekoračitve mejne vrednosti ni, če so bili sprejeti ustrezni ukrepi za znižanje koncentracij PM<sub>10</sub>. Pri obveščanju Evropske komisije v skladu s členom 27, države članice predložijo potrebna dokazila, ki izkazujejo, da so prekoračitve mejne koncentracije posledica takšne resuspenzije delcev in da so bili sprejeti ustrezni ukrepi za znižanje koncentracij.



Zimsko posipanje cest (foto Albert Kolar)

Prispevek zimskega soljenja smo določili na podlagi navodil EK /50/. V letu 2010 smo odločili, da na enem merilnem mestu identificiramo in če je mogoče, določimo prispevek zimskega soljenja h koncentraciji PM<sub>10</sub>. Odločili smo se za merilno mesto Maribor center, ker je merilno mesto tipična prometna lokacija in ker je omenjeni prispevek v zimskem času največji. Merjenje koncentracije PM<sub>10</sub> se je izvajalo skozi leto 2010 (januarja, februarja, marca, oktobra, novembra in decembra).

Meritve delcev PM<sub>10</sub> smo izvedli z merilnikom Leckel, ki vzorči delce PM<sub>10</sub> na filter. Filtre stehamo pred in po vzorčenju in iz razlike v masi ter iz pretoka zraka skozi filtre izračunamo koncentracijo delcev PM<sub>10</sub>. Delci PM<sub>10</sub> so bili analizirani na katione Na<sup>+</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup> in anione SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>. Obdelali smo vse vzorce PM<sub>10</sub>, ki so imeli koncentracijo višjo od 40 µg/m<sup>3</sup>.

Mejna dnevna vrednost koncentracije delcev PM<sub>10</sub> 50 µg/m<sup>3</sup> je bila na omenjenem merilnem mestu v času od januarja do decembra 2010 prekoračena 47 krat. Koncentracija PM<sub>10</sub> je bila višja kot 100 µg/m<sup>3</sup> 6 krat (18.1., 28.1, 17.2., 18.2., 30.12. in 31.12.). Najvišja izmerjena dnevna koncentracija PM<sub>10</sub> je bila 127 µg/m<sup>3</sup>, in sicer 18.2.2010. Koncentracija klorida in natrija ni neposredno odvisna od koncentracije PM<sub>10</sub>. Ponavadi je razmerje med kloridom in natrijem 2:1 in 1:1. Razmerje 2:1 je pričakovano zaradi vira soljenja. Večja koncentracija NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, kaže tudi na onesnaženje iz antropogenih virov, najverjetneje prometa. Največja koncentracija NO<sub>3</sub><sup>-</sup> je bila 20 µg/m<sup>3</sup> 12.1.2010. Najmanjša koncentracija klorida je bila izmerjena 11.10.2010 in je znašala 0,11 µg/m<sup>3</sup>, največja pa je bila izmerjena 28.1.2010 in je znašala 6,89 µg/m<sup>3</sup>. Najnižja zaznana koncentracija natrija je bila 0,05 µg/m<sup>3</sup> 8.10.2010 in najvišja 3,99 µg/m<sup>3</sup> 27.1.2010.

Prevladujoči anioni so bili NO<sub>3</sub><sup>-</sup> in SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>. Med kationi prevladuje NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. Koncentracije Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> in Na<sup>+</sup>, so bile zelo podobne. Za vse mesece meritev v letu 2010 so prevladovali sledeče komponente



PM<sub>10</sub>: NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> in NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. Če primerjamo zimske in jesenske mesece ugotovimo, da je bila v zimskem času izmerjena koncentracija Cl<sup>-</sup> približno za 40 % večja. Prav tako smo ugotovili, da je bila povišana koncentracija Na<sup>+</sup> (26 %). V jesensko zimskih mesecih (koncentracije nad 40 µg/m<sup>3</sup>) se koncentracije Cl<sup>-</sup> gibljejo med 0,19 do 1,32 µg/m<sup>3</sup>. Opazne so razlike v dnevih, ko so bile ceste soljene in ko niso bile soljene. Zlasti januarja so bile koncentracije za 30 % višje v dneh ko ni bilo prisotno soljenje. Vpliv soljenja je viden približno v treh dneh po soljenju. Razlika v koncentracijah anionov in kationov med meseci, ko je bilo prisotno soljenje (januarja, februarja, marca in decembra 2010) in ko soljenja ni bilo (oktober, november 2010) je očitna. Primerjava med zimskim in jesenskim obdobjem kaže približno 4-krat višje vrednosti za Cl<sup>-</sup> v zimskih mesecih. Za obdobje od januarja do marca je povprečna koncentracija klorida 1,4 % celotne koncentracije PM<sub>10</sub> za vse dni s soljenjem in dneve brez soljenja. Za oktober in november 2010 znaša koncentracija Cl<sup>-</sup> približno 0,6 % celotne koncentracije PM<sub>10</sub>.

Prispevek soljenja k povišanim koncentracijam PM<sub>10</sub> pozimi je prav gotovo razviden:

- ne takoj, vendar pogosto po soljenju (2-3 dni),
- glavni meteorološki pogoji, ki povečujejo koncentracijo PM<sub>10</sub> in Cl<sup>-</sup> so: suho vreme, nizka relativna vlažnost zraka in majhna hitrost vetra.

Vpliv soljenja je razviden iz:

- običajno večje koncentracije PM<sub>10</sub>,
- višje koncentracije Na<sup>+</sup> in Cl<sup>-</sup>,
- razmerja med Na<sup>+</sup> in Cl<sup>-</sup>, ki je med 1:1 in 1:3,
- najvišje izmerjene koncentracije Cl<sup>-</sup>, ki je znašala 6,9 µg/m<sup>3</sup>.

Iz rezultatov analiz smo izračunali, da je bil prispevek soljenja cest k celotni koncentracij delcev PM<sub>10</sub> le 2 µg/m<sup>3</sup>. Število preseganj mejne vrednosti na letni ravni ostane isto.

Povprašali smo tudi institucije v Avstriji in dobili odgovor, da je delež klorida v delcih PM<sub>10</sub> zaradi soljenja cest prenizek in da se s tem število preseganj mejne koncentracije delcev PM<sub>10</sub> ne zmanjša v takšni meri, da bi zadostili zahtevam 14. člena Uredbe o kakovosti zunanega zraka. Podrobnejši rezultati so predstavljeni v poročilu /51/, ki je dostopno na spletni strani Agencije RS za okolje.

### **Določitev virov delcev PM<sub>10</sub> s kemijsko analizo**

Za zmanjšanje koncentracije delcev je najprej potrebno določiti prispevke posameznih najpomembnejših virov delcev PM<sub>10</sub> na določenih merilnih mestih, zato je potrebno pridobiti čim več informacij o kemijskih lastnostih delcev. Iz tega razloga smo se odločili za nakup in uporabo visoko volumskega vzorčevalnika Digitel s katerim zajamemo večjo količino zunanega zraka in s tem povečamo depozit delcev in tako omogočimo nižjo detekcijo posameznih parametrov. V letu 2010 smo izmenično vzorčili delce PM<sub>10</sub> v zunanem zraku na dveh merilnih mestih (Nova Gorica in Celje), tako da smo na vsakem merilnem mestu pokrili obdobje vseh štirih letnih časov. V tabeli 2.3.5.1.(4) so navedena obdobja in merilno mesto vzorčenja delcev PM<sub>10</sub> z merilnikom Digitel v letu 2010.

**Tabela 2.3.5.1.(4):** Vzorčenje delcev PM<sub>10</sub> z merilnikom Digitel v letu 2010

NOVA GORICA	CELJE
2.12.2009 - 30.3.2010	21.4. - 12.7.2010
13.7. - 6.9.2010	4.11.2010 - 8.2.2011

V poletnem obdobju smo na merilnem mestu Nova Gorica imeli težave z delovanjem vzorčevalnika, zato so rezultati iz tega obdobja neveljavni. V poletnem obdobju so na merilnem mestu Celje koncentracije delcev PM<sub>10</sub> bistveno nižje, kot v zimskem, zato s pomočjo statističnega modela PCA (principle component analysis) nismo dobili ustreznih virov emisij delcev PM<sub>10</sub>. Glede na to, da do preseganj delcev PM<sub>10</sub> prihaja izključno v zimskem obdobju leta, je smiselno ukrepe usmeriti v zmanjšanje prispevkov virov prav v tem obdobju.

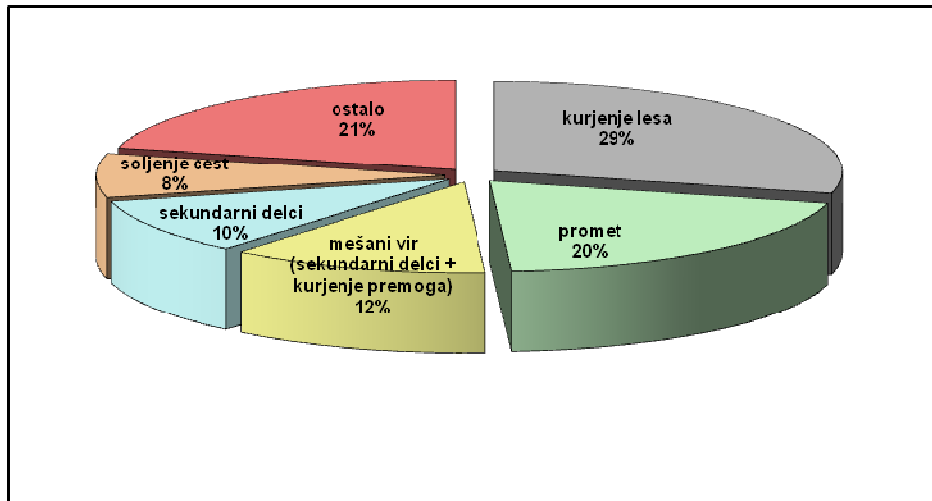
Po končanem vzorčenju smo iz razlike v masi filtra določili koncentracijo delcev PM<sub>10</sub>, nato pa filter poslali v kemijsko analizo. Delci PM<sub>10</sub> so bili analizirani na naslednje parametre: težke kovine, policiklične aromatske ogljikovodike (v nadaljevanju PAH), ione, elementarni in organski ogljik ter levoglukozana. S pomočjo statističnega modela PCA smo na podlagi teh pridobljenih rezultatov okvirno določili prispevke posameznih virov emisij delcev PM<sub>10</sub> za posamezno obdobje na obeh merilnih mestih. Statistični modeli PCA določijo skupno odvisnost od značilnih elementov (tracer, indikator) za posamezen emisijski vir.

V Tabeli 2.3.5.1.(5) so iz različnih strokovnih člankov zbrani elementi (tracer, indikator), ki so značilni za posamezen vir onesnaženja /52, 53, 54/.

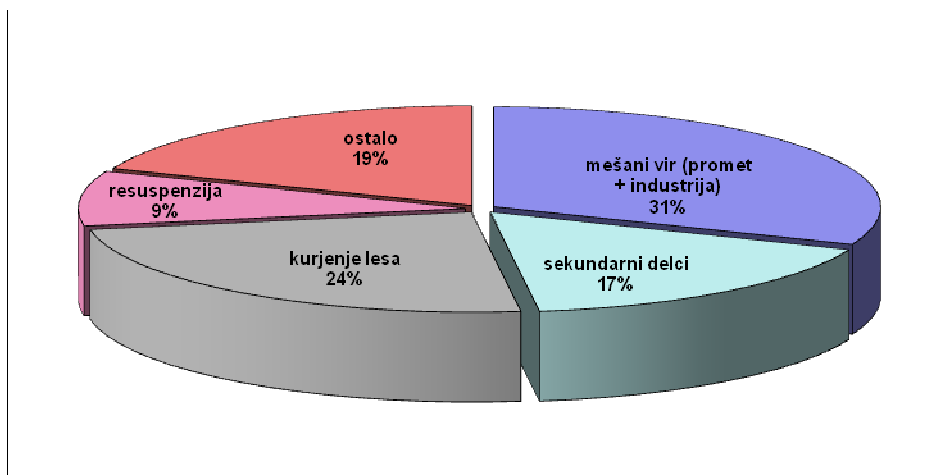
**Tabela 2.3.5.1.(5):** Značilni elementi (tracer, indikator) za posamezen vir onesnaženja

VIR EMISIJE		KARAKTERISTIČNI ELEMENTI
CESTNI PROMET	Emisija izpusta	Br, Pb, Ba, EC, Mn, Cl, Zn, V, Ni, Se, Sb, As, PAH
	Obraba pnevmatik	Zn
	Obraba zavor	Cu, Zn, Pb
	Prah na cestah zaradi prometa	EC, Al, Si, K, Ca, Ti, Fe, Zn
INDUSTRIJA	Industrija železa in jekla	Pb
	Rafinerija	V
	Cementna	Mg, Al, K, Ti, Mn, Fe
INDIVIDUALNA KURIŠČA	Les	Levoglukozan, PAH, EC, Ca, Na, K, Fe, Br, Cl, Cu, Zn
	Premog	Se, As, OC, EC, Cr, Co, Cu, Al, S, P, Ga
	Kurilno olje	EC, V, Ni
AEROSOLI IZ MORJA		Na, Cl, S, K
RESUSPENZIJA		Si, V, Cr, Ca, Ti, Sr, Al, Mn, Sc
MINERALNI PRAH		Si, Al, Ca, Mg
SEKUNDARNI DELCI	Kmetijstvo	NH <sub>3</sub>
	Premog, livarne	SO <sub>2</sub>
	Izgorevanje	NO <sub>x</sub>

Na naslednjih slikah je grafično predstavljena porazdelitev virov delcev PM<sub>10</sub>, ki smo jih določili v različnih obdobjih in na dveh različnih merilnih mestih. Podrobnejši rezultati so predstavljeni v poročilih /55, 56/, ki sta dostopni na internetni strani Agencije RS za okolje.



**Slika 2.3.5.1.(12):** Viri, določeni s statističnim modelom PCA v zimskem obdobju na merilnem mestu Celje



**Slika 2.3.5.1.(13):** Viri, določeni s statističnim modelom PCA v poletnem obdobju na merilnem mestu Nova Gorica

Iz zgornje analize virov lahko povzamemo, da so na obeh merilnih mestih v zimskem obdobju največji viri delcev  $PM_{10}$  kurjenje lesa in promet.

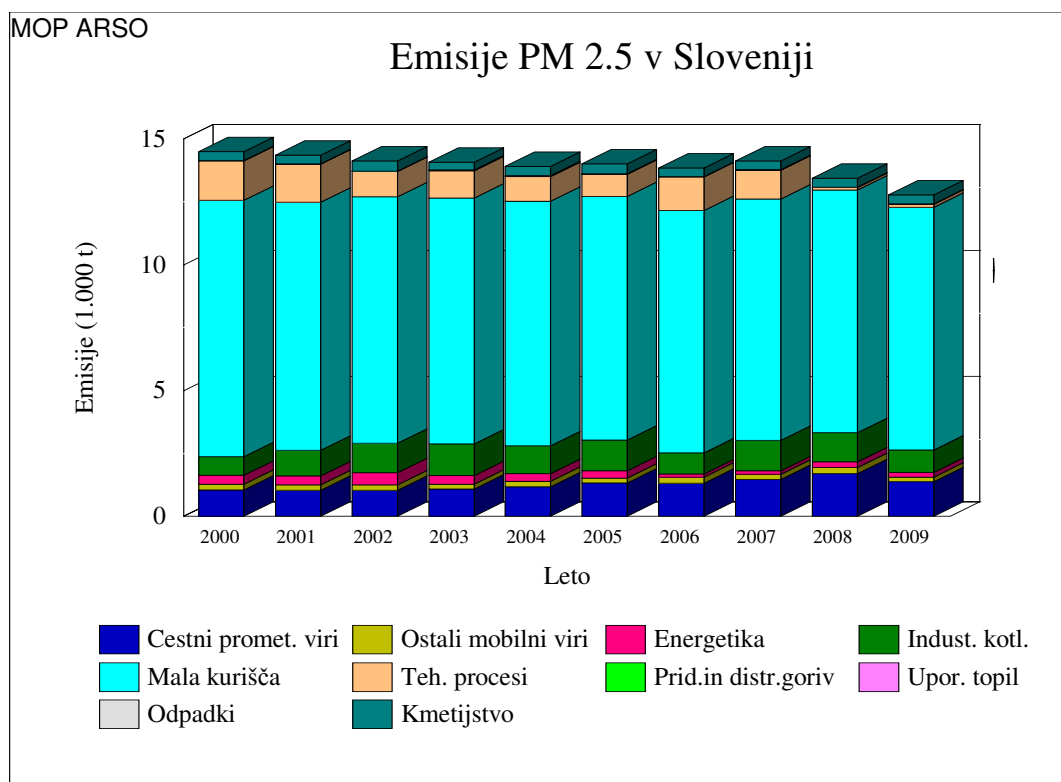


Primeri ukrepov za zmanjšanje onesnaženosti zraka z delci (foto: Albert Kolar)

### 2.3.5.2 Delci PM<sub>2,5</sub>

Koncentracije delcev PM<sub>2,5</sub> so bile pod letno mejno vrednostjo.

#### Emisije delcev PM<sub>2,5</sub> (leto 2009)



Slika 2.3.5.2.(1): Emisije delcev PM<sub>2,5</sub> v Sloveniji

Od leta 2000 do leta 2009 so se letni izpusti PM<sub>2,5</sub> v Sloveniji zmanjšali za 11,9 %. V letih 2008 in 2009 so se začeli znatno zniževati izpusti iz sektorja tehnološki procesi zaradi zahtev, ki so povezane z izdajo IPPC dovoljenj. Največji delež k skupnim izpustom 12.780 t PM<sub>2,5</sub> v letu 2009 prispeva sektor »mala kurišča«, in sicer 75,3 %.

#### Onesnaženost zraka z delci PM<sub>2,5</sub>

Delci PM<sub>2,5</sub> so manjši, lažji, in se dlje časa zadržujejo v zraku ter prepotujejo večje razdalje kot večji delci. Delci PM<sub>2,5</sub> imajo znatne negativne posledice na zdravje ljudi. Za zdaj še ni določljivega praga, pod katerim delci PM<sub>2,5</sub> ne bi predstavljali tveganja za zdravje. Cilj bi moral biti splošno znižanje koncentracij v neizpostavljenem mestnem okolju, da bi bilo velikemu delu prebivalstva zagotovljeno uživanje koristi izboljšanja kakovosti zunanega zraka. Zato je bila konec maja 2008 sprejeta *Direktiva Evropskega parlamenta in Sveta o kakovosti zunanega zraka in čistejšem zraku za Evropo*, ki uvaja med drugim novostmi tudi meritev delcev PM<sub>2,5</sub> in kemijsko analizo le-teh (kationi, anioni, organski in elementarni ogljik). V letu 2010 velja mejna letna vrednost 28,6 µg/m<sup>3</sup>.

Prav tako omenjena Direktiva uvaja nov termin **kazalec povprečne izpostavljenosti** (v nadaljevanju AEI), ki temelji na meritvah na mestih v neizpostavljenem mestnem okolju. Oceniti ga je potrebno kot drseče povprečje srednjih vrednosti letnih koncentracij v treh zaporednih koledarskih letih. Ker Agencija v letu 2008 še ni izvajala meritev na novih lokacijah, bomo srednjo vrednost koncentracije ocenili za leta 2009, 2010 in 2011. Glede na zahteve smo na ARSO v letu 2009 uvedli dodatna merilna mesta, ki ustrezajo definiciji neizpostavljenega mestnega okolja – Vrbanski plato (VP) v Mariboru in merilno mesto pri Biotehnični fakulteti (BF) v Ljubljani.

Za kazalnik AEI velja vrednost  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , ki jo je potrebno doseči do leta 2015. Ciljno zmanjšanje je odvisno od vrednosti AEI v začetnem triletnem obdobju v skladu s prilogo XIV *Direktive Evropskega parlamenta in Sveta o kakovosti zunanjega zraka in čistejšem zraku za Evropo*. Izračunan vrednost AEI za leta 2009 in 2010 za merilni mesti Maribor VP in Ljubljana BF je  $20,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , kar pomeni, da bi morala Slovenija v skladu s direktivo to vrednost zmanjšati za 20 %.

Najvišja povprečna letna koncentracija delcev  $\text{PM}_{2,5}$   $24 \mu\text{g}/\text{m}^3$  je bila izmerjena na prometni mestni lokaciji Maribor, kar je še pod mejno vrednostjo  $28,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Sledita merilni mesti mestnega ozadja v Mariboru in Ljubljani, medtem ko je bila koncentracija precej nižja na podeželski lokaciji Iskrba. Povprečne letne koncentracije delcev  $\text{PM}_{2,5}$  izmerjene na merilnem mestu Ljubljana BF in Maribor VP, bodo vključene v izračun AEI.

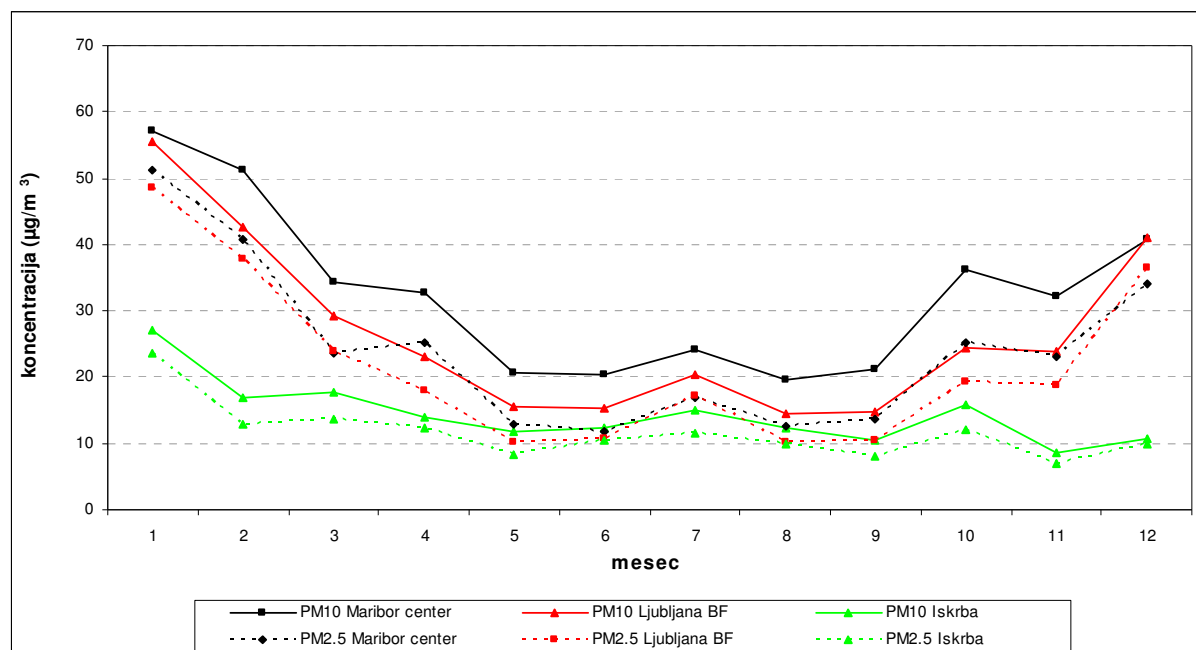
Koncentracije delcev  $\text{PM}_{2,5}$  in  $\text{PM}_{10}$  imajo enak letni hod, ki pa je na podeželski lokaciji Iskrba komaj opazen.

**Tabela 2.3.5.2.(1) :** Povprečne letne koncentracije delcev  $\text{PM}_{2,5}$  ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) v letu 2010

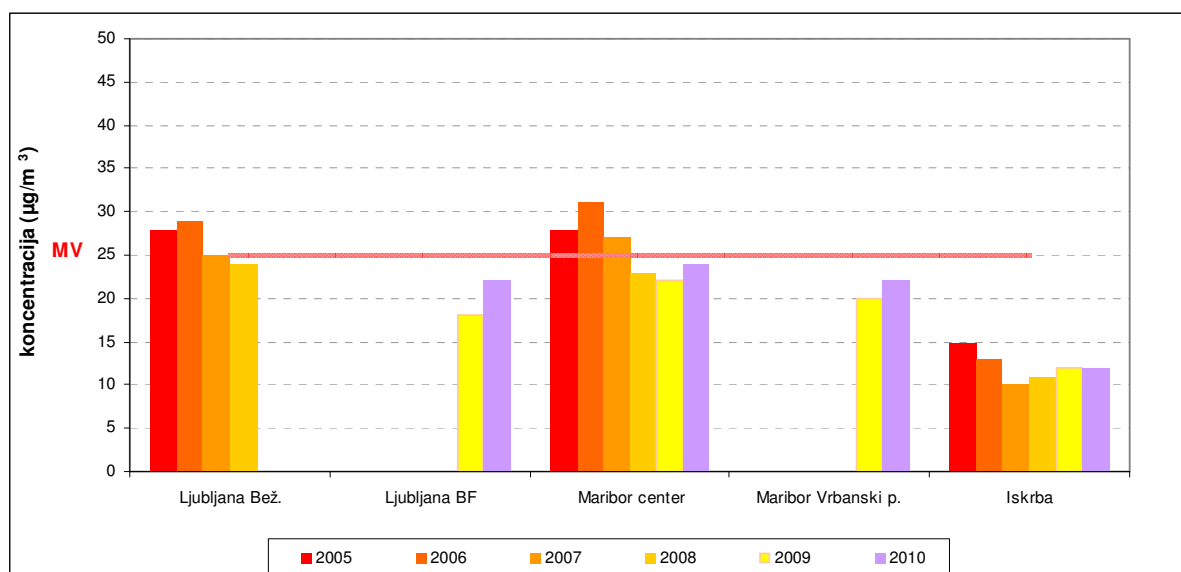
Merilno mesto	Leto	
	% pod	$C_p$
Ljubljana BF	99	22
Maribor center	95	24
Maribor VP	99	22
Iskrba	96	12

Legenda:

koncentracija pod mejno letno vrednostjo  
Maribor VP – Maribor Vrbanski plato



**Slika 2.3.5.2.(2):** Povprečne mesečne koncentracije delcev  $\text{PM}_{10}$  in  $\text{PM}_{2,5}$  v letu 2010



Slika 2.3.5.2.(3): Povprečne letne koncentracije delcev  $PM_{2,5}$  v letih 2005 - 2010

Najvišje koncentracije delcev  $PM_{2,5}$  se pojavljajo v zimskih mesecih.

Povprečne letne koncentracije  $PM_{2,5}$  na obeh merilnih mestih mestnega ozadja so bile  $22 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , na podeželskem merilnem mestu Iskrba je povprečna letna koncentracija  $PM_{2,5}$   $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$  in na prometnem merilnem mestu Maribor center  $24 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Razmerje med delci  $PM_{2,5} / PM_{10}$  je običajno med 0,7 in 0,8 in je odvisno od tipa merilnega mesta in seveda od emisijskih virov. Običajno je to razmerje višje na urbanih merilnih mestih in nižje na podeželskih.

Merilno mesto Iskrba leži proč od neposrednih virov onesnaženja. Tu je delež delcev večjih od  $2,5 \mu\text{m}$  najmanjši. Delce  $PM_{2,5}$  na tej lokaciji lahko pripišemo predvsem daljinskemu prenosu (long range transport).



### 2.3.6. Kemijska analiza delcev

**S kemijsko analizo delcev ugotavljamo prisotnost nekaterih težkih kovin in ogljikovodikov na treh merilnih mestih.**

Atmosferski delci so kompleksna mešanica organskih in anorganskih komponent in so vpleteni v številne procese, sodelujejo pri različnih kemijskih in fizikalnih pretvorbah v onesnaženi atmosferi in pri nastanku kislega dežja, vplivajo na vidnost in električne lastnosti atmosfere. Koncentracija in sestava je odvisna predvsem od virov (naravnih in antropogenih) ter od meteoroloških pojavov. Iz analize filtra dobimo podatek o vsebnosti težkih kovin, policikličnih aromatskih ogljikovodikov (v nadaljevanju PAH), ionov, elementarnega in organskega ogljika (EC/OC) ter levoglukozana v delcih, saj se le-ti v zrak sproščajo v obliki delcev in pare.

Na ARSO so v letu 2010 potekale meritve težkih kovin in PAH delcih PM<sub>10</sub> na treh merilnih mestih v okviru mreže DMKZ v skladu z *Uredbo o arzeniu, kadmiju, živem srebru, niklju in policikličnih aromatskih ogljikovodikih v zunanjem zraku (Ur.l.RS, št.56/2006)* in *Pravilnikom o monitoringu zunanjega zraka (Ur.l.RS, št.37/2007)*. Glede na zakonodajo moramo izvajati kemijsko analizo delcev v aglomeracijah (večjih mestnih območjih), kar pomeni v Ljubljani in v Mariboru in pa na merilnem mestu Iskrba (meritve ozadja). Po *Direktivi 2008/50/ES o kakovosti zunanjega zraka in čistejšem zraku za Evropo* je potrebno določiti masno koncentracijo delcev PM<sub>2,5</sub> in koncentracije ustreznih spojin za označitev kemijske sestave teh delcev. Filtre se analizira na sledeče parametre: anione (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>), katione (Na<sup>+</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup>), težke kovine in EC/OC.

Filtre za vzorčenje delcev so bili na merilnih mestih izpostavljeni vsak dan, vsak drugi filter pa smo poslali v kemijsko analizo. Časovna pokritost za merilno mesto Ljubljana BF v letu 2010 je 50 %, za Maribor center 50 %, za Iskrbo pa je bila 49 %. Po zakonodaji je potrebno zagotoviti 50 % časovne pokritosti.

Vzorčenje delcev na vseh merilnih mestih izvajamo z referenčnimi merilniki. Vzorčenje in tehtanje delcev PM<sub>10</sub> izvajata Sektor za kakovost zraka (v nadaljevanju SKZ), medtem ko Kemijsko analitski laboratorij Agencije RS za okolje (v nadaljevanju KAL) izvajata kemijske analize delcev na težke kovine, PAH in ione. Filter z depoziti delcev PM<sub>10</sub> smo razrezali na polovico in en del je šel na analizo težkih kovin, drugi del pa na analizo PAH. Filter z depoziti delcev PM<sub>2,5</sub> smo razrezali in polovica filtra je šla na analizo težkih kovin, četrtina filtra na analizo ionov, četrtina pa za analizo elementarnega in organskega ogljika. Opisi kemijskih metod so podani v poglavju 2.2.3.

#### 2.3.6.1 Kemijska analiza delcev PM<sub>10</sub>

##### Težke kovine v delcih PM<sub>10</sub>

**Koncentracije težkih kovin v delcih PM<sub>10</sub> na merilnih mestih Ljubljana-Biotehniška fakulteta, Maribor center in Iskrba so bile pod spodnjim ocenjevalnim pragom (SOP), medtem ko je bil v Žerjavu v Zgornji Mežiški dolini prekoračen SOP pri svincu in zgornji ocenjevalni prag pri kadmiju.**

##### Emisije težkih kovin

Viri emisij težkih kovin v zrak so naravni in antropogeni. Največji antropogeni viri onesnaženja zraka so: energetski objekti v širšem pomenu, industrija, promet, pridobivanje in predelava rud (npr. Pb, Hg)

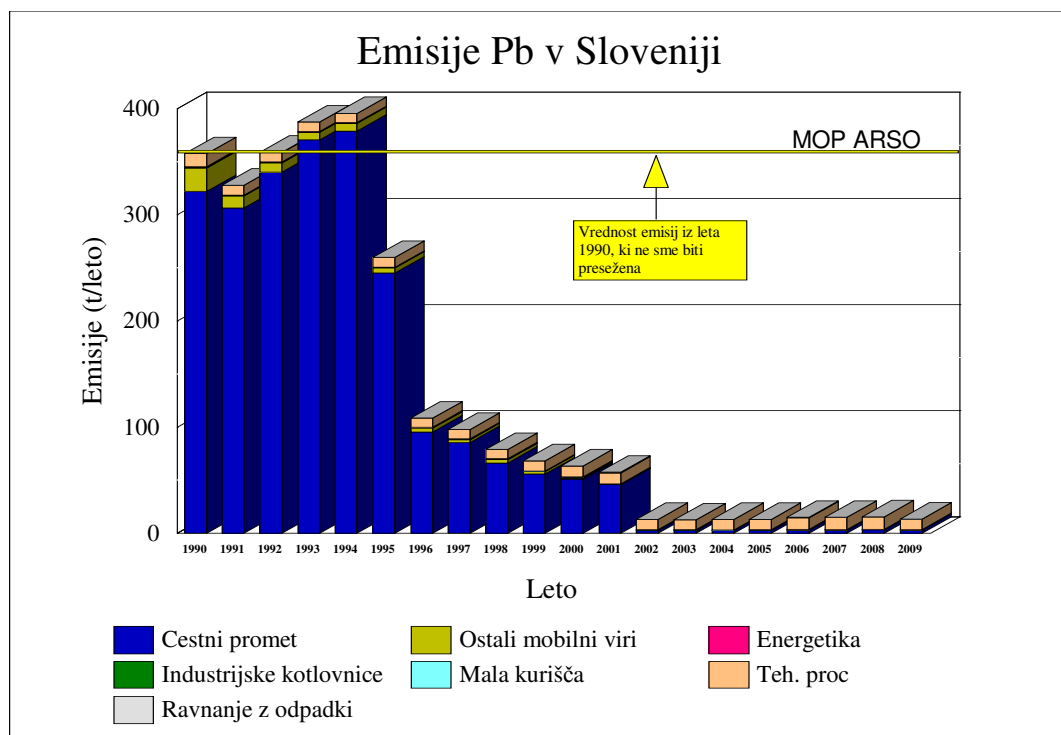


itd. Težke kovine se sproščajo v zrak v obliki delcev in pare. Raziskave onesnaženosti zraka s težkimi kovinami potekajo kot meritve elementnih koncentracij v vzorcih aerosolov. Nekatere težke kovine so v določenih koncentracijah za človeka življenjsko pomembne (npr. Fe), druge pa toksične (npr. Hg, Pb, Cd). Arzen, kadmij, nikelj in svinec so kovine, ki škodljivo učinkujejo na zdravje ljudi in na okolje, zato so za njih predpisane ciljne letne vrednosti.

Svinec je s svojimi toksičnimi učinki še vedno eden najpomembnejših onesnaževalcev, ki predstavljajo tveganje za zdravje ljudi. Izpostavljenost ljudi svincu je večja na območjih, kjer so koncentracije svinca v okolju večje. Slaba lastnost svinca je namreč njegova vztrajnost v okolju, saj lahko v zgornjih plasteh zemlje vztraja več sto let. Svincu smo lahko izpostavljeni preko različnih faktorjev okolja. Pojavlja se v prahu, zemlji, vodi, hrani, zraku, možen pa je tudi prenos z matere na plod. Vir svinca v zraku so večinoma manjši delci, ki se ne usedajo hitro in se lahko prenašajo na večje razdalje. Ti delci prehajajo v telo preko dihal, nekoliko večji pa tudi preko prebavil, če zaužijemo delce, ki smo jih izkašljali. Višje koncentracije svinca v zraku so v mestnem okolju, še višje pa v bližini industrijskih emisijskih virov. Približno tretjina svinca, ki ga v telo vnesemo preko zraka, se veže v kri. Svinec ima negativne učinke na zdravje, in sicer na krvotvorni sistem, centralni živčni sistem, ledvice, okostje ter rodila. Klinični znaki kronične zastrupitve so utrujenost, slabokrvnost, prezgodnji porodi, okvare ledvic, okvare kostnega sistema, motnje razpoloženja, vedenja ter psihomotoričnih funkcij.

Letni izpusti svinca v Sloveniji so se od leta 1990 do leta 2009 zmanjšali za 96,2 %. V letu 1994 so se izpusti Pb glede na predhodna leta začeli zmanjševati, zaradi povečevanja deleža neosvinčenega bencina. Tako je bilo na Slovenskem trgu leta 1996 razmerje med neosvinčenim in osvinčenim bencinom. in 60 % proti 40 %. Po letu 1995 so se izpusti znatno zmanjšali zaradi nižje vsebnosti svinca v bencinu, kakor to zahteva *Uredba o kakovosti tekočih goriv glede vsebnosti žvepla, svinca in benzena (Ur. L. RS, št. 8/95)*. Osvinčen bencin je bil popolnoma opuščen julija 2001.

Največji delež k skupnim izpustom 13,56 t Pb v letu 2009 prispevajo industrijski procesi in sicer 72,5 %.

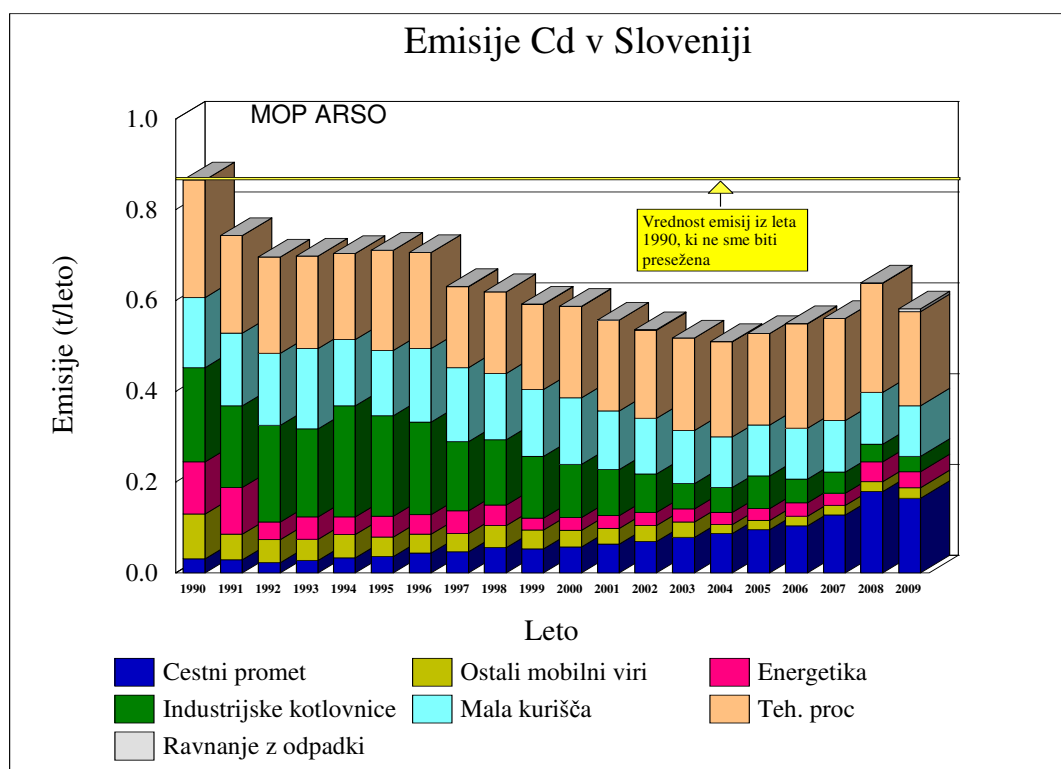


Slika 2.3.6.1.(1): Emisije svinca v Sloveniji

Izpostavitve kadmiju lahko povzročata raka na pljučih in poškodbe ledvic. Kadmij v večini vstopa v človeško telo z vdihovanjem, preko pljuč. 20 do 25 % deponiranih delcev se sistematično absorbira in po absorpciji se kadmij transportira preko krvne plazme. Tako svinec, kot kadmij, ki je očitno še bolj prisoten, se iz telesa izločata izredno počasi. Zato ni pomembno samo, kakšen je trenutni vnos, temveč zlasti kolikšna je dolgoletna izpostavljenost ljudi.

Letni izpusti kadmija (Cd) v Sloveniji so se od leta 1990 do leta 2009 zmanjšali za 32,8 %. Po letu 2004 pa se izpusti Cd ponovno povečujejo, predvsem zaradi zviševanja izpustov iz sektorja proizvodnji procesi. V zadnjem letu pa so se izpusti Cd znižali zaradi manjše porabe energentov v sektorjih: energetika, industrijske kotlovnice in mala kurišča, še zlasti pa so se znižali v sektorju tehnološki procesi.

Največji delež k skupnim izpustom 0,582 t Cd v letu 2009 prispevajo industrijski procesi in sicer 35,7 %.



Slika 2.3.6.1.(2): Emisije kadmija v Sloveniji

Arzen je prav tako eden izmed najbolj strupenih elementov. Ljudje smo mu izpostavljeni preko zraka, vode in hrane. Povzročata različne bolezenske težave, kot so draženje želodca, črevesja in pljuč, zmanjšuje nastanek rdečih in belih krvničk ter povzročata spremembe na koži. V večjih količinah pa njegova prisotnost lahko povzroči različna rakova obolenja in sicer na pljučih, jetrih in limfi. Pri ženskah povzročata neplodnost in večjo možnost splava.

Nikelj se v naravi pojavlja v zelo nizkih koncentracijah, uporabljajo pa ga za različne industrijske namene, saj je sestavina jekla in ostalih kovinskih produktov, tudi nakita. Ljudje v svoje telo vnesemo nikelj preko zraka, vode, hrane in cigaret. V majhnih količinah je nikelj celo življenjsko pomemben, v večjih količinah pa je nevaren za človekovo zdravje, saj povzročata pljučnega raka, raka v grlu in nosu ter raka na prostati.

## Onesnaženost zraka s težkimi kovinami

V tabeli 2.3.6.1.(1) so predstavljene povprečne letne koncentracije težkih kovin na različnih merilnih mestih, v tabeli 2.3.6.1.(2) v prilogi pa povprečne mesečne koncentracije.

**Tabela 2.3.6.1.(1):** Povprečne letne koncentracije težkih kovin v delcih PM<sub>10</sub> v ng/m<sup>3</sup> v letu 2010

Merilno mesto	% podatkov	Arzen	Kadmij	Nikelj	Svinec
Ljubljana BF	50	0,49	0,26	4,5	8,3
Maribor center	50	0,80	0,31	3,0	11,7
Iskrba	49	0,33	0,11	1,8	3,3

Legenda:

BF Biotehniška fakulteta

koncentracija pod spodnjim ocenjevalnim pragom

Vsebnost arzena, kadmija, niklja in svinca v delcih PM<sub>10</sub> je bila nizka in za vse kovine pod spodnjim ocenjevalnim pragom. Koncentracije arzena, kadmija in svinca so bile najvišje na merilnem mestu Maribor, ki je tudi najbolj izpostavljeno merilno mesto saj leži tik ob prometni cesti. Koncentracije niklja pa so bile najvišje na merilnem mestu Ljubljana BF.

### Letni trendi koncentracij težkih kovin v delcih PM<sub>10</sub>

V Tabeli 2.3.6.1.(3) so predstavljene povprečne letne koncentracije težkih kovin na različnih merilnih mestih v različnih letih. Podatkov za leto 2008 za merilno mesto Ljubljana BF ni, ker so se meritve do takrat izvajale na merilnem mestu Ljubljana Bežigrad. Vsi rezultati so predstavljeni tudi grafično na sliki 2.3.6.1.(3).

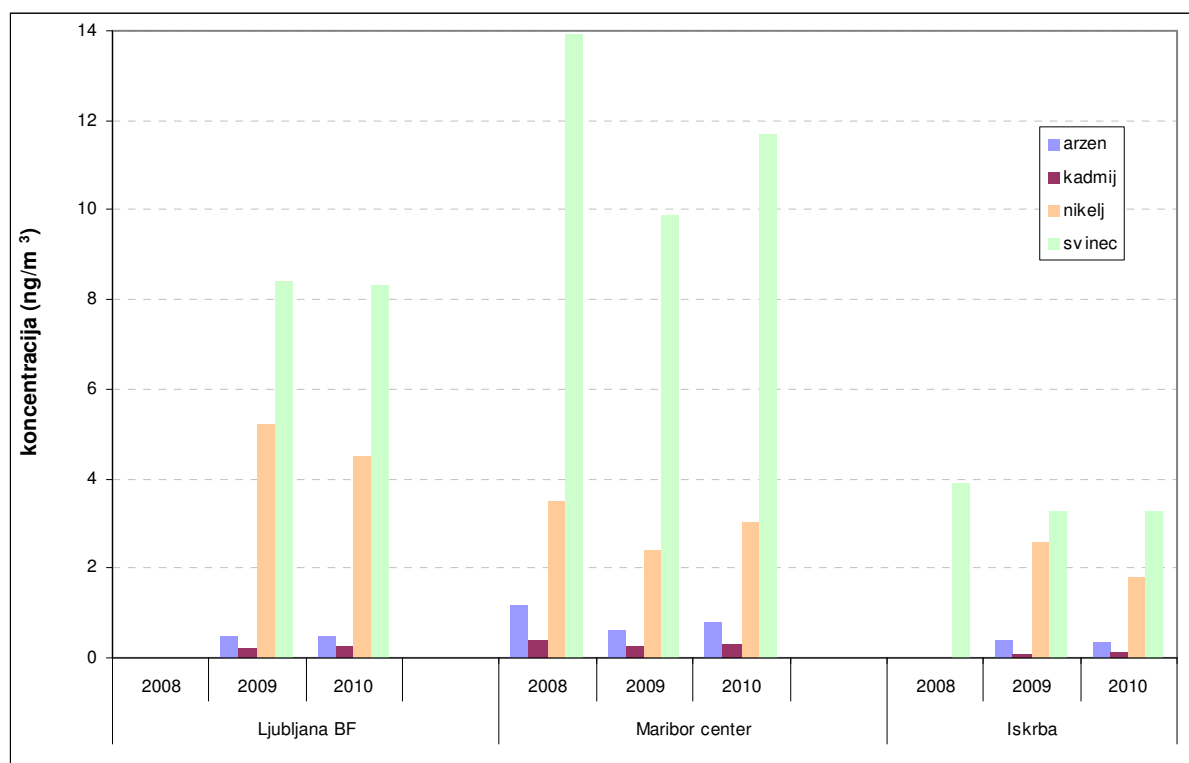
**Tabela 2.3.6.1.(3):** Povprečne letne koncentracije težkih kovin v delcih PM<sub>10</sub> v ng/m<sup>3</sup> v različnih letih

	Ljubljana BF			Maribor center			Iskrba		
	2008	2009	2010	2008	2009	2010	2008	2009	2010
Arzen	-	0,47	0,49	1,2	0,62	0,8	<0,73	0,4	0,33
Kadmij	-	0,22	0,26	0,38	0,28	0,31	<0,13	0,1	0,11
Nikelj	-	5,2	4,5	3,5	2,4	3	<3,3	2,6	1,8
Svinec	-	8,4	8,3	13,9	9,9	11,7	3,9	3,3	3,3

Legenda:

Rezultati, ki vsebujejo znak <, so pod mejo kvantifikacije, ki jo je podal laboratorij

- ni podatka



**Slika 2.3.6.1.(3):** Povprečne letne koncentracije težkih kovin na treh merilnih mestih v različnih letih

Povprečne letne koncentracije vseh parametrov razen niklja na merilnem mestu Ljubljana BF in Iskrba so v letu 2010 višje kot v letu 2009, ampak nižje kot v letu 2008. Večjih razlik v koncentracijah težkih kovin v različnih letih ni.

#### Težke kovine v delcih PM<sub>10</sub> v Zgornji Mežiški dolini

Poleg monitoringa na zgoraj opisanih merilnih mestih smo meritve delcev PM<sub>10</sub> ter nato njihovo analizo na težke kovine izvajali v letu 2010 tudi na merilnem mestu Žerjav v Zgornji Mežiški dolini. Vlada Republike Slovenije je na podlagi rezultatov meritev iz Primerjalne študije onesnaženosti okolja v Zgornji Mežiški dolini med stanji v letih 1989 in 2001 z dne 20. 11. 2002 ugotovila, da se okolje na delu območja v Zgornji Mežiški dolini glede na določbe *Uredbe o mejnih, opozorilnih in kritičnih imisijskih vrednostnih nevarnih snovi v tleh (Ur.l.RS, št. 68/96)* razvršča v razred največje obremenjenosti. Zato je bil sprejet *Odlok o območjih največje obremenjenosti okolja in o programu ukrepov za izboljšanje kakovosti okolja v Zgornji Mežiški dolini (Ur.l.RS, št.119/2007)*, ki določa območja v Zgornji Mežiški dolini, za katera je treba sprejeti in izvesti program ukrepov za izboljšanje kakovosti posameznih delov okolja.

Namen meritev je bilo ugotoviti, ali je prišlo do izboljšanja stanja onesnaženosti zunanjega zraka z delci PM<sub>10</sub> in težkimi kovinami v tej dolini. V tabeli 2.3.6.1.(4) so predstavljene povprečne koncentracije težkih kovin. Obširnejši rezultati so predstavljeni v poročilu /18/, ki je dostopen na spletni strani Agencije RS za okolje.



