

Студија случаја:
Температурне инверзије и аерозагађење у Ужицу
у периоду октобар 2022- март 2023

Драган Чучковић, специјалиста токсиколошке хемије, Завод за јавно здравље Ужице

Искуство живљења у граду Ужицу повезано је са свешћу о аерозагађењу које представља једну од специфичности зимског периода. Од 2010. и доношења новог закона и уредбе које регулишу област квалитета ваздуха и методе мерења, добијено је довољно резултата мерења, примарно ПМ10 честица који су квалитет ваздуха дефинисали као веома лош (категорија III). Последњих година откако је гас доведен у град, улажу се напори и средства да се квалитет ваздуха поправи. Ту се пре свега ради о гасификацији-конверзији котларница ЈКП Топлота, котларница јавних установа и индивидуалних објеката. Мониторинг ПМ10 и ПМ2.5 честица је установљен на два мерна места: једној урбаној и једној саобраћајној станици. У последње две године мониторинг се „демократизује“ ширењем мреже реал-тима уређаја инсталираних на објектима 3 школе, као и цивилних мерних уређаја.

Ужичка база метеоролошких података је прилично оскудна. Град је у мрежи РХМ3.а укључен са климатолошком станицом Буар. Због потребе праћења ризика од поплава градска Управа за ванредне ситуације обезбедила је метеоролошке станице које у real time прате основне метеоролошке параметре у широј околини града. Ова мрежа, будући да је самом конфигурацијом терена распоређена на различитим надморским висинама у граду и на јужном и северном

масиву изнад града омогућава пређење вертикалних температурних разлика које су у директном односу са атмосферском стабилности, односно са температурним инверзијама. Ови метеоролошки феномени који утичу на вертикалну покретљивост ваздуха у котлинама чине, поред емисија, главне факторе аерозагађења. Идеја овог рада је да се искористе подаци о температурама за израчунавање интензитета температурних инверзија, те да се доведу у везу са измереним вредностима ПМ₁₀. Идеја, поступак израчунавања и статистичка обрада података ослања се на рад (у даљем тексту референтни рад): Yann Largeron, Chantal Staquet: Persistent inversion dynamics and wintertime PM₁₀ air pollution in Alpine valleys, *Atmospheric Environment* Volume 135, June 2016, Pages 92-108, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231016302254>. Као што је референтни рад студија случаја током грејне 2006-2007 у Греноблу, овај рад представља примену представљене методологије на случају грејне сезоне октобар 2022-март 2023. у Ужицу. Једина разлика у односу на поменути рад тиче се успостављања критичне вредности ИС, односно прага температурне инверзије као критеријума на основу којег се одређује температурна инверзија. 2

ГТ: У референтном раду се као критична граница уводи зимски просек ($\Delta T/\Delta z$) зима, који није примењив у поређењима различитих грејних сезона. Због тога је овде употребљен критеријум Pasquill–Gifford горње границе неутралне класе стабилности $-1.5 < \Delta T \leq -0.5$ °C/100m, дакле -0.5 °C/100m

. Такође, интензитет стабилности, за разлику од референтног рада биће приказан у јединицама °C/100m

Meteorological Monitoring Guidance for Regulatory Modeling Applications (US EPA guidance). The USEPA guidance specifies that: 'Ambient temperature should be measured at 2m, consistent with the World Meteorological Organization (WMO) standards for ambient measurements. Probe placement for temperature difference measurements depend on the application...the temperature difference should be measured between $20z_0$ and $100z_0$... for temperature difference measurements for use in estimating the Pasquill–Gifford stability category using the solar radiation delta-T method.'

Подаци: мерна места, мерни уређаји и методе

PM10

База података сатних вредности концентрација ПМ10 и сатних вредности температура на мерним метеоролошким мерним станицама за период од 1. октобра 2022 до 31.марта 2023. године.

Сатне вредности концентрације ПМ10 преузимају се са сајта <http://www.amskv.sepa.gov.rs/pregledpodataka.php?stanica=33>

Назив станице Аутоматска мерна станица Ужице

Град Ужице

Почетак рада 2015-07-02

Припада мрежи SEPA

EOI Code RS1052A

Класификација traffic

Zona urban

Latitude 43.854255

Longitude 19.843181

Latitude DMS 19° 50' 35" E

Longitude DMS 43° 51' 15" N

Надморска висина 407m

Уређај: PM₁₀, PM_{2.5}: GRIMM EDM 180 Aerosol Spectrometer метода еквивалентна са EN

24h дневне концентрације ПМ10 33J3 Ужице

Назив станице Библиотека Ужице

Град Ужице

Почетак рада 2018-01-16

Припада мрежи Локални мониторинг града Ужица

Класификација urban background

Zona urban

Latitude DMS 19° 50' 27.98"E:

Longitude DMS 43° 51' 27.29"N

Надморска висина **407m**

Уређај: PM₁₀, DERENDA PNS 18T DM-3.1 са инлетом за ПМ10, Sven Leckel MV6 са инлетом за ПМ10

Мрежа метеоролошких станица

База података о сатним вредностима температура

Температуре у градској котлини

Аутоматска мерна станица Ужице: симултано са сатним концентрацијама ПМ10, ПМ2.5, сумпордиоксидом, азотним оксидима и угљен моноксидом мере се и метеоролошки параметри: температура, влажност, атмосферски притисак, брзина и правац ветра.

