

АНАЛИЗА САДРЖАЈА АРСЕНА(As) У ЧЕСТИЦАМА ПМ₁₀ НА ЛОКАЦИЈАМА У БЛИЗИНИ РТБ БОР У ПЕРИОДУ ОД 2016. – 2021.

Сања Стојановић¹ Смиљана Марковић² Светлана Ристић³ Славиша Стаменковић⁴ Кристина Филиповић⁵

Резиме: У овом раду приказан је преглед стања квалитета ваздуха на основу мерења концентрације тешког метала арсена (As) у ПМ₁₀ честицама агломерата у урбаној и руралној околини Рударско топионичарског базена Бора (РТБ Бор). Мерења су била извршена у периоду од 2016. до 2020. године. Упоредном анализом је утврђено да је током испитиваног периода на свих осам локација концентрација As била неприхватљиво висока и изнад законом прописаних вредности. На мерном месту Југопетрол, измерена вредност арсена (As) у току 2019. године била је већа 91,7 пута у односу на максимално дозвољену концентрацију. На три мерна места током свих година је било константно загађење, а самим тим и последице по здравље становништва биле су веће.

Кључне речи: загађење животне средине, тешки метали, арсен, ПМ честице, ризик

ANALYSIS OF ARSENIC (As) CONTENT IN PM₁₀ PARTICLES AT LOCATIONS NEAR RTB BOR FROM 2016. TO 2021.

Abstract: This study presents an overview of air quality status measured in the urban and rural environment near RTB Bor, based on the measured concentrations of arsenic (As), a harmful heavy metal, in PM₁₀ agglomerate particles. The measurements had been performed in the period between 2016. and 2021. Through a comparative analysis, we determined that the As concentration had been significantly higher than the legal limits in all (eight) studied locations. At the Jugopetrol measurement site, the measured value of As during 2019. was 91.7 times higher than the legally allowed concentration. Three measurement sites reveal continuous pollution throughout the study period, thereby suggesting a significant danger to public health.

Keywords: Environmental Pollution, Heavy metals, Arsenic, Particulate matter (PM), Risk

1. УВОД

Атмосфера представља заштитни омотач Земље. Састоји се од елемената неопходних за одржавање живота. Међутим, повећавањем индустријализације и урбанизације у атмосфери се могу наћи и други елементи који су последице антропогених активности и представљају полутанте, односно загађиваче. Међу њима се налазе и тешки метали. Тешки метали су широко распрострањени у животnoj средини, пре свега у атмосфери, али су саставни део и Земљине коре. Тешки метали се у атмосфери налазе у облику аеросола и адсорбовани су за активну површину, односно за ПМ честице. Детекција тешких метала је могућа преко ПМ честица, које су саставни део загађења атмосфере. У већини случајева ПМ честице су продукт антропогених активности, међутим, некада могу потицати и од природних феномена. Задржавање ПМ честица у атмосфери зависи пре свега од њихове величине, која се креће од 2,5 микрона до крупнијих фракција које су видљиве голим оком. Изложеност утицају тешких метала може довести до веома тешких последица по људско здравље. Па је смањење концентрација тешких метала у животnoj средини један од императива који је постављен пред модерно људско друштво. У оквиру овог рада је извршена упоредна анализа резултата концентрација арсена (As) добијених током редовних мерења у периоду од 2016. до 2021. Анализа резултата мерења може дати смернице на основу којих се може извршити смањење загађења животне средине.

¹ Асс., Факултет примењених наука у Нишу, Универзитет „Унион – Никола Тесла”, sanja.stojanovic@fpm.rs

² Ванр.проф., Факултет техничких наука у Приштини, smiljana.markovic@pr.ac.rs:

³ Ванр.проф., Факултет примењених наука у Нишу, Универзитет „Унион – Никола Тесла”, svetlana.ristic@fpm.rs

⁴ Ред.проф., Природно математички факултет у Нишу, Универзитет у Нишу, sslavisa@pmf.ni.ac.rs

⁵ Асс., Факултет примењених наука у Нишу, Универзитет „Унион – Никола Тесла”, kristina.filipovic@fpm.rs