Pogled na naselje Žerjav s tovarnama TAB in MPI zraven katerih je locirano naše merilno mesto ter haldo iz katere odvažajo pesek CPM (foto: Tanja Koleša)

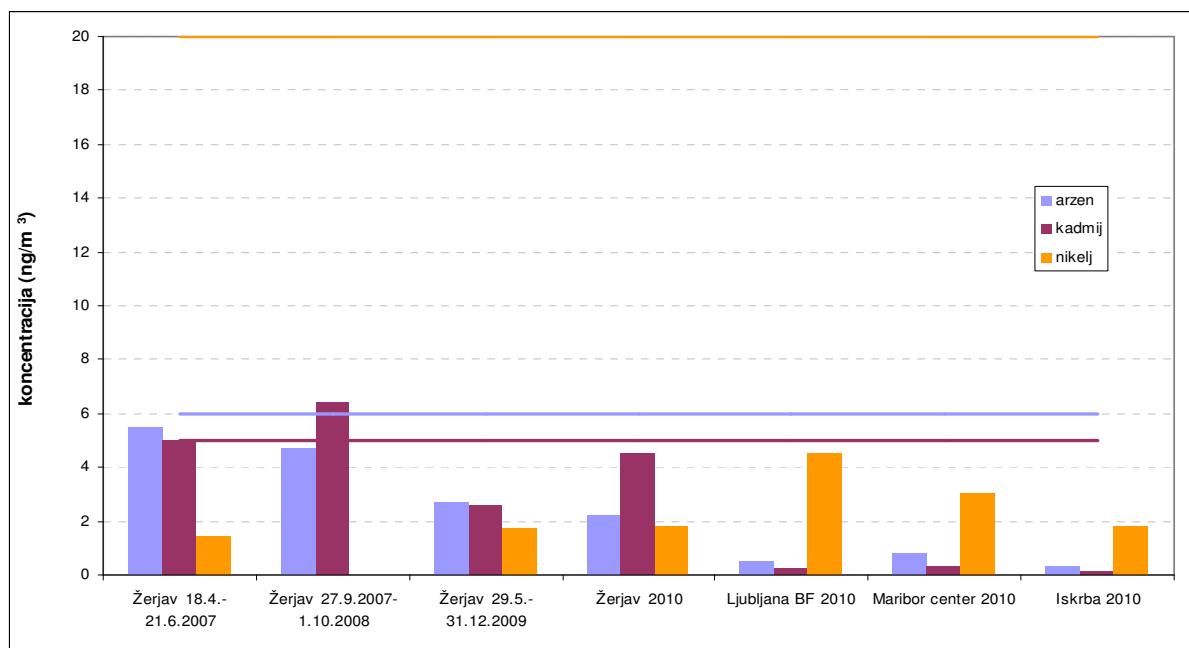
**Tabela 2.3.6.1.(4):** Povprečne koncentracije težkih kovin v delcih PM<sub>10</sub> v ng/m<sup>3</sup> na merilnem mestu Žerjav v Zgornji Mežiški dolini v letu 2010

Merilno mesto	Arzen	Kadmij	Nikelj	Svinec
Žerjav	2,2	4,5	1,8	256

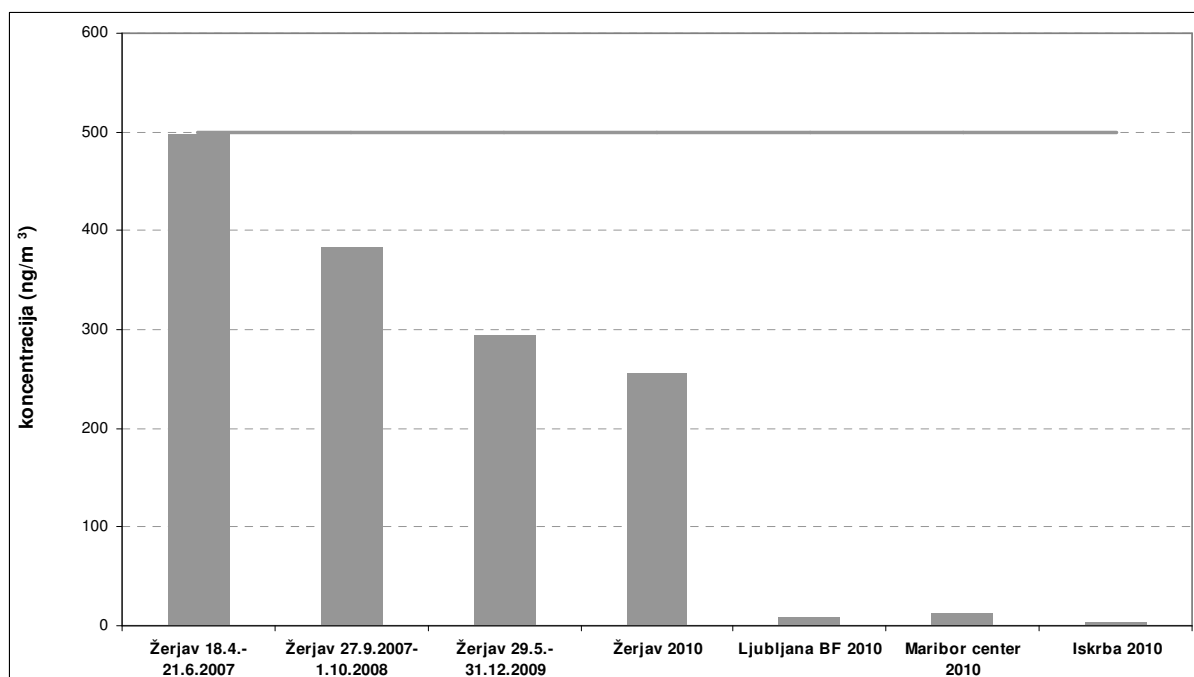
Legenda:

- koncentracija pod spodnjim ocenjevalnim pragom
- prekoračen spodnji ocenjevalni prag
- prekoračen zgornji ocenjevalni prag

Povprečne koncentracije svinca na merilnem mestu Žerjav so od leta 2007 do 2010 padle, v primerjavi z ostalimi merilnimi mesti po Sloveniji pa so še vedno ekstremno visoke. Prav to velja tudi za arzen. Koncentracije kadmija so se v Žerjavu v letu 2009 znižale, nato v letu 2010 znova povišale in so tako kot arzen in svinec v primerjavi z ostalimi merilnimi mesti po Sloveniji veliko višje. Koncentracije niklja so nižje kot drugje po Sloveniji in se skozi celotno obdobje vzorčenja ne spreminjajo. Vse primerjave so grafično prikazane na slikah 2.3.6.1.(4) – (5). Posebej so označene ciljne letne vrednosti. V dveh obdobjih, ki sta prikazana na grafih, vzorčenje ni potekalo celo leto, zato je primerjava z ciljnim letnimi vrednostmi neustrezna.



**Slika 2.3.6.1.(4):** Povprečne koncentracije treh težkih kovin z označenimi ciljnim vrednostmi v različnih obdobjih na merilnem mestu Žerjav in v letu 2010 na ostalih merilnih mestih po Sloveniji



**Slika 2.3.6.1.(5):** Povprečne koncentracije svineca z označeno ciljno vrednostjo v različnih obdobjih na merilnem mestu Žerjav in v letu 2010 na ostalih merilnih mestih po Sloveniji

### **Policiklični aromatski ogljikovodiki v delcih PM<sub>10</sub>**

Največja tveganja zdravju, kot posledica izpostavljenosti povečanim koncentracijam PAH, predstavljajo rakava obolenja. Viri PAH v zunanjem zraku so naravni in antropogeni. Naravne vire predstavljajo vulkani in požari, antropogene vire pa industrija, individualna kurišča in promet. PAH se največkrat pojavijo v plinastem agregatnem stanju in trdnem agregatnem stanju na delcih, ki so manjši od 2,5  $\mu\text{m}$ .

V delcih PM<sub>10</sub> smo v letu 2010 na treh merilnih mestih analizirali sledeče PAH:

- benzo(a)antracen
- benzo(b)fluoranten
- benzo(j)fluoranten
- benzo(k)fluoranten
- benzo(a)piren
- indeno(123-cd)piren
- dibenzo(ah)antracen.





Benzo(b)fluoranten, benzo(j)fluoranten in benzo(k)fluoranten so težko kromatografsko ločljivi, zato jih podajamo kot vsoto in so podani pod skupnim imenom benzofluoranteni.

Povprečne letne koncentracije so predstavljene v tabeli 2.3.6.1.(5), povprečne mesečne pa v tabeli 2.3.6.1.(6) v prilogi.

**Tabela 2.3.6.1.(5):** Povprečne letne koncentracije PAH v delcih PM<sub>10</sub> v ng/m<sup>3</sup> v letu 2010 (ciljna vrednost je predpisana le za benzo(a)piren)

PAH	Ljubljana BF	Maribor center	Iskrba
Benzo(a)antracen	0,92	0,92	0,15
Benzofluoranteni	2,5	2,5	0,69
Benzo(a)piren	1,1	1,1	0,23
Indeno(123-cd)piren	1,3	1,3	0,36
Dibenzo(ah)antracen	0,18	0,19	0,06

Legenda:

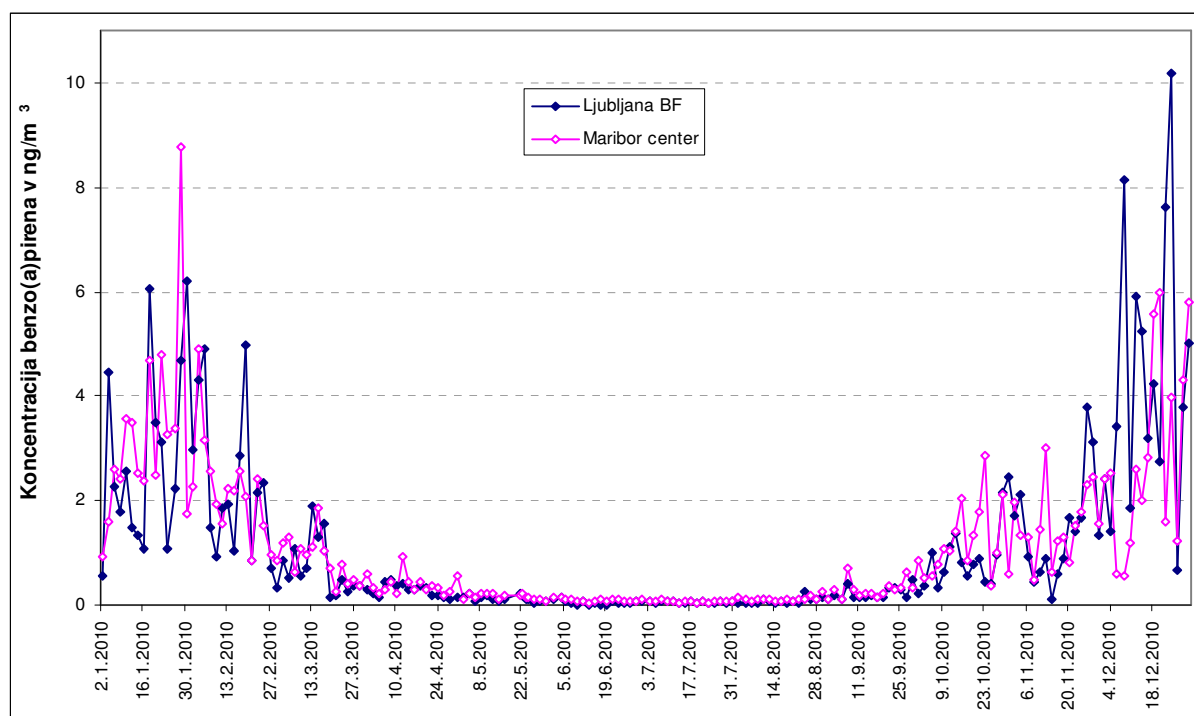
-  koncentracija pod spodnjim ocenjevalnim pragom
-  prekoračen spodnji ocenjevalni prag
-  prekoračen zgornji ocenjevalni prag
-  koncentracija nad ciljno letno vrednostjo

**Letna ciljna vrednost je določena le za benzo(a)piren. Le-ta je bila prekoračena na merilnih mestih Ljubljana Biotehniška fakulteta in Maribor center. Koncentracije benzo(a)pirena so v poletnih mesecih bistveno nižje kot v zimskem obdobju, kar je predvsem posledica aktivnih individualnih kurišč pozimi in pa slabših meteoroloških razmer (temperaturne inverzije, slaba prevetrenost).**

Iz tabele 2.3.6.1.(6) v prilogi, ki prikazuje povprečne mesečne koncentracije, je razvidno, da so koncentracije PAH v poletnih mesecih zelo nizke, v zimskem času pa so višje.

Na sliki 2.3.6.1.(6) so prikazane dnevne koncentracije benzo(a)pirena v letu 2010 na merilnih mestih Ljubljana BF in Maribor center Policiklični aromatski ogljikovodiki PAH so indikator za promet in kurjenje lesa (biomasa, individualna kurišča na drva). V Avstriji so z meritvami v vasi Zederhaus dokazali, da naj bilo razmerje za emisije PAH 20 % promet in 80 % kurjenje lesa (članek je v pripravi).





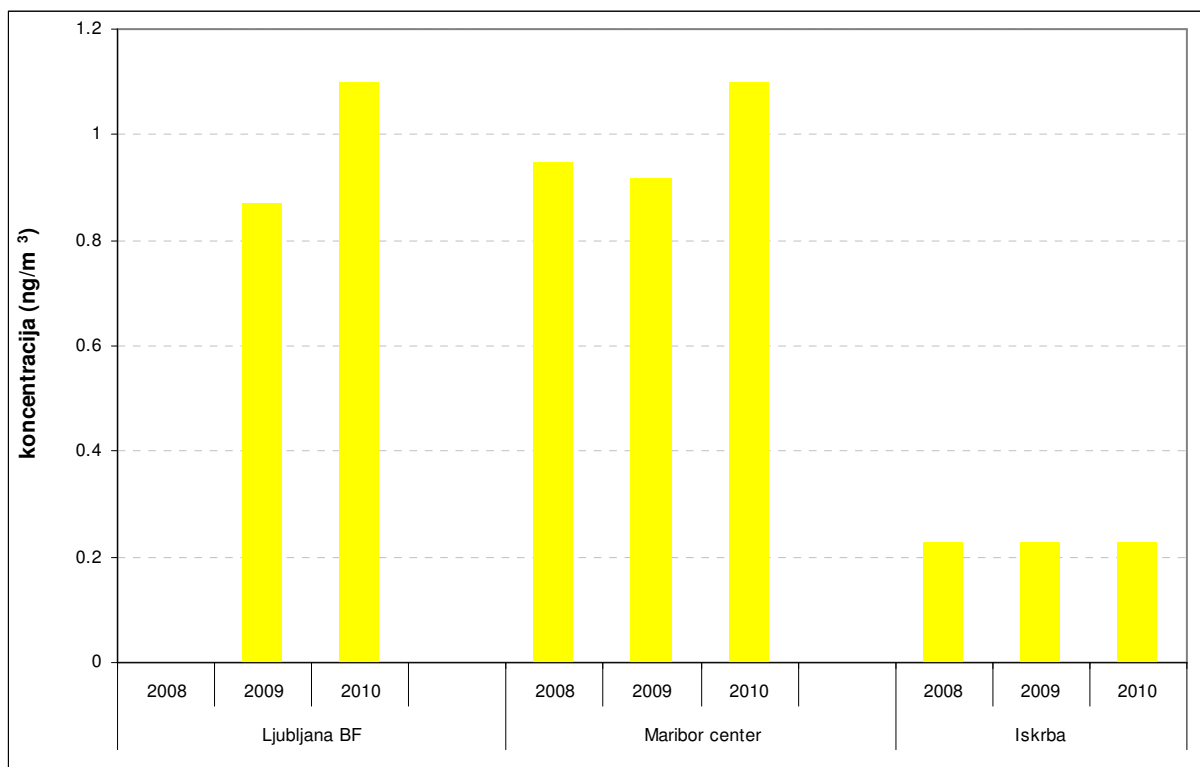
**Slika 2.3.6.1.(6):** Dnevne koncentracije benzo(a)pirena na merilnih mestih Ljubljana BF in Maribor center letu 2010

V tabeli 2.3.6.1.(7) so predstavljene povprečne letne koncentracije benzo(a)pirena na različnih merilnih mestih v različnih letih. Podatkov za leto 2008 za merilno mesto Ljubljana BF ni, ker so se meritve do takrat izvajale na merilnem mestu Ljubljana Bežigrad. Rezultati so predstavljeni tudi grafično na sliki 2.3.6.1.(7).

**Tabela 2.3.6.1.(7):** Povprečne letne koncentracije benzo(a)pirena v  $\text{ng/m}^3$  v različnih letih v delcih  $\text{PM}_{10}$

	Ljubljana BF			Maribor center			Iskrba		
	2008	2009	2010	2008	2009	2010	2008	2009	2010
<b>Benzo(a)piren</b>	-	0,87	1,1	0,95	0,92	1,1	0,23	0,23	0,23

Legenda:  
- ni podatka



Slika 2.3.6.1.(7): Povprečne letne koncentracije benzo(a)pirena na treh merilnih mestih v različnih letih

Povprečne letne koncentracije benzo(a)pirena so bile na merilnih mestih Ljubljana BF in Maribor center v letu 2010 za približno 20 % višje kot leto prej, na merilnem mestu Iskrba pa so ostale na ravni prejšnjih let.

### 2.3.6.2 Kemijska analiza delcev PM<sub>2,5</sub>

Kemijsko analizo delcev PM<sub>2,5</sub> izvajamo v skladu z *Direktivo 2008/50/ES o kakovosti zunanjega zraka in čistejšem zraku za Evropo*. Mejne oz. ciljne koncentracije težkih kovin in drugih snovi v delcih PM<sub>2,5</sub> zakonsko niso določene. Delce PM<sub>2,5</sub> smo v letu 2010 analizirali na težke kovine, ione ter na elementarni in organski ogljik.

#### Težke kovine v delcih PM<sub>2,5</sub>

V tabeli 2.3.6.2.(1) so predstavljene povprečne letne koncentracije težkih kovin na različnih merilnih mestih, v tabeli 2.3.6.2.(2) v prilogi pa povprečne mesečne koncentracije.

Tabela 2.3.6.2. (1): Povprečne letne koncentracije težkih kovin v delcih PM<sub>2,5</sub> v ng/m<sup>3</sup> v letu 2010

Merilno mesto	% podatkov	arzen	kadmij	nikelj	svinec
Ljubljana BF	50	0,42	0,24	3,3	7,4
Maribor center	50	0,64	0,27	1,6	10,1
Maribor VP	50	0,61	0,25	1,6	8,5
Iskrba	49	33	0,10	1,8	3,0

Legenda:  
 BF-Biotehniška fakulteta  
 VP-Vrbanski plato

Povprečne letne koncentracije težkih kovin v delcih PM<sub>2,5</sub> so bile nižje kot v delcih PM<sub>10</sub>.

### Ioni v delcih PM<sub>2,5</sub>

V tabeli 2.3.6.2.(3) so predstavljene povprečne letne koncentracije ionov na različnih merilnih mestih, v tabeli 2.3.6.2.(4) v prilogi pa povprečne mesečne koncentracije.

**Tabela 2.3.6.2. (3):** Povprečne letne koncentracije ionov v delcih PM<sub>2,5</sub> v µg/m<sup>3</sup> v letu 2010

Merilno mesto	% podatkov	Nitrat	Sulfat	Klorid	Natrij	Amonij	Kalij	Magnezij	Kalcij
Ljubljana BF	50	1,9	2,7	0,09	0,07	1,6	0,22	0,03	0,12
Maribor center	50	2,8	2,7	0,14	0,04	1,8	0,23	0,07	0,10
Maribor VP	50	2,3	2,9	0,07	0,06	1,7	0,23	0,04	0,08
Iskrba	49	0,35	2,7	<0,03	0,04	1,1	0,12	0,02	0,07

Legenda:

BF-Biotehniška fakulteta

VP-Vrbanski plato

Rezultati, ki vsebujejo znak <, so pod mejo kvantifikacije, ki jo je podal laboratorij.

### Elementarni in organski ogljik (EC/OC) v delcih PM<sub>2,5</sub>

Ogljik je pomembna frakcija v atmosferskih delcih, posebno tistih iz urbanega okolja. Pojavlja se v zelo različnih spojinah, ki vsebujejo atome ogljika, in jih v grobem lahko razdelimo v tri skupine – organski ogljik, elementarni oz. črni ogljik in karbonate. Ogljik v vseh oblikah ima pomembno vlogo z vidika vpliva na zdravje, kemijskih procesov v atmosferi, zmanjševanja vidnosti in vpliva na klimatske spremembe. Elementarni oz. črni ogljik ima strukturo podobno grafitu. Elementarni ogljik je primarno onesnaževalo in nastaja pri nepopolnem izgorovanju fosilnih goriv in biomase. Organski ogljik je kompleksna mešanica različnih ogljikovodikov, od katerih so nekatere spojine zdravju škodljive (npr. policiklični organski ogljikovodiki, dioksini, furani...). Lahko je primarnega in sekundarnega izvora. Primarni viri obsegajo procese izgorovanja, pri čemer nastajajo predvsem delci manjši od 1 µm. Ostali procesi povezani z emisijami spor in cvetnega prahu, ostankov vegetacije, obrabo pnevmatik in resuspenzijo zemlje pa vodijo do nastanka grobih delcev. Sekundarni nastanek organskega ogljika je povezan z reakcijami v atmosferi, kjer prihaja do pretvorbe hlapnih organskih spojin v trdne delce zaradi kondenzacije nizko hlapnih organskih komponent ali zaradi fizikalnih in kemijskih procesov plinastih zvrsti na površini delcev.

V tabeli 2.3.6.2.(5) so predstavljene povprečne letne koncentracije EC/OC na različnih merilnih mestih, v tabeli 2.3.6.2.(6) v prilogi pa povprečne mesečne koncentracije.

**Tabela 2.3.6.2.(5):** Povprečne letne koncentracije EC/OC v delcih PM<sub>2,5</sub> v µg C /m<sup>3</sup> v letu 2010

Merilno mesto	% podatkov	EC	OC
Ljubljana BF	50	1,7	6,3
Maribor center	50	2,3	6,5
Maribor VP	50	1,2	6,1
Iskrba	49	0,38	3,4

Legenda:

BF-Biotehniška fakulteta

VP-Vrbanski plato

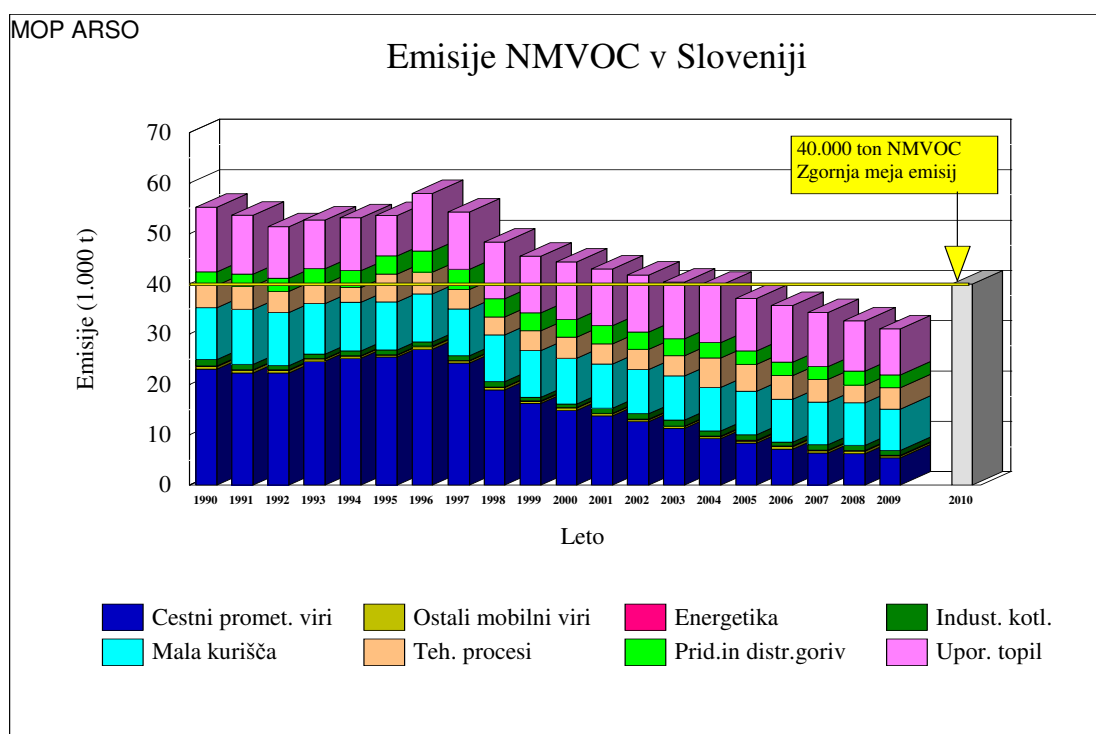
### 2.3.7. Lahkohlapni ogljikovodiki

Koncentracije benzena so prekoračile zgornji ocenjevalni prag na merilnem mestu Ljubljana center, na drugih dveh merilnih mestih pa so bile pod spodnjim ocenjevalnim pragom.

#### Emisije lahkohlapnih ogljikovodikov (leto 2009)

Med organskimi spojinami, ki onesnažujejo zrak, imajo posebno mesto lahkohlapni ogljikovodiki (NMVOC) zaradi njihove vloge v fotokemičnih procesih, katerih produkt je tudi ozon. Od leta 1990 do leta 2009 so se letni izpusti NMVOC v Sloveniji zmanjšali za 43,75 %. Izpusti so po letu 1993 začeli naraščati zaradi povečevanja gostote prometa in porabe goriv. V letu 1997 beležimo znaten padec izpustov zaradi zmanjšane porabe goriva v obmejnem pasu z Italijo. Po letu 1998 pa začnejo izpusti padati zaradi povečevanja števila vozil z katalizatorji. V zadnji letih pa tudi zaradi implementacije Uredbe o emisiji hlapnih organskih spojin (HOS) v zrak iz naprav za skladiščenje in pretakanje motornega bencina in Uredbe o mejnih vrednostih emisije HOS v zrak iz naprav v katerih se uporabljajo organska topila. V zadnjem letu pa so se izpusti NMVOC znižali zaradi manjše porabe energentov v sektorjih: energetika, industrijske kotlovnice in mala kurišča.

Največji delež k skupnim izpustom 31.055 t NMVOC v letu 2009 prispeva sektor »uporaba topil«, in sicer 29,5 %.



Slika 2.3.7.(1): Emisije NMVOC Sloveniji

## Onesnaženost zraka z lahkohlapnimi ogljikovodiki

V Agenciji RS za okolje smo v letu 2010 na merilnih mestih Ljubljana Bežigrad in Maribor center merili koncentracije benzena, toluena, etilbenzena in m,p,o-ksilena (BTX), objavljamo pa tudi meritve na merilnem mestu OMS Ljubljana center, ki nam jih posreduje Elektroinštitut Milan Vidmar.




Po *Uredbi o benzenu in ogljikovem monoksidu v zunanjem zraku (Ur.l.RS, št.52/02)* je le za benzen predpisana **letna mejna vrednost koncentracije za zaščito zdravja** (glej poglavje 1.1). Glavni viri emisije organskih spojin so promet, industrija, pri kateri se uporabljajo oziroma se proizvajajo veziva, barve, topila, aerosoli, ter industrija nafte in plina.

Letni pregled parametrov, ki kažejo na onesnaženost zraka z BTX za leto 2010, podaja tabela 2.3.7.(1), mesečne koncentracije benzena pa tabela 2.3.7.(2) v prilogi.

**Tabela 2.3.7.(1):** Povprečna letna koncentracija lahkohlapnih ogljikovodikov zraku ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) v letu 2010

Postaje	% pod	benzen $C_p$	toluen $C_p$	etilbenzen $C_p$	m,p-ksilen $C_p$	o-ksilen $C_p$
Ljubljana Bežigrad	95	1,8	4,0	0,7	2,4	0,6
Ljubljana center	96	3,8	9,3	1,2	7,5	1,0
Maribor center	95	1,8	3,2	0,7	2,3	0,7

Legenda:

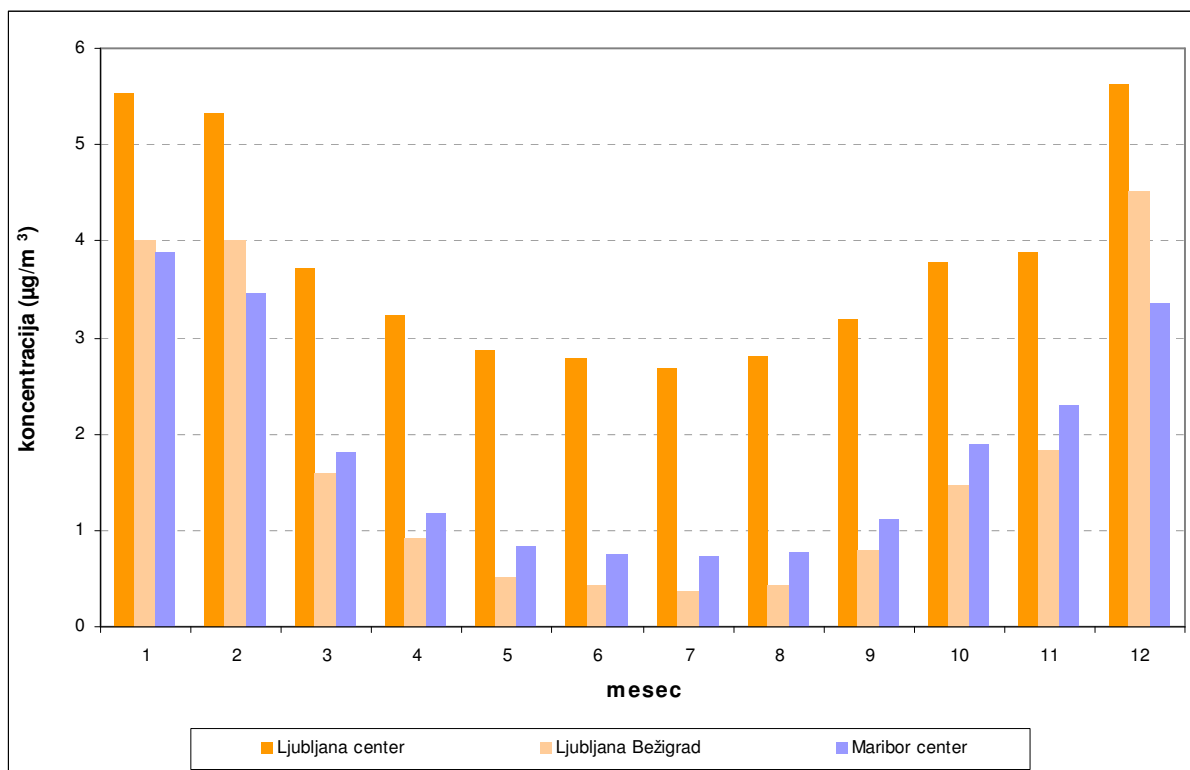
-  prekoračen zgornji ocenjevalni prag
-  prekoračen spodnji ocenjevalni prag
-  koncentracija pod spodnjim ocenjevalnim pragom

**Povprečna letna koncentracija benzena** je bila na lokacijah Ljubljana Bežigrad in Maribor center pod spodnjim ocenjevalnim pragom, na prometnem merilnem mestu **Ljubljana center pa nad zgornjim ocenjevalnim pragom**. Na podlagi razpoložljivih meritev (tudi iz zimske merilne kampanje z difuzivnimi vzorčevalniki v letu 2009) sklepamo, da mejna letna vrednost koncentracije benzena v Sloveniji ni nikjer prekoračena, saj je na najbolj prometnem merilnem mestu Ljubljana center dosegla tri četrtine mejne vrednosti  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

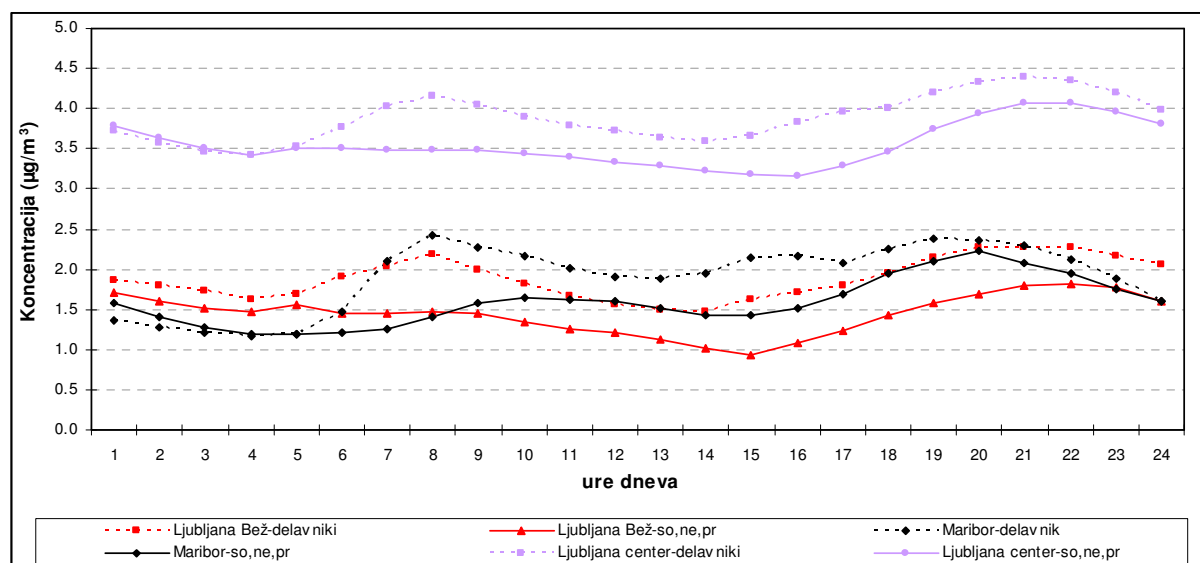
**Letni hod** z nižjimi koncentracijami poleti in višjimi pozimi je izrazit.



Merilnik ogljikovodikov (foto: Tanja Koleča)



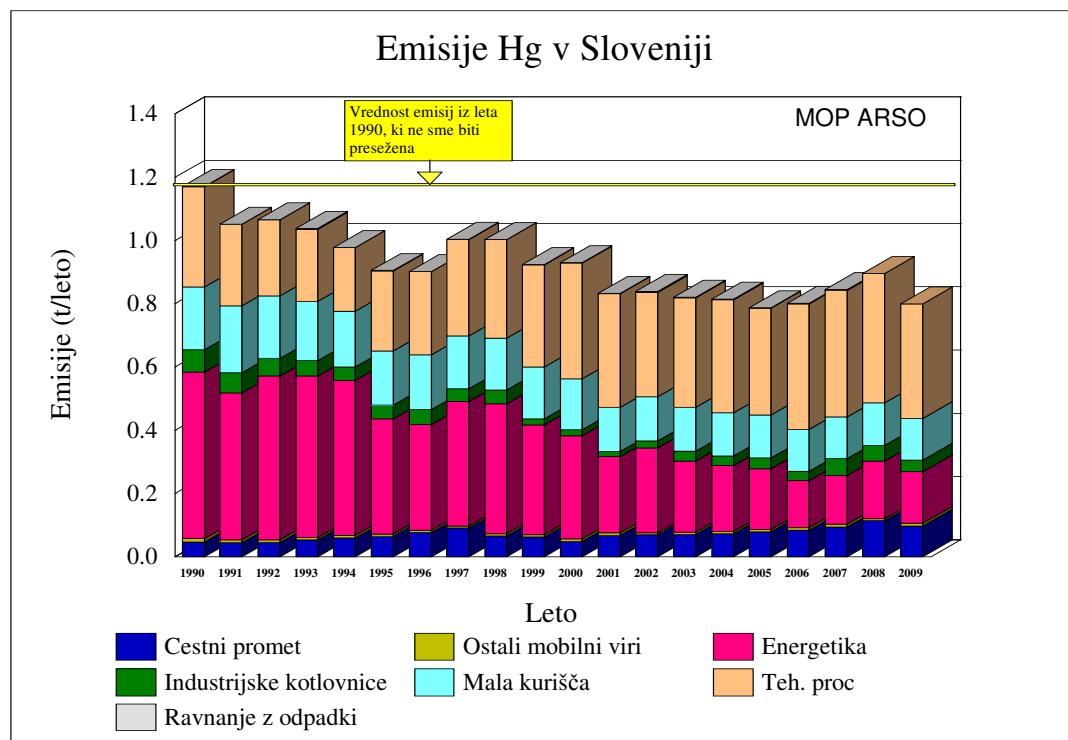
Slika 2.3.7.(2): Povprečne mesečne koncentracije benzena v letu 2010



Slika 2.3.7.(3): Dnevni hod koncentracij benzena na merilnih mestih Ljubljana Bežigrad, Ljubljana center in Maribor center za leto 2010

### 2.3.8. Živo srebro v zunanjem zraku

#### Emisije živega srebra (leto 2009)



Slika 2.3.8.(1): Emisije Hg Sloveniji

Letni izpusti živega srebra (Hg) v Sloveniji so se od leta 1990 do leta 2009 zmanjšali za 30,3 %. V letu 1995 in 2001 so se izpusti Hg znatno znižali, predvsem zaradi delovanja razžvepljevalne naprave na bloku 4 (1995) in 5 (2001) v TE – Šoštanj in 2005 TE Trbovlje. Po letu 2006 pa se izpusti Hg ponovno povečujejo, tako zaradi povečevanja v sektorju cestni promet, kot tudi v sektorju proizvodnji procesi. V zadnjem letu pa so se izpusti Hg znižali zaradi manjše porabe energentov v sektorjih: energetika, industrijske kotlovnice in mala kurišča, še zlasti pa so se znižali v sektorju tehnološki procesi.

Največji delež k skupnim izpustom 0,816 t Hg v letu 2009 prispevajo industrijski procesi in sicer 44,3 %.

#### Onesnaženost zraka s Hg

V skladu z Uredbo o arzeniu, kadmiju, živem srebru, niklju in policikličnih aromatskih ogljikovodikih v zunanjem zraku (Ur.l.RS, št.56/2006) je potrebno v zunanjem zraku izvajati meritve živega srebra. Te meritve je za Agencijo RS za okolje na merilni lokaciji ekološko-meteorološke postaje Iskrba izvajal Institut Jožef Štefan, Odsek za znanost o okolju.

Meritve živega srebra v zraku so izvajali z detektorjem za Hg "Mercury Ultratracer UT-3000" proizvajalca Mercury Instruments Analytical Technologies iz Nemčije.

Meritve celotnega plinastega živega srebra so avtomatizirane. Med obratovanjem inštrument črpa vzorčevalni plin skozi 0,45 µm PTFE filter preko zlate pasti, kjer se živo srebro amalgamira na zlato



prahu, sledi termična desorpcija iz zlate pasti ter nato detekcija na AAS (atomska absorpcijska spektrometrija). Volumen prečrpanega vzorčevalnega plina je odvisen od trajanja vzorčenja.

Na sliki je prikazan inštrument za merjenje živega srebra na merilni postaji Iskrba.



Merilnik živega srebra Mercury Ultratracer UT-3000 na merilni postaji Iskrba s prenosnim računalnikom za odčitavanje izmerjenih podatkov (foto:Tanja Koleša)

Detektor črpa zrak iz zunanosti do detektorja preko okoli 2 m dolge teflonske cevi. Instrument je nastavljen na čas vzorčevanja 1 uro in 40 l prečrpanega zraka. Meritve so odčitane vsake pol ure.

Povprečne mesečne koncentracije in povprečna letna vrednost, vključno z osnovnimi statističnimi parametri Hg v zraku, so navedene v tabeli (2.3.8.(1)).

**Tabela 2.3.8.(1):** Rezultati meritev vsebnosti Hg v zraku na Iskrbi v letu 2010

Mesec	Število meritev	Najnižja vrednost (ng m <sup>-3</sup> )	Najvišja vrednost (ng m <sup>-3</sup> )	Povprečje (ng m <sup>-3</sup> )
Januar	111	/	/	/
Februar	1162	0,8	2,7	1,8
Marec	1394	0,4	2,5	1,0
April	802	1	2,6	1,5
Maj	822	0,2	1,4	0,5
Junij	1349	0,2	1,3	0,7
Julij	821	0,5	1,8	0,9
Avgust	955	0,5	1,9	1,0
September	1420	1,4	2,0	1,7
Oktober	1453	1,2	2,4	1,7
November	1377	1,5	2,5	1,8
December	1724	1,5	2,3	1,8
<b>Povprečje/Skupaj</b>	<b>13390</b>	<b>0,2</b>	<b>2,7</b>	<b>1,3</b>

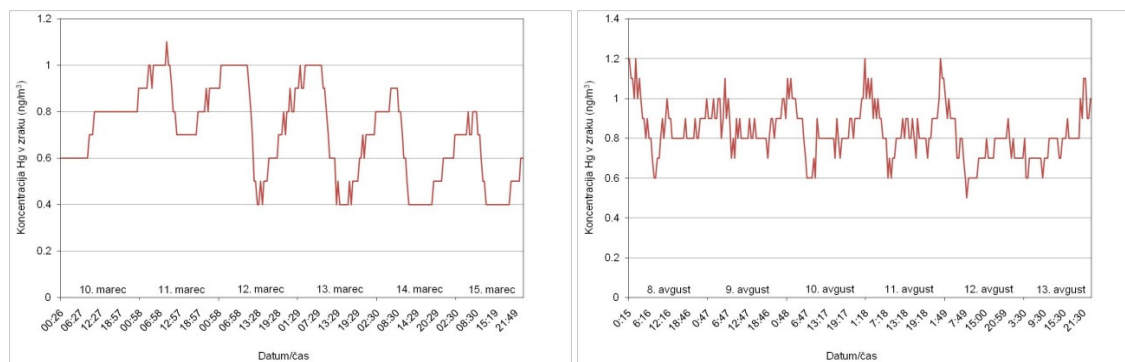
/ merilnik ni deloval

Najnižja koncentracija elementarnega plinastega Hg v zraku na merilni postaji Iskrba v letu 2010 je bila izmerjena v obdobju med majem in junijem, ko so se vrednosti gibale med 0,2 in 1,4 ng/m<sup>3</sup>, s povprečno mesečno koncentracijo 0,5 in 0,7 ng/m<sup>3</sup>. Najvišje vsebnosti Hg v zraku so bile zabeležene med februarjem in aprilom (2,5 do 2,7 ng/m<sup>3</sup>). Najvišje povprečne mesečne vrednosti so bile izmerjene januarja, februarja, novembra in decembra (1,8 ng/m<sup>3</sup>). V meritvenem obdobju za leto 2010 je bila povprečna koncentracija Hg v zraku 1,3 ng/m<sup>3</sup> s standardnim odklonom 0,5, kar je nižje od leta 2008 in 2009 (2,3 in 1,6 ng/m<sup>3</sup>).

V zraku je živo srebro večinoma (nad 80 %) prisotno kot plinasto elementarno Hg (Hg<sup>0</sup>) z zadrževalnim časom od nekaj mesecev do enega ali dveh let ter je dokaj enakomerno razporejeno po troposferi /37/. Na podeželskih področjih Slovenije so značilne koncentracije, ki so tipične tudi za neonesnažena področja severne hemisfere, in sicer okoli 2 ng/m<sup>3</sup> /37/. Za področje severne Evrope poročajo o nižjih koncentracijah v poletnih mesecih (2 - 3 ng/m<sup>3</sup>), ter nekoliko višjih (3 - 4 ng/m<sup>3</sup>) v zimskih mesecih /37/, ko se poveča kurjenje fosilnih goriv, ki je tudi največji antropogeni vir Hg v atmosferi.

Podobna sezonska razporeditev se kaže tudi na merilni postaji Iskrba, kjer ugotavljamo, da so v zimskih mesecih koncentracije Hg v zraku nekoliko višje kot poleti.

Za koncentracije živega srebra v zraku so značilne dnevne in sezonske variacije. Podnevi se zaradi višjih temperatur in sončne svetlobe poveča izhlapevanje iz zemeljske skorje, kar ima za posledico višje koncentracije Hg v zraku tekom dneva. Podobno velja, da so v poletnih in bolj toplih mesecih koncentracije v zraku višje kot v hladnejših obdobjih. V obdobjih s snežno odejo so koncentracije Hg v zraku praviloma nekajkrat nižje kot med obdobji, ko snežne odeje ni. Za koncentracije Hg v zraku, izmerjene na Iskrbi, lahko rečemo, da so v razponu značilnih koncentracij, ki veljajo za območje neonesnaženih predelov severne hemisfere, opazne pa so tudi dnevne variacije (slika 2.3.8.(1)), ki pa so zelo majhne.



**Slika 2.3.8.(1):** Primer dnevni variacij koncentracije živega srebra v zraku v a.) zimskem in b.) poletnem času

### 2.3.9. Žveplove in dušikove spojine ter anorganski ioni

V tem poglavju podajamo meritve oksidirane žvepla ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ), oksidirane dušika ( $\text{HNO}_3+\text{NO}_3^-$ ), reducirane dušika ( $\text{NH}_3+\text{NH}_4^+$ ) in anorganskih ionov ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ), ki dajejo informacijo o kislno-alkalnih komponentah v zraku. Navedene parametre spremljamo v okviru mednarodnega programa EMEP. Koncentracije so podane v enotah  $\mu\text{g}$  posameznega elementa/ $\text{m}^3$ .

V tabeli 2.3.9.(1) podajamo povprečne in maksimalne koncentracije za nekurilno sezono (april – september), kurilno sezono (oktober – marec) ter za celo leto. Na slikah 2.3.9.(1) in 2.3.9.(2) ter v tabeli 2.3.9.(2) v prilogi pa so prikazane povprečne mesečne koncentracije za izmerjene parametre.

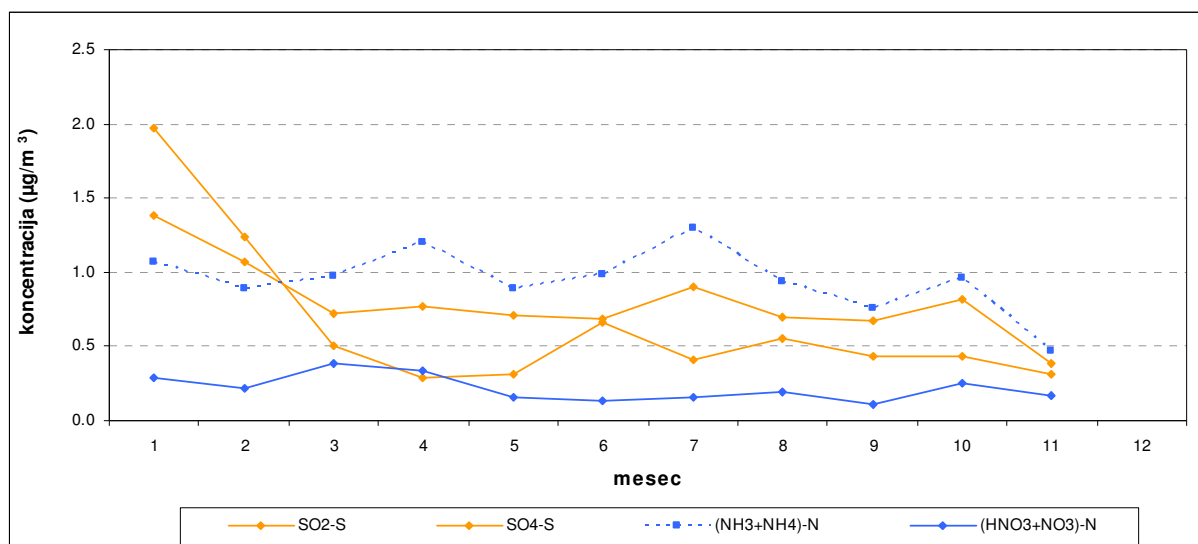
Zaradi težav z zajemom zunanega zraka podatki za december 2010 niso vključeni v poročilo, kar vpliva na letna in zimska povprečja koncentracij. Vrednosti bi bile sicer za spoznanje višje od prikazanih.

**Tabela 2.3.9.(1):** Povprečne in maksimalne koncentracije za žveplo, dušik in druge anorganske ione v zraku na Iskrbi za nekurilno sezono, kurilno sezono ter za celo leto 2010

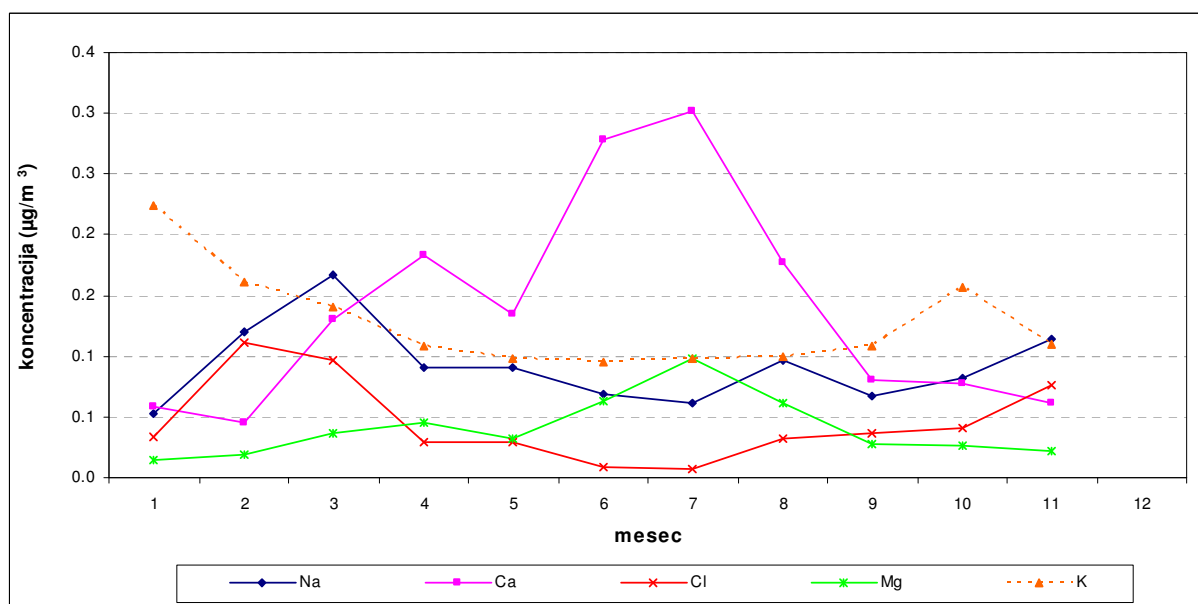
Parameter	Statistična količina	April-september ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Januar-marec in Okt.-dec. ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Jan.-dec.* ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
$\text{SO}_4^{2-}\text{-S}$	c-povprečna	0,744	0,873	0,802
	c-maksimalna	2,484	5,010	5,010
$\text{SO}_2\text{-S}$	c-povprečna	0,443	0,887	0,643
	c-maksimalna	3,604	9,993	9,993
$(\text{HNO}_3+\text{NO}_3^-)\text{-N}$	c-povprečna	0,178	0,262	0,216
	c-maksimalna	1,156	1,236	1,236
$(\text{NH}_3+\text{NH}_4^+)\text{-N}$	c-povprečna	1,014	0,873	0,950
	c-maksimalna	2,569	3,066	3,066
$\text{Cl}^-$	c-povprečna	0,022	0,074	0,045
	c-maksimalna	0,344	1,227	1,227
$\text{Ca}^{2+}$	c-povprečna	0,193	0,075	0,140
	c-maksimalna	1,253	0,364	1,253
$\text{Mg}^{2+}$	c-povprečna	0,055	0,024	0,041
	c-maksimalna	0,302	0,140	0,302
$\text{Na}^+$	c-povprečna	0,077	0,110	0,092
	c-maksimalna	0,434	1,118	1,118
$\text{K}^+$	c-povprečna	0,102	0,158	0,127
	c-maksimalna	0,292	0,511	0,511

\* Zaradi težav z zajemom zunanega zraka v decembru 2010 podatkov za december nismo uporabili.

