



UNIVERSITY OF NIŠ
FACULTY OF SCIENCES AND MATHEMATICS
DEPARTMENT OF CHEMISTRY



Тамара Ј. Лакетић

**ХЕМИЈСКИ И МИКРОБИОЛОШКИ
ПРОФИЛ ВОДА ИЗ АРТЕШКИХ БУНАРА
НА ТЕРИТОРИЈИ СЕМБЕРИЈЕ:
АНАЛИЗА ФАКТОРА КОЈИ УТИЧУ НА
МОБИЛНОСТ ХЕМИЈСКИХ
ЗАГАЂИВАЧА**

ДОКТОРСКА ДИСЕРТАЦИЈА

Текст ове докторске дисертације ставља се на увид јавности,
у складу са чланом 30., став 8. Закона о високом образовању
("Сл. гласник РС", бр. 76/2005, 100/2007 – аутентично тумачење, 97/2008,
44/2010, 93/2012, 89/2013 и 99/2014)

НАПОМЕНА О АУТОРСКИМ ПРАВИМА:

Овај текст сматра се рукописом и само се саопштава јавности (члан 7. Закона о ауторским и сродним правима, "Сл. гласник РС", бр. 104/2009, 99/2011 и 119/2012).

Ниједан део ове докторске дисертације не сме се користити ни у какве сврхе, осим за упознавање са њеним садржајем пре одбране дисертације.

Niš, 2017.



UNIVERSITY OF NIŠ
FACULTY OF SCIENCES AND MATHEMATICS
DEPARTMENT OF CHEMISTRY



Tamara J. Laketić

**CHEMICAL AND MICROBIOLOGICAL
PROFILE OF WATER FROM ARTESIAN
WELLS IN THE REGION OF SEMBERIJA:
ANALYSIS OF FACTORS THAT AFFECT
THE MOBILITY OF CHEMICAL
CONTAMINANTS**

PhD thesis

Niš, 2017.

Mentor:

dr Aleksandra Pavlović, vanredni profesor

Univerzitet u Nišu, Prirodno-matematički fakultet

Članovi komisije:

dr Snežana Mitić, redovni profesor

Univerzitet u Nišu, Prirodno-matematički fakultet

dr Biljana Kaličanin, redovni profesor


Univerzitet u Nišu, Medicinski fakultet

dr Snežana Tošić, vanredni profesor

Univerzitet u Nišu, Prirodno-matematički fakultet

dr Tatjana Mihajilov-Krstev, vanredni profesor

Univerzitet u Nišu, Prirodno-matematički fakultet

| | |
|---|--|
|  | ПРИРОДНО - МАТЕМАТИЧКИ ФАКУЛТЕТ НИШ |
| | КЉУЧНА ДОКУМЕНТАЦИЈСКА ИНФОРМАЦИЈА |

| | |
|--|--|
| Редни број, РБР : | |
| Идентификациони број, ИБР : | |
| Тип документације, ТД : | монографска |
| Тип записа, ТЗ : | текстуални / графички |
| Врста рада, ВР : | докторска дисертација |
| Аутор, АУ : | Тамара Ј. Лакетић |
| Ментор, МН : | Александра Н. Павловић |
| Наслов рада, НР : | Хемијски и микробиолошки профил вода из артешких бунара на територији Семберије: анализа фактора који утичу на мобилност хемијских загађивача |
| Језик публикације, ЈП : | српски |
| Језик извода, ЈИ : | енглески |
| Земља публиковања, ЗП : | Србија |
| Уже географско подручје, УГП : | Србија |
| Година, ГО : | 2017. |
| Издавач, ИЗ : | ауторски репринт |
| Место и адреса, МА : | Ниш, Вишеградска 33. |
| Физички опис рада, ФО : | 8 поглавља / 341 страна / 247 цитата / 77 табела / 106 слика |
| Научна област, НО : | Хемија |
| Научна дисциплина, НД : | Аналитичка хемија |
| Предметна одредница/Кључне речи, ПО : | артешки бунари, Семберија, анализа <i>in situ</i> параметара, анализа метала и анјона, микробиолошка анализа, мултиваријантна статистичка анализа |
| УДК | 556.114 : (528.112.23 + 543.31)(497.6) 579.68 : (528.112.23 + 543.31)(497.6) |
| Чува се, ЧУ : | библиотека |
| Важна напомена, ВН : | Већи део експерименталног рада урађен је у лабораторији Института за воде у Бијељини |



**ПРИРОДНО - МАТЕМАТИЧКИ ФАКУЛТЕТ
НИШ**

КЉУЧНА ДОКУМЕНТАЦИЈСКА ИНФОРМАЦИЈА

Извод, ИЗ:

У оквиру ове тезе извршено је одређивање физичко-хемијских и микробиолошких параметара воде из артешких бунара на подручју Семберије. Такође је испитан утицај фактора који доводе до мобилности хемијских загађивача. Узорци воде узети су у периоду од фебруара 2011. године до јануара 2012. године, са фреквенцијом узорковања једном месечно. Испитивањем је обухваћено десет артешких бунара (АБ1-АБ10) који се простиру дуж реке Саве на северу Семберије. Електрична проводљивост, рН вредност и температура воде измерени су на лицу места. Ортофосфати, амонијачни, нитратни и нитритни азот одређени су спектрофотометријски, а хлориди и сулфати јонском хроматографијом. Садржај метала је одређен FAAS, EAAS и ICP-OES техником. Микробиолошки параметри су одређени техником преливања, техником мембранске филтрације и техником највероватнијег броја. Испитивања су показала да је вода из свих артешких бунара слабог алкалног карактера са високим садржајем соли. Концентрације амонијачног азота, ортофосфата, арсена и мангана прелазе максимално дозвољене концентрације. Вода из артешких бунара је микробиолошки исправна за пиће, осим на једном локалитету (АБ9). У води из артешког бунара АБ9 детектовано је присуство интестиналних (фекалних) стрептокока и сулфито-редукујућих кластридија чије вредности прелазе максимално дозвољене концентрације бактерија. Мултиваријантна анализа метала показала је да постоје три јасно одвојена кластера. У првом кластеру су узорци воде из артешких бунара АБ1, АБ2, АБ3, АБ4 и АБ5, у другом кластеру АБ6, АБ7 и АБ8, и у трећем кластеру АБ9 и АБ10. Испитивања су показала да су артешки бунари заштићени од антропогеног утицаја и да је повишен садржај амонијачног азота, ортофосфата, арсена и мангана последица геолошког састава земљишта.

Датум прихватања теме, ДП:

01.10.2013.

Датум одбране, ДО:

Чланови комисије, КО: Председник:

Члан:

Члан:

Члан:

Члан, ментор:



ПРИРОДНО - МАТЕМАТИЧКИ ФАКУЛТЕТ
НИШ

KEY WORDS DOCUMENTATION

| | |
|--------------------------------------|--|
| Accession number, ANO : | |
| Identification number, INO : | |
| Document type, DT : | monograph |
| Type of record, TR : | textual / graphic |
| Contents code, CC : | doctoral dissertation |
| Author, AU : | Tamara J. Laketić |
| Mentor, MN : | Aleksandra N. Pavlović |
| Title, TI : | Chemical and microbiological profile of water from artesian wells in the region of Semberija: Analysis of factors that affect the mobility of chemical contaminants |
| Language of text, LT : | Serbian |
| Language of abstract, LA : | English |
| Country of publication, CP : | Serbia |
| Locality of publication, LP : | Serbia |
| Publication year, PY : | 2017 |
| Publisher, PB : | author's reprint |
| Publication place, PP : | Niš, Višegradska 33. |
| Physical description, PD : | 8 chapters / 341 pages / 247 references / 77 tables / 106 pictures |
| Scientific field, SF : | Chemistry |
| Scientific discipline, SD : | Analytical chemistry |
| Subject/Key words, S/KW : | artesian wells, Semberija, analysis <i>in situ</i> parameters, analysis of metals and anions, microbiological analysis, multivariate statistical analysis |
| UC | 556.114 : (528.112.23 + 543.31)(497.6) 579.68 : (528.112.23 + 543.31)(497.6) |
| Holding data, HD : | library |
| Note, N : | Most of the experimental work was carried out in the laboratory of Institut for water in Bijeljina |



ПРИРОДНО - МАТЕМАТИЧКИ ФАКУЛТЕТ
НИШ

KEY WORDS DOCUMENTATION

Abstract, **AB**:

The aim of this PhD thesis was the determination of physico-chemical and microbiological parameters in water from artesian wells in the region of Semberija. The study also included analysis of factors which affect the mobility of chemical contaminants. Water samples were taken in the period between February 2011 and January 2012, with monthly sampling frequency. Artesian wells are located in the north Semberija along the Sava River. Electrical conductivity, pH value and temperature were determined *in situ*. Orthophosphates, ammonium, nitrate and nitrite nitrogen were determined spectrophotometrically, while chlorides and sulphates by ion chromatography. Metals were determined by EAAS, EAAS and ICP-OES techniques. Microbiological parameters were determined using the pour plate technique, the method of membrane filtration and the most probable number method. Obtained results have shown that the water from artesian wells has a weak alkaline character with a high salt content. The concentration of ammonia nitrogen, orthophosphate, arsenic and manganese exceed the exposure limits. Water from artesian wells is microbiologically safe, except at one site (AB9). The presence of intestinal (faecal) streptococci and sulfite-reducing clostridia, whose values exceed the exposure limits, was detected in water from artesian well AB9. Multivariate analysis of metals showed three clearly separated clusters. In the first cluster are artesian wells AB1, AB2, AB3, AB4 and AB5, in the second cluster are AB6, AB7 and AB8, and in the third cluster are AB9 and AB10. Obtained results have also shown that the artesian wells are protected from human influence, and that high levels of ammonia nitrogen, orthophosphate, arsenic and manganese are the result of the geological composition of the soil.

Accepted by the Scientific Board on, **ASB**: 01.10.2013.

Defended on, **DE**:

Defended Board, **DB**: President:

Member:

Member:

Member:

Member, Mentor:

Eksperimentalni deo ove doktorske disertacije rađen je u laboratoriji Instituta za vode u Bijeljini i Laboratoriji za instrumentalnu analitičku i fizičku hemiju Prirodno-matematičkog fakulteta Univerziteta u Nišu.

Najiskrenije se zahvaljujem mom mentoru prof. dr Aleksandri Pavlović na ukazanoj pomoći, strpljenju, vremenu, poverenju, prijateljstvu i brojnim savetima koji su bili od izuzetnog značaja tokom izrade doktorske teze.

Prof. dr. Snežani Mitić, prof. dr Biljani Kaličanin, prof. dr Snežani Tošić i prof. dr Tatjani Mihajilov-Krstev dugujem zahvalnost za veoma korisne sugestije i savete tokom izrade doktorske teze.

Zahvaljujem se dr Milenku Saviću koji je omogućio realizaciju ovog projekta u laboratoriji Instituta za vode.

Svojim kolegama Ireni Zarić i Predragu Mitrović takođe se zahvaljujem na savetima i sugestijama koje su mi pružili.

Ogromnu zahvalnost dugujem svojim roditeljima koji su mi bili podrška i oslonac u najtežim trenucima života i tokom izrade ovog rada.

Posebnu zahvalnost za ljubav, strpljenje i razumevanje za nepovratno vreme provedeno za računarom dugujem svom sinu i supruhu.

Подаци о докторској дисертацији

Ментор: др Александра Н. Павловић, Универзитет у Нишу, Природно-математички факултет у Нишу

Наслов: Хемијски и микробиолошки профил вода из артешких бунара на територији Семберије: анализа фактора који утичу на мобилност хемијских загађивача

Резиме: У оквиру ове тезе извршено је одређивање физичко-хемијских и микробиолошких параметара воде из артешких бунара на подручју Семберије. Такође је испитан утицај фактора који доводе до мобилности хемијских загађивача. Узорци воде узети су у периоду од фебруара 2011. године до јануара 2012. године, са фреквенцијом узорковања једном месечно. Испитивањем је обухваћено десет артешких бунара (АБ1-АБ10) који се простиру дуж реке Саве на северу Семберије. Електрична проводљивост, рН вредност и температура воде измерени су на лицу места. Ортофосфати, амонијачни, нитратни и нитритни азот одређени су спектрофотометријски, а хлориди и сулфати јонском хроматографијом. Садржај метала је одређен FAAS, EAAS и ICP-OES техником. Микробиолошки параметри су одређени техником преливања, техником мембранске филтрације и техником највероватнијег броја. Испитивања су показала да је вода из свих артешких бунара слабог алкалног карактера са високим садржајем соли. Концентрације амонијачног азота, ортофосфата, арсена и мангана прелазе максимално дозвољене концентрације. Вода из артешких бунара је микробиолошки исправна за пиће, осим на једном локалитету (АБ9). У води из артешког бунара АБ9 детектовано је присуство интестиналних (фекалних) стрептокока и сулфито-редукујућих кластридија чије вредности прелазе максимално дозвољене концентрације бактерија. Мултиваријантна анализа метала показала је да постоје три јасно одвојена кластера. У првом кластеру су узорци воде из артешких бунара АБ1, АБ2, АБ3, АБ4 и АБ5, у другом кластеру АБ6, АБ7 и АБ8, и у трећем кластеру АБ9 и АБ10. Испитивања су показала да су артешки бунари заштићени од антропогеног утицаја и да је повишен садржај амонијачног азота, ортофосфата, арсена и мангана последица геолошког састава земљишта.

Научна област: Хемија

Научна дисциплина: Аналитичка хемија

Кључне речи: артешки бунари, Семберија, анализа *in situ* параметара, анализа метала и ањона, микробиолошка анализа, анализа главних компонената (PCA), кластер анализа (CA)

УДК: 556.114 : (528.112.23 + 543.31)(497.6)
579.68 : (528.112.23 + 543.31)(497.6)

СЕРИФ
класификација: P 003 Хемија и P 300 Аналитичка хемија

Тип лиценце
Креативне
заједнице: CC BY-NC-ND

Data on Doctoral Dissertation

Doctoral Supervisor: PhD Aleksandra N. Pavlović, University of Niš, Faculty of Sciences and Mathematics

Title: Chemical and microbiological profile of water from artesian wells in the region of Semberija: Analysis of factors affecting the mobility of chemical contaminants

Abstract: The aim of this PhD thesis was the determination of physico-chemical and microbiological parameters in water from artesian wells in the region of Semberija. The study also included analysis of factors which affect the mobility of chemical contaminants. Water samples were taken in the period between February 2011 and January 2012, with monthly sampling frequency. Artesian wells are located in the north Semberija along the Sava River. Electrical conductivity, pH value and temperature were determined *in situ*. Orthophosphates, ammonium, nitrate and nitrite nitrogen were determined spectrophotometrically, while chlorides and sulphates by ion chromatography. Metals were determined by EAAS, EAAS and ICP-OES techniques. Microbiological parameters were determined using the pour plate technique, the method of membrane filtration and the most probable number method. Obtained results have shown that the water from artesian wells has a weak alkaline character with a high salt content. The concentration of ammonia nitrogen, orthophosphate, arsenic and manganese exceed the exposure limits. Water from artesian wells is microbiologically safe, except at one site (AB9). The presence of intestinal (faecal) streptococci and sulfite-reducing clostridia, whose values exceed the exposure limits, was detected in water from artesian well AB9. Multivariate analysis of metals showed three clearly separated clusters. In the first cluster are artesian wells AB1, AB2, AB3, AB4 and AB5, in the second cluster are AB6, AB7 and AB8, and in the third cluster are AB9 and AB10. Obtained results have also shown that the artesian wells are protected from human influence, and that high levels of ammonia nitrogen, orthophosphate, arsenic and manganese are the result of the geological composition of the soil.

Scientific Field: Chemistry

Scientific Discipline: Analytical chemistry

Key Words: artesian wells, Semberija, analysis *in situ* parameters, analysis of metals and anions, microbiological analysis, multivariate statistical analysis

UDC: 556.114 : (528.112.23 + 543.31)(497.6)
579.68 : (528.112.23 + 543.31)(497.6)

CERIF
Classification: P 003 Chemistry and P 300 Analytical chemistry

Creative
Commons
License Type: CC BY-NC-ND

SKRAĆENICE

AAS Atomska apsorpciona spektrofotometrija (*eng. Atomic Absorption Spectrophotometry*)

APHA-AWWA-WEF Američko udruženje za javno zdravlje, Američko udruženje vodovoda i Federacija za vodenu sredinu (*eng. American Public Health Association, American Water Works Association, and Water Environment Federation*)

BiH Bosna i Hercegovina

CFU broj formiranih kolonija (*eng. Colony Forming Units*)

EAAS Elektrotermalna atomska apsorpciona spektrofotometrija (*eng. Electrothermal Atomic Absorption Spectrophotometry*)

FAAS Plamena atomska apsorpciona spektrofotometrija (*eng. Flame Atomic Absorption Spectrophotometry*)

GVT PV grupa vodnih tela podzemnih voda

ICP-OES Indukovano kuplovana plazma – optička emisiona spektrometrija - (*eng. Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry*)

IPCS Međunarodni program hemijske bezbednosti (*eng. International Programme on Chemical Safety*)

IRAC Međunarodna agencija za istraživanje raka (*eng. International Agency for Research on Cancer*)

MDK maksimalno dozvoljena koncentracija

MCL obavezujući maksimalni kontaminacioni nivo (*eng. maximum contaminant level*)

MCLG neobavezujući maksimalni kontaminacioni nivo (*eng. maximum contaminant level goal*)

MPN tehnika najverovatnijeg broja (*eng. Most Probable Number Techniques*)

ODV Okvirna direktiva za vode

OECD Organizacija za ekonomsku saradnju i razvoj (*eng. The Organization for Economic Co-operation and Development*)

OGK osnovna geološka karta

RIVM Nacionalni institut za zdravlje i zaštitu životne sredine (*dutch Rijkinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiene, eng. National Institute for Health and Environmental Protection*)

U.S. EPA Američka agencija za zaštitu životne sredine (*eng.* **United States Environmental Protection Agency**)

U.S. NRC Američka nuklearna regulatorna komisija (*eng.* **United States Nuclear Regulatory Commission**)

WHO Svetska zdravstvena organizacija (*eng.* **World Health Organisation**)

SADRŽAJ

| | |
|---|----|
| UVOD | 18 |
| 1. TEORIJSKI DEO..... | 20 |
| 1.1. Voda..... | 20 |
| 1.2. Podzemna voda..... | 20 |
| 1.2.1. Akviferi i arteški bunari..... | 22 |
| 1.2.2. Hidrološki ciklus | 23 |
| 1.2.3. Izvor podzemnih voda | 24 |
| 1.2.4. Kretanja podzemnih voda..... | 25 |
| 1.3. Hidrogeološke karakteristike Semberije | 28 |
| 1.3.1. Grupa vodnih tela podzemnih voda "Semberija" | 30 |
| 1.3.2. Tačkasti i difuzni izvori zagađenja površinskih i podzemnih voda na teritoriji Republike Srpske u slivu Save | 33 |
| 1.3.3. Postojeća monitoring mreža | 38 |
| 1.4. Izvori zagađenja podzemnih voda | 44 |
| 1.5. Fizičko-hemijski parametri vode za piće | 45 |
| 1.5.1. Fizički parametri..... | 45 |
| 1.5.2. Hemijski parametri | 46 |
| 1.5.3. Poređenje vrednosti maksimalno dozvoljenih koncentracija fizičkih i hemijskih parametara u vodi za piće..... | 58 |
| 1.6. Mikrobiološki parametri | 61 |
| 1.6.1. Poređenje maksimalno dozvoljenih koncentracija mikrobioloških parametara | 67 |
| 1.7. Tehnike ispitivanja hemijskih parametara | 69 |
| 1.7.1. UV/Vis spektrofotometrija | 69 |
| 1.7.2. Atomska apsorpciona spektrometrija | 73 |
| 1.7.3. Indukovano kuplovana plazma – optička emisiona spektrometrija..... | 78 |
| 1.7.4. Jonska hromatografija | 82 |
| 1.8. Tehnike ispitivanja mikrobioloških parametara..... | 87 |

| | | |
|---------|--|-----|
| 1.8.1 | Određivanje brojnosti posle aplikacije uzorka U/ILI NA čvrstu podlogu..... | 87 |
| 1.8.2. | Tehnika procene najverovatnijeg broja bakterija (Most Propable Number) | 91 |
| 1.9. | Multivarijantne metode analize..... | 94 |
| 1.9.1. | Metoda glavnih komponenti (Principal Component Analysis, PCA) | 95 |
| 1.9.2 | Faktorska analiza - pojam i karakteristike..... | 96 |
| 2. | EKSPERIMENTALNI DEO | 101 |
| 2.1. | Pribor i aparati..... | 101 |
| 2.2 | Reagensi..... | 102 |
| 2.3. | Oblast ispitivanja | 105 |
| 2.4. | Uzorkovanje..... | 108 |
| 2.4.1. | Priprema uzoraka za određivanje hemijskih parametara..... | 109 |
| 2.5. | Metode određivanja fizičko-hemijskih parametara | 109 |
| 2.5.1. | pH vrednost | 109 |
| 2.5.2. | Električna provodljivost | 110 |
| 2.5.3. | Temperatura vode..... | 110 |
| 2.5.4 | Amonijum jon..... | 110 |
| 2.5.5. | Nitriti | 113 |
| 2.5.6. | Nitrati..... | 115 |
| 2.5.7. | Ortofosfati..... | 116 |
| 2.5.8. | Hloridi i sulfati | 118 |
| 2.5.9. | Natrijum i kalijum FAAS | 119 |
| 2.5.10. | Kalcijum i magnezijum | 121 |
| 2.5.11. | Gvožđe, mangan i cink | 122 |
| 2.5.12 | Antimon, arsen, kobalt, hrom, bakar, nikl, olovo, kadmijum i selen | 123 |
| 2.5.13. | Određivanje metala ICP-OES..... | 124 |
| 2.6. | Metode određivanja mikrobioloških parametara | 127 |

| | |
|---|-----|
| 2.6.1. Određivanje ukupnog broja aerobnih heterotrofa na (22 ± 2) °C u toku (68 ± 4) h i na (36 ± 2) °C u toku (44 ± 4) h | 127 |
| 2.6.2. Određivanje prisustva i brojnosti koliformnih bakterija, termotolerantnih bakterija i pretpostavka prisustva <i>Escherichiae coli</i> tehnikom najverovatnijeg broja | 128 |
| 2.6.3. Određivanje prisustva i brojnosti koliformnih bakterija i <i>Escherichiae coli</i> tehnikom membranske filtracije | 131 |
| 2.6.4. Detekcija i određivanje brojnosti intestinalnih (fekalnih) streptokoka tehnikom membranske filtracije | 133 |
| 2.6.5. Detekcija i određivanje brojnosti <i>Pseudomonas aeruginosa</i> tehnikom membranske filtracije..... | 134 |
| 2.6.6. Određivanje prisustva i brojnosti sulfito-redukujućih klostridija tehnikom membranske filtracije | 135 |
| 2.6.7. Određivanje prisustva/odsustva <i>Proteus</i> vrste iz kolimetrije..... | 136 |
| 3. REZULTATI I DISKUSIJA | 137 |
| 3.1 Određivanje in situ parametara – pH vrednost, električna provodljivost i temperatura vode | 137 |
| 3.2 Optimalni uslovi određivanja makroelemenata u vodi iz arteških bunara FAAS tehnikom | 151 |
| 3.3 Određivanje makroelemenata | 153 |
| 3.4 Optimalni uslovi određivanje mikroelemenata u vodi iz arteških bunara FAAS i EAAS tehnikom | 181 |
| 3.5 Određivanje mikroelemenata | 192 |
| 3.6 Određivanje anjona i amonijum jona | 257 |
| 3.7 Multivarijantna analiza metala u vodi iz arteških bunara | 289 |
| 3.8 Određivanje mikrobioloških parametara..... | 296 |
| 4. IZVOD | 303 |
| 5. SUMMARY | 308 |
| 6. LITERATURA | 313 |
| 7. BIOGRAFIJA | 337 |
| 8. BIBLIOGRAFIJA..... | 339 |

UVOD

Semberija je oblast na severoistoku Bosne i Hercegovine sa Bijeljnom kao centralnim gradom. Semberija obuhvata prostranu aluvijalnu ravan, između reka Save (na severu) i Drine (na istoku) i planine Majevice (na jugu). Ravan je blago nagnuta prema severoistoku i ne prelazi visinu od 110 m. Najniži delovi, u području ušća Drine u Savu nalaze se nešto ispod 80 m.

U ovoj oblasti stanovništvo se pretežno bavi zemljoradnjom i stočarstvom. Semberija je veoma bogata podzemnim vodama, sa velikim brojem arteških bunara. Veći deo stanovništva u seoskom području koristi ove arteške bunare kao glavni izvor vode za piće. Međutim, većina ovih bunara nije kontrolisana od strane ovlašćenih institucija, koje bi potvrdile njenu hemijsku i mikrobiološku ispravnost. Veliki problem koji decenijama postoji u ovim selima je sve veći porast bubrežnih bolesnika. Do sada ne postoje studije o uzročnicima ovog oboljenja, mada se sumnja da je jedan od uzročnika upravo voda iz arteških bunara koju stanovništvo koristi za piće.

Takođe, intenzivni proces industrijskog razvoja, pre svega karakteriše stalan porast potrošnje (odnosno korišćenja) vode koja se u skoro istoj meri vraća u vodotokove, u okolinu, ali kvalitativno potpuno promenjena. Ukupna proizvodnja industrijskih otpadnih voda u BiH je pre rata iznosila 24 m³/s. Najveće količine su nastajale u slivovima reke Bosne (18 m³/s), Vrbasa (2,6 m³/s), Drine (1,2 m³/s), Une (1,1 m³/s) i Save (< 1 m³/s).

Poljoprivredni i industrijski sektor predstavljaju velike zagađivače, ali sa druge strane i otpad iz domaćinstava u velikoj meri zagađuje vodene tokove i što je veoma nepovoljno, podzemnu vodu, koja se koristi za piće.

Sistematsko ispitivanje kvaliteta vode u BiH datira od 1965. godine i vršeno je na 58 lokacija, ali kompletan sistem za analizu i ispitivanje kvaliteta je bio uništen za vreme rata. Na teritoriji Semberije, u periodu od 2004. godine do 2007. godine, bio je sproveden monitoring podzemnih voda. U okviru ovog monitoringa izvršena je fizičko-hemijska i mikrobiološka analiza vode iz 21 piježometra. Danas, postavljanje novog monitoring sistema uglavnom zavisi od ljudskih i finansijskih resursa.

Do sada ne postoje podaci o istraživanjima koja su se bavila monitoringom arteških bunara u ovom regionu, koji bi ukazali na fizičko-hemijski i mikrobiološki kvalitet vode iz ovih bunara.

Voda je dragocen resurs i treba biti svestan kvaliteta podzemnih voda i koliko su dostupne za konzumiranje. Zato je cilj ovog rada bio određivanje fizičko-hemijskih i mikrobioloških karakteristika vode iz arteških bunara u Semberiji koju stanovništvo, naročito u ruralnim područjima, koristi za piće, kuvanje i pranje.

Dobijeni rezultati se mogu primeniti za procenu potencijala korišćenja vode iz arteških bunara u Semberiji u budućnosti.

1. TEORIJSKI DEO

1.1. Voda

Voda je osnovna komponenta života. Ona čini između 70% i 90% ukupne težine živih organizama i pokriva blizu 71% Zemljine površine. Ima je oko 1,4 biliona km³, od čega 97,5% pripada slanim vodama, dok tzv. "slatkim" vodama pogodnim za korišćenje, pripada svega 2,5% (36 miliona km³). Slatke vode čine: glečeri i lednjaci (68%), podzemne vode (30%) i površinske vode (reke, jezera, močvare, bare i atmosferska voda) (1,2%). Za svoje potrebe čovek može da koristi samo slatke površinske i podzemne vode koje se u prirodi nalaze na mestima dostupnim za eksploataciju. U svetu je poslednjih decenija došlo do porasta broja stanovnika, čime se smanjila količina raspoložive vode a samim tim je doveden u pitanje opstanak ljudske civilizacije. Najveća količina vode potroši se za navodnjavanje (oko 70%), zatim za industriju (oko 22%) i stanovništvo (oko %).

Podzemne vode čine preko 90% izvora sveže vode u svetu, dok je oko 50% populacije koristi kao primarni izvor vode za piće.

1.2. Podzemna voda

Podzemna voda je voda koja se nalazi ispod površine Zemlje u porama zemljišta i pukotinama stena. Od ukupne količine vode na Zemlji, podzemne vode čine svega 0,06%. Međutim, nije sva voda koja se nalazi ispod površine Zemlje "podzemna voda". Reč "podzemna voda" ima uži smisao i primenjuje se samo na vodu koja "zasićuje" zemlju, puneći sve dostupne prostore.

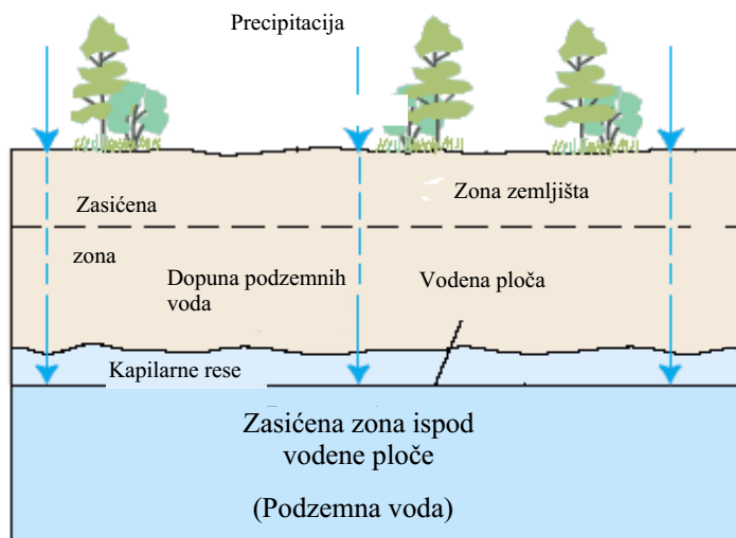
Voda koja se infiltrira ispod Zemljine površine, postoji u dve zone: nezasićenoj i zasićenoj zoni (slika 1.). Nezasićena zona, koja se još naziva i zona aeracije ili vadozna zona, nalazi se odmah ispod površine kopna i u njoj su sve praznine ispunjene vazduhom i vodom,

u različitim proporcijama, u zavisnosti od tipa zemljišta, klimatskih i sezonskih uslova. Iako značajna količina vode može biti prisutna u nezasićenoj zoni, ova voda se ne može pumpati iz bunara jer se održava snažnim kapilarnim silama. Nezasićena zona je veoma važna za hidrologiju podzemne vode. Ova zona se može podeliti na tri zone (AWWA, 2002):

1. Zona zemljišta – prostire se od površine Zemlje do maksimalne dubine od 1 m do 2 m. Dubina zavisi od tipa zemljišta i vegetacije. Ova zona sadrži rastinje biljaka i ispresecana je korenima i prazninama koje potiču od raspadanja ranijih vegetacija i izumrlih životinja. Poroznost i propustljivost materijala ovog sloja teži da bude veća od poroznosti i permeabilnosti tla ispod nje. Ova zona je najmanje zasićena vodom, osim privremeno kada postoji velika dopuna usled kiša ili navodnjavanja. Vodu iz zone zemljišta koriste biljke za svoje životne funkcije i transpiraciju, ali takođe može direktno isparavati u atmosferu i tako biti deo hidrološkog ciklusa.

2. Srednja zona – nalazi se ispod zone zemljišta i razlikuje se po dubini od mesta do mesta, u zavisnosti od debljine zone zemljišta i kapilarne rese. Ova zona je manje porozna od zone zemljišta.

3. Kapilarna zona – podzona između zasićene i nezasićene zone. Voda u kapilarnoj zoni i ona koja se nalazi u nezasićenoj zoni je pod negativnim hidrauličnim pritiskom, koji je manji od atmosferskog pritiska.



Slika 1. Zasićena i nezasićena zona podzemne vode

U zasićenoj zoni praznine su u potpunosti ispunjene vodom, zbog čega se ova zona i zove zasićena. Termin "podzemna voda" odnosi se upravo na vodu koja se nalazi u ovom sloju. Voda u zasićenoj zoni je voda koja se može ispumpati. Gornja površina zasićene zone naziva se vodena ploča, koja razdvaja zasićenu i nezasićenu zonu (*Pielou, 1998*). Vodena ploča je dubina na kojoj su pore zemljišta ili pukotine i šupljine u steni u potpunosti zasićene vodom. Hidraulički pritisak na vodeni nivo jednak je atmosferskom. Ispod vodenog nivoa, hidraulički pritisak raste sa dubinom (*AWWA, 2002*). Visina vodenog nivoa zavisiće od količine padavina i odnosa njihovog prodiranja. Vodeni nivo je visok u regionima sa jakim kišama ili u mestima blizu jezera i reka. Vodeni nivo koji varira sa vremenom naziva se privremeni vodeni nivo. On je ograničen nivoom ispod koga nikada ne pada i zove se stalni nivo.

1.2.1. Akviferi i arteški bunari

Akvifer je geološki sloj poroznog i propustljivog materijala, kao što su pesak, šljunak i krečnjak, kroz koji voda protiče i u koji se skladišti. Reč akvifer potiče od latinske reči *aqua*, što znači voda, i *ferre* što znači nositi. Akviferi veoma variraju u veličini i kapacitetu. Postoji "dobar" akvifer i "siromašan" akvifer. Kako će se neki akvifer posmatrati zavisi od toga koja je količina vode potrebna i da li ima drugih izvora. Stene ili sedimenti koji imaju specifičan doprinos od 15 % ili više i hidrauličku propustljivost od 10 m/dan mogu da formiraju dobar akvifer gde god da se nalaze (*Pielou, 1998*).

Da bi neki sloj funkcionisao kao akvifer, mora biti dovoljno veliki da skladišti korisnu zapreminu vode i da dopusti da se ta voda može izvaditi, preko bunara i bušotina, u prihvatljivom odnosu. Ovi zahtevi podrazumevaju, da ako bi se akvifer koristio u dužem vremenskom periodu, on mora stalno da se dopunjava (*Pielou, 1998*).

Zbog načina na koji su sedimenti i stene slojeviti, akviferi mogu biti ograničeni (zatvoreni) i neograničeni. Zatvoreni akviferi su prekriveni nepropusnim slojem koji ne dopušta da voda ističe van ovog sloja (npr. nepropustljiva glina). Neograničen akvifer je kompletno zasićen akvifer, u kome je pritisak vode obično veći od atmosferskog pritiska (*Pielou, 1998*). Ograničeni akviferi imaju dve prednosti u odnosu na neograničene. Oni imaju prirodnu zaštitu od kontaminacije, zato što se nalaze u sendviču između dva nepropusna sloja. Potrebni su vekovi da bi zagađenje migriralo kroz ovaj sloj. Druga prednost je ta što se

voda u ovom akviferu nalazi pod velikim pritiskom, zbog čega može dospeti do površine, suprotno sili gravitacije, za razliku od neograničenih akvifera iz kojih se voda može ispumpati samo pomoću pumpi.

Arteški bunari su ograničeni akviferi između nepropusnih stena ili gline, koji sadrže podzemnu vodu pod većim pritiskom u odnosu na atmosferski pritisak. Kao posledica toga nivo vode u akviferu raste do tačke kada se postiže hidrostatička ravnoteža. Voda može dopreći do površine Zemlje ako je pritisak dovoljno veliki. Arteški bunari su dobili ime po nazivu mesta, Artezija u Rimskoj Galiji, sadašnjoj pokrajini Artoa koja se nalazi na severu Francuske.

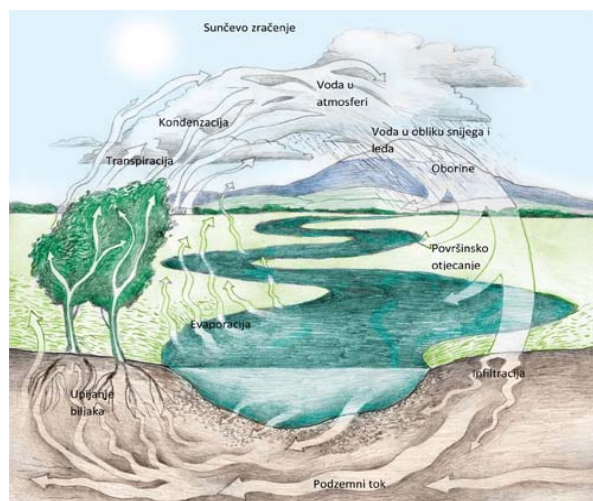
1.2.2. Hidrološki ciklus

Voda neprekidno kruži u prirodi, ona je dinamična. Kruženje vode u prirodi poznato je pod nazivom "hidrološki ciklus". Hidrološki ciklus obuhvata sva tri agregatna stanja vode: tečno, čvrsto i gasovito. Voda isparava sa vodenih površina (okeana, mora, jezera, reke) i površine zemlje u atmosferu. U atmosferi se kondenzuje i u vidu snega i kiše dospeva na zemlju (slika 2.). Voda koja je dospela na površinu zemlje u vidu padavina (*Gaćeša i Klašnja, 1994*):

- neposredno isparava natrag u atmosferu (evaporacija),
- odlazi u površinske slojeve zemlje i putem metaboličkih aktivnosti biljaka isparava (transpiracija),
- sliva se u površinske vode (potoci, jezera, reke),
- prodire u dublje slojeve zemlje dok ne dođe do vodonepropusnih slojeva, u kojima obrazuje akvifere iz kojih se može crpljenjem eksploatisati ili iz kojih ponovo dospeva na površinu zemlje (vrela, izvori, bunari, arteški bunari).

Količina sveže vode na Zemlji danas iznosi oko 36 miliona km³, što čini 2,6 % od ukupne količine. Od ove sveže vode samo 11 miliona km³ (0,77% ukupne vode, ili 30% sveže vode) računa se da je deo hidrološkog ciklusa, u smislu da cirkuliše brzo. Voda koja ne cirkuliše je imobilisana za duži period u polarnom ledu i tako izdvojena iz hidrološkog ciklusa (*Pielou, 1998*). Vreme koje je potrebno da jedna kap vode prođe kompletan ciklus

strahovito varira i kreće se u rangu od nekoliko minuta ili sati, kada olujna kiša duva sa mora u unutrašnjost, do hiljada godina kada je kapljica zaleđena u glečeru (Pielou, 1998).



Slika 2. Hidrološki ciklus vode u prirodi

1.2.3. Izvor podzemnih voda

Atmosferske padavine su glavni izvor podzemnih voda. Podzemna voda koja potiče od atmosferskih padavina, deo je hidrološkog ciklusa i naziva se meteorskom vodom. Ova podzemna voda je daleko najrasprostranjenija. Mnogo starija podzemna voda je fosilna voda, koja je još poznata i kao konatna voda. To je voda koja je uhvaćena u porama stena u toku njihovog formiranja. Ova voda je slabog kvaliteta, posebno ako je bila u kontaktu sa naslagama soli. Zbog veoma dugog boravka ispod površine Zemlje, konatne vode mogu preći veliku razdaljinu, pogotovo ako su male gustine. Juvenilna (magnatska) voda potiče od podzemnih topljivih stena, materijala poznatog kao lava, koji izbacuju vulkanske erupcije ili koji formiraju eruptivne (zapaljive) stene kada kristališu ispod površine. Voda je često sastojak magme, i kada se ona hladi ispod zemlje, voda se izdvaja iz preostalih kristalizovanih stena. Ova voda pod vulkanskom aktivnošću izlazi na površinu Zemlje. Ima visok sadržaj minerala. Konatna i juvenilna voda nisu deo hidrološkog ciklusa (Pielou, 1998; Mahajan, 2008).

1.2.4. Kretanja podzemnih voda

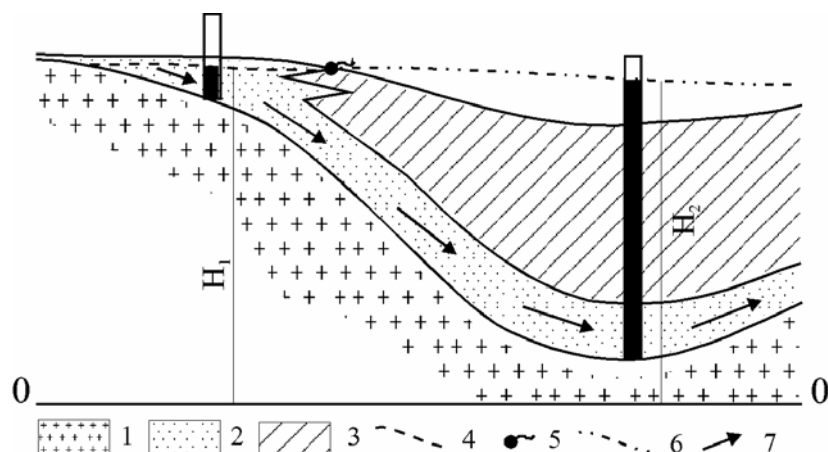
Podzemna voda se skoro uvek nalazi u pokretu, osim na velikim dubinama. Brzina kojom ona protiče veoma varira, obično iznosi oko 30 m godišnje (*Pielou, 1998*). Dva faktora utiču na kretanje podzemne vode. Prvi je priroda dubljih slijeva litosfere. Podzemlje mora biti propustljivo, kao i porozno. Njegove pore i šupljine moraju biti povezane kanalima kroz koje voda može proticati. Stene moraju biti porozne bez da su same propustljive. Drugi faktor je jačina sile, tj. pritisak koji je gura. Različiti oblici podzemne vode imaju specifičan način kretanja koji, pre svega, zavisi od agregatnog stanja vode, oblika vode i faktora koji ih izazivaju. Glavni procesi kretanja slobodne podzemne vode su *filtracija* i *infiltracija*.

Proces *filtracije* predstavlja mehaničko kretanje slobodne vode u poroznom prostoru, pod dejstvom gradijenta pritiska, a u uslovima potpunog zasićenja vodom. Filtracija može biti izazvana i dejstvom elastičnih sila, koje se javljaju u vodonosnim slojevima na većim dubinama i koje sadrže vodu pod pritiskom.

U stenama zasićenim vodom sreću se svi prethodno razmatrani oblici vode, počev od hemijski vezane koja učestvuje u građi mineralne materije, pa do slobodne (tečne) vode koja ispunjava sve porozne prostore.

Kretanje podzemnih voda potčinjava se dejstvu gravitacije i kompresionih sila. Stoga, kretanje podzemnih voda može biti usmereno u različitim pravcima. U površinskim delovima litosfere, vodeću ulogu u kretanju podzemnih voda ima sila teže i prvenstveno silazno kretanje voda (slika 3.). Sa dubinom raste dejstvo kompresionih sila, pri čemu vodeću ulogu ima uzlazno kretanje podzemnih voda. Jedan od najvažnijih faktora koji određuje uslove kretanja podzemnih voda kroz stensku masu jeste poroznost i to aktivna poroznost, koja je određena površinom poprečnog preseka pora kroz koje može da se kreće slobodna (gravitaciona) voda. Kretanje vode u poroznoj sredini odvija se kroz sisteme otkrivenih i međusobno spojenih pora, pukotina i kaverni, različitih razmera, oblika i položaja (*Dragišić, 1997*).

Pod *infiltracijom*, u širem smislu, podrazumeva se proces prodiranja vode u poroznu stensku masu i njeno kretanje u pravcu slobodne površine podzemnih voda, odnosno u pravcu zone potpunog zasićenja slobodnim podzemnim vodama.



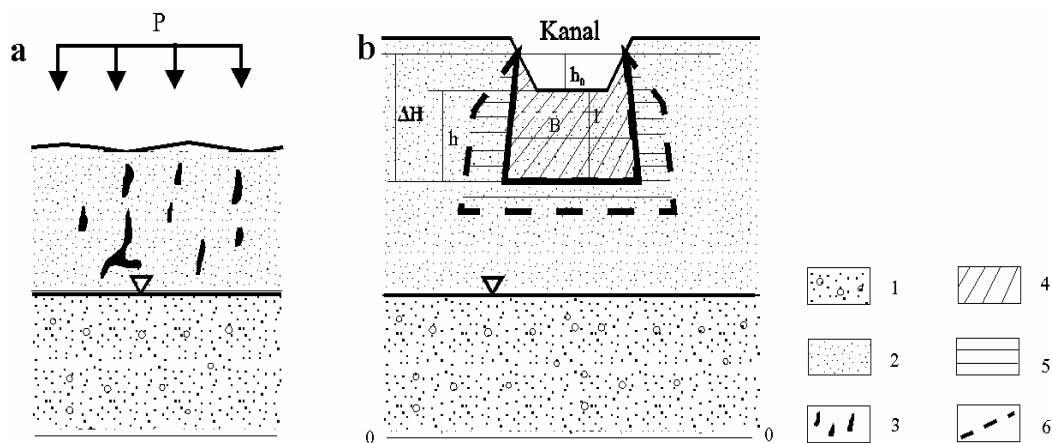
Slika 3. Šematski prikaz procesa filtracije u poroznoj sredini: 1 - granit; 2 - pesak; 3 - glina; 4 - slobodni nivo podzemnih voda; 5 - izvor; 6 - nivo podzemnih voda pod pritiskom; 7 - pravci kretanja podzemnih voda (*Dragišić, 1997*)

Proces infiltracije predstavlja kretanje vode u zoni aeracije, za razliku od filtracije koja se odvija u uslovima potpunog zasićenja porozne sredine slobodnim podzemnim vodama. Infiltracija se manifestuje kao mehaničko kretanje u uslovima nepotpunog zasićenja poroznog prostora slobodnim i fizički vezanim vodama, pod dejstvom hidrostatičkih pritisaka i molekularno-kapilarnih sila, pri tom ne uzimajući u obzir uzajamno fizičko-hemijsko dejstvo u sistemu voda - stena.

Razlikuje se nekoliko vidova infiltracije: proceđivanje, poniranje i normalna infiltracija. Pri slobodnom proceđivanju, kretanje vode odvija se pod dejstvom sile zemljine teže i kapilarnih sila u vidu izolovanih strujnica (slika 4.a). Pojam poniranje označava kretanje vode kroz krupnije pukotine, što je često u karstifikovanim stenama.

Od svih vidova infiltracije, najbolje je izučena normalna infiltracija, koja se odvija u uslovima kada ima dovoljno infiltrirane vode, da u novoobrazovanom toku popuni sve

porozne prostore. U ovom slučaju, tok obrazuje jednu neprekidnu, hidrauličnu sredinu, unutar koje se kretanje vode odvija po mehanizmu filtracije, a na spoljnim konturama tog toka, gde se on graniči sa suvom (vodom nezasićenom) stenom, javljaju se kapilarne sile (*Dragišić, 1997*) (slika 4.b).



Slika 4. Šematski prikaz infiltracionih procesa (a - slobodno proceđivanje; b - normalna infiltracija); 1 - zona zasićenja (izdanska zona); 2 - zona aeracije (zona nepotpunog zasićenja); 3 - izolovane strujnice ("podzemna kiša"); 4 - zona infiltrirajućeg toka; 5 - zona dejstva kapilarnog pritiska h_k ; 6 - kontakt "suvih" stena zone aeracije i infiltrirajućeg toka (*Dragišić, 1997*)

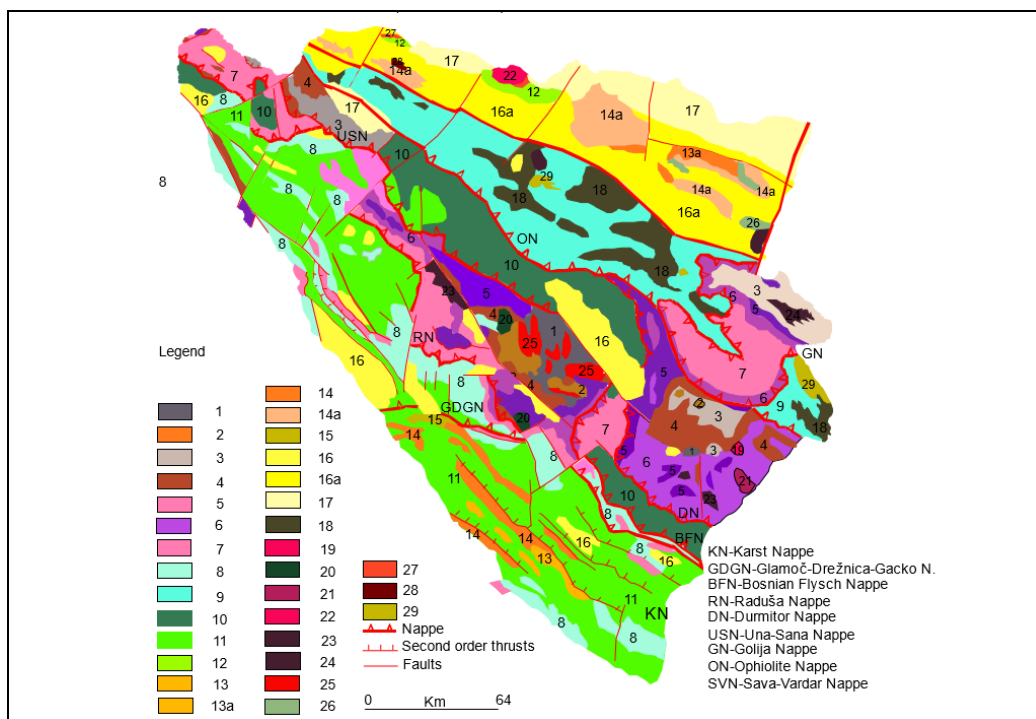
1.3. Hidrogeološke karakteristike Semberije

Bosna i Hercegovina nalazi se u središnjem delu Dinarida koji predstavlja južnu granu Alpskog orogena. Prema *Skopljaku i saradnicima* (2011), BiH obuhvata oko 25% Dinarida. Ovaj prostor odlikuje se specifičnom geološkom građom i intenzivnom tektonikom, što je rezultat evolucije terena koja je trajala od perma do kvartara. Na prostoru BiH, mogu se izdvojiti šest hidrogeološke oblasti koje se značajno razlikuju prema strukturi, geološkom sastavu, hidrogeološkim i hidrohemijskim karakteristikama (*Skopljak i sar., 2011; Hrvatović, 2000*). To su (slika 5.):

- Alohtone paleozojsko-trijaske formacije,
- Dinarska karbonatna platforma,
- Dinarska ofiolitska zona,
- Bosanski fliš,
- Savsko-varcarska zona, i
- Post-orogene oligocenske, neogenske i kvartarne formacije.

Oblast Semberije, koja se pruža na severo-istoku BiH, pripada post-orogenoj oligocenskoj, neogenskoj i kvartarnoj formaciji i to pre svega pliocenu. Po petrografskoj klasifikaciji reč je o sedimentnim stenama koje čine: glina, laporac, pesak i mulj. Ove stene pripadaju neogenom bazenu unutrašnjih Dinarida (*Hrvatović, 2006*).

Post-orogene oligocenske, neogene i kvartarne formacije najveće rasprostranjenje imaju na padinama Kozare, Vučjaka, Trebovca i Majevice i u okviru potoline Bosanske Posavine u Severnoj Bosni, u okviru slatkovodnih neogenih basena (Tuzlanski, Sarajevsko-zenički, Bugojanski, Kamengradski, Livanjski, Duvanjski, Gatački i dr.). Nastale su nakon finalnog strukturiranja Dinarida tokom eocenske deformacione faze. Preovlađuju intergranularni akviferi u aluvijalnim i neogenim sedimentima, i delom su sa nivoom pod pritiskom (arteški) (*IPA Program Evropske Unije, 2015*).



Slika 5. Geološka karta Bosne i Hercegovine sa glavnim paleogeografsko-tektonskim jedinicama (Hrvatović, 2000).

Legenda za sliku 5.:

Alohtoni paleozojsko-trijaski kompleksi

Metamorfne stene: 1. Silur (facija zelenih škriljaca), **Sedimentne stene:** 2. Devon (krečnjaci i dolomiti), 3. Karbon (klastični sedimenti), 4. Gornji perm (klastiti, evaporiti, krečnjaci), 5. Donji trijas (klastiti i ređe krečnjaci), 6. Srednji trijas (krečnjaci, ređe dolomiti), 7. Gornji trijas (krečnjaci i dolomiti).

Vulkanske stene: Variscijske (paleozoik) - 25. Grupa riolita, Srednji trijas; 23. Grupa bazalta.

Plutonske stene: Srednji trijas - 19. Alkalni sijeniti, 20. Grupa gabrova, 21. Grupa granodiorita-diorita.

Dinarska karbonatna platforma: 8. jura (krečnjaci i dolomiti), 11. kreda (krečnjaci), 13. paleocen (krečnjaci), 14. eocen (fliš).

Bosanski fliš (pasivna kontinentalna margina): 10. jursko-kredni flišni sedimenti.

Ofolitna zona: 9. gornje-jurski i donjo-kredni ofiolitni melanž (peščari, glinci, alevroliti, rožnaci, dijabazi, gabri, serpentiniti, krečnjaci, konglomerati), 18. Srednjejurske-gornjojurske ofiolitne formacije (bazične i ultrabazične stene).

Savsko-vargarska zona (aktivna kontinentalna margina):

Sedimentne stene: 12. gornja kreda (fliš-djelimično metamorfiran), 13.a. paleocen (krečnjaci i klastiti), 14.a. eocen (fliš).

Plutonske stene: 22. Eocen (grupa granita), Vulkanske stene: 24. miocen (grupa trahita).

Post-orogeni oligocenski, neogenski i kvartarni sedimenti: 15. eocen-oligocen (konglomerati i peščari), 16. miocenski slatkovodni sedimenti sa naslagama uglja, 16.a. miocenski sedimenti južnog Panonskog bazena (marinski sedimenti), 17. pliocen.

1.3.1. Grupa vodnih tela podzemnih voda "Semberija"

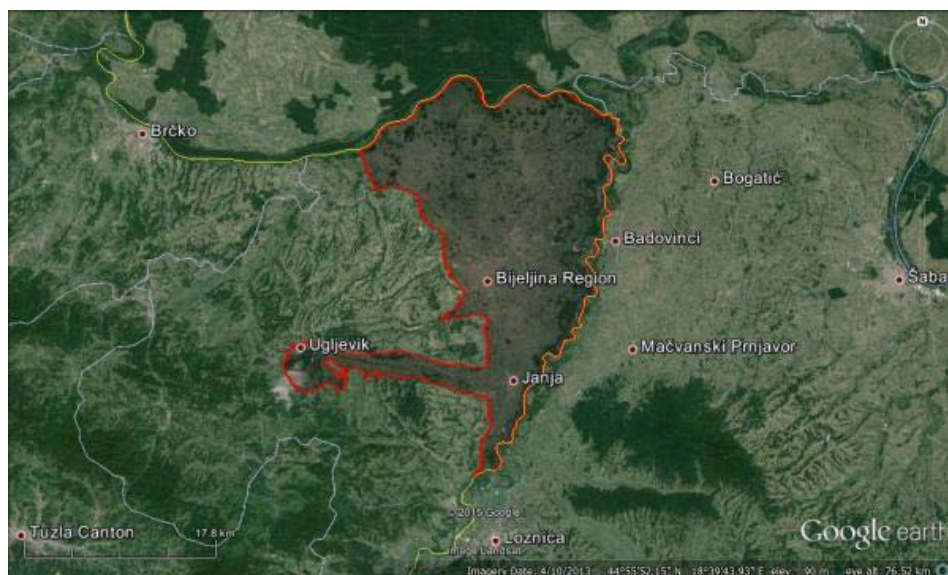
Najvažniji dokument na kome se temelje nacionalni propisi i strategije upravljanja vodnim resursima, uključujući podzemne vode, je ODV Evropske Unije usvojena oktobra 2000. godine (*European Commission, 2000*). Dok su raniji propisi članica Evropske Unije, donošeni kao zajednički preporučujući dokumenti, imali za cilj bolju zaštitu voda kroz prevenciju prisustva toksičnih supstanci u vodama (npr. nitrati), ODV predstavlja ključni dokument kojim su bliže određeni principi vodnog menadžmenta i monitoring, koji ima direktan uticaj ne samo na zemlje članice Unije već i na celi evropski prostor (*Stevanović, 2011*). Tako su i zemlje nečlanice, uključujući i BiH, u većinu svojih propisa o vodama ugradile koncept i rešenja ove Direktive. Osnovni koncept Evropske Unije u oblasti životne sredine usmeren je na očuvanje, zaštitu i poboljšanje kvaliteta okoline u smislu razumne i racionalne upotrebe prirodnih resursa koja treba da se bazira na predostrožnosti i preventivnim akcijama kako bi se potencijalna šteta otklonila, a zagađivač primereno sankcionisao (*European Commission, 2008*). Voda se u Direktivi definiše kao nasleđe Zemlje koje treba štititi i podvlači se njen nekomercijalni karakter.

Politika odnosa Evropske Unije prema vodi, sadržana u ODV, zasniva se na upravljanju vodnim resursima na nivou rečnih slivova, čime se ističe međunarodna koordinacija kako među zemljama članicama Evropske Unije, tako i među zemljama koje su u procesu pregovaranja o članstvu (*IPA Program Evropske Unije, 2015*).

Prema ODV, prvi korak u implementaciji strategije jeste utvrđivanje manjih vodnih jedinica (vodnih tela) na koje se mogu primeniti principi koje predlaže ODV za uspostavljanje tzv. "dobrog statusa" podzemnih voda (*Quevauviller, 2008*).

Preporuka je da se identifikuju svi akviferi, odnosno vodna tela podzemnih voda iz kojih se za piće zahvata 10 m³/dan tj. obezbeđuje snabdevanje više od 50 osoba, dok treba da se kontrolišu svi oni iz kojih se obezbeđuje zahvat veći od 100 m³/dan. Mora se istaći da se u područjima relativno bogatih vodom, kakva je i BiH, može po ovim kriterijumima izdvojiti više stotina pa i hiljade vodnih tela, te su određena grupisanja i racionalizacije neophodna (*IPA Program Evropske Unije, 2015*).

Na području Republike Srpske, a na osnovu geoloških i hidrogeoloških osobina terena, izdvojena je ukupno 21 grupa vodnih tela podzemnih voda. Ispitivani arteški bunari pripadaju GVT PV Semberije. Grupa vodnih tela "Semberija" nalazi se u severoistočnom delu BiH (slika 6.). Kompletna GVT PV leži na teritoriji Republike Srpske, ali ima međugranični karakter. Pruža se od naselja Janja na jugu, pa dalje linijom Bijeljina-Obarska-Crnjelovo (zapadna granica). GVT PV ima nastavak zapadno od Janje do Ugljevika (Janjarsko polje) u vidu pojasa širine oko 2 km koji uglavnom prati granice aluvijalne zaravni Janje. Na severu je GVT PV ograničena rekom Savom (ujedno i granica sa Srbijom i Hrvatskom), a na istoku rekom Drinom (granica sa Srbijom) (IPA Program Europske Unije, 2015).



Slika 6. Geografski položaj GVT PV "Semberija" (Google Earth)

Površina GVT PV je 465,1 km². U odnosu na ostale GVT PV, "Semberija" se nalazi istočno od GVT "Posavina", severno od GVT PV "Aluvijon Drine" (IPA Program Europske Unije, 2015).

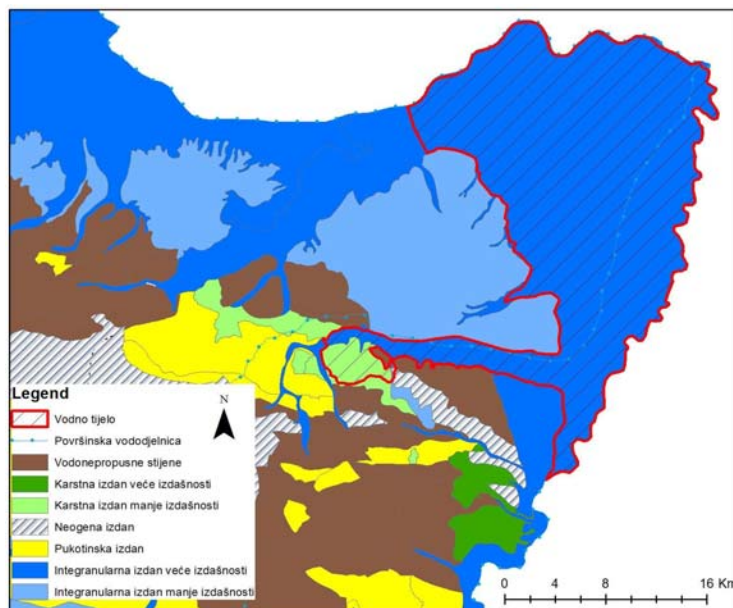
Reljef ove GVT PV je izrazito ravničarski. Reč je o aluvijalnim zaravnima dominantno reke Drine, podređeno i Janje, sa nadmorskom visinom od 80 m do 120 m, ograničenom na zapadu istočnim obodom planine Majevice. Samo u području Ugljevika, na

krajnjem jugozapadu GVT PV, teren se uzdiže do nadmorskih visina od 250 m do 300 m. Drenažna mreža je dobro razvijena. Najznačajniji stalni tokovi svakako su reka Sava na severu i Drina na istoku, koje ograničavaju GVT PV sa istoka i severa, te reka Janja u južnom delu GVT PV. Kao važnu komponentu treba navesti vrednost prosečnih godišnjih padavina od 750 mm (*IPA Program Europske Unije, 2015*).

Sa geološkog aspekta, ova GVT PV obuhvata najvećim delom rečne sedimente Drine, u manjoj meri Save i Janje. U litološkom pogledu one su predstavljene šljunkom i peskom, mestimično sa sočivima gline. Debljina šljunkovito-peskovitog sloja kreće se od 5 m u južnom do maksimalno oko 60 m u severozapadnom delu GVT PV. Najvećim delom se radi o sedimentima prve rečne terase reke Drine. Granulometrijskim ispitivanjima šljunkovito-peskovitog materijala ove terase, utvrđeno je da je sadržaj šljunka veći od sadržaja peska (iznosi oko 55%, dok je sadržaj peska oko 45%). Pored navedenih pleistocenskih i povlatnih recentnih naslaga, na krajnjem jugozapadu GVT PV javljaju se mlađi tercijarni, konkretno tortonski sediment litološki predstavljeni krečnjacima (*IPA Program Europske Unije, 2015*).

Sa hidrogeološkog aspekta svakako najznačajnije su šljunkovito-peskovite naslage, u manjoj meri krečnjaci tortona (slika 7.). Šljunkovito-peskoviti sedimenti odlikuju se značajnom vrednošću efektivne poroznosti (procena je oko 22% do 25%), dok su krečnjaci tortona u značajnoj meri ispucali i karstifikovani. Tako obe geološke sredine imaju sposobnost provođenja i akumuliranja značajnih količina podzemnih voda, što je posebno odlika šljunkovito-peskovitih sedimenata (intergranularni akviferi). Glavni vid prehranjivanja akvifera je infiltracija površinskih voda (dominantno reke Drine), te delom i od padavina čije se prosečne godišnje vrednosti kreću oko 750 mm (*IPA Program Europske Unije, 2015*).

Generalni pravac kretanja podzemnih voda je jug-sever (ka reci Savi, a paralelno toku Drine). Nivo podzemne vode, prema raspoloživim podacima iz do sada urađenih tehničkih dokumentacija, u toku godine osciluje oko 1,0 m. Generalno nivo podzemne vode pada od istoka (Drine) prema zapadu (Savi).



Slika 7. Prikaz GVT PV "Semberija" na hidrogeološkoj karti Bosne i Hercegovine (prema originalima OGK 1:100.000) (IPA Program Europske Unije, 2015)

1.3.2. Tačkasti i difuzni izvori zagađenja površinskih i podzemnih voda na teritoriji Republike Srpske u slivu Save

IPA Program Europske Unije (2015) navodi sledeće izvore tačkastog i difuznog izvora zagađenja podzemnih voda na teritoriji Republike Srpske:

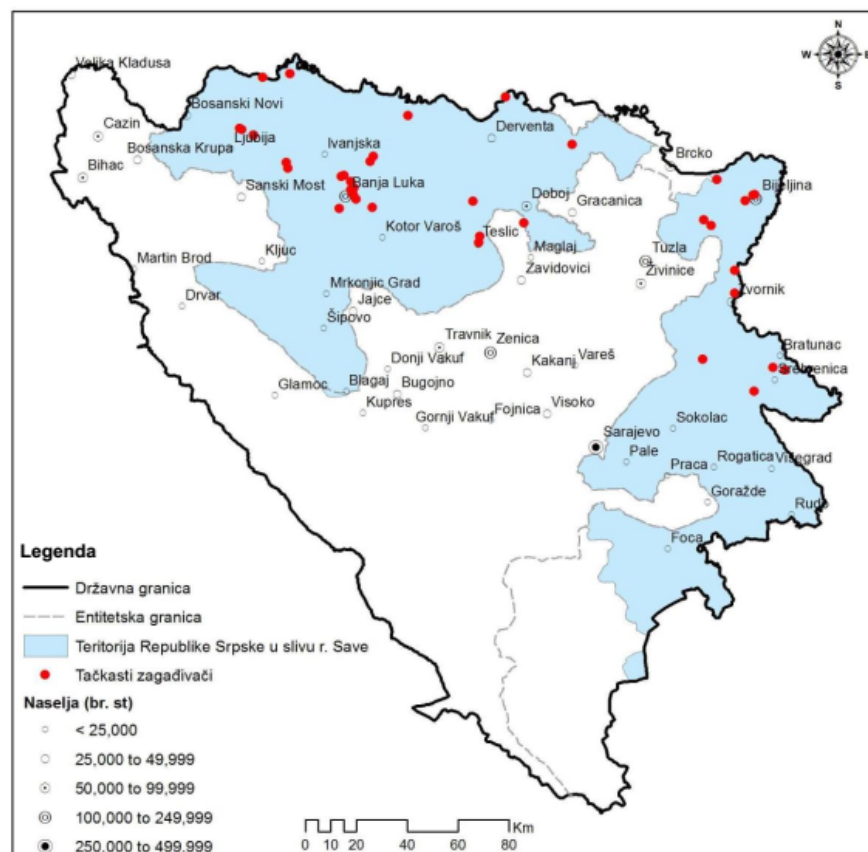
Tačkasti izvori:

➤ ***Stanovništvo*** predstavlja jedan od većih potencijalnih izvora zagađenja, prvenstveno iz razloga što uglavnom ne postoje sistemi za pravilno odvođenje i tretiranje otpadnih voda, već se one u najvećem broju slučajeva puštaju u površinske rečne tokove. Time su direktno ugrožena i površinska i podzemna vodna tela na teritoriji Republike Srpske.

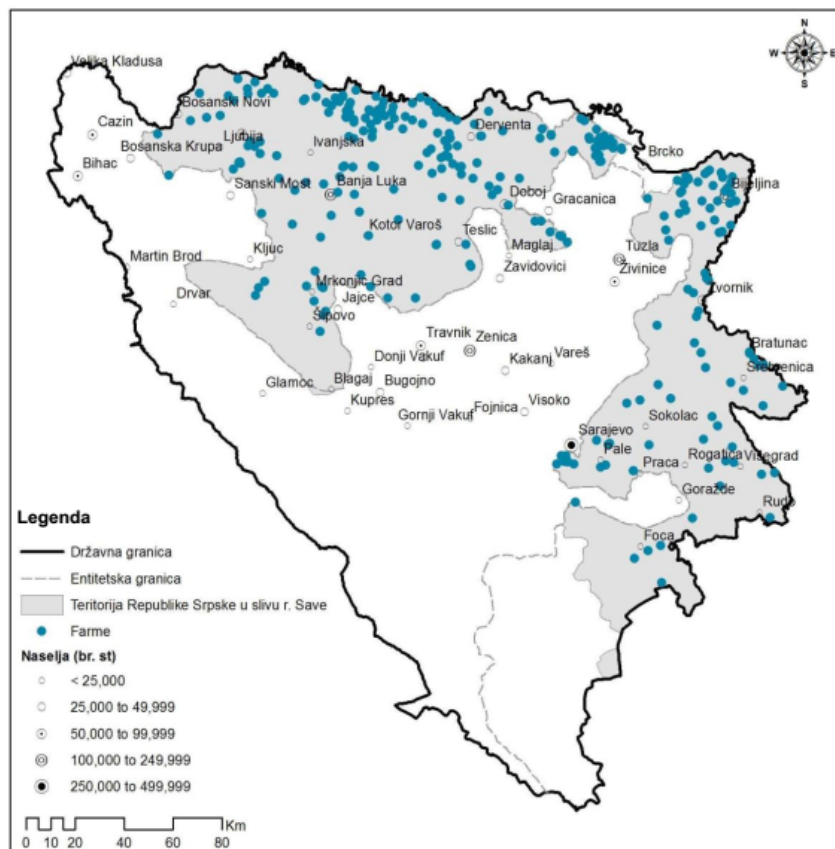
➤ ***Industrija*** je jedan od velikih zagađivača podzemnih voda. Međutim, rasprostranjenost industrije i privredni progres je značajno smanjen u godinama tokom i nakon ratnih dejstava koja su se dešavala na teritoriji Republike Srpske. S tim u vezi je svakako i smanjen efekat zagađenja, budući da se na ovom prostoru nalazi izuzetno mali broj

velikih industrijskih postrojenja. Njihov primarni cilj je proizvodnja, ali nažalost ne i istovremena zaštita životne sredine.

Kada se tretiraju tačkasti zagađivači u vidu industrije, neophodno je reći da je celokupna proizvodnja svih industrijskih postrojenja izražena preko ekvivalentnog broja stanovnika (EBS) i kao takve vrednosti su uzete u razmatranje pri definisanju rizika i hazarda od zagađenja. Tako se, na prostoru Republike Srpske nalazi mali broj tačkastih industrijskih zagađivača (slika 8.), dok je znatno veći broj farmi, oko 300 (slika 9.) na kojima se uzgajaju različite vrste stoke. To se objašnjava činjenicom da je severni i severoistočni deo BiH pretežno ravničarski i samim tim pogodan za zemljoradnju i stočarstvo. Pomenuto potvrđuje i podatak o visokoj zastupljenosti poljoprivrede u bruto domaćem proizvodu od 15,5% za 2007. godinu (*Urbanistički zavod Republike Srpske, 2005*). Tako, prema podacima Republičkog zavoda za statistiku iz 2010. godine, poljoprivredno zemljište zauzima 1251695 ha, odnosno 51,2%, od čega je 893540 ha obradivog zemljišta, 614264 ha pod oranicama i baštama, 56242 ha pod voćnjacima, 484 ha pod vinogradima, 222520 ha pod livadama, odnosno 3630 ha pod ribnjacima. Prema istim autorima, 57% celokupne populacije u Republici Srpskoj živi u okviru 221000 poljoprivrednih gazdinstava. Najrasprostranjenije grane poljoprivrede su stočarstvo, voćarstvo, povrtarstvo, lekovito i industrijsko bilje, dok su sa druge strane najznačajnije poljoprivredne kulture kukuruz, pšenica i ječam (*IPA Program Europske Unije, 2015*).



Slika 8. Lokacije tačkastih industrijskih zagađivača na teritoriji Republike Srpske u slivu Save (*IPA Program Europske Unije, 2015*)



Slika 9. Lokacije farmi kao tačkastih zagađivača na teritoriji Republike Srpske u slivu Save (*IPA Program Europske Unije, 2015*)

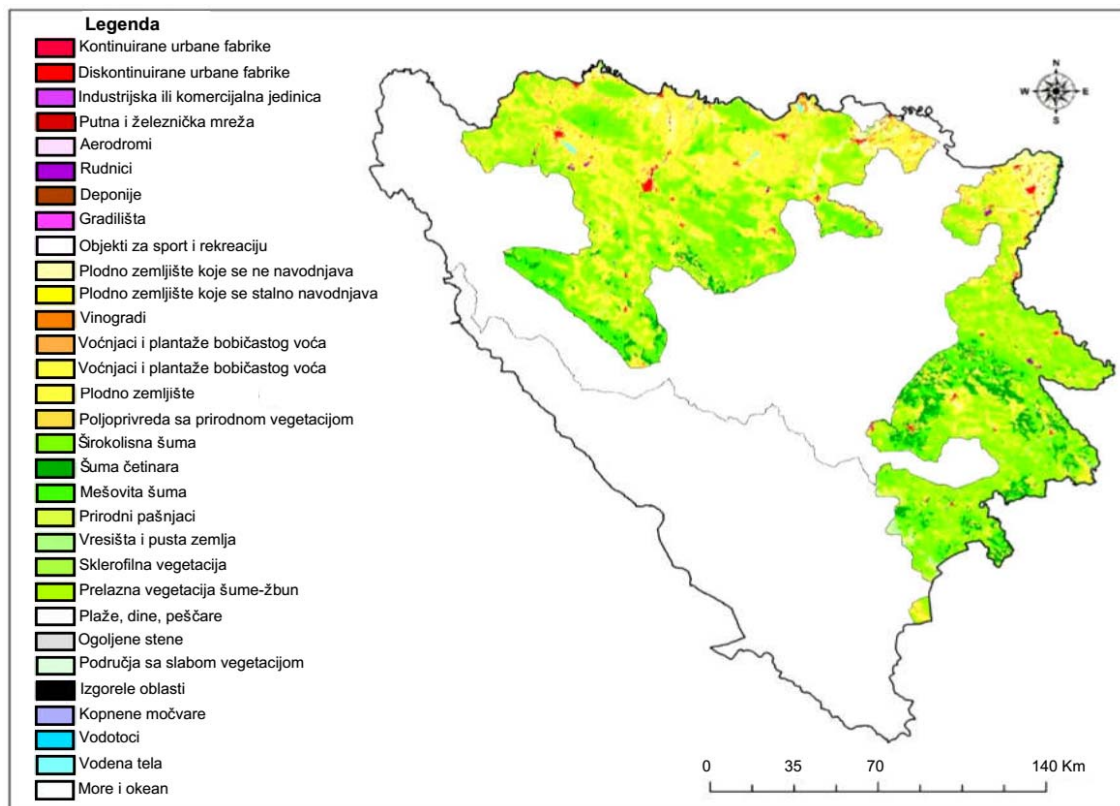
Takođe, kao i na prostoru ostalog dela BiH, i na teritoriji Republike Srpske je najveća koncentracija tačkastih industrijskih zagađivača u rejonima najrazvijenih centara (Bijeljina, Banja Luka, Prijedor), dok je rasprostranjenje farmi najveće u pribalnom pojasu Save na severu i severoistoku BiH (Semberija). S tim u vezi, treba istaći da su najopterećenije GVT PV Dubičko polje, Lijevče polje, Posavina i Semberija.

Difuzni izvori zagađenja

Zagađivači, emitujući zagađujuće materije koje se difuzno prostiru u prostoru, predstavljaju izuzetno značajne i problematične izvore zagađenja koji umnogome utiču na kvalitativno – kvantitativne karakteristike podzemne vode, samim tim i na njen status. Ovi zagađivači mogu biti predstavljeni različitim tipovima: poljoprivreda, područja pod šumama, pašnjaci, saobraćajnice, deponije otpada, kamenolomi, groblja i sl. Sam podatak da je ukupna

emisija organskog zagađenja na prostoru cele BiH oko 5,6 t biološke potrošnje kiseonika nakon pet dana dovoljno govori o uticaju poljoprivrede kao vida difuznog zagađenja. Pored toga, posebna pažnja treba biti usmerena na neadekvatnu kanalizacionu mrežu, budući da postoji veliki deo stanovništva, najčešće lociran u ruralnim delovima Republike Srpske, koji nemaju uređenu kanalizacionu mrežu, već otpadne vode ispuštaju direktno u površinske vodne tokove ili podzemlje (septičke jame), čime se na direktan način ugrožavaju podzemne vode. Kao ilustracija može se uzeti podatak da je oko 45% potrošača u Republici Srpskoj priključeno na kanalizacionu mrežu (prosek Evropske Unije je 60%), dok više od polovine svih opština u Republici Srpskoj ima priključenost na kanalizacionu mrežu manju od 50%. Takođe, i urbanizacija bez adekvatnih mera zaštite životne sredine predstavlja opasnost od eventualnih havarija i ekscenih događaja, koje mogu direktno uticati na status podzemne vode. Zagađenje na ovaj način je jako teško kontrolisati i eliminisati ukoliko se dogodi, te se stoga mora obratiti velika pažnja na ovaj segment difuznih zagađivača (*IPA Program Europske Unije, 2015*).

Kada je reč o prikupljanju podataka o difuznim zagađivačima, neohodno je istaći da ne postoji precizno utvrđen sistem za prikupljanje podataka o opterećenju difuznih zagađivača, te je stoga primenjen princip modifikacije karte Evropske agencije za zaštitu životne sredine iz 2006. godine sa podacima o upotrebi zemljišnog sloja koja je data na slici 10. Na pomenutoj karti se vidi da je teritorija Republike Srpske mahom pokrivena obradivim zemljištem, najviše u severnim i severoistočnim delovima, koji su ravničarski, u priobalnom pojasu Save, odnosno u pojasevima ušća većih rečnih tokova u Savu (*IPA Program Europske Unije, 2015*).



Slika 10. Karta korišćenja zemljišta (2006) na teritorij RSepublike Srpske koji pripada slivu reke Save

1.3.3. Postojeća monitoring mreža

1.3.3.1. Kvantitativni monitoring podzemnih voda

Kvantitativni podaci režima podzemnih voda, prvenstveno u smislu protoka karstnih vrela i nivoa podzemnih voda u aluvijonima većih reka, kao i količine zahvaćenih voda iz karstnih i zbijenih akvifera, na području sliva Save nemaju u prošlosti kontinualan karakter. Ova vrsta osmatranja režima podzemnih voda vršena je za različite namene, u različitim

vremenskim periodima, te od strane različitih institucija (*IPA Program Europske Unije, 2015*).

Podatke dugoročnih osmatranja (podrazumijevajući pod tim kontinuirana osmatranja duža od pet godina) retko se nalaze, a ista su vršena uglavnom od strane nekadašnjeg Hidrometeorološkog zavoda Socijalističke Republike BiH iz Sarajeva. Od strane Hidrometeorološkog zavoda u periodu do 1992. godine uspostavljena je stalna osmatračka mreža na 21 karstnom izvoru (uključujući i sliv Jadranskog mora) (*IPA Program Europske Unije, 2015*).

Kada su u pitanju zbijeni akviferi formirani u dolinama velikih rečnih tokova, posebno oni u severnom delu BiH na teritoriji Republike Srpske i Brčko distrikta, ne postoje podaci simultanih i kontinualnih merenja. Najznačajniji podaci o nivoima podzemnih voda nalaze se u području Semberije i Lijeve polja, iz perioda od 1960. godine do 1980. godine, kada su sprovedena hidrogeološka istraživanja s ciljem utvrđivanja mogućnosti eksploatacije podzemnih voda u regionalnom vodosnabdevanju. Tako je na osnovu osmatranja, *Josipović* (1974) konstruisao izolije minimalnih i maksimalnih nivoa podzemnih voda na prostoru Semberije, dok je na Hidrogeološkoj karti SFRJ 1:500.000 prikazan raspored prosečnih nivoa podzemnih voda za višegodišnji period osmatranja na području Semberije, Lijeve polja i delu Posavine (*IPA Program Europske Unije, 2015*).

Podatke o stanju nivoa podzemnih voda, u skladu sa ranijom zakonskom regulativom u oblasti voda (pre usvajanja entitetskih zakona o vodama 2006. godine) imala su preduzeća koja su se bavila eksploatacijom podzemnih voda (uglavnom su to vodovodi, rudnici i hidro-energetska preduzeća), uz obavezu dostave ovih podataka nadležnim institucijama (ranije uglavnom Ministarstvima zaduženim za oblast vodoprivrede). Ovo u praksi uglavnom nije zaživelo, tako da u nadležnim institucijama nema ove vrste podataka (*IPA Program Europske Unije, 2015*).

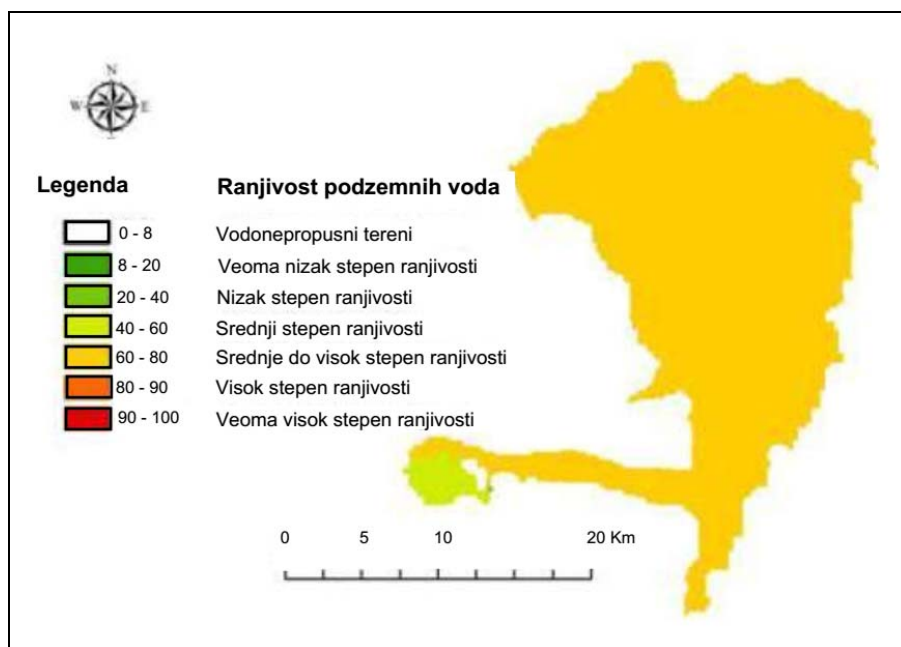
1.3.3.2. Kvalitativni monitoring podzemnih voda

Do donošenja Zakona o vodama u Republici Srpskoj 2006. godine ispitivanja kvaliteta podzemnih voda su isključivo obavljala vodovodna preduzeća, kao i druga

preduzeća čije su aktivnosti povezane sa mogućim uticajem na podzemne vode (rudnici, hidro-energetska preduzeća i sl.). Takođe, značajni podaci o kvalitetu podzemnih voda u slivu Save dobijeni su i kroz prethodno pomenuta regionalna hidrogeološka istraživanja koja je izvodio Geoinženjering iz Sarajeva do 1992. godine. Ove analize su bile uglavnom na nivou skraćenih, ređe kompletnih hemijskih analiza. U okviru izrade skraćenih hemijskih analiza vršeno je određivanje glavnih katjona (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Fe^{2+} i Fe^{3+}), zatim glavnih anjona (HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^-), temperature, boje, mirisa, pH vrednosti, utroška KMnO_4 , suvog ostatka, stalne i ukupne tvrdoće i dr.. Uzorkovanje vode obavljano je u periodima hidroloških minimuma i u periodima srednjih i visokih vodostaja sa vodnih objekata na kojima je uspostavljeno osmatranje i merenje proticaja, kao i sa važnijih vodnih objekata koji su uključeni u sistem eksploatacije (*IPA Program Europske Unije, 2015*).

Kvalitativni (kao i kvantitativni) monitoring podzemnih voda za deo sliva Save koji pripada Republici Srpskoj, donošenjem pomenutih zakona 2006. godine u nadležnosti je "Javne Ustanove Vode Srpske" u Republici Srpskoj. Kvalitativni monitoring podzemnih voda, od momenta donošenja novog Zakona o vodama usaglašenog sa ODV-om, u Republici Srpskoj je sproveden uglavnom samo na području Semberije i to za period 2004-2007. (realizovan od strane Instituta za vode iz Bijeljine). Ovim monitoringom obuhvaćeno je uzorkovanje na 21 pijezometru na području koje obuhvata GVT PV "Semberija", kompletnim hemijskim i bakteriološkim analizama (*IPA Program Europske Unije, 2015*).

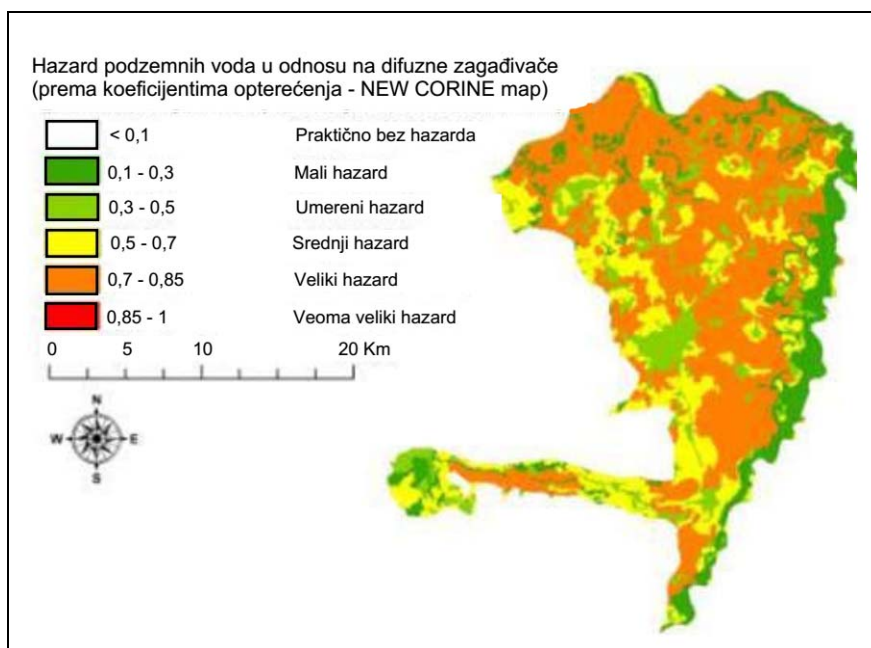
Prema kvalitativnim karakteristikama, podzemne vode zbijenog akvifera su generalno dobrog kvaliteta. Ipak, usled određenih problema vezanih za neadekvatnu kanalizacionu mrežu pojavljuju se bakteriološki nepravni nalazi sirove vode ali se tretmanom hlorom ista dovodi na zahtevan nivo kvaliteta pitke vode. Takođe, voda usled aktivnosti na površini (intenzivna poljoprivreda) u prolećnim mesecima pokazuje trend povećanja sadržaja nitrata i fosfora (uzrokovano veštačkim đubrivima) ali su maksimalne vrednosti i dalje daleko ispod maksimalno dozvoljenih za vodu za piće. Prema karti ranjivosti ova GVT PV ima nekoliko kategorija ranjivosti. Iz nje se može videti da je najdominantnija kategorija ranjivosti - srednje do visok stepen ranjivosti (97,17 %). Grafički prikaz karte ranjivosti je dat na slici 11. (*IPA Program Europske Unije, 2015*).



Slika 11. Karta ranjivosti podzemnih voda u okviru GVT PV "Semberija"

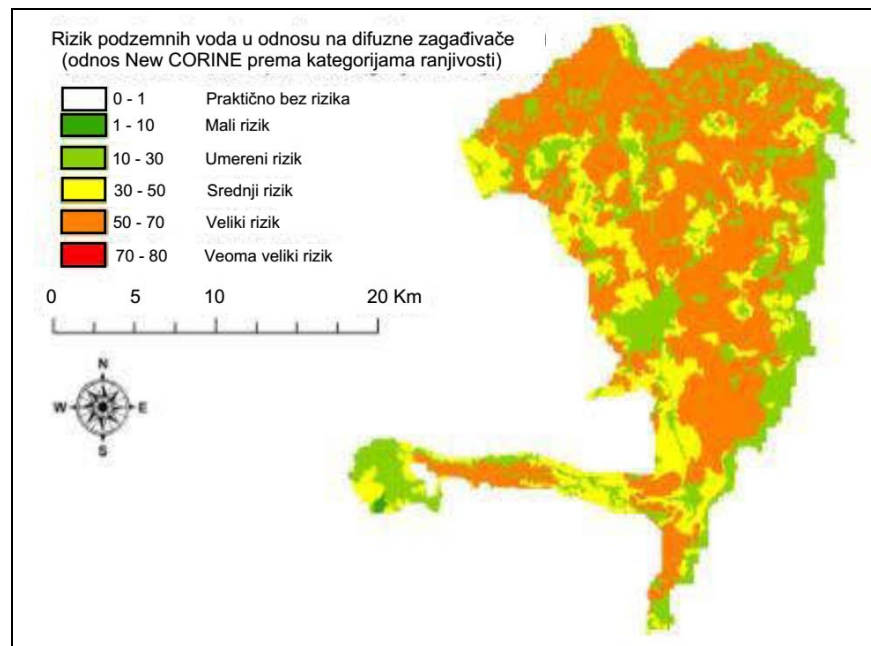
(IPA Program Europske Unije, 2015)

Prema hemijskim karakteristikama, ove vode su pretežno hidrokarbonatno-kalcijskog tipa, a prema fizičkim osobinama su bez boje, ukusa i mirisa, sa temperaturama u granicama srednjegodišnje temperature vazduha. Sa aspekta rizika od zagađenja, neophodno je obratiti pažnju na sve tačkaste i difuzne zagađivače koji predstavljaju opasnost po ovu GVT PV. Na konkretnom području utvrđeni su brojni difuzni zagađivači u vidu poljoprivredne proizvodnje, brojne septičke jame sa direktnim spojem u zbijeni akvifer, mreže lokalnih i regionalnih puteva. Od tačkastih izvora zagađenja, potencijalnu opasnost predstavljaju brojne pumpe, radionice kao i prerađivački kapaciteti. Uzimajući u obzir pomenute zagađivače, ali i u najvećoj meri dobru prirodnu zaštićenost akvifera, izrađene su karte hazarda i rizika (slike 12. i 13.) (IPA Program Europske Unije, 2015).



Slika 12. Karta hazarda podzemnih voda u okviru GVT PV "Semberija"

(IPA Program Europske Unije, 2015)



Slika 13. Karta rizika podzemnih voda u okviru GVT PV "Semberija"

(IPA Program Europske Unije, 2015)

Sa slika 12. i 13. se može videti da je najznačajnije rasprostranjenje kategorije velikog hazarda (50,4%), dok za njom sledi kategorija srednji hazard sa 21,9%. Sa aspekta rizika prema difuznim zagađivačima, najdominantnije rasprostranjenje ima kategorija veliki rizik sa 51,7%, dok se pored nje nalaze i kategorije umerenog (26,4%) i srednjeg rizika (21,7%) (*IPA Program Europske Unije, 2015*).

Sve navedeno, doprinosi zaključku da je GVT PV "Semberije" uslovno pod kvalitativnim pritiskom, te je neophodno u budućnosti formirati monitoring mrežu koja će imati istraživački i prevashodno operativni karakter, na osnovu koje će se imati direktan uvid u eventualne promene u kvalitativnim i kvantitativnim karakteristikama podzemne vode. Uvidom u ove podatke, biće omogućeno preduzimanje neophodnih mera zaštite (*IPA Program Europske Unije, 2015*).

U okviru ove GVT PV, trebalo bi napomenuti da se u vertikalnom profilu nalaze dublji akviferi sa značajnom količinom vode. Naime, ispod prvog vodonosnog sloja opisanog u prethodnom tekstu registrovan je glinoviti sloj promenjive debljine (od 3 m pa do preko 10 m), nakon koga se javljaju izmene peska i glina, odnosno javlja nekoliko vodonosnih slojeva. Drugi vodonosni sloj javlja se od dubine približno oko 70 m od površine terena. Dublji vodonosni slojevi predstavljeni su uglavnom peskom, ređe šljunkovitim peskom tercijarne starosti. Dublji vodonosni slojevi su sa arterškim (ređe subarterškim) nivoom, koji je registrovan merenjima na bušotinama koje su na prostoru Semberije bušene uglavnom u periodu 60-ih, 70-ih i 80-ih godina prošloga veka. Nema podataka o zahvatanju vode iz ovog vodonosnog horizonta, kao ni podataka o kvalitetu voda ovog vodonosnika, ali su generalno zahvaćene količine neuporedivo manje u odnosu na prvi, gornji akvifer. Postoje naznake povećanog sadržaja arsena u vodama ovog akvifera što treba dodatno ispitati hemijskim analizama (*IPA Program Europske Unije, 2015*).

1.4. Izvori zagađenja podzemnih voda

Voda zahvaljujući svojim jako polarnim osobinama je veoma dobar rastvarač, što ima za posledicu rastvaranje velikog broja supstanci koje dovode do promene njenog hemijskog sastava, a samim tim i organoleptičkih osobina. Svi izvori zagađenja podzemne vode mogu se svrstati u dve grupe: prirodni i antropogeni.

Krećući se kroz zemlju, podzemna voda dolazi u kontakt sa mnogim mineralima, solima i organskim materijama, koji dovode do promene njenog hemijskog sastava. Takođe, hemijski sastav podzemne vode varira zbog mnogih kompleksnih faktora koji se menjaju sa dubinom i geografskom udaljenošću. Na kvalitet podzemne vode može uticati sastav i rastvorljivost mineralnih stena u zemljištu ili akviferu, temperatura vode, parcijalni pritisak CO₂, kiselobazne reakcije, reakcije oksido-redukcije, kao i mešanje podzemne vode iz susednih slojeva. Jačina svakog efekta zavisi delimično i od zadržavanja vode unutar različitih površinskih okruženja. Kiše i sneg su glavni izvori prehranjivanja podzemne vode. Oni sadrže male količine rastvorenih gasova kao što su CO₂, SO₂ i O₂. Kada se padavine infiltriraju kroz zemlju, biološki dobijen CO₂ reaguje sa vodom i formira se slaba ugljena kiselina. Ovom reakcijom snižava se pH vrednost vode na oko 4 ili manje, voda postaje agresivnija, što dalje može da prouzrokuje povećanje koncentracije rastvorenih soli. Jedan od najčešćih prirodnih kontaminanata podzemne vode je H₂S, koji nastaje kao posledica raspadanja organskih materija. Elementi, kao što su gvožđe i mangan, takođe se mogu prirodno naći u podzemnoj vodi, kao i arsen.

Brza urbanizacija i industrijalizacija tokom poslednjih decenija dovela je do znatnog povećanja zagađenja životne sredine. Antropogeni izvori zagađenja vode su mnogobrojni, uključujući akcidentna ispuštanja, deponije, ispuštanje industrijskih i komunalnih voda, septičke jame, poljoprivredne aktivnosti, odlaganje radioaktivnog materijala, curenja iz cevovoda, kiselna drenaža rudnika i mnogi drugi. Hemijski pesticidi i đubriva koja se koriste u poljoprivredi kontaminiraju vodu tako što mogu direktno da dospeju u akvifer, ili se mogu pomešati sa padavinama ili površinskim vodama. Nepravilno rukovanje životinjskim

otpadom sa farmi i klanica, kao i septičke jame koje se nalaze u blizini podzemne vode, takođe mogu da je kontaminiraju.

Zagađenje životne sredine povećava se iz dana u dan, tako da je neophodno proceniti kvalitet podzemne vode radi njenog sigurnijeg korišćenja. Monitoring podzemne vode uključuje u sebi mnoge parametre kako, fizičko-hemijske, tako i mikrobiološke.

1.5. Fizičko-hemijski parametri vode za piće

Analiza fizičko-hemijskih parametara podzemne vode primenjuje se u cilju utvrđivanja njenog kvaliteta i procene mogućnosti njenog korišćenja za vodosnabdevanje.

1.5.1. Fizički parametri

pH vrednost - pH vrednost vode je mera kiselo-bazne ravnoteže i, u većini prirodnih voda, kontrolisana je ravnotežnim sistemom različitih rastvorenih komponenti, soli i gasova. Najčešće su to: CO_2 , H_2CO_3 , HCO_3^- , CO_3^{2-} . pH vrednost je i najvažniji parametar prilikom određivanja korozivnosti vode. Uopšteno, niže vrednosti pH vode, izazivaju veći stepen korozije (Nordberg i sar., 1985; McClanahan i Mancy, 1974). Toksičnost mnogih komponenti zavisi od pH vrednosti. Npr. toksičnost HCN raste sa smanjenjem pH vrednosti, dok toksičnost NH_3 raste sa povećanjem pH vrednosti.

pH vrednost nema direktan uticaj na zdravlje ljudi, ali može indirektno da utiče na efikasnost dezinfekcije (WHO, 2007).

WHO (2011a) nije postavila smernicu za ovaj parametar. U.S. EPA (2012) je pH svrstala u sekundarne kontaminante i postavila granicu od 6,5-8,5. Prema Direktivi EU (1998) i Pravilniku o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće Republike Srpske (2015) optimalna pH vrednost vode za piće takođe se kreće u intervalu od 6,5 do 9,5.

Električna provodljivost - Električna provodljivost je sposobnost vode da provodi električnu struju. Provodljivost vode određena je prisustvom rastvorenih neorganskih soli kao

što su hloridi, sulfati, nitrati i fosfati (jona sa negativnim naelektrisanjem) ili jona natrijuma, magnezijuma, gvožđa ili aluminijuma (jona koji nose pozitivno naelektrisanje). Provodljivost zavisi od temperature: toplija voda - veća provodljivost. Provodljivost podzemne vode zavisi od geologije područja kroz koji voda teče. Voda koja prolazi kroz granitne stene ima tendenciju da ima nižu provodljivost, jer se granit sastoji više od inertnog materijala koji ne jonizuje kada se rastvori u vodi. Sa druge strane, voda koja prolazi kroz područja sa glinenim zemljištem ima tendenciju da ima veću provodljivost zbog prisustva materijala koji jonizuju prilikom rastvaranja u vodi.

WHO (2011a) i *U.S. EPA* (2012) nisu postavile smernice za ovaj parametar. *Direktiva EU* (1998) i *Pravilnik o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće Republike Srpske* (2015) su ograničili provodljivost na 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ na 20 °C pod uslovom da voda nije agresivna.

Temperatura vode - Temperatura vode je još jedan njen fizički parametar i pokazatelj njenog kvaliteta. Temperatura podzemnih voda je uglavnom konstantna i sezonski malo varira, za razliku od površinskih voda gde su sezonske promene mnogo veće. Temperatura podzemne vode zavisi od dubine na kojoj se voda nalazi, klimatskih uslova, geološke građe, toplotne provodljivosti stena i drugih faktora. Temperatura vode nema direktni uticaj na zdravlje ljudi, ali utiče na hemijske i mikrobiološke procese koji se u njoj odvijaju: na rastvorljivost i sadržaj minerala u vodi, sadržaj rastvorenog kiseonika, efikasnost dezinfekcije i formiranje nusproizvoda dezinfekcije, mikrobiološke procese, fizičke karakteristike vode (boja, ukus, miris i providnost), stepen korozije i dr. Hladna voda je prihvatljivija za piće od tople, jer je topla voda pogodna za razvoj mikroorganizama koji mogu uticati na njen ukus. Temperatura vode za piće nije regulisana nacionalnim i međunarodnim standardima.

1.5.2 Hemijski parametri

Amonijak - Pojam amonijak uključuje nejonizovane (NH_3) i jonizovane (NH_4^+) čestice. Toksičnost vodenog rastvora amonijaka zavisiće od pH vrednosti i temperature. Sa povećanjem pH vrednosti i temperature njegova toksičnost raste jer se favorizuje rastvoreni gas NH_3 (pH>12), oblik koji je mnogo toksičniji od rastvornog NH_4^+ oblika (pH<7). U intervalu pH vrednosti od 7 do 12 postoje oba oblika (*U.S. EPA, 1989*).

Problemi sa ukusom i mirisom, kao i smanjena efikasnost dezinfekcije mogu se očekivati u vodi za piće koja se hlorige, a sadrži 0,2 mg/L amonijaka (*Weil i sar., 1975*). U tom slučaju 68% hlora može da reaguje sa amonijakom i da postane nedostupan za dezinfekciju (*Wendlandt, 1988*). Amonijak ima toksičan efekat na zdravlje ljudi samo ako unos postane veći od kapaciteta detoksikacije. Ukoliko se amonijak unese u vidu svojih amonijačnih soli, uticaj anjona se takođe mora uzeti u obzir (*WHO, 1986a*). Pri dozi većoj od 100 mg/kg telesne težine na dan, NH_4Cl utiče na metabolizam pomeranjem acidobazne ravnoteže, remećenjem tolerancije glukoze i smanjuje osetljivost tkiva na insulin (*U.S. EPA, 1989*). Nema podataka u pogledu kancerogenog efekta amonijaka ili njegovih jedinjenja na ljude (*ATSDR, 2004*).

Amonijak nije od direktnog značaja za zdravlje ljudi u koncentracijama koje treba očekivati u vodi za piće, tako da *WHO* (2011a) i *U.S. EPA* (2012) nisu postavile smernice za ovaj parametar. Prema *Direktivi EU* (1998) i *Pravilniku o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće Republike Srpske* (2015), MDK za amonijum jon je 0,5 mg/L.

Antimon - Antimon se u podzemnoj vodi može naći prirodno, ali je njegovo prisustvo najčešće rezultat ljudske aktivnosti. Antropogeni izvori su: otpadne vode rudnika i proizvodnih pogona, industrijske i komunalne otpadne vode, curenja đubriva i deponija, kao i proizvodi sagorevanja fosilnih goriva. Antimon(III) oksid se najviše emituje, kao rezultat sagorevanja uglja ili sa pepelom koji nastaje topljenjem ruda koje sadrže antimon (*Nriagu i Pacyna, 1988*). Pojava antimona u vodi za piće potiče od rastvaranja metalnih cevi iz vodovodne mreže i armature.

Hemijsko ponašanje antimona je kompleksno kao i arsena, njegovog suseda u periodnom sistemu (*Wiberg, 1985*). Spekuliše se da antimon može biti prirodan kontaminant u vodi za piće zajedno sa arsenom (*Gebel, 1999*). Rastvorljivi oblici antimona i arsena imaju tendenciju da budu prilično mobilni u vodi, dok se manje rastvorljive vrste adsorbuju na glinu ili čestice tla ili sedimenta, gde su uglavnom vezane za gvožđe i aluminijum koji se mogu ekstrahovati (*Crecelius i sar., 1975*). Iako postoji veoma malo podataka o specijaciji antimona u vodi, termodinamička predviđanja ukazuju da je najfavorizovaniji oblik antimona u vodi pentovalenti oksid [Sb(OH)₆] (*Mohammad i sar., 1990; Cotton i sar., 1999*).

WHO (2011a) je propisala smernicu od 20 µg/L za sadržaj antimona u vodi za piće. *U.S. EPA* (2012) je postavila MCLG i MCL od 6 µg/L zbog štetnih efekata po zdravlje ljudi,

koji se ogledaju u povećanju holesterola i smanjenju šećera u krvi. Prema *Direktivi EU* (1998) i *Pravilniku o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće Republike Srpske* (2015), MDK za antimon je 5 µg/L.

Arsen - Koncentracija arsena u prirodnim vodama kreće se između 1 µg/L i 2 µg/L (*Hindmarsh i McCurdy, 1986; U.S. NRC, 1999*). Koncentracija može biti povećana u oblastima sa vulkanskim stenama i depozitima sulfidnih minerala (*Hindmarsh i McCurdy, 1986*), u oblastima koje sadrže prirodne izvore arsena, u blizini antropogenih izvora kao što su rudnici i fabrike za proizvodnju hemikalija i u geotermalnim vodama (*U.S. NRC, 1999*).

WHO (2011a) je propisala privremenu smernicu od 10 µg/L jer je uklanjanje arsena u koncentracijama ispod 10 µg/L otežano iz mnogo razloga. Prema *U.S. EPA* (2012), MCLG za arsen je 0 µg/L, dok je MCL za ukupni arsen 10 µg/L. *Direktiva EU* (1998), kao i *Pravilnik o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće Republike Srpske* (2015), ograničili su nivo ukupnog arsena u vodi za piće na 10 µg/L.

Bakar - Sadržaj bakra u površinskoj i podzemnoj vodi je generalno nizak. Visoke koncentracije bakra mogu da dospeju u okolinu kroz rudarske, poljoprivredne i proizvodne procese, kao i ispuštanjem komunalnih i industrijskih otpadnih voda. Koncentracije bakra u vodi variraju kao rezultat različitih karakteristika vode, kao što su pH vrednost, tvrdoća i raspoloživost bakra u distribucionom sistemu. U vodi bakar je uglavnom prisutan u vidu Cu^{2+} jona, u zavisnosti od pH vrednosti, temperature, prisustva bikarbonata i sulfida. On ima potencijal da formira ligande sa organskim molekulima, kao što su huminske, fulvo kiseline i aminokiseline, sa nekim peptidima i deterdžentima (*Stiff, 1971*). Slobodan Cu^+ jon može da postoji u vodi samo u veoma niskim koncentracijama (*Cotton i Wilkinson, 1972*). Sudbina elementarnog bakra u vodi je složena i zavisi od pH vrednosti, rastvorenog kiseonika, prisustva oksidacionih sredstava i helatnih jedinjenja ili jona (*U.S. EPA, 1995*).

Bojenje veša i sanitarija javlja se kod koncentracije bakra iznad 1 mg/L. Pri koncentracijama većim od 2,5 mg/L, voda poprima gorak ukus, a pri visokim koncentracijama izmenjena je i boja vode i javljaju se zelene mrlje na cevima (*WHO, 2003b*)

WHO (2011a) je za bakar postavila smernicu od 2 mg/L sa ciljem zaštite od akutnih gastrointestinalnih efekata bakra. *U.S. EPA* (2012) je bakar regulisala tretman tehnikom, pri čemu 1,3 mg/L predstavlja nivo akcije. Međutim, zbog svojih uticaja na organoleptičke osobine vode za piće (ukus, miris, boja, korozivnost, bojenje), *U.S. EPA* (2012) je bakar

svrstala i u sekundarne kontaminante i odredila sekundarni MCL od 1,0 mg/L. Prema *Direktivi EU (1998)* i *Pravilniku o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće Republike Srpske (2015)*, MDK za bakar u vodi za piće je 2 mg/L.

Cink - Cink u vodu može da dospe prirodnim putem, rastvaranjem minerala iz stena i tla. Međutim, rastvorljivost ruda u vodi je mala što prouzrokuje niske koncentracije cinka u vodi. Visok prirodni nivo cinka u vodi obično je povezan sa većim koncentracijama drugih metala, kao što su olovo i kadmijum. Najviše cinka dospe u vodu ispuštanjem otpadnih voda (iz fabrika za galvanizaciju i rudnika cinka) kao i curenjem iz cevi koje se koriste u distribucionim sistemima.

Konzumiranje voda za piće koja sadrži do 20 mg/L cinka nije pokazalo štetne efekte. Više koncentracije cinka, od 5 mg/L do 30 mg/L, su estetski nepoželjne u vodi za piće zbog pojave mlečnog i masnog filma pri prokuvavanju. Opor ukus se može javiti pri koncentracijama većim od 20 mg/L do 30 mg/L (*Dalmacija i Agbaba, 2006*).

WHO (2011a) nije propisala smernicu za cink, jer u koncentracijama u kojim se nalazi u vodi ne utiče na zdravlje ljudi. *U.S. EPA (2012)* je cink svrstala u sekundarne kontaminante i postavila sekundarni MCL od 5 mg/L. Prema *Pravilniku o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće Republike Srpske (2015)*, MDK za cink je 3 mg/L. *Direktiva EU (1998)* nije propisala smernicu za sadržaj cinka u vodi.

Fosfati - Fosfor se u vodi može naći u obliku ortofosfata, kondenzovanih fosfata, organskih fosfata i ukupnog fosfata koji uključuje sve oblike. Ortofosfat je termodinamički najstabilniji oblik fosfata. Polifosfati su nestabilni i prevode se u ortofosfate (*De Zuane, 1990*). Fosfor prisutan u vodi za piće ne predstavlja problem po zdravlje ljudi.

Izvorišta mogu da sadrže fosfate usled prirodnog kontakta sa mineralima ili zbog zagađenja uzrokovanog otpadnim vodama iz naselja i industrije ili prekomernom primenom veštačkih đubriva. Podzemne vode češće imaju višu koncentraciju fosfata.

Sadržaj ortofosfata u vodi za piće nije regulisan od strane vodećih evropskih i svetskih organizacija (*WHO, 2011a; U.S. EPA, 2012; Direktiva EU, 1998*). *Pravilnik o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće Republike Srpske (2015)* postavio je MDK za ortofosfate od 0,15 mg/L ($\approx 0,049 \text{ mgPO}_4^{3-}\text{-P/L}$).

Gvožđe - Zbog svoje velike rasprostranjenosti u Zemljinoj kori, gvožđe se može prirodno naći u podzemnoj vodi, ali i usled antropogenog delovanja kao što je ispuštanje industrijskih i otpadnih voda iz rudnika, curenja sa deponija, kao i usled korozije cevi i rezervoara. U vodi može biti prisutan u obliku rastvornih Fe^{2+} soli i nerastvornih Fe^{3+} soli. U podzemnoj vodi, usled vladanja anaerobnih uslova, i pri pH vrednosti od 5 do 8, gvožđe je u vidu rastvorenih Fe^{2+} soli. Kada podzemna voda dospe na površinu, dolazi u kontakt sa vazдушnim kiseonikom i otpočinje proces oksidacije kojim se CO_2 oslobađa iz podzemne vode. pH vrednost vode raste, a Fe^{2+} joni se oksiduju do Fe^{3+} jona koji se talože u vidu nerastvorenih hidroksida formirajući crvenkasto-braon talog. Gvožđe takođe promovise rast "feroznih bakterija". Ove bakterije za svoj rast dobijaju energiju upravo iz procesa oksidacije Fe^{2+} u Fe^{3+} jone, što dovodi do formiranja ljigavog sloja u cevima. Ovaj problem se javlja pri koncentracijama gvožđa većim od 0,3 mg/L (*Health Canada, 1990*). Ove bakterije nisu štetne po zdravlje ljudi, ali mogu dovesti do začepljena vodovodnih sistema (*Wilson i sar., 1999*).

Prisustvo gvožđa u vodi namenjenoj za kućnu upotrebu nepoželjno je iz više razloga koji nisu povezani sa zdravljem ljudi (*Walker, 1978; Dillman i sar., 1980; Cohen, 1960*). Pri pH vrednostima koji vladaju u vodi za piće, Fe^{2+} soli su nestabilne i reaguju sa vodom formirajući hidrokside, koji se talože kao sluzave, rdaste soli. Voda pod ovim uslovima je često neprihvatljivog ukusa i izgleda i može da oboji veš i vodovodne cevi. U distribucionom sistemu, gvožđe može da se istaloži i postepeno smanji protok vode kroz cevi. Takođe, gvožđe može da unapredi razvoj feroznih bakterija, što dovodi do formiranja sluzavih naslaga na površini distribucionih cevi.

U koncentracijama u kojima se javlja u prirodnim vodama, gvožđe ne predstavlja rizik po zdravlje ljudi, zbog čega *WHO* (2011a) nije preporučila smernice. Međutim, u koncentracijama iznad 0,3 mg/L može da se razvije mutnoća i boja, a usled rasta feroznih bakterija dolazi do oblaganja cevi sluzastim naslagama. *U.S. EPA* (2012) je svrstala gvožđe u sekundarne kontaminante i odredila sekundarni MCL od 0,3 mg/L. Razlog tome je njegov uticaj na organoleptičke karakteristike vode: zardala boja vode, metalni ukus, crvenkasto ili narandžasto bojenje. *Direktiva EU* (1998) je za gvožđe u vodi za piće postavila MDK od 0,2 mg/L. *Pravilnikom o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće Republike Srpske* (2015), nije postavljena MDK za gvožđe u okviru neorganskih parametara, već je data MDK od 0,2 mg/L u slučaju kada se soli gvožđa koriste kao koagulaciona i flokulaciona sredstva.

Hloridi - Prisustvo hlorida u podzemnoj vodi može biti prirodnog i antropogenog porekla. Mogu da se jave kao posledica spiranja soli sa puteva, korišćenja neorganskih đubriva, curenja deponija, septičkih jama, industrijskih otpadnih voda, morske vode itd.

Hloridi povećavaju provodljivost vode i tako povećavaju korozivnost. U metalnim cevima, hloridi reaguju sa metalnim jonima formirajući rastvorljive soli čime se povećava koncentracija metala u vodi za piće. Hloridi sami po sebi nisu toksični za ljude. Zbog toga *WHO* (2011a) nije propisala smernicu za hloride. Prema *U.S. EPA* (2012), koncentracije hlorida u vodi za piće takođe ne predstavljaju rizik po zdravlje ljudi, zbog čega je propisala sekundarni MCL od 250 mg/L. Pri većim koncentracijama od navedene, hloridi izazivaju slan ukus vode. Prema *Direktivi EU* (1998) i *Pravilniku o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće Republike Srpske* (2015) MDK za hloride je 250 mg/L.