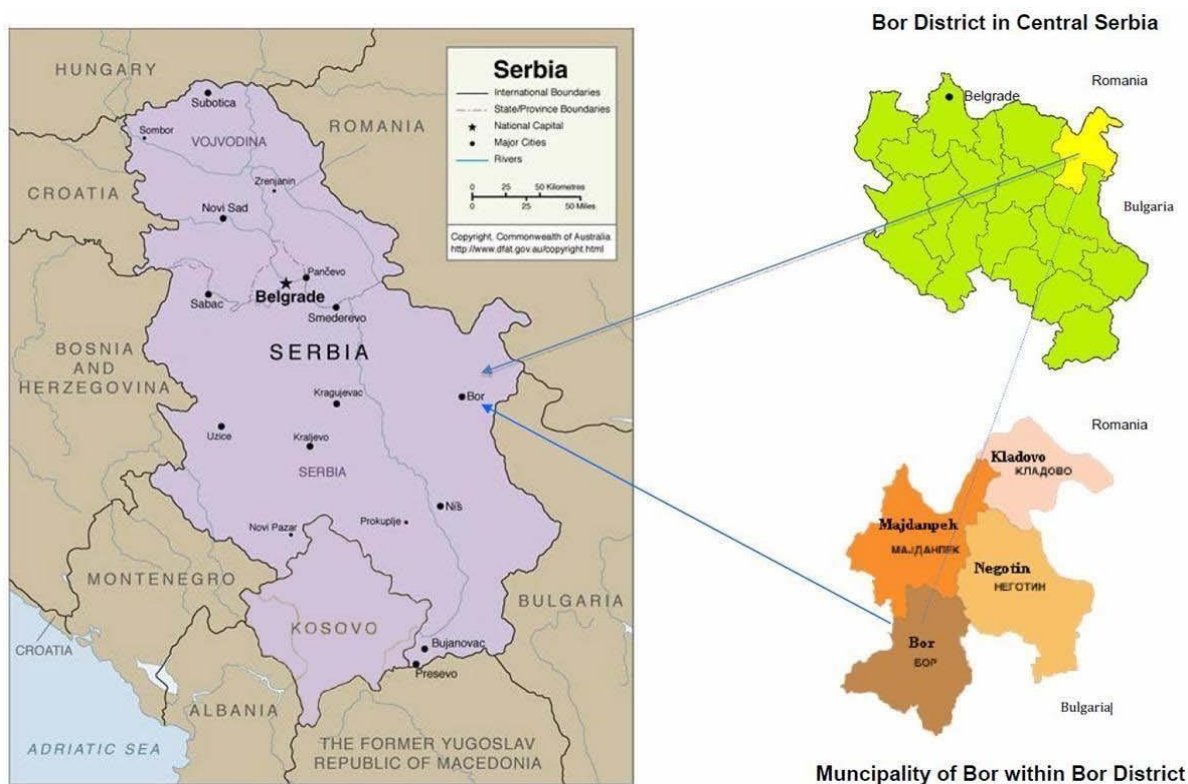
КОНФЕРЕНЦИЈЕ СА МЕЂУНАРОДНИМ УЧЕШЋЕМ

38. Конференција одржавалаца Србије и 1. Конференције напредне технологије у функцији развоја привреде, Врњачка Бања, 01.06. – 03.06. 2022. године

С обзиром да овај проблем спада у један од највећих изазова модерног цивилизацијског друштва, мора му се посветити велика пажња. Индустријализација и убрзана урбанизација поред великих бенефита које су донеле човечанству, остављају и одређене последице на животну средину, човеково здравље и живи свет у целини. Анализом резултата многобројних истраживања може се закључити да је загађење атмосферског ваздуха најзаступљеније. У оним деловима где је велико атмосферско загађење, последице по људско здравље и живи свет су далеко веће.

2. ОСНОВНЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ АГЛОМЕРАЦИЈЕ БОР

Град Бор са околином има око 50 хиљада становника. Налази се на надморској висини од 360 m. Као што је приказано на Слици 1, Бор се граничи са општином Бољевац на југу, општином Мајданпек на северу, са градом Зајечар на истоку, на западу са општинама Жагубица и Деспотовац и на североистоку са општином Неготин. Целокупна територија агломерације Бор износи 856 km². До 2018. године, на основу доступних података се сматрало да под загађеном територијом спада 298 km², односно једна трећина територије. Међутим, задњих пар година, невладин сектор је предлагач и заговорник да се целокупна територија града Бора прогласи загађеним подручјем [1].