Povprečne koncentracije  $\text{SO}_4^{2-}\text{-S}$  in  $\text{SO}_2\text{-S}$  so bile v vseh merilnih obdobjih nižje kot v preteklem letu. Povprečne koncentracije  $(\text{HNO}_3+\text{NO}_3^-)\text{-N}$  so bile za spoznanje višje kot lansko leto, med tem ko je bila povprečna koncentracija  $(\text{NH}_3+\text{NH}_4^+)\text{-N}$  v nekurilni sezoni nekoliko nižja, v kurilni pa nekoliko višja glede na preteklo leto. V primerjavi z lanskim letom pa so se za spoznanje znižale koncentracije  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  in  $\text{K}^+$  ionov.



**Slika 2.3.9.(1):** Povprečne mesečne koncentracije žveplovega dioksida SO<sub>2</sub> in sulfatnega aerosola SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> v zraku (izraženo kot žveplo) ter oksidiranega dušika (HNO<sub>3</sub> + NO<sub>3</sub>) in reduciranega dušika (NH<sub>3</sub> + NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) v zraku (izraženo kot dušik) na Iskrbi za leto 2010 (Opomba: Zaradi težav z zajemom zunanjega zraka v decembru 2010 podatkov za december nismo upoštevali)



**Slika 2.3.9.(2):** Povprečne mesečne koncentracije natrija, kalcija, klorida, magnezija in kalija v zraku na Iskrbi za leto 2010 (Opomba: Zaradi težav z zajemom zunanjega zraka v decembru 2010 podatkov za december nismo upoštevali)

### Časovni trendi onesnaženosti zraka z žveplovimi in dušikovimi spojinami

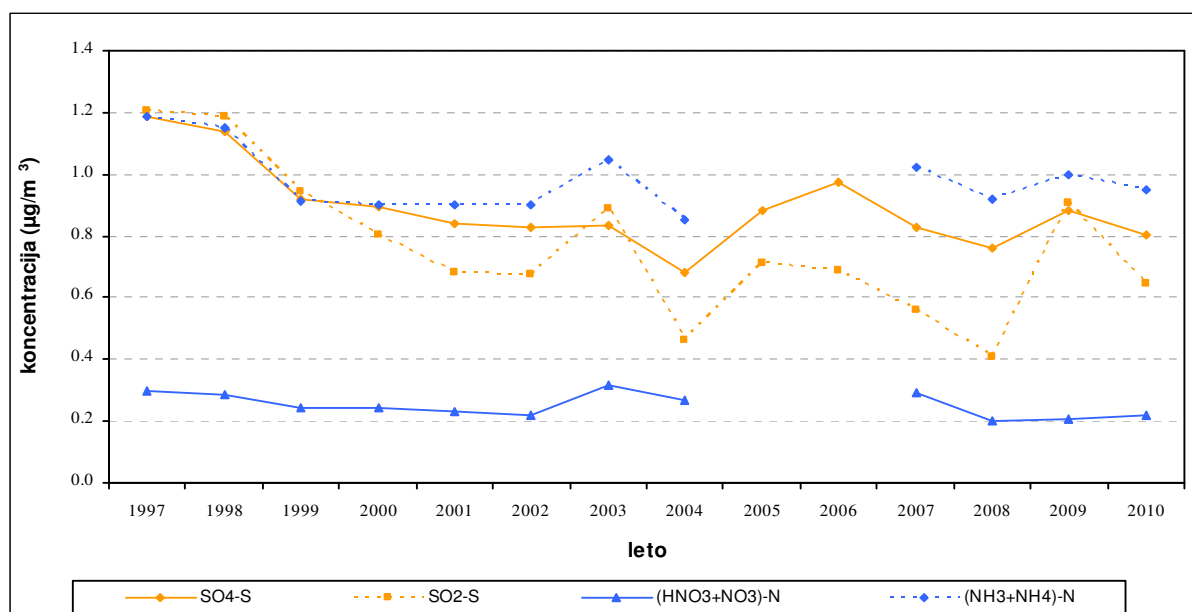
Dolgoletne povprečne koncentracije žveplovih in dušikovih spojin v zraku so prikazane na sliki 2.3.9.(3).

V letu 2010 so na merilnem mestu Iskrba koncentracije žveplovih in dušikovih spojin v zraku spet nekoliko padle, in to na raven iz leta 2008.

Medletna nihanja povprečnih koncentracij posameznih onesnaževal so v glavnem posledica različnih vremenskih razmer. V glavnem gre za dva vpliva (slika 2.3.9.(3)):

- čim več je padavin, tem manjša je koncentracija posameznih ionov,
- čim daljša so obdobja brez padavin, večja je akumulacija posameznih ionov in s tem koncentracija.

Kljub razmeroma konstantnim letnim količinam in pogostosti padavin pa se nakazujejo trendi upadanja koncentracij  $\text{SO}_2\text{-S}$  in  $\text{SO}_4^{2-}\text{-S}$ . Ocenjujemo, da so razlogi za upadanje koncentracije teh dveh onesnaževal: manjša uporaba premoga pri proizvodnji energije in dograjevanje razžvepljevalnih naprav za čiščenje dimnih plinov.



**Slika 2.3.9.(3):** Povprečne letne koncentracije sulfatnega aerosola  $\text{SO}_4^{2-}$  in žveplovega dioksida  $\text{SO}_2$  v zraku (izraženo kot žveplo) ter oksidirane dušika ( $\text{HNO}_3 + \text{NO}_3^-$ ) in reducirane dušika ( $\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$ ) v zraku (izraženo kot dušik) na Iskrbi za obdobje 1997 - 2010 - dnevno vzorčenje (Opomba: Zaradi težav z zajemom zunanjega zraka v decembru 2010 podatkov za december nismo upoštevali)

### 3. MERITVE KAKOVOSTI ZRAKA Z MOBILNO POSTAJO



Namen meritev z avtomatsko mobilno ekološko-meteorološko postajo je pridobiti podatke o kakovosti zraka na območjih, kjer ni meritev s stalnimi postajami. Mobilna postaja deluje enako in meri iste ekološke in meteorološke parametre kot vse ostale stalne postaje v avtomatski merilni mreži.



Podatki so obdelani po predpisanih postopkih evropske okoljske agencije in v skladu s predpisi, ki veljajo na področju kakovosti zunanega zraka za žveplov dioksid, dušikove okside, ogljikov monoksid, delce PM<sub>10</sub>, ogljikovodike in ozon (glej poglavje 1).

Tu objavljamo le glavne poudarke iz povzetkov posameznih poročil /34, 35, 36/. Poročila so javnosti dostopna preko Atlasa okolja Agencije RS za okolje.

### Črnomelj (5.11. 2009 – 21.1.2010)



Mobilna postaja je bila locirana v ožjem središču Črnomlja pri otroškem vrtcu na Čardaku. V okolici so naslednji viri onesnaževal: tovarna Danfoss, livarna Livar, kotlovnica Dolb, lokalna cesta, manjše parkirišče, individualna mala kurišča, v času meritev tudi manjše gradbišče.

Lokacijo merilnega mesta mobilne postaje v Črnomlju uvrščamo po sedaj veljavni mednarodni klasifikaciji v mestno ozadje (UB) v pretežno stanovanjskem okolju.

Meritve z mobilno postajo so potekale v zimskem času, ko je onesnaženost zraka predvsem v notranjosti Slovenije zaradi povečanih emisij iz ogrevalnih naprav – v našem primeru predvsem individualnih kurišč – in zaradi neugodnih vremenskih razmer (temperaturne inverzije ob mirnem, stabilnem vremenu) največja.

Črnomelj leži v najnižjem delu Bele krajine. Na zahodni strani ga v neposredni bližini obdajajo gore. Z njih se steka ponoči hladen zrak, da nastajajo neugodne temperaturne inverzije v ravninskem delu, v dopoldanskem času predvsem poleti, ko je sonce višje in ima večjo moč, nastane vzgonski tok zraka po omenjenih pobočjih. Tako ima Črnomelj, kar se tiče kakovosti zraka, pozimi neugodne, poleti pa ugodne vremenske razmere.

Onesnaženost zraka z onesnaževali, ki izvirajo pretežno iz prometa (v našem primeru NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>), je odvisna od oddaljenosti merilnega mesta od prometnih poti in od velikosti samega naselja in s tem posledično od frekvence prometa na območju celotnega naselja.

Rezultati meritev na lokaciji mobilne postaje v Črnomlju in na lokacijah stalne merilne mreže DMKZ med 5. novembrom 2009 in 21. januarjem 2010 kažejo te značilnosti:

- **Urne koncentracije NO<sub>2</sub>** so prekoračile zgornji ocenjevalni prag (ZOP) na prometnem merilnem mestu Maribor center in v Celju, spodnji ocenjevalni prag (SOP) v Ljubljani in Novi Gorici, drugod – tudi v Črnomlju - pa niso prekoračile SOP.



- **Povprečna koncentracija  $NO_2$**  je bila prav tako najvišja na zgoraj naštetih štirih najbolj onesnaženih merilnih mestih, medtem ko je bila v Črnomlju npr. enkrat nižja kot v Ljubljani. Enako velja tudi za povprečno koncentracijo  $NO_x$ , ki je sicer aktualna na podeželskih merilnih mestih, ki so reprezentativna za zaščito vegetacije in ekosistemov.
- **Onesnaženost zraka z delci  $PM_{10}$**  je bila v Črnomlju najvišja med vsemi merilnimi mesti v Sloveniji – tako po številu prekoračitev urne mejne koncentracije kot tudi po povprečni in po maksimalni urni koncentraciji.
- Koncentracija **ozona** v Črnomlju je bila na ravni večine drugih krajev v notranjosti Slovenije. Sicer onesnaženost zraka z ozonom v zimskem času ni problematična.

### Idrija (27.1.-20.5.2010)



Mobilna postaja v Idriji je bila locirana približno 200 metrov južno od središča mesta in kakih 10 metrov nad dnem doline, kjer je mestno središče. V neposredni bližini so nižje stavbe komunalnega podjetja in manjše parkirišče. Po podatkih iz emisijskih evidenc za leto 2009 v Idriji ni večjih industrijskih virov emisije, tako da večino onesnaženja povzročajo individualna kurišča in promet v mestu. Nobena od večjih kotlovnice ne vpliva neposredno na lokacijo mobilne postaje. Vsekakor so bolj problematična mala kurišča, od katerih polovica uporablja za gorivo drva. Lokacijo merilnega mesta mobilne postaje uvrščamo po sedaj veljavni mednarodni klasifikaciji v predmestno ozadje (SB) v poslovno-stanovanjskem okolju.

Idrija leži na stičišču glavne doline Idrijce, ki ima velik nagib – spušča se proti severu, in manjših stranskih dolin, ki imajo prav tako velik nagib. Obkrožajo jo strma pobočja. Vse to ugodno vpliva na kakovost zraka, ker se predvsem v zimskem času zrak stalno steka proti mestu in naprej po dolini Idrijce navzdol proti Spodnji Idriji.

Meritve z mobilno postajo so potekale v zimskem času, ko je onesnaženost zraka zaradi stabilnega prizemnega sloja atmosfere največja, in v spomladanskem času, ko je onesnaženost zraka že manjša.

Onesnaženost zraka z onesnaževali, ki izvirajo pretežno iz prometa ( $NO_2$ ,  $NO_x$  in CO, ki pa ga v Idriji nismo merili), je odvisna od oddaljenosti merilnega mesta od prometnih poti in od velikosti samega naselja in s tem posledično od frekvence prometa na območju celotnega naselja.

Rezultati meritev na lokaciji mobilne postaje v Idriji in na mestnih merilnih mestih stalne merilne mreže DMKZ med 27. januarjem in 20. majem 2010 kažejo te značilnosti:

- **Urne koncentracije  $NO_2$**  so prekoračile zgornji ocenjevalni prag (ZOP) na merilnem mestu Ljubljana Bežigrad, na večini drugih mestnih lokacij pa spodnji ocenjevalni prag (SOP). V Idriji, Trbovljah in Hrastniku so bile urne koncentracije pod SOP. **Povprečna koncentracija  $NO_2$**  za čas meritev je prekoračila ZOP na merilnih mestih Ljubljana Bežigrad in Maribor center, drugod je bila med SOP in ZOP, ali pa pod SOP. V Idriji je bila koncentracija najnižja med vsemi merilnimi mesti.
- **Onesnaženost zraka z delci  $PM_{10}$**  v Idriji je bila na ravni onesnaženosti na drugih merilnih mestih mestnega ozadja v Sloveniji – tako po številu prekoračitev mejne dnevne koncentracije kot tudi po povprečni koncentraciji za ves čas meritev. Večja onesnaženost je bila na prometnih mestnih merilnih mestih, pri čemer posebej izstopata Zasavje (Zagorje, Trbovlje) in zelo prometna lokacija Ljubljana center. Predvsem v mestih v Zasavju vplivajo na kakovost zraka lokalna industrija in v zimskem času tudi individualna kurišča, kar skupaj z zelo neugodno lego v ozkih dolinah, ki niso tako nagnjene kot npr. dolina Idrijce, poslabšuje kakovost zraka.
- **Koncentracija  $SO_2$**  v Sloveniji že nekaj let ni več problematična, saj so na velikih termoenergetskih in industrijskih objektih vgrajene razžvepljevalne naprave, pa tudi tehnologija v industriji in kurivo v ogrevalnih napravah sta čistejša. Ponekod, kjer ni dovolj razvejano daljinsko ogrevanje, pa onesnažujejo zrak pozimi z delci, pa tudi z  $SO_2$  manjše kotlovnice in individualna kurišča, ki uporabljajo za gorivo les, lesne odpadke, pa tudi premog. To velja tudi za Idrijo. V Idriji je bila koncentracija sicer najnižja med večjimi mesti v Sloveniji.

### Celje (22.5.-18.10.2010)



Mobilna postaja je bila locirana v severnem delu gosto naseljenega dela mesta Celja, 1 kilometer severno od merilnega mesta stalne postaje ARSO, ki je vključena v državno mrežo za spremljanje kakovosti zraka (DMKZ) in stoji na prostoru splošne bolnišnice Celje. Ker so edino problematično onesnaževalo na obeh merilnih mestih – tako kot drugod v gosteje naseljenih območjih Slovenije delci  $PM_{10}$ , navajamo sledeče večje vire emisije prahu:

- Cinkarna Celje, 2 kilometra vzhodno od lokacije mobilne postaje in postaje ARSO - 39.000 kg/leto,
- Železarna Štore (več enot), 5 do 6 kilometrov vzhodno od lokacije mobilne postaje in postaje ARSO - 7,700 kg/leto,
- manjši industrijski objekti, toplarna Celje in manjše kotlovnice – skupno 4,800 kg/leto

Lokacijo merilnega mesta mobilne postaje v Celju uvrščamo po sedaj veljavni mednarodni klasifikaciji tako kot stalno merilno postajo ARSO v mestno ozadje (UB) v pretežno stanovanjskem okolju.

Meritve z mobilno postajo so potekale pretežno v toplem delu leta, ko je onesnaženost zraka predvsem v notranjosti Slovenije manjša kot v zimskem času, ko so razmere slabše zaradi neugodnejših vremenskih razmer (temperaturne inverzije ob mirnem, stabilnem vremenu) in zaradi dodatnih emisij iz ogrevalnih naprav, predvsem iz individualnih kurišč.

Celje leži v najnižjem delu Celjske kotline, zato so zaradi že omenjenih vremenskih značilnosti v hladnem delu leta razmere glede kakovosti zraka neugodne. Še najbolj podobne pogoje najdemo v Ljubljani, ki leži v najnižjem delu Ljubljanske kotline.

Značilno za čas meritev med 22. majem in 18. oktobrom 2010 je bilo nestanovitno vreme v poletju in v začetku jeseni, kar je ugodno vplivalo na kakovost zraka. Šele med 7. in 16. oktobrom smo imeli obdobje stabilnega jesenskega vremena, ko so koncentracije onesnaževal dosegle višje vrednosti.

Iz meritev na lokaciji mobilne postaje in na lokaciji stalne merilne postaje ARSO v Celju je razvidno, da je bila onesnaženost zraka na obeh merilnih mestih skoraj enaka. Razlog za nekoliko višje koncentracije dušikovega dioksida in ogljikovega monoksida na lokaciji mobilne postaje je neposredni vpliv prometa z bližnje Drapšinove ulice.

Rezultati meritev na obeh merilnih mestih Celju in na drugih lokacijah stalne merilne mreže DMKZ med 22. majem in 18. oktobrom 2010 kažejo sledeče splošne značilnosti:

- **Onesnaženost zraka z delci  $PM_{10}$**  je bila v naseljenih območjih po Sloveniji precej enakomerna. Število prekoračitev mejne dnevne koncentracije je bilo med 0 in 3, vse prekoračitve so se pojavile v že omenjenem obdobju suhega vremena med 7. in 16. oktobrom. V poletnem času preseganj dnevne mejne vrednosti ni bilo.
- **Urne koncentracije  $NO_2$**  so bile povsod pod spodnjim ocenjevalnim pragom (SOP) razen ene same prekoračitve SOP na zelo prometnem merilnem mestu Maribor center.
- **Najvišje 8-urne koncentracije  $CO$**  so bile povsod, tudi na najbolj prometni lokaciji v Mariboru, precej pod spodnjim ocenjevalnim pragom.
- **Onesnaženost zraka z  $SO_2$**  že nekaj let v Sloveniji ni več problematično. Spodnji ocenjevalni prag je bil prekoračen le v Zasavju, kjer je največ virov emisije – tudi individualna kurišča v zimskem času.
- **Povprečna koncentracija in število prekoračitev 8-urne ciljne koncentracije ozona** v Celju sta bila na ravni večine drugih krajev v notranjosti Slovenije. Prekoračitve urne opozorilne koncentracije so se pojavile v poletnem času le na Primorskem in na Krvavcu. Tudi sicer je problematika onesnaženosti zraka z ozonom v zadnjih nekaj letih zaradi nestanovitnih oziroma neizrazitih poletij omejena le na obalno in primorsko območje.



#### 4. MERITVE KAKOVOSTI ZRAKA Z DIFUZIVNIMI VZORČEVALNIKI



Meritve z difuzivnimi vzorčevalniki izvajamo na Agenciji RS za okolje kot dopolnilo merilni mreži avtomatskih meritev in kot pomoč za oceno onesnaženosti na širšem področju Slovenije, katerega merilna mreža avtomatskih meritev ne pokriva. V letu 2010 smo izvedli eno merilno kampanjo in sicer v mesecu aprilu z namenom ugotavljanja ravni onesnaženja zunanjega zraka z dušikovim dioksidom v krajih po Sloveniji. Večino difuzivnih vzorčevalnikov smo izpostavili v stanovanjskih naseljih na neprometnih lokacijah, zato so po pričakovanjih koncentracije vseh parametrov nizke. Največje koncentracije dušikovega dioksida smo izmerili v večjih mestih: Ljubljana, Celje, Vrhnika in Ivančna Gorica.

Difuzivni vzorčevalniki merijo prisotnost določenih snovi v zunanjem zraku z metodo pasivnega vzorčenja, kar pomeni, da vanje zraka ne dovajamo s pomočjo črpalke, pač pa so le izpostavljeni zunanjim razmeram. Stopnja vzorčenja je nadzorovana s stopnjo difuzije onesnažila. Difuzivni vzorčevalniki so tako cevke, v katerih se vzpostavi linearen difuzijski gradient med koncentracijo v zraku na eni strani in ničelno koncentracijo na drugi strani cevke, kjer je nameščen adsorbent. Molekule plina potujejo do adsorbenta po principu difuzije. Prednost merjenja z difuzivnimi vzorčevalniki so, da le-ti ne potrebujejo elektrike, so tihi, ne potrebujejo kalibracije na terenu, imajo širok koncentracijski razpon, so stroškovno učinkoviti, meritve pa izvajamo in situ. Seveda pa imajo tovrstne meritve tudi slabosti, saj je potrebno veliko ročnega dela v laboratoriju, dobimo pa lahko le povprečne koncentracije v času, ko je bil vzorčevalnik postavljen na merilno mesto. Tako kot ostale meritve so lahko tudi meritve z difuzivnim vzorčevalnikom obremenjene z napakami, ki so lahko nepojasnjenega vzroka.

Agencija RS za okolje je uvedla meritve z difuzivnimi vzorčevalniki kot dopolnilo merilni mreži avtomatskih meritev in kot pomoč za oceno onesnaženosti na širšem področju Slovenije, katerega merilna mreža avtomatskih meritev ne pokriva. Z difuzivnimi vzorčevalniki smo v letu 2010 merili dušikov dioksid.

Slika prikazuje ohišje difuzivnega vzorčevalnika v katerem je prostor za tri difuzivne vzorčevalnike. Na drugi sliki je prikazan difuzivni vzorčevalnik za anorganske spojine. Zrak vstopa v vzorčevalnik na spodnji strani cevke.



Ohišje difuzivnega vzorčevalnika (levo) in difuzivni vzorčevalnik za anorganske spojine (desno) (foto: Tanja Koleša)

V letu 2010 smo izvedli eno merilno kampanjo in v tabeli 4.(1) je opisan namen, obdobje in parametri, ki so bili vzorčeni v posamezni kampanji.

**Tabela 4.(1):** Popis merilne kampanje v letu 2010

Začetek meritev	Konec meritev	Obdobje	Namen	Meritve
8.4.2010	21.4.2010	pomlad	Ugotavljanje ravni onesnaženja z dušikovim dioksidom v krajih po Sloveniji	NO <sub>2</sub>

V tabeli 4.(2) so z geografskimi značilnostmi opisana vsa merilna mesta po Sloveniji na katerih smo v letu 2010 izvajali meritve z difuzivnimi vzorčevalniki ter koncentracije dušikovega dioksida.

**Tabela 4.(2):** Merilna mesta in njihove geografske značilnosti ter povprečne koncentracije NO<sub>2</sub> v merilni kampanji v letu 2010

Merilno mesto	Gauss-Kruegerjeve koordinate		Nadmorska višina	Tip območja	Tip merilnega mesta	Značilnost območja	Geografska značilnost	NO <sub>2</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]
	GKKy	GKKx	[m]					
Ljubljana Bežigrad (ARSO)	462675	102490	299	U	B	R	2	32,0
Zalec	512667	122945	254	S	B	R	16	18,0
Celje	520617	121183	238	U	B	R	16	25,1
Štore	524232	119891	263	S	B	R	32	16,5
Ruše	539623	155751	296	NC	I	I	2	9,5
Vuzenica	512698	161257	333	NC	I	R	2	11,4
Ravne	497687	155730	384	U	B	R	2	16,6
Velenje	508974	135131	388	U	B	R	16	14,2
Idrija-mobilna postaja	424733	95608	331	S	B	C	2	12,0
Idrija	424679	95637	328	U	T	R/C	2	16,9
Logatec	440842	86259	475	U	B	R	16	12,5
Vrhnika	445603	91302	294	U	B	R	16	21,8
Borovnica	451047	88321	290	R	T	A	16	14,3
Cerknica	450933	72203	563	U	B	R	16	11,0
Pivka	437792	59676	552	S	B	R/I	32	11,2
Ivančna Gorica	485705	88495	332	U	B	R	32	20,8

**Legenda: Tip m. mesta:**

B – ozadje

T – promet

I - industrijsko

**Tip območja:**

REG - regionalno

U – mestno

S – predmestno

R - podeželsko

NC - obmestno

**Značilnost območja:**

R – stanovanjsko

C- poslovno

I - industrijsko

A - kmetijsko

**Geografska značilnost:**

1 – gorsko

2 - dolina

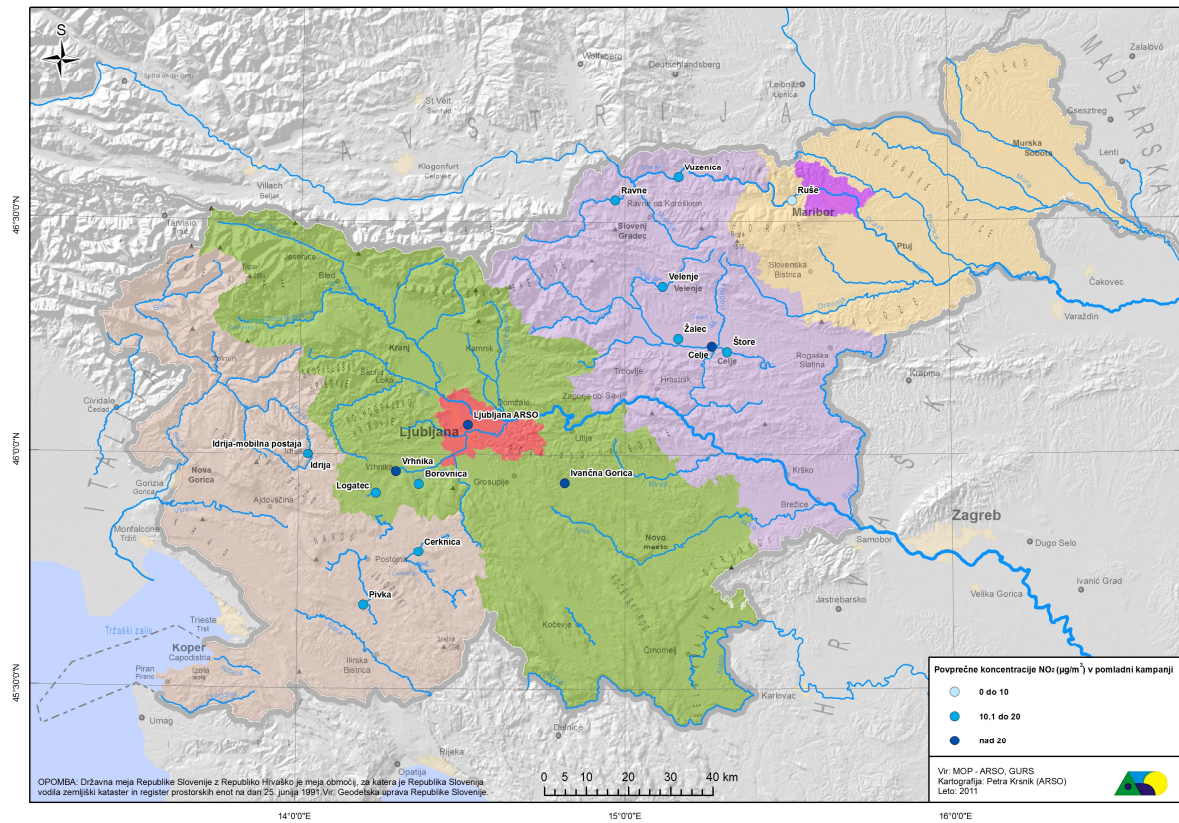
4 – obala

16 – ravnina

32 – razgibano

V pomladni merilni kampanji smo na različnih merilnih mestih po Sloveniji izmerili koncentracije dušikovega dioksida. Večino difuzivnih vzorčevalnikov smo izpostavili v stanovanjskih naseljih na neprometnih lokacijah tabela 4.(2), zato so po pričakovanjih koncentracije nizke. Najvišje koncentracije dušikovega dioksida smo izmerili v večjih mestih: Ljubljana, Celje, Vrhnika in Ivančna Gorica.

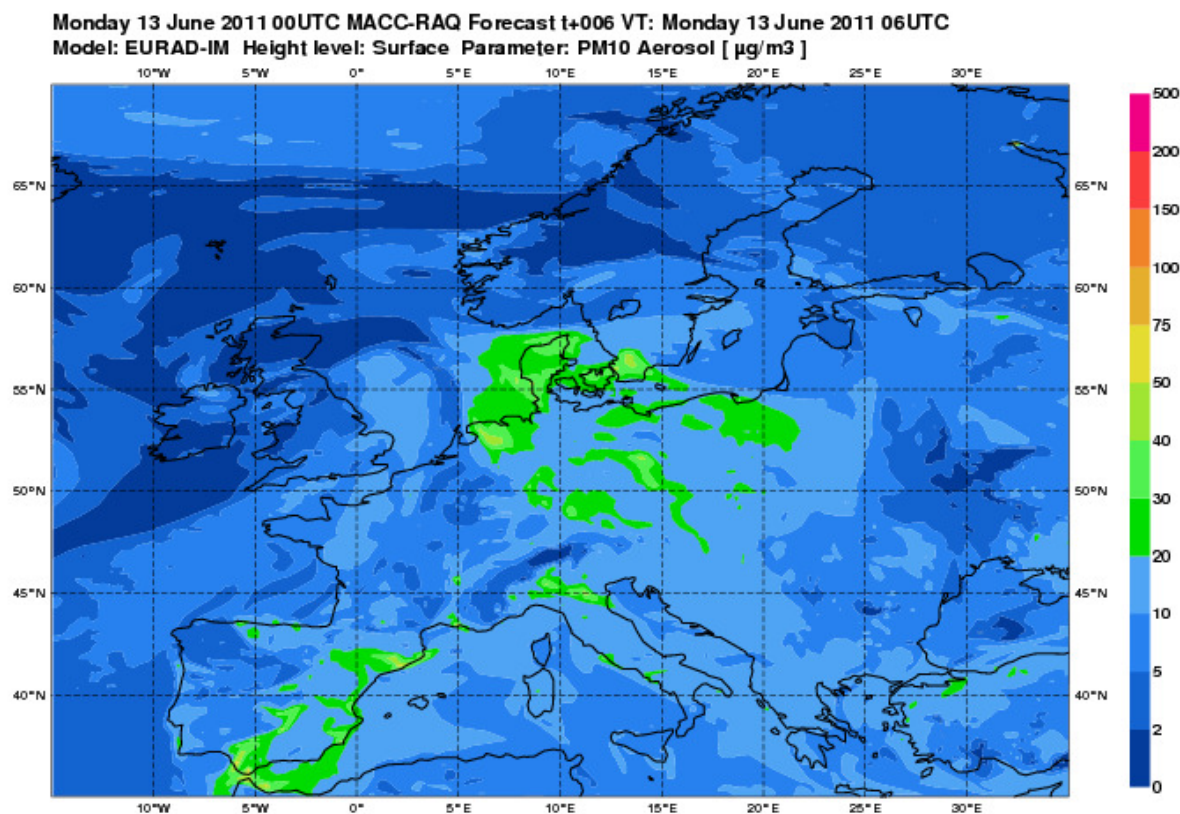




**Slika 4.(1):** Merilna mesta meritev z difuzivnimi vzorčevalniki z izmerjenimi povprečnimi koncentracijami dušikovega dioksida za čas od 8. do 21. aprila 2010



## 5. MODELIRANJE KAKOVOSTI ZRAKA



Modeliranje meteoroloških in kemijskih procesov v ozračju je numerično orodje (več obsežnih računalniških programov), ki numerično opisujejo relevantne procese. Na podlagi začetih meteoroloških in kemijskih vhodnih podatkov in ob upoštevanju predvidenih virov emisij ter naravnih zakonitosti izračuna koncentracije različnih onesnaževal v ozračju za dva dni vnaprej.

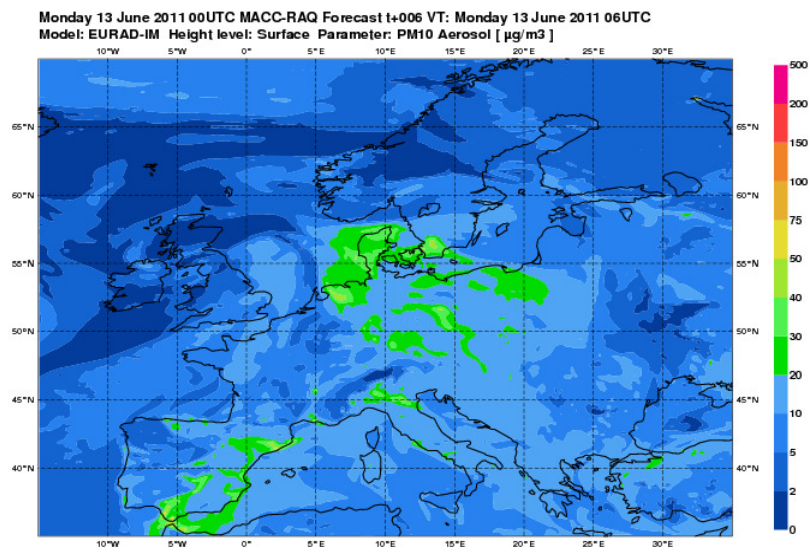
## Namen in cilji modeliranja

Sistem monitoringa onesnaženosti zunanjega zraka nam omogoča poznavanje trenutnega in preteklega stanja onesnaženosti zraka. Podatki avtomatskih postaj so v realnem času dostopni širši javnosti, kar vsakemu posamezniku omogoča, da v primeru povečanih koncentracij in preseženih mejnih vrednosti posameznih onesnaževal upošteva varnostne ukrepe in s tem poskrbi za čim manjši vpliv na zdravje in okolje. Monitoring nam torej omogoča poznavanje trenutnega stanja onesnaženosti zunanjega zraka in s tem načrtovanje izvajanja preventivnih ukrepov in aktivnosti samo v trenutnem času. Za varovanje zdravja ljudi in izvajanje ukrepov za preprečevanje preseganj mejnih vrednosti koncentracij pa je potrebno razvijati sistem modeliranja in napovedovanja onesnaženosti zunanjega zraka za nekaj dni vnaprej.

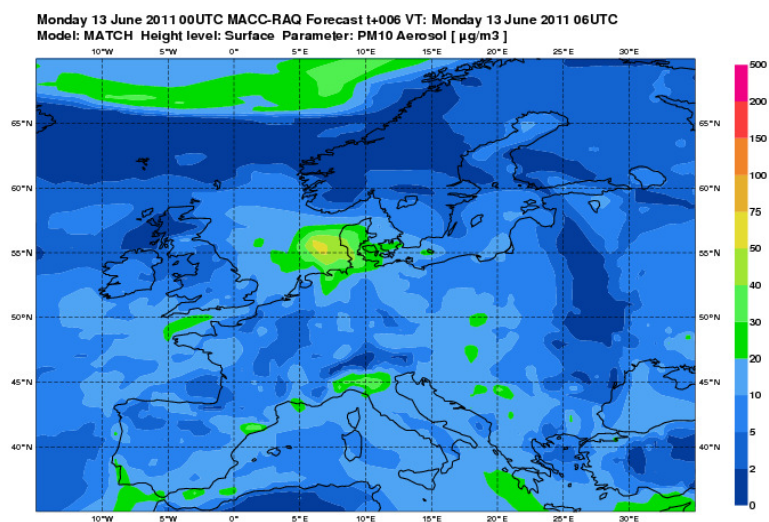
Osnovno orodje za napovedovanje onesnaženosti zraka so kompleksni numerični modeli, ki obravnavajo kemijske in fizikalne procese v ozračju. Zaradi kompleksnosti procesov, ki so zajeti v takih modelih, je negotovost rezultatov lahko precejšnja. Dodatno oviro pri regionalnem modeliranju onesnaženosti zraka predstavlja razgiban relief, ki poleg meteoroloških razmer in emisij močno vpliva na lokalno onesnaženost zraka. Prav zaradi tega ima dober opis reliefa v regionalnih modelih pomembno vlogo.

V projektni nalogi *Modeliranje onesnaženosti zunanjega zraka za območje Slovenije*, ki poteka v sodelovanju Fakultete za matematiko in fiziko in Agencije RS za okolje, je bil za računanje onesnaženosti zraka za območje Slovenije izbran model CAMx (The Comprehensive Air quality Model with Extensions). Model je potrebno prilagoditi in pripraviti za operativno uporabo na ARSO in ga sklopiti z operativnim meteorološkim modelom ALADIN. Rezultati simulacij z modelom CAMx bodo služili napovedovanju onesnaženosti zraka za območje Slovenije. Napovedi za več vrst onesnaževal (prednost imajo delci in ozon) naj bi se izdajale vsak dan za dva do tri dni vnaprej. Poleg dnevnih napovedi bi se s pomočjo simulacij s CAMx-om delali tudi testni izračuni letnih ocen koncentracij onesnaževal za območja, kjer ni meritev onesnaženosti zraka, in za pripravo različnih scenarijev, ocen dodatnih obremenitev, ocen vpliva posameznega vira, itd.

V Sloveniji je sistem modeliranja onesnaženosti zraka trenutno še v razvoju, v poletnem času se napoveduje le koncentracije ozona. V nekaterih evropskih državah je sistem modeliranja onesnaženosti zraka že dobro razvit in nekaj takšnih modelov je vključenih v projekt MACC (Evropski projekt monitoringa in napovedovanja onesnaženosti zraka - <http://www.gmes-atmosphere.eu/>), kjer so na voljo dnevne napovedi koncentracij ozona, delcev in še nekaterih drugih onesnaževal za celo Evropo. V nadaljevanju sta prikazana primera napovedi delcev PM<sub>10</sub> z dvema različnima modeloma, vključenima v MACC projekt, ki uporabljata enake meteorološke in emisijske podatke ter enake robne pogoje.



Napoved koncentracije delcev  $\text{PM}_{10}$  z modelom EURAD  
 (vir: [http://maccraqgmes-atmosphere.eu/som\\_forecast.php](http://maccraqgmes-atmosphere.eu/som_forecast.php))



Napoved koncentracije delcev  $\text{PM}_{10}$  z modelom MATCH. (vir: [http://maccraqgmes-atmosphere.eu/som\\_forecast.php](http://maccraqgmes-atmosphere.eu/som_forecast.php))

## Opis modela CAMx

CAMx je Eulerjev fotokemijski disperzijski model, ki s pomočjo reševanja kontinuitetne enačbe za vsako kemijsko spojino simulira: emisije, disperzijo, kemijske reakcije in odstranjevanje delcev v troposferi. Eulerjeva kontinuitetna enačba opisuje časovno spreminjanje povprečnih koncentracij znotraj volumske celice za posamezno kemijsko spojino in je vsota vseh fizikalnih in kemijskih procesov znotraj volumske celice. Kemija je obravnavana z reševanjem sistema enačb kemijskih reakcij, ki so definirane s posebnimi kemijskimi mehanizmi. Odstranjevanje delcev pa vključuje suho površinsko depozicijo in odstranjevanje s padavinami.

V vsakem časovnem koraku kontinuitetno enačbo razbijemo na manjše kose in posebej izračunamo prispevke posameznih členov. Prvi proces v vsakem časovnem koraku je vključitev meteoroloških podatkov in emisij iz vseh virov znotraj našega območja, nato se izvedeta horizontalna in vertikalna advekcija, sledita jima vertikalna in horizontalna difuzija, kemijske reakcije in na koncu še suha ter mokra depozicija. Mokra depozicija je prevladujoč proces odstranjevanja delcev v atmosferi. Delci se obnašajo kot kondenzacijska jedra za nastanek oblačnih kapljic in se nato s padavinami izločajo iz atmosfere. Poleg tega pa padavinske kapljice spirajo delce, ki se nahajajo na njihovi poti. Mokra depozicija je tudi pomemben proces odstranjevanja relativno topnih plinastih onesnaževal. Pri obravnavi suhe depozicije je upoštevana velikost delcev, reaktivnost, topnost in difuzivnost plinov, vremenski pogoji in karakteristike površja.

V Eulerjevih modelih za napovedovanje onesnaženosti ozračja so koncentracije snovi v ozračju močno odvisne od tega, kako dobro model na nivoju mreže rešuje emisije, transport in kemijo. Eulerjevi modeli zaradi omejitev pri horizontalni ločljivosti in zaradi potrebe po čim boljšem opisu emisij uporabljajo 'Plume-in-Grid sub-model', ki posameznim dimnim sledem sledi v Lagrangovem smislu z upoštevanjem disperzije in kemijskega razvoja, toliko časa, da lahko dimno sled dovolj dobro predstavimo znotraj modelske mreže.

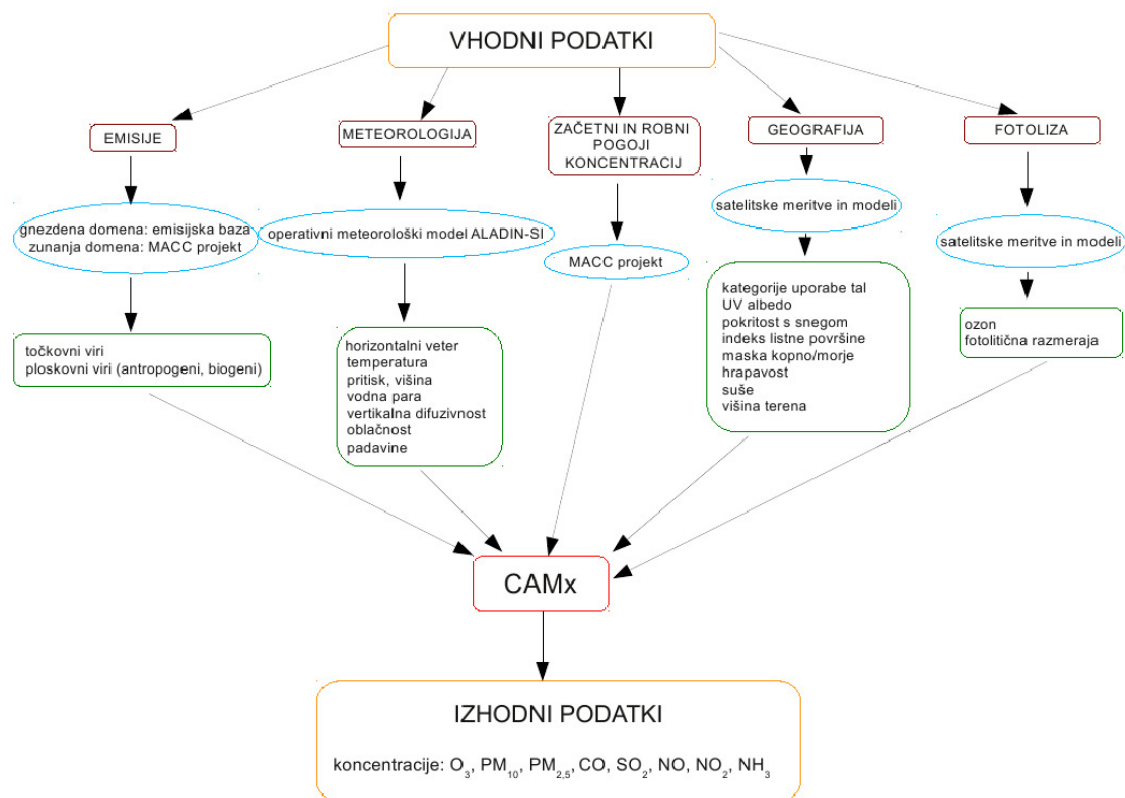
## Modelski sistem

Za zagon CAMx-a so potrebne vhodne datoteke, ki konfigurirajo simulacijo, definirajo kemijske mehanizme in opišejo fotokemijske pogoje, karakteristike tal, začetne in robne pogoje, emisijska razmerja in različna meteorološka polja preko celotne domene. Shema vhodnih in izhodnih podatkov za CAMx je predstavljena v nadaljevanju.

Opisane informacije je potrebno predhodno pripraviti v točno določeni obliki, ki je primerna za vhod v CAMx. Meteorološka polja je priporočljivo pripravljati s prognostičnim meteorološkim modelom, kar je v našem primeru model ALADIN-SI s horizontalno ločljivostjo 4,4 km in 43 vertikalnimi računskimi nivoji. Zaradi zahtev po pripravi dnevnih napovedi v realnem času in zaradi omejitve pri uporabi števila procesorjev za poganjanje CAMx-a na ARSO je bilo potrebo optimalno določiti domeno in resolucijo ter način izračuna CAMx-a. Potrebno je bilo gnezdenje: zunanja domena je enaka domeni modela ALADIN-SI in ima ločljivost 13,2 km, gnezdena domena pa ima enako ločljivost kot model ALADIN-SI 4,4 km in obsega območje nad Slovenijo in širšo okolico. Iz polj, ki jih dobimo iz modela ALADIN-SI je za vhod v CAMx potrebno dodatno izračunati vertikalno difuzivnost in optično debelino. Poleg meteoroloških vhodnih podatkov potrebujemo tudi začetne in robne pogoje koncentracij snovi (kakovost zraka), ki jih dobimo iz projekta MACC. Naslednja skupina vhodnih podatkov so emisije, ki jih ločimo v dve skupini. Prva skupina so emisije pri tleh (na najnižjem modelskem nivoju) – "gridded emissions", kamor sodijo antropogeni viri (promet, individualna kurišča,..) in biogeni viri. Druga skupina emisij pa so točkovni viri, ki imajo zaradi dimnega dviga vpliv tudi na višje modelske nivoje – "point emissions". Podatke o emisijah za zunanjo domeno dobimo iz projekta MACC, podatke za gnezdeno domeno pa je potrebno pripraviti na način, ki je opisan v naslednjem poglavju. Vhod v CAMx sta tudi dve skupini podatkov, med katerimi je nekaj takih, ki so konstantni, nekaj se jih spreminja na dnevni časovni skali, nekateri na mesečni, sezonski ali letni časovni skali. V teh dveh

skupinah najdemo podatke o kategorijah uporabe tal, pokritosti s snegom, indeks listne površine, fotolitična razmerja, ozon,...

V izhodnih datotekah simulacij CAMx-a so časovna povprečja koncentracij za izbrane snovi.



Shema vhodnih in izhodnih podatkov v modelu CAMx.

### Priprava emisijskih podatkov za Slovenijo

Emisijske podatke za gnezdeno domeno pripravljamo na osnovi letnega poročila *Inventory Report for Slovenia (Submission under the UNECE Convention on Long-range Transboundary Air Pollution)*, podatke o geometriji emisijskih virov pa na osnovi emisijske baze letnih poročil in GIS podlag, s katerimi razpolagamo na ARSO.

Glede na zahteve izbranega kemijskega modela za modeliranje ozona in delcev potrebujemo emisijske karte 7 primarnih onesnaževal ( $\text{NO}_x$ , NMVOC, CO,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{PM}_{2.5}$ ,  $\text{PM}_{10}$ ), poleg tega pa še karte skupin organskih spojin (te skupine so odvisne od kemijskega mehanizma, ki ga uporablja izbran fotokemijski model).

Da je mogoče iz skupne količine NMVOC pripraviti emisije po posameznih organskih spojinah v modelu, je potrebno za vsak vir posebej določiti profil NMVOC, ki se ga izbere na osnovi natančnega poznavanja vira (vrste industrijskega obrata, količine uporabljenih posameznih vrst kuriva, ... itd.). Npr. po navodilih EPA se vsakemu viru priredi koda SCC (source classification code), nato pa se iz obstoječih tabel določi masne deleže različnih organskih spojin za vsak vir posebej. Različne organske spojine se nato glede na reaktivnost združuje v modelske skupine organskih spojin, za kar je primeren npr. Carterjev program, ki vsebuje večino organskih spojin, ki nastopajo v profilih virov in s katerim je

možno dokaj enostavno izvesti združevanje spojin v skupine modelskega mehanizma (SAPRC 99). Podoben je tudi postopek priprave skupin  $PM_{2,5}$ . Pomembno je, da za vsak vir posebej opredelimo najbolj smiselno razdelitev  $PM_{2,5}$  v 5 podskupin.

Tipična časovna ločljivost emisijskih podatkov za modeliranje ozona in delcev je 1 ura. Običajno je postopek pri pripravi emisij s tolikšno časovno ločljivostjo tak, da izhajamo iz letnih podatkov o emisijah in potem za vsak vir posebej (oziroma za vsak tip vira posebej) ocenimo letni in dnevni emisijski hod, lahko pa tudi tedenski hod (ali pa morda vsaj razmerje med emisijami vikend-delavnik).