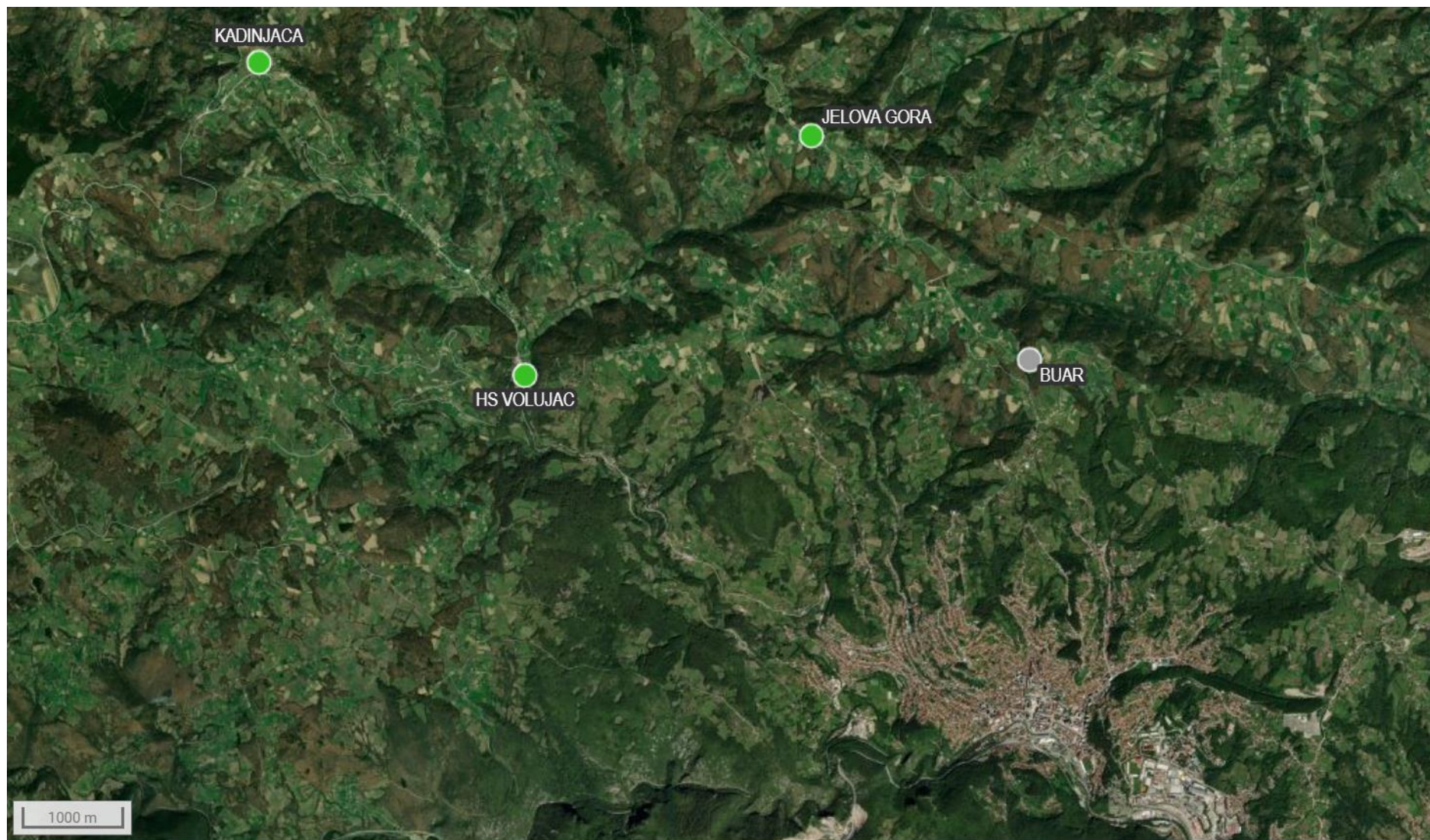
Метеоролошка станица из система МЕТЕОS, на месту Дечји вртић Полетарац, на надморској висини 428m географске дужине 43:51:30 N и ширине 19:50:54 E. С ове станице су коришћени сатни подаци о температурама и падавинама.

Метеоролошке станице на северном масиву у систему СЕА АЕГИS: (кориштени подаци о сатним вредностима температуре.

Аутоматска метеоролошка станица Буар у дворишту радарског центра на надморској висини 824m, географске дужине 43:53:13 N и ширине 19:50:22 E. Мере се падвине, температура, влажност, притисак, брзина и смер ветра на постављен на 10m изнад земље.

Аутоматска климатолошка станица Кадињача, 796m, географске дужине 43:54:47 N и ширине 19:44:43 E. Мере се падвине, температура, влажност, притисак, брзина и смер ветра на постављен на 2m изнад земље.

Аутоматска падавинска станица Јелова гора, 874m, географске дужине 43:54:24 N и ширине 19:48:46 E. Мере се падвине, температура, влажност.?



Евалуација укупног температурног градијента

Температурни градијент (ИС) представља разлику у температурама измереним на узвишењу и котлини измереним у истом сату, подељеним са разликом у надморској висини $(\Delta T/\Delta z)_i$. Укупни температурни представља аритметичку средину 6 могућих комбинација температурних градијената.

$(\Delta T/\Delta z)_1$: Између Кадињаче и АМСКВ: АК

$(\Delta T/\Delta z)_2$: Између Кадињаче и Царине: АС

$(\Delta T/\Delta z)_3$: Између Буара и АМСКВ: АВ

$(\Delta T/\Delta z)_4$: Између Буара и Царине: СВ

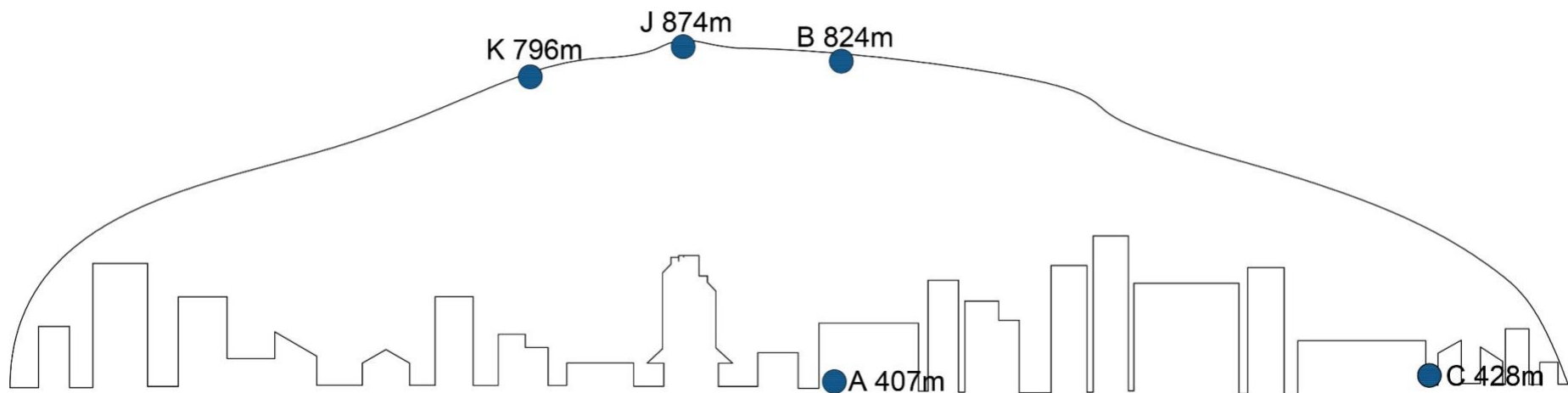
$(\Delta T/\Delta z)_5$: Између Јелова гора и АМСКВ: АЈ