Слика 1. Регионални, национални и међународни положај агломерације Бор [1]

КОНФЕРЕНЦИЈЕ СА МЕЂУНАРОДНИМ УЧЕШЋЕМ

38. Конференција одржавалаца Србије и 1. Конференција напредне технологије у функцији развоја привреде, Врњачка Бања, 01.06. – 03.06. 2022. године

3. ТЕШКИ МЕТАЛИ

Према једној од класификација, под тешким металима се подразумевају метали који имају већу густину од 5 g/cm^3 . Тешки метали се могу наћи у свим сегментима животне средине. У многим рудним налазиштима тешки метали су у великом проценту заступљени као саставни део у оквиру лежишта руда. Услед антропогених активности које се врше ради добијања и издвајања одређених елемената из руда, долази до повећања концентрације тешких метала [2].

Сходно томе, дешава се да је концентрација тешких метала у земљиштима око рудника већа од почетних концентрација у самим лежиштима руда. Повећање концентрације тешких метала у земљишту даље имплицира и повећање њихове концентрације у атмосфери. С тим у вези загађење атмосфере и утицај на животну средину је већи. Тешки метали су саставни део земљишта око рудних налазишта или настају услед активности ископавања и добијања руда, а према биолошкој активности коју имају у организму, се могу поделити на есенцијалне и неесенцијалне. У групу есенцијалних метала спадају Cu, Fe, Zn, Mn, Mo, Ni, Co и они су неопходни за нормалан раст и развој живог света, пре свега биљака, [3].

У групу неесенцијалних метала спадају Pb, Cd, Hg, As. Услед утицаја различитих фактора, пре свега утицаја временских прилика у околини рудних налазишта долази до убрзавања одређених реакција. Реакције растварање - таложење, адсорпција - десорпција, оксидација - редукација се брже одвијају, што доводи до повећања концентрација тешких метала у краћем временском периоду. Према наводима различитих истраживања спроведених на ову тему, може се закључити да се тешки метали из антропогених извора у земљишту и атмосфери налазе у приступачнијим формама у односу на њихово природно порекло [3], [9].

3.1. Арсен

Арсен (As) је један од неесенцијалних тешких метала, у атмосфери се налази у органској и неорганској форми. Арсен се добија као нус производ при топљењу руде бакра, кобалта и цинка. Сходно томе рударска индустрија се сматра једним од најважнијих извора арсена, али не и јединим јер се арсен добија и у процесима који се одвијају у металној индустрији, индустрији производње нафте, електронске опреме ... Овај тешки метал се у врло малим количинама налази у елементарном стању. Чешће се може пронаћи у неорганским једињењима, у формама As_3^+ или As_5^+ , с тим што је форма As_3^+ далеко токсичнија [4]. Према Уредби РС, број 30/2018 и 64/2019, граничне максимално дозвољене концентрације арсена у земљишту су 29 mg/kg , међутим, арсен се одликује великом испарљивошћу, што доводи до тога да се велики део геохемијских циклуса арсена одвија у атмосфери у гасној фази и при нижим температурама сагоревања ($1200 - 1600^\circ\text{C}$). Сходно томе, долази до повећања концентрације арсена и у ваздуху. Арсен се у атмосфери може наћи у финим фракцијама, пречника до $2,5 \mu\text{m}$ и као такве ове фракције се врло лако могу преносити на велике удаљености и продирати у респираторни систем [5], [8].

При сталној изложености арсену, може доћи до акутног и хроничног тровања. Највећи здравствени проблеми који се јављају услед хроничног тровања су неуролошке природе (несаница, депресија, вртоглавице, умор, параноичне мисли, нарушена способност расуђивања). Врло често се јављају и последице везане за кардиоваскуларни систем или респираторни систем у виду карцинома плућа [6]. Услед излагања људског организма неорганском арсену ствара се узрочно последична веза јер долази до појаве тешких обољења. Према наводима међународне организације за истраживања у области канцера (IARC) арсен и његова једињења су сврстана у прву групу канцерогених супстанци [8].