Kar se tiče krajevne ločljivosti, je potrebno točkovne vire opisati s točno lokacijo izpusta (če ima industrijski obrat več ločenih odvodnikov, se določi lokacija vsakega posebej). Poleg tega so za izračun dimnega dviga potrebni tudi nekateri drugi podatki (temperatura izstopnih plinov, volumski tok, izstopna hitrost, premer dimnika – za vsak odvodnik posebej). Za linijske vire (ceste, železnice) je potrebno podatke zbrati po posameznih odsekih – emisije se določajo iz gostote in vrste prometa posameznega odseka. Za emisije, ki se pripravljajo ploskovno, pa je zaželeno, da je krajevna ločljivost čim boljša, vsekakor pa ne slabša kot 1 km.



## 6. PROJEKTI



Agencija RS za okolje je v letu 2010 sodelovala v dveh projektih: PMinter in MACC.

V sklopu projekta PMinter je Agencija zagotovila podatke iz obstoječe državne merilne mreže, izvedla nekaj dodatnih meritev na območju občine Maribor, in pomagala s strokovnim znanjem.

Naloga ARSO v projektu MACC je bila predvsem pošiljanje sprotnih urnih podatkov z merilnih mest ter priprava nove klasifikacije merilnih mest.



## **Projekt PMinter**

Projekt je namenjen mednarodnemu reševanju problematike onesnaženosti okolja z delci.

Vodilni partner projekta PMinter je Magistrat deželnega glavnega mesta Celovec ob Vrbskem jezeru. Ostali partnerji v projektu so:

- Mestna občina Maribor,
- Zavod za zdravstveno varstvo Maribor,
- Univerza v Mariboru, Fakulteta za gradbeništvo,
- Urad koroške deželne vlade,
- Urad štajerske deželne vlade in
- Tehnična univerza v Gradcu.

Agencija RS za okolje (ARSO) jebo zagotovila podatke iz obstoječe državne merilne mreže, izvedla nekaj dodatnih meritev na območju občine Maribor, in pomagala s strokovnim znanjem.

Cilj projekta PMinter je poglobitev razumevanja o interakciji lokalnih in regionalnih emisij, o meteoroloških vplivih, o inštrumentih za monitoring kakovosti zraka in o širjenju škodljivih snovi s pomočjo računalniške simulacije in meritev na skupnem čezmejnem območju Celovca s spodnjo avstrijsko Koroško, južne avstrijske Štajerske in Maribora s severno Slovenijo.

Obravnavana bodo naslednja strokovna vprašanja:

- vir visokega deleža, ki ga k onesnaženosti s  $PM_{10}$  prispeva ozadje,
- vpliv malih kurišč, zlasti zaradi emisij iz kurilnih naprav, ki uporabljajo za gorivo les,
- vpliv dogajanj v ozkih ulicah, ob katerih so na obeh straneh neprekinjene vrste zgradb, na kakovost zraka,
- prispevek mednarodnega transporta in čezmejnih emisij.

Prikazati želimo, kako bi bilo mogoče doseči evropske cilje za zmanjšanje onesnaženosti zraka z delci  $PM_{10}$  in  $PM_{2.5}$  v časovnem obdobju od 10 – 15 let. Prvi pomembni ukrepi bodo izvedeni že v času trajanja projekta, tako da bo možno spremljati izboljšanje kakovosti zraka ( $PM_{10}$ ) na obstoječih in novih merilnih mestih za merjenje kakovosti zraka v Celovcu, Mariboru in Lipnici. Navsezadnje je najpomembnejši cilj izboljšanje kakovosti zraka, kar pomeni zmanjšano tveganje za zdravje ljudi na obravnavanem območju.

Več informacij o omenjenem projektu si lahko preberete na spletni strani <http://pminter.eu/sl>.

## **Projekt MACC**

Cilj projekta *Monitoring Atmospheric Composition & climate* je priprava operativnih produktov in informacij, ki bodo podpora pri izvajanju Evropske politike in širših mednarodnih programov na področju izboljšanja kakovosti zraka. Projekt spremlja in raziskuje regionalne in globalne atmosferske pojave in je sestavni del GMES-a (Globalno spremljanje okolja in varnosti). Financiran je iz 7. okvirnega programa Evropske Unije. Projekt se je začel junija 2009 in se bo končal oktobra 2011. V projektu sodeluje 45 partnerjev (11 meteoroloških centrov, 4 okoljske agencije, univerze,...) iz 18 evropskih držav. Koordinator projekta je evropski center za srednjeročno vremensko prognozo ECMWF, med sodelujočimi je tudi ARSO.

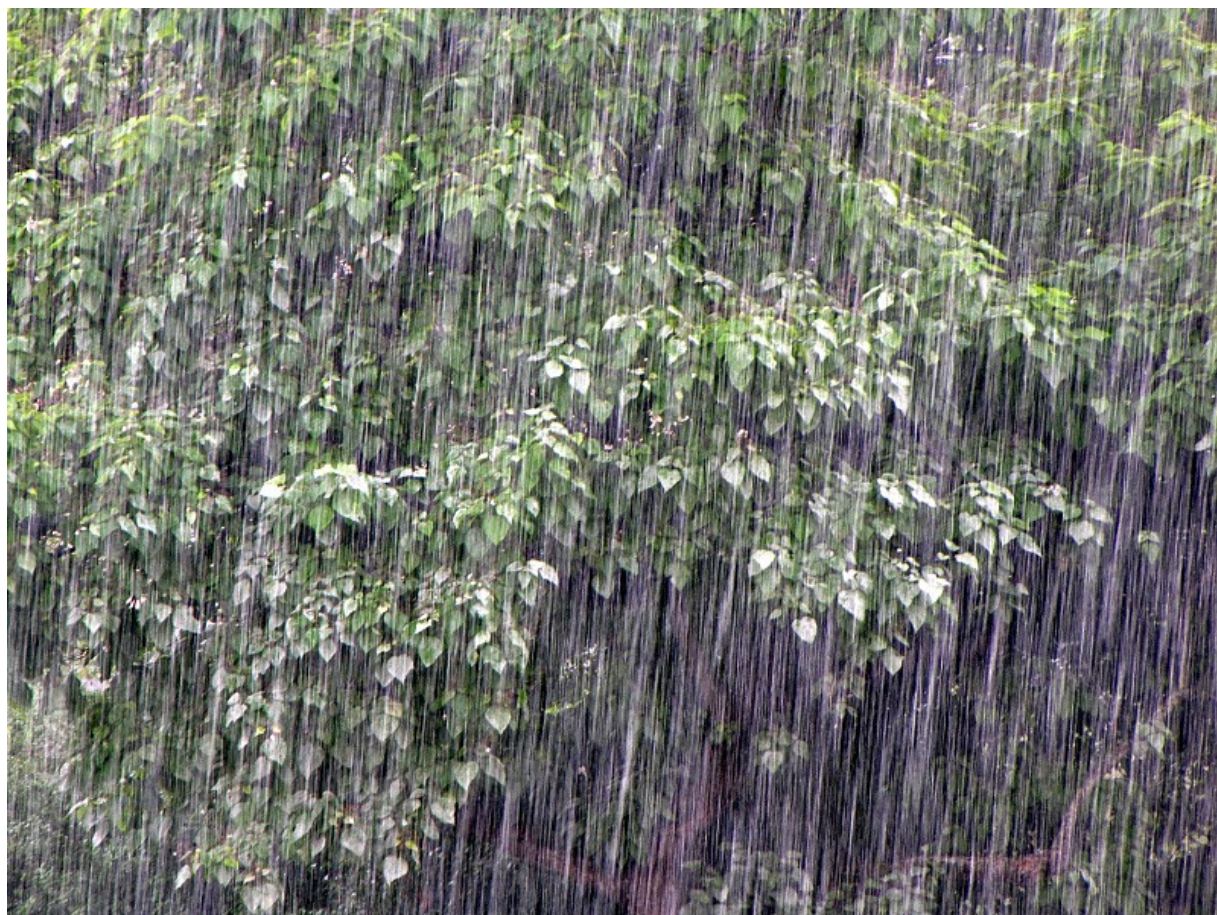
Glavne naloge projekta so:

- zbiranje podatkov o meritvah kakovosti zraka, meteoroloških ter satelitskih podatkov. Ti podatki »in situ« se uporabljajo tako za nadaljnjo analizo kot tudi za verifikacijo izdelkov. Ena od nalog projekta je tudi zbiranje emisijskih podatkov,
- razvoj produktov, ki so povezani s klimatskimi dogajanja in kakovostjo zraka na regionalni, to je evropski oziroma globalni (t.i. svetovni) ravni,
- sodelovanje in podpora različnih institucij, kot so Evropska okoljska agencija, program EMEP (Program za spremljanje in vrednotenje onesnaževanja zraka v Evropi na velike razdalje), sodelovanje z nacionalnimi okoljskimi agencijami, podpora politiki pri odločitvah, ki se nanašajo na področje klimatskih sprememb in onesnaženosti zraka, podpora znanosti, zdravstvu....

Naloga ARSO v sklopu projekta je pošiljanje sprotnih urnih podatkov z merilnih mest, kjer se izvajajo meritve kakovosti zunanjega zraka, priprava analize veljavnosti in pravočasnosti posredovanih podatkov ter priprava nove klasifikacije merilnih mest.

Več informacij o projektu in predstavljene rezultate lahko najdete na spletni stran <http://www.gmes-atmosphere.eu/>.

## 7. MERITVE KAKOVOSTI PADAVIN



Kisle padavine so se v Sloveniji pojavljale preko celega leta. Na večini merilnih mest so se nižje pH vrednosti pojavljale pogosteje v kurilni sezoni, predvsem v januarju in februarju ter oktobru, novembru in decembru. Nizka pH vrednosti v oktobru pa je poleg kurjenja lahko povezana z nizkimi temperaturami in majhno količino padavin. Kadar sta v določenem časovnem obdobju pogostost in količina padavin manjša, so le-te bolj koncentrirane. V takšnih razmerah se namreč v zraku nabere večja količina onesnaževal, ocenjuje pa se, da se jih največ spere iz ozračja s padavinami v prvih 10 minutah. Poleti so pH vrednosti višje zaradi večje resuspenzije, kar je posebej izrazito na lokaciji Rakičan.

Škodljive snovi se iz zraka odlagajo na zemljo kot mokre in/ali suhe usedline. Suhe usedline so plini ali trdni delci, mokre usedline pa so kapljice padavin (dež, sneg, aerosoli v megli).

Kemijska sestava padavin je merilo za stopnjo onesnaženosti zraka. Glavne sestavine padavin so produkti oksidacije najpogostejših onesnaževal v zraku ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ , CO, ogljikovodiki). Le-ti so v obliki disociiranih kislin ( $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ , Cl) povzročitelji kislosti padavin. H kislosti padavin prispevajo deloma tudi specifična onesnaževala (fluoridi, fosfati, organske kisline) vendar v manjši meri, ker se pojavljajo v manjšem obsegu v onesnaženem zraku v primerjavi z žveplovimi in dušikovimi spojinami.

V skladu z mednarodnim dogovorom so kisle padavine tiste, katerih pH vrednost je manjša od 5,6. Kislost padavin je odvisna od razmerja anionov disociiranih kislin in kationov, ki izvirajo iz topnih soli. Anioni kislin povečujejo kislost padavin, medtem ko jih kationi ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ), ki so prisotni v delcih naravnega prahu, ter amonijev ion ( $\text{NH}_4^+$ ) nevtralizirajo ali naredijo celo alkalne.

Znanstveni dokazi kažejo, da so težke kovine (predvsem arzen, kadmij, krom, baker, svinec, živo srebro, cink in nikelj) ter nekateri policiklični aromatski ogljikovodiki (v nadaljevanju PAH) genotoksične rakotvorne snovi in da ni mogoče določiti praga, pod katerim le-te ne predstavljajo tveganja za zdravje ljudi tako s koncentracijami v zraku kot tudi z usedanjem.

Z meritvami koncentracij težkih kovin (v nadaljevanju TK) v padavinah, predvsem arzena, kadmija, bakra, kroma, niklja, svinca in cinka ter količin nekaterih PAH ugotavljamo, kakšne so depozicije teh genotoksičnih rakotvornih snovi, ki pomembno vplivajo na zdravje ljudi. Poglavitni vir atmosferskih depozicij težkih kovin so rudniki, topilnice in razne vrste kovinske industrije, medtem ko prometa zaradi uporabe neosvinčenega bencina ne štejemo več med večje vire. Pomemben antropogeni vir živega srebra so: izgorevanje fosilnih goriv, odpadne baterije, akumulatorji in krematoriji. Poglavitni vir depozicij PAH je izgorevanje premoga in drugih fosilnih goriv. Glavni viri onesnaženj s PAH so emisije pri visokotemperaturnem izgorevanju fosilnih goriv in lesa, gozdni požari, individualna kurišča, industrija, oljni madeži in cestno konstrukcijski materiali. Prisotnost PAH v ozračju pa je tudi posledica naravnih procesov (nastajanje naravnih organskih snovi, mikrobne modifikacije, ...). Posamezni PAH so v ozračju porazdeljeni med plinasto in trdno fazo, porazdelitev teh spojin pa je odvisna od fizikalno kemijskih značilnosti. Zaradi kemijske stabilnosti PAH praktično kemijsko nespremenjeni potujejo na velike razdalje in se odlagajo tako v urbanih kot tudi drugih področjih.

## 7.1. Merilne mreže in nabor meritev

Meritve kakovosti padavin v okviru državne merilne mreže (DMKP), ki jih izvaja ARSO potekajo na petih merilnih mestih, ki so enakomerno razporejena po Sloveniji.

V tabeli 7.1.(1) je podan opis merilnih mest za meritve kakovosti padavin v letu 2010, ki delujejo v okviru DMKP. Štiri merilna mesta so v relativno čistem, podeželskem okolju (Iskrba pri Kočevski Reki, Rakičan pri Murski Soboti, Rateče–Planica, Škocjan), v urbanem območju pa je le merilno mesto Ljubljana Bežigrad. Slika 7.1. (1) je prikazuje prostorsko razporeditev merilnih mest v okviru državne merilne mreže.

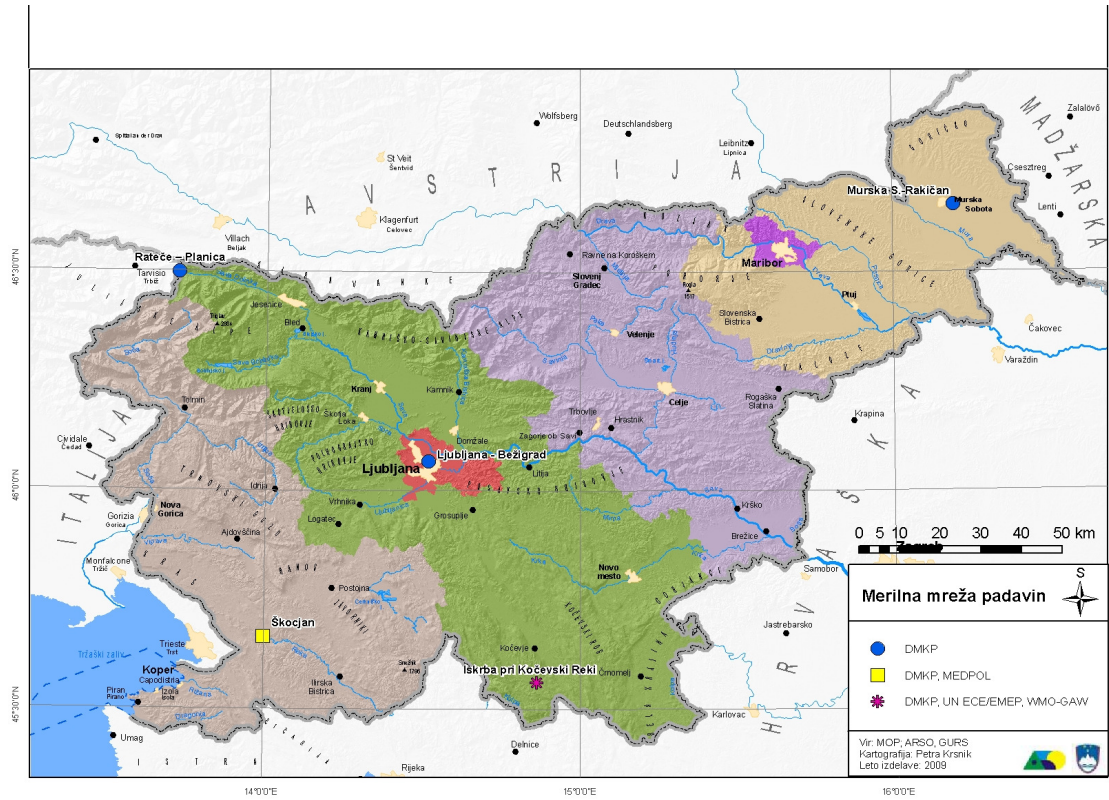
Merilno mesto Iskrba je vključeno tudi v evropsko merilno mrežo EMEP, v okviru katere spremljamo transport onesnaženosti zraka na velike razdalje preko meja, in pa v svetovno merilno mrežo GAW, ki je raziskovalnega značaja in spremlja kemijsko sestavo atmosfere ter beleži časovne trende. Leži v neobremenjenem okolju, proč od lokalnih virov onesnaženosti zraka in je namenjena spremljanju tako imenovanega ozadja onesnaženosti zraka. Na merilnem mestu Škocjan v okviru programa MEDPOL po Barcelonski konvenciji spremljamo vnos snovi iz zraka v Sredozemsko morje.

Poleg meritev v mreži DMKP spremlja Elektroinštitut Milan Vidmar (EIMV) kakovost padavin in koncentracijo prašnih usedlin na 27 merilnih mestih na vplivnih območjih termoelektrarn Šoštanj (TEŠ), Trbovlje (TET), Ljubljana (TE-TOL, JPE) in Brestanica (TEB), objavljamo pa podatke za 21 merilnih mest, ki delujejo kot stalne postaje v okviru monitoringov kakovosti zunanjega zraka v zaledju posameznih termoelektrarn.

**Tabela 7.1.(1):** Nadmorska višina in koordinate merilnih mest za meritve kakovosti padavin v letu 2010

Merilno mesto	Nadmorska višina (m)	GKK <sub>x</sub>	GKK <sub>y</sub>
<b>DMKP</b>			
Iskrba pri Kočevski Reki	540	5046323	5489292
Ljubljana – Bežigrad	299	5102490	5462673
Rakičan pri Murski Soboti	188	5168196	5591591
Rateče – Planica	864	5151142	5401574
Škocjan	420	5058228	5421892
<b>EIS-TEŠ</b>			
Šoštanj	360	5136982	5504508
Topolšica	390	5139882	5501901
Veliki Vrh	550	5134203	5503506
Zavodnje	770	5142691	5500256
Velenje	390	5135289	5508998
Graška gora	774	5141187	5509886
Pesje	394	5135804	5506524
Škale	410	5137110	5508504
Skorno	650	5137546	5501275
<b>EIS-TET</b>			
Dobovec	700	5106823	5505905
Kovk	600	5109358	5508800
Ravenska vas	580	5108919	5501803
Kum	1210	5104878	5505993
Prapretno	480	5110250	5506116
Lakonca	368	5110202	5504020
<b>TE-TO Ljubljana</b>			
Vnajnarje	630	5100884	5474596
Deponija	285	5101579	5465450
Partizanska	291	5101600	5464340
Toplarniška	280	5101353	5465130
JP Energetika	304	5103688	5461890
EIMV	294	5100233	5460944





Slika 7.1.(1): Merilna mesta za meritve kakovosti padavin v letu 2010 - merilna mreža DMKP



Vzorčevalniki za padavine Eigenbrodt na Iskrbi pri Kočevski reki (foto Marijana Murovec)

**Tabela 7.1.(2):** Nabor parametrov za meritve kakovosti padavin na merilnih mestih DMKP v letu 2010

Kraj	pH	Električna prevodnost	K <sup>+</sup>	A <sup>-</sup>	Težke kovine	PAH
<b>DMKP</b>						
Iskrba	+	+	+	+	+	+
Ljubljana Bežigrad	+	+	+	+		
Rateče	+	+	+	+		
Rakičan pri Murski Soboti	+	+	+	+		
Škocjan	+	+	+	+		

Legenda:

K<sup>+</sup> - Osnovni kationi: Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>

A<sup>-</sup> - Osnovni anioni: Cl<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>

PAH - policiklični aromatski ogljikovodiki [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]

## 7.2. Vzorčenje in kakovost meritev

### 7.2.1. Merilna mreža DMKP

#### Postopki vzorčenj padavin

V okviru DMKP izvajamo dnevna in tedenska vzorčenja mokrih ali »wet only« padavin za določitev količine padavin, pH, električne prevodnosti, osnovnih kationov ter anionov, ki so predvsem merilo za zakisljevanje in evtrofikacijo.

Na merilnem mestu Iskrba v skladu z *Uredbo o arzeniu, kadmiju, živem srebru, niklju in PAH v zunanem zraku* (Ur.l.RS, št. 56/06) izvajamo tudi celotna ali »bulk« in mokra ali »wet only« vzorčenja padavin za določitev težkih kovin (arzen, baker, kadmij, krom, nikelj in svinec), celokupnega Hg, in PAH. V primerih, ko so količine padavin majhne, v vzorcih ni mogoče določiti vseh navedenih parametrov. Vsa vzorčenja izvajamo z vzorčevalniki Eigenbrodt. Načini vzorčenja, tipi vzorčevalnikov in vrste vzorcev za analizo so podani v tabeli 7.2.1. (1).

**Tabela 7.2.1.(1):** Način vzorčenja, tip vzorčevalnika in vrsta vzorcev za analizo

Parametri	Način vzorčenja	Tip vzorčevalnika	Vrsta vzorca
pH, el. prevodnost, A <sup>-</sup> , K <sup>+</sup>	Wet – only le mokre usedline	Eigenbrodt NSA 181/S	Dnevni, tedenski
TK razen Hg	Bulk – suhe in mokre usedline	*Eigenbrodt NSA 181/S	tedenski
Celokupno živo srebro	Wet – only le mokre usedline	Eigenbrodt NSA 181/S	14 dnevni
PAH	Bulk – suhe in mokre usedline	*Eigenbrodt UNS 130 E	tedenski

\* prilagojen za bulk vzorčenje

#### Zagotavljanje kakovosti meritev

Sistem zagotavljanja kakovosti podatkov zajema vse postopke od vzorčenja preko izvedbe fizikalno kemijskih analiz do obdelave podatkov in v celoti sledi splošnim zahtevam programov EMEP in GAW. Namen teh zahtev je pridobiti podatke dovolj dobre in znane kakovosti.

Postopki in zahteve za zagotavljanje kakovosti podatkov zajemajo zahteve za merilno mesto, vzorčenje kot tudi za izvajanje kemijskih analiz za EMEP in so podrobneje podani v navodilih *EMEP /40/*.

Vodila, cilji zagotavljanja kakovosti in standardni operativni postopki za GAW pa so podani v navodilih *GAW /41/*. Navedene kriterije zagotavljanja kakovosti uporabljamo v celotni mreži DMKP.



Na vseh merilnih mestih poleg ekoloških vzorčenj potekajo tudi meritve meteoroloških parametrov. Podatki o meteoroloških količinah padavin nam služijo za nadzor nad kakovostjo delovanja ekoloških vzorčevalnikov padavin.

### **Zagotavljanje kakovosti vzorčenja**

Vzorčevalniki padavin so redno letno servisirani, izvajamo pa tudi redni tedenski nadzor njihovega delovanja. Količine padavin, ki jih zberemo z ekološkim vzorčevalnikom primerjamo s količinami padavin določenimi s klasičnim meteorološkim dežemerom in z avtomatsko meritvijo. Sprejemljivo odstopanje ekoloških količin padavin od meteorološko izmerjenih pri vrednostih nad 2 mm je do 10 %. V kolikor količina padavin, ki smo jo prestregli z ekološkim vzorčevalnikom odstopa od meteorološko določene poskrbimo za servis vzorčevalnika.

Kakovost čiščenja opreme za vzorčenje in rokovanje z vzorci padavin do analize v laboratoriju nadziramo s pomočjo terenskih slepih vzorcev. Podrobnejši opisi postopkov čiščenja in priprave opreme za vzorčenje so podani v interni dokumentaciji KAL in IJS, opisi odvzema terenskih slepih vzorcev pa se nahajajo v navodilih za posamezna vzorčenja, ki jih pripravlja odgovorno osebje SKZ.

### **Zagotavljanje kakovosti kemijskih meritev**

Meritve vseh predpisanih parametrov razen celokupnega Hg v padavinah izvaja KAL ARSO, ki je akreditiran za izvedbo večine meritev kakovosti padavin. Zagotavljanje kakovosti kemijskih meritev, ki jih v okviru monitoringa kakovosti izvaja KAL je podrobneje opisano v poglavju 2.2.3 in pa v interni dokumentaciji KAL.

Zunanji izvajalec IJS, Odsek za znanost o okolju izvaja meritve celokupnega Hg v vzorcih padavin v skladu z zahtevami EMEP in interno metodo, povzeto po US EPA 1631. Izvajalec je za navedeno meritev akreditiran in dosega spodnjo mejo detekcije 0,5 ng/L, zagotavljanje kakovosti meritev pa ima opisano v internih dokumentih.

#### **7.2.2. Merilne mreže na območjih termoelektrarn**

Na vseh 21 merilnih mestih zbira Elektroinštitut Milan Vidmar vzorce padavin in jih analizira v svojem kemijskem laboratoriju po metodologiji, ki jo določata EMEP in GAW v okviru svetovne meteorološke organizacije. Vzorčenje mesečnih vzorcev padavin poteka z zbiralniki tipa Bergerhoff.

### **7.3. Rezultati meritev**

V nadaljevanju ločeno podajamo rezultate meritev za merilno mrežo DMKP in za merilne mreže EIS TEŠ, EIS TET in TE-TO Ljubljana, za katere posreduje rezultate inštitut EIMV. Rezultati meritev pH vrednosti, električne prevodnosti ter osnovnih ionov obeh merilnih mrež zaradi večjih razlik v vzorčenju (mokra/celotno; dnevno, tedensko/mesečno).

#### **7.3.1. Merilna mreža DMKP**

##### **7.3.1.1 pH vrednost, električna prevodnost in osnovni ioni v padavinah**

V tabeli 7.3.1.1.(1) so podane povprečne letne, minimalne in maksimalne vrednosti ter standardna deviacija pH vrednosti, električnih prevodnosti in koncentracij osnovnih ionov v padavinah za leto

2010. Navedeni parametri so izmerjeni v dnevni (Iskrba, Ljubljana) oziroma tedenskih (Rakičan, Rateče in Škocjan) vzorcih padavin. V preteklih letih smo na vseh merilnih postajah izvajali vzorčenja dnevni padavin, ki smo jih za meritve v tedenskih padavinah združevali. Od konca leta 2009 in v letu 2010 pa smo na postajah Rateče, Rakičan in Škocjan postopoma prešli na tedensko vzorčenje in sicer v Ratečah od 28.12.2009, v Škocjanu od 29.03.2010, v Rakičanu pa od 21.06.2010 dalje.

**Opomba:** Ker na merilnem mestu Iskrba v času od 16. – 19.09.10 zaradi izrednih razmer ni bilo mogoče zbrati celotne količine padavin za določitev pH, el. prevodnosti ter osnovnih  $A^-$  in  $K^+$  v tabelah in na slikah podajamo le orientacijske vrednosti.

**Tabela 7.3.1.1.(1):** pH vrednost, električna prevodnost in koncentracije osnovnih ionov v padavinah v letu 2010 – statistične veličine

Merilno mesto	Statistična veličina	Električna prevodnost pri 250C ( $\mu S/cm$ )	pH	Koncentracija ionov (mg/l)							
				$NH_4^+$	$NO_3^-$	$SO_4^{2-}$	$Cl^-$	$Ca^{2+}$	$Mg^{2+}$	$Na^+$	$K^+$
Iskrba	povp.	10	4,93	0,249	1,08	0,815	0,320	0,208	0,043	0,198	0,041
	min.	2	3,93	0,016	0,131	0,039	0,007	0,008	0,003	0,008	0,004
	maks.	89	6,80	3,10	13,2	14,5	4,99	4,10	0,449	3,53	1,65
Ljubljana	povp.	9	5,14	0,405	1,18	0,861	0,233	0,298	0,059	0,156	0,062
	min.	3	4,23	0,074	0,217	0,162	0,007	0,062	0,003	0,008	0,004
	maks.	60	6,77	6,52	15,5	10,4	4,15	4,35	0,725	2,49	1,50
Rakičan	povp.	10	5,17	0,617	1,363	1,162	0,119	0,273	0,048	0,083	0,076
	min.	5	4,21	0,168	0,481	0,356	0,007	0,072	0,003	0,008	0,023
	maks.	39	6,72	10,3	14,0	12,2	1,07	2,54	0,418	0,653	1,86
Rateče	povp.	5	5,29	0,218	0,696	0,462	0,101	0,178	0,029	0,073	0,032
	min.	2	4,61	0,035	0,181	0,086	0,007	0,051	0,003	0,008	0,004
	maks.	22	6,72	1,89	4,44	2,19	0,772	2,04	0,190	0,495	0,160
Škocjan	povp.	10	5,05	0,316	1,19	0,871	0,356	0,232	0,049	0,258	0,043
	min.	3	4,11	0,030	0,339	0,251	0,007	0,065	0,003	0,008	0,014
	maks.	47	6,30	2,52	21,2	7,06	1,88	3,26	0,281	1,46	0,424

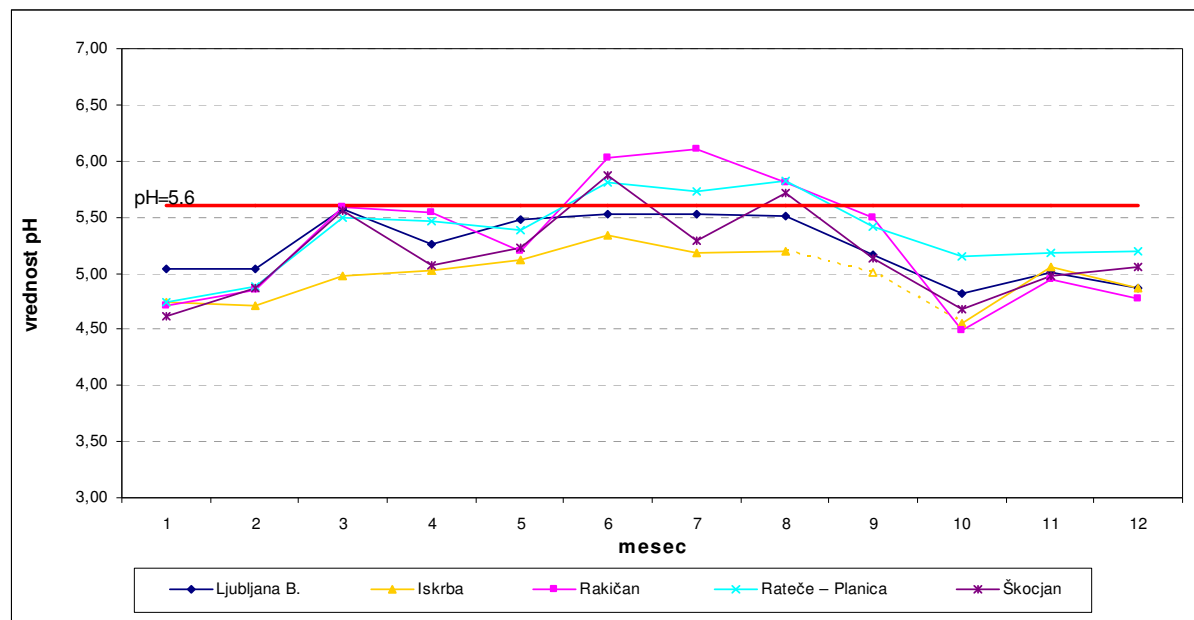
Pomembna podatka o obremenitvi okolja s škodljivimi snovmi sta predvsem usedanje žvepla sulfatnega izvora ter dušika nitratnega in amoniakalnega izvora. Žveplo sulfatnega izvora in dušik nitratnega izvora prispevata k zakisljevanju, presežek dušika pa prispeva tudi k eutrofikaciji. V okviru monitoringa kakovosti padavin ugotavljamo tako imenovano mokro depozicijo onesnaževal z meritvami kemijske sestave onesnaževal v padavinah.

**Tabela 7.3.1.1.(2):** Kisle padavine v Sloveniji v letu 2010 v okviru DMKP

Merilno mesto	Vrsta vzorca	Št. vseh vzorcev	Št. vzorcev z izmerjenim pH	Št. vzorcev s pH<5,6	* Vol. delež (%) s pH<5,6	Delež kislil vzorcev (%)	pH <sub>min</sub>
Iskrba	dnevni	190	125	105	86	84	3,93
Ljubljana	dnevni	167	116	76	75	70	4,23
Rakičan	tedenski	47	37	24	44	41	4,21
Rateče	tedenski	49	44	28	60	60	4,61
Škocjan	tedenski	49	42	30	79	78	4,11

\* Pri izračunu volumskega deleža kislil padavin (%) so upoštevani le vzorci z izmerjeno vrednostjo pH.

V letu 2010 smo ponovno zabeležili največji delež vzorcev padavin s pH vrednostjo pod 5,6 na merilnih mestih Iskrba (84 %) in Škocjan (78 %). Sledita merilni mesti Ljubljana Bežigrad (70 %) in Rateče (60 %). Znatno nižji volumski delež kislil padavin pa smo zabeležili na merilnem mestu Rakičan pri Murški Soboti (44 %).

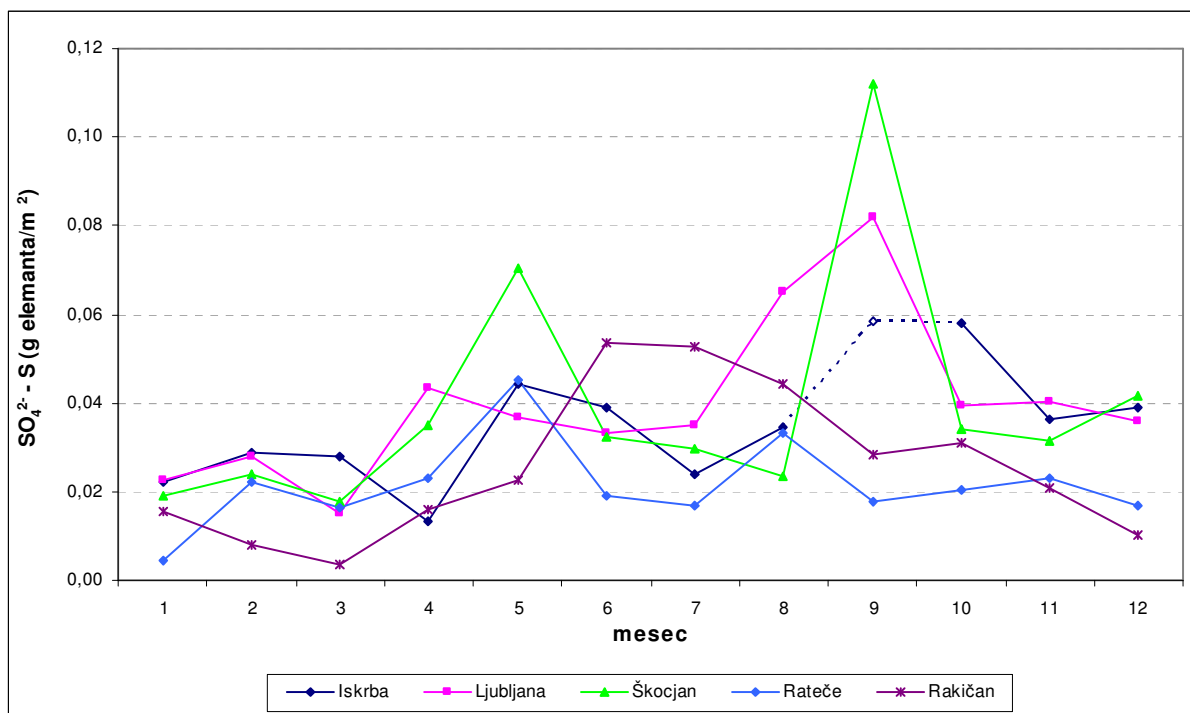


Slika 7.3.1.1.(1): Povprečne mesečne pH vrednosti padavin v letu 2010

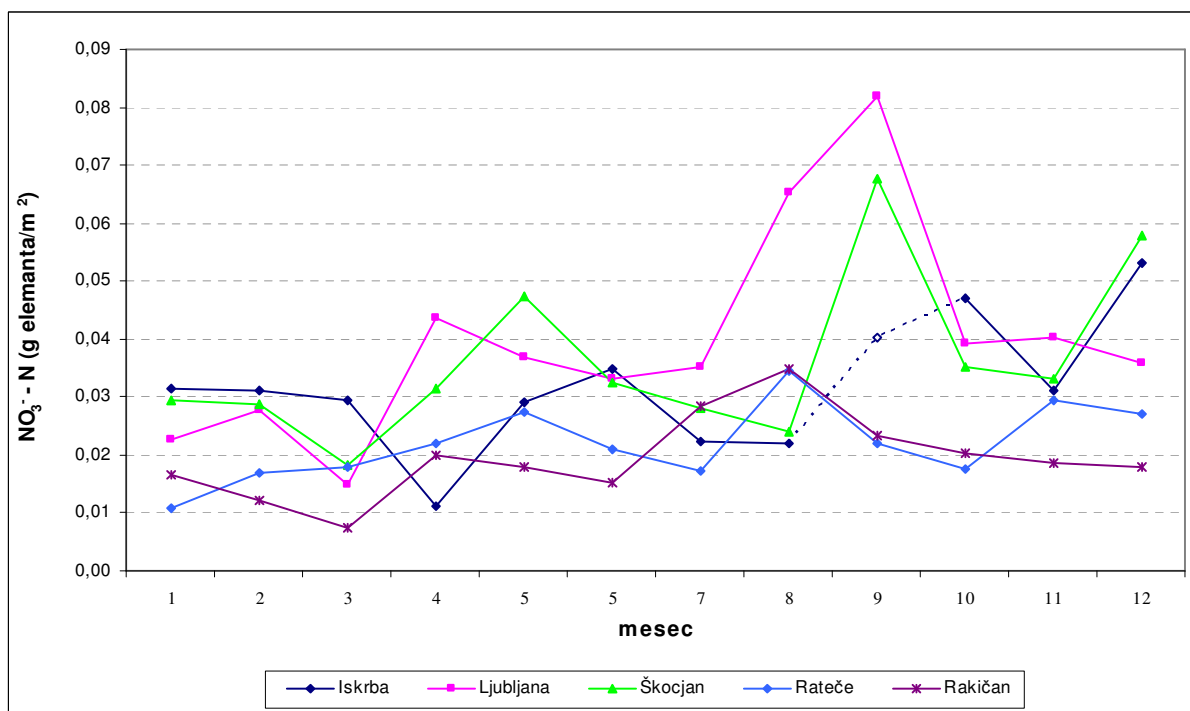
Kisle padavine so se v Sloveniji pojavljale preko celega leta (slike 7.3.1.1.(1)). Na večini merilnih mest so se nižje pH vrednosti pojavljale pogosteje v kurilni sezoni, predvsem v januarju in februarju ter oktobru, novembru in decembru. Nizka pH vrednosti v oktobru pa je poleg kurjenja lahko povezana z nizkimi temperaturami in majhno količino padavin. Kadar sta v določenem časovnem obdobju pogostost in količina padavin manjša, so le-te bolj koncentrirane. V takšnih razmerah se namreč v zraku nabere večja količina onesnaževal, ocenjuje pa se, da se jih največ spere iz ozračja s padavinami v prvih 10 minutah. Poleti so pH vrednosti višje zaradi večje resuspenzije, kar je posebej izrazito na lokaciji Rakičan.

Tako kot v prejšnjih letih je bila izmerjena najnižja pH vrednost v dnevni vzorcih padavin z Iskrbe (3,93) in v tedenskih vzorcih iz Škocjana (4,11). Najbolj kisle padavine so se skozi vse leto pojavljale na merilnem mestu Iskrba, sledita Ljubljana Bežigrad in Škocjan. Visoko kislost padavin na Iskrbi in v Škocjanu, ki se sicer nahajata v podeželskem okolju povezujemo delno z lokalnim vplivom, predvsem pa s prenosom onesnaževal na velike razdalje, med tem ko visoko kislost padavin v Ljubljani povezujemo predvsem z lokalnim vplivom.

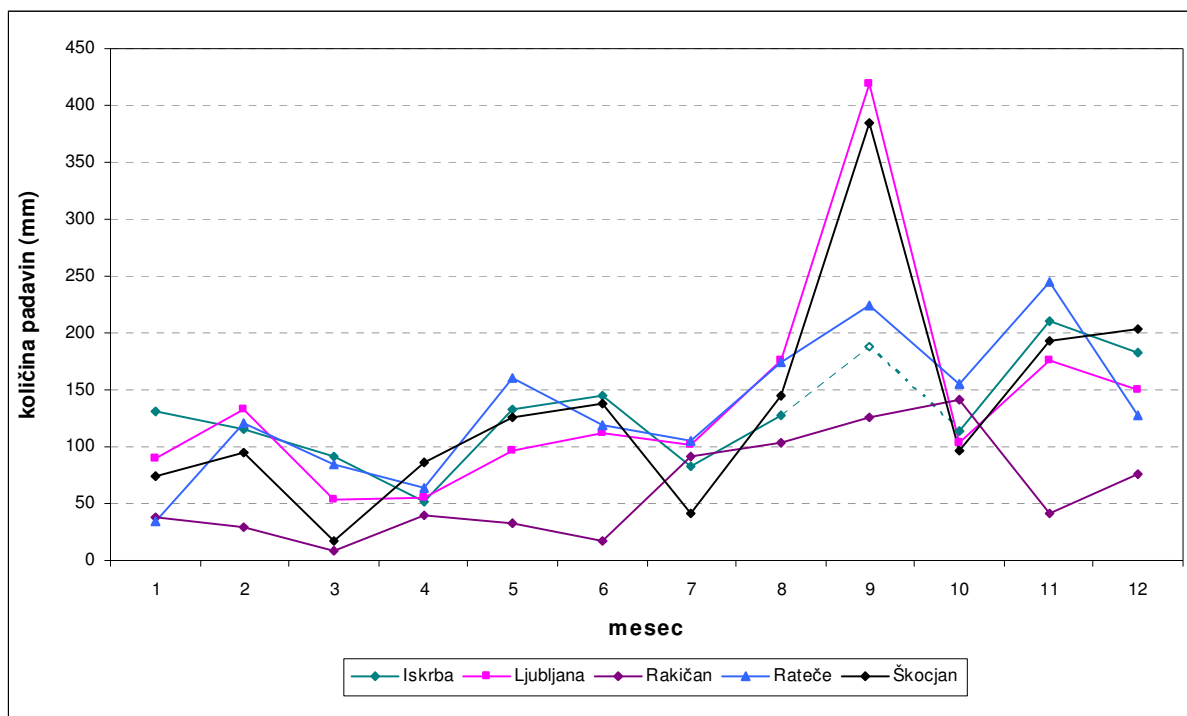
Najmanj kisle padavine so bile tako kot v preteklih letih tudi v letu 2010 v Ratečah in Rakičanu. Padavine v Ratečah so manj kisle v primerjavi z drugimi merilnimi mesti predvsem zaradi geološke sestave kamnin, ki so pretežno apnenčastega izvora (pojav abrazije). V Rakičanu so zaradi obdelovalnih kmetijskih površin v neposredni okolici v ozračju prisotni prašni delci zemlje, ti pa lahko zaradi svoje alkalnosti dvignejo pH vrednost padavin.



Slika 7.3.1.1.(2): Povprečne mesečne depozicije žvepla sulfatnega izvora v padavinah v letu 2010



Slika 7.3.1.1.(3): Povprečne mesečne depozicije dušika nitratnega izvora v padavinah v letu 2010



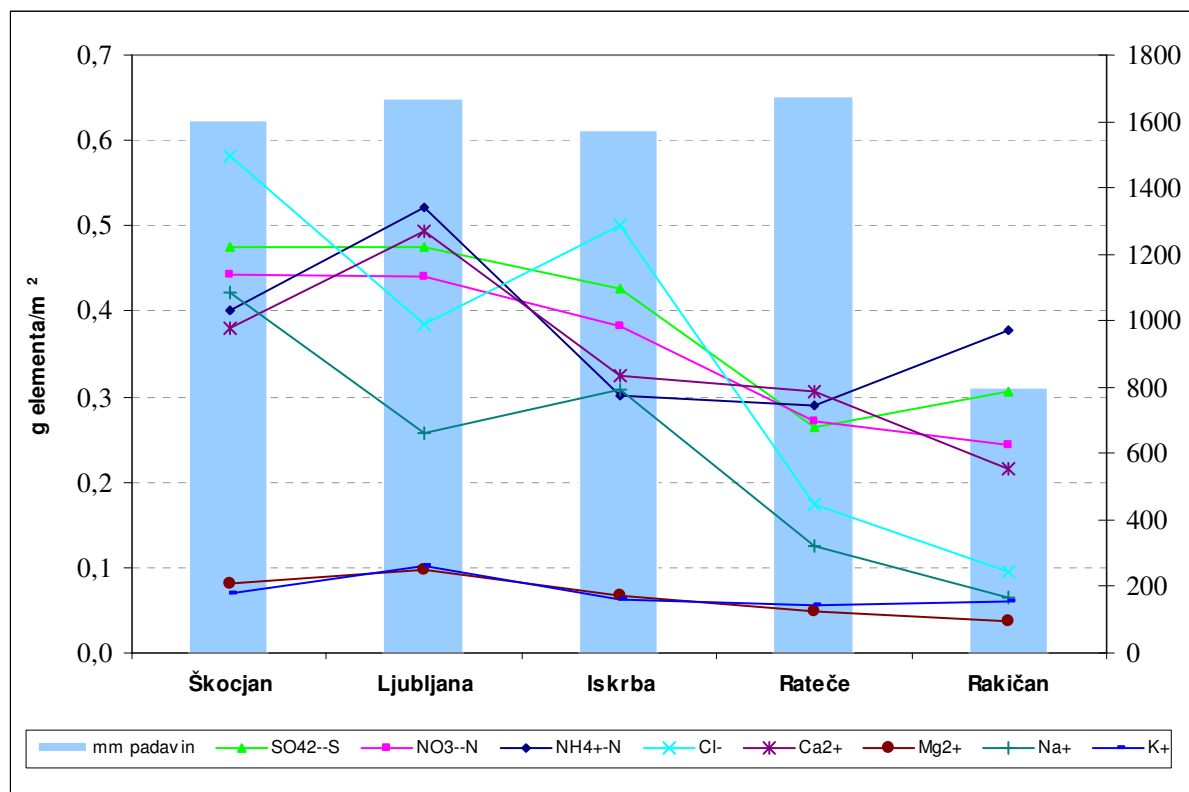
Slika 7.3.1.1.(4): Mesečne količine padavin zbrane z ekološkimi vzorčevalniki v letu 2010

Kljub najvišjim povprečnim koncentracijam dušika nitratnega izvora in žvepla sulfatnega izvora v vzorcih padavin z Rakičana (tabela 7.3.1.1.(1)) smo na tem merilnem mestu zabeležili najnižje depozicije obeh onesnaževal, kar je povezano predvsem s količino padavin, ki je bila, podobno kot v prejšnjih letih, v letu 2010 na tem merilnem mestu v povprečju za polovico manjša kot na ostalih merilnih mestih (tabela 7.3.1.1(3) in slika 7.3.1.1.(5)).

Tabela 7.3.1.1.(3): Kumulativna letna mokra depozicija ionov v letu 2010

Merilno mesto	Količina padavin (mm/leto)	Kumulativna depozicija (g/m <sup>2</sup> .leto)								
		* H <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> -S	Cl <sup>-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>
Iskrba	1576	18,41·10 <sup>-3</sup>	0,302	0,383	0,426	0,500	0,325	0,067	0,309	0,064
Ljubljana	1671	12,1·10 <sup>-3</sup>	0,521	0,440	0,476	0,386	0,493	0,098	0,258	0,103
Rakičan	796	5,3·10 <sup>-3</sup>	0,355	0,232	0,283	0,091	0,193	0,035	0,062	0,058
Rateče	1674	5,3·10 <sup>-3</sup>	0,291	0,270	0,265	0,173	0,305	0,050	0,126	0,056
Škocjan	1604	14,5·10 <sup>-3</sup>	0,402	0,442	0,476	0,583	0,380	0,081	0,422	0,070

Opomba: \* Kumulativna depozicija H<sup>+</sup> je izračunana iz izmerjenih pH vrednosti



Slika 7.3.1.1.(5): Letne kumulativne mokre depozicije osnovnih anionov in kationov v letu 2010

Najvišje letne kumulativne depozicije ionov smo v splošnem zabeležili na merilnih mestih Škocjan in Ljubljana Bežigrad, nekoliko nižje na merilnem mestu Iskrba in najnižje na merilnih mestih Rateče in Rakičan. Iz slike 7.3.1.1.(5) je razvidno, da kumulativne letne depozicije ionov niso v izključni povezavi s količino padavin. Podobno kot pri kislosti padavin povezujemo razmeroma visoke depozicije na Škocjanu in Iskrbi, ki sta v podeželskem okolju povezani predvsem s transportom onesnaževal na velike razdalje. Po vsej verjetnosti največji delež onesnaženja prispevajo emisije onesnaževal z industrijskih področij severne Italije in Hrvaške. Za ti dve merilni mesti sta zaradi bližine morja značilni tudi nekoliko višji depoziciji natrijevih in kloridnih ionov.