$(\Delta T/\Delta z)_6$: Између Јелове горе и Царине: СЈ

Укупни температурни градијент у датом сату:

$$\frac{\Delta T}{\Delta z}(t) = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 \left(\frac{\Delta T}{\Delta z} \right)_i(t)$$

У сатима кад нису били доступни подаци са појединих мерних места укупни температурни градијент израчунаван је из преосталих података.



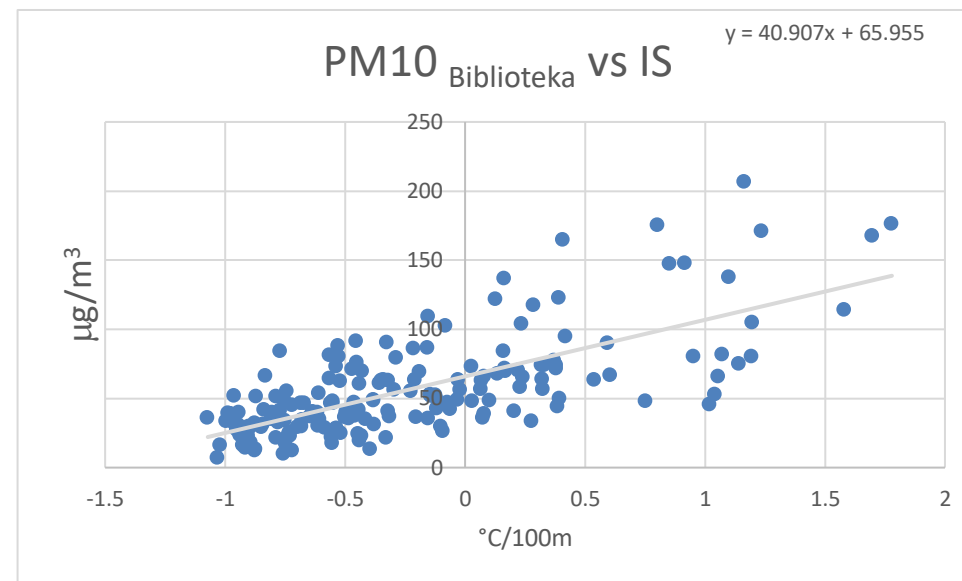
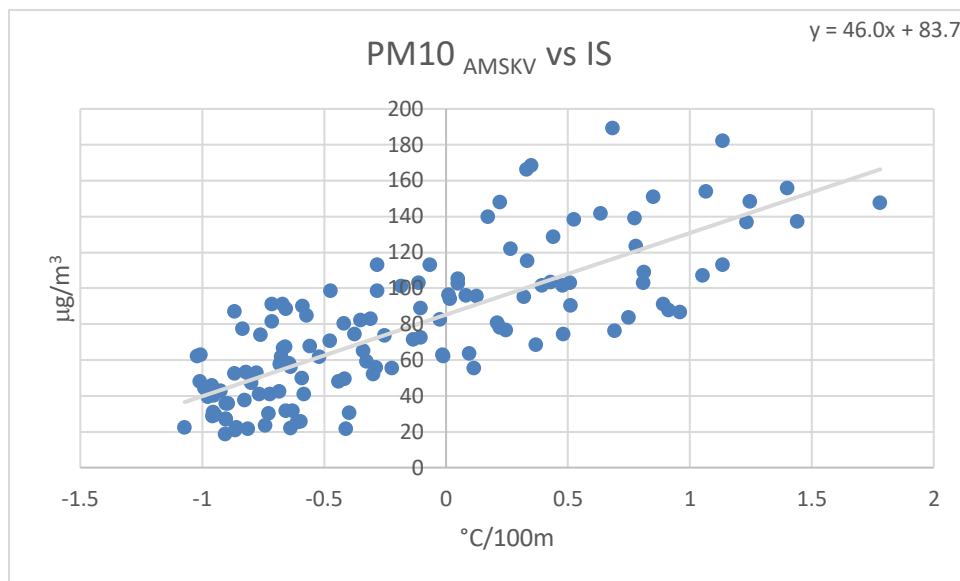
Слика 2: Схема мерних места: Високе: К-Кадињаџа, Ј-Јелова гора, В-Буар, и ниске: А- АМСКВ (температура и ПМ10) и С- Царина

Корелација између 24 h концентрације ПМ10 и просечне дневне вредности ИС

Прво и основно питање је да ли између измерене концентрације ПМ10 и јачине инверзије постоји статистички значајна веза. Подаци добијени из прости регресионе анализе дају следеће одговоре:

Анализа и коментари

Корелација ИС и ПМ10 АМСКВ



Постоји статистички значајна веза између ПМ10 и ИС, За податке ПМ10 са станице АМСКВ:коэффициент корелације $r = 0.76$ и ПМ10. $R^2 = 58.7\%$ варијације ПМ10 објашњава се овим моделом, за ПМ10 са Библиотеке $r = 0.71$ и $R^2 = 51.1\%$. Ради се о јакој позитивној корелацији(3).

Ипак, у наставкуј анализе држаћемо се података ПМ10 са Библиотеке јер су подаци са АМСКВ неверификовани и сумњиви на велики број искакања што ће се коначно утврдити кад се објави актуелни Годишњи извештај Агенције за заштиту животне средине.