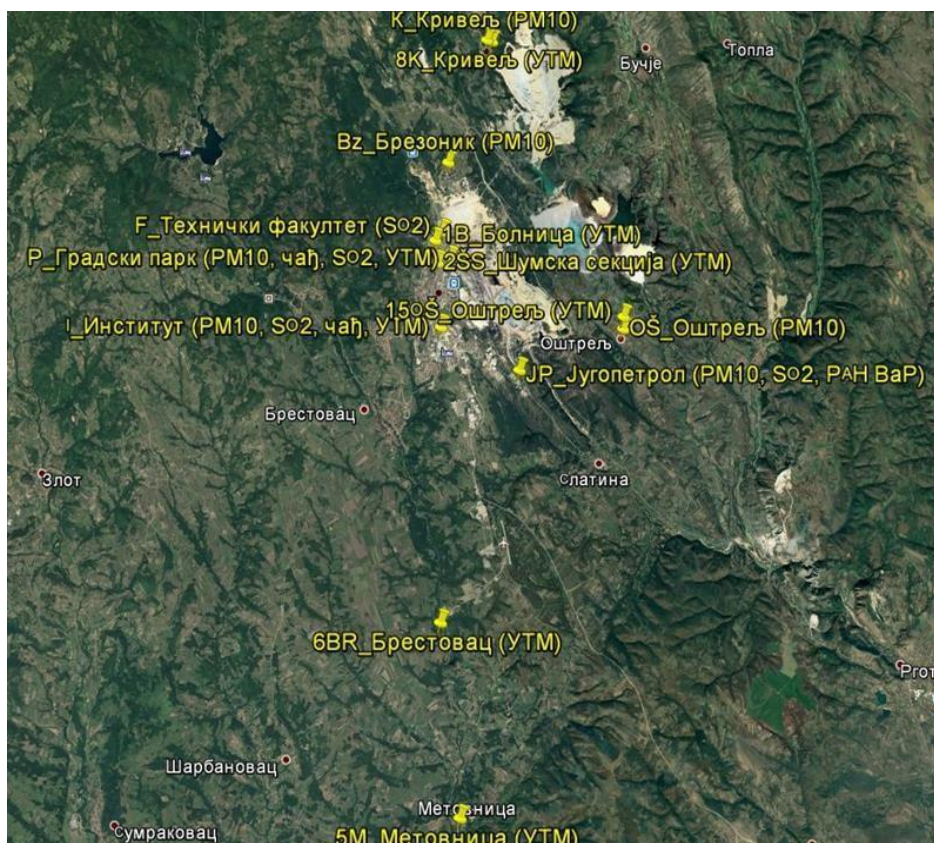
3.2. Просечне концентрације арсена у честицама PM_{10} у периоду 2016. до 2021. у околини РТБ Бор

У оквиру Уредбе о условима за мониторинг и захтевима квалитета ваздуха („Сл. гласник РС”, бр. 11/2010, 75/2010 И 63/2013) максимално дозвољене концентрације су дате у ng/m^3 и за арсен у току једне календарске године износе 6 ng/m^3 [11].

КОНФЕРЕНЦИЈЕ СА МЕЂУНАРОДНИМ УЧЕШЋЕМ

38. Конференција одржавалаца Србије и 1. Конференције напредне технологије у функцији развоја привреде, Врњачка Бања, 01.06. – 03.06. 2022. године

У извештају „Квалитет ваздуха и документи јавне политике града Бора” који је настао у току пројекта „Јавна политика и пракса у заштити ваздуха” спроведеног у периоду од 2016. до 2020. године вршена су мерења на одређеним локацијама у Бору и околини. На основу наведених географских координата датих у Табели 1 и сателитског снимка терена (Слика 2), види се да су подједнако заступљене локације мерних места у урбаној и руралној зони. Услед повећања активности при ископавању руда, а самим тим и повећања рударског отпада, дошло је до подизања рударских одлагалишта и промене морфологије терена. С тим у вези промениле су се руже ветрова и дошло је до појаве **тишине** (периода без ветра). То је резултирало повећањем загађења у самом граду Бору, али и у околним руралним зонама [12].



Слика 2 - Сателитски приказ локација мерних места за мониторинг квалитета ваздуха на територији града Бора [1]

У оквиру мониторинга квалитета ваздуха у Бору, врше се свакодневна мерења у току једне календарске године на наведеним локацијама датим у Табели 1.