Hrom - Hrom može da dospe u vodu rastvaranjem prirodnih ruda i minerala ili kontaminacijom iz različitih industrijskih procesa koji koriste hrom za metalne legure, obradu drveta, štavljenje kože i kontrolu korozije (*Kimbrough i sar., 1999*). Distribucija jedinjenja koja sadrže Cr^{3+} i Cr^{6+} zavisi od redoks potencijala, pH vrednosti, prisustva oksidacionih i redukcionih jedinjenja, kinetike redoks reakcija, formiranja Cr^{3+} kompleksa ili nerastvorljivih Cr^{3+} soli i ukupne koncentracije hroma. Kada je koncentracija hroma niska, Cr^{3+} je prisutan kao monovalentni HCrO_4^- ispod vrednosti pH od 6,5 i dvovalentni CrO_4^{2-} pri pH vrednosti između 6,5 i 10 (*Rai i sar., 1987; Butler, 1967; Tong i King, 1953*). U vodi bez ili sa veoma niskom koncentracijom kiseonika, Cr^{3+} je dominantna čestica koja se nalazi u katjonskom (Cr^{3+} , CrOH^{2+} ili Cr(OH)) ili neutralnom (Cr(OH)_3) obliku u zavisnosti od pH vrednosti (*Rai i sar., 1987; Hem, 1977*). Cr^{3+} je nerastvorljiv (<20 $\mu\text{g/L}$) u intervalu pH vrednosti od 7 do 10, sa minimalnom rastvorljivošću na pH vrednost od 8 (1 $\mu\text{g/L}$) (*Rai i sar., 1987*). U prirodnim mineralima hrom se najčešće nalazi u obliku Cr^{3+} .

S obzirom na to da uticaj na zdravlje ljudi zavisi od oksidacionog stanja hroma, *WHO* (2011a) smatra da treba postaviti posebne smernice za Cr^{3+} i Cr^{6+} . Međutim, trenutne analitičke metode i promenljiva specijacija hroma u vodi, favorizuju postavljanje smernica za ukupni hrom. *WHO* (2011a) je postavila privremenu smernicu za ukupni hrom od 50 $\mu\text{g/L}$. Zbog izazivanja alergijskog dermatitisa, *U.S. EPA* (2012) je postavila MCL i MCLG za ukupni hrom od 100 $\mu\text{g/L}$. Prema *Direktivi EU* (1998) i *Pravilniku o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće Republike Srpske* (2015), koncentracija ukupnog hroma u vodi za piće ne sme da prelazi 50 $\mu\text{g/L}$.

Kadmijum - Kadmijum u životnu sredinu dospeva iz različitih antropogenih izvora kao što su: nusproizvodi prerade cinka, sagorevanje uglja, rudarski otpad, galvanizacioni procesi, proizvodnja gvožđa i čelika, pigmenta, đubriva i pesticida (*Hutton 1983; Pickering i Gast 1972*).

Rastvorljivost kadmijuma u vodi u velikoj meri zavisi od njegove kiselosti. Suspendovan ili za sediment vezan kadmijum može da se rastvori kada se poveća kiselost (*Ros i Slooff, 1987*). Kontaminacija vode za piće može da nastane kao posledica prisustva nečistoće kadmijuma u pocinkovanim cevima i bojlerima. Koncentracija kadmijuma može biti povećana u oblastima koje se snabdevaju mekom vodom sa niskom pH vrednošću, jer ove vode imaju veću tendenciju ka korozivnosti.

WHO (2011a) je propisala smernicu od 3 µg/L. *U.S. EPA* (2012) je za kadmijum postavila MCL i MCLG od 5 µg/L, jer analitičke metode i tehnologije prerade ne predstavljaju nikakvo ograničenje u smislu detekcije i kvantifikacije kadmijuma. *Direktiva EU* (1998) i *Pravilnik o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće Republike Srpske* (2015), takođe su propisali MDK za kadmijum u vodi za piće od 5 µg/L.

Kalcijum - Prisustvo kalcijuma u podzemnoj vodi najčešće je rezultat raspadanja krečnjaka, dolomita, gipsa, aluminosilikata i drugih minerala. Antropogena kontaminacija je manje uobičajena. U vodi preovlađuje kao hidratisan jon. Zbog veće rasprostranjenosti u prirodi, koncentracije kalcijuma u prirodnim vodama veće su od koncentracije magnezijuma. Zajedno sa magnezijumom, najčešće u vidu karbonata i bikarbonata, čini tvrdoću vode. Tvrde vode dovode do taloženja kamenca u cevovodima, slavinama, grejnim telima što smanjuje njihov radni efekat. Dokazano je da meka voda značajno smanjuje sadržaj različitih esencijalnih elemenata (uključujući Ca i Mg) u hrani ako se koristi za kuvanje povrća, mesa i žitarica. Gubici mogu dostići i do 60% za Mg i Ca ili čak i više za neke mikroelemente (npr. Cu 66%, Mn 70%, Co 86%). Nasuprot tome, ukoliko se tvrda voda koristi za kuvanje, dolazi do manjeg gubitka elemenata (*Masironi, 1978; Haring i Van Delft, 1981; Oh i sar., 1986; Durlach, 1988*).

WHO (2011a) je u Uputstvu za kvalitet voda za piće dala procenu za kalcijum i magnezijum sa stanovišta tvrdoće vode, ali nije postavila bilo kakve minimalne ili maksimalne preporučene granice. *Direktiva EU* (1998) takođe nije normirala kalcijum, kao ni

U.S. EPA (2012). *Pravilnik o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće Republike Srpske* (2015) propisao je MDK za kalcijum od 200 mg/L.

Kalijum - Kalijum je esencijalan elemenat za ljude i životinje i veoma retko se nalazi u vodi za piće u koncentracijama koje mogu biti problem po zdravlje ljudi. Zbog velike rasprostranjenosti u zemlji, kalijum može prirodno da se nađe i u podzemnoj vodi. Od antropogenog uticaja, najznačajnije je spiranje oranica na kojima se upotrebljavaju veštačka đubriva. Neželjeni efekti po zdravlje ljudi, zbog unosa kalijuma konzumiranjem vode za piće, do sada nisu primećeni. Intoksikacija kalijumom je retka, jer se kalijum ubrzano izlučuje u odsustvu postojećih oštećenja bubrega i zato što velika doza izaziva povraćanje (*Gosselin i sar., 1984*). Međutim, povećana izloženost kalijumom može da dovede do značajnog uticaja na zdravlje ljudi sa oboljenjima bubrega ili drugih bolesti, kao što su bolesti srca, hipertenzija, dijabetes, nadbubrežna insuficijencija, starijih osoba kod kojih su smanjene fiziološke rezerve u njihovoj funkciji bubrega i/ili kod pojedinaca koji primaju lekove koji ometaju normalni metabolizam kalijuma u organizmu. Odojčad takođe ima ograničene bubrežne rezerve i nezrelu funkciju bubrega i može biti ranjiva (*WHO, 2009*). Poznato je da je veoma važna ravnoteža između unosa natrijuma i kalijuma, jer višak natrijuma može dovesti do iscrpljivanja nivoa kalijuma (*WHO, 2009*).

Sadržaj kalijuma u vodi za piće nije regulisan nacionalnim i međunarodnim standardima.

Kobalt - Izvori kobalta u podzemnoj vodi mogu biti i prirodni i antropogeni. Prirodni izvori uključuju erozije, rastvaranja stena i zemljišta, vulkane, šumske požare, kontinentalne i morske biogene emisije. Najveći antropogeni izvori kobalta su: otpadne vode rudnika, odlaganje otpada koji sadrži kobalt, sagorevanje fosilnih goriva i industrije za topljenje i preradu metala. Faktori koji utiču na specijaciju i sudbinu kobalta u vodi, sedimentu i zemljištu su organski ligandi, kao što su huminske kiseline i EDTA, anjoni (Cl^- , OH^- , CO_3^{2-} , HCO_3^- i SO_4^{2-}), pH vrednost i redoks potencijal (*WHO, 2006*).

Sadržaj kobalta u vodi za piće nije regulisan nacionalnim i međunarodnim standardima.

Magnezijum - Magnezijum prisutan u vodi, zajedno sa kalcijumom utiče na tvrdoću vode. U poređenju sa kalcijumom, njegova koncentracija je manja što je rezultat manje rasprostranjenosti u Zemljinoj kori. U vodi se pojavljuje kao hidratisan jon (*Durlach i sar.,*

1989; *Theophanides i sar.*, 1990; *Lowik i sar.*, 1982). U podzemnoj vodi se uglavnom nalazi prirodno, kao posledica rastvaranja ruda i minerala, posebno krečnjaka.

WHO (2011a) je u Uputstvu za kvalitet voda za piće dala procenu za kalcijum i magnezijum sa stanovišta tvrdoće vode, ali nije postavila bilo kakve minimalne ili maksimalne preporučene granice. *Direktiva EU* (1998) takođe nije normirala magnezijum, kao ni *U.S. EPA* (2012). *Pravilnik o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće Republike Srpske* (2015) propisao je MDK za magnezijum od 50 mg/L.

Mangan - Mangan pripada elementima čije se prisustvo u podzemnoj vodi smatra prirodnim (*WHO*, 2011a). Naravno, i usled antropogenog delovanja može dospeti u nju. Ponašanje mangana u vodi slično je ponašanju gvožđa. U vodi može biti prisutan u dve forme: rastvorene Mn^{2+} soli i nerastvorljive Mn^{4+} soli. U podzemnoj vodi, u anaerobnim uslovima, Mn je prisutan u vidu rastvorenog Mn^{2+} jona. Kada podzemna voda dospe na površinu, otpočinje proces oksidacije kojim se CO_2 oslobađa iz podzemne vode, pH vrednost vode raste, a Mn^{2+} joni se oksiduju do Mn^{4+} jona koji se talože u vidu nerastvorenih hidroksida formirajući talog crne boje. Formirani talog oblaže zidove vodovodnih cevi, što dovodi do smanjenja protoka vode a nekad i do potpunog začepljenja. Mangan takođe promovira rast "manganoznih bakterija". Ove bakterije za svoj rast dobijaju energiju upravo iz procesa oksidacije Mn^{2+} u Mn^{3+} , što dovodi do formiranja ljjigavog sloja u cevima. Ovaj problem se javlja pri koncentracijama mangana većim od 0,1 mg/L (*WHO*, 2011a). Ove bakterije nisu štetne po zdravlje ljudi, ali mogu dovesti do začepljenja vodovodnih sistema (*Wilson i sar.*, 1999). Pri koncentracijama mangana većim od 0,1 mg/L, dolazi do lošeg ukusa vode za piće i pojave mrlja na vodovodnim cevima i vešu (*WHO*, 2011a).

WHO (2011a) nije postavila smernicu za mangan, jer u koncentracijama u kojima se nalazi u vodi za piće ne utiče na zdravlje ljudi. Međutim, u koncentracijama većim od 0,1 mg/L izaziva neprijatan ukus u ustima i boji sanitarije i rublje. Takođe, kao i gvožđe, može dovesti do akumuliranja naslaga u distribucionom sistemu. Koncentracije ispod 0,1 mg/L prihvatljive su za potrošače. *U.S. EPA* (2012) je mangan svrstala u sekundarne kontaminante i postavila sekundarni MCL od 0,05 mg/L. Prema *Direktivi EU* (1998) i *Pravilniku o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće Republike Srpske* (2015) MDK za mangan je 0,05 mg/L.

Natrijum - Natrijum i njegova jedinjenja su široko rasprostranjena u prirodi. Rastvaranje depozita soli i kontakt vode sa magmatskim stenama pružaju prirodni izvor natrijuma. Kada je sadržaj natrijuma u zemljištu visok, i koncentracija natrijuma u podzemnoj vodi je visoka. Zahvaljujući rastvorljivosti njegovih soli i rasprostranjenosti mineralnih depozita, natrijum je sveprisutan jon u vodi. Podzemna voda sadrži veće koncentracije soli nego površinska, naročito u područjima sa povećanim sadržajem ovog minerala. Pored prirodnog izvora, natrijum u vodi može biti prisutan i usled antropološkog delovanja. Soli koje se koristi na putevima za topljenje snega i leda ulaze u podzemnu vodu i mogu povećati nivo natrijuma u javnim vodosnabdevanjima. Ostali mogući izvori kontaminacije vode natrijumom su kanalizacione i otpadne vode, mešanje morske vode sa podzemnim vodama u priobalnim oblastima, korišćenje jedinjenja natrijuma za kontrolu korozije i u procesima omekšavanja vode. Sadržaj natrijuma značajno varira u zavisnosti od regionalnih i lokalnih hidroloških uslova, doba godine itd.

Natrijum prisutan u vodi utiče na organoleptičke osobine. Prag ukusa je veći od 200 mg/L, bilo da je u obliku hlorida ili sulfata i zavisi od vrste anjona sa kojim je natrijum povezan, temperature i osetljivosti pojedinca (*WHO, 1979*).

WHO (2011a) nije propisala smernicu za natrijum u vodi za piće jer u koncentracijama u kojima se javlja nema štetnog uticaja po zdravlje ljudi. Međutim, koncentracije natrijuma koje prelaze 200 mg/L mogu da utiču na ukus u ustima. *U.S. EPA* (2012) je preporučila da koncentracija natrijuma u vodi za piće bude ispod 20 mg/L. Prema *Pravilniku o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće Republike Srpske* (2015) i *Direktivi EU* (1998), MDK za natrijum je 200 mg/L.

Nikl - Nikl u podzemnu vodu može dospeti rastvaranjem stena i zemljišta, biološkim raspadanjem i ispuštanjem otpada. Mnoga jedinjenja nikla su rastvorljiva u vodi, naročito pri pH vrednostima ispod 6,5. Koncentracija nikla u podzemnoj vodi obično je manja od 20 µg/L (*U.S. EPA, 1986*). Povišen nivo nikla u vodi za piće može postojati kao rezultat korozije legura koje sadrže nikl, a koje se koriste za ventile i ostale komponente u distribucionom sistemu. U prirodnim vodama nikl se uglavnom javlja kao kompleksni jon $[\text{Ni}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$ pri pH vrednostima od 5 do 9. Kompleksi sa ligandima, kao što su OH^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , Cl^- i NH_3 formiraju se u manjem stepenu u ovom opsegu pH vrednosti (*IPCS, 1991*).

WHO (2011a) je postavila smernicu za nikel od 70 µg/L. U.S. EPA (2012) trenutno nije postavila smernicu za nikel u vodi za piće. Prema *Pravilniku o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće Republike Srpske* (2015) i *Direktivi EU* (1998), MDK za nikel u vodi za piće je 20 µg/L.

Nitrati i nitriti - Nitrati (NO_3^-) i nitriti (NO_2^-) su sveprisutni i prirodni joni koji se nalaze u okolini. Oba su proizvod oksidacije azota bakterijama i neophodni su živim sistemima za proizvodnju složenih organskih molekula, kao što su proteini i enzimi (*IARC, 2010*). Nitrat je stabilniji oblik oksidovanog azota, ali se pod anaerobnim uslovima i u prisustvu izvora organskog ugljenika, mikrobiološkom aktivnošću može redukovati u NO_2^- , koji je relativno nestabilan i umereno reaktivan. U uslovima niske koncentracije kiseonika, proces denitrifikacije redukuje NO_2^- u gasoviti N_2 (*Health Canada, 2013*).

Nitrati i nitriti u vodu mogu dospeti prirodno, ali su antropogeni procesi najčešći izvori kao što su: prekomerna upotreba neorganskih azotnih đubriva i stajnjaka na oranicama, otpadne komunalne vode, septičke jame, ocedne vode sa farmi, otpadne vode industrija itd. Nitrit je nestabilan oblik azota i relativno brzo se bakterijama prevodi u nitrat, zbog čega je koncentracija nitrita u ekološkoj sredini kao što je voda veoma mala čak i kad je koncentracija nitrata visoka (*Health Canada, 2013*).

Prema WHO (2011a), granična vrednost za nitrata u vodi za piće je 50 mg/L (ili 11 mg NO_3^- -N/L). Ona se zasniva na epidemiološkim dokazima za methemoglobinemiju kod dece, koja se javlja posle kratkog izlaganja. Granična vrednost za nitrite je 3 mg/L (ili 0,9 mg NO_2^- -N/L). Zbog mogućeg istovremenog nalaženja nitrata i nitrita u vodi za piće, suma odnosa koncentracije svake komponente i njegove granične vrednosti ne sme da prelazi 1.

$$\frac{c_{\text{NO}_3}}{50} + \frac{c_{\text{NO}_2}}{3} \leq 1$$

U.S. EPA (2012) je za nitrata (merene kao N) i nitrite (merene kao N) postavila MCL od 10 mg NO_3^- -N/L i 1 mg NO_2^- -N/L. Odojčice mlađe od šest meseci koje pije vodu koja sadrži nitrata i nitrite u koncentracijama većim od maksimalnog kontaminacionog nivoa može da se razboli pa čak i umre. Simptomi uključuju kratak dah i sindrom plave bebe. Prema *Direktivi EU* (1998), gornja granica za prisutnost nitrata i nitrita u vodi za piće je 50,0 mg/L, odnosno 0,5 mg/L, pod uslovom da je $\{[\text{nitrati}]/50 + [\text{nitriti}]/3\} \leq 1$. Prema *Pravilniku o zdravstvenoj ispravnosti vode Republike Srpske* (2015), MDK za nitrata je 50,0 mg/L a za nitrite 0,5 mg/L.

Olovo - Olovo prisutno u životnoj sredini je pre svega rezultat antropogenih aktivnosti. Rastvorljivost olovnih jedinjenja u podzemnoj vodi zavisi od pH vrednosti, tvrdoće vode, saliniteta i prisustva huminskog materijala. Rastvorljivost je veća u mekoj i kiseljoj vodi. Olovna jedinjenja prisutna u prirodi mogu se transformisati u druga jedinjenja, tako da olovo kao element ne može biti uništen. Antropogeni izvori olova su: rudnici i procesi topljenja rude, proizvodnja jedinjenja koja sadrže olovo, sagorevanje uglja i nafte, kao i spaljivanje otpada. Mnogi antropogeni izvori olova, kao što su olovni benzin, boje na bazi olova, olovo-arsenat pesticidi, kao i oružje, su eliminisani ili strogo regulisani zbog otpornosti i toksičnosti olova. Olovo se u vodi za piće može naći i kao posledica rastvaranja vodovodnih sistema koji sadrže olovo. Cevi od polivinilhlorida sadrže komponente olova koje se mogu isprati iz njih i dovesti do povećanja koncentracije olova u vodi za piće. Rastvaranje olova iz vodovodnih sistema zavisi od mnogo faktora, kao što su prisustvo hlorida i rastvorenog kiseonika, pH vrednosti, temperature, mekoće vode i vremena stajanja vode (Schock, 1989; Schock, 1990).

WHO (2011a) je za olovo postavila privremenu smernicu od 10 µg/L koja se bazira na tretman tehnici i analitičkoj prihvatljivosti. U.S. EPA (2012) je za MCLG postavila nulu, dok MCL od 15,0 µg/L predstavlja nivo akcije za tretman tehniku. U.S. EPA (2012) je koncentracije olova i bakra regulisala tretman tehnikom koja zahteva sisteme za kontrolu korozivnosti vode. Ako više od 10% uzoraka česemske vode prelazi akcioni nivo, za takve vodovodne sisteme se moraju preduzeti dodatni koraci. Za bakar, akcioni nivo je 1,3 mg/L, a za olovo 0,015 mg/L. Prema *Pravilniku o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće Republike Srpske* (2015) i *Direktivi EU* (1998), MDK za olovo u pijaćoj vodi je 10 µg/L.

Selen - Koncentracije selena u podzemnoj vodi obično su veoma niske, što je posledica njegove male rasprostranjenosti u prirodi. Antropogeni izvori selena u podzemnoj vodi su: otpadne vode rafinerije bakra i olova, komunalne otpadne vode i mesta za odlaganje opasnih otpada.

WHO (2011a) je propisala privremenu smernicu za selen od 40 µg/L zbog nedostatka naučnih podataka koji govore o štetnom efektu prekomernog unošenja selena. U.S. EPA (2012) je postavila MCL i MCLG od 50 µg/L, jer visoke koncentracije dovode do gubitka kose i noktiju, ukočenosti prstiju i cirkularnih problema. *Direktiva EU* (1998) i *Pravilnik o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće Republike Srpske* (2015), su strožiji u pogledu smernice za selen, jer je MDK za selen 10 µg/L.

Sulfati - Sulfati se u podzemnoj vodi mogu naći prirodno i kao posledica antropogenog dejstva. Sulfati se u akvatičnu sredinu ispuštaju preko industrijskih voda koje koriste sulfate i sumpornu kiselinu. Atmosferski SO₂, formiran sagorevanjem fosilnih goriva i metalurških procesa prženja, takođe može doprineti pojavi sulfata u površinskoj vodi. Takođe je primećeno da je nivo SO₂ u površinskoj vodi u korelaciji sa nivoom SO₂ emitovanog iz antropogenih izvora (Keller i Pitblade, 1986).

Voda za piće sa visokom koncentracijom sulfata (većom od 600 mg/L) ima efekat katarze (U.S. DHEW, 1962). Iako se ljudi mogu prilagoditi visokim koncentracijama, dehidracija se takođe može javiti kao neželjeni efekat unosa visokih koncentracija MgSO₄ ili Na₂SO₄ (Fingl, 1980). Deca i starije osobe su populacija sa visokim rizikom od dehidracije do dijareje koje mogu biti izazvane visokim nivoom sulfata u vodi za piće (U.S. EPA, 1999a; U.S. EPA, 1999b). Međutim, dijareja se ne može objasniti kao isključivo izlaganje visokim nivoima sulfata jer i drugi faktori igraju ulogu u tome. Istraživanja su pokazala da konzumiranje vode koja sadrži više od 1000 mg/L sulfata ima laksativno dejstvo (U.S. EPA, 1999b).

Pregledom literature i studija koje se odnose na eksperimentalno određivanje doze sulfata koja izaziva zdravstvene tegobe kod odraslih, WHO (2011a) je zaključila da nije moguće postaviti standarde. Međutim, zbog gastrointestinalnih problema preporučljivo je da zdravstveni organi budu obavešteni ukoliko voda za piće sadrži sulfate u koncentraciji većoj od 500 mg/L. U.S. EPA (2012) je svrstala sulfate u sekundarnu grupu kontaminanata i postavila sekundarni MCL od 250 mg/L. Prema Direktivi EU (1998), pod uslovom da voda nije agresivna, i prema Pravilniku o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće Republike Srpske (2015), MDK za sulfate je 250 mg/L.

1.5.3 Poređenje vrednosti maksimalno dozvoljenih koncentracija fizičkih i hemijskih parametara u vodi za piće

Smernice za kvalitet vode za piće uspostavljaju se na međunarodnom i nacionalnom nivou. Smernice su izvedene za mnoge fizičko-hemijske i mikrobiološke parametre vode za piće. Vrednosti smernica za hemijske osobine vode za piće predstavljaju koncentracije konstituenata koje ne predstavljaju rizik po zdravlje ljudi nakon izlaganja tokom čitavog

života i obično su izražene kao maksimalno dozvoljene koncentracije. Ovim smernicama su obuhvaćeni metali i jedinjenja koja u velikoj meri utiču na kvalitet vode sa hemijskog aspekta i na njene organoleptičke osobine. Takođe, postoje hemijski parametri koji se u vodi mogu naći u koncentracijama koje nisu opasne po zdravlje ljudi, tako da za njih nisu propisane odgovarajuće smernice. U Republici Srpskoj, kvalitet vode za piće je regulisan *Pravilnikom o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće* (Službeni glasnik Republike Srpske br. 75/15). Pravilnik je donet u skladu sa smernicama *WHO* iz 2011a. i predlogom *Direktive EU* iz 1998.

Primarni cilj smernica *WHO* (2011a) za kvalitet vode za piće je zaštita zdravlja ljudi. Smernice daju preporuke *WHO* za upravljanje rizikom od opasnosti koje mogu ugroziti vodu za piće. Smernice se odnose na hemijske parametre u vodi za kućnu upotrebu (piće, pripremu hrane i za ličnu higijenu), kao i na pakovanu vodu i led namenjen za ljudsku upotrebu. Vrednosti smernica predstavljaju koncentracije konstituenata koje ne predstavljaju rizik po zdravlje ljudi nakon izlaganja tokom čitavog života. Privremene smernice su uspostavljene na osnovu performansi tretmana ili analitičke prihvatljivosti. U ovom slučaju smernica je veća od vrednosti izračunate na osnovu zdravstvenih problema. S druge strane, neka hemijska jedinjenja za koja nisu postavljene smernice od strane *WHO*, mogu biti od lokalnog značaja pod posebnim okolnostima, samim tim obuhvaćena nacionalnim standardima i monitoringom. Hemijska jedinjenja i njihove smernice date u uputstvu *WHO* (2011a) nemaju nameru da budu obavezne, ali mogu biti naučno polazište u postavljanju nacionalnih standarda. Ne postoji jedinstven pristup, već standardi variraju od zemlje do zemlje i regiona. U razvoju nacionalnih standarda treba uzeti u obzir razne životne, socijalne, kulturne, ekonomske i druge uslove.

Direktiva o kvalitetu vode za ljudsku upotrebu stupila je na snagu decembra 1998. godine (*Directiva 98/83/EC*) i ona se odnosi na vodu namenjenu javnoj upotrebi. Cilj Direktive je da zaštiti zdravlje ljudi od štetnih efekata kontaminirane vode koja je namenjene za upotrebu i da osigura da takva voda bude zdrava i čista.

U.S. EPA (2012) je američki nacionalni standard vode za piće. Ovim standardom su regulisani fizičko-hemijski i mikrobiološki zagađivači vode za piće kroz nacionalne primarne i sekundarne propise. Nacionalni primarni propisi su zakonski obavezujući standardi koji se odnose na javne vodovodne sisteme. Nacionalni sekundarni propisi su standardi koji nisu zakonski obavezni i oni regulišu zagađivače koji mogu prouzrokovati kozmetičke efekte (kao što su promene boje kože ili zuba) ili estetske efekte (miris, ukus ili boju) u vodi za piće.

U tabeli 1. dat je pregled preporučenih i maksimalno dozvoljenih vrednosti fizičko-hemijskih parametara u vodi za piće koje su propisale *WHO* (2011a), *U.S. EPA* (2012), *EU Direktiva* (1998) i *Pravilnik o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće Republike Srpske* (2015).

Tabela 1. Pregled preporučenih i maksimalno dozvoljenih vrednosti fizičkih i hemijskih parametara u vodi za piće, propisanih od strane nacionalne i međunarodnih organizacija

| Parametar | Jedinica | WHO (2011a) | U.S. EPA (2012) | Direktiva EU (1998) | Pravilnik o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće Republike Srpske (2015) |
|-------------------------------|---------------|-------------|-----------------|---------------------|---|
| pH vrednost | | ** | 6,5-8,5* | 6,5-9,5 | 6,5-9,5 |
| Električna provodljivost | μS/cm na 20°C | / | / | 2500 | 2500 |
| Temperatura vode | °C | / | / | / | / |
| NH ₄ ⁺ | mg/L | ** | / | 0,5 | 0,5 |
| NO ₃ ⁻ | mg/L | 50 | 44 | 50 | 50 |
| NO ₂ ⁻ | mg/L | 3 | 3,3 | 0,5 | 0,5 |
| PO ₄ ³⁻ | mg/L | / | / | / | 0,15 |
| Cl ⁻ | mg/L | ** | 250* | 250 | 250 |
| SO ₄ ²⁻ | mg/L | ** | 250* | 250 | 250 |
| Na | mg/L | ** | / | 200 | 200 |
| K | mg/L | ** | / | / | / |
| Ca | mg/L | / | / | / | 200 |
| Mg | mg/L | / | / | / | 50 |
| Fe | mg/L | ** | 0,3* | 0,2 | 0,2 |
| Mn | mg/L | ** | 0,05* | 0,05 | 0,05 |
| Zn | mg/L | ** | 5* | / | 3 |
| As | μg/L | 10*** | 10 | 10 | 10 |
| Cd | μg/L | 3 | 5 | 5 | 5 |
| Co | μg/L | / | / | / | / |
| Cu | mg/L | 2 | 1,3****(1,0*) | 2 | 2 |
| Cr (ukupni) | μg/L | 50*** | 100 | 50 | 50 |
| Ni | μg/L | 70 | / | 20 | 20 |
| Pb | μg/L | 10*** | 15,0**** | 10 | 10 |
| Sb | μg/L | 20 | 6 | 5 | 5 |
| Se | μg/L | 40*** | 50 | 10 | 10 |

* svrstan u sekundarne kontaminante od strane *U.S. EPA* (2012)

** nije postavljena smernica jer se u vodi javlja u koncentracijama koje ne utiču na zdravlje ljudi

*** privremena smernica

**** regulisan tretman tehnikom

1.6 Mikrobiološki parametri

Mikrobiološki parametri su jedni od najvažnijih parametara kvaliteta vode za piće. Sa aspekta higijenske ispravnosti najvažnije je da voda ne sadrži patogene mikroorganizme i viruse. Bolesti hidričnog porekla, među kojima su i najčešće različite crevne infektivne bolesti (trbušni tifus, bacilarna i trbušna dizenterija, kolera itd.) podrazumevaju da je voda glavno sredstvo transmisije infektivnog agensa. U prirodi nema sterilne vode, osim ukoliko je čovek određenim postupcima ne sterilise za specijalne potrebe. Od vode za piće se ne zahteva da bude sterilna, već da brojnost mikroorganizama u njoj bude smanjena na određenu (dozvoljenu) meru i posebno da ne sadrži patogene mikroorganizme. S obzirom na to da je voda za piće potencijalni izvor velikog broja infektivnih oboljenja, mikrobiološkom kvalitetu vode za piće se poklanja posebna pažnja.

Iako mikroorganizmi mogu menjati ukus i boju vode ili stvarati probleme prilikom tehnološkog procesa, zakonska regulativa se prvenstveno odnosi na prisustvo i brojnost patogenih mikroorganizama i na propisane tehnike za njihovu posrednu ili neposrednu detekciju u vodi za piće. Praktično je nemoguće detektovati prisustvo ili odsustvo svakog pojedinačnog patogena, što zbog komplikovanosti metoda, materijalnih izdataka i/ili vremenskog ograničenja. Zbog toga se u rutinkom praćenju mikrobiološkog kvaliteta vode za piće koriste *indikatorski* i *indeks* mikroorganizmi. Indikatorski mikroorganizmi obuhvataju opšte mikrobiološke indikatore i indikatore fekalnog zagađenja vode. Indeks mikroorganizmi koriste se kao pokazatelji prisustva patogenih mikroorganizama (*Dalmacija i Agbaba, 2006*).

Ukupan broj heterotrofnih bakterija - Ukupan broj aerobnih mezofilnih heterotrofnih bakterija je polazni parametar u proceni mikrobiološkog kvaliteta vode za piće. On podrazumeva mikroorganizme koji normalno nastanjuju prirodne vode (tzv. autohtoni mikroorganizmi), ali i mikroorganizme koji su naknadno dospeli u vodu i kontaminirali je (alohtoni mikroorganizmi). Uslovi koji pogoduju razvoju ovih bakterija su povoljna temperatura (36 °C), prisustvo dovoljne količine usvojivog organskog ugljenika i aerobni uslovi (*Dalmacija i Agbaba, 2006*).

Određivanjem ukupnog broja heterotrofnih mikroorganizama detektuje se širok spektar kako heterotrofnih bakterija, tako i mikroglijiva, na osnovu njihove sposobnosti da

rastu na bogatoj hranljivoj sredini, bez inhibitora ili selektivnih agenasa, tokom određenog perioda inkubacije i na definisanoj temperaturi. Spekter vrsta detektovanih ukupnim brojem heterotrofnih bakterija obuhvata bakterije osetljive na dezinfekcione procese, kao što su koliformne bakterije, sporogene bakterije otporne na dezinfekciju, i bakterije koje se brzo razmnožavaju u tretiranoj vodi u odsustvu rezidualnog dezinfekcionog sredstva. Standardni testovi detektuju samo mali deo ukupnih heterotrofa. U upotrebi je širok spekter hranljivih medijuma, različite temperature inkubacije, od 20 °C do 37 °C, kao i različiti periodi inkubacije, od nekoliko sati do 7 ili više dana (WHO, 2011a).

Određivanje ukupnog broja heterotrofnih bakterija ima malu vrednost kao pokazatelj prisustva patogena, ali se može koristiti u operativnom monitoringu kao indikator dezinfekcije, gde je cilj održavanja što manjeg broja ovih bakterija. Takođe, ukupan broj heterotrofnih bakterija se može koristiti i u proceni čistoće i integriteta distribucionih sistema i prisustva rasta bakterija u biofilm formacijama na dodirnim površinama sa vodom (WHO, 2011a).

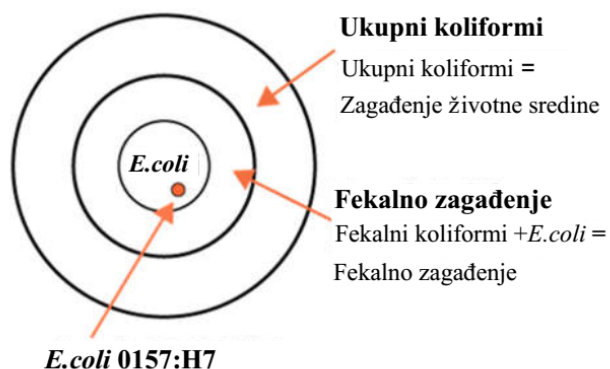
Određivanje ukupnih aerobnih bakterija na (22 ± 2) °C i (36 ± 2) °C u vodi za piće spada u osnovne analize i prema *Pravilniku o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće Republike Srpske* (2015) maksimalno dozvoljen broj ukupnih aerobnih bakterija na (22 ± 2) °C je 300 CFU/mL i na (36 ± 2) °C 100 CFU/mL.

U.S. EPA (2012) je ukupan broj heterotrofnih bakterija regulisala tretman tehnikom po kojoj taj broj ne sme da bude veći od 500 CFU/mL. Prema *Direktiva EU* (1998), smernice za ove parametre se odnose samo na flaširanu vodu.

Ukupne koliformne bakterije - Koliformne bakterije podrazumevaju štapičaste, pokretne ili nepokretne, Gram-negativne, asporogene, fakultativno anaerobne, oksidaza negativne bakterije (familija *Enterobacteriaceae*), koje imaju mogućnost rasta u prisustvu relativno visokih koncentracija žučnih soli i koje fermentišu laktozu sa produkcijom gasa i kiseline ili aldehida, u toku 24 h na 35 °C do 37 °C. U ovu grupu spadaju *Escherichia coli*, kao i pripadnici rodova *Klebsiella*, *Enterobacter* i *Citrobacter*, a u širem smislu i predstavnici rodova *Serratia*, *Hafnia* i dr. (WHO, 2004a; De Zaune, 1997). U procesu fermentacije laktoze, ukupne koliformne bakterije proizvode enzim β -galaktozidazu. Grupa ukupnih koliforma uključuje saprofitne vrste životne sredine (prirodnih voda i zemljišta) i koliforme fekalnog porekla u kanalizaciji (WHO, 2011a).

Ukupan broj koliformnih bakterija podrazumeva i fekalne koliformne bakterije (slika 14.), tako da odsustvo koliformnih bakterija može preliminarno da ukaže na odsustvo fekalne kontaminacije vode (*Dalmacija i Agbaba, 2006*).

Ukupni koliformni, fekalni koliformni i *E.coli*



Slika 14. Ukupne koliformne bakterije

Prema *Pravilniku o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće Republike Srpske (2015)* za ukupne koliformne bakterije, dozvoljeno je 10 CFU u 100 mL uzorka vode.

Prema propisima *WHO (2011a)*, *U.S. EPA (2012)* i *Direktivi EU (1998)*, ukupne koliformne bakterije ne smeju biti prisutne u analiziranom uzorku.

Termotolerantne bakterije - Termotolerantne bakterije se definišu kao grupa koliformnih bakterija koje su sposobne da fermentišu laktozu na 44 °C do 45 °C. U ovu grupu bakterija spada prvenstveno *E. coli* i vrste rodova *Klebsiella*, *Citrobacter* i *Enterobacter* (*WHO, 2011a*). Od ovih bakterija, samo je *E. coli* fekalnog porekla, jer se nalazi u fecesu ljudi i toplokrvnih životinja, i retko se nalazi u vodi ili zemljištu koje nije zagađeno fekalijama. Termotolerantne koliformne bakterije, osim *E. coli*, mogu poticati iz vode obogaćene organskim materijama poreklom iz industrijskih efluenata, degradiranog biljnog materijala ili zemljišta. Prisustvo i brojnost ove grupe organizama u vodi za piće utvrđuje se na isti način kao i prisustvo i brojnost ukupnih koliforma. Razlika je jedino u tome što se kod njih inkubacija vrši na 44 °C.

Escherichia coli pripada porodici *Enterobacteriaceae* i normalni je stanovnik crevnog trakta ljudi i životinja. *Escherichia coli* koja je prisutna u humanom gastrointestinalnom sistemu je bezopasna po zdravlje ljudi. Međutim, u drugim delovima tela *E. coli* može da izazove ozbiljne intestinalne i ekstraintestinalne infekcije. Na osnovu mehanizama patogenih procesa razlikuje se pet tipova intestinalnih infekcija: enterotoksigena *E. Coli* (ETEC) poznata kao putnička dijareja; enteropatogena *E. Coli* (EPEC) koja izaziva dijareju kod dece; enterohemoragična *E. Coli* (EHEC) koja napada ćelije debelog creva gde produkuje endotoksin egzotoksin (verotoksin ili *shiga-like* toksin) izazivajući nekoliko formi krvne dijareje (hemoragični colitis); enteroagregativne *E. coli* (EAEC) izazivaju akutnu i hroničnu dijareju (koja traje duže od 14 dana), i enteroinvazivne *E. coli* (EIEC) izaziva sindrom sličan dizenteriji sa temperaturom i krvavim stolicama i takođe izaziva putničku dijareju naročito kod mlađe dece (*Berger-Jekić i sar., 1997*).

Escherichia coli se od ostalih sojeva razlikuje na osnovu većeg broja osobina, od kojih je najvažnija produkcija indola iz triptofana i produkcija enzima-beta glukuronidaze. Raste na temperaturi od 44 °C do 45 °C u kompleksnoj sredini, fermentiše laktozu i manitol uz produkciju kiseline i gasa (WHO, OECD, 2003). *Escherichia coli* je normalan stanovnik crevnog trakta i jasno je da je ona dobar pokazatelj fekalnog zagađenja. Metoda određivanja brojnosti fekalnih koliforma manje je osetljiva u poređenju sa određivanjem brojnosti ukupnih koliforma, pošto je njihova brojnost uvek manja od brojnosti ukupnih koliformnih bakterija (*Dalmacija i Agbaba, 2006*).

Escherichia coli i ostale termotolerantne koliformne bakterije obično se određuju u 100 mL uzorka. Raznovrsne, relativno jednostavne i dostupne procedure su zasnovane na laktoza + testu tj. procesu fermentacije laktoze uz proizvodnju kiseline i gasa, ili na indol + testu tj. produkciji indola uz pomoć enzima β -glukuronidaze. Procedure uključuju membransku filtraciju, potom inkubaciju membranskog filtra na selektivnim podlogama na temperaturi od 44 °C do 45 °C i brojanje kolonija nakon 24 h. Alternativni tehnika je određivanje najverovarnijeg broja (*WHO, 2011a*).

Prisustvo *E. coli* pruža dokaze o fekalnoj kontaminaciji, a detekcija bi trebalo da dovede do razmatranja postupaka koje treba preduzeti, a pre svega dalje uzorkovanje i ispitivanje potencijalnih izvora kontaminacije.

Pravilnikom o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće Republike Srpske (2015) i smernicom koju je postavila *WHO (2011a)*, voda ne sme da sadrži termotolerantne koliformne bakterije.

Intestinalne fekalne streptokoke - Termin "fekalne streptokoke" odnosi se na one streptokoke koje su generalno prisutne u fecesu ljudi i životinja. Taksonomski pripadaju rodovima *Enterococcus* i *Streptococcus*. To su Gram-pozitivne, jajoliko izdužene koke, raspoređene u parove ili kratke lance. Na krvnom agaru ne stvaraju zone hemolize pa se još nazivaju i nehemolitičke streptokoke. Fekalne streptokoke su takođe dobar pokazatelj fekalnog zagađenja vode za piće. Ključne ekofiziološke karakteristike ovih bakterija su rast u prisustvu 6,5% natrijum hlorida, pri pH vrednostima 9,6 i na temperaturi od 45 °C. Fekalnim streptokokama pripada nekoliko vrsta enterokoka (*Enterococcus faecalis*, *Enterococcus faecium*, *Enterococcus durans* i *Enterococcus hirae*, *Streptococcus bovis* i *Streptococcus equinus*) (*Ashbolt i sar., 2001*). Ovi mikroorganizmi su primarno normalni crevni mikrobionti ljudi i toplokrvnih životinja i u njihovom fecesu nalaze se u velikom broju. Brojnost ove grupe bakterija u vodi za piće određuje se tehnikom membranske filtracije uz upotrebu selektivnih podloga i inkubaciji na temperaturi od 35 °C do 37 °C u toku 48 h. Određivanje prisustva ovih bakterija u vodi za piće spada u osnovne analize i nije dozvoljen nalaz ovih bakterija u 100 mL uzorka vode (*Pravilnik o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće Republike Srpske, 2015*).

Pseudomonas aeruginosa - *Pseudomonas aeruginosa* je član familije *Pseudomonadaceae* i to je Gram-negativan, aeroban, štapić sa unipolarnom pokretljivošću. Produkuje mnoge pigmente kao što su: piocijanin (plavo-zeleni), fluorescein (žuto-zeleni fluorescentni pigment) i piorubrin (crveno-braon). *Pseudomonas aeruginosa*, kao i drugi pripadnici ovoga roda proizvodi katalaze, oksidaze i amonijak iz arginina, nema sposobnost fermentacije ugljenih hidrata, ali može da raste na citratu kao jedinom izvoru ugljenika (*WHO, 2011a*).

Pseudomonas aeruginosa je oportunistički patogen kod imunodeficijentnih osoba (naročito nakon operacija i povreda – rane i opekotine). Može izazvati meningitis, infekcije pluća, urinarnog i gastrointestinalnog trakta, kože (dermatitis), oka i infekcije rana (*WHO, 2011a*).

Pseudomonas aeruginosa je čest mikroorganizam životne sredine i može se naći u fecesu, zemljištu, vodi i kanalizaciji. Može se razmnožavati u vodenim sredinama i na površini odgovarajućih organskih materija u dodiru sa vodom. Izolovan je iz većine vlažnih sredina kao što su sudopera, topli vodeni sistemi, tuš kabine i bazeni. Glavni put infekcije je izlaganje osetljivih tkiva, naročito rana i sluzokože, kontaminiranoj vodi ili kontaminiranim hirurškim instrumentima. Čišćenje kontaktnih sočiva sa kontaminiranom vodom može da izazove oblik keratitisa.

Pseudomonas aeruginosa nije od posebnog značaja sa zdravstvenog aspekta kada je reč o vodi namenjenoj za konzumiranje, pošto ingestija ovih bakterija kod zdravih ljudi ne uzrokuje oboljenje. Značaj ove bakterije ogleda se u promeni turbiditeta, ukusa i mirisa flaširane vode i vode iz distribucionog sistema. *Pseudomonas aeruginosa* je osetljiv na dezinfekciju i nakon ulaska u distribicioni sistem, njegov broj se može smanjiti adekvatnom dezinfekcijom (Dalmacija i Agbaba, 2006).

On se detektuje kao deo ukupnih aerobnih mezofilnih bakterija (Dalmacija i Agbaba, 2006). Određivanje prisustva *P. aeruginosa* u vodi za piće spada u osnovne analize i Pravilnikom o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće Republike Srpske (2015) nije dozvoljeno prisustvo ovih bakterija u 100 mL uzorka vode. Prema Direktivi EU (1998) nije dozvoljeno prisustvo *P. aeruginose* samo u flaširanoj vodi.

Sulfito-redukujuće bakterije - Osnovna karakteristika Gram-pozitivnih, anaerobnih, sulfito-redukujućih bakterija roda *Clostridium* je da su ekstremno otporne na nepovoljne uslove spoljašnje sredine (UV i γ zračenje, niske i visoke temperature, dezinficijensi, itd.) zahvaljujući formiranju visoko rezistentnih endospora. Kada se govori o ovoj grupi bakterija prvenstveno se misli na *Clostridium perfringens*, koji je normalan stanovnik crevnog trakta životinja i od 13% do 35% ljudi. To je štapićasta, pokretna, Gram-pozitivna bakterija koja formira endospore. Obrazuje izdignute, široke, rapave kolonije sa nepravilnim marginama. Brojnost ove bakterije u fecesu većine životinja i ljudi je znatno manja od brojnosti *E. coli*. Sulfito-redukujuće klostridije se detektuju tehnikom membranske filtracije, uz prethodnu obradu uzorka na 80 °C tokom 10-15 min, u cilju uklanjanja vegetativnih oblika drugih bakterija koje takođe imaju mogućnost redukcije oksidovanih sumpornih jedinjenja i rasta u anaerobnim uslovima (Dalmacija i Agbaba, 2006).

Određivanje prisustva sulfito-redukujućih klostridija u vodi za piće spada u osnovne analize i dozvoljeno je prisustvo 1 CFU/100 mL uzorka (*Pravilnik o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće Republike Srpske, 2015*).

***Proteus* vrste** - Vrste roda *Proteus* (*P. mirabilis*, *P. vulgaris* i *P. myxofaciens*) pripadaju familiji *Enterobacteriaceae* i dobar su pokazatelj fekalne kontaminacije. To su Gram-negativni kokobacili koji se javljaju pojedinačno, u parovima i u kratkim lancima. Brzo se kreću pomoću peritrihalno raspoređenih bičeva. Ne obrazuju kapsule, ni spore. Njihove kulture imaju karakterističan miris na trulež. Nijedna vrsta roda *Proteus* ne fermentiše laktozu. Sve vrste brzo hidrolizuju ureu. Prisustvo bakterija ovog roda u vodi za piće ima i širi značaj, pošto one predstavljaju truležne bakterije, tj. bakterija koje aktivno učestvuju u procesu razgradnje organske materije (*Dalmacija i Agbaba, 2006*). *Proteus mirabilis* i *P. vulgaris* često izazivaju infekcije rana, naročito opekotina. Mogu izazvati sepsu i meningitis. Česti su uzročnici alimentarnih toksoinfekcija, kao i infekcija urogenitalnog trakta koje najčešće nastaju posle kateterizacije, cistoskopije i drugih intervencija na urogenitalnom traktu (u bolničkim uslovima). Prema *Pravilniku o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće Republike Srpske (2015)*, određivanje prisustva *Proteus* vrsta u vodi za piće spada u osnovne analize i nije dozvoljeno njihovo prisustvo u vodi.

1.6.1 Poređenje maksimalno dozvoljenih koncentracija mikrobioloških parametara

U tabeli 2. dat je pregled preporučenih i maksimalno dozvoljenih koncentracija mikrobioloških parametara koje su propisale *WHO (2011a)*, *U.S. EPA (2012)*, *EU Direktiva (1998)* i *Pravilnik o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće Republike Srpske (2015)*.

Tabela 2. Pregled preporučenih i maksimalno dozvoljenih koncentracija bakterija od strane nacionalne i međunarodnih organizacija za mikrobiološke parametare u vodi za piće

| Parametar | WHO (2011a) | U.S. EPA (2012) | Direktiva EU (1998) | Pravilnik o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće Republike Srpske (2015) |
|--|-------------|-----------------|---------------------|---|
| <i>Pseudomonas aeruginosa</i> | / | / | / | 0CFU/100 mL |
| Termotolerantne koliformne bakterije | odsutno | / | / | 0CFU/100 mL |
| Ukupne koliformne bakterije | odsutno | odsutno | 0CFU/100mL | 10CFU/100 mL |
| <i>Escherichia coli</i> | / | odsutno | 0CFU/100 mL | 10CFU/100 mL |
| Intestinalne (fekalne) streptokoke | / | / | 0CFU/100 mL | 0CFU/100 mL |
| Sulfito-redukujuće klostridije (<i>Clostridium perfringens</i> , uključujući spore) | / | / | 0CFU/100mL | 1CFU/100 mL |
| Broj kolonija na (22 ± 2) °C | / | 500CFU/mL | / | 300CFU/1 mL |
| Broj kolonija na (36 ± 2) °C | / | | / | 100CFU/1mL |
| <i>Proteus</i> vrste | / | / | / | 0CFU/100 mL |

1.7 Tehnike ispitivanja hemijskih parametara

1.7.1 UV/Vis spektrofotometrija

UV/Vis spektrofotometrija je optička, apsorpciona tehnika koja se zasniva na sposobnosti atoma, molekula i jona da apsorbuju zračenje u ultraljubičastoj i vidljivoj oblasti od 200 nm do 780 nm. Energetski sadržaj zračenja u ovoj oblasti nalazi se između 600 kJ/mol i 150 kJ/mol, što je dovoljno za pobuđivanje elektrona i njihov prelazak iz osnovnih stanja (p-, d- i π -orbitala) u pobuđena stanja. U ovoj oblasti mogu da apsorbuju neorganski joni, atomi i molekuli, organski molekuli i joni, kao i kompleksi metala sa organskim i neorganskim molekulima.

UV/Vis spektrofotometrija je kvalitativna i kvantitativna metoda. Kvantitativna analiza se zasniva na Beer-ovom zakonu:

$$A = -\log T = \epsilon bc$$

gde je:

- A – apsorbanca,
- T - transparentija,
- ϵ - molarni apsorpcioni koeficijent,
- b - dužina optičkog puta,
- c - koncentracija.

Linearna zavisnost apsorbanca od koncentracije analita pri konstantnoj dužini optičkog puta važi ako je u tom opsegu molarni apsorpcioni koeficijent konstantan. Molarni apsorpcioni koeficijent je veličina karakteristična za određenu supstancu i njegova vrednost pokazuje sposobnost neke supstance da apsorbuje zračenje. Zavisi od prirode supstance koja apsorbuje, prirode rastvarača, talasne dužine i temperature. Kako se ϵ menja sa talasnom dužinom, tako će i supstanca različito apsorbovati zračenje različitih talasnih dužina. Ako se grafički prikaže zavisnost ϵ i talasne dužine, dobiće se apsorpcioni spektar za datu supstancu.

Spektrofotometrijska analiza je osetljivija što je ϵ veće, jer data supstanca ima veću moć apsorbovanja i tada se mogu odrediti manje koncentracije analita.

Beer-ov zakon je primenjiv i na medijume koji sadrže više od jedne čestice koja apsorbuje. Ukoliko nema interakcije između različitih čestica, ukupna apsorbanca multikomponentnog sistema se dobija iz formule (*Skoog i sar., 1998*):

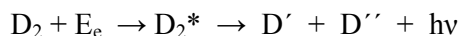
$$A_{tot} = A_1 + A_2 + \dots + A_n = \epsilon_1 bc_1 + \epsilon_2 bc_2 \dots + \epsilon_n bc_n$$

U nekim slučajevima dolazi do odstupanja linearne zavisnosti apsorbanca od koncentracije rastvora kada je dužina optičkog puta konstantna. Ova odstupanja mogu biti prava i hemijska. Beer-ov zakon važi za niske koncentracije analita. Pri visokim koncentracijama (obično $> 0,01$ M), srednje rastojenje između molekula odgovornih za apsorpciju se smanjuje do tačke gde svaki molekul utiče na raspodelu naelektrisanja svog suseda. Ove interakcije mogu promeniti sposobnost molekula da apsorbuje na datoj talasnoj dužini. Zato što intenzitet interakcije zavisi od koncentracije, pojava ovog fenomena izazvaće odstupanje od linearne zavisnosti između apsorbanca i rastvora. Hemijska odstupanja posledica su disocijacije i asocijacije analita, ili reakcije sa rastvaračem dajući proizvode sa različitim apsorpcionim spektrom od analita (*Skoog i sar., 1998*).

Spektrofotometri mogu biti: monozračni, dvozračni i višekanalni. Spektrofotometri koji se koriste za merenje apsorbanca u UV i Vis oblasti sastoje se od izvora zračenja, disperzionog elementa i detektora zračenja (slika 15.).

Izvori zračenja. U UV/Vis spektrofotometriji koriste se kontinualni izvori zračenja, kao što su deuterijumska ili vodonična lampa i Tungstenova (volframova) lampa.

Deuterijumska lampa. Kontinualni spektar u UV oblasti dobija se električnim pobuđivanjem deuterijuma ili vodonika na niskom pritisku. Mehanizam nastanka kontinualnog spektra uključuje početno formiranje pobuđene molekulske čestice koja disocijacijom daje dve atomske čestice i UV foton. Reakcija za deuterijum se može predstaviti sledećom jednačinom (*Skoog i sar., 1998*):



Ove lampe se sastoje od kvarcne cevi napunjene vodonikom ili deuterijumom, u kojoj se vrši pražnjenje pri pritisku od nekoliko milibara. U praksi se primenjuju dva tipa lampi, visokonaponske i niskonaponske. Niskonaponske lampe su jednostavnije za rukovanje i daju



Slika 15. UV/Vis spektrofotometar (CECIL, Aquarius CE 7200, laboratorija Instituta za vode u Bijeljini)

intenzivnije spektre od visokonaponskih. Deuterijumske lampe imaju veći intenzitet kontinualnog spektra od vodoničnih lampi istih karakteristika. Vodonične lampe daju spektar u oblasti od 200 nm do 380 nm, a deuterijumske od 185 nm do 200 nm (*Todorović i sar., 1997*).

Tungstenova (volframova) lampa. Volframova lampa se najčešće koristi kao izvor zračenja u Vis oblasti. Ona se sastoji od evakuisanog staklenog balona ili balona sa inertnim gasom u kome se nalazi volframovo vlakno. Napajanje lampe se vrši stabilizovanim naponom od 6 V i jačinom struje od 45 A (*Todorović i sar., 1997*). Usijano vlakno emituje zračenje u oblasi od 350 nm do 2500 nm. Energija ovog izvora približno je jednaka energiji crnog tela i zavisi od temperaure. U većini apsorpcionih uređaja, radna temperatura vlakna je 2870 K (*Skoog i sar., 1998*).

Volframove/halogen lampe sadrže malu količinu joda u kvarcnoj oblozi koja je kućište volframovog vlakna. Kvarc je neophodan zbog visoke temperature lampe. Vek trajanja ovih volfram/halogen lampi je duplo veći od normalnih. Ovaj produženi vek lampe je rezultat reakcije joda sa gasnim volframom koji se formira sublimacijom i obično skraćuje vek lampe,

pri čemu nastaje isparljiv WI_2 . Kada molekuli WI_2 udare u vlakno, dolazi do raspadanja molekula čime se volfram ponovo nanosi na vlakno (Skoog i sar., 1998).

Disperzioni elementi - Disperzioni element je deo uređaja koji ima funkciju da snop polihromatskog zračenja razloži na monohromatske zrake. Ovo razlaganje se vrši posredstvom fizičkih fenomena interferencije (filteri), refrakcije (prizme) i difrakcije (rešetke). U savremenim dvozračnim spektrofotometrima ulogu disperzionog elementa ima difrakciona rešetka. Izrađuju se kao transparentne i refleksione, ali je razvoj lasera omogućio izradu holografskih rešetki. Ove rešetke predstavljaju interferencionu sliku proizvedene pomoću dva monohromatska laserska snopa na fotoosetljivom sloju nanetom na ravnu ili konkavnu transparentnu podlogu koja se postavlja u ravan preseka zraka. Dobijena slika, koja se sastoji od strogo paralelnih i ekvidistantnih interferencionih pruga, predstavlja rešetku. Ako se na nju deponuje u vakuumu sloj metala (najčešće aluminijuma) dobija se refleksiona rešetka (Skoog i sar., 1998).

Detekcija zračenja - U savremenim UV/Vis spektrofotometrima detekcija zračenja vrši se fotoelektričnim putem. Fotoelektrični detektori rade na principu fotoefekta, kojim se energija zračenja pretvara u električnu energiju kao rezultat otkidanja elektrona iz atoma različitih supstanci pod dejstvom svetlosti. Nastala fotostruja direktno je srazmerna intenzitetu svetlosti. Fotoelektrični detektori se dele na: *fotoemisione uređaje* (vakuumske fotoćelije i fotomultiplikatori), zasnovane na spoljašnjem fotoelektričnom efektu, i *fotoelemente* (fotovoltaične ćelije, fotoprovodne ćelije, fotodiode i dr.), zasnovane na unutrašnjem fotoelektričnom efektu. Najvažnije osobine ovih detektora su: osetljivost, odziv, brzina odziva, linearnost i stabilnost.

Apsorpciona merenja zasnovana na ultraljubičastom i vidljivom zračenju imaju široku primenu za identifikaciju i određivanje brojnih neorganskih i organskih molekula i jedinjenja.

1.7.2. Atomska apsorpciona spektrometrija

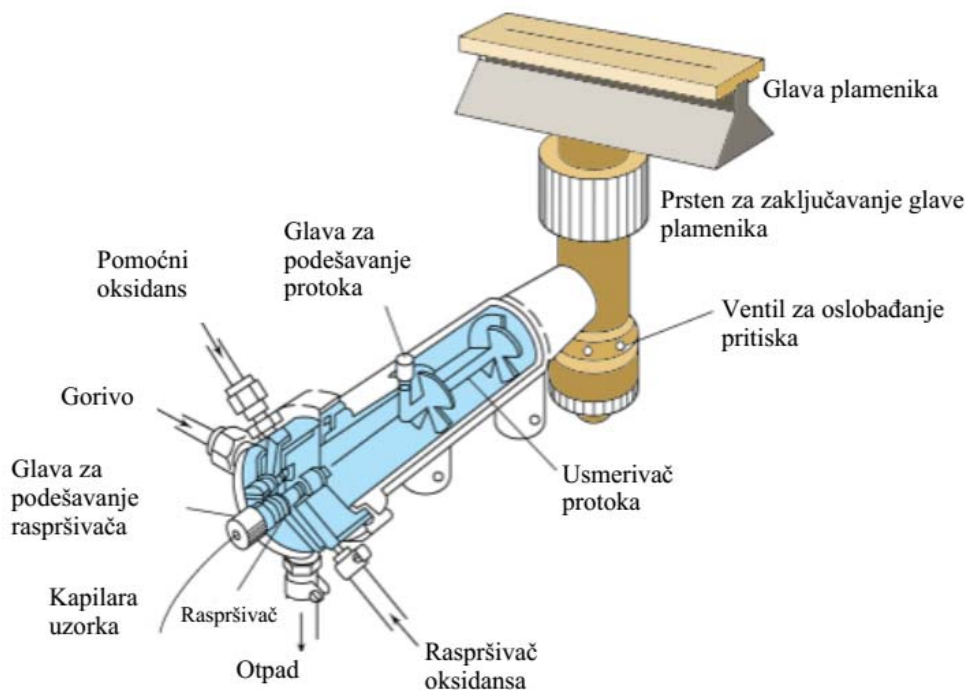
Atomska apsorpciona spektrometrija (AAS) je spektroanalitička tehnika za kvalitativnu i kvantitativnu analizu hemijskih elemenata. Danas se koristi za određivanje oko 70 elemenata sa granicama detekcije reda mg/L i µg/L, najčešće u rastvorima, ali i u čvrstim uzorcima različite prirode i porekla (*Antić-Jovanović, 1999*).

Da bi se dobio apsorpcioni spektar, konstituenti uzorka moraju da se prevedu u gasovite atome. Atomi u osnovnom, gasovitom stanju apsorbuju zračenje određene talasne dužine i prelaze u pobuđeno stanje. Intenzitet apsorbovane svetlosti, saglasno Beer-ovom zakonu, direktno je proporcionalan koncentraciji atoma. Proces kojim se uzorak prevodi u pare atoma naziva se atomizacija. Preciznost i tačnost metode kritički zavisi od stepena atomizacije. Najzastupljeniji metodi atomizacije su: plamena atomizacija i elektrotermalna atomizacija.

Plamena atomizacija - Plamen je smeša gasova koji hemijski reaguju uz oslobađanje toplotne energije neophodne za atomizaciju. Smeša se sastoji od *goriva* - gasa koji gori (butan, propan, acetilen, vodonik) i *oksidansa* – gasa koji pomaže gorenju (kiseonik, vazduh, azotsuboksid). Plamen se proizvodi pomoću plamenika. Kod plamenog atomizera (slika 16.), rastvor uzorka se pomoću nebulajzera prvo pretvara u finu maglu (aerosol) koja se sastoji od malih kapljica rastvora i velikih kapi vode. Velike kapi vode se odvođe u otpad, dok se samo mali deo fine magle (1% uzorka) meša sa gorivom i oksidansom u delu za atomizaciju i unosi u plamen. U plamenu magla isparava i na visokoj temperaturi proizvode se atomi. Propuštanjem svetlosti određene talasne dužine, nastali atomi apsorbuju zračenje. Intenzitet apsorpcije direktno je proporcionalan koncentraciji elementa u uzorku. Za proces atomizacije mogu se koristiti različite smeše gasova: vazduh-acetilen (2300 °C); azotsuboksid-acetilen (2955 °C); vazduh-vodonik (2045 °C) i argon-vodonik (1577 °C). Najčešće se koristi smeša vazduh-acetilen ili acetilen-azotsuboksid.

Metod atomizacije pomoću plamena još uvek se jako koristi u praksi zbog dobre reproduktivnosti i lake upotrebe. Međutim, glavni nedostatak ovog metoda jeste da se za samu atomizaciju koristi 1/10 uzorka dok preostalih 9/10 ide u otpad. Posledica ovog je mala

efikasnost atomizacije i osetljivost analize. Osim toga plamen kao atomizer nije pogodan za analizu elemenata čije rezonantne linije leže u UV oblasti spektra pošto produkti sagoravanja gasne smeše često apsorbuju UV zračenje (*Antić-Jovanović, 1999*).

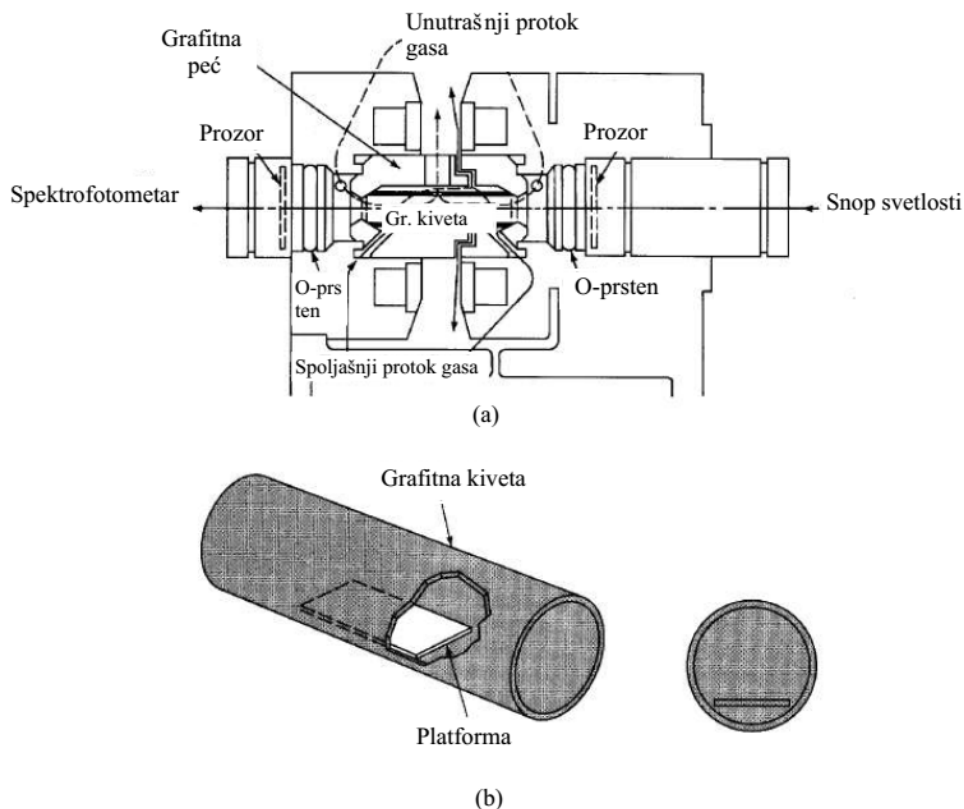


Slika 16. Šema plamenog AAS (*Skoog i sar., 1998*)

Elektrotermalna atomizacija - Elektrotermalni atomizeri koriste električnu struju za zagrevanje uzorka radi isparavanja i atomizacije. Njihovom primenom osetljivost određivanja može da se poveća i do 1000 puta u odnosu na primenu plamena kao atomizera.

Elektrotermalni atomizeri (slika 17.) su male peći – grafitne kivete koje se zagrevaju strujom programirane jačine. Kivete su obično dužine od 2 cm do 5 cm, prečnika od 3 mm do 8 mm, u koju se uzorci u obliku rastvora ($5 \mu\text{L}$ do $50 \mu\text{L}$) unose pomoću mikropipete kroz mali otvor u sredini cevi tako da gubitaka, kao kod plamena, nema. Grafit se zagreva na visokoj temperaturi i elementi u uzorku se atomizuju. Ako se svetlo iz izvora svetlosti šalje kroz kivetu, ono se apsorbuje od strane atoma. Da bi se sprečio gubitak uzoraka usled

apsorpcije rastvora u grafit, kao i difuzija pare kroz zidove cevi (pošto je grafit porozan), površina kivete se presvlači pirolitičkim grafitom (Antić-Jovanović, 1999).



Slika 17. Šema elektrotermalnog AAS (Skoog i sar., 1998)

Nakon injektiranja uzorka u kivetu, zagrevanje se sprovodi u četiri faze.

Prva faza je faza sušenja kada se kiveta zagreva na temperaturi od oko 100 °C kada voda (rastvarač) u uzorku u potpunosti isparava.

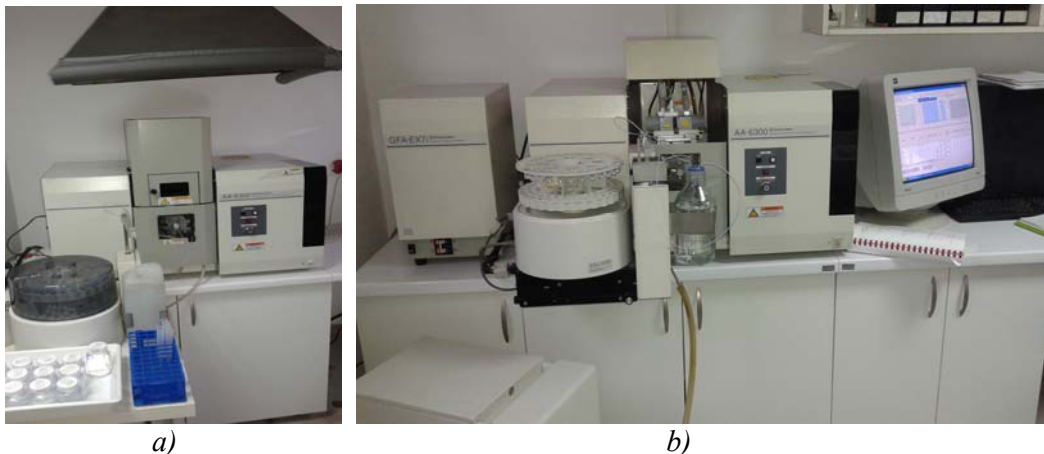
Druga faza je faza pepela kada se kiveta zagreva na temperaturi od 400 °C do 1000°C i organske i ostale rastvorene materije isparavaju.

Treća faza je faza atomizacije kada se kiveta zagreva na temperaturi od 1400 °C do 3000 °C i metalne soli koje su preostale u kiveti se atomizuju. Grejanje se obično izvodi u koracima.

Četvrta faza je faza čišćenja, kada se na povišenoj temperaturi kiveta čisti od uzorka.

U toku rada kroz kivetu struji gas (argon) koji prenosi paru uzorka sa zidova do centra kivete i sprečava oksidaciju površine grafita u prisustvu kiseonika iz vazduha. Jačina struje i trajanje svake faze programiraju se tako da budu optimalni za svaki element, tip i količinu uzorka. Ceo ciklus traje od 45 s do 90 s. Isparavanje rastvarača i sagorevanje organskih materija traje od 20 s do 45 s, a atomizacija od 3 s do 10 s (*Antić-Jovanović, 1999*).

Na slici 18. prikazani su plameni (a) i elektrotermalni AAS (b).



Slika 18. a) Plameni AAS (Shimadzu, AA-6300); b) Elektrotermalni AAS (AA-6300)
(laboratorija Instituta za vode u Bijeljini)

Tipovi kiveta. U zavisnosti od elementa koji se određuje i nivoa smetnji, sledeća tri tipa grafitnih kiveta su u upotrebi.

1. **Visoko osetljiva grafitna kiveta.** Može se koristiti za analizu većine elemenata i mogu se dobiti odlični rezultati u smislu ponovljivosti apsorpcionog signala. Međutim, sa B, Ca, Mo i drugim elementima koji lako reaguju sa ugljenikom, ciljani element ne isparava kompletno u toku atomizacije i javlja se efekat "pamćenja". Kod uzoraka sa organskim rastvaračem, dolazi do prodiranja u grafitnu kivetu i osetljivost opada, ili se takođe javlja efekat "pamćenja".

2. **Pirolitičke grafitne kivete.** Dobija se površinskom obradom visoko osetljive kivete. Penetracija uzorka u kivetu je mala zbog čega se dobijaju odlični rezultati i za uzorke sa organskim rastvaračem. Efekat memorije se javlja sa B, Ca, Mo i drugim. Osetljivost

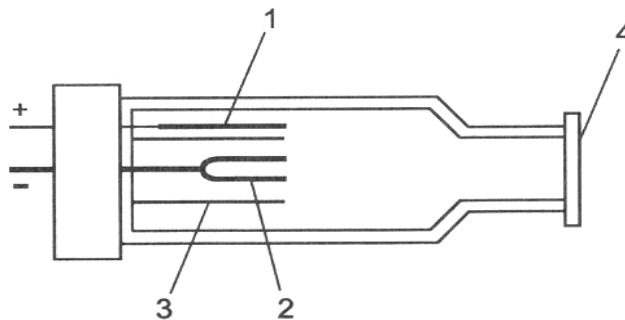
apsorbance je dva do tri puta veća nego kod visoko osjetljive kivete sa Al, Si i elementima 4b, 5b, 6b, 7b, 8 grupe i lantanoidima. Ponovljivost apsorpcionog signala može biti lošija nego sa visoko osjetljivom kivetom.

3. **Platformni tip grafitne kivete.** Dobija se postavljanjem grafitne ploče debljine 1 mm i veličine nekoliko mm² u grafitnu tubu. Zato što ova kiveta zagreva uzorak indirektno i ravnomerno, smetnje od postojećih supstanci i pozadinske apsorpcije su smanjene. Kiveta je efikasna za analizu metalnih uzoraka koji sadrže matriks komponente tj. za analizu Cd, Pb i drugih elemenata koji imaju niske tačke ključanja. Može se koristiti dok se ne polomi, ili dok se ne smanji osjetljivost ili ponovljivost merenja.

Uređaji za atomsku spektrofotometriju mogu biti jednozračni i dvozračni. Osnovne komponente svih uređaja su: izvor zračenja, držač uzorka, monohromator, detektor i računar.

Izvor zračenja. Lampa sa šupljom katodom je najčešći izvor zračenja u atomskoj apsorpcionoj spektrofotometriji (slika 19.). Lampa se sastoji od volframove anode i cilindrične katode koje su zatvorene u staklenoj cevi koja je ispunjena neonom ili argonom na pritisku od 0,5 Pa do 1,3 Pa. Izbor gasa zavisi od talasne dužine određivanih elemenata i potencijala jonizacije njihovih atoma. Ako je potencijal visok, kao noseći gas koristi se neon, čija je energija jonizacije veća od energije jonizacije argona. Katoda je napravljena od elementa čiji se spektar želi. Ukoliko je element skup, katode se mogu praviti od Fe i Al, na čijoj površini se u tankom sloju deponuje određivani element naparavanjem u vakuumu. Pored monoelementnih katoda, one se mogu praviti i od više elemenata čije rezonantne linije nemaju bliske talasne dužine (*Antić-Jovanović, 1999*).

Šuplja katoda emituje svetlost prolazeći kroz nekoliko faza. Primenom potencijala od 300 V, koji se stvara strujom od 5 mA do 15 mA, dolazi do jonozacije inertnog gasa. Pozitivno naelektrisani joni se sudaraju sa negativno naelektrisanom katodom izbijajući atome metala sa površine katode. Atomi metala se nakon izbijanja sa katode dalje ekscituju preko sudara sa jonizovanim gasom, emitujući svetlost specifične talasne dužine za taj element prilikom vraćanja iz ekscitovanog u osnovno atomsko stanje (*Skoog i sar., 1998*). Komercijalne lampe su dostupne za 65 pojedinačnih elemenata i 20 multielementnih lampi. Pored metala lampe su izrađene za: Cs, Ln, Os, Th, U, za radioaktivne elemente, plemenite gasove, dok su lampe za C, N, O i S nedostupne.

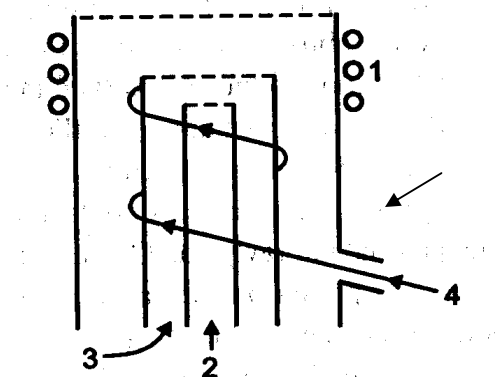


Slika 19. Lampa sa šupljom katodom: 1 - anoda, 2 - šuplja katoda, 3 - ekran, 4 - kvareni prozor (*Skoog i sar., 1998*)

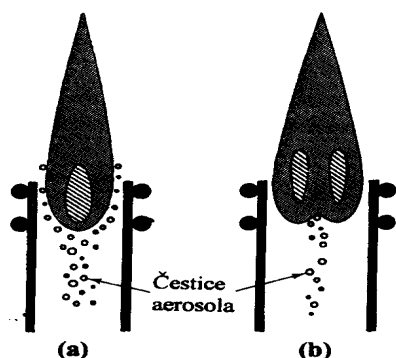
1.7.3. Indukovano kuplovana plazma – optička emisiona spektrometrija

Indukovano kuplovana plazma-optička emisiona spektrometrija (ICP-OES) je jedna od najmoćnijih analitičkih tehnika za određivanje elemenata u tragovima u različitim tipovima uzoraka. Tehnika se zasniva na spontanoj emisiji fotona iz atoma i jona koji se eksitiraju u radio-frekventnom pražnjenju. Tečni i gasoviti uzorci se mogu direktno ubrizgavati u instrumente, dok čvrsti uzorci zahtevaju ekstrakciju ili kiselu digestiju. Rastvori uzoraka se prevode u aerosol i usmeravaju u centralni kanal plazme. U srcu indukovano kuplovane plazme održava se temperatura od oko 10000 K zbog čega aerosol brzo isparava. Visoko temperaturna plazma koristi se kao izvor pobuđivanja. Elementi analita se oslobađaju kao slobodni atomi u gasovitom stanju. Ovi atomi se sudaraju sa plazmom koja im daje dodatnu energiju zbog koje oni prelaze u pobuđeno stanje. Energija je dovoljna da se atomi često prevedu u jone i joni naknadno prevedu u eksitovano stanje. Atomska i jonska pobuđena stanja mogu da se relaksiraju u osnovno stanje uz emisiju fotona. Ovi fotoni imaju karakteristične energije koje su određene kvantnim energetskim nivoima atoma ili jona. Tako se talasna dužina fotona može koristiti za identifikaciju elementa od kojih potiču. Ukupan broj emitovanih fotona direktno je proporcionalan sadržaju elementu u uzorku (*Xiandeng i Bradley, 2000*).

Indukovano kuplovana plazma. Indukovano kuplovana plazma je bezelektrodna plazma koja se formira na atmosferskom pritisku i održava induktivnim sprežanjem sa visokofrekventnim elektromagnetnim poljem. ICP "baklja" se obično sastoji od tri koncentrične kvarcne cevi postavljene u indukcioni kalem sa dva do tri navoja. Kalem je povezan sa radiofrekventnim (RF) generatorom od 5 MHz do 50 MHz, izlazne snage od 1 kW do 5 kW. Kroz spoljašnju cev se uvodi argon koji hladi cev i termički izoluje plazmu od zida cevi. Kroz srednju cev ulazi argon koji služi kao noseći gas, koji obezbeđuje primarne elektrone i jone za formiranje plazme. Kroz centralnu cev u plazmu se uvodi aerosol rastvora strujom argona koji protiče znatno sporije od gasa koji služi za hlađenje (slika 20.). Kako u početku u argonu nema naelektrisanih čestica plazma se uspostavlja kratkim uključivanjem Teslinog pražnjenja. Temperatura plazme varira od 6000 K do 10000 K i opada sa visinom iznad indukcionog kalema tako da se za svako određivanje može odabrati pogodna visina na kojoj će se vršiti posmatranje (*Antić-Jovanović, 1999*).



Slika 20. Plazmenik – gorionik: 1- navoji, 2 - argon sa uzorkom, 3 - argon za obrazovanje plazme, 4 - argon za hlađenje (*Skoog i sar., 1998*)



Slika 21. Oblik plazme
(Antić-Jovanović, 1999)

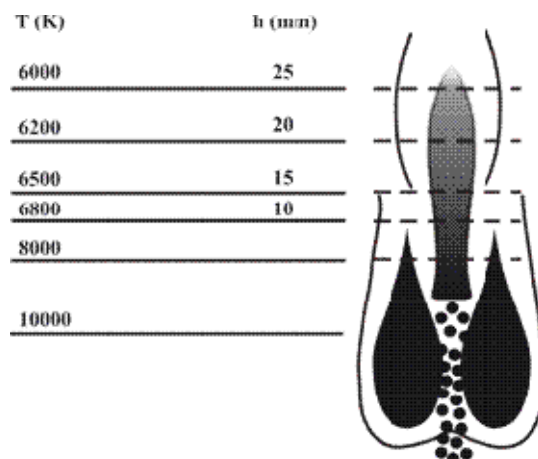


Slika 22. Izgled plazme
(Antić-Jovanović, 1999)

Ako se koristi polje niže frekvencije, npr. od 5 MHz, plazma ima oblik kapi (slika 21.). Pri uvođenju aerosola, kapljice zaobilaze ovaj deo zbog velikog otpora (prouzokovanog širenjem gasa), što ima za posledicu nedovoljno zagrevanje uzorka, odnosno neefikasno isparavanje.

Primenom generatora veće frekvencije (obično 27 MHz) najtopliji deo plazme dobija prstenast ili toroidni oblik (slika 22.) pošto je vrtložna struja elektrona tada bliža kalemu, odnosno spoljašnjem sloju plazme. U ovom slučaju aerosol ulazi u središnji deo, tzv. kanal plazme, u kome je temperatura nešto niža (6000 K do 8000 K), a otpor manji.

U plazmi mogu da se razlikuju tri oblasti različitih spektralnih osobina: *visokotemperaturno jezgro* u čijem centralnom delu (kanalu plazme) uzorak podleže efikasnom isparavanju i atomizaciji, *analitička zona* koja se nalazi od 15 mm do 20 mm iznad indukcionog kalema, u kojoj se pobuđuje većina elemenata i *niskotemperaturni deo – rep plazme*, u kome se pobuđuju elementi sa niskim energijama pobuđivanja (slika 23.).



Slika 23. Temperature i zone u ICP plazmi (Skoog i sar., 1998)

Aerosol, ili veoma fina magla tečnih kapljica, se stvara iz tečnog uzorka pomoću raspršivača (nebulajzera). Aerosol se u centar plazme unosi argonom. Nakon ulaska u plazmu, kapljice prolaze tri procesa. Prvi je desolvatacija ili uklanjanje rastvarača iz kapljice, pri čemu nastaju mikroskopski čvrste čestice ili suvi aerosol. Drugi korak je isparavanje ili raspadanje čestica pri čemu nastaju gasoviti molekuli. Treći korak je atomizacija. Zatim dolazi do ekscitacije i jonizacije atoma, nakon čega sledi emisija zračenja ovih pobuđenih vrsta. Glavna analitička prednost ICP u odnosu na ostale izvore pobuđivanja je njegova sposobnost za efikasno i reproduktivno isparavanje, atomizaciju, ekscitaciju i jonizaciju za širok spektar elemenata u uzorcima različitih matriksa. ICP spektrometrija se koristi za analizu uzoraka različite prirode i porekla (stena, minerala, vode, vazduha, bioloških materijala itd.) u sva tri agregatna stanja. Međutim, uzorci za analizu se najpre prevode u rastvor koji se u obliku aerosola uvodi u plamen.

Raspršivači (nebulajzeri). Raspršivači su najčešće korišćen uređaj za unošenje rastvora uzoraka u ICP. Pomoću nebulajzera rastvori uzoraka se prevode u aerosol i transportuju do plazme. Uspešno se koriste i pneumatski i ultrasonični nebulajzeri.

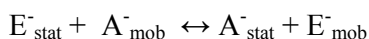
Detekcija zračenja. ICP-OES se odlikuje veoma bogatim spektrom. 70 elemenata, koji se najčešće određuju, daju najmanje 70 000 emisionih linija u rangi od 200 nm do 600 nm talasne dužine. Posledica ovako visoke gustine spektralnih informacija je visoka moć rezolucije. Visoka moć rezolucije se postiže korišćenjem monohromatora koji je srce uređaja.

Monohromator je uređaj koji može da izoluje bliske talasne dužine u bilo kojoj spektralnoj oblasti. Većina modernih instrumenata kao monohromator koriste difrakcionu rešetku (refleksiona i holografska). Razloženo monohromatsko zračenje dolazi do detektora – fotomultiplikatora koji pretvara fluks fotona u elektronske impulse koji se onda pojačavaju.

Zbog visoke temperature plazme, ICP-OES metoda se može koristiti za određivanje gotovo svih elemenata periodnog sistema, osim za argon. Međutim, u praksi je njena primena donekle ograničena pošto određivanje nekih elemenata zahteva posebne uslove (npr. radioaktivnost) ili posebnu optiku (Cl, Br i F) ili se određuju sa manjom osetljivošću (N ili Rb) (*Antić-Jovanović, 1999*).

1.7.4. Jonska hromatografija

Termin "hromatografija" je opšti naziv za širok spektar fizičko-hemijskih procesa separacije u kojima će komponente biti razdvojene i distribuirane između stacionarne i mobilne faze. Jonska hromatografija (IC) je moderna i efikasna metoda za separaciju i određivanje jona zasnovana na jonoizmenjivačkoj smoli. Jonoizmenjivačka smola stacionarne faze sadrži naelektrisane funkcionalne grupe koje se mogu zameniti sa drugim jonima istog naelektrisanja iz mobilne faze. Za svaki jon, proces izmene je okarakterisan odgovarajućom jonoizmenjivačkom ravnotežom, koja određuje raspodelu između mobilne i stacionarne faze, npr za jon A^- :



$$K_A = \frac{[A^-]_{stat} \times [E^-]_{mob}}{[A^-]_{mob} \times [E^-]_{stat}}$$

gde je:

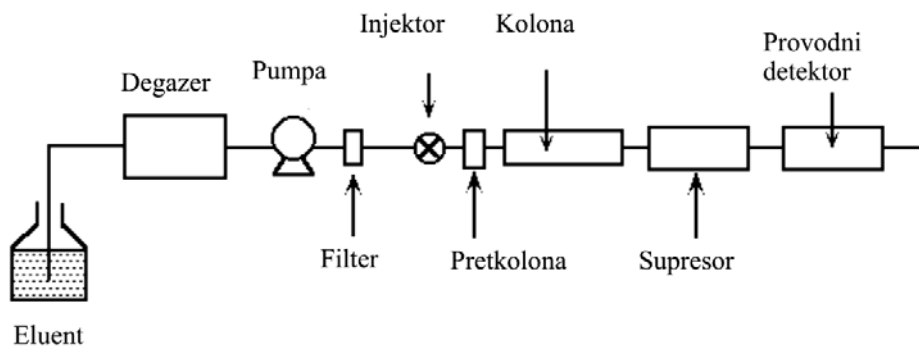
A - određivani anjon,

E - eluent anjon.

Razdvajanje različitih jonskih komponenti uzorka bazira se na njihovom različitom afinitetu prema stacionarnoj fazi jonskog izmenjivača (različite konstante ravnoteže). Najvažnije aktivne grupe za katjonsku izmenjivačku smolu su sulfonska grupa – SO_3H^+ , kao

jaka kiselina i karboksilna grupa $-\text{COO}^-\text{H}^+$, kao slaba kiselina. Anjonski izmenjivači sadrže tercijarnu amino grupu $-\text{N}(\text{CH}_3)_3^+\text{OH}^-$ ili primarnu amino grupu $-\text{NH}_3\text{OH}^-$. Pored ovih smola, koriste se i drugi polimeri i silika gel sa hemijski vezanim fazama. Dok se klasična jonska izmena odigrava u makroporama čestica sa visokim kapacitetom izmene sa veličinom čestica od 70 μm do 250 μm u pakovanju ili koloni, u modernoj jonskoj hromatografiji, jonoizmenjivački materijal je niskog kapaciteta sa česticama veličine od 5 μm do 10 μm . Ovo omogućava razdvajanje i detekciju anjona i katjona efikasno i brzo sa eluentima niske koncentracije (*Helwig i sar., 2003*).

Osnovne komponente jonskog hromatografa su: posuda sa eluentom, degazer, pumpa, ventil za ubrizgavanje (auto sampler), pretkolona, kolona, supresor i detektor (slike 24. i 25.).



Slika 24. Šematski prikaz sistema anjonskog hromatografa sa supresijom



Slika 25. Jonski hromatograf (Shimadzu - laboratorija Instituta za vode u Bijeljini)

Eluent - Eluent transportuje uzorak kroz sistem i doprinosi selektivnosti separacije. Eluent je rastvor soli u vodi, obično nekoliko soli, koji ima ulogu pufera obezbeđujući stabilnu pH vrednost. Kvalitet eluenta utiče na različite parametre.

Jonska jačina - Sposobnost eluiranja raste sa porastom jonske jačine eluenta. Selektivnost između jona istog naelektrisanja je neznatna, dok je selektivnost između jona različitog naelektrisanja (mono- ili polivalentni) daleko veća sa promenom jonske jačine eluenta.

pH vrednost - Retenciono vreme anjona slabih kiselina raste kada se pH vrednost eluenta poveća u blizini pKa kiseline.

Temperatura - Jonoizmenjivački odnos između stacionarne i mobilne faze raste sa povećanjem temperature. Viskoznost eluenta i pritisak kolone opadaju i daju bolju efikasnost separacije. Temperatura takođe utiče na selektivnost kolone.

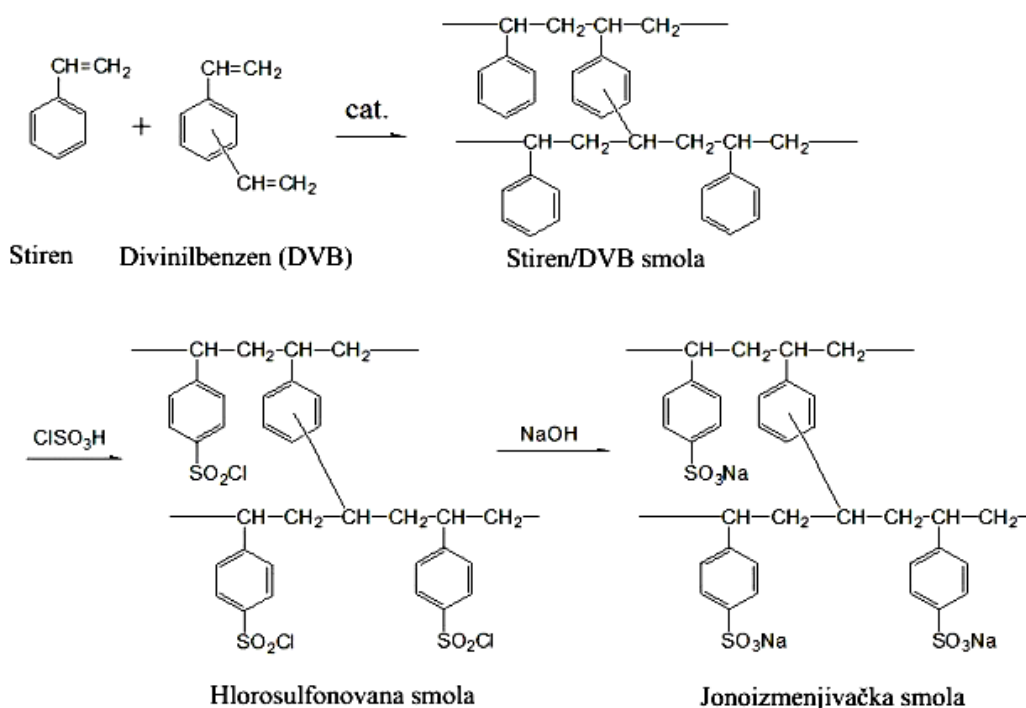
Protok - Joni će se brže eluirati sa većim protokom eluenta, ali brže eluiranje smanjuje efikasnost separacije. Protok je takođe ograničen pritiskom kolone.

Puferske soli - Snaga eluiranja eluenta, a takođe i njegova selektivnost, zavise od anjona eluenta (kroz njegovu pKa vrednost). Sa promenom soli dolazi i do promene pH vrednosti eluenta.

Eluiranje može biti izokratno i gradijentno. Upotreba eluenta fiksne koncentracije (izokratno eluiranje) je najjednostavniji, najčešće primenjivan metod u jonskoj hromatografiji. Međutim, kada postoji velika razlika u retencionom vremenu ranije i kasnije eluiranog jona, ili kada se analiziraju veoma kompleksni uzorci, gradijentno eluiranje je poželjno ili neophodno. Rezultat ovog eluiranja je da joni koji su izlazili kasnije eluiraju se mnogo brže (Fritz i Gjerde, 2009).

Za određivanje anjona kao eluent koristi se smeša soli karbonata i bikarbonata. Eluent se priprema od hemikalija najmanje p.a. čistoće i dejonizovane vode niske provodljivosti (Helwig i sar., 2003). Eluenti se nakon pripreme filtriraju kroz mikrofiltere (pora 0,45 μm). Ovaj korak je neophodan kako bi se produžio radni vek kolone i zaštitila pumpa od oštećenja suspendovanim materijama. Nakon filtriranja neophodno je eluent degazirati kako bi se izbegao vazduh u pumpi i smanjio šum detektora.

Kolona - Svrha kolone je da razdvaja jone uzorka. Kolone (izmenjivači jona) sastoje se od čvrstih matriksa koji sadrže fiksne grupe sa jonskim karakteristikama koje imaju veliki afinitet prema odgovarajućim jonima. Kolone mogu biti katjonske ili anjonske, u zavisnosti od toga koju funkcionalnu grupu sadrže. Postoje različiti tipovi kolona, ali je svima zajedničko materijal pakovanja sa naelektrisanim funkcionalnim grupama – nazvane jonoizmenjivačke grupe – koje obavljaju separaciju. Polimeri stirena i divinilbenzena se često koriste kao nosači. Katjonski menjači se dobijaju sulfonovanjem stiren-divinilbenzen smole, anjonski menjači hlorometilovanjem a zatim aminovanjem (slika 26.).

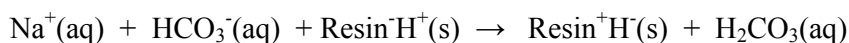


Slika 26. Punjenje kolone za određivanje anjona na jonskom hromatografu

Prekolona - Nečistoće prisutne u uzorku mogu da izazovu promene na koloni i da se istalože u unutrašnjost kolone. Da bi se izbegli ovi problemi, potrebno je da se uzorak prethodno profiltrira ili centrifugira. Međutim, postoje komponente uzorka koje se ne mogu ukloniti filtriranjem ili centrifugiranjem. Ovako injektirani uzorci mogu dovesti do pucanja kolone. Pretkolona (zaštitna kolona) veoma efikasno štiti kolonu od ovakvih nečistoća.

Pretkolona je mala verzija analitičke kolone, sa istim pakovanjem. Pretkolona se postavlja ispred analitičke kolone, i ona služi da hvata nečistoće koje mogu da dospeju do analitičke kolone i da je oštete. Korišćenjem pretkolone, vek trajanja analitičke kolone se produžava.

Supresor - Najveća primena jonske hromatografije je za kvantitativno određivanje neorganskih jona. Određivanja se baziraju na merenju provodljivosti eluiranih jona. Kada se koristi detektor na bazi provodljivosti, da bi se povećala osetljivost analize potrebno je smanjiti provodljivost eluenta. Ovu ulogu ima supresor. Supresor se postavlja odmah posle analitičke kolone. Kolona supresora je pakovana se sekundarnom jonoizmenjivačkom smolom. Kod anjonske separacije, pakovanje supresora je kiseli oblik katjonske jonoizmenjivačke smole. Ovde karbonati i bikarbonati eluenta učestvuju u reakciju sa supresorom:



Ugljena kiselina fomirana kao rezultat katjonske izmene je veoma slabo disosovana i kao rezultat toga daje malu provodljivost eluenta (*Skoog i sar., 1998*).

Detektori - Nakon razdvajanje i supresije jona uzorka, potrebno ih je detektovati i kvantifikovati. U anjonskoj hromatografiji kao detektor najveću primenu ima konduktometar. U konduktometru, eluat protiče kroz ćeliju sa dve elektrode na koje se primenjuje jednosmerni potencijal. Kada joni uzorka uđu u ćeliju, sposobnost rastvora da provodi elektrone raste. Porast jačine struje proporcionalna je porastu provodljivosti, dok je provodljivost linearna funkcija koncentracije jona.

Pored konduktometra, detekcija se može vršiti UV-Vis, fluorescentnim i elektrohemijским detektorima.

Jonska hromatografija se najviše koristi za analizu jona u vodenim uzorcima (NO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , NH_4^+ , Na^+ , K^+ itd). Takođe se može koristiti za analizu vodenih uzoraka organskih molekula (hidrazina, proteina, amino kiselina).

1.8 Tehnike ispitivanja mikrobioloških parametara

Odgajivačke tehnike za određivanje brojnosti mikroorganizama, na osnovu njihove sposobnosti da rastu na specifičnim podlogama, jesu vrlo važna i široko primenjena sredstva u određivanju i proceni mikrobiološkog kvaliteta vode. Osnovni princip odgajivačkih tehnika se sastoji u tome da se poznatom zapreminom uzorka vode koji sadrži bakterije inokuliše tečna ili čvrsta podloga za gajenje bakterija. Uz pomoć ovih tehnika se može odrediti samo broj vijabilnih bakterija koje će se u toku inkubacije razmnožavati dajući svoje ćelijske klonove koji formiraju golim okom vidljive kolonije na čvrstim podlogama ili dovode do zamućenja ili promene boje tečnih podloga. Izbor konkretne tehnike zavisice ne samo od prirode indikatorskih mikroorganizama, već takođe i od prirode vode i svrhe (razloga) njenog ispitivanja.

1.8.1 Određivanje brojnosti posle aplikacije uzorka U/ILI NA čvrstu podlogu

Test porcije uzorka vode koja se ispituje (početni uzorak ili razblaženje) se aplicira, direktno ili u koncentrisanom vidu na membrani filtra, na površinu odgovarajuće čvrste podloge ili se dodaje u rastopljenu podlogu. Nakon inkubacije mikroorganizmi iz uzorka formiraju golim okom vidljive kolonije na površini ili unutar podloge. Uzimajući u obzir zapremine test porcija i broj formiranih kolonija (koje su nastale razmnožavanjem pojedinačnih bakterijskih ćelija), dobijeni rezultat se izražava kao broj jedinica sposobnih da formiraju kolonije (**colony forming units - CFU**) u datoj zapremini uzorka (1 mL ili 100 mL) (*BAS ISO 8199, 2005*).

Postoje tri osnovne tehnike za inokulaciju čvrstih podloga koje se međusobno razlikuju prema načinu nanošenja uzorka vode:

a) Tehnika preliivanja (pour-plate tehnika)

U ovoj tehnici, odgovarajuća zapremina uzorka vode (obično 1 mL), ili njegovog razblaženja (iz serije duplih razblaženja u fiziološkom rastvoru), se meša sa podlogom, koja je sterilisana u autoklavu i ohlađena skoro do temperature očvršćavanja podloge. Uzorak vode sa bakterijama i odgovarajući hranljivi agar se dobro izmešaju, i smeša sipa u sterilne Petri kutije pod aseptičnim uslovima. Nakon očvršćavanja agara, Petri kutije se inkubiraju na odgovarajućoj temperaturi u odgovarajućem vremenskom intervalu, što zavisi od toga koji nas mikroorganizam interesuje. Ukoliko je tražena bakterija prisutna, na površini ili u unutrašnjosti hranljivog medijuma će doći do formiranja njenih kolonija. Kolonije se zatim broje i izražavaju kao CFU (Colony Forming Units) tj. broj vijabilnih bakterijskih ćelija koje su bile sposobne da razviju svoje kolonije u mL uzorka ispitivane vode. Zapremina test uzorka vode ili razblaženja uzorka vode koja se ispituje, može varirati između vrednosti od 0,1 mL do 5 mL. Ovo zavisi od veličine Petri kutije, kao i od zapremine podloge koja se koristi za gajenje mikroorganizama. Razblaženje uzorka vode iz koga bi se vršila inokulacija podloge bi trebalo izabrati u zavisnosti od očekivanog stepena bakteriološke kontaminacije vode, tako da se u Petri kutijama (prečnika od 90 mm do 100 mm) dobije od 10 do 150 kolonija. Ukupan broj kolonija u Petri kutije (tipične i netipične) ne bi trebao biti veći od 300 (*BAS EN ISO 7218:2008*). Značajno je napomenuti, međutim da broj kolonija koje se mogu prebrojati zavisi od veličine kolonija, pa se gore pomenuta brojka od 300 kolonija može i redukovati kada su u pitanju vrste bakterija koje daju karakteristične krupne kolonije.

Nedostatak ove tehnike je visoka temperatura neophodna za održavanje medijuma u tečnom stanju koja može da ubije neke bakterijske vrste (*Nollet i De Gelder, 2011*), naročito ako su u pitanju psihrofilne bakterije. Osim toga, ova tehnika nije pogodna za izolovanje čistih kultura jer su bakterije uronjene u medijum i kolonije sporije rastu, zbog čega ih je u postupku izolovanja teško preneti na novu hranljivu podlogu (*Sambali i Mehrota, 2009*).

b) Tehnika razmazivanja (Spread-plate tehnika)

Određena količina uzorka vode se nanese i ravnomerno razmaže na površinu čvrste hranljive podloge i zatim inkubira. Temperatura i vreme inkubiranja zavise od toga koja se bakterije želi izolovati. Ova tehnika je jednostavnija od tehnike prelivanja. Kod ove tehnike, morfologija kolonija može se lakše razlikovati (Nollet i De Gelder, 2011). Kolonije se kod izolovanja u čiste kulture mogu lakše preneti. Takođe, ćelije bakterija nisu izložene visokoj temperaturi hranljive podloge kakav je slučaj kod tehnike prelivanja (Sambali i Mehrotra, 2009).

c) Tehnika membranske filtracije

Tehnika membranske filtracije je standardna tehnika koja se koristi za procenu brojnosti bakterijske populacije u vodi sa niskim sadržajem suspendovanih čestica tj. vode niske zamućenosti. Uzorak vode (generalno 100 mL) se filtrira kroz sterilan membranski filter sa prečnikom pora od 0.45 μm (nekada i 0.22 μm), koji zadržava bakterijske ćelije na svojoj površini. Nakon postupka filtracije, filter koji na sebi nosi bakterijske ćelije se u istom položaju postavlja na površinu hranljive podloge i inkubira (slika 27.). Nakon inkubacije se vrši brojanje poraslih kolonija i izračunava njihov broj po 1 mL uzorka vode.

Osnovna prednost ove tehnike, u odnosu na ostale odgajivačke tehnike, je brzina analize i mogućnost ispitivanja velike zapremine uzorka vode. Osim toga, ova tehnika je visoko reproduktivna. U toku njenog izvođenja bakterije ne doživljavaju temperaturni šok, ali mogu biti oštećene primenom velikog pritiska tokom filtracije uz pomoć vakuum pumpe (Nollet i De Gelder, 2011).

Zapremina test uzorka ili razblaženja bi trebalo da bude tako odabrana da je očekivani broj tipičnih kolonija, koje se formiraju na membranskom filteru dijametra od 47 mm do 50 mm, nakon njegovog nanošenja na podlogu i inkubiranja, u granicama između 10 i 100. Ukupan broj kolonija na filtru (tipičnih i netipičnih) ne bi trebalo da bude veći od 200 (BAS ISO 8199:2005).

Značajano je napomenuti da broj kolonija koje se mogu prebrojati zavisi od veličine kolonija, pa se gore pomenuta brojka od 200 može i redukovati kada su u pitanju bakterije koje formiraju krupne kolonije.



Slika 27. Tehnika membranske filtracije

Prednosti tehnike membranske filtracije u odnosu na MPN ili druge tehnike su sledeće (Csuros i Csuros, 1999):

- brzina – rezultati se mogu dobiti u roku od 22 h do 26 h, za razliku od tehnike preliivanja koja zahteva od 48 h do 96 h,
- mogućnost ispitivanja znatno veće, reprezentativnije količine uzorka u odnosu na MPN tehniku,
- veća preciznost nego kod tehnike preliivanja zbog direktnog brojanja kolonija u jedinici zapremine, a ne naknadnog preračunavanja,
- ušteda vremena, prostora, hemikalija i opreme.

Nedostaci membranske filtracije su da nije pogodna za analizu uzoraka koji sadrže velike količine koloidnih materija, suspendovanih čestica i algi, jer ove supstance mogu da zatvore pore filtera i time spreče filtraciju. Da bi se smanjio efekat mutnoće uzorka vode

potrebno je uzeti ili manje zapremine, ili veće razblaženje uzorka vode. U svakom slučaju, tehnika membranske filtracije nije pogodna za vode sa velikom mutnoćom a malim brojem bakterija (Csuros i Csuros, 1999).

1.8.2. Tehnika procene najverovatnijeg broja bakterija (*Most Probable Number*)

Tehnika najverovatnijeg broja je statistička analiza slučajne raspodele mikroorganizama u određenoj zapremini uzorka. Poznata je i kao tehnika višestrukih tuba (epruveta). MPN se zasniva na višestrukom zasejavanju test količina (zapremina) istog uzorka ili njegovih razblaženja u epruvete sa odgovarajućom selektivnom tečnom podlogom za gajenje (tabela 3.). Broj replikata za svako razblaženje obično se kreće od 3 do 10, u zavisnosti od tipa vode. Nakon inkubacije, najverovatniji broj mikroorganizama koji je prisutan u početnom uzorku izračunava se statistički na osnovu broja pozitivnih i negativnih test uzoraka.

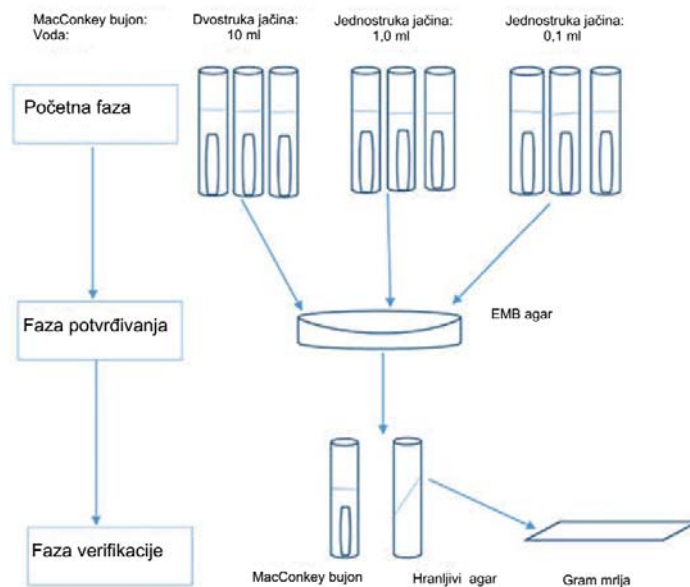
Tabela 3. Selektivne podloge za gajenje bakterija

| Tehnika procene najverovatnijeg broja bakterija | |
|---|------------------------------|
| Medijum | Organizam |
| Lauril sulfat triptoza bujon | Koliformne bakterija |
| MacConkey bujon | Koliformne bakterija |
| EC bujon | Fekalne koliformne bakterije |
| Glukoza azid | Fekalne streptokoke |
| Mineralno modifikovana glutamat podloga | Koliformne bakterije |

MPN tehnika generalno ima tri sekvencijalne faze (početna, potvrдна i završna), pri čemu svaka faza zahteva 1 do 2 dana inkubiranja (slika 28.). U početnoj fazi, se odgovarajuća podloga, koja omogućava rast ciljane bakterije, inokuliše odgovarajućom zapreminom uzorka. Nakon inkubiranja, iz svih početno inokuliranih probnih tuba se vrši inokulacija još selektivnijeg medijuma za potvrdu prisustva ciljane bakterije (potvrдна faza). Ova potvrдна faza je pouzdan dokaz, ali ne i dokaz, da je ciljana bakterija detektovana.

Stoga, poduzorke sa potvrđenom pozitivnom reakcijom treba inokularati u selektivni agar i nekoliko verifikacionih testova. Na osnovu broju pozitivnih i negativnih tuba u potvrdnoj fazi i odgovarajućih tabela, određuje se MPN ciljanog mikroorganizma (*Bartram i Rees, 2002*).

MPN se najčešće koristi za analizu koliformnih bakterija, termotolerantnih bakterija i *E.coli* u vodi i hrani.



Slika 28. Šematski prikaz određivanja koliformnih bakterija MPN tehnikom

MPN tehnika ima veoma nisku preciznost, ukoliko se koristi nekoliko epruveta i razblaženja. Za veću preciznost potrebno je zasejati veći broj tuba. Koristeći MPN tehniku, potrebno je zasejati najmanje tri razblaženja. U idealnom slučaju, kod najmanjeg razblaženja sve tube bi trebalo da budu pozitivne i kod najvećeg razblaženja sve tube bi trebalo da budu negativne (*Banwart, 1989*).

Greške koje potiču od razblaživanja uzorka se kod MPN tehnike moraju uzeti u obzir. Zato što su potrebna velika razblaženja uzorka, neophodno je sprovesti dobre aseptične uslove kako bi se sprečila kontaminacija u toku inokuliranja tube.

Prednosti MPN tehnike (*Bartram i Rees, 2002*):

- može se primeniti i na čiste i na mutne uzorke vode,
- posredno omogućava i reanimaciju i rast oštećenih bakterija,

Nedostaci MPN tehnike (*Bartram i Rees, 2002*):

- ukupno vreme, rad, materijal i troškovi neophodni za analizu uzorka,
- povećana upotreba reagenasa, epruveta, prostora za inkubaciju i opreme za čišćenje kada se analizira više uzoraka ili kada je potrebno analizirati više od 100 mL uzorka,
- višefazna priroda tehnike, pri čemu svaka faza zahteva period inkubacije od 24 h ili 48 h,
- činjenica da je MPN posredno procenjen (izračunat) broj, dok se stvarna vrednost (sa granicom poverenja od 95%) može značajno razlikovati od MPN.

1.9. Multivarijantne metode analize

Multivarijantne metode omogućavaju proučavanje relacija, upotrebljivosti i značajnosti brojnih međusobno jače ili slabije, kompleksno vezanih-zavisnih ili nezavisnih, mernih ili kategorijskih promjenljivih.

U literaturi se može naći dosta modela za analizu podataka. To su po pravilu multivarijantne analize podataka. Multivarijantno se mogu analizirati sve vrste podataka, merenih na različitim skalama merenja.

Tabachnick i Fidell, u pregledu 1989. godine, su dali svoju podjelu multivarijantnih metoda koja se zasniva na zadanim ciljevima istraživanja (tabela 4.).

Tabela 4. Metode multivarijantne analize (*Tabachnick i Fidell, 1989*) i autori koji su dali najveći doprinos njihovoj razradi i primeni (*Cooley i Lohnes, 1971*)

| Cilj | Metode |
|---|---|
| Nivo povezanosti | Višestruka korelacija i regresija (<i>Pearson, 1901; Fisher, 1928; Cattell, 1949</i>) Kanonička korelacija (<i>Hotelling, 1936</i>) Višestruka analiza frekvencija (diskretne varijacije) |
| Značajnost razlika između grupa | Faktorijalna ANOVA (<i>Fisher, 1923</i>) Faktorijalna ANCOVA (<i>Cochran, 1957</i>) Faktorijalna MANOVA (<i>Wilks, 1932</i>) Faktorijalna MANCOVA Jednosmerna MANOVA ili Hotelling's T2 (<i>Hotelling, 1936</i>) Profilna analiza - PA (<i>Cronbach, 1953</i>) |
| Predikcija pripadnosti grupa | Jednosmerna diskriminantna analiza – DA (<i>Fisher, 1936</i>) Faktorijalna diskriminantna funkcijska analiza – DFA |
| Struktura veze: -empirijska - teoretska | Analiza glavnih komponentata – PCA (<i>Hotelling, 1933</i>) Faktorska analiza – FA (<i>Harman, 1960; Cattell, 1965</i>) |

1.9.1. Metoda glavnih komponenti (Principal Component Analysis, PCA)

Analiza glavnih komponentata je prva i klasična metoda kojom se pokušava da redukuje dimenzionalnost tako da se stvore latentne promenljive koje su međusobno nezavisne (nisu međusobno u korelaciji), a onda se zadržavaju samo one koje su "dovoljno informativne". Razvio ju je *Hotelling*, 1933. godine.

Da bi se redukovao broj promenljivih, odnosno dimenzija prostora, potrebno je pronaći kriterijum za odbacivanje "malo informativnih" novih promenljivih, odnosno pronaći kriterijum za zadržavanje onih promenljivih koje nose najveći deo informacija sadržanih u polaznom sastavu promenljivih. Postoji niz kriterijuma, a neki od njih su:

1. Kaiserov kriterijum (*Kaiser, 1960*) prema kojem se uzimaju samo one glavne komponente kojima odgovaraju svojstvene vrednosti veće od 1;
2. Uzimaju se samo one glavne komponente kojima odgovaraju svojstvene vrednosti veće od proseka svih svojstvenih vrednosti;
3. Uzimaju se samo one glavne komponente koje nose odnosno zadržavaju svaki posebno unapred zadani deo informacija;
4. Uzimaju se samo one glavne komponente koje nose odnosno zadržavaju (ukupno kao sastav) unapred zadani deo informacija;
5. Broj komponentata se određuje proizvoljno.

Nema pravila koje bi diktiralo izbor jednog od navedenih kriterijuma. Jedino čime se treba rukovoditi jeste cilj da broj zadržanih promenljivih ne bude prevelik i da gubitak informacija iz polaznog sastava bude što manji.

U interpretaciji novodobijenih varijabli služimo se matricom strukture čiji su elementi linearne korelacije originalnih promenljivih i novodobijenih promenljivih ili faktora.

1.9.2 Faktorska analiza - pojam i karakteristike

Faktorska analiza je metodološki temelj istraživanja u različitim područjima mnogih društvenih nauka, a primjenjuje se i u istraživanjima na području prirodnih nauka.

Faktorska analiza je generičko ime dato klasi multivarijaciona statističkih metoda - čija je primarna svrha definisanje osnovne strukture u matrici podataka. Uopšteno govoreći, ona se bavi problemom analiziranja strukture međuodnosa (korelacija) među velikim brojem varijabli (npr. skorovi testa, ajtemi testa, odgovori na upitnik), putem definisanja seta zajedničkih osnovnih dimenzija, poznatih kao faktori. Kod faktorske analize, istraživač može prvo da identifikuje odvojene dimenzije strukture, i onda determiniše obim u kom je svaka varijabla objašnjena pomoću svake dimenzije. Kada se determinišu ove dimenzije i objašnjenje svake varijable, mogu se ostvariti dve primarne upotrebe faktorske analize – sumarizacija i redukcija podataka. U sumarizaciji podataka, faktorska analiza izvodi osnovne dimenzije, koje kada se interpretiraju i shvate, opisuju podatke u mnogo manjem broju koncepata nego originalne individualne varijable. Redukcija podataka se može ostvariti izračunavanjem skorova za svaku osnovnu dimenziju i njihovom zamenom umesto originalnih varijabli.