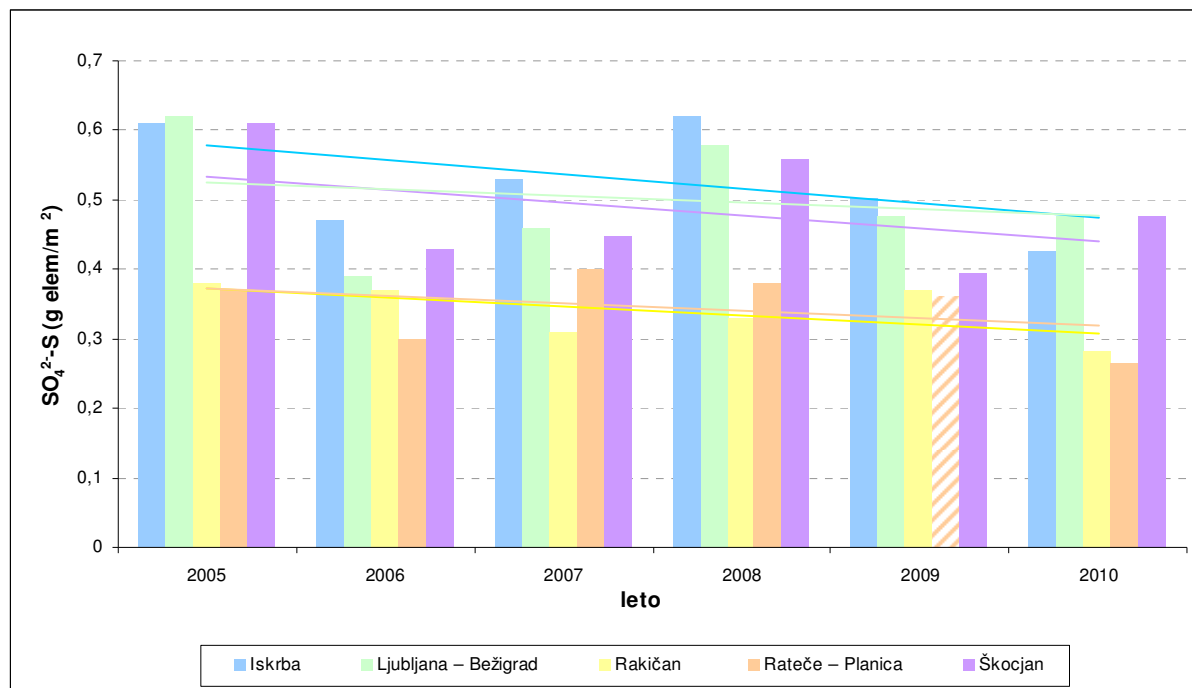
Podobno visoke depozicije onesnaževal smo zabeležili tudi v Ljubljani, kar pa povezujemo predvsem z lokalnim vplivom kot posledica emisij zaradi industrije, prometa in gostote naseljenosti. V Ljubljani smo poleg visokih depozicij žvepla sulfatnega izvora in dušika nitratnega izvora zabeležili tudi najvišji depoziciji dušika amoniakalnega izvora in kalcijevih ionov, razmeroma visoki pa sta tudi depoziciji natrijevih in kloridnih ionov.

Kumulativne letne depozicije ionov na merilnih mestih Rateče in Rakičan so kljub neprimerno večji količini padavin v Ratečah na primerljivem nivoju, kar je posledica približno enkrat višjih koncentracij onesnaževal v padavinah z Rakičana. Na obeh merilnih mestih gre po vsej verjetnosti predvsem za vpliv onesnaženja na velike razdalje, pri čemer je ta vpliv v Ratečah zaradi Alp znatno manjši.

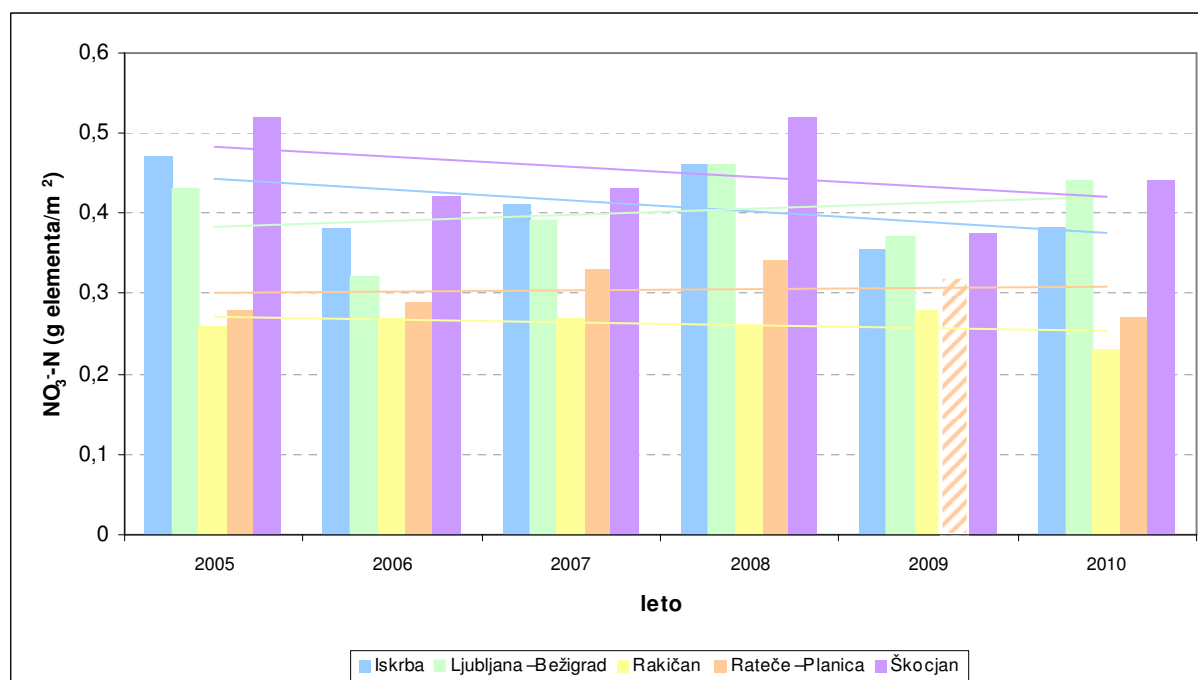
Zaradi boljše predstave o tem, kaj pomenijo te vrednosti za okolje, navajamo za primerjavo vrednosti kritičnih depozicij. Skandinavski strokovnjaki so izračunali, da je za gozdno zemljo kritična obremenitev za žveplo 0,3 - 0,8 g/m<sup>2</sup> na leto (za granitno, gnajсно in silikatno podlago) oziroma 1,6 - 3,2 g/m<sup>2</sup> na leto (za bazaltno in apnenčasto podlago), za dušik pa je kritična obremenitev za večino ekosistemov 0,3 - 1,5 g/m<sup>2</sup> na leto. Kritična obremenitev je definirana kot »kvantitativna ocena« za izpostavljenost ekosistema eni ali več škodljivim snovem v zraku, ki jo po dosedanjih spoznanjih izbrani občutljivi element v okolju še prenese brez škodljivih učinkov.

Meritve kakovosti padavin na merilnih mestih Iskrba, Ljubljana, Rateče in Rakičan izvajamo že od leta 2003. Ker pa smo na merilnem mestu Škocjan z meritvami pričeli šele v drugi polovici leta 2004, na spodnjih slikah navajamo le podatke od leta 2005 dalje.

**Opomba:** Podatke za merilno postajo Rateče za leto 2009 podajamo zgolj kot orientacijske vrednosti, saj smo zaradi nepravilnega delovanja vzorčevalnika v primerjavi z meteorološkimi podatki zajeli 21 % manj padavin.



Slika 7.3.1.1.(6): Kumulativna letna depozicija žvepla sulfatnega izvora v padavinah v letih 2005-2010



Slika 7.3.1.1.(7): Kumulativna letna depozicija dušika nitratnega izvora v padavinah v letih 2005-2010



Na sliki 7.3.1.1 (6) so na vseh merilnih mestih nakazani trendi upadanja depozicije žvepla sulfatnega izvora. Na merilnih mestih Iskrba in Škocjan so nakazani trendi upadanja depozicij dušika nitratnega izvora, v Ratečah in Rakičanu ostajajo na enakem nivoju, med tem ko se za merilno mesto Ljubljana Bežigrad nakazuje rahel trend naraščanja le-teh – slika 7.3.1.1.(7).

### 7.3.1.2 Težke kovine, celotno živo srebro in PAH v padavinah

Meritve težkih kovin, celotnega živega srebra in PAH so potekale v okviru osnovne padavinske merilne mreže na merilnem mestu Iskrba in sicer za določitev:

- TK (arzen, baker, kadmij, krom, nikelj in svinec) in PAH tedensko od 04.01.2010 do 03.01.2011 ter
- Hg v štirinajst dnevni intervalih od 28.12.2009 do 27.12.2010.

Obdobja za katera podajamo statistične količine depozicij so naslednja:

- poletna sezona: april –september,
- zimska sezona: januar – marec in oktober – december,
- letna količina: januar – december.

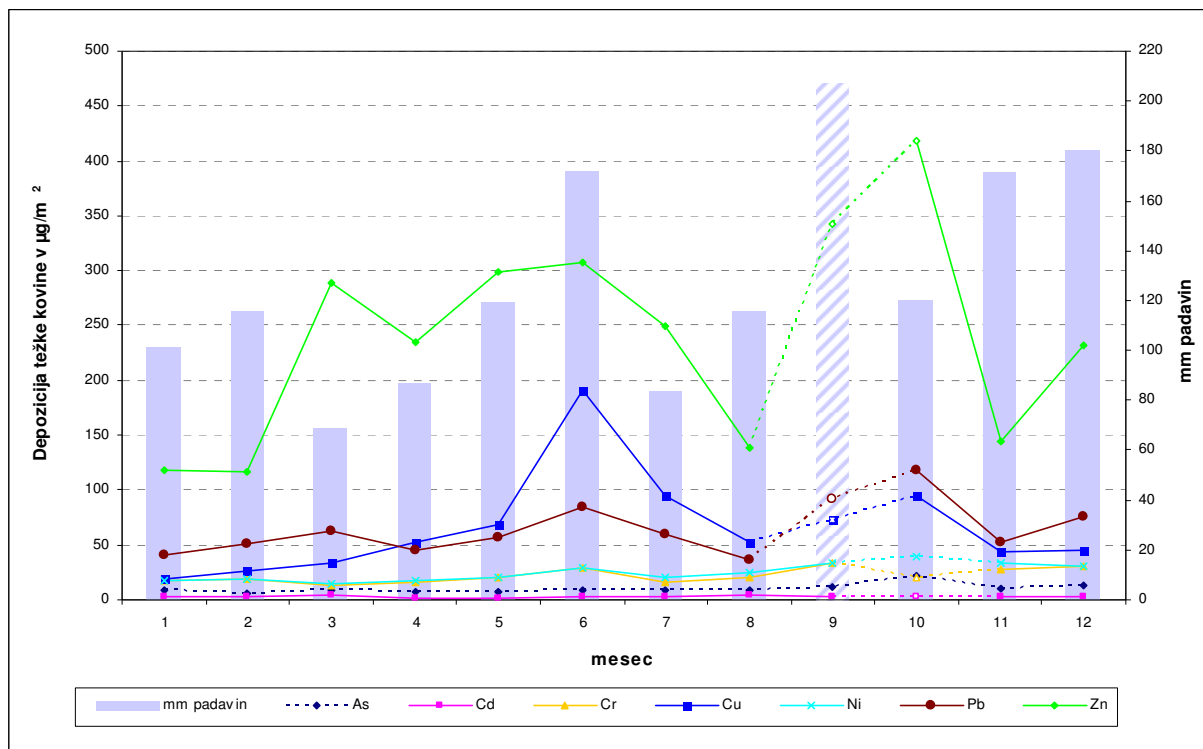
#### Težke kovine v padavinah

Kot je razvidno iz tabele 7.3.1.2.(1) smo tudi v letu 2010 na merilnem mestu Iskrba v celotnem obdobju vzorčenja zabeležili daleč najvišje depozicije cinka. Iz tabele 7.3.1.2.(2) v prilogi in slike 7.3.1.2.(1) lahko vidimo, da so bile te najvišje v oktobru ( $419 \mu\text{g}/\text{m}^2$ ). Sledili sta depoziciji svinca in bakra, še nižje pa so bile celotne depozicije niklja, kroma in arzena, najnižje pa depozicije kadmija. V mesecu septembru zaradi izrednih razmer nismo uspeli zajeti celotne količine padavin, zato so dejanske vrednosti nekoliko višje.

Nihanja depozicij težkih kovin, ki smo jih zabeležili v posameznih obdobjih vzorčenja so povezana z izpiranjem težkih kovin, porazdeljenih v ozračju s transportom na velike razdalje. Razmeroma visoke depozicije cinka, svinca in bakra v maju, juniju in juliju povezujemo z lokalnim vplivom, saj so takrat v bližini merilne postaje potekale aktivnosti z delovnimi stroji, med tem ko višje vrednosti v marcu in oktobru povezujemo s specifičnimi meteorološkimi pogoji (nizke temperature, majhna količina padavin).

**Tabela 7.3.1.2.(1):** Kumulativna celotna depozicija nekaterih težkih kovin na Iskrbi v obdobju vzorčenja od 04.01.2010 do 03.01.2011

Težka kovina	Arzen	Kadmij	Krom	Baker	Nikelj	Svinec	Cink
mg/m <sup>2</sup>	0,124	0,034	0,264	0,794	0,302	0,775	2,890

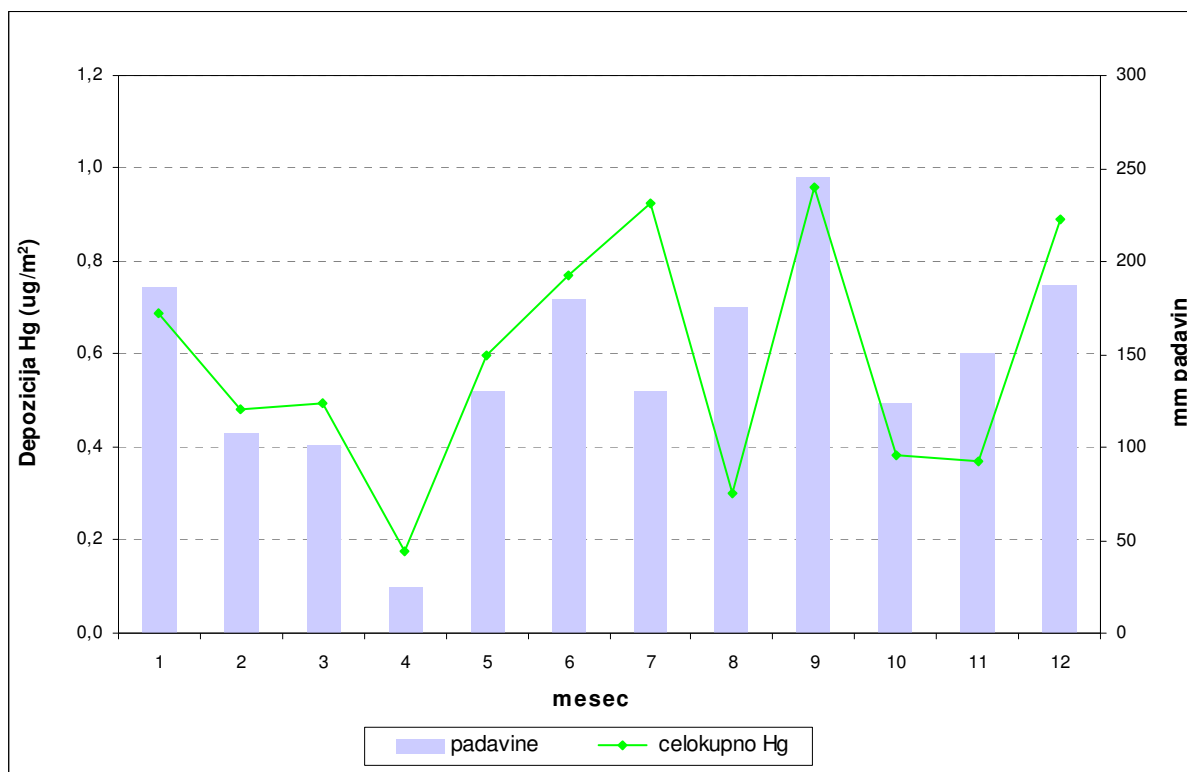


**Slika 7.3.1.2.(1):** Depozicije težkih kovin v letu 2010 za obdobje od 04.01.2010 do 03.01.2011 (tedensko vzorčenje) (Opomba: V mesecu septembru zaradi izjemnih meteoroloških razmer ni bila zajeta celotna količina padavin za določitev TK)

### Celotno živo srebro v padavinah

Koncentracije celotnega Hg v mokrih padavinah so se v letu 2010 gibale med 1,65 in 14,8 ng/L, kar je primerljivo z vrednostmi, ki jih poročajo tudi za neonesnažena področja drugod po svetu /42/ ter nekajkrat nižje od izmerjenih v padavinah zbranih na onesnaženih področjih Italije /43/, osrednje Evrope /44/ in Kanade /45/. Večino živega srebra v padavinah so v drugih študijah našli v anorganski obliki ter vezanega na delce. Zaključimo lahko, da so koncentracije celokupnega Hg v padavinah zbranih v letu 2010 na Iskrbi povsem primerljive z drugimi neonesnaženimi področji v Sloveniji in po svetu.

Kumulativna mokra depozicija živega srebra na merilnem mestu Iskrba v obdobju vzorčenja od 04.01.2010 do 03.01.2011 je znašala 7,04 µg/m<sup>2</sup>. Iz tabele v prilogi 7.3.1.2.(3) in slike 7.3.1.2.(2) je mogoče sklepati, da so bile depozicije celotnega Hg v letu 2010 v precejšnji meri povezane predvsem s količino padavin. Na koncentracijo Hg v ozračju pa vplivajo tudi povišane temperature, saj te povzročajo večje izparevanje iz tal. Na razmeroma visoke koncentracije Hg v padavinah v mesecih maju in juniju povezujemo tako z višjimi temperaturami ozračja kot tudi z aktivnostmi v neposredni bližini merilnega mesta. Visoko koncentracijo Hg v padavinah v mesecu juliju povezujemo predvsem z visokimi temperaturami, saj so bile te več kot 3 °C nad povprečjem v obdobju 1961 - 1990.



**Slika 7.3.1.2.(2):** Depozicija celokupnega živega srebra v letu 2010 za obdobje od 28.12.2009 do 27.12.2010 (14 dnevno vzorčenje)

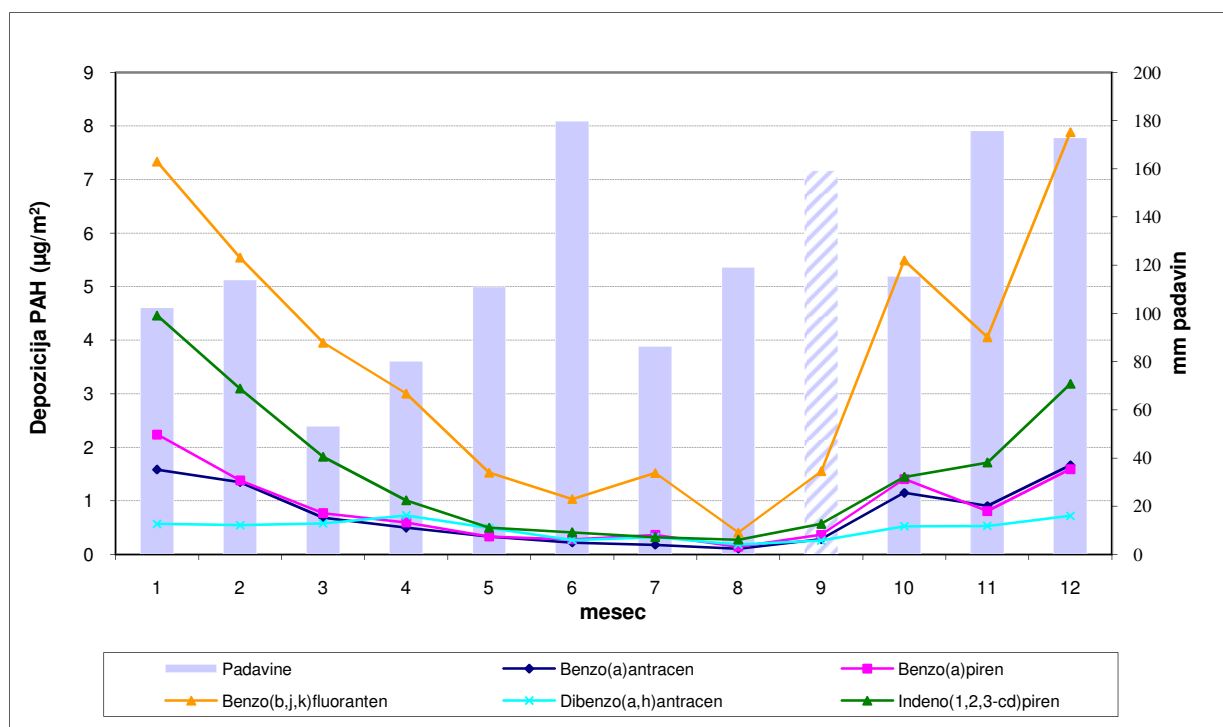
### **Policiklični aromatski ogljikovodiki v padavinah**

V tabeli 7.3.1.2.(4) so prikazane kumulativne celotne depozicije nekaterih PAH v letu 2010, tabela 7.3.1.2.(5) v prilogi tega poročila in slika 7.3.1.2.(3) pa prikazujeta mesečne depozicije le-teh. Povišane depozicije nekaterih PAH smo zabeležili predvsem v zimskih mesecih od januarja do marca ter v oktobru, novembru in decembru. Izstopali so indeno (1,2,3-cd) piren in visokomolekularni benzo(b,j,k)fluoranteni, ki prihajajo v ozračje predvsem zaradi izgorevanja fosilnih goriv in lesa.

Depozicije PAH, izmerjene na Iskrbi, so na nivoju, primerljivem z depozicijami, ugotovljenimi na centralno evropskih jezerih /46/.

**Tabela 7.3.1.2(4):** Kumulativna celotna depozicija nekaterih PAH za obdobje vzorčenja od 04.01.2010 do 03.01.2011

PAH	benzo(a)antracen	benzo(a)piren	benzo(b,j,k)fluoranten	dibenzo(a,h)antracen	Indeno (1,2,3-cd) piren
$\mu\text{g}/\text{m}^2$	8,6	9,8	41,3	5,5	17,7



**Slika 7.3.1.2. (3):** Depozicije nekaterih PAH v letu 2010 (Opomba: V mesecu septembru zaradi izjemnih meteoroloških razmer ni bila zajeta celotna količina padavin za določitev PAH)

### 7.3.2. Merilne mreže na območjih termoelektrarn

Rezultati meritev prašnih usedlin, ki jih izvaja EIMV sicer kažejo, da se raven prašnih usedlin v zadnjih letih ne spreminja. V tem poročilu jih ne navajamo, ker nova zakonodaja teh meritev ne predvideva.

V letu 2010 smo v primerjavi z letom 2009 na vseh postajah zabeležili nižje depozicije žvepla sulfatnega izvora in se torej še naprej nakazuje rahel trend njihovega upadanja. Nižje so tudi depozicije dušika nitratnega izvora razen na merilnih mestih Dobovec in Zavodnje, kjer so depozicije v primerjavi z lanskim letom višje.

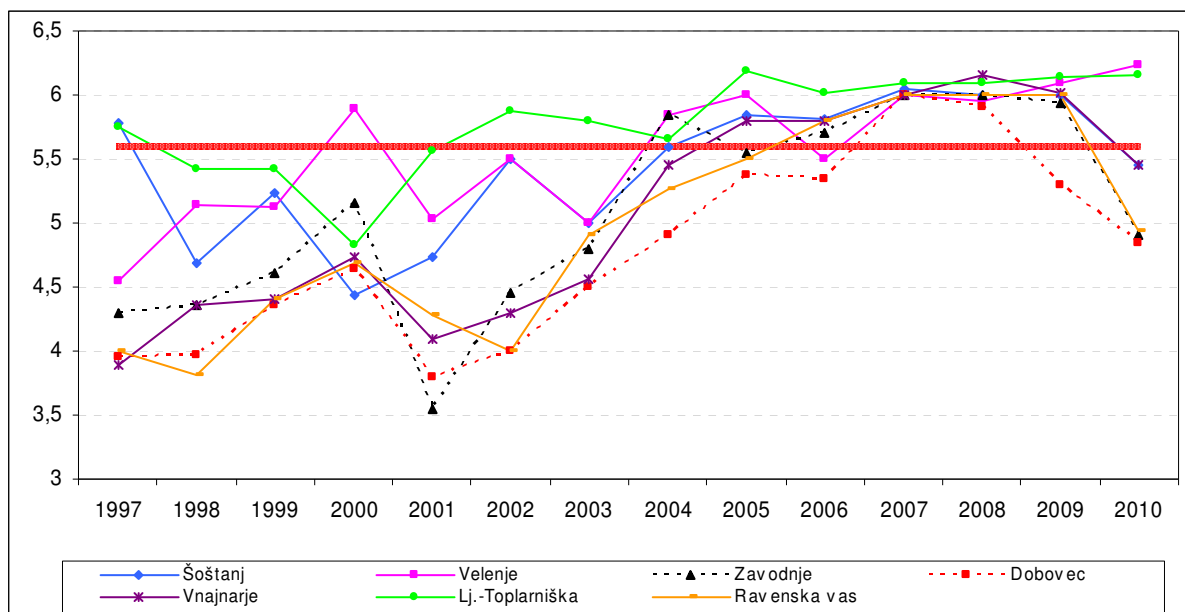
Kislost padavin na merilnih mestih Ljubljana -Toplarniška in v Velenju je za spoznanje nižja kot v preteklem letu, kar se ujema z nakazanim trendom padanja depozicij žvepla sulfatnega izvora in dušika nitratnega izvora na omenjenih mestih. Na merilnih mestih Šoštanj, Vnajarje, Zavodnje, Ravenska vas in Dobovec so padavine bolj kisle kot v preteklem letu. V Zavodnjah in na Dobovcu k povečani kislosti verjetno prispevajo tudi povečane depozicije dušika nitratnega izvora.

**Tabela 7.3.2.(1):** Koncentracije ionov v padavinah in kumulativna depozicija v letu 2010

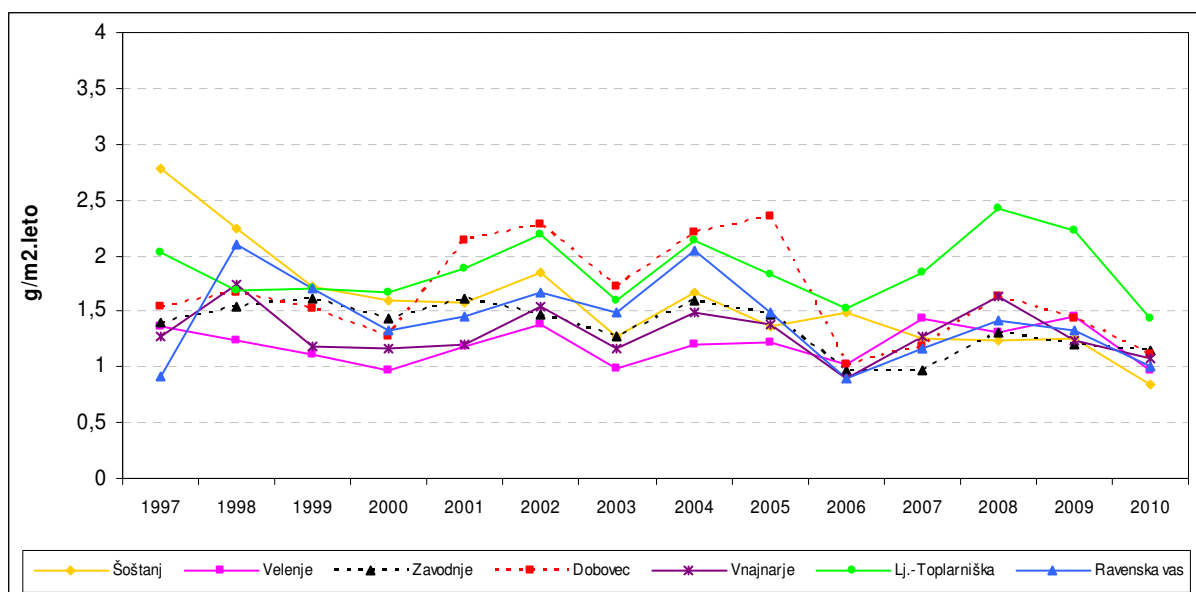
Merilno mesto	Kol. pad. (mm)	Koncentracija ionov mg/l						Kumulativna depozicija g elementa/m <sup>2</sup> .leto					
		pH	Ca <sup>2+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	**HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	*H <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> -S	**HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
<b>EIS-TEŠ</b>													
Šoštanj	1172	6,22	2,18	0,35	2,38	2,19	0,13	7,07E-04	2,55	0,32	0,06	0,85	9,21
Topolšica	1148	5,86	1,28	0,40	1,74	2,16	0,10	1,58E-03	1,47	0,36	0,05	0,83	7,06
Zavodnje	1408	5,62	1,88	0,85	2,60	2,45	0,12	3,36E-03	2,64	0,93	0,08	1,15	10,36
Graška gora	1101	6,18	2,78	0,25	1,69	2,38	0,11	7,25E-04	3,06	0,21	0,04	0,87	7,49
Velenje	1160	6,46	1,66	0,33	1,93	2,49	0,15	3,98E-04	1,92	0,30	0,05	0,96	10,90
Veliki vrh	1173	5,73	1,52	0,56	1,24	2,46	0,13	2,18E-03	1,78	0,51	0,03	0,96	9,05
Škale	1234	5,84	1,08	0,39	1,32	1,64	0,14	1,80E-03	1,33	0,37	0,04	0,68	10,19
Pesje	1198	5,81	1,22	0,38	2,13	2,38	0,10	1,85E-03	1,46	0,35	0,06	0,95	7,62
<b>EIS-TET</b>													
Kovk	1283	5,50	1,39	0,32	1,62	2,27	0,11	4,07E-03	1,78	0,32	0,05	0,97	8,35
Dobovec	1336	5,74	1,24	0,45	1,76	2,50	0,11	2,43E-03	1,65	0,47	0,06	1,11	9,23
Kum	1276	5,84	1,83	0,45	1,48	2,48	0,15	1,83E-03	2,33	0,44	0,05	1,05	11,56
Ravenska vas	1307	5,67	1,25	0,33	1,49	2,33	0,10	2,79E-03	1,63	0,34	0,05	1,01	8,15
Lakonca	1256	5,82	1,45	0,32	1,59	2,26	0,12	1,89E-03	1,82	0,31	0,05	0,94	9,46
Prapretno	1255	5,84	1,36	0,45	1,45	2,34	0,13	1,81E-03	1,70	0,44	0,04	0,98	9,76
<b>TE-TOL</b>													
Vnajnarje	1220	6,19	2,07	0,27	1,68	2,66	0,18	7,79E-04	2,52	0,25	0,05	1,08	13,08
Deponija	1414	6,03	1,60	0,55	1,63	2,02	0,14	1,32E-03	2,26	0,61	0,06	0,95	12,01
Partizanska	1408	6,22	1,63	0,41	1,79	1,75	0,18	8,52E-04	2,30	0,45	0,07	0,82	15,18
Toplarniška	1444	6,59	1,64	0,54	1,91	2,98	0,15	3,71E-04	2,37	0,60	0,08	1,43	13,02
JP Energetika	1543	6,54	1,74	0,51	1,68	3,20	0,18	4,43E-04	2,69	0,61	0,08	1,64	16,98
EIMV	1479	5,91	1,83	0,44	1,57	2,92	0,14	1,82E-03	2,70	0,50	0,06	1,44	12,70

Opombe: \* Izračunano iz izmerjenih pH vrednosti

\*\* šibke kisline (alkaliteta), izražene kot HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>



Slika 7.3.2.(1): Minimalna mesečna pH vrednost padavin v letih 1997-2010



Slika 7.3.2.(2): Kumulativna letna mokra depozicija žvepla sulfatnega izvora v letih 1997- 2010 (mesečno vzorčenje padavin)

Podrobnejše rezultate meritev kakovosti padavin na območjih termoelektrarn in ljubljanske toplarne objavlja inštitut EIMV v svojih mesečnih in letnih poročilih.



## 8. VPLIV ONESNAŽENEGA ZRAKA NA VEGETACIJO



S pojavom vse večjega industrijskega onesnaževanja, razvojem prometa, energetike, industrializacijo kmetijstva in splošno urbanizacijo okolja so začeli rastline uporabljati tudi kot indikatorje onesnaženosti okolja, najprej v neposredni okolici virov zračnega onesnaženja, kasneje s pojavom propadanja gozdov pa tudi širše.



Sledenje stanja okolja v kopenskih ekosistemih z rastlinami in lišaji ima v ekologiji rastlin dolgo tradicijo. Nedvomno je prvi največji razmah tega pristopa zaslediti v fitocenologiji, predvsem zueriško-montpeljejske šole. Na osnovi prisotnosti in prevladovanja posameznih rastlinskih vrst v različnih okoljskih razmerah (lastnosti tal, klime, položaja na kontinentih in nadmorske višine) so za vrste evropske flore določene numerične vrednosti za svetlobo, temperaturo, kontinentalnost, vlažnost, pH, vsebnost dušika v tleh in slanosti rastišča.

S pojavom vse večjega industrijskega onesnaževanja, razvojem prometa, energetike, industrializacijo kmetijstva in splošno urbanizacijo okolja so začeli rastline uporabljati tudi kot indikatorje onesnaženosti okolja, najprej v neposredni okolici virov zračnega onesnaženja, kasneje s pojavom propadanja gozdov pa tudi širše. V tem obdobju je tudi prevladalo prepričanje, da je uporaba bioindikacije v sklopu na učinke onesnaženja orientiranih okoljski raziskav nujno potrebna, kajti zgolj kemijske meritve onesnažil ne kažejo stanja žive narave, še manj so sposobne dati podatke o integralnih vplivih onesnažil in abiotičnih dejavnikov v časovni in prostorski skali.

Vzporedno s tem se je razvijala uporaba bioindikatorjev v toksikoloških študijah v medicini, veterini, pridelavi in predelavi hrane in krme, v smislu zagotavljanja kemijske varnosti. Slednji pristop je le v primernih drastičnih onesnaženj okolja prerastel v ekotoksikološke študije. Koncept uporabe organizmov za sledenje stanja okolja se je v primerih onesnaženja v kopenskih ekosistemih razvil v največji meri za sledenje vplivov onesnaženja zraka, v manjši meri tudi za sledenje onesnaženja tal, pa še to v največji meri kot posledice onesnaženja zraka.

V te namene so bile razvite metode aktivne in pasivne bioindikacije, razviti so bili odzivni in akumulacijski indikatorji. Po opravljenih laboratorijskih raziskavah o vplivu zračnih onesnažil na rastline in lišaje kot tudi po številnih zaplinjevalnih poskusih v naravi (zaplinjanje v komorah brez pokrova (open-top chamber), zaplinjevanje na proste (FAE- free-air enrichment fumigation) so bili za najpogostejša onesnažila zraka (SO<sub>2</sub>, HF, NO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub>, PAN, kovine..) izbrani monitorji- indikatorske rastline, s katerimi je mogoče kvalitativno in kvantitativno spremljati onesnaženje okoja.

V povezavi s tem so bili razviti standardizirani postopki izpostavitve, opazovanja in spremljanja odziva indikatorskih rastlin, največ v povezavi z aktivnostmi v okviru v okviru programa ICP-Vegetation<sup>3</sup>, kot enega izmed delovnih področij Delovne skupine za učinke onesnaženega zraka (WGE<sup>4</sup>) zaradi daljinskega transporta onesnaženega zraka (UNECE CLRTAP<sup>5</sup>).

V Sloveniji je bil ta programa poleg programa ICP-Forest (WGE, CLRTAP) najbolj usklajena aktivnost biomonitoringa onesnaženosti okolja v kopenskih ekosistemih z rastlinami, s poudarkom na spremljanju škodljivih učinkov ozona na kmetijskih rastlinah in polnaravni vegetaciji (trajna travišča). Pri tem so bile uporabljene različne indikacijske rastline, od sort in klonov na ozon odporne in občutljive plazeče detelje (*Trifolium repens* L.), navadnega glavinca (*Centaurea jacea* L.), tobaka (*Nicotiana tabacum* 'Bel W3, Bel b, Bel c') in še mnogih drugih indikatorskih vrst gojenih in samoniklih rastlin. Aktivnost je potekala v okviru WGE CLRTAP programa ICP-Vegetation, sprva kot razvoj metod v okviru razvojnih aplikativnih projektov, kasneje kot diplomska, magistrska in doktorska dela dodiplomskih in podiplomskih študentov Biotehniške fakultete.

Na območju Šaleške in Mežiške doline, v Zasavju in delno tudi v Ljubljani je ta aktivnost potekala tudi kot operativni monitoring večjih termoenergetskih in industrijskih objektov v izvedbi ERIC-a iz Velenja.

Na osnovi teh aktivnost imamo v Sloveniji že vpeljane metode biomonitoringa stanja okolja z rastlinami za primere splošnega onesnaženja zraka, onesnaženja z žveplovimi in fluorovimi spojinami, predvsem pa za monitoring troposferskega ozona. Poleg omenjenih aktivnosti so bile višje rastline uporabljen kot bioindikatorji onesnaženosti zraka in tal s težkimi kovinami (izbrane vrste samoniklih in gojenih rastlin), splošne onesnaženosti okolja (zraka, tal) z metodami citogenetske bioindikacije in s posameznimi raziskavami učinkov onesnaženega zraka na fiziološki in biokemični ravni (fotosintezna barvila, antioksidanti, encimi kot specifični in nespecifični markerji). Standardizacija monitoringa z višjimi rastlinami je v državah EU izven aktivnosti CLRTAP še v teku.

<sup>3</sup> The International Cooperative Programme on Effects of Air Pollution on Natural Vegetation and Crops

<sup>4</sup> Working Group on Effects

<sup>5</sup> Convention on Long-range Transboundary Air Pollution

Verjetno so v svetu kot tudi v Sloveniji najbolj poznani bioindikatorji onesnaženosti zraka epifitski lišaji, tako kot odzivni in akumulacijski indikatorji, razvite so pasivne in aktivne metode bioindikacije. Zaradi dokaj usklajene aktivnosti v okviru mednarodne lišajske organizacije so razvite metode standardiziranega biomonitoringa z lišaji, predvsem z epifitskimi lišaji kot kazalniki čistoče zraka. V Sloveniji smo v okviru popisa stanja gozdov razvili enostavno metodo za veliko površinsko sledenje stanja zraka v te namene, ki je bila že prej in se še sedaj uporablja v didaktične namene, pri ekološkem ozaveščanju osnovnošolske in srednješolske mladine. V okviru bolj poglobljenih študij (diplome, magisteriji, doktorati) so bile v Sloveniji implementirane metode spremljanja stanja zraka s kartiranjem lišajskih vrst (okolice termoenergetskih objektov, večjih mest, visokodebelnih sadovnjakov) na osnovi evropskih smernic (European guidelines for epifitic lichen mapping) in združenja nemških inženirjev (VDI).

V prispevkih bodo prikazani nekateri primeri iz zgoraj navedenih področij biomonitoringa stanja kopenskih ekosistemov z višjimi rastlinami in lišaji kot tudi možnosti uporabe teh aktivnosti v okoljskem biomonitoringu.

## 8.1. Poškodbe po troposferskem ozonu na vegetaciji v Sloveniji /57, 104, 105/

Občutljivost rastlin na troposferski ozon je odvisna od rastiščnih parametrov, predvsem od vodnega režima rastišča. Večja vlažnost zraka in tal povečujeta odprtost listnih rež, ki so glavni vhod za vdor plinastega ozona v listno tkivo, kar ima za posledico večje poškodbe rastlin zaradi ozona. Glavni tip vidnih poškodb pri veliko vrstah tako lesnatih kot zelnatih rastlin je lokalizirana pigmentacija skupin celic, ki tvori jasno določene pikaste poškodbe. V celicah, ki odmrejo zaradi ozona, se odlagajo tanini, razlike v barvi peg pa so posledica različnih koncentracij taninov. Ozon povzroča tudi tvorbo antociana, kar se odraža v lokalni ali splošni pordečitvi listnega tkiva /58/.

Usklajeni monitoring ugotavljanja škodljivih učinkov ozona na vegetacijo poteka v okviru programa ICP-Vegetation. Glavni cilji programa so:

- kvantifikacija riskov, ki jo za kmetijske rastline in polnaravno vegetacijo v območjih EU predstavlja troposferski ozon,
- koordinirana izvedba poskusov za ugotavljanje učinka ozona na kmetijske rastline in polnaravno vegetacijo v EU in S Ameriki,
- izdelava modelov za kvantifikacijo in interpretacijo vpliva klime in drugih okoljskih stresov na odziv rastlin na ozon; uporaba teh modelov za določitev kritičnih vrednosti tega onesnažila,
- izdelava kart v EU regiji, ki kažejo, kje je koncentracija ozona rizična in kje so prekoračene kritične vrednosti,
- ugotavljanje depozicije težkih kovin v vegetaciji (bioakumulacija v mahovih),
- ugotavljanje odziva rastlin na mešanico onesnažil in ugotavljanje obremenitve vegetacije z dušikovimi spojinami,
- vse aktivnosti podpirajo dejavnosti CLRTAP.

Izbrane so bile na ozon občutljive vrste in sorte indikatorskih rastlin, s katerimi se je ugotavljalo in vrednotilo škodljive učinke tega onesnaževala. Najdlje je v okviru držav EU regije pa tudi drugih podpisnic CLRTAP konvencije potekal usklajen poskus sledenja učinkov ozona z odpornimi in občutljivimi kloni plazeče detelje (*Trifolium repens*'Regal NC-S, NC-R'). V Sloveniji smo izvajali ta poskus od leta 1997 do leta 2007 v Ljubljani, Iskrbi in v Rakičanu.

Na osnovi zaplinjevalnih poskusov z ozonom in opazovanji v naravi je bila kot mejna koncentracija, ki lahko povzroči poškodbe na rastlinah izbrana vrednost 40 ppb. Na osnovi teh poskusov so kot kritično obremenitev vegetacije s troposferskim ozonom izbrali parameter AOT40, to je vsota akumuliranih vrednosti 40 ppb v svetli polovici dneva, imenovano kot AOT 40. Računa se ga kot kumulativno v aktivni dobi rastlin, za čas, ko so koncentracije višje od 40 ppb, kar je enako kot 80  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Nad to vrednostjo koncentracije ozona škodujejo rastlinam. Ciljna vrednost za varstvo rastlin znaša 18.000 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).h kot povprečje v obdobju petih let.

Pri lesnatih rastlinah je uničenje celic in tkiv zaradi ozona v bistvu enako kot pri zelnatih rastlinah, pa tudi simptomi so podobni in jih sestavljajo majhne klorotične pege, ki se razvijejo na zgornji listni površini listov občutljivih rastlin, ko se kloroplast palisadnega tkiva poškodujejo. Celice povrhnjice nad poškodovanim delom navadno ostanejo nepoškodovane, ker je prevzem ozona preko kutikule minimalen /58/. Pege so najprej ločene, neopazne, blede zelene barve, ko je poškodovanih še več celic pa postanejo večje in se zlijejo med sabo v belkaste kloroze, ki lahko kasneje preidejo v rjavkaste nekroze. Obarvanje peg je sprva lahko temnozeleno kot posledica nabrekanja celic zaradi poškodb membran, lahko rožnato ali rdeče-vijolično zaradi antocianov, kar lahko preide v splošno pordečitev listov (reddening), kar pa je lahko tudi posledica UV-sevanja ali drugih stresov /66/. Lahko se pojavi tudi pobeljenje zgornje listne površine, vendar je manj pogosto kot pri zelnatih rastlinah. Kadar so poškodbe hude pa lahko prodrejo skozi list, tako da so vidne na obeh straneh. Najprej so prizadeti otočki celic med najmanjšimi listnimi žilami, lahko pa je vključeno tudi žilno tkivo. Razmejene poškodbe so oglatih oblik. Večje žile in obdajajoče tkivo so bolj odporni in velikokrat ostanejo zeleni še potem, ko je pol ali več lista prizadetega. Postopno obarvanje peg daje od ozona prizadetim listom lesnatih rastlin »bronzast« izgled, posebno zgornje listne površine /66, 77/.

Med drevesi so na ozon najbolj občutljivi nekateri iglavci z mezofilno zgradbo iglic, listavci pa so le nekoliko bolj odporni. Razporeditev vrst v občutljivostne razrede pa je težka, saj je znotraj osebkov populacije velika genska raznolikost, poleg tega pa so prisotni še okoljski vplivi /77, 58/. Poškodbe zaradi ozona vplivajo na zmanjšano fotosintetsko aktivnost, zaradi poškodovanosti asimilacijskega parenhima in posledično tudi prezgodnjega staranja listov, ki povzročajo manjšo primarno produkcijo, posledično vodijo v hiranje in zaradi drugih stresnih dejavnikov lahko pride do propadanja gozdnega drevja. To je bilo najprej dokazano v Kaliforniji /77/, kjer so na območju gorovja San Bernardino na velikem območju začeli propadati sestoji bora (*Pinus ponderosa* Lawson) zaradi emisij prekurzorjev ozona na območju Los Angelesa. Trenutno še ne moremo preveriti kakšen je bil in je delež ozona pri propadanju gozdov v Sloveniji, saj zato nimamo dovolj podatkov, z izjemo opazovanj poškodb in nekaterih analiz antioksidantov kot obrambnega sistema rastlin /59, 75/.

Pred nastankom vidnih poškodb povzroča ozon serijo biokemičnih in fizioloških sprememb, kot so poškodbe membran, oksidacija lipidov v kutikuli, povečanje vsebnosti antioksidantov, spremembe v sestavi fotosinteznih barvil, upad fotosinteze in prezgodnje staranje /79, 64/. Na fiziološki ravni se spremeni translokacija asimilatov, kjer se zaradi povečane porabe za odpravo poškodb v listih zmanjša alokacija v korenine, kar vodi do sprememb v mikorizaciji in posledično do motenj v mineralni prehrani in preskrbi z vodo /58, 63/.

Na ploskvah intenzivnega monitoringa gozdnega ekosistema in Gozdarskega inštituta Slovenije (v nadaljevanju GIS), ki poteka v okviru programa ICP - Forest, raven II (Konvencija o onesnaževanju zraka na velike razdalje preko meja - CLRTAP), smo v vegetacijski sezoni 2008 opazovali poškodbe na listih rastlin gozdne vegetacije. Naš namen je bil evidentirati pojavljanje poškodb povzročenih po troposferskem ozonu na gozdni vegetaciji, določiti vpliv različnih klimatskih in mikro klimatskih razmer ter virov onesnaževanja zraka na vrsto in stopnjo poškodovanosti izbranih lesnatih rastlin.

## **Območje raziskave in metode**

Ugotavljanje ozonskih poškodb na rastlinah poteka pri podpisnicah CLRTAP konvencije v okviru protokolov, ki jih je na osnovi predhodnih zaplinjevalnih poskusov z ozonom pripravil program ICP-Vegetation in ICP-Forest.

## **Območje opazovanja ozonskih poškodb na gozdnih rastlinah**

Ozonske poškodbe smo spremljali na ploskvah prej omenjenega programa in sicer na lokacijah Fondex – Trnovski gozd, Sežana – Gropajski bori, Kolomban nad Ankaranom, Podgorski Kras pod Slavnikom pri Černotičah, Lontovž – Kum, Zasavje, Borovec pri Kočevski Reki, Murska Šuma in Ljubljana (vrt GIS in BF).

Podatke o koncentracijah ozona so bili za leto 2008 pridobljeni s ploskev, kjer so raziskovalci GIS ob pomoči sodelavcev Zavoda za gozdove Slovenije (v nadaljevanju ZGS) izvajali meritve koncentracij

ozona in ocenjevali poškodovanost vegetacije v skladu z metodologijo ICP Forest. V letu 2008 so meritve potekale na desetih ploskvah intenzivnega monitoringa (IM), na umeritvenih postajah, kjer poteka umerjanje pasivnih vzorčevalnikov za spremljanje ozona s podatki iz DMKZ (Ljubljana Bežigrad in Iskrba), ter na izbranih dodatnih merilnih mestih na vrtu GIS (Ljubljana Rožna dolina), na ploskvi Podgorski Kras pod Slavnikom ter dodatni ploskvi Kolomban nad Ankaranom.

Zamenjava pasivnih vzorčevalnikov je v času vegetacijske sezone potekala vsakih 14-dni (13 period). Vzorčevalniki (t.i. »dozimetri«) so bili preneseni v Laboratorij za gozdno ekologijo (LGE) na GIS, kjer so bili analizirani po standardnem *SOP LGE MET 022* postopku. S pomočjo umerjanja z vrednostmi koncentracij ozona dobljenimi z avtomatskimi postajami in vzporednimi meritvami pasivnih vzorčevalnikov in uporabo ustreznih pretvorbenih funkcij /70/ smo analizirane koncentracije nitratov (NO<sub>3</sub>), preračunali v ustrezne koncentracije ozona O<sub>3</sub> v µg/m<sup>3</sup>. Izračunane koncentracije ozona so kumulativne, povprečje pa se izračuna iz časa izpostave na ploskvi.