КОНФЕРЕНЦИЈЕ СА МЕЂУНАРОДНИМ УЧЕШЋЕМ

38. Конференција одржавалаца Србије и 1. Конференција напредне технологије у функцији развоја привреде, Врњачка Бања, 01.06. – 03.06. 2022. године

Табела 1. Локације мерних места за мониторинг квалитета ваздуха на територији града Бора

Локација	Географске координате	Тип локације
Бор – Парк СЕПА	44°04'33.61''N 22°05'58.22''E	У/И
Бор – Институт СЕПА	44°03'35.72''N 22°06'05.16''E	У/И
Бор – Брезоник СЕПА	44°05'52.96''N 22°05'30.25''E	У/И
Бор – Кривељ ZiJin	44°08'16''N 22°05'35''E	Р/И
Бор – Слатина ZiJin	44°02'24''N 22°09'46''E	Р/И
Бор - Оштрељ	44°04'30.36''N 22°09'56.66''E	Р/И
Бор – Технички факултет	44°04'54.30''N 22°05'42.00''E	У/И
Бор - Југопетрол	44°03'15.36''N 22°07'46.43''E	Р/И

Легенда: У/И Урбана / индустријска; Р/И Рурална / индустријска

На основу добијених података израђују се извештаји који садрже детаљне информације о концентрацијама тешких метала у ваздуху и нивоу загађења одређеним елементима. Сходно томе, добијени резултати су анализирани, те се дошло до података о просечним концентрацијама арсена у ПМ₁₀ честицама које су саставни део загађења ваздуха у Бору и околини.

У Табели 2 су приказани резултати мерења средњих годишњих концентрација арсена (As) у ПМ₁₀ честицама, добијени у оквиру мониторинга квалитета ваздуха у агломерацији Бор [10], [11].

Табела 2 - Резултати мерења средњих годишњих концентрација арсена (As) у ПМ₁₀ честицама изражених у $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Година	As ТП	As ИН	As ЈП	As ТФ	As СЛ	As КР	As БР	As ОШ
2016.	70,3	49,9	157,4	67,3	92,6	/	/	/
2017.	106,3	119,5	276,4	187,6	147,4	/	/	/
2018.	116,0	369,2	376,9	95,6	220,1	/	/	/
2019.	115,8	31,3	550,0	/	/	11,1	/	/
2020.	65,6	574,7	341,3	/	/	8,3	83,5	51,9
2021.	74,9	40,6	122,7	/	/	7,1	51,8	17,7
ЛВ	6	6	6	6	6	6	6	6

Легенда: ТП – Градски парк; ИН – Институт; ЈП – Југопетрол; ТФ – Технички факултет; КР – Кривељ; БР – Брезоник; ОШ – Оштрељ; СЛ – Слатина;

На Слици 3 су графички приказани подаци о средњим годишњим концентрацијама арсена у ПМ₁₀ честицама у Бору у периоду од 2016. до 2021.

КОНФЕРЕНЦИЈЕ СА МЕЂУНАРОДНИМ УЧЕШЋЕМ

38. Конференција одржавалаца Србије и 1. Конференције напредне технологије у функцији развоја привреде, Врњачка Бања, 01.06. – 03.06. 2022. године



Слика 3 - Графички приказ средњих годишњих концентрација арсена (As) у ng/m^3 за период од 2016. до 2021.

Уредбом о условима за мониторинг и захтевима квалитета ваздуха („Сл. гласник РС”, бр. 11/2010, 75/2010 и 63/2013) одређене су максимално дозвољене концентрације за арсен у току једне календарске године које износе 6 ng/m^3 . Из приложеног графика на Слици 3 се може видети да су концентрације арсена на појединим мерним местима вишеструко увећане (мерно место Институт и Југопетрол), где је мерење вршено стандардном методом за одређивање кадмијума, олова, арсена и никла у фракцијама ПМ₁₀ честица (ICP MS) према стандарду SRPS EN 14902:2008. Из приложених података се може закључити да је у периоду мониторинга од 2016. до 2021. На мерним местима Институт и Југопетрол, постојала тенденција повећања концентрације арсена (As), сем у 2021. години када је дошло до смањења концентрације у односу на почетне вредности из 2016.