Ciljevi faktorske analize

Polazište u faktorskoj analizi, kao i kod drugih statističkih tehnika, je problem istraživanja. Opšta svrha faktorsko analitičkih tehnika je da se pronađe način da se sažmu informacije sadržane u velikom broju originalnih varijabli, u manji set novih, kompozitnih dimenzija ili varijanti (faktora), uz minimalni gubitak informacija tj. da se traže i definišu fundamentalne dimenzije za koje se pretpostavlja da su u osnovi originalnih varijabli. Konkretnije, tehnike faktorske analize mogu ostvariti jedan od dva cilja:

- 1) identifikovanje strukture kroz sumarizaciju podataka ili,
- 2) redukcija podataka.

Selekcija varijable

Redukcija podataka i sumarizacija se mogu izvršiti ili sa prethodno postojećim setovima varijabli, ili sa varijablama koje je stvorilo novo istraživanje. Kada koristi postojeći set varijabli, istraživač treba ipak da razmotri konceptualne podupirače varijabli, i koristi ocenu adekvatnosti varijabli za faktorsku analizu. Upotreba faktorske analize za redukciju podataka, postaje naročito kritična kada se zahteva uporedivost tokom vremena ili u višestrukim okruženjima. Kada se koristi novi istraživački pokušaj, faktorska analiza takođe može da determiniše strukturu i/ili stvori nove kompozitne skorove iz originalnih varijabli. Npr. jedan od prvih koraka u konstruisanju sumirane skale je proceniti njenu dimenzionalnost i adekvatnost odabranih varijabli, kroz faktorsku analizu. Stoga, iako ne zaista konfirmatorna, eksploratorna faktorska analiza se koristi za evaluaciju predložene dimenzionalnosti.

➤ Kriterijumi za broj faktora za ekstrakciju

Kako se odlučuje o broju faktora za ekstrakciju? Kada se faktoriše veliki set varijabli, ova metoda prvo ekstrahuje kombinacije varijabli koje objašnjavaju najveći obim varijanse, i onda produžava na kombinacije koje objašnjavaju sve manje i manje obime varijanse. U odlučivanju kada zaustaviti faktorisanje (tj. koliko faktora ekstrahovati), istraživač generalno počinje sa nekim unapred determinisanim kriterijumom, kao što je procenat varijanse ili kriterijum latentnog korena, da bi se dobio specifičan broj faktora za ekstrakciju. Nakon što je inicijalno rešenje izvedeno, istraživač izračunava nekoliko dodatnih probnih rešenja – obično jedan manje faktor od inicijalnog broja, i dva ili tri faktora više nego što je inicijalno izvedeno. Onda, na bazi informacija dobijenih iz probnih analiza, ispituju se faktorske matrice, a najbolja reprezentacija podataka se koristi kao pomoć u determinisanju broja faktora za ekstrakciju. Po analogiji, odabir broja faktora koje treba interpretirati je nalik fokusiranju mikroskopa. Previsoko ili prenisko podešavanje, će učiniti nejasnom strukturu koja je očigledna kada je podešavanje ispravno. Stoga, putem ispitivanja broja različitih faktorskih struktura izvedenih iz nekoliko probnih rešenja, istraživač može da ih poredi i suprotstavlja, da bi došao do najbolje reprezentacije podataka. Tačna kvantitativna osnova za odlučivanje o broju faktora za ekstrakciju, nije razvijena. Međutim, trenutno se koriste sledeći kriterijumi zaustavljanja, za broj faktora za ekstrakciju.

Kriterijum latentnog korena. Najčešće korišćena tehnika je kriterijum latentnog korena. Ova tehnika je jednostavna za primenu ili u komponentnoj analizi ili faktorskoj

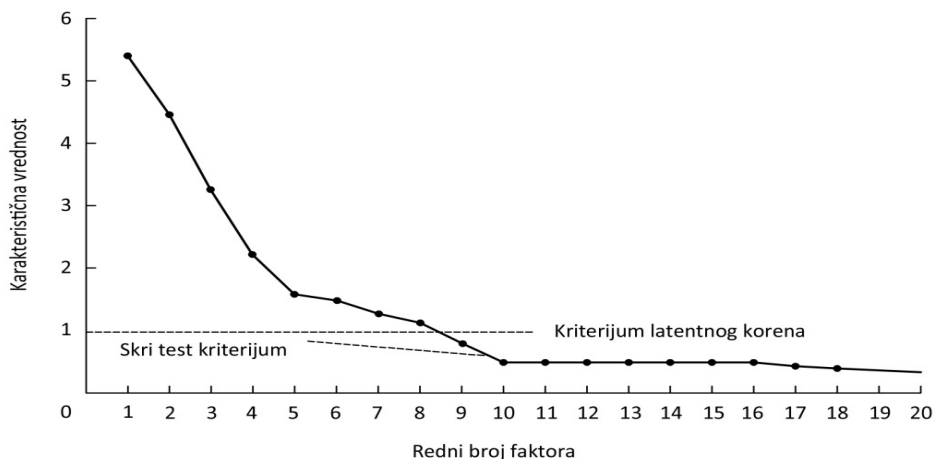
analizi u užem smislu. Obrazloženje za kriterijum latentnog korena je da bilo koji individualni faktor treba da objasni varijansu bar jedne varijable, ako ga treba zadržati za interpretaciju. Svaka varijabla doprinosi ukupnoj karakterističnoj vrednosti. Stoga, samo se faktori koji imaju latentne korene ili karakteristične vrednosti veće od 1, smatraju značajnim; svi faktori sa latentnim korenima manjim od 1, se smatraju neznačajnim i oni se izostavljaju. Korišćenje karakteristične vrednosti za utvrđivanje prekida (granične vrednosti), je najpouzdanije kada je broj varijabli između 20 i 50. Ako je broj varijabli manji od 20, postoji tendencija da ovaj metod ekstrahuje konzervativan broj faktora (premalo), dok, ako je uključeno više od 50 varijabli, nije neuobičajeno da se ekstrahuje previše faktora.

A priori kriterijum. A priori kriterijum je jednostavan a ipak razuman kriterijum pod izvesnim okolnostima. Kada ga primenjuje, istraživač već zna koliko faktora da ekstrahuje, pre preduzimanja faktorske analize. Istraživač jednostavno daje instrukcije kompjuteru da zaustavi analizu kada se ekstrahuje željeni broj faktora. Ovaj pristup je koristan kada se testira teorija ili hipoteza o broju faktora koje treba ekstrahovati. On takođe može biti opravdan u pokušaju repliciranja rada drugog istraživača, i ekstrahovanja istog broja faktora koji je prethodno pronađen.

Kriterijum procenta varijanse. Kriterijum procenta varijanse je pristup baziran na ostvarenju specifikovanog kumulativnog procenta ukupne varijanse, ekstrahovane uzastopnim faktorima. Svrha je osigurati praktičnu značajnost za izvedene faktore, putem obezbeđenja da oni objašnjavaju bar specifikovani obim varijanse. Nije usvojen apsolutni prag za sve aplikacije. Međutim, u prirodnim naukama, proceduru faktorisanja obično ne treba zaustavljati dok ekstrahovani faktori ne objasne bar 95% varijanse, ili dok poslednji faktor ne objasni samo mali deo (manje od 5%).

Kriterijum skri (scree) testa. Kod faktorskog modela komponentne analize, kasniji ekstrahovani faktori sadrže i zajedničku i jedinstvenu varijansu. Iako svi faktori sadrže bar neku jedinstvenu varijansu, srazmera jedinstvene varijanse je znatno viša u kasnijim nego u ranijim faktorima. Skri test se koristi da identifikuje optimalni broj faktora koji se mogu ekstrahovati pre no što obim jedinstvene varijanse počne da dominira strukturom zajedničke varijanse. Skri test se izvodi putem ucrtavanja latentnih korena, u odnosu na broj faktora po njihovom redosledu ekstrakcije, a oblik rezultirajuće krive se koristi za evaluaciju tačke prekida (granične vrednosti). Na slici 29. je ucrtano prvih 18 ekstrahovanih faktora. Počevši sa prvim faktorom, dijagram u početku ima strmi silazni nagib, a onda polako postaje

približno horizontalna linija. Za tačku u kojoj kriva prvo počinje da se ispravlja, se smatra da indicira maksimalan broj faktora za ekstrakciju. U konkretnom slučaju, prvih 10 faktora bi se kvalifikovalo. Preko 10, bila bi uključena prevelika srazmera jedinstvene varijanse, stoga, ovi faktori ne bi bili prihvatljivi. Opaža se da korišćenjem kriterijuma latentnog korena, samo osam faktora bi bilo razmotreno. Nasuprot tome, upotreba skri testa obezbeđuje još dva faktora. Kao opšte pravilo, skri test rezultira u tome da se za uključenje razmatra bar jedan, a ponekad i dva ili tri više faktora, nego kod kriterijuma latentnog korena.



Slika 29. Dijagram karakteristične vrednosti za kriterijum scree testa (x-osa – broj faktora, y-osa – latentni koren (karakteristična vrednost))

Heterogenost respondenata. Deljena varijansa među varijablama je osnova i za komponentne faktorske modele i one sa zajedničkim faktorom. Osnovna pretpostavka je da se deljena varijansa proteže preko čitavog uzorka. Ako je uzorak heterogen u pogledu bar jednog podskupa varijabli, onda će prvi faktori predstavljati one varijable koje su homogenije preko čitavog uzorka. Varijable koje su bolji diskriminatori između podgrupa uzorka, će opteretiti kasnije faktore, mnogo puta one koji nisu odabrani pomoću kriterijuma o kojima je gore diskutovano. Kada je cilj identifikovati faktore koji vrše diskriminaciju među podgrupama uzorka, istraživač treba da ekstrahuje dodatne faktore preko onih indiciranih od strane metoda gore navedenih, i da ispita sposobnost tih dodatnih faktora. Ako se oni pokažu kao manje korisni u diskriminaciji, rešenje može ponovo da se pregleda, a ovi kasniji faktori eliminišu.

Rezime kriterijuma za selekciju faktora. U praksi, većina istraživača retko koristi samo jedan kriterijum u determinisanju koliko faktora da ekstrahuje. Umesto toga, oni inicijalno koriste kriterijum kao što je latentni koren, kao smernicu za prvi pokušaj u interpretaciji. Nakon što se faktori interpretiraju, procenjuje se praktičnost faktora.

Jedno upozorenje pri selekciji finalnog seta faktora: postoje negativne posledice, ako se odabere previše ili premalo faktora da predstavljaju podatke. Ako se koristi premalo faktora, onda nije otkrivena ispravna struktura i važne dimenzije mogu biti izostavljene. Ako se zadrži previše faktora, onda interpretacija postaje teža kada se rezultati rotiraju. Iako su faktori nezavisni, može se lako imati previše kao i premalo faktora.

2. EKSPERIMENTALNI DEO

2.1. Pribor i aparati

Za određivanje fizičkih i hemijskih parametara korišćeni su sledeći aparati:

1. Optički emisioni spektrometar sa indukovano kuplovanom plazmom (THERMO SCIENTIFIC, ICP-OES iCAP 6000)
2. Plameni atomski apsorpcioni spektrofotometar (SHIMADZU, AA-6300)
3. Elektrotermalni apsorpcioni spektrofotometar (SHIMADZU, AA-6300)
4. UV/Vis spektrofotometar (CECIL, Aquarius CE 7200)
5. Jonski hromatograf (SHIMADZU) sa sledećim delovima: uređaj za odstranjivanje gasova (DGU-14A), kontrolor protoka (FCV-10AL), sistem za isporuku mobilne faze sa pumpom (LC-10ADSP), sistem kontroler (SCL10AVP), automatski injektor uzorka (SIL-10A), peć (CTO-10AVP; od 4 °C do 80 °C), provodni detektor (CDD-10AVP, CAR Sistem supresor).
6. pH-metar (WTW, ProfiLine pH 197)
7. Kondukto/TDS/salino-metar (WTW, LF 197/LF 197-S)
8. Ultrazvučno kupatilo (SONICA)
9. Aparat za vakuum filtraciju (SARTORIUS)
10. Vodeno kupatilo (GFL 1041)
11. Sušnica (BINDER ED53)
12. Aparat za dejonizovanu vodu (SG, ULTRA CLEAR TWF 2001-D, $\chi = 0,055$ $\mu\text{S}/\text{cm}$)
13. Analitička vaga (OHAUS)
14. Tehnička vaga (OHAUS)
15. Anjonska separaciona kolona (Shodex IC SI-90 4E; 4,0×250 mm; 9 μm) sa pretkolonom (Shodex IC SI-90G; 4,6×10 mm; 9 μm).
16. Whatman stakleni mikrofibrilni (vlaknasti) papiri (eng. glass microfiber filters, GF/C 1,2 μm , 47 mm)

17. Membranski filteri (FIORONI 0,45 μm , 47 mm)
18. Šuplje katodne lampe (HAMAMATSU)
19. Pirolitičke i visoko osjetljive kivete

Za određivanje mikrobioloških parametara korišćeni su sledeći aparati:

1. pH metar (WTW, ProfiLine pH 197)
2. Autoklav (RAYPA)
3. Biohemijski inkubator (Ari Technology (Group) CO)
4. Suvi sterilizator (RAYPA)
5. Sistem za membran filtraciju (SARTORIUS)
6. Homogenizator uzorka (GFL 3016)
7. Brojač kolonija (FUNKE GERBER)
8. Vodeno kupatilo (MEMMERT)
9. Grejna ploča (J.P. SELECTA, S.A.)
10. Bunzenov plamenik

2.2 Reagensi

Za određivanje fizičkih i hemijskih parametara korišćeni su sledeći reagensi:

1. Sumporna kiselina (96% H_2SO_4 , p.a., Kemika)
2. Azotna kiselina (65%, HNO_3 , p.a., Kemika)
3. Hlorovodonična kiselina (36,5%, HCl , p.a., Kemika)
4. Ortofosforna kiselina (85%, H_3PO_4 , p.a., Kemika)
5. Hloroform (CHCl_3 , p.a., Lach:ner)
6. Amonijum hepta molibdat tetrahidrat ($(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$, p.a., Kemika)
7. Antimon kalijum tartarat polihidrat ($(\text{K}(\text{SbO})\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6\cdot 1/2\text{H}_2\text{O})$, p.a., Merck)
8. Askorbinska kiselina ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$, p.a., Kemika)
9. 4-aminobenzen sulfonamid ($\text{NH}_2\text{C}_6\text{H}_4\text{SO}_2\text{NH}_2$, p.a., Merck)
10. N-(1-naftil)-1,2-diaminoetan dihidrohlorid, ($\text{C}_{10}\text{H}_7\text{-NH-CH}_2\text{-CH}_2\text{-NH}_2\cdot 2\text{HCl}$, p.a., Lach:ner)
11. Natrijum salicilat ($\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_3\text{Na}$, p.a., Lach:ner)
12. Trinatrijum citrat dihidrat, ($\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7\text{Na}_3\cdot 2\text{H}_2\text{O}$, p.a., Kemika)
13. Natrijum hidroksid (NaOH , p.a., Kemika)

14. Natrijum dihaloroizocijanourat dihidrat ($C_3N_3O_3Cl_2Na \cdot 2H_2O$ p.a., Panreac)
15. Cezijum hlorid ($CsCl$, p.a., SIGMA-ALDRICH)
16. Lantan(III) hlorid hepta hidrat ($LaCl_3 \cdot 7H_2O$ p.a., Panreac)
17. Natrijum karbonat (Na_2CO_3 p.a., Kemika)
18. Natrijum bikarbonat ($NaHCO_3$ p.a., Kemika)
19. Supresorska tečnost za određivanje anjona, sulfonska kiselina (Se Quant tip ULB™-P)
20. Natrijum nitrit ($NaNO_2$ p.a., Kemika)
21. Amonijum hlorid (NH_4Cl p.a., Kemika)
22. Kalijum dihidrogen fosfat (KH_2PO_4 p.a., Kemika)
23. Kalijum nitrat (KNO_3 p.a., Kemika)
24. Kalcijum karbonat ($CaCO_3$ p.a., Kemika)
25. Kalijum hlorid (KCl p.a., Kemika)
26. Natrijum hlorid ($NaCl$ p.a., Kemika)
27. Standardni rastvor hlorida za jonsku hromatografiju ((1000 ± 4) mg/L, Fluka).
28. Standardni rastvor sulfata za jonsku hromatografiju ((1000 ± 4) mg/L, Fluka).
29. Standardni rastvor natrijuma za AAS ((1001 ± 4) mg/L, Fluka)
30. Multielementni standard metala u 5% HNO_3 za AAS (500 mg/L \pm 0,5% (Al), 250 mg/L \pm 0,5% (V), 100 mg/L \pm 0,5% (As, Be, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn) i 25 mg/L \pm 0,5% (Cd i Se), (PerkinElmer).
31. Multielementni standard metala u 10% HNO_3 za AAS (10 mg/L Ag, Ba, Ca, Cd, Co, Cu, Fe, Mg, Mn, Sr i Zn; 50 mg/L Al, Cr, Li, Mo, Na, Ni, TL i 100 mg/L Bi, K, Pb Sigma-Aldrich).
32. Standardni rastvor antimona u vodi/0,6 % tartarna kiselina/ HNO_3 za AAS (1000 mg/L \pm 0,5%, PerkinElmer).
33. Paladijum matriks modifikator ($Pd(NO_3)_2 \cdot 2H_2O$ u 15% HNO_3 , $(10,0 \pm 0,3)$ g/L, Fluka).
34. Standardni rastvor KCl ($1413 \mu S/cm \pm 1,0\%$ na $25^\circ C$, Radiometer Analytical).
35. Pufer pH $4,006 \pm 0,020$ na $25^\circ C$ (WTW, TPL 4 108 800).
36. Pufer pH $7,00 \pm 0,03$ na $25^\circ C$ (WTW, TPL 7 108 802).
37. Pufer pH $10,00 \pm 0,04$ na $25^\circ C$ (WTW, TPL 10 108 805).
38. Acetilen (čistoće 2.6).

39. Helijum (čistoće 5.0).
40. Dejonizovana voda (električne provodljivosti 0,055 $\mu\text{S}/\text{cm}$).
41. Multi standard u matriksu 2% HNO_3 i vinske kiseline u tragovima (30 elemenata, $(20 \pm 0,1)$ mg/L, osim P, K i Si koncentracije $(100 \pm 0,5)$ mg/L i Ag koncentracije $(5 \pm 0,025)$ mg/L, Ultra scientific analytical solutions USA)
42. Argon 5.0 (čistoće 99.999%)

Za određivanje mikrobioloških parametara korišćeni su sledeći reagensi:

1. Triptonska voda (Merck)
2. Hranljivi agar (Torlak)
3. Ekstrakt kvasca (BioMerieux)
4. Slani peptonski rastvor (Himedia)
5. Slanetz i Bartley-Azid podloga (Sartorius)
6. Cetrimid agar podloga (Sartorius)
7. Gvožđe-sulfitni agar (BioMerieux)
8. Tergitol (Sartorius)
9. Oksidaza reagens (BioMerieux)
10. Kovač reagens (Liofilchem)
11. Krvni agar (BioMerieux)
12. MacConkey podloga (Biolife)
13. Brilljant-zeleni laktoza (žučni) bujon (Himedia)
14. EC podloga (Himedia)
15. Triptonska voda (Merck)
16. Stericon plus Bioindikator (Merck)
17. Gen box (BioMerieux)

2.3. Oblast ispitivanja

Ispitivanja vode iz arteških bunara na teritoriji Semberije sprovedena su u periodu od februara 2011. godine do januara 2012. godine, sa frekvencijom uzorkovanja jednom mesečno na deset različitih lokaliteta. Lokalizeti uzorkovanja prostiru se uz reku Savu, blizu ušća reke Drine i granice sa Republikom Srbijom, na severoistoku Republike Srpske. U tabeli 5. dati su nazivi lokaliteta na kojima su izvršena uzorkovanja vode iz arteških bunara sa koordinatama i nadmorskom visinom, a na slici 30. je prikazana karta lokaliteta. Lokalizeti uzorkovanja su nasumično izabrani. Dubina arteških bunara kreće se od 80 m do 220 m. Srednje mesečne temperature vazduha u Bijeljini za period ispitivanja su u intervalu od 0,3 °C (februar) do 23,4 °C (avgust), sa srednjom godišnjom temperaturom od 12,1 °C. Mesečne padavine su od 1,0 mm (avgust) do 85,8 mm (jul) (tabela 6.) (*Statistički godišnjak Republike Srpske, 2012; Statistički godišnjak Republike Srpske 2013*).

Tabela 5. Lokalizeti uzorkovanja

| Naziv lokaliteta | Oznaka | Koordinata x | Koordinata y | Nadmorska visina (m) |
|------------------|--------|--------------|--------------|----------------------|
| Velino selo | AB1 | 4971402,95 | 6603088,40 | 91,91 |
| Donji Brodac | AB2 | 4969694,65 | 6601470,07 | 91,63 |
| Gornji Brodac | AB3 | 4969628,35 | 6600407,21 | 95,46 |
| Begov put | AB4 | 4974180,85 | 6599992,08 | 82,93 |
| Ostojićevo | AB5 | 4968954,74 | 6597855,93 | 88,51 |
| Gornje Crnjelovo | AB6 | 4967205,14 | 6589324,61 | 88,82 |
| Subotište | AB7 | 4970564,44 | 6586400,59 | 75,81 |
| Burum | AB8 | 4968162,64 | 6584848,72 | 75,55 |
| Vršani | AB9 | 4965523,75 | 6581705,50 | 91,40 |
| Čađavica | AB10 | 4960569,74 | 6586649,81 | 96,59 |

Tabela 6. Srednje mesečne temperature vazduha i mesečne padavine u Bijeljini za period od februara 2011. godine do januara 2012. godine

| Mesec | Srednje mesečne temperature vazduha (°C) | Mesečne padavine (mm) |
|-----------|--|-----------------------|
| Februar | 0,3 | 45,0 |
| Mart | 7,1 | 19,4 |
| April | 13,6 | 32,4 |
| Maj | 16,8 | 77,7 |
| Jun | 21,4 | 51,3 |
| Jul | 23,3 | 85,8 |
| Avgust | 23,4 | 1,0 |
| Septembar | 20,6 | 18,5 |
| Oktobar | 10,7 | 34,4 |
| Novembar | 2,3 | 9,5 |
| Decembar | 4,52 | 53,1 |
| Januar | 2,3 | 61,8 |



Slika 30. Pregled lokaliteta arteških bunara

2.4. Uzorkovanje

Uzorkovanje, konzerviranje i transport uzoraka do laboratorije na određivanje hemijskih i mikrobioloških parametara vršeno je prema metodama *BAS EN ISO 25667-2:2000*, *BAS EN ISO 5667-3:2005*, *BAS ISO 5667-11:2003* i *BAS EN ISO 19458:2008*.

Uzorci vode za određivanje fizičkih i hemijskih parametara arteških bunara uzeti su dvanaest puta u periodu od februara 2011. do januara 2012. godine, sa frekvencijom uzorkovanja jednom mesečno. Uzorci su uzeti u plastičnim posudama od 3 L koje su temeljno oprane sa HNO_3 (v/v 1:1), isprane česmenskom vodom, zatim destilovanom i dejonizovanom vodom i na kraju osušene. Da bi se sprečila promena hemijskog sastava vode i biološka aktivnost, uzorci su od trenutka uzorkovanja do analize čuvani na temperaturi od 4 °C, zaštićeni od uticaja sunčevih zraka.

Uzorci za određivanje mikrobioloških parametara su uzeti četiri puta godišnje (u martu, junu, septembru i decembru), u staklenim, sterilnim bocama zapremine 1 L sa plastičnim zatvaračem. Boce su bile sterilne i spolja i iznutra, i zaštićene spolja aluminijumskom folijom. Sterilizacija boca obavljena je u autoklavu na temperaturi od (121 ± 3) °C u toku trajanja od najmanje 30 minuta. U toku sterilizacije zatvarač na boci je bio malo oslobođen, kako bi se dozvolilo vodenoj pari da zameni sav vazduh u boci i da bi se sprečilo pucanje boca prilikom hlađenja. Nakon sterilizacije boca je čvrsto zatvorena. Efikasnost sterilizacije boca kontrolisana je hemijskim i biološkim indikatorima. Za hemijsku kontrolu efikasnosti procesa sterilizacije korišćene su komercijalne trake, dok su za biološku kontrolu korišćeni preparati bakterijskih spora *Bacillus stearothermophilus*.

Za određivanje mikrobioloških parametara uzet je trenutni uzorak. Boce nisu dopunjene do vrha, radi lakše homogenizacije uzorka. Kod arteških bunara, na kojima su postavljene slavine, voda je ispumpavana dok se temperatura vode i električna provodljivost nisu ustalile. Na arteškim bunarima, na kojima nisu postavljene slavine, voda teče neprekidno zbog čega je ovaj korak preskočen. Slavine su pre uzimanja uzoraka, dezinfikovane spaljivanjem u etanolu.

2.4.1. Priprema uzoraka za određivanje hemijskih parametara

Priprema uzoraka za određivanje hemijskih parametara izvršena je u laboratoriji. Za spektrofotometrijsko određivanje amonijačnog, nitratnog i nitritnog azota uzorci su filtrirani kroz Whatman-ove GF/C filter papire. Za spektrofotometrijsko određivanje ortofosfata, hlorida i sulfata na jonskom hromatografu uzorci su filtrirani kroz membranske filtere poroznosti 0,45 μm . Filter papiri su prethodno ispitani na sadržaj navedenih parametara propuštanjem slepe probe koja je zatim analizirana.

Navedeni parametri su određeni u roku od 24 h od trenutka uzorkovanja, tako da nije bilo potrebe za konzerviranjem uzoraka.

Za određivanje rastvorenih teških metala FAAS, EAAS i ICP-OES tehnikom, uzorci su profiltrirani kroz membranske filtere poroznosti 0,45 μm u plastične posude, zakišeljani koncentrovanom azotnom kiselinom do pH vrednosti < 2 i čuvani na temperaturi od 4°C. Priprema uzoraka izvršena je u laboratoriji.

2.5. Metode određivanja fizičko-hemijskih parametara

Na licu mesta izvršeno je merenje pH vrednosti, električne provodljivosti i temperature vode. Ostali hemijski parametri određeni su u laboratoriji. Za određivanje hemijskih parametara korišćene su standardne metode, koje su prethodno prošle verifikaciju uz odgovarajuću statističku obradu podataka.

2.5.1. pH vrednost

Merenja pH vrednosti vode izvršena su po metodi *BAS ISO 10523:2002*. Ova metoda je primenjiva na sve tipove vode, u rangu vrednosti pH od 3,00 do 10,00. Pre početka merenja, pH-metar je kalibrisan puferskim rastvorima pH vrednosti 4,00; 7,00 i 9,00. Nakon

kalibracije, staklena elektroda je isprana dejonizovanom vodom i uronjena u uzorak vode. pH vrednost je očitana nakon stabilizacije temperature.

2.5.2. Električna provodljivost

Merenja električne provodljivosti izvršena su po metodi *BAS EN 27888:2002*. Ova metode je primenjiva na sve vrste vode.

Merenja su izvršena na mestu uzorkovanja. Pre početka merenja, uređaj je kalibrisan standardnim rastvorom KCl električne provodljivosti 1413 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Nakon kalibracije i provere, elektroda je isprana dejonizovanom vodom i uronjena u uzorak vode. Nakon stabilizacije temperature, očitana je izmerena vrednost električne provodljivosti.

2.5.3. Temperatura vode

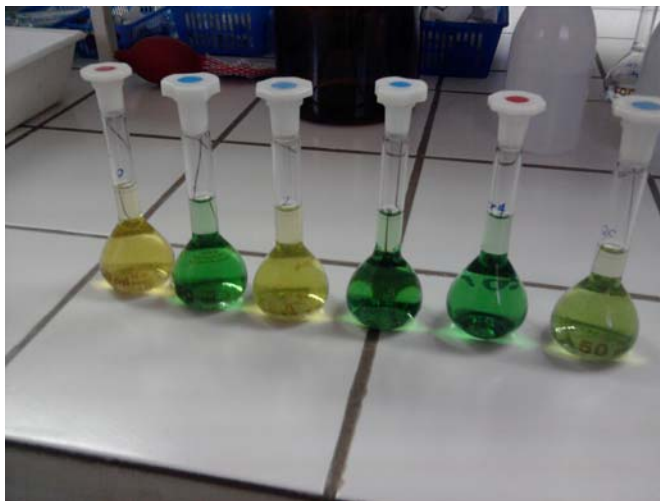
Merenja temperature vode izvršena su po metodi *APHA-AWWA-WEF 2550 B* (2005). Merenja su sprovedena pH-metrom koji u sebi sadrži sondu za merenje temperature. Merenja su izvršena na mestu uzorkovanja.

2.5.4 Amonijum jon

Određivanje amonijum jona izvršeno je spektrofotometrijskom metodom *BAS ISO 7150-1:2002*. Metoda je primenjiva na vode za piće, sirove i otpadne vode. Metodom se može odrediti amonijačni azot u koncentraciji do 1 mg/L, koristeći test porciju od 40 mL. Veće koncentracije se mogu odrediti uzimajući manje test porcije.

Princip određivanja: Reakcijom amonijum jona sa salicilatom i hipohlorit jonom u prisustvu natrijum pentacijanonitrozilferata(III) (natrijum nitroprusida) formira se kompleks zelene boje čiji se intenzitet meri na 655 nm (slika 31.). Hipohlorit jon se generiše na licu mesta alkalnom hidrolizom N, N'-dihloro-1,3,5-triazin-2,4,6 (1H, 3H, 5H)-triona,

natrijumove soli (natrijum dihloroizocijanourata). Reakcija hloramina sa natrijum salicilatom odvija se pri pH vrednosti 12,6 u prisustvu natrijum nitroprusida. Natrijum citrat prisutan u reagensu maskira smetnje koje potiču od katjona, naročito od kalcijuma i magnezijuma.



Slika 31. Spektrofotometrijsko određivanje amonijum jona

Za određivanje amonijum jona korišćeni su bojeni reagens i rastvor dihloroizocijanourata. Reagensi su pripremljeni na sledeći način:

➤ Bojeni reagens: u normalnom sudu od 250 mL, rastvoreno je $(32,50 \pm 0,25)$ g natrijum salicilata i $(32,50 \pm 0,25)$ g trinatrijum citrata dihidrata u dejonizovanoj vodi. Normalni sud je dopunjen dejonizovanom vodom do približno 230 mL i dodato je $(0,2425 \pm 0,0013)$ g natrijum pentacijanonitrozilferata(III) dihidrata. Nakon rastvaranja sud je dopunjen dejonizovanom vodom do crte. Reagens je čuvan u staklenoj boci. Stabilan je najmanje 2 nedelje.

➤ Rastvor dihloroizocijanourata: u normalni sud od 250 mL, sipano je približno 125 mL dejonizovane vode i rastvoreno $(8,00 \pm 0,03)$ g natrijum hidroksida. Rastvor je ohlađen do sobne temperature i zatim je dodato $(0,500 \pm 0,005)$ g natrijum dihloroizocijanourata dihidrata. Nakon rastvaranja sud je dopunjen dejonizovanom vodom do crte. Reagens je čuvan u staklenoj boci. Stabilan je najmanje 2 nedelje.

➤ Osnovni rastvor amonijačnog azota ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) koncentracije 1000 mg/L, od koga su se dalje pravili radni i kalibracioni rastvori, pripremljen je od amonijum hlorida. Amonijum hlorid je najpre sušen u sušnici najmanje 2 h na 105 °C. Nakon hlađenja u eksikatoru, ($3,819 \pm 0,004$) g amonijum hlorida rastvoreno je u 1000 mL dejonizovane vode. Od osnovnog rastvora pripremljen je radni rastvor RR_1 , koncentracije amonijačnog azota 100 mg/L, od koga je daljim razblaživanjem napravljen radni rastvor RR_2 koncentracije 1 mg/L. Od ovog radnog rastvora, pripremljeni su kalibracioni rastvori u opsegu masa amonijačnog azota od 0,00 μg do 20,00 μg (0,00; 2,00 ; 4,00 ; 6,00 ; 8,00 ; 10,00 i 20,00 μg).

Postupak određivanja sadržaja amonijum jona: za određivanje amonijum jona, uzorak je filtriran kroz GF/C filter papir. Maksimalna test porcija za određivanje amonijum jona je 40 mL. Nakon uzimanja odgovarajuće test porcije uzorka u normalni sud od 50 mL, dodato je 4 mL bojenog reagensa i 4 mL rastvora dihaloroizocijanourata. Normalni sud je dopunjen dejonozovanom vodom do crte, promućkan i ostavljen u vodeno kupatilo na temperaturi od (25 ± 1) °C da se razvija boja najmanje 1 h. Zajedno sa uzorkom, analizirani su slepa proba i kontrolni standard (0,10 mg $\text{NH}_4^+\text{-N/L}$), koji su prošli istu proceduru kao i uzorak. Nakon razvijanja boje, izvršeno je merenje. Merenja su spovedena na UV/Vis spektrofotometru na talasnoj dužini od 655 nm, u kiveti od 10 mm. Sa kalibracione prave je očitana masa amonijačnog azota ($\mu\text{gNH}_4^+\text{-N}$). Koncentracija amonijačnog azota (mg/L) izračunata je po formuli :

$$\gamma = \frac{m_{\text{NH}_4\text{-N}}}{V_{\text{TP}}}$$

gde je:

$m_{\text{NH}_4\text{-N}}$ - masa (μg) amonijačnog azota očitana sa kalibracione prave,

V_{TP} - zapremina (mL) test porcije uzeta za određivanje.

2.5.5. Nitriti

Određivanje nitrita izvršeno je spektrofotometrijskom metodom *BAS EN 26777:2000*. Metoda je primenjiva na vodu za piće, sirove i otpadne vode. Ovom metodom se može odrediti nitritni azot u koncentraciji do 0,25 mg/L koristeći maksimalnu test porciju od 40 mL. Veće koncentracije se mogu odrediti uzimajući manje test porcije.

Princip određivanja: reakcijom nitrita sa reagensom 4-aminobenzen sulfonamidom u prisustvu ortofosforne kiseline pri pH vrednosti 1,9 nastaje diazonijum so koja formira pink obojenje sa N-(1-naftil)-1,2-diaminoetan dihidrohloridom (slika 32.). Intenzitet nastalog obojenja meri se UV/Vis spektrofotometrom na talasnoj dužini od 540 nm.



Slika 32. Spektrofotometrijsko određivanje nitrita

Za određivanje nitrita korišćen je bojeni reagens koji je pripremljen na sledeći način:

➤ U smeši 50 mL dejonizovane vode i 10 mL ortofosforne kiseline (15 mol/L), u normalnom sudu od 100 mL, rastvoreno je $(4,00 \pm 0,05)$ g 4-aminobenzen sulfonamida i $(2,000 \pm 0,002)$ g N-(1-naftil)etilendiamin dihidrohlorida. Nakon rastvaranja, sud je dopunjen dejonizovanom vodom. Reagens je čuvan u staklenoj boci na temperaturi od 2 °C do 5 °C. Stabilan je jedan mesec.

➤ Osnovni rastvor koncentracije nitritnog azota (NO_2^- -N) 100 mg/L, od koga su se dalje pravili radni i kalibracioni rastvori, pripremljen je od natrijum nitrita. Natrijum nitrit je najpre sušen najmanje 2 h na 105 °C u sušnici. Nakon hlađenja u eksikatoru, ($0,4922 \pm 0,0002$) g natrijum nitrita rastvoreno je u 1000 mL dejonizovane vode. Od osnovnog rastvora pripremljen je radni rastvor, koncentracije nitritnog azota 1 mg/L. Od ovog radnog rastvora, pripremljeni su kalibracioni rastvori u opsegu masa nitritnog azota od 0,00 µg do 4,00 µg (0,00; 0,50; 1,00; 1,50; 2,00; 3,00 i 4,00 µg).

➤ *Postupak određivanja sadržaja nitrita:* Za određivanje nitrita, uzorak je filtriran kroz GF/C filter papir. Maksimalna test porcija za određivanje nitrita je bila 40 mL. Nakon uzimanja odgovarajuće test porcije uzorka u normalni sud od 50 mL, dodato je 1 mL bojenog reagensa i promućkano. Normalni sud je dopunjen dejonizovanom vodom do crte, promućkan i ostavljen da se razvija boja u toku 20 min do 2 h. Zajedno sa uzorkom, analizirani su slepa proba i kontrolni standard ($0,020 \text{ mgNO}_2^-$ -N/L), koji su prošli istu proceduru kao i uzorak. Nakon razvijanja boje, izvršeno je merenje. Merenja su spovedena na UV/Vis spektrofotometru na talasnoj dužini od 540 nm, u kiveti od 20 mm. Sa kalibracione prave je očitana masa nitritnog azota (μgNO_2^- -N). Koncentracija nitritnog azota (mg/L) izračunata je po formuli:

$$\gamma = \frac{m_{\text{NO}_2^- \text{-N}}}{V_{\text{TP}}}$$

gde je:

$m_{\text{NO}_2^- \text{-N}}$ - masa (µg) nitritnog azota očitana sa kalibracione prave,

V_{TP} - zapremina (mL) test porcije uzeta za određivanje.

Smetnje pri određivanju nitrita ovom metodom može da pravi visok alkalitet. Ukoliko je alkalitet uzorka suviše veliki, tako da pH vrednost uzorka nakon tretiranja reagensom i rastvaranja do 40 mL nije 1,9, pre rastvaranja se dodaje ortofosforna kiselina koncentracije 1,5 mol/L da bi se dobila odgovarajuća vrednost pH. Metoda toleriše bikarbonatni alkalitet do 300 mg/L u test porciji od 40 mL bez uticaja na specifičnu vrednost pH.

2.5.6. Nitrati

Određivanje nitrata izvršeno je UV spektrofotometrijskom metodom *APHA-AWWA-WEF 4500-NO₃⁻ B* (2005). Metoda je primenjiva na vode sa malim sadržajem organske materije, tj. na nekontaminirane prirodne vode i vode za piće. Kalibraciona prava je linearna za koncentraciju nitratnog azota do 11 mg/L.

Princip određivanja: nitrati apsorbuju na talasnoj dužini od 220 nm. Merenje apsorbance uzorka na ovoj talasnoj dužini omogućava veoma brzo određivanje sadržaja nitrata u uzorku. Međutim, na ovoj talasnoj dužini apsorbuju i organske materije. Zato je pored merenja apsorbance uzorka na ovoj talasnoj dužini potrebno izvršiti i merenja na 275 nm, kako bi se izvršila korekcija zbog prisustva organske materije koje apsorbuju na ovoj talasnoj.

Zakišeljavanje sa 1M HCl je neophodno da bi se sprečile smetnje od hidroksida i karbonata u koncentraciji većoj od 1000 mgCaCO₃/L.

Za određivanje nitrata spektrofotometrijskom metodom od reagenasa je korišćen rastvor HCl koncentracije 1 mol/L.

➤ Osnovni rastvor koncentracije nitratnog azota (NO₃⁻-N) 100 mg/L, od koga su se dalje pravili radni i kalibracioni rastvori, pripremljen je od kalijum nitrata. Kalijum nitrat je najpre sušen 24 h na 105 °C u sušnici. Nakon hlađenja u eksikatoru, 0,7218 g kalijum nitrata rastvoreno je u normalnom sudu od 1000 mL u dejonizovanoj vodi. Osnovni rastvor je konzerviran sa 2 mL hloroforma. Od osnovnog rastvora pripremljen je radni rastvor koncentracije nitratnog azota 10 mg/L. Radni rastvor je takođe konzerviran sa 2 mL hloroforma. Od ovog radnog rastvora pripremljeni su kalibracioni rastvori u opsegu koncentracija nitratnog azota od 0,00 mg/L do 7,00 mg/L (0,00; 0,50; 1,00; 2,00; 4,00; 6,00 i 7,00 mg/L).

Postupak određivanja sadržaja nitrata: Za određivanje nitrata, uzorak je filtriran kroz GF/C filter papir. Uzorak je sipan u normalni sud od 50 mL do crte, dodato je 1 mL 1 mol/L HCl, promućkano i izvršeno je merenje apsorbance rastvora na UV/Vis spektrofotometru na talasnoj dužini od 220 nm i 275 nm u kiveti od 10 mm. Zajedno sa uzorkom, analizirani su

slepa proba i kontrolni standard (1,00 mg/L), koji su prošli istu proceduru kao i uzorak. Koncentracija nitratnog azota ($\text{mgNO}_3^- \text{-N/L}$) izračunata je po formuli:

$$\gamma = \frac{(A_{220} - 2 \times A_{275})}{b}$$

gde je:

A_{220} - apsorbanca uzorka očitana na talasnoj dužini od 220 nm,

A_{275} - apsorbanca uzorka očitana na talasnoj dužini od 275 nm,

b - nagib kalibracione prave.

2.5.7. Ortofosfati

Određivanje ortofosfata izvršeno je spektrofotometrijskom metodom *BAS ISO 6878:2002*. Metoda je primenjiva na podzemne, površinske i otpadne vode. Ovom metodom se mogu odrediti koncentracije ortofosfata ($\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$) do 0,8 mg/L koristeći maksimalnu test porciju od 40 mL. Veće koncentracije se mogu odrediti uzimajući manje test porcije.

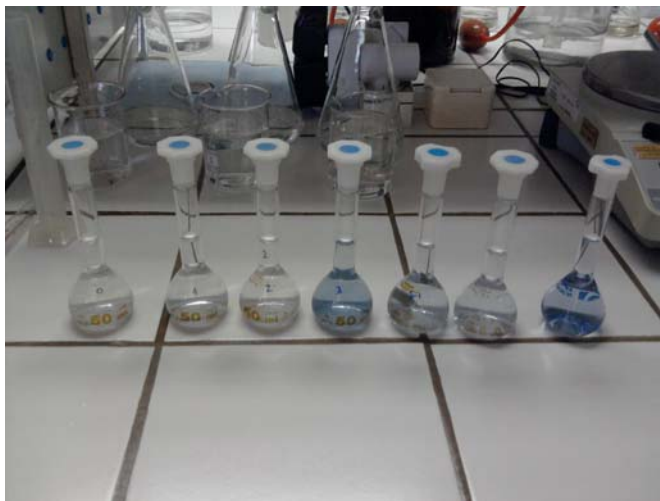
Princip određivanja: Reakcijom jona ortofosfata sa kiselim rastvorom koji sadrži jone molibdata i antimona formira se antimon fosfomolibdatni kompleks. Redukcijom ovog kompleksa sa askorbinskom kiselinom formira se intenzivno plavo obojen kompleks (slika 33.). Metoda se zasniva na spektrofotometrijskom merenju apsorbanice ovog obojenog kompleksa na talasnoj dužini od 880 nm.

Za određivanje ortofosfata spektrofotometrijskom metodom korišćeni su sledeći reagensi:

- sumporna kiselina, 9 mol/L,
- sumporna kiselina, 4,5 mol/L,
- askorbinska kiselina, 100 g/L,
- rastvor kiselog molibdata: $(6,50 \pm 0,25)$ g amonijum heptamolibdat tetrahidrata $((\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O})$ rastvoreno je u 50 mL dejonizovane vode. $(0,175 \pm 0,025)$ g kalijum antimonil tartarata poluhidrata $[\text{K}(\text{SbO})\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}]$ rastvoreno je u 50 mL dejonizovane vode. Nakon rastvaranja, 50 mL rastvora amonijum heptamolibdata tetrahidrata dodato je u

150 mL 9 mol/L H_2SO_4 . Nakon hlađenja, dodato je i 50 mL rastvora kalijum antimonil tartarata poluhidrata.

➤ Osnovni rastvor ortofosfata u kome je koncentracija fosfora ($\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$) 50 mg/L, od koga su se dalje pravili radni i kalibracioni rastvori, pripremljen je od kalijum dihidrogen fosfata. Kalijum dihidrogen fosfat je najpre sušen najmanje 2 h na 105 °C u sušnici. Nakon hlađenja u eksikatoru, (0,2197 ± 0,0002) g kalijum dihidrogen fosfata rastvoreno je u 800 mL dejonizovane vode u normalnom sudu od 1000 mL. Dodato je 10 mL 4,5 mol/L H_2SO_4 i normalni sud je dopunjen do crte dejonizovanom vodom. Od osnovnog rastvora pripremljen je radni rastvor ortofosfata u kome je koncentracija fosfora 2 mg/L. Od ovog radnog rastvora pripremljeni su kalibracioni rastvori u opsegu koncentracija fosfora od 0,000 mg/L do 0,400 mg/L (0,000; 0,040; 0,080; 0,120; 0,200; 0,280; 0,360 i 0,400 mg/L).



Slika 33. Spektrofotometrijsko određivanje ortofosfata

Postupak određivanja sadržaja ortofosfata: Za određivanje ortofosfata uzorci su filtrirani kroz membranske filtere pora 0,45 μm . Maksimalna test porcija za određivanje ortofosfata je 40 mL. Nakon uzimanja odgovarajuće test porcije uzorka u normalni sud od 50 mL, dodato je 1 mL askorbinske kiseline i promućkano. Zatim je dodato 2 mL rastvora kiselog molibdata, normalni sud je dopunjen do crte dejonizovanom vodom, promućkan i ostavljen da se razvije boja. Za razvijanje boje bilo je potrebno od 10 min do 30 min. Zajedno

sa uzorkom, analizirani su slepa proba i kontrolni standardi (0,060 mgPO₄³⁻-P/L i 0,150 mgPO₄³⁻-P/L), koji su prošli istu proceduru kao i uzorak. Nakon razvijanja boje, izvršeno je merenje. Merenja su vršena UV/Vis spektrofotometrom na talasnoj dužini od 880 nm, u kivetu od 20 mm. Sa kalibracione prave je očitana koncentracija u mg/L. Koncentracija ortofosfata (mgPO₄³⁻-P/L) izračunata je po formuli:

$$\gamma = \frac{c \times V_{MAX}}{V_{TP}}$$

gde je:

- c - koncentracija PO₄³⁻-P (mg/L) očitana sa kalibracione prave,
- V_{MAX} - zapremina (mL) normalnog suda u kome je izvršeno određivanje,
- V_{TP} - zapremina (mL) test porcije uzete za određivanje.

2.5.8. Hloridi i sulfati

Određivanje hlorida i sulfata izvršeno je na jonskom hromatografu po metodi *BAS EN ISO 10304-1:2002*. Metoda je primenjiva na vodu za piće, površinsku, podzemnu, otpadnu i morsku vodu.

Princip određivanja: anjoni se razdvajaju tečnom hromatografijom, primenom anjonske jonoizmenjivačke smole kao stacionarne faze i vodenog rastvora soli slabih mono- i dibaznih kiselina kao eluenta za izokratno eluiranje. Detekcija se vrši konduktometrijski. Da bi se poboljšala osetljivost određivanja, detektor se kombinuje sa supresorom (katjonskim izmenjivačem) koji smanjuje provodljivost eluenta i prevodi čestice uzorka u njihove kiseline.

Za određivanje hlorida i sulfata na jonskom hromatografu korišćeni su sledeći reagensi:

- dejonizovana voda provodljivosti 0,055 μS/cm,
- eluent: smeša natrijum hidrogen karbonata i natrijum karbonata. Koncentrovani eluent je pripremljen rastvaranjem 28,6 g natrijum karbonata i 8,4 g natrijum bikarbonata u 1000 mL dejonizovane vode. Od koncentrovanog eluenta napravljen je rastvor koji se

koristio kao eluent, rastvaranjem 10 mL koncentrovanog eluenta u 1000 mL dejonizovane vode. Eluent je filtriran kroz membranski filter (0,45 μm) i degaziran na ultra-zvučnom kupatilu,

- benzensulfonska kiselina kao supresor.

Za pripremu kalibracionih kriva korišćeni su komercijalni osnovni rastvori hlorida i sulfata koncentracije (1000 \pm 4) mg/L. Od osnovnih rastvora napravljeni su radni rastvori koncentracije 100 mg/L. Kalibracioni rastvori za hloride i sulfate pripremljeni su od radnih rastvora i bili su u opsegu koncentracija od 0,00 mg/L do 20,00 mg/L (0,00; 0,50; 1,00; 2,00; 5,00; 10,00 i 20,00 mg/L). Kalibracionim standardima u normalnim sudovima od 100 mL, nakon dopunjavanja do crte, dodato je 1 mL koncentrovanog eluenta.

Postupak određivanja sadržaja hlorida i sulfata: Za određivanje hlorida i sulfata uzorci su najpre filtrirani kroz membranske filtere (0,45 μm). Uzorcima, u normalnim sudovima od 100 mL, dodato je 1 mL koncentrovane mobilne faze. Hloridi i sulfati su, nakon stabilizacije bazne linije, određeni odvojeno. Zapremina injektiranog uzorka je bila 20 μL . Koncentracija je očitana direktno sa kalibracione prave, i ukoliko je bilo razblaženja, pomnožena sa faktorom razblaženja. Zajedno sa uzorcima analizirani su slepa proba i kontrolni standard (za hloride 1 mg/L i 10 mg/L; za sulfate 5 mg/L), koji su prošli istu proceduru kao i uzorak.

2.5.9. Natrijum i kalijum FAAS

Određivanje natrijuma i kalijuma FAAS tehnikom izvršeno je po metodi *BAS ISO 9964-1:2002* i *BAS ISO 9964-2:2002* i uputstvu proizvođača instrumenta (*Instruction manual for Shimadzu AAS, 2002*). Metoda je primenjiva na sirove vode i vodu za piće.

Princip određivanja: u odgovarajuću test porciju uzorka dodaje se cezijum hlorid kako bi se suzbila jonizacija. Uzorak se direktno aspirira u smešu vazduh/acetilen plamenog atomskog apsorpcionog spektrometra i meri se apsorbanca na 589,0 nm za natrijum i 766,5 nm za kalijum.

Za određivanje natrijuma i kalijuma FAAS tehnikom korišćeni su sledeći reagensi:

- HNO₃, 65%,
- cezijum hlorid: 25,0 g cezijum hlorida rastvoreno je u rastvor 50 mL HNO₃ i 450 mL vode i dopunjeno dejonizovanom vodom do 1000 mL,
- slepa proba, 1,5 mL HNO₃ i 100 mL rastvora cezijum hlorida preneto je u normalni sud od 1000 mL i dopunjeno dejonizovanom vodom,
- acetilen, čistoće 2,6.

Za određivanje natrijuma, kalibracioni rastvori pripremljeni su od komercijalnog osnovnog standardnog rastvora koncentracije (1000 ± 4) mg/L. Osnovni rastvor za određivanje kalijuma koncentracije 1000 mg/L pripremljen je od kalijum hlorida. Kalijum hlorid je sušen najmanje 1 h na (140 ± 10) °C. Nakon hlađenja u eksikatoru, (1,907 ± 0,005) g kalijum hlorida rastvoreno je u 1000 mL dejonizovane vode. Od osnovnih standardnih rastvora pripremljen je radni rastvor koncentracije 10 mg/L. Od ovog radnog rastvora pripremljeni su kalibracioni rastvori u opsegu koncentracija od 0,00 mg/L do 0,80 mg/L (0,00; 0,20; 0,40; 0,60 i 0,80 mg/L).

Postupak određivanja sadržaja natrijuma i kalijuma FAAS tehnikom: Za određivanje natrijuma i kalijuma uzorci su najpre filtrirani kroz membranske filtere pora 0,45 μm i zakišeljani HNO₃ do pH vrednosti ispod 2. Odgovarajuća test porcija uzorka uzeta je u normalni sud od 100 mL, dodato je 10 mL rastvora cezijum hlorida i sud je dopunjen dejonizovanom vodom do crte. Ovako pripremljen uzorak je direktno aspiriran u smešu acetilen/vazduh. Nakon atomizacije uzorka, izmerena je apsorbancija uzorka na odgovarajućoj talasnoj dužini. Zajedno sa uzorcima analizirani su slepa proba i kontrolni standard (0,40 mg/L), koji su prošli istu proceduru kao i uzorak. Koncentracija (mg/L) natrijuma i kalijuma izračunata je po formuli:

$$\gamma = \frac{c \times V}{V_{TP}}$$

gde je:

- c - koncentracija test porcije (mg/L) očitana sa kalibracione prave,
- V - zapremina (mL) normalnog suda za pripremu uzorka,
- V_{TP} - zapremina (mL) test porcije.

2.5.10. Kalcijum i magnezijum

Određivanje kalcijuma i magnezijuma FAAS tehnikom izvršeno je po metodi *APHA-AWWA-WEF 3111 B* (2005) i uputstvu proizvođača instrumenta (*Instruction manual for Shimadzu AAS, 2002*).

Princip određivanja: u odgovarajuću test porciju uzorka dodaje se lantan(III) hlorid kako bi se suzbila jonizacija. Uzorak se direktno aspirira u smešu vazduh/acetilen plamenog atomskog apsorpcionog spektrometra i meri se apsorbanca na 422,7 nm za kalcijum i 285,2 nm za magnezijum.

Za određivanje natrijuma i kalijuma FAAS tehnikom korišćeni su sledeći reagensi:

- HNO₃ 65%,
- slepa proba, 1,5 mL HNO₃ i 100 mL rastvora lantan(III) hlorida preneto je u normalni sud od 1000 mL i dopunjeno dejonizovanom vodom,
- lantan(III) hlorid: 2 g lantan(III) hlorid rastvoreno je u normalnom sudu od 1000 mL i dopunjeno dejonizovanom vodom,
- acetilen, čistoće 2,6.

Za određivanje magnezijuma, kalibracioni rastvori (0,00; 0,10, 0,20 i 0,40 mg/L) pripremljeni su od multielementnog komercijalnog standardnog rastvora koncentracije 10 mg/L. U kalibracione rastvore dodat je rastvor lantan(III) hlorida.

Osnovni rastvor za određivanje kalcijuma, koncentracije 100 mg/L, pripremljen je od kalcijum karbonata. Kalcijum karbonat je sušen najmanje 1 h na 180 °C. Nakon hlađenja u eksikatoru, 0,2497 g kalcijum karbonata rastvoreno je u maloj zapremini smeše dejonizovane vode i koncentrovane HNO₃ (v/v 1:1). Dodato je 10 mL koncentrovane HNO₃ i sud dopunjen dejonizovanom vodom do 1000 mL. Od osnovnog rastvora dalje su pripremljeni kalibracioni rastvori koncentracija 0,50 mg/L, 1,00 mg/L i 2,00 mg/L.

Postupak određivanja sadržaja kalcijuma i magnezijuma FAAS tehnikom: Za određivanje kalcijuma i magnezijuma uzorci su najpre filtrirani kroz membranske filtere pora 0,45 µm i zakišeljani HNO₃ do pH vrednosti ispod 2. Odgovarajuća test porcija uzorka uzeta je u normalni sud od 100 mL, dodato je 10 mL rastvora lantan(III) hlorida i sud dopunjen

dejonizovanom vodom do crte. Ovako pripremljen uzorak je direktno aspiriran u smešu acetilen/vazduh. Nakon atomizacije uzorka, izmerena je apsorbancija uzorka na odgovarajućoj talasnoj dužini. Zajedno sa uzorcima analizirani su slepa proba i kontrolni standard (za magnezijum 0,20 mg/L i kalcijum 1,00 mg/L), koji su prošli istu proceduru kao i uzorak. Koncentracija (mg/L) kalcijuma i magnezijuma izračunata je po formuli:

$$\gamma = \frac{c \times V}{V_{TP}}$$

gde je:

- c - koncentracija test porcije (mg/L) očitana sa kalibracione prave,
- V - zapremina (mL) normalnog suda za pripremu uzorka,
- V_{TP} - zapremina (mL) test porcije.

2.5.11. Gvožđe, mangan i cink

Određivanje gvožđa, mangana i cinka FAAS tehnikom izvršeno je po metodi *APHA-AWWA-WEF 3111 B* (2005) i uputstvu proizvođača instrumenta (*Instruction manual for Shimadzu AAS, 2002*).

Princip određivanja: uzorak se direktno aspirira u plamen i atomizuje. Snop svetlosti se usmerava kroz plamen, monohromator i kroz detektor koji meri količinu apsorbovane svetlosti od strane atomizovanog elementa u plamenu. Količina apsorbovane svetlosti određene talasne dužine direktno je proporcionalna koncentraciji elementa u uzorku.

Za određivanje gvožđa, mangana i cinka FAAS tehnikom korišćeni su sledeći reagensi:

- HNO₃ 65%,
- slepa proba: 1,5 mL koncentrovane HNO₃ preneto je u normalni sud od 1000 mL i dopunjeno dejonizovanom vodom,
- acetilen, čistoće 2,6.

Kalibracioni rastvori pripremljeni su od komercijalnog multielementnog standardnog rastvora koncentracije 100 mg/L. Za određivanje gvožđa pripremljeni su kalibracioni rastvori koncentracije 0,50 mg/L, 1,00 mg/L i 2,00 mg/L. Za određivanje mangana pripremljeni su

kalibracioni rastvori koncentracije 0,20 mg/L, 0,50 mg/L i 1,00 mg/L. Za određivanje cinka najpre je pripremljen radni rastvor koncentracije 10 mg/L, od koga su dalje pripremljeni kalibracioni rastvori koncentracije 0,10 mg/L, 0,20 mg/L i 0,40 mg/L.

Postupak određivanja sadržaja gvožđa, mangana i cinka FAAS tehnikom: Prethodno pripremljen uzorak za teške metale direktno je aspiriran u smešu acetilen/vazduh. Nakon atomizacije uzorka, izmerena je apsorbancija uzorka na odgovarajućoj talasnoj dužini za dati element. Koncentracija elementa očitana je direktno sa kalibracione prave. Zajedno sa uzorcima analizirani su slepa proba i kontrolni standard (Mn 0,05 mg/L, Fe 1,00 mg/L i Zn 0,20 mg/L), koji su prošli istu proceduru kao i uzorak.

2.5.12 Antimon, arsen, kobalt, hrom, bakar, nikl, olovo, kadmijum i selen

Određivanje antimona, arsena, kobalta, hroma, bakra, nikla, olova, kadmijuma i selena EAAS tehnikom izvršeno je po metodi *APHA-AWWA-WEF 3113 B* (2005) i uputstvu proizvođača instrumenta (*Instruction manual for Shimadzu AAS, 2002*).

Princip određivanja: mikrogramske količine uzorka se direktno unose u grafitnu tubu kroz koju se primenjuje električna struja od 300 A (maksimum). Grafitna tuba se zagreva do visoke temperature i elementi se atomizuju. Šuplja katodna lampa emituje zračenje odgovarajuće talasne dužine, koje se apsorbira od strane slobodnih atoma. Koncentracija apsorbiranog zračenja direktno je proporcionalna koncentraciji elementa u uzorku.

Za određivanje metala EAAS tehnikom korišćeni su sledeći reagensi:

- HNO₃ 65%,
- slepa proba: 1,5 mL koncentrovane HNO₃ rastvoreno je u 1000 mL dejonizovane vode,
- paladijum matriks modifikator Pd(NO₃)₂×2H₂O: 10 mg/L u 15% HNO₃, za određivanje antimona i selena,
- argon, čistoće 5.0.

Za određivanje metala EAAS tehnikom korišćen je komercijalni osnovni multielementni standardni rastvor koncentracije 100 mg/L (As, Co, Cr, Cu, Ni i Pb) i 25

mg/L (Se i Cd). Za određivanje antimona korišćen je komercijalni osnovni standardni rastvor koncentracije 1000 mg/L.

Od osnovnog rastvora pripremljen je radni rastvor koncentracije 2 mg/L (As, Co, Cr, Cu, Ni i Pb) i 0,5 mg/L (Se i Cd). Za određivanje As, Co, Cr, Cu, Ni i Pb od ovog radnog rastvora dalje je pripremljen radni rastvor koncentracije 0,20 mg/L od koga su pripremljeni kalibracioni rastvori sledećih koncentracija: 5,00 µg/L, 10,00 µg/L, i 20,00 µg/L (As, Co, Ni i Pb), i 2,50 µg/L, 5,00 µg/L i 10,00 µg/L (Cr i Cu). Za određivanje Cd od radnog rastvora koncentracije 0,50 mg/L pripremljen je radni rastvor koncentracije 10,00 µg/L, od koga su pripremljeni kalibracioni rastvori (0,50 µg/L, 1,00 µg/L i 2,00 µg/L). Za određivanje Se od radnog rastvora koncentracije 0,50 µg/L direktno su pripremljeni kalibracioni rastvori (5,00 µg/L, 10,00 µg/L i 20,00 µg/L). Od osnovnog rastvora Sb koncentracije 1000 mg/L pripremljen je radni rastvor koncentracije 10,00 mg/L. Od ovog radnog rastvora pripremljen je radni rastvor koncentracije 0,1 mg/L od koga su dalje pripremljeni kalibracioni rastvori (5,00 µg/L, 10,00 µg/L i 20,00 µg/L).

Za određivanje As, Co, Cr, Cu, Ni, Sb i Se korišćene su pirolitičke grafitne kivete, dok su za Pb i Cd korišćene kivete visoke osetljivosti.

Postupak određivanja arsena, kobalta, hroma, bakra, nikla, olova i kadmijuma:

Prethodno pripremljen uzorak pomoću autosemplera direktno je unet u kivetu. Injektirano je 20 µL uzorka. Kod određivanja Sb i Se dodato je 5 µL paladijum matriks modifikatora. Zajedno sa uzorkom analizirani su slepa proba i kontrolni standard (As, Co, Ni, Pb, Se i Sb 10,0 µg/L; Cu i Cr 5,0 µg/L; Cd 1,0 µg/L), koji su prošli istu proceduru kao i uzorak. Sa kalibracione prave direktno je očitana koncentracija elementa u µg/L. Ukoliko je bilo razblaženja, očitana vrednost je pomnožena sa faktorom razblaženja.

2.5.13. Određivanje metala ICP-OES

Određivanje sadržaja metala ICP-OES tehnikom izvršeno je po metodi *U.S. EPA 200.7:2001*. Za analizu uzoraka vode iz arteških bunara, izabrani parametri instrumenta dati su u tabeli 7.

Tabela 7. Operativni parametri instrumenta

| Parametar | |
|--|---|
| Brzina peristaltičke pumpe | 50 rpm |
| Snaga radiofrekventnog (RF) generatora | 1150 W |
| Protok raspršivačkog gasa | 0,7 L/min |
| Protok gasa za hlađenje | 12 L/min |
| Protok gasa za obrazovanje plazme | 0,5 L/min |
| Vreme ispiranja | 30 s |
| Pravac posmatranja plazme | Aksijalni Radijalni (Na, K, Ca, Mg, P) |

Za određivanje sadržaja metala u uzorcima vode iz arteških bunara kreirane su analitičke metode za svaki elemenat. Za svaki ispitivani elemenat su izabrane po četiri talasne dužine sa najvećim relativnim intezitetom emisije. Najpre su konstruisane kalibracione prave korišćenjem tri standarda, od kojih su dva pripremljena razblaživanjem referentnog multielementnog standarda, koncentracija 2 mg/L i 5 mg/L, a treći je bila dejonizovana voda. Radna talasna dužina je izabrana na osnovu relativnog inteziteta emisije, standardne devijacije nagiba, standardne devijacije odsečka, korelacionog koeficijenta, interferencije na talasnim dužinama levo i desno od odabrane (*U.S. EPA, 2001*). U tabeli 8. prikazane su odabrane talasne dužine za svaki elemenat, odsečak, nagib, korelacioni koeficijent kalibracione prave (r), koeficijent determinacije (R^2), limit detekcije (LOD) i limit kvantifikacije (LOQ).

Za elemente Ca, Cd, Co, Cr, Mg, Na, Ni i Sb, izabrane su druge talasne dužine u odnosu na *U.S. EPA 200.7:2001*. Na izabranim talasnim dužinama pomenutih elemenata nije bilo spektralnih interferencija.

Tabela 8. Parametri kalibracione prave za određivane elemente

| Element | λ (nm) | r | R ² | LOD μg/L | LOQ μg/L |
|---------|----------------|--------|----------------|-------------|-------------|
| As | 193,759 | 0,9999 | 0,9998 | 0,0381 | 0,2701 |
| Ca* | 422,673 | 0,9996 | 0,9992 | 0,2101 | 0,7002 |
| Cd | 228,802 | 0,9991 | 0,9982 | 0,0168 | 0,0559 |
| Co | 238,892 | 0,9997 | 0,9994 | 0,1909 | 0,6364 |
| Cr | 283,563 | 0,9993 | 0,9986 | 0,2976 | 0,9919 |
| Cu | 324,754 | 0,9995 | 0,9990 | 0,1217 | 0,4055 |
| Fe | 259,940 | 0,9987 | 0,9974 | 0,3978 | 1,3260 |
| K* | 766,490 | 0,9996 | 0,9992 | 0,4664 | 1,5548 |
| Mg* | 285,213 | 0,9992 | 0,9984 | 0,3213 | 1,0711 |
| Mn | 257,610 | 0,9993 | 0,9986 | 0,3005 | 1,0019 |
| Na* | 589,592 | 1,0000 | 1,0000 | 0,0020 | 0,0068 |
| Ni | 221,647 | 0,9994 | 0,9988 | 0,0266 | 0,0887 |
| Pb | 220,353 | 0,9997 | 0,9994 | 0,0094 | 0,0313 |
| Sb | 252,852 | 0,9975 | 0,9950 | 0,0850 | 0,2854 |
| Se | 196,090 | 0,9993 | 0,9986 | 0,0142 | 0,0473 |
| Zn | 213,856 | 0,9990 | 0,9980 | 0,3599 | 1,1997 |

*Vrednosti za LOD i LOQ date su u mg/L

2.6. Metode određivanja mikrobioloških parametara

2.6.1. Određivanje ukupnog broja aerobnih heterotrofa na $(22 \pm 2) ^\circ\text{C}$ u toku $(68 \pm 4) \text{ h}$ i na $(36 \pm 2) ^\circ\text{C}$ u toku $(44 \pm 4) \text{ h}$

Određivanje ukupnog broja aerobnih heterotrofa izvršeno je po protokolu *BAS ISO 6222:1999*. Protokol je pogodan za sve vrste vode.

Princip određivanja: brojnost mikroorganizama se određuje korišćenjem standardne tehnike preliivanja (pour plate) uz korišćenje uzoraka iz decimalnih razblaženja. Brojnost mikroorganizama je određena inkubacijom Petrijevih kutija na dve različite temperature, $22 ^\circ\text{C}$ i $36 ^\circ\text{C}$, kako bi se dobile vrednosti za psihofilne i mezofilne mikroorganizme.

Priprema reagenasa:

➤ Priprema podloge: u 1L destilovane sterilne vode dodato je 6 g triptona, 15 g agara i 3 g dehidratiranog ekstrakta kvasca, nakon čega su sastojci rastvoreni zagrevanjem. Podloga je sterilisana u autoklavu na temperaturi od $(121 \pm 3) ^\circ\text{C}$ u toku 15 minuta. Pre određivanja podloga je rastopljena, ohlađena na temperaturi od $45 ^\circ\text{C}$ u vodenom kupatilu,

➤ Rastvor peptona za razblaživanje: 15 g peptona rastvoreno je u 1 L destilovane vode i rastvor je sterilisan u autoklavu na temperaturi od $(121 \pm 3) ^\circ\text{C}$ u toku 15 minuta.

Postupak određivanja: 1 mL uzorka i njegovog razblaženja inkubirano je na agaru u Petri kutijama na temperaturi od $(22 \pm 2) ^\circ\text{C}$ u toku $(68 \pm 4) \text{ h}$ i na temperaturi od $(36 \pm 2) ^\circ\text{C}$ u toku $(44 \pm 4) \text{ h}$. Posle inkubacije izvršeno je brojanje kolonija.

Brojnost aerobnih heterotrofa, kao CFU/mL, izračunata je po formuli:

$$\text{CFU/mL} = \frac{Z}{V_{tot}} \times V_s$$

gde je:

c_s – procena broja CFU u poznatoj zapremini uzorka V_s ,

Z – zbir izbrojanih kolonija na čvrstim podlogama u Petri kutijama sa ili bez membranskih filtera nastalih iz razblaženja d_1, d_2, \dots, d_i , ili nastalih iz posebnih zapremina test uzorka (početni uzorak ili razblaženje),

V_s - zapremina koja je izabrana za izražavanje koncentracije mikroorganizama u uzorku,

V_{tot} - izračunata ukupna zapremina početnog, originalnog uzorka koji je zasejan na čvrstim podlogama i čije kolonije su prebrojane. V_{tot} je ili zbir odvojenih zapremina test uzorka (uzorak ili razblaženje) ili je izračunat preko formule :

$$V_{tot} = (n_1 V_1 d_1) + (n_2 V_2 d_2) + \dots + (n_i V_i d_i)$$

gde je:

V_{tot} - izračunata vrednost za ukupnu zapreminu originalnog, početnog uzorka koji je zasejan na čvrstim podlogama i čije kolonije su prebrojane,

n_1, n_2, \dots, n_i - broj podloga zasejanih iz razblaženja d_1, d_2, \dots, d_i čije kolonije su brojane,

V_1, V_2, \dots, V_i – test uzorci,

d_1, d_2, \dots, d_i - serija razblaženja test uzorke V_1, V_2, \dots, V_i ($d=1$ za početni uzorak, $d=0,1$ za desetostruko razblaženje, itd.).

2.6.2. Određivanje prisustva i brojnosti koliformnih bakterija, termotolerantnih bakterija i pretpostavka prisustva *Escherichiae coli* tehnikom najverovatnijeg broja

Određivanje prisustva i brojnosti koliformnih bakterija, termotolerantnih bakterija i pretpostavka prisustva *E. coli* tehnikom najverovatnijeg broja izvršena je po protokolu *BAS ISO 9308-2:1990*. Protokol se može primeniti na sve vrste vode uključujući i one koje sadrže određenu količinu suspendovanih materija.

Princip određivanja: tehnika se zasniva na inokulaciji serije epruveta, u kojima se nalazi selektivna tečna podloga koja sadrži laktozu i invertno postavljene Durhamove cevčice, odgovarajućom količinom početnog ili razblaženog uzorka. Pregledanjem epruveta, posle 24 h i 48 h inkubacije na temperaturama od 35 °C ili 37 °C, utvrđuje se promena u zamućenosti podloge i prisustvo gasa u Durham cevčicama. Iz ovih epruveta sa pozitivnom reakcijom se dalje vrši inokulacija na druge selektivnije podloge za potvrdni test, a ukoliko se traži potvrda *E. coli* inokuliše se podloga na kojoj se može potvrditi produkcija indola, što je karakteristika ove bakterijske vrste.

Preko srednjih vrednosti iz statističkih tabela vrši se izračunavanje MPN vrednosti za koliformne bakterije, termotolerantne koliformne bakterije i pretpostavka za prisustvo *E. coli* u 100 mL uzorka, a to se dobija iz broja epruveta koje su označene kao pozitivne u potvrdnom testu.

Reagensi:

- MacConkey bujon: 40 g podloge suspendovano je u 1 L hladne destilovane vode. Podloga je zagrejana do potpunog rastvaranja, a zatim sterilisana u autoklavu na 121 °C u toku 15 minuta.
- Brilliant zeleni laktoza (žučni) bujon: 40 g podloge suspendovano je u 1 L hladne destilovane vode. Podloga je zagrejana do rastvaranja, a zatim sterilisana u autoklavu na 121 °C u toku 15 minuta.
- Hranljivi agar: 8 g podloge suspendovano je u 1 L hladne destilovane vode. Podloga je zagrejana do rastvaranja, a zatim sterilisana u autoklavu na 121 °C u toku 15 minuta i razlivena u sterilne Petri kutije,
- EC podloga: 37 g podloge suspendovano je u 1 L hladne destilovane vode i podloga je zagrejana do rastvaranja. Podloga je sipana u epruvete sa invertovanim Durhamovim cevčicama i sterilisana u autoklavu na 121 °C u toku 15 minuta.
- Slani peptonski rastvor: 1,0 g peptona i 8,5 g NaCl rastvoreno je u 1 L destilovane vode. Pomoću 1 M NaOH i 1 M HCl podešena je pH vrednost podloge na $7,0 \pm 0,5$ na 25 °C. Podloga je zatim sterilisana u autoklavu na temperaturi od (121 ± 3) °C u toku 15 minuta. Pre određivanja podloga je rastopljena u autoklavu na temperaturi od 115 °C u toku u 15 minuta.

➤ Triptonska voda: 15 g podloge suspendovane je u 1 L hladne destilovane vode a zatim sterilisano u autoklavu na 121 °C u toku 15 minuta.

➤ Oksidaza reagens.

Postupak određivanja: 10 mL uzorka i 10 mL MacConkey bujona dvostruko veće koncentracije sipano je u epruvete u kojima se nalaze Durhamove cevčice. S obzirom na to da se radi o čistim podzemnim vodama pored 10 mL početnog uzorka, napravljena je serija decimalnih razblaženja 10^0 , 10^{-1} i 10^{-2} u vodenom rastvoru peptona. Iz početnog uzorka i svakog razblaženja, zasejane su po tri epruvete. Epruvete su zatim inkubirane na 36 °C u toku 48 h. Provera epruveta je izvršena nakon 24 h. Kao pozitivne epruvete su označene one kod kojih je zabeležena zamućenost podloge izazvane bakterijskim rastom i produkcija gasa u invertovanim Durhamovim cevčicama. Epruvete koje nisu pokazale niti jednu od ovih promena, reinkubirane su i pregledane posle 48 h. Sve pozitivne i sumnjive epruvete su dalje presejane na selektivnije podloge, da bi se potvrdilo prisustvo koliformnih bakterija i termotolerantnih bakterija kao i *E coli*.

Da bi se potvrdilo prisustvo koliformnih bakterija, izvršena je inkubacija na briljant-zeleni laktoza bujon. Iz pozitivnih epruveta sa MacConkey tečnom podlogom je pomoću eze preneti kap u epruvete u koje je prethodno sipano 5 mL briljant-zelenog laktoza bujona. Epruvete su inkubirane na 37 °C u toku 48 h. Provera epruveta izvršena je nakon 24 h. Kao pozitivne epruvete označene su one koje pokazuju zamućenost podloge izazvanu bakterijskim rastom i produkciju gasa u invertovanim Durhamovim cevčicama, dok su sumnjivim označene one epruvete koje su pokazale zamućenje, ali ne i produkciju gasa. Iz sumnjivih epruveta su uz pomoć eze presejani uzorci na Petri kutije sa hranljivim agarom koje su zatim inkubirane na 37 °C u toku 24 h. Nakon inkubacije su pomoću eze porasle kolonije razmazane na filter papir na kome je prethodno nanešen oksidaza reagens. Pojava ljubičaste ili plave boje je pozitivna reakcija na oksidaza test i dokazuje prisustvo koliformnih bakterija.

Za potvrdu prisutva termotolerantnih bakterija pozitivne i sumnjive epruvete su presejane i na EC tečnu podlogu. Iz pozitivnih i sumnjivih epruveta sa MacConkey tečnom podlogom je pomoću eze preneti kap u epruvete u koje je prethodno sipano 5 mL EC podloge. Epruvete su inkubirane na 44 °C u toku 24 h. Kao pozitivne epruvete označene su one koje pokazuju zamućenje izazvano bakterijskim rastom i produkciju gasa u invertovanim Durhamovim cevčicama, dok su sumnjivim označene one epruvete koje su pokazale

zamućenje ali ne i produkciju gasa i obrnuto. Da bi se potvrdilo prisustvo *E. coli* sve pozitivne i sumnjive epruvete su presejane na tripton vodu na 44 °C u toku 24 h. Nakon toga dodato je od 0,2 mL do 0,3 mL reagensa po Kovaču u epruvete sa tripton vodom. Pojava crvenog prstena ukazuje na prisutvo indola a samim tim i *E. coli* koja vrši njegovu produkciju.

Na osnovu broja pozitivnih epruveta i tablica, iz statističkih kombinacija za sistem od 3 epruvete određen je broj ukupnih koliformnih bakterija, termotolerantnih bakterija i *E. coli*.

2.6.3. Određivanje prisustva i brojnosti koliformnih bakterija i *Escherichiae coli* tehnikom membranske filtracije

Određivanje prisustva i brojnosti koliformnih bakterija i *E. coli* tehnikom membranske filtracije izvršena je po protokolu *BAS ISO 9308-1:2000*. Protokol je namenjen za ispitivanje vode za ljudsku upotrebu.

Princip određivanja: tehnika se zasniva na membranskoj filtraciji uzorka koji se zatim stavlja na selektivnu čvrstu podlogu sa laktozom i inkubira na (36 ± 2) °C u toku (21 ± 3) h. Nakon inkubacije se na filteru javljaju tipične kolonije zlatno-žute boje kao i netipične tamnozeleno i crveno-smeđe boje. Dalje sledi biohemijska identifikacija tipičnih i netipičnih laktoza pozitivnih kolonija u cilju detekcije brojnosti koliformnih bakterija i *E. coli*.

Reagensi:

- tergitol podloga – pre analize uzorka vode u Petrijevu kutiju je dodato od 3 mL do 3,5 mL sterilne destilovane vode,
- ampule sa oksidaza reagensom,
- tripton: 15 g triptona rastvoreno je u 1 L destilovane vode i sterilisano u autoklavu na 121 °C u toku 15 minuta,
- reagens po Kovaču.

Postupak određivanja: 100 mL homogenizovanog i temperiranog uzorka filtrirano je kroz sterilan membranski filter (dijametra 47 mm i pora dijametra 0,45 µm) koji je zatim sterilnom pincetom stavljen na površini sterilne selektivne podloge u Petrijevoj kutiji. Petrijeva kutija je inkubirana u inkubatoru na temperaturi od (36 ± 2) °C u toku (21 ± 3) h,

nakon čega je izvršeno brojanje tipičnih i netipičnih kolonija. Tipične i netipične kolonije presejane su na hranljivi agar na temperaturi od $(36 \pm 2) ^\circ\text{C}$ u toku (21 ± 3) h, nakon čega je uzet određen broj kolonija koje su testirane na oksidaza test. Dve do tri kapi oksidaza reagensa stavljeno je na filter papir, ezom je deo kolonije sa hranljivog agara razmazan na pripremljen filter papir. Koliformne bakterije su oksidaza negativne bakterije zbog čega nakon 30 sekundi dolazi do pojave plave boje na filter papiru. Sve kolonije koje su dale oksidaza negativnu reakciju brojane su kao koliformne bakterije. Nakon toga urađen je test po Kovaču da bi se utvrdila brojnost *E. coli*. U epruvetu sa triptonom prenete su kolonije sa hranljivog agara i inkubirane na temperaturi od $(41 \pm 3) ^\circ\text{C}$ u toku (21 ± 3) h. Nakon isteka ovog vremena ispitana je produkcija indola dodavanjem dve do tri kapi reagensa po Kovaču. Pojava plavog ili ljubičastog prstena po obodu epruvete je pozitivna reakcija na *E. coli*. Brojane su sve kolonije koje daju negativnu oksidaza reakciju i pozitivnu indol reakciju kao *E. coli*.

Ukupan broj koliformnih organizama u 100 mL uzorka izračunato je po formuli:

$$CFU/100mL = \frac{X}{V_{tot}} \times V_s$$

gde je:

X - ukupan broj potvrđenih poraslih kolonija po ploči, $X = x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n$,

x - broj potvrđenih poraslih kolonija po ploči, $x = \frac{k}{n} \times z$,

k - broj oksidaza negativnih kolonija,

n - broj kolonija selektovanih za konfirmaciju,

V_{tot} - izračunata ukupna zapremina početnog, originalnog uzorka zasejanog na čvrastim podlogama u Petrijevim kutijama,

V_s - poznata zapremina koja je izabrana za izražavanje koncentracije mikroorganizama u uzorku.

Ukupan broj *E. coli* u 100 mL uzorka izračunato je po formuli:

$$CFU/100mL = \frac{X}{V_{tot}} \times V_s$$

gde je:

X - ukupan broj potvrđenih kolonija po ploči, $X = x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n$,

x - broj potvrđenih kolonija po ploči, $x = \frac{k}{n} \times z$,

k - broj pozitivnih kolonija na reagensu po Kovaču,

n - broj kolonija selektovanih za konfirmaciju,

V_{tot} - izračunata ukupna zapreminu početnog, originalnog uzorka,

V_s - zapremina koja je izabrana za izražavanje koncentracije mikroorganizama u uzorku.

2.6.4. Detekcija i određivanje brojnosti intestinalnih (fekalnih) streptokoka tehnikom membranske filtracije

Detekcija i određivanje brojnosti intestinalnih (fekalnih) streptokoka tehnikom membranske filtracije izvršena je po protokolu *BAS ISO 7899-2:2003*. Protokol se koristi za ispitivanje vode za piće, vode iz bazena za kupanje i drugih dezinfikovanih ili čistih voda. Protokol se takođe može primeniti na sve tipove vode sa niskim sadržajem suspendovanih materija i/ili voda u kojima nisu prisutni interferirajući mikroorganizmi. Ovaj protokol je posebno podesan za ispitivanje velikih zapremina vode koja sadrže mali broj intestinalnih enterokoka.

Ovim protokolom se može utvrditi prisustvo i brojnost crevnih enterokoka, *Enterococcus faecalis*, *Enterococcus faecium*, *Enterococcus durans* i *Enterococcus hirae*.

Princip određivanja: detekcija i određivanje ukupnog broja fekalnih streptokoka zasniva se na filtraciji određene zapremine uzorka vode kroz sterilan membranski filter sa porama veličine 0,45 µm sposobnim da zadrži bakterije. Filter se zatim stavlja na čvrstu selektivnu podlogu koja sadrži natrijum azid (suprimira rast Gram-negativnih bakterija) i 2,3,5-trifeniltetrazolijum hlorid, boju, koja se redukuje u crveni formazan u prisustvu intestinalnih enterokoka. Tipične kolonije su sitne, crvene, braon ili roze boje, ili u centru kolonije ili cele.

Za određivanje fekalnih streptokoka tehnikom membranske filtracije korišćena je gotova dehidrirana Slanetz i Bartley-Azid podloga. Pre analize uzorka vode u Petrijevu kutiju je dodato od 3 mL do 3,5 mL sterilne destilovane vode.

Postupak određivanja: 100 mL homogenizovanog i temperiranog uzorka filtrirano je kroz sterilan membranski filter (dijametra 47 mm i pora dijametra 0,45 μm) koji je zatim sterilnom pincetom stavljen na podlogu. Petrijeva kutija je inkubirana na temperaturi od $(36 \pm 2) ^\circ\text{C}$ u toku (44 ± 4) h, nakon čega je izvršeno brojanje kolonija.

2.6.5. Detekcija i određivanje brojnosti *Pseudomonas aeruginosa* tehnikom membranske filtracije

Detekcija i određivanje *P. aeruginosa* tehnikom membranske filtracije izvršena je po protokolu *BAS ISO 16266:2006*. Protokol se koristi za ispitivanje flaširane vode, ali i drugih vrsta vode kod kojih je nivo kontaminacije nizak, kao i vode koja je namenjena za ljudsku upotrebi.

Princip određivanja: određena zapremina uzorka vode ili razblaženja uzorka se filtrira kroz sterilan membranski filter (dijametra 47 mm i pora dijametra 0,45 μm) koji se postavlja na selektivnu podlogu, a zatim inkubira na $(36 \pm 2) ^\circ\text{C}$ u toku (44 ± 4) h. Na selektivnoj podlozi se formiraju kolonije koje proizvode fluorescentni plavo-zeleni pigment piocijanin, zbog čega se membranski filter posmatra pod UV lampom. Membranski filter ne treba dugo držati ispod UV lampe jer dolazi do oštećenja i smrti bakterija, što neće dati dobre rezultate na podlogama za konfirmaciju. Pored fluorescentnih plavo-zelenih kolonija, broje se i sve kolonije koje fluoresciraju ali ne proizvode piocijanin koje se zatim potvrđuju na acetamid bujonu, kao i crveno-smeđe kolonije koje ne fluoresciraju i koje se potvrđuju pomoću oksidaza testa, acetamid bujona i fluorescencije na King B podlozi.

Za određivanje *P. aeruginosa* tehnikom membranske filtracije korišćena je visoko selektivna gotova cetrimid agar podloga. Pre analize uzorka vode u Petrijevu kutiju je dodato od 3 mL do 3,5 mL sterilne destilovane vode.

Postupak određivanja: 100 mL homogenizovanog i temperiranog uzorka filtrirano je kroz sterilan membranski filter (dijametra 47 mm i pora veličina 0,45 μm) koji je zatim

sterilnom pincetom stavljen na podlogu. Petrijeva kutija je inkubirana na temperaturi od $(36 \pm 2) ^\circ\text{C}$ u toku (44 ± 4) h. Zatim je izvršeno brojanje tipičnih kolonija pod UV lampom. U analiziranim uzorcima vode nisu rađeni potvrdni testovi jer nije došlo do formiranja tipičnih i netipičnih kolonija.

2.6.6. Određivanje prisustva i brojnosti sulfito-redukujućih klostridija tehnikom membranske filtracije

Određivanje prisustva i brojnosti sulfitoredujućih bakterija tehnikom membranske filtracije izvršeno je po protokolu *BAS EN 26461-2:2002*. Protokol se može primeniti na sve vrste vode, osim na vode sa visokim sadržajem suspendovanih čestica.

Princip određivanja: određena zapremina uzorka vode se filtrira kroz sterilan membranski filter, pri čemu se spore klostridija zadržavaju na ili u membranskom filteru, koji se postavlja na selektivnu podlogu (gvožđe sulfitni agar), a zatim inkubira na $(37 \pm 1) ^\circ\text{C}$ u toku (20 ± 4) h i (44 ± 4) h. Na selektivnoj podlozi se formiraju karakteristične crne kolonije koje se broje.

Priprema podloge za analizu:

➤ gvožđe sulfitni agar: 21 g praškaste hemikalije suspendovano je u 0,5 L hladne vode, zagrejano do ključanja, a zatim sterilisano u autoklavu na $121 ^\circ\text{C}$ u toku 15 minuta. Pre upotrebe, podloga je ohlađena u inkubatoru na temperaturi od $45 ^\circ\text{C}$.

Postupak određivanja: da bi se uklonili vegetativni oblici ove bakterije, boca sa uzorkom vode je najpre zagrejana u vodenom kupatilu na $(75 \pm 5) ^\circ\text{C}$ u trajanju od 15 minuta od trenutka kada je postignuta zadata temperatura. Nakon toga, 100 mL uzorka je profiltrirano kroz sterilan membranski filter (dijametra 47 mm i pora dijametra $0,45 \mu\text{m}$) koji je pomoću sterilne pincete prenešen u Petri kutiju. U šolju je preko membrane sipano 18 mL rastopljene podloge gvožđe sulfitni agar. Nakon očvršćavanja podloge, Petri kutije su inkubirane u anaerobnim uslovima u inkubatoru na temperaturi od $(37 \pm 1) ^\circ\text{C}$ u toku (22 ± 2) h i (44 ± 4) h. Nakon isteka vremena brojane su tipične crne kolonije.

2.6.7. Određivanje prisustva/odsustva *Proteus* vrste iz kolimetrije

Dokazivanje *Proteus* vrsta u vodi izvršeno je po protokolu opisanom u publikaciji autora Škunca-Milovanović i sar. (1990).

Princip određivanja: prisustvo *Proteus* vrsta se vrši subkulturom iz kolimetrije. Posle inkubacije uzorka na MacConkey podlozi za izolaciju, koja je prvi korak u kolimetriji, kultura se bakteriološkom iglom prenosi na duboki krvni agar i zasejava tehnikom uboda, a zatim inkubira na 37 °C u toku 24h.

Reagensi:

- krvni agar,
- MacConkey podloga: 80 g praškaste podloge suspendovano je u 1 L hladne vode, rastvoreno zagrevanjem do ključanja, zatim sterilisano u autoklavu na 121 °C u toku 15 minuta i razliven duboki agar u sterilne epruvete.

Postupak određivanja: u epruvetu je sipano 10 mL MacConkey podloge i 10 mL homogenizovanog uzorka. Epruveta je inkubirana na 36 °C u toku 24 h. Nakon toga je uzorak iz epruvete zasejan bakteriološkom iglom tehnikom uboda na krvni agar. Tako zasejana podloga je inkubirana na 36 °C u toku 48 h. Pojava sivog obojenja podloge je dokaz prisustva *Proteus* vrste.

3. REZULTATI I DISKUSIJA

Kvalitet vode ispituje se prema odgovarajućim smernicama i pravilnicima merodavnih ustanova na državnom i međunarodnom nivou. U Republici Srpskoj kvalitet vode za piće određuje se prema *Pravilniku o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće Republike Srpske* (2015), a koji je u saglasnosti sa *Direktivom EU* (1998) i smernicama koje je postavila *WHO* (2011a). Kvalitet vode za piće regulisan je postavljanjem maksimalno dozvoljenih koncentracija za pojedine parametre. Analiza vode za piće obuhvata određivanje sledećih parametara:

- fizičko-hemijskih parametara: pH vrednost, električna provodljivost i temperatura vode;
- hemijskih parametara: amonijum jon, nitriti, nitrati, ortofosfati, hloridi, sulfati, kalcijum, magnezijum, natrijum, kalijum, gvožđe, mangan, cink, arsen, antimon, kobalt, bakar, hrom, kadmijum, selen, nikl i olovo;
- mikrobioloških parametara: ukupan broj aerobnih heterotrofnih bakterija na 22 °C i 36 °C, ukupne koliformne bakterije, koliformne bakterije fekalnog porekla, *E. coli*, intestinalne (fekalne streptokoke), *Pseudomonas aeruginosa*, sulfito-redukujuće klostridije i *Proteus* vrste.

3.1 Određivanje in situ parametara – pH vrednost, električna provodljivost i temperatura vode

Fizičko-hemijski parametri su veoma važni pokazatelji kvaliteta vode. Određivanje ovih parametara sprovedeno je na terenu pomoću aparata posebno izrađenih za primenu u terenskim uslovima. Značajna prednost određivanja na terenu je ta što se sprovodi nad svežim uzorcima koji nisu promenjeni, kao posledica skladištenja ili transporta. Još jedna prednost

određivanja ovih parametara na terenu je da kod uzorkovanja velikog broja uzoraka može doći do gubitka identifikacije uzoraka

Rezultati merenja pH vrednosti, električne provodljivosti i temperature vode iz arteških bunara prikazani su u Tabeli 9.

Tabela 9. Godišnji prikaz pH vrednosti*, električne provodljivosti* i temperature* vode iz arteških bunara

| Mesec | AB1 | | | AB2 | | |
|----------------|-----------|------------------------------------|--------------------------|-----------|------------------------------------|--------------------------|
| | pH | χ ($\mu\text{S}/\text{cm}$) | t ($^{\circ}\text{C}$) | pH | χ ($\mu\text{S}/\text{cm}$) | t ($^{\circ}\text{C}$) |
| Februar | 7,80±0,03 | 884±9 | 17,0±0,1 | 7,95±0,02 | 876±6 | 16,9±0,1 |
| Mart | 8,16±0,01 | 881±6 | 17,4±0,1 | 8,15±0,00 | 867±6 | 18,0±0,2 |
| April | 8,12±0,02 | 804±7 | 16,3±0,2 | 8,15±0,02 | 792±5 | 16,6±0,2 |
| Maj | 7,98±0,02 | 915±11 | 17,2±0,2 | 8,17±0,01 | 896±8 | 17,8±0,3 |
| Jun | 7,99±0,02 | 906±9 | 17,2±0,1 | 7,98±0,03 | 883±9 | 18,2±0,2 |
| Jul | 7,94±0,03 | 920±10 | 17,9±0,0 | 8,00±0,03 | 895±5 | 18,6±0,2 |
| Avgust | 7,87±0,02 | 905±7 | 17,4±0,1 | 7,95±0,02 | 888±8 | 18,3±0,1 |
| Septembar | 7,61±0,04 | 881±7 | 17,4±0,1 | 7,49±0,03 | 864±10 | 18,0±0,3 |
| Oktobar | 7,67±0,00 | 900±8 | 16,8±0,0 | 7,71±0,04 | 886±9 | 17,0±0,2 |
| Novembar | 8,00±0,02 | 893±9 | 16,8±0,1 | 8,07±0,03 | 869±7 | 16,1±0,1 |
| Decembar | 8,02±0,03 | 902±8 | 16,7±0,2 | 8,06±0,02 | 882±10 | 15,5±0,1 |
| Januar | 7,92±0,02 | 911±11 | 17,0±0,3 | 8,11±0,02 | 898±6 | 16,2±0,1 |
| Interval | 7,61-8,16 | 804-920 | 16,3-17,9 | 7,49-8,17 | 792-898 | 15,5-18,6 |
| $x_{sr}\pm SD$ | 7,92±0,02 | 892±9 | 17,1±0,1 | 7,98±0,02 | 875±7 | 17,3±0,2 |

| Mesec | AB3 | | | AB4 | | |
|----------------|-----------|------------------------------------|--------------------------|-----------|------------------------------------|--------------------------|
| | pH | χ ($\mu\text{S}/\text{cm}$) | t ($^{\circ}\text{C}$) | pH | χ ($\mu\text{S}/\text{cm}$) | t ($^{\circ}\text{C}$) |
| Februar | 7,82±0,04 | 907±10 | 14,2±0,2 | 8,00±0,02 | 728±6 | 17,8±0,2 |
| Mart | 8,12±0,02 | 883±7 | 16,5±0,3 | 8,17±0,02 | 717±8 | 19,5±0,2 |
| April | 8,13±0,02 | 806±9 | 14,9±0,2 | 8,14±0,04 | 647±4 | 18,0±0,1 |
| Maj | 8,13±0,01 | 928±8 | 15,2±0,1 | 8,10±0,03 | 741±6 | 18,9±0,1 |
| Jun | 8,01±0,03 | 920±8 | 15,8±0,1 | 8,02±0,03 | 724±8 | 19,3±0,3 |
| Jul | 7,97±0,03 | 925±6 | 16,7±0,2 | 8,02±0,02 | 738±7 | 19,8±0,3 |
| Avgust | 7,86±0,03 | 896±7 | 16,6±0,1 | 8,05±0,03 | 734±6 | 19,4±0,2 |
| Septembar | 7,52±0,02 | 887±9 | 16,5±0,1 | 7,57±0,01 | 710±6 | 19,5±0,2 |
| Oktobar | 7,66±0,02 | 908±7 | 16,5±0,0 | 7,57±0,03 | 727±5 | 19,1±0,1 |
| Novembar | 8,03±0,00 | 902±7 | 16,6±0,1 | 8,07±0,03 | 719±9 | 18,9±0,2 |
| Decembar | 8,06±0,03 | 904±5 | 15,2±0,2 | 8,03±0,02 | 734±6 | 17,6±0,2 |
| Januar | 8,01±0,02 | 882±8 | 14,2±0,1 | 8,10±0,03 | 709±6 | 17,8±0,1 |
| Interval | 7,52-8,13 | 806-928 | 14,2-16,7 | 7,57-8,17 | 647-741 | 17,6-19,8 |
| $x_{sr}\pm SD$ | 7,94±0,02 | 896±8 | 15,7±0,1 | 7,99±0,03 | 719±6 | 18,8±0,2 |

Nastavak tabele 9.

| Mesec | AB5 | | | AB6 | | |
|----------------|-----------|-----------------------------|--------------------------|-----------|-----------------------------|--------------------------|
| | pH | χ ($\mu\text{S/cm}$) | t ($^{\circ}\text{C}$) | pH | χ ($\mu\text{S/cm}$) | t ($^{\circ}\text{C}$) |
| Februar | 7,84±0,02 | 868±10 | 15,3±0,1 | 7,78±0,01 | 595±6 | 17,9±0,1 |
| Mart | 8,07±0,02 | 854±7 | 16,6±0,2 | 7,98±0,01 | 584±6 | 19,4±0,2 |
| April | 8,21±0,03 | 775±6 | 15,9±0,1 | 8,02±0,02 | 525±4 | 18,4±0,2 |
| Maj | 8,05±0,01 | 889±9 | 16,5±0,1 | 7,88±0,01 | 602±5 | 18,8±0,1 |
| Jun | 8,08±0,02 | 872±9 | 17,1±0,1 | 7,93±0,00 | 589±6 | 19,0±0,3 |
| Jul | 8,00±0,01 | 885±8 | 17,2±0,2 | 7,78±0,01 | 586±7 | 19,7±0,1 |
| Avgust | 7,89±0,00 | 856±5 | 17,0±0,1 | 7,74±0,03 | 574±7 | 19,2±0,2 |
| Septembar | 7,50±0,01 | 845±8 | 16,9±0,2 | 7,69±0,02 | 579±6 | 19,4±0,1 |
| Oktobar | 7,76±0,02 | 872±7 | 15,9±0,1 | 7,60±0,01 | 606±6 | 18,6±0,1 |
| Novembar | 8,02±0,02 | 857±6 | 15,2±0,1 | 7,90±0,01 | 591±5 | 19,2±0,2 |
| Decembar | 8,05±0,02 | 862±8 | 14,9±0,1 | 7,99±0,01 | 623±7 | 15,8±0,1 |
| Januar | 7,96±0,03 | 873±6 | 15,4±0,1 | 8,03±0,02 | 604±6 | 16,2±0,1 |
| Interval | 7,50-8,21 | 775-889 | 14,9-17,2 | 7,60-8,03 | 525-623 | 15,8-19,7 |
| $x_{sr}\pm SD$ | 7,95±0,02 | 859±7 | 16,2±0,1 | 7,86±0,01 | 588±6 | 18,5±0,2 |

| Mesec | AB7 | | | AB8 | | |
|----------------|-----------|-----------------------------|--------------------------|-----------|-----------------------------|--------------------------|
| | pH | χ ($\mu\text{S/cm}$) | t ($^{\circ}\text{C}$) | pH | χ ($\mu\text{S/cm}$) | t ($^{\circ}\text{C}$) |
| Februar | 7,94±0,01 | 618±5 | 18,0±0,2 | 7,89±0,02 | 585±3 | 18,2±0,1 |
| Mart | 8,05±0,02 | 616±4 | 20,9±0,2 | 7,89±0,03 | 565±3 | 19,8±0,2 |
| April | 8,08±0,02 | 553±6 | 20,0±0,1 | 7,86±0,02 | 519±2 | 18,4±0,2 |
| Maj | 8,12±0,03 | 633±6 | 20,7±0,3 | 7,97±0,01 | 590±5 | 18,7±0,1 |
| Jun | 8,05±0,00 | 624±3 | 20,8±0,1 | 7,81±0,01 | 587±7 | 19,1±0,1 |
| Jul | 8,01±0,02 | 614±5 | 21,6±0,2 | 7,71±0,02 | 578±4 | 19,8±0,3 |
| Avgust | 8,04±0,01 | 613±7 | 20,7±0,1 | 7,77±0,02 | 582±6 | 19,3±0,2 |
| Septembar | 7,68±0,03 | 611±5 | 20,9±0,2 | 7,48±0,03 | 571±6 | 19,2±0,2 |
| Oktobar | 7,80±0,02 | 634±5 | 19,7±0,1 | 7,49±0,01 | 588±7 | 18,6±0,2 |
| Novembar | 8,08±0,02 | 621±4 | 19,7±0,2 | 7,86±0,01 | 584±4 | 18,6±0,2 |
| Decembar | 8,20±0,03 | 638±7 | 17,4±0,1 | 7,94±0,02 | 606±5 | 17,0±0,2 |
| Januar | 8,14±0,01 | 634±4 | 17,6±0,1 | 7,87±0,01 | 600±7 | 18,0±0,1 |
| Interval | 7,68-8,20 | 553-638 | 17,4-21,6 | 7,48-7,97 | 519-606 | 17,0-19,8 |
| $x_{sr}\pm SD$ | 8,02±0,02 | 617±5 | 19,8±0,2 | 7,80±0,02 | 580±5 | 18,7±0,2 |

Nastavak tabele 9.

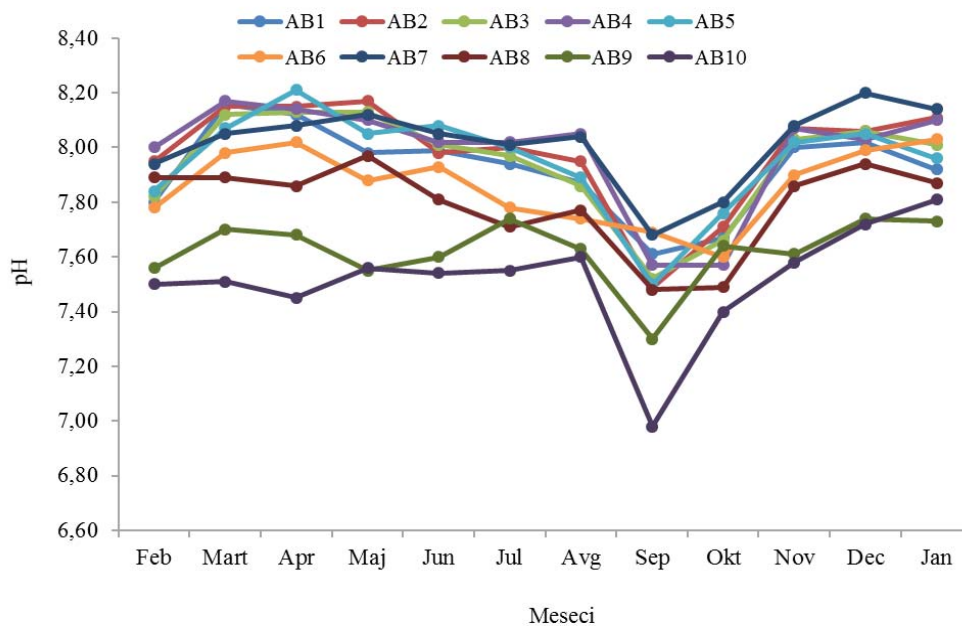
| Mesec | AB9 | | | AB10 | | |
|----------------|-----------|-----------------------------|--------------------------|-----------|-----------------------------|--------------------------|
| | pH | χ ($\mu\text{S/cm}$) | t ($^{\circ}\text{C}$) | pH | χ ($\mu\text{S/cm}$) | t ($^{\circ}\text{C}$) |
| Februar | 7,56±0,02 | 536±4 | 15,0±0,1 | 7,50±0,03 | 584±3 | 12,8±0,3 |
| Mart | 7,70±0,02 | 521±4 | 16,6±0,1 | 7,51±0,02 | 581±4 | 15,3±0,2 |
| April | 7,68±0,03 | 474±3 | 15,6±0,0 | 7,45±0,02 | 520±4 | 14,7±0,2 |
| Maj | 7,55±0,01 | 543±5 | 15,7±0,2 | 7,56±0,02 | 599±6 | 15,4±0,3 |
| Jun | 7,60±0,03 | 541±4 | 16,0±0,1 | 7,54±0,03 | 594±5 | 17,1±0,2 |
| Jul | 7,74±0,03 | 534±3 | 17,0±0,2 | 7,55±0,02 | 586±2 | 18,5±0,2 |
| Avgust | 7,63±0,02 | 530±3 | 16,3±0,2 | 7,60±0,01 | 578±3 | 17,1±0,1 |
| Septembar | 7,30±0,02 | 523±4 | 16,0±0,1 | 6,98±0,03 | 574±4 | 16,7±0,2 |
| Oktoabar | 7,64±0,01 | 533±5 | 15,9±0,1 | 7,40±0,02 | 579±4 | 15,4±0,2 |
| Novembar | 7,61±0,01 | 532±5 | 16,1±0,2 | 7,58±0,02 | 582±3 | 15,7±0,3 |
| Decembar | 7,74±0,03 | 561±4 | 14,5±0,1 | 7,72±0,02 | 585±2 | 13,0±0,2 |
| Januar | 7,73±0,03 | 568±3 | 15,3±0,2 | 7,81±0,03 | 591±3 | 14,2±0,3 |
| Interval | 7,30-7,74 | 474-568 | 14,5-17,0 | 6,98-7,81 | 520-599 | 12,8-18,5 |
| $x_{sr}\pm SD$ | 7,62±0,02 | 533±4 | 15,8±0,1 | 7,52±0,02 | 579±4 | 15,5±0,2 |

* $x_{sr}\pm SD$ (n=2)

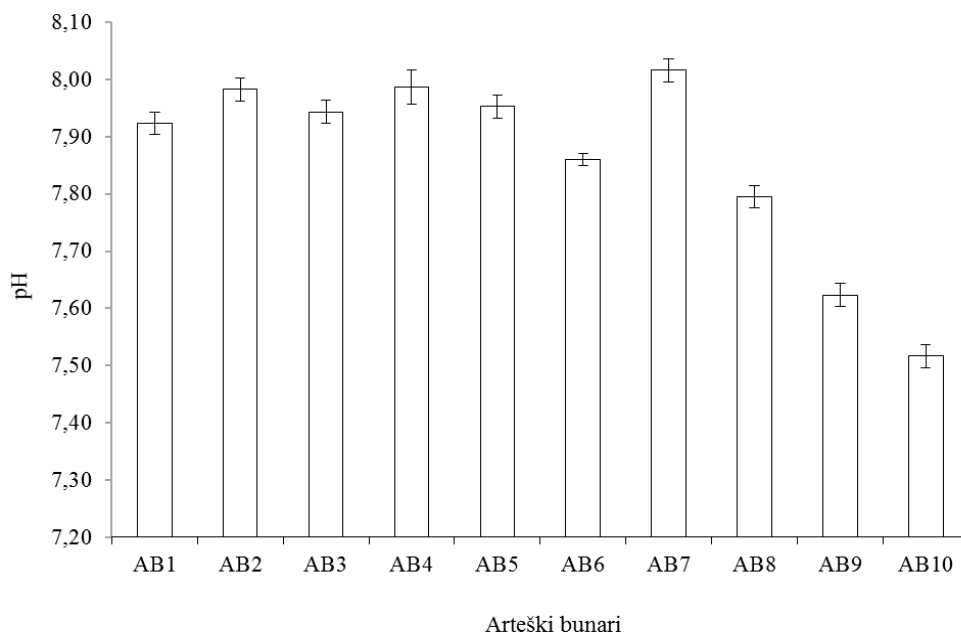
pH vrednost

pH vrednosti, na svakom pojedinačnom lokalitetu, kreću se u intervalu: 7,61 - 8,16 (AB1); 7,49 - 8,17 (AB2); 7,52 - 8,13 (AB3); 7,57 - 8,17 (AB4); 7,50 - 8,21 (AB5); 7,60 - 8,03 (AB6); 7,68 - 8,20 (AB7); 7,48 - 7,97 (AB8); 7,30 - 7,74 (AB9) i 6,98 - 7,81 (AB10). Za godišnji period ispitivanja pH vrednosti su u intervalu od 6,98 do 8,21 na svim lokalitetima, sa srednjom vrednošću od 7,86. Najveća pH vrednost izmerena je na lokalitetu AB5 u aprilu mesecu, dok je najmanja izmerena na lokalitetu AB10 u septembru mesecu (slika 32.). Varijacije pH vrednosti u ispitivanom periodu kreću se od 0,43 (AB6) do 0,83 (AB10). Sezonske varijacije nisu velike, ali ipak postoje. Naime, u letnjem periodu jun – septembar dolazi do pada pH vrednosti vode iz arteških bunara na većini lokaliteta, da bi od oktobra meseca ponovo počele da rastu (slika 34.). Ovaj pad pH vrednosti u letnjem periodu uslovljen je porastom temperature vode iz arteških bunara.

Srednje pH vrednosti vode iz arteških bunara opadaju sledećim redosledom: AB7 \square AB4 \approx AB2 \square AB5 \approx AB3 \square AB1 \square AB6 \square AB8 \square AB9 \square AB10 (slika 35.).

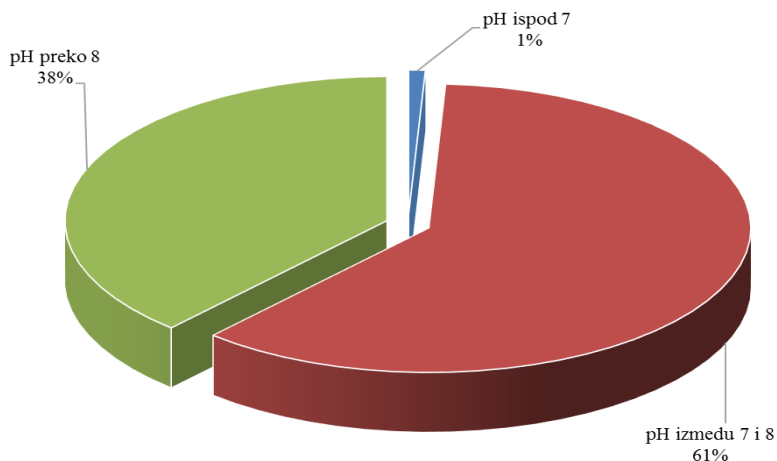


Slika 34. Mesečne promene pH vrednosti vode iz arteških bunara



Slika 35. Srednje pH vrednosti vode iz arteških bunara

Izmerene pH vrednosti u vodi iz arteških bunara AB8, AB9 i AB10 ne prelaze 8,0. Rezultati ispitivanja pokazuju da je voda blagog alkalnog karaktera, osim na lokalitetu AB10 u septembru mesecu kada ima blago kiseli karakter (6,98). Izmerene pH vrednosti u analiziranim uzorcima vode iz arteških bunara nalaze se u okviru smernica koje su preporučile *WHO* (2011a) i *U.S. EPA* (2012) i MDK koju su postavile *Direktiva EU* (1998) i *Pravilnik o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće Republike Srpske* (2015). Na slici 36. data je procentualna raspodela pH vrednosti u vodi iz arteških bunara. Od ukupno 144 izvršenih merenja pH vrednosti, samo 1% izmerenih vrednosti ima pH ispod 7, dok njih 38% ima pH vrednost iznad 8. Najveći broj izmerenih pH vrednosti je u opsegu između 7 i 8, njih 61%.



Slika 36. Procentualana raspodela izmerenih pH vrednosti u vodi iz arteških bunara

Prema podacima kojima raspolaže *WHO* (2011a), pH vrednosti prirodnih voda se kreće u intervalu od 6,5 do 9,5, što je i slučaj sa uzorcima vode iz arteških bunara.

Na teritoriji Srebrenica (BiH) podzemne vode su od blago kiselog do blago alkalnog karaktera sa pH vrednosti u intervalu od 5,00 do 8,04, pri čemu 27% uzoraka, od ukupno 120, ima pH vrednosti ispod maksimalno dozvoljene granice od 6,5 (*Institut za vode Bijeljina, 2010*).

U Srbiji, u Banatu, podzemne vode su alkalnog karaktera sa pH vrednošću u intervalu od 7,4 do 8,9 (*Papić i sar., 2012*).

U jugozapadnim delovima Makedonije, na teritoriji opštine Bitola, podzemne vode imaju pH vrednost u intervalu od 7,2 do 8,9, pri čemu od 17 uzoraka vode, njih 7 ima pH vrednost iznad 8,5 (*Mirčovski i sar., 2015*).

U podzemnim vodama Panonskog basena (istočna Mađarska i zapadna Rumunija), pH vrednosti su u intervalu od 6,26 do 9,08 (*Rowland i sar., 2011*).

U Turskoj, u gradu Kanoji, u 177 uzoraka podzemne vode, pH vrednosti su u intervalu od 7,0 do 8,6 (*Nas i Berktaş, 2010*).

U severozapadnim delovima Nigerije, pH vrednosti u uzorcima podzemne vode su u intervalu od 6,43 do 8,17 (*Ogunbode i sar., 2016*).

U Indiji, u Džajpuru, pH vrednosti u uzorcima podzemne vode su u intervalu od 7,20 do 8,35, sa srednjom vrednošću od 7,94 (*Tank i Chandel, 2010*).