V bližnji okolici vsake ploskve, na katerih je potekalo pasivno merjenje koncentracij ozona, smo izbrali površino s polmerom približno 500 m in gozdnim robom, ki je izpostavljen svetlobi in je daljši od 10 m. Na tem gozdnem robu smo zabeležili vse drevesne vrste in ocenili njihovo poškodovanost, zaradi troposferskega ozona po metodologiji ICP-Forest. Skala ocenjevanja ozonskih poškodb je bila naslednja:

- |   |   |
|---|---|
| 0 | ni znakov ozonski poškodb                   |
| 1 | 1-5 % listov kaže znake ozonskih poškodb    |
| 2 | 6-50 % listov kaže znake ozonskih poškodb   |
| 3 | nad 50 % listov kaže znake ozonskih poškodb |

Ozonske poškodbe smo v obdobju našega opazovanja evidentirali na listih navadne leske (*Corylus avellana* L.), navadne bukve (*Fagus sylvatica* L.), malega jesena (*Fraxinus ornus* L.), gorskega javorja (*Acer pseudoplatanus* L.), lipovca (*Tilia cordata* Mill.), češnje (*Prunus avium* L.), šipka (*Rosa* L.), rumenega dreva (*Cornus mas* L.), rdečega dreva (*Cornus sanguinea* L.), črnega gabra (*Ostrya carpinifolia* Scop.), črnega bezga (*Sambucus nigra* L.) in mokovca (*Sorbus aria* L.).

### **Metode opazovanja ozonski poškodb na vegetaciji**

Delo je potekalo po protokolu programa ICP Vegetation. Koordinator programa izbere indikatorsko rastlino, ki jo po predpisanem protokolu gojijo vsi udeleženci programa in po usklajeni metodi beležijo listne poškodbe, upad biomase in opravljajo ostale raziskave na rastlini, ki dokazujejo ozonske poškodbe in odziv rastline nanje.

Sadike plazeče detelje (*Trifolium repens* 'Regal') smo dobili iz koordinacijskega centra v Veliki Britaniji, kjer gojijo uniformni material za celotno UNECE regijo, kjer tovrstne raziskave potekajo. Po 28 dnevih gojenja v rastlinjaku smo jih izpostavili naravnim razmeram. Izpostavili smo 10 sadik na ozon odpornega in 10 sadik na ozon občutljivega klona plazeče detelje, ter zaradi lažjega spremljanja pojava ozonskih poškodb še 9 sadik drugih indikatorskih rastlin.

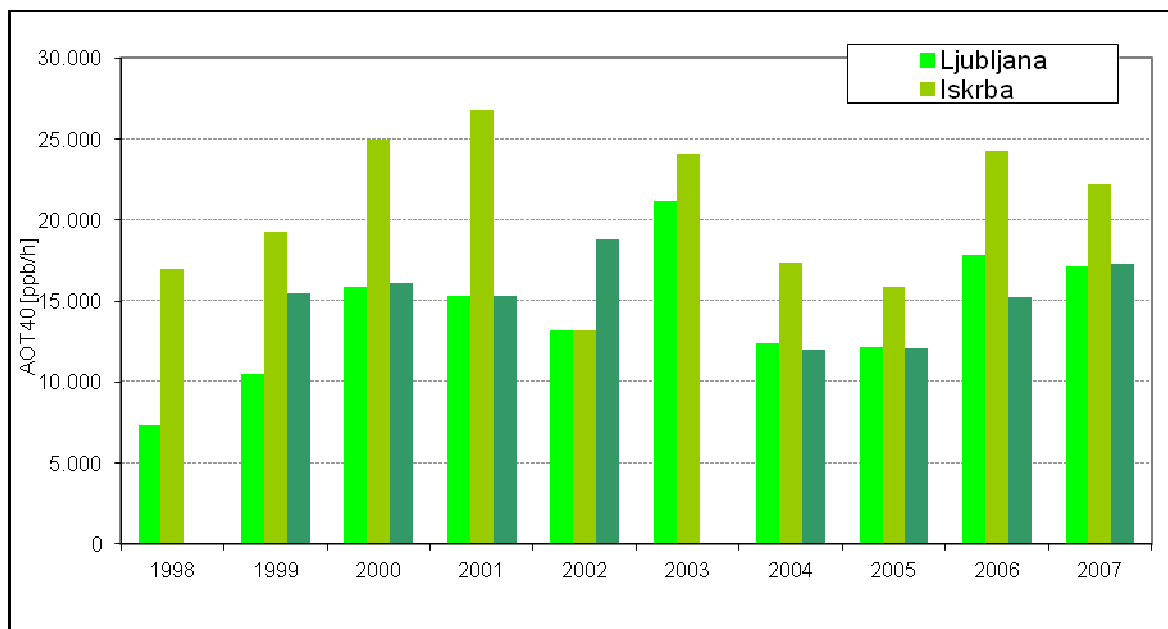


Poskusna parcela na Krvavcu, 2001 (foto: Franc Batič)

Na vseh rastlinah smo tedensko spremljali ozonske poškodbe na listih, ter prešteli poškodovane in nepoškodovane liste posebej občutljivega in odpornega klona plazeče detelje. Na 28 dni pa smo vzorčili biomaso plazeče detelje. Vzorčenje je potekalo tako, da smo porezali vse glavne in stranske poganjke plazeče detelje nad ravnim vršičkom, ter poganjke, ki so segali preko lonca. Razvijajoče se liste smo pustili. Dobljeno biomaso smo nato posušili do konstantne teže in stekali. Iz dobljenih podatkov smo izračunali indeks listne poškodovanosti ILP; to je odstotek poškodovanih listov plazeče detelje; za vsak klon posebej in za vsako opazovanje posebej. Iz izmerjenih biomas obeh klonov pa smo izračunali upad pridelka zaradi ozona. Biomasa odpornega klona nam je služila kot kontrola, na njeno zmanjšanje naj ozon ne bi imel vpliva.

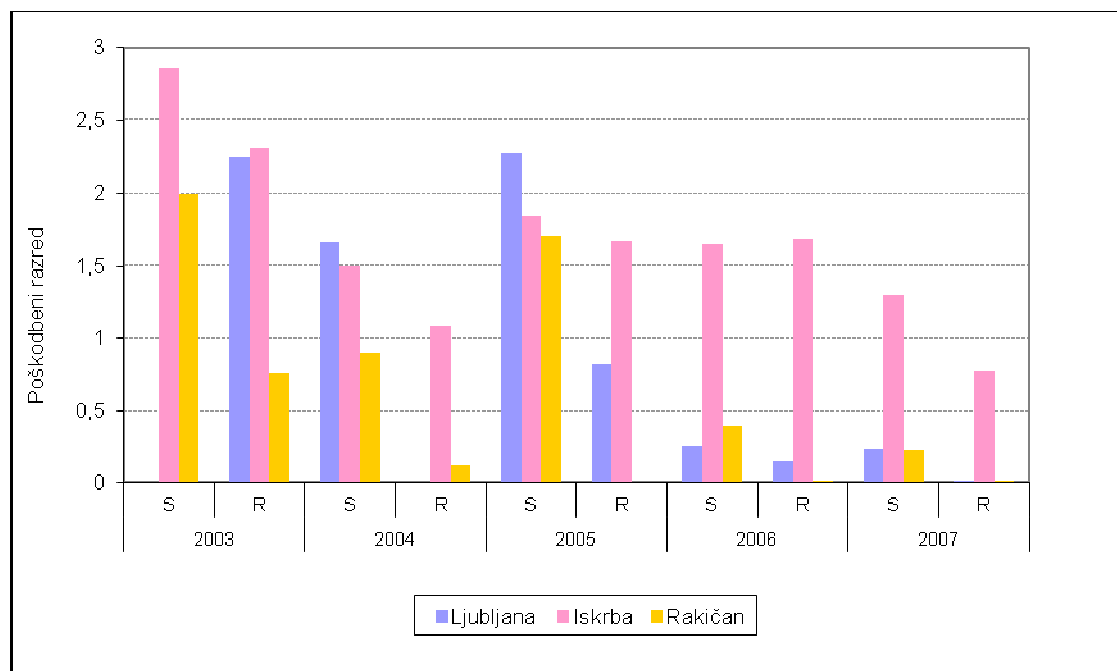
## Rezultati

Prikazano je nekaj rezultatov sledenja učinkov troposferskega ozona z indikatorsko rastlino plazečo deteljo in preliminarna opazovanja ozonskih poškodb na gozdni vegetaciji.



**Slika 8.1.(1):** Kumulativne vrednosti AOT40 za Ljubljano, Iskrbo in Rakičan, kjer je v obdobju 1998 - 2007 potekal poskus sledenja učinkov ozona s plazečo deteljo (Vir podatkov o koncentracijah ozona: ARSO)

Poškodbe občutljivega klona so bile na vseh mestih večje, največje na Iskrbi, vendar poškodovanost indikatorskih rastlin ni povsem v skladu z AOT vrednostmi, kar kaže, da ta kazalec za opredelitev poškodb na vegetaciji ni najbolj primeren. Vrednosti parametra AOT40 so bile merjene na 9 podeželskih merilnih mestih. Poškodovanost listov indikatorske rastline plazeče detelje kaže razmerje poškodovanosti na ozon občutljivega in odpornega klona te rastline, ocenjeno kot tedesno pojavljanje listnih poškodb po enostavni skali, usklajeno v okviru programa ICP-Vegetation. Mejna vrednost parametra AOT40, ki je 18.000 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).h kot povprečje v obdobju petih let, je v vegetacijskem obdobju med leti 2003 in 2008 dosegala najvišje vrednost v Otlici in Krvavcu, najnižje pa v Sv. Mohorju. Mejna vrednost parametra AOT40 je bila sicer presežena na skoraj vseh merilnih mestih. Največja preseganja so bila leta 2003 ter v letih 2006 in 2007.



**Slika 8.1.(2):** Povprečje poškodovanosti na ozon občutljivega in odpornega klona plazeče detelje za mesta opazovanja Ljubljana, Iskrba, Rakičan.

Vrednosti AOT40 so na vseh treh mestih, kjer smo izpostavili indikatorske rastline, Ljubljana, Iskrba in Rakičan, že v prvi polovici vegetacijske dobe presegle komulativne vrednosti AOT40, ki jih je v okviru uskaljenih raziskav določil ICP-Vegetation program in sicer za kmetijske rastline 3 ppm.h v 3 mesecih (učinek: zmanjšan pridelek); okrasne rastline 6 ppm.h v 3,5 meseca (učinek: zmanjšan pridelek); polnaravna vegetacija (trajna travišča) 3 ppm h v 3 mesecih ali rastni sezoni (učinek: zmanjšana rast trajnic in zmanjšana tvorba semen pri enoletnicah); gozdna drevesa: 5 ppm h v rastni sezoni (učinek: zmanjšana rast). Kljub velikim vrednostim AOT40 in preseženim pragovom za vse tipe vegetacije pa je bila poškodovanost indikatorskih rastlin relativno majhna, še manjši je bil upad biomase pri občutljivem klonu plazeče detelje. To kaže na relativno slabo odzivnost te indikatorske rastline, na nenajboljšo indikatorsko vrednost AOT40 glede opredelitve poškodb po troposferskem ozonu na vegetaciji, kajti stanje rastline in okoljski dejavniki (predvsem vodni režim) učinek ozona močno modificirajo. To potrjuje tudi enosezonski poskus z isto indikatorsko rastlino na Krvavcu, kjer je bil učinek relativno velikih koncentracij ozona na upad biomase velik (40 % zmanjšanje glede na odporen klon), kar isto leto na ostalih stalnih mestih (Ljubljana, Iskrba, Rakičan) nismo ugotovili. Zaradi teh težav potekajo pri udeleženkah programa raziskave učinkov ozona, ki ugotavljajo njegov privzem na osnovi prevodnosti rež.

## Preliminarni izsledki opazovanj ozonskih poškodb na gozdnih rastlinah

V letu 2008 je bila v Sloveniji na večini merilnih mest ARSO v obdobju april - september prekoračena mejna vrednost faktorja AOT40 za zaščito vegetacije in gozdov. Kritična meja za zmanjšano rast gozda znaša 5000 ppb.h ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) nad 40 ppb ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) akumuliranega ozona med svetlimi urami dneva (obdobje največjega dotoka ozona v rastlino) v obdobju treh mesecev, ko so rastline najbolj občutljive na ozon (vegetacijsko obdobje), kritična meja za vidne poškodbe pa je 700 ppb.h ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) nad 40 ppb akumuliranega ozona med svetlimi urami dneva v obdobju treh zaporednih dni.

**Tabela 8.1.(1):** Podatki o koncentracijah ozona na ploskvah intenzivnega monitoringa, ki so rezultat meritev na terenu (vir: GIS)

Začetni datum	Končni datum	Začetna ura	Končna ura	Ploskev	Oznaka ploskve	Čas [min]	O <sub>3</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
30.7.2008	13.8.2008	12:30	12:30	FONDEK	2	20160	73,69
30.7.2008	13.8.2008	12:30	8:50	G. BORI	3	19940	71,43
30.7.2008	13.8.2008	8:00	8:05	BRDO	4	20165	57,78
30.7.2008	13.8.2008	7:25	7:50	BOROVEC	5	20185	98,00
30.7.2008	13.8.2008	10:20	10:35	LONTOVŽ	8	20175	84,35
30.7.2008	13.8.2008	13:20	7:35	M. ŠUMA	11	19815	36,43
30.7.2008	13.8.2008	15:40	15:40	GIS VRT	12	20160	37,59
30.7.2008	13.8.2008	9:45	11:45	ISKRBA	IS	20280	60,81
30.7.2008	13.8.2008	15:20	15:10	ARSO	LJ	20150	59,31
30.7.2008	13.8.2008	17:00	16:30	ANKARAN	AN	20130	120,30
30.7.2008	13.8.2008	8:35	7:30	SLAVNIK	SL	20095	90,26
13.8.2008	27.8.2008	12:30	12:30	FONDEK	2	20160	63,13
13.8.2008	27.8.2008	8:50	8:35	G. BORI	3	20145	63,14
13.8.2008	27.8.2008	8:05	8:30	BRDO	4	20185	48,00
13.8.2008	27.8.2008	7:50	7:25	BOROVEC	5	20135	86,69
13.8.2008	27.8.2008	10:35	12:40	LONTOVŽ	8	20285	72,03
13.8.2008	27.8.2008	7:35	8:50	M. ŠUMA	11	20235	34,67
13.8.2008	27.8.2008	15:40	16:30	GIS VRT	12	20210	32,39
13.8.2008	27.8.2008	11:45	10:00	ISKRBA	IS	20055	54,12
13.8.2008	27.8.2008	15:10	16:10	ARSO	LJ	20220	52,51
13.8.2008	27.8.2008	16:30	16:30	ANKARAN	AN	20160	93,47
13.8.2008	27.8.2008	7:30	12:55	SLAVNIK	SL	20485	88,84
27.8.2008	10.9.2008	12:30	12:30	FONDEK	2	20160	68,04
27.8.2008	10.9.2008	8:35	9:35	G. BORI	3	20220	67,01
27.8.2008	10.9.2008	8:30	16:45	BRDO	4	20655	56,00
27.8.2008	10.9.2008	7:25	8:05	BOROVEC	5	20200	139,87
27.8.2008	10.9.2008	12:40	11:30	LONTOVŽ	8	20090	81,12
27.8.2008	10.9.2008	8:50	12:10	M. ŠUMA	11	20360	39,09
27.8.2008	10.9.2008	16:30	9:40	GIS VRT	12	19750	30,66



Začetni datum	Končni datum	Začetna ura	Končna ura	Ploskev	Oznaka ploskve	Čas [min]	O <sub>3</sub> (µg/m <sup>3</sup> )
27.8.2008	10.9.2008	10:00	11:00	ISKRBA	IS	20220	77,01
27.8.2008	10.9.2008	16:10	10:05	ARSO	LJ	19795	42,96
27.8.2008	24.9.2008	16:30	16:30	ANKARAN	AN	*40320	
27.8.2008	10.9.2008	12:55	7:30	SLAVNIK	SL	19835	89,40

1 ppb= 1,96 µg/m<sup>3</sup>

Po podatkih ARSO so se največje urne koncentracije ozona pojavljale v poletnih mesecih od julija do avgusta, za dnevne hode pa so značilni viški okoli 15. ure. Julija 2008 je bila zaradi spremenljivega vremena onesnaženost z ozonom nekoliko manjša, avgusta zaradi močnih neviht prav tako, septembra pa so zaradi nižjih temperatur koncentracije ozona manjše kot avgusta. Največje koncentracije ozona so bile v letu 2008 izmerjene na Borovcu in v Ankaranu. Najvišje temperature so bile izmerjene na ploskvah Gropajski bori in Murska Šuma. Največ padavin je padlo na ploskvi Lontovž, najmanj pa na ploskvah Murska Šuma in Borovec. Največje sončno sevanje je bilo izmerjeno na ploskvah Murska Šuma in Borovec.

Iz Tabele 8.1.(1) je razvidno, da akumulirana vrednost ozona, izmerjena s pasivnimi vzorčevalniki v približno dvotedenskih obdobjih na nobeni izmed ploskev ni presegla kritične vrednosti za nastanek listnih poškodb, 700 ppb.h, je pa presegala vrednost AOT 40 (78,4 µg<sup>3</sup>) nekajkrat v avgustu in septembru, predvsem na merilnih mestih na Primorskem (Ankaran, Slavnik) in Kočevskem (Borovec).

Vidne ozonske poškodbe listov gozdnega drevja in grmovja so se avgusta pojavile na naslednjih ploskvah in obsegu: Fondek – Trnovski gozd: 2. stopnja (navadna bukev, mali jesen, veliki jesen, navadna leska, dobrovita, mokovec, beli javor, črni bezeg, rdeči dren); Lontovž – Kum, Zasavje: 1. stopnja (gorski javor, navadna leska, črni bezeg); Podgorski Kras pod Slavnikom pri Černotičah: nekaj primerkov malega jesena; Kolomban nad Ankaranom: nekaj primerkov malega jesena, češnje in tulipanovca; Ljubljana: nekaj primerkov tulipanovca. Na ploskvah Borovec pri Kočevski reki, Murska Šuma in Sežana – Gropajski bori vidnih ozonskih poškodb vegetacije ni bilo.

Poškodbe so se pojavljale predvsem v obliki točkastih vijoličastih peg kot posledica odlaganja antocianov v celicah in končnega bronzinga, rjavkastih nekroz celotne listne površine z zelenim tkivom ob žilah.

Naravna vegetacija ni vedno dober pokazatelj velikih koncentracij ozona v zraku, saj nanjo vplivajo tudi klimatski dejavniki, kot sta temperatura in zračna vlaga, od katerih je odvisen nastanek ozonskih poškodb. Pri visokih temperaturah in majhni zračni vlagi so listne reže zaprte, zato je dostop ozona v liste onemogočen, kar se odraža kot odsotnost ozonskih poškodb. To je še posebej izrazito v obdobju suše.

Poskusi z bioindikatorskimi rastlinami v lončnem poskusu dajejo boljše rezultate, saj rastline vseskozi zalivamo in tako v veliki meri izključimo vpliv pomanjkanja vode na nastanek poškodb. Kljub zalivanju pa v zelo vročih dneh mezofiti zapro reže zaradi majhne zračne vlažnosti, kar je bilo potrjeno v poskusu sledenja poškodb zaradi troposferskega ozona z odpornimi in občutljivimi kloni plazeče detelje /76/. V poskusu z indikatorsko rastlino navadnega nizkega fižola (*Phaseolus vulgaris* L.), ki smo ga izvedli v istem obdobju kot smo opazovali ozonske poškodbe na gozdnih rastlinah, smo na laboratorijskem polju Biotehniške fakultete, ki je približno 1 km oddaljeno od GIS, opazovali ozonske poškodbe rastlin na ozon odpornega in občutljivega genotipa. Rastline občutljivega genotipa so kazale značilne ozonske poškodbe in so bile bolj poškodovane, masa njihovih strokov in semen pa je bila manjša kot pri odpornem genotipu iste sorte fižola. Poškodbe listov so se pojavljale v obliki bronzinga zgornje listne površine /67/, kljub relativno majhnim izmerjenim koncentracijam ozona na Gozdarskem inštitutu, ki so znašale nekaj nad 30 µg/m<sup>3</sup>, kar je manj kot kritična meja AOT40.

Za opazovano obdobje (eno poletje) so značilne manjše poškodbe gozdne vegetacije na območjih z visokimi temperaturami in majhno zračno vlažnostjo, kjer so listne reže zaprte in vstop ozona onemogočen, tako da kljub velikim koncentracijam ozona rastline ostanejo nepoškodovane, kot je bil to primer na ploskvah v Ankaranu, Slavniku in Borovcu. Večje poškodbe so opazne tam, kjer so

temperature zmernejše, vlaga večja, ozonske koncentracije pa večje zaradi njihovega dotoka z zračnimi masami iz severne Italije, kot je to primer na ploskvi Fondék ali pa na ploskvi Lontovž, kjer je v bližini večji lokalni vir predhodnikov ozona (termoelektrarna Trbovlje). Pri tem se moramo zavedati, da smo ozonske poškodbe opazovali na gozdnem robu, v glavnem na spodnjih vejah mlajših dreves in na grmovnih vrstah. Opazovanja ozonskih poškodb na naravni vegetaciji in v poskusih zaplinjevanja z ozonom v tujini, predvsem rezultati teh raziskav iz Severne Amerike in Evrope kažejo, da ne smemo enačiti učinkov ozona na mladih rastlinah s tistimi na odraslih, različen je tudi odziv istih vrst na obodu krošnje in v zastoru /58, 72, 68, 64/. V tem pogledu so naši rezultati evidentiranja ozonskih poškodb na gozdni vegetaciji v Sloveniji le preliminarni, a so dovolj indikativni, da poleg izmerjenih velikih koncentracij ozona na številnih mestih kažejo na naraščajoči pomen tega zračnega onesnaževala. Sledenje učinkov troposferskega ozona na kmetijskih rastlinah, kjer je njegov vpliv na upad pridelka bolj pereč kot drugih zračnih onesnaževal ima večjo tradicijo, saj v okviru programa, sledimo učinke troposferskega ozona z različnimi bioindikatorskimi rastlinami že od leta 1996 /59, 73, 69/ in opažamo značilne ozonske poškodbe na izbranih indikatorskih rastlinah (navadni tobak, plazeča detelja, navadni glavinec, nizek fižol), vendar je stopnja njihove poškodovanosti navadno manjša kot bi pričakovali glede na velike, izmerjene vrednosti ozona v zraku.



Ozonske poškodbe listov navadne bukve, črnega bezga in navadne leske (foto: Franc Batič)

Pri sledenju pojavljanja ozonskih poškodb na lesnatih rastlinah smo opazili, da lahko med poletjem nastale ozonske poškodbe opazujemo vse do odpadanja listja v jeseni. Listi, ki so bili poškodovani zaradi ozona imajo ob jesenskem propadu klorofila in obarvanju s karotenoidi in antociani še vedno, morda še bolj značilen izgled listov z ozonskim poškodbam. Na zgornji strani lista lahko opazujemo v generacijah listov, ki so nastali v času ozonskih epizod značilne točkaste poškodbe med žilami zaradi poškodovanosti asimilacijskega parenhima. Temnejša obarvanost tkiva je zaradi obrambnih mehanizmov lista nastala zaradi tvorbe taninov ali antocianov, včasih je na tem mestu tudi zakasnelo propadanje klorofila. Največ takšnih poškodb lahko v jeseni opazimo v notranjosti krošenj dreves in grmov, kjer je mezofilna zgradba listov bolj občutljiva na ozon. Opažanje se ujema s poskusi zaplinjevanja z ozonom in opazovanjih ozonskih poškodb tujih avtorjev /58, 65/.



Značilni jesenski izgled ozonskih poškodb na listih navadnega belega gabra (foto: Franc Batič)

Iz te preliminarne raziskave in nekaterih prejšnjih raziskav je razvidno, da se ozonske poškodbe na gozdni vegetaciji v Sloveniji pojavljajo dokaj pogosto, le da niso še primerno kvalitativno, še manj kvantitativno ovrednotene. Nastanek ozonskih poškodb je poleg od koncentracij ozona in trajanja ozonskih epizod odvisen od vrste rastlin in okoljskih dejavnikov. Poškodbe naravne vegetacije so manjše na območjih višjih zračnih temperatur in manjše zračne vlažnosti, kljub morebitnim visokim koncentracijam ozona. Zaradi nespremenjenega naraščajočega trenda pojavljanja troposferskega ozona, ki ga generirajo predvsem zračna onesnažila iz prometa, termoenergetskih objektov in industrije je potrebno učinke na vegetaciji spremljati kot kazalce o stanju okolja. Usklajeni programi biomonitoringa ozona, ki so nastali ali so v nastajanju v okviru WGE CLRTAP so zato še posebej primerni, ker temeljijo na številnih poskusih zaplinjevanja z ozonom in raziskavah vegetacije na območjih z zelo različnimi koncentracijami troposferskega ozona.

## 8.2. Biomonitoring kovin in dušika z uporabo mahov

Zaradi industrijske dejavnosti, kmetijstva, prometa, individualnih kurišč in drugih antropogenih virov je zrak vse bolj onesnažen, strupene snovi iz ozračja pa neposredno spreminjajo (motijo) življenjske procese v kopenskih in vodnih ekosistemih ter vplivajo tudi na zdravje ljudi. Nevarnosti, ki jih prinaša onesnažen zrak je prisililo mednarodno skupnost k iskanju metod in načinov za določanje kritičnih obremenitev in vplivov, ki jih imajo specifični onesnaževalci na okolje s skupnim ciljem, da se onesnaževanje zmanjša. Med onesnaževalci, ki jih je po mednarodnih konvencijah oziroma protokolih potrebno slediti pa sodijo tudi težke kovine (Cd, Hg, Pb) in obstojne organske snovi (POPs). Za pridobitev kvalitetnih imisijskih podatkov o posameznih onesnažilih (npr. kovin, radionuklidov, POPs...) moramo vzorčevanje izvesti na večjem številu vzorčevalnih mest z uporabo ustrezne vzorčevalne in merilne opreme, ki je pogosto omejena na določanje le posameznih specifičnih onesnažil in zahteva tudi določeno infrastrukturno opremljenost vzorčevalnega mesta in varstvo. Tak način vzorčevanja je drag in ga zato izvajajo le na manjšem številu vzorčevalnih mest. Kot pomožna ali dopolnilna metoda za spremljanje depozicije kovin, radionuklidov ter v zadnjem času tudi dušika in obstojnih organskih snovi se v Evropi in tudi drugod po svetu vse bolj uveljavlja biomonitoring z uporabo epifitskih lišajev in/ali talnih mahov. Ti dve skupini rastlinskih organizmov, ki sicer nista v sorodstveni zvezi namreč zadostujeta osnovnim zahtevam, ki so pogoj, da nek organizem lahko uporabljamo kot aktivni ali pasivni akumulatorski biomonitor/bioindikator onesnaženosti zraka: sta splošno razširjeni v okolju, morfologija se ne spreminja z letnimi časi, dostopni za vzorčevanje vse leto, vzorčevanje je enostavno, imata veliko akumulacijsko sposobnost, ki ni odvisna od letnega časa, imata dolgo življenjsko dobo, zaradi specifične zgradbe (brez kutikule, koreninskega sistema, velike površine) sprejemata tako nutriente kot tudi toksične substance v glavnem v obliki mokrega ali suhega useda iz zraka, naravne koncentracije elementov v njihovih steljках so izredno nizke, cena vzorčevanja in analize je nizka v primerjavi z drugimi fizikalnimi metodami /102, 103/.

## Mahovi – biomonitorji onesnaženosti zraka s težkimi kovinami

Ugotavljanje depozicije kovin z analizami mahov, z angleškim naslovom *Heavy Metal Deposition in Europe* se je na skupno dansko-švedsko pobudo pod vodstvom Å. Rühlinga, Švedska, redno začelo leta 1980. Idejo za uporabo mahov za merjenje depozicije kovin sta v poznih 60-letih razvila švedska raziskovalca Rühling in Tyler /98, 101/. Metoda namreč temelji na dejstvu, da mahovi zaradi svoje specifične zgradbe (brez kutikule, koreninskega sistema, velike površine) sprejemajo nutriente kot tudi onesnaževala v glavnem v obliki mokrega ali suhega useda iz zraka in da je privzem npr. kovin iz substrata minimalen. Koncentracije kovin v steljki mahov tako predstavljajo skupno depozicijo kovin na določenem kraju v določenem časovnem obdobju in so višje kot npr. v deževnici. Mahovi imajo namreč veliko adsorpcijsko kapaciteto za posamezne kemijske elemente in sorazmerno nizko desorpcijo, saj se s površine steljke spere le do 20 % celotne vsebnosti elementov. V primerjavi z vzorčevanjem padavin in/ali delcev (PM<sub>2,5</sub> in PM<sub>10</sub>), za katere potrebujemo posebne vzorčevalnike postavljene na omejenem številu merilnih mest z ustrežno infrastrukturo (elektrika) in izdelan sistem za redno zbiranje, pripravo in analizo vzorcev, je vzorčevanje in kemijska analiza mahov enostavnejša in cenejša. Čeprav z analizo mahov ne dobimo direktnih kvantitativnih podatkov o depoziciji posamezne kovine, pa le-to lahko ocenimo s pomočjo modelov, ki so bili izdelani na podlagi istočasnih meritev koncentracije elementov v padavinah in mahovih na izbranih lokacijah /82/.

Zgoraj omenjeni projekt, ki ga od leta 1980 ponavljajo na vsakih pet let (1985, 1990, 1995/1996, 2000/2001, 2005/2006, 2010/2011) in v katerega se je postopoma vključevalo vse več evropskih držav je do leta 2000 koordiniral Nordic Working Group on Monitoring and Data pod pokroviteljstvom Nordic Council of Ministers. Leta 2001 je bil projekt prevzet v aktivnosti konvencije o čezmejnem prenosu onesnaženega zraka (UNECE CLRTAP<sup>6</sup>) in sicer v delovno skupino o vplivu onesnaženega zraka na naravno vegetacijo in poljščine (ICP-Vegetation<sup>7</sup>), leta 2005 je bilo vključeno že 30 evropskih držav s skupno približno 7000 vzorčevalnih mest.

Glavni namen omenjenega evropskega projekta je po vnaprej definiranem protokolu /97, 87, 88/:

- določiti vsebnost As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Ni, Pb, V, Zn ter od leta 2005 naprej tudi dušika v izbranih vrstah mahov na področju Evrope (nabor elementov je lahko po želji večji, odvisno od analiznih metod, ki so na voljo),
- lokalizirati glavne emisijske vire posameznih kovin v Evropi in določiti njihov obseg,
- izdelati barvne regionalne karte depozicije kovin,
- pomagati pri razumevanju obsega čezmejnega transporta kovin in
- ugotavljati časovne in geografske trende onesnaževanja s kovinami in dušikom.

S tovrstnim pristopom se je ustvarila obsežna podatkovna baza o depoziciji kovin v Evropi, ki omogoča tako identifikacijo najbolj onesnaženih področij kot tudi spremljanje časovnih trendov. Rezultati omenjenega monitoringa se nanašajo na neurbanizirana področja, saj vzorci niso nabrani v okolici večjih urbanih in industrijskih središč.

Institut Jožef Stefan, Odsek za znanosti o okolju, sodeluje v zgoraj omenjenem programu od leta 1995 naprej /92, 93, 95/.

### Vzorčevanje mahov

V letu 2006 smo vzorčevanje mahov izvedli v obdobju med julijem in oktobrom na več kot 50 vzorčevalnih mestih v neposredni bližini presečišč 16 x 16 km bioindikacijske mreže, ki jo uporablja GIS za spremljanje stanja gozdov. Poleg tega smo mahove nabrali še na dodatnih petih mestih in sicer na raziskovalnih ploskvah Intenzivnega monitoringa gozdnih ekosistemov v Sloveniji: Fondek (Voglarji -Trnovski gozd), Brdo, Borovec, Lontovž (Kum) in Murska šuma ter na vzorčevalnem mestu Iskrba v neposredni bližini postaje, ki je last ARSO (slika 8.2.(1)).

<sup>6</sup> Convention on Long-range Transboundary Air Pollution

<sup>7</sup> The International Cooperative Programme on Effects of Air Pollution on Natural Vegetation and Crops

Nabirali smo dve vrsti mahov in sicer štorovo sedje (*Hypnum cupressiforme* L) in Schreberjev mah (*Pleurozium schreberi* (Willd.)Mitt.), pri čemer je podobno kot v letih 1996 in 2001 prevladovala vrsta *Hypnum cupressiforme*. Ti dve vrsti sta tudi vrsti, ki sta na seznamu predlaganih vrst v vseevropskem projektu. Vsa vzorčevalna mesta so bila vsaj 300 m oddaljena od glavnih cest in večjih naselij in vsaj 100 m od vasi in lokalnih cest /92, 95/. Nobeno vzorčevalno mesto ni bilo v neposredni bližini emisijskih virov.

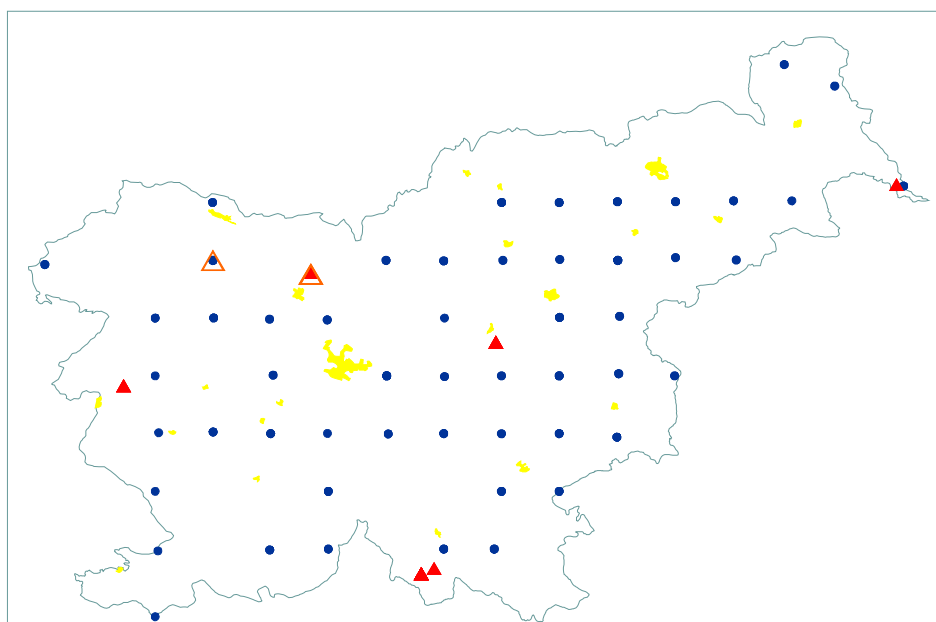
### Priprava in analiza vzorcev

Vzorke mahov smo zračno posušili in jih nato v laboratoriju očistili, odstranili starejše odmrle dele stieljk, listje, delce zemlje oz. lubja. Za analizo smo uporabili le zelene do rahlo rjave dele stieljk, zrasle v zadnjih 2-3 letih. Očiščene vzorce smo liofilizirali in nato zdrobili v ahatnem mlinu (Fritsch).

### Določitev težkih kovin, Hg in celokupnega dušika

Za določitev težkih kovin smo uporabili metodologijo, ki jo uporabljajo v večini držav vključenih v Evropski projekt in je predpisana tudi v navodilih ICP Vegetation /86/. Po kislinskem razkroju ( $\text{HNO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2$ ) smo vsebnost As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Ni, Mg, Mn, Mo, Pb, Sb, Se, Ti, V and Zn določili z masno spektrometrijo z vzbujanjem v induktivno sklopljeni plazmi (ICP-MS). Kvaliteto meritev smo preverjali z analizami referenčnih vzorcev mahov M2 in M3 /85/.

Za določitev Hg smo uporabili atomsko absorpcijsko spektrometrijo hladnih par s semi avtomatskim CV-AAS detektorjem. Meritve koncentracij celokupnega dušika so bile opravljene na GIS z uporabo LECO-CNS-2000 analizatorja.



**Slika 8.2.(1):** Vzorčevalna mesta za mahove v letu 2006: (● *Hypnum cupressiforme*, ▲ *Pleurozium schreberi*) na 16 x 16 km bioindikacijski mreži, ▲ *Hypnum cupressiforme* na ploskvah Intenzivnega monitoringa.

### Rezultati za leto 2006

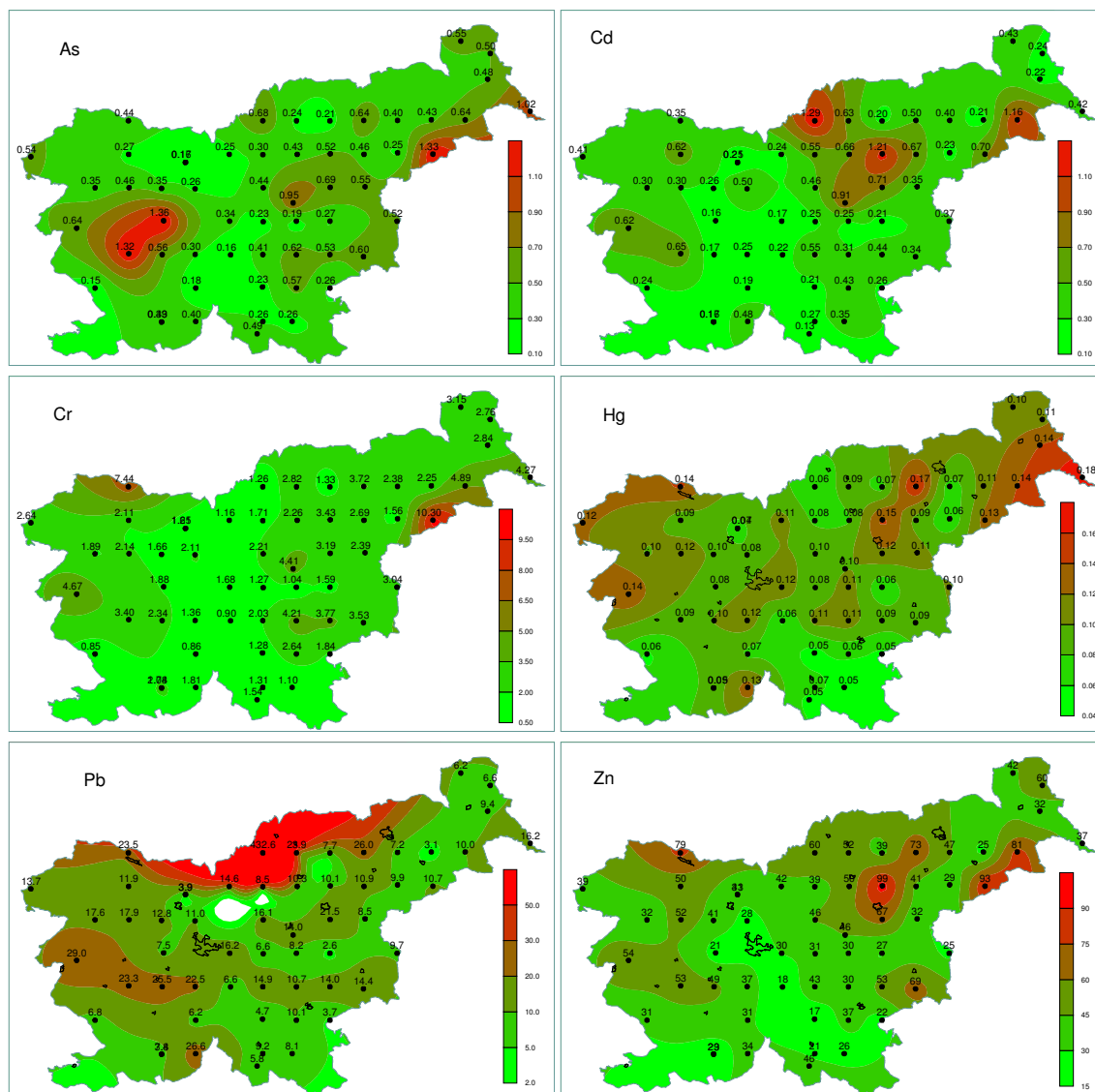
#### Depozicija kovin

Z uporabo ICP-MS smo v vzorcih mahov (*H. cupressiforme*) nabranih 2006 na 59 lokacijah določili vseh 10 elementov (As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Ni, Pb, V in Zn), ki so priporočeni v vseevropskem projektu, poleg tega pa še Co, Mg, Mo, Mn, Se in Ti. Rezultati so zbrani v tabeli 8.2.(1).



**Tabela 8.2.(1):** Območje koncentracij (minimalna in maksimalna vrednot), povprečje, mediana, prvi in zadnji kvartil ter koeficient variabilnosti (KV) posameznih elementov ( $\mu\text{g/g}$ )

Element	n	min	max	povprečje	std	mediana	prvi kvartil	zadnji kvartil	KV (%)
As	59	0,15	1,36	0,46	0,27	0,43	0,26	0,55	59
Cd	59	0,13	1,29	0,40	0,26	0,31	0,22	0,50	65
Co	59	0,18	1,49	0,46	0,27	0,36	0,26	0,58	58
Cr	59	0,85	10,3	2,50	1,59	2,11	1,55	2,94	64
Cu	59	3,69	44,5	9,33	5,67	8,10	6,37	10,54	61
Fe	59	0,04	0,18	0,09	0,03	0,09	0,07	0,11	33
Ni	59	0,92	8,52	3,22	1,79	2,68	1,89	4,13	56
Mg	59	746	4305	1625	687	1502	1234	1819	42
Mn	59	20	1533	295	300	173	94,3	364	102
Mo	59	0,17	1,31	0,38	0,19	0,35	0,25	0,43	51
Pb	59	2,58	433	18,9	55,2	10,08	6,89	15,52	291
Sb	59	0,11	1,07	0,24	0,14	0,21	0,17	0,28	56
Se	59	0,12	0,49	0,25	0,09	0,22	0,19	0,29	34
Ti	59	16,5	211	61,1	35,5	49,5	35,8	74,8	58
V	59	1,34	13,1	3,81	2,05	3,38	2,69	4,28	54
Zn	59	16,5	99,3	41,7	18,2	38,6	29,6	49,8	44
N (%)	59	0,82	2,82	1,81	0,47	1,83	1,48	2,23	26



**Slika 8.2.(2):** Koncentracijski razredi oz. vsebnosti As, Cd, Cr, Hg, Pb in Zn ( $\mu\text{g/g}$  suhe snovi) v mahu vrste *H. cupressiforme* na območju Slovenije v letu 2006

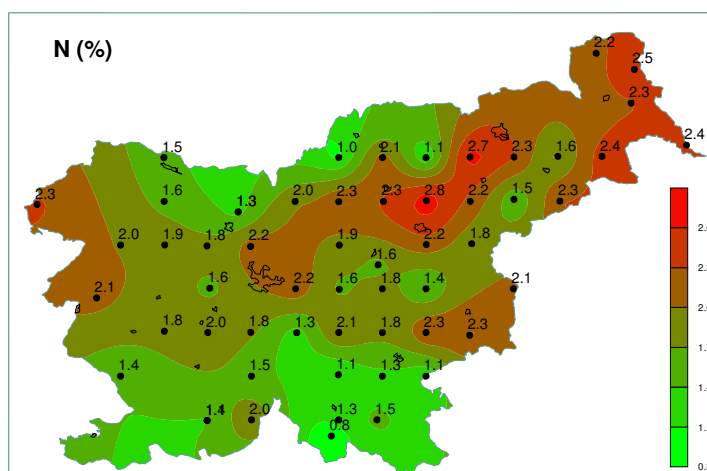
Na sliki 8.2.(2) so v obliki barvnih kart, ki smo jih izrisali s programom Surfer, prikazali koncentracijske razredi za nekatere izbrane elemente (As, Cd, Cr, Hg, Pb in Zn) na področju Slovenije in izpisali koncentracije za vsako vzorčevalno mesto posebej. Iz kart je razvidno, da ima vsaka kovina nekoliko drugačno geografsko porazdelitev, ki je povezana z njenim možnim izvorom.

Opazimo lahko, da so npr. v okolici Jesenic povišane vsebnosti za Cr, Hg, Pb in Zn pa tudi Mo in Ni (nista prikazana). Na vzorčevalnem mestu Kavšak, ki je nekaj km zračne črte oddaljeno od Črne smo zabeležili ekstremne vrednosti Pb (433  $\mu\text{g/g}$ ), ki kar za faktor 40 presegajo mediano vrednost 10  $\mu\text{g/g}$ ; poleg tega pa so na tem vzorčevalnem mestu ekstremno visoke še vrednosti za Sb (1,07  $\mu\text{g/g}$ ) in Cd (1,29  $\mu\text{g/g}$ ), vrednosti za As in Zn pa sodijo v zgornjo četrtino najvišjih vrednosti. Na vzhodnem delu Slovenije ob meji s Hrvaško smo za As, Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Hg, V in Zn zabeležili vrednosti, ki sodijo v skupino ekstremnih vrednosti, pri čemer izstopa vzorčevalno mesto Gruškovje z najvišjimi koncentracijami za As (1,33  $\mu\text{g/g}$ ), Cr (10,3  $\mu\text{g/g}$ ), Fe (4330  $\mu\text{g/g}$ ), V (13,1  $\mu\text{g/g}$ ) in Zn (93  $\mu\text{g/g}$ ). Omenjeni elementi so tipični elementi, ki jih povezujejo s prometom /94/. Gruškovju sledijo še obmejne lokacije Runeč z visokimi vrednostmi Cd (1,16  $\mu\text{g/g}$ ), Cr (4,9  $\mu\text{g/g}$ ), Cu (15,9  $\mu\text{g/g}$ ) in Zn (81  $\mu\text{g/g}$ ) ter Murska šuma z najvišjo ekstremno vrednostjo za Hg (0,18  $\mu\text{g/g}$ ). Možni vzrok za povišane vrednosti Hg na vzhodu države bi bil lahko tudi daljinski transport iz SV Evrope. V zahodni Sloveniji so močno povišane vrednosti predvsem arzena, z ekstremnimi koncentracijami nad 1  $\mu\text{g/g}$  v Kožljeku in Kanjem dolu, zmerno vendar v zgornji četrtini najvišjih vrednosti pa so še koncentracije Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Ni, Pb, Sb, V in Zn. Glede na to, da v tem delu Slovenije ni velikih emisijskih virov, menimo da je vzrok povišanim vrednostim naštetih elementov lahko deloma promet, deloma pa daljinski transport. Glede na druge evropske države /88, 90/ sodi Slovenija med zmerno onesnažene države z nekoliko višjimi koncentracijami predvsem za kadmij, živo srebro in svinec, ki pa so še vedno nižje od koncentracij v drugih vzhodnoevropskih državah.

### Vsebnosti dušika v mahovih

Nekatere raziskave, predvsem v skandinavskih državah, so pokazale /96, 99/, da obstaja statistično pomembna povezava med koncentracijami celokupnega dušika v mahovih in zračno depozicijo dušika.

Vrednosti celokupnega dušika v mahovih nabranih na 59 lokacijah v letu 2006 so bile med 0,82 in 2,82 % s povprečno vrednostjo 1,81 % in mediano 1,83 %. Kot je razvidno iz Slike 8.2.(3), so bile vrednosti dušika v mahovih, podobno kot pri kovinah, povečane predvsem v okolici večjih mest, industrijskih in termoenergetskih središč. Povečane vrednosti v zahodni Sloveniji pripisujemo daljinskemu transportu, v severovzhodni Sloveniji pa predvsem prometu ter kmetijstvu.



**Slika 8.2.(3):** Celokupni dušik (%) v mahu vrste *H. cupressiforme*, ki je bil nabran v letu 2006 na 59 lokacijah 16 x 16 km bioindikacijske mreže



## Zaključki

Monitoring z mahovi predstavlja dokaj enostavno in relativno poceni metodo za ugotavljanje depozicije kovin in tudi dušika, ki postaja v zadnjem času predvsem zaradi močno povečanega prometa po izgradnji avtocestnega križa vse bolj pereč problem v naši državi /14/. Sistematične meritve zračnih onesnaževal v petletnih časovnih obdobjih s pomočjo mahov lahko služijo kot dodatni mehanizem za spremljanje sprememb v kvaliteti okolja in omogočajo neposredno preverjanje učinkovitosti ukrepov za zmanjšanje onesnaženosti okolja ter primerjavo z ostalimi državami, poleg tega so lahko tudi osnova za izračune kritičnih vnosov onesnažil v različne ekosisteme v Sloveniji.

V sodelovanju z drugimi državami pa si prizadevamo identificirati tista področja v Evropi oz. Sloveniji, kjer daljinski transport ključno vpliva na vnose težkih kovin oz. dušika v rastline oz. ekosisteme, kar je tudi glavni namen sodelovanja v koordiniranem mednarodnem programu kot je ICP-Vegetation.