Преглед статистичких података концентрације ПМ10 честица са мерног места Библиотека за период октобар 2022-март таб 2023 дат је у табели 8А170

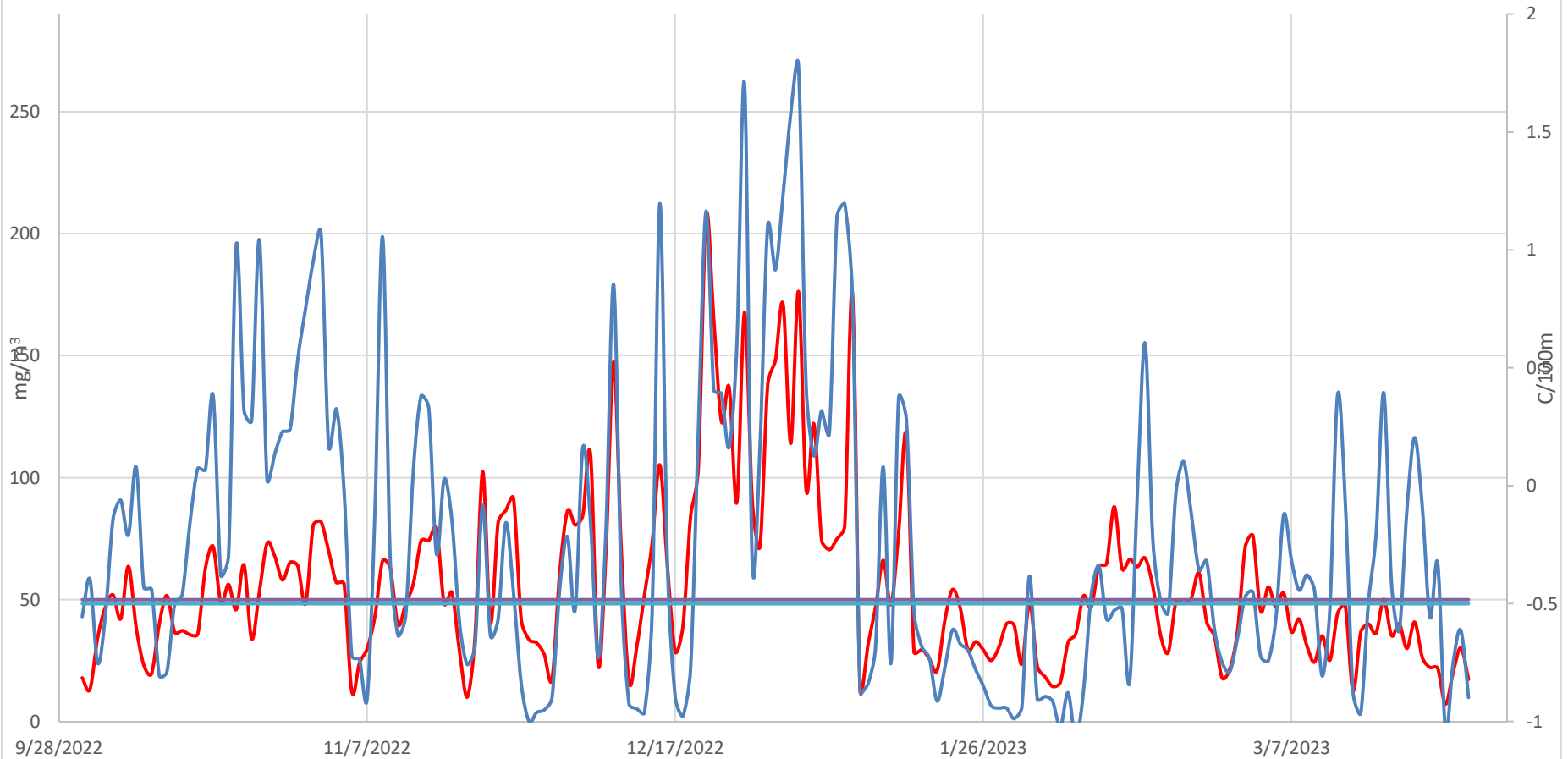
табели 8A170

месец	октобар*	новембар	децембар	јануар	фебруар	март
просечни PM10	48	53	92	61	44	37
max	80	102	207	176	88	76
min	13	10	16	13	14	7
> 50	14	15	25	13	11	4

У октобру су употребљени резултати чађи са мерног места Пијац, јер су резултати за ПМ10 суспендовани.

Корелација концентрација ПМ10 честица и јачине инверзије ИС ($\Delta T/\Delta z$) дан приказан је на дијаграму на временској оси где се јасно види да се линије ова два параметра прате .

Корелација ПМ10_{Библиотека} са ИС



pm10 RM GVI IS rm Is krit

Детекција и анализа епизода перзистентних инверзија

Критеријум за одређивање перзистентних инверзија и епизода загађења

Критеријум (С1) који детектује епизоде загађења : $PM_{10_{24h}} > 50 \mu g/m^3$ за више од 72 узастопна сата

Вредност $PM_{10_{24h}}$ је покретни просек: средња вредност у последња 24 сата

Критеријум (С2) детектује перзистентне инверзије: $\langle \Delta T / \Delta z \rangle_{24h} < \langle \Delta T / \Delta z \rangle_{зима}$ за више од 72 узастопна сата

. У примеру наведеном у раду у ком се анализирају подаци из Гренобла, зима 2006-2007, примена критеријума (С1) је детектовала десет епизода загађења, а критеријум (С2) 9 епизода перзистентних инверзија. Свих девет перзистентних инверзија одговарају епизодама загађења, док је једна у марту приписана епизоди која је узрокована синоптичким утицајима на континенталној скали и нема везе с локалном инверзијом.