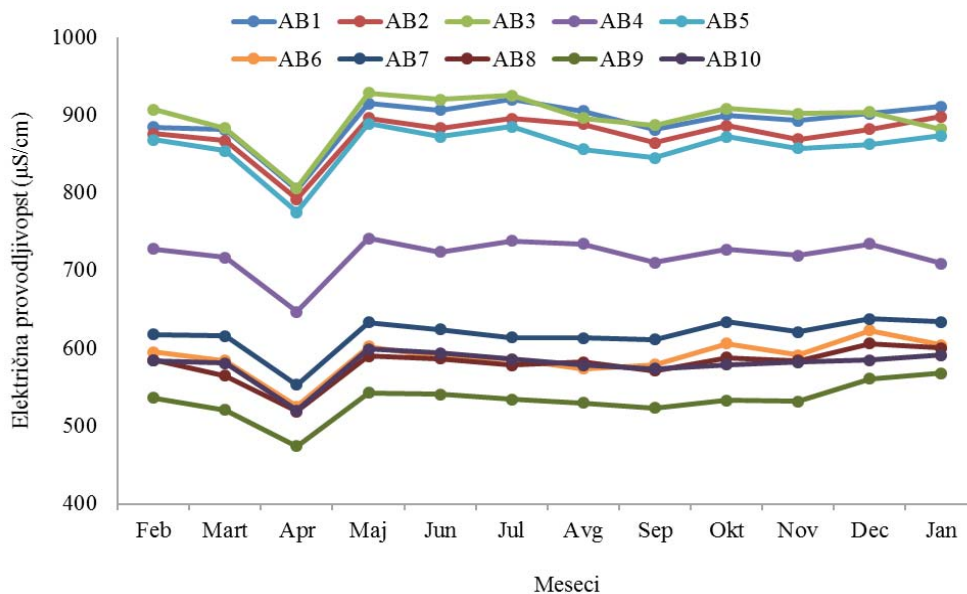
Električna provodljivost

Izmerene vrednosti električne provodljivosti, na svakom pojedinačnom lokalitetu, kreću se u intervalu: (804 - 920) $\mu\text{S/cm}$ (AB1); (792 - 898) $\mu\text{S/cm}$ (AB2); (806 - 928) $\mu\text{S/cm}$ (AB3); (647 - 741) $\mu\text{S/cm}$ (AB4); (775 - 889) $\mu\text{S/cm}$ (AB5); (525 - 623) $\mu\text{S/cm}$ (AB6); (553 - 638) $\mu\text{S/cm}$ (AB7); (519 - 606) $\mu\text{S/cm}$ (AB8); (474 - 568) $\mu\text{S/cm}$ (AB9) i (520 - 599) $\mu\text{S/cm}$ (AB10). Za godišnji period ispitivanja na svim lokalitetima, vrednosti električne provodljivosti su u intervalu od 474 $\mu\text{S/cm}$ do 928 $\mu\text{S/cm}$, sa srednjom vrednošću od 714 $\mu\text{S/cm}$. Najveća električna provodljivost izmerena je na lokalitetu AB3 u maju mesecu, dok je najmanja električna provodljivost izmerena na lokalitetu AB9 u aprilu mesecu (slika 37). Najmanja izmerena vrednost od 474 $\mu\text{S/cm}$ je ujedno i jedina vrednost koja se nalazi ispod 500 $\mu\text{S/cm}$. Sve ostale vrednosti su veće od 500 $\mu\text{S/cm}$. Razlike u električnoj provodljivosti na svim lokalitetima po mesecima u ispitivanom periodu kreću se od minimalnih 79 $\mu\text{S/cm}$ (AB10) do maksimalnih 116 $\mu\text{S/cm}$ (AB1). U vodi iz arteških bunara AB1, AB2, AB3, AB4 i AB5, vrednosti električne provodljivosti su veće nego u vodi iz ostalih arteških bunara što je posledica većeg sadržaja jona. U aprilu mesecu u vodi svih ispitivanih arteških bunara, u odnosu na mart mesec, dolazi do pada električne provodljivosti što je posledica smanjenja temperature vode za 0,6 °C (AB3) do 1,6 °C (AB10), da bi u maju mesecu došlo do naglog

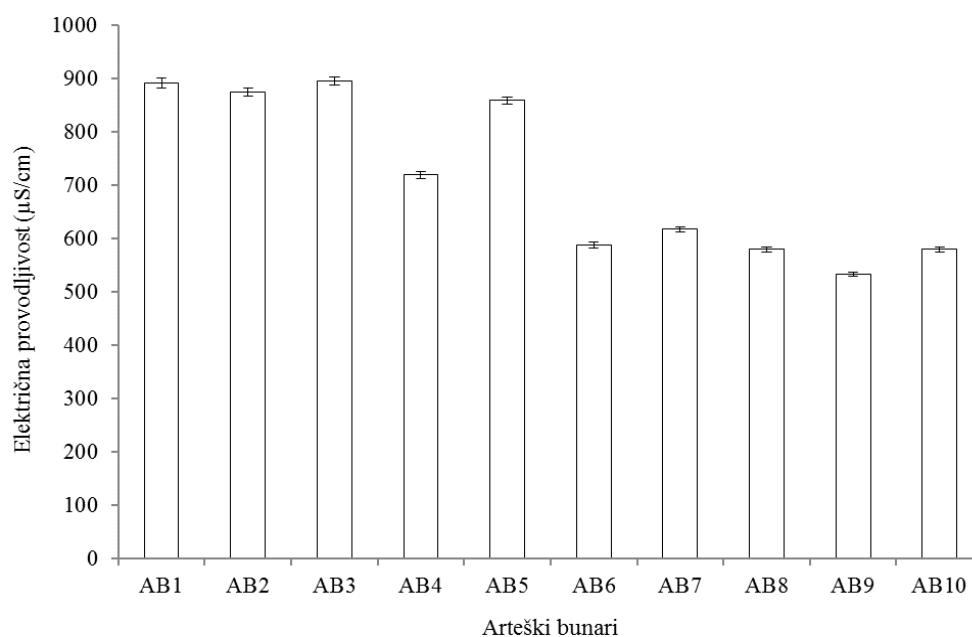
porasta temperature vode iz arteških bunara a samim tim i električne provodljivosti (slika 37.). Kada bi se izuzeo ovaj pad električne provodljivosti vode iz arteških bunara u aprilu mesecu, razlike u električnoj provodljivosti na svim lokalitetima bile bi znatno niže i kretale bi se od minimalnih 25 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (AB10) do maksimalnih 49 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (AB6) i sezonske varijacije ne bi bile značajne. U aprilu mesecu takođe dolazi i do pada koncentracije katjona (natrijuma i kalijuma) i anjona (hlorida i nitrata), odgovornih za provodljivost vode.

Ako bi se pogledala količina mesečnih padavina (tabela 6.) za navedeni period ispitivanja, očekivalo bi se da u periodu od maja do jula meseca, kada su i zabeležene najveće količine padavina, dolazi da pada električne provodljivosti u uzorcima podzemne vode usled razblaženja kišnicom. Međutim, u navedenom periodu razlike u električnoj provodljivosti su zanemarljive, od 8 $\mu\text{S}/\text{cm}$ do 19 $\mu\text{S}/\text{cm}$, što je posledica postojanja vodonepropusnog sloja oko arteških bunara koji ne dozvoljava da padavine utiču na kvalitet podzemne vode.

Srednje vrednosti električne provodljivosti vode iz arteških bunara opadaju sledećim redosledom: AB3 \square AB1 \square AB2 \square AB5 \square AB4 \square AB7 \square AB6 \square AB8 \square AB10 \square AB9 (slika 38.).



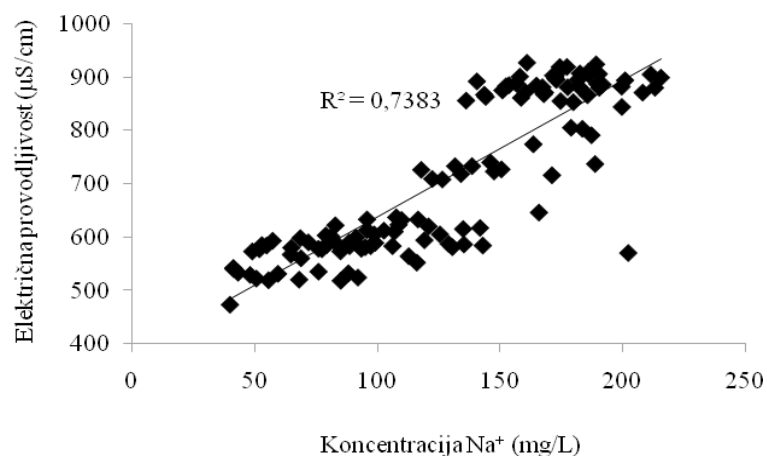
Slika 37. Mesečne promene električne provodljivosti vode iz arteških bunara



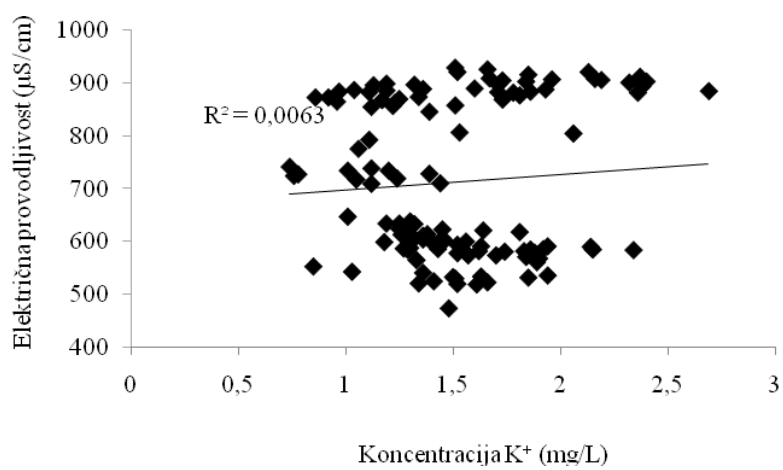
Slika 38. Srednje vrednosti električne provodljivosti vode iz arteških bunara

Na osnovu rezultata prikazanih u tabeli 9., može se videti da su vrednosti električne provodljivosti u uzorcima vode iz arteških bunara visoke, ali da se ipak nalaze u okviru MDK koja je data u *Direktivi EU* (1998) i *Pravilniku o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće Republike Srpske* (2015).

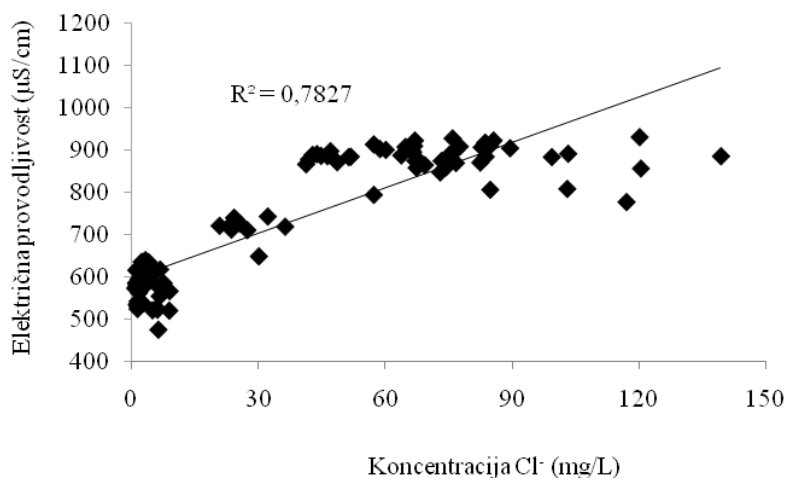
Na slici 39a-d. prikazana je zavisnost električne provodljivosti od koncentracije glavnih katjona i anjona (Na^+ , K^+ , SO_4^{2-} i Cl^-) u vodi iz arteških bunara. Sa slike se vidi da u većini slučajeva postoji dobra linearna zavisnost između električne provodljivosti ($R^2 \approx 0,7000$), s jedne strane, i koncentracije jona natrijuma i hlorida, s druge strane, dok je sa kalijumom korelacija izuzetno niska ($R^2=0,0063$). Zavisnost električne provodljivosti i koncentracije sulfata je linearna, ali obrnuto proporcionalna.



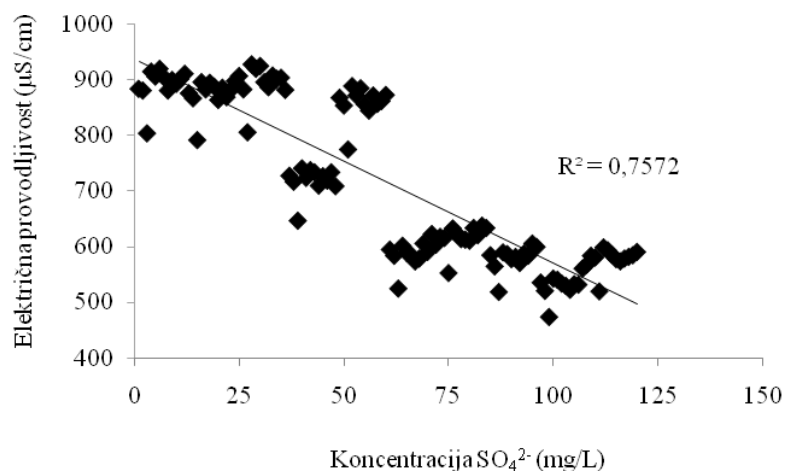
a)



b)



c)



d)

Slika 39. Zavisnost električne provodljivosti od koncentracija a) Na^+ , b) K^+ , c) Cl^- i d) SO_4^{2-} u vodi iz arteških bunara

Električna provodljivost podzemne vode veoma varira u zavisnosti od geološkog sastava. Visoke vrednosti električne provodljivosti mogu se očekivati u priobalnim delovima usled mešanja podzemne vode sa morskom vodom.

U podzemnim vodama Panonskog basena (istočna Mađarska i zapadna Rumunija), električna provodljivost je u intervalu od 0,3 mS/cm do 21,5 mS/cm (Rowland i sar., 2011).

U Turskoj, u gradu Kanoji, u 177 uzoraka podzemne vode električna provodljivost je u intervalu od 332 μ S/cm do 2892 μ S/cm (Nas i Bektay, 2010).

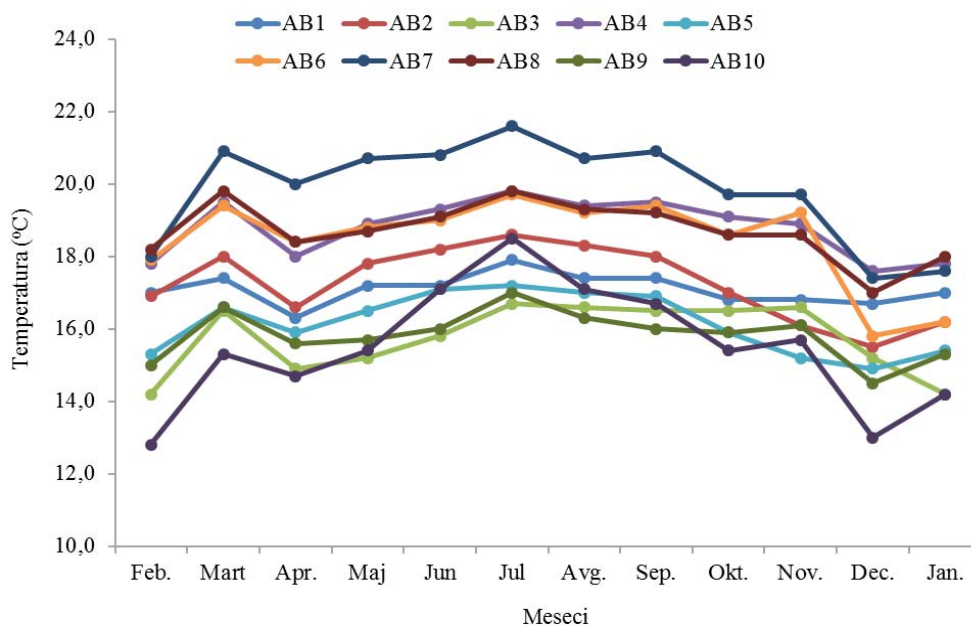
U Indiji, u gradu Džajpuru, električna provodljivost u uzorcima podzemne vode je u intervalu od 374 μ S/cm do 3004 μ S/cm, sa srednjom vrednošću od 1573 μ S/cm (Tank i Chandel, 2010).

U Pakistanu, u Lahoru u pokrajini Pandžab, električne provodljivosti u uzorcima podzemne vode pre i posle monsuna su u intervalu od 455 μ S/cm do 16700 μ S/cm i od 315 μ S/cm do 13445 μ S/cm, pri čemu više od 50% uzoraka ima provodljivost oko 1000 μ S/cm (Naeem i sar., 2007).

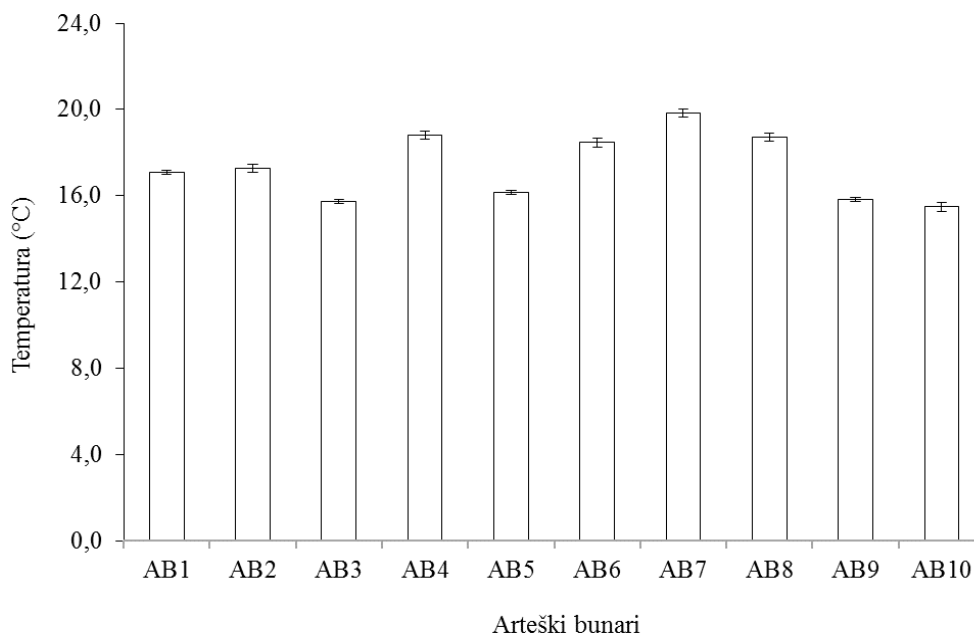
Temperatura vode

Izmerene temperature vode, na svakom pojedinačnom lokalitetu, kreću se u intervalu: (16,3 - 17,9) °C (AB1); (15,5 - 18,6) °C (AB2); (14,2 - 16,7) °C (AB3); (17,6 - 19,8) °C (AB4); (14,9 - 17,2) °C (AB5); (15,8 - 19,7) °C (AB6); (17,4 - 21,6) °C (AB7); (17,0 - 19,8) °C (AB8); (14,5 - 17,0) °C (AB9) i (12,8 - 18,5) °C (AB10). Za godišnji period ispitivanja na svim lokalitetima, temperature vode su u intervalu od 12,8 °C do 21,6 °C, sa srednjom vrednošću od 17,3 °C. Najveća temperatura vode izmerena je na lokalitetu AB7 u julu mesecu, dok je najmanja temperatura vode izmerena na lokalitetu AB10 u februaru mesecu (slika 40.). Razlike u temperaturama na svim lokalitetima u ispitivanom periodu kreću se od minimalnih 1,6 °C (AB1) do maksimalnih 5,7 °C (AB10). Sa slike 40. se može videti da postoje blage sezonske promene temperature vode iz arteških bunara tj. da u letnjem periodu dolazi do blagog porasta temperature vode.

Srednje vrednosti temperature vode iz arteških bunara opadaju sledećim redosledom: AB7 □ AB4 □ AB8 □ AB6 □ AB1 □ AB5 □ AB9 □ AB3 □ AB10 (slika 41.).



Slika 40. Mesečne promene temperature vode iz arteških bunara



Slika 41. Srednje vrednosti temperature vode iz arteških bunara

Temperatura vode nije normirana od strane nacionalnog i međunarodnih standarda (*WHO, 2011a; U.S. EPA, 2012, Direktiva EU, 1989; Pravilnik o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće Republike Srpske, 2015*), jer nema direktni uticaj na zdravlje ljudi, ali utiče na hemijske i mikrobiološke procese koji se odvijaju u vodi. Temperatura podzemne vode je približno konstantna tokom godine za razliku od površinske vode gde su sezonske varijacije značajne. Temperatura podzemne vode zavisi od dubine, sezonskih uslova (klime), geološke građe, toplotne provodljivosti stena i dr. i značajno utiče na njihov sastav. Pri istoj temperaturi postoji određena koncentracija rastvorenih soli (minerala) koji su konstituenti podzemne vode. Na višim temperaturama voda će rastvoriti više minerala. Ako se temperatura podzemne vode promeni za samo 5 °C do 10 °C, doći će do velike promene u koncentraciji rastvorenih minerala. Za podzemne vode koje se nalaze na dubinama od 50 m do 75 m, sezonske promene su manje od 1 °C (*Heath, 1989*) i temperaturne varijacije ne igraju značajnu ulogu u sastavu podzemne vode. Za podzemnu vodu koja se nalaze na maloj dubini ispod zemljine površine, veće sezonske varijacije koje se odnose na hlađenje ili zagrevanje površine su uobičajene i kreću se od 5 °C do 10 °C ili više. Do promene temperature podzemne vode koja se nalaze na maloj dubini može doći i usled mešanja sa površinskom vodom.

U severnim delovima Srbije, u Bačkoj, temperatura podzemne vode je u intervalu od 14 °C do 24 °C (*Polomčić i sar., 2014*).

3.2 Optimalni uslovi određivanja makroelemenata u vodi iz arteških bunara FAAS tehnikom

Za dobijanje pouzdanih rezultata određivanja metala FAAS tehnikom, neophodno je podesiti optimalne uslove: talasnu dužinu, protok oksidansa, protok gasa goriva, visinu plamena, pozadinsku korekciju i širinu razreza. Optimalni uslovi određivanja veoma variraju sa elementom kao i sastavom uzorka. Optimalni uslovi određivanja makroelemenata FAAS podešeni su prema uputstvu proizvođača za svaki elemenat posebno (*Instruction manual for Shimadzu AAS, 2002*).

Optimalni uslovi određivanja natrijuma, kalijuma, kalcijuma i magnezijuma i parametri kalibracionih pravi dati su u tabelama 10. i 11.

Tabela 10. Optimalni uslovi određivanja Na, K, Ca i Mg FAAS tehnikom

| Metal | Talasna dužina (nm) | Mod lampe | Širina razreza (nm) | Struja lampe (mA) | Protok acetilena (L/min) | Protok vazduha (L/min) | Visina gorionika (mm) |
|-------|---------------------|-----------|---------------------|-------------------|--------------------------|------------------------|-----------------------|
| Na | 589,0 | NON-BGC | 0,2 | 12 | 1,8 | 15 | 7 |
| K | 766,5 | NON-BGC | 0,7 | 10 | 2,0 | 15 | 7 |
| Ca | 422,7 | BGC-D2 | 0,7 | 10 | 2,0 | 15 | 7 |
| Mg | 285,2 | BGC-D2 | 0,7 | 8 | 1,8 | 15 | 7 |

*NON-BGC – ne vrši se pozadinska korekcija pomoću D₂ lampe

** BGC-D2 - vrši se pozadinska (*eng.* background) korekcija pomoću D₂ lampe

Tabela 11. Parametri kalibracione prave za određivanje Na, K, Ca i Mg FAAS tehnikom

| Mesec | Nagib | Na | | Nagib | K | |
|-----------|--------|--------|----------------|--------|--------|----------------|
| | | r | R ² | | r | R ² |
| Februar | 0,8861 | 0,9978 | 0,9956 | 0,7186 | 0,9993 | 0,9986 |
| Mart | 0,8394 | 0,9988 | 0,9976 | 0,7464 | 1,0000 | 1,0000 |
| April | 0,7123 | 0,9989 | 0,9978 | 0,6213 | 1,0000 | 1,0000 |
| Maj | 0,6649 | 0,9847 | 0,9696 | 0,4286 | 0,9998 | 0,9996 |
| Jun | 0,6402 | 0,9984 | 0,9968 | 0,4497 | 0,9989 | 0,9978 |
| Jul | 0,6189 | 0,9765 | 0,9535 | 0,6686 | 0,9991 | 0,9982 |
| Avgust | 0,6658 | 0,9952 | 0,9904 | 0,5521 | 0,9989 | 0,9978 |
| Septembar | 1,0394 | 0,9994 | 0,9988 | 0,6089 | 0,9994 | 0,9988 |
| Oktobar | 1,2632 | 0,9983 | 0,9966 | 0,5444 | 0,9998 | 0,9996 |
| Novembar | 1,8832 | 0,9720 | 0,9447 | 0,6135 | 0,9987 | 0,9974 |
| Decembar | 1,0256 | 0,9915 | 0,9830 | 0,5012 | 0,9991 | 0,9982 |
| Januar | 1,1546 | 0,9950 | 0,9900 | 0,5583 | 0,9995 | 0,9990 |
| Mesec | Nagib | Ca | | Nagib | Mg | |
| | | r | R ² | | r | R ² |
| Februar | 0,1106 | 0,9998 | 0,9996 | 1,8441 | 0,9996 | 0,9992 |
| Mart | 0,1141 | 0,9999 | 0,9998 | 1,6496 | 1,0000 | 1,0000 |
| April | 0,0865 | 0,9998 | 0,9996 | 1,3560 | 1,0000 | 1,0000 |
| Maj | 0,0920 | 0,9988 | 0,9976 | 1,3964 | 0,9994 | 0,9988 |
| Jun | 0,0909 | 0,9998 | 0,9996 | 1,3295 | 1,0000 | 1,0000 |
| Jul | 0,0358 | 0,9990 | 0,9980 | 1,2430 | 0,9985 | 0,9970 |
| Avgust | 0,0457 | 0,9989 | 0,9978 | 1,3762 | 0,9988 | 0,9976 |
| Septembar | 0,0794 | 1,0000 | 1,0000 | 1,7204 | 0,9989 | 0,9978 |
| Oktobar | 0,0874 | 0,9997 | 0,9994 | 1,5012 | 0,9969 | 0,9938 |
| Novembar | 0,0956 | 0,9999 | 0,9998 | 1,5273 | 0,9973 | 0,9946 |
| Decembar | 0,0919 | 0,9998 | 0,9996 | 1,3171 | 0,9989 | 0,9978 |
| Januar | 0,0883 | 0,9997 | 0,9994 | 1,4024 | 0,9993 | 0,9986 |

3.3 Određivanje makroelemenata

U tabelama 12-21 prikazani su rezultati određivanja natrijuma, kalijuma, kalcijuma i magnezijuma u vodi iz arteških bunara FAAS i ICP-OES tehnikom.

Tabela 12. Godišnji prikaz koncentracija * Na, K, Ca i Mg u vodi iz arteškog bunara AB1 dobijenih FAAS i ICP-OES tehnikom

| Mesec | AB1 | | | | | | | |
|---------------------|----------|---------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-----------|
| | Na, mg/L | | K, mg/L | | Ca, mg/L | | Mg, mg/L | |
| | FAAS | ICP-OES | FAAS | ICP-OES | FAAS | ICP-OES | FAAS | ICP-OES |
| Februar | 153±1 | 145±1 | 2,691±0,005 | 2,555±0,008 | 16,16±0,04 | 15,73±0,06 | 5,81±0,05 | 5,46±0,02 |
| Mart | 191±3 | 172±2 | 1,78±0,04 | 1,637±0,007 | 17,0±0,3 | 15,74±0,03 | 5,7±0,1 | 5,42±0,03 |
| April | 184±1 | 166±1 | 2,059±0,002 | 1,906±0,005 | 19,80±0,08 | 19,21±0,04 | 5,77±0,07 | 5,32±0,06 |
| Maj | 175±1 | 159±1 | 1,852±0,005 | 1,716±0,005 | 19,6±0,2 | 18,23±0,04 | 5,99±0,05 | 5,43±0,06 |
| Jun | 211±1 | 199±1 | 1,958±0,003 | 1,875±0,006 | 19,43±0,06 | 18,03±0,08 | 5,93±0,01 | 5,37±0,02 |
| Jul | 174±1 | 159±2 | 2,13±0,01 | 1,983±0,007 | 18,19±0,08 | 18,25±0,04 | 6,18±0,04 | 5,71±0,02 |
| Avgust | 186±1 | 172±1 | 2,192±0,003 | 2,104±0,008 | 18,38±0,04 | 17,56±0,03 | 5,99±0,01 | 5,60±0,05 |
| Septembar | 213±2 | 196±2 | 2,36±0,01 | 2,185±0,004 | 18,4±0,1 | 17,43±0,05 | 5,92±0,03 | 5,78±0,04 |
| Oktobar | 216±1 | 201±1 | 2,318±0,003 | 2,141±0,007 | 18,53±0,02 | 17,56±0,07 | 5,60±0,04 | 5,15±0,06 |
| Novembar | 141±1 | 145±1 | 2,384±0,002 | 2,195±0,008 | 17,8±0,1 | 16,27±0,06 | 5,780±0,004 | 5,31±0,02 |
| Decembar | 173±1 | 156±1 | 2,397±0,002 | 2,219±0,005 | 18,3±0,3 | 16,98±0,03 | 6,00±0,04 | 5,56±0,01 |
| Januar | 186±1 | 166±1 | 2,368±0,003 | 2,189±0,004 | 17,7±0,2 | 16,47±0,04 | 5,80±0,02 | 5,27±0,04 |
| Interval | 141-216 | 145-201 | 1,78-2,69 | 1,637-2,555 | 16,2-19,8 | 15,73-19,21 | 5,60-6,18 | 5,15-5,71 |
| c _{sr} ±SD | 184±1 | 169±1 | 2,21±0,01 | 2,059±0,006 | 18,26 ± 0,1 | 17,29±0,05 | 5,88±0,04 | 5,44±0,03 |

*c_{sr}±SD (n=3)

Tabela 13. Godišnji prikaz koncentracija * Na, K, Ca i Mg u vodi iz arteškog bunara AB2 dobijenih FAAS i ICP-OES tehnikom

| Mesec | AB2 | | | | | | | |
|---------------------|----------|---------|--------------|-------------|------------|-------------|-------------|-------------|
| | Na, mg/L | | K, mg/L | | Ca, mg/L | | Mg, mg/L | |
| | FAAS | ICP-OES | FAAS | ICP-OES | FAAS | ICP-OES | FAAS | ICP-OES |
| Februar | 151±1 | 139±1 | 1,813±0,006 | 1,714±0,003 | 14,03±0,06 | 15,18±0,04 | 5,24±0,03 | 5,031±0,005 |
| Mart | 186±2 | 179±1 | 1,17±0,02 | 1,154±0,005 | 14,6±0,3 | 15,51±0,07 | 4,9±0,1 | 4,478±0,001 |
| April | 187±2 | 159±2 | 1,11±0,01 | 0,987±0,006 | 16,9±0,1 | 17,97±0,09 | 5,18±0,01 | 4,764±0,003 |
| Maj | 173±1 | 157±3 | 1,32±0,01 | 1,221±0,003 | 17,2±0,1 | 18,07±0,07 | 5,34±0,03 | 4,977±0,001 |
| Jun | 200±1 | 186±1 | 0,962±0,004 | 0,949±0,004 | 15,2±0,1 | 16,8±0,1 | 5,144±0,001 | 4,933±0,003 |
| Jul | 201±2 | 182±1 | 1,13±0,01 | 1,076±0,001 | 16,5±0,3 | 17,33±0,05 | 5,53±0,01 | 5,120±0,002 |
| Avgust | 190±1 | 180±1 | 1,356±0,001 | 1,128±0,002 | 16,7±0,2 | 17,26±0,08 | 5,483±0,004 | 5,006±0,002 |
| Septembar | 144±1 | 130±1 | 0,959±0,003 | 0,873±0,004 | 16,84±0,00 | 17,68±0,06 | 5,39±0,02 | 5,000±0,003 |
| Oktobar | 154±2 | 150±2 | 1,044±0,005 | 0,988±0,002 | 14,98±0,03 | 15,81±0,05 | 4,781±0,002 | 4,223±0,003 |
| Novembar | 168±1 | 158±1 | 1,254± 0,000 | 1,156±0,003 | 14,90±0,02 | 15,76±0,08 | 4,773±0,002 | 4,373±0,002 |
| Decembar | 178±2 | 158±2 | 1,114±0,001 | 1,006±0,004 | 15,01±0,01 | 15,96±0,05 | 4,66±0,03 | 4,194±0,001 |
| Januar | 173±1 | 163±1 | 1,186±0,001 | 1,087±0,008 | 16,7±0,3 | 16,48±0,08 | 5,19±0,01 | 4,875±0,002 |
| Interval | 144-201 | 130-182 | 0,962-1,813 | 0,873-1,714 | 14,0-17,2 | 15,18-18,07 | 4,66-5,53 | 4,194-5,120 |
| c _{sr} ±SD | 175±1 | 162±1 | 1,202±0,005 | 1,112±0,004 | 15,8± 0,1 | 16,67±0,07 | 5,13±0,02 | 4,746±0,002 |

*c_{sr}±SD (n=3)

Tabela 14. Godišnji prikaz koncentracija* Na, K, Ca i Mg u vodi iz arteškog bunara AB3 dobijenih FAAS i ICP-OES tehnikom

| Mesec | AB3 | | | | | | | |
|---------------------|----------|---------|-------------|-------------|------------|-------------|-------------|-------------|
| | Na, mg/L | | K, mg/L | | Ca, mg/L | | Mg, mg/L | |
| | FAAS | ICP-OES | FAAS | ICP-OES | FAAS | ICP-OES | FAAS | ICP-OES |
| Februar | 190±1 | 176±1 | 2,16±0,01 | 2,052±0,008 | 18,9±0,1 | 17,35±0,05 | 5,95±0,03 | 5,50±0,04 |
| Mart | 182±4 | 167±1 | 1,86±0,04 | 1,669±0,008 | 19,1±0,5 | 19,2±0,1 | 5,4±0,1 | 4,86±0,04 |
| April | 179±1 | 157±2 | 1,532±0,004 | 1,415±0,005 | 21,58±0,05 | 22,06±0,06 | 5,65±0,02 | 5,32±0,02 |
| Maj | 161±1 | 149±1 | 1,51±0,02 | 1,389±0,005 | 22,10±0,02 | 22,37±0,07 | 5,93±0,01 | 5,56±0,01 |
| Jun | 177±1 | 168±1 | 1,524±0,002 | 1,393±0,005 | 24,64±0,00 | 22,61±0,06 | 5,81±0,04 | 5,326±0,007 |
| Jul | 189±1 | 177±3 | 1,66±0,01 | 1,482±0,009 | 21,9±0,2 | 20,96±0,08 | 6,30±0,07 | 5,98±0,02 |
| Av gust | 182±2 | 176±1 | 1,705±0,002 | 1,568±0,006 | 21,0±0,2 | 19,1±0,1 | 6,190±0,002 | 5,78±0,01 |
| Septembar | 192±1 | 179±1 | 1,929±0,003 | 1,775±0,008 | 21,9±0,1 | 20,6±0,1 | 6,14±0,02 | 5,698±0,003 |
| Oktobar | 183±1 | 169±1 | 1,670±0,002 | 1,602±0,006 | 20,1±0,1 | 18,96±0,06 | 5,52±0,02 | 5,14±0,03 |
| Novembar | 158±1 | 142±2 | 1,840±0,006 | 1,742±0,005 | 19,8±0,1 | 18,49±0,07 | 5,47±0,01 | 5,01±0,01 |
| Decembar | 172±1 | 157±2 | 1,734±0,004 | 1,625±0,009 | 20,2±0,1 | 18,9±0,1 | 5,71±0,01 | 5,12±0,03 |
| Januar | 167±2 | 151±1 | 1,71±0,01 | 1,573±0,005 | 20,1±0,3 | 19,03±0,06 | 5,92±0,01 | 5,33±0,04 |
| Interval | 158-192 | 142-179 | 1,51-2,16 | 1,389-2,052 | 18,9-24,6 | 17,35-22,61 | 5,40-6,30 | 4,86-5,98 |
| c _{sr} ±SD | 178±2 | 164±1 | 1,74±0,01 | 1,607±0,007 | 20,9±0,2 | 20,44±0,08 | 5,83±0,04 | 5,38±0,02 |

*c_{sr}±SD (n=3)

Tabela 15. Godišnji prikaz koncentracija * Na, K, Ca i Mg u vodi iz arteškog bunara AB4 dobijenih FAAS i ICP-OES tehnikom

| Mesec | AB4 | | | | | | | |
|---------------------|----------|---------|-------------|-------------|-----------|-------------|-----------|-----------|
| | Na, mg/L | | K, mg/L | | Ca, mg/L | | Mg, mg/L | |
| | FAAS | ICP-OES | FAAS | ICP-OES | FAAS | ICP-OES | FAAS | ICP-OES |
| Februar | 151±1 | 144±1 | 1,39±0,01 | 1,239±0,005 | 12,3±0,1 | 11,07±0,02 | 4,88±0,02 | 4,47±0,02 |
| Mart | 171±4 | 167±2 | 1,045±0,003 | 1,012±0,001 | 13,7±0,3 | 13,06±0,06 | 4,52±0,09 | 4,21±0,05 |
| April | 166±2 | 156±1 | 1,013±0,006 | 0,923±0,002 | 15,3±0,1 | 15,45±0,06 | 4,60±0,04 | 4,39±0,03 |
| Maj | 146±1 | 131±2 | 0,735±0,001 | 0,651±0,003 | 16,9±0,1 | 15,96±0,03 | 4,95±0,00 | 4,73±0,02 |
| Jun | 148±1 | 129±1 | 0,760±0,005 | 0,698±0,002 | 14,1±0,2 | 14,25±0,03 | 4,70±0,01 | 4,41±0,04 |
| Jul | 189±1 | 179±1 | 1,118±0,004 | 1,047±0,004 | 15,1±0,3 | 14,24±0,05 | 4,86±0,03 | 4,50±0,01 |
| Avgust | 132±1 | 118±2 | 1,207±0,003 | 1,099±0,003 | 17,3±0,4 | 15,87±0,06 | 4,72±0,05 | 4,36±0,02 |
| Septembar | 122±1 | 108±1 | 1,442±0,004 | 1,320±0,001 | 15,1±0,3 | 14,22±0,02 | 4,81±0,02 | 4,46±0,04 |
| Oktobar | 118±1 | 104±1 | 0,781±0,000 | 0,725±0,003 | 14,7±0,1 | 13,87±0,05 | 4,71±0,01 | 4,41±0,05 |
| Novembar | 134±2 | 126±1 | 1,243±0,004 | 1,111±0,001 | 14,8±0,2 | 13,91±0,05 | 4,73±0,04 | 4,60±0,03 |
| Decembar | 139±1 | 127±1 | 1,014±0,007 | 0,986±0,003 | 14,7±0,4 | 13,56±0,03 | 4,90±0,07 | 4,61±0,04 |
| Januar | 127±1 | 111±1 | 1,12±0,02 | 1,013±0,004 | 13,3±0,0 | 13,13±0,05 | 4,84±0,06 | 4,30±0,02 |
| Interval | 118-189 | 104-179 | 0,74-1,44 | 0,651-1,320 | 12,3-17,3 | 11,07-15,87 | 4,52-4,95 | 4,21-4,73 |
| c _{sr} ±SD | 145±1 | 133±1 | 1,072±0,005 | 0,985±0,002 | 14,8±0,2 | 14,05±0,04 | 4,77±0,04 | 4,44±0,03 |

*c_{sr}±SD (n=3)

Tabela 16. Godišnji prikaz koncentracija* Na, K, Ca i Mg u vodi iz arteškog bunara AB5 dobijenih FAAS i ICP-OES tehnikom

| Mesec | AB5 | | | | | | | |
|---------------------|----------|---------|-------------|-------------|------------|-------------|-----------|-------------|
| | Na, mg/L | | K, mg/L | | Ca, mg/L | | Mg, mg/L | |
| | FAAS | ICP-OES | FAAS | ICP-OES | FAAS | ICP-OES | FAAS | ICP-OES |
| Februar | 144±1 | 135±1 | 1,73±0,01 | 1,643±0,004 | 18,3±0,2 | 17,34±0,03 | 5,34±0,01 | 4,89±0,02 |
| Mart | 180±3 | 168±2 | 1,12±0,02 | 1,004±0,003 | 18,8±0,2 | 17,71±0,04 | 5,01±0,04 | 4,87±0,03 |
| April | 167±1 | 150±2 | 1,06±0,01 | 0,981±0,003 | 21,6±0,1 | 19,58±0,03 | 5,05±0,02 | 4,77±0,01 |
| Maj | 157±1 | 144±1 | 1,60±0,01 | 1,447±0,004 | 24,4±0,1 | 23,18±0,08 | 5,54±0,03 | 5,09±0,04 |
| Jun | 168±1 | 149±1 | 0,862±0,008 | 0,828±0,002 | 19,6±0,2 | 18,39±0,06 | 5,14±0,01 | 4,779±0,007 |
| Jul | 165±1 | 143±1 | 1,194±0,002 | 1,012±0,004 | 21,9±0,1 | 20,54±0,05 | 5,61±0,01 | 5,32±0,03 |
| Avgust | 175±1 | 163±1 | 1,217±0,003 | 1,097±0,003 | 21,2±0,1 | 20,16±0,04 | 5,55±0,01 | 5,38±0,02 |
| Septembar | 200±1 | 180±2 | 1,390±0,003 | 1,306±0,005 | 21,11±0,07 | 20,08±0,04 | 5,19±0,03 | 4,86±0,04 |
| Oktobar | 208±2 | 196±1 | 0,924±0,006 | 0,819±0,002 | 20,62±0,04 | 18,98±0,05 | 4,98±0,04 | 4,58±0,01 |
| Novembar | 136±1 | 126±1 | 1,509±0,004 | 1,396±0,004 | 19,49±0,08 | 17,74±0,05 | 5,01±0,01 | 4,59±0,02 |
| Decembar | 159±1 | 142±1 | 1,231±0,002 | 1,245±0,003 | 19,29±0,06 | 17,26±0,03 | 5,02±0,03 | 4,43±0,03 |
| Januar | 160±3 | 145±1 | 1,34±0,02 | 1,145±0,004 | 21,2±0,1 | 20,06±0,06 | 4,94±0,07 | 4,51±0,04 |
| Interval | 136-208 | 126-196 | 0,862-1,730 | 0,828-1,643 | 18,3-24,4 | 17,34-23,18 | 4,94-5,61 | 4,51-5,32 |
| c _{sr} ±SD | 168±1 | 153±1 | 1,264±0,007 | 1,160±0,003 | 20,6±0,1 | 19,25±0,05 | 5,20±0,03 | 4,84±0,02 |

*c_{sr}±SD (n=3)

Tabela 17. Godišnji prikaz koncentracija* Na, K, Ca i Mg u vodi iz arteškog bunara AB6 dobijenih FAAS i ICP-OES tehnikom

| Mesec | AB6 | | | | | | | |
|---------------------|----------|----------|-------------|-----------|------------|-------------|-------------|-------------|
| | Na, mg/L | | K, mg/L | | Ca, mg/L | | Mg, mg/L | |
| | FAAS | ICP-OES | FAAS | ICP-OES | FAAS | ICP-OES | FAAS | ICP-OES |
| Februar | 119±1 | 109±1 | 1,403±0,001 | 1,33±0,03 | 21,9±0,1 | 20,53±0,07 | 16,9±0,1 | 15,37±0,02 |
| Mart | 89±2 | 81±1 | 1,29±0,04 | 1,20±0,04 | 26,3±0,4 | 25,78±0,05 | 15,8±0,3 | 14,92±0,02 |
| April | 92±1 | 88±2 | 1,41±0,01 | 1,31±0,04 | 27,7±0,2 | 26,3±0,1 | 16,22±0,02 | 14,99±0,04 |
| Maj | 81±1 | 72,2±0,4 | 1,46±0,01 | 1,41±0,04 | 29,5±0,3 | 28,1±0,1 | 18,48±0,09 | 17,21±0,01 |
| Jun | 83±1 | 74±1 | 1,281±0,008 | 1,20±0,04 | 24,42±0,06 | 22,4±0,1 | 16,81±0,02 | 15,18±0,05 |
| Jul | 79±2 | 69±1 | 1,43±0,01 | 1,29±0,04 | 25,78±0,08 | 23,7±0,1 | 17,7±0,1 | 16,15±0,02 |
| Av gust | 85±2 | 75±1 | 1,566±0,001 | 1,39±0,04 | 25,95±0,08 | 23,97±0,09 | 17,70±0,01 | 16,72±0,01 |
| Septembar | 94±1 | 88±1 | 1,882±0,001 | 1,65±0,04 | 26,1±0,1 | 24,05±0,08 | 17,37±0,01 | 16,43±0,03 |
| Oktobar | 126±1 | 115±1 | 1,325±0,005 | 1,12±0,04 | 26,3±0,2 | 24,16±0,06 | 16,52±0,07 | 15,11±0,04 |
| Novembar | 71,9±0,3 | 68±1 | 1,630±0,001 | 1,50±0,04 | 24,71±0,06 | 23,75±0,07 | 16,54±0,05 | 15,93±0,05 |
| Decembar | 82,9±0,6 | 74±1 | 1,447±0,003 | 1,23±0,04 | 24,5±0,4 | 23,41±0,07 | 17,09±0,06 | 15,90±0,04 |
| Januar | 79,0±0,3 | 69±2 | 1,360±0,004 | 1,22±0,04 | 27,20±0,01 | 26,57±0,09 | 16,79±0,07 | 15,92±0,02 |
| Interval | 72-126 | 68-115 | 1,281-1,882 | 1,20-1,65 | 21,9-29,5 | 20,53-28,07 | 15,82-18,48 | 14,92-17,21 |
| c _{sr} ±SD | 90±1 | 82±1 | 1,456±0,008 | 1,31±0,01 | 26,0±0,2 | 24,48±0,08 | 17,00±0,07 | 15,81±0,03 |

*c_{sr}±SD (n=3)

Tabela 18. Godišnji prikaz koncentracija* Na, K, Ca i Mg u vodi iz arteškog bunara AB7 dobijenih FAAS i ICP-OES tehnikom

| Mesec | AB7 | | | | | | | |
|---------------------|------------|------------|-------------|-------------|------------|-------------|-------------|-------------|
| | Na, mg/L | | K, mg/L | | Ca, mg/L | | Mg, mg/L | |
| | FAAS | ICP-OES | FAAS | ICP-OES | FAAS | ICP-OES | FAAS | ICP-OES |
| Februar | 142±1 | 124,9±0,5 | 1,81±0,02 | 1,592±0,005 | 12,83±0,01 | 10,95±0,06 | 11,48±0,07 | 11,05±0,00 |
| Mart | 135±2 | 126,9±0,6 | 1,29±0,02 | 1,134±0,005 | 13,6±0,3 | 11,33±0,05 | 11,5±0,2 | 11,08±0,02 |
| April | 116±1 | 108±1 | 0,853±0,005 | 0,807±0,009 | 16,39±0,07 | 15,07±0,06 | 11,32±0,04 | 10,43±0,01 |
| Maj | 110±1 | 99,4±0,9 | 1,32±0,01 | 1,218±0,006 | 17,23±0,07 | 15,47±0,03 | 11,80±0,02 | 11,08±0,03 |
| Jun | 108,7±0,4 | 100,7±0,6 | 1,251±0,002 | 1,117±0,006 | 18,99±0,02 | 17,62±0,03 | 11,98±0,05 | 11,26±0,05 |
| Jul | 95,8±0,9 | 90,2±0,8 | 1,38±0,01 | 1,300±0,005 | 15,85±0,08 | 15,03±0,02 | 11,59±0,01 | 10,81±0,03 |
| Av gust | 102,7±0,7 | 95,2±0,8 | 1,263±0,001 | 1,147±0,009 | 15,5±0,1 | 14,68±0,06 | 11,64±0,06 | 11,03±0,06 |
| Septembar | 107,0±0,3 | 96,0±0,7 | 1,362±0,002 | 1,308±0,008 | 14,63±0,02 | 13,53±0,06 | 12,19±0,05 | 11,08±0,04 |
| Oktobar | 95,8±0,0 | 89,5±0,9 | 1,19±0,01 | 1,004±0,008 | 15,28±0,03 | 14,18±0,00 | 11,12±0,01 | 10,48±0,04 |
| Novembar | 120,9±0,1 | 110,8±0,5 | 1,64±0,02 | 1,583±0,005 | 14,39±0,07 | 13,04±0,02 | 11,04±0,01 | 10,29±0,04 |
| Decembar | 108±1 | 99,3±0,8 | 1,300±0,006 | 1,196±0,006 | 14,7±0,3 | 13,63±0,03 | 11,77±0,04 | 10,73±0,03 |
| Januar | 117±1 | 111,2±0,6 | 1,25±0,02 | 1,107±0,006 | 17,7±0,1 | 16,31±0,01 | 11,67±0,04 | 10,42±0,02 |
| Interval | 95,8-141,9 | 89,5-124,9 | 0,853-1,808 | 0,807-1,592 | 12,8-19,0 | 10,95-17,62 | 11,04-12,19 | 10,29-11,08 |
| c _{sr} ±SD | 113,2±0,8 | 103,6±0,7 | 1,333±0,009 | 1,209±0,007 | 15,6±0,1 | 14,23±0,04 | 11,60±0,05 | 10,81±0,03 |

*c_{sr}±SD (n=3)

Tabela 19. Godišnji prikaz koncentracija* Na, K, Ca i Mg u vodi iz arteškog bunara AB8 dobijenih FAAS i ICP-OES tehnikom

| Mesec | AB8 | | | | | | | |
|---------------------|-----------|------------|-------------|-------------|------------|-------------|-------------|-------------|
| | Na, mg/L | | K, mg/L | | Ca, mg/L | | Mg, mg/L | |
| | FAAS | ICP-OES | FAAS | ICP-OES | FAAS | ICP-OES | FAAS | ICP-OES |
| Februar | 143±2 | 135±1 | 1,859±0,008 | 1,636±0,004 | 17,7±0,1 | 15,74±0,05 | 13,74±0,03 | 13,23±0,06 |
| Mart | 113±3 | 103,1±0,8 | 1,34±0,01 | 1,106±0,004 | 18,7±0,3 | 17,78±0,08 | 14,2±0,4 | 13,8±0,1 |
| April | 85,1±0,5 | 76±1 | 1,614±0,005 | 1,444±0,002 | 22,3±0,1 | 20,95±0,08 | 14,71±0,05 | 13,77±0,04 |
| Maj | 99,1±0,2 | 89,0±0,7 | 2,136±0,002 | 1,883±0,003 | 28,88±0,03 | 26,13±0,06 | 16,8±0,1 | 19,92±0,05 |
| Jun | 135,3±0,4 | 127±1 | 1,270±0,006 | 1,117±0,003 | 19,8±0,2 | 18,30±0,03 | 14,54±0,00 | 13,91±0,07 |
| Jul | 77±2 | 72,7±0,8 | 1,523±0,002 | 1,336±0,005 | 25,5±0,2 | 24,14±0,05 | 15,01±0,05 | 14,3±0,1 |
| Av gust | 131±1 | 120±1 | 1,616±0,001 | 1,428±0,005 | 21,0±0,1 | 18,72±0,07 | 14,9±0,1 | 14,22±0,08 |
| Septembar | 202,3±0,4 | 182±1 | 1,840±0,001 | 1,773±0,002 | 19,7±0,2 | 18,06±0,09 | 14,36±0,06 | 13,62±0,05 |
| Oktobar | 129±1 | 120,4±0,8 | 1,300±0,004 | 1,209±0,000 | 20,49±0,05 | 18,5±0,1 | 13,61±0,04 | 13,09±0,06 |
| Novembar | 97,3±0,5 | 90,9±0,6 | 1,856±0,004 | 1,721±0,001 | 19,39±0,07 | 17,82±0,08 | 13,56±0,06 | 12,93±0,04 |
| Decembar | 99±2 | 92,3±0,9 | 1,451±0,006 | 1,409±0,003 | 19,9±0,2 | 17,98±0,08 | 14,17±0,04 | 13,78±0,09 |
| Januar | 91±1 | 87,8±0,7 | 1,556±0,008 | 1,492±0,002 | 18,5±0,2 | 18,01±0,06 | 14,78±0,03 | 14,09±0,08 |
| Interval | 77-202 | 72,7-182,2 | 1,277-2,136 | 1,117-1,883 | 17,7-28,9 | 15,74-26,13 | 13,56-16,78 | 12,93-19,92 |
| c _{sr} ±SD | 117±1 | 107,5±0,9 | 1,607±0,005 | 1,467±0,003 | 21,0±0,1 | 19,33±0,07 | 14,54±0,08 | 14,23±0,07 |

*c_{sr}±SD (n=3)

Tabela 20. Godišnji prikaz koncentracija* Na, K, Ca i Mg u vodi iz arteškog bunara AB9 dobijenih FAAS i ICP-OES tehnikom

| Mesec | AB9 | | | | | | | |
|---------------------|------------|-----------|-------------|-------------|------------|------------|------------|---------|
| | Na, mg/L | | K, mg/L | | Ca, mg/L | | Mg, mg/L | |
| | FAAS | ICP-OES | FAAS | ICP-OES | FAAS | ICP-OES | FAAS | ICP-OES |
| Februar | 76,0±0,7 | 70,4±0,3 | 1,94±0,01 | 1,843±0,003 | 40,8±0,1 | 38,3±0,2 | 21,7±0,1 | 20±3 |
| Mart | 68±2 | 63,4±0,6 | 1,326±0,002 | 1,206±0,003 | 43,7±0,4 | 41,4±0,0 | 21,4±0,4 | 20±1 |
| April | 39,9±0,4 | 36,5±0,4 | 1,48±0,01 | 1,256±0,000 | 48,4±0,3 | 46,72±0,08 | 23,9±0,1 | 23±1 |
| Maj | 41,3±0,5 | 36,8±0,7 | 1,033±0,002 | 0,978±0,005 | 41,0±0,5 | 39,1±0,4 | 20,8±0,1 | 19±2 |
| Jun | 41,39±0,05 | 37,4±0,6 | 1,36±0,01 | 1,227±0,005 | 43,5±0,2 | 41,2±0,3 | 26,50±0,03 | 24±0 |
| Jul | 43,23±0,04 | 40±1 | 1,629±0,005 | 1,478±0,008 | 55,0±0,3 | 53,5±0,3 | 24,61±0,09 | 23±1 |
| Av gust | 48±1 | 44,1±0,4 | 1,509±0,001 | 1,389±0,002 | 53±1 | 51,1±0,5 | 23,5±0,5 | 23±2 |
| Septembar | 50,72±0,06 | 45,7±0,3 | 1,657±0,004 | 1,600±0,001 | 52,4±0,5 | 50,9±0,2 | 22,67±0,04 | 21±2 |
| Oktobar | 88,3±0,9 | 81,2±0,4 | 1,50±0,01 | 1,426±0,005 | 47,7±0,1 | 45,6±0,1 | 21,79±0,01 | 21±1 |
| Novembar | 59,5±0,4 | 53,2±0,6 | 1,847±0,004 | 1,736±0,003 | 46,25±0,07 | 44,1±0,1 | 22,11±0,07 | 21±2 |
| Decembar | 68,9±0,9 | 62,8±0,6 | 1,886±0,004 | 1,725±0,002 | 45,6±0,2 | 43,3±0,4 | 21,2±0,2 | 20±1 |
| Januar | 64,8±0,8 | 59,8±0,4 | 1,902±0,002 | 1,663±0,005 | 53,8±0,2 | 51,4±0,3 | 21,45±0,03 | 21±1 |
| Interval | 39,9-88,3 | 36,5-81,2 | 1,033-1,937 | 0,978-1,843 | 40,8-55,0 | 38,3-53,5 | 20,8-26,5 | 19-24 |
| c _{sr} ±SD | 57,5±0,6 | 52,6±0,5 | 1,589±0,007 | 1,462±0,004 | 47,6±0,3 | 45,6±0,2 | 22,6±0,1 | 21±1 |

*c_{sr}±SD (n=3)

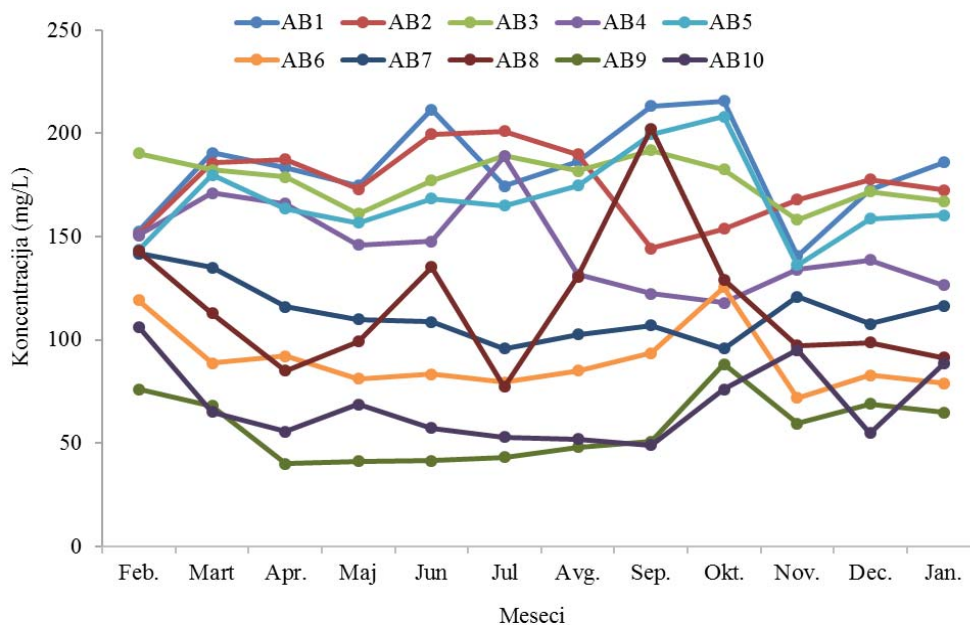
Tabela 21. Godišnji prikaz koncentracija* Na, K, Ca i Mg u vodi iz arteškog bunara AB10 dobijenih FAAS i ICP-OES tehnikom

| Mesec | AB10 | | | | | | | |
|---------------------|------------|-----------|-------------|-------------|------------|------------|--------------|---------|
| | Na, mg/L | | K, mg/L | | Ca, mg/L | | Mg, mg/L | |
| | FAAS | ICP-OES | FAAS | ICP-OES | FAAS | ICP-OES | FAAS | ICP-OES |
| Februar | 106,2±0,4 | 99,8±0,2 | 2,343±0,001 | 2,059±0,003 | 43,46±0,09 | 41,2±0,2 | 19,5±0,2 | 19±1 |
| Mart | 65,0±0,9 | 60,2±0,6 | 1,74±0,02 | 1,637±0,004 | 47,4±0,7 | 46,75±0,07 | 19,9±0,6 | 19±1 |
| April | 55,7±0,6 | 51,1±0,7 | 1,520±0,004 | 1,506±0,008 | 50,5±0,2 | 48,25±0,08 | 20,71±0,09 | 20±1 |
| Maj | 68,6±0,6 | 65,3±0,3 | 1,183±0,002 | 1,038±0,007 | 45,2±0,1 | 43,6±0,4 | 20,8±0,2 | 20±3 |
| Jun | 57,34±0,02 | 52,4±0,5 | 1,518±0,002 | 1,288±0,005 | 49,90±0,08 | 48,0±0,2 | 21,37±0,06 | 21±2 |
| Jul | 53,0±0,4 | 48,3±0,8 | 1,924±0,005 | 1,777±0,006 | 55±1 | 52,2±0,5 | 22,0±0,1 | 21±1 |
| Av gust | 52±1 | 47,1±0,6 | 1,846±0,005 | 1,665±0,009 | 52,5±0,4 | 50,2±0,4 | 21,70 ± 0,01 | 21±2 |
| Septembar | 49,04±0,02 | 43,6±0,4 | 1,70±0,01 | 1,464±0,008 | 53,2±0,3 | 51,5±0,4 | 20,5±0,1 | 20±2 |
| Oktobar | 76,0±0,5 | 72,1±0,5 | 1,560±0,005 | 1,237±0,003 | 54,0±0,6 | 51,8±0,2 | 21,7±0,1 | 20±1 |
| Novembar | 95,09±0,09 | 87,1±0,6 | 1,83±0,02 | 1,696±0,004 | 50,49±0,07 | 48,4±0,4 | 21,6±0,0 | 21±1 |
| Decembar | 54,90±0,02 | 48,3±0,7 | 2,152±0,007 | 2,035±0,004 | 54,8±0,2 | 52,8±0,1 | 22,03±0,01 | 21±1 |
| Januar | 89±1 | 82,3±0,3 | 1,94±0,03 | 1,769±0,007 | 50,2±0,2 | 48,1±0,1 | 20,2±0,3 | 20±1 |
| Interval | 49,0-106,2 | 43,6-99,8 | 1,183-2,343 | 1,038-2,059 | 43,5-54,8 | 41,2-52,8 | 19,5-22,0 | 19-21 |
| c _{sr} ±SD | 68,4±0,5 | 63,1±0,5 | 1,773±0,008 | 1,597±0,006 | 50,5±0,3 | 48,5±0,3 | 21±0,2 | 20±1 |

*c_{sr}±SD (n=3)

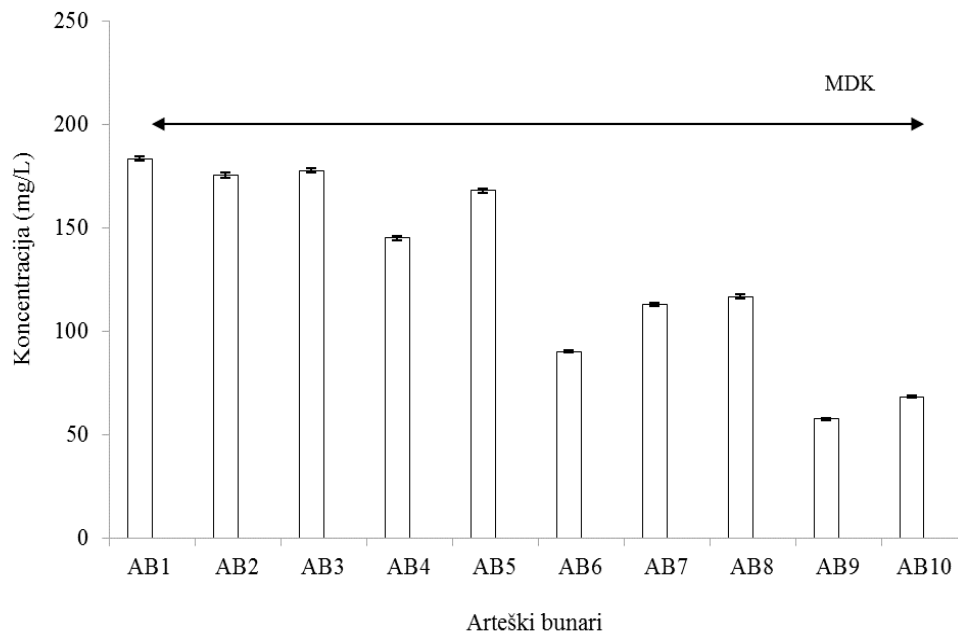
Natrijum

Koncentracije natrijuma, određene FAAS i ICP-OES tehnikom, na svakom pojedinačnom lokalitetu kreću se u intervalu: (141 - 216) mg/L; (145 - 201) mg/L (AB1); (144 - 201) mg/L; (130 - 182) mg/L (AB2); (158 - 192) mg/L; (142 - 179) mg/L (AB3); (118 - 189) mg/L; (104 - 179) mg/L (AB4); (136 - 208) mg/L; (126 - 196) mg/L (AB5); AB6 (72 - 126) mg/L; (68 - 115) mg/L (AB6); (95,8 - 141,9) mg/L; (89,5 - 124,9) mg/L (AB7); (77 - 202) mg/L; (72,7 - 182,2) mg/L (AB8); (39,9 - 88,3) mg/L; (36,5 - 81,2) mg/L (AB9) i (49,0 - 106,2) mg/L; (43,6 - 99,8) mg/L (AB10). Za navedeni period ispitivanja na svim lokalitetima koncentracije natrijuma, određene FAAS tehnikom, su u intervalu od 39,9 mg/L do 216 mg/L sa srednjom vrednošću od 130 mg/L. Najveća koncentracija natrijuma izmerena je na lokalitetu AB1 u oktobru mesecu, dok je najmanja izmerena na lokalitetu AB9 u aprilu mesecu (slika 42.). Varijacije u ispitivanom periodu kreću se od 33,7 mg/L (AB3) do 125 mg/L (AB8). Srednje godišnje koncentracije natrijuma u vodi iz arteških bunara AB1, AB2, AB3, AB4, AB5, AB7 i AB8 prelaze vrednost od 113 mg/L i one su i do 3,2 puta veće nego u vodi iz arteških bunara AB9 i AB10.



Slika 42. Mesečne promene koncentracije Na u vodi iz arteških bunara (FAAS tehnika)

Srednje koncentracije natrijuma u vodi iz arteških bunara opadaju sledećim redosledom: AB1 □ AB3 □ AB2 □ AB5 □ AB4 □ AB8 □ AB7 □ AB6 □ AB10 □ AB9 (slika 43.).

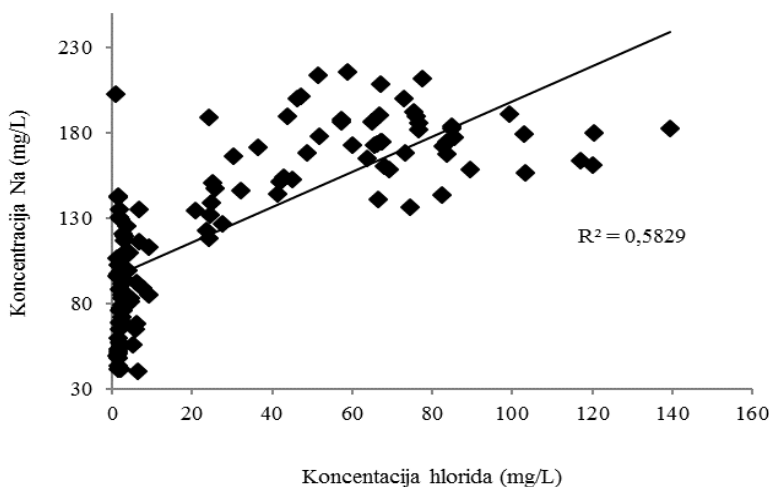


Slika 43. Srednje koncentracije Na u vodi iz arteških bunara (FAAS tehnika)

Prema *Direktivi EU (1998)* i *Pravilniku o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće Republike Srpske (2015)*, koncentracije natrijuma u svim uzorcima vode iz arteških bunara se nalaze ispod MDK, osim u vodi iz arteškog bunara AB1 (septembar i oktobar), AB2 (jul), AB5 (oktobar) i AB8 (septembar). Međutim, prema preporuci *U.S. EPA (2012)*, sadržaj natrijuma u vodi za piće treba da bude do 20 mg/L. U tom slučaju, koncentracije natrijuma u uzorcima vode iz arteških bunara, nalaze se iznad preporučene vrednosti.

Po rasprostranjenosti u prirodnim vodama jon natrijuma je među prvima po zastupljenosti. Takav je slučaj i sa ispitivanim uzorcima vode iz arteških bunara. Visoke koncentracije natrijuma u podzemnoj vodi posledica su velike rastvorljivosti svih njegovih soli. Jedan od glavnih izvora natrijuma, kao i hlorida, u podzemnoj vodi je rastvaranje njegovih soli halita (NaCl). Uticaj rastvaranja halita na hemiju podzemne vode može da se utvrdi ako se nađe zavisnost koncentracije natrijuma u odnosu na koncentraciju hlorida.

Prilikom rastvaranja halita jednake koncentracije jona natrijuma i hlorida dospevaju u vodu, zbog čega se može uočiti linearan odnos između ova dva jona. Sa slike 44. se može uočiti da ne postoji jasno definisan linearan odnos između koncentracija natrijuma i hlorida u analiziranim uzorcima vode ($R^2=0,5829$). Koncentracije natrijuma u svim uzorcima vode iz arteških bunara prelaze koncentracije hlorida, što ukazuje da pored halita postoje i drugi izvori natrijuma u vodi.



Slika 44. Zavisnost koncentracije Na^+ od koncentracije Cl^- u vodi iz arteških bunara

Koncentracije natrijuma u podzemnoj vodi kreću se do 200 mg/L. U priobalnim pojasevima koncentracije natrijuma u podzemnoj vodi mogu ići i do 100 000 mg/L (*Hamil i Bell, 1986*).

Koncentracije natrijuma u podzemnim vodama BiH, na teritoriji Srebrenice, su niske i variraju od 0,64 mg/L do 10,38 mg/L (*Institut za vode Bijeljina, 2010*).

U podzemnim vodama jugozapadne Makedonije, na teritoriji opštine Bitola, minimalna koncentracija natrijuma bila je 6,3 mg/L, a maksimalna 1563 mg/L, pri čemu je utvrđeno da sadržaj natrijuma raste sa dubinom arteških i subarteških bunara (*Mirčovski i sar., 2015*).

U severozapadnim delovima Hrvatske, na području Koprivnica-Križevci, maksimalna koncentracija natrijuma u uzorcima podzemne vode, uzorkovanih sa pet različitih lokaliteta u periodu od 2011. godine do 2012. godine, iznosila je 18 mg/L (*Habuda-Stanić i sar., 2015*).

U ruralnim delovima centralne Rumunije, u Transilvaniji, koncentracije natrijuma su u intervalu od 0,27 mg/L do 41,87 mg/L (*Rosu i sar., 2014*).

U podzemnim vodama Panonskog basena (istočna Mađarska i zapadna Rumunija), koncentracije natrijuma veoma variraju i kreću se od 25,5 mg/L do 3179 mg/L (*Rowland i sar., 2011*).

U ruralnim delovima zapadne Indije koncentracije natrijuma su takođe niske, i pre i posle monsuna kreću se u intervalu od 3,2 mg/L do 27,4 mg/L (*Sayyed i Bhosle, 2011*). U gradu Džajpuru koncentracije natrijuma u podzemnoj vodi su u intervalu od 9,2 mg/L do 220,0 mg/L (*Tank i Chandel, 2010*).

U urbanim delovima istočnog Pakistana, koncentracije natrijuma u uzorcima podzemne vode su u intervalu od 216 mg/L do 489 mg/L. Samo jedan uzorak vode ima koncentraciju natrijuma ispod MDK postavljenu od strane nacionalnog standarda Indije, dok su u svim ostalim uzorcima koncentracije natrijuma iznad MDK (*Farid i sar., 2012*).

U podzemnim vodama Kanade uobičajene koncentracije natrijuma su u intervalu od 6 mg/L do 130 mg/L (*Health Canada, 1992b*).

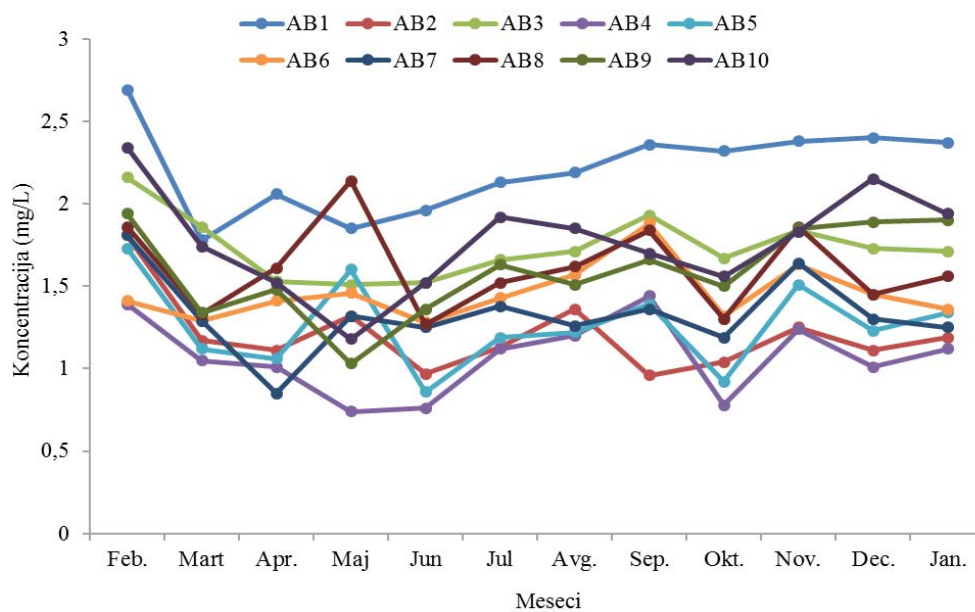
U severozapadnim delovima Nigerije, sadržaj natrijuma u uzorcima podzemne vode je veoma nizak i nalazi se u intervalu od 0,008 mg/L do 0,083 mg/L (*Ogunbode i sar., 2016*).

Kalijum

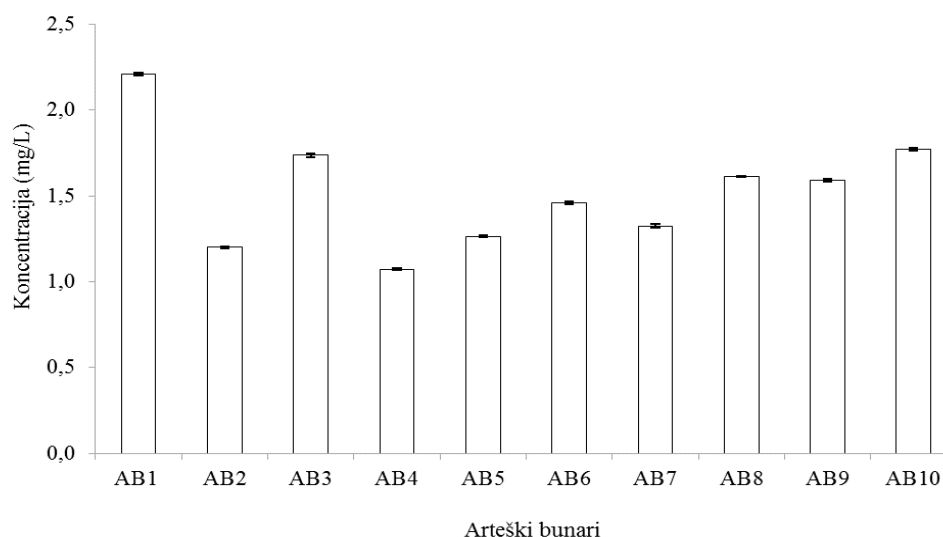
Koncentracije kalijuma, određene FAAS i ICP-OES tehnikom, na svakom pojedinačnom lokalitetu kreću se u intervalu: (1,78 - 2,69) mg/L; (1,637 - 2,555) mg/L (AB1); (0,962 - 1,813) mg/L; (0,873 - 1,714) mg/L (AB2); (1,51 - 2,16) mg/L; (1,389 - 2,052) mg/L (AB3); (0,74 - 1,44) mg/L; (0,651 - 1,320) mg/L (AB4); (0,862 - 1,730) mg/L; (0,828 - 1,643) mg/L (AB5); (1,281 - 1,882) mg/L; (1,20 - 1,65) mg/L (AB6); (0,853 - 1,808) mg/L; (0,807 - 1,592) mg/L (AB7); (1,277 - 2,136) mg/L; (1,117 - 1,883) mg/L (AB8); (1,033 - 1,937) mg/L; (0,978 - 1,843) mg/L (AB9) i (1,183 - 2,343) mg/L; (1,038 - 2,059) mg/L (AB10). Za godišnji period ispitivanja na svim lokalitetima koncentracije kalijuma, određene FAAS tehnikom, su u intervalu od 0,74 mg/L do 2,69 mg/L, sa srednjom vrednošću

od 1,52 mg/L. Najveća koncentracija kalijuma izmerena je na lokalitetu AB1 u februaru mesecu, dok je najmanja izmerena na lokalitetu AB4 u maju mesecu (slika 45.). Varijacije u ispitivanom periodu kreću se od 0,60 mg/L (AB6) do 1,16 mg/L (AB10).

Srednje koncentracije kalijuma u vodi iz arteških bunara opadaju sledećim redosledom: AB1 □ AB3 ≈ AB10 □ AB8 ≈ AB9 □ AB6 □ AB7 □ AB5 □ AB2 □ AB4 (slika 46.).



Slika 45. Mesečne promene koncentracije K u vodi iz arteških bunara (FAAS tehnika)



Slika 46. Srednje koncentracije K u vodi iz arteških bunara (FAAS tehnika)

Kalijum u vodi za piće nije regulisan nacionalnim i međunarodnim standardima (*WHO, 2011a; U.S. EPA, 2012, Direktiva EU, 1989; Pravilnik o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće Republike Srpske, 2015*).

Iako je kalijum u Zemljinoj kori rasprostranjen kao i natrijum, njegove koncentracije u podzemnoj vodi su manje od natrijuma čak i do deset puta. Većina podzemnih voda sadrži manje od 10 mg/L kalijuma (*Hamill i Bell, 1986*), što je slučaj i sa ispitivanim uzorcima vode iz arteških bunara.

Koncentracije kalijuma u podzemnim vodama BiH (Srebrenica) se kreću od 0,11 mg/L do 14,20 mg/L (*Institut za vode Bijeljina*).

U severozapadnim delovima Hrvatske, na području Koprivnica-Križevci, maksimalna koncentracija kalijuma u uzorcima podzemne vode, uzorkovanih sa pet različitih lokaliteta u periodu od 2011. godine do 2012. godine, iznosila je 1,05 mg/L (*Habuda-Stanić i sar., 2015*).

U podzemnim vodama jugozapadne Makedonije, na teritoriji opštine Bitola, koncentracije kalijuma veoma variraju u intervalu od 1,9 mg/L do 195,7 mg/L. Pri tome šest uzoraka vode imaju koncentraciju kalijuma veću 12 mg/L, što predstavlja nacionalnu MDK.

Takođe je utvrđeno, kao i kod natrijuma da sadržaj kalijuma raste sa dubinom arteških i subarteških bunara (*Mirčovski i sar., 2015*).

U ruralnim delovima centralne Rumunije, u Transilvaniji, 25% analiziranih uzoraka podzemne vode prelazi nacionalnu MDK od 10 mg/L, sa najvećom izmerenom vrednošću od 22,59 mg/L (*Rosu i sar., 2014*).

U podzemnim vodama Panonskog basena (istočna Mađarska i zapadna Rumunija), koncentracije kalijuma veoma variraju od 0,4 mg/L do 198,3 mg/L (*Rowland i sar., 2011*).

Ispitivanja podzemnih voda sprovedena u jugozapadnim delovima Poljske, na teritoriji opštine Konti Vroclavskje, pokazala su da se koncentracije kalijuma kreću u intervalu od 6,0 mg/L do 26,9 mg/L (*Orzepowski i Pulikowski, 2008*).

U podzemnim vodama ruralnih delova zapadne Indije, koncentracije kalijuma su u intervalu od 0,1 do 1,5 mg/L u periodu pre i posle monsuna (*Sayyed i Bhosle, 2011*). Dok su u gradu Džajpuru koncentracije kalijuma u podzemnoj vodi u intervalu od 1,8 mg/L do 24 mg/L (*Tank i Chandel, 2010*).

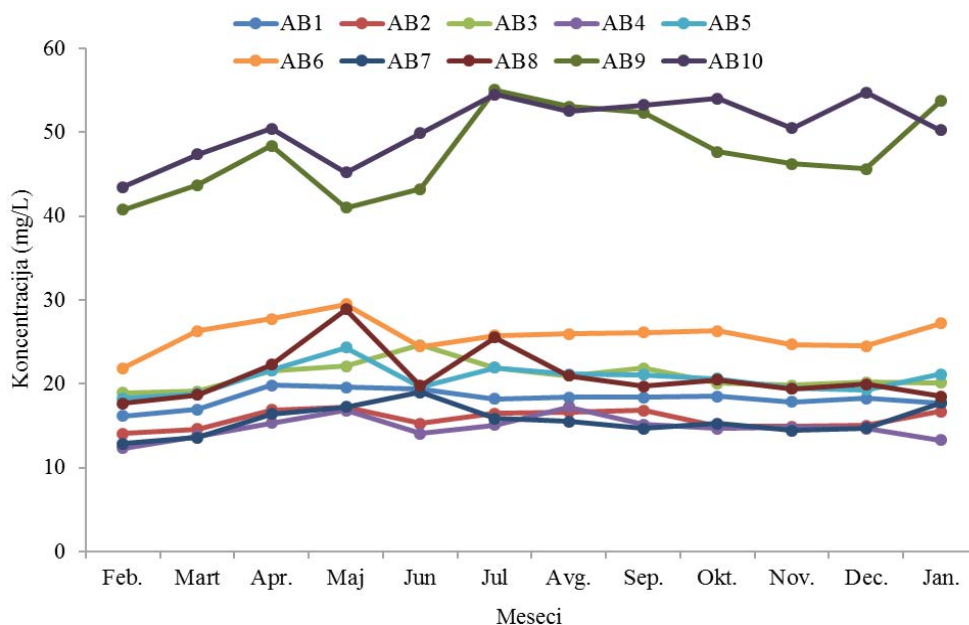
U severozapadnim delovima Nigerije, sadržaj kalijuma u uzorcima podzemne vode je veoma nizak i nalazi se u intervalu od 0,019 mg/L do 0,082 mg/L (*Ogunbode i sar., 2016*).

Kalcijum

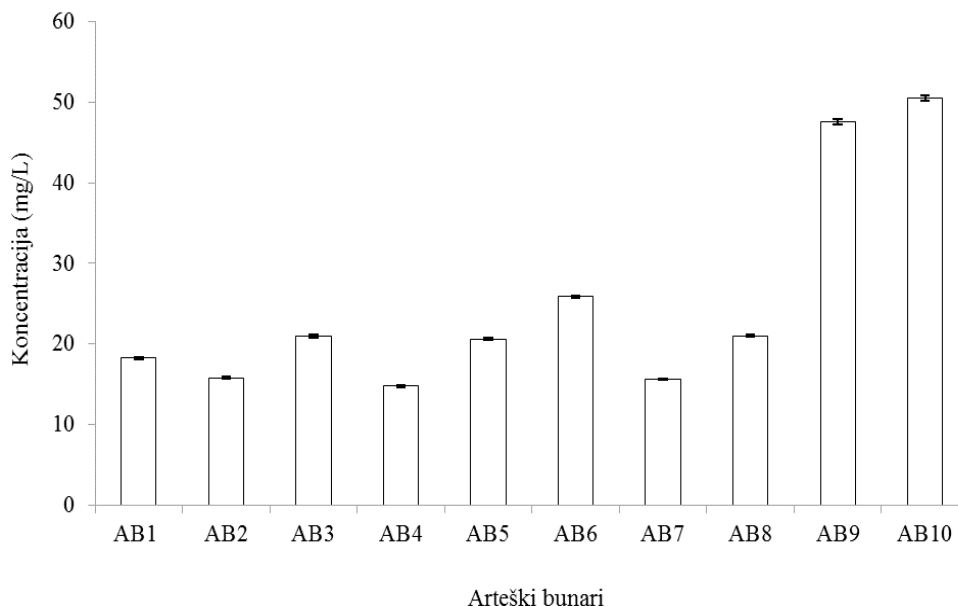
Koncentracije kalcijuma, određene FAAS i ICP-OES tehnikom, na svakom pojedinačnom lokalitetu kreću se u intervalu od: (16,2 - 19,8) mg/L; (15,73 - 19,21) mg/L (AB1); (14,0 - 17,2) mg/L; (15,18 - 18,07) mg/L (AB2); (18,9 - 24,6) mg/L; (17,35 - 22,61) mg/L (AB3); (12,3 - 17,3) mg/L; (11,07 - 15,87) mg/L (AB4); (18,3 - 24,4) mg/L; (17,34 - 23,18) mg/L (AB5); (21,9 - 29,5) mg/L; (20,53 - 28,07) mg/L (AB6); (12,8 - 19,0) mg/L; (10,95 - 17,62) mg/L (AB7); (17,7 - 28,9) mg/L; (15,74 - 26,13) mg/L (AB8); (40,8 - 55,0) mg/L; (38,3 - 53,5) mg/L (AB9) i (43,5 - 54,8) mg/L; (41,2 - 52,8) mg/L (AB10). Za navedeni period ispitivanja na svim lokalitetima koncentracije kalcijuma, određene FAAS tehnikom, su u intervalu od 12,3 mg/L do 55,0 mg/L, sa srednjom vrednošću od 25,1 mg/L. Najveća koncentracija kalcijuma izmerena je na lokalitetu AB9 u julu mesecu, dok je najmanja izmerena na lokalitetu AB4 u februaru mesecu (slika 47.). U vodi iz arteških bunara AB1, AB2, AB4 i AB7 srednje koncentracije kalcijuma manje su od 20 mg/L. U vodi iz arteških bunara AB3, AB5, AB6 i AB8 srednje koncentracije kalcijuma kreću se u intervalu

od 20,94 mg/L do 25,97 mg/L, dok su u vodi iz arteških bunara AB9 i AB10 koncentracije kalcijuma u opsegu od 47,57 mg/L do 50,52 mg/L. Varijacije u ispitivanom periodu kreću se od 3,15 mg/L (AB2) do 14,27 mg/L (AB9).

Srednje koncentracije kalcijuma u vodi iz arteških bunara opadaju sledećim redosledom: AB10 > AB9 > AB6 > AB3 > AB8 > AB5 > AB1 > AB2 > AB7 > AB4 (slika 48.).

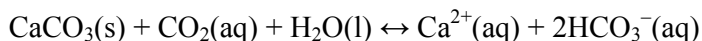


Slika 47. Mesečne promene koncentracije Ca u vodi iz arteških bunara (FAAS tehnika)

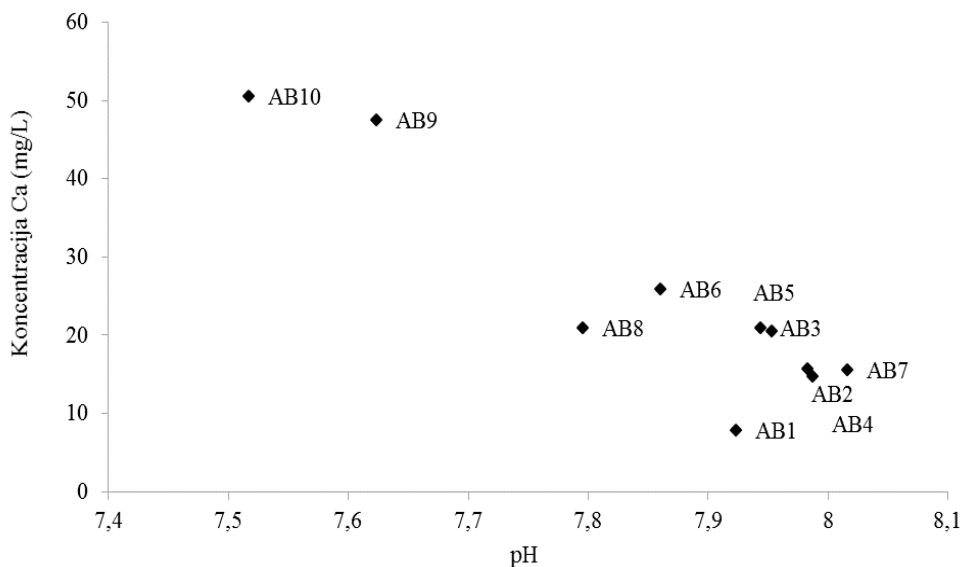


Slika 48. Srednje koncentracije Ca u vodi iz arteških bunara (FAAS tehnika)

Jedan od glavnih izvora kalcijuma u podzemnoj vodi je krečnjak, CaCO_3 . Kalcijum karbonat je relativno nerastvorljiv u vodi, ali se njegova rastvorljivost povećava ako voda sadrži značajan nivo rastvorenog ugljen dioksida.



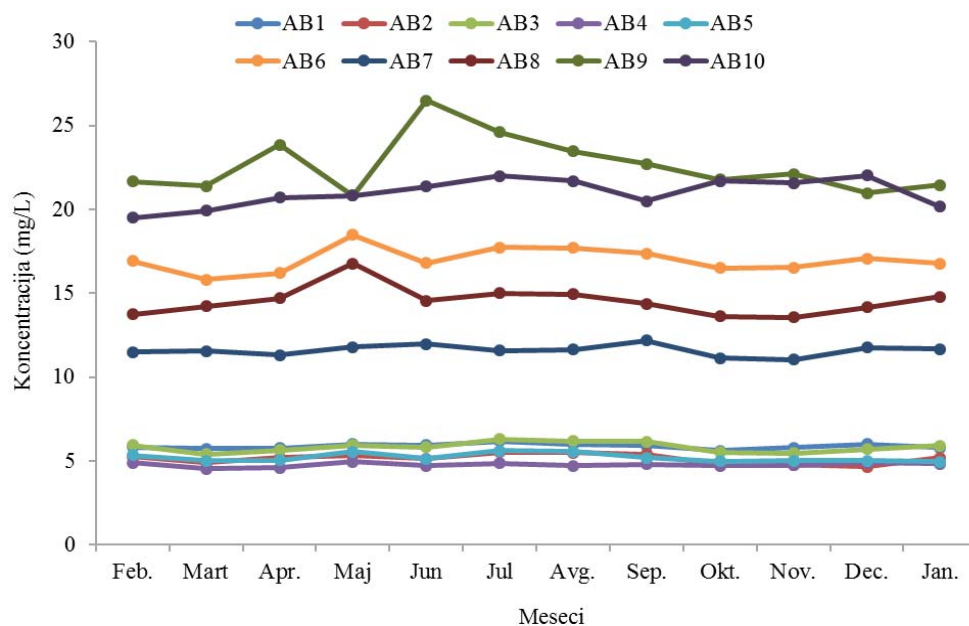
Uvođenjem ugljen dioksida u vodu, povećava se koncentracija hidrogen jona tj. smanjuje se pH vrednost vode, i ravnoteža reakcije pomera u desnu stranu. Ovo vodi većoj rastvorljivosti kalcijum karbonata, što rezultuje većim sadržajem kalcijuma u vodi (*Roscoe Moss Company, 1990*). Sadržaj kalcijuma u vodi iz arteških bunara AB9 i AB10 je od dva do četiri puta veći nego u vodi ostalih bunara. Ukoliko se uporede njihove pH vrednosti sa pH vrednostima vode iz ostalih arteških bunara, može se videti da su te vrednosti niže, čime se može i objasniti veći sadržaj kalcijuma u vodi sa tih lokaliteta (slika 49).



Slika 49. Zavisnost koncentracije Ca od pH vrednosti vode iz arteških bunara

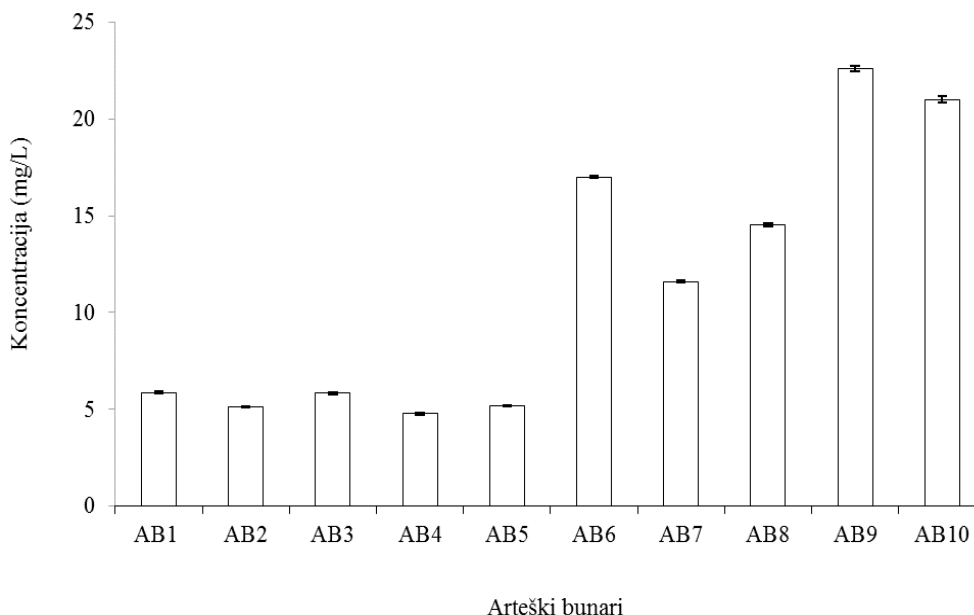
Magnezijum

Koncentracije magnezijuma, određene FAAS i ICP-OES tehnikom, na svakom pojedinačnom lokalitetu kreću se u intervalu: (5,60 - 6,18) mg/L; (5,15 - 5,71) mg/L (AB1); (4,66 - 5,53) mg/L; (4,194 - 5,120) mg/L (AB2); (5,40 - 6,30) mg/L; (4,86 - 5,98) mg/L (AB3); (4,52 - 4,95) mg/L; (4,21 - 4,73) mg/L (AB4); (4,94 - 5,61) mg/L; (4,51 - 5,32) mg/L (AB5); (15,82 - 18,48) mg/L; (14,92 - 17,21) mg/L (AB6); (11,04 - 12,19) mg/L; (10,29 - 11,08) mg/L (AB7); (13,56 - 16,78) mg/L; (12,93 - 19,92) mg/L (AB8); (20,8 - 26,5) mg/L; (19 - 24) mg/L (AB9) i (19,5 - 22,0) mg/L; (19 - 21) mg/L (AB10). Za navedeni period ispitivanja na svim lokalitetima koncentracije magnezijuma, određene FAAS tehnikom, su u intervalu od 4,52 mg/L do 26,5 mg/L sa srednjom vrednošću od 11,4 mg/L. Najveća koncentracija magnezijuma izmerena je na lokalitetu AB9 u junu mesecu, dok je najmanja izmerena na lokalitetu AB4 u martu mesecu (slika 50.). Varijacije u ispitivanom periodu kreću se od 0,43 mg/L (AB4) do 5 mg/L (AB9). Koncentracije magnezijuma u vodi arteških bunara AB1, AB2, AB3, AB4 i AB5 ne prelaze vrednost od 6,3 mg/L i one su od 2,4 do 5,9 puta manje nego u vodi preostalih pet bunara.



Slika 50. Mesečne promene koncentracije Mg u vodi iz arteških bunara (FAAS tehnika)

Srednje koncentracije magnezijuma u vodi iz arteških bunara opadaju sledećim redosledom: AB9 □ AB10 □ AB6 □ AB8 □ AB7 □ AB1 □ AB3 □ AB5 □ AB2 □ AB4 (slika 51.).



Slika 51. Srednje koncentracije Mg u vodi iz arteških bunara (FAAS tehnika)

WHO (2011a) je u Uputstvu za kvalitet voda za piće dala procenu za kalcijum i magnezijum sa stanovišta tvrdoće vode, ali nije postavila bilo kakve minimalne ili maksimalne preporučene granice. *Direktiva EU* (1998) takođe nije normirala ove parametre, dok ih *U.S. EPA* (2012) nije regulisala Nacionalnim primarnim i sekundarnim standardom. *Pravilnik o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće Republike Srpske* (2015) propisao je MDK za kalcijum od 200 mg/L i za magnezijum od 50 mg/L. Uzimajući u obzir ovu smernicu, koncentracije kalcijuma i magnezijum u uzorcima vode iz arteških bunara nalaze se ispod MDK .

Rastvoreni joni kalcijuma i magnezijuma čine "tvrdoću" vode. Step en tvrdoće vode zavisi od sadržaja ova dva minerala, i postaje veći ukoliko se sadržaj kalcijuma i magnezijuma poveća. Tvrda voda nije štetna za zdravlje ljudi jer su kalcijum i magnezijum neophodni u ljudskoj ishrani. Prisustvo kalcijuma i magnezijuma u podzemnoj vodi posledica je rastvaranja karbonatnih i silikatnih minerala. Odnos Ca/Mg je veoma važan jer je pokazatelj litološkog sastava akvifera. Odnos Ca/Mg jednak jedinici ukazuje na raspad dolomita, dok veći odnos ukazuje na dominaciju kalcitnih stena. Odnos Ca/Mg veći od 2,

može predstavljati rastvaranje silikatnih minerala u podzemnoj vodi (*Katz i sar., 1997*). U uzorcima vode iz arteških bunara odnos Ca/Mg kreće se od 1,34 do 3,96. 30% uzoraka vode iz arteških bunara ima odnos Ca/Mg između 1 i 2, dok je kod preostalih 70% uzoraka vode odnos veći od 2, što ukazuje da i silikatni minerali doprinose kalcijumu i magnezijumu u podzemnoj vodi (*Mayo i Loucks, 1995*).

Sadržaj kalcijuma i magnezijuma u podzemnoj vodi mnogo varira u zavisnosti od geološkog sastava stena. Koncentracije kalcijuma u podzemnoj vodi su do 100 mg/L, a mogu i da prelaze ovu vrednost. Magnezijum je prisutan u podzemnoj vodi obično u koncentracijama do 50 mg/L i retko prelaze 100 mg/L, tako da je kalcijum glavna komponenta tvrdoće (*WHO, 2011b*).

Tvrdoća vode, izražena kao CaCO₃, u pijezometrima na teritoriji Semberije kreće se od 120 mg/L do 548 mg/L, što pokazuje da se radi o tvrdim (tvrdoća kao CaCO₃ od 120 mg/L do 180 mg/L) i veoma tvrdim vodama (tvrdoća kao CaCO₃ >180 mg/L). Koncentracije kalcijuma u ovim pijezometrima su u intervalu od 58 mg/L do 197 mg/L, a koncentracije magnezijuma od 9 mg/L do 51 mg/L (*Institut za vode Bijeljina, 2008*).

Koncentracije kalcijuma u podzemnim vodama Srbije veoma variraju i kreću se u intervalu od 0,6 mg/L do 392,8 mg/L. Srednja koncentracije je 82,3 mg/L. Od 257 ispitanih uzoraka podzemne vode, samo 20 (8%) ima koncentracije kalcijuma koje su iznad MDK propisane nacionalnim standardom (200 mg/L). Koncentracije magnezijuma u Srbiji veoma variraju i kreću se u intervalu od 0,05 mg/L do 378 mg/L. Srednja koncentracije je 34,27 mg/L. Od 257 ispitanih uzoraka podzemne vode sakupljenih širom Srbije, 45 uzoraka (18%) ima koncentracije koje prelaze MDK propisane nacionalnim standardom (50 mg/L). Odnos koncentracija Mg/Ca u podzemnim vodama Srbije kreće se od 0,02 do 36,62 (*Papić i sar., 2014*).

U severozapadnim delovima Hrvatske, na području Koprivnica-Križevci, maksimalne koncentracije kalcijuma i magnezijuma u uzorcima podzemne vode, uzorkovanih sa pet različitih lokaliteta u periodu od 2011. godine do 2012. godine, iznosile su 94 mg/L i 30 mg/L (*Habuda-Stanić i sar., 2015*).

U podzemnim vodama jugozapadne Makedonije, na teritoriji opštine Bitola, koncentracije kalcijuma veoma variraju i kreću se u intervalu od 24,5 mg/L do 299,5 mg/L, pri čemu pet uzoraka vode ima koncentraciju kalcijuma veću od MDK propisane nacionalnim

standardom (200 mg/L). Koncentracije magnezijuma takođe veoma variraju, od 12,2 mg/L do 384 mg/L, pri čemu je u 7 testiranih uzoraka vode sadržaj magnezijuma veći od MDK propisane nacionalnim standardom (50 mg/L) (Mirčovski i sar., 2015).

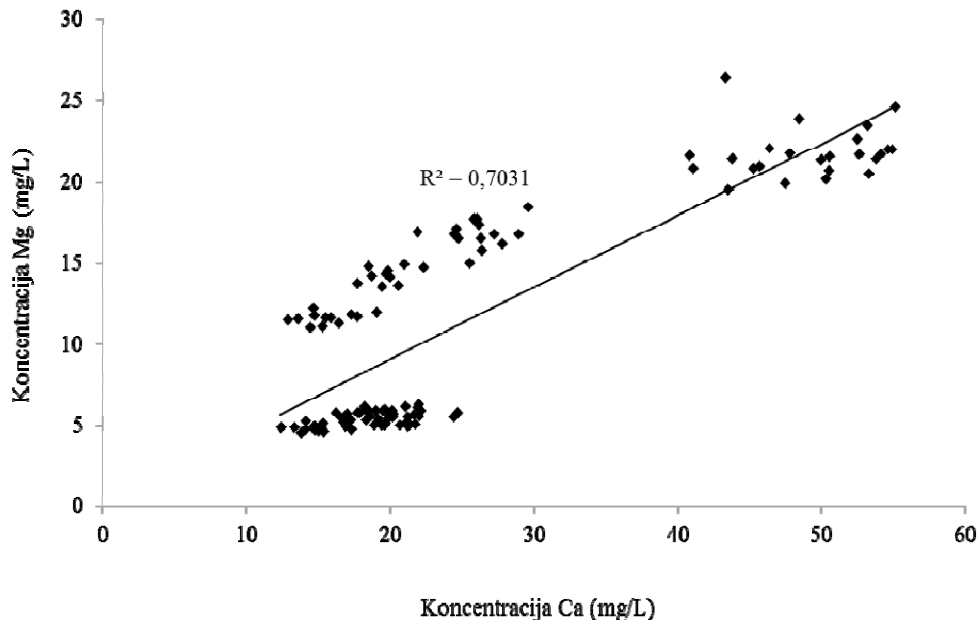
U podzemnim vodama Panonskog basena (istočna Mađarska i zapadna Rumunija), koncentracije kalcijuma veoma variraju i kreću se od 2,1 mg/L do 246 mg/L, a magnezijuma od 0,3 mg/L do 281 mg/L (Rowland i sar., 2011).

U podzemnim vodama Poljske koncentracije magnezijuma i kalcijuma su u intervalu od 25,0 mg/L do 74,0 mg/L i od 170 mg/L do 280 mg/L (Orzepowski i Pulikowski, 2008).

U Indiji, u gradu Džajpuru, koncentracije kalcijuma i magnezijuma u uzorcima podzemne vode su u intervalu od 8,16 mg/L do 266,53 mg/L i 17,02 mg/L do 205,50 mg/L, sa srednjom vrednošću od 103,30 mg/L i 67,99 mg/L (Tank i Chandel, 2010).

U Pakistanu, u Lahoru u provinciji Pandžab, koncentracije kalcijuma i magnezijuma u uzorcima podzemne vode pre monsuna su od 30 mg/L do 1345 mg/L i od 5,3 mg/L do 301 mg/L, dok su u sezoni posle monsuna od 23 mg/L do 1027 mg/L i od 12 mg/L do 338 mg/L (Naeem i sar., 2007).

Na slici 52. je prikazana zavisnost koncentracije kalcijuma od koncentracije magnezijuma. Visok stepen korelacije ($R^2 = 0,7031$) ukazuje na dobru linearnu zavisnost ova dva elementa i sugeriše da su podzemne vode formirane u krečnjaku (Papić i sar., 2014).



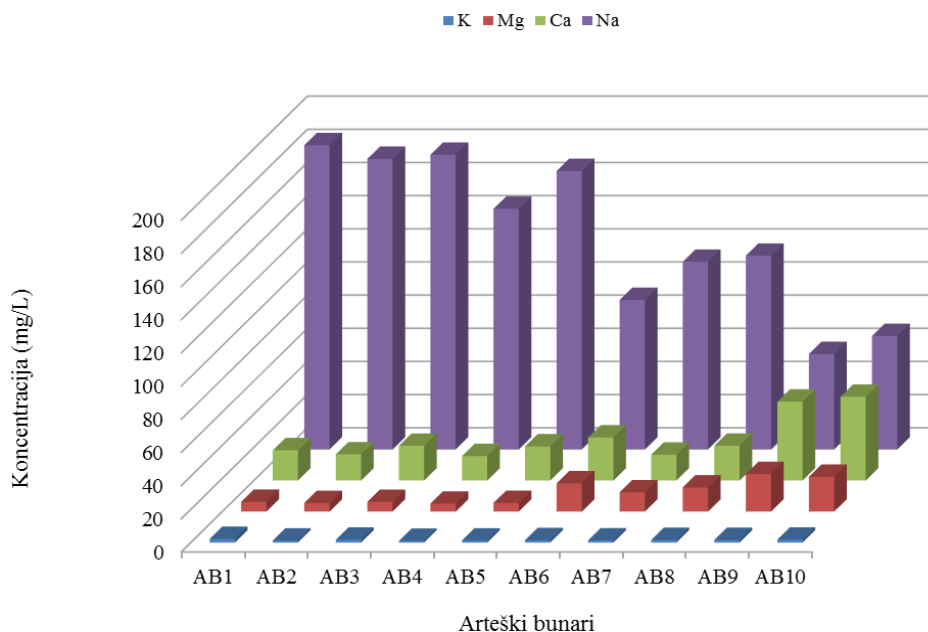
Slika 52. Zavisnost koncentracije Ca od koncentracije Mg u vodi iz arteških bunara

Ako se pogleda nivo mesečne količine padavina (tabela 6.), očekivalo bi se da u periodu od maja do jula kada su zabeležene najveće padavine, sadržaj makroelemenata u podzemnoj vodi arteških bunara bude niži u odnosu na sušni period ili kada su bile znatno manje količine padavina. Međutim, u datom periodu zabeležen je čak i neznatan porast sadržaja ovih elemenata, što znači da padavine nisu uticale na sadržaj makroelemenata i da su arteški bunari zaštićeni od spoljašnjeg uticaja vodonepropusnim slojem. Ovaj blagi porast koncentracije makroelemenata u kišnom periodu od maja do jula meseca se može objasniti porastom temperature podzemne vode, sa kojom se povećala rastvorljivost minerala u vodi a samim tim i koncentracija makroelemenata.

Rezultati određivanja Na, K, Ca i Mg u vodi iz arteških bunara ukazuju na visok sadržaj ovih minerala i njihova koncentracija opada sledećim redosledom: Na \square Ca \square Mg \square K (slika 53.).

Sa slike 53. se može zaključiti da je koncentracija Na u vodi iz arteških bunara daleko veća od koncentracije K, Mg i Ca, što je posledica njegove veće rasprostranjenosti u Zemljinoj kori. Odnos koncentracija natrijuma i kalijuma kreće se u intervalu od 36 (AB9) do

146 (AB2). U mnogim prirodnim vodama koncentracija kalijuma je često manja od jedne desetine koncentracije natrijuma (Davis i DeWiest, 1970), što je slučaj i sa analiziranim uzorcima vode iz arteških bunara.



Slika 53. Srednje koncentracije makroelemenata u vodi iz arteških bunara (FAAS tehnika)

F i t-test

Za potvrdu postojanja nulte hipoteze između dva niza rezultata određivanja natrijuma, kalijuma, kalcijuma i magnezijuma dobijenih FAAS i ICP-OES tehnikom, korišćeni su F test i t-test. Eksperimentalno dobijene vrednosti za F i t-test za 11 stepeni slobode i stepen poverenja od 95% ($p = 0,05$) prikazane su u tabeli 22.

Tabela 22. Ekperimentalno dobijene vrednosti za F test i t-test za stepen poverenja od 95% ($p = 0,05$)

| | Na | | K | | Ca | | Mg | |
|------|--------|-------------|--------|--------|--------|-------------|-------------|-------------|
| | F test | t-test | F test | t-test | F test | t-test | F test | t-test |
| AB1 | 1,30 | 1,62 | 1,10 | 1,42 | 1,06 | 2,24 | 1,42 | 6,11 |
| AB2 | 1,15 | 1,86 | 1,13 | 1,00 | 1,18 | 2,00 | 1,33 | 3,00 |
| AB3 | 1,28 | 2,78 | 1,01 | 1,66 | 1,14 | 1,45 | 1,30 | 3,50 |
| AB4 | 1,24 | 1,30 | 1,23 | 0,96 | 1,04 | 1,29 | 1,25 | 5,66 |
| AB5 | 1,08 | 1,75 | 1,08 | 0,98 | 1,07 | 1,97 | 1,49 | 3,19 |
| AB6 | 1,08 | 1,28 | 1,26 | 2,11 | 1,05 | 1,95 | 1,01 | 3,96 |
| AB7 | 1,25 | 1,66 | 1,12 | 1,25 | 1,17 | 1,80 | 1,00 | 5,79 |
| AB8 | 1,25 | 0,67 | 1,12 | 1,42 | 1,18 | 1,29 | 4,56 | / |
| AB9 | 1,14 | 0,78 | 1,11 | 1,19 | 1,07 | 0,98 | 1,19 | 1,92 |
| AB10 | 1,07 | 0,70 | 1,01 | 1,37 | 1,09 | 1,35 | 1,28 | 2,30 |

Na osnovu podataka prikazanih u tabeli 22., može se videti da su eksperimentalno dobijene vrednosti F_{exp} za određivanje natrijuma, kalijuma i kalcijuma za 11 stepeni slobode, na 12 različitih lokaliteta, i stepen poverenja od 95% ($p = 0,05$) manji od F_{krit} koja iznosi 2,79. Za magnezijum u 11 slučajeva F_{exp} je manje od F_{krit} , dok je samo u jednom $F_{\text{exp}} = 4,56$ veće od F_{krit} . Pošto je $F_{\text{exp}} < F_{\text{krit}}$, između standardnih devijacija dva niza rezultata određivanja natrijuma, kalijuma, kalcijuma i magnezijuma, dobijena dvema tehnikama, ne postoji značajna razlika u tačnosti.

Eksperimentalno dobijene vrednosti t-testa za kalijum, i natrijum i kalcijum, osim u jednom slučaju, za 11 stepeni slobode i stepen poverenja od 95% ($p = 0,05$) su manje od t_{krit} koja iznosi 2,20, što potvrđuje postojanje nulte hipoteze i saglasnost dobijenih rezultata dvema tehnikama.

Eksperimentalno dobijene vrednosti t-testa za magnezijum su veće od t_{krit} , tako da se u ovom slučaju odbacuje postojanje nulte hipoteze i može se zaključiti da je razlika između srednjih vrednosti, dva niza rezultata dobijena dvema tehnikama, značajna.

3.4 Optimalni uslovi određivanje mikroelemenata u vodi iz arteških bunara FAAS i EAAS tehnikom

Optimalni uslovi određivanja mikroelemenata EAAS tehnikom su isti kao i kod FAAS s tim što ovde treba uzetu u obzir i tip kivete i temperaturni program zagrevanje kivete.

U praksi se koriste pirolitičke grafitne kivete i grafitne kivete velike gustine. Pirolitičke grafitne kivete korišćene su za određivanje arsena, kobalta, hroma, bakra, nikla, antimona i selena. Grafitne kivete velike gustine korišćene su za određivanje kadmijuma i olova.

Optimalni uslovi određivanja gvožđa, mangana, cinka, arsena, kadmijuma, kobalta, hroma, bakra, nikla, olova, antimona i selena kao i parametri kalibracionih pravi dati su u tabelama 23- 42.