4. ЗАКЉУЧАК

На основу података добијених у току мониторинга квалитета ваздуха, који је извршила Лабораторија за хемијска испитивања, Института за рударство и металургију Бор, презентованих у оквиру Извештаја о квалитету амбијенталног ваздуха у Бору за период од 2016. до 2021. може се закључити да је у односу на максимално дозвољену годишњу вредност арсена (6 ng/m^3), прекорачење евидентно на свим мерним местима. Узевши у обзир добијене вредности долази се до закључка да је на мерном месту у оквиру локације Југопетрол, измерена вредност арсена (As) у току 2019. године била већа чак 91,7 пута. Свеукупно посматрајући петогодишњи период од 2016. до 2021. закључак је да и поред уведених нових технологија, почев од 2015. године, у процес прераде и добијања руде бакра, није дошло до смањења загађења, већ се оно чак и повећало. Разлог повећања концентрација загађујућих материја, посебно арсена (As) у ваздуху је, пре свега прерада руде бакра са већим садржајем арсена (As) [12]. Грађанима Бора и околиних места највећа опасност прети од два загађивача из ваздуха, од којих је арсен (As) један од њих и који је према ЕПА 204 класификацији означен као канцерогена материја. Сходно томе, повећањем концентрација загађујућих материја, долази до повећања ризика по здравље становника. Наша препорука је увођење чистије производње због превенције, смањења ефекта загађења и побољшања квалитета ваздуха и здравља становништва.

5. ЛИТЕРАТУРА

- [1] <https://bor.rs/wp-content/uploads/2021/07/KAP.pdf>, мај 2022.
- [2] Познатовић Спахић, М.; Сакан, С.; Цветковић, Ж.; Танчић, П.; Трифковић, Ј.; Никић, З.; Манојловић, Д.: Assessment of contamination, environmental risk, and origin of heavy metals in soils surrounding industrial facilities in Vojvodina, Springer international publishing ag, part of springer nature, Serbia, 2018., received: 24 october 2017 /accepted: 27 february 2018.

КОНФЕРЕНЦИЈЕ СА МЕЂУНАРОДНИМ УЧЕШЋЕМ

38. Конференција одржавалаца Србије и 1. Конференција напредне технологије у функцији развоја привреде, Врњачка Бања, 01.06. – 03.06. 2022. године

- [3] Вукмировић, З.: Тешки метали у ваздуху, Тешки метали у животној средини, Научни институт за ратарство и повртарство, Нови Сад, 1997. стр 1-48.
- [4] Шкрбић, Б.; Ђуришић, Ц.; Младеновић, Н.: Distribution of heavy elements in urban and rural surface soils: the Novi Sad city and the surrounding settlements, Environmental Monitoring and Assessment, Serbia, 2013., стр. 457-471.
- [5] Yan, R.; Gauthier, D.; Flamant, G.: Partitioning of trace elements in the flue gas from coal combustion, Combustion and Flame 125, 2001. стр. 1660-1661
- [6] Smith, E.; Naidu, R.; Alston, A. M.: Arsenic in the soil environment: a review Advances Agronomy 64, 1998., стр. 149-195
- [7] Ковачевић, Р. М.: Садржај и састав респирабилних честица у урбаној средини града Бора, Докторска дисертација, Универзитет у Београду, Београд, 2016.
- [8] IARC (International Agency for Research on Cancer), Arsenic and Arsenic Compounds, In: IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Overall Evaluations of Carcinogenicity, An Updating of IARC Monographs 1-42, Suppl. 7, International Agency for Research On Cancer, Lyon, France, 1987. стр. 100-206.
- [9] Alloway, B. J., Ayres, D. C.: Chemical Principles of Environmental Pollution, second ed. Blackie Academic and Professional, London, 1997.
- [10] Пројекат „Јавна политика и пракса у заштити ваздуха” извештај „Квалитет ваздуха и документи јавне политике града Бора”, Бор 2020.
- [11] Уредба о условима за мониторинг и захтевима квалитета ваздуха („Сл. гласник РС, бр. 11/2010, 75/2010 И 63/2013)
- [12] Годишњи извештај за 2021, (Извештај о испитивању број 49347-21), Испитивање квалитета амбијенталног ваздуха у Бору, Бор 2022.