Критеријум (С2) перзистентне инверзије: $\langle \Delta T / \Delta z \rangle_{24h} > -0.5 \text{ } ^\circ\text{C}/100\text{m}$ (2) за 3 и више дана на 24h просеке (7:00-7:00) како би били синхронизовани са резултатима PM_{10} Библиотека дају резултате приказане у следећој табели

Tab 8vA55: Перзистентне инверзије у трајању од 3 и више дана

l_i	Почетак l_i	Завршетак l_i	трајање	$\langle \Delta T / \Delta z \rangle$ епизода	PM_{10} епизода	МАХ PM_{10} епизода	Дани са $PM_{10} > 50 \mu g/m^3$
l_1	06/10/2022	11/10/2022	6	-0.200077858	37.9	64	1
l_2	15/10/2022	05/11/2022	22	0.287149348	56.5	82	15
l_3	09/11/2022	11/11/2022	3	0.206353207	56.2	66	2
l_4	14/11/2022	19/11/2022	6	0.061996861	59.6	79	4
l_5	09/12/2022	11/12/2022	3	-0.081286167	77.9	147	2
l_6	21/12/2022	10/01/2023	21	0.729864358	119.3	207	20

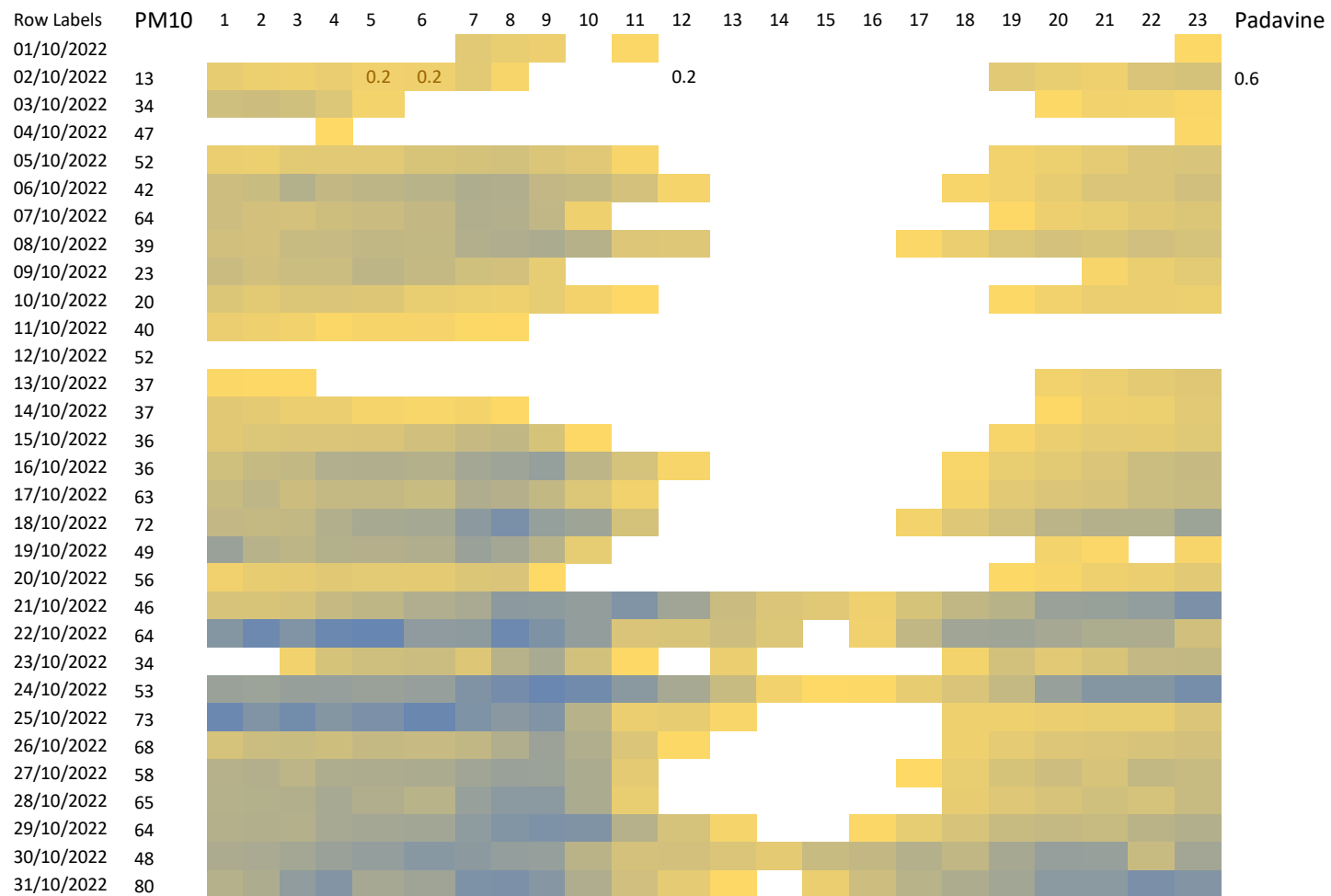
I ₇	16/02/2023	19/02/2023	4	-0.033798841	46.66	67	2
I ₈	21/02/2023	25/02/2023	5	-0.144845072	47.2	61	2
I ₉	07/03/2023	11/03/2023	5	-0.340259262	33.9	42	0
I ₁₀	18/03/2023	21/03/2023	4	-0.180622003	40.5	50	0
I ₁₁	23/03/2023	25/03/2023	3	0.003531939	29.8	41	0

У овој анализи дат је преглед синоптичке ситуације из Месечних билтена за Србију ,РХМЗ-а. Такође, праћење промена сатних вредности ИС ($\Delta T/\Delta z$)_h даће се увид и у диурнални ток инверзија. Ово је графички илустровано у табелама за сваки месец у којим су приказане дневне концентрације ПМ10, количине падавина са илустрацијама сатних

ИС ($\Delta T/\Delta z$)_h > -0.5 °C/100m приказаних у нијансираним бојама где светла одговара нижим, а тамно плава високим (позитивним) вредностима ИС ($\Delta T/\Delta z$)_h. Беле ћелије представљају сате у којим нема инверзија ИС ($\Delta T/\Delta z$)_h < -0.5 °C/100m. На овим табелама је лако уочљив дневни и месечни ритам инверзија. Може се уочити да промена дневних концентрација ПМ10 честица прати ток инверзија. Бројчане сатне вредности падавина у mm уписане су у одговарајућим ћелијама. Празне ћелије представљају сате без падавина. У последњој колони дате су дневне количине падавина. Такође, треба уочити да се периоди перзистентних инверзија и периоди падавина углавном не подударaju.