Tabela 23. Uslovi određivanja Fe, Mn i Zn FAAS tehnikom

| Metal | Talasna dužina (nm) | Mod lampe | Širina razreza (nm) | Struja lampe (mA) | Protok acetilena (L/min) | Protok vazduha (L/min) | Visina gorionika (mm) |
|-------|---------------------|-----------|---------------------|-------------------|--------------------------|------------------------|-----------------------|
| Fe | 248,3 | BGC-D2 | 0,2 | 12 | 2,2 | 15,0 | 9 |
| Mn | 279,5 | BGC-D2 | 0,2 | 10 | 2,0 | 15,0 | 7 |
| Zn | 213,9 | BGC-D2 | 0,7 | 8 | 2,0 | 15,0 | 7 |

* BGC-D2 - vrši se pozadinska (*eng.* background) korekcija pomoću D₂ lampe

Tabela 24. Parametri kalibracione prave za određivanje Fe, Mn i Zn FAAS tehnikom

| Mesec | Nagib | Fe | | Nagib | Mn | |
|-----------|--------|--------|----------------|--------|--------|----------------|
| | | r | R ² | | r | R ² |
| Februar | 0,0931 | 0,9999 | 0,9998 | 0,1891 | 1,0000 | 1,0000 |
| Mart | 0,0892 | 0,9999 | 0,9998 | 0,1939 | 0,9995 | 0,9990 |
| April | 0,0791 | 0,9990 | 0,9980 | 0,1792 | 1,0000 | 1,0000 |
| Maj | 0,0684 | 0,9994 | 0,9988 | 0,1589 | 1,0000 | 1,0000 |
| Jun | 0,0734 | 0,9999 | 0,9998 | 0,1638 | 0,9998 | 0,9996 |
| Jul | 0,0805 | 0,9994 | 0,9988 | 0,1334 | 0,9988 | 0,9976 |
| Avgust | 0,0894 | 0,9995 | 0,9990 | 0,1587 | 0,9997 | 0,9994 |
| Septembar | 0,0968 | 0,9997 | 0,9994 | 0,2228 | 0,9999 | 0,9998 |
| Oktobar | 0,0960 | 1,0000 | 1,0000 | 0,2295 | 0,9995 | 0,9990 |
| Novembar | 0,0757 | 1,0000 | 1,0000 | 0,1813 | 0,9998 | 0,9996 |
| Decembar | 0,0868 | 0,9995 | 0,9990 | 0,1933 | 1,0000 | 1,0000 |
| Januar | 0,0793 | 0,9999 | 0,9998 | 0,1816 | 0,9999 | 0,9998 |

| Mesec | Nagib | Zn | |
|-----------|--------|--------|----------------|
| | | r | R ² |
| Februar | 0,5803 | 1,0000 | 1,0000 |
| Mart | 0,4924 | 0,9995 | 0,9990 |
| April | 0,4370 | 0,9941 | 0,9882 |
| Maj | 0,3676 | 1,0000 | 1,0000 |
| Jun | 0,3921 | 0,9999 | 0,9998 |
| Jul | 0,4198 | 0,9999 | 0,9998 |
| Avgust | 0,3956 | 1,0000 | 1,0000 |
| Septembar | 0,5060 | 1,0000 | 1,0000 |
| Oktobar | 0,5191 | 0,9999 | 0,9998 |
| Novembar | 0,4284 | 0,9999 | 0,9998 |
| Decembar | 0,4647 | 1,0000 | 1,0000 |
| Januar | 0,4400 | 0,9998 | 0,9996 |

Tabela 25. Uslovi određivanja As EAAS tehnikom

| As | | | | |
|---------------------|--------|-----------|------------|---------------------|
| Talasna dužina (nm) | 193,7 | | | |
| Širina razreza (nm) | 0,7 | | | |
| Mod lampe | BGC-D2 | | | |
| Struja lampe (mA) | 12 | | | |
| | t (°C) | Vreme (s) | Zagrevanje | Protok gasa (L/min) |
| 1. | 150 | 20 | RAMP | 0,1 |
| 2. | 250 | 10 | RAMP | 0,1 |
| 3. | 600 | 10 | RAMP | 1,0 |
| 4. | 600 | 10 | STEP | 1,0 |
| 5. | 600 | 3 | STEP | 0,0 |
| 6. | 2200 | 2 | STEP | 0,0 |
| 7. | 2500 | 2 | STEP | 1,0 |

* BGC-D2 - vrši se pozadinska (*eng.* background) korekcija pomoću D₂ lampe

**RAMP – zagrevanje se vrši kontinuirano

*** STEP - zagrevanje se vrši direktno na određenoj temperaturi

Tabela 26. Parametri kalibracione prave za određivanje As EAAS tehnikom

| As | | | | | | | | | | | | |
|----------------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-----------|---------|----------|----------|--------|
| Mesec | Februar | Mart | April | Maj | Jun | Jul | Avgust | Septembar | Oktobar | Novembar | Decembar | Januar |
| Nagib | 0,0171 | 0,0156 | 0,0190 | 0,0163 | 0,0158 | 0,0199 | 0,0161 | 0,0140 | 0,0134 | 0,0163 | 0,0165 | 0,0156 |
| r | 0,9961 | 0,9992 | 0,9991 | 0,9994 | 1,0000 | 0,9997 | 0,9986 | 0,9997 | 0,9999 | 1,0000 | 0,9996 | 0,9991 |
| R ² | 0,9922 | 0,9984 | 0,9982 | 0,9988 | 1,0000 | 0,9994 | 0,9972 | 0,9994 | 0,9998 | 1,0000 | 0,9992 | 0,9982 |

Tabela 27. Uslovi određivanja Cd EAAS tehnikom

| Cd | | | | |
|---------------------|--------|-----------|------------|---------------------|
| Talasna dužina (nm) | 228,8 | | | |
| Širina razreza (nm) | 0,7 | | | |
| Mod lampe | BGC-D2 | | | |
| Struja lampe (mA) | 8 | | | |
| | t (°C) | Vreme (s) | Zagrevanje | Protok gasa (L/min) |
| 1. | 150 | 20 | RAMP | 0,1 |
| 2. | 250 | 10 | RAMP | 0,1 |
| 3. | 500 | 10 | RAMP | 1,0 |
| 4. | 500 | 10 | STEP | 1,0 |
| 5. | 500 | 3 | STEP | 0,0 |
| 6. | 2200 | 2 | STEP | 0,0 |
| 7. | 2400 | 2 | STEP | 1,0 |

* BGC-D2 - vrši se pozadinska (*eng.* background) korekcija pomoću D₂ lampe

**RAMP – zagrevanje se vrši kontinuirano

*** STEP - zagrevanje se vrši direktno na određenoj temperaturi

Tabela 28. Parametri kalibracione prave za određivanje Cd EAAS tehnikom

| Cd | | | | | | | | | | | | |
|----------------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-----------|---------|----------|----------|--------|
| Mesec | Februar | Mart | April | Maj | Jun | Jul | Avgust | Septembar | Oktobar | Novembar | Decembar | Januar |
| Nagib | 0,1544 | 0,2544 | 0,1105 | 0,2291 | 0,3087 | 0,2882 | 0,2581 | 0,3506 | 0,2793 | 0,2409 | 0,2792 | 0,2616 |
| r | 0,9984 | 0,9989 | 0,9975 | 1,0000 | 0,9999 | 0,9988 | 0,9993 | 0,9998 | 0,9978 | 1,0000 | 1,0000 | 0,9998 |
| R ² | 0,9968 | 0,9978 | 0,9950 | 1,0000 | 0,9998 | 0,9976 | 0,9986 | 0,9996 | 0,9956 | 1,0000 | 1,0000 | 0,9996 |

Tabela 29. Uslovi određivanja Co EAAS tehnikom

| Co | | | | |
|---------------------|--------|-----------|------------|---------------------|
| Talasna dužina (nm) | 240,7 | | | |
| Širina razreza (nm) | 0,2 | | | |
| Mod lampe | BGC-D2 | | | |
| Struja lampe (mA) | 12 | | | |
| | t (°C) | Vreme (s) | Zagrevanje | Protok gasa (L/min) |
| 1. | 120 | 20 | RAMP | 0,1 |
| 2. | 250 | 10 | RAMP | 1,0 |
| 3. | 400 | 10 | STEP | 1,0 |
| 4. | 400 | 3 | STEP | 0,0 |
| 5. | 2500 | 3 | STEP | 0,0 |
| 6. | 2700 | 2 | STEP | 1,0 |

* BGC-D2 - vrši se pozadinska (*eng.* background) korekcija pomoću D₂ lampe

**RAMP – zagrevanje se vrši kontinuirano

*** STEP - zagrevanje se vrši direktno na određenoj temperaturi

Tabela 30. Parametri kalibracione prave za određivanje Co EAAS tehnikom

| Co | | | | | | | | | | | | |
|----------------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-----------|---------|----------|----------|--------|
| Mesec | Februar | Mart | April | Maj | Jun | Jul | Avgust | Septembar | Oktobar | Novembar | Decembar | Januar |
| Nagib | 0,1544 | 0,2544 | 0,1105 | 0,2291 | 0,3087 | 0,2882 | 0,2581 | 0,3506 | 0,2793 | 0,2409 | 0,2792 | 0,2616 |
| r | 0,9984 | 0,9989 | 0,9975 | 1,0000 | 0,9999 | 0,9988 | 0,9993 | 0,9998 | 0,9978 | 1,0000 | 1,0000 | 0,9998 |
| R ² | 0,9968 | 0,9978 | 0,9950 | 1,0000 | 0,9998 | 0,9976 | 0,9986 | 0,9996 | 0,9956 | 1,0000 | 1,0000 | 0,9996 |

Tabela 31. Uslovi određivanja Cr EAAS tehnikom

| Cr | | | | |
|---------------------|--------|-----------|------------|---------------------|
| Talasna dužina (nm) | 357,9 | | | |
| Širina razreza (nm) | 0,7 | | | |
| Mod lampe | BGC-D2 | | | |
| Struja lampe (mA) | 10 | | | |
| | t (°C) | Vreme (s) | Zagrevanje | Protok gasa (L/min) |
| 1. | 150 | 20 | RAMP | 0,1 |
| 2. | 250 | 10 | RAMP | 0,1 |
| 3. | 800 | 10 | RAMP | 1,0 |
| 4. | 800 | 10 | STEP | 1,0 |
| 5. | 800 | 3 | STEP | 0,0 |
| 6. | 2300 | 2 | STEP | 0,0 |
| 7. | 2500 | 2 | STEP | 1,0 |

* BGC-D2 - vrši se pozadinska (*eng.* background) korekcija pomoću D₂ lampe

**RAMP – zagrevanje se vrši kontinuirano

*** STEP - zagrevanje se vrši direktno na određenoj temperaturi

Tabela 32. Parametri kalibracione prave za određivanje Cr EAAS tehnikom

| Cr | | | | | | | | | | | | |
|----------------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-----------|---------|----------|----------|--------|
| Mesec | Februar | Mart | April | Maj | Jun | Jul | Avgust | Septembar | Oktobar | Novembar | Decembar | Januar |
| Nagib | 0,0497 | 0,0546 | 0,0482 | 0,0489 | 0,0445 | 0,0306 | 0,0476 | 0,0327 | 0,0443 | 0,0558 | 0,0522 | 0,0478 |
| r | 0,9991 | 0,9998 | 0,9993 | 1,0000 | 0,9987 | 1,0000 | 0,9997 | 0,9995 | 0,9984 | 0,9999 | 0,9996 | 0,9990 |
| R ² | 0,9982 | 0,9996 | 0,9986 | 1,0000 | 0,9974 | 1,0000 | 0,9994 | 0,9990 | 0,9968 | 0,9998 | 0,9992 | 0,9980 |

Tabela 33. Uslovi određivanja Cu EAAS tehnikom

| Cu | | | | |
|---------------------|--------|-----------|------------|---------------------|
| Talasna dužina (nm) | 324,8 | | | |
| Širina razreza (nm) | 0,7 | | | |
| Mod lampe | BGC-D2 | | | |
| Struja lampe (mA) | 6 | | | |
| | t (°C) | Vreme (s) | Zagrevanje | Protok gasa (L/min) |
| 1. | 150 | 20 | RAMP | 0,1 |
| 2. | 250 | 10 | RAMP | 0,1 |
| 3. | 800 | 10 | RAMP | 1,0 |
| 4. | 800 | 10 | STEP | 1,0 |
| 5. | 800 | 3 | STEP | 0,0 |
| 6. | 2300 | 2 | STEP | 0,0 |
| 7. | 2500 | 2 | STEP | 1,0 |

* BGC-D2 - vrši se pozadinska (*eng.* background) korekcija pomoću D₂ lampe

**RAMP – zagrevanje se vrši kontinuirano

*** STEP - zagrevanje se vrši direktno na određenoj temperaturi

Tabela 34. Parametri kalibracione prave za određivanje Cu EAAS tehnikom

| Cu | | | | | | | | | | | | |
|----------------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-----------|---------|----------|----------|--------|
| Mesec | Februar | Mart | April | Maj | Jun | Jul | Avgust | Septembar | Oktobar | Novembar | Decembar | Januar |
| Nagib | 0,0655 | 0,0367 | 0,0358 | 0,0362 | 0,0417 | 0,0305 | 0,0319 | 0,0291 | 0,0382 | 0,0438 | 0,0522 | 0,0511 |
| r | 0,9996 | 1,0000 | 1,0000 | 0,9994 | 0,9989 | 1,0000 | 0,9988 | 0,9998 | 0,9998 | 0,9996 | 0,9996 | 0,9992 |
| R ² | 0,9992 | 1,0000 | 1,0000 | 0,9988 | 0,9978 | 1,0000 | 0,9976 | 0,9996 | 0,9996 | 0,9992 | 0,9992 | 0,9984 |

Tabela 35. Uslovi određivanja Ni EAAS tehnikom

| Ni | | | | |
|---------------------|--------|-----------|------------|---------------------|
| Talasna dužina (nm) | 232,0 | | | |
| Širina razreza (nm) | 0,2 | | | |
| Mod lampe | BGC-D2 | | | |
| Struja lampe (mA) | 12 | | | |
| | t (°C) | Vreme (s) | Zagrevanje | Protok gasa (L/min) |
| 1. | 120 | 20 | RAMP | 0,1 |
| 2. | 250 | 10 | RAMP | 0,1 |
| 3. | 800 | 10 | RAMP | 1,0 |
| 4. | 800 | 10 | STEP | 1,0 |
| 5. | 800 | 3 | STEP | 0,0 |
| 6. | 2800 | 2 | STEP | 0,0 |
| 7. | 2800 | 2 | STEP | 1,0 |

* BGC-D2 - vrši se pozadinska (*eng.* background) korekcija pomoću D₂ lampe

**RAMP – zagrevanje se vrši kontinuirano

*** STEP - zagrevanje se vrši direktno na određenoj temperaturi

Tabela 36. Parametri kalibracione prave za određivanje Ni EAAS tehnikom

| Ni | | | | | | | | | | | | |
|----------------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-----------|---------|----------|----------|--------|
| Mesec | Februar | Mart | April | Maj | Jun | Jul | Avgust | Septembar | Oktobar | Novembar | Decembar | Januar |
| Nagib | 0,0104 | 0,0079 | 0,0112 | 0,0114 | 0,0130 | 0,0076 | 0,0102 | 0,0071 | 0,0094 | 0,0119 | 0,0109 | 0,0095 |
| r | 1,0000 | 0,9999 | 1,0000 | 0,9995 | 0,9967 | 0,9963 | 0,9985 | 0,9999 | 0,9995 | 0,9998 | 1,0000 | 0,9989 |
| R ² | 1,0000 | 0,9998 | 1,0000 | 0,9990 | 0,9934 | 0,9926 | 0,9970 | 0,9998 | 0,9990 | 0,9996 | 1,0000 | 0,9978 |

Tabela 37. Uslovi određivanja Pb EAAS tehnikom

| Pb | | | | |
|---------------------|--------|-----------|------------|---------------------|
| Talasna dužina (nm) | 283,3 | | | |
| Širina razreza (nm) | 0,7 | | | |
| Mod lampe | BGC-D2 | | | |
| Struja lampe (mA) | 10 | | | |
| | T (°C) | Vreme (s) | Zagrevanje | Protok gasa (L/min) |
| 1. | 150 | 20 | RAMP | 0,1 |
| 2. | 250 | 10 | RAMP | 0,1 |
| 3. | 800 | 10 | RAMP | 1,0 |
| 4. | 800 | 10 | STEP | 1,0 |
| 5. | 800 | 3 | STEP | 0,0 |
| 6. | 2400 | 2 | STEP | 0,0 |
| 7. | 2500 | 2 | STEP | 1,0 |

* BGC-D2 - vrši se pozadinska (*eng.* background) korekcija pomoću D₂ lampe

**RAMP – zagrevanje se vrši kontinuirano

*** STEP - zagrevanje se vrši direktno na određenoj temperaturi

Tabela 38. Parametri kalibracione prave za određivanje Pb EAAS tehnikom

| Pb | | | | | | | | | | | | |
|----------------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-----------|---------|----------|----------|--------|
| Mesec | Februar | Mart | April | Maj | Jun | Jul | Avgust | Septembar | Oktobar | Novembar | Decembar | Januar |
| Nagib | 0,0174 | 0,0072 | 0,0155 | 0,0123 | 0,0150 | 0,0144 | 0,0166 | 0,0154 | 0,0129 | 0,0142 | 0,0123 | 0,0142 |
| r | 1,0000 | 0,9950 | 0,9991 | 0,9940 | 0,9998 | 0,9899 | 0,9975 | 0,9862 | 0,9999 | 0,9959 | 0,9962 | 0,9970 |
| R ² | 1,0000 | 0,9900 | 0,9982 | 0,9880 | 0,9996 | 0,9799 | 0,9950 | 0,9726 | 0,9998 | 0,9918 | 0,9924 | 0,9940 |

Tabela 39. Uslovi određivanja Sb EAAS tehnikom

| Sb | | | | |
|---------------------|--------|-----------|------------|---------------------|
| Talasna dužina (nm) | 217,6 | | | |
| Širina razreza (nm) | 0,7 | | | |
| Mod lampe | BGC-D2 | | | |
| Struja lampe (mA) | 13 | | | |
| | t (°C) | Vreme (s) | Zagrevanje | Protok gasa (L/min) |
| 1. | 150 | 20 | RAMP | 0,1 |
| 2. | 250 | 10 | RAMP | 0,1 |
| 3. | 600 | 10 | RAMP | 1,0 |
| 4. | 600 | 10 | STEP | 1,0 |
| 5. | 600 | 3 | STEP | 0,0 |
| 6. | 2400 | 2 | STEP | 0,0 |
| 7. | 2500 | 2 | STEP | 1,0 |

* BGC-D2 - vrši se pozadinska (*eng.* background) korekcija pomoću D₂ lampe

**RAMP – zagrevanje se vrši kontinuirano

*** STEP - zagrevanje se vrši direktno na određenoj temperaturi

Tabela 40. Parametri kalibracione prave za određivanje Sb EAAS tehnikom

| Sb | | | | | | | | | | | | |
|----------------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-----------|---------|----------|----------|--------|
| Mesec | Februar | Mart | April | Maj | Jun | Jul | Avgust | Septembar | Oktobar | Novembar | Decembar | Januar |
| Nagib | 0,0117 | 0,0121 | 0,0129 | 0,0132 | 0,0156 | 0,0121 | 0,0125 | 0,0133 | 0,0123 | 0,0134 | 0,0135 | 0,0144 |
| r | 1,0000 | 0,9992 | 0,9995 | 0,9983 | 0,9988 | 0,9989 | 0,9993 | 0,9999 | 0,9997 | 0,9964 | 0,9994 | 0,9987 |
| R ² | 1,0000 | 0,9984 | 0,9990 | 0,9966 | 0,9976 | 0,9978 | 0,9986 | 0,9998 | 0,9994 | 0,9928 | 0,9988 | 0,9974 |

Tabela 41. Uslovi određivanja Se EAAS tehnikom

| Se | | | | |
|---------------------|--------|-----------|------------|---------------------|
| Talasna dužina (nm) | 196,0 | | | |
| Širina razreza (nm) | 0,7 | | | |
| Mod lampe | BGC-D2 | | | |
| Struja lampe (mA) | 23 | | | |
| | t (°C) | Vreme (s) | Zagrevanje | Protok gasa (L/min) |
| 1. | 150 | 20 | RAMP | 0,1 |
| 2. | 250 | 10 | RAMP | 0,1 |
| 3. | 600 | 10 | RAMP | 1,0 |
| 4. | 600 | 10 | STEP | 1,0 |
| 5. | 600 | 3 | STEP | 0,0 |
| 6. | 2200 | 2 | STEP | 0,0 |
| 7. | 2400 | 2 | STEP | 1,0 |

* BGC-D2 - vrši se pozadinska (*eng.* background) korekcija pomoću D₂ lampe

**RAMP – zagrevanje se vrši kontinuirano

*** STEP - zagrevanje se vrši direktno na određenoj temperaturi

Tabela 42. Parametri kalibracione prave za određivanje Se EAAS tehnikom

| Se | | | | | | | | | | | | |
|----------------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-----------|---------|----------|----------|--------|
| Mesec | Februar | Mart | April | Maj | Jun | Jul | Avgust | Septembar | Oktobar | Novembar | Decembar | Januar |
| Nagib | 0,0074 | 0,0103 | 0,0117 | 0,0119 | 0,0108 | 0,0101 | 0,0116 | 0,0113 | 0,0110 | 0,0131 | 0,0126 | 0,0129 |
| r | 0,9993 | 0,9919 | 0,9982 | 0,9977 | 0,9994 | 0,9998 | 0,9996 | 0,9991 | 0,9990 | 0,9997 | 0,9999 | 0,9995 |
| R ² | 0,9986 | 0,9838 | 0,9964 | 0,9954 | 0,9988 | 0,9996 | 0,9992 | 0,9982 | 0,9980 | 0,9994 | 0,9998 | 0,9990 |

3.5 Određivanje mikroelemenata

Neki metali u tragovima, kao što su Fe, Mn, Cu, Zn, Co, Se, ..., su veoma važni za funkcionisanje bioloških sistema i njihov nedostatak ili višak u ljudskom telu može imati brojne štetne posledice, dok metali, kao što su As, Pb, Cd, Hg, ..., ne samo da nisu biološki esencijalni, već su i toksični. Metali u tragovima su prisutni u maloj koncentraciji i u podzemnoj vodi. Nihova pojava u podzemnim vodama može biti prirodnog porekla, kao što je rastvaranje minerala koji se prirodno javljaju, ili posledica ljudske aktivnosti kao što su: otpadne vode iz rudnika i industrija za preradu metala, nepravilno odlaganje industrijskog otpada i drugo.

U tabelama 43-62 dati su rezultati određivanja mikroelemenata u vodama arteških bunara FAAS/EAAS i ICP-OES tehnikom.

Tabela 43. Godišnji prikaz koncentracija* Co, Cr, Cu, Fe, Mn i Ni u vodi iz arteškog bunara AB1

| Metal | AB1 | | | | | | | | | | | |
|---------------------|-------------|-----------|-----------|-------------|-------------|-----------|-------------|-------------|---------|---------------|-------------|-----------|
| | Co, µg/L | | Cr, µg/L | | Cu, µg/L | | Fe, g/L | | Mn, g/L | | Ni, µg/L | |
| | EAAS | ICP-OES | EAAS | ICP-OES | EAAS | ICP-OES | FAAS | ICP-OES | FAAS | ICP-OES | EAAS | ICP-OES |
| Februar | 3,7±0,3 | 3,59±0,08 | <1 | 0,984±0,006 | 0,24±0,03 | 0,23±0,02 | <0,03 | 0,02±0,01 | <0,01 | 0,0082±0,0007 | <0,1 | 0,08±0,04 |
| Mart | 0,8±0,1 | 0,61±0,05 | 2,73±0,05 | 1,568±0,007 | 1,21±0,04 | 1,15±0,05 | 0,099±0,002 | 0,094±0,005 | <0,01 | 0,0078±0,0004 | 5,4±0,1 | 5,04±0,09 |
| April | <0,5 | 0,48±0,03 | <1 | 0,742±0,004 | 0,79±0,04 | 0,70±0,04 | 0,033±0,003 | 0,030±0,005 | <0,01 | 0,009±0,001 | 0,103±0,002 | 0,15±0,03 |
| Maj | <0,5 | 0,48±0,04 | <1 | 0,759±0,003 | 0,99±0,01 | 0,91±0,07 | <0,03 | 0,021±0,008 | <0,01 | 0,007±0,001 | 2,63±0,04 | 2,47±0,09 |
| Jun | <0,5 | 0,51±0,04 | <1 | 0,538±0,002 | 3,01±0,03 | 3,04±0,06 | 0,057±0,001 | 0,049±0,007 | <0,01 | 0,0093±0,0007 | 3,8±0,3 | 3,55±0,08 |
| Jul | <0,5 | 0,49±0,05 | <1 | 0,596±0,002 | 1,02±0,04 | 0,93±0,03 | <0,03 | 0,023±0,005 | <0,01 | 0,008±0,001 | 8,4±0,2 | 7,35±0,05 |
| Avgust | <0,5 | 0,49±0,03 | <1 | 0,67±0,004 | 0,78±0,02 | 0,72±0,04 | <0,03 | 0,025±0,009 | <0,01 | 0,0084±0,0006 | <0,1 | 0,09±0,05 |
| Septembar | <0,5 | 0,54±0,03 | <1 | 0,569±0,002 | 0,742±0,005 | 0,69±0,03 | 0,034±0,004 | 0,033±0,006 | <0,01 | 0,0091±0,0007 | <0,1 | 0,08±0,04 |
| Oktobar | 1,422±0,003 | 1,28±0,07 | <1 | 0,520±0,002 | 3,44±0,05 | 3,36±0,05 | 0,039±0,001 | 0,037±0,008 | <0,01 | 0,0066±0,0005 | <0,1 | 0,07±0,03 |
| Novembar | <0,5 | 0,48±0,03 | <1 | 0,529±0,003 | 1,7±0,1 | 1,64±0,05 | 0,084±0,001 | 0,088±0,005 | <0,01 | 0,0070±0,0008 | 0,37±0,03 | 0,22±0,06 |
| Decembar | <0,5 | 0,47±0,03 | <1 | 0,513±0,004 | 1,14±0,05 | 1,04±0,06 | 0,041±0,001 | 0,045±0,004 | <0,01 | 0,008±0,001 | 0,52±0,04 | 0,57±0,05 |
| Januar | <0,5 | 0,51±0,04 | <1 | 0,516±0,002 | 2,3±0,2 | 2,13±0,03 | 0,042±0,001 | 0,038±0,006 | <0,01 | 0,008±0,001 | 1,73±0,07 | 1,48±0,06 |
| Interval | □0,5-3,7 | 0,47-3,59 | <1-2,73 | 0,513-1,568 | 0,24-3,44 | 0,23-3,36 | □0,03-0,099 | 0,021-0,094 | <0,01 | 0,007-0,009 | <0,1-8,4 | 0,07-7,35 |
| c _{sr} ±SD | | 0,82±0,04 | | 0,709±0,003 | 1,45±0,05 | 1,37±0,04 | 0,046±0,002 | 0,041±0,007 | | 0,008±0,001 | 2,9±0,1 | 1,76±0,06 |

* c_{sr}±SD (n=3)

Tabela 44. Godišnji prikaz koncentracija* Se, Zn, As, Cd, Pb i Sb u vodi iz arteškog bunara AB1

| Metal | AB1 | | | | | | | | | | | |
|---------------------|----------|-------------|-------------|-------------|------------|----------|-----------|---------------|------------|-------------|----------|-----------|
| | Se, µg/L | | Zn, g/L | | As, µg/L | | Cd, µg/L | | Pb, µg/L | | Sb, µg/L | |
| | EAAS | ICP-OES | FAAS | ICP-OES | EAAS | ICP-OES | EAAS | ICP-OES | EAAS | ICP-OES | EAAS | ICP-OES |
| Februar | <1 | 0,041±0,002 | 0,013±0,002 | 0,017±0,001 | 45±1 | 42±1 | <0,03 | 0,0266±0,0007 | <0,05 | 0,032±0,002 | <0,5 | 0,23±0,04 |
| Mart | <1 | 0,051±0,003 | 0,010±0,000 | 0,014±0,001 | 32,1±0,7 | 30,6±0,7 | <0,03 | 0,0287±0,0005 | <0,05 | 0,031±0,001 | <0,5 | 0,28±0,03 |
| April | <1 | 0,046±0,003 | <0,01 | 0,012±0,001 | 53,5±0,8 | 51,3±0,8 | 0,8±0,1 | 0,768±0,001 | <0,05 | 0,034±0,002 | <0,5 | 0,32±0,04 |
| Maj | <1 | 0,059±0,004 | <0,01 | 0,007±0,001 | 42,80±0,04 | 41,1±0,4 | <0,03 | 0,029±0,001 | <0,05 | 0,037±0,003 | <0,5 | 0,36±0,06 |
| Jun | <1 | 0,064±0,004 | 0,010±0,002 | 0,014±0,002 | 50,0±0,7 | 47,9±0,6 | <0,03 | 0,0261±0,0008 | 0,13±0,02 | 0,113±0,006 | <0,5 | 0,33±0,05 |
| Jul | <1 | 0,063±0,002 | <0,01 | 0,012±0,002 | 41,1±0,7 | 39,4±0,7 | <0,03 | 0,0270±0,0007 | <0,05 | 0,061±0,003 | <0,5 | 0,39±0,07 |
| Avgust | <1 | 0,049±0,001 | <0,01 | 0,007±0,001 | 44,3±0,7 | 42±3 | <0,03 | 0,028±0,001 | <0,05 | 0,052±0,001 | <0,5 | 0,29±0,04 |
| Septembar | <1 | 0,050±0,003 | <0,01 | 0,011±0,002 | 48±3 | 46±2 | <0,03 | 0,029±0,002 | <0,05 | 0,036±0,001 | <0,5 | 0,25±0,03 |
| Oktobar | <1 | 0,048±0,001 | <0,01 | 0,011±0,001 | 51±1 | 49±1 | <0,03 | 0,0283±0,0008 | <0,05 | 0,031±0,002 | <0,5 | 0,32±0,05 |
| Novembar | <1 | 0,056±0,002 | <0,01 | 0,013±0,002 | 56,8±0,5 | 54,4±0,5 | <0,03 | 0,028±0,002 | <0,05 | 0,025±0,001 | <0,5 | 0,30±0,06 |
| Decembar | <1 | 0,048±0,003 | 0,020±0,003 | 0,021±0,002 | 40,8±4 | 39±3 | <0,03 | 0,026±0,001 | <0,05 | 0,034±0,001 | <0,5 | 0,22±0,03 |
| Januar | <1 | 0,042±0,002 | <0,01 | 0,014±0,001 | 34±4 | 32±4 | <0,03 | 0,027±0,001 | <0,05 | 0,031±0,002 | <0,5 | 0,18±0,04 |
| Interval | <1 | 0,041-0,064 | <0,01-0,020 | 0,007-0,021 | 32-57 | 31-54 | □0,03-0,8 | 0,026-0,768 | <0,05-0,13 | 0,025-0,113 | <0,5 | 0,18-0,39 |
| c _{sr} ±SD | | 0,051±0,002 | | 0,013±0,001 | 45±1 | 43±1 | | 0,089±0,001 | | 0,043±0,002 | | 0,29±0,05 |

*c_{sr}±SD (n=3)

Tabela 45. Godišnji prikaz koncentracija* Co, Cr, Cu, Fe, Mn i Ni u vodi iz arteškog bunara AB2

| Metal | AB2 | | | | | | | | | | | |
|---------------------|-------------|-----------|-----------|-------------|-----------|-----------|-------------|-------------|-------------|---------------|-----------|-------------|
| | Co, µg/L | | Cr, µg/L | | Cu, µg/L | | Fe, g/L | | Mn, g/L | | Ni, µg/L | |
| | EAAS | ICP-OES | EAAS | ICP-OES | EAAS | ICP-OES | FAAS | ICP-OES | FAAS | ICP-OES | EAAS | ICP-OES |
| Februar | <0,5 | 0,49±0,02 | <1 | 0,512±0,006 | <0,2 | 0,23±0,01 | 0,040±0,000 | 0,031±0,005 | <0,01 | 0,0065±0,0006 | <0,1 | 0,07±0,01 |
| Mart | 4,8±0,4 | 4,65±0,07 | 1,00±0,01 | 0,863±0,007 | <0,2 | 0,23±0,01 | <0,03 | 0,025±0,003 | <0,01 | 0,0071±0,0008 | 0,89±0,06 | 0,80±0,01 |
| April | 1,10±0,01 | 0,96±0,03 | <1 | 0,569±0,003 | 0,70±0,03 | 0,58±0,04 | <0,03 | 0,019±0,002 | <0,01 | 0,0064±0,0009 | <0,1 | 0,082±0,007 |
| Maj | <0,5 | 0,53±0,02 | <1 | 0,524±0,005 | 0,62±0,01 | 0,66±0,03 | <0,03 | 0,018±0,004 | <0,01 | 0,008±0,001 | 0,17±0,02 | 0,188±0,009 |
| Jun | <0,5 | 0,48±0,01 | <1 | 0,52±0,002 | 0,91±0,03 | 0,87±0,00 | <0,03 | 0,021±0,003 | <0,01 | 0,0079±0,0007 | 0,29±0,02 | 0,233±0,007 |
| Jul | 0,52±0,06 | 0,47±0,02 | <1 | 0,527±0,002 | 1,26±0,05 | 1,16±0,05 | <0,03 | 0,028±0,004 | <0,01 | 0,0092±0,0007 | <0,1 | 0,090±0,009 |
| Avgust | 0,65±0,01 | 0,50±0,03 | <1 | 0,539±0,001 | 1,19±0,09 | 1,08±0,05 | <0,03 | 0,026±0,003 | <0,01 | 0,009±0,001 | <0,1 | 0,12±0,01 |
| Septembar | 0,81±0,01 | 0,85±0,04 | <1 | 0,53±0,003 | 0,28±0,04 | 0,23±0,02 | 0,039±0,007 | 0,035±0,003 | 0,012±0,001 | 0,010±0,002 | <0,1 | 0,074±0,007 |
| Oktobar | 1,4±0,2 | 1,15±0,05 | <1 | 0,524±0,005 | <0,2 | 0,22±0,04 | <0,03 | 0,021±0,004 | <0,01 | 0,0064±0,0005 | <0,1 | 0,066±0,008 |
| Novembar | 0,531±0,003 | 0,54±0,02 | <1 | 0,559±0,004 | 1,18±0,07 | 1,05±0,04 | 0,075±0,006 | 0,067±0,003 | <0,01 | 0,0084±0,0007 | <0,1 | 0,054±0,008 |
| Decembar | <0,5 | 0,46±0,02 | <1 | 0,573±0,003 | 0,42±0,03 | 0,32±0,05 | <0,03 | 0,028±0,003 | 0,011±0,001 | 0,010±0,001 | <0,1 | 0,052±0,008 |
| Januar | <0,5 | 0,46±0,02 | 2,1±0,1 | 1,972±0,006 | 1,32±0,02 | 1,27±0,02 | <0,03 | 0,026±0,004 | <0,01 | 0,009±0,001 | 0,37±0,00 | 0,34±0,01 |
| Interval | □0,5-4,8 | 0,46-4,65 | <1-2,1 | 0,512-1,972 | <0,2-1,32 | 0,22-1,27 | □0,03-0,075 | 0,018-0,067 | <0,01-0,012 | 0,006-0,011 | <0,1-0,89 | 0,052-0,801 |
| c _{sr} ±SD | | 0,96±0,03 | | 0,684±0,004 | | 0,65±0,03 | | 0,029±0,003 | | 0,008±0,001 | | 0,178±0,009 |

*c_{sr}±SD (n=3)

Tabela 46. Godišnji prikaz koncentracija* Se, Zn, As, Cd, Pb i Sb u vodi iz arteškog bunara AB2

| Metal | AB2 | | | | | | | | | | | |
|---------------------|----------|-------------|---------|-------------|------------|------------|------------|-------------|----------|-------------|----------|-----------|
| | Se, µg/L | | Zn, g/L | | As, µg/L | | Cd, µg/L | | Pb, µg/L | | Sb, µg/L | |
| | EAAS | ICP-OES | FAAS | ICP-OES | EAAS | ICP-OES | EAAS | ICP-OES | EAAS | ICP-OES | EAAS | ICP-OES |
| Februar | <1 | 0,024±0,001 | <0,01 | 0,022±0,001 | 60±1 | 58±1 | <0,03 | 0,035±0,001 | <0,05 | 0,041±0,002 | <0,5 | 0,12±0,01 |
| Mart | <1 | 0,023±0,001 | <0,01 | 0,019±0,001 | 74,30±0,05 | 71,24±0,06 | <0,03 | 0,045±0,003 | <0,05 | 0,038±0,002 | <0,5 | 0,14±0,01 |
| April | <1 | 0,032±0,001 | <0,01 | 0,020±0,002 | 81,5±0,9 | 78,0±0,8 | 0,57±0,08 | 0,468±0,002 | <0,05 | 0,035±0,001 | <0,5 | 0,14±0,01 |
| Maj | <1 | 0,028±0,002 | <0,01 | 0,025±0,002 | 74,4±0,2 | 71,6±0,2 | <0,03 | 0,051±0,003 | <0,05 | 0,018±0,001 | <0,5 | 0,09±0,01 |
| Jun | <1 | 0,029±0,002 | <0,01 | 0,028±0,001 | 81,00±0,04 | 77,81±0,04 | <0,03 | 0,057±0,003 | <0,05 | 0,049±0,002 | <0,5 | 0,25±0,02 |
| Jul | <1 | 0,033±0,001 | <0,01 | 0,030±0,002 | 62±2 | 59±2 | <0,03 | 0,048±0,002 | <0,05 | 0,052±0,002 | <0,5 | 0,24±0,01 |
| Avgust | <1 | 0,033±0,002 | <0,01 | 0,023±0,001 | 74±1 | 71±1 | <0,03 | 0,049±0,001 | <0,05 | 0,046±0,001 | <0,5 | 0,23±0,01 |
| Septembar | <1 | 0,027±0,002 | <0,01 | 0,022±0,001 | 82±6 | 79±6 | <0,03 | 0,047±0,001 | <0,05 | 0,045±0,001 | <0,5 | 0,24±0,01 |
| Oktobar | <1 | 0,028±0,001 | <0,01 | 0,028±0,001 | 91±1 | 88±1 | <0,03 | 0,025±0,002 | <0,05 | 0,035±0,001 | <0,5 | 0,21±0,01 |
| Novembar | <1 | 0,027±0,001 | <0,01 | 0,026±0,002 | 82±1 | 78±1 | <0,03 | 0,039±0,001 | <0,05 | 0,040±0,001 | <0,5 | 0,17±0,01 |
| Decembar | <1 | 0,023±0,001 | <0,01 | 0,023±0,001 | 80±3 | 77±3 | <0,03 | 0,053±0,001 | <0,05 | 0,036±0,001 | <0,5 | 0,09±0,01 |
| Januar | <1 | 0,024±0,001 | <0,01 | 0,021±0,002 | 63,0±0,4 | 60,4±0,3 | <0,03 | 0,063±0,002 | <0,05 | 0,041±0,002 | <0,5 | 0,21±0,01 |
| Interval | <1 | 0,023-0,033 | <0,01 | 0,019-0,030 | 60-91 | 58-88 | <0,03-0,57 | 0,025-0,468 | <0,05 | 0,018-0,052 | <0,5 | 0,09-0,25 |
| c _{sr} ±SD | | 0,028±0,001 | | 0,023±0,001 | 75±1 | 72±1 | | 0,082±0,002 | | 0,040±0,001 | | 0,18±0,01 |

* c_{sr}±SD (n=3)

Tabela 47. Godišnji prikaz koncentracija* Co, Cr, Cu, Fe, Mn i Ni u vodi iz arteškog bunara AB3

| Metal | AB3 | | | | | | | | | | | |
|---------------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-------------|-----------|-------------|-------------|---------------|---------------|-----------|-------------|
| | Co, µg/L | | Cr, µg/L | | Cu, µg/L | | Fe, g/L | | Mn, g/L | | Ni, µg/L | |
| | EAAS | ICP-OES | EAAS | ICP-OES | EAAS | ICP-OES | FAAS | ICP-OES | FAAS | ICP-OES | EAAS | ICP-OES |
| Februar | <0,5 | 0,489±0,006 | <1 | 0,520±0,002 | <0,2 | 0,32±0,06 | 0,067±0,001 | 0,070±0,001 | 0,0210±0,0004 | 0,023±0,002 | <0,1 | 0,12±0,01 |
| Mart | <0,5 | 0,478±0,007 | 1,73±0,01 | 1,539±0,007 | 0,42±0,02 | 0,73±0,04 | <0,03 | 0,017±0,001 | 0,011±0,001 | 0,0115±0,0008 | 0,72±0,02 | 0,97±0,03 |
| April | <0,5 | 0,469±0,005 | <1 | 0,528±0,001 | 0,58±0,03 | 0,52±0,02 | <0,03 | 0,019±0,002 | 0,011±0,001 | 0,0083±0,0006 | <0,1 | 0,128±0,008 |
| Maj | <0,5 | 0,475±0,006 | <1 | 0,589±0,002 | 0,34±0,02 | 0,54±0,03 | 0,045±0,003 | 0,032±0,000 | 0,014±0,001 | 0,0107±0,0009 | <0,1 | 0,072±0,007 |
| Jun | <0,5 | 0,482±0,009 | <1 | 0,536±0,002 | 3,7±0,2 | 3,35±0,02 | 0,058±0,001 | 0,039±0,003 | 0,0258±0,0004 | 0,020±0,001 | 0,32±0,02 | 0,30±0,01 |
| Jul | <0,5 | 0,49±0,01 | <1 | 0,544±0,001 | 0,848±0,005 | 1,05±0,05 | <0,03 | 0,019±0,002 | <0,01 | 0,0068±0,0005 | <0,1 | 0,147±0,009 |
| Avgust | <0,5 | 0,49±0,01 | <1 | 0,526±0,001 | 0,87±0,02 | 0,99±0,03 | 0,042±0,001 | 0,035±0,004 | 0,0131±0,0007 | 0,010±0,001 | <1 | 0,099±0,007 |
| Septembar | 0,75±0,01 | 0,53±0,01 | <1 | 0,581±0,003 | 0,92±0,06 | 1,11±0,05 | 0,057±0,005 | 0,049±0,001 | 0,0167±0,0003 | 0,0144±0,0007 | 0,40±0,02 | 0,47±0,02 |
| Oktobar | 1,3±0,1 | 1,56±0,06 | <1 | 0,521±0,002 | 1,48±0,05 | 2,03±0,04 | <0,03 | 0,019±0,004 | 0,0124±0,0003 | 0,010±0,001 | <0,1 | 0,206±0,008 |
| Novembar | <0,5 | 0,483±0,008 | <1 | 0,514±0,001 | 0,85±0,02 | 1,12±0,02 | 0,100±0,000 | 0,080±0,003 | 0,0140±0,0004 | 0,015±0,002 | <0,1 | 0,070±0,007 |
| Decembar | 0,65±0,02 | 0,53±0,01 | <1 | 0,519±0,003 | 0,56±0,07 | 0,74±0,02 | 0,033±0,002 | 0,03±0,002 | 0,018±0,001 | 0,0157±0,0008 | <0,1 | 0,12±0,01 |
| Januar | <0,5 | 0,46±0,01 | <1 | 0,517±0,002 | 3,74±0,04 | 3,39±0,05 | 0,033±0,001 | 0,031±0,003 | 0,023±0,001 | 0,021±0,001 | <0,1 | 0,13±0,01 |
| Interval | □0,5-1,3 | 0,47-1,56 | <1-1,73 | 0,514-1,539 | <0,2-3,74 | 0,32-3,39 | □0,03-0,100 | 0,017-0,080 | <0,01-0,026 | 0,007-0,023 | <0,1-0,72 | 0,07-0,97 |
| c _{sr} ±SD | | 0,57±0,01 | | 0,619±0,002 | 1,30 ± 0,05 | 1,91±0,04 | | 0,036±0,002 | 0,016±0,001 | 0,014±0,001 | | 0,24±0,01 |

*c_{sr}±SD (n=3)

Tabela 48. Godišnji prikaz koncentracija* Se, Zn, As, Cd, Pb i Sb u vodi iz arteškog bunara AB3

| Metal | AB3 | | | | | | | | | | | |
|---------------------|----------|-------------|---------------|-------------|------------|------------|-------------|---------------|------------|---------------|----------|-------------|
| | Se, µg/L | | Zn, g/L | | As, µg/L | | Cd, µg/L | | Pb, µg/L | | Sb, µg/L | |
| | EAAS | ICP-OES | FAAS | ICP-OES | EAAS | ICP-OES | EAAS | ICP-OES | EAAS | ICP-OES | EAAS | ICP-OES |
| Februar | <1 | 0,037±0,002 | 0,043±0,0002 | 0,038±0,003 | 29±2 | 27±1 | 0,040±0,003 | 0,0363±0,0008 | <0,05 | 0,0207±0,0008 | <0,5 | 0,246±0,008 |
| Mart | <1 | 0,036±0,002 | 0,040±0,0001 | 0,035±0,001 | 40,78±0,07 | 39,16±0,05 | <0,03 | 0,0292±0,0007 | <0,05 | 0,0267±0,0008 | <0,5 | 0,269±0,007 |
| April | <1 | 0,035±0,001 | 0,039±0,0005 | 0,033±0,001 | 33,9±0,8 | 31,3±0,4 | 0,356±0,002 | 0,338±0,003 | <0,05 | 0,0150±0,0007 | <0,5 | 0,44±0,02 |
| Maj | <1 | 0,044±0,003 | 0,042±0,001 | 0,037±0,001 | 30,7±0,7 | 29,5±0,2 | <0,03 | 0,0285±0,0009 | <0,05 | 0,022±0,001 | <0,5 | 0,40±0,01 |
| Jun | <1 | 0,04±0,003 | 0,051±0,0004 | 0,042±0,002 | 32,1±0,1 | 30,6±0,3 | <0,03 | 0,0267±0,0008 | 0,68±0,01 | 0,037±0,002 | <0,5 | 0,48±0,01 |
| Jul | <1 | 0,053±0,004 | 0,044±0,0002 | 0,039±0,001 | 19,1±0,2 | 18,2±0,1 | <0,03 | 0,028±0,001 | <0,05 | 0,031±0,001 | <0,5 | 0,46±0,02 |
| Avgust | <1 | 0,050±0,003 | 0,039±0,0004 | 0,035±0,001 | 29,1±0,7 | 27,6±0,4 | <0,03 | 0,027±0,002 | <0,05 | 0,0252±0,0008 | <0,5 | 0,40±0,01 |
| Septembar | <1 | 0,049±0,001 | 0,019±0,0001 | 0,017±0,001 | 35,9±0,2 | 34,4±0,2 | <0,03 | 0,024±0,001 | <0,05 | 0,0190±0,0008 | <0,5 | 0,35±0,01 |
| Oktobar | <1 | 0,035±0,001 | 0,0170±0,0004 | 0,016±0,001 | 37,0±0,9 | 35,5±0,6 | <0,03 | 0,0269±0,0007 | <0,05 | 0,022±0,001 | <0,5 | 0,44±0,02 |
| Novembar | <1 | 0,043±0,002 | 0,0172±0,0001 | 0,016±0,001 | 31,66±0,08 | 30,1±0,1 | <0,03 | 0,0244±0,0006 | <0,05 | 0,015±0,001 | <0,5 | 0,35±0,01 |
| Decembar | <1 | 0,035±0,001 | 0,018±0,000 | 0,020±0,001 | 33,4±0,3 | 32,0±0,1 | <0,03 | 0,024±0,001 | <0,05 | 0,028±0,002 | <0,5 | 0,230±0,008 |
| Januar | <1 | 0,039±0,002 | 0,042±0,001 | 0,038±0,002 | 33±1 | 31±1 | 0,045±0,001 | 0,0271±0,0008 | <0,05 | 0,034±0,002 | <0,5 | 0,34±0,01 |
| Interval | <1 | 0,035-0,053 | 0,0170-0,0510 | 0,016-0,042 | 19,0-40,8 | 18,2-39,2 | <0,03-0,356 | 0,024-0,338 | <0,05-0,68 | 0,015-0,037 | <0,5 | 0,23-0,48 |
| c _{sr} ±SD | | 0,041±0,002 | 0,0340±0,0004 | 0,031±0,001 | 32,6±0,6 | 30,6±0,4 | | 0,053±0,001 | | 0,025±0,001 | | 0,37±0,01 |

*c_{sr}±SD (n=3)

Tabela 49. Godišnji prikaz koncentracija* Co, Cr, Cu, Fe, Mn i Ni u vodi iz arteškog bunara AB4

| Metal | AB4 | | | | | | | | | | | |
|---------------------|-----------|-------------|----------|-------------|-------------|-----------|---------------|-------------|---------------|---------------|-----------|-----------|
| | Co, µg/L | | Cr, µg/L | | Cu, µg/L | | Fe, g/L | | Mn, g/L | | Ni, µg/L | |
| | EAAS | ICP-OES | EAAS | ICP-OES | EAAS | ICP-OES | FAAS | ICP-OES | FAAS | ICP-OES | EAAS | ICP-OES |
| Februar | <0,5 | 0,487±0,004 | <1 | 0,523±0,002 | 0,87±0,02 | 0,84±0,02 | 0,052±0,001 | 0,041±0,002 | 0,020±0,000 | 0,0187±0,0006 | <0,1 | 0,08±0,01 |
| Mart | <0,5 | 0,47±0,01 | <1 | 0,544±0,004 | 0,37±0,03 | 0,30±0,02 | 0,136±0,002 | 0,125±0,002 | 0,0231±0,0004 | 0,0204±0,0005 | 3,02±0,1 | 2,66±0,05 |
| April | <0,5 | 0,48±0,01 | <1 | 0,521±0,001 | 0,60±0,04 | 0,47±0,00 | <0,03 | 0,021±0,003 | 0,0229±0,0004 | 0,0235±0,0009 | 0,12±0,01 | 0,16±0,01 |
| Maj | <0,5 | 0,477±0,007 | <1 | 0,529±0,002 | 0,31±0,02 | 0,29±0,06 | 0,046±0,005 | 0,038±0,001 | 0,021±0,003 | 0,0203±0,0004 | <0,1 | 0,11±0,02 |
| Jun | <0,5 | 0,472±0,006 | <1 | 0,527±0,004 | 4,52±0,07 | 4,07±0,04 | 0,031±0,002 | 0,026±0,003 | 0,0254±0,0004 | 0,0226±0,0005 | <0,1 | 0,15±0,02 |
| Jul | <0,5 | 0,47±0,01 | <1 | 0,533±0,003 | 1,35±0,07 | 1,19±0,02 | <0,03 | 0,025±0,002 | 0,0211±0,0005 | 0,0187±0,0004 | 0,48±0,04 | 0,42±0,03 |
| Avgust | <0,5 | 0,492±0,009 | <1 | 0,539±0,002 | 1,33±0,01 | 1,27±0,02 | <0,03 | 0,027±0,004 | 0,0260±0,0006 | 0,0244±0,0007 | <0,1 | 0,08±0,02 |
| Septembar | <0,5 | 0,469±0,007 | <1 | 0,533±0,001 | 1,1±0,1 | 1,12±0,07 | 0,036±0,002 | 0,030±0,001 | 0,021±0,000 | 0,0190±0,0006 | <0,1 | 0,09±0,01 |
| Oktobar | 0,67±0,01 | 0,521±0,008 | <1 | 0,518±0,002 | 0,33±0,06 | 0,29±0,05 | 0,041±0,004 | 0,038±0,003 | 0,0172±0,0001 | 0,0155±0,0005 | <0,1 | 0,14±0,03 |
| Novembar | <0,5 | 0,490±0,006 | <1 | 0,509±0,003 | 1,11±0,06 | 1,11±0,04 | 0,100±0,002 | 0,093±0,004 | 0,023±0,000 | 0,0217±0,0005 | <0,1 | 0,14±0,04 |
| Decembar | 0,85±0,06 | 0,892±0,006 | <1 | 0,512±0,004 | 0,563±0,005 | 0,45±0,06 | 0,042±0,001 | 0,039±0,004 | 0,028±0,001 | 0,0246±0,0006 | 3,6±0,2 | 3,38±0,05 |
| Januar | <0,5 | 0,467±0,007 | <1 | 0,532±0,003 | 1,33±0,04 | 1,33±0,03 | 0,063±0,0004 | 0,055±0,005 | 0,024±0,001 | 0,0192±0,0005 | 2,61±0,02 | 2,39±0,04 |
| Interval | □0,5-0,85 | 0,459-0,892 | <1 | 0,509-0,544 | 0,31-4,52 | 0,29-4,07 | □0,03-0,136 | 0,021-0,125 | 0,017-0,028 | 0,0155-0,0246 | <0,1-3,6 | 0,08-3,38 |
| c _{sr} ±SD | | 0,509±0,008 | | 0,527±0,003 | 1,15±0,05 | 1,05±0,04 | 0,053 ± 0,002 | 0,047±0,003 | 0,023±0,001 | 0,0207±0,0006 | | 0,81±0,03 |

* c_{sr}±SD (n=3)

Tabela 50. Godišnji prikaz koncentracija* Se, Zn, As, Cd, Pb i Sb u vodi iz arteškog bunara AB4

| Metal | AB4 | | | | | | | | | | | |
|---------------------|----------|-------------|---------------|-------------|-----------|-----------|-------------|---------------|-------------|---------------|----------|------------|
| | Se, µg/L | | Zn, g/L | | As, µg/L | | Cd, µg/L | | Pb, µg/L | | Sb, µg/L | |
| | EAAS | ICP-OES | FAAS | ICP-OES | EAAS | ICP-OES | EAAS | ICP-OES | EAAS | ICP-OES | EAAS | ICP-OES |
| Februar | <1 | 0,017±0,001 | 0,0110±0,0004 | 0,009±0,001 | 130,2±0,9 | 124,9±0,8 | <0,03 | 0,024±0,001 | <0,05 | 0,033±0,001 | <0,5 | 0,25±0,02 |
| Mart | <1 | 0,016±0,001 | 0,0120±0,0001 | 0,014±0,001 | 130±2 | 127±2 | <0,03 | 0,023±0,002 | <0,05 | 0,033±0,001 | <0,5 | 0,31±0,03 |
| April | <1 | 0,022±0,002 | 0,0113±0,000 | 0,015±0,002 | 167±3 | 162±3 | 0,264±0,002 | 0,280±0,003 | <0,05 | 0,034±0,002 | <0,5 | 0,35±0,03 |
| Maj | <1 | 0,023±0,001 | 0,011±0,001 | 0,008±0,001 | 132±3 | 128±3 | <0,03 | 0,025±0,002 | <0,05 | 0,047±0,002 | <0,5 | 0,32±0,02 |
| Jun | <1 | 0,025±0,001 | 0,0120±0,0004 | 0,009±0,001 | 143,8±0,4 | 139,3±0,4 | <0,03 | 0,023±0,002 | 0,135±0,007 | 0,128±0,002 | <0,5 | 0,36±0,03 |
| Jul | <1 | 0,033±0,002 | 0,0110±0,0007 | 0,013±0,001 | 125±1 | 121±1 | <0,03 | 0,0230±0,0008 | <0,05 | 0,044±0,001 | <0,5 | 0,30±0,02 |
| Avgust | <1 | 0,030±0,003 | <0,01 | 0,010±0,001 | 133±1 | 129±1 | <0,03 | 0,025±0,001 | <0,05 | 0,054±0,002 | <0,5 | 0,35±0,02 |
| Septembar | <1 | 0,021±0,001 | <0,01 | 0,011±0,001 | 156±2 | 151±2 | <0,03 | 0,023±0,001 | <0,05 | 0,049±0,001 | <0,5 | 0,33±0,02 |
| Oktobar | <1 | 0,022±0,001 | <0,01 | 0,008±0,001 | 157±1 | 152,5±0,9 | <0,03 | 0,023±0,001 | <0,05 | 0,0323±0,0008 | <0,5 | 0,25±0,01 |
| Novembar | <1 | 0,019±0,001 | <0,01 | 0,012±0,001 | 172±5 | 166±4 | <0,03 | 0,023±0,002 | <0,05 | 0,045±0,001 | <0,5 | 0,29±0,02 |
| Decembar | <1 | 0,024±0,002 | 0,0238±0,0001 | 0,022±0,001 | 133±8 | 128±8 | <0,03 | 0,023±0,001 | <0,05 | 0,052±0,002 | <0,5 | 0,21±0,03 |
| Januar | <1 | 0,020±0,001 | 0,0206±0,0007 | 0,02±0,002 | 164±7 | 159±7 | <0,03 | 0,023±0,002 | <0,05 | 0,042±0,001 | <0,5 | 0,35±0,03 |
| Interval | <1 | 0,016-0,033 | <0,01-0,0238 | 0,008-0,022 | 125-172 | 121-166 | <0,03-0,264 | 0,023-0,280 | <0,05-0,135 | 0,032-0,128 | <0,5 | 0,21-0,36 |
| c _{sr} ±SD | | 0,022±0,001 | | 0,013±0,001 | 145±4 | 141±3 | | 0,043±0,002 | | 0,049±0,001 | | 0,031±0,02 |

*c_{sr}±SD (n=3)

Tabela 51. Godišnji prikaz koncentracija* Co, Cr, Cu, Fe, Mn i Ni u vodi iz arteškog bunara AB5

| Metal | AB5 | | | | | | | | | | | |
|---------------------|-----------|-------------|----------|-------------|-----------|-----------|-------------|-------------|---------------|---------------|-----------|-------------|
| | Co, µg/L | | Cr, µg/L | | Cu, µg/L | | Fe, g/L | | Mn, g/L | | Ni, µg/L | |
| | EAAS | ICP-OES | EAAS | ICP-OES | EAAS | ICP-OES | FAAS | ICP-OES | FAAS | ICP-OES | EAAS | ICP-OES |
| Februar | <0,5 | 0,459±0,004 | <1 | 0,519±0,002 | 0,31±0,01 | 0,29±0,01 | <0,03 | 0,025±0,002 | <0,01 | 0,0067±0,0001 | <0,1 | 0,091±0,007 |
| Mart | <0,5 | 0,464±0,007 | <1 | 0,529±0,002 | 0,9±0,1 | 0,84±0,05 | <0,03 | 0,019±0,004 | <0,01 | 0,0070±0,0001 | <0,1 | 0,099±0,009 |
| April | <0,5 | 0,460±0,003 | <1 | 0,542±0,001 | 0,85±0,01 | 0,70±0,02 | <0,03 | 0,012±0,003 | <0,01 | 0,0073±0,0001 | <0,1 | 0,08±0,01 |
| Maj | <0,5 | 0,473±0,002 | <1 | 0,536±0,005 | <0,2 | 0,29±0,03 | <0,03 | 0,017±0,004 | 0,011±0,000 | 0,0092±0,0001 | <0,1 | 0,08±0,03 |
| Jun | <0,5 | 0,471±0,005 | <1 | 0,530±0,003 | 2,51±0,03 | 2,35±0,05 | 0,042±0,006 | 0,037±0,003 | 0,0133±0,0004 | 0,0110±0,0001 | <0,1 | 0,112±0,008 |
| Jul | <0,5 | 0,462±0,004 | <1 | 0,537±0,004 | 1,4±0,2 | 1,29±0,07 | <0,03 | 0,025±0,004 | 0,013±0,000 | 0,0118±0,0002 | 2,1±0,1 | 1,87±0,04 |
| Avgust | <0,5 | 0,480±0,002 | <1 | 0,542±0,000 | 0,89±0,01 | 0,70±0,04 | <0,03 | 0,024±0,003 | 0,0132±0,0004 | 0,0114±0,0003 | <0,1 | 0,08±0,01 |
| Septembar | <0,5 | 0,473±0,001 | <1 | 0,519±0,002 | 0,51±0,03 | 0,39±0,06 | 0,036±0,001 | 0,030±0,002 | <0,01 | 0,0075±0,0001 | <0,1 | 0,11±0,01 |
| Oktobar | 1,20±0,05 | 1,122±0,005 | <1 | 0,527±0,002 | 2,00±0,04 | 1,89±0,04 | 0,066±0,001 | 0,057±0,005 | 0,011±0,000 | 0,0118±0,0001 | 0,28±0,01 | 0,220±0,008 |
| Novembar | <0,5 | 0,469±0,004 | <1 | 0,524±0,004 | 1,25±0,08 | 1,15±0,02 | 0,040±0,005 | 0,032±0,004 | 0,013±0,000 | 0,0127±0,0002 | <0,1 | 0,105±0,007 |
| Decembar | <0,5 | 0,472±0,004 | <1 | 0,512±0,003 | 0,56±0,06 | 0,44±0,02 | <0,03 | 0,023±0,003 | 0,015±0,0004 | 0,0141±0,0001 | <0,1 | 0,096±0,008 |
| Januar | <0,5 | 0,47±0,003 | <1 | 0,516±0,004 | 2,81±0,05 | 2,47±0,03 | <0,03 | 0,015±0,003 | <0,01 | 0,0068±0,0001 | <0,1 | 0,077±0,007 |
| Interval | □0,5-1,20 | 0,459-1,122 | <1 | 0,512-0,542 | <0,2-2,81 | 0,29-2,47 | □0,03-0,066 | 0,012-0,057 | <0,01-0,015 | 0,0067-0,0141 | <0,1-2,1 | 0,09-1,87 |
| c _{sr} ±SD | | 0,507±0,004 | | 0,528±0,003 | 1,28±0,05 | 1,05±0,04 | 0,035±0,003 | 0,026±0,003 | | 0,0098±0,0001 | | 0,25±0,01 |

* c_{sr}±SD (n=3)

Tabela 52. Godišnji prikaz koncentracija* Se, Zn, As, Cd, Pb i Sb u vodi iz arteškog bunara AB5

| Metal | AB5 | | | | | | | | | | | |
|---------------------|----------|-------------|---------------|-------------|------------|------------|------------|-------------|----------|---------------|----------|-----------|
| | Se, µg/L | | Zn, g/L | | As, µg/L | | Cd, µg/L | | Pb, µg/L | | Sb, µg/L | |
| | EAAS | ICP-OES | FAAS | ICP-OES | EAAS | ICP-OES | EAAS | ICP-OES | EAAS | ICP-OES | EAAS | ICP-OES |
| Februar | <1 | 0,020±0,002 | 0,0230±0,0004 | 0,024±0,002 | 43±3 | 41±3 | 0,05±0,01 | 0,070±0,001 | <0,05 | 0,021±0,001 | <0,5 | 0,36±0,04 |
| Mart | <1 | 0,025±0,001 | 0,0233±0,0004 | 0,020±0,001 | 11,9±0,8 | 11,3±0,8 | <0,03 | 0,102±0,003 | <0,05 | 0,0108±0,0008 | <0,5 | 0,35±0,03 |
| April | <1 | 0,023±0,001 | 0,0228±0,0001 | 0,021±0,001 | 35,15±0,02 | 33,68±0,03 | 0,21±0,02 | 0,198±0,003 | <0,05 | 0,0106±0,0007 | <0,5 | 0,40±0,03 |
| Maj | <1 | 0,026±0,001 | 0,0229±0,0006 | 0,022±0,001 | 46,6±0,5 | 44,6±0,5 | <0,03 | 0,085±0,002 | <0,05 | 0,021±0,001 | <0,5 | 0,42±0,03 |
| Jun | <1 | 0,041±0,003 | 0,022±0,000 | 0,020±0,001 | 49,2±0,6 | 46,9±0,6 | <0,03 | 0,100±0,001 | <0,05 | 0,043±0,002 | <0,5 | 0,39±0,04 |
| Jul | <1 | 0,039±0,002 | 0,0244±0,0004 | 0,025±0,002 | 38±2 | 37±2 | <0,03 | 0,102±0,001 | <0,05 | 0,032±0,002 | <0,5 | 0,43±0,05 |
| Avgust | <1 | 0,035±0,002 | 0,0256±0,0008 | 0,024±0,002 | 49±2 | 46±2 | <0,03 | 0,125±0,001 | <0,05 | 0,0158±0,0008 | <0,5 | 0,40±0,04 |
| Septembar | <1 | 0,037±0,001 | 0,0252±0,0001 | 0,021±0,001 | 46,2±0,7 | 44,2±0,6 | <0,03 | 0,108±0,002 | <0,05 | 0,020±0,001 | <0,5 | 0,39±0,03 |
| Oktobar | <1 | 0,039±0,001 | 0,0240±0,0003 | 0,022±0,001 | 57±4 | 54±4 | <0,03 | 0,109±0,001 | <0,05 | 0,026±0,001 | <0,5 | 0,42±0,05 |
| Novembar | <1 | 0,025±0,001 | 0,0222±0,0002 | 0,020±0,002 | 51,0±0,6 | 48,7±0,5 | <0,03 | 0,114±0,003 | <0,05 | 0,025±0,001 | <0,5 | 0,36±0,04 |
| Decembar | <1 | 0,023±0,001 | 0,0292±0,0002 | 0,027±0,002 | 49,7±0,6 | 47,6±0,6 | <0,03 | 0,022±0,001 | <0,05 | 0,0214±0,0008 | <0,5 | 0,40±0,05 |
| Januar | <1 | 0,019±0,001 | 0,0310±0,0005 | 0,029±0,002 | 63±5 | 60±5 | <0,03 | 0,056±0,002 | <0,05 | 0,019±0,0007 | <0,5 | 0,39±0,03 |
| Interval | <1 | 0,019-0,041 | 0,0220-0,0310 | 0,020-0,029 | 12-63 | 11-60 | <0,03-0,21 | 0,022-0,198 | <0,05 | 0,011-0,043 | <0,5 | 0,35-0,43 |
| c _{sr} ±SD | | 0,029±0,001 | 0,025±0,0003 | 0,023±0,001 | 45±2 | 43±2 | | 0,114±0,002 | | 0,022±0,001 | | 0,39±0,04 |

*c_{sr}±SD (n=3)

Tabela 53. Godišnji prikaz koncentracija* Co, Cr, Cu, Fe, Mn i Ni u vodi iz arteškog bunara AB6

| Metal | AB6 | | | | | | | | | | | |
|---------------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-------------|-----------|-------------|-------------|--------------|-------------|-----------|-------------|
| | Co, µg/L | | Cr, µg/L | | Cu, µg/L | | Fe, g/L | | Mn, g/L | | Ni, µg/L | |
| | EAAS | ICP-OES | EAAS | ICP-OES | EAAS | ICP-OES | FAAS | ICP-OES | FAAS | ICP-OES | EAAS | ICP-OES |
| Februar | <0,5 | 0,470±0,005 | <1 | 0,526±0,003 | 0,840±0,005 | 0,87±0,01 | <0,03 | 0,019±0,003 | 0,078±0,002 | 0,075±0,002 | 0,15±0,02 | 0,15±0,01 |
| Mart | <0,5 | 0,464±0,005 | 7,56±0,06 | 6,83±0,01 | 2,77±0,06 | 2,61±0,05 | <0,03 | 0,014±0,004 | 0,078±0,001 | 0,074±0,001 | <0,1 | 0,056±0,009 |
| April | <0,5 | 0,463±0,006 | <1 | 0,531±0,004 | 1,61±0,00 | 1,58±0,02 | <0,03 | 0,025±0,001 | 0,078±0,001 | 0,076±0,002 | <0,1 | 0,06±0,01 |
| Maj | <0,5 | 0,47±0,01 | <1 | 0,536±0,004 | <0,2 | 0,18±0,02 | <0,03 | 0,027±0,002 | 0,075±0,006 | 0,070±0,001 | <0,1 | 0,092±0,008 |
| Jun | <0,5 | 0,489±0,007 | <1 | 0,534±0,002 | 1,50±0,04 | 1,42±0,04 | <0,03 | 0,023±0,000 | 0,084±0,000 | 0,075±0,001 | <0,1 | 0,088±0,008 |
| Jul | <0,5 | 0,462±0,006 | <1 | 0,538±0,001 | 2,75±0,04 | 2,67±0,05 | <0,03 | 0,024±0,002 | 0,116±0,002 | 0,102±0,003 | 1,8±0,1 | 1,70±0,07 |
| Avgust | <0,5 | 0,52±0,01 | <1 | 0,551±0,002 | 2,90±0,01 | 2,76±0,05 | <0,03 | 0,019±0,002 | 0,085±0,001 | 0,086±0,002 | 1,28±0,04 | 1,13±0,05 |
| Septembar | 0,72±0,02 | 0,633±0,009 | <1 | 0,529±0,003 | 3,88±0,08 | 3,17±0,04 | <0,03 | 0,021±0,003 | 0,078±0,001 | 0,067±0,001 | 0,97±0,05 | 0,94±0,03 |
| Oktobar | 0,92±0,07 | 0,83±0,03 | <1 | 0,531±0,004 | 3,84±0,04 | 3,09±0,05 | 0,033±0,003 | 0,025±0,004 | 0,069±0,0004 | 0,064±0,001 | 0,7±0,1 | 0,72±0,04 |
| Novembar | <0,5 | 0,479±0,002 | <1 | 0,530±0,002 | 1,751±0,007 | 1,39±0,02 | 0,047±0,001 | 0,029±0,002 | 0,070±0,001 | 0,057±0,001 | 0,80±0,03 | 0,69±0,05 |
| Decembar | <0,5 | 0,470±0,003 | <1 | 0,522±0,002 | 1,567±0,005 | 1,63±0,02 | <0,03 | 0,029±0,003 | 0,070±0,002 | 0,059±0,001 | <0,1 | 0,09±0,01 |
| Januar | <0,5 | 0,464±0,004 | <1 | 0,526±0,001 | 3,34±0,06 | 3,28±0,03 | <0,03 | 0,029±0,002 | 0,080±0,001 | 0,075±0,001 | 0,41±0,02 | 0,35±0,01 |
| Interval | □0,5-0,92 | 0,462-0,831 | <1-7,56 | 0,522-6,831 | <0,2-3,88 | 0,18-3,17 | □0,03-0,047 | 0,014-0,029 | 0,069-0,116 | 0,064-0,102 | <0,1-1,8 | 0,06-1,70 |
| c _{sr} ±SD | | 0,520±0,008 | | 1,056±0,003 | 2,5±0,03 | 2,06±0,03 | | 0,024±0,002 | 0,081±0,001 | 0,073±0,001 | | 0,49±0,03 |

*c_{sr}±SD (n=3)

Tabela 54. Godišnji prikaz koncentracija* Se, Zn, As, Cd, Pb i Sb u vodi iz arteškog bunara AB6

| Metal | AB6 | | | | | | | | | | | |
|---------------------|----------|-------------|--------------|-------------|-----------|-----------|------------|-------------|------------|-------------|----------|-------------|
| | Se, µg/L | | Zn, g/L | | As, µg/L | | Cd, µg/L | | Pb, µg/L | | Sb, µg/L | |
| | EAAS | ICP-OES | FAAS | ICP-OES | EAAS | ICP-OES | EAAS | ICP-OES | EAAS | ICP-OES | EAAS | ICP-OES |
| Februar | <1 | 0,030±0,001 | <0,01 | 0,007±0,001 | 6,4±0,3 | 6,0±0,3 | <0,03 | 0,028±0,002 | <0,05 | 0,042±0,003 | <0,5 | 0,352±0,007 |
| Mart | <1 | 0,029±0,001 | <0,01 | 0,007±0,001 | 6,46±0,06 | 6,11±0,07 | <0,03 | 0,029±0,003 | <0,05 | 0,047±0,006 | <0,5 | 0,47±0,01 |
| April | <1 | 0,030±0,002 | <0,01 | 0,006±0,001 | 5,00±0,09 | 4,8±0,1 | 0,17±0,02 | 0,159±0,004 | <0,05 | 0,039±0,004 | <0,5 | 0,44±0,01 |
| Maj | <1 | 0,032±0,002 | <0,01 | 0,008±0,000 | 6,2±0,7 | 5,9±0,6 | <0,03 | 0,028±0,001 | <0,05 | 0,041±0,003 | <0,5 | 0,385±0,008 |
| Jun | <1 | 0,045±0,004 | <0,01 | 0,011±0,002 | 6,7±0,2 | 6,3±0,2 | <0,03 | 0,022±0,001 | 0,24±0,01 | 0,26±0,01 | <0,5 | 0,52±0,02 |
| Jul | <1 | 0,040±0,003 | 0,013±0,0002 | 0,012±0,001 | 4,23±0,02 | 3,98±0,02 | <0,03 | 0,031±0,002 | <0,05 | 0,047±0,004 | <0,5 | 0,49±0,01 |
| Avgust | <1 | 0,043±0,003 | <0,01 | 0,011±0,001 | 6,8±0,8 | 6,4±0,5 | <0,03 | 0,027±0,002 | <0,05 | 0,050±0,004 | <0,5 | 0,52±0,02 |
| Septembar | <1 | 0,039±0,002 | <0,01 | 0,009±0,001 | 7,6±0,5 | 7,2±0,6 | <0,03 | 0,026±0,001 | 0,22±0,04 | 0,210±0,005 | <0,5 | 0,477±0,008 |
| Oktobar | <1 | 0,036±0,003 | <0,01 | 0,008±0,001 | 8,6±0,1 | 8,2±0,1 | <0,03 | 0,026±0,001 | 0,14±0,02 | 0,12±0,01 | <0,5 | 0,372±0,008 |
| Novembar | <1 | 0,036±0,001 | <0,01 | 0,006±0,001 | 6,3±0,2 | 6,0±0,2 | <0,03 | 0,022±0,001 | <0,05 | 0,041±0,006 | <0,5 | 0,312±0,008 |
| Decembar | <1 | 0,030±0,003 | <0,01 | 0,007±0,001 | 7,07±0,07 | 6,68±0,07 | <0,03 | 0,031±0,002 | <0,05 | 0,041±0,005 | <0,5 | 0,38±0,01 |
| Januar | <1 | 0,028±0,002 | <0,01 | 0,007±0,001 | 6,1±0,5 | 5,8±0,4 | <0,03 | 0,024±0,002 | <0,05 | 0,043±0,003 | <0,5 | 0,37±0,01 |
| Interval | <1 | 0,028-0,045 | <0,01-0,013 | 0,006-0,012 | 4,2-8,6 | 4,0-8,2 | <0,03-0,17 | 0,022-0,159 | <0,05-0,24 | 0,039-0,259 | <0,5 | 0,31-0,52 |
| c _{sr} ±SD | | 0,033±0,002 | | 0,008±0,001 | 6,4±0,3 | 6,1±0,3 | | 0,037±0,002 | | 0,081±0,006 | | 0,04±0,01 |

*c_{sr}±SD (n=3)

Tabela 55. Godišnji prikaz koncentracija* Co, Cr, Cu, Fe, Mn i Ni u vodi iz arteškog bunara AB7

| Metal | AB7 | | | | | | | | | | | |
|---------------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-------------|-----------|-------------|-------------|---------------|---------------|-----------|-------------|
| | Co, µg/L | | Cr, µg/L | | Cu, µg/L | | Fe, g/L | | Mn, g/L | | Ni, µg/L | |
| | EAAS | ICP-OES | EAAS | ICP-OES | EAAS | ICP-OES | FAAS | ICP-OES | FAAS | ICP-OES | EAAS | ICP-OES |
| Februar | 0,57±0,02 | 0,581±0,004 | <1 | 0,522±0,002 | 0,54±0,01 | 0,4±0,1 | 0,031±0,003 | 0,032±0,003 | 0,029±0,001 | 0,0279±0,0007 | <0,1 | 0,11±0,02 |
| Mart | 1,8±0,1 | 1,62±0,02 | 1,65±0,09 | 1,48±0,01 | 0,67±0,01 | 0,50±0,05 | <0,03 | 0,025±0,004 | 0,022±0,001 | 0,0228±0,0006 | <0,1 | 0,092±0,008 |
| April | <0,5 | 0,600±0,004 | <1 | 0,526±0,003 | <0,2 | 0,18±0,06 | 0,031±0,002 | 0,030±0,002 | 0,022±0,001 | 0,023±0,001 | <0,1 | 0,090±0,008 |
| Maj | <0,5 | 0,493±0,002 | <1 | 0,520±0,002 | <0,2 | 0,18±0,09 | <0,03 | 0,022±0,004 | 0,026±0,001 | 0,0237±0,0008 | <0,1 | 0,10±0,01 |
| Jun | <0,5 | 0,511±0,005 | <1 | 0,526±0,004 | 5,194±0,008 | 2,69±0,07 | <0,03 | 0,027±0,002 | 0,033±0,000 | 0,0290±0,0005 | 0,64±0,08 | 0,55±0,03 |
| Jul | <0,5 | 0,479±0,004 | <1 | 0,529±0,004 | 3,5±0,7 | 2,52±0,04 | <0,03 | 0,024±0,001 | 0,045±0,0001 | 0,038±0,002 | <0,1 | 0,12±0,02 |
| Avgust | <0,5 | 0,523±0,003 | <1 | 0,538±0,002 | 2,78±0,04 | 2,37±0,08 | <0,03 | 0,024±0,004 | 0,0411±0,0006 | 0,036±0,001 | <0,1 | 0,11±0,02 |
| Septembar | 2,3±0,2 | 2,17±0,04 | <1 | 0,534±0,005 | 0,246±0,003 | 0,21±0,09 | 0,037±0,000 | 0,035±0,002 | 0,0335±0,0003 | 0,032±0,001 | <0,1 | 0,10±0,01 |
| Oktobar | 0,73±0,01 | 0,646±0,004 | <1 | 0,520±0,002 | 0,980±0,000 | 0,69±0,06 | <0,03 | 0,022±0,002 | 0,0275±0,0003 | 0,025±0,000 | 0,76±0,02 | 0,68±0,01 |
| Novembar | <0,5 | 0,492±0,003 | <1 | 0,514±0,002 | 3,38±0,06 | 2,57±0,07 | 0,048±0,006 | 0,042±0,004 | 0,0256±0,0004 | 0,023±0,001 | 0,54±0,05 | 0,43±0,03 |
| Decembar | <0,5 | 0,460±0,002 | <1 | 0,517±0,003 | 0,622±0,005 | 0,47±0,05 | 0,042±0,002 | 0,037±0,002 | 0,024±0,001 | 0,024±0,001 | <0,1 | 0,09±0,01 |
| Januar | <0,5 | 0,459±0,002 | 2,07±0,09 | 1,97±0,01 | 2,8±0,1 | 2,37±0,04 | <0,03 | 0,025±0,005 | 0,032±0,001 | 0,029±0,002 | <0,1 | 0,086±0,008 |
| Interval | □0,5-2,3 | 0,459-2,171 | <1-2,07 | 0,514-1,966 | <0,2-5,19 | 0,18-2,69 | □0,03-0,048 | 0,022-0,042 | 0,022-0,045 | 0,023-0,038 | <0,1-0,76 | 0,09-0,68 |
| c _{sr} ±SD | | 0,747±0,008 | | 0,724±0,004 | 2,07±0,09 | 1,25±0,07 | 0,033±0,003 | 0,028±0,003 | 0,03±0,001 | 0,027±0,001 | | 0,21±0,02 |

*c_{sr}±SD (n=3)

Tabela 56. Godišnji prikaz koncentracija* Se, Zn, As, Cd, Pb i Sb u vodi iz arteškog bunara AB7

| Metal | AB7 | | | | | | | | | | | |
|---------------------|----------|-------------|--------------|-------------|-----------|-----------|-------------|-------------|------------|-------------|----------|-------------|
| | Se, µg/L | | Zn, g/L | | As, µg/L | | Cd, µg/L | | Pb, µg/L | | Sb, µg/L | |
| | EAAS | ICP-OES | FAAS | ICP-OES | EAAS | ICP-OES | EAAS | ICP-OES | EAAS | ICP-OES | EAAS | ICP-OES |
| Februar | <1 | 0,030±0,001 | <0,01 | 0,009±0,001 | 1,1±0,3 | 1,1±0,3 | <0,03 | 0,020±0,002 | <0,05 | 0,036±0,004 | <0,5 | 0,304±0,009 |
| Mart | <1 | 0,032±0,002 | <0,01 | 0,009±0,001 | 0,6±0,3 | 0,5±0,2 | <0,03 | 0,025±0,002 | <0,05 | 0,031±0,003 | <0,5 | 0,272±0,007 |
| April | <1 | 0,030±0,001 | <0,01 | 0,008±0,001 | 1,5±0,6 | 1,4±0,5 | 0,030±0,007 | 0,025±0,002 | <0,05 | 0,029±0,002 | <0,5 | 0,28±0,01 |
| Maj | <1 | 0,033±0,001 | <0,01 | 0,008±0,001 | 1,1±0,3 | 1,0±0,3 | <0,03 | 0,028±0,003 | <0,05 | 0,036±0,002 | <0,5 | 0,275±0,009 |
| Jun | <1 | 0,034±0,002 | <0,01 | 0,009±0,001 | 1,76±0,01 | 1,66±0,01 | <0,03 | 0,028±0,003 | 0,23±0,05 | 0,216±0,001 | <0,5 | 0,39±0,01 |
| Jul | <1 | 0,041±0,002 | <0,01 | 0,011±0,001 | 1,2±0,2 | 1,1±0,2 | <0,03 | 0,028±0,005 | <0,05 | 0,041±0,004 | <0,5 | 0,42±0,02 |
| Avgust | <1 | 0,033±0,001 | <0,01 | 0,009±0,001 | 1,1±0,2 | 1,0±0,2 | <0,03 | 0,027±0,003 | <0,05 | 0,054±0,008 | <0,5 | 0,357±0,008 |
| Septembar | <1 | 0,030±0,001 | <0,01 | 0,009±0,001 | 2,0±0,4 | 2,0±0,4 | <0,03 | 0,028±0,003 | <0,05 | 0,063±0,007 | <0,5 | 0,40±0,01 |
| Oktobar | <1 | 0,030±0,001 | <0,01 | 0,010±0,001 | 1,9±0,4 | 1,8±0,4 | <0,03 | 0,019±0,002 | <0,05 | 0,053±0,004 | <0,5 | 0,268±0,008 |
| Novembar | <1 | 0,029±0,002 | 0,014±0,0003 | 0,013±0,001 | 1,5±0,2 | 1,5±0,2 | <0,03 | 0,021±0,002 | <0,05 | 0,029±0,003 | <0,5 | 0,26±0,01 |
| Decembar | <1 | 0,030±0,002 | <0,01 | 0,009±0,001 | 2,57±0,05 | 2,42±0,05 | <0,03 | 0,026±0,002 | <0,05 | 0,023±0,003 | <0,5 | 0,273±0,009 |
| Januar | <1 | 0,028±0,001 | <0,01 | 0,009±0,001 | 1,8±0,5 | 1,7±0,5 | <0,03 | 0,019±0,001 | <0,05 | 0,028±0,002 | <0,5 | 0,255±0,008 |
| Interval | <1 | 0,028-0,041 | <0,01-0,014 | 0,008-0,013 | 0,6-2,6 | 0,5-2,4 | <0,03-0,030 | 0,019-0,028 | <0,05-0,23 | 0,023-0,216 | <0,5 | 0,26-0,42 |
| c _{sr} ±SD | | 0,031±0,001 | | 0,009±0,001 | 1,5±0,3 | 1,4±0,3 | | 0,025±0,003 | | 0,053±0,004 | | 0,31±0,01 |

*c_{sr}±SD (n=3)

Tabela 57. Godišnji prikaz koncentracija* Co, Cr, Cu, Fe, Mn i Ni u vodi iz arteškog bunara AB8

| Metal | AB8 | | | | | | | | | | | |
|---------------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-------------|-----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-----------|-------------|
| | Co, µg/L | | Cr, µg/L | | Cu, µg/L | | Fe, g/L | | Mn, g/L | | Ni, µg/L | |
| | EAAS | ICP-OES | EAAS | ICP-OES | EAAS | ICP-OES | FAAS | ICP-OES | FAAS | ICP-OES | EAAS | ICP-OES |
| Februar | <0,5 | 0,470±0,005 | <1 | 0,521±0,007 | 0,27±0,04 | 0,2±0,1 | 0,037±0,001 | 0,043±0,002 | 0,091±0,001 | 0,087±0,002 | <0,1 | 0,105±0,007 |
| Mart | <0,5 | 0,493±0,006 | 1,7±0,1 | 1,60±0,02 | 3,10±0,03 | 2,4±0,1 | <0,03 | 0,025±0,004 | 0,086±0,003 | 0,079±0,001 | 1,23±0,03 | 1,07±0,06 |
| April | 0,53±0,01 | 0,466±0,004 | <1 | 0,517±0,003 | 0,20±0,03 | 0,18±0,06 | 0,049±0,003 | 0,033±0,001 | 0,083±0,002 | 0,085±0,002 | <0,1 | 0,079±0,007 |
| Maj | <0,5 | 0,510±0,005 | <1 | 0,522±0,004 | 2,78±0,02 | 2,7±0,2 | 0,036±0,001 | 0,019±0,003 | 0,082±0,001 | 0,075±0,001 | 0,60±0,02 | 0,62±0,01 |
| Jun | <0,5 | 0,504±0,006 | 1,13±0,01 | 1,069±0,008 | 2,40±0,03 | 2,31±0,08 | <0,03 | 0,023±0,001 | 0,098±0,000 | 0,090±0,001 | <0,1 | 0,091±0,008 |
| Jul | <0,5 | 0,499±0,003 | <1 | 0,536±0,005 | 2,92±0,08 | 2,87±0,05 | <0,03 | 0,026±0,002 | 0,120±0,001 | 0,111±0,002 | 1,44±0,02 | 1,29±0,02 |
| Avgust | <0,5 | 0,493±0,005 | <1 | 0,546±0,004 | 2,53±0,07 | 2,53±0,07 | 0,054±0,001 | 0,044±0,001 | 0,094±0,001 | 0,079±0,001 | <0,1 | 0,106±0,007 |
| Septembar | 0,80±0,1 | 0,712±0,009 | <1 | 0,541±0,004 | 0,66±0,01 | 0,4±0,1 | 0,055±0,002 | 0,043±0,003 | 0,094±0,002 | 0,083±0,001 | <0,1 | 0,12±0,02 |
| Oktobar | 0,72±0,07 | 0,584±0,007 | <1 | 0,534±0,002 | 0,841±0,007 | 0,7±0,1 | 0,051±0,004 | 0,046±0,003 | 0,091±0,001 | 0,082±0,001 | 0,44±0,02 | 0,377±0,008 |
| Novembar | <0,5 | 0,486±0,006 | <1 | 0,537±0,003 | 1,069±0,008 | 0,93±0,06 | 0,111±0,004 | 0,099±0,001 | 0,082±0,001 | 0,076±0,001 | 0,75±0,00 | 0,69±0,01 |
| Decembar | <0,5 | 0,478±0,005 | <1 | 0,516±0,001 | 1,06±0,08 | 0,89±0,08 | 0,073±0,001 | 0,079±0,001 | 0,072±0,001 | 0,067±0,002 | <0,1 | 0,082±0,009 |
| Januar | <0,5 | 0,473±0,006 | <1 | 0,523±0,002 | 4,3±0,5 | 4,06±0,08 | 0,080±0,001 | 0,084±0,001 | 0,090±0,001 | 0,087±0,001 | <0,1 | 0,113±0,008 |
| Interval | □0,5-0,80 | 0,466-0,711 | <1-1,7 | 0,516-1,600 | 0,20-4,27 | 0,18-4,06 | □0,03-0,111 | 0,023-0,099 | 0,072-0,120 | 0,067-0,111 | <0,1-1,44 | 0,08-1,29 |
| c _{sr} ±SD | | 0,508±0,006 | | 0,664±0,005 | 1,99±0,08 | 1,68±0,09 | | 0,047±0,002 | 0,09±0,001 | 0,083±0,001 | | 0,39±0,01 |

* c_{sr}±SD (n=3)

Tabela 58. Godišnji prikaz koncentracija* Se, Zn, As, Cd, Pb i Sb u vodi iz arteškog bunara AB8

| Metal | AB8 | | | | | | | | | | | |
|---------------------|----------|-------------|---------------|-------------|-----------|-----------|----------|-------------|-------------|-------------|----------|-------------|
| | Se, µg/L | | Zn, g/L | | As, µg/L | | Cd, µg/L | | Pb, µg/L | | Sb, µg/L | |
| | EAAS | ICP-OES | FAAS | ICP-OES | EAAS | ICP-OES | EAAS | ICP-OES | EAAS | ICP-OES | EAAS | ICP-OES |
| Februar | <1 | 0,032±0,001 | 0,048±0,001 | 0,045±0,002 | 1,8±0,3 | 1,7±0,3 | <0,03 | 0,022±0,002 | <0,05 | 0,041±0,006 | <0,5 | 0,27±0,01 |
| Mart | <1 | 0,028±0,001 | 0,054±0,001 | 0,049±0,002 | 1,4±0,3 | 1,3±0,3 | <0,03 | 0,025±0,002 | <0,05 | 0,035±0,009 | <0,5 | 0,249±0,008 |
| April | <1 | 0,035±0,001 | 0,049±0,001 | 0,047±0,001 | 1,91±0,03 | 1,82±0,04 | <0,03 | 0,024±0,001 | <0,05 | 0,043±0,008 | <0,5 | 0,40±0,03 |
| Maj | <1 | 0,04±0,002 | 0,061±0,000 | 0,056±0,001 | 2,2±0,2 | 2,1±0,2 | <0,03 | 0,027±0,001 | <0,05 | 0,041±0,006 | <0,5 | 0,39±0,02 |
| Jun | <1 | 0,044±0,002 | 0,051±0,001 | 0,045±0,000 | 2,76±0,06 | 2,59±0,06 | <0,03 | 0,023±0,001 | 0,11±0,02 | 0,101±0,03 | <0,5 | 0,38±0,01 |
| Jul | <1 | 0,043±0,001 | 0,0553±0,0008 | 0,047±0,001 | 1,47±0,06 | 1,39±0,06 | <0,03 | 0,027±0,002 | <0,05 | 0,057±0,007 | <0,5 | 0,393±0,008 |
| Avgust | <1 | 0,042±0,001 | 0,0509±0,0008 | 0,053±0,001 | 2,55±0,08 | 2,46±0,08 | <0,03 | 0,028±0,003 | <0,05 | 0,036±0,007 | <0,5 | 0,47±0,02 |
| Septembar | <1 | 0,04±0,001 | 0,0545±0,0003 | 0,054±0,001 | 2,2±0,1 | 2,0±0,1 | <0,03 | 0,026±0,001 | 0,063±0,004 | 0,065±0,008 | <0,5 | 0,47±0,03 |
| Oktobar | <1 | 0,039±0,001 | 0,058±0,001 | 0,053±0,001 | 3,1±0,2 | 2,9±0,2 | <0,03 | 0,022±0,001 | 0,088±0,004 | 0,08±0,01 | <0,5 | 0,44±0,01 |
| Novembar | <1 | 0,037±0,001 | 0,0460±0,0003 | 0,042±0,001 | 2,06±0,03 | 1,95±0,03 | <0,03 | 0,021±0,002 | <0,05 | 0,035±0,006 | <0,5 | 0,36±0,02 |
| Decembar | <1 | 0,028±0,002 | 0,048±0,001 | 0,041±0,001 | 2,65±0,06 | 2,49±0,06 | <0,03 | 0,024±0,001 | <0,05 | 0,038±0,008 | <0,5 | 0,32±0,01 |
| Januar | <1 | 0,03±0,002 | 0,057±0,001 | 0,051±0,001 | 2,40±0,06 | 2,25±0,05 | <0,03 | 0,025±0,001 | <0,05 | 0,036±0,007 | <0,5 | 0,15±0,007 |
| Interval | <1 | 0,028-0,044 | 0,046-0,061 | 0,042-0,056 | 1,4-3,1 | 1,3-2,9 | <0,03 | 0,021-0,028 | <0,05-0,11 | 0,04-0,10 | <0,5 | 0,15-0,47 |
| c _{sr} ±SD | | 0,037±0,001 | 0,053±0,001 | 0,048±0,001 | 2,2±0,1 | 2,1±0,1 | | 0,025±0,002 | | 0,05±0,01 | | 0,36±0,02 |

* c_{sr}±SD (n=3)

Tabela 59. Godišnji prikaz koncentracija* Co, Cr, Cu, Fe, Mn i Ni u vodi iz arteškog bunara AB9

| Metal | AB9 | | | | | | | | | | | |
|---------------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|
| | Co, µg/L | | Cr, µg/L | | Cu, µg/L | | Fe, g/L | | Mn, g/L | | Ni, µg/L | |
| | EAAS | ICP-OES | EAAS | ICP-OES | EAAS | ICP-OES | FAAS | ICP-OES | FAAS | ICP-OES | EAAS | ICP-OES |
| Februar | <0,5 | 0,467±0,005 | <1 | 0,521±0,002 | <0,2 | 0,192±0,008 | 0,041±0,005 | 0,032±0,004 | 0,132±0,003 | 0,119±0,002 | 0,61±0,00 | 0,55±0,03 |
| Mart | <0,5 | 0,462±0,004 | 1,96±0,04 | 1,72±0,03 | 0,66±0,04 | 0,70±0,01 | 0,070±0,001 | 0,057±0,002 | 0,124±0,003 | 0,127±0,004 | <0,1 | 0,20±0,01 |
| April | <0,5 | 0,489±0,005 | <1 | 0,568±0,003 | 0,54±0,02 | 0,32±0,06 | 0,052±0,003 | 0,043±0,003 | 0,124±0,003 | 0,112±0,001 | <0,1 | 0,060±0,007 |
| Maj | <0,5 | 0,480±0,003 | <1 | 0,557±0,003 | 1,02±0,04 | 0,85±0,07 | 0,068±0,005 | 0,068±0,004 | 0,119±0,001 | 0,101±0,002 | <0,1 | 0,145±0,008 |
| Jun | <0,5 | 0,456±0,006 | <1 | 0,536±0,004 | 1,318±0,003 | 1,11±0,04 | <0,03 | 0,022±0,003 | 0,122±0,001 | 0,117±0,001 | <0,1 | 0,116±0,007 |
| Jul | <0,5 | 0,493±0,007 | <1 | 0,673±0,004 | 1,8±0,2 | 1,48±0,01 | 0,060±0,000 | 0,054±0,005 | 0,176±0,003 | 0,164±0,002 | <0,1 | 0,130±0,006 |
| Avgust | <0,5 | 0,490±0,006 | <1 | 0,625±0,003 | 1,56±0,03 | 1,37±0,02 | 0,050±0,001 | 0,038±0,003 | 0,131±0,001 | 0,128±0,001 | <0,1 | 0,13±0,01 |
| Septembar | 2,0±0,2 | 1,94±0,01 | <1 | 0,531±0,003 | <0,2 | 0,19±0,06 | 0,054±0,001 | 0,047±0,002 | 0,123±0,001 | 0,115±0,001 | <0,1 | 0,10±0,01 |
| Oktobar | 0,54±0,01 | 0,570±0,006 | 1,19±0,03 | 1,040±0,003 | 1,71±0,03 | 1,57±0,01 | <0,03 | 0,063±0,004 | 0,101±0,002 | 0,093±0,001 | 0,58±0,03 | 0,52±0,02 |
| Novembar | <0,5 | 0,486±0,004 | <1 | 0,601±0,004 | 1,60±0,02 | 1,29±0,02 | 0,130±0,00 | 0,122±0,006 | 0,119±0,001 | 0,105±0,002 | 0,418±0,006 | 0,49±0,02 |
| Decembar | 0,62±0,01 | 0,567±0,006 | <1 | 0,680±0,003 | 0,837±0,006 | 0,74±0,04 | 0,088±0,002 | 0,068±0,004 | 0,126±0,001 | 0,116±0,001 | <0,1 | 0,122±0,008 |
| Januar | <0,5 | 0,463±0,004 | 2,08±0,00 | 1,536±0,01 | 3,02±0,05 | 2,66±0,02 | 0,097±0,002 | 0,081±0,002 | 0,120±0,001 | 0,099±0,003 | 0,49±0,02 | 0,51±0,01 |
| Interval | □0,5-2,0 | 0,456-1,941 | <1-2,08 | 0,521-1,724 | <0,2-3,02 | 0,19-2,66 | □0,03-0,130 | 0,022-0,122 | 0,101-0,176 | 0,093-0,164 | <0,1-0,61 | 0,06-0,55 |
| c _{sr} ±SD | | 0,508±0,006 | | 0,799±0,006 | 1,40±0,04 | 1,03±0,03 | 0,064±0,002 | 0,068±0,004 | 0,126 ±0,002 | 0,116±0,002 | | 0,26±0,01 |

*c_{sr}±SD (n=3)

Tabela 60. Godišnji prikaz koncentracija* Se, Zn, As, Cd, Pb i Sb u vodi iz arteškog bunara AB9

| Metal | AB9 | | | | | | | | | | | |
|---------------------|----------|-------------|---------------|-------------|------------|------------|----------|-------------|-------------|-------------|----------|-----------|
| | Se, µg/L | | Zn, g/L | | As, µg/L | | Cd, µg/L | | Pb, µg/L | | Sb, µg/L | |
| | EAAS | ICP-OES | FAAS | ICP-OES | EAAS | ICP-OES | EAAS | ICP-OES | EAAS | ICP-OES | EAAS | ICP-OES |
| Februar | <1 | 0,032±0,002 | <0,01 | 0,010±0,001 | 15,5±0,1 | 14,8±0,1 | <0,03 | 0,023±0,003 | <0,05 | 0,046±0,003 | <0,5 | 0,12±0,01 |
| Mart | <1 | 0,034±0,002 | 0,0140±0,0003 | 0,010±0,001 | 13,4±0,2 | 12,7±0,2 | <0,03 | 0,025±0,002 | <0,05 | 0,044±0,002 | <0,5 | 0,18±0,02 |
| April | <1 | 0,034±0,001 | 0,0122±0,0004 | 0,013±0,002 | 12,8±0,3 | 12,2±0,3 | <0,03 | 0,027±0,003 | <0,05 | 0,044±0,002 | <0,5 | 0,21±0,02 |
| Maj | <1 | 0,038±0,001 | <0,01 | 0,009±0,001 | 15,6±0,1 | 14,9±0,1 | <0,03 | 0,024±0,003 | <0,05 | 0,045±0,004 | <0,5 | 0,15±0,01 |
| Jun | <1 | 0,046±0,002 | 0,014±0,000 | 0,012±0,002 | 15,5±0,4 | 14,7±0,4 | <0,03 | 0,023±0,001 | <0,05 | 0,046±0,004 | <0,5 | 0,26±0,02 |
| Jul | <1 | 0,042±0,001 | 0,016±0,000 | 0,015±0,001 | 10,61±0,04 | 10,08±0,04 | <0,03 | 0,027±0,003 | <0,05 | 0,045±0,002 | <0,5 | 0,23±0,03 |
| Avgust | <1 | 0,044±0,001 | 0,0130±0,0004 | 0,014±0,001 | 14,3±0,4 | 13,5±0,4 | <0,03 | 0,026±0,002 | <0,05 | 0,051±0,005 | <0,5 | 0,29±0,01 |
| Septembar | <1 | 0,039±0,001 | 0,0113±0,0001 | 0,010±0,001 | 15,6±0,2 | 14,8±0,1 | <0,03 | 0,025±0,004 | <0,05 | 0,048±0,002 | <0,5 | 0,24±0,01 |
| Oktobar | <1 | 0,029±0,001 | <0,01 | 0,007±0,001 | 17,9±0,1 | 17,0±0,1 | <0,03 | 0,022±0,003 | 0,251±0,006 | 0,231±0,01 | <0,5 | 0,27±0,02 |
| Novembar | <1 | 0,028±0,001 | 0,013±0,001 | 0,011±0,001 | 15,1±0,6 | 14,2±0,5 | <0,03 | 0,023±0,001 | <0,05 | 0,053±0,003 | <0,5 | 0,16±0,01 |
| Decembar | <1 | 0,029±0,001 | 0,0112±0,0001 | 0,012±0,002 | 16,97±0,09 | 16,1±0,1 | <0,03 | 0,022±0,003 | <0,05 | 0,048±0,002 | <0,5 | 0,11±0,03 |
| Januar | <1 | 0,032±0,002 | <0,01 | 0,013±0,001 | 15,8±0,1 | 15,0±0,2 | <0,03 | 0,024±0,002 | <0,05 | 0,047±0,003 | <0,5 | 0,11±0,02 |
| Interval | <1 | 0,029-0,046 | <0,01-0,0160 | 0,007-0,015 | 10,6-17,9 | 10,1-17,0 | <0,03 | 0,022-0,027 | <0,05-0,251 | 0,044-0,231 | <0,5 | 0,11-0,29 |
| c _{sr} ±SD | | 0,036±0,001 | 0,0120±0,0003 | 0,011±0,001 | 14,9±0,2 | 14,17±0,2 | | 0,024±0,003 | | 0,062±0,004 | | 0,19±0,02 |

*c_{sr}±SD (n=3)

Tabela 61. Godišnji prikaz koncentracija* Co, Cr, Cu, Fe, Mn i Ni u vodi iz arteškog bunara AB10

| Metal | AB10 | | | | | | | | | | | |
|---------------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-----------|-------------|-------------|---------------|-------------|-----------|-----------|
| | Co, µg/L | | Cr, µg/L | | Cu, µg/L | | Fe, g/L | | Mn, g/L | | Ni, µg/L | |
| | EAAS | ICP-OES | EAAS | ICP-OES | EAAS | ICP-OES | FAAS | ICP-OES | FAAS | ICP-OES | EAAS | ICP-OES |
| Februar | <0,5 | 0,501±0,004 | <1 | 0,511±0,003 | 0,24±0,04 | 0,23±0,01 | <0,03 | 0,026±0,001 | 0,198±0,001 | 0,192±0,001 | <0,1 | 0,08±0,01 |
| Mart | <0,5 | 0,480±0,003 | 2,71±0,06 | 0,551±0,005 | 0,32±0,04 | 0,37±0,02 | <0,03 | 0,031±0,003 | 0,189±0,002 | 0,186±0,001 | <0,1 | 0,11±0,01 |
| April | 0,92±0,03 | 0,87±0,01 | <1 | 0,516±0,002 | 0,28±0,02 | 0,25±0,04 | <0,03 | 0,032±0,003 | 0,189±0,001 | 0,185±0,001 | 4,7±0,1 | 4,33±0,07 |
| Maj | <0,5 | 0,509±0,006 | <1 | 0,513±0,005 | 1,34±0,00 | 1,08±0,07 | 0,168±0,004 | 0,162±0,004 | 0,186±0,000 | 0,163±0,002 | 0,63±0,01 | 0,58±0,01 |
| Jun | <0,5 | 0,518±0,007 | <1 | 0,524±0,005 | 5,60±0,02 | 4,8±0,1 | 0,080±0,000 | 0,070±0,001 | 0,190±0,001 | 0,173±0,001 | 0,46±0,01 | 0,41±0,02 |
| Jul | <0,5 | 0,484±0,004 | <1 | 0,521±0,006 | 0,4±0,1 | 0,39±0,06 | <0,03 | 0,028±0,001 | 0,251±0,004 | 0,221±0,000 | 0,49±0,02 | 0,45±0,01 |
| Avgust | <0,5 | 0,480±0,005 | <1 | 0,523±0,004 | 0,65±0,01 | 0,53±0,02 | <0,03 | 0,034±0,002 | 0,200±0,001 | 0,188±0,001 | 0,46±0,03 | 0,38±0,03 |
| Septembar | 2,0±0,2 | 1,94±0,09 | <1 | 0,516±0,004 | 0,9±0,1 | 0,78±0,02 | <0,03 | 0,031±0,003 | 0,182±0,002 | 0,169±0,001 | 0,51±0,04 | 0,42±0,03 |
| Oktobar | 1,5±0,1 | 1,28±0,07 | <1 | 0,521±0,003 | 0,69±0,05 | 0,61±0,07 | 0,080±0,000 | 0,075±0,001 | 0,145±0,001 | 0,129±0,001 | 0,87±0,03 | 0,78±0,05 |
| Novembar | <0,5 | 0,482±0,003 | 4,0±0,1 | 2,54±0,03 | 5,67±0,08 | 4,99±0,05 | 0,039±0,001 | 0,027±0,001 | 0,186±0,000 | 0,164±0,000 | 0,45±0,03 | 0,38±0,04 |
| Decembar | <0,5 | 0,507±0,004 | <1 | 0,511±0,005 | 1,72±0,02 | 1,78±0,05 | 0,077±0,002 | 0,058±0,003 | 0,186±0,003 | 0,168±0,001 | <0,1 | 0,25±0,01 |
| Januar | <0,5 | 0,491±0,004 | <1 | 0,509±0,004 | 3,8±0,2 | 3,72±0,03 | 0,081±0,001 | 0,079±0,003 | 0,210 ± 0,001 | 0,195±0,002 | 0,57±0,03 | 0,51±0,04 |
| Interval | □0,5-2,0 | 0,48-1,94 | <1-4,0 | 0,509-2,540 | 0,24-5,67 | 0,23-4,99 | □0,03-0,168 | 0,026-0,162 | 0,145-0,251 | 0,129-0,221 | <0,1-4,71 | 0,08-4,33 |
| c _{sr} ±SD | | 0,71±0,02 | | 0,687±0,006 | 1,80±0,06 | 1,62±0,05 | | 0,051±0,002 | 0,193±0,001 | 0,176±0,001 | 1,02±0,04 | 0,72±0,03 |

* c_{sr}±SD (n=3)

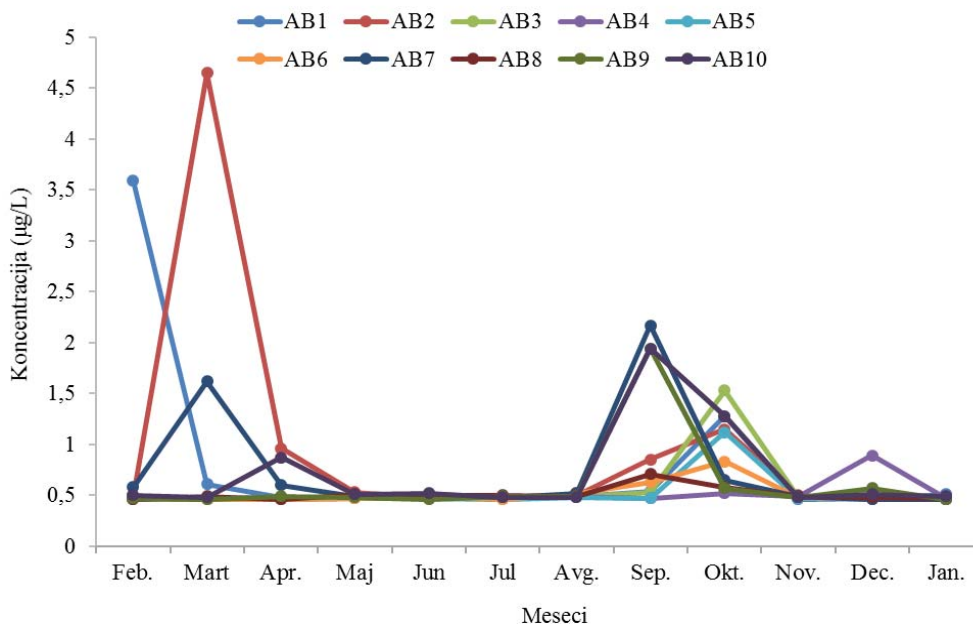
Tabela 62. Godišnji prikaz koncentracija* Se, Zn, As, Cd, Pb i Sb u vodi iz arteškog bunara AB10

| Metal | AB10 | | | | | | | | | | | |
|---------------------|----------|-------------|--------------|-------------|-----------|-----------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------|-------------|
| | Se, µg/L | | Zn, g/L | | As, µg/L | | Cd, µg/L | | Pb, µg/L | | Sb, µg/L | |
| | EAAS | ICP-OES | FAAS | ICP-OES | EAAS | ICP-OES | EAAS | ICP-OES | EAAS | ICP-OES | EAAS | ICP-OES |
| Februar | <1 | 0,029±0,001 | 0,274±0,004 | 0,268±0,002 | 1,6±0,4 | 1,5±0,3 | <0,03 | 0,024±0,003 | <0,05 | 0,042±0,005 | <0,5 | 0,383±0,008 |
| Mart | <1 | 0,033±0,001 | 0,235±0,005 | 0,211±0,002 | 0,8±0,1 | 0,7±0,1 | <0,03 | 0,026±0,002 | <0,05 | 0,046±0,004 | <0,5 | 0,41±0,01 |
| April | <1 | 0,037±0,002 | 0,275±0,0001 | 0,264±0,003 | 1,01±0,06 | 0,95±0,07 | 0,089±0,005 | 0,027±0,002 | <0,05 | 0,057±0,003 | <0,5 | 0,40±0,02 |
| Maj | <1 | 0,042±0,003 | 0,277±0,002 | 0,281±0,003 | 2,0±0,2 | 1,9±0,2 | <0,03 | 0,023±0,003 | <0,05 | 0,048±0,003 | <0,5 | 0,45±0,01 |
| Jun | <1 | 0,049±0,002 | 0,244±0,0005 | 0,215±0,001 | 1,5±0,1 | 1,4±0,2 | <0,03 | 0,024±0,002 | 1,5±0,2 | 1,7±0,3 | <0,5 | 0,42±0,01 |
| Jul | <1 | 0,051±0,003 | 0,238±0,003 | 0,215±0,001 | 1,16±0,00 | 1,07±0,01 | <0,03 | 0,025±0,004 | <0,05 | 0,056±0,004 | <0,5 | 0,39±0,008 |
| Avgust | <1 | 0,049±0,002 | 0,268±0,001 | 0,250±0,003 | 1,34±0,07 | 1,27±0,07 | <0,03 | 0,027±0,003 | <0,05 | 0,063±0,005 | <0,5 | 0,42±0,01 |
| Septembar | <1 | 0,046±0,002 | 0,298±0,001 | 0,253±0,002 | 1,56±0,30 | 1,5±0,3 | <0,03 | 0,027±0,003 | 0,162±0,009 | 0,17±0,01 | <0,5 | 0,45±0,01 |
| Oktobar | <1 | 0,041±0,002 | 0,269±0,001 | 0,268±0,003 | 1,64±0,29 | 1,6±0,3 | <0,03 | 0,024±0,002 | <0,05 | 0,044±0,002 | <0,5 | 0,44±0,01 |
| Novembar | <1 | 0,035±0,001 | 0,368±0,004 | 0,328±0,001 | 0,62±0,04 | 0,58±0,04 | <0,03 | 0,025±0,002 | <0,05 | 0,049±0,002 | <0,5 | 0,40±0,01 |
| Decembar | <1 | 0,037±0,002 | 0,563±0,001 | 0,535±0,003 | 1,98±0,03 | 1,86±0,03 | <0,03 | 0,023±0,003 | 0,214±0,006 | 0,224±0,03 | <0,5 | 0,38±0,02 |
| Januar | <1 | 0,026±0,001 | 0,289±0,002 | 0,263±0,001 | 1,53±0,27 | 1,4±0,3 | <0,03 | 0,023±0,002 | <0,05 | 0,043±0,002 | <0,5 | 0,37±0,01 |
| Interval | <1 | 0,026-0,051 | 0,235-0,563 | 0,211-0,535 | 0,6-2,0 | 0,6-1,9 | <0,03-0,089 | 0,023-0,027 | <0,05-1,5 | 0,04-1,74 | <0,5 | 0,38-0,45 |
| c _{sr} ±SD | | 0,040±0,002 | 0,300±0,002 | 0,276±0,002 | 1,4±0,2 | 1,3±0,2 | | 0,025±0,003 | | 0,21±0,03 | | 0,41±0,01 |

*c_{sr}±SD (n=3)

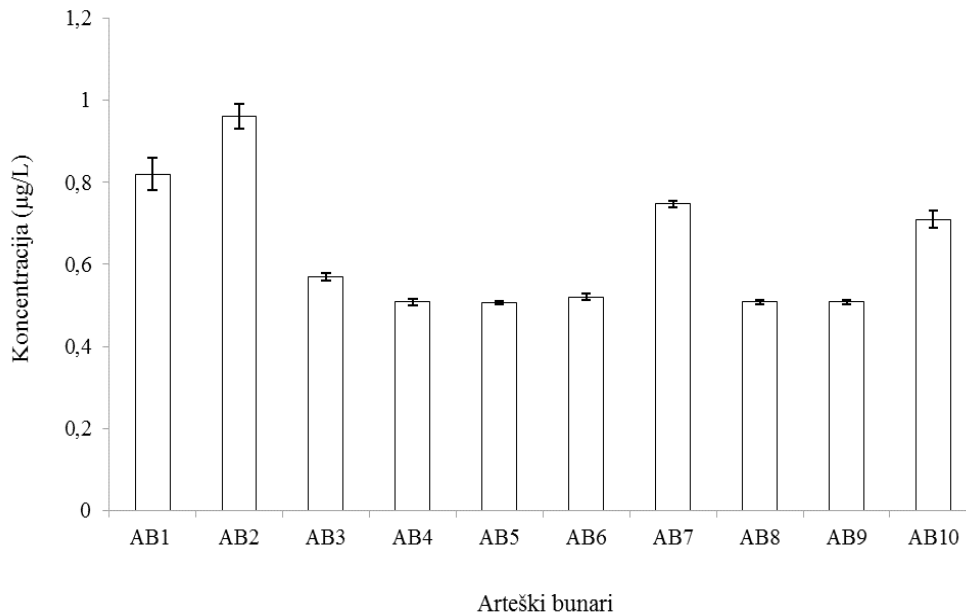
Kobalt

Koncentracije kobalta, određene ICP-OES i EAAS tehnikom, na svakom pojedinačnom lokalitetu kreću se u intervalu: (0,47 - 3,59) $\mu\text{g/L}$; (\square 0,5 - 3,68) $\mu\text{g/L}$ (AB1); (0,46 - 4,65) $\mu\text{g/L}$; (\square 0,5 - 4,8) $\mu\text{g/L}$ (AB2); (0,47 - 1,56) $\mu\text{g/L}$; (\square 0,5 - 1,34) $\mu\text{g/L}$ (AB3); (0,459 - 0,892) $\mu\text{g/L}$; (\square 0,5 - 0,85) $\mu\text{g/L}$ (AB4); (0,459 - 1,122) $\mu\text{g/L}$; (\square 0,5 - 1,20) $\mu\text{g/L}$ (AB5); (0,462 - 0,831) $\mu\text{g/L}$; (\square 0,5 - 0,92) $\mu\text{g/L}$ (AB6); (0,459 - 2,171) $\mu\text{g/L}$; (\square 0,5 - 2,3) $\mu\text{g/L}$ (AB7); (0,466 - 0,711) $\mu\text{g/L}$; (\square 0,5 - 0,80) $\mu\text{g/L}$ (AB8); (0,456 - 1,941) $\mu\text{g/L}$; (\square 0,5 - 2,0) $\mu\text{g/L}$ (AB9) i (0,48 - 1,94) $\mu\text{g/L}$; (\square 0,5 - 2,0) $\mu\text{g/L}$ (AB10). Za godišnji period ispitivanja na svim lokalitetima koncentracije kobalta, određene ICP-OES tehnikom, su u intervalu od 0,456 $\mu\text{g/L}$ do 4,65 $\mu\text{g/L}$, sa srednjom vrednošću od 0,650 $\mu\text{g/L}$. Najveća koncentracija kobalta izmerena je na lokalitetu AB2 u martu mesecu, dok je najmanja izmerena na lokalitetu AB9 u avgustu (slika 54.). Koncentracije kobalta u 90,8% uzoraka vode iz arteških bunara su manje od 1 $\mu\text{g/L}$. Varijacije u ispitivanom periodu kreću se od 0,33 $\mu\text{g/L}$ (AB4) do 4,19 $\mu\text{g/L}$ (AB2).