## 9. METEOROLOŠKE ZNAČILNOSTI LETA 2010



**V letu 2010 sta bila nadpovprečno topla predvsem sredina leta in mesec november, zimski meseci pa so bili večinoma hladnejši od dolgoletnega povprečja. Količina padavin je presegla dolgoletno povprečje predvsem v jugozahodni Sloveniji. Za kakovost zraka najneugodnejše vreme smo imeli v januarju, februarju in decembru.**

Leto 2010 je bilo z izjemo visokogorja nadpovprečno toplo, vendar so v preteklosti na vseh merilnih postajah v Sloveniji že izmerili višjo povprečno temperaturo zraka. Kljub temu temperatura v zadnjih dvajsetih letih kaže trend naraščanja. Večina mesecev v letu 2010 je bila nadpovprečno toplih, najbolj sta izstopala julij in november, ko je ponekod odklon presegel tudi 3 °C, najhladnejša v primerjavi z dolgoletnim povprečjem pa sta bila oktober ali december. Na Kredarici je bil zadnji mesec v letu 3,3 °C hladnejši kot običajno. Povprečna letna temperatura zraka je bila po vsej državi višja kot običajno, le na Kredarici so za povprečjem zaostajali za 0,2 °C. Na Koroškem, v severnem delu Štajerske in Pomurju je odklon presegel 1 °C, drugod pa se je gibal med 0 in 1 °C.

Največjo količino padavin so v letu 2010 kot običajno izmerili v severozahodni Sloveniji, kjer je večinoma padlo nad 2200 mm, v delu Posočja celo nad 3200 mm. Na Kredarici je bilo 2343 mm, vendar vemo, da so izmerjene padavine v visokogorju podcenjene. Najmanj padavin je bilo na severovzhodu, v Prekmurju so jih namerili manj kot 900 mm. V Portorožu so zabeležili rekordno količino padavin, odkar potekajo meritve, in sicer je padlo kar 1394 mm, kar je 40 % več od dolgoletnega povprečja.

Padavin je bilo manj kot običajno v manjšem delu Gorenjske, na Koroškem, severnem Štajerskem in na severu Pomurja. Za povprečjem so najbolj zaostajali v Mariboru; tu je padlo 868 mm, kar je slabo petino manj kot običajno. Skromne so bile padavine še v Velikih Dolencih in na Jezerskem, a sta bila zaostanka manjša od 10 %. Drugod je bila namočenost nadpovprečna; na Obali in Krasu je bil presežek večji od 40 %, za več kot petino pa so povprečje presegle v Posočju, na Goriškem, v osrednji Sloveniji, celotnem jugozahodnem delu države in v Beli krajini. Presežek padavin je bil največji v Godnjah, kjer so z 2107 mm povprečje presegle za polovico, v Biljah pa je padlo 2008 mm, kar je 38 % več od običajnih vrednosti.

Leto 2010 je bilo večinoma manj sončno kot običajno, povprečje so za spoznanje presegle le v Ljubljanski kotlini in v Biljah. Najbolj so za običajnimi razmerami zaostajali v Ratečah, na Dolenjskem in v delu Notranjske, kjer je bil zaostanek večji od desetine. December je bil v Ljubljani nadpovprečno sončen, saj so zabeležili skoraj enkrat več sonca kot običajno. Po vsej državi sta po osončenosti izstopala april ali junij, a odkloni niso bili izraziti. V Biljah, Portorožu in na Kredarici je v primerjavi z dolgoletnim povprečjem sonca najbolj primanjkovalo novembra, v Murski Soboti in Novem mestu pa januarja, ko je bil zaostanek večji od polovice. V Ljubljani so za povprečjem najbolj zaostajali februarja, prav tako pa sta bila s soncem skromna tudi januar in november, a so bili vsi odkloni manjši od polovice.

Na kratko preletimo še značilnosti posameznih mesecev v letu 2010. Za primerjavo uporabljamo obdobje 1961–1990, ker takrat posledice naraščanja vsebnosti toplogrednih plinov v ozračju še niso bile tako očitne.

Povprečna mesečna temperatura je bila **januarja** v večjem delu nižinskega sveta blizu dolgoletnega povprečja, večinoma nekoliko pod njim, le na Obali, Koroškem, delu Pomurja in na Bizeljskem je bilo dolgoletno povprečje preseženo. Največ padavin so zabeležili v večjem delu južne in jugovzhodne Slovenije ter v delu Ljubljanske kotline, kjer je padlo nad 120 mm, najmanj padavin pa je bilo na Koroškem in severovzhodni Sloveniji, kjer so jih zabeležili do 60 mm. Manj kot polovica dolgoletnega povprečja je padla v delu Posočja. Prav tako so bile padavine pod dolgoletnim povprečjem v večjem delu severne Slovenije in v krajih severno od Vipavske doline vse do meje z Avstrijo. Drugod so povprečje presegle, v delu južne Slovenije celo za več kot dvakrat. Sončnega vremena je bilo opazno manj kot običajno. Najbolj ga je primanjkovalo v Prekmurju, na Koroškem in večjem delu Štajerske, tudi v Beli krajini in delu Notranjske ter Dolenjske niso dosegli niti polovice običajnega trajanja neposrednega sončnega obsevanja. Na Kredarici so zabeležili 280 cm debelo snežno odejo.

**Februarja** je bila povprečna mesečna temperatura v pretežnem delu Slovenije blizu dolgoletnega povprečja, odkloni so bili večinoma do  $\pm 1$  °C. Februarja je bilo najmanj padavin (do 80 mm) v severovzhodni Sloveniji, največ, nad 230 mm, pa so zabeležili v delu Posočja. Dolgoletno povprečje je bilo preseženo v pretežnem delu države, le v severnem delu severovzhodne Slovenije in delu Krasa so

zaostajali za običajnimi februarskimi padavinami. V približno polovici države je bilo dolgoletno povprečje preseženo za več kot 50 %. Sonce je povsod sijalo manj časa kot običajno. Tri četrtine običajnega sončnega obsevanja so dosegli na severozahodu, na Obali in na severovzhodu Slovenije. Na Kredarici so zabeležili 390 cm snega, kar je osma največja februarska debelina snežne odeje. Snežne odeje ni bilo na Obali in Goriškem, na Krasu je sneg prekrival tla dva dni. Tako kot v gorah je sneg ves mesec obležal tudi v Kamniški Bistrici, na Jezerskem, v Logu pod Mangartom, v Soči in Novi vasi.

Povprečna temperatura je bila **marca** povsod blizu dolgoletnemu povprečju. Na večini ozemlja je bila nekoliko nad običajnimi vrednostmi, vendar odklon nikjer ni presegel 1 °C. Največ padavin, nad 100 mm, so zabeležili v delu Posočja. Nikjer niso dosegli dolgoletnega povprečja. Približno polovica ozemlja ni dobila niti polovice toliko padavin kot običajno. V notranjosti države je močan veter 9. in 10. marca gradil snežne zamete, na Primorskem pa je pihala nenavadno močna burja, ki je povzročila precej gmotne škode. Trajanje sončnega obsevanja je bilo nad dolgoletnim povprečjem le na Goriškem in na severovzhodu države. Najmanj snega je bilo na Goriškem, neobičajno veliko pa na letališču v Portorožu (8 cm).

**April** je bil sicer opazno toplejši od dolgoletnega povprečja, vendar hkrati tudi precej hladnejši kot v letu 2009. Povprečna temperatura je bila nadpovprečna, odklon je bil večinoma med 1 in 2 °C. Največ padavin, nad 100 mm, so izmerili v Ratečah in Žagi, povsod po državi pa so opazno zaostali za dolgoletnim povprečjem. Trajanje sončnega obsevanja je bilo povsod nadpovprečno. Presežek nad petino dolgoletnega povprečja so zabeležili na območju Maribora, na Lisci in v večjem delu zahodne Slovenije ter v Ljubljani. Največ sonca v primerjavi z dolgoletnim povprečjem so imeli na Goriškem, kjer je sonce sijalo 34 % več časa kot običajno. Snežna odeja je na Kredarici dosegla 450 cm. V nižinskem svetu so sneg zabeležili v Ratečah, bilo ga je 23 cm.

Povprečna **majska** temperatura je z izjemo visokogorja po vsej državi preseгла dolgoletno povprečje. Večinoma je bil odklon pod 1 °C. Največ padavin je bilo v Žagi (452 mm), Kneških Ravnah (404 mm) in okolici Kobarida (396 mm), najmanj, do 100 mm, pa v severovzhodni Sloveniji. Dolgoletno povprečje je bilo preseženo v večjem delu Slovenije, najbolj na zahodu; na Goriškem so ga presegli za več kot dvakratno. Sončnega obsevanja je bilo povsod manj kot običajno. Dolgoletnemu povprečju so se najbolj približali v Ljubljanski kotlini in na severovzhodu države, kjer so presegli štiri petine običajne osončenosti.

Povprečna **junjska** temperatura je bila nad dolgoletnim povprečjem, večinoma je bil odklon velik, le na Obali in v Lendavi ni presegel 1 °C. Največ toplih dni, z dnevno temperaturo nad 25 °C, je bilo v Biljah, in sicer 23. Največ padavin so namerili v okolici Bohinja, in sicer nad 190 mm, manj kot 110 mm pa na Obali, v Biljah in v večjem delu vzhodne in severovzhodne Slovenije. Z izjemo Obale je bilo dolgoletno povprečje padavin preseženo v južnem delu države, v Lescah, na Bizeljskem in Lendavi. Neurje s točo je 17. junija pustošilo predvsem na Barju in v Grosupljem. Povsod je bilo nadpovprečno sončno.

Povprečna **juljska** temperatura je bila povsod opazno nad običajnimi vrednostmi, odklon je bil v pretežnem delu Slovenije med 2 in 3 °C. Največ toplih dni so zabeležili v Biljah in Portorožu, in sicer 29. Mesec je zaznamoval močan vročinski val, nekaj močnih neurij, v Murski Soboti in na Obali sta težave povzročala izjemno močna naliva. Največ padavin je padlo v zahodni Sloveniji, na Goriškem nad 170 mm, na severu Gorenjske ter v večjem delu Štajerske in Dolenjske z Belo krajino pa so zabeležili pod 90 mm. Za dolgoletnim povprečjem padavin so najbolj zaostajali na območju Gorenjske, Koroške, Štajerske in Dolenjske, kjer ponekod niso dosegli niti 70 % običajnih padavin. Julija je sončno obsevanje povsod preseglo dolgoletno povprečje, le v Celju je bilo nekoliko manj sonca kot običajno.

Povprečna mesečna temperatura je bila **avgusta** v pretežnem delu države nad dolgoletnim povprečjem, le Maribor z okolico in Sevnjo sta za povprečno avgustovsko temperaturo zaostajala. Največ padavin, nad 330 mm, so namerili v Trenti in delu Julijcev, najmanj padavin pa je bilo v južni polovici države, pod 120 mm. V primerjavi z dolgoletnim povprečjem je na Goriškem in večjem delu južne Slovenije padlo manj kot tri četrtine običajnih padavin, v Soči pa so skoraj dosegli dvakratno vrednost

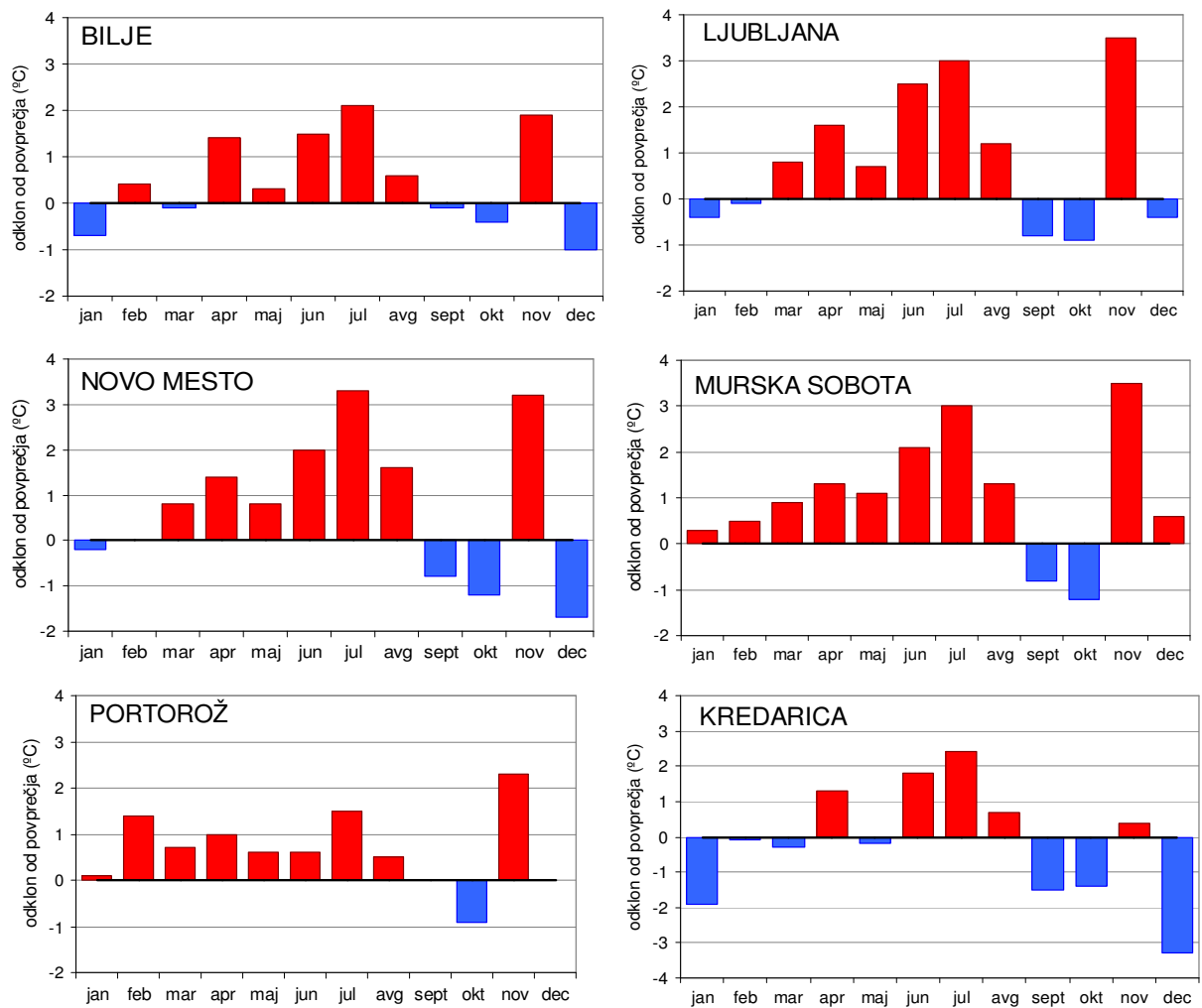
dolgoletnega povprečja. Trajanje sončnega obsevanja je zaostajalo za povprečjem na severu države, v delu Štajerske in delu Dolenjske vse do meje s Hrvaško. Odkloni nad večjim delom države niso presegli desetine dolgoletnega povprečja, le na severozahodu države je bil primanjkljaj večji.

Povprečna temperatura je bila **septembra** povsod pod dolgoletnim povprečjem, le na Obali so povprečje izenačili. Odklon se je v večjem delu države gibal med 0 in  $-1$  °C, le v delu severozahodne Slovenije, Dolenjske in Štajerske ter v Beli krajini je povprečna temperatura zaostajala za dolgoletnim povprečjem za več kot 1 °C. Največ padavin, nad 500 mm, je padlo na območju Julijskih Alp in Zgornjega Posočja. Dolgoletno povprečje je bilo preseženo povsod po Sloveniji, predvsem po zaslugi obilnih padavin med 16. in 19. septembrom. Največji presežek, več kot trikratno količino običajnih padavin, so zabeležili v Ljubljani in Godnjah, za več kot dvainpolkrat so povprečje presegli v Biljah, Postojni, Celju, Lendavi, Sevnem in Novi vasi, več kot dvakrat toliko dežja kot običajno pa je padlo v Kamniški Bistrici, na Brniku, v Lescah, Žagi, Kobaridu, Portorožu, Kočevju, na Bizeljskem, v Novem mestu, Slovenskih Konjicah in Slovenj Gradcu ter v Velikih Dolencih. Povsod po državi je osončenost opazno zaostajala za dolgoletnim povprečjem. V primerjavi z običajnimi vrednostmi je bila najskromnejša v Novem mestu in Murski Soboti s 65 %, podobno je bilo tudi v Julijcih.

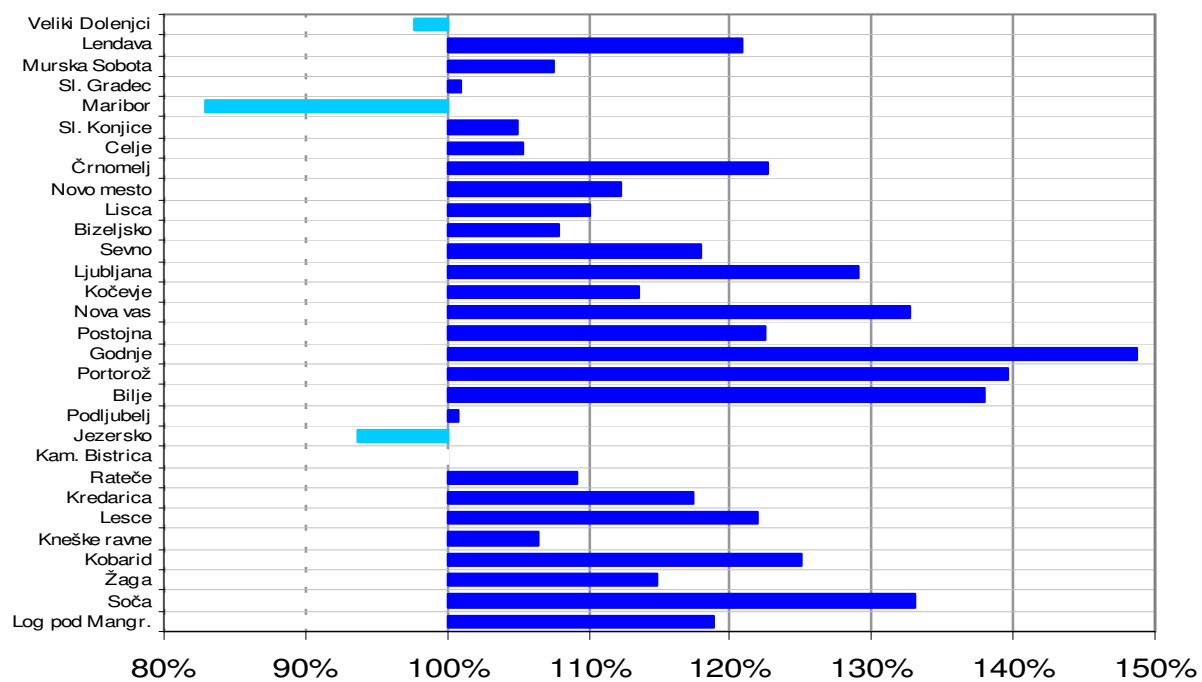
**Oktober** je bil hladnejši od povprečja obdobja 1961–1990, v večjem delu države je bil odklon med  $-1$  in  $-2$  °C. Največ padavin, tudi nad 280 mm, je bilo v Zgornjem Posočju, pod 70 mm pa so zabeležili na Obali in na severovzhodu države. Skoraj povsod je bilo padavin manj kot običajno, le v manjšem delu Posočja in delu Notranjske je bilo dolgoletno povprečje nekoliko preseženo. Sončnega vremena je bilo vsaj toliko kot običajno le na Goriškem, približno polovica države pa ni dosegla niti treh četrtin običajnega sončnega obsevanja.

Povprečna mesečna temperatura je bila **novembra** po vsej Sloveniji opazno nad dolgoletnim povprečjem. Največji odklon so zabeležili v Ljubljanski kotlini in na območju severno od nje, v Pomurju, delu Štajerske in Dolenjske ter Beli krajini, kjer je presegel 3 °C. Največ padavin je bilo na severozahodu Slovenije, kjer so večinoma izmerili med 350 in 650 mm. Vzhodna polovica je bila manj namočena, saj z izjemo južnega dela Dolenjske in dela Kamniško-Savinjskih Alp padavine niso presegle 200 mm. Dolgoletno povprečje je bilo preseženo skoraj po vsej državi, le v delu Štajerske je bilo manj padavin kot običajno. Najmanj sončnega vremena so zabeležili v zahodni polovici države, kjer sonce ni sijalo niti tri petine toliko časa kot v dolgoletnem povprečju, običajne vrednosti pa so presegli na severovzhodu države.

**Decembra** smo imeli dve odjugi, večina dni pa je bila hladnejših od dolgoletnega povprečja. V visokogorju in Beli krajini je povprečna decembrska temperatura zaostajala za dolgoletnim povprečjem za več kot 3 °C. Le na Štajerskem in v Prekmurju je bilo nekoliko topleje od dolgoletnega povprečja, v pretežnem delu države pa so za običajno decembrsko temperaturo zaostajali manj kot za stopinjo C. Največ padavin je bilo v Posočju, kjer so ponekod presegli 500 mm, v približno tretjini države pa so namerili manj kot 100 mm. V pretežnem delu zahodne Slovenije so dolgoletno povprečje padavin presegli dvakratno, le v delu Štajerske in Prekmurja je bilo padavin manj kot običajno. V Ljubljani je trajanje sončnega obsevanja preseglo dolgoletno povprečje za polovico, manj časa kot običajno je sonce sijalo na zahodu in jugu države.

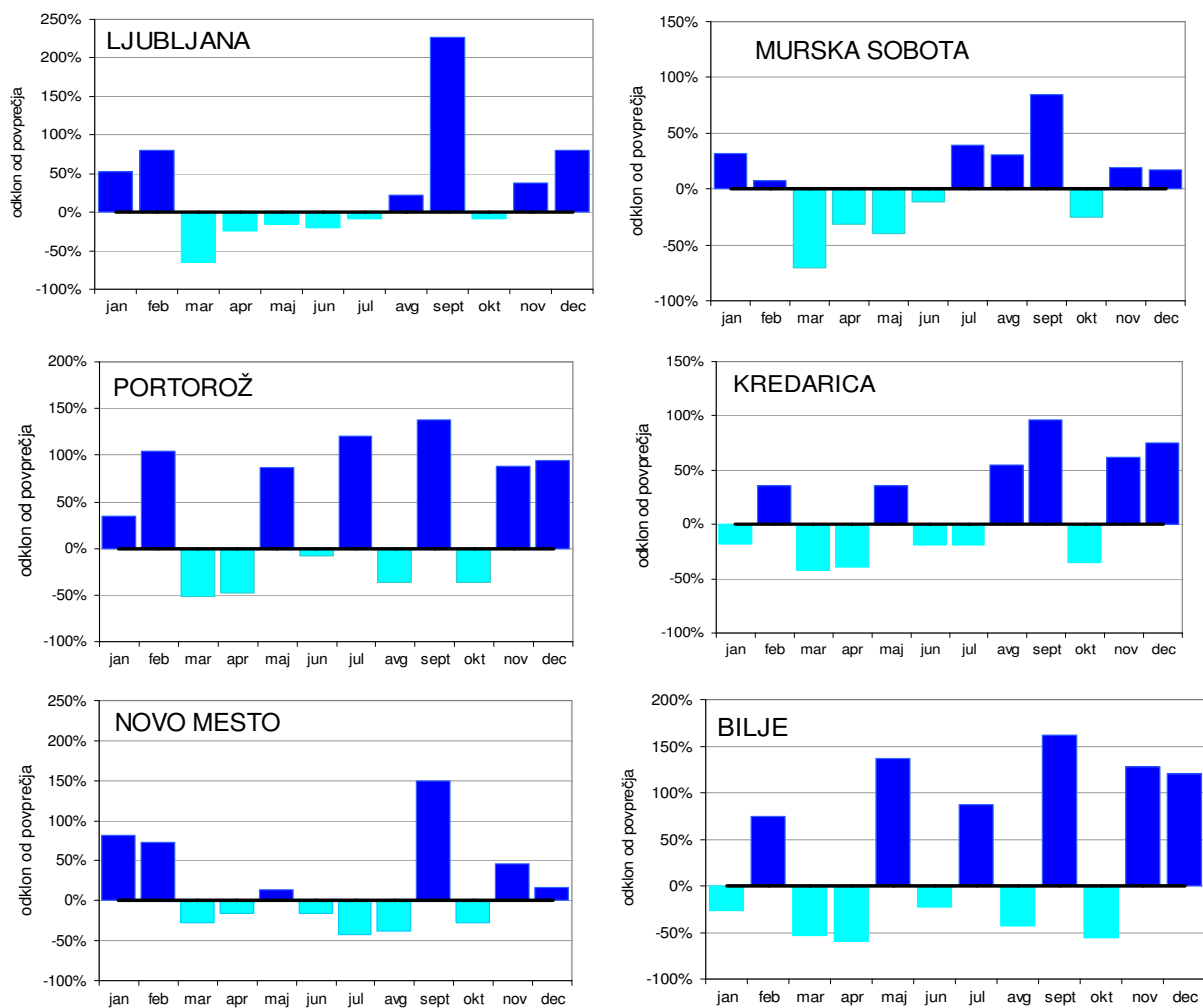


Slika 9.(1): Mesečni odkloni temperature v letu 2010 od povprečja obdobja 1961–1990



**Slika 9.(2):** Padavine leta 2010 v primerjavi s povprečjem obdobja 1961–1990





Slika 9.(3): Padavine po mesecih v letu 2010 v primerjavi s povprečjem obdobja 1961–1990

## 10. LITERATURA

1. Uredba o ukrepih za ohranjanje in izboljšanje kakovosti zunanega zraka (Ur.l.RS, št.52/02)
2. Uredba o žveplovem dioksidu, dušikovih oksidih, delcih in svincu v zunanjem zraku (Ur.l.RS, št.52/02)
3. Uredba o benzenu in ogljikovem monoksidu v zunanjem zraku (Ur.l.RS, št.52/02)
4. Uredba o ozonu v zunanjem zraku (Ur.l.RS, št.8/03)
5. Uredba o arzeniu, kadmiju, živem srebru, niklju in policikličnih aromatskih ogljikovodikih v zunanjem zraku (Ur.l.RS, št.56/06)
6. Pravilnik o monitoringu kakovosti zunanega zraka (Ur.l.RS, št.37/07)
7. Direktiva 2008/50/ES Evropskega parlamenta in Sveta z dne 21.maja 2008 o kakovosti zunanega zraka in čistejšem zraku za Evropo
8. Uredba o emisiji snovi v zrak iz nepremičnih virov onesnaževanja (Ur.l.RS, št. 31/07, 70/08, 61/09)
9. Uredba o emisiji hlapnih organskih spojin v zrak (Ur.l.RS, št. 11/99, 14/04)
10. Zakon o varstvu okolja (ZVO, Ur.l. RS 39/06-ZVO-1-UPB1, 49/06-ZMetD in 66/06-OdlUS, 112/06-OdlUS, 33/07-ZPNačrt, 57/08-ZFO-1A, 70/08 in 108/09)
11. Uredba o mejnih vrednostih emisije HOS v zrak iz naprav v katerih se uporabljajo organska topila (Ur.l.RS, št. 46/02, 14/04 in 112/05)
12. Odlok o območjih največje obremenjenosti okolja in o programu ukrepov za izboljšanje kakovosti okolja v Zgornji Mežiški dolini (Ur.l.RS, št.119/07)
13. Vlada Republike Slovenije, Operativni program varstva zunanega zraka pred onesnaževanjem s  $PM_{10}$  (OP  $PM_{10}$ ), november 2009
14. Agencija RS za okolje, Letna poročila o kakovosti zraka, 1997-2009 ([www.arso.gov.si](http://www.arso.gov.si))
15. Agencija RS za okolje, Mesečni bilteni ARSO, 2001-2010 ([www.arso.gov.si](http://www.arso.gov.si))
16. EUROAIRNET – site selection, 1998
17. Agencija RS za okolje, Program monitoringa kakovosti zunanega zraka v letu 2010 ([www.arso.gov.si](http://www.arso.gov.si))
18. Agencija RS za okolje, Monitoring kakovosti zunanega zraka v Zgornji Mežiški dolini v letu 2010, marec 2011 ([www.arso.gov.si](http://www.arso.gov.si))
19. Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija RS za okolje, Kazalci okolja v Sloveniji ([www.arso.gov.si](http://www.arso.gov.si))
20. Agencija RS za okolje, Ocena onesnaženosti zraka z  $SO_2$ ,  $NO_2$ , delci  $PM_{10}$ , svincem, CO, benzenom, težkimi kovinami (As, Cd, Hg, Ni) in policikličnimi organskimi spojinami v Sloveniji, oktober 2010 ([www.arso.gov.si](http://www.arso.gov.si))
21. Fine! Dust-Free, 2<sup>nd</sup> International Congress in Klagenfurt on Worthersee, 1 to 2 October 2009
22. A European aerosol phenomenology, Joint Research Centre, 2003 (<http://ccu.ei.jrc.it/ccu/>)
23. Fundamentals of Atmospheric Aerosol Chemistry, Akademiai Kiado, Budapest
24. Kakovost zraka v Mariboru – letno poročilo 2010, Zavod za zdravstveno varstvo Maribor
25. Bolte T., Pavli P., Turšič J., Podkrajšek B., Grgić I. Spremljanje onesnaženosti zraka z delci v Sloveniji, Monitoring of airborne particulate matter in Slovenia. Jubilejni 10. Slovenski kemijski dnevi 2004, Maribor, 23. in 24. september 2004
26. Turšič J., Bolte T., Pavli P., Podkrajšek B., Grgić I. : Pollution with particulate matter in Slovenia, Onesnaženost zraka z atmosferski delci v Sloveniji, Četrti hrvatski znanstveno-stručni skup, Zadar-Borik, September 12-16, 2005
27. Bolte T., Pavli P., Turšič J., Podkrajšek B., Kozole L., Grgić I.: Onesnaženost zraka z delci v Sloveniji in njihove fizikalno-kemijske lastnosti ter povezava z drugimi pomembnimi onesnaževalci, Slovenski kemijski dnevi 2005, Maribor, 22. in 23. september 2005
28. Bolte T., Pavli P., Turšič J., Grgić I., Kegl B. : Vpliv prometa na onesnaženost zraka, Slovenski kemijski dnevi 2006, Maribor, 21. in 22. september 2006
29. Turšič J., Grgić I., Bolte T., Šegula A. : Influence of high way Ljubljana-Grič (Slovenia) on pollution with particles, 7th International aerosol conference, September 10-15, 2006, St. Paul, Minnesota, USA

30. Bolte T., Pavli P., Turšič J., Podkrajšek B., Grgič I. : Physico-chemical characteristics of particulate matter in Slovenia in 2004 and 2005. International conference, COST action 633, particulate matter: Properties related to health effects - five interactive workshops, April 3 to 5, 2006, Austrian Academy of Sciences, Vienna, Austria
31. Bolte T., Turšič J., Šegula A., Gomišček B. Analysis of contribution of different sources to PM10 concentration levels at three different locations in Slovenia. European Aerosol Conference 2007, September 9-14, 2007, Salzburg, Austria
32. Jahresbericht der Luftgutemessungen in Osterreich 2005-2009. Umweltbundesamt
33. Agencija RS za okolje, Poročilo o pilotnem projektu – Opredelitev virov delcev PM10 v Sloveniji, november 2007 ([www.arso.gov.si](http://www.arso.gov.si))
34. Meritve onesnaženosti zraka v Črnomlju od 5. novembra 2009 do 21. januarja 2010, Agencija RS za okolje, marec 2010 ([www.arso.gov.si](http://www.arso.gov.si))
35. Meritve onesnaženosti zraka v Idriji, Agencija RS za okolje, september 2010 ([www.arso.gov.si](http://www.arso.gov.si))
36. Meritve onesnaženosti zraka z mobilno postajo v Celju od 22. maja do 18. oktobra 2010, Agencija RS za okolje, december 2010 ([www.arso.gov.si](http://www.arso.gov.si))
37. Lindquist, O. And Rodhe, H.: Atmospheric mercury-a review. *Tellus*, 37B, 136-159, 1985
38. Johanson, K., Aastrup, M., Andersson, A., Bringmark, L., Iverfeldt, A.: Mercury in Swedish forest soils and waters - assesment of critical load. *Water, Air and Soil Pollution*, 56, 267-281, 1991
39. Henry, E., A., Dodge-Murphy, L. J., Bigham, G. N., Klein, S. M., Gilmour, C. C.: Total mercury and methylmercury mass balance in an alkaline hypereutrophic urban lake (Onondoga Lake, NY). *Water, Air and Soil Pollution*, 80, 509-518, 1995
40. Norwegian Institute for Air Research: EMEP manual for sampling and chemical analysis, EMEP/CCC-Report 1/95, Reference O-7726, March 1996, Revision november 2001 (<http://tarantula.nilu.no/projects/ccc/manual/index.html>)
41. World Meteorological Organization, Global Atmosphere Watch, No, 160, Manual for the GAW Precipitation Chemistry programe (guidelines, Data Quality Objectives and Standard operating Procedures), November 2004 (<http://www.dtic.mil/cgi-bin/GetTRDoc?Location=U2&doc=GetTRDoc.pdf&AD=ADA442512>)
42. Brosset C: Total airborne mercury and its possible origin. *Water, Air and Soil Pollution*, 17, 37-50, 1982
43. Ferrara R., Petrosino A., Maserti. E., Seritti. A. and Barghigiani C. 1982: The biogeochemical cycle of mercury in the Mediterranean. Part 2: Mercury in the atmosphere, aerosol and in rainwater of a northern part of Tyrrhenian area. *Environmental Technology Letters.*, 3, 449-456
44. Ebinghaus R. and Krüger O: Emission and local deposition estimates of atmospheric mercury in North-Western and Central Europe. In: *Global and regional mercury Cycles: Sources, Fluxes and Mass balances*, W. Baeyens et al. eds., 135-159, 1996
45. Tomlinsson G.H., Brouzes R.J.P., Mclean R.A.N. and Kadleck J.: The role of clouds in atmospheric transport of Mercury and other pollutants. I. The link between acid precipitation, poorly buffered water, mercury and fish. *Proc. Int. Conf. Ecol. Impact Acid Precip.*, Sandefjord, Norway, 1980
46. Gregor Muri, Stuart G: Source assesment and sedimentary record of polycyclic aromatic hydrocarbons in Lake Bled, Wekeham
47. Žabkar R.: Statistično napovedovanje ozona s predhodnim razvrščanjem trajektorij v skupine, april 2007
48. Žabkar R.: Nadgradnja modela statističnega napovedovanja ozona s predhodnim razvrščanjem trajektorij v skupine, maj 2011 ([www.arso.gov.si](http://www.arso.gov.si))
49. Guidance on the quantification of the contribution of natural sources under the EU Air Quality Directive 2008/50/EC, July 2009
50. Guidance on assessing the contribution of winter sanding and - salting under the EU Air Quality Directive, July 2009
51. Določitev prispevka soljenja in posipanja cest na koncentracijo delcev PM<sub>10</sub>, maj 2011 ([www.arso.gov.si](http://www.arso.gov.si))
52. Morawska, L., Zhang, J. 2001. Combustion sources of particles: source signatures. *Atmospheric Environment Special Issue on SGOMSEC* –14

53. Vienna University of technology, Chemistry, Transport and Impact of Atmospheric Pollutants Andechs, Oct. 10-12, 2005
54. European Commission, Joint Research Centre: A review of Source apportionment techniques and marker substances, 2006
55. Agencija RS za okolje: Opredelitev virov delcev PM<sub>10</sub> v Novi Gorici, maj 2011 (www.arso.gov.si)
56. Agencija RS za okolje: Opredelitev virov delcev PM<sub>10</sub> v Celju, maj 2011 (www.arso.gov.si)
57. Batič F., Eler K., Kajdiš P., Rupel M., Simončič P., Turk B.: Poškodbe po troposferskem ozonu na vegetaciji v Sloveniji
58. Ashmore, M. R.: Effects of oxidants at the whole plant and community level, 2002
59. Batič F., Jenčič-Medvešek M., Klemenčič S., Macarol B., Ribarič-Lasnik C., Strniša A., Vidergar N.: Bioindikacija ozona v troposferi z občutljivim kultivarjem tobaka (*Nicotiana tabacum* L. cv. 'BelW3'). Zbornik gozdarstva in lesarstva 47, s. 131-144, 1995
60. Batič F., Celar F., Ciglar R., Milevoj L., Vičar M.: Bioindikacija prizemnega ozona, Ljubljana, Zavod Republike Slovenije za šolstvo, 167 s, 1999
61. Batič F., Turk B., Planinšek A., Zupanič B., Drougoudi P., Nanos G., Tuba Z., Mills G. (v pripravi): Ten years of monitoring tropospheric ozone by plants in Slovenia and some comparison with Greece and Hungary
62. Bell J.N.B. & Treshow M. : Air pollution and Plant Life, Wiley, s.446, 2002
63. Grebenc T. & Kraigher H.: Changes in community of ectomycorrhizal fungi and increased fine Root number under adult beech trees chronically fumigated with double ambient ozone Concentration, Plant Biology 9 (2), s. 279-287, 2007
64. Haberer K., Herbinger K., Alexou M., Tausz M., Rennenberg, H.: Antioxidative defence of old grown beech (*Fagus sylvatica*) under double ambient O<sub>3</sub> concentrations in a free-air exposure system. Plant Biology 9 (2), s. 215-226, 2007
65. Herbinger K., Then C., Haberer K., Alexou M., Löw M., Remele K., Rennenberg H., Matyssek R. , Grill D., Wieser G., Tausz M. : Gas exchange and antioxidative compounds in young beech trees under free-air ozone exposure and comparison to adult trees, Plant Biology 9 (2), s. 288-297, 2007
66. Innes J.L., Schaub M., Skelly J.M.: Ozone and Broadleaved Species: A Guide to the Identification of Ozone-Induced Foliar Injury. , P. Haupt Pub, 2001
67. Kajdiž, P.: Primerjava poškodb po troposferskem ozonu na naravni vegetaciji in izbrani indikatorski rastlini, Diplomsko delo, Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, 59 s, 2009
68. Karnosky D. F., Werner H., Holopainen T., Percy K, Oksanen T., Oksanen E., Heerd C., Fabian P., Nagy J., Heilman W., Cox R., Nelson N., Matyssek R.: Free – air exposure system to scale up ozone research in mature trees. Plant Biology 9 (2), s. 181-190, 2007
69. Kopušar N., Mazej Z., Batič F.: Response of an ozone indicator plant before and after installation of a desulphurization device at a thermal power plant, Acta biologica Slovenica ( v tisku), 2010
70. Kountrakis P., Wolfson J.M., Bunyaviroch A., Froelich S.E., Hirano K., Mulik J.D.: Measurement of ambient ozone using a nitrite-coated filter, *Analytical Chemistry* 65 (1993), s. 209-214
71. Long S.P., Naidu, S. L.: Effects of oxidants at the biochemical, cell and physiological levels, with particular reference to ozone, 2002
72. Matyssek R., Bahnweg G., Ceulemans R., Fabian P., Grill D., Hanke D.E., Kraigher H., Osswald W., Rennenberg H., Sandermann H., Tausz M., Wieser G.: Synopsis of the CASIROZ case study: Carbon sink strength of *Fagus sylvatica* L. In a changing environment- Experimental risk assessment of mitigation by chronic ozone impact. Plant Biology 9 (2), s. 163-180, 2007
73. Hayes F., Mills G., Harmens H., Norris D.: Evidence of widespread ozone damage to vegetation in Europe. Programme Coordination Centre for the ICP-Vegetation, Centre for Ecology and Hydrology, Environment Centre Wales, UK, s. 57, 2007
74. Remic T., Šircelj H., Turk B., Batič F.: Učinki ozona v troposferi na navadno dobrovito (*Viburnum Lantana* L.). Zbornik gozdarstva in lesarstva 69, s. 43-59, 2002
75. Rozman A.: Ocenitev stanja rušja (*Pinus mugo* Turra) na treh profilih v Triglavskem narodnem parku. Diplomsko delo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, 92 s, 2002

76. Verebič S.: Vpliv troposferskega ozona na nastanek poškodb in izbrane fiziološke procese pri indikatorski rastlini plazeča detelja (*Trifolium repens* 'Regal') v Sloveniji. Diplomsko delo. Ljubljana, Univ. v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo, 32 s, 2008
77. Treshow M.: Air pollution and plant life, 1985
78. Anonymus: Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests, Part X; Monitoring of Air Quality and Assessment of Ozone Injury. UN ECC CLRTAP, ICP, Expert Panel on Deposition Measurements and its WG on Ambient Air Quality , 2004
79. ARSO: Onesnaženost zraka v Sloveniji v letu 2000, Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija Republike Slovenije za okolje, Ljubljana, marec 2002
80. Atmospheric Heavy Metal Deposition in Europe, Estimates based on moss analysis, Å. Rühling, (ed.), Nord 1994:4, Nordic Council of ministers, Copenhagen, 1994.
81. Atmospheric Heavy Metal Deposition in Europe 1995-1996, Å. Rühling, E. Steinnes (eds.), Nord 1998:15, Nordic Council of ministers, Copenhagen 1998
82. Berg, T. and Steinnes, E.: Use of mosses (*Hylocomium splendens* and *Pleurozium schreberi*) as biomonitors of heavy metal deposition: from relative to absolute values, *Environ. Pollut.* 98, 61-71
83. Bragazza, L., Limpens, J., Gerdol, R., Grosvernier, P., Hajek, M., Hajek, T., Hajkova, P., Hansen, I., Iacumin, P., Kutnar, L., Rydin, H., Tahvanainen, T., Nitrogen concentration and  $\delta^{15}\text{N}$  signature of ombrotrophic *Sphagnum* mosses at different N deposition levels in Europe. 2005, *Global Change Biology* 11: 106-114
84. Buse, A. Norris, D., Harmens, H., Büker, P., Ashenden, T., Mills, G., 2003, Heavy Metals in European mosses 2000/2001 survey, UNECE ICP-Vegetation, March 2003, CEH
85. Harmens, H., 2005, Monitoring of atmospheric heavy metal deposition in Europe using bryophytes, Monitoring manual 2005/2006 survey; UNECE ICP-Vegetation, CEH Bangor, UK, February 2005
86. Harmens, H., Mills, G., Hayes, F., Williams, P., De Temmermann, L., and participants of the ICP-vegetation, 2005. Air pollution and vegetation, Annual report 2004/2005. ICP Vegetation Coordination Centre, CEH, Bangor , UK
87. Harmens, H., Norris, D. and the participants of the moss survey, 2008; Spatial and temporal trends in heavy metal accumulation in mosses in Europe (1990-2005), CEH, Bangor, UK
88. Harmens, H., 2010, Heavy metals in European mosses: 2010 survey Monitoring manual; of atmospheric deposition of heavy metals, nitrogen and POPs in Europe using bryophytes Monitoring manual, UNECE ICP-Vegetation, CEH Bangor, UK, May 2010
89. Harmens, H., Norris, D., Steinnes, E., Kubin, E., Piispanen, J., Alber, R., Aleksiyenak, Y., Blum, O., Coşkun, M., Dam, M., Temmerman, L. De, Frolova, M., Frontasyeva, M. V., Grodzińska, K., Jeran, Z., Korzekwa, S., Krmar, M., Kvietkus, K., Leblond, S., Liiv, S., Magnússon, H., Maňkóvská, B., Pesch, R., Rühling, Å., Schröder, W., Špirić, Z., Suchara, Ivan, Thöni, L., Urumov, V., Yurukova, L., Zechmeister, H. G. Mosses as biomonitors of atmospheric heavy metal deposition : spatial patterns and temporal trends in Europe. *Environ. pollut.* (1987). [Print ed.], 2010a, vol. 158, issue 10, str. 3144-3156
90. <http://www.unece.org/env/lrtap/>
91. <http://icpvegetation.ceb.ac.uk>
92. Jeran, Z. Jaćimović, R. and Ščančar, J.: Atmospheric heavy metal deposition in Slovenia (results for mosses) IJS-DP 7846, 1998
93. Jeran, Z., Smrke, J., Mrak, T., Šlejkovec, Z., Mazej, D., Ogrinc, N.. Strokovne podlage za ugotavljanje depozicije kovin in dušika v Sloveniji v letu 2006/2007 na podlagi Konvencije o prekomejnem onesnaževanju zraka na velike razdalje : poročilo o izvedbi projekta (IJS delovno poročilo, 9741). Ljubljana: Institut Jožef Stefan, 2007, 29 str.
94. Loppi S., Pirintsos S.A., 2003. Epiphytic lichens as sentinels for heavy metal pollution at forest ecosystems (central Italy). *Environ. Pollut.* 121, 327-332
95. Pavšič-Mikuž, P., 2005. Kovine in mikroelementi v mahovih in epifitskih lišajih na območju Slovenije, magistrsko delo, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo, Ljubljana
96. Pitcairn, C.E.R., Fowler, D. and Grace, J. 1995. Deposition of fixed atmospheric nitrogen and foliar nitrogen content of bryophytes and *Calluna vulgaris* (L.) Hull. *Environmental Pollution* 88: 193-205

97. Reynolds, B., Mills, G., Pugh, B. Monitoring of atmospheric heavy-metal deposition in Europe using bryophytes, Experimental protocol, 2000/2001 survey, UNECE ICP-Vegetation, CEH Bangor, UK, 2000
98. Rühling, Å. and Tyler, G., 1968: An ecological approach to the lead problem, *Botaniska Notiser* 122, 248-342
99. Solga, A., Burkhardt, J., Zechmeister, H.G., Frahm, J.-P., 2005, Nitrogen content, <sup>15</sup>N natural abundance and biomass of the two pleurocarpous mosses *Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt. and *Scleropodium purum* (Hedw.) Limpr. In relation to atmospheric nitrogen deposition. *Environmental Pollution* 134, 465-473
100. Steinnes, E., Rühling, Å., Lippo, H., Mäkinen, A., Reference materials for large-scale metal deposition surveys. *Accred Qual. Assur.* (1997) 2:243-249
101. Tyler, G.: Moss analysis – a method for surveying heavy metal deposition, Proc. Second Int. Clean Air Congress, December 6-11, Washington, USA, 1970
102. Wolterbeek, H.T., Garty, J., Reis, M.A., Freitas, M.C. Biomonitors in use: Lichens and metal air pollution in Bioindicators and biomonitors, B.A. Markert, A.M.Breure, H.G.Zechmeister, editors, 2003 Elsevier Science
103. Zechmeister, H.G., Grodzińska, K., Szarek-Łukaszewska, G., Bryophytes in Bioindicators and biomonitors, B.A. Markert, A.M.Breure, H.G.Zechmeister, editors, 2003 Elsevier Science
104. Petra Kajdiš, Matej Rupel, Primož Simončič, Franc Batič: Ozonske poškodbe gozdne vegetacije v Sloveniji
105. Franc Batič, Damijana Kastelec, Mitja Skudnik, Marko Kovač: Analiza stanja lišajev ob popisu stanja gozdov v letu 2007

## PRILOGE

**Tabela 2.3.1.(2):** Povprečne mesečne koncentracije SO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>) v letu 2010

Merilno mesto/Mesec	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
Ljubljana B.	4	4	2	2	1	1	1	1	1	2	2	2
Ljubljana center	6	7	7	6	5	6	5	5	4	3	3	5
Celje	12	11	9	6	5	4	4	2	4	6	6	7
Trbovlje	3	2	2	5	6	1	1	1	2	2	4	10
Hrastnik	9	9	6	1	1	2	1	2	6	4	5	8
Zagorje	16	12	6	4	8	8	5	4	7	7	6	9
Iskrba	3,9	2,5	1,0	0,6	0,6	1,3	0,8	1,1	0,9	0,9	0,6	/
Vnajnarje	6	5	4	3	2	2	1	2	2	3	2	3
Šoštanj	5	7	7	8	9	3	5	8	6	7	9	9
Topolšica	2	3	2	2	2	4	2	5	2	2	4	4
Veliki Vrh	8	7	6	6	4	7	7	9	4	3	3	2
Zavodnje	9	7	4	5	9	7	5	9	4	4	2	4
Velenje	3	4	1	1	2	4	2	2	1	1	3	3
Graška Gora	2	2	3	1	3	1	1	1	1	1	1	3
Pesje	7	6	5	4	5	5	7	10	6	11	6	3
Škale	3	5	2	1	2	5	6	8	3	4	4	7
Kovk	9	14	11	5	3	5	7	12	6	6	8	10
Dobovec	10	5	3	2	1	1	2	8	23	11	4	5
Kum	9	9	12	20	13	7	7	5	4	3	3	2
Ravenska vas	15	15	13	8	6	5	7	10	6	7	6	7
Brestanica-sv.Mohor	10	18	19	15	21	14*	10	15	14	8	11	19

\* informativni podatki – premalo veljavnih podatkov (velja za to in za vse naslednje tabele)

**Tabela 2.3.1.(3):** Maksimalne urne koncentracije SO<sub>2</sub> v µg/m<sup>3</sup> po mesecih v letu 2010 (presežena mejna vrednost je v rdečem tisku)