Октобар има два периода инверзије 6 дана у првој декади и од половине месеца до његовог краја у трајању од 22 дана.

У октобру су доминирале ноћне инверзије $\Delta T/\Delta z$ (h) > -0.5°C/100m, које су почињале сваког дана у сумрак у (18:00 до 20:00 сати) и трајале до сутрадан у подне. Инверзија је нестајала ($\Delta T/\Delta z$ (h) < -0.5°C/100m) у од 9:00 до 12:00, да би се истог дана у сумрак поново формирала. Серија 18 часовних инверзија који су, јављајући се сваки узастопни дан, резултирали перзистентном инверзијом ($\Delta T/\Delta z$) епизода; -0.2°C/100m у току 6 узастопних дана (I₁) и ($\Delta T/\Delta z$) епизода; 0.29°C/100m у току 22 дана (I₂). Инверзија (I₂) најдужа је перзистентна инверзија закључно с мартот 2023. Она се такође састојала од серије 18 часовних периода стабилности са вишечасовним прекидима у току дана. Средња месечна температура у октобру је 12.8°C, 2 дана са падавинама укупне 0.6 mm, Иако је цео месец био сушан са свакодневним инверзијама, сунчева енергија је током дана успевала „разбити“ инверзију, тако да су концентрације ПМ10 честица остајале у категорији до 80 µg/m³.



1.5.2023 Bulk running mean kartica 7.

У прегледу синоптичке ситуације за месец октобар стоји:

пад температуре и у нижим пределима било местимично снега уз формирање мањег снежног покривача. Затим, до краја месеца регенерација циклona у западном Средоземљу, потом и у Тиренском и Егејском мору, уз присуство хладне ваздушне масе; хладније време, местимично са снегом, понегде и суснежицом и формирање, односно повећање висине снега, највише у планинским пределима.“

У фебруару две епизоде од 4 и 5 дана у другој половини месеца. Ток $\Delta T/\Delta z$ (h) враћа се на октобарски патерн који се оджава сваког узастопног дана са „пукотином“ у средњем сунчаном делу дана. Максимална концентрација ПМ10 честица је $67 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

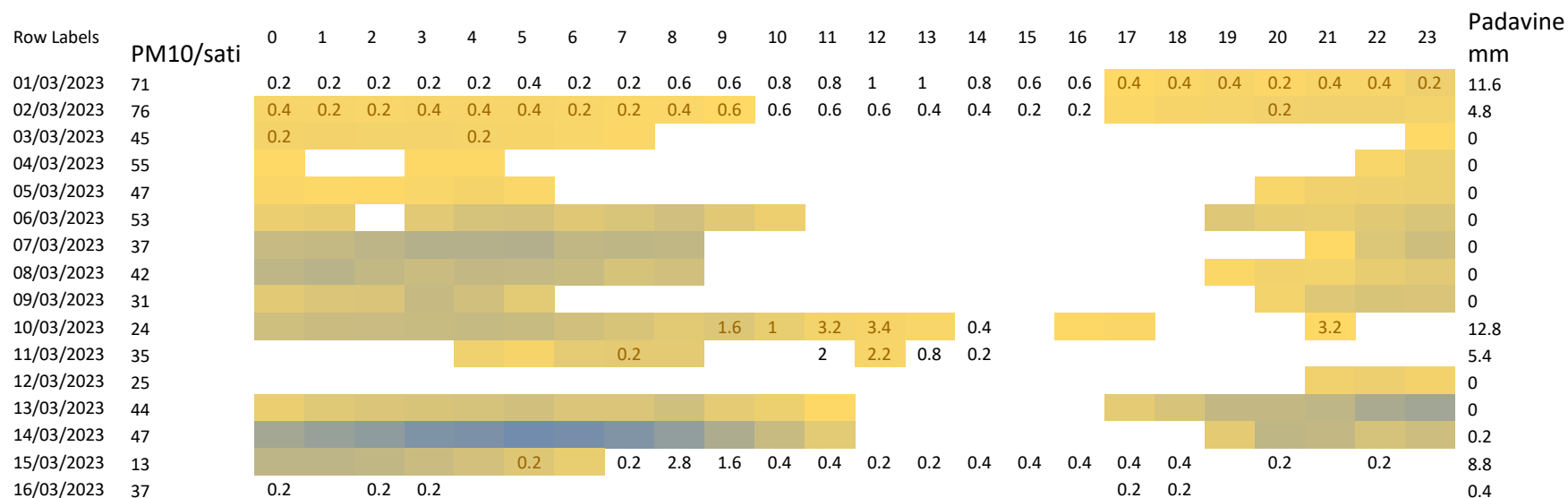
Row Labels	PM10	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	padavine
01/02/2023	49																									0
02/02/2023	23																					0.4	0.8	0.6	1	3.2
03/02/2023	18	0.2				0.2																0.4	1.6	0.8		7.2
04/02/2023	14	0.2	1	1.6	0.8		0.2	0.6	1	0.8	0.6	0.4	1.4		0.2											4.4
05/02/2023	16											0.2														0.2
06/02/2023	32												0.4			0.2										0.6
07/02/2023	36																									0
08/02/2023	52													0.2												0.2
09/02/2023	47															0.2										0.2
10/02/2023	64													0.2												0.2
11/02/2023	65																									0
12/02/2023	88										0.2	0.2														0.4
13/02/2023	63																									0
14/02/2023	67																									0
15/02/2023	64																									0
16/02/2023	67																									0
17/02/2023	55																									0
18/02/2023	36																									0
19/02/2023	28																									0.2
20/02/2023	49	0.2																								0
21/02/2023	48																									0
22/02/2023	51																									0
23/02/2023	61																						0.2			0.2
24/02/2023	41																									0
25/02/2023	35																1.2	1								2.8
26/02/2023	18			0.2	0.2	0.2					0.2			1.2	1.4	0.4	0.2	0.4	0.4		0.2	0.2		0.2		5.4
27/02/2023	22	0.2			0.2			0.2		0.2	0.4	0.4	0.6	0.8	0.8	0.8	0.6	0.4	0.2	0.2		0.2		0.2		6
28/02/2023	37				0.2					0.2	0.2	0.4	0.8	0.8	1.2	1	1	1	0.8	0.6	0.4	0.4	0.4	0.2	0.4	9.8