Slika 54. Mesečne promene koncentracije Co u vodi iz arteških bunara (ICP-OES tehnika)

Srednje koncentracije kobalta u vodi iz arteških bunara opadaju sledećim redosledom: AB2 > AB1 > AB7 > AB10 > AB3 > AB6 > AB4 ≈ AB8 ≈ AB9 ≈ AB5 (slika 55.).



Slika 55. Srednje koncentracije Co u vodi iz arteških bunara (ICP-OES tehnika)

Koncentracije kobalta u prirodnim vodama su niske u odnosu na moguću toksičnost, zbog čega *WHO* (2011a) nije postavila smernice za kobalt, već je svrstan u listu kandidata kontaminanata vode. *U.S. EPA* (2012) je takođe svrstala kobalt u listu kandidata kontaminanata koji predstavljaju rizik po zdravlje. Sadržaj kobalta u vodi za piće, takođe nije regulisan ni od strane *Direktive EU* (1998), niti *Pravilnikom o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće Republike Srpske* (2015). I sa najvećom izmerenom koncentracijom kobalta od 4,65 µg/L, voda iz arteških bunara sadrži veoma niske koncentracije ovog metala. Kobalt prisutan u vodi za piće ne utiče na njene organoleptičke osobine (ukus, miris i boju) i zato se ne može detektovati degustiranjem vode, već odgovarajućom hemijskom analizom. Kobalt ne spada u parametre koji se određuju rutinskom kontrolom vode .

Koncentracije kobalta u površinskoj i podzemnoj vodi su niske, ispod 1 µg/L u ruralnim područjima i od 1 µg/L do 10 µg/L u naseljenim područjima. Znatno veće

koncentracije od nekoliko hiljada mg/L mogu se očekivati u rudarskim i poljoprivrednim područjima (WHO, 2006).

U Pakistanu, na krajnjem jugoistoku zemlje, koncentracije kobalta u uzorcima podzemne vode su u intervalu od 0,004 mg/L do 0,012 mg/L sa srednjom vrednošću od 0,008 mg/L (Jakhrani, 2012).

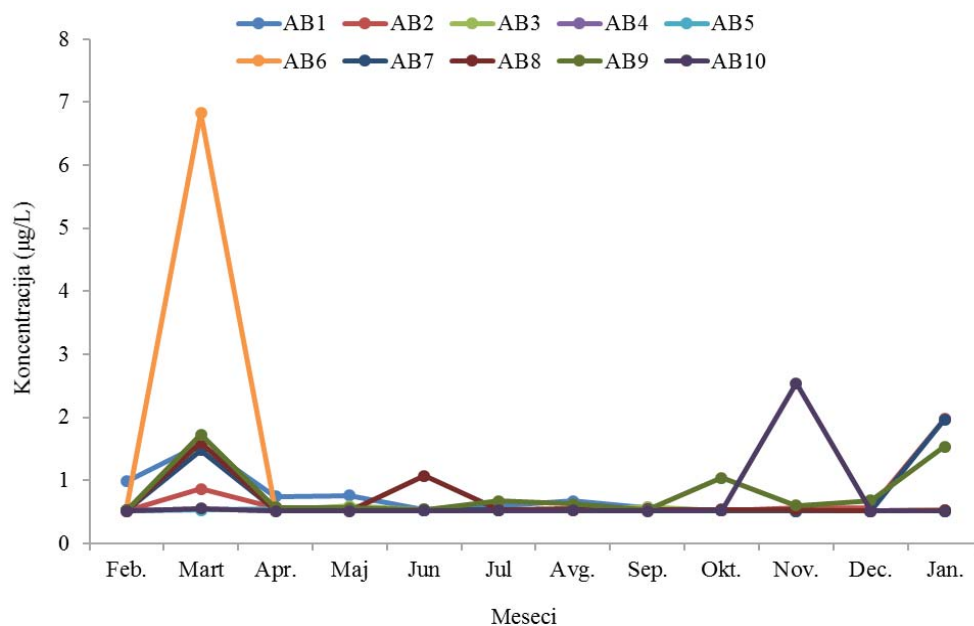
U Sjedinjenim Američkim Državama, u uzorcima podzemne vode u blizini rudnika kobalta u Ajdahu, koncentracije kobalta su bile do 315 000 µg/L (WHO, 2006).

Hrom

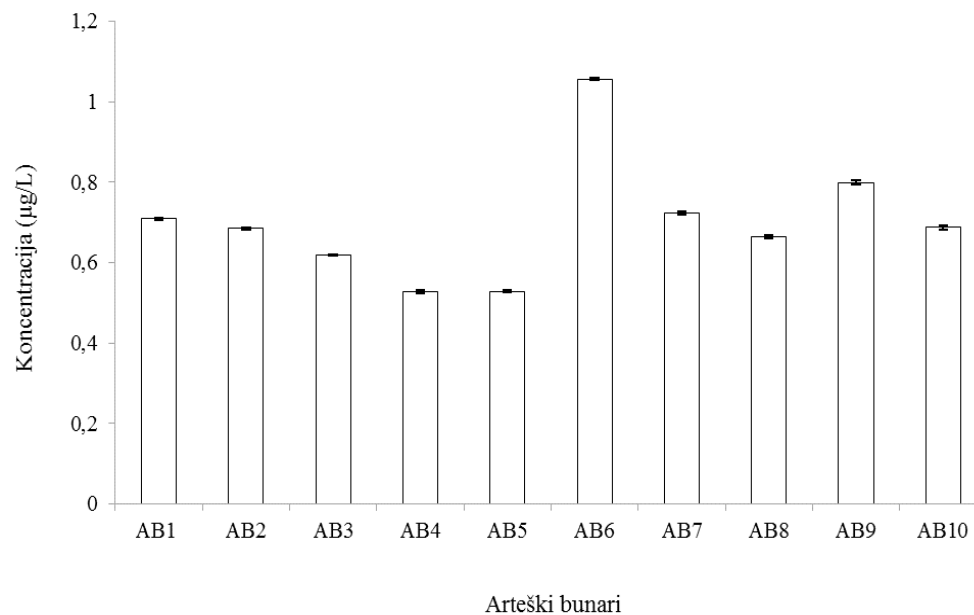
Koncentracije hroma, određene ICP-OES i EAAS tehnikom, na svakom pojedinačnom lokalitetu kreću se u intervalu: (0,513 - 1,568) µg/L; (□1 - 2,73) µg/L (AB1); (0,512 - 1,972) µg/L; (□1 - 2,1) µg/L (AB2); (0,514 - 1,539) µg/L; (□1 - 1,73) µg/L (AB3); (0,509 - 0,544) µg/L; □1 µg/L (AB4); (0,512 - 0,542) µg/L; □1 µg/L (AB5); (0,522 do 6,831) µg/L; (□1 - 7,56) µg/L (AB6); (0,514 - 1,966) µg/L; (□1 - 2,07) µg/L (AB7); (0,516 - 1,600) µg/L; (□1 - 1,7) µg/L (AB8); (0,521 - 1,724) µg/L; (□1 - 2,08) µg/L (AB9) i (0,509 - 2,540) µg/L; (□1 - 4,0) µg/L (AB10). Za navedeni period ispitivanja na svim lokalitetima koncentracije hroma, određene ICP-OES tehnikom, su u intervalu od 0,509 µg/L do 6,831 µg/L sa srednjom vrednošću od 0,700 µg/L. Najveća koncentracija hroma izmerena je na lokalitetu AB6 u martu mesecu, dok je najmanja izmerena na lokalitetu AB4 u avgustu (slika 56.). Koncentracije hroma u 90% uzoraka vode iz arteških bunara su manje od 1 µg/L. Varijacije u ispitivanom periodu kreću se od 0,025 µg/L (AB3) do 6,309 µg/L (AB6).

Srednje koncentracije hroma u vodi iz arteških bunara opadaju sledećim redosledom: AB6 □ AB9 □ AB7 □ AB1 □ AB10 ≈ AB2 □ AB8 □ AB3 □ AB5 ≈ AB4 (slika 57.).

Koncentracije hroma u uzorcima vode iz arteških bunara, i sa najvećom izmerenom vrednošću od 6,831 µg/L, zadovoljavaju preporučenu vrednost i MDK (WHO, 2011a; U.S. EPA, 2012; Direktiva EU, 1989; Pravilnik o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće Republike Srpske, 2015).



Slika 56. Mesečne promene koncentracije Cr u vodi iz arteških bunara (ICP-OES tehnika)



Slika 57. Srednje koncentracije Cr u vodi iz arteških bunara (ICP-OES tehnika)

Hrom se prirodno nalazi u vodi u niskim koncentracijama, $<1 \mu\text{g/L}$ (WHO, 1996), što je slučaj i sa uzorcima vode iz arteških bunara. Visoke koncentracije hroma mogu se očekivati u rudarskim i industrijskim oblastima, gde usled neodgovarajućeg rukovanja otpadom može doći do kontaminiranja vode hromom (WHO, 2003a).

U severozapadnim delovima Hrvatske, na području Koprivnica-Križevci, maksimalna koncentracija hroma u uzorcima podzemne vode, uzorkovanih sa pet različitih lokaliteta u periodu od 2011. godine do 2012. godine, je bila $9,8 \mu\text{g/L}$ (Habuda-Stanić i sar., 2015).

U Holandiji je izmerena srednja koncentracija od $0,7 \mu\text{g/L}$, sa maksimalnom od $5 \mu\text{g/L}$ (Slooff, 1989).

U Pakistanu, na krajnjem jugoistoku zemlje, koncentracije hroma u uzorcima podzemne vode su u intervalu od $0,004 \text{ mg/L}$ do $0,013 \text{ mg/L}$ sa srednjom vrednošću od $0,009 \text{ mg/L}$ (Jakhrani, 2012).

U podzemnoj vodi u Sjedinjenim Američkim Državama, prijavljen je nivo od $50 \mu\text{g/L}$, dok je u podzemnim vodama koje se nalaze blizu površine zabeležen nivo od $2 \mu\text{g/L}$ do $10 \mu\text{g/L}$ (U.S. EPA, 1987; Deveral i Millard, 1988).

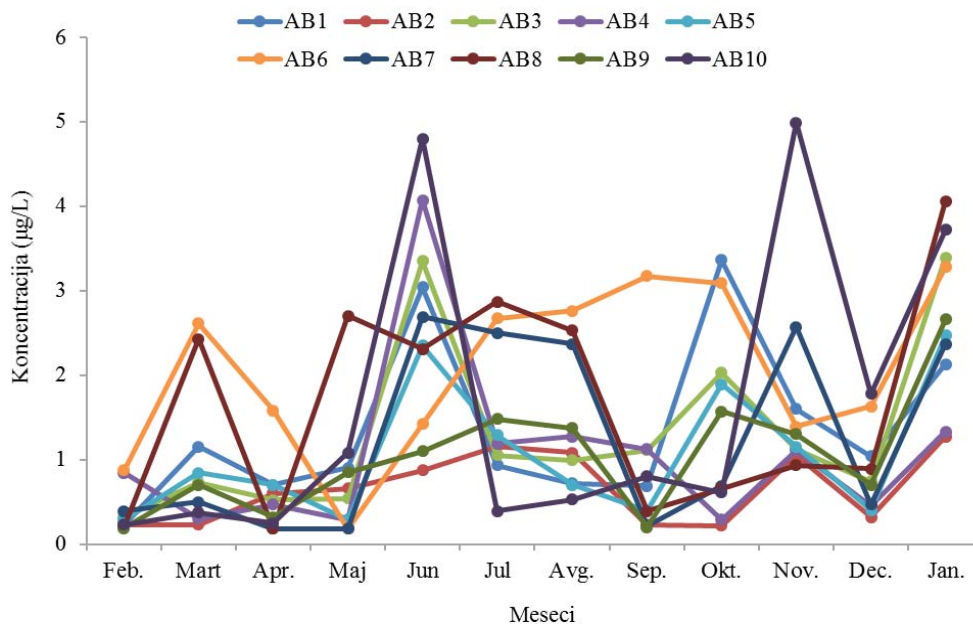
U podzemnim vodama Libije koncentracije hroma su manje od $0,002 \text{ mg/L}$ (Alhibshi i sar., 2014).

U Tanzaniji, na poluostrvu Zanzibar, koncentracije šestovalentnog hroma su u intervalu od $0,05 \text{ mg/L}$ do $0,4 \text{ mg/L}$, pri čemu više od 96% uzoraka vode ima koncentraciju koja je iznad preporučene vrednosti koju je postavila WHO (Mohamed i sar., 2013).

Hrom(III) je u tragovima esencijalan za ljude, jer je neophodan pre svega za metabolizam ugljenih hidrata, i njegov nedostatak dovodi do poremećene efikasnosti insulina. Hrom(VI) je toksičan i potencijalno kancerogen za ljude, zbog čega je važno u kom obliku je hrom prisutan u vodi. Hrom ne spada u parametre koji se određuju rutinskom kontrolom vode, tako i kada ga ima u podzemnoj vodi teško ga je detektovati.

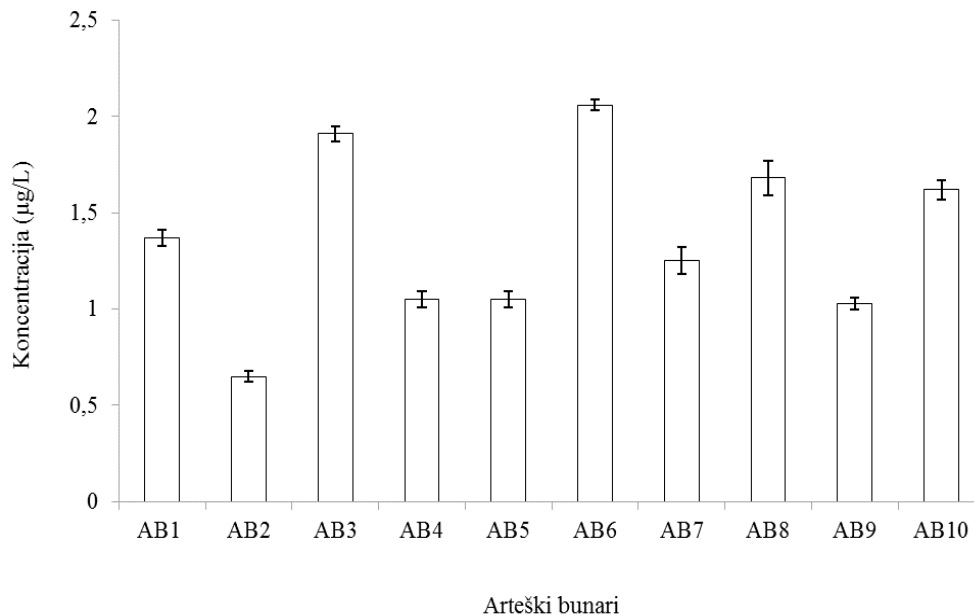
Bakar

Koncentracije bakra, određene ICP-EOS i EAAS tehnikom, na svakom pojedinačnom lokalitetu kreću se u intervalu: (0,23 - 3,36) $\mu\text{g/L}$; (0,24 - 3,44) $\mu\text{g/L}$ (AB1); (0,22 - 1,27) $\mu\text{g/L}$; (\square 0,2 - 1,32) $\mu\text{g/L}$ (AB2); (0,32 - 3,39) $\mu\text{g/L}$; (\square 0,2 - 3,74) $\mu\text{g/L}$ (AB3); (0,29 - 4,07) $\mu\text{g/L}$; (0,31 - 4,52) $\mu\text{g/L}$ (AB4); (0,29 - 2,47) $\mu\text{g/L}$; (\square 0,2 - 2,81) $\mu\text{g/L}$ (AB5); (0,18 - 3,17) $\mu\text{g/L}$; (\square 0,2 - 3,88) $\mu\text{g/L}$ (AB6); (0,18 - 2,69) $\mu\text{g/L}$; (\square 0,2 - 5,19) $\mu\text{g/L}$ (AB7); (0,18 - 4,06) $\mu\text{g/L}$; (0,2 - 4,27) $\mu\text{g/L}$ (AB8); (0,19 - 2,66) $\mu\text{g/L}$; (\square 0,2 - 3,02) $\mu\text{g/L}$ (AB9) i (0,23 - 4,99) $\mu\text{g/L}$; (0,24 - 5,67) $\mu\text{g/L}$ (AB10). Za navedeni period ispitivanja na svim lokalitetima koncentracije bakra, određene ICP-OES tehnikom, su u intervalu od 0,18 $\mu\text{g/L}$ do 4,99 $\mu\text{g/L}$ sa srednjom vrednošću od 1,32 $\mu\text{g/L}$. Najveća koncentracija bakra izmerena je na lokalitetu AB10 u novembru mesecu, dok je najmanja izmerena na lokalitetima AB8 u aprilu (slika 58.). Koncentracije bakra u 62,9% uzoraka vode iz arteških bunara su manje od 1 $\mu\text{g/L}$. Varijacije u ispitivanom periodu kreću se od 1,05 $\mu\text{g/L}$ (AB2) do 4,76 $\mu\text{g/L}$ (AB10).



Slika 58. Mesečne promene koncentracije Cu u vodi iz arteških bunara (ICP-OES tehnika)

Srednje koncentracije bakra u vodi iz arteških bunara opadaju sledećim redosledom: AB6 □ AB3 □ AB8 □ AB10 □ AB1 □ AB7 □ AB5 = AB4 ≈ AB9 □ AB2 (slika 59.).



Slika 59. Srednje koncentracije Cu u vodi iz arteških bunara (ICP-OES tehnika)

Koncentracije bakra u uzorcima vode iz arteških bunara, i sa najvećom izmerenom vrednošću od 4,99 µg/L, nalaze se daleko ispod preporučenih vrednosti i MDK (*WHO, 2011a; U.S. EPA, 2012; Direktiva EU, 1989; Pravilnik o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće Republike Srpske, 2015*).

Bakar nije kumulativan otrov (*Dalmacija i Agbaba, 2006*) i ne spada u parametre koji se određuju rutinskom kontrolom vode. Iako se prirodno javlja u vodi, povišen nivo u vodi za piće povezan je pre svega sa korozijom bakarnih cevi. Korozivne vode, sa niskim ili visokim pH vrednostima i visokom koncentracijom karbonata, povećavaju koncentraciju bakra u vodi. Bakar prisutan u vodi za piće daje metalni ukus vodi i dovodi do formiranja plavih ili plavo-zelenih mrlja na sudoperi i sanitarijama.

Koncentracije bakra u vodi za piće veoma variraju kao rezultat različitih karakteristika vode, kao što su pH vrednost, tvrdoća i dostupnost bakra u distributivnom sistemu. Rezultati brojnih istraživanja izvršenih u Evropi, Kanadi i Sjedinjenim Američkim

Državama pokazali su da se koncentracije bakra kreću u intervalu od $\leq 0,005$ mg/L do ≥ 30 mg/L, sa akcentom da je primarni izvor bakra korozija bakarnih vodovodnih instalacija (U.S. EPA, 1991; Health Canada, 1992a; IPCS, 1998; U.S. NRC, 2000).

U ruralnim delovima istočne Hrvatske, istočnoj Slavoniji i Baranji, koncentracije bakra u bunarskoj vodi su u intervalu od 0,34 μ g/L do 25,86 μ g/L (Ćurković i sar., 2016).

U severozapadnim delovima Hrvatske, na području Koprivnica-Križevci, maksimalna koncentracija bakra u uzorcima podzemne vode, uzorkovanih sa pet različitih lokaliteta u periodu od 2011. godine do 2012. godine, je bila 11 μ g/L (Habuda-Stanić i sar., 2015).

U Tanzaniji, na poluostrvu Zanzibar, koncentracije bakra u podzemnoj vodi su u intervalu od 1,38 mg/L do 11 mg/L (Mohamed i sar., 2013).

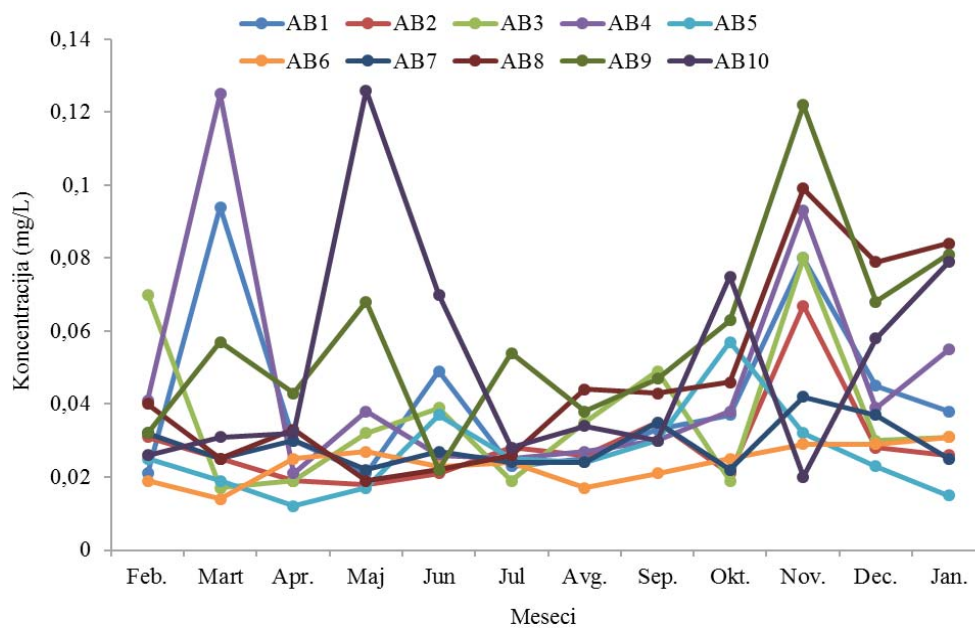
U Indiji, Raman i Narayanan (2008) su pronašli da je nivo bakra u podzemnoj vodi, koja se nalazi u oblasti odlaganja čvrstog otpada, od 0,221 mg/L do 0,478 mg/L.

U Pakistanu, na krajnjem jugoistoku zemlje, koncentracije bakra su u intervalu od 0,007 mg/L do 0,019 mg/L sa srednjom vrednošću od 0,012 mg/L (Jakhrani, 2012).

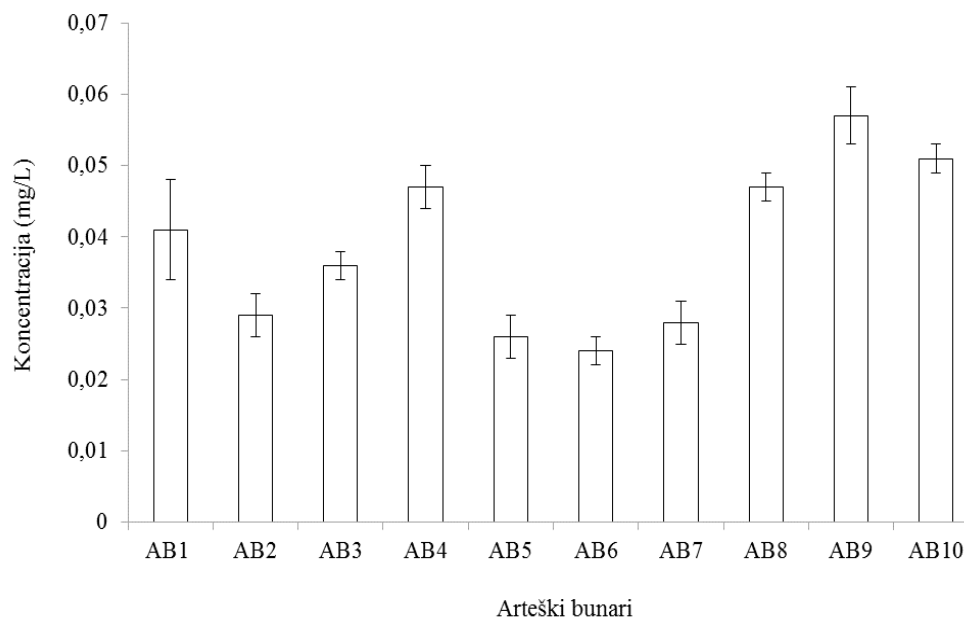
Gvožđe

Koncentracije gvožđa, određene ICP-OES i FAAS tehnikom, na svakom pojedinačnom lokalitetu kreću se u intervalu od: (0,021 - 0,094) mg/L; (\square 0,03 - 0,099) mg/L (AB1); (0,018 - 0,067) mg/L; (\square 0,03 - 0,075) mg/L (AB2); (0,017 - 0,080) mg/L; (\square 0,03 - 0,100) mg/L (AB3); (0,021 - 0,125) mg/L; (\square 0,03 - 0,136) mg/L (AB4); (0,012 - 0,057) mg/L; (\square 0,03 - 0,066) mg/L (AB5); (0,014 - 0,029) mg/L (AB6); (\square 0,03 - 0,047) mg/L; (0,022 - 0,042) mg/L; (\square 0,03 - 0,048) mg/L (AB7); (0,023 - 0,099) mg/L; (\square 0,03 - 0,111) mg/L (AB8); (0,022 - 0,122) mg/L; (\square 0,03 - 0,130) mg/L (AB9) i (0,026 - 0,162) mg/L; (\square 0,03 - 0,168) mg/L (AB10). Za navedeni period ispitivanja na svim lokalitetima koncentracije gvožđa, određene ICP-OES tehnikom, su u intervalu od 0,012 mg/L do 0,162 mg/L, sa srednjom vrednošću od 0,039 mg/L. Najveća koncentracija gvožđa izmerena je na lokalitetu AB10 u maju mesecu, dok je najmanja izmerena na lokalitetu AB5 u aprilu (slika 60.). Varijacije u ispitivanom periodu kreću se od 0,015 mg/L (AB6) do 0,136 mg/L (AB10).

Srednje koncentracije gvožđa u vodi iz arteških bunara opadaju sledećim redosledom: AB9 \square AB10 \square AB8 = AB4 \square AB1 \square AB3 \square AB2 \approx AB7 \square AB5 \square AB6 (slika 61.).



Slika 60. Mesečne promene koncentracije Fe u vodi iz arteških bunara (ICP-OES tehnika)



Slika 61. Srednje koncentracije Fe u vodi iz arteških bunara (ICP-OES tehnika)

Koncentracije gvožđa u uzorcima vode iz arteških bunara, sa najvećom izmerenom vrednošću od 0,162 mg/L, nalaze se ispod preporučene vrednosti i MDK (U.S. EPA, 2012; Direktiva EU, 1989; Pravilnik o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće Republike Srpske, 2015).

U anaerobnim podzemnim vodama gde se gvožđe obično nalazi u vidu Fe^{2+} jona, koncentracije su od 0,5 mg/L do 10 mg/L, ali i koncentracije do 50 mg/L se mogu naći (National Research Council, 1979).

Na severu Srbije, u Subotici, koncentracije gvožđa u uzorcima podzemne vode su u intervalu od 0,04 mg/L do 0,96 mg/L (Papić i sar., 2012).

U podzemnim vodama Panonskog basena (istočna Mađarska i zapadna Rumunija), koncentracije gvožđa veoma variraju od 0,01 mg/L do 10,54 mg/L (Rowland i sar, 2011).

U studiji koja je obuhvatila blizu 10 000 uzoraka podzemne vode na Novom Zelandu, Daughney (2003) je našao da koncentracija gvožđa u 36% uzoraka prelaze MDK propisanu od strane nacionalnog tela (0,2 mg/L), koja je postavljena iz estetskih razloga.

Prema podacima koji se nalaze u bazi podataka informacionog centra životne sredine Estonije, koji su dobijeni analizom 500 uzoraka podzemne vode, koncentracije gvožđa prelaze MDK postavljenu nacionalnim standardom (0,2 mg/L) u 70% uzoraka, sa najvećom izmerenom vrednošću od 16 mg/L (Hiib and Karro, 2012).

U podzemnim vodama Bangladeša koncentracije gvožđa su u intervalu od 1,03 mg/L do 24,5 mg/L i daleko prelaze MDK propisanu od strane nacionalnog tela, tako da danas pored arsena, i gvožđe predstavlja jedan od ključnih problema u Bangladešu (Hossain i sar., 2013).

U Zapadnom Bengal, pored visoke koncentracije arsena (200 $\mu\text{g/L}$ do 1180 $\mu\text{g/L}$) u podzemnoj vodi, registrovane su i visoke koncentracije gvožđa od 3 mg/L do 13,7 mg/L i ortofosfata (McArthur i sar., 2004).

U Indiji sadržaj gvožđa u podzemnoj vodi varira od 0,03 mg/L do 1,5 mg/L. Takođe postoje i sezonske varijacije. Visoke koncentracije su zabeležene u letnjem periodu, kao posledica smanjenja nivoa vode (Achary, 2014).

U Nigeriji, na krajnjem jugu države, koncentracije gvožđa u podzemnoj vodi su u intervalu od 0 mg/L do 10 mg/L. 50% uzoraka vode ima sadržaj gvožđa manji od 0,4 mg/L,

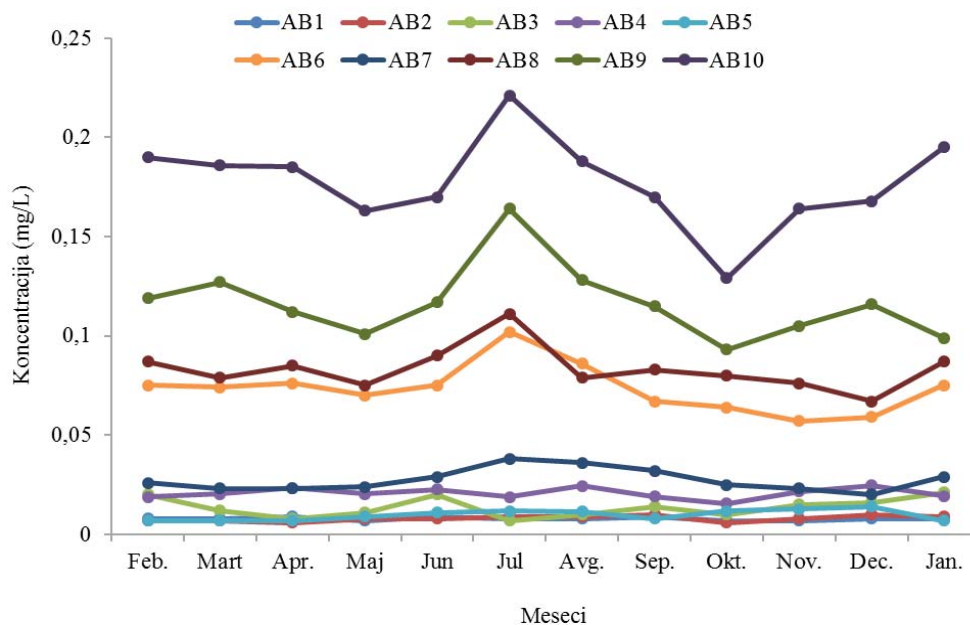
22% od 0,4 mg/L do 1,0 mg/L i 20% uzoraka ima koncentraciju veću od 1 mg/L (Ngah i Nwankwoala, 2013).

U Pakistanu, na krajnjem jugoistoku zemlje, koncentracije gvožđa u podzemnoj vodi su u intervalu od 0,006 mg/L do 0,223 mg/L, sa srednjom vrednošću od 0,078 mg/L (Jakhrani, 2012).

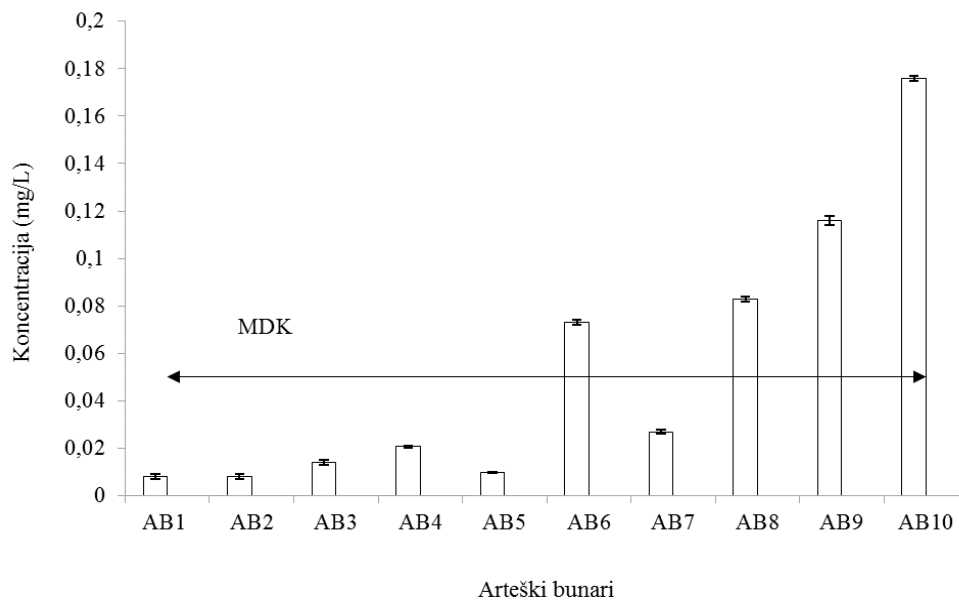
Mangan

Koncentracije mangana, određene ICP-OES i FAAS tehnikom, na svakom pojedinačnom lokalitetu kreću se u intervalu: (0,007 - 0,009) mg/L; <0,01 mg/L (AB1); (0,006 - 0,010) mg/L; (\square 0,01 - 0,012) mg/L (AB2); (0,007 - 0,023) mg/L; (\square 0,01 - 0,026) mg/L (AB3); (0,0155 - 0,0246) mg/L; (0,017 - 0,028) mg/L (AB4); (0,0067 - 0,0141) mg/L; (\square 0,01 - 0,015) mg/L (AB5); (0,064 - 0,102) mg/L; (0,069 - 0,116) mg/L (AB6); (0,023 - 0,038) mg/L; (0,022 - 0,045) mg/L (AB7); (0,067 - 0,111) mg/L; (0,072 - 0,120) mg/L (AB8); (0,093 - 0,164) mg/L; (0,101 - 0,176) mg/L (AB9) i (0,129 - 0,221) mg/L; (0,145 - 0,251) mg/L (AB10). Za navedeni period ispitivanja na svim lokalitetima koncentracije mangana, određene ICP-OES tehnikom, su u intervalu od 0,006 mg/L do 0,221 mg/L, sa srednjom vrednošću od 0,054 mg/L. Najveća koncentracija mangana izmerena je na lokalitetu AB10 u julu mesecu, dok je najmanja izmerena na lokalitetu AB2 u februaru (slika 62.). Varijacije u ispitivanom periodu kreću se od 0,002 mg/L (AB1) do 0,092 mg/L (AB10).

Srednje koncentracije mangana u vodi iz arteških bunara opadaju sledećim redosledom: AB10 \square AB9 \square AB8 = AB6 \square AB7 = AB4 \square AB3 \square AB5 \approx AB2 = AB1 (slika 63.).

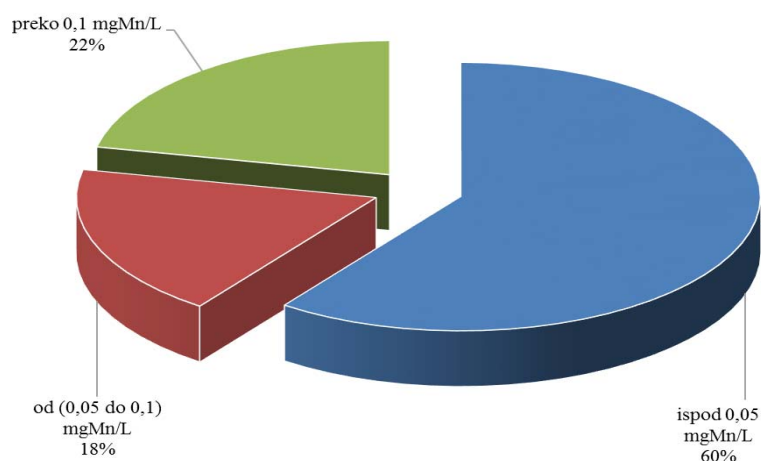


Slika 62. Mesečne promene koncentracije Mn u vodi iz arteških bunara (ICP-OES tehnika)



Slika 63. Srednje koncentracije Mn u vodi iz arteških bunara (ICP-OES tehnika)

Koncentracije mangana u vodi iz arteških bunara AB6, AB8, AB9 i AB10, su blizu ili iznad preporučene vrednosti i MDK (U.S. EPA, 2012; Direktiva EU, 1989; Pravilnik o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće Republike Srpske, 2015). Na slici 64. prikazana je procentualna raspodela koncentracije mangana u vodi iz arteških bunara, uzimajući u obzir Pravilnik o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće Republike Srpske (2015). Sa slike 64. se može zaključiti da od ukupno 120 uzoraka podzemne vode, 60% ima koncentraciju koja je ispod MDK (0,05 mg/L) (AB1, AB2, AB3, AB4, AB5 i AB7). Od preostalih 40% uzoraka, čija je koncentracija za mangan veća od MDK, 18% ima koncentraciju između 0,05 mg/L i 0,1 mg/L, dok preostalih 22% uzoraka ima koncentraciju veću od 0,1 mg/L (AB9 i AB10).



Slika 64. Procentualna raspodela koncentracija Mn u vodi iz arteških bunara

Gvožđe i mangan su dva elementa koji se u vodi ponašaju slično i u njoj izazivaju slične smetnje. Ovi metali su prisutni u mnogim stenama zbog čega se njihovo prisustvo u podzemnoj vodi smatra prirodno. Industrijske otpadne vode, drenažne vode rudnika, kanalizacija i ocedne vode sa deponija mogu povećati sadržaj gvožđa i mangana u lokalnoj podzemnoj vodi. Gvožđe u koncentracijama većim od 0,3 mg/L i mangan u koncentracijama većim od 0,05 mg/L utiču na organoleptičke osobine vode, ali ne predstavljaju rizik po zdravlje ljudi jer su esencijalni elementi u tragovima. U podzemnoj vodi pod redukcionim uslovima gvožđe i mangan postoje u vidu Fe^{2+} i Mn^{2+} jona. Kada podzemna voda dospe na površinu zemlje, u kontaktu sa vazдушnim kiseonikom dolazi do oksidacije Fe^{2+} u Fe^{3+} i Mn^{2+}

u Mn^{4+} , koji zatim stupaju u reakciju sa vodom i talože se u vidu hidroksida, taloga crvenkasto-braon (Fe) i braonkasto-crne boje (Mn). Osim pojave taloga, gvožđe i mangan vodi daju metalni ukus, a mogu prouzrokovati i bojenje veša, sanitarija i sudopera. Voda kontaminirana gvožđem i manganom može da sadrži gvožđevite i manganozne bakterije, koje takođe ne izazivaju zdravstvene probleme, ali se hrane mineralima iz vode. Ove bakterije formiraju sluzave naslage u vodovodnim sistemima. Zbog velikog uticaja na estetske osobine vode za piće, i gvožđe i mangan se određuju rutinskom kontrolom vode.

Mangan se prirodno javlja u mnogim površinskim i podzemnim vodama. Redukcioni uslovi koji se mogu naći u podzemnoj vodi favorizuju visoke koncentracije mangana. Koncentracije do 1300 $\mu\text{g/L}$ u neutralnim podzemnim vodama i 9600 $\mu\text{g/L}$ u kiselim podzemnim vodama su nađene (ATSDR, 2000).

Zbog visoke rasprostranjenosti mangana u zemljištu i stenama, učestalost detekcije mangana u podzemnoj vodi u Sjedinjenim Američkim Državama je visoka, oko 70%, ali su koncentracije uglavnom ispod nivoa koji može uticati na zdravlje ljudi (U.S. EPA, 2002a).

Na području opštine Laktaši, koja se nalazi na severozapadu Republike Srpske, visoke koncentracije mangana koje prelaze MDK propisanu od strane nacionalnog tela zabeležene su na lokalitetu Kriškovci. Za ispitivanja sprovedena u periodu od maja 2012. godine do aprila 2013. godine, koncentracije mangana su bile u intervalu od 0,38 mg/L do 0,86 mg/L (Nogić i sar., 2014).

U podzemnim vodama Panonskog basena (istočna Mađarska i zapadna Rumunija), koncentracije mangana veoma variraju od <0,001 mg/L do 0,336 mg/L (Rowland i sar., 2011).

U severozapadnim delovima Hrvatske, na području Koprivnica-Križevci, maksimalna koncentracija mangana u uzorcima podzemne vode, uzorkovanih sa pet različitih lokaliteta u periodu od 2011. godine do 2012. godine, je bila 36,2 $\mu\text{g/L}$ (Habuda-Stanić i sar., 2015).

U Škotskoj postoji sve više dokaza da koncentracija mangana u podzemnoj vodi prelazi nacionalni standard za vodu od 0,05 mg/L . Rezultati ispitivanja 475 uzoraka podzemne vode pokazali su da se koncentracije mangana kreću do 1,9 mg/L , sa srednjom koncentracijom od 0,013 mg/L , pri čemu 30% uzoraka prelazi nacionalnu MDK (Homoncik i sar., 2010).

U Švedskoj, srednja koncentracija mangana u 12 000 uzoraka je 0,06 mg/L. Kod 20% bunara, koncentracije mangana u vodi prelaze švedski nacionalni standard od 0,3 mg/L (*Ljung i Vahter, 2007*).

Prilikom ispitivanja 2160 privatnih bunara u Sjedinjenim Američkim Državama koji se koriste u domaćinstvu kao voda za piće, 5% testiranih uzoraka vode ima koncentraciju mangana veću od 0,4 mg/L i 21% ima koncentraciju koja prelazi *U.S. EPA* (2002b) sekundarni MCL od 0,05 mg/L (*DeSimone, 2008*).

U studiji koja je obuhvatila blizu 10 000 uzoraka podzemne vode na Novom Zelandu, *Daughney* (2003) je našao da kod 39% uzoraka koncentracija mangana prelaze 0,05 mg/L i kod 15% uzoraka koncentracija prelaze nacionalni standard od 0,5 mg/L.

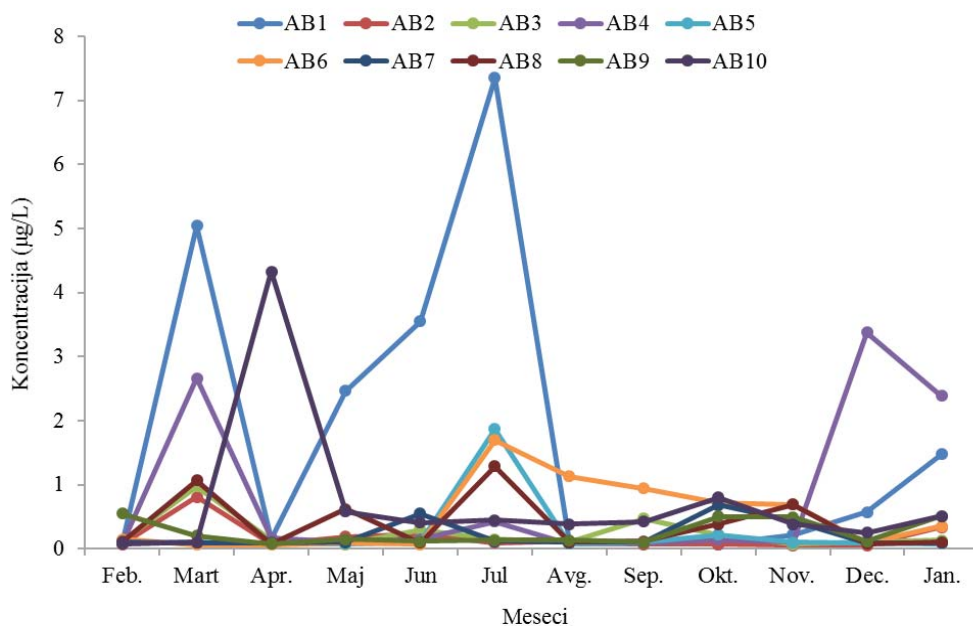
U Indiji, *Raman i Narayanan* (2008), su pronašli da je nivo mangana u podzemnoj vodi, koja se nalazi u oblasti odlaganja čvrstog otpada, od 0,142 mg/L do 2,360 mg/L.

U Pakistanu, na krajnjem jugoistoku zemlje, koncentracije mangana su u intervalu od 0,022 mg/L do 0,113 mg/L sa srednjom vrednošću od 0,087 mg/L (*Jakhrani, 2012*).

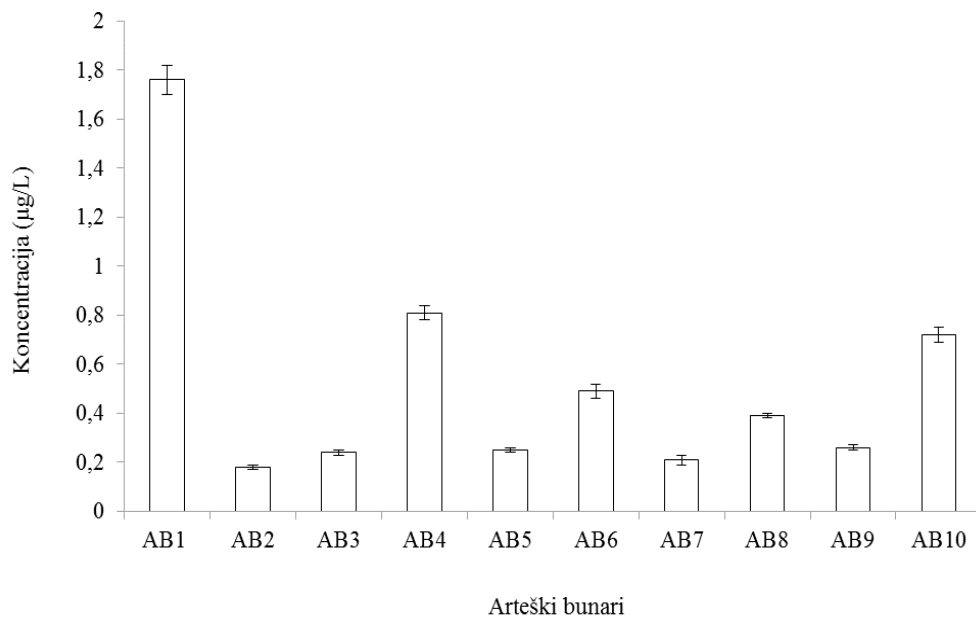
Nikl

Koncentracije nikla, određene ICP-OES i EAAS tehnikom, na svakom pojedinačnom lokalitetu kreću se u intervalu: (0,07 - 7,35) µg/L; (□0,1 - 8,4) µg/L (AB1); (0,052 - 0,801) µg/L; □0,1 - 0,89) µg/L (AB2); (0,07 - 0,97) µg/L; (□0,1 - 0,72) µg/L (AB3); (0,08 - 3,38) µg/L; (□0,1 - 3,6) µg/L (AB4); (0,09 - 1,87) µg/L; (□0,1 - 2,1) µg/L (AB5); (0,06 - 1,70) µg/L; (□0,1 - 1,8) µg/L (AB6); (0,09 - 0,68) µg/L; (□0,1 - 0,76) µg/L (AB7); (0,08 - 1,29) µg/L; (□0,1 - 1,44) µg/L (AB8); (0,06 - 0,55) µg/L; (□0,1 - 0,61) µg/L (AB9) i (0,08 - 4,33) µg/L; (□0,1 - 4,71) µg/L (AB10). Za navedeni period ispitivanja na svim lokalitetima koncentracije nikla, određene ICP-OES tehnikom, su u intervalu od 0,05 µg/L do 7,35 µg/L, sa srednjom vrednošću od 0,53 µg/L. Najveća koncentracija nikla izmerena je na lokalitetu AB1 u julu mesecu, dok je najmanja izmerena na lokalitetu AB2 u decembru (slika 65.). Koncentracije nikla u 88,3% uzoraka vode iz arteških bunara su manje od 1 µg/L. Varijacije u ispitivanom periodu kreću se od 0,49 µg/L (AB9) do 7,28 µg/L (AB1).

Srednje koncentracije nikla u vodi iz arteških bunara opadaju sledećim redosledom: AB1 □ AB4 □ AB10 = AB6 □ AB8 □ AB9 ≈ AB5 ≈ AB3 □ AB7 □ AB2 (slika 66.).



Slika 65. Mesečne promene koncentracije Ni u vodi iz arteških bunara (ICP-OES tehnika)



Slika 66. Srednje koncentracije Ni u vodi iz arteških bunara (ICP-OES tehnika)

Koncentracije nikla u uzorcima vode iz arteških bunara i sa najvećom izmerenom vrednošću od 7,35 µg/L nalaze se ispod preporučene vrednosti i MDK (*WHO, 2011a; Direktiva EU, 1989; Pravilnik o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće Republike Srpske, 2015*).

Nikl u podzemnu vodu dospeva rastvaranjem stena i minerala, preko atmosferskih padavina, kroz biološko truljenje i kao posledica ispuštanja otpadnih voda. Visoke koncentracije nikla u vodi obično su rezultat korozije legure nikla koje ulaze u sastav komponenti u distribucionom sistemu. Koncentracija nikla u podzemnoj vodi obično je manja od 20 µg/L (*U.S. EPA, 1986*), kao što je slučaj i sa ovim vodama. Koncentracija nikla u podzemnoj vodi zavisi od tipa zemljišta, pH vrednosti vode i dubine uzorkovanja. Kisela kiša povećava mobilnost nikla i na taj način može da poveća koncentraciju nikla u podzemnoj vodi (*IPCS, 1991*). U podzemnoj vodi sa pH vrednošću ispod 6,2, izmerene su koncentracije nikla i do 980 µg/L (*RIVM, 1994*).

Srednje koncentracije nikla u Holandiji kreću se u intervalu od 7,9 µg/L (u gradskoj sredini) do 16,6 µg/L (u seoskoj sredini) (*IPCS, 1991*).

U Danskoj, za period ispitivanja od 1993. godine do 2002. godine, nikl je detektovan u 3362 bunara od 6972 ispitanih. U 221 bunaru, koncentracija nikla je prelazila nacionalni standard od 20 µg/L (*Nielsen, 2009*).

U severozapadnim delovima Hrvatske, na području Koprivnica-Križevci, maksimalna koncentracija nikla u uzorcima podzemne vode, uzorkovanih sa pet različitih lokaliteta u periodu od 2011. godine do 2012. godine, je bila 17 µg/L (*Habuda-Stanić i sar., 2015*).

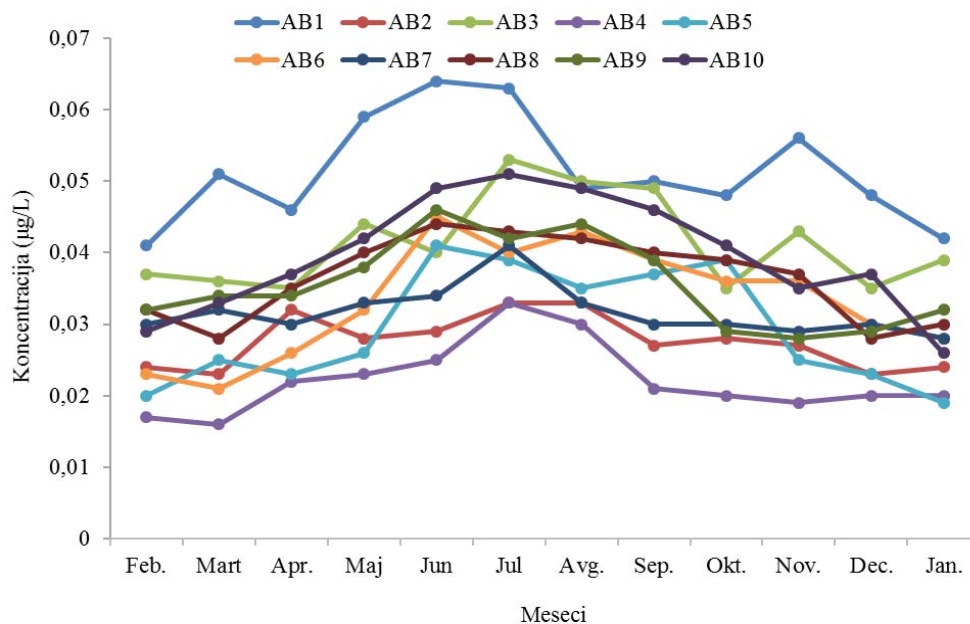
U Indiji, *Raman i Narayanan* (2008), su pronašli da je nivo nikla u podzemnoj vodi, koja se nalazi u oblasti odlaganja čvrstog otpada, u intervalu od 0,029 mg/L do 0,154 mg/L.

U Pakistanu, na krajnjem jugoistoku zemlje, koncentracije nikla su u intervalu od 0,006 mg/L do 0,086 mg/L, sa srednjom vrednošću od 0,022 mg/L (*Jakhrani, 2012*).

Selen

Koncentracije selena, određene ICP-OES tehnikom, na svakom pojedinačnom lokalitetu kreću se u intervalu: (0,041 - 0,064) µg/L (AB1); (0,023 - 0,033) µg/L (AB2); (0,035 - 0,053) µg/L (AB3); (0,016 - 0,033) µg/L (AB4); (0,019 - 0,041) µg/L (AB5); (0,028 - 0,045) µg/L (AB6); (0,028 - 0,041) µg/L (AB7); (0,028 - 0,044) µg/L (AB8); (0,029 - 0,046)

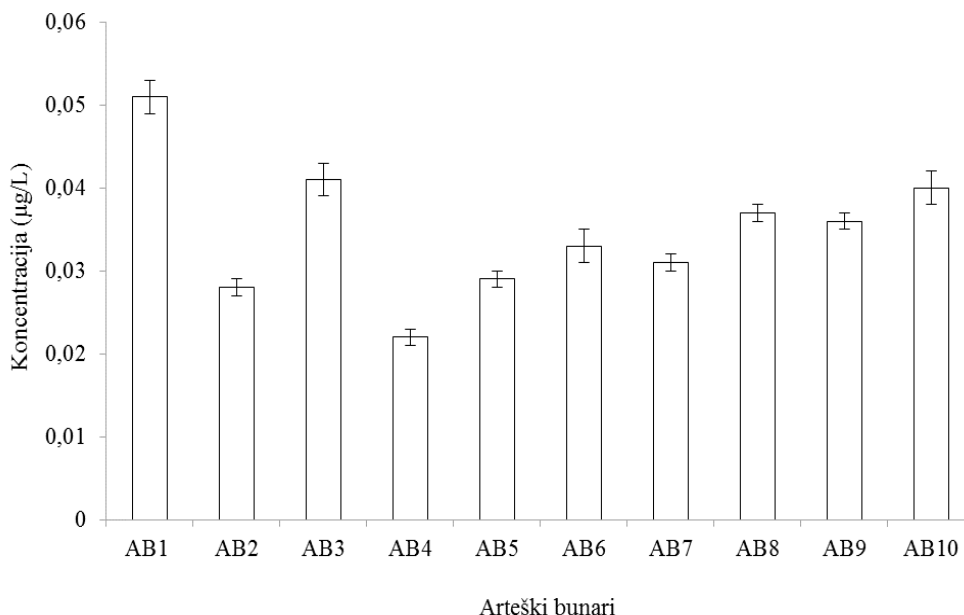
$\mu\text{g/L}$ (AB9) i (0,026 - 0,051) $\mu\text{g/L}$ (AB10). Koncentracije selena, određene EAAS tehnikom nalaze se ispod granice detekcije metode (1 $\mu\text{g/L}$). Za navedeni period ispitivanja na svim lokalitetima koncentracije selena, određene ICP-OES tehnikom, su u intervalu od 0,016 $\mu\text{g/L}$ do 0,064 $\mu\text{g/L}$, sa srednjom vrednošću od 0,035 $\mu\text{g/L}$. Najveća koncentracija selena izmerena je na lokalitetu AB1 u junu mesecu, dok je najmanja izmerena na lokalitetu AB4 u martu (slika 67.). Varijacije u ispitivanom periodu kreću se od 0,01 $\mu\text{g/L}$ (AB2) do 0,025 $\mu\text{g/L}$ (AB10).



Slika 67. Mesečne promene koncentracije Se u vodi iz arteških bunara (ICP-OES tehnika)

Srednje koncentracije selena u vodi iz arteških bunara opadaju sledećim redosledom:

AB1 \square AB3 \approx AB10 \square AB8 \approx AB9 \square AB6 \square AB7 \square AB5 \approx AB2 \square AB4 (slika 68.).



Slika 68. Srednje koncentracije Se u vodi iz arteških bunara (ICP-OES tehnika)

Koncentracije selena u uzorcima vode iz arteških bunara, sa najvećom izmerenom vrednošću od 0,064 µg/L, nalaze se daleko ispod preporučenih vrednosti i MDK (*WHO, 2011a; U.S. EPA, 2012; Direktiva EU, 1989; Pravilnik o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće Republike Srpske, 2015*).

Selen je metaloid koji se nalazi svuda u okruženju, u vidu neorganskih i organskih jedinjenja. Koncentracija selena u podzemnoj vodi obično je niska, ali može varirati u zavisnosti od geološke strukture. U oblastima u kojima preovlađuju škriljci, erozije mogu dovesti do prisustva selena u podzemnoj vodi. Antropogeni izvori zagađenja su: rafinerije bakra i olova, komunalne otpadne vode i mesta za odlaganje opasnog otpada. U vodi postoji u vidu jona Se^{4+} i Se^{6+} , a koji će oblik biti dominantan zavisi od pH vrednosti vode i oksidacionih uslova. U prirodnim vodama (pH vrednosti od 6,0 do 9,0) pod oksidacionim uslovima Se^{6+} je dominantan oblik u vidu dvovalentnog jona SeO_4^{2-} . Selen je u tragovima esencijalan element, ali je toksičan pri visokim koncentracijama. Kratka izloženost visokim koncentracijama selena putem vode za piće može da izazove mučninu, proliv, povraćanje, umor i razdražljivost, dok dugotrajna izloženost dovodi do oštećenja kose i noktiju, i tkiva

jetre. Međutim, izlaganja selenu putem vode za piće su neuporedivo niska u poređenju sa profesionalnim izlaganjem. Selen prisutan u vodi za piće ne utiče na ukus, miris i boju, tako da se može detektovati samo hemijskom analizom. Selen se ne određuje rutinskom kontrolom vode.

Koncentracija selena u podzemnoj vodi je obično niska i uglavnom manja od granice detekcije metode.

U ruralnim delovima istočne Hrvatske, istočnoj Slavoniji i Baranji, koncentracije selena u bunarskoj vodi su u intervalu od 0,001 µg/L do 0,334 µg/L (*Ćurković i sar., 2016*).

U severozapadnim delovima Hrvatske, na području Koprivnica-Križevci, maksimalna koncentracija selena u uzorcima podzemne vode, uzorkovanih sa pet različitih lokaliteta u periodu od 2011. godine do 2012. godine, je bila 1,4 µg/L (*Habuda-Stanić i sar., 2015*).

U podzemnim vodama Libije koncentracije selena su u intervalu od 0,022 mg/L do 0,058 mg/L (*Alhibshi i sar., 2014*).

Koncentracije selena u uzorcima podzemne vode koji su sakupljeni sa poljoprivrednih lokacija u Pandžabu u Indiji, su u intervalu od 43 µg/L do 341 µg/L (*Bajaj i sar., 2011*).

Visok nivo selena, u intervalu od 15 µg/L do 240 µg/L otkriven je u plitkim podzemnim vodama u seoskom području u Moldaviji (*Hannigan i sar., 2006*).

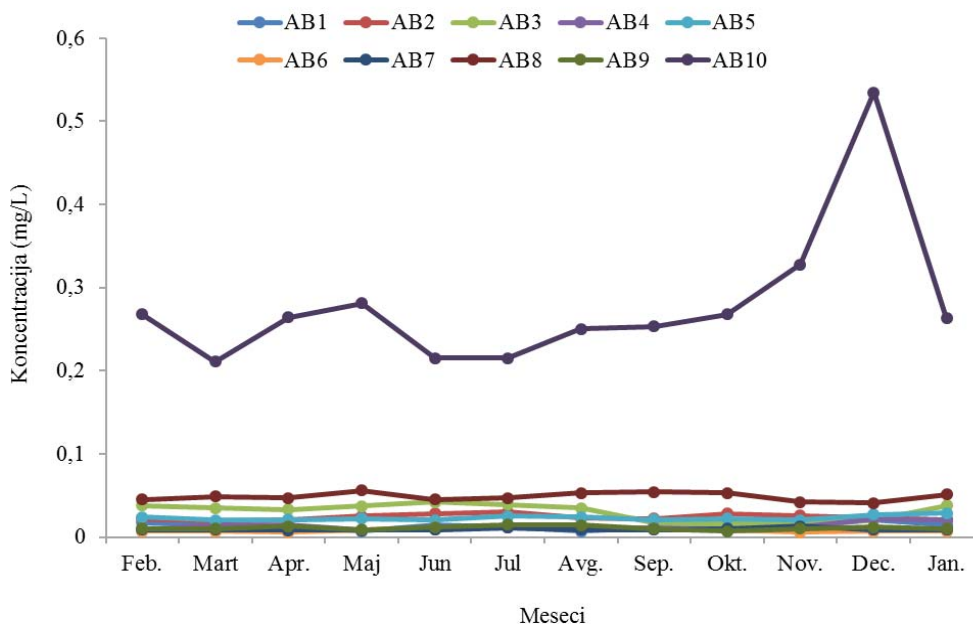
Koncentracije selena u uzorcima podzemne vode u zapadnoj Poljskoj su manje od granice detekcije metode (0,15 µg/L) (*Niedzielski i sar., 2001*).

Srednja mesečna koncentracija selena u periodu od 2001. godine do 2003. godine, u uzorcima podzemne vode u centralnom Japanu je 2,2 µg/L, sa rasponom od 1,6 µg/L do 2,4 µg/L (*Ham i sar., 2007*).

U Sjedinjenim Američkim Državama, u Teksasu, koncentracije selena u uzorcima podzemne vode su u intervalu od <1 µg/L do 117 µg/L, pri čemu 4% uzoraka vode prelazi nacionalni standard od 50 µg/L. Takođe je utvrđeno da su koncentracije selena znatno veće u plićim bunarima (*Hudak, 2010*).

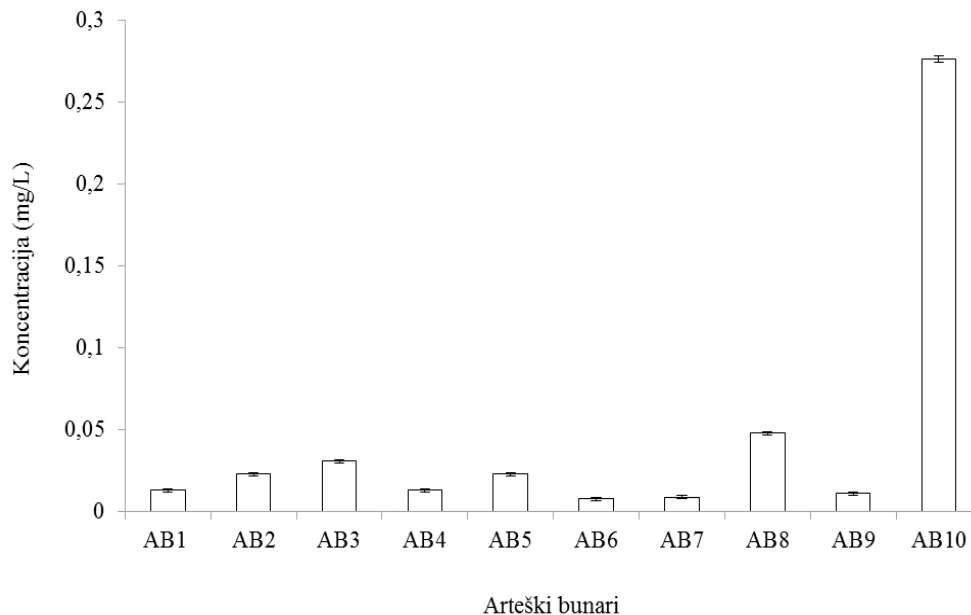
Cink

Koncentracije cinka, određene ICP-OES i FAAS tehnikom, na svakom pojedinačnom lokalitetu kreću se u intervalu: (0,007 - 0,021) mg/L; (\square 0,01 - 0,020) mg/L (AB1); (0,019 - 0,030) mg/L; \square 0,01mg/L (AB2); (0,016 - 0,042) mg/L; (0,0170 - 0,0510) mg/L (AB3); (0,008 - 0,022) mg/L; (\square 0,01 - 0,0238) mg/L (AB4); (0,020 - 0,029) mg/L; (0,022 - 0,031) mg/L (AB5); (0,006 - 0,012) mg/L; (\square 0,01 - 0,013) mg/L (AB6); (0,008 - 0,013) mg/L; (\square 0,01 - 0,014) mg/L (AB7); (0,042 - 0,056) mg/L; (0,046 - 0,061) mg/L (AB8); (0,007 - 0,015) mg/L; (\square 0,01 - 0,0160 mg/L) (AB9) i (0,211 - 0,535) mg/L; (0,235 - 0,563) mg/L (AB10). Za navedeni period ispitivanja na svim lokalitetima koncentracije cinka, određene ICP-OES tehnikom, su u intervalu od 0,006 mg/L do 0,535 mg/L, sa srednjom vrednošću od 0,046 mg/L. Najveća koncentracija cinka izmerena je na lokalitetu AB10 u decembru mesecu, dok je najmanja izmerena na lokalitetu AB6 u aprilu (slika 69.). Koncentracije cinka u 90% uzoraka vode iz arteških bunara su manje od 0,060 mg/L. Varijacije u ispitivanom periodu kreću se od 0,005 mg/L (AB7) do 0,324 mg/L (AB10).



Slika 69. Mesečne promene koncentracije Zn u vodi iz arteških bunara (ICP-OES tehnika)

Srednje koncentracije cinka u vodi iz arteških bunara opadaju sledećim redosledom: AB10 >> AB8 > AB3 > AB2 ≈ AB5 > AB1 = AB4 > AB9 > AB7 ≈ AB6 (slika 70.).



Slika 70. Srednje koncentracije Zn u vodi iz arteških bunara (ICP-OES tehnika)

Koncentracije cinka, sa najvećom izmerenom vrednošću od 0,535 mg/L, u uzorcima vode iz arteških bunara nalaze se ispod preporučene vrednosti i MDK (*U.S. EPA, 2012; Pravilnik o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće Republike Srpske, 2015*).

Cink se u prirodi nalazi u malim koncentracijama u mnogim stenama i zemljištu, odakle putem erozije može dospeti u podzemnu vodu. Međutim, zbog svoje ograničene mobilnosti iz stena ili drugih prirodnih izvora, koncentracije ovog metala u podzemnoj vodi su niske. Visoke koncentracije cinka obično su povezane sa korozijom cevi. Cink je esencijalan element neophodan za rast i razvoj, ali unet u visokim koncentracijama putem vode za piće može da izazove stomachne tegobe, mučninu i povraćanje. Cink, u koncentracijama u kojima je prisutan u vodi za piće nema štetne efekte po zdravlje ljudi, ali utiče na njene organoleptičke osobine: daje nepoželjan opor ukus vodi, čini je opalescirajućom i formira masni talog. Iako utiče na njene organoleptičke osobine, prisustvo

cinka u vodi za piće najbolje je utvrditi odgovarajućom hemijskom analizom. Međutim, cink se ne određuje rutinskom kontrolom vode.

U prirodnim površinskim vodama, koncentracije cinka su obično ispod 10 µg/L, dok su u podzemnim vodama u intervalu od 10 µg/L do 40 µg/L (*Elinder, 1986*). Prisustvo cinka u vodi za piće je najčešće posledica "curenja" cinka iz cevovoda i armature. Za korozivnost vode odgovorni su niska pH vrednost, visok sadržaj ugljen dioksida i nizak sadržaj mineralnih materija. Sa slike 70. može se videti da je sadržaj cinka u AB10 znatno viši u odnosu na ostale arteške bunare. Ova pojava se može objasniti upravo "curenjem" cinka iz starih cevi. Voda iz ovog bunara ima najmanju pH vrednost, u odnosu na vodu iz ostalih arteških bunara, kao i nizak sadržaj minerala (električna provodljivost), što je i doprinelo rastvaranju cinka iz cevi i povećanja njegove koncentracije u vodi. Korozivnosti vode AB10 doprineo je i povišen sadržaj ugljen dioksida, koji je zajedno sa niskom pH vrednošću odgovoran za visok sadržaj kalcijuma i cinka u vodi AB10.

U severozapadnim delovima Hrvatske, na području Koprivnica-Križevci, maksimalna koncentracija cinka u uzorcima podzemne vode, uzorkovanih sa pet različitih lokaliteta u periodu od 2011. godine do 2012. godine, je bila 40,9 µg/L (*Habuda-Stanić i sar., 2015*).

U podzemnim vodama Libije koncentracije cinka su u intervalu od <0,022 mg/L do 0,173 mg/L (*Alhibshi i sar., 2014*).

U podzemnim vodama Maroka koncentracije cinka su u intervalu od 28 µg/L do 99 µg/L (*Taouil i sar., 2014*).

U Pakistanu, na krajnjem jugoistoku zemlje, koncentracije cinka su u intervalu od 0,026 mg/L do 0,068 mg/L, sa srednjom vrednošću od 0,047 mg/L (*Jakhrani, 2012*).

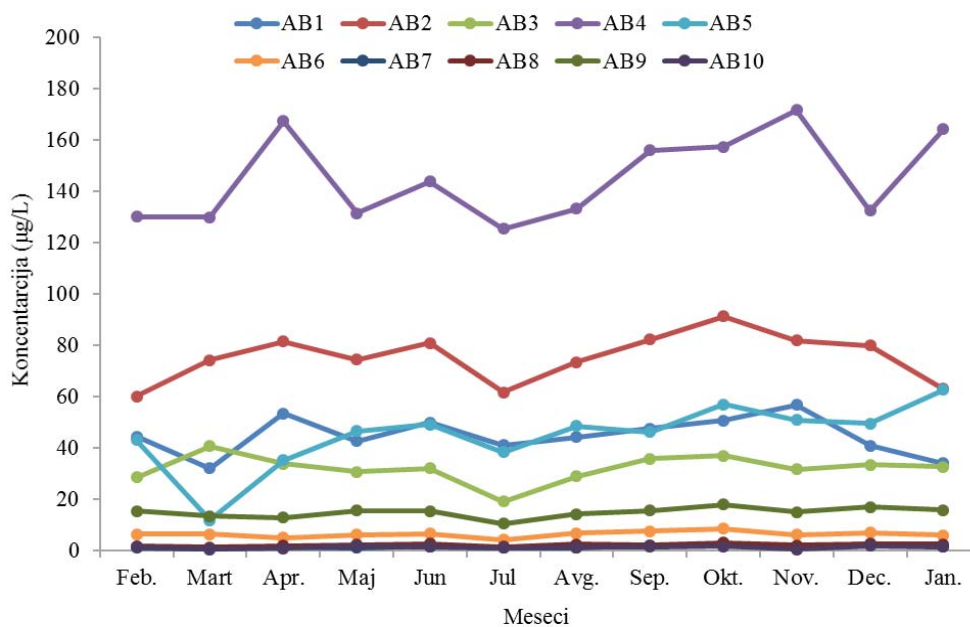
Podzemne vode pored esencijalnih mikroelemenata mogu da sadrže i mikroelemente koji su potencijalno toksični kao što su antimon, arsen, kadmijum i olovo. Neka novija istraživanja su pokazala da metali kao što su aluminijum, kadmijum i olovo, koji spadaju u grupu neesencijalnih i toksičnih elemenata, u veoma malim koncentracijama poseduju svojstva koja se mogu smatrati esencijalnim za žive organizme. Međutim, takva biohemijska funkcija ovih elemenata još uvek nije u potpunosti potvrđena (*O'Dell i Sunde, 1997; Nielsen, 1998*).

Arsen

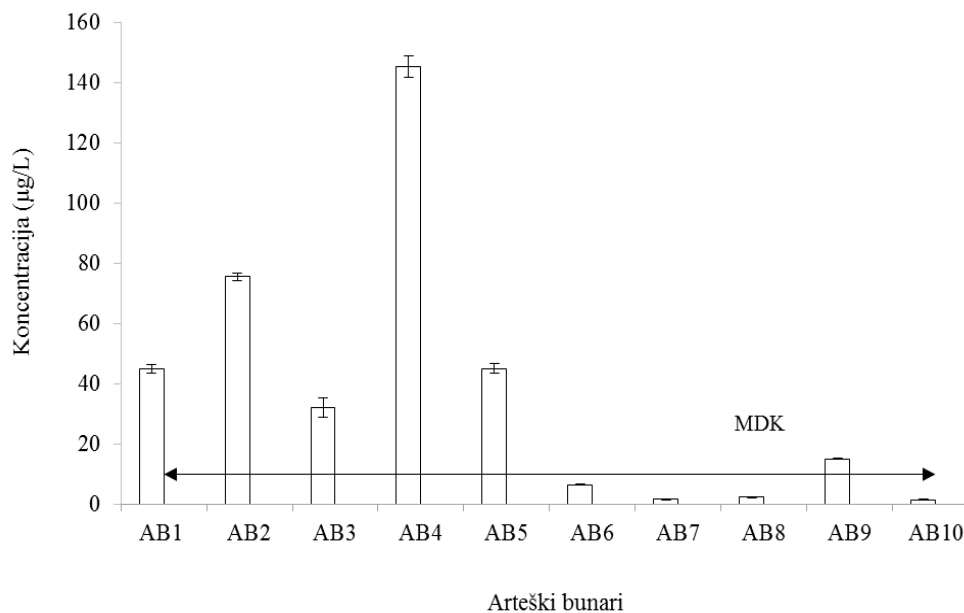
Koncentracije arsena, određene ICP-OES i EAAS tehnikom, na svakom pojedinačnom lokalitetu kreću se u intervalu: (31 – 54) µg/L; (32 – 57) µg/L (AB1); (58 – 88) µg/L; (60 - 91) µg/L (AB2); (18,2 - 39,2) µg/L; (19,0 – 40,8) µg/L (AB3); (121 – 166) µg/L; (125 – 172) µg/L (AB4); (11 – 60) µg/L; (12 – 63) µg/L (AB5); (4,0 - 8,2) µg/L; (4,2 - 8,6) µg/L (AB6); (0,5 - 2,4) µg/L; (0,6 - 2,6) µg/L (AB7); (1,3 - 2,9) µg/L; (1,4 - 3,1) µg/L (AB8); (10,1 - 17,0) µg/L; (10,6 - 17,9) µg/L (AB9) i (0,6 - 1,9) µg/L; (0,6 - 2,0) µg/L (AB10). Za navedeni period ispitivanja na svim lokalitetima koncentracije arsena, određene EAAS tehnikom, su u intervalu od 0,6 µg/L do 172 µg/L, sa srednjom vrednošću od 36,9 µg/L. Najveća koncentracija arsena izmerena je na lokalitetu AB4 u novembru mesecu, dok je najmanja izmerena na lokalitetu AB7 u martu mesecu (slika 71.). Varijacije u ispitivanom periodu kreću se od 1,4 µg/L (AB10) do 46,4 µg/L (AB4).

Rezultati određivanja arsena pokazuju da samo voda iz arteških bunara AB6, AB7, AB8 i AB10 zadovoljava propisane vrednosti, dok su koncentracije arsena u ostalim uzorcima vode iz arteških bunara daleko iznad preporučenih vrednosti i MDK (10 µg/L) (*WHO, 2011a; U.S. EPA, 2012; Direktiva EU, 1989; Pravilnik o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće Republike Srpske, 2015*).

Koncentracije As u vodi iz arteških bunara opadaju sledećim redosledom: AB4 □□ AB2 > AB5 ≈ AB1 > AB3 > AB9 > AB6 > AB8 > AB7 > AB10 (slika 72.).

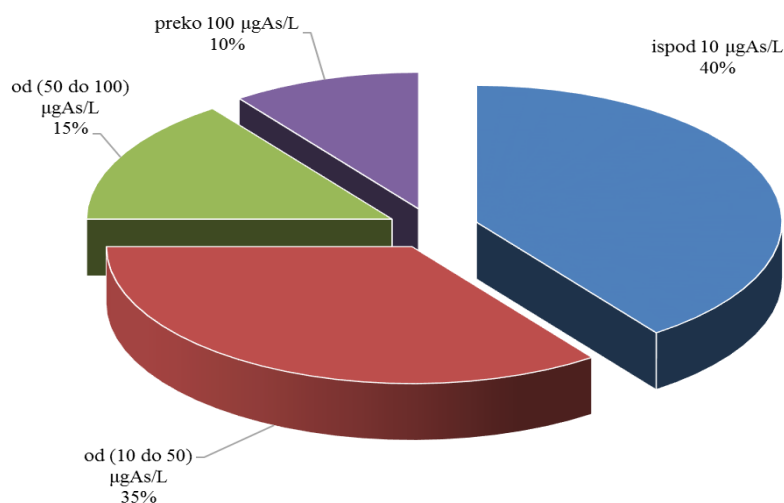


Slika 71. Mesečne promene koncentracije As u vodi iz arteških bunara (EAAS tehnika)



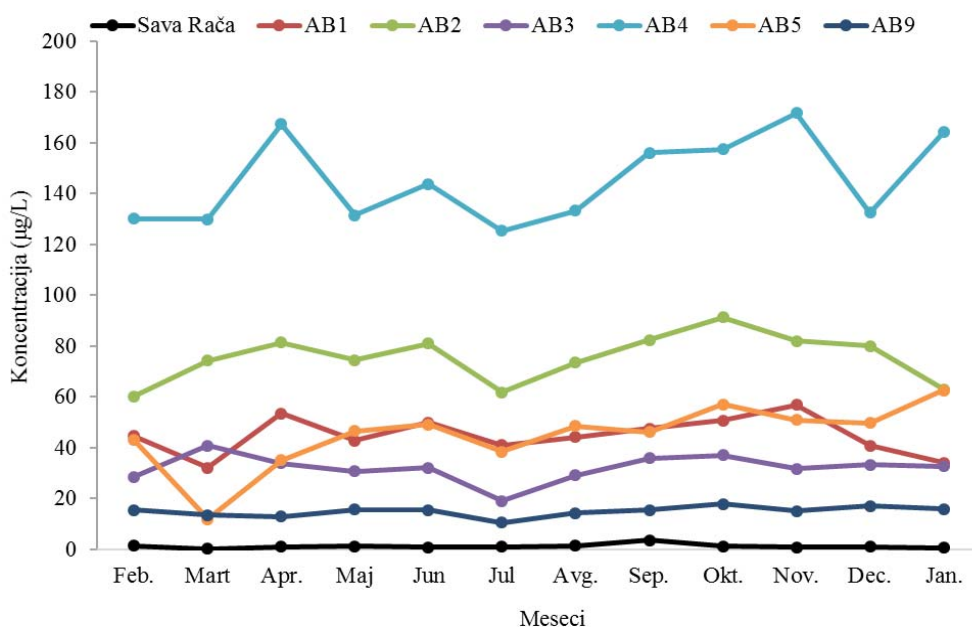
Slika 72. Srednje koncentracije As u vodi iz arteških bunara (EAAS tehnika)

Na slici 73. dat je prikaz procentualne raspodele koncentracije arsena u vodi iz arteških bunara uzimajući u obzir MDK propisanu u *Pravilniku o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće Republike Srpske* (2015). Sa slike 73. se može zaključiti da od ukupno 120 uzoraka vode iz arteških bunara, 40% uzoraka ima koncentraciju arsena koja je ispod MDK (10 $\mu\text{g/L}$) (AB6, AB7, AB8 i AB10). Od preostalih 60% uzoraka, čija je koncentracija za arsen veća od MDK, 35% ima koncentraciju između 10 $\mu\text{g/L}$ i 50 $\mu\text{g/L}$, 15% uzoraka ima koncentraciju između 50 $\mu\text{g/L}$ i 100 $\mu\text{g/L}$, dok 10% uzoraka ima koncentraciju koja je veća od 100 $\mu\text{g/L}$ (AB4).



Slika 73. Procentualna raspodela koncentracija As u vodi iz arteških bunara

U okviru Međunarodnog nacionalnog monitoringa vodotoka u Republici Srpskoj (*Institut za vode Bijeljina, 2011; Institut za vode Bijeljina 2012*), u periodu od februara 2011. godine do januara 2012. godine, izvršeno je određivanje fizičko-hemijskih parametara reke Save (profil Rača) u okviru kojeg je, između ostalog, određivan i arsen. Frekvencija uzorkovanja bila je jednom mesečno. Koncentracije arsena u reci Savi kretale su se od 0,23 do 3,52 $\mu\text{g/L}$. S obzirom na to da se arteški bunari nalaze uz samu reku Savu, a posebno AB4, može se doći do zaključka da ne dolazi do mešanja podzemne vode sa površinskom vodom (slika 74.).

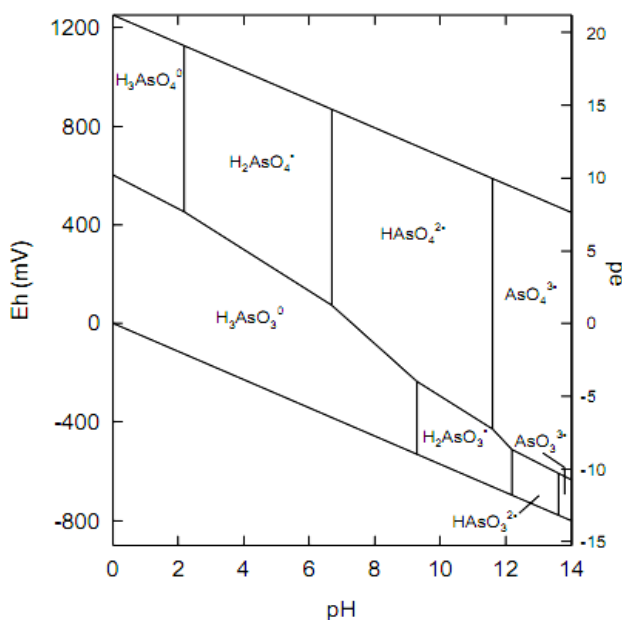


Slika 74. Uporedni prikaz koncentracije As u vodi iz arteških bunara i reci Savi

Arsen se prirodno javlja u stenama, zemljištu, vodi, vazduhu, biljkama i životinjama. U okruženju postoje mnoga jedinjenja arsena, kako organska tako i neorganska. U prirodnim vodama nalazi se u vidu stabilnih arsenat (As^{5+}) i arsenit (As^{3+}) oksianjona. Koji će oblik dominirati uglavnom zavisi od pH vrednosti i elektrodnog potencijala, ali i od prisustva mikroba i precipitirajućih metala kao što su Mn i Fe (*Spliethoff i sar., 1995; Smedley i sar., 2002*). Arsen je jedinstven među metaloidima i elementima koji formiraju oksianjone, po svojoj mobilnosti pri pH vrednostima koje obično postoje u podzemnoj vodi (6,5 - 8,5), kako

pri redukcionim, tako i pri oksidacionim uslovima. Redukovani, trovalentni oblik As^{3+} prirodno se nalazi u podzemnoj vodi (pri anaerobnim uslovima), dok je oksidovani, petovalentni oblik As^{5+} takođe detektovan u površinskoj vodi (pri aerobnim uslovima). Glavne čestice As pronađene u uzorcima okoline su As^{3+} , As^{5+} , arsenitna kiselina (H_3AsO_3 , H_2AsO_3^- , HAsO_3^{2-}) i arsenasta kiselina (H_3AsO_4 , H_2AsO_4^- , HAsO_4^{2-}). Pod oksidacionim uslovima, arsenat je dominantan, u obliku H_2AsO_4^- pri niskim vrednostima pH (>6,9), ili kao HAsO_4^{2-} oblik pri visokim vrednostima pH. Pod redukcionim uslovima pri pH vrednostima <9,2, neutralna čestica arsenita H_3AsO_3 je dominantna (slika 73.) (Brookins, 1988; Smedley i Kinniburgh, 2002; Yan i sar., 2000). U podzemnoj vodi u kojoj vladaju redukциони uslovi, arsen postoji u vidu arsenita, dok u površinskoj vodi u oksidacionim uslovima dolazi do oksidacije arsenita u arsenate. Raspodela različitih vrsta čestica arsena u funkciji od pH vrednosti prikazana je na slici 75.

U podzemnoj vodi mobilnost As^{3+} jona je veća od As^{5+} , jer je adsorpcija As^{3+} jona slabija od As^{5+} . Redukcija As^{5+} u As^{3+} u prisustvu gvožđa odvija se relativno brzo u poređenju sa adsorpcijskim procesom As^{5+} . Adsorpcijski optimum za As^{3+} je pri pH vrednosti 7 dok je taj optimum za As^{5+} pri pH vrednosti 4,45.



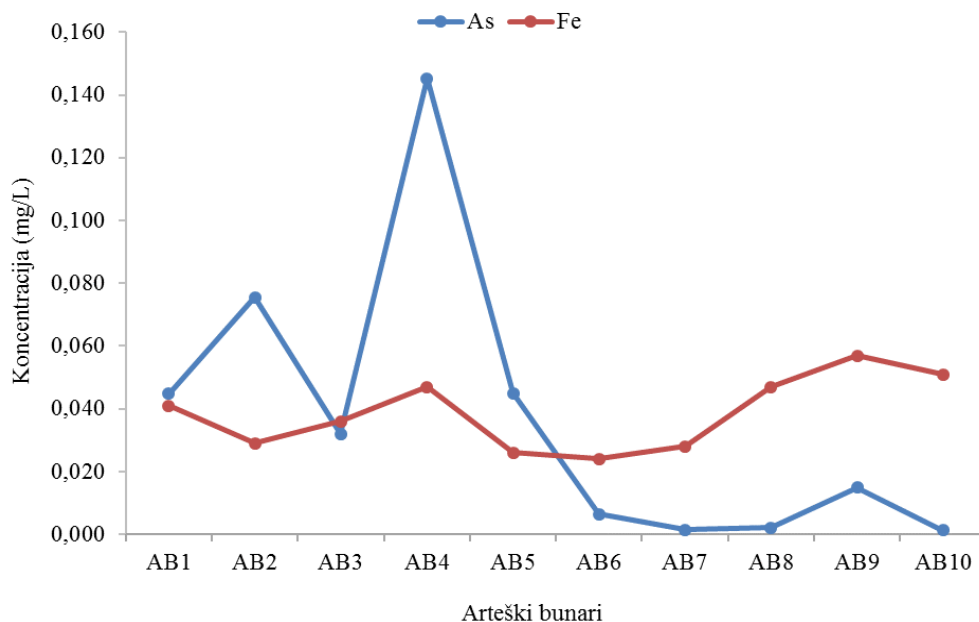
Slika 75. Eh-pH dijagram specijacije neorganskog As u vodenom rastvoru na 25 °C

U praksi, većina studija o specijaciji ne uzima u obzir stepen protonovanja. U prisustvu ekstremno visoke koncentracije redukovanog sumpora, rastvaranje čestica arsen sulfida može biti značajno. Redukcioni, kiseli uslovi favorizuju precipitacije orpimenta (As_2S_3), realgara (AsS) ili drugih sulfidnih minerala koji sadrže koprecipitovan arsen, tako da se visoke koncentracije arsena u vodi ne očekuju tamo gde je visoka koncentracija slobodnog sulfida (*Moore i sar., 1988*). Redoks reakcije između As^{3+} i As^{5+} mogu biti olakšane ili inhibirane prisustvom mikroba ili metala u vodi (*McCleskey i sar., 2004*). Veliki broj toksičnih metala u tragovima u rastvorima se javljaju kao katjoni (Pb^{2+} , Cu^{2+} , Ni^{2+} , Cd^{2+} , Co^{2+} , Zn^{2+}), čija nerastvorljivost uopšteno raste sa porastom pH vrednosti. Na približno neutralnim vrednostima pH, tipičnim za većinu podzemnih voda, rastvorljivost većine katjona metala u tragovima je strogo ograničena taloženjem (precipitacijom) ili koprecipitacijom sa oksidnim, hidroksidnim, karbonatnim ili fosfatnim mineralima, ili još verovatnije njihovom strogom adsorpcijom na hidratizane metalne okside, glinu ili organske materije. Suprotno tome, većina oksianjona, uključujući i arsenate, se slabije sorbuje sa porastom pH vrednosti (*Dzombak i Morel, 1990*). Pod određenim uslovima, ovi anjoni mogu postojati u rastvoru u relativno visokim koncentracijama (desetine $\mu\text{g/L}$) čak i pri skoro neutralnim pH vrednostima. Stoga oksianjoni koje formiraju elementi kao što su Cr, As, U i Se su neki od najčešćih elemenata u tragovima koji su zagađivači podzemne vode (*Smedley i Kinniburgh, 2002*). Međutim, u odnosu na oksianjone koje formiraju drugi elementi, arsen je jedan od najvećih problema u okruženju zbog svoje velike mobilnosti u širokom opsegu redoks potencijala. U redukcionim sredinama bogatim sumporom, mnogi od metala u tragovima takođe formiraju nerastvorljive sulfide. U suprotnom, arsen je možda jedinstven u tome što je relativno mobilan u redukcionim uslovima. Zbog toga se može naći u koncentracijama u opsegu od nekoliko mg/L kada su svi oksianjoni drugih metala prisutni u opsegu od nekoliko $\mu\text{g/L}$.

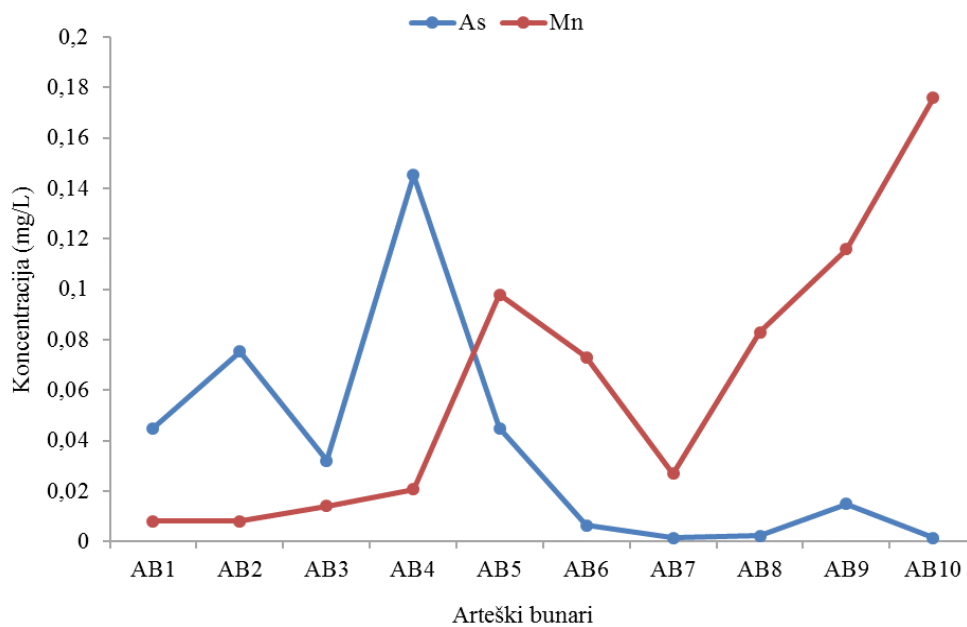
Organski oblici arsena prisutni u površinskoj vodi, mogu nastati biološkom aktivnošću, ali su oni veoma retko od kvantitativnog značaja. Ovaj element je dosta uključen u biohemijske procese. Kao rezultat biometilacije, derivati arsena kao što su dimetilarsinska (DMAK) i monometilarsonska kiselina (MMAK) ($(\text{CH}_3)_2\text{AsOOH}$ i $\text{CH}_3\text{AsO}(\text{OH})_2$) mogu nastati. Dimetilarsinska kiselina se teško oksiduje i može biti glavni deo rastvorenog arsena u površinskoj vodi (*Hem, 1985*). Arsenati, arseniti, DMAK i MMAK su četiri oblika arsena koji se mogu javiti u vodenoj sredini. Istraživanja su pokazala da je As^{3+} približno 60 puta

toksičniji od As^{5+} , i da je neorganski arsen 100 puta toksičniji od organskih jedinjenja arsena (Rietkerk, 2007).

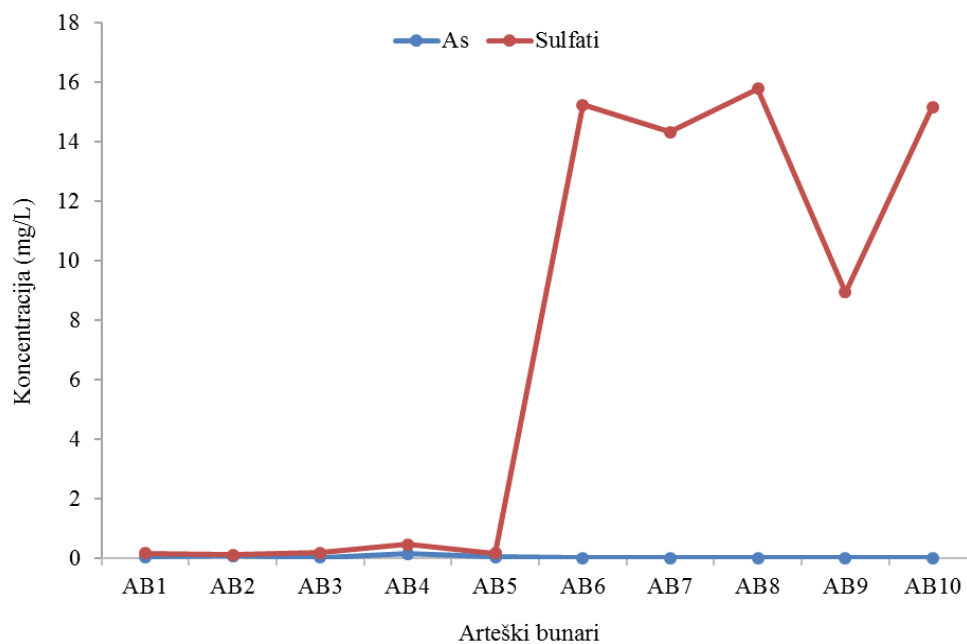
Uslovi koji favorizuju migraciju arsena zajedno sa redukcionim uslovima su: nizak nivo električne provodljivosti (<50 mV), odsustvo rastvorenog kiseonika, visoke koncentracije gvožđa, mangana i amonijum jona, visok alkalitet, prisustvo organske materije i niska koncentracija sulfata (<5 mg/L) (Smedley i Kinniburgh, 2002). U uzorcima vode iz arteških bunara, u kojima su određene visoke koncentracije arsena, nije zabeležen povećan sadržaj gvožđa i mangana (slike 76. i 77.), ali je zato zabeležena niska koncentracija sulfata i visoka koncentracija amonijum jona. U arteškim bunarima sa visokim sadržajem arsena (većim od 30 $\mu\text{g/L}$), koncentracije sulfata su manje od 1 mg/L (slika 78.).



Slika 76. Uporedni prikaz koncentracije As i Fe u vodi iz arteških bunara

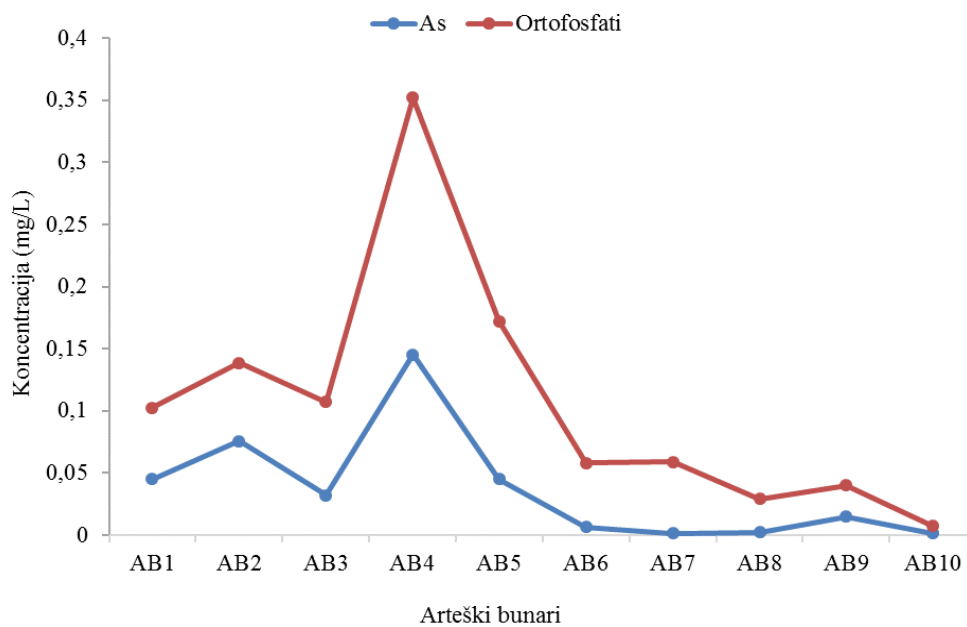


Slika 77. Uporedni prikaz koncentracije As i Mn u vodi iz arteških bunara

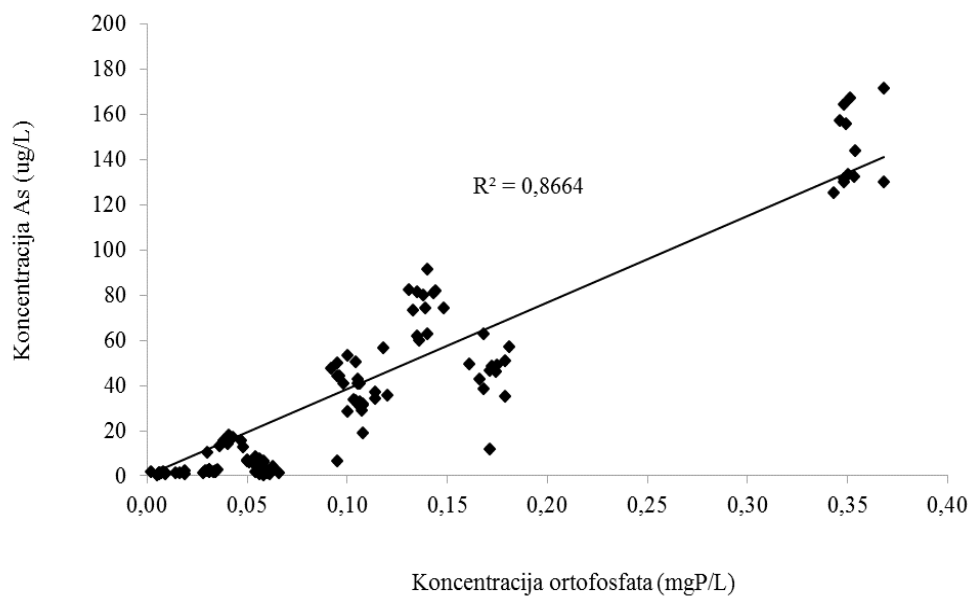


Slika 78. Uporedni prikaz koncentracije As i SO_4^{2-} u vodi iz arteških bunara

U vodi iz arteških bunara u kojima su određene visoke koncentracije arsena, istovremeno su određene i visoke koncentracije ortofosfata (slike 79.a i b). Sa slike 79.a i b. se može videti da postoji visoka linearna zavisnost između koncentracija arsena i ortofosfata ($R^2 = 0,8664$) u uzorcima vode iz arteških bunara.



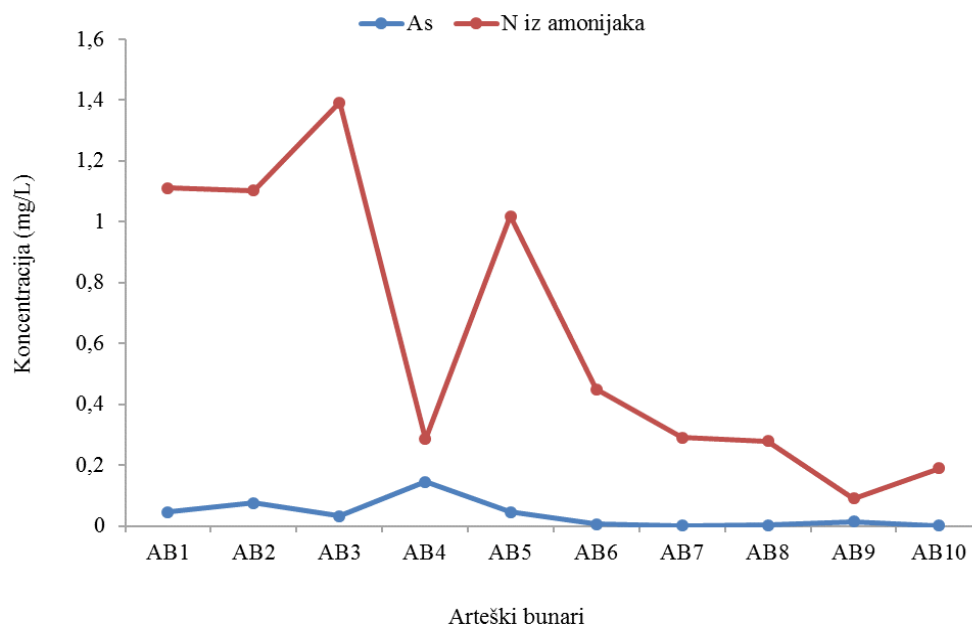
a)



b)

Slika 79. Uporedni prikaz koncentracije As i $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ u vodi iz arteških bunara

U uzorcima vode iz arteških bunara sa povišenim sadržajem arsena, osim u AB4, određen je i visok sadržaj amonijačnog azota (slika 80.).



Slika 80. Uporedni prikaz koncentracije As i $\text{NH}_4^+\text{-N}$ u vodi iz arteških bunara

Kontaminacija podzemne vode arsenom danas je jedan od velikih problema u svetu koji se povezuje sa mnogim zdravstvenim problemima, kao što su različite vrste raka, kardiovaskularne bolesti, kožne promene i anemija (Romić i sar., 2010; Voice i sar., 2011). Danas postoji veliki broj izveštaja koji govore o hroničnom trovanju zbog primene kontaminirane vode širom sveta. Samo u Bangladešu, procenjuje se da je skoro 40 miliona ljudi bilo otrovano zbog izloženosti visokim koncentracijama arsena u vodi za piće (Smedley i Kinniburgh, 2002; Zheng i sar., 2004). Pored Bangladeša, prirodna kontaminacija podzemnih voda arsenom primećena je u mnogim zemljama širom sveta, uključujući Argentinu, Kanadu, Čile, Kinu, Finsku, Mađarsku, Indiju, Japan, Meksiko, Mongoliju, Tajvan i Sjedinjene Američke Države (Hildum, 2013).

Na teritoriji Semberije ne postoje podaci o hroničnom trovanju stanovništva arsenom, što ne mora da znači da ih nema.

Izvori podzemnih voda u Panonskom basenu (Mađarska, Rumunija, Slovačka, Hrvatska i Srbija) sadrže povišene koncentracije prirodnog arsena. Smatra se da je skoro milion ljudi u oblasti Panonskog basena izloženo koncentracijama arsena većim od $10 \mu\text{g/L}$,

koliko je MDK za arsen u pijaćoj vodi, čineći je najvećom ugroženom oblasti te vrste u Evropi (Rowland i sar., 2011). Visoke koncentracije arsena u podzemnoj vodi detektovane su u Bački i Banatu (*Arsenic platform, 2013*), kao i u istočnom delu Hrvatske, u Osijeku (*Habuda-Stanić i Kuleš, 2002*). Oko 40% stanovništva na području Bačke i srednjeg i severnog Banata se snabdeva vodom koja sadrži više od 10 µg/L arsena. U većini slučajeva koncentracije arsena u vodi za piće se kreću od 50 µg/L do 100 µg/L, ali ima i gradova kao što su Zrenjanin i Temerin gde se koncentracije arsena u vodi za piće kreće od 150 µg/L do 250 µg/L (*Arsenic platform, 2013*).

Ujević i saradnici (2010) su istraživali faktore koji utiču na povećane koncentracije arsena u podzemnim vodama Istočne Hrvatske. Arsen je detektovan u 46 od ukupno 56 uzoraka podzemne vode sa maksimalnom koncentracijom do 491 µg/L. U približno 64% uzoraka, koncentracije arsena su prelazile 10 µg/L, a u vodi iz 20 bunara koncentracije su bile iznad 100 µg/L. Rastvorene neorganske anjonske specijacije arsena dominiraju sa arsenitom kao osnovnom formom. Prostorna raspodela arsena u podzemnoj vodi je funkcionalno zavisna od geološkog, geomorfološkog i hidrogeološkog razvoja aluvijalnih basena Drave i Save. Najverovatniji izvori arsena u podzemnoj vodi su duboki sedimenti iz srednjeg i gornjeg pleistocena, kada su deponovani permeabilni sedimenti najperspektivniji za snabdevanje vodom. Dobijeni rezultati ukazuju na to da su biogeohemijski procesi koji kontrolišu koncentracije arsena u podzemnoj vodi kompleksni i specifični za određenu lokaciju. Rastvaranje oksida gvožđa u anoksičnoj sredini, desorpcija arsena sa oksida gvožđa i/ili minerala gline, kao i kompeticija za sorpciona mesta sa organskim molekulima i jonima fosfata mogu biti glavni mehanizmi koji kontrolišu mobilizaciju arsena. Arsen u podzemnoj vodi određenog područja može biti u korelaciji sa amonijum jonom i vodonik sulfidom, što može da ukaže na povezanost visokih koncentracija arsena i degradacije organske materije.

U ruralnim delovima istočne Hrvatske, istočnoj Slavoniji i Baranji, koncentracije arsena u bunarskoj vodi su u intervalu od 0,257 µg/L do 134,8 µg/L (*Ćurković i sar., 2016*).

U severozapadnim delovima Hrvatske, na području Koprivnica-Križevci, maksimalna koncentracija arsena u uzorcima podzemne vode, uzorkovanih sa pet različitih lokaliteta u periodu od 2011. godine do 2012. godine, iznosila je 6,9 µg/L (*Habuda-Stanić i sar., 2015*).

Na severu Grčke, u oblasti Halkidikija, koncentracije arsena veoma variraju i kreću se u intervalu od 1 µg/L do 1840 µg/L. Čak 65% ispitanih podzemnih voda ima koncentracije

arsena koje su veće od MDK od 10 µg/L, pri čemu arsen pokazuje visoku korelaciju sa kalijumom, borom, bikarbonatima, natrijumom, manganom i gvožđem (*Kouras i sar., 2007*).

Rowland i saradnici (2011) su istraživali podzemne vode sa područja Rumunije i Mađarske kako bi objasnili geohemiju i identifikovali procese koji kontrolišu mobilizaciju arsena. Koncentracije arsena su se kretale u intervalu od 0,5 µg/L do 240 µg/L sa dominirajućom formom anjona arsenita u podzemnoj vodi. U redukcionoj akvatičnoj sredini oksidi gvožđa se pojavljuju u izdanima i nalaze se u asocijaciji sa mineralima arsena što sugeriše rastvaranje arsena sa površine oksida u anoksičnoj sredini uz oslobađanje jonskih oblika arsena unutar Panonskog basena. Mobilizacija i oslobađanje arsena kontrolisano je redoks uslovima zona nalaženja arsena, bez obzira na starost podzemne vode ili sedimenta.

Smith i saradnici (2000) utvrdili su da je 27% uzoraka podzemne vode, koja se koristi za vodosnabdevanje u Bangladešu, ima koncentraciju arsena veću od 50 µg/L, a koja predstavlja lokalni standard. Procenjeno je da je od 35 miliona do 77 miliona ljudi u Bangladešu izloženo koncentracijama arsena u vodi za piće većim od dopuštene. Istraživanje sprovedeno 1997. godine na 32 651 uzoraka vode iz plitkih bunara pokazalo je da je 62% uzoraka imalo koncentraciju arsena veću od 100 µg/L.

Mazumdera i saradnici (1998) ispitujući 7683 uzoraka vode koja se koristi za piće na području zapadnog Bengala u Indiji, utvrdili su maksimalne koncentracije arsena od 3400 µg/L. Od ispitivanih uzoraka, više od 80% njih imalo je koncentraciju arsena veću od 500 µg/L.

Sun (2004) je utvrdio da oko 11% bunara koji se koriste za vodosnabdevanje u Kini ne zadovoljava propisani nacionalni standard od 50 µg/L. Najkritičnija je situacija na području provincije Šanksi, gde je 52% uzoraka prelazilo granične vrednosti.

Prosečna koncentracija arsena u vodi koja se koristila za vodosnabdevanje u severnom Čileu od 1955. godine do 1969. godine iznosila je 570 µg/L. Primenom različitih mera ta je vrednost do kraja 1980. godine spuštena ispod 100 µg/L (*Smit i sar. 1998*).

Koncentracije arsena čak do 1097 µg/L nađene su u bunarima koji se koriste za vodosnabdevanje područja Zimapán Valley u Meksiku (*Armieta i sar., 1997*). *Rosas i saradnici* (1999) na temelju analize 73 uzorka bunarske vode sa područja Komarca Lagunera u Meksiku utvrdili su da se koncentracija arsena nalaze od 7 µg/L do 740 µg/L.

Nickson i saradnici (2005) su našli da koncentracija arsena u uzorcima vode za piće u Muzafargarhu u Pakistanu, doseže do 906 $\mu\text{g/L}$ i da je u 58% uzoraka vode veća od 10 $\mu\text{g/L}$.

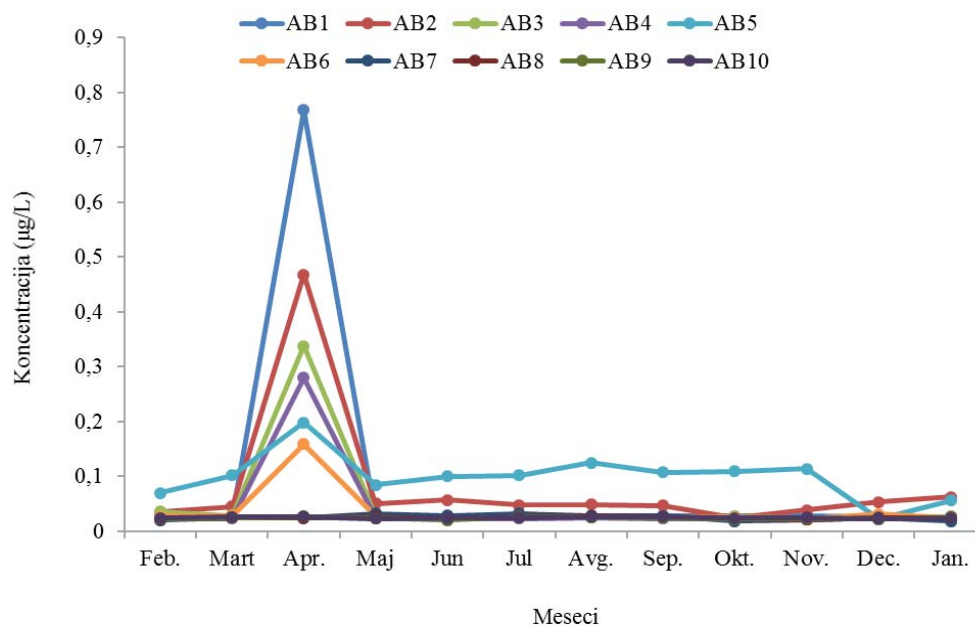
Rezultati analize 25058 uzoraka podzemne vode, u 20 različitih oblasti u Napelu, pokazali su da 23% uzoraka sadrži od 10 $\mu\text{g/L}$ do 50 $\mu\text{g/L}$ arsena, kao i da 8% uzoraka sadrži više od 50 $\mu\text{g/L}$ arsena (Thakur i sar., 2011).

Arsen ne utiče na organoleptičke osobine vode (boja, ukus, miris) i zato se može otkriti u vodi samo rutinskom analizom. Nažalost, u Republici Srpskoj arsen ne spada u osnovne analize vode za piće.