Merilno mesto/Mesec	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
Ljubljana B.	29	23	18	25	8	4	8	5	7	16	14	20
Ljubljana center	16	22	17	16	8	12	13	17	9	9	8	15
Celje	44	33	21	25	46	15	14	6	17	29	40	64
Trbovlje	11*	11	11	23	15	2	4	38	52	42	21	48
Hrastnik	28	38	44*	12	5	6	6	17	46	33	26	43
Zagorje	45	33	21	11*	11*	14	8	34	57	33	46	35
Vnajnarje	45	43	23	15	16	13*	12	13	18	20	18	43
Šoštanj	17	39	330	186	214	60	114	64	50	53	31	1357
Topolšica	23	18	52	32	35	28	52	40	24	22	17	39
Veliki Vrh	164	157	65	184	131	115	211	94	269	219	47	75
Zavodnje	46	32	76	60	61	91	46	81	59	98	56	33
Velenje	22	20	26	15	28	19	45	84	22	110	41	18
Graška Gora	106	60	68	25	45	36	16	58	12	20	26	41
Pesje	29	33	52	53	81	39	36	48	22	36	28	15
Škale	12	42	44	31	73	51	24	72	35	30	33	37
Kovk	69	86	159	27	10	11	24	87	139	38	36	56
Dobovec	178	109	209	8	6	5	74	55*	91	86	154	88
Kum	29	32	99	33	39	15	18	10	14	11	12	39
Ravenska vas	65	70	108	65	18	17	17	86	560	175	261	35
Brestanica-sv.Mohor	49*	45*	45	32*	53*	65*	32*	62*	27	23*	66	46



Tabela 2.3.1.(4): Najvišje dnevne koncentracije SO<sub>2</sub> v µg/m<sup>3</sup> po mesecih v letu 2010

Merilno mesto/Mesec	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
Ljubljana Bežigrad	14	9	5	4	3	2	2	2	2	4	7	5
Ljubljana center	9	10	10	11	6	7	7	8	5	5	5	12*
Celje	26	15	13	8	11	6	7	3	6	10	11	14
Trbovlje	7*	5	4	12	11	1	2	4	6	5	6	18
Hrastnik	21	15	12*	2	2	3	3	6	10	8	7	14
Zagorje	29	18	10	8*	10*	11	7	8	12	10	12	13
Iskrba	20	12,4	2,7	2,4	2,5	7,2	2,3	6,2	3,7	3,0	2,3	/
Vnajnarje	20	14	12	10	6	8*	7	8	9	7	6	9
Šoštanj	12	11	24	29	35	12	35	15	15	13	15	85
Topolšica	10	8	6	4	6	7	5	8	4	5	6	8
Veliki Vrh	25	20	20	17	17	14	28	15	24	15	8	9
Zavodnje	22	16	18	13	19	19	10	20	12	13	19	13
Velenje	14	11	3	4	6	6	5	7	3	6	7	5
Graška Gora	11	17	12	4	10	9	4	6	4	7	8	9
Pesje	19	14	8	11	13	10	13	17	15	25	22	7
Škale	10	14	9	5	26	18	15	17	16	9	18	14
Kovk	21	26	29	9	8	7	9	27	14	10	17	26
Dobovec	19	20	20	4	4	3	8	17*	35	26	20	22
Kum	16	19	25	31	37	13	15	8	11	10	9	9
Ravenska vas	30	26	24	15	9	7	9	21	38	21	25	12
Brestanica-sv.Mohor	28*	35*	28*	22*	29*	41*	25*	30*	20	19*	22*	28

Tabela 2.3.1.(5): Povprečne letne koncentracije SO<sub>2</sub> (prekoračena mejna letna vrednost je v rdečem tisku)

Merilno mesto	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	
Ljubljana-Figovec	51	39	27	23	25	24	22	15	10	9	/	/	/	/	/	/	/	/	/	
Ljubljana-Bežigrad	38	45	33	21	33	34	27	15	10	11	9	11	8	5	4	3	2	4	2	
Ljubljana center	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	6	5
Maribor center	47	42	30	28	24	23	18	17	13	10	8	9	8	8	5	3	2	5		
Celje	57	54	49	32	24	27	23	19	17	15	10	10	11	9	7	5	5	5	6	
Trbovlje	69	71	49	48	37	40	32	23	18	14	15	16	9	15	7	3	2	5	3	
Hrastnik	62	51	32	29	24	27	25	21	23	17	22	8	15	10	9	6	5	4	4	
Zagorje	71	60	48	41	34	31	27	21	18	18	16	21	20	12	6	5	4		8	
Nova Gorica	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	6	7	7	7	7	7	8	4		
M.S.Rakičan	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	5	5	5	5	6	5	6			
Iskrba	/	/	/	/	/	2,4	2,4	1,9	1,6	1,4	1,3	1,8	0,9	1,4	1,2	0,8	1,8	1,3	1,3	
Šoštanj	49	48	38	29	34	29	44	42	52	51	43	24	13	11	8	9	6	4	7	
Topolšica	54	51	32	20	20	18	20	17	18	11	15	16	6	5	4	3	2	3	3	
Veliki Vrh	71	54	49	49	57	53	63	72	56	52	56	45	30	33	20	14	8	5	6	
Zavodnje	51	44	46	26	33	42	43	42	31	21	23	15	8	12	8	6	3	6	6	
Velenje	19	19	12	6	10	11	10	10	7	5	8	8	6	4	5	3	4	2	2	
Graška Gora	39	42	47	27	28	36	32	32	34	15	21	10	6	6	6	5	4	3	2	
Škale	/	/	/	/	/	/	/	16	19	10	14	12	8	8	3	3	4	5	6	
Kovk	73	59	70	58	35	76	55	57	53	40	10	52	61	30	12	9	12	8	8	
Dobovec	30	50	29	36	41	66	54	41	35	39	40	28	31	23	6	7	8	6	6	
Kum	17	13	11	13	18	25	16	14	10	18			4	6	4	7	9	5	8	
Ravenska Vas	56	34	34	50	51	82	82	57	45	51	67	59	43	42	17	14	9	8	9	
Vnajnarje	/	/	/	/	19	19	18	14	6	7	8	10		8	4	4	3		3	
EIS Celje	/	/	/	26	24	28	27	22	20	6		8	5	3	1					
EIS Krško	/	/	/	/	/	51	42	33	51	46	46	55	37	36	23					
Brestanica-sv.Mohor	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	10	12	12	14		12	15	

Tabela 2.3.1.(6): Najvišje urne koncentracije SO<sub>2</sub> (prekoračena mejna vrednost je označena rdeče)

Merilno mesto	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	
Ljubljana-Fig.	1328	1194	744	718	1009	919	796	520	128	468	/	/	/	/	/	/	/	/	/	
Ljubljana-Bež.	1257	1380	532	843	1198	1593	936	786	184	273	157	202	129	94	81	46	58	93	29	
Ljubljana center	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	78	22
Maribor center	928	396	304	286	223	211	161	157	117	180	89	70	64	58	60	21	32	35		
Celje	719	797	733	993	263	975	623	228	379	666	224	619	396	157	90	76	82	37	64	
Trbovlje	1456	943	765	797	785	1806	693	849	634	552	811	758	521	848	379	264	65	76	52	
Hrastnik	1430	638	663	844	1162	1930	978	963	720	731	2168	507	1799	549	134	260	81	52	46	
Zagorje	1701	1000	716	606	605	914	1092	952	653	1111	788	693	1165	954	183	83	112		57	
Nova Gorica	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	64	131	89	98	80	64	35	52		
M.S.- Rakičan	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	58	55	45	53	54	64	49			
Šoštanj	2383	2272	2739	1945	1412	1536	1495	2466	2855	2099	2000	1392	937	642	1028	643	360	342	1357	
Topolščica	2021	2265	1482	878	1107	1050	1245	1345	987	835	1350	812	291	284	288	144	211	118	52	
Veliki Vrh	1052	988	1142	1493	1543	1720	1530	2257	1678	1569	1450	1320	1329	1110	771	535	561	344	269	
Zavodnje	1364	3272	2265	1242	1131	2154	2255	1963	1187	954	1536	947	680	1106	731	252	164	577	98	
Velenje	735	1169	764	261	578	672	1316	709	563	187	725	361	164	210	86	87	151	37	110	
Graška Gora	1791	1904	2313	990	1270	1579	1076	1844	1505	990	1024	824	463	497	175	509	242	345	106	
Škale	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	522	396	220	262	184	100	161	104	81	
Kovk	2084	1309	1917	1630	1622	3000	1916	2167	1237	1451	702	1806	1514	1063	511	958	312	389	159	
Dobovec	2507	3613	2429	4308	6021	6072	4548	3761	4073	3978	4043	2910	4056	1662	2290	2088	299	456	209	
Kum	530	539	776	2324	1114	3640	1344	2020	1131	685			1210	1203	11	125	89	60	99	
Ravenska Vas	1412	869	1103	1111	1078	2578	1846	1021	1471	1397	2093	1378	1779	3275	590	220	437	352	560	
Vnajarje	/	/	/	/	/	/	/	/	/	374	248	232	327	212	115	115	52		45	
EIS Celje	/	/	/	873	283	947	603	339	356	355		289	74	222	67					
EIS Krško	/	/	/	/	/	2687	1012	732	868	1473	1404	1427	877	836	1108					
Sv.Mohor	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	1385	416	455	74		82	66*

Tabela 2.3.1.(7): Najvišje dnevne koncentracije SO<sub>2</sub> (prekoračena mejna vrednost je označena rdeče)

Merilno mesto	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	
Ljubljana-Fig.	/	/	/	115	95	119	144	90	56	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	
Ljubljana-Bež.	239	312	123	152	128	174	163	94	67	35	38	59	38	33	41	14	14	36		
Ljubljana cen.	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	33	14
Maribor center	221	220	121	119	122	91	69	82	75	36	37	35	22	31	24	11	22	28	12	
Celje	308	387	212	237	99	275	117	106	165	102	111	72	100	44	35	15	20	22	26	
Trbovlje	365	425	235	286	179	536	136	342	134	246	328	100	84	129	43	23	19	19	18	
Hrastnik	342	393	170	218	183	523	123	383	133	184	235	93	625	86	44	30	23	25	21	
Zagorje	311	396	280	249	250	115	171	398	157	391	315	136	561	158	47	19	14		29	
Nova Gorica	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	25	23	47	22	24	19	17	12		
M.S.- Rakičan	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	16	29	15	33	20	16	28			
Iskrba	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	38	10	
Šoštanj	516	441	550	381	471	281	366	453	560	526	553	288	165	116	308	78	54	33	85	
Topolščica	562	313	293	132	164	149	184	184	255	85	254	82	102	42	29	22	26	19	10	
Veliki Vrh	673	355	268	353	446	368	472	556	383	269	344	413	263	191	106	72	101	42	28	
Zavodnje	394	429	686	224	326	497	401	1046	344	140	442	182	72	221	85	49	40	69	22	
Velenje	278	182	135	74	91	127	113	212	60	54	57	66	64	27	24	26	22	10	14	
Graška Gora	383	357	412	240	177	366	268	300	343	126	196	88	99	59	55	72	30	27	17	
Škale							274	293	139	68	131	75	55	66	41	33	19	23	25	
Kovk	364	347	462	417	514	1067	375	816	360	293	258	383	844	219	88	65	38	36	29	
Dobovec	432	607	264	460	967	1916	648	998	841	1516	695	332	837	346	196	127	41	102	35	
Kum	288	89	78	213	200	287	103	193	165	229			78	101	6	25	41	30	37	
Ravenska Vas	279	151	271	247	383	813	377	860	353	601	580	325	824	490	120	55	67	42	38	
Vnajarje	/	97	92	121	131	89	126	99	49	56	53	51	83	57	42	42	22		20	
EIS Celje	/	/	/	231	88	247	130	121	120	40	38	41	45	28	20	/	/	/	/	
EIS Krško	/	/	/	/	/	419	363	142	317	240	285	356	347	276	280	/	/	/	/	
Sv.Mohor	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	114	41	90	49*		36	41*

Tabela 2.3.2.(2): Povprečne mesečne koncentracije NO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>) v letu 2010

Merilno mesto/Mesec	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
Ljubljana Bežigrad	53	57	36	30	24	21	21	21	27	32	37	58
Ljubljana center	82	103	75	69	53	50	49	46	47	53	53	78
Maribor center	43	49	38	29	27	26	27	27	29	33	36	47
Celje	42	43	27	21	13	15	15	16	21	37	27	40
Trbovlje	26	31	20	20	14	9	9	10	19	25	28	35
Hrastnik	25	25	16	17	15	14	13	12	14	18	19	24
Nova Gorica	37	40	32	25	24	21	22	19	23	27	34	43
Koper	26	26	25	18	13	16	18	19	22	20	26	28
Iskrba	3,6	2,7	1,9	1,5	1,2	1,3	1,4	1,4	1,3	1,5	3,1	/
Vnajnarje	8	8	3	3	2	2	1	3	2	2	2	9
Zavodnje	8	5	4	4	2	3	4	3	4	7	6	10
Škale	13	13	9	4	5	6	6	2	7	7	10	11
Kovk	11	12	9	5	4	6	8	12	6	8	14	19
Dobovec	10	9	34	41	13	6	1	2*	5	4	7	8
Sv.Mohor	4	3	3	2	1	2	1	1	3	4	3	3

Tabela 2.3.2.(3): Povprečne mesečne koncentracije NO<sub>x</sub> (µg/m<sup>3</sup>) v letu 2010

Merilno mesto/Mesec	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
Ljubljana Bežigrad	99	118	51	39	29	23	24	27	42	57	78	177
Ljubljana center	175	226	129	110	81	74	66	67	86	111	123	227
Maribor center	94	87	65	47	43	41	39	47	64	79	99	119
Celje	77	79	42	29	16	22	19	24	38	74	94	123
Trbovlje	45	52	31	33	26	20	19	22	37	48	58	86
Hrastnik	41	42	26	28	25	22	19	21	31	42	49	74
Nova Gorica	79	76	54	41	35	29	29	27	43	59	81	119
Koper	36	34	32	22	15	19	21	23	29	26	37	40
Vnajnarje	9	9	3	3	2	3	2	3	2	3	4	9
Zavodnje	9	7	6	7	3	4	5	4	4	8	9	12
Škale	14	16	11	5	6	8	7	2	7	7	11	14
Kovk	14	14	10	5	5	7	10	15	8	9	17	23
Dobovec	12	10	35	42	13	7	2	3*	6	5	7	8
Sveti Mohor	6	4	4	3	3	4	3	4	5	7	5	4

Tabela 2.3.2.(4): Maksimalne urne koncentracije NO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>) v letu 2010

Merilno mesto/Mesec	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
Ljubljana Bežigrad	161	176	109	104	74	65	66	74	74	98	86	158
Ljubljana center	190	<b>225</b>	167	172	130	124	113	122	119	126	111	185
Maribor center	111	137	130	102	91	111	94	88	94	98	109	174
Celje	118	126	93	72	60	64	72	77	70	79	54	101
Trbovlje	87	96	71	66	50	40	44	41	60	78	96	100
Hrastnik	78	72	67	74	69	56	72	47	40	74	65	61
Nova Gorica	116	135	113	101	81	99	79	66	79	89	91	113
Koper	102	85	93	107	59	81	82	79*	96	92	73	71
Vnajnarje	50	68	31	17	22	19	12	18	18	30	27	54
Zavodnje	63	35	61	55	25	28	67	43	34	48	46	47
Škale	37	61	73	36	55	74	51	45	29	43	47	53
Kovk	48	50	33	21	29	62	98	70	42	40	46	111
Dobovec	51*	53*	122*	92	28	23	18	29*	33	43	42	39
Sveti Mohor*	37	26	18	20	18	20*	16*	32*	30	34	29	31

Tabela 2.3.2.(5): Povprečne letne vrednosti koncentracij NO<sub>2</sub>

Merilno mesto	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Ljubljana Fig.	49	47	41	38	39	36	42	49	38	36	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Ljubljana Bež.	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	29	32	29	27	29	28	29	31	35
Ljubljana center	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	55	63
Maribor center	50	53	45	39	39	38	39	39	44	38	36	37	31	33	39	37	34	32	34
Celje	32	37	37	35	33		29	28	30	26	24	27	24	26	28	23	21	22	26
Trbovlje						29	29	26	28		28	32	27	24	23	22	23	17	20
Hrastnik	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	18
Nova Gorica	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	27	27	25	24	24	25	30	28	29
Koper	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	21	19	21
M.S.Rakičan	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	14	15	11	14	15	17	16	14	/
Iskrba	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	2,2	2,5	1,8	/	1,2	1,4	1,8	1,8
Zavodnje	3	5	11	9	5	7	7	6	7	6	/	6	5	3	4	3	3	4	5
Škale	/	/	/	/	/	/	8	8	8	6	16*	8	9	5	9	8	8	9	8
Kovk	10	8	8	11	2	4	7	9	7	6	6	3	13	10	12	12	12	9	9
Dobovec	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	11
Sveti Mohor	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	5	3	4	4	4	7	3
Vnajnarje	/	/	/	/	/	4	3	5	4	5	6	5	5	4	5	5	5	4	4
EIS Celje	/	/	/	/	/	43*	47*	46*	53*	38*	30	22	/	/	/	/	/	/	/

Tabela 2.3.3.(2): Najvišje 8-urne koncentracije CO (mg/m<sup>3</sup>) po mesecih v letu 2010

Merilno mesto/Mesec	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
Ljubljana Bežigrad	2,3	2,1*	1,2	0,7	0,6	0,6*	0,7*	0,6	0,6*	1*	1,5*	3,2
Maribor center	2,3*	1,9	1,6	0,9	0,9	0,6	0,6	0,7	0,9	1,2	1,6	3,1
Nova Gorica	1,7*	2,2	1,3	0,8	0,6	0,3	0,5	0,5	0,7	1,0	1,4	2,5
Trbovlje	1,8	2,2*	1,1*	0,8	0,5	0,3	0,4	0,4	0,5	1,4	1,4	3,1
Krvavec	0,4*	0,4	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2*	0,2*	0,3*	0,3*	0,3

Tabela 2.3.4.(3): Maksimalne 1-urne koncentracije ozona (µg/m<sup>3</sup>) v letu 2010 (prekoračena opozorilna vrednost je označena rdeče)

Merilno mesto/Mesec	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
Krvavec	108*	118	142	161	160	186	187	151	120*	104*	97	96
Iskrba	98	100	135	158	149	144	145	135	99	95	89	0*
Otlica	101	107	133	163	169	156	189	163	128	100	84	80
Ljubljana Bežigrad	76	80	114	139	159	151*	154	127	105*	91	79	62
Maribor center	74*	120	106	133	135	124	126	101	84	80	78	64*
Celje	75*	95*	110*	143	158	146	161	145	110	89	77	75
Trbovlje	94	97	120	152	166*	144	164	130	111	86	69*	78*
Hrastnik	103	95	119	150	161*	155	172	142	116	93*	76	72*
Zagorje	78	82	94	122	152*	139	160	129	97	81	71	70
M. S.-Rakičan	94	177	115*	151	152	159	152	122	104	97	72	79*
Nova Gorica	85	90	121	149*	162	166	179	157*	131	99	81	73
Koper	91	93	122	147*	153	174	190	151	129	105*	86	75
Vnajnarje	104	103	127	151	160	150*	175	142	124	103	80	83
Maribor Pohorje	93	130	112	152	145	144	151	114	125	104	83	81
Zavodnje	98	125	117	151	161	158	173	140	111	98*	83	83
Velenje	97	102	115	151	168	155	169	140	112	98	86	82
Kovk	93	100	114	159*	170	156	172	139	117	98	80	79
Sveti Mohor	81	92	101*	118	133*	138*	155*	132*	109	91	73	75

Tabela. 2.3.4.(4): Število prekoračitev urne opozorilne koncentracije ozona 180 µg/m<sup>3</sup> v letu 2010

Merilno mesto/Mesec	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
Krvavec	0*	0	0	0	0	3	11	0	0*	0*	0	0
Iskrba	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0*
Otlica	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0
Ljubljana Bežigrad	0	0	0	0	0	0*	0	0	0*	0	0	0
Maribor center	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
Trbovlje	0	0	0	0	0*	0	0	0	0	0	0*	0*
Hrastnik	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
M.-S.-Rakičan	0	0	0*	0	0	0	0	0	0	0	0	0*
Nova Gorica	0	0	0	0*	0	0	0	0*	0	0	0	0
Koper	0	0	0	0*	0	0	2	0	0	0*	0	0
Vnajnarje	0	0	0	0	0	0*	0	0	0	0	0	0
Maribor Pohorje	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
Kovk	0	0	0	0*	0	0	0	0	0	0	0	0
Sveti Mohor	0	0	0*	0	0*	0*	0*	0*	0	0	0	0

Tabela 2.3.4.(5): Število prekoračitev 8-urne ciljne koncentracije ozona 120 µg/m<sup>3</sup> v letu 2010

Merilno mesto/Mesec	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
Krvavec	0*	0	2	16	11	22	22	9	0*	0*	0	0
Iskrba	0	0	2	9	8	7	10	0	0	0	0	0*
Otlica	0*	0	3	10	7	10	21	6*	0	0	0	0
Ljubljana Bežigrad	0	0	0	3	4	3*	11	0	0*	0	0	0
Maribor center	0*	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0
Celje	0*	0*	0*	1	6	4	11	0	0	0	0	0
Trbovlje	0	0	0	3	5*	4	10	0	0	0	0*	0
Hrastnik	0	0	0	5	5*	7	14	1	0*	0*	0	0*
Zagorje	0	0	0	0	3*	1	8	0	0	0	0	0
M. S.-Rakičan	0	2	0	5	5	2	9	0	0	0	0	0*
Nova Gorica	0	0	0	2*	5	13	19	4*	0	0	0	0
Koper	0	0	0	7	8	13	19	9	0	0*	0	0
Vnajnarje	0	0	2	8	7	8*	18	8	0	0	0	0
Maribor Pohorje	0	0	0	4	7	3	11	0	0	0	0	0
Zavodnje	0	0	0	5	7	8	20	3	0	0*	0	0
Velenje	0	0	0	6	6	7	14	1	0	0	0	0
Kovk	0	0	0	11	7	8	19	2	0	0	0	0
Sveti Mohor	0	0	0	0	2*	3*	8*	0*	0	0	0	0

**Tabela 2.3.4.(6):** Povprečne letne vrednosti koncentracij ozona (prekoračena ciljna vrednost za zaščito materialov je označena rdeče)

Merilno mesto	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Krvavec	89	83	83	89	99	98	100	99	99	98	96	103	95	98	100	96	95	96	97
Iskrba	/	/	/	/	/	/	/	/	61	58	53	60	54	56	60	54	50	53	55
Otlica	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	95	88	82	83	83
Ljubljana Bež.	40	38	34	27	36	40	40	36	42	44	41	48	42	44	45	42	42	40	41
Maribor center	/	/	/	/	/	/	/	/	36	33	37	44	34	35	39	37	37	39	40
Celje	/	/	/	/	/	/	/	/	41	44	46	50	38	43	45	42	41	39	42
Trbovlje	/	/	/	/	/	/	/	/	37	/	40	48	35	37	41	38	33	40	42
Hrastnik	/	/	/	/	/	/	/	/	46	37	46	52	43	35	50	44	41	42	48
Zagorje	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	34	41	32	44	39	36	30	30	36
M.S. - Rakičan	/	/	/	/	/	/	/	/	46	54	52	58	48	50	50	47	45	45	51
Nova Gorica	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	45	58	47	48	50	47	43	44	46
Koper	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	74	66	67	69	68
Zavodnje	79	73	73	71	66	72	72	64	58	75	66	78	64	75	76	71	65	72	73
Velenje	/	/	/	/	/	/	/	/	38	40	54	55	43	46	54	51	42	49	51
Kovk	70	68	69	75	69	68	61	70	76	71	65	78	69	72	72	67	61	68	71
Sveti Mohor	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	57	68	66	64	59	54	54
Vnajnarje	/	/	/	/	/	/	/	/	77	63	67	73	67	68	76	70	60	74	73
Maribor Pohorje	/	/	/	/	/	/	/	/	86	/	/	88	76	79	82	76	74	74	71

**Tabela 2.3.5.1.(2):** Povprečne mesečne koncentracije delcev PM<sub>10</sub> (µg/m<sup>3</sup>) v letu 2010

Merilno mesto/Mese	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
Ljubljana Bež.	54	49	34	24	17	20	22	17	18	31	26	44
Ljubljana BF	56	43	29	23	15	15	20	15	15	24	24	41
Ljubljana center	224	127	68*	58	35	48	50	41	55	64	62	128
Maribor center	57	51	34	33	21	20	24	20	21	36	32	41
Kranj	60	53	32	31	17	18	21	14	18	30	27	44
Novo mesto	54	52	32	23	15	17	20	17	18	36	34	61
Celje	56	49	38	30	17	20	22	18	20	35	31	50
Trbovlje	54	48	40	31	20	20	23	19	20	40	32	55
Zagorje	61	56	48	27	19	22	24	22	26	39	37	57
Hrastnik	46	39	34	23	16	18	21	17	17	28	27	38
M. S.-Rakičan	57	55	31	21	16	20	21	17	18	32	32	41
Nova Gorica	35	36	36	27	22	/	23	22	17	26	33	36
Koper	32	29	38	22	18	21	25	20	20	29	24	22
Žerjav	64	44	25	19	15	17	19	14	13	26	31	27
Iskrba	27	17	18	14	12	12	15	12	11	16	9	11
Morsko	27	26	31	17	13	15	18	14	9	16	19	24
Gorenje Polje	26	25	36	18	13	16	17	13	11	17	24	24
Maribor Tabor	47	44	29	27	23	25	29	23	24	35	22	30
Vnajnarje	53	48*	30*	32*	26*	31*	50	39	36*	39	30	57
Pesje	63	71	43	41	68	31	35	28	39	44	40	70
Škale	75	71	42	39	34	58	38	33	46	53	39	94
Prapretno	84	70	45	46	37	53	56	37	40	53	51	103

Tabela 2.3.5.1.(3): Prekoračitve mejne dnevne koncentracije delcev PM<sub>10</sub> (µg/m<sup>3</sup>) v letu 2010

Merilno mesto	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
Ljubljana Bež.	13	12	3	0	0	0	0	0	0	2	0	13
Ljubljana BF	14	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8
Ljubljana center	17	20	3*	5	0	0	0	0	1	6	5	17
Maribor center	19	14	3	0	0	0	0	0	0	2	1	8
Kranj	17	10	3	0	0	0	0	0	0	1	0	6
Novo mesto	20	13	2	0	0	0	0	0	0	3	3	19
Celje	17	14	5	2	0	0	0	0	0	5	1	14
Trbovlje	16	13	7	0	0	0	0	0	0	8	3	17
Zagorje	18	14	10	0	0	0	0	0	0	7	2	17
Hrastnik	13	7	3	0	0	0	0	0	0	0	1	6
M. S.-Rakičan	18	15	3	0	0	0	0	0	0	4	3	9
Nova Gorica	1	4	8	0	0	/	0*	0	0	0	6	6
Koper	4	2	6	0	0	0	0*	0	0	3	0	0
Žerjav	19	6	1	0	0	0	0	0	0	1	2	0
Iskrba	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Morsko	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Gorenje Polje	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	3	2
Maribor Tabor	14	11	0	0	0	1	0	0	1	4	**	**
Vnajnarje	1	0*	0*	0*	0*	0*	0	0	0*	0	0	1
Pesje	4	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2
Škale	5	3	0	0	0	1	0	0	0	1	0	2
Prapretno	13	8	0	0	0	1	3	0	0	1	1	2

\*\* prestavitev merilnega mesta Tabor na lokacijo Maribor VP

Tabela 2.3.5.1.(4): Povprečne letne vrednosti koncentracij delcev PM<sub>10</sub> (µg/m<sup>3</sup>) z upoštevanim korekcijskim faktorjem (prekoračena mejna letna vrednost je označena rdeče)

Merilno mesto	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Ljubljana Bež.	/	/	/	43	42	46	41	37	33	32	30	29	30
Ljubljana BF	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	26	27
Ljubljana center	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	44	48	42
Maribor center	/	/	/	48	50	58	48	43	43	40	34	30	33
Kranj	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	32
Novo mesto	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	31
Celje	42	47	46	45	46	53	41	43	35	32	30	31	32
Trbovlje	52	59	61	50	47	52	40	55	40	37	38	33	34
Zagorje					47	51	44	52	46	41	44	36	36
Hrastnik	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	27
M. S.-Rakičan	/	/	/	/	40	43	32	37	34	30	30	29	30
Nova Gorica	/	/	/	/	39	37	35	34	32	33	31	28	29
Koper	/	/	/	/	/	/	/	/	31	29	25	23	25
Žerjav	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	26
Iskrba	/	/	/	/	/	/	/	16	16	15	16	16	14
Morsko	/	/	/	/	/	/	/	/	/	23	22	20	19
Gorenje Polje	/	/	/	/	/	/	/	/	/	24	26	23	20
EIS-Celje*	62	53	64	/	/	51	40	45	/	/	/	/	/
Maribor Tabor	/	/	/	/	40	42	38	43	47	40	35	30	31
Vnajnarje	/	/	/	/	/	/	/	/	26	22	/	23	20
Pesje	/	/	/	/	/	31	25	27	28	21	20	22	22
Škale	/	/	/	/	/	27	23	23	26	24	22	24	23
Prapretno	/	/	/	/	/	/	30	28	34	33	29	31	29



**Tabela 2.3.5.1.(5):** Število prekrasitev mejne (dopustne pred letom 2005) dnevne koncentracije delcev PM<sub>10</sub> (µg/m<sup>3</sup>) z upoštevanim korekcijskim faktorjem (prekoračena dovoljena letna vsota je označena rdeče)

Merilno mesto	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Ljubljana Bež.	/	/	/	/	36	64	71	70	47	46	36	30	43
Ljubljana BF	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	25	32
Ljubljana center	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	101	112	74
Maribor center	/	/	/	/	66	129	102	101	108	91	54	35	47
Kranj	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	37
Novo mesto	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	60
Celje		43	34	41	58	100	62	97	59	48	37	42	58
Trbovlje	58	80	77	40	52	88	48	157	86	81	72	48	64
Zagorje	/	/	/	/	48	79	82	143	106	99	109	56	68
Hrastnik	/	/	/	/									30
M. S.-Rakičan	/	/	/	/	33	58	19	65	54	37	42	30	52
Nova Gorica	/	/	/	/	24	18	33	37	47	40	33	24	25
Koper	/	/	/	/	/	/	/	/	40	19	11	2	15
Žerjav	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	29
Iskrba	/	/	/	/	/	/	/	5	5	0	0	5	5
Morsko	/	/	/	/	/	/	/	/	/	18	16	14	5
Gorenje Polje	/	/	/	/	/	/	/	/	/	16	24	16	13
EIS-Celje*	/	/	/	/	/	/	61	89	92	/	/	/	/
Maribor Tabor	/	/	/	/	38	42	51	111	132	94	52	24	38
Vnajnarje	/	/	/	/	/	/	/	/	20	10	/	7	2
Pesje	/	/	/	/	/	17	11	23	24	14	9	12	10
Škale	/	/	/	/	/	4	8	15	19	11	12	13	12
Prapretno	/	/	/	/	/	/	19	15	33	36	25	20	29

**Tabela 2.3.5.2.(2):** Povprečne mesečne koncentracije delcev PM<sub>2,5</sub> (µg/m<sup>3</sup>) v letu 2010

Merilno mesto	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec	Leto
Ljubljana BF	49	38	24	18	10	11	17	10	10	19	19	36	49
Maribor center	51	41	24	25	13	12	17	13	14	25	23	34	51
Maribort VP	50	37	21	22	12	9	15	10	12	22	20	30	50
Iskrba	24	13	14	12	8	10	11	10	8	12	7	10	24

**Tabela 2.3.6.1.(2):** Povprečne mesečne koncentracije težkih kovin v delcih PM<sub>10</sub> (ng/m<sup>3</sup>) v letu 2010

**Arzen**

Merilno mesto	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
Ljubljana BF	1,0	0,85	0,52	0,35	0,26	0,29	0,45	0,34	0,34	0,34	0,42	0,47
Maribor center	1,3	1,3	0,62	0,60	0,39	0,54	0,82	0,71	0,89	0,89	0,81	0,68
Iskrba	0,80	0,47	0,30	0,35	<0,18	0,29	0,42	0,22	0,24	0,38	<0,18	0,20

**Kadmij**

Merilno mesto	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
Ljubljana BF	0,51	0,51	0,30	0,21	0,10	0,09	0,13	0,11	0,20	0,20	0,31	0,38
Maribor center	0,86	0,71	0,24	0,22	0,11	0,11	0,14	0,12	0,19	0,19	0,45	0,32
Iskrba	0,22	0,14	0,12	0,14	0,05	0,09	0,18	0,07	0,10	0,14	0,07	0,06

**Nikelj**

Merilno mesto	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
Ljubljana BF	6,7	8,6	5,1	2,5	1,9	2,5	3,9	4,0	3,4	3,4	6,2	5,0
Maribor center	3,9	3,1	2,6	2,5	2,5	2,6	2,6	4,4	2,5	2,5	4,1	2,8
Iskrba	2,0	1,3	1,6	2,2	1,5	2,1	1,5	2,2	1,2	1,3	3,2	1,3

**Svinec**

Merilno mesto	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
Ljubljana BF	13,0	12,3	8,3	6,9	3,8	4,7	4,4	4,6	8,0	8,0	12,0	10,9
Maribor center	19,8	16,2	9,8	10,5	6,5	7,0	9,0	8,1	9,6	9,6	17,0	11,6
Iskrba	6,1	3,9	5,5	3,5	1,9	2,4	3,1	2,1	2,6	4,1	1,9	2,1

Opomba: Rezultati, ki vsebujejo znak < so pod mejo kvantifikacije, ki jo je podal laboratorij.

**Tabela 2.3.6.1.(6):** Povprečne mesečne koncentracije PAH v delcih PM<sub>10</sub> v ng/m<sup>3</sup> v letu 2010

**Benzo(a)antracen**

Merilno mesto	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
Ljubljana BF	2,6	2,2	0,45	0,20	0,09	0,05	<0,04	0,06	0,11	0,11	1,0	4,0
Maribor center	3,2	2,1	0,62	0,26	0,14	0,08	0,07	0,10	0,19	0,19	1,1	2,7
Iskrba	0,52	0,34	0,14	0,07	0,05	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	0,09	0,11	0,43

**Benzo(b)fluoranteni**

Merilno mesto	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
Ljubljana BF	6,2	5,3	2,1	0,96	0,49	0,26	0,21	0,30	0,57	0,57	3,1	8,6
Maribor center	6,9	5,6	2,3	1,1	0,50	0,33	0,27	0,31	0,69	0,69	3,4	6,5
Iskrba	2,2	1,5	0,75	0,36	0,20	0,15	0,15	<0,09	0,16	0,54	0,61	1,7

**Benzo(a)piren**

Merilno mesto	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
Ljubljana BF	2,8	2,4	0,68	0,28	0,13	0,05	0,06	0,08	0,22	0,22	1,4	4,4
Maribor center	3,2	2,2	0,85	0,35	0,16	0,10	0,07	0,12	0,30	0,30	1,5	2,9
Iskrba	0,77	0,52	0,23	0,09	0,05	<0,04	<0,04	<0,04	0,07	0,19	0,21	0,63

**Indeno(123-cd)piren**

Merilno mesto	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
Ljubljana BF	3,8	3,2	1,1	0,49	0,17	0,08	0,06	0,09	0,26	0,26	1,6	4,0
Maribor center	4,2	2,9	1,1	0,58	0,25	0,10	0,12	0,24	0,36	0,36	1,6	2,8
Iskrba	1,3	0,84	0,40	0,19	0,06	<0,04	<0,04	<0,04	0,09	0,25	0,34	0,85

**Dibenzo(ah)antracen**

Merilno mesto	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
Ljubljana BF	0,36	0,35	0,17	0,14	0,05	0,05	<0,04	<0,04	0,08	0,08	0,23	0,50
Maribor	0,50	0,37	0,24	0,12	<0,04	<0,04	0,05	0,05	0,07	0,07	0,24	0,42
Iskrba	0,14	0,09	0,07	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	0,04	0,06	0,06	0,13

Opomba: Rezultati, ki vsebujejo znak <, so pod mejo kvantifikacije, ki jo je podal laboratorij

**Tabela 2.3.6.2.(2):** Povprečne mesečne koncentracije težkih kovin (ng/m<sup>3</sup>) v delcih PM<sub>2,5</sub> v letu 2010

**Arzen**

Merilno mesto	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
Ljubljana BF	0,83	0,74	0,43	0,35	0,24	0,25	0,43	0,32	0,30	0,46	0,32	0,43
Maribor center	1,0	1,1	0,54	0,47	0,25	0,42	0,58	0,61	0,73	0,79	0,56	0,60
Maribor VP	0,99	0,96	0,54	0,44	0,26	0,43	0,62	0,61	0,55	0,55	0,58	0,74
Iskrba	0,74	0,48	0,34	0,29	0,19	0,30	0,38	0,25	0,26	0,36	<0,18	0,27

**Kadmij**

Merilno mesto	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
Ljubljana BF	0,45	0,46	0,26	0,20	0,09	0,08	0,11	0,14	0,18	0,27	0,26	0,35
Maribor center	0,79	0,45	0,25	0,21	0,09	0,08	0,10	0,11	0,17	0,28	0,40	0,30
Maribor VP	0,55	0,53	0,23	0,21	0,08	0,08	0,12	0,11	0,20	0,20	0,32	0,28
Iskrba	0,22	0,15	0,13	0,12	0,05	0,06	0,06	0,06	0,09	0,12	0,06	0,06

**Nikelj**

Merilno mesto	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
Ljubljana BF	4,4	5,3	3,4	3,4	2,1	1,5	2,8	2,7	2,5	3,7	3,6	4,7
Maribor center	2,2	1,8	2,3	1,9	1,2	1,6	1,2	1,9	1,3	1,2	1,4	1,6
Maribor VP	2,2	1,5	1,2	1,7	1,4	2,1	2,3	1,4	1,3	1,3	1,1	1,7
Iskrba	1,7	2,0	1,6	1,4	1,9	1,8	1,5	2,0	1,3	1,2	1,4	3,7

**Svinec**

Merilno mesto	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
Ljubljana BF	11,2	11,4	7,7	7,5	3,8	4,2	3,4	4,6	6,5	8,8	10,4	10,1
Maribor center	17,6	13,1	8,5	9,2	5,1	5,4	6,8	7,1	8,1	13,3	15,4	10,6
Maribor VP	15,3	11,5	7,5	6,8	4,2	4,9	6,6	6,1	8,8	8,8	10,9	9,2
Iskrba	5,8	4,0	3,7	3,0	1,9	2,2	2,9	1,8	2,4	3,9	1,9	2,1

Opomba: Rezultati, ki vsebujejo znak < so pod mejo kvantifikacije, ki jo je podal laboratorij.

Tabela 2.3.6.2.(4): Povprečne mesečne koncentracije ionov ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) v delcih  $\text{PM}_{2,5}$  v letu 2010

**Nitrat**

Merilno mesto	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
Ljubljana BF	5,6	4,0	3,3	1,8	0,46	0,15	0,14	0,14	0,26	1,6	1,8	4,2
Maribor center	9,3	6,5	3,0	1,7	0,42	0,18	0,13	0,14	0,55	3,39	2,49	5,19
Maribor VP	7,8	5,2	2,6	1,7	0,34	0,18	0,12	0,12	0,39	0,39	2,0	4,8
Iskrba	0,29	0,24	1,1	0,62	0,14	0,09	0,09	0,08	0,07	0,55	0,18	0,69

**Sulfat**

Merilno mesto	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
Ljubljana BF	6,3	4,8	2,7	2,5	2,2	1,9	2,8	1,7	1,7	2,5	1,4	1,9
Maribor center	5,6	5,4	2,2	2,6	1,7	1,9	2,5	1,6	2,0	2,8	1,5	2,4
Maribor VP	6,4	5,8	2,5	2,8	1,8	2,5	2,6	1,7	2,0	2,0	1,5	2,4
Iskrba	5,3	3,8	2,4	2,6	2,4	2,2	3,3	2,3	2,3	2,8	1,2	1,3

**Klorid**

Merilno mesto	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
Ljubljana BF	0,19	0,18	0,04	0,05	<0,03	0,03	<0,03	0,03	0,03	0,04	0,19	0,26
Maribor center	0,38	0,27	0,18	0,06	0,03	<0,03	<0,03	<0,03	0,05	0,13	0,16	0,33
Maribor VP	0,17	0,12	0,06	0,04	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	0,04	0,04	0,07	0,19
Iskrba	<0,03	<0,03	<0,03	0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	0,03

**Natrij**

Merilno mesto	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
Ljubljana BF	0,12	0,08	0,09	0,10	0,07	0,05	0,04	0,04	0,07	0,05	0,05	0,07
Maribor center	0,05	0,11	0,04	0,05	0,03	0,03	0,04	0,02	0,04	0,03	0,04	0,05
Maribor VP	0,09	0,10	0,07	0,06	0,04	0,04	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,07
Iskrba	0,04	0,05	0,09	0,05	0,05	0,03	0,04	0,04	0,03	0,03	0,04	0,03

**Amonij**

Merilno mesto	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
Ljubljana BF	3,9	3,0	2,1	1,3	0,89	0,90	1,16	0,64	0,66	1,3	1,1	1,8
Maribor center	4,9	3,9	1,8	1,4	0,74	0,72	1,07	0,67	0,82	1,97	1,15	2,19
Maribor VP	4,6	3,6	1,7	1,5	0,75	0,80	1,1	0,70	0,81	0,81	1,0	2,1
Iskrba	1,9	1,4	1,3	1,2	0,94	0,82	1,3	0,93	0,85	1,2	0,42	0,60

**Kalij**

Merilno mesto	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
Ljubljana BF	0,57	0,40	0,21	0,14	0,09	0,08	0,09	0,06	0,09	0,22	0,20	0,48
Maribor center	0,63	0,46	0,19	0,13	0,07	0,07	0,08	0,07	0,13	0,25	0,23	0,45
Maribor VP	0,60	0,47	0,19	0,14	0,07	0,07	0,10	0,07	0,10	0,10	0,23	0,44
Iskrba	0,28	0,19	0,14	0,09	0,07	0,06	0,10	0,07	0,08	0,15	0,09	0,17

**Magnezij**

Merilno mesto	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
Ljubljana BF	0,03	0,04	0,03	0,05	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Maribor center	0,15	0,13	0,08	0,06	0,04	0,03	0,03	0,04	0,05	0,05	0,05	0,10
Maribor VP	0,04	0,07	0,06	0,05	0,02	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04
Iskrba	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01

**Kalcij**

Merilno mesto	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
Ljubljana BF	0,09	0,07	0,10	0,42	0,14	0,10	0,11	0,09	0,11	0,11	0,07	0,07
Maribor center	0,11	0,13	0,08	0,09	0,10	0,10	0,08	0,08	0,08	0,11	0,10	0,08
Maribor VP	0,12	0,07	0,07	0,07	0,07	0,09	0,07	0,08	0,09	0,09	0,09	0,07
Iskrba	0,07	0,05	0,06	0,06	0,06	0,09	0,08	0,08	0,08	0,07	0,06	0,06

Opomba: Rezultati, ki vsebujejo znak < so pod mejo kvantifikacije, ki jo je podal laboratorij.

**Tabela 2.3.6.2.(6):** Povprečne mesečne koncentracije EC/OC ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) v delcih  $\text{PM}_{2,5}$  v letu 2010

EC

Merilno mesto	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
Ljubljana BF	2,6	3,1	1,5	1,3	0,7	0,7	0,8	0,9	1,1	1,7	2,0	3,9
Maribor center	3,0	3,3	2,0	1,6	1,5	1,4	1,4	1,8	2,0	2,7	3,2	3,0
Maribor VP	2,2	2,1	1,1	0,84	0,55	0,51	0,49	0,58	0,79	0,79	1,7	1,9
Iskrba	1,0	0,55	0,50	0,31	0,20	0,19	0,23	0,22	0,21	0,35	0,29	0,49

OC

Merilno mesto	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
Ljubljana BF	12,9	11,3	5,7	4,9	3,3	3,5	4,2	3,2	3,0	5,8	5,5	12,2
Maribor center	14,4	11,0	6,3	4,7	3,5	3,6	4,6	3,5	3,5	6,6	6,5	9,8
Maribor VP	13,8	10,5	5,7	4,5	3,3	3,3	4,4	3,2	3,2	3,2	6,1	9,6
Iskrba	6,6	3,9	3,1	3,2	2,6	3,5	3,5	2,8	2,2	3,3	2,4	3,5

**Tabela 2.3.7.(2):** Povprečne mesečne koncentracije benzena ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) v letu 2010

Merilno mesto/Mesec	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
Ljubljana Bež.	4,0	4,0	1,6	0,9	0,5	0,4	0,4	0,4	0,8	1,5	1,8	4,5
Ljubljana center	5,5	5,3	3,7	3,2	2,9	2,8	2,7	2,8	3,2	3,8	3,9	5,6
Maribor center	3,9	3,5	1,8	1,2	0,8	0,8	0,7	0,8	1,1	1,9	2,3	3,4

**Tabela 2.3.9.(2):** Povprečne mesečne koncentracije za žveplo, dušik in druge anorganske ione v zraku na Iskrbi za leto 2010

Mesec	Koncentracija elementa ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )								
	$\text{SO}_4^{2-}\text{-S}$	$\text{SO}_2\text{-S}$	$\text{HNO}_3+\text{NO}_3\text{-N}$	$\text{NH}_3+\text{NH}_4^+\text{-N}$	$\text{Cl}^-$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Na}^+$	$\text{K}^+$
Jan	1.39	1.98	0.286	1.07	0.034	0.058	0.015	0.052	0.225
Feb	1.07	1.23	0.218	0.885	0.111	0.045	0.019	0.120	0.160
Mar	0.726	0.504	0.379	0.975	0.097	0.131	0.036	0.168	0.140
Apr	0.770	0.284	0.333	1.21	0.030	0.182	0.045	0.091	0.108
Maj	0.714	0.307	0.153	0.884	0.029	0.134	0.032	0.091	0.099
Jun	0.683	0.662	0.138	0.987	0.009	0.278	0.063	0.069	0.096
Jul	0.905	0.410	0.154	1.29	0.007	0.301	0.098	0.061	0.098
Avg	0.701	0.551	0.188	0.942	0.032	0.177	0.062	0.097	0.100
Sep	0.674	0.427	0.106	0.757	0.037	0.080	0.028	0.068	0.108
Okt	0.817	0.439	0.248	0.966	0.041	0.078	0.027	0.082	0.157
Nov	0.384	0.314	0.172	0.463	0.077	0.061	0.021	0.115	0.110
Dec	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Opomba: zaradi težav z zajemom zunanjega zraka podatki za mesec december 2010 niso uporabni.

**Tabela 7.3.1.2.(2):** Mesečne depozicije nekaterih težkih kovin na Iskrbi za obdobje vzorčenja od 04.01.2010 do 03.01.2011

Mesec	Depozicija onesnaževala ( $\mu\text{g}/\text{m}^2$ )							Količina padavin (mm)
	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	
Jan	8,87	2,44	17,8	19,2	17,9	40,2	118	101
Feb	6,55	2,85	19,7	26,3	19,7	51,3	117	115
Mar	8,22	3,68	12,8	32,8	14,6	63,2	288	68,4
Apr	7,27	2,18	16,2	52,6	17,7	45,8	235	86,8
Maj	6,76	2,11	20,3	68,0	20,3	56,8	300	119
Jun	9,42	2,79	29,5	191	29,7	84,2	308	172
Jul	9,45	2,37	15,4	95,4	20,9	59,6	249	83,2
Avg	9,44	3,82	20,1	52,7	25,0	36,6	139	116
Sep*	11,4	2,27	34,1	72,8	34,1	92,5	343	207
Okt	22,3	3,51	19,8	94,2	39,2	117	419	120
Nov	10,3	2,86	28,1	44,0	33,1	52,3	144	171
Dec	13,6	2,66	30,2	44,8	30,2	75,5	231	180

\* v septembru 2010 zaradi izjemnih razmer nismo uspeli zajeti celotne količine padavin

**Tabela 7.3.1.2.(3):** Mesečne depozicije celokupnega Hg na Iskrbi za obdobje vzorčenja od 8.12.2009 do 27.12.2010

Mesec	Depozicija celokupnega Hg ( $\mu\text{g}/\text{m}^2$ )	Količina padavin mm
Jan	0,689	186
Feb	0,483	108
Mar	0,493	102
Apr	0,176	25
Maj	0,596	130
Jun	0,770	180
Jul	0,926	130
Avg	0,302	175
Sep	1,688	406
Okt	0,465	167
Nov	0,580	238
Dec	0,295	71

**Tabela 7.3.1.2.(5):** Celotne depozicije nekaterih PAH za obdobje vzorčenja od 04.01.2010 do 03.01.2011

Mesec	Depozicije nekaterih PAH ( $\mu\text{g}/\text{m}^2$ )					Količina padavine
	Benzo(a)antracen	Benzo(a)piren	Benzo(b,j,k)fluoranten	Dibenz(ah)antracen	Indeno(123-cd)piren	(mm)
Jan	1,59	2,24	7,33	0,572	4,46	102
Feb	1,35	1,38	5,54	0,546	3,10	114
Mar	0,688	0,772	3,95	0,579	1,82	53
Apr	0,500	0,596	3,00	0,729	1,01	80
Maj	0,334	0,334	1,53	0,494	0,498	111
Jun	0,221	0,280	1,03	0,268	0,413	180
Jul	0,179	0,365	1,52	0,323	0,320	86
Avg	0,108	0,144	0,409	0,187	0,275	119
Sep	0,283	0,369	1,55	0,261	0,570	159
Okt	1,15	1,41	5,49	0,526	1,45	115
Nov	0,905	0,809	4,05	0,531	1,72	176
Dec	1,66	1,59	7,88	0,721	3,19	173
Jan	8,97	10,3	43,3	5,74	18,8	1469

\* v septembru 2010 zaradi izjemnih razmer nismo uspeli zajeti celotne količine padavin





Kakšen zrak bomo dihali v prihodnosti?