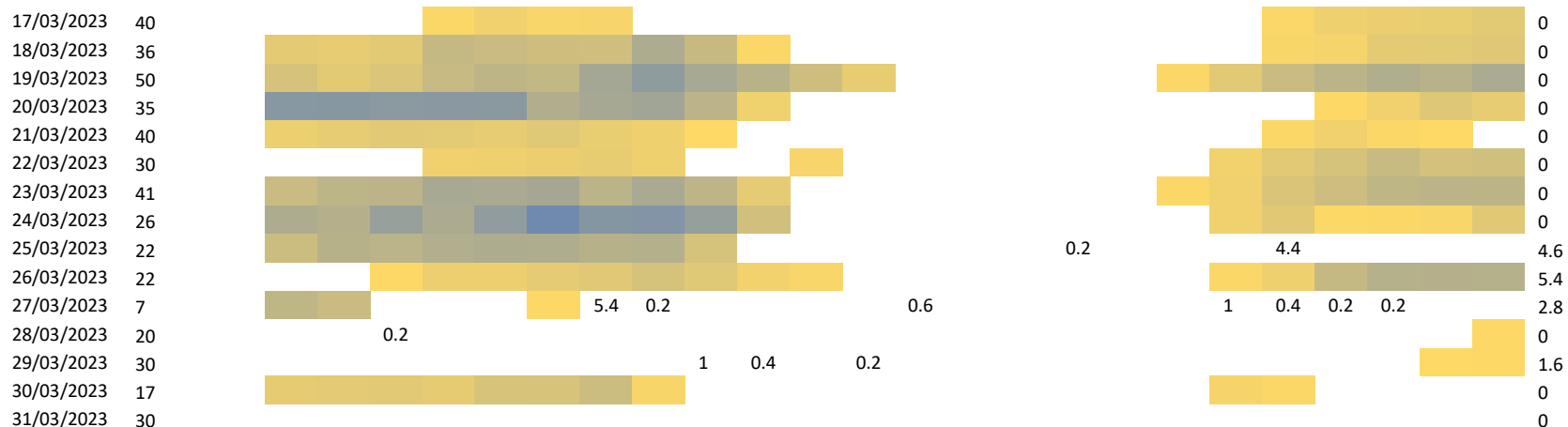
Средња месечна температура у фебруару је 3.2°C, 15 дана са падавинама укупно 42.8 mm.

Преглед за месец фебруар:

Почетком месеца одржавало се хладно и променљиво време, местимично са кишом, на планинама са снегом, а услед продора серије таласа хладног и влажног ваздуха у јакој северозападној висинској струји, а у склопу циклона из Северног мора. Затим, од средине прве декаде, доминација поља високог ваздушног притиска, суво и топло време за период године. Почетком друге декаде до средине треће декаде присуство и одржавање гребена, високих вредности геопотенцијала и топле ваздушне масе узроковало је веома топло време са краткотрајним продорима хладног ваздуха. ада континента. Осетна промена времена уследила је средином треће декаде. Наиме, изражен циклон и таласи хладног ваздуха са севера и северозапада уз развој и премештање циклона и таласа влажног ваздуха из западног Средозеља и Јадранског мора преко Балкана ка Црном мору условили су наоблачење најпре са кишом и снегом на планинама, а затим са снегом и у нижим, највише у северним, западним и централним областима.“

Током марта детектоване су три епизоде од 5,4 и 3 дана. Диурнални ток $\Delta T/\Delta z$ (h) показује дуге вечерње и ноћне инверзије са карактеристичном дневним разбијањем инверзија.





Средња месечна температура у марту је 7.8°C, 11 дана са падавинама укупно 58.2 mm. Максимална концентрација ПМ10 честица је 76 µg/m³.

Преглед за месец март:

„У првој половини месеца релативно топло, променљиво облачно, местимично с кишом. Наиме, активности циклона у западном и централном Средоземљу и њихова премештања ка истоку одржавали су реалативно топло, али променљиво време, местимично с кишом, понегде и пљусковима са грмљавином. Крајем друге декаде стабилизација временских прилика суво, а средином треће декаде и веоматопло време. Утицај поља високог ваздушног притиска и топле и веома топле ваздушне масе. Затим, средином треће декаде, изражени циклон са северозапада и серија хладних атмосферских фронтова, значајно захлађење местимично с кишом, на планинама са снегом уз умерен до јак северозападни ветар. Након тога, на крају месеца, услед наставака развоја јаких циклона на источном Атлантику, преко централних и јужних области континента успостављање гребена и у пољу температуре и нашој земљи осетно топлије уз променљиво и претежно суво време.“

Утицај перзистентних инверзија на концентрације ПМ10 честица

Подаци из табеле 8A170 указују на проблем загађења ПМ10 честицама. Грејна сезона обухвата зимски период у две календарске године, а граничне вредности за полутанте се односе на календарску годину. Једно је сигурно, број дана са прекорачењима дневне вредности ПМ10 у октобру, новембру и децембру износи 54, што је изнад дозвољених 35 за годину дана. У прва три месеца 2023 бележи се 28 дана и мало је вероватно да лимит од 35 дана неће бити прекорачен у зимском периоду 2023.

месец	октобар*	новембар	децембар	јануар	фебруар	март
просечни ПМ10	48	53	92	61	44	37
Max ПМ10	80	102	207	176	88	76
Број дана са ПМ10 > 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	14	15	25	13	11	4

Укупно, у току грејне сезоне забележена су 82 дана са прекораченом дневном граничном вредношћу. Колико се од тих дана догодило у периодима инверзије? 55 прекорачења у периодима перзистентних инверзија у односу на 25 у данима без инверзија. У следећој табели приказана је расподела догађања дана у зависности од концентрација ПМ10 (таб 8A128). Свих шест дана са концентрацијама ПМ10 изнад 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ догодило у периоду перзистентних инверзија. У категорији од 50 до 150 број или вероватноћа појављивања је 2.2 пута већа у периодима перзистентних инверзија него оним без инверзија.