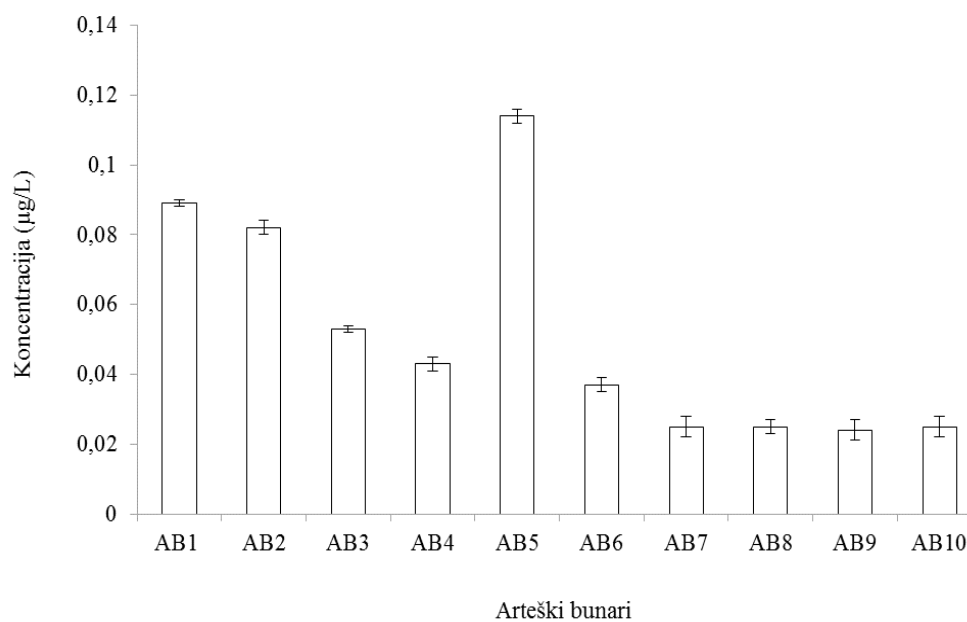
Kadmijum

Koncentracije kadmijuma, određene ICP-OES i EAAS tehnikom, na svakom pojedinačnom lokalitetu kreću se u intervalu: (0,026 - 0,768) $\mu\text{g/L}$; (\square 0,03 - 0,8) $\mu\text{g/L}$ (AB1); (0,025 - 0,468) $\mu\text{g/L}$; (\square 0,03 - 0,57) $\mu\text{g/L}$ (AB2); (0,024 - 0,338) $\mu\text{g/L}$; (\square 0,03 - 0,356) $\mu\text{g/L}$ (AB3); (0,023 - 0,028) $\mu\text{g/L}$; (\square 0,03 - 0,264) $\mu\text{g/L}$ (AB4); (0,022 - 0,198) $\mu\text{g/L}$; (\square 0,03 - 0,21) $\mu\text{g/L}$ (AB5); (0,022 - 0,159) $\mu\text{g/L}$; (\square 0,03 - 0,17) $\mu\text{g/L}$ (AB6); (0,019 - 0,028) $\mu\text{g/L}$; (\square 0,03 - 0,030) $\mu\text{g/L}$ (AB7); (0,021 - 0,028) $\mu\text{g/L}$; \square 0,03 $\mu\text{g/L}$ (AB8); (0,022 - 0,027) $\mu\text{g/L}$; \square 0,03 $\mu\text{g/L}$ (AB9) i (0,023 - 0,027) $\mu\text{g/L}$; (\square 0,03 - 0,089) $\mu\text{g/L}$ (AB10). Za godišnji period ispitivanja na svim lokalitetima koncentracije kadmijuma, određene ICP-OES tehnikom, su u intervalu od 0,019 $\mu\text{g/L}$ do 0,768 $\mu\text{g/L}$, sa srednjom vrednošću od 0,050 $\mu\text{g/L}$. Najveća koncentracija kadmijuma izmerena je na lokalitetu AB1 u aprilu mesecu, dok je najmanja izmerena na lokalitetu AB7 takođe u aprilu (slika 81.). Varijacije u ispitivanom periodu kreću se od 0,004 $\mu\text{g/L}$ (AB10) do 0,742 $\mu\text{g/L}$ (AB1).

Srednje koncentracije kadmijuma u vodi iz arteških bunara opadaju sledećim redosledom: AB5 \square AB1 \square AB2 \square AB3 \square AB4 \square AB6 \square AB7 = AB8 = AB10 \approx AB9 (slika 82.).



Slika 81. Mesečne promene koncentracije Cd u vodi iz arteških bunara (ICP-OES tehnika)



Slika 82. Srednje koncentracije Cd u vodi iz arteških bunara (ICP-OES tehnika)

Kadmijuma u prirodi ima u mineralima zajedno sa cinkom, zbog čega se i javlja kao nusproizvod prilikom dobijanja cinka. Kontaminacija vode za piće kadmijumom najčešće nastaje kao rezultat prisustva nečistoća u cevima od cinka ili vezivima koja sadrže kadmijum i koja se koriste u okovima, bojlerima i slavinama (*WHO, 2011c*). Koncentracije kadmijuma u nezagađenim prirodnim vodama su obično ispod 1 µg/L (*Friberg i sar., 1986*). U vodi može postojati kao hidratisani jon, u vidu neorganskih kompleksa kao što su karbonati, hidroksidi, hloridi ili sulfati, ili u vidu organskih kompleksa sa huminskim kiselinama (*OECD, 1994*). Vrlo se malo zna o uticaju akumuliranja kadmijuma na životnu sredinu. Nema izveštaja o monitoringu podzemnih voda koji ukazuju na porast nivoa kadmijuma.

Koncentracije kadmijuma u uzorcima vode iz arteških bunara, sa najvećom izmerenom vrednošću od 0,768 µg/L, nalaze se ispod preporučenih vrednosti i MDK (*WHO, 2011a; U.S. EPA, 2012; Direktiva EU, 1989; Pravilnik o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće Republike Srpske, 2015*).

U severozapadnim delovima Hrvatske, na području Koprivnica-Križevci, koncentracija kadmijuma u svim uzorcima podzemne vode, uzorkovanih sa pet različitih lokaliteta u periodu od 2011. godine do 2012. godine, je manja od 0,1 µg/L (*Habuda-Stanić i sar., 2015*).

U podzemnim vodama Libije koncentracije kadmijuma su u manje od 0,002 mg/L (*Alhibshi i sar., 2014*).

U južnoj Indiji koncentracije kadmijuma u podzemnoj vodi su u intervalu od 0,01 mg/L do 0,05 mg/L (*Malinidevi i Inbanila, 2016*).

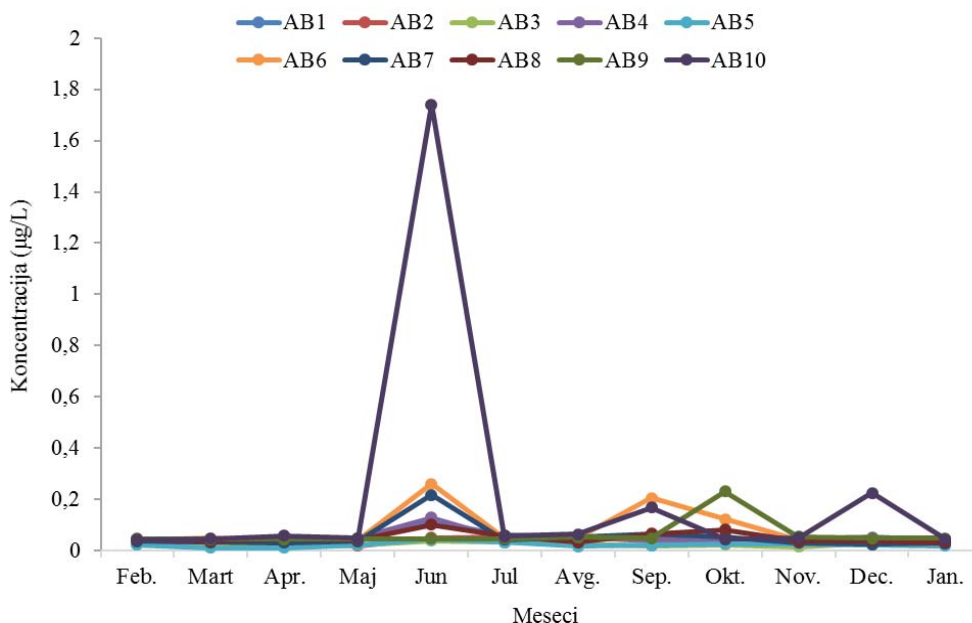
U Indiji, *Raman i saradnici* (2008), su pronašli da je nivo kadmijuma u podzemnoj vodi, koja se nalazi u oblasti odlaganja čvrstog otpada, od 0,010 mg/L do 0,014 mg/L.

U Pakistanu, na krajnjem jugoistoku zemlje, koncentracije kadmijuma su u intervalu od 0,005 mg/L do 0,018 mg/L, sa srednjom vrednošću od 0,009 mg/L (*Jakhrani, 2012*).

Olovo

Koncentracije olova, određene ICP-OES i EAAS tehnikom, na svakom pojedinačnom lokalitetu kreću se u intervalu: (0,025 - 0,113) µg/L; (□0,05 - 0,13) µg/L (AB1); (0,018 - 0,052) µg/L; □0,05 µg/L (AB2); (0,015 - 0,037) µg/L; (□0,05 - 0,68) µg/L (AB3); (0,032 - 0,128) µg/L; (□0,05 - 0,135) µg/L (AB4); (0,011 - 0,043) µg/L; □0,05 µg/L

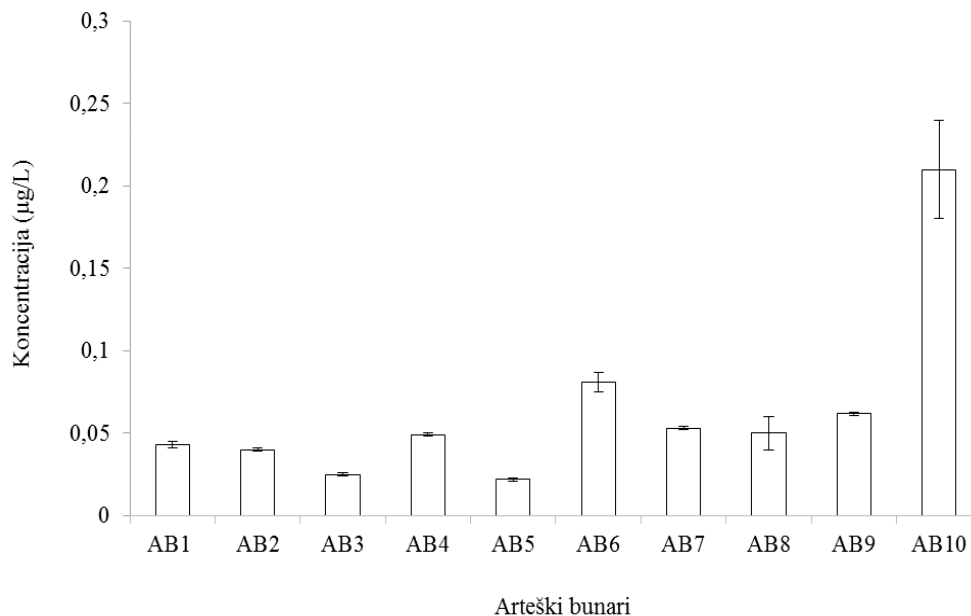
(AB5); (0,039 - 0,259) $\mu\text{g/L}$; (\square 0,05 - 0,24) $\mu\text{g/L}$ (AB6); (0,023 - 0,216) $\mu\text{g/L}$; (\square 0,05 - 0,23) $\mu\text{g/L}$ (AB7); (0,04 - 0,10) $\mu\text{g/L}$; (\square 0,05 - 0,11) $\mu\text{g/L}$ (AB8); (0,044 - 0,231) $\mu\text{g/L}$; (\square 0,05 - 0,251) $\mu\text{g/L}$ (AB9) i (0,04 - 1,74) $\mu\text{g/L}$; (\square 0,05 - 1,5) $\mu\text{g/L}$ (AB10). Za navedeni period ispitivanja na svim lokalitetima koncentracije olova, određene ICP-OES tehnikom, su u intervalu od 0,011 $\mu\text{g/L}$ do 1,74 $\mu\text{g/L}$, sa srednjom vrednošću od 0,064 $\mu\text{g/L}$. Najveća koncentracija olova izmerena je na lokalitetu AB10 u junu mesecu, dok je najmanja izmerena na lokalitetu AB5 u februaru (slika 83.). Koncentracije olova u 96,7% uzoraka vode iz arteških bunara su manje od 0,1 $\mu\text{g/L}$. Varijacije u ispitivanom periodu kreću se od 0,022 $\mu\text{g/L}$ (AB3) do 1,70 $\mu\text{g/L}$ (AB10).



Slika 83. Mesečne promene koncentracije Pb u vodi iz arteških bunara (ICP-OES tehnika)

Srednje koncentracije olova u vodi iz arteških bunara opadaju sledećim redosledom:

AB10 \square AB6 \square AB9 \square AB7 \square AB8 \approx AB4 \square AB1 \square AB2 \square AB3 \square AB5 (slika 84.).



Slika 84. Srednje koncentracije Pb u vodi iz arteških bunara (ICP-OES tehnika)

Koncentracije olova u uzorcima vode iz arteških bunara, sa najvećom izmerenom vrednošću od 1,74 µg/L, nalaze se ispod preporučenih vrednosti i MDK (*WHO, 2011a; U.S. EPA, 2012; Direktiva EU, 1989; Pravilnik o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće Republike Srpske, 2015*).

Olovo u vodi za piće se može naći kao rezultat njegovog rastvaranja iz prirodnih izvora, ali su njegov primarni izvor kućni vodovodni sistemi koji sadrže olovo kao što su cevi, veziva i drugi elementi. Cevi od polivinil hlorida takođe mogu da sadrže komponente olova koje se mogu rastvoriti i dovesti do povećanja koncentracije olova u vodi za piće. Količina rastvorenog olova iz vodovodnih sistema zavisice od mnogih faktora kao što su prisustvo hlorida i rastvorenog kiseonika, pH vrednosti, temperature, mekoće vode i vremena stajanja vode, pri čemu su meke, kisele vode pogodne za rastvaranje olova (*Schock, 1989; Schock 1990*).

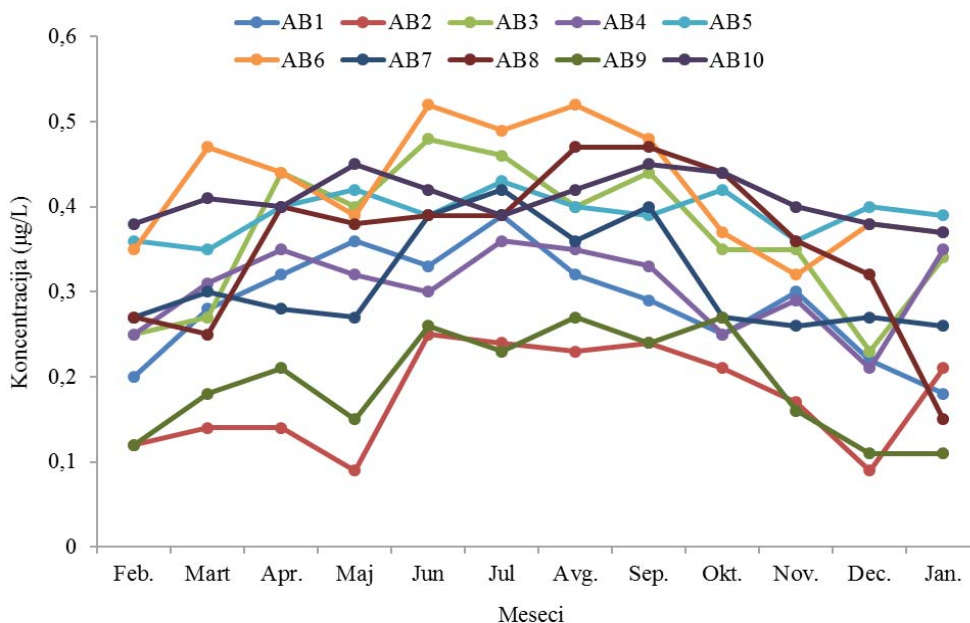
U severozapadnim delovima Hrvatske, na području Koprivnica-Križevci, maksimalna koncentracija olova u uzorcima podzemne vode, uzorkovanih sa pet različitih lokaliteta u periodu od 2011. godine do 2012. godine, iznosila je 0,5 µg/L (*Habuda-Stanić i sar., 2015*).

U južnoj Indiji koncentracije olova u podzemnoj vodi su od 0,07 mg/L do 0,52 mg/L (Malinidevi i Inbanila, 2016).

U Pakistanu, na krajnjem jugoistoku zemlje, koncentracije olova su u intervalu od 0,025 mg/L do 0,040 mg/L, sa srednjom vrednošću od 0,019 mg/L (Jakhrani, 2012).

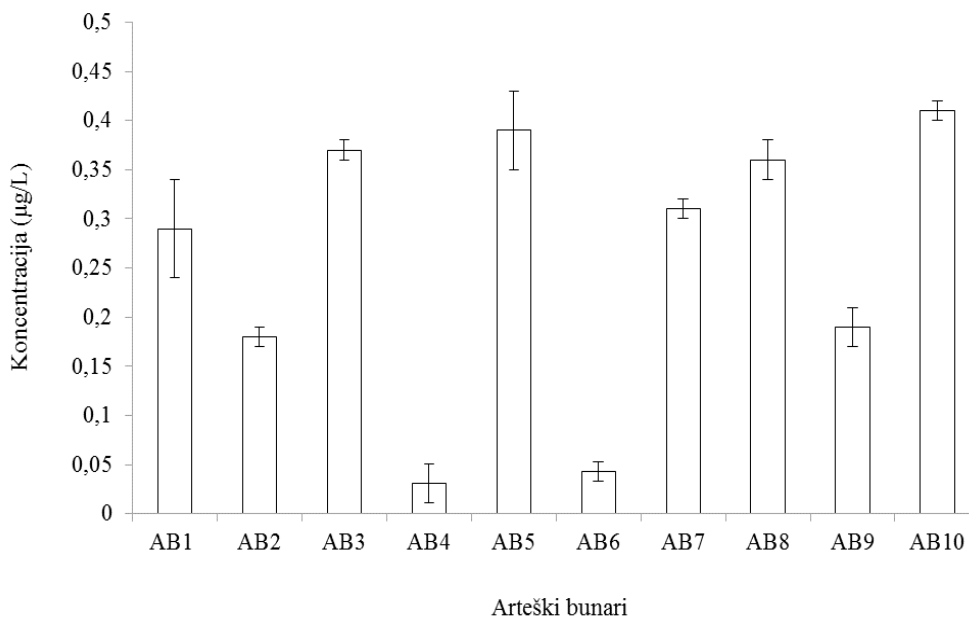
Antimon

Koncentracije antimona, određene ICP-OES tehnikom, na svakom pojedinačnom lokalitetu kreću se u intervalu: (0,18 - 0,39) $\mu\text{g/L}$ (AB1); (0,09 - 0,25) $\mu\text{g/L}$ (AB2); (0,23 - 0,48) $\mu\text{g/L}$ (AB3); (0,21 - 0,36) $\mu\text{g/L}$ (AB4); (0,35 - 0,43) $\mu\text{g/L}$ (AB5); (0,31 - 0,52) $\mu\text{g/L}$ (AB6); (0,26 - 0,42) $\mu\text{g/L}$ (AB7); (0,15 - 0,47) $\mu\text{g/L}$ (AB8); (0,11 - 0,29) $\mu\text{g/L}$ (AB9) i (0,38 - 0,45) $\mu\text{g/L}$ (AB10). Koncentracije antimona, određene EAAS tehnikom nalaze se ispod granice detekcije metode (0,5 $\mu\text{g/L}$). Za godišnji period ispitivanja na svim lokalitetima koncentracije antimona su u intervalu od 0,09 $\mu\text{g/L}$ do 0,52 $\mu\text{g/L}$, sa srednjom vrednošću od 0,32 $\mu\text{g/L}$. Najveća koncentracija antimona izmerena je na lokalitetu AB6 u junu i avgustu mesecu, dok je najmanja izmerena na lokalitetu AB2 u maju i decembru (slika 85.). Varijacije u ispitivanom periodu kreću se od 0,07 $\mu\text{g/L}$ (AB10) do 0,32 $\mu\text{g/L}$ (AB8).



Slika 85. Mesečne promene koncentracije Sb u vodi iz arteških bunara (ICP-OES tehnika)

Srednje koncentracije antimona u vodi iz arteških bunara opadaju sledećim redosledom: AB10 □ AB5 □ AB3 ≈ AB8 □ AB7 □ AB1 □ AB9 ≈ AB2 □ AB6 □ AB4 (slika 86.).



Slika 86. Srednje koncentracije Sb u vodi iz arteških bunara (ICP-OES tehnika)

Koncentracije antimona u uzorcima vode iz arteških bunara, sa najvećom izmerenom vrednošću od 0,52 µg/L, nalaze se daleko ispod preporučenih vrednosti i MDK (*WHO, 2011a; U.S. EPA, 2012; Direktiva EU, 1989; Pravilnik o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće Republike Srpske, 2015*).

Antimona u prirodi ima malo u stenama i zemljištu, tako da se ne očekuju visoke koncentracije u podzemnoj vodi. Koncentracije antimona u podzemnoj i površinskoj vodi obično su u rasponu od 0,1 µg/L do 0,2 µg/L (*Bowen, 1979*). Pored rastvaranja stena i minerala, izvori antimona su: vodovodni materijali, rudarski otpad, industrijske otpadne vode, curenja sa deponija, veštačka đubriva i produkti sagorevanja fosilnog goriva. Potreba za antimonom u ljudskoj ishrani nije još potvrđena, ali je njegova toksičnost poznata (*Dalmacija i Agbaba, 2006*). Glavni put unošenja je inhalacioni, a putem hrane i vode je ređi i ima dodatni ili akcidentalni karakter (*Knežević i Tanasković, 1997*). Antimon ne utiče na

organoleptičke osobine vode za piće, zbog čega se njegovo prisustvo može otkriti samo hemijskom analizom.

Koncentracije antimona u uzorcima podzemne vode uzetih u zapadnoj Poljskoj su u intervalu od 0,20 $\mu\text{g/L}$ do 1,25 $\mu\text{g/L}$, sa srednjom koncentracijom od 0,45 $\mu\text{g/L}$ (*Niedzielski i sar., 2001*).

F-test i t-test

Za potvrdu postojanja nulte hipoteze između dva niza rezultata određivanja arsena, bakra, mangana i cinka dobijena FAAS ili EAAS i ICP-OES tehnikom, korišćeni su F-test i t-test. Eksperimentalno dobijene vrednosti F i t-testa za stepen poverenja 95% ($p = 0,05$) prikazane su u tabeli 63.

Tabela 63. Eksperimentalno dobijene vrednosti za F-test i t-test za stepen poverenja od 95% ($p = 0,05$)

| | As | | Cu | | Mn | | Zn | |
|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | F-test | t-test | F-test | t-test | F-test | t-test | F-test | t-test |
| AB1 | 1,07 | 0,66 | 1,00 | 0,18 | / | / | / | / |
| AB2 | 1,09 | 0,79 | / | / | / | / | / | / |
| AB3 | 1,08 | 0,71 | / | / | 1,17 | 1,06 | 1,56 | 0,81 |
| AB4 | 1,06 | 0,68 | / | / | 1,16 | 1,69 | / | / |
| AB5 | 1,09 | 0,38 | / | / | / | / | 1,09 | 1,42 |
| AB6 | 1,10 | 0,75 | 1,36 | 0,43 | 1,06 | 1,35 | / | / |
| AB7 | 1,09 | 0,34 | / | / | 1,65 | 1,05 | / | / |
| AB8 | 1,11 | 0,57 | 1,05 | 0,31 | 1,19 | 1,52 | 1,10 | 2,15 |
| AB9 | 1,10 | 0,96 | / | / | 1,12 | 1,37 | / | / |
| AB10 | 1,12 | 0,48 | 1,28 | 0,22 | 1,14 | 1,61 | 1,07 | 0,57 |

Na osnovu dobijenih podataka (tabela 63.) može se videti da su eksperimentalno dobijene vrednosti F_{exp} za određivanje arsena za 11 stepeni slobode, na 12 različitim lokaliteta, i stepen poverenja od 95% ($p = 0,05$) manje od F_{krit} koja iznosi 2,79. Eksperimentalno dobijene vrednosti t-testa za određivanje arsena, za 11 stepeni slobode i stepen poverenja od 95% ($p = 0,05$) su manje od t_{krit} koja iznosi 2,20, što potvrđuje postojanje nulte hipoteze i saglasnost dobijenih rezultata određivanja arsena EAAS i ICP-OES tehnikom.

Eksperimentalno dobijene vrednosti F_{exp} za određivanje mangana za 6 stepeni slobode, na 7 različitih lokaliteta, i stepen poverenja od 95% ($p = 0,05$) su manje od F_{krit} koja iznosi 4,28. Eksperimentalno dobijene vrednosti t-testa za određivanje mangana, za 6 stepeni slobode i stepen poverenja 95% ($p = 0,05$) su manje od t_{krit} koja iznosi 2,45, što potvrđuje postojanje nulte hipoteze i saglasnost dobijenih rezultata određivanja mangana FAAS i ICP-OES tehnikom.

Eksperimentalno dobijene vrednosti F_{exp} za određivanje bakra i cinka za 3 stepeni slobode, na 4 različita lokaliteta, i stepen poverenja od 95% ($p = 0,05$) manje su od F_{krit} koja iznosi 9,28. Eksperimentalno dobijene vrednosti t-testa za određivanje bakra i cinka, za 3 stepena slobode i stepen poverenja od 95% ($p = 0,05$) su manje od t_{krit} koja iznosi 3,18, što potvrđuje postojanje nulte hipoteze i saglasnost dobijenih rezultata određivanja bakra FAAS i ICP-PES tehnikom i cinka FAAS i ICP-OES tehnikom.

Za ostale metale kobalt, hrom, gvožđe, nikl, selen, kadmijum, olovo i antimon nije bilo moguće izvršiti statističku obradu podataka, jer su za navedene metale rezultati određivanja dobijeni FAAS (gvožđe) i EAAS tehnikom (kobalt, hrom, nikl, selen, kadmijum, olovo i antimon) manji od granice detekcije metode.

3.6 Određivanje anjona i amonijum jona

Prekomerna koncentracija jedinjenja fosfora i azota u vodi može da dovede do bržeg rasta algi, koje postepeno počinju da se razvijaju u količinama koje narušavaju ravnotežu flore i faune. Usled toga, voda postaje neupotrebljiva za piće, a može da izazove i neželjene alergijske reakcije prilikom korišćenja.

Rezultati određivanja sadržaja anjona i amonijum jona prikazani su u tabelama 64-73.

Tabela 64. Godišnji prikaz koncentracija* amonijačnog, nitratnog i nitritnog azota, sulfata i hlorida u vodi iz arteškog bunara AB1

| Mesec | AB1 | | | | | |
|---------------------|--|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|------------------------|
| | PO ₄ ³⁻ -P, mg/L | NH ₄ ⁺ -N, mg/L | NO ₃ ⁻ -N, mg/L | NO ₂ ⁻ -N, mg/L | SO ₄ ²⁻ , mg/L | Cl ⁻ , mg/L |
| Februar | 0,096±0,002 | 1,11±0,01 | 0,229±0,004 | <0,002 | 0,11±0,01 | 44,8±0,6 |
| Mart | 0,108±0,002 | 1,03±0,01 | 0,229±0,001 | <0,002 | 0,11±0,01 | 99±2 |
| April | 0,100±0,001 | 1,13±0,03 | 0,224±0,004 | <0,002 | 0,101±0,008 | 85±1 |
| Maj | 0,105±0,001 | 1,42±0,02 | 0,231±0,004 | <0,002 | 0,243±0,008 | 83,6±0,9 |
| Jun | 0,095±0,003 | 1,31±0,07 | 0,287±0,004 | <0,002 | 0,15±0,01 | 77,6±0,4 |
| Jul | 0,098±0,000 | 0,99±0,02 | 0,242±0,003 | <0,002 | 0,39±0,01 | 67±2 |
| Avgust | 0,095±0,002 | 1,02±0,09 | 0,268±0,009 | <0,002 | <0,08 | 64,8±0,1 |
| Septembar | 0,092±0,001 | 0,98±0,08 | 0,290±0,004 | <0,002 | <0,08 | 51,4±0,8 |
| Oktoibar | 0,104±0,001 | 1,13±0,01 | 0,262±0,006 | <0,002 | <0,08 | 59±2 |
| Novembar | 0,118±0,003 | 1,13±0,00 | 0,366±0,008 | <0,002 | 0,26±0,01 | 67±1 |
| Decembar | 0,105±0,001 | 0,98±0,01 | 0,211±0,001 | <0,002 | 0,23±0,01 | 65,7±0,8 |
| Januar | 0,114±0,002 | 1,10±0,02 | 0,252±0,006 | <0,002 | <0,08 | 57,3±0,8 |
| Interval | 0,092-0,118 | 0,98-1,42 | 0,211-0,366 | <0,002 | □0,08-0,39 | 44,8-99,4 |
| c _{sr} ±SD | 0,103±0,002 | 1,11±0,03 | 0,258±0,004 | / | 0,16±0,01 | 68,5±0,9 |

* c_{sr}±SD (n=2)

Tabela 65. Godišnji prikaz koncentracija* amonijačnog, nitratnog i nitritnog azota, sulfata i hlorida u vodi iz arteškog bunara AB2

| Mesec | AB2 | | | | | |
|---------------------|--|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|------------------------|
| | PO ₄ ³⁻ -P, mg/L | NH ₄ ⁺ -N, mg/L | NO ₃ ⁻ -N, mg/L | NO ₂ ⁻ -N, mg/L | SO ₄ ²⁻ , mg/L | Cl ⁻ , mg/L |
| Februar | 0,096±0,002 | 1,107±0,006 | 0,229±0,004 | <0,002 | 0,11±0,01 | 44,8±0,6 |
| Mart | 0,108±0,002 | 1,18±0,02 | 0,229±0,001 | <0,002 | 0,11±0,01 | 99±2 |
| April | 0,100±0,001 | 1,11±0,03 | 0,224±0,004 | <0,002 | 0,10±0,01 | 85±1 |
| Maj | 0,105±0,001 | 1,16±0,06 | 0,231±0,004 | <0,002 | 0,24±0,01 | 83,6±0,9 |
| Jun | 0,095±0,003 | 1,28±0,04 | 0,287±0,004 | <0,002 | 0,15±0,01 | 77,6±0,4 |
| Jul | 0,098±0,000 | 1,04±0,00 | 0,242±0,003 | <0,002 | 0,39±0,01 | 67±2 |
| Avgust | 0,095±0,002 | 1,06±0,02 | 0,268±0,009 | <0,002 | <0,08 | 64,77±0,05 |
| Septembar | 0,092±0,001 | 1,08±0,01 | 0,290±0,004 | <0,002 | <0,08 | 51,4±0,8 |
| Oktoabar | 0,104±0,001 | 1,09±0,04 | 0,262±0,006 | <0,002 | <0,08 | 59±2 |
| Novembar | 0,118±0,003 | 1,11±0,02 | 0,366±0,008 | <0,002 | 0,26±0,01 | 67±1 |
| Decembar | 0,105±0,001 | 0,97±0,04 | 0,211±0,001 | <0,002 | 0,23±0,01 | 65,7±0,8 |
| Januar | 0,114±0,002 | 1,03±0,01 | 0,252±0,006 | <0,002 | <0,08 | 57,3±0,8 |
| Interval | 0,131-0,148 | 0,97-1,28 | 0,146-0,340 | <0,002 | □0,08-0,25 | 41,3-6,7 |
| c _{sr} ±SD | 0,139±0,001 | 1,10±0,03 | 0,182±0,006 | / | 0,11±0,01 | 52,0±0,6 |

* c_{sr}±SD (n=2)

Tabela 66. Godišnji prikaz koncentracija* amonijačnog, nitratnog i nitritnog azota, sulfata i hlorida u vodi iz arteškog bunara AB3

| Mesec | AB3 | | | | | |
|---------------------|--|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|------------------------|
| | PO ₄ ³⁻ -P, mg/L | NH ₄ ⁺ -N, mg/L | NO ₃ ⁻ -N, mg/L | NO ₂ ⁻ -N, mg/L | SO ₄ ²⁻ , mg/L | Cl ⁻ , mg/L |
| Februar | 0,100±0,002 | 1,4±0,1 | 0,280±0,004 | <0,002 | <0,08 | 67±1 |
| Mart | 0,106±0,001 | 1,3±0,1 | 0,293±0,004 | <0,002 | <0,08 | 139±2 |
| April | 0,103±0,000 | 1,44±0,05 | 0,269±0,003 | <0,002 | <0,08 | 103±1 |
| Maj | 0,106±0,002 | 1,39±0,03 | 0,271±0,003 | <0,002 | <0,08 | 120±1 |
| Jun | 0,105±0,001 | 1,54±0,09 | 0,269±0,004 | <0,002 | 0,09±0,01 | 85,6±0,7 |
| Jul | 0,108±0,003 | 1,32±0,09 | 0,428±0,004 | <0,002 | 0,12±0,01 | 75,9±0,5 |
| Avgust | 0,107±0,002 | 1,4±0,1 | 0,351±0,002 | <0,002 | <0,08 | 76,5±0,5 |
| Septembar | 0,120±0,004 | 1,27±0,02 | 0,299±0,003 | <0,002 | <0,08 | 75,2±0,6 |
| Oktoibar | 0,114±0,002 | 1,34±0,04 | 0,294±0,002 | <0,002 | 1,23±0,02 | 84,8±0,9 |
| Novembar | 0,108±0,002 | 1,7±0,1 | 0,281±0,001 | <0,002 | <0,08 | 90±1 |
| Decembar | 0,104±0,004 | 1,27±0,00 | 0,271±0,003 | <0,002 | 0,11±0,02 | 82,8±0,5 |
| Januar | 0,106±0,000 | 1,43±0,03 | 0,299±0,004 | <0,002 | 0,21±0,01 | 84±1 |
| Interval | 0,100-0,120 | 1,27-1,69 | 0,269-0,428 | <0,002 | □0,08-1,23 | 66,8-139,3 |
| c _{sr} ±SD | 0,107±0,005 | 1,39±0,06 | 0,300±0,003 | / | 0,19±0,01 | 90,3±0,9 |

* c_{sr}±SD (n=2)

Tabela 67. Godišnji prikaz koncentracija* amonijačnog, nitratnog i nitritnog azota, sulfata i hlorida u vodi iz arteškog bunara AB4

| Mesec | AB4 | | | | | |
|---------------------|--|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|------------------------|
| | PO ₄ ³⁻ -P, mg/L | NH ₄ ⁺ -N, mg/L | NO ₃ ⁻ -N, mg/L | NO ₂ ⁻ -N, mg/L | SO ₄ ²⁻ , mg/L | Cl ⁻ , mg/L |
| Februar | 0,348±0,004 | 0,32±0,03 | 0,07±0,01 | <0,002 | <0,08 | 25,1±0,2 |
| Mart | 0,368±0,004 | 0,28±0,01 | 0,105±0,006 | <0,002 | 0,09±0,01 | 36,4±0,4 |
| April | 0,351±0,006 | 0,26±0,00 | 0,262±0,008 | <0,002 | <0,08 | 30,2±0,2 |
| Maj | 0,348±0,006 | 0,30±0,02 | 0,090±0,004 | <0,002 | <0,08 | 32,3±0,8 |
| Jun | 0,354±0,008 | 0,34±0,01 | 0,068±0,004 | <0,002 | 0,23±0,01 | 25,7±0,1 |
| Jul | 0,343±0,002 | 0,28±0,01 | 0,103±0,004 | <0,002 | 0,16±0,01 | 24,3±0,9 |
| Avgust | 0,350±0,004 | 0,27±0,01 | 0,091±0,002 | <0,002 | 0,175±0,003 | 24,6±0,2 |
| Septembar | 0,349±0,006 | 0,26±0,01 | 0,084±0,004 | <0,002 | <0,08 | 23,7±0,1 |
| Oktoibar | 0,346±0,002 | 0,30±0,03 | 0,077±0,004 | <0,002 | 0,90±0,04 | 24,1±0,1 |
| Novembar | 0,368±0,002 | 0,28±0,01 | 0,103±0,005 | <0,002 | <0,08 | 20,9±0,6 |
| Decembar | 0,353±0,004 | 0,27±0,02 | 0,058±0,004 | <0,002 | <0,08 | 24,6±0,3 |
| Januar | 0,348±0,004 | 0,27±0,01 | 0,119±0,004 | <0,002 | 3,47±0,06 | 27,4±0,6 |
| Interval | 0,343-0,368 | 0,26-0,34 | 0,058-0,262 | <0,002 | □0,08-3,47 | 20,9-36,4 |
| c _{sr} ±SD | 0,352±0,004 | 0,29±0,01 | 0,103±0,005 | / | 0,46±0,02 | 26,6±0,4 |

* c_{sr}±SD (n=2)

Tabela 68. Godišnji prikaz koncentracija* amonijačnog, nitratnog i nitritnog azota, sulfata i hlorida u vodi iz arteškog bunara AB5

| Mesec | AB5 | | | | | |
|---------------------|--|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|------------------------|
| | PO ₄ ³⁻ -P, mg/L | NH ₄ ⁺ -N, mg/L | NO ₃ ⁻ -N, mg/L | NO ₂ ⁻ -N, mg/L | SO ₄ ²⁻ , mg/L | Cl ⁻ , mg/L |
| Februar | 0,166±0,002 | 0,91±0,02 | 0,298±0,004 | <0,002 | 0,14±0,02 | 83±2 |
| Mart | 0,171±0,001 | 1,90±0,02 | 0,303±0,006 | <0,002 | 0,138±0,004 | 120±1 |
| April | 0,179±0,004 | 0,81±0,01 | 0,283±0,005 | <0,002 | 0,090±0,004 | 117±2 |
| Maj | 0,171±0,003 | 0,92±0,02 | 0,289±0,005 | <0,002 | <0,08 | 103±1 |
| Jun | 0,175±0,002 | 0,94±0,04 | 0,350±0,005 | <0,002 | <0,08 | 73±1 |
| Jul | 0,168 ±0,002 | 0,81±0,03 | 0,364±0,002 | <0,002 | 0,123±0,006 | 63,8±0,7 |
| Avgust | 0,172±0,002 | 0,91±0,02 | 0,370±0,005 | <0,002 | <0,08 | 67,4±0,1 |
| Septembar | 0,174±0,002 | 1,31±0,02 | 0,338±0,004 | <0,002 | <0,08 | 73,0±0,1 |
| Oktobar | 0,181±0,003 | 0,97±0,07 | 0,319±0,003 | <0,002 | 1,07±0,09 | 67,1±0,7 |
| Novembar | 0,179±0,001 | 0,97±0,02 | 0,305±0,005 | <0,002 | 0,11±0,01 | 74,4±0,8 |
| Decembar | 0,161±0,004 | 0,81 ±0,01 | 0,289±0,005 | <0,002 | <0,08 | 69,4±0,1 |
| Januar | 0,168±0,004 | 0,95±0,01 | 0,320±0,004 | <0,002 | 0,84±0,07 | 67,9±0,5 |
| Interval | 0,161-0,181 | 0,81-1,90 | 0,283-0,370 | <0,002 | □0,08-0,84 | 63,8-120,4 |
| c _{sr} ±SD | 0,172±0,002 | 1,02±0,02 | 0,319±0,004 | / | 0,17±0,03 | 81,6±0,8 |

* c_{sr}±SD (n=2)

Tabela 69. Godišnji prikaz koncentracija* amonijačnog, nitratnog i nitritnog azota, sulfata i hlorida u vodi iz arteškog bunara AB6

| Mesec | AB6 | | | | | |
|---------------------|--|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|------------------------|
| | PO ₄ ³⁻ -P, mg/L | NH ₄ ⁺ -N, mg/L | NO ₃ ⁻ -N, mg/L | NO ₂ ⁻ -N, mg/L | SO ₄ ²⁻ , mg/L | Cl ⁻ , mg/L |
| Februar | 0,051±0,002 | 0,51±0,01 | <0,020 | <0,002 | 15,2±0,6 | 3,14±0,08 |
| Mart | 0,095±0,002 | 0,50±0,02 | 0,038±0,004 | <0,002 | 14,4±0,6 | 7,64±0,07 |
| April | 0,054±0,002 | 0,43±0,03 | <0,020 | <0,002 | 18,8±0,3 | 6,0±0,2 |
| Maj | 0,055±0,001 | 0,48±0,02 | 0,050±0,002 | <0,002 | 18,6±0,2 | 4,7±0,1 |
| Jun | 0,050±0,001 | 0,47±0,01 | 0,062±0,003 | <0,002 | 13,9±0,1 | 2,4±0,1 |
| Jul | 0,063±0,000 | 0,39±0,01 | 0,031±0,002 | <0,002 | 15,7±0,2 | 2,42±0,01 |
| Avgust | 0,058±0,001 | 0,40±0,01 | 0,040±0,002 | <0,002 | 16,1±0,3 | 2,51±0,03 |
| Septembar | 0,056±0,004 | 0,43±0,01 | 0,040±0,002 | <0,002 | 10,5±0,1 | 3,3±0,1 |
| Oktoibar | 0,054±0,001 | 0,45±0,01 | 0,031±0,004 | <0,002 | 14,3±0,2 | 3,53±0,06 |
| Novembar | 0,053±0,002 | 0,42±0,01 | 0,098±0,004 | <0,002 | 16,3±0,2 | 2,40±0,06 |
| Decembar | 0,050±0,001 | 0,433±0,003 | <0,020 | <0,002 | 15,5±0,1 | 4,5±0,1 |
| Januar | 0,058±0,001 | 0,48±0,01 | 0,036±0,001 | <0,002 | 13,8±0,2 | 3,49±0,06 |
| Interval | 0,050-0,095 | 0,39-0,51 | □0,020-0,098 | <0,002 | 10,5-18,8 | 2,39-7,64 |
| c _{sr} ±SD | 0,058±0,001 | 0,45±0,01 | 0,041±0,002 | / | 15,3±0,3 | 3,80±0,08 |

* c_{sr}±SD (n=2)

Tabela 70. Godišnji prikaz koncentracija* amonijačnog, nitratnog i nitritnog azota, sulfata i hlorida u vodi iz arteškog bunara AB7

| Mesec | AB7 | | | | | |
|---------------------|--|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|------------------------|
| | PO ₄ ³⁻ -P, mg/L | NH ₄ ⁺ -N, mg/L | NO ₃ ⁻ -N, mg/L | NO ₂ ⁻ -N, mg/L | SO ₄ ²⁻ , mg/L | Cl ⁻ , mg/L |
| Februar | 0,058±0,001 | 0,21±0,01 | 0,030±0,001 | <0,002 | 13,5±0,1 | 1,58±0,06 |
| Mart | 0,058±0,000 | 0,33±0,01 | 0,040±0,002 | <0,002 | 13,7±0,2 | 6,8±0,1 |
| April | 0,066±0,002 | 0,28±0,01 | 0,060±0,001 | <0,002 | 18,6±0,1 | 6,71±0,06 |
| Maj | 0,061±0,001 | 0,307±0,004 | 0,078±0,001 | <0,002 | 16,0±0,2 | 4,11±0,07 |
| Jun | 0,061±0,001 | 0,39±0,01 | 0,030±0,001 | <0,002 | 13,1±0,2 | 2,4±0,1 |
| Jul | 0,056±0,001 | 0,27±0,00 | 0,111±0,002 | <0,002 | 15,9±0,1 | 1,21±0,08 |
| Avgust | 0,058±0,002 | 0,30±0,02 | 0,077±0,002 | <0,002 | 10,5±0,1 | 1,51±0,04 |
| Septembar | 0,057±0,002 | 0,273±0,008 | 0,060±0,002 | <0,002 | 9,31±0,08 | 1,7±0,1 |
| Oktoabar | 0,054±0,000 | 0,303±0,008 | 0,073±0,002 | <0,002 | 13,3±0,3 | 2,45±0,08 |
| Novembar | 0,060±0,003 | 0,269±0,008 | 0,041±0,001 | <0,002 | 55,3± 0,5 | 2,7±0,1 |
| Decembar | 0,060±0,001 | 0,27±0,01 | <0,020 | <0,002 | 16,8±0,1 | 3,4±0,1 |
| Januar | 0,058±0,001 | 0,28±0,01 | 0,040±0,002 | <0,002 | 16,8±0,3 | 3,0±0,2 |
| Interval | 0,054-0,066 | 0,21-0,39 | □0,020-0,111 | <0,002 | 9,3-55,3 | 1,21-6,82 |
| c _{sr} ±SD | 0,059±0,001 | 0,29±0,01 | 0,055±0,002 | / | 17,8±0,2 | 3,13±0,09 |

* c_{sr}±SD (n=2)

Tabela 71. Godišnji prikaz koncentracija* amonijačnog, nitratnog i nitritnog azota, sulfata i hlorida u vodi iz arteškog bunara AB8

| Mesec | AB8 | | | | | |
|---------------------|--|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|------------------------|
| | PO ₄ ³⁻ -P, mg/L | NH ₄ ⁺ -N, mg/L | NO ₃ ⁻ -N, mg/L | NO ₂ ⁻ -N, mg/L | SO ₄ ²⁻ , mg/L | Cl ⁻ , mg/L |
| Februar | 0,031±0,002 | 0,29±0,01 | 0,027±0,001 | <0,002 | 14,7±0,1 | 1,3±0,1 |
| Mart | 0,016±0,001 | 0,32±0,01 | 0,051±0,001 | <0,002 | 14,5±0,4 | 9,1± 0,1 |
| April | 0,034±0,003 | 0,29±0,01 | 0,047±0,001 | <0,002 | 20,8±0,5 | 9,0± 0,1 |
| Maj | 0,019±0,001 | 0,26±0,02 | 0,027±0,001 | <0,002 | 17,7±0,1 | 3,79±0,03 |
| Jun | 0,031±0,000 | 0,33±0,01 | 0,078±0,001 | <0,002 | 14,6±0,2 | 1,65±0,02 |
| Jul | 0,028±0,001 | 0,234±0,003 | 0,069±0,003 | <0,002 | 15,0±0,5 | 1,98±0,07 |
| Avgust | 0,030±0,007 | 0,27±0,01 | 0,072±0,003 | <0,002 | 15,2±0,3 | 1,74±0,06 |
| Septembar | 0,034±0,002 | 0,26±0,01 | 0,072±0,001 | <0,002 | 15,9±0,1 | 0,99±0,06 |
| Oktoobar | 0,035±0,000 | 0,284±0,003 | 0,041±0,001 | <0,002 | 13,8±0,2 | 1,98±0,06 |
| Novembar | 0,033±0,001 | 0,27±0,01 | 0,032±0,003 | <0,002 | 16,02±0,08 | 1,49±0,06 |
| Decembar | 0,031±0,000 | 0,27±0,00 | <0,020 | <0,002 | 17,19±0,08 | 2,22±0,01 |
| Januar | 0,029±0,002 | 0,27±0,01 | 0,049±0,001 | <0,002 | 14,10±0,04 | 2,48±0,04 |
| Interval | 0,016-0,035 | 0,232-0,329 | □0,020-0,078 | <0,002 | 13,8-20,8 | 0,99-9,05 |
| c _{sr} ±SD | 0,029±0,001 | 0,280±0,009 | 0,049±0,002 | / | 15,8±0,2 | 3,14±0,06 |

*c_{sr}±SD (n=2)

Tabela 72. Godišnji prikaz koncentracija* amonijačnog, nitratnog i nitritnog azota, sulfata i hlorida u vodi iz arteškog bunara AB9

| Mesec | AB9 | | | | | |
|---------------------|--|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|------------------------|
| | PO ₄ ³⁻ -P, mg/L | NH ₄ ⁺ -N, mg/L | NO ₃ ⁻ -N, mg/L | NO ₂ ⁻ -N, mg/L | SO ₄ ²⁻ , mg/L | Cl ⁻ , mg/L |
| Februar | 0,038±0,002 | 0,20±0,01 | 0,036±0,001 | <0,002 | 8,1±0,2 | 2,7±0,1 |
| Mart | 0,036±0,000 | 0,062±0,004 | 0,044±0,001 | <0,002 | 7,3±0,1 | 6,19±0,08 |
| April | 0,048±0,001 | 0,069±0,004 | 0,036±0,001 | <0,002 | 11,1±0,2 | 6,41±0,00 |
| Maj | 0,041±0,001 | 0,080±0,000 | 0,039±0,001 | <0,002 | 9,6±0,1 | 1,92±0,06 |
| Jun | 0,039±0,001 | 0,10±0,01 | 0,073±0,001 | <0,002 | 9,9±0,1 | 1,54±0,04 |
| Jul | 0,030±0,001 | 0,143±0,006 | 0,048±0,000 | <0,002 | 8,3±0,1 | 1,32±0,02 |
| Avgust | 0,040±0,001 | 0,092±0,003 | 0,058±0,002 | <0,002 | 8,4±0,1 | 1,44±0,04 |
| Septembar | 0,047±0,002 | 0,061±0,004 | 0,054±0,001 | <0,002 | 8,6±0,2 | 1,51±0,06 |
| Oktoibar | 0,041±0,000 | 0,067±0,003 | 0,059±0,001 | <0,002 | 7,5±0,1 | 1,69±0,04 |
| Novembar | 0,038±0,001 | 0,060±0,004 | 0,043±0,002 | <0,002 | 8,4±0,1 | 1,45±0,08 |
| Decembar | 0,043±0,001 | 0,073±0,003 | 0,028±0,002 | <0,002 | 11,1±0,1 | 1,8±0,1 |
| Januar | 0,038±0,000 | 0,077±0,007 | 0,029±0,004 | <0,002 | 8,9±0,1 | 1,91±0,08 |
| Interval | 0,030-0,047 | 0,058-0,198 | 0,028-0,073 | <0,002 | 7,3-11,1 | 1,32-6,41 |
| c _{sr} ±SD | 0,040±0,001 | 0,090±0,005 | 0,046±0,002 | / | 8,9±0,1 | 2,49±0,06 |

* c_{sr}±SD (n=2)

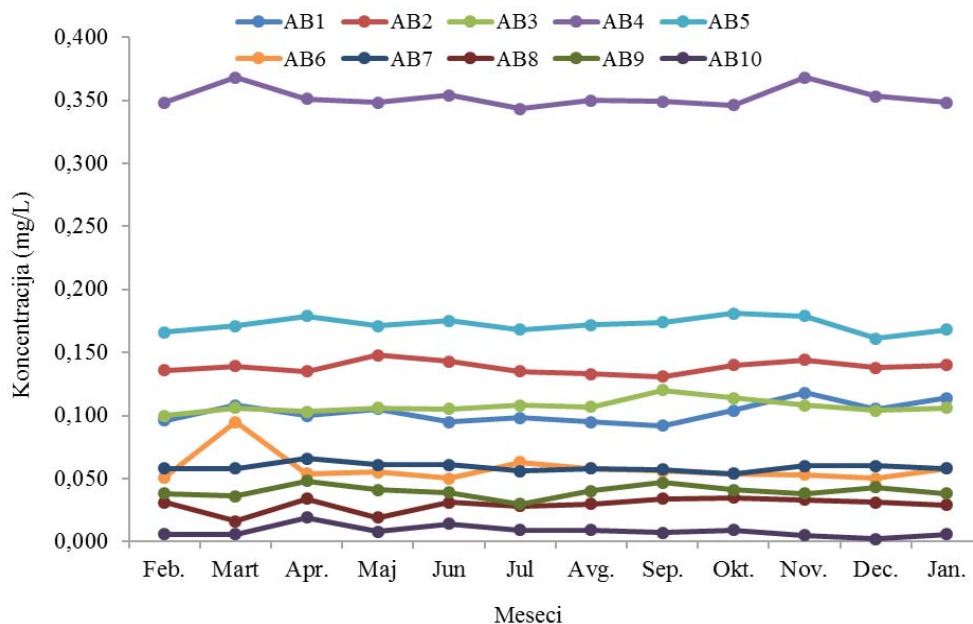
Tabela 73. Godišnji prikaz koncentracija* amonijačnog, nitratnog i nitritnog azota, sulfata i hlorida u vodi iz arteškog bunara AB10

| Mesec | AB10 | | | | | |
|---------------------|--|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|------------------------|
| | PO ₄ ³⁻ -P, mg/L | NH ₄ ⁺ -N, mg/L | NO ₃ ⁻ -N, mg/L | NO ₂ ⁻ -N, mg/L | SO ₄ ²⁻ , mg/L | Cl ⁻ , mg/L |
| Februar | 0,006±0,001 | 0,522±0,007 | 0,041±0,002 | <0,002 | 14,1±0,2 | 1,13±0,06 |
| Mart | 0,006±0,000 | 0,231±0,008 | 0,040±0,003 | <0,002 | 13,8±0,1 | 5,81±0,08 |
| April | 0,019±0,001 | 0,146±0,003 | <0,020 | <0,002 | 19,1±0,3 | 5,0±0,1 |
| Maj | 0,008±0,001 | 0,160±0,006 | 0,076±0,003 | <0,002 | 17,2±0,1 | 2,67±0,06 |
| Jun | 0,014±0,001 | 0,178±0,003 | 0,062±0,001 | <0,002 | 16,4±0,1 | 1,77±0,07 |
| Jul | 0,009±0,001 | 0,139±0,001 | 0,061±0,004 | <0,002 | 14,2±0,1 | 1,54±0,06 |
| Avgust | 0,009±0,001 | 0,160±0,004 | 0,066±0,002 | <0,002 | 14,2±0,1 | 1,36±0,06 |
| Septembar | 0,007±0,000 | 0,15±0,01 | 0,081±0,003 | <0,002 | 14,08±0,06 | 1,05±0,03 |
| Oktobar | 0,009±0,001 | 0,167±0,006 | 0,043±0,003 | <0,002 | 12,3±0,1 | 1,79±0,04 |
| Novembar | 0,005±0,001 | 0,160±0,006 | 0,044±0,002 | <0,002 | 13,4±0,1 | 1,35±0,01 |
| Decembar | <0,002 | 0,114±0,007 | 0,029±0,004 | <0,002 | 17,15±0,06 | 1,94±0,04 |
| Januar | 0,006±0,001 | 0,148±0,001 | 0,050±0,002 | <0,002 | 16,0±0,3 | 2,06±0,04 |
| Interval | <0,002-0,014 | 0,107-0,520 | □0,020-0,081 | <0,002 | 12,3-19,1 | 1,05-5,81 |
| c _{sr} ±SD | 0,007±0,001 | 0,190 ±0,005 | 0,052±0,003 | / | 15,2±0,1 | 2,29±0,06 |

* c_{sr}±SD (n=2)

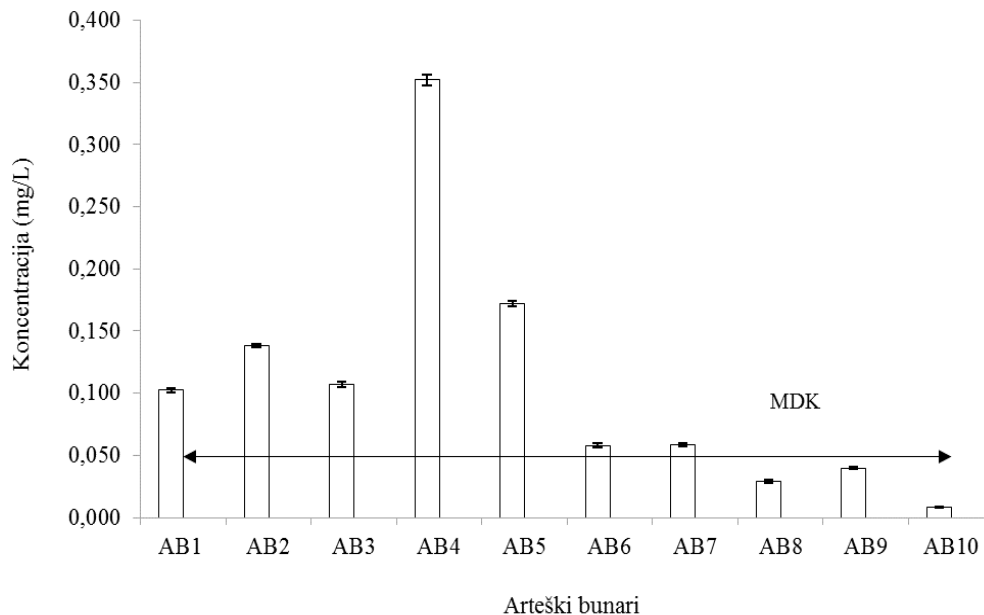
Ortofosfati

Koncentracije ortofosfata, na svakom pojedinačnom lokalitetu, kreću se u intervalu: (0,092 - 0,118) mgPO₄³⁻-P/L (AB1); (0,131 - 0,148) mgPO₄³⁻-P/L (AB2); (0,100 - 0,120) mgPO₄³⁻-P/L (AB3); (0,343 - 0,368) mgPO₄³⁻-P/L (AB4); (0,161 - 0,181) mgPO₄³⁻-P/L (AB5); (0,050 - 0,095) mgPO₄³⁻-P/L (AB6); (0,054 - 0,066) mgPO₄³⁻-P/L (AB7); (0,016 - 0,035) mgPO₄³⁻-P/L (AB8); (0,030 - 0,047) mgPO₄³⁻-P/L (AB9) i (□0,002 - 0,014) mgPO₄³⁻-P/L (AB10). Za godišnji period ispitivanja na svim lokalitetima koncentracije ortofosfata su u intervalu od □0,002 mgPO₄³⁻-P/L do 0,368 mgPO₄³⁻-P/L, sa srednjom vrednošću od 0,107 mgPO₄³⁻-P/L. Najveća koncentracija ortofosfata izmerena je na lokalitetu AB4 u martu i novembru mesecu, dok je najmanja izmerena na lokalitetu AB10 u decembru mesecu (slika 87.). Varijacije u ispitivanom periodu kreću se od 0,012 mgPO₄³⁻-P/L (AB7) do 0,045 mgPO₄³⁻-P/L (AB6). Izmerene koncentracije ortofosfata u uzorcima voda iz arteških bunara ne variraju sezonski. Približne koncentracije izmerene su i u vreme obilnih padavina, kao i za vreme sušnih dana, što pokazuje da su ovi izvori zaštićeni od antropogenih delovanja. S obzirom na to da se nalaze i u poljoprivrednom kraju, zaštićeni su i od prodiranja vode sa oranica na kojima se koriste veštačka đubriva na bazi fosfora.



Slika 87. Mesečne promene koncentracije PO₄³⁻-P u vodi iz arteških bunara

Srednje koncentracije ortofosfata u vodi iz arteških bunara opadaju sledećim redosledom: AB4 > AB5 > AB2 > AB3 ≈ AB1 > AB7 ≈ AB6 > AB9 > AB8 > AB10 (slika 88.).

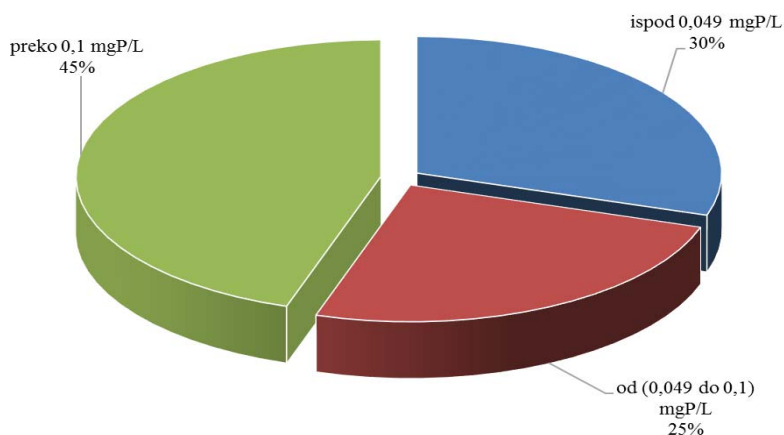


Slika 88. Srednje koncentracije $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ u vodi iz arteških bunara

Koncentracije ortofosfata u vodi iz arteških bunara AB1, AB2, AB3, AB4, AB5, AB6 i AB7, koje su u intervalu od $0,050 \text{ mgPO}_4^{3-}\text{-P/L}$ do $0,368 \text{ mgPO}_4^{3-}\text{-P/L}$, nalaze se iznad MDK propisane nacionalnim standardom ($0,150 \text{ mgPO}_4^{3-}\text{-P/L} \approx 0,049 \text{ mgPO}_4^{3-}\text{-P/L}$) (*Pravilnik o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće Republike Srpske, 2015*).

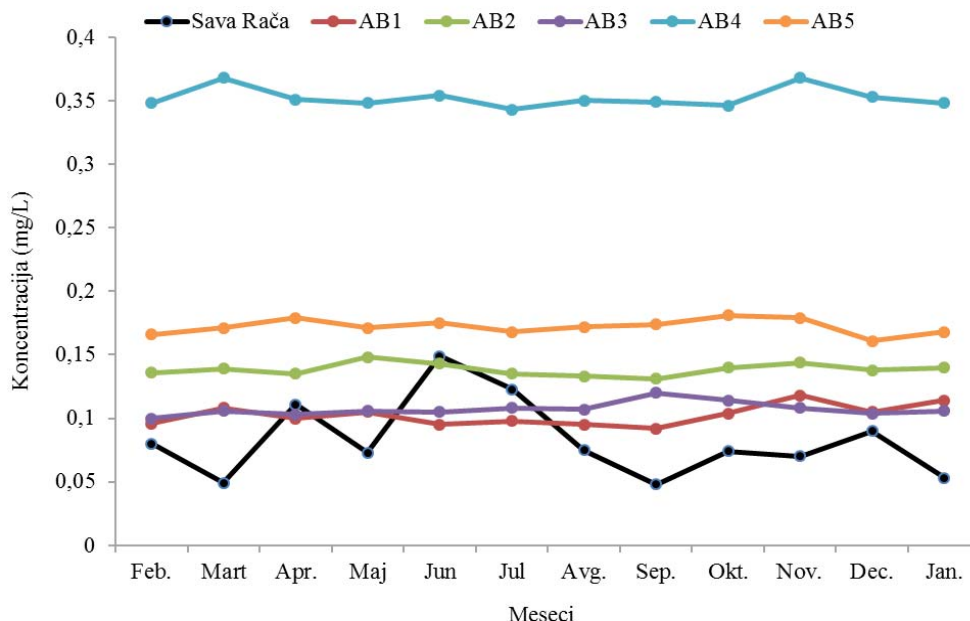
Na slici 89. dat je prikaz procentualne raspodele koncentracije ortofosfata u vodi iz arteških bunara uzimajući u obzir *Pravilnik o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće Republike Srpske (2015)*.

Sa slike 89. se može zaključiti da od ukupno 120 uzoraka podzemne vode, 30% ima koncentraciju koja je ispod MDK ($0,049 \text{ mgPO}_4^{3-}\text{-P/L}$) (AB8, AB9 i AB10). Od preostalih 70% uzoraka, čija je koncentracija za ortofosfate veća od MDK, 25% ima koncentraciju između $0,05 \text{ mgPO}_4^{3-}\text{-P/L}$ i $0,1 \text{ mgPO}_4^{3-}\text{-P/L}$, dok 45% uzoraka ima koncentraciju koja je veća od $0,1 \text{ mgPO}_4^{3-}\text{-P/L}$ (AB1, AB2, AB3, AB4, AB5).



Slika 89. Procentualna raspodela koncentracija $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ u vodi iz arteških bunara

U okviru Međunarodnog nacionalnog monitoringa vodotoka u Republici Srpskoj (*Institut za vode Bijeljina, 2011; Institut za vode Bijeljina, 2012*), takođe je izvršeno i određivanje ukupnog fosfora i ortofosfata na reci Savi (profil Rača). Koncentracije ukupnog fosfora kretale su se od 0,048 mgP/L do 0,149 mgP/L, dok su koncentracije ortofosfata bile od 0,010 mgP/L do 0,056 mgP/L, s tim što je u julu i junu mesecu, u odnosu na ostale mesece, došlo do povećanog sadržaja fosforne komponente u reci Savi. U vodi iz arteških bunara AB1, AB2, AB3, AB4 i AB5, u kojima se izmerene veoma visoke koncentracije ortofosfata, u letnjem periodu ne dolazi da naglog porasta koncentracije ortofosfata kao u reci Savi. Takođe, izmerene koncentracije su daleko veće od onih izmerenih u reci Savi, na osnovu čega se može ponovo zaključiti da površinske vode ne utiču na kvalitet vode iz arteških bunara (slika 90.).



Slika 90. Uporedni prikaz koncentracije $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ u vodi iz arteških bunara i reci Savi

U blizini arteških bunara ne nalaze se industrijska postrojenja i saobraćajnice, ali se sami lokaliteti nalaze u kraju u kom se ljudi bave poljoprivredom i stočarstvom. Takođe je bitno da u selima, u kojima se nalaze arteški bunari, ne postoje kanalizacioni sistemi za odvod otpadnih voda iz domaćinstava, već se ova voda čuva u septičkim jamama. Otpadne vode sa farmi takođe se ne odvođe kanalizacionim sistemima već se ispuštaju u zemlju odakle dolaze do podzemnih voda. Na poljoprivrednom zemljištu koristi se veštačka đubriva na bazi azota, fosfora i kalijuma. S obzirom na to da koncentracije ortofosfata ne variraju sezonski, u sušnom i kišnom periodu, i na ovom primeru takođe se može zaključiti da je voda iz arteških bunara zaštićena vodonepropusnim slojem koji je štiti od antropogenog uticaja.

Koncentracije ortofosfata u podzemnoj vodi mogu mnogo da variraju. Nivo fosfata u plićim podzemnim vodama može biti povećan zbog upotrebe đubriva u poljoprivredi (*Young i Ross, 2001*).

U podzemnim vodama jugozapadne Makedonije, na teritoriji opštine Bitola, koncentracije rastvorenog fosfata su u intervalu od $<0,015 \text{ mgPO}_4^{3-}/\text{L}$ do $4,9 \text{ mgPO}_4^{3-}/\text{L}$ (*Mirčovski i sar., 2015*).

U severozapadnim delovima Hrvatske, na području Koprivnica-Križevci, maksimalna koncentracija fosfata u uzorcima podzemne vode, uzorkovanih sa pet različitih lokaliteta u periodu od 2011. godine do 2012. godine, iznosila je 2,098 mg/L (*Habuda-Stanić i sar., 2015*).

U Grčkoj, u poljoprivrednom regionu Evros, koncentracije fosfata su u intervalu od 0,20 mgPO₄³⁻/L do 6,28 mgPO₄³⁻//L, pri čemu 7,8% uzoraka vode sadrži fosfate u koncentraciji koja prelazi nacionalni standard od 5 mg/L (*Nikolaidis i sar., 2008*).

U severozapadnim delovima Nigerije, sadržaj ortofosfata u podzemnim vodama je veoma nizak i nalazi se u intervalu od 0,007 mg/L do 0,029 mg/L (*Ogunbode i sar., 2016*).

U podzemnoj vodi Svazilenda koncentracije ortofosfata su u intervalu od 0,10 mgPO₄³⁻-P/L do 0,49 mgPO₄³⁻-P/L (*Fadiran i sar., 2008*).

U podzemnim vodama Bangladeša koncentracije ortofosfata su u intervalu od 0,15 mgPO₄³⁻-P/L do 1,18 mgPO₄³⁻-P/L (*Habib i sar., 2015*).

Srednje do visoke koncentracije fosfata se prirodno javljaju u mnogim oblastima Azije gde su registrovane visoke koncentracije arsena, što predstavlja potencijalno značajnu smetnju prilikom uklanjanja arsena iz podzemne vode pomoću sredstava na bazi gvožđa. U podzemnim vodama Bangladeša visok nivo fosfata zabeležen je u oblastima sa visokim sadržajem arsena. Srednja koncentracija fosfata u vodama sa visokim sadržajem arsena (>50 µg/L) je 1,1 mgP/L (*BGS i DPHE, 2001*).

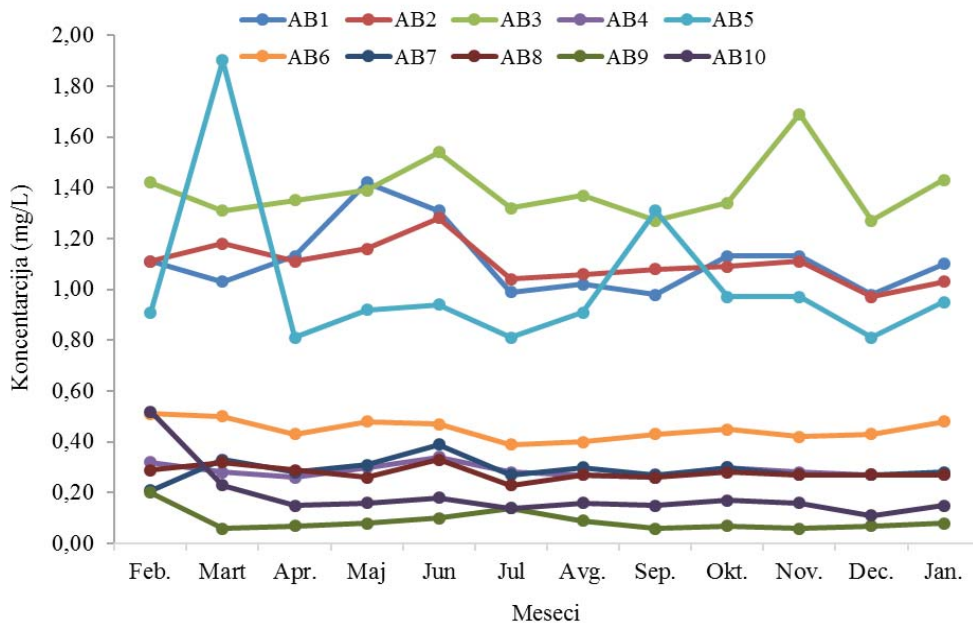
U Nepal u koncentracije ortofosfata su nešto manje, sa srednjom izmerenom vrednošću od 0,23 mgPO₄³⁻/L (*Ngai i sar., 2007*).

U Kambodži koncentracije ortofosfata su od 0,001 mgPO₄³⁻/L do 3,14 mgPO₄³⁻/L sa srednjom vrednošću od 0,66 mgPO₄³⁻/L (*Buschmann i sar., 2007*).

U Zapadnom Bengal u nekim bunarima sa visokom koncentracijom arsena (200 µg/L do 1180 µg/L) registrovan je i visok sadržaj ortofosfata (1 mgPO₄³⁻/L do 6,5 mgPO₄³⁻/L) (*McArthur i sar., 2004*).

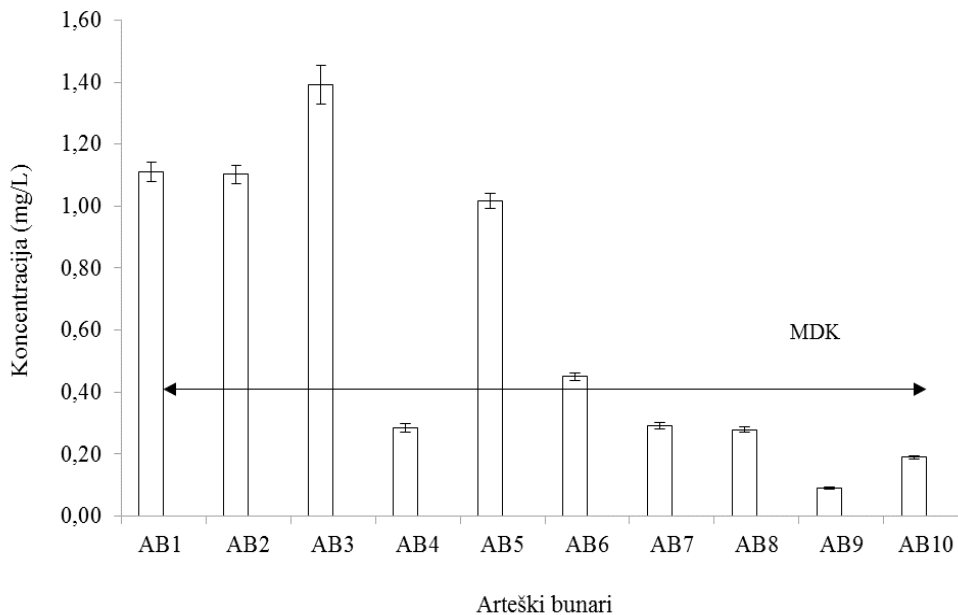
Amonijum jon

Koncentracije amonijačnog azota ($\text{NH}_4^+\text{-N}$), na svakom pojedinačnom lokalitetu, kreću se u intervalu: (0,98 - 1,42) mg $\text{NH}_4^+\text{-N/L}$ (AB1); (0,97 - 1,28) mg $\text{NH}_4^+\text{-N/L}$ (AB2); (1,27 - 1,69) mg $\text{NH}_4^+\text{-N/L}$ (AB3); (0,26 - 0,34) mg $\text{NH}_4^+\text{-N/L}$ (AB4); (0,81 - 1,90) mg $\text{NH}_4^+\text{-N/L}$ (AB5); (0,39 - 0,51) mg $\text{NH}_4^+\text{-N/L}$ (AB6); (0,21 - 0,39) mg $\text{NH}_4^+\text{-N/L}$ (AB7); (0,232 - 0,329) mg $\text{NH}_4^+\text{-N/L}$ (AB8); (0,058 - 0,198) mg $\text{NH}_4^+\text{-N/L}$ (AB9) i (0,107 - 0,520) mg $\text{NH}_4^+\text{-N/L}$ (AB10). Za godišnji period ispitivanja na svim lokalitetima koncentracije amonijum jona su u intervalu od 0,06 mg $\text{mgNH}_4^+\text{-N/L}$ do 1,90 mg $\text{mgNH}_4^+\text{-N/L}$, sa srednjom vrednošću od 0,62 mg $\text{mgNH}_4^+\text{-N/L}$. Najveća koncentracija amonijum jona izmerena je na lokalitetu AB4 u martu mesecu, dok je najmanja izmerena na lokalitetu AB9 u septembru mesecu (slika 91.). Varijacije u ispitivanom periodu kreću se od 0,1 mg $\text{mgNH}_4^+\text{-N/L}$ (AB8) do 1,09 mg $\text{mgNH}_4^+\text{-N/L}$ (AB5).



Slika 91. Mesečne promene koncentracije $\text{NH}_4^+\text{-N}$ u vodi iz arteških bunara

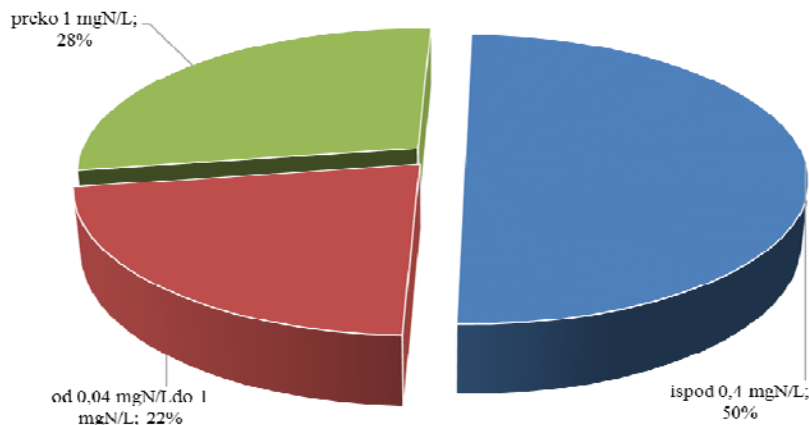
Srednje koncentracije amonijačnog azota u vodi iz arteških bunara opadaju sledećim redosledom: AB3 \square AB1 \approx AB2 \square AB5 \square AB6 \square AB4 = AB7 \approx AB8 \square AB10 \square AB9 (slika 92.).



Slika 92. Srednje koncentracije $\text{NH}_4^+\text{-N}$ u vodi iz arteških bunara

Rezultati određivanja pokazuju da je koncentracija amonijačnog azota u vodi iz arteških bunara AB1, AB2, AB3, AB5, AB6 i AB10 (samo u februaru mesecu) iznad MDK date *Pravilnikom o zdravstvenoj ispravnosti vode Republike Srpske (2015)* i *Direktivom EU (1998)*.

Na slici 93. dat je prikaz procentualne raspodele koncentracije amonijačnog azota u vodi iz arteških bunara uzimajući u obzir *Pravilnik o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće Republike Srpske (2015)*. Sa slike 93. se može zaključiti da od ukupno 120 analiziranih uzoraka vode, 50% ima koncentraciju koja je ispod MDK (0,4 mg $\text{NH}_4^+\text{-N/L}$ ili 0,5 mg $\text{NH}_4^+\text{/L}$) (AB4, AB7, AB8, AB9 i AB10). Od preostalih 50% uzoraka, čija je koncentracija za amonijačni azot veća od MDK, 22% ima koncentraciju između 0,4 mg $\text{NH}_4^+\text{-N/L}$ i 1,0 mg $\text{NH}_4^+\text{-N/L}$, dok 28% uzoraka ima koncentraciju koja je veća od 1,0 mg $\text{NH}_4^+\text{-N/L}$ (AB1, AB2, AB3 i AB5).



Slika 93. Procentualna raspodela koncentracija $\text{NH}_4^+\text{-N}$ u vodi iz arteških bunara

Prirodni nivo amonijaka u podzemnoj vodi je obično manji od 0,2 mg/L. Visoke koncentracije se mogu očekivati u slojevima koji su bogati huminskim kiselinama ili gvožđem (Dieter i Möller, 1991). Prisustvo amonijaka u koncentracijama većim od geološkog nivoa je veoma važan faktor fekalnog zagađanja (ISO, 1984, 1986).

U Srbiji, u južnom Banatu, podzemne vode imaju visok sadržaj amonijum jona, od 0,72 mg/L do 2,75 mg/L (Papić i sar., 2012).

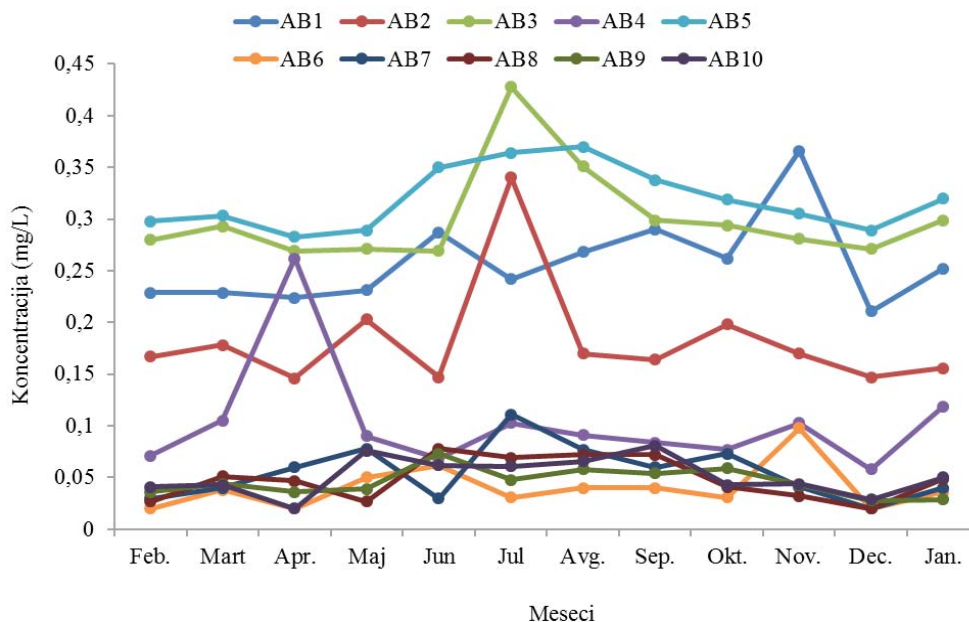
U podzemnim vodama jugozapadne Makedonije, na teritoriji opštine Bitola, koncentracije amonijum jona su u intervalu od <0,02 mg/L do 11 mg/L. Povećan sadržaj amonijum jona javlja se u podzemnim vodama koje potiču iz dubljih arteških i subarteških bunara (Mirčovski i sar., 2015).

U severozapadnim delovima Hrvatske, na području Koprivnica-Križevci, koncentracija amonijum jona u uzorcima podzemne vode, uzorkovanih sa pet različitih lokaliteta u periodu od 2011. godine do 2012. godine, je manja od 0,3 mg/L (Habuda-Stanić i sar., 2015).

U Grčkoj, u poljoprivrednom regionu Evros, koncentracije amonijum jona su u intervalu od 0 mg/L do 0,31 mg/L, što je u okviru nacionalno dozvoljene granice (Nikolaidis i sar., 2008).

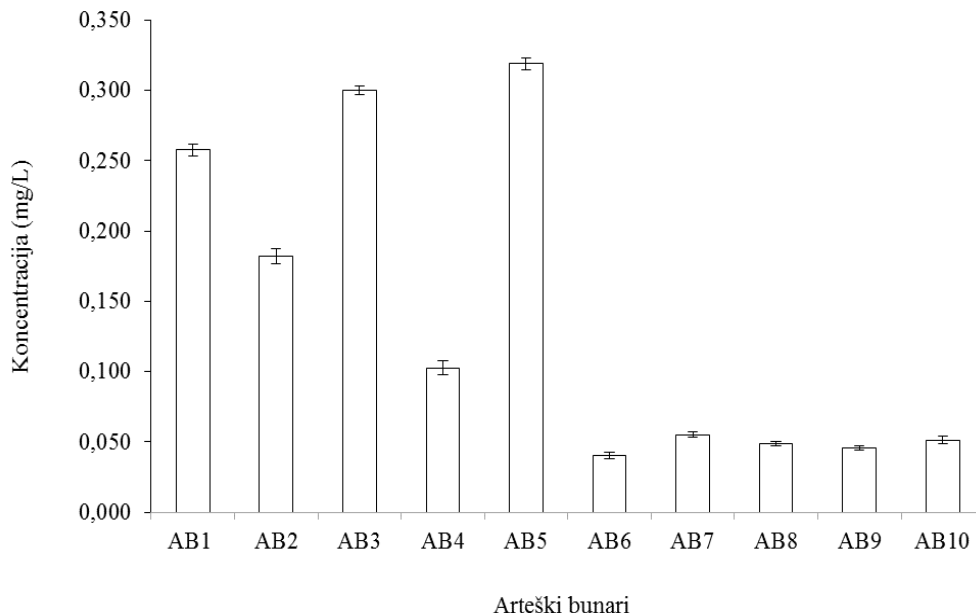
Nitrati i nitriti

Koncentracije nitratnog azota (NO_3^- -N), na svakom pojedinačnom lokalitetu, kreću se u intervalu: (0,211 - 0,366) mgNO_3^- -N/L (AB1); (0,146 - 0,340) mgNO_3^- -N/L (AB2); (0,269 - 0,428) mgNO_3^- -N/L (AB3); (0,058 - 0,262) mgNO_3^- -N/L (AB4); (0,283 - 0,370) mgNO_3^- -N/L (AB5); (\square 0,020 - 0,098) mgNO_3^- -N/L (AB6); (\square 0,020 - 0,111) mgNO_3^- -N/L (AB7); (\square 0,020 - 0,078) mgNO_3^- -N/L (AB8); (0,028 - 0,073) mgNO_3^- -N/L (AB9) i (\square 0,020 - 0,081) mgNO_3^- -N/L (AB10). Za godišnji period ispitivanja na svim lokalitetima koncentracije nitrata su u intervalu od \square 0,020 mg NO_3^- -N/L do 0,428 mg NO_3^- -N/L. Najveća koncentracija nitrata izmerena je na lokalitetu AB3 u julu mesecu (slika 94.). Varijacije u ispitivanom periodu kreću se od 0,045 mg NO_3^- -N/L (AB9) do 0,204 mg NO_3^- -N/L (AB4).



Slika 94. Mesečne promene koncentracije NO_3^- -N u vodi iz arteških bunara

Srednje koncentracije nitratnog azota u vodi iz arteških bunara opadaju sledećim redosledom: AB5 \square AB3 \square AB1 \square AB2 \square AB4 \square AB7 = AB10 \approx AB8 \square AB9 \square AB6 (slika 95.).



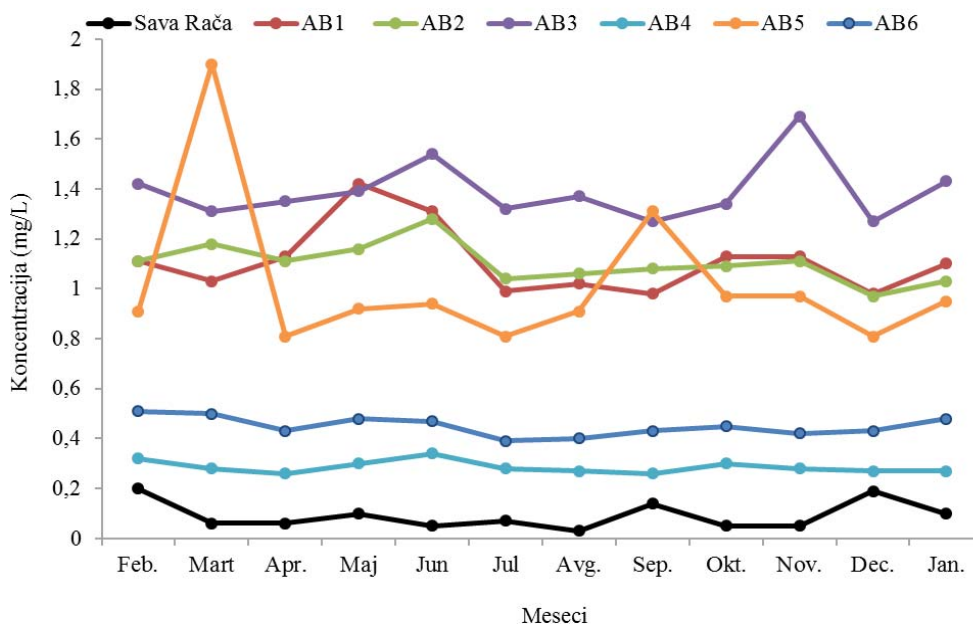
Slika 95. Srednje koncentracije NO_3^- -N u vodi iz arteških bunara

Koncentracije nitratnog azota u uzorcima vode iz arteških bunara, sa najvećom izmerenom vrednošću od 0,428 $\mu\text{g/L}$, nalaze se daleko ispod preporučenih vrednosti i MDK (*WHO, 2011a; U.S. EPA, 2012; Direktiva EU, 1989; Pravilnik o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće Republike Srpske, 2015*).

Koncentracije nitritnog azota (NO_2^- -N) u svim uzorcima vode iz arteških bunara nalaze se ispod granice detekcije metode (0,002 $\text{mgNO}_2\text{-N/L}$) i tako zadovoljavaju preporučene vrednosti i MDK (*WHO, 2011a; U.S. EPA, 2012; Direktiva EU, 1989; Pravilnik o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće Republike Srpske, 2015*).

Voda iz arteških bunara je blago alkalnog karaktera na osnovu čega se može zaključiti da je u ovim vodama dominantan oblik amonijaka amonijum jon. Pored određivanja fizičko-hemijskih parametara, urađena je i mikrobiološka analiza vode iz arteških bunara. Mikrobiološka analiza pokazala je da u vodi iz arteških bunara ne postoje bakterije fekalnog porekla, što upućuje na to da visoke koncentracije amonijačnog azota nisu fekalnog porekla, i da septičke jame i ocedne vode sa farmi ne utiču na kvalitet vode iz arteških bunara.

U okviru Međunarodnog nacionalnog monitoringa vodotoka u Republici Srpskoj (*Institut za vode Bijeljia, 2011; Institut za vode Bijeljia 2012*), takođe je izvršeno i određivanje amonijačnog azota na reci Savi (profil Rača). Koncentracije amonijačnog azota kretale su se od 0,03 mg NH₄⁺-N/L do 0,2 mg NH₄⁺-N/L i daleko su niže u odnosu na koncentracije u vodi iz arteških bunara (slika 96.). Sve ovo ide u prilog činjenici da kvalitet površinske vode ne utiču na kvalitet vode u arteškim bunarima.



Slika 96. Uporedni prikaz koncentracije NH₄⁺-N u vodi iz arteških bunara i reci Savi

Prirodna koncentracija nitrata u podzemnoj vodi pod aerobnim uslovima je nekoliko mg/L i strogo zavise od tipa zemljišta i geološke situacije. Koncentracije nitrata su obično ispod 0,1 mg/L (*WHO, 2011a*). Nivo nitrata u podzemnoj vodi zavisi od mnogih faktora, kao što su svrha u koju se zemljište koristi, tipa zemljišta, geohemijskih uslova, tipa akvifera i starosti podzemne vode (*Dubrovski i Hamilton, 2010*). Obično je veći nego u površinskoj vodi zbog minimalnog unosa od strane vegetacije i zato što organski azot koji je potreban za denitrifikaciju može biti ograničen u podzemnoj vodi (*Burkart i Stoner, 2002; Dubrovski i sar., 2010*). Povišen nivo nitrata u površinskoj i podzemnoj vodi je obično povezan sa poljoprivrednim aktivnostima. Kao rezultat intenzivne upotrebe azotnih đubriva u poljoprivredi, zagađenje površinskih i podzemnih voda nitratom generalno se povećava

tokom vremena (*Dubrovski i sar., 2010; Lindsey i Rupert, 2012*). Studije su takođe pokazale da je nivo nitrata u površinskim i podzemnim vodama u gradskim sredinama takođe povećan kao posledica ispuštanja gradskih otpadnih voda ili industrijskih otpadnih voda, korišćenja đubriva u parkovima, septičkih jama i atmosferskih taloženja (*Dubrovski i sar., 2010*).

Visok nivo nitrata u vodi za piće je često povezan sa privatnim, plitkim bunarima dubine manje od 30 m u regionima sa propusnim zemljištem. Koncentracije nitrata imaju tendenciju da opadaju sa dubinom (*Johnson i Kross, 1990; Fitzgerald i sar., 2001; Ruckart i sar., 2008*). *Dubrovsky i saradnici (2010)* su izvestili da domaći plitki bunari koji su blizu postojećih ili bivših poljoprivrednih površina imaju najverovatnije povišenu koncentraciju nitrata. Više od 20% od 406 bunara ispitano u ovoj kategoriji ima koncentraciju koja prelazi 10 mgNO₃⁻-N/L. Ovi autori takođe naglašavaju da geohemijski uslovi imaju jaku kontrolu nad pojavom nitrata u podzemnoj vodi. Srednja koncentracija nitrata od 5,5 mgNO₃⁻-N/L je pronađena u bunarima sa oksigenovanom podzemnom vodom u poljoprivrednom regionu, dok su znatno niže koncentracije (<0,05 mgNO₃⁻-N/L) pronađene u vodi sa manjim sadržajem kiseonika, takođe u krajevima u kojima se azot koristi za obradu zemljanih površina. Visok nivo nitrata u vodi za piće često se istovremeno javlja sa mikrobiološkom kontaminacijom i slabim kvalitetom vode (*OEHHA, 1997; Fitzgerald i sar., 2001*)

U podzemnim vodama jugozapadne Makedonije, na teritoriji opštine Bitola, koncentracije nitrata su u intervalu od <0,1 mgNO₃⁻/L do 167 mgNO₃⁻/L, pri čemu samo u jednom od 19 ispitanih uzoraka vode, koncentracija prelazi MDK od 50 mg/L. Povećan sadržaj nitrata se javlja u vodama koje potiču iz plitkih bunara. Nitriti su detektovani samo u dva ispitana uzorka sa najvećom izmerenom vrednošću od 0,035 mgNO₃⁻/L (*Mirčovski i sar., 2015*).

U severozapadnim delovima Hrvatske, na području Koprivnica-Križevci, koncentracija nitrita u uzorcima podzemne vode, uzorkovanih sa pet različitih lokaliteta u periodu od 2011. godine do 2012. godine, je manja od 0,1 mg/L, dok je maksimalna koncentracija nitrata iznosila 29,9 mg/L (*Habuda-Stanić i sar., 2015*).

Studije sprovedene u zapadnoj Rumuniji, u Gataji, ukazale su na visok sadržaj nitrata i nitrita u podzemnoj vodi. Koncentracije nitrata su u intervalu od 1,0 mg/L do 188,1 mg/L, sa srednjom koncentracijom od 59,7 mg/L, pri čemu 41,17% uzoraka vode ne zadovoljava MDK od 50 mg/L. Koncentracije nitrita su u manje u odnosu na nitrata i kreću se u intervalu

od 0,02 mg/L do 1,48 mg/L, sa srednjom koncentracijom od 0,23 mg/L, pri čemu 11,76% uzoraka vode ne zadovoljava MDK od 0,5 mg/L (*Török i sar., 2013*).

U Grčkoj, u poljoprivrednom regionu Evros, koncentracije nitrata su u intervalu od 2 mg/L do 212 mg/L. Četiri od 64 uzoraka vode (6,25%) sadrže nitrate u koncentraciji koja prelazi 50 mg/L. Sa druge strane, koncentracije nitrita su znatno manje i nalaze se u intervalu od 0 mg/L do 0,18 mg/L, što je u okviru nacionalno dozvoljene granice (*Nikolaidis i sar., 2008*).

U Turskoj, u gradu Koniji, 1998. godine, koncentracije nitrata u 140 uzoraka podzemne vode su bile u intervalu od 0,4 mg/L do 32,0 mg/L sa srednjom koncentracijom od 2,3 mg/L. 2001. godine u 157 uzoraka podzemne vode koncentracija nitrata su bile u intervalu od 3 mg/L do 110 mg/L, sa srednjom koncentracijom od 16 mg/L, pri čemu je koncentracija nitrata prelazila granicu od 50 mg/L kod 3 uzorka (*Bilgehan i Berktaç, 2006*).

Veoma visoke koncentracije nitrata, do 467 mg/L i do 1063 mg/L, su zabeležene u uzorcima podzemne vode u Kanadi, u Ontariu (*Egboka, 1984*) i Manitobi (*Kjartanson, 1986*). U Britanskoj Kolumbiji, u Kanadi, nivo nitrata prelazi 45 mg/L u skoro 60% od 450 uzoraka bunarske vode (*Liebscher i sar., 1992*).

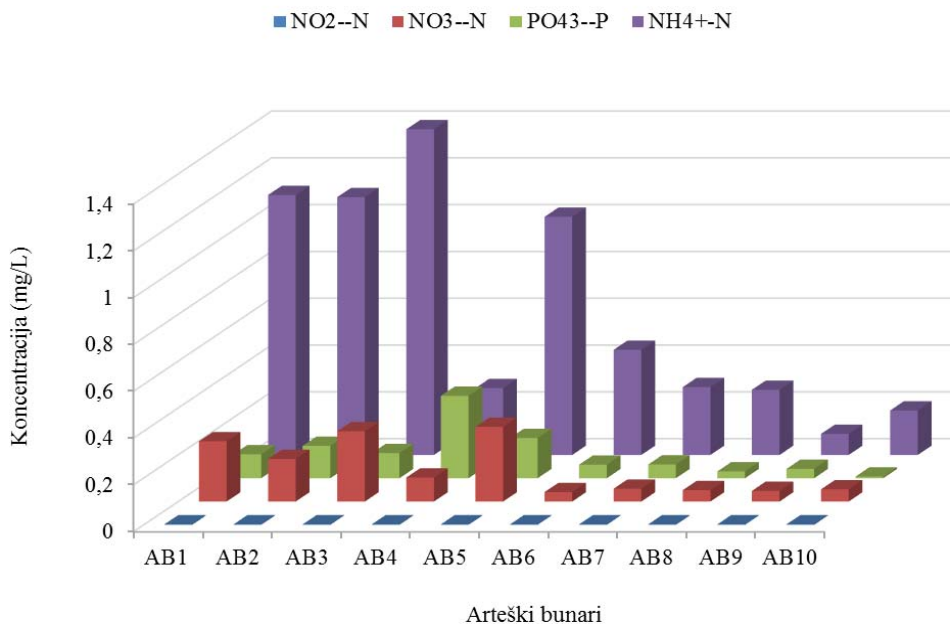
U Teksasu, u Sjedinjenim Američkim Državama, regionu koji se pored proizvodnje nafte i prirodnog gasa bavi i poljoprivredom, koncentracije nitrata u podzemnoj vodi su u intervalu od <0,44 mg/L do 149 mg/L, pri čemu u 3 od 40 uzoraka vode koncentracije nitrata prelaze nacionalni standard od 44 mg/L. Statistički podaci pokazuju da koncentracije nitrata opadaju sa dubinom bunara (*Hudak, 2012*).

U severozapadnim delovima Nigerije, sadržaj nitrata u podzemnoj vodi je u intervalu od 0,009 mg/L do 0,033 mg/L, daleko ispod MDK od 50 mg/L (*Ogunbode i sar, 2016*).

U Zvazilendu koncentracije nitrata su u intervalu od 0,05 mgNO₃⁻-N/L do 28,44 mgNO₃⁻-N/L, pri čemu 10,22% uzoraka ne zadovoljava MDK preporučenu od strane WHO (1996b) (10 mg/L). Koncentracija nitrita su do 0,297 mgNO₂⁻-N/L (*Fadiran i sar., 2005*).

U Indiji, u gradu Džajpuru, koncentracije nitrata u podzemnoj vodi su u intervalu od 11 mg/L do 228 mg/L, sa srednjom vrednošću od 126 mg/L pri čemu 81% analiziranih uzoraka vode ima koncentraciju koja prelazi granicu od 44 mg/L (*Tank i Chandel, 2010*).

Sadržaj azotne komponente i ortofosfata u vodi iz arteških bunara dat je na slici 97..



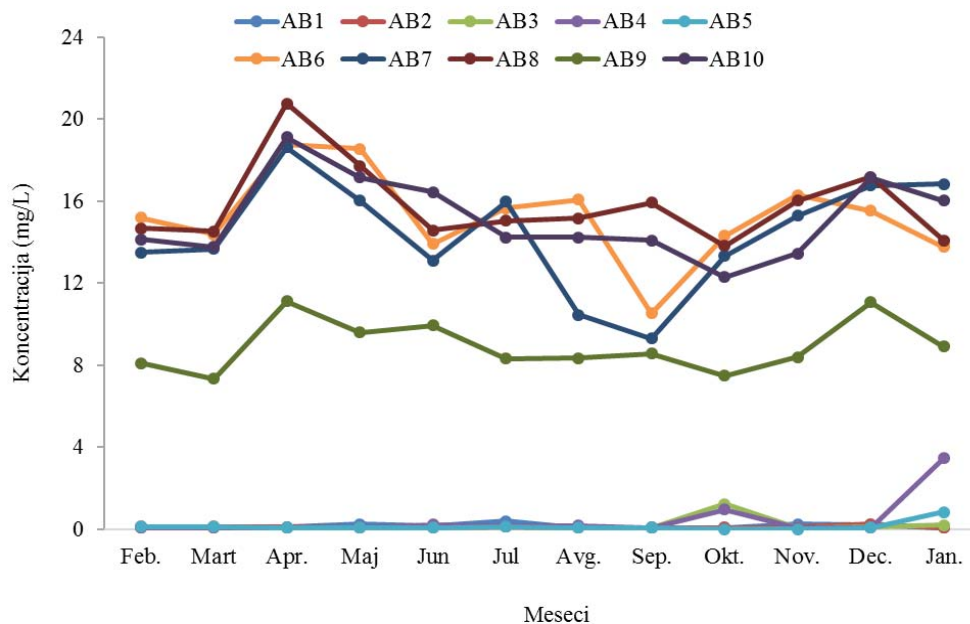
Slika 97. Sadržaj azotne komponente i ortofosfata u vodi iz arteških bunara

Sulfati

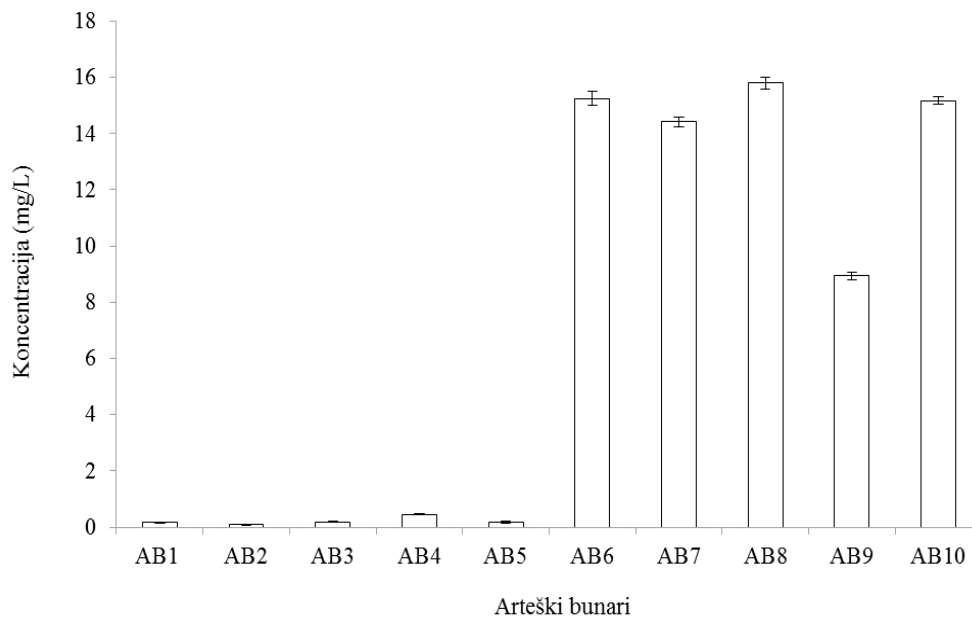
Sulfati, zajedno sa hloridima, su najzastupljeniji anjoni u vodi. U podzemnoj vodi se mogu naći usled rastvaranja minerala i stena kroz koje je voda prošla, kao i usled antropogenog delovanja.

Koncentracije sulfata, na svakom pojedinačnom lokalitetu, kreću se u intervalu: (\square 0,08 - 0,39) mg/L (AB1); (\square 0,08 - 0,25) mg/L (AB2); (\square 0,08 - 1,23) mg/L (AB3); (\square 0,08 - 3,47) mg/L (AB4); (\square 0,08 - 0,84) mg/L (AB5); (10,5 - 18,8) mg/L (AB6); (9,3 - 15,3) mg/L (AB7); (13,8 - 20,8) mg/L (AB8); (7,3 - 11,1) mg/L (AB9) i (12,3 - 19,1) mg/L (AB10). Za godišnji period ispitivanja, koncentracije sulfata na svim lokalitetima su u intervalu od \square 0,08 mg/L do 20,77 mg/L. Najveća koncentracija sulfata izmerena je na lokalitetu AB8 u aprilu mesecu (slika 98.). U vodi iz arteških bunara AB1, AB2, AB3, AB4 i AB5 koncentracije sulfata su znatno niže nego u vodi preostalih bunara.

Srednje koncentracije sulfata u vodi iz arteških bunara opadaju sledećim redosledom: AB8 \square AB6 \square AB10 \square AB7 \square AB9 \square AB4 = AB3 \approx AB5 \approx AB1 \square AB2 (slika 99.).



Slika 98. Mesečne promene koncentracije SO₄²⁻ u vodi iz arteških bunara



Slika 99. Srednje koncentracije SO₄²⁻ u vodi iz arteških bunara

Koncentracije sulfata, sa najvećom izmerenom vrednošću od 20,7 mg/L, u uzorcima vode iz arteških bunara zadovoljavaju preporučene vrednost i MDK (U.S. EPA, 2012; Direktiva EU, 1989; Pravilnik o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće Republike Srpske, 2015).

Sulfati su jedni od najmanje toksičnih anjona. Raspoloživi literaturni podaci (WHO, 2004b) ne ukazuju na sadržaj sulfata u vodi za piće koji bi mogao da prouzrokuje štetne posledice po zdravlje ljudi. Studije su pokazale da u koncentracijama od 1000 mg/L do 1200 mg/L, sulfati pokazuju laksativno dejstvo, ali ne i dijareju, dehidraciju i gubitak težine (WHO, 2004b). Prisustvo sulfata u vodi za piće može uticati na ukus vode. Najniži prag ukusa sulfata je oko 250 mg/L (natrijumova so). Takođe, sulfati mogu doprineti koroziji u distribucionim sistemima (WHO, 2004b).

Sulfati su sveprisutni joni u prirodnim vodama. Sulfati se prirodno nalaze u brojnim mineralima i komercijalno se koriste uglavnom u hemijskoj industriji. Oni dospevaju u vodu industrijskim otpadnim vodama i preko atmosferskih padavina. Međutim, najveći deo u podzemnoj vodi potiče iz prirodnih izvora (Dalmacija i Agbaba, 2006). Vode u magmatskim i metamorfnim stenama uglavnom sadrže manje od 100 mg/L sulfata, ali u sedimentnim stenama se mogu naći znatno veće koncentracije (Fytianos i Christophoridis, 2014).

U Srbiji, u Banatu, podzemne vode, sa visokim sadržajem arsena do 217 µg/L, imaju nizak sadržaj sulfata u intervalu od 3 mg/L do 90 mg/L (Papić i sar., 2012).

U podzemnim vodama jugozapadne Makedonije, na teritoriji opštine Bitola, koncentracije sulfata veoma variraju od minimalne koja je 17,1 mg/L do maksimalne 338 mg/L. Tri uzorka vode imaju koncentraciju sulfata veću od MDK od 250 mg/L (Mirčovski i sar., 2015).

U Grčkoj, u poljoprivrednom regionu Evros, koncentracije sulfata su u intervalu od 30 mg/L do 308 mg/L, pri čemu 4,7% uzoraka sadrži sulfate u koncentraciji koja prelazi nacionalni standard od 250 mg/L (Nikolaidis i sar., 2008).

U Turskoj, u gradu Kanoji, 177 uzoraka podzemne vode ispitano je na sadržaj sulfata. Rezultati su pokazali da su koncentracije u intervalu od 7 mg/L do 550 mg/L, pri čemu 5 uzoraka vode imaju koncentracije veće od 250 mg/L (Nas i Berktay, 2010).

U severozapadnim delovima Nigerije, sadržaj sulfata u podzemnim vodama je veoma nizak i nalazi se u intervalu od 0,012 mg/L do 0,111 mg/L (*Ogunbode i sar., 2016*).

U Indiji, u Džajpuru, koncentracije sulfata u podzemnoj vodi su u intervalu od 13 mg/L do 182 mg/L (*Tank i Chandel, 2010*).

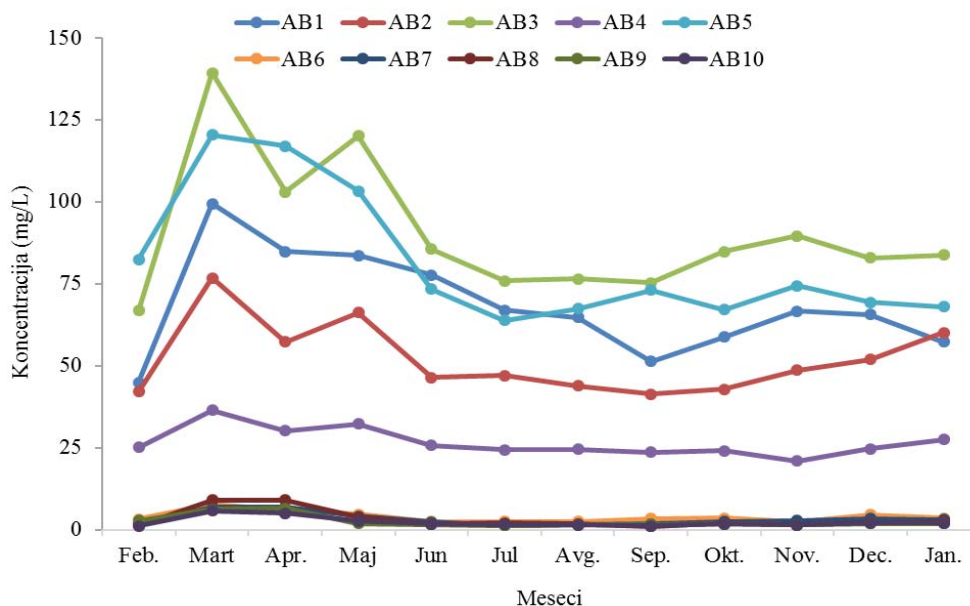
U Pakistanu, u Lahoru u provinciji Pandžab, koncentracije sulfata u podzemnoj vodi, pre i posle monsuna su od 6 mg/L do 2035 mg/L i od 406 mg/L do 2578 mg/L (*Naeem i sar., 2007*).

Hloridi

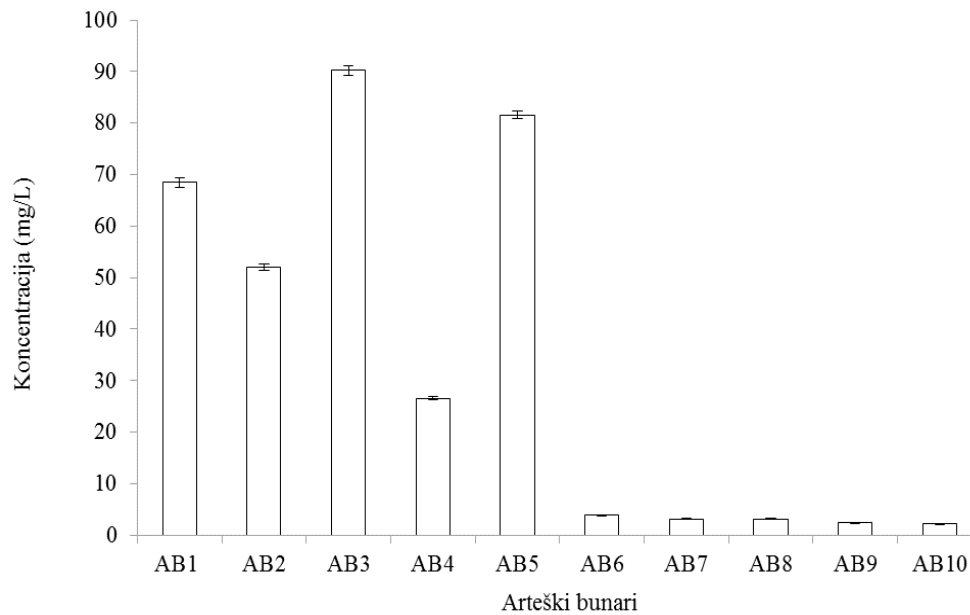
Koncentracije hlorida, na svakom pojedinačnom lokalitetu, kreću se u intervalu: (44,8 - 99,4) mg/L (AB1); (41,3 - 76,7) mg/L (AB2); (66,8 - 139,3) mg/L (AB3); (20,9 - 36,4) mg/L (AB4); (63,8 - 120,4) mg/L (AB5); (2,39 - 7,64) mg/L (AB6); (1,21 - 6,82) mg/L (AB7); (0,99 - 9,05) mg/L (AB8); (1,32 - 6,41) mg/L (AB9) i (1,05 - 5,81) mg/L (AB10). Za godišnji period ispitivanja, koncentracije hlorida na svim lokalitetima su u intervalu od 0,99 mg/L do 139,3 mg/L. Najveća koncentracija hlorida izmerena je na lokalitetu AB3 u martu mesecu, dok je najmanja izmerena na lokalitetu AB8 u septembru mesecu (slika 100.). Varijacije u ispitivanom periodu kreću se od 4,76 mg/L (AB10) do 72,47 mg/L (AB3). U vodi iz arteških bunara AB1, AB2, AB3, AB4 i AB5 koncentracije hlorida su znatno veće nego u vodi preostalih pet bunara.

Srednje koncentracije hlorida u vodi iz arteških bunara opadaju sledećim redosledom: AB3 □ AB5 □ AB1 □ AB2 □ AB4 □ □ AB6 = AB8 ≈ AB7 □ AB9 □ AB10 (slika 101.).

Koncentracije hlorida, sa najvećom izmerenom vrednošću od 139,3 mg/L, u uzorcima vode iz arteških bunara zadovoljavaju preporučenu vrednost i MDK (*U.S. EPA, 2012; Direktiva EU, 1989; Pravilnik o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće Republike Srpske, 2015*).



Slika 100. Mesečne promene koncentracije Cl⁻ u vodi iz arteških bunara



Slika 101. Srednje koncentracije Cl⁻ u vodi iz arteških bunara

Hloridi se u prirodnim vodama javljaju u niskim koncentracijama, obično ispod 100 mg/L (Fetter, 1999). Sadržaj hlorida se povećava sa porastom sadržaja minerala. Hloridi povećavaju električnu provodljivost vode i time povećavaju korozivnost vode. U metalnim cevima, hloridi reaguju sa metalnim jonima formirajući rastvorene soli (WHO, 1996a), čime se povećava nivo metala u vodi.

U Srbiji, u Banatu, podzemne vode imaju nizak sadržaj hlorida, koji je u intervalu od 5 mg/L do 50 mg/L (Papić i sar., 2012).

U podzemnim vodama jugozapadne Makedonije, na teritoriji opštine Bitola, koncentracije hlorida veoma variraju od minimalne koja je iznosila je 36,7 mg/L do maksimalne 2813 mg/L, pri čemu šest uzoraka vode ima koncentraciju hlorida veću od MDK od 250 mg/L. Sadržaj hlorida raste sa dubinom arteških i subarteških bunara (Mirčovski i sar., 2015).

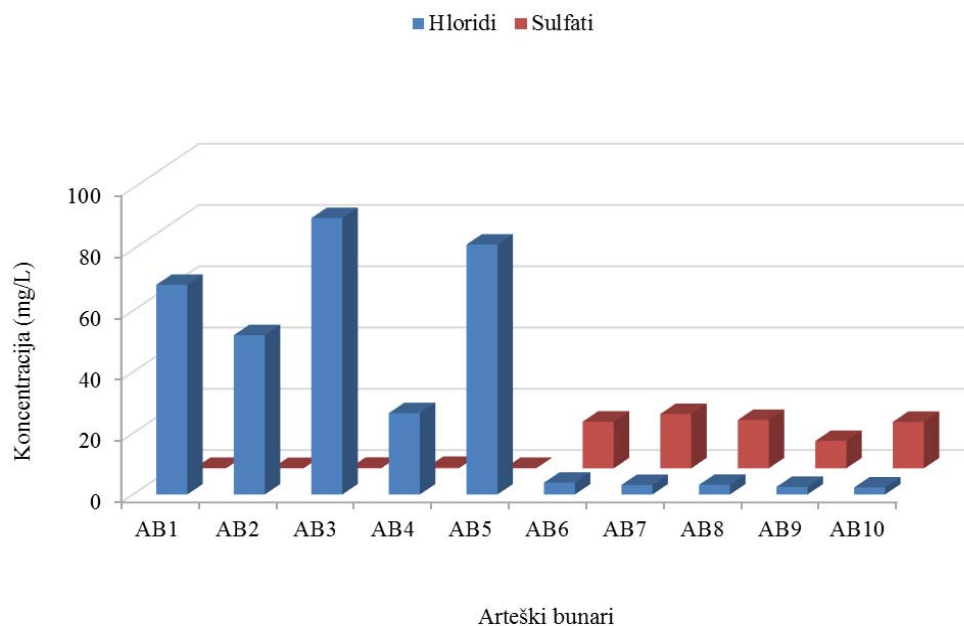
U Turskoj, u gradu Kanoji, 177 uzoraka podzemne vode ispitano je na sadržaj hlorida. Rezultati su pokazali da su koncentracije u intervalu od 10 mg/L do 520 mg/L (Nas i Berktaş, 2010).

U Teksasu, u Sjedinjenim Američkim Državama, regionu koji se pored proizvodnje nafte i prirodnog gasa bavi i poljoprivredom, koncentracije hlorida u podzemnoj vodi su u intervalu od 2 mg/L do 595 mg/L, pri čemu samo 2 od 40 uzoraka vode ima koncentraciju hlorida koja prelazi sekundarni MCL 250 mg/L (Hudak, 2012).

U Indiji, u Džajpuru, koncentracije hlorida u podzemnoj vodi su u intervalu od 19,99 mg/L do 632,25 mg/L (Tank i Chandel, 2010).

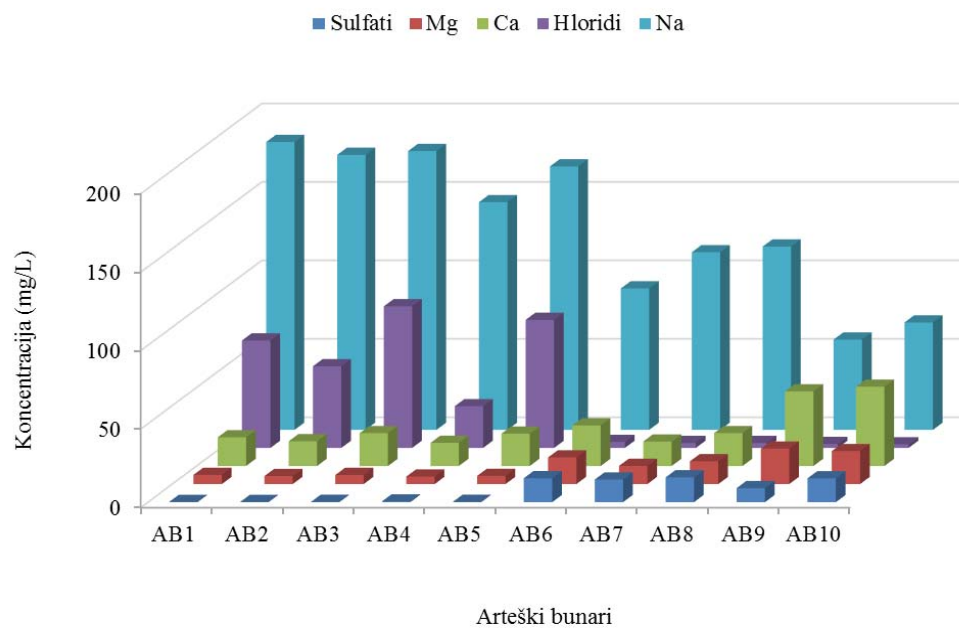
U Pakistanu, u Lahoru u provinciji Pandžab, koncentracije hlorida u podzemnoj vodi pre i posle monsuna su od 5 mg/L do 2700 mg/L i od 7,6 mg/L do 2506 mg/L (Naeem i sar., 2007).

U vodi arteških bunara AB1, AB2, AB3, AB4 i AB5 glavni anjon su hloridi, dok su koncentracije sulfata zanemarljivo male (slika 102.). Odnos srednjih koncentracija hlorida i sulfata kreće se od 57 mg/L (AB4) do 473 mg/L (AB2). U preostalim pet arteških bunara je obrnuta situacija, glavni anjon je sulfat, ali je odnos sulfata u odnosu na hloride u ovom slučaju znatno manji i kreće se od 4 (AB6) do 6,6 (AB10).



Slika 102. Srednje koncentracije hlorida i sulfata vodi iz arteških bunara

Ovaj odnos hlorida i sulfata u vodi iz arteških bunara povezan je sa odnosom koncentracija natrijuma, kalcijuma i magnezijuma. U vodi arteških bunara AB1, AB2, AB3, AB4 i AB5 koncentracije natrijuma i hlorida su veće u odnosu na preostale arteške bunare (slika 103.), pa se može očekivati da je natrijum hlorid glavni izvor hlorida u vodi ovih arteških bunara. U vodi preostalih arteških bunara (AB6, AB7, AB8, AB9 i AB10), viši sadržaj sulfata povezan je sa većom koncentracijom kalcijuma i magnezijuma, koji potiču od rastvaranja soli kalcijum sulfata i magnezijum sulfata.



Slika 103. Srednje koncentracije glavnih katjona i anjona u vodi iz arteških bunara

3.7 Multivarijantna analiza metala u vodi iz arteških bunara

Multivarijantna analiza je, zahvaljujući komercijalno dostupnim softverskim paketima (STATISTICA, SPSS, XLSTAT, KyPlot, Statgraphyc itd.), postala standardni način za poređenje velikog broja najrazličitijih kompleksnih uzoraka. Analiza glavnih komponentata (PCA) i klaster analiza (CA) su metode multivarijantne analize koje mogu da posluže u diferencijaciji ispitivanih uzoraka na vrlo jednostavan i razumljiv način. Veliku primenu nalaze u analizi uzoraka iz životne sredine kao pomoćne metode prilikom identifikacije izvora zagađivanja (Zitko, 1994; Diaz i sar., 2002).

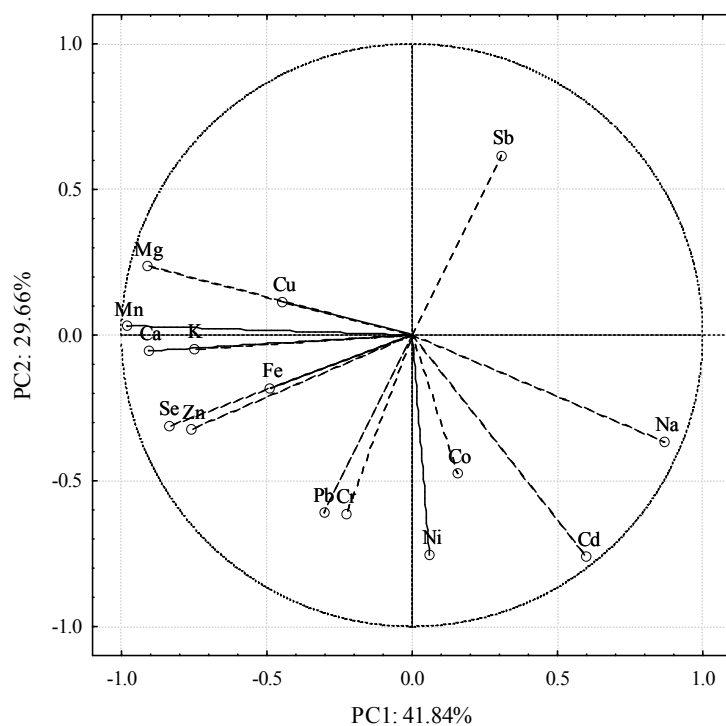
Metoda glavnih komponenti i faktorska analiza su primenjene na prosečne godišnje koncentracije analiziranih elemenata.

Primenom kriterijuma latentnog korena (vrednost faktora veća od 1), dobijeno je rešenje sa dva ekstrahovana faktora, od kojih prvi objašnjava 41,84%, a drugi 19,66% disperzije posmatranih merenja. Zajedno, ova dva faktora objašnjavaju 61,50% disperzije posmatranih merenja (Tabela 74.).

Tabela 74. Ekstrakcija glavnih komponenti

| Komponenta | Karakteristična vrednost | | |
|------------|---------------------------|------------------------|------------------------------------|
| | Vrednost latentnog korena | Disperzija merenja (%) | Kumulativna disperzija merenja (%) |
| 1 | 6,28 | 41,84 | 41,84 |
| 2 | 2,95 | 19,66 | 61,50 |

Što se tiče faktorskih zasićenja, ukoliko se izvorna merenja postave u koordinatnu ravan čije su koordinatne ose ekstrahovani faktori, dobija se slika 104.



Slika 104. Dijagram faktorskih zasićenja

Na osnovu slike 104. može se zaključiti da prvi faktor objašnjavaju Mn, Mg, Na, Ca, Pb, Zn, Cr, Fe i Cu, a drugi Cd, Sb, Ni, K, Se i Co. Pritom se vidi da je Na suprotno usmeren u odnosu na ostale element koji zasićuju prvi faktor, tj, ima korelaciju suprotnog znaka. Slično se u kontekstu drugog faktora može zaključiti i za Sb. Grafički prikaz dobijenih rezultata je potkrepljen matricom zasićenja koja je data u tabeli 75.

Tabela 75. Faktorska zasićenja*

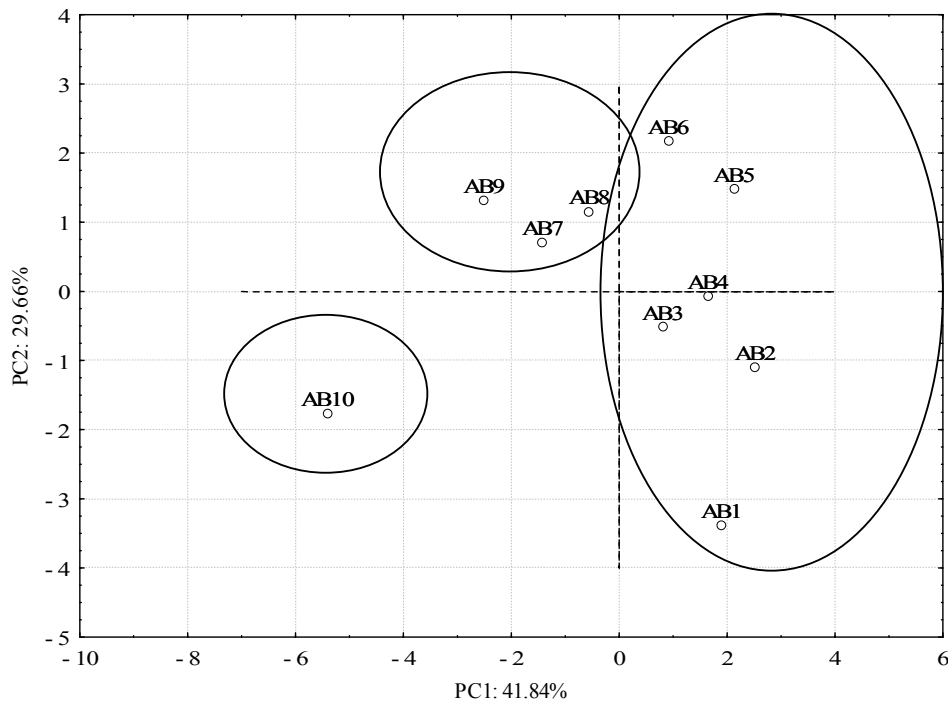
| Element | Komponenta | |
|-------------------------------|---------------|---------------|
| | 1 | 2 |
| Mn | 0,982 | -0,030 |
| Mg | 0,913 | -0,236 |
| Ca | 0,908 | 0,053 |
| Na | -0,869 | 0,367 |
| K | 0,836 | 0,312 |
| Zn | 0,758 | 0,325 |
| Se | 0,748 | 0,046 |
| Fe | 0,488 | 0,181 |
| Cu | 0,447 | -0,114 |
| Cd | -0,601 | 0,761 |
| Ni | -0,059 | 0,755 |
| Sb | -0,306 | -0,617 |
| Cr | 0,228 | 0,612 |
| Pb | 0,303 | 0,611 |
| Co | -0,157 | 0,475 |
| Disperzija merenja (%) | 41,84 | 29,66 |
| Kumulativna disperzija (%) | 41,84 | 71,50 |

*Faktorska zasićenja veća od 0,4 su boldirana

Vrednosti faktorskih opterećenja za Cu (0,447) i Fe (0,448) nisu visoke kao vrednosti za ostale elemente, što može da ukaže na različito poreklo ova dva elementa u odnosu na ostale elemente u uzorcima vode iz arteških bunara. Prema *Međunarodnoj komisiji za basen reke Save (ISRBC, 2009)*, pojava Fe i Cu u basenu je geohemijskog, tj. prirodnog porekla. Takođe, na osnovu podataka prikazanih u tabeli 24, Mn, Mg i Ca, kao i Zn i Se imaju slične faktore zasićenja po prvoj komponenti, što upućuje na prirodno poreklo ovih elementa u analiziranim uzorcima vode. Drugi faktor zasićuju Cd, Ni, Sb, Cr, Pb i Co i on predstavlja antropogeni faktor. Među elementima koji zasićuju drugi faktor, Co ima najmanju vrednost, što ukazuje na njegovo različito poreklo u odnosu na ostale elemente iz ove grupe.

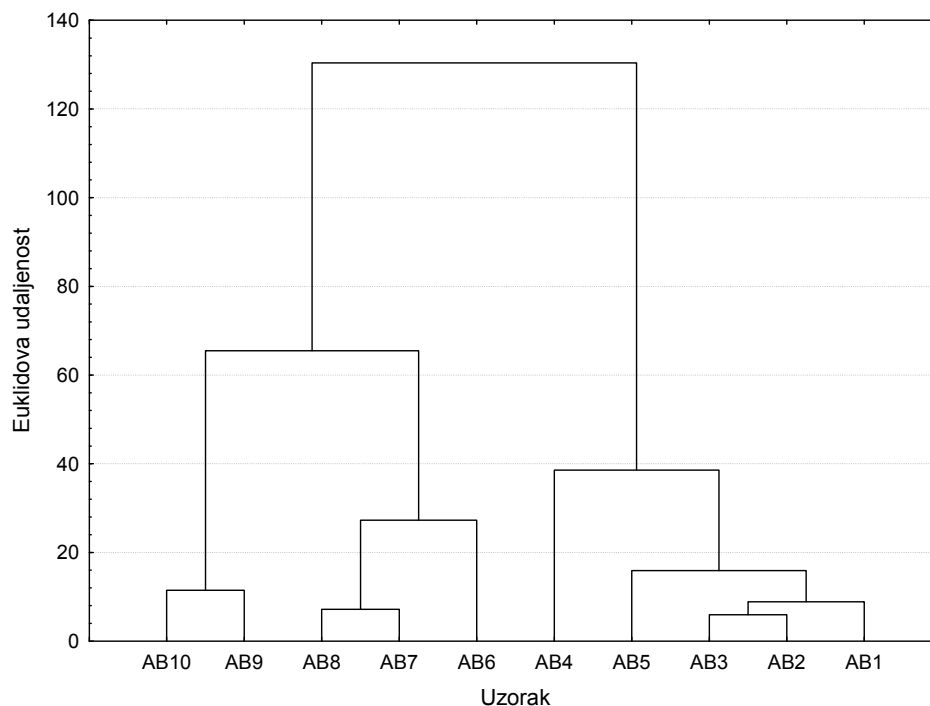
Ukoliko se posmatraju analizirani uzorci u koordinatnoj ravni, čije su kordinatne ose ekstrahovani faktori (slika 105.), može se primetiti da su uzorci vode iz arteških bunara AB1, AB2, AB3, AB4, AB5 i AB6 grupisani u pozitivnom delu faktorskih skorova prvog faktora, dok su uzorci AB7, AB8 i AB9 grupisani u II kvadrantu, tj. u negativnom delu faktorskih skorova prvog faktora i pozitivnom delu faktorskih skorova drugog faktora. Uzorak vode iz

arteškog bunara AB10 je izolovan u III kvadrantu. Njega karakterišu negativni skorovi i prvog i drugog faktora.



Slika 105. Grafički prikaz distribucije uzoraka

Primenom klaster analize (Ward-ov metod) (slika 106.), dobijeno je slično grupisanje uzoraka. Mogu se izdvojiti tri jasno odvojena klastera. U prvom klasteru su uzorci AB1, AB2, AB3, AB4 i AB5, u drugom AB6, AB7 i AB8, a u trećem AB9 i AB10.



Slika 106. Dendrogram uzoraka dobijen na osnovu koncentracija metala

Arteški bunari AB1, AB2, AB3, AB4, AB5 i AB6 se nalaze u blizini većih saobraćajnica i industrije. Veće koncentracije Pb, Cd i Cr koje su nađene u uzorcima vode iz ovih bunara u odnosu na uzorke vode iz ostalih bunara su posledica pojačanog drumskog saobraćaja usled blizine granice između Bosne i Hercegovine i Srbije. Takođe, ovi lokaliteti uzorkovanja su deo oblasti basena reke Drine u čijoj se blizini nalazi nekoliko potencijalnih zagađivača životne sredine, kao što su hemijska industrija u Goraždu, fabrika aluminijuma Alumina u Zvorniku i fabrika viskoze u Loznici. Basen reke Drine je poznat i po nalazištima rude boksita i gvožđa, čijom se eksploatacijom umnogome menja kvalitet vode i zemljišta u okolini. Drugi potencijalni uzročnici zagađenja su različiti oblici poljoprivredne aktivnosti i nepravilno odlaganje otpada (REC, 2011).

Sa druge strane, arteški bunari AB7, AB8 i AB9 se nalaze u oblasti basena reke Save. Glavni uzročnici zagađenja površinske vode u ovoj oblasti su otpadne vode iz domaćinstva i industrije, intenzivna poljoprivredna aktivnost, nepravilno odlaganje otpada i eksploatacija rude (REC, 2011). Na hemijski sastav površinske i podzemne vode utiče i sastav stena. U

akvatičnim sistemima sediment je od izuzetne važnosti za transport i kruženje svih elemenata i materija. Koncentracije metala u sedimentu su uglavnom veće od onih u rastvorenoj fazi i zbog toga je transport metala u najvećoj meri u korelaciji sa kretanjem sedimenta u vodenim sistemima. Rečni sedimenti se u mnogim zemljama ispituju već decenijama u okviru rutinskog monitoringa ili u okviru posebnog programa. Stanje basena reke Save dato je u izveštaju jedne međunarodne studije iz 2009. godine (*ISRBC, 2009*). U ovoj studiji, analizirani su sedimenti sa 20 lokacija duž reke Save. Dobijeni rezultati su pokazali da su u sedimentima, od metala u većim koncentracijama prisutni Hg (do 0,6 mg/kg), Cr (do 400 mg/kg) i Ni (do 210 mg/kg). Kontaminacija sedimenata olovom, cinkom, bakrom, kadmijumom i arsenom nije bila značajna. Ovi rezultati su u saglasnosti sa rezultatima analiziranih uzoraka vode iz arteških bunara. Veće koncentracije Cr, Ni, Pb i Cd nađene su u vodi iz arteških bunara koji se nalaze duž reke Save (AB8 < AB7 < AB4). Ranije studije su pokazale da se od 30% do 98% od ukupnog opterećenja vodenih sistema metalima nalazi asocirano u sedimentu. Međutim, na ovaj način metali nisu permanentno vezani i imobilisani nego podležu nizu fizičko-hemijskih procesa koji kontrolišu njihovo kretanje, dostupnost i na kraju koncentraciju u kojoj su prisutni. Za razliku od organskih zagađujućih materija, prirodni procesi u vodenim sistemima ne utiču na razgradnju metala pošto se oni ne mogu uništiti fizičkim, hemijskim i biološkim procesima, nego se ovim procesima transformišu u različite oblike, manje ili više dostupne. Na ovaj način sediment predstavlja veliku pretnju po vodene sisteme i žive organizme u njima, budući da se u nizu promena uslova metali mogu desorbovati sa površina čestica i biti ponovo dostupni organizmima odnosno ispoljiti ekotoksično dejstvo. Tako se na sediment može gledati kao na skladište i potencijalni izvor teških metala (*Rajić, 2010; U.S. EPA, 2005*).

Primenom ANOVA testa, poređene su koncentracije posmatranih elemenata u dobijenim klasterima i rezultati su prikazani u tabeli 76.

Tabela 76. ANOVA test

| Br. merenja | \bar{x} | SD | p | Br. merenja | \bar{x} | SD | p | | |
|-------------|-----------|----------|-----------|-------------|--------------|----------|----------|--------------|--------------|
| Fe | 1 | 0,0356 | 0,00115 | Cr | 1 | 0,61260 | 0,092473 | | |
| | 2 | 0,0303 | 0,00163 | | 0,130 | 2 | 0,83433 | 0,026101 | 0,099 |
| | 3 | 0,0565 | 0,00778 | | 3 | 0,93500 | 0,016122 | | |
| Mn | 1 | 0,01200 | 0,007176 | Ni | 1 | 0,68260 | 0,074964 | | |
| | 2 | 0,06667 | 0,003215 | | 0,001 | 2 | 0,37600 | 0,016550 | 0,775 |
| | 3 | 0,15950 | 0,004738 | | 3 | 0,49050 | 0,039952 | | |
| Zn | 1 | 0,01680 | 0,001215 | Sb | 1 | 0,23440 | 0,015192 | | |
| | 2 | 0,02100 | 0,002771 | | 0,164 | 2 | 0,24533 | 0,025929 | 0,583 |
| | 3 | 0,15500 | 0,002051 | | 3 | 0,22600 | 0,024042 | | |
| Pb | 1 | 0,03920 | 0,002263 | Se | 1 | 0,51660 | 0,060277 | | |
| | 2 | 0,04933 | 0,001619 | | 0,149 | 2 | 0,47467 | 0,034078 | 0,487 |
| | 3 | 0,11150 | 0,008980 | | 3 | 0,52500 | 0,041012 | | |
| Cu | 1 | 1,298200 | 0,049508 | Na | 1 | 169,8786 | 14,93717 | | |
| | 2 | 1,938333 | 0,027119 | | 0,199 | 2 | 106,7043 | 14,46832 | 0,000 |
| | 3 | 1,491500 | 0,043769 | | 3 | 62,9825 | 7,71666 | | |
| Cd | 1 | 0,05180 | 0,001891 | K | 1 | 1,49600 | 0,046965 | | |
| | 2 | 0,02167 | 0,007371 | | 0,034 | 2 | 1,46467 | 0,014412 | 0,796 |
| | 3 | 0,01750 | 0,004950 | | 3 | 1,68050 | 0,012940 | | |
| Co | 1 | 0,542200 | 0,0262367 | Ca | 1 | 18,07440 | 2,777697 | | |
| | 2 | 0,442667 | 0,0144915 | | 0,808 | 2 | 20,80867 | 5,139899 | 0,000 |
| | 3 | 0,539500 | 0,0898026 | | 3 | 49,04550 | 2,085258 | | |
| | | | | Mg | 1 | 5,36140 | 0,477714 | | |
| | | | | | 2 | 14,37567 | 1,305521 | 0,000 | |
| | | | | | 3 | 21,80600 | 1,139856 | | |

Značajne razlike ($p < 0,05$ za 95% nivo poverenja) između klastera postoje u koncentracijama Mn, Cd, Na, Ca i Mg, a to su upravo metali koji su u najjačim korelacijama sa ekstrahovanim faktorima.

3.8 Određivanje mikrobioloških parametara

Rezultati određivanja mikrobioloških parametara prikazani su u tabeli 77.

Izmerene vrednosti ukupnog broja aerobnih heterotrofnih bakterija u mililitru uzorka (bakterija/mL tj. CFU/mL) kretale su se do 11 CFU (na temperaturi od 22 °C) i do 18 CFU (na temperaturi od 36 °C). Najveća vrednost ukupnog broja aerobnih heterotrofnih bakterija na 22 °C, od 11 CFU/mL uzorka, dobijena je u vodi iz arteškog bunara AB9 u avgustu mesecu, dok je najveća vrednost ukupnog broja aerobnih heterotrofnih bakterija na 36 °C od 18 CFU/1 mL uzorka dobijena u uzorku iz arteškog bunara AB8 takođe u avgustu mesecu. Rezultati analize ukupnog broja aerobnih heterotrofnih bakterija u vodi većine arteških bunara, gajenih na 22 °C i 36 °C, pokazuju da su bakterije detektovane u 1 mL uzorka, što znači da je ukupan broj kolonija od 1 CFU do 3 CFU. Izmerene vrednosti broja aerobnih heterotrofnih bakterija ne variraju značajno sezonski. Rezultati analize aerobnih heterotrofa pokazuju da su izmerene vrednosti ispod preporučenih i MDK bakterija u vodi za piće, (*U.S. EPA, 2012; Pravilnik o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće Republike Srpske, 2015*).

Ukupan broj aerobnih heterotrofa služi za procenu opšteg sadržaja bakterija u vodi. Brojnost aerobnih mezofilnih bakterija se određuje na neselektivnim hranljivim podlogama, na kojima raste veliki broj bakterija kojima su zadovoljeni nutritivni zahtevi, kao i uslovi inkubacije (aerobni uslovi, temperatura od 22 °C do 36 °C) (*Dalmacija i Agbaba, 2006*). Za većinu ovih bakterija je optimalna temperatura rasta 37 °C, što znači da aerobnim bakterijama pripadaju patogeni mikroorganizami koji optimalno rastu na temperaturi ljudskog tela (*Duraković, 1996*). U aerobne mezofilne bakterije se ubrajaju rodovi: *Pseudomonas*, *Legionella*, *Neisseria*, *Brucella*, *Staphylococcus*, *Streptococcus*, *Clostridium*, *Escherichia*, *Shigella*, *Salmonella*, *Proteus*, *Yersinia*, *Citrobacter*, *Klebsiella*, *Vibrio* itd. (*Weisglass, 1989*). Povećan broj aerobnih mezofilnih bakterija u hrani je indikator njene starosti i lošijeg mikrobiološkog kvaliteta (kontaminacije i/ili početka kvarenja). Ukupan broj aerobnih heterotrofa ima mali sanitarni značaj, ali se može uspešno koristiti za procenu efikasnosti tretmana vode, posebno u procesima koagulacije, filtracije i dezinfekcije, gde je potrebno održati što manju brojnost (*WHO, OECD, 2003*).

Tabela 77. Mikrobiološki parametri u vodi arteških bunara

| Lokalitet | AB1 | AB2 | AB3 |
|---|--|--|--|
| Određivanje ukupnog broja aerobnih heterotrofa na $(22 \pm 2) ^\circ\text{C}$ u toku (68 ± 4) h | Organizam prisutan u ispitivanoj zapremini uzorka* | 5-8 | Organizam prisutan u ispitivanoj zapremini uzorka* |
| Određivanje ukupnog broja aerobnih heterotrofa na $(36 \pm 2) ^\circ\text{C}$ u toku (44 ± 4) h | Organizam prisutan u ispitivanoj zapremini uzorka* | Organizam prisutan u ispitivanoj zapremini uzorka* | Organizam prisutan u ispitivanoj zapremini uzorka* |
| Najverovatniji broj koliformnih bakterija (MPN) | Organizam nije detektovan | Organizam nije detektovan | Organizam nije detektovan |
| Najverovatniji broj termotolerantnih bakterija (MPN) | Organizam nije detektovan | Organizam nije detektovan | Organizam nije detektovan |
| Najverovatniji broj koliformnih bakterija fekalnog porijekla (MPN) | Organizam nije detektovan | Organizam nije detektovan | Organizam nije detektovan |
| Detekcija i određivanje brojnosti koliformnih bakterija ($37 ^\circ\text{C}/48\text{h}$) | Organizam nije detektovan u filtriranoj zapremini uzorka | Organizam nije detektovan u filtriranoj zapremini uzorka | Organizam nije detektovan u filtriranoj zapremini uzorka |
| Detekcija i određivanje brojnosti <i>E.coli</i> ($44 ^\circ\text{C}/24\text{h}$) | Organizam nije detektovan u filtriranoj zapremini uzorka | Organizam nije detektovan u filtriranoj količini uzorka | Organizam nije detektovan u filtriranoj zapremini uzorka |
| Detekcija i određivanje brojnosti intestinalnih (fekalnih) streptokoka | Organizam nije detektovan u filtriranoj zapremini uzorka | Organizam nije detektovan u filtriranoj zapremini uzorka | Organizam nije detektovan u filtriranoj zapremini uzorka |
| Detekcija i određivanje brojnosti <i>Pseudomonas aeruginosa</i> | Organizam nije detektovan u filtriranoj zapremini uzorka | Organizam nije detektovan u filtriranoj zapremini uzorka | Organizam nije detektovan u filtriranoj zapremini i uzorka |
| Izolacija i određivanje brojnosti sulfito-redukujućih klostridija | Organizam nije detektovan u filtriranoj zapremini uzorka | Organizam nije detektovan u filtriranoj zapremini uzorka | Organizam nije detektovan u filtriranoj zapremini uzorka |
| <i>Proteus</i> vrste | Odsutan | Odsutan | Odsutan |

Nastavak Tabele 77.

| Lokalitet | AB4 | AB5 | AB6 |
|---|--|--|--|
| Određivanje ukupnog broja aerobnih heterotrofa na $(22 \pm 2) ^\circ\text{C}$ u toku (68 ± 4) h | Organizam prisutan u ispitivanoj zapremini uzorka* | Organizam prisutan u ispitivanoj zapremini uzorka* | Organizam prisutan u ispitivanoj zapremini uzorka* |
| Određivanje ukupnog broja aerobnih heterotrofa na $(36 \pm 2) ^\circ\text{C}$ u toku (44 ± 4) h | Organizam prisutan u ispitivanoj zapremini uzorka | Organizam prisutan u ispitivanoj zapremini uzorka | Organizam prisutan u ispitivanoj zapremini uzorka |
| Najverovatniji broj koliformnih bakterija (MPN) | Organizam nije detektovan | Organizam nije detektovan | Organizam nije detektovan |
| Najverovatniji broj termotolerantnih bakterija (MPN) | Organizam nije detektovan | Organizam nije detektovan | Organizam nije detektovan |
| Najverovatniji broj koliformnih bakterija fekalnog porijekla (MPN) | Organizam nije detektovan | Organizam nije detektovan | Organizam nije detektovan |
| Detekcija i određivanje brojnosti koliformnih bakterija ($(37 ^\circ\text{C}/48$ h) | Organizam nije detektovan u filtriranoj zapremini uzorka | Organizam nije detektovan u filtriranoj zapremini uzorka | Organizam nije detektovan u filtriranoj zapremini uzorka |
| Detekcija i određivanje brojnosti <i>E.coli</i> ($44 ^\circ\text{C}/24$ h) | Organizam nije detektovan u filtriranoj zapremini uzorka | Organizam nije detektovan u filtriranoj zapremini uzorka | Organizam nije detektovan u filtriranoj zapremini uzorka |
| Detekcija i određivanje brojnosti intestinalnih (fekalnih) streptokoka | Organizam nije detektovan u filtriranoj zapremini uzorka | Organizam nije detektovan u filtriranoj zapremini uzorka | Organizam nije detektovan u filtriranoj zapremini uzorka |
| Detekcija i određivanje brojnosti <i>Pseudomonas aeruginosa</i> | Organizam nije detektovan u filtriranoj zapremini uzorka | Organizam nije detektovan u filtriranoj zapremini uzorka | Organizam nije detektovan u filtriranoj zapremini uzorka |
| Izolacija i određivanje brojnosti sulfito-redukujućih klostridija | Organizam nije detektovan u filtriranoj zapremini uzorka | Organizam nije detektovan u filtriranoj zapremini uzorka | Organizam nije detektovan u filtriranoj zapremini uzorka |
| <i>Proteus</i> vrste | Odsutan | Odsutan | Odsutan |

Nastavak Tabele 77.

| Lokaliteti | AB7 | AB8 | AB9 | AB10 |
|---|--|--|--|--|
| Određivanje ukupnog broja aerobnih heterotrofa na $(22 \pm 2) ^\circ\text{C}$ u toku (68 ± 4) h | Organizam prisutan u ispitivanoj zapremini uzorka* | Organizam prisutan u ispitivanoj zapremini uzorka* | 6-8 | 7-11 |
| Određivanje ukupnog broja aerobnih heterotrofa na $(36 \pm 2) ^\circ\text{C}$ u toku (44 ± 4) h | Organizam prisutan u ispitivanoj zapremini uzorka | 15-18 | 6-10 | 14 |
| Najverovatniji broj koliformnih bakterija (MPN) | Organizam nije detektovan | Organizam nije detektovan | Organizam nije detektovan | Organizam nije detektovan |
| Najverovatniji broj termotolerantnih bakterija (MPN) | Organizam nije detektovan | Organizam nije detektovan | Organizam nije detektovan | Organizam nije detektovan |
| Najverovatniji broj koliformnih bakterija fekalnog porijekla (MPN) | Organizam nije detektovan | Organizam nije detektovan | Organizam nije detektovan | Organizam nije detektovan |
| Detekcija i određivanje brojnosti koliformnih bakterija ($37^\circ\text{C}/48$ h) | Organizam nije detektovan u filtriranoj zapremini uzorka | Organizam nije detektovan u filtriranoj zapremini uzorka | 6-8 | Organizam nije detektovan u filtriranoj zapremini uzorka |
| Detekcija i određivanje brojnosti <i>E.coli</i> ($44^\circ\text{C}/24$ h) | Organizam nije detektovan u filtriranoj zapremini uzorka | Organizam nije detektovan u filtriranoj zapremini uzorka | Organizam nije detektovan u filtriranoj zapremini uzorka | Organizam nije detektovan u filtriranoj zapremini uzorka |
| Detekcija i određivanje brojnosti intestinalnih (fekalnih) streptokoka | Organizam nije detektovan u filtriranoj zapremini uzorka | Organizam nije detektovan u filtriranoj zapremini uzorka | 1-3 | Organizam nije detektovan u filtriranoj zapremini uzorka |
| Detekcija i određivanje brojnosti <i>Pseudomonas aeruginosa</i> | Organizam nije detektovan u filtriranoj zapremini uzorka | Organizam nije detektovan u filtriranoj zapremini uzorka | Organizam nije detektovan u filtriranoj zapremini uzorka | Organizam nije detektovan u filtriranoj zapremini uzorka |
| Izolacija i određivanje brojnosti sulfito-redukujućih klostridija | Organizam nije detektovan u filtriranoj zapremini uzorka | Organizam nije detektovan u filtriranoj zapremini uzorka | 5-9 | Organizam nije detektovan u filtriranoj zapremini uzorka |
| <i>Proteus</i> vrste | Odsutan | Odsutan | Odsutan | Odsutan |

* Prema *BAS ISO 8199:2005*, Opštem vodiču za određivanje brojnosti mikroorganizama u kulturi, ukoliko je ukupan broj kolonija od 3 do 1, preciznost rezultata je tako niska pa je reporučeno napisati: organizam prisutan u ispitivanoj zapremini uzorka

Koliformne bakterije određene su i MPN i tehnikom membranske filtracije.

MPN tehnika je pokazala da koliformne bakterije, termotolerantne i koliformne bakterije fekalnog porekla nisu prisutne u ispitanoj zapremini uzorka vode (100 mL) iz arteških bunara pri sprovedenim ispitivanjima.

Koliformne bakterije u 100 mL uzorka tehnikom membranske filtracije detektovane su samo u vodi iz arteškog bunara AB9, sa najvećom izmerenom vrednošću od 8 CFU u avgustu mesecu. U vodi iz ostalih arteških bunara ispitivane bakterije nisu detektovane u filtriranoj zapremini uzorka. Analiza *E. coli* u 100 mL uzorka tehnikom membranske filtracije na temperaturi od 44 °C pokazala je da bakterija nije detektovana. Na osnovu rezultata određivanja brojnosti koliformnih bakterija i *E. coli* u 100 mL uzorka tehnikom membranske filtracije, može se zaključiti da se ovi parametri nalaze u okviru preporučenih vrednosti i MDK bakterija (*WHO, 2011a; U.S. EPA, 2012; Direktiva EU, 1989; Pravilnik o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće Republike Srpske, 2015*).

Koliformne bakterije su grupa bakterija sa definisanim biohemijskim i osobinama rasta koje se koriste za identifikaciju bakterija koje su manje ili više povezane sa fekalnim zagađenjem. Ukupne koliformne bakterije predstavljaju veliku grupu i razmnožavaju se na 37 °C. Termotolerantne koliformne bakterije koje mogu da rastu na većoj temperaturi (44 °C) i *E. coli* kao jedna od njih, ukazuju na fekalno zagađenje vode (*WHO, OECD, 2003*). Pronalazak bilo koje koliformne bakterije, bilo termotolerantne ili ne, u vodi za piće zahteva odgovarajući tretman koji će zavisiti od toga koji je organizam detektovan. Koliformne bakterije nisu indeks fekalnog zagađenja ili rizika po zdravlje ljudi, ali mogu da daju osnovne informacije o izvoru kvaliteta vode.

Ukupne koliformne bakterije koje nisu fekalnog porekla mogu da postoje u prirodnim vodama i njihovo prisustvo se može povremeno tolerisati u vodi koja se ne sprovodi cevovodima ili netretiranoj vodi, u odsustvu drugih specifičnih indeks parametara.

Escherichia coli je široko rasprostranjena u ljudskom i životinjskom fecesu. Ona se nalazi u kanalizacionoj vodi, tretiranim efluentima i svim prirodnim vodama i zemljištu koji su sveže izloženi fekalnoj kontaminaciji, bilo ljudskog, životinjskog porekla ili poljoprivrednom aktivnošću. *Escherichia coli* je poželjna kao indeks organizam fekalnog zagađenja. Takođe se veoma široko koristi kao indikator uspešnosti tretmana. Kao i ostali koliformni indikatori, mnogo je osetljivija na dezinfekciju od drugih patogena.

Intestinalne fekalne streptokoke u 100 mL uzorka tehnikom membranske filtracije detektovane su u arteškom bunaru AB9 i broj kolonija je iznosio od 1 CFU do 3 CFU. U ostalim arteškim bunarima organizam nije detektovan. *Direktiva EU (2012)* i *Pravilnik o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće Republike Srpske, (2015)* ne dozvoljavaju nalaz ove bakterije u 100 mL uzorka. Uzimajući u obzir ove standarde, voda iz arteškog bunara AB9 nije zdravstveno ispravna za piće.

Fekalne streptokoke su generalno prisutne u fecesu životinja i ljudi. Mnogo su otpornije na mehanička dejstva i hlorisanje od *E. coli* i drugih koliformnih bakterija, i koriste se kao monitoring parametar u vodi za piće.

Pseudomonas aeruginosa nije detektovana u vodi iz arteških bunara. *Pseudomonas aeruginosa* nije od posebnog značaja sa zdravstvenog aspekta kada je reč o vodi namenjenoj za konzumiranje, pošto ingestija ove bakterije ne uzrokuje oboljenje ljudi (*Dalmacija i Agbaba, 2006*). Ukoliko se voda koristi i u druge svrhe (pranje, kupanje), kontakt bakterija sa oštećenim tkivom može uzrokovati infekciju. Značaj ove bakterije ogleda se u promeni turbiditeta, ukusa i mirisa vode. Ona se detektuje kao deo ukupnih aerobnih mezofilnih bakterija i često je lako prepoznatljiva po hranljivim podlogama zahvaljujući egzopigmentu žute, zelene ili plave boje (*Dalmacija i Agbaba, 2006*).

Sulfitoredukujuće klostridije u 100 mL filtrisanog uzorka detektovane su samo u arteškom bunaru AB9. Najveći broj kolonija detektovan je u avgustu mesecu i iznosio je 9 CFU. U letnjem periodu dolazi do neznatnog porasta broja kolonija u odnosu na ispitivanja izvršena u proleće i zimu. U vodi preostalih arteških bunara organizam nije detektovan. *Direktiva EU (2012)* i *Pravilnik o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće Republike Srpske, (2015)* dozvoljavaju nalaz 1 bakterije u 100 mL uzorka, na osnovu čega se može zaključiti da voda iz arteškog bunara AB9 u pogledu ovog parametra, nije zdravstveno ispravna za piće.

Sulfitoredukujuće klostridije su anaerobni mikroorganizmi koji su normalno prisutni u fecesu, iako u znatno manjem broju nego *E. coli*. Osim *C. perfringens* nisu isključivo fekalnog porekla i mogu poticati iz drugih izvora okoline. Spore mogu preživeti u vodi veoma dug period i prilično su otporne na dezinfekciona sredstva. U svakom slučaju, klostridije se ne preporučuju za rutinsku kontrolu distribucionog sistema zbog njihove dužine preživljavanja jer se mogu detektovati znatno duže od trenutka zagađenja, dajući pri tom pogrešne rezultate (*WHO, OECD, 2003*). Njihov nalaz u vodi dokazuje zdravstvenu

neispravnost vode i upotreba takve vode je rizična naročito ako se upotrebljava za pripremu životnih namirnica u kojima se klostridije mogu razmnožavati i uzrokovati trovanja.

Proteus vrste nisu detektovane u uzorcima vode iz arteških bunara.

Proteus vrste su široko rasprostranjene u prirodi, prisutne su u zemljištu, vodi, namirnicama, organskim materijama koje trule, kao i fekalijama ljudi i životinja. Prilagođeni su i parazitskom načinu života. Tipični su predstavnici oportunističkih bakterija, što znači da počinju da se razmnožavaju kada padne imunitet organizma. Ulaze u sastav fiziološke mikroflore digestivnog trakta. Značajan medicinski problem predstavljaju proteusom izazvane urinarne infekcije, meningitisi i infekcije rana, a naročito intrahospitalne infekcije kao što su: infekcije mekih tkiva, pneumonija, absces pluća i septikemija.

Rezultati mikrobiološke analize pokazuju da je voda iz arteških bunara zdravstveno tj. bakteriološki ispravna, osim vode iz arteškog bunara AB9. U uzorcima vode iz arteških bunara nisu pronađene bakterije koje bi ukazale na fekalna zagađenja ovih bunara. Mikrobiološka analiza je takođe, kao i fizičko-hemijska, potvrdila da su arteški bunari zaštićeni od bilo kakvog antropogenog delovanja i izloženi samo uticaju prirodnog okruženja vode.

U vodi iz arteškog bunara AB9 detektovano je prisustvo koliformnih bakterija, intestinalnih fekalnih streptokoka i sulfotiredukujućih klostridija. Prema *Pravilniku o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće Republike Srpske* (2015), dozvoljen je nalaz 10 koliformnih bakterija u 100 mL filtriranog uzorka, tako da je detektovan broj ovih bakterija u uzorku AB9 ispod MDK bakterija. Međutim, broj detektovanih intestinalnih fekalnih streptokoka i sulfito-redukujućih bakterija nalazi se iznad MDK bakterija, što ipak ukazuje na prisustvo fekalnog zagađenja. U blizini ovog arteškog bunara nalazi se septička jama zbog čega je verovatno došlo do ceđenja ove jame u podzemnu vodu. Takođe, u periodu ispitivanja od februara 2011. godine do januara 2012. godine došlo je do smanjenja izdašnosti ovog bunara, tako da je početkom 2014. godine ovaj bunar u potpunosti presušio.

4. IZVOD

U doktorskoj disertaciji pod nazivom "Hemijski i mikrobiološki profil voda iz arteških bunara na teritoriji Semberije: analiza faktora koji utiču na mobilnost hemijskih zagađivača" analizirani su rezultati ispitivanja fizičko-hemijskih i mikrobioloških parametara u vodi iz arteških bunara sa deset različitih lokaliteta. Arteški bunari se nalaze na severu Semberije uz samu reku Savu, u neposrednoj blizini njenog ulivanja u reku Drinu. Ispitivani arteški bunari se koriste kao javni izvori vode za piće, a da pri tom nisu kontrolisani od strane ovlašćenih institucija. Uzorkovanje vode iz arteških bunara izvršeno je u periodu od februara 2011. godine do januara 2012. godine, sa frekvencijom uzorkovanja jednom mesečno. Azotna komponenta (amonijačni, nitratni i nitritni azot) i ortofosfati su određeni UV/Vis spektrofotometrijom, hloridi i sulfati jonskom hromatografijom, a metali FAAS, EAAS i ICP-OES tehnikom. Mikrobiološki parametri su određeni pour plate tehnikom, tehnikom membranske filtracije i tehnikom najverovatnijeg broja (MPN).

Dobijeni su sledeći rezultati:

- pH vrednosti vode iz arteških bunara kreću se u intervalu od 6,98 do 8,21, što ukazuje na slab alkalni karakter ovih voda. Najveći procenat (61%) izmerenih pH vrednosti nalazi se u opsegu između 7 i 8. Izmerene pH vrednosti zadovoljavaju granice postavljene nacionalnim i međunarodnim standardima. U letnjem periodu jun-septembar dolazi do blagog pada pH vrednosti usled porasta temperature vode.
- Visoke vrednosti električne provodljivosti ($>474 \mu\text{S}/\text{cm}$), koje ne prelaze MDK, ukazuju na visok sadržaj soli.
- Određivanje makroelemenata ukazuje na njihov visok sadržaj koji opada sledećim redosledom: $\text{Na}^+ \square \text{Ca}^{2+} \square \text{Mg}^{2+} \square \text{K}^+$. Koncentracije natrijuma u vodi iz arteških bunara AB1, AB2, AB3, AB4 i AB5 se nalaze nešto ispod MDK, a u pojedinim mesecima prelaze ovu vrednost. Koncentracije natrijuma su znatno veće od koncentracije kalijuma, što je posledica njegove veće zastupljenosti u zemljinoj kori. U vodi iz arteških bunara AB9 i AB10, koncentracije kalcijuma su znatno veće nego u vodi preostalih bunara, što je posledica

niže pH vrednosti i veće kiselosti što dovodi do većeg rastvaranja kalcijum karbonata, a samim tim i povišenog sadržaja kalcijuma u vodi.

➤ Od esencijalnih mikroelemenata određivani su: Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Se i Zn. Najveće koncentracije mikroelemenata iznosile su: Co 4,65 $\mu\text{g/L}$ (AB2); Cr 6,83 $\mu\text{g/L}$ (AB6); Cu 5,67 $\mu\text{g/L}$ (AB10); Fe 0,168 mg/L (AB10); Mn 0,221 mg/L (AB10); Ni 7,35 $\mu\text{g/L}$ (AB1); Se 0,064 $\mu\text{g/L}$ (AB1) i Zn 0,535 mg/L (AB10). Koncentracije svih mikroelemenata su u skladu sa MDK datih u nacionalnom i međunarodnim standardima, osim za mangan. Koncentracije mangana prelaze MDK u vodi iz arteških bunara AB6, AB8, AB9 i AB10.

➤ Od toksičnih elemenata određivani su: As, Cd, Pb i Sb. Najveće koncentracije potencijalno toksičnih mikroelemenata iznosile su: As 172 $\mu\text{g/L}$ (AB4); Cd 0,768 $\mu\text{g/L}$ (AB1); Pb 1,74 $\mu\text{g/L}$ (AB10) i Sb 0,52 $\mu\text{g/L}$ (AB6). Koncentracije kadmijuma, olova i antimona nalaze su u skladu sa MDK datih u nacionalnom i međunarodnim standardima, dok koncentracije arsena u vodi iz arteških bunara AB1, AB2, AB3, AB4, AB5 i AB9 prelaze MDK od 10 $\mu\text{g/L}$. Arteški bunar sa najvećim sadržajem arsena, čije vrednosti prelaze 100 $\mu\text{g/L}$, je AB4.

➤ Koncentracije ortofosfata nalaze se iznad MDK u vodi iz arteških bunara AB1, AB2, AB3, AB4, AB5, AB6 i AB7, sa najvećom izmerenom vrednošću od 0,368 $\text{mgPO}_4^{2-}/\text{L}$ (AB4). Ispitivani arteški bunari se nalaze u poljoprivrednom kraju, gde se u proleće koriste velike količine veštačkih đubriva na bazi azota, fosfora i kalijuma. Međutim, u ovom periodu u vodi iz arteških bunara ne dolazi do povećane koncentracije ortofosfata, kao ni kalijuma i amonijačnog i nitratnog azota, na osnovu čega se može zaključiti da je prisustvo ortofosfata u vodi, u koncentracijama koje prelaze MDK, posledica prirodnog okruženja vode u akviferu.

➤ Koncentracije amonijačnog azota nalaze se iznad MDK u vodi iz arteških bunara AB1, AB2, AB3, AB5, AB6 i AB7, sa najvećom izmerenom vrednošću od 1,90 $\text{mgNH}_4^+-\text{N/L}$ (AB4). Sezonske varijacije ne postoje.

➤ Koncentracije nitratnog azota nalaze se daleko ispod MDK, sa najvećom izmerenom vrednošću od 0,428 $\text{mg NO}_3^--\text{N/L}$ (AB3), dok su koncentracije nitritnog azota ispod granice detekcije metode (0,002 mg/L).

➤ Koncentracije hlorida i sulfata, sa najvećom izmerenom vrednošću od 139,3 mgCl^-/L (AB3) i 20,77 $\text{mgSO}_4^{2-}/\text{L}$ (AB8), nalaze se ispod MDK. U vodi iz arteških bunara AB1, AB2, AB3, AB4 i AB5 glavni anjon su hloridi, dok su koncentracije sulfata

zanemarljivo male, dok je u vodi iz arteških bunara AB6, AB7, AB8, AB9 i AB10, glavni anjon sulfat.

➤ U skladu sa *Pravilnikom o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće Republike Srpske* (2015), rezultati analize fizičko-hemijskih parametara pokazali su da uzorci vode iz arteških bunara nisu zdravstveno ispravni. Od ukupno 25 analiziranih parametara, 5 parametara na određenim lokalitetima prelaze MDK i to su: amonijačni azot, arsen, mangan, natrijum i ortofosfati. Najveći broj ispitivanja, čije vrednosti prelaze MDK odnose se na ortofosfate i arsen, zatim sledi amonijačni azot, mangan i natrijum (tabela 1).

Tabela 1. Procentualna raspodela parametara čije vrednosti prelaze MDK

| Parametar | As | Mn | Na | NH ₄ ⁺ -N | PO ₄ ³⁻ -P |
|-------------------------------|-------------|-------------|------------|---------------------------------|----------------------------------|
| Broj uzoraka koji prelaze MDK | 72 | 48 | 6 | 60 | 74 |
| % uzoraka koji prelaze MDK | 27,7 | 18,5 | 2,3 | 23,0 | 28,5 |

➤ Parametri, čije vrednosti prelaze MDK prikazani su u tabeli 2.

Tabela 2. Parametri čije vrednosti prelaze MDK

| Arteški bunar | Parametar |
|---------------|---|
| AB1 | As, Na (jul, jun, septembar, oktobar), $\text{NH}_4^+\text{-N}$, $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ |
| AB2 | As, Na (jul), $\text{NH}_4^+\text{-N}$, $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ |
| AB3 | As, $\text{NH}_4^+\text{-N}$, $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ |
| AB4 | As, $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ |
| AB5 | As, Na (oktobar), $\text{NH}_4^+\text{-N}$, $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ |
| AB6 | Mn, $\text{NH}_4^+\text{-N}$, $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ |
| AB7 | $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ |
| AB8 | Mn, Na (septembar) |
| AB9 | As, Mn |
| AB10 | Mn, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ (februar) |

➤ Multivarijantna analiza je ukazala na postojanje tri jasno definisana klastera. U prvom klasteru su arteški bunari AB1, AB2, AB3, AB4 i AB5, u drugom AB6, AB7 i AB8, a u trećem AB9 i AB10.

➤ Mikrobiološka analiza je pokazala da je, osim u AB9, voda iz arteških bunara mikrobiološki ispravna. Detektovane su samo ukupne aerobne heterotrofne bakterija na 22°C i 36°C, ali njihove vrednosti ne prelaze MDK bakterija. U vodi iz arteških bunara nisu detektovane bakterije fekalnog porekla, što ukazuje da vode iz septičkih jama i farmi ne dolaze u kontakt sa vodom iz arteških bunara. U vodi iz arteškog bunara AB9 pored aerobnih heterotrofnih bakterija i koliformnih bakterija na 37 °C, čiji broj ne prelazi MDK bakterija, određeno je i prisustvo intestinalnih fekalnih streptokoka i sulfito-redukujućih bakterija čije vrednosti prelaze MDK bakterija, što se objašnjava time da se u blizini nalazi septička jama i ta je u toku uzorkovanja došlo do znatnog smanjenja izdašnosti ovog bunara, tako da je početkom 2014. godine ovaj bunar u potpunosti presušio.

➤ Semberija je veoma bogata podzemnim vodama. Stanovništvu, koje živi u selu, ona je primarni izvor vode za piće, iako su neka sela snabdevena gradskom hlorisanom

vodom za piće iz vodovodne mreže. Voda iz arteških bunara, koja je obuhvaćena ovim radom, nije ispitana od strane ovlašćenih institucija. Ispitivanja izvršena u ovom radu su pokazala da je voda mikrobiološki ispravna, osim vode iz arteškog bunara AB9, ali da nije zdravstveno ispravna u pogledu amonijačnog azota, arsena, mangana, natrijuma i ortofosfata. Prisustvo ovih supstanci je pre svega geološkog porekla, tj, sastava akvifera u kojima se voda nalazi i nema antropogenog uticaja.

➤ Rezultati dobijeni u okviru ove disertacije mogu da posluže za dalja geološka ispitivanja sastava akvifera, kao i izdašnosti arteških bunara, a sve u cilju utvrđivanja mogućnosti njihove eksploatacija za vodosnabdevanje stanovništva.

➤ Voda ispitivanih arteških bunara može, nakon odgovarajućeg tretmana, da posluži za izgradnju vodovodnih mreža.

5. SUMMARY

The results of determined physical, chemical and microbiological parameters in water from artesian wells from ten different localities were analyzed in the doctoral dissertation entitled "Chemical and microbiological profile of water from artesian wells in the region of Semberija: Analysis of factors that affect the mobility of chemical contaminants". Artesian wells are located in the north Semberija along the Sava River, near its flowing into the river Drina. Analyzed artesian wells have been used as public sources of drinking water but they have not been controlled by the authorized institutions. Sampling of water from artesian wells was carried out in the period between February 2011 and January 2012 with monthly sampling frequency. Nitric component (ammonia, nitrate and nitrite) and orthophosphate were determined by UV/VIS spectrophotometry, chlorides and sulfates by ion chromatography, heavy metals by FAAS, EAAA and ICP-OES. Microbiological parameters were determined using pour plate technique, the method of membrane filtration and the most probable number method (MPN).

Results were as follows:

➤ pH values of water from artesian wells are ranged from 6,98 to 8,21, which indicates a weak alkaline character of these waters. The largest percent of measurements (61 %) have a pH in the interval between 7 and 8. The measured pH values are in accordance with the national and international standards. In the summer period, from June to September, there is a slight drop in pH due to the increase in water temperatures.

➤ High levels of electrical conductivity ($\approx 474 \mu\text{S}/\text{cm}$), which not exceed permissible limits, indicate a high salt content.

➤ The determination of the macro elements indicates a high content of them, and their concentration decreases in the following order: $\text{Na}^+ \approx \text{Ca}^{2+} \approx \text{Mg}^{2+} \approx \text{K}^+$. The concentrations of Na in water from artesian wells AB1, AB2, AB3, AB4 and AB5 are near the maximum permissible limit, and they even exceed this value in some months. Sodium concentrations were significantly higher than the concentration of K, which is due to its greater presence in the earth's crust. Calcium concentrations are significantly higher in the

water from artesian wells AB9 and AB10, than in the remaining artesian wells. This is a result of lower pH and higher acidity, which leads to greater dissolution of calcium carbonate and consequently the higher calcium content in the water.

➤ Among essential trace elements, the concentration of Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Zn and Se were determined. The following trace elements have the highest concentrations in water from artesian wells: Co 4,65 µg/L (AB2); Cr 6,83 µg/L (AB6); Cu 5,67 µg/L (AB10); Fe 0,168 mg/L (AB10); Mn 0,221 mg/L (AB10); Ni 7,35 µg/L (AB1); Se 0,064 µg/L (AB1) i Zn 0,535 mg/L (AB10). The concentrations of all trace elements are in accordance with the maximum permissible limit given by the national and international standards, except for Mn. Manganese concentrations exceeding the maximum permissible limit in the water from the following artesian wells: AB6, AB8, AB9 and AB10.

➤ Among toxic elements, the concentrations of As, Cd, Pb and Sb were determined. The following elements have the highest concentrations in water from artesian wells : As 172 µg/L (AB4); Cd 0,768 µg/L (AB1); Pb 1,74 µg/L (AB10) i Sb 0,52 µg/L (AB6). Concentrations of Cd, Pb and Sb are within the maximum permissible limit given by the national and international standards, while the concentration of As in the artesian wells AB1, AB2, AB3, AB4, AB5 and AB9 exceed the maximum permissible limit of 10 µg/L. The artesian well with the highest content of As, whose values exceed 100 µg/L, is the AB4.

➤ Orthophosphate concentrations are above the maximum permissible limit in the following artesian wells: AB1, AB2, AB3, AB4, AB5, and AB6, with the highest measured value of 0.368 mgPO₄²⁻/L (AB4). The analyzed artesian wells are located in an agricultural region, where large amounts of fertilizers based on nitrogen, phosphorus and potassium were used in the spring. However, at this period, concentration of orthophosphates in water from artesian wells is not increased, as well as potassium and ammonia nitrogen. Due to that, it can be concluded that the presence of orthophosphate in water in concentrations exceeding the MCL is the result of the natural environment of the aquifer.

➤ Ammonia nitrogen concentrations are above the maximum permissible limit in the water from artesian wells AB1, AB2, AB3, AB5, AB6 and AB7, with the highest measured value of 1.90 mgNH₄⁺/L (AB4). Seasonal variations do not exist.

➤ Concentrations of nitrate nitrogen are far below the maximum permissible limit, with the highest measured value of 0.428 mgNO₃⁻/L (AB3), while the concentrations of nitrite nitrogen are below the detection limit of the method.

➤ The concentrations of chlorides and sulfates, with the highest measured value of 139.3 mgCl⁻/L (AB3) and 20.77 mgSO₄²⁻/L (AB8), respectively, are below the maximum permissible limit. In the water from artesian wells AB1, AB2, AB3, AB4 and AB5 the main anion is chloride, and sulphate concentrations are negligible, while in the water from artesian wells AB6, AB7, AB8, AB9 and AB10 the main anion is sulfate.

➤ In accordance with the *Regulation on the sanitary safety of drinking water of Republika Srpska* (2015), the results of the determination of physico-chemical parameters showed that the water from artesian wells is not healthy. Five parameters (out of the total 25 analyzed) whose values exceed the maximum permissible limit in some localities are: ammonia nitrogen, arsenic, manganese, sodium, and orthophosphates. The largest number of measurements whose values exceed the maximum permissible limit refer to orthophosphates and arsenic, followed by ammonia nitrogen, manganese and sodium (Table 1).

Table 1. Percentage of samples whose parameters exceed MCL

| Parameter | As | Mn | Na | NH ₄ ⁺ -N | PO ₄ ³⁻ -P |
|---|-------------|-------------|------------|---------------------------------|----------------------------------|
| The number of samples exceeding the MCL | 72 | 48 | 6 | 60 | 74 |
| % of samples exceeding the MCL | 27,7 | 18,5 | 2,3 | 23,0 | 28,5 |

➤ The parameters whose values exceeding the MCL are shown in the table 2.

Table 2. Parameters whose values exceeding the MCL

| Artesian well | Parameter |
|---------------|---|
| AB1 | As, Na (June, July, September, October), $\text{NH}_4^+\text{-N}$, $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ |
| AB2 | As, Na (July), $\text{NH}_4^+\text{-N}$, $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ |
| AB3 | As, $\text{NH}_4^+\text{-N}$, $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ |
| AB4 | As, $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ |
| AB5 | As, Na (October), $\text{NH}_4^+\text{-N}$, $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ |
| AB6 | Mn, $\text{NH}_4^+\text{-N}$, $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ |
| AB7 | $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ |
| AB8 | Mn, Na (September) |
| AB9 | As, Mn |
| AB10 | Mn, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ (February) |

➤ The multivariate analysis showed the existence of three clearly defined clusters. In the first cluster are artesian wells: AB1, AB2, AB3, AB4 and AB5, in the second: AB6, AB7 and AB8, and in the third: AB9 and AB10.

➤ The microbiological analysis showed that, apart from the AB9, the water from artesian wells is microbiologically safe. Total heterotrophic aerobic bacteria have been detected at 22 °C and 36 °C, but their values do not exceed the exposure limits. Fecal bacteria in the water from artesian wells were not detected, indicating that the water from septic tanks and farms does not come into contact with the water from artesian wells. In addition to aerobic heterotrophic bacteria and coliform bacteria at 37 °C, whose number does not exceed the exposure limits of bacteria, the presence of intestinal fecal streptococci and sulfite-reducing bacteria was determined in the water from the artesian well AB9, which can be explained by the fact that there is a septic pit near this artesian well, which most certainly leads to the draining of this pit into the groundwater. Moreover, during the testing period, from February 2011 until January 2012, the abundance of this well decreased, which resulted in the well being completely dried up.

➤ Semberija is very rich in groundwater. For the population living in the rural area, the artesian wells are the primary source of drinking water, although some villages are supplied with town chlorinated drinking water from the water mains. Water from artesian

wells, which is included in this paper, has not been analyzed by authorized institutions. The research carried out in this paper has shown that this water is microbiologically safe, except for water from the artesian well AB9, but that it is not healthy regarding the ammonia, arsenic, manganese, sodium and orthophosphate. Also, this PhD study has shown that the origin of these substances is primarily geological, due to the composition of the aquifer in which the water is and that there are no anthropogenic influences.

➤ The research within this PhD study can be used for further geological investigation of the composition of aquifers, as well as the generosity of artesian wells, in order to determine the possibilities for their exploitation for the public water supply.

➤ Analyzed water from artesian wells may, after the appropriate treatment, be used for the construction of water supply networks.

6. LITERATURA

Achary G.S., Studies on ground water pollution due to iron content in Cuttack City, Odisha, India, *International Journal of Multidisciplinary and Current Research*, 2, 86-89, 2014.

Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR), *Toxicological profile for manganese*, U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Atlanta, GA, 2000.

Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR), *Toxicological Profile for Ammonia*, Atlanta, GA, U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Atlanta, GA, 2004.

Alhibshi E., Albriky K. and Bushida A., Concentration of heavy metals in underground water wells in Gharian district, Libya, *International Conference on Agricultural, Ecological and Medical Sciences (AEMS-2014)*, 35-39, 2014.

American Water Works Association (AWWA), *Groundwater*, Manual of Water Supply Practice M21, 3rd ed., Denver, CO, 2002.

Antić-Jovanović A., *Atomska spektroskopija-spektrohemijski aspekt*, Fakultet za fizičku hemiju, Beograd, 1999.

APHA-AWWA-WEF, American Public Health Association, American Water Works Association, and Water Environment Federation (APHA, AWWA, and WEF), *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Part 2550: Temperature, Part 2550 B: Laboratory and Fields Methods*, 21th ed., Washington, D.C., 2005.

APHA-AWWA-WEF, American Public Health Association, American Water Works Association, and Water Environment Federation (APHA, AWWA, and WEF), *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Part 3111: Metals by Flame Atomic Absorption Spectrometry, Part 3111 B: Direct Air-Acetylene Flame Method*, 21th ed., Washington, D.C., 2005.

APHA-AWWA-WEF, American Public Health Association, American Water Works Association, and Water Environment Federation (APHA, AWWA, and WEF), *Standard*

Methods for the Examination of Water and Wastewater, Part 3113: Metals by Electrothermal Atomic Absorption Spectrometry, Part 3113 B: Electrothermal Atomic Absorption Spectrometric Method, 21th ed., Washington, D.C., 2005.

APHA-AWWA-WEF, American Public Health Association, American Water Works Association, and Water Environment Federation (APHA, AWWA, and WEF), *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Part 4500-NO₃⁻ B: Ultraviolet Spectrophotometric Screening Method*, 21th ed., Washington, D.C., 2005.

ARSENICPLATFORM (HUSRB/1002/121/075), *Arsenic and ammonium in drinking water: implementation of a cross-border Platform for safe water, Moguća rešenja vodosnabdevanja Bačke, severnog i srednjeg Banata na bazi mikro i makro-regionalnog sistema*, Prirodno-matematički fakultet, Departman za hemiju, biohemiju i zaštitu životne sredine, Novi Sad, 2013.

Armienta M.A., Rodriguez R., Aguayo A., Cenicerros N., Villaseñor G., Cruz O., Arsenic contamination of groundwater at Zimapán, Mexiko, *Hydrogeology Journal*, 5(2), 39-46, 1997.

Ashbolt N.J., Grabow W.O.K., Snozzi M., *Indicators of microbial water quality*, In: Fewtrell L., Bartram J. (Eds.), *Water quality: Guidelines, Standards and Health, Assessment of risk and risk management for water-related infectious disease*, IWA Publishing, London, UK, 289-316, 2001.

Bajaj M., Eiche E., Neumann T., Winter J., Gallert C., Hazardous concentrations of selenium in soil and groundwater in North-West India, *Journal of Hazardous Materials*, 189, 640-646, 2011.

Banwart J.G., *Basic Food Microbiology*, 2nd ed., AVI-Van Nostrand Reinhold, New York, NY, 1989.

Bartram J., Rees G., *Monitoring Bathing Waters - A Practical Guide to the Design and Implementation of Assessments and Monitoring Programmes*, E & FN Spon, Lopdon, UK, 2000.

BAS EN 25667-2:2000, *Water quality - Sampling - Part 2: Guidance on sampling techniques*, 2000.

BAS EN 27888:2002, *Water quality - Determination of electrical conductivity*, 2002

BAS EN 26777:2000, *Water quality - Determination of nitrite - Molecular absorption spectrometric method*, 2000.

BAS EN 26461-2:2002, *Water quality - Detection and enumeration of spores of sulfite-reducing anaerobes (Clostridia) - Part 2, Method by membrane filtration*, 2002.

BAS EN ISO 10304-1:2002, *Water quality - Determination of dissolved fluoride, chloride, nitrite, orthophosphate, bromide, nitrate and sulfate ions, using liquid chromatography of ions*, 2002.

BAS EN ISO 5667-3:2005, *Water quality - Sampling - Part 3: Guidance on the preservation and handling of water samples*, 2005.

BAS EN ISO 19458:2008, *Water quality - Sampling for microbiological analysis*, 2008.

BAS EN ISO 7218:2008, *Microbiology of food and animal feeding stuffs - General requirements and guidance for microbiological examinations*, 2008.

BAS ISO 9308-2:1990, *Water quality - Detection and enumeration of coliform organisms, thermotolerant coliform organisms and presumptive Escherichia coli – Part 2: Multiple tube (most probable number) method*, 1990.

BAS ISO 6222:1999, *Water quality – Enumeration of culturable micro-organisms – Colony count by inoculation in a nutrient agar culture medium*, 1999.

BAS ISO 9308-1:2000; *Water quality – Detection and enumeration of Escherichia coli and coliform bacteria – Part 1: Membrane filtration method*, 2000.

BAS ISO 7150-1:2002, *Water quality - Determination of ammonium - Part 1: Manual spectrometric method*, 2002.

BAS ISO 6878:2002, *Water quality - Determination of phosphorus - Ammonium molybdate spectrometric method*, 2002.

BAS ISO 10523:2002, *Water quality - Determination of pH*, 2002.

BAS ISO 9964-1:2002; *Water quality - Determination of sodium and potassium - Part 1: Determination of sodium by atomic absorption spectrometry*, 2002.

BAS ISO 9964-2:2002, *Water quality – Determination of sodium and potassium – Part 2: Determination of potassium by atomic absorption spectrometry*, 2002.

BAS ISO 5667-11:2003, *Water quality - Sampling - Part 11: Guidance on sampling of groundwater*, 2003.

BAS ISO 7899-2:2003, *Water quality - Detection and enumeration of intestinal enterococci - Part 2: Membran filtration method*, 2003.

BAS ISO 8199:2005, *Water quality - General guidance on the enumeration of micro-organisms by culture*, 2005.

BAS ISO 16266:2006, *Water quality - Detection and enumeration of Pseudomonas aeruginosa - Method by membrane filtration*, 2006.

Berger-Jekić O., Jovanović K.M., Kocić B., Kulauzov M., Nedeljković R.M., Otašević M., Pecić J., Švabić-Vlahović, Specijalna bakteriologija, IŠP "Savremena administracija", Beograd, 1997.

BGS-DPHE, British Geological Survey and Department of Public Health Engineering (BGS and DPHE), *Arsenic contamination of groundwater in Bangladesh*, BGS Technical Report WC/00/19, British Geological Survey, 2001.

Bilgehan N., Berktaş A., Groundwater contamination by nitrates in the city of Konya, (Turkey): A GIS perspective, *Journal of Environmental Management*, 79(1), 30-37, 2006.

Bowen H.J.M., *Environmental Chemistry of the Elements*, Academic Press, London, UK, 1979.

Brookins D.G., *Eh-pH Diagrams for Geochemistry*, Springer-Verlag, Berlin, 1988.

Burkart M.R., Stoner J.D., Nitrate in aquifers beneath agricultural systems, *Water Science and Technology*, 45(9), 19-29, 2002.

Buschmann J., Berg M., Stengel C., Sampson M., Arsenic and manganese contamination of drinking water resources in Cambodia: coincidence of risk with low relief topography, *Environmental Science and Technology*, 41, 2146-2152, 2007.

Butler J.N., *Ionic Equilibrium*, Addison-Wesley, New York, NY, 1967.

Cattell R.B., r_p and other coefficients of pattern similarity, *Psychometrika*, 14, 279-298, 1949.

Cattell R.B., Factor analysis: an introduction to essentials. I. The purpose and underlying models, *Biometrics*, 21(1), 190-215, 1965.

- Cochran W.G., Analysis of covariance: Its nature and uses, *Biometrics*, 13(13), 261-281, 1957.
- Cohen J.M., Kamphake L.J., Harris E.K., Woodward R.L., Taste threshold concentrations of metals in drinking water. *Journal of the American Water Works Association*, 52(5), 660-670, 1960.
- Cooley, W.W., Lohnes, P.R., *Multivariate Data Analysis*, John Wiley & Sons, New York, NY, 1971.
- CORINE karta korišćenja zemljišta, <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/corine-land-cover-2006-raster>.
- Cotton F.A., Wilkinson G., *Advanced Inorganic Chemistry*, 3rd ed., Wiley-Interscience, Toronto, CA, 1972.
- Cotton F.A., Wilkinson G., Murillo C.A., Bochmann M., *Advanced Inorganic Chemistry*, 6th ed., John Wiley & Sons, New York, NY, 1999.
- Crecelius E.A., Bothner M.H., Carpenter R., Geochemistries of arsenic, antimony, mercury, and related elements in sediments of Puget Sound, *Environmental Science and Technology*, 9(4), 325-333, 1975.
- Cronbach L.J., Gleser, G.C., Assessing similarity between profiles, *Psychological Bulletin*, 50(6), 456-473, 1953.
- Csuros M, Csuros C., *Microbiological Examination of Water and Wastewater*, Lewis Publishers, USA, 1999.
- Ćurković M., Sipos L., Puntarić D., Dodig-Ćurković K., Pivac N., Kralik K., Arsenic, copper, molybdenum, and selenium exposure through drinking water in rural Eastern Croatia, *Polish Journal of Environmental Studies*, 25(3), 981-992, 2016.
- Dalmacija B., Agbaba J., *Kontrola kvaliteta vode za piće*, Prirodno-matematički fakultet, Departman za hemiju, Novi Sad, 2006.
- Daughney C.J., Iron and manganese in New Zealand's groundwater, *Journal of Hydrology*, 42(1), 11-26, 2003.
- Davis S.N., DeWiest R.J.M., *Hydrogeology*, John Wiley & Sons, New York, NY, 1970.

DeSimone L.A., *Quality of Water from Domestic Wells in Principal Aquifers of the United States, 1991-2004*, U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, Scientific Investigations Report 2008-5227, 139, 2008.

Deverall S.J., Millard S.P., Distribution and mobility of selenium and other trace elements in shallow ground water of the Western San Joaquin Valley, California, *Environmental Science and Technology*, 22(6), 697-702, 1988.

De Zuane J., *Handbook of Drinking Water Quality: Standards and Controls*, AVI-Van Nostrand Reinhold, New York, NY, 1990.

De Zuane J., *Handbook of Drinking Water Quality*, 2nd ed., John Wiley & Sons, Inc., New York, NY, 1997.

Diaz R.V., Aldape F., Flores M.J., Identification of airborne particulate sources in Ticoman, Mexico, using PIXE and multivariate analysis, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interaction with Materials and Atoms*, 189, 249-253, 2002.

Dieter H.H, Möller R., *Ammonium*, In: Aurand K., et al., eds., *Die Trinkwasser verordnung, Einführung und Erläuterungen*, [The drinking-water regulations, introduction and explanations] Erich-Schmidt Verlag, Berlin, 362-368, 1991.

Dillman E., Gale C., Green W., Johnson D.G., Mackler B., Finch C., Hypothermia in iron deficiency due to altered triiodothyronine metabolism, *American Journal of Physiology*, 239(5), R377-81, 1980.

Dragišić V., *Osnovi hidrogeologije*, Rudarsko-geološki fakultet, Univerzitet u Beogradu, Beograd, 1997.

Dubrovsky N., Hamilton P., *Nutrients in the Nation's Streams and Groundwater: National Findings and Implications*, Fact Sheet 2010-3078, U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, Reston, VA, 2010, <http://pubs.usgs.gov/fs/2010/3078/>

Dubrovsky N.M., Burow K.R., Clark G.M., Gronberg J.M., Hamilton P.A., Hitt K.J., Mueller D.K., Munn M.D., Nolan B.T., Puckett L.J., Rupert M.G., Short T.M., Spahr N.E., Sprague L.A., Wilber W.G., *The Quality of Our Nation's Waters - Nutrients in the Nation's Streams and Groundwater, 1992-2004*, Circular 1350, U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, Reston, VA, 174, 2010, <https://pubs.usgs.gov/circ/1350/pdf/circ1350.pdf>

Duraković S., *Opća mikrobiologija*, Prehrambeno tehnološki inženjering, Zagreb, 1996.

Durlach J., *The importance of magnesium in water*, In: *Magnesium in Clinical Practice*, John Libbey and Company Ltd, London, 221-222, 1988.

Durlach J., Bara M., Guiet-Bara A., *Magnesium level in drinking water: its importance in cardiovascular risk*, In: Itokawa Y., Durlach J., (eds.), *Magnesium in Health and Disease*, John Libbey and Company Ltd, London, 173-182, 1989.

Dzombak D.A., Morel F.M.M., *Surface Complexation Modeling: Hydrous Ferric Oxide*, John Wiley & Sons, New York, NY, 1990.

Egboka B.C.E., Nitrate contamination of shallow groundwaters in Ontario, Canada, *Science of the Total Environment*, 35(1), 53-74, 1984.

Elinder C.G., *Zinc*, In: Friberg L., Nordberg G.F., Vouk V.B, (ed.), *Handbook on the Toxicology of Metals*, 2nd ed., Elsevier Science Publishers, Amsterdam, NL, 276-297, 1986.

European Commission (EC), *Directive 2000/60/EC* of the European Parliament and of the Council – Establishing a framework for Community action in the field of water policy, Brussels, Belgium, 23 October 2000, 2000.

European Commission (EC), *Groundwater Protection in Europe*, EC Office for Official Publications, Luxembourg, 2008.

European Union Council Directive 98/83/EC of 3 November 1998 on the quality of water intended for human consumption, Drinking Water Directive (DWD), Official Journal L 330, 32, 1998.

Fadiran A.O., Mdlulie W.F., Simelane B.K., Analysis of nitrates and nitrites in subsoil and ground water samples in Swaziland, *Bulletin of the Chemical Society of Ethiopia*, 19(1), 45-54, 2005.

Fadiran A.O., Dlamini S.C., Mavuso A., A comparative study of the phosphate levels in some surface and ground water bodies of Swaziland, *Bulletin of the Chemical Society of Ethiopia*, 22(2), 197-206, 2008.

Farid S., Kaleem Baloch M., Amjad Ahmad S., Water pollution: Major issue in urban areas, *International Journal of Water Resources and Environmental Engineering*, 4(3), 55-65, 2012.

Feth J.H., *Chloride in natural continental water - A review*, U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 2176, 1981.

Fetter C.W., *Contaminant Hydrogeology*, John Wiley & Sons, Inc., New York, NY, 1999.

- Fingl E., *Laxatives and Cathartics*, In: Gilman A.G. et al., (ed.), *Pharmacological Basis of Therapeutics*, MacMillan Publishing, New York, NY, 1980.
- Fisher R.A., Mackenzie W.A., Studies in crop variation. II. The manurial response of different potato varieties, *Journal of Agricultural Science*, 13(3), 311-320, 1923.
- Fisher R.A., The general sampling distribution of the multiple correlation coefficient, *Proceedings of the Royal Society A*, 121(788), 654-673, 1928.
- Fisher R.A., The use of multiple measurements in taxonomic problems, *Annals of Human Genetics*, 7(2), 179-188, 1936.
- Fitzgerald D., Chanasuk D., Neilson D., Kiely D., Audette R., Farm well water in Alberta, *Water Quality Research Journal of Canada*, 36(3), 565–585, 2001.
- Friberg L., Nordberg G.F., Vouk V.B., *Handbook of the Toxicology of Metals*, Vol. II, Elsevier, Amsterdam, 130–184, 1986.
- Fritz S.J., Gjerde T.D., *Ion Chromatography*, 4th ed., Wiley-VCH, 2009.
- Fytianos K., Christophoridis C., Nitrate, arsenic and chloride pollution of drinking water in Northern Greece: Elaboration by applying GIS, *Environmental Monitoring and Assessment*, 93(1), 55-67, 2004.
- Gaćeša S., Klačnja M., *Tehnologija vode i otpadnih voda*, Jugoslovensko udruženje pivara, Beograd, 1994.
- Gebel T., Arsenic and drinking water contamination [letter], *Science*, 283, 1458–1459, 1999.
- Gosselin R.E., Smith R.P., Hodge H.C., *Clinical toxicology of commercial products*, 5th ed., Williams & Wilkins, Baltimore, MD, 1984.
- Habib M.A., Hoque M.A., Islam M.S., Islam M.M., Islam M.N., Phosphate level in some selected surface and ground water bodies of Rajshahi City Corporation, *Journal of Environmental Science and Natural Resources*, 8(1), 129-133, 2015.
- Habuda-Stanić M., Kuleš M., Arsen u vodi za piće, *Kemija u industriji*, 51(7-8), 337-342, 2002.
- Habuda-Stanić M., Nemčić-Jurec J. i Bartolec V., Groundwater quality from water wells of the Koprivnica-Krizevci County, northwestern Croatia, Proceedings of the 14th International

- Conference on Environmental Science and Technology Rhodes, Greece, CEST 2015 00154, 2015.
- Ham Y.S., Tamiya S., Choi I.S., Estimation of selenium concentration in shallow ground water in alluvial fan area in Tsukui, Central Japan, *Environmental Monitoring and Assessment*, 125(1), 85-90, 2007.
- Hamil L., Bell F.G., *Groundwater Resource Development*, Butterworths, London, 1986.
- Hannigan R.E., Bogdevich O.P, Izmailova D.N., Selenium in soils and groundwater of Moldova, *Environmental Geosciences*, 13(4), 267-279, 2006.
- Haring B.S.A., Van Delft W., Changes in the mineral composition of food as a result of cooking in „hard“ and „soft“ waters, *Archives of Environmental Health*, 36(1), 33-35, 1981.
- Harman H.H., *Modern Factor Analysis*, University of Chicago Press, Chicago, IL, 1960.
- Health Canada, *Nutrition Recommendations*, The Report of the Scientific Review Committee Canadian Government Publishing Centre, Ottawa, 1990.
- Health Canada, *Copper*, In: *Guidelines for Canadian Drinking Water Quality*, Supporting documentation, Ottawa, Ontario, 1992a.
- Health Canada, *Sodium*, In: *Guidelines for Canadian Drinking Water Quality*, Supporting documentation, Ottawa, Ontario, 1992b.
- Health Canada, *Background Document for Canadian Drinking Water Guidelines: Nitrate/Nitrite*, Ottawa, Ontario, 2013.
- Heath R.C., *Basic Ground-Water Hydrology*, U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, Water-Supply Paper 2220, Denver, CO, 1989.
- Helwig S., Markus L., Roland D., *Ion chromatography*, Chapter 1, Metrohm Monograph 8.014.5003., Metrohm AG, Switzerland, 3, 2003.
- Hem J.D., Reactions of metal ions at surfaces of hydrous iron oxide, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 41(4), 527-538, 1977.
- Hem J.D., *Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water*, U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, Water-Supply Paper 2254, Alexandria, VA, 144, 1985.

Hiiob M., Karro E., Iron in the Middle Devonian aquifer system and its removal at Võru County water treatment plants, Estonia, *Estonian Journal of Earth Sciences*, 61(3), 181-190, 2012.

Hildum B., *Arsenic Speciation and Groundwater Chemistry at a Landfill Site: A Case Study of Shepley's Hill Landfill*, Boston College Electronic Thesis or Dissertation, 2003.
<http://hdl.handle.net/234573234>

Hindmarsh J.T., McCurdy R.F., Clinical and environmental aspects of arsenic toxicity, *CRC Critical Reviews in Clinical Laboratory Sciences*, 23(4), 315–347, 1986.

Homoncik S.C., MacDonald A.M., Heal K.V., Dochartaigh B.É.Ó., Ngwenya B.T., Manganese concentrations in Scottish groundwater, *Science of the Total Environment*, 408(12), 2467-2473, 2010.

Hossain D., Islam M.S., Sultana N., Tusher T.R., Assessment of Iron Contamination in Groundwater at Tangail Municipality, Bangladesh, *Journal of Environmental Science and Natural Resources*, 6(1), 117-121, 2013.

Hotelling H., Analysis of a complex of statistical variables into principal components, *Journal of Educational Psychology*, 24(6), 417-441, 1933.

Hotelling H., Relations between two sets of variates, *Biometrika*, 28(3-4), 321-377, 1936.

Hrvatović H., Passive continental margin formations (Bosnian flysch) and Paleozoic of Mid-Bosnian Schist Mts. In: Pamić, J., Tomljenović, B. (eds.), PANCARDI 2000 Fieldtrip Guidebook, *Vijesti Hrvatskog geološkog društva*, 37, 71–72, Croatian Geological Society, Dubrovnik, 2000.

Hrvatović H., *Geological guidebook through Bosnia and Herzegovina*, Federalni zavod za geologiju, Sarajevo, BiH, 2006, <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/corine-land-cover-2006-raster>.

<http://aheadoftheherd.com/Newsletter/2012/Water-An-Endangered-Global-Resource.htm>

(Slika 1)

<https://sites.google.com/site/istrazujemopriroduidrustvo/voda/kruzenje-vode> (Slika 2)

<http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/corine-land-cover-2006-raster> (Slika 10)

<http://www.doh.wa.gov/CommunityandEnvironment/DrinkingWater/Contaminants/Coliform>

(Slika 14)

<http://shodexhplc.com/applications/non-suppressed-ion-chromatography/> (slika 24)

<http://www.ufag-laboratorien.ch/en/pharmaceuticals-analysis/microbiology.html> (Slika 27)

<http://www.pagepress.org/journals/index.php/mr/article/view/5972/6210> (Slika 28)

https://www.researchgate.net/figure/236221261_fig1_Fig-1-Eh-pH-diagram-of-aqueous-arsenic-species-in-water-at-25oC-and-1-bar-total (Slika75)

Hudak P.F., Nitrate, arsenic and selenium concentrations in the pecos valley aquifer, West Texas, USA, *Internacional Journal of Environmental Research*, 4(2), 229-236, 2010.

Hudak P.F., Nitrate and chloride concentrations in groundwater beneath a portion of the trinity group outcrop zone, Texas, *Internacional Journal of Environmental Research*, 6(3), 663-668, 2012.

Hutton M., Sources of cadmium in the environment, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 7(1) 9-24, 1983.

IARC (International Agency for Research on Cancer), *Ingested Nitrate and Nitrite and Cyanobacterial Peptide Toxins*, IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Volume 94, 464, Lyon, 2010.

Institut za vode Bijeljina, *Monitoring stanja kvaliteta podzemnih voda*, Institut za vode, Bijeljina, RS, BiH, 2008.

Institut za vode Bijeljina, *Ispitivanje stanja kvaliteta izvora (podzemnih voda) na teritoriji opštine Srebrenica*, Institut za vode, Bijeljina, 2010.

Institut za vode Bijeljina, *Monitoring kvaliteta površinskih voda u Republici Srpskoj*, Izvještaj za 2011. godinu, Institut za vode, Bijeljina, 2011.

Institut za vode Bijeljina, *Monitoring kvaliteta površinskih voda u Republici Srpskoj*, Izvještaj za 2012. godinu, Institut za vode, Bijeljina, 2012.

Instruction manual for Shimadzu Atomic Absorption Spectrophotometer AA-6300 (P/N) 206-51800), Shimadzu Corporation, Analytical and Measuring Instrument Division, Kyoto, Japan, 2002.

IPA Program Evropske Unije 2011, *Plan upravljanja oblasnim riječnim slivom rijeke Save Republike Srpske*, Javna ustanova "Vode Srpske", Bijeljina, RS, BiH, 2015.

- IPCS (International Programme on Chemical Safety), *Nickel*, Environmental Health Criteria 108, International Programme on Chemical Safety, World Health Organization, Geneva, 1991.
- IPCS (International Programme on Chemical Safety), *Copper*, Environmental Health Criteria 200, International Programme on Chemical Safety, World Health Organization, Geneva, 1998.
- ISO (International Organization for Standardization), *Water quality - determination of ammonium*, Geneva, 1984, 1986.
- International Sava River Basin Commission (ISRBC), *Sava River Basin Analysis Report*, Zagreb, Croatia, 2009.
- Jakhrani A.Q., Samo S.R., Siyal Z.A., Sobuz H.R., Alhaz Uddin Md., Hasan N.Md.S., Evaluation of Dissolved Salts and Heavy Metals in Groundwater, *International Journal of Structural and Civil Engineering*, 1(2), 54-60, 2012.
- Johnson C., Kross B., Continuing importance of nitrate contamination of ground water and wells in rural areas, *American Journal of Industrial Medicine*, 18(4), 449–456, 1990.
- Josipović, J., Osnovne hidrogeološke odlike teritorije BiH, Zbornik radova III Jugoslovenskog simpozija o hidrogeologiji i inženjerskoj geologiji - Opatija, 1974.
- Kaiser H.F., The application of electronic computers to factor analysis, *Education and Psychological Measurement*, 20(1), 141-151, 1960.
- Katz B.G., Coplen T.B., Bullen T.D., Hal Davis J., Use of chemical and isotopic tracers to characterize the interactions between ground water and surface water in mantled karst, *Ground Water*, 35(6), 1014–1028, 1997.
- Keller W., Pitblade J.R., Water quality changes in Sudbury area lakes: a comparison of synoptic surveys in 1974–1976 and 1981–1983, *Water Air and Soil Pollution*, 29(3), 285-296, 1986.
- Kimbrough D.E., Cohen Y., Winer A.M., Creelman L., Mabuni C., A critical assessment of chromium in the environment., *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 29(1), 1-46, 1999.

- Knežević T., Tanasković, *Zdravstveni aspekt vode za piće, Priprema vode za piće u svetlu novih standarda i normativa*, Prirodno-matematički fakultet, Institut za hemiju, Novi Sad, 40-52, 1997.
- Kouras K., Katsoyiannis I., Voutsas D., Distribution of arsenic in groundwater in the area of Chalkidiki, Northern Greece, *Journal of Hazardous Materials*, 147(3), 890-899, 2007.
- Kjartanson K., Memorandum to Dr. P. Toft, Department of National Health and Welfare, dated 2 June, from K. Kjartanson, Environmental Management, Manitoba Environment and Workplace Safety and Health, 1986.
- Kresic N., *Hydrogeology and Groundwater Modeling*, 2nd ed., CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, FL, 2007.
- Liebscher, H., Hii, B., McNaughton, D., Nitrate and pesticide contamination of ground water in the Abbotsford aquifer, southwestern British Columbia, Inland Waters Directorate, Environment Canada, Vancouver, BC, 1992.
- Lindsey B.D., Rupert M.G., *Methods for Evaluating Temporal Groundwater Quality Data and Result of Decadal-Scale Changes in Chloride, Dissolved Solids, and Nitrate Concentrations in Groundwater in the United States, 1988–2010*, Scientific Investigations Report 2012–5049, U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, Virginia, 2012.
- Ljung K., Vahter M., Time to re-evaluate the guideline value for manganese in drinking water?, *Environmental Health Perspectives*, 115(11), 1533-1538, 2007.
- Lowik M.R.H., Groot E.H., Binnerts W.T., Magnesium and public health: the impact of drinking water. In: Trace substances in environmental health: proceedings of University of Missouri's annual conference on the trace substances in environmental health, 16, 189-95, 1982.
- Mahajan G., *Evaluation and Development of Groundwater*, APH Publishing Corporation, New Delhi, 2008.
- Malinidevi K., Inbanila T., Comparative study on heavy metal concentration in ground water and soil samples in and around SIPCOT industrial complex, Cuddalore district, *International Research Journal of Engineering and Technology*, 3(4), 2620-2623, 2016.
- Masironi R., How trace elements in water contribute to health, *WHO Chronicle*, 32, 382-385, 1978.

Mayo A.L., Loucks M.D., Solute and isotopic geochemistry and ground water flow in the central Wasatch Range, Utah, *Journal of Hydrology*, 172(1-4), 31-59, 1995.

Mazumdera D.N.G., Haqueeb R., Ghosha N., Dea B.K., Santraa A., Chakrabortyc D., Smithb, A.H., Arsenic levels in drinking water and the prevalence of skin lesions in West Bengal, India, *International Journal of Epidemiology*, 27(5), 871-877, 1998.

McArthur J.M., Banerjee D.M., Hudson-Edwards K.A., Mishra R., Purohit R., Ravenscroft P., Cronin A., Howarth R.J., Chatterjee A., Talukder T., Lowry D., Houghton S., Chadha D.K., Natural organic matter in sedimentary basins and its relation to arsenic in anoxic ground water: the example of West Bengal and its worldwide implications, *Applied Geochemistry*, 19, 1255-1293, 2004.

McClanahan M.A., Mancy K.H., Effect of pH on the quality of calcium carbonate film deposited from moderatečy hard and hard water, *Journal of the American Water Works Association*, 66(1), 49-53, 1974.

McCleskey R.B., Nordstrom D.K., Maest A.S., Preservation of water samples for arsenic(III/V) detenninations: an evaluation of the literature and new analytical results, *Applied Geochemistry*, 19, 995-1009, 2004.

Mirčovski V., Boev B., Efremovski Z., Šorša A., Dimov Đ., Hydrochemical data for the ground waters in the Bitola's part of the Palagonia valley, Republic of Macedonia, *Geologica Macedonica*, 29(1), 15–24, 2015.

Mohamed A.A.J., Rahman I.A., Said S.A., Lim L.H., Mchenga I.S., Levels of hexavalent chromium, copper, and total hardness in springs and underground water in Zanzibar Island, *Asian Journal of Applied Sciences*, 1(5), 212-219, 2013.

Mohammad B., Ure A.M., Reglinski J., Littlejohn D., Speciation of antimony in natural waters: The determination of antimony (III) and antimony (V) by continuous flow hydride generation-atomic absorption spectrometry, *Chemical Speciation and Bioavailability*, 2(3), 117–122, 1990.

Moore J.N., Ficklin W.H., Johns C., Partitioning of arsenic and metals in reducing sulfidic sediments, *Environmental Science and Technology*, 22(4), 432–437, 1988.

Naeem M., Khan K., Rehman S., Iqbal J., Environmental assessment of ground water quality of Lahore area, Punjab, Pakistan, *Journal of Applied Sciences*, 7(1), 41-46, 2007.

Nas B., Berkday A., Groundwater quality mapping in urban groundwater using GIS, *Environmental Monitoring and Assessment*, 160(1), 215-227, 2010.

National Research Council, *Iron*, University Park Press, Baltimore, MD, 1979.

Ngah S.A., Nwankwoala H.O., Iron (Fe^{2+}) occurrence and distribution in groundwater sources in different geomorphologic zones of Eastern Niger Delta, *Archives of Applied Science Research*, 5(2), 266-272, 2013.

Ngai T.K.K., Murcott S., Shrestha R.R., Dangol B., Maharjan M., Design for sustainable development - household drinking water filter for arsenic and pathogen treatment in Nepal, *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 42(12), 1-10, 2007.

Nickson R.T., McArthur J.M., Shrestha B., Kyaw-Myint T.O., Lowry D., Arsenic and other drinking water quality issues, Muzaffargarh District, Pakistan, *Applied Geochemistry*, 20(1), 55-68, 2005.

Niedzielski P., Siepak J., Siepak M., Total content of arsenic, antimony and selenium in groundwater samples from western Poland, *Polish Journal of Environmental Studies*, 10(5), 347-350, 2001.

Nielsen F.H., Ultratrace elements in nutrition: current knowledge and speculation, *The Journal of Trace Elements in Experimental Medicine*, 11, 251-274, 1998.

Nielsen E., Evaluation of health hazards by exposure to nickel in drinking water, *Toxicology Letters*, 189, S247-S247, 2009.

Nikolaidis C., Mandalos P., Vantarikis A., Impact of intensive agricultural practices on drinking water quality in the EVROS Region (NE GREECE) by GIS analysis, *Environmental Monitoring and Assessment*, 143(1), 43-50, 2008.

Nogić M., Šćiban M., Savić M., Jolović B., Water quality at the source in the municipality Laktaši, Bosnia and Hercegovina, *Oxidation Communications*, 37(4), 1065-1073, 2014.

Nollet Leo M.L., De Gelder Leen S. P., *Handbook of Water Analysis*, 3th ed., CRC Press, Taylor & Francis Group, 2011.

Nordberg G.F., Goyer R.A., Clarkson T.W., Impact of effects of acid precipitation on toxicity of metals, *Environmental Health Perspectives*, 63, 169-180, 1985.

- Nriagu J.O., *Zinc in the environment*, Part I, *Ecological Cycling*, John Wiley, New York, NY, 1980.
- Nriagu J.O., Pacyna J.M., Quantitative assessment of worldwide contamination of air, water and soils by trace metals, *Nature*, 333, 134–139, 1988.
- O'Dell B.L., Sunde R.A., *Handbook of Nutritionally Essential Mineral Elements*, Marcel Dekker Incorporation, New York, NY, 1997.
- OECD (The Organisation for Economic Co-operation and Development), *Risk Reduction Monograph No. 5: Cadmium*, OECD Environment Directorate, Paris, France, 1994.
- Office of Environmental Health Hazard Assessment (OEHHA), *Public Health Goals for Nitrate and Nitrite in Drinking Water*, California Environmental Protection Agency, Sacramento, CA, 1997. www.oehha.ca.gov/water/phg/pdf/nit2_c.pdf.
- Ogunbode T.O., Akintunde E.A., Akinola O.T., Assessment of underground water quality and pollution sources apportionment in a Growing urban centre in Osun State south western Nigeria, *European Journal of Geography*, 7(3),71-85, 2016.
- Oh C.K., Lücker P.W., Wetzelsberger N., Kuhlmann F., The determination of magnesium, calcium, sodium and potassium in assorted foods with special attention to the loss of electrolytes after various forms of food preparations. *Magazine Bulletin*, 8(3), 297-302, 1986.
- Orzepowski W., Pulikowski K., Magnesium, calcium, potassium and sodium content in groundwater and surface water in arable lands in the commune (Gmina) of Kały Wrocławskie, *Journal of Elementology*, 13(4), 605-614, 2008.
- Papić P., Ćuk M., Todorović M., Stojković J., Hajdin B., Atanacković N., Polomčić D., Arsenic in tap water of Serbia's South Pannonian Basin and arsenic risk assessment, *Polish Journal of Environmental Studies*, 21(6), 1783-1790, 2012.
- Papić P., Milosavljević J., Ćuk M., Petrović R., *Hydrogeochemical distribution of Ca and Mg in groundwater in Serbia*, In: *Calcium and Magnesium In Groundwater: Occurance and Significance for Human Health*, Lidia Razowska-Jaworek (eds.), CRC Press/Balkema, Taylor & Francis Group, 31-43, 2014.
- Pearson K., On lines and planes of closest fit to system of points in space, *Phylosophy Magazine Series 6*, 2(11), 559-572, 1901.

- Pickering Q.H., Gast M.H., Acute and chronic toxicity of cadmium to the fathead minnow (*Pimephales promelas*), *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 29, 1099-1106, 1972.
- Pielou E.C., *Fresh Water*, University of Chicago Press, Chicago, IL, 1998.
- Prud'homme, M. Salt. In: *Canadian Minerals Yearbook, 1983–1984. Review and Outlook*, Mineral Resources Branch, Energy, Mines and Resources Canada, Ottawa, Canada, 1985.
- Polomčić D., Hajrudin B., Ćuk M., Papić P., Stevanović Z., Groundwater resources for drinking water supply in Serbian's southeast Pannonian basin, *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 9(3), 97-108, 2014.
- Pravilnik o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće*, Službeni glasnik Republike Srpske, br.75/15, 2015.
- Quevauviller P., *Integrated management principles for groundwater in the EU-WFD context*, In: *Groundwater Science and Policy: An International Overview*, The Royal Society of Chemistry, London, UK, 473–493, 2008.
- Rai D., Saas B.M., Moore D.A., Chromium(III) hydrolysis constants and solubility of chromium(III) hydroxide, *Inorganic Chemistry*, 26(3), 345-349, 1987.
- Rajić Lj.M., *Unapređivanje elektrokinetičke remedijacije sedimenta zagađenog teškim metalima*, Doktorska disertacija, Prirodno-matematički fakultet, Novi Sad, 2010.
- Raman N., Narayanan D.S., Impact of solid waste effect of ground water and soil quality nearer to pallavaram solid waste landfill site in Chennai, *Rasayan Journal of Chemistry*, 1(4), 828-836, 2008.
- REC, Regional Environmental Center for Central and Eastern Europe, *Pollution in the Drina River Basin*, Szentendre, Hungary, 2011, <http://www.rec.org/>
- Rietkerk P., *Latest Arsenic Removal Technologies for Drinking Water Applications. Small Water Systems*, Civil and Environmental Engineering Dept., UC Davis, 2007.
- RIVM ((Rijkinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiene), *Attention Substances in Dutch Environmental Policy*, Report No. 601014, National Institute of Public Health and Environmental Protection (Rijkinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiene), Bilthoven, The Netherlands, 1994.

Romić Ž., Habuda-Stanić M., Kalajdžić B., Kuleš M., Arsenic distribution, concentration, and speciation in groundwater of the Osijek area, Eastern Croatia, *Applied Geochemistry*, 26(1), 37-44, 2010.

Ros J.P.M., Slooff W., *Integrated Criteria Document, Cadmium*, RIVM Report No. 758476004, National Institute of Public Health and Environmental Protection, Bilthoven, The Netherland 1987.

Rosas I., Belmont R., Armienta A. Baez A., Arsenic concentrations in water, soil, milk and forage in Comarca Lagunera, Mexico, *Water, Air and Soil Pollution*, 112(1-2), 133-149, 1999.

Roscoe-Moss Company, Inc., *Handbook Of Ground Water Development*, John Wiley & Sons, New York, NY, 1990.

Rosu C., Pisteu I., Roba C., Nes M., Ozunu A., Groundwater quality and its suitability for drinking and agricultural use in a rural area from Cluj County (Floresti village), *Scientific Papers Series Management, Economic Engineering in Agriculture and Rural Development*, 14(2), 247-252, 2014.

Rowland H.A.L., Omoregie E.O., Millot R., Jimenez C., Mertens J., Baciu C., Hug S.J., Berg M., Geochemistry and arsenic behaviour in groundwater resources of the Pannonian Basin (Hungary and Romania), *Applied Geochemistry*, 26(1), 1-17, 2011.

Ruckart P., Henderson A., Black M., Flanders D., Are nitrate levels in groundwater stable over time?, *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*, 18(2), 129-133, 2008.

Sambali G, Mehrotra R.S., *Principles of Microbiology*, Tata McGraw-Hill Education Pvt. Ltd, 2009.

Sayed A.J., Bhosle B.A., Analysis of Chloride, Sodium and potassium in groundwater samples of Nanded City in Maharashtra, India, *European Journal of Experimental Biology*, 1(1), 74-82, 2011.

Schock M.R., Understanding corrosion control strategies for lead, *Journal of the American Water Works Association*, 81(7), 88-100, 1989.

Schock M.R., Causes of temporal variability of lead in domestic plumbing systems. *Environmental Monitoring and Assessment*. 15(1), 59-82, 1990.

Skoog, D.A., Holler F.J., Nieman T., *Principles of Instrumental Analysis*, Brooks Cole Publishing Company, New York, NY, 1998.

Skopljak, F., Hrvatović, H., Žigić, I., Pašić-Škripić, D., Novi prilog hidrogeološkoj rejonizaciji Bosne i Hercegovine, *Zbornik radova IV Savjetovanja geologa Bosne i Hercegovine*, Ilidža, 2011.

Slooff W., *Integrated Criteria Document Chromium*, RIVM Report No. 758701002, National Institute of Public Health and Environmental Protection, Bilthoven, NL, 1989.

Smedley P.L., Kinniburgh D.G., A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural waters, *Applied Geochemistry*, 17(5), 517-568, 2002.

Smedley P., Nicolli H.B., Macdonald D.M.J., Barros A.J., Tullio J.O., Hydrogeochemistry of arsenic and other inorganic constituents in groundwaters from La Pampa, Argentina, *Applied Geochemistry*, 17(3), 259-284, 2002.

Smith A.H., Goycolea M., Haque R., Biggs M.L., Marked increase in bladder and lung cancer mortality in a region of Northern Chile due to arsenic in drinking water, *American Journal of Epidemiology*, 147(7), 660-669, 1998.

Smith A.H., Lingas E.O., Rahman M., Contamination of drinking-water by arsenic in Bangladesh: a public health emergency. *Bulletin of the World Health Organization*, 78(9), 1093-1103, 2000.

Spliethoff H.M., Mason R.P., Hemond H.F., Interannual variability in the speciation and mobility of arsenic in a dimictic lake, *Environmental Science and Technology*, 29(8), 2157-2161, 1995.

Statistički godišnjak Republike Srpske za 2011. godinu, Republički zavod za statistiku, Banja Luka, RS, BiH, 2012.

Statistički godišnjak Republike Srpske za 2012, Republički zavod za statistiku, Banja Luka, RS, BiH, 2013.

Stevanović Z., *Menadžment podzemnih vodnih resursa*, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko geološki fakultet, Departman za hidrogeologiju, Beograd, 2011.

Stiff M.J., The chemical states of copper in polluted fresh water and a scheme of analysis for differentiating them, *Water Research*, 5(8), 585-599, 1971.

Sun G., Arsenic contamination and arsenicosis in China, *Toxicology and Applied Pharmacology*, 198(3), 268-271, 2004.

Škunca-Milovanović S., Feliks R., Đurović B. (ed.) 1990. Voda za piće - Standardne metode za ispitivanje higijenske ispravnosti, Savezni zavod za zdravstvenu zaštitu i NIP "Privredni pregled", Beograd (1990).

Tabachnik B.G., Fidell L.S., *Using Multivariate Statistics*, 2nd ed., Harper & Row Publishers, New York, NY, 1989.

Tank K.D., Chandel S. C.P., Analysis of the major ion constituents in groundwater of Jaipur City, *Nature and Science*, 8(10), 1-7, 2010.

Taouil H., Ibn Ahmed S., El Assyry A., Hajjaji N., Srhiri A., Evaluation of metal pollution: Aluminum, zinc, iron and copper of Tiykomiye well water (East Morocco), *Journal of Materials and Environmental Science*, 5(1), 177-182, 2014.

Thakur J.K., Thakur R.K., Ramanathan A.L., Manish Kumar, Singh S.K., Arsenic contamination of groundwater in Nepal - An overview, *Water*, 3(1),1-20, 2011.

Theophanides T., Angiboust J.-F., Polissiou M., Anastassopoulou J. and Manfait M., Possible role of water structure in biological magnesium systems, *Magnesium Research*, 3(1), 5-13, 1990.

Todorović M., Đurđević P., Antonijević V., *Optičke metode instrumentalne analize*, Hemijski fakultet, Beograd, 1997.

Tong J.Y.P., King, E.L., A Spectrophotometric investigation of the equilibria existing in acidic solutions of chromium(VI), *Journal of the American Chemical Society*, 75(24), 6180-6186, 1953.

Török-Oance R., Tulhina D., Lazăr M., Preliminary study on groundwater pollution with nitrites and nitrates in Gătaia (Timiș county), *Annals of West University of Timișoara, Series of Biology*, XVI(2), 89-96, 2013.

Ujević M., Duić Ž., Casiot C., Sipos L., Santo V., Dadić Ž., Halamić J., Occurrence and geochemistry of arsenic in the groundwater of Eastern Croatia, *Applied Geochemistry*, 25(7), 1017–1029, 2010.

Urbanistički zavod Republike Srpske, *Prostorni plan Republike Srpske do 2015. godine*, Urbanistički zavod Republike Srpske, Banja Luka, 2005.

U.S. DHEW, *Drinking Water Standards*, Publication No. 956, U.S. Department of Health, Education and Welfare, Public Health Service, US Government Printing Office, Washington, DC, 1962.

U.S. EPA, *Health Assessment Document for Nickel and Nickel Compounds*, EPA/600/8-83/012FF, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Environmental Health and Assessment, Washington, D.C., 1986.

U.S. EPA, *Health Advisory-Chromium*, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Drinking Water, Washington, DC, 1987.

U.S. EPA, *Summary Review of Health Effects Associated with Ammonia*, EPA/600/8-89/052F, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Health and Environmental Assessment, Office of Research and Development, Washington, DC, 1989.

U.S. EPA, *Maximum Contaminant Level Goals and National Primary Drinking Water Regulations for Lead and Copper*; final rule, U.S. Environmental Protection Agency, Federal Register, 56(110), 26460-26564, 1991.

U.S. EPA, *Effect of pH, DIC, Orthophosphate and Sulfate on Drinking Water Cuprosolvency*, EPA/600/R-95/085, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, Washington, DC, 1995.

U.S. EPA, *Health Effects from Exposure to High Levels of Sulfate in Drinking Water Study*, EPA 815-R-99-001, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water, Washington, DC, 1999a.

U.S. EPA, *Health Effects from Exposure to High Levels of Sulfate in Drinking Water Workshop*, EPA 815-R-99-002, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water, Washington, DC, 1999b.

U.S. EPA, *Trace Elements in Water, Solids, and Biosolids by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry*, Method 200.7, Revision 5.0, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, 2001.

U.S. EPA, *Health Effects Support Document for Manganese*, EPA 822-R-03-003, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water, Health and Ecological Criteria Division, Washington, DC, 2002a.

U.S. EPA, *Edition of the Drinking Water Standards and Health Advisories*, EPA 822-R-02-038, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water, Washington, DC, 2002b.

U.S. EPA, *Contaminated Sediment Remediation Guidance for Hazardous Waste Sites*, U.S. Environmental Protection Agency, 2005.

U.S. EPA, *Edition of the Drinking Water Standards and Health Advisories*, EPA 822-S-12-001, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water, Washington, DC, 2012.

U.S. NRC (United States Nuclear Regulatory Commission), *Arsenic in Drinking Water*, U.S. National Research Council, The National Academy Press, Washington, DC, 1999.

U.S. NRC (United States Nuclear regulatory Commission), *Copper in Drinking Water*, National Research Council, The National Academy Press, Washington, DC, 2000.

Voice T.C., Flores del Pino L.V., Havezov I., Long D.T., Field deployable method for arsenic speciation in water, *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 36(9-11), 436-441, 2011.

Walker R., *Water Supply, Treatment and Distribution*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1978.

Weil D., Quentin K.E., Bildung und Wirkungsweise der Chloramine bei der Trinkwasseraufbereitung, [Formation and mode of action of chloramines in drinking-water treatment] 1. Teil (parts 1 and 2), *Zeitschrift für Wasser und Abwasser Forschung*, 8, 5-16, 1975; 46-56 cited in WHO 1996.

Weisglass H., *Medicinska bakteriologija*, Drugo izdanje, Jugoslovenska medicinska naklada, Zagreb, 1989.

Wendlandt E., Ammonium/Ammoniak als ursache für wiederverkeimungen in trinkwasserleitungen, [Ammonium/ammonia as cause of bacterial regrowth in drinking-waterpipes], *Gas-und Wasserfach, Wasser-Abwasser*, 129, 567-571, 1988.

WHO, OECD (World Health Organization and The Organisation for Economic Co-operation and Development), *Assessing Microbial Safety of Drinking Water. Improving Approaches and Methods*, IWA Publishing, London, UK, 2003.

WHO, *Sodium, Chlorides and Conductivity in Drinking Water: Report on a WHO Working Group*, EURO reports and studies, No. 2. World Health Organization, Regional Office for Europe, Copenhagen, DK, 1979.

WHO, *Ammonia*, Environmental Health Criteria, No. 54, World Health Organization, Geneva, SZ, 1986a.

WHO Working group, Health impact of acidic deposition, *The Science of the Total Environment*, 52(3), 157-187, 1986b.

WHO, *Chloride in Drinking-water*, Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality, 2nd ed., Vol. 2, World Health Organization, Geneva, SZ, 1996a.

WHO, *Guidelines for Drinking-water Quality*, 2th ed., World Health Organization, Geneva, SZ, 1996b.

WHO, *Chromium in Drinking-water*, Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality, Geneva, 2nd ed., Vol. 2, World Health Organization, Geneva, SZ, 2003a.

WHO, *Copper in Drinking-water*, Background Document for preparation of WHO Guidelines for Drinking-water Quality, World Health Organization, Geneva, SZ, 2003b.

WHO, *Guidelines for Drinking-water Quality*, 3th ed., Vol. 1, Recommendations, World Health Organization, Geneva, SZ, 2004.

WHO, *Sulphate in Drinking-water*, Background Document for preparation of WHO Guidelines for Drinking-water Quality, World Health Organization, Geneva, SZ, 2004.

WHO, *Cobalt and Inorganic Cobalt Compounds*, World Health Organization, Geneva, SZ, 2006.

WHO, *pH in Drinking-water*, Revised background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality, World Health Organization, Geneva, SZ, 2007.

WHO, *Potassium in Drinking-water*, World Health Organization, Geneva, SZ, 2009.

- WHO, *Guidelines for Drinking-water Quality*, 4th ed., World Health Organization, Geneva, SZ, 2011a.
- WHO, *Hardness in Drinking-water*, Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality, World Health Organization, Geneva, SZ, 2011b.
- WHO, *Cadmium in Drinking-water*, Background Document for preparation of WHO Guidelines for Drinking-water Quality, World Health Organization, Geneva, SZ, 2011c.
- Wiberg N., Holleman-Wiberg Lehrbuch der Anorganischen Chemie, [Holleman-Wiberg Textbook of Inorganic Chemistry.], De Gruyter, Berlin, DE, 1985.
- Wilks S.S., Certain generalization in the analysis of variance, *Biometrika*, 24(3-4), 471-494, 1932.
- Wilson A., Parrott K., Ross B., *Iron and Manganese in House Hold Water*, Virginia Cooperative Extension, Petersburg, VA, 356-478, 1999.
- Xiandeng H., Bradley T.J., *Inductively Coupled Plasma/Optical Emission Spectrometry*, In: Meyers R.A., (ed.), *Encyclopedia of Analytical Chemistry*, John Wiley & Sons, Chichester, 9468-9485, 2000.
- Yan X.P., Kerrich R., Hendry M. J., Distribution of arsenic(III), arsenic(V) and total inorganic arsenic in porewaters from a thick till and clay-rich aquitard sequence, Saskatchewan, Canada, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 64(15), 2637-2648, 2000.
- Young E.O, Ross D.S, Phosphate release from seasonally flooded soils, *Journal of Environmental Quality*, 30(1), 91-101, 2001.
- Zheng Y