таб 8A128 Расподела концентрација ПМ10 по категоријама и трајању инверзије

ПМ10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ трајање инверзије	инверзије			Перзистентне инверзије: 3 и више дана
	0: без инверзије	инверзије 1 дан	инверзије 2 дана	
<50	53	5	6	35
50<75	16	0	1	30
75<100	6	0	1	10

100<150	3	0	0	9
150<200	0	0	0	5
>200	0	0	0	1

Од 18 измерених вредности ПМ10 већих од 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 15 се догодило у периодима перзистентних инверзија. Гледајући податке предатављене у табели 8Н 55 уочава се следеће: све вредности веће од 110 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ измерене су у условима инверзије. Температурна инверзија је метеоролошки „механизам“ који не ствара загађење већ га повећава, као нека врста бустера који производи „јакно загађен“ ваздух. У смислу индекса квалитета то је ваздух са концентрацијом ПМ10 изнад 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Таб. 8Н 55

Редни број	датум	ИС	pm10 RM	инверзија	Редни број дана у епизоди перзистентне инверзије
1	21/12/2022	0.235794	207	I ₆	1
2	02/01/2023	1.579479	176	I ₆	13
3	09/01/2023	1.19457	176	I ₆	20
4	31/12/2022	0.915648	171	I ₆	11
5	26/12/2022	0.594044	168	I ₆	6
6	22/12/2022	1.163524	165	I ₆	2
7	30/12/2022	1.099117	148	I ₆	10
8	09/12/2022	-0.18949	147	I ₅	1
9	29/12/2022	0.166445	138	I ₆	9
10	24/12/2022	0.392498	137	I ₆	4
11	23/12/2022	0.406503	123	I ₆	3
12	04/01/2023	0.418417	122	I ₆	15

13	16/01/2023	0.371852	117	I<3 дана	1
14	01/01/2023	1.234578	114	I ₆	12
15	06/12/2022	0.160759	110	I<3 дана	1
16	15/12/2022	-0.53562	105	без инверзије	0
17	20/12/2022	-0.77054	104	без инверзије	0
18	22/11/2022	-0.68007	102	без инверзије	0

У данима без инверзије ПМ10 има просечну вредност 44.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, а у инверзијама 65.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Како је укупна средња вредност у посматраном периоду 56.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, то се може рећи да су инверзије допринеле повећању средње вредности за 26.8%

Резиме

У стручним анализама које обрађују проблем аерозагађења у Ужицу, температурне инверзије се препознају као један од узрока проблема аерозагађења. Међутим, овај феномен се објашњава начелно и са теоретске стране јер не постоје конкретни подаци. Мерења вертикалног профила атмосфере којим се може идентификовати инверзија скупа су и недоступна. У литературу ипак постоје радови који примењују приручне методе, које мере температуре на 2м изнад површине на различитим надморским висинама. Ово је у Ужицу постало могуће кад је успостављена мрежа аутоматских метеоролошких станица у самом граду и околини из потребе за праћењем ризика од поплава. Будући да је терен брдовит ове станице се налазе на различитим надморским висинама и то је омогућило мерење температурних разлика на вертикалној оси чиме се у основи могу детектовати температурне инверзије. У раду је обрађен период грејне сезоне октобар 2022-март 2023 према поступку датом у: Yann Langeron, Chantal Staquet: Persistent inversion dynamics and wintertime PM10 air pollution in Alpine valleys, Atmospheric Environment Volume 135, June 2016, Pages 92-108, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231016302254>. (1)

У посматраном периоду детектовано је 11 епизода перзистентних иверзија у трајању од 3 до 22 дана. У посматраном периоду ПМ10 честице имале су просечну вредност вредност 56.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ и 82 дана са прекорачењем дневне граничне вредности. Успостављена је корелација са концентрацијама ПМ10 честица са коефицијентом корелације $r=0.71$ што говори о јакој позитивној корелацији којом се објашњава $R^2=51.1\%$ укупне варијабилности. На илустративан начин ,у табелама за

појединачан месец приказан је дневни ток коефицијента јачине инверзије ИС у односу на дневне концентрације ПМ10 честица и количине падавина. Констатовано је да се перзистентне инверзије развијају од друге половине новембра, закључно са првом половином јануара. Периоди перманентних вишедневних инверзија смењују се са периодима без инверзија праћених падавинама. Све вредности ПМ10 веће од $110 \mu\text{g}/\text{m}^3$ измерене су у перзистентним инверзијама. Нешто другачије правилности уочавају се у октобру, фебруару и марту где се јављају свакодневне инверзије од вечерњих до јутарњих сати, које се у дневном периоду прекидају те се концентрација ПМ10 честица одржава испод $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Средња вредност ПМ10 честица у периоду без инверзије је $44.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, а у инверзијама $65.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$. У читавом периоду издваја се епизода I₆, перзистентна инверзија која је трајала 21 дан од 21 децембра до 10 јануара у којој је забележена максимална вредност ПМ10 и још 11 од укупно 18 дневних концентрација већих од $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Овај случај захтева свакако додатну анализу која би била усмерена на могућности најаве ове и оваквих инверзија. Надаље, оваква епизода изискује спровођење ванредних краткорочних мера за смањење емисије које би могле бити правовремено предузете у случају најаве. Како су метеоролошки феномени стохастички, резултати из следеће грејне сезоне могу бити другачији. Зато би праћење температурних инверзија, а поготово њихово предвиђање и најави били од велике користи.

Литература:

1. Yann Largeron, Chantal Staquet: Persistent inversion dynamics and wintertime PM₁₀ air pollution in Alpine valleys, *Atmospheric Environment* Volume 135, June 2016, Pages 92-108, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231016302254>.
2. NSW EPA Validation of inversion strength estimation method, discussion paper, www.epa.nsw.gov.au,
3. Ratner, B. The correlation coefficient: Its values range between +1/-1, or do they?. *J Target Meas Anal Mark* **17**, 139-142 (2009). <https://doi.org/10.1057/jt.2009.5>
4. Републички хидрометеоролошки завод Србије: Месечни билтен за Србију: октобар 2022, новембар 2022, децембар 2022, јануар 2023, фебруар 2023 и март 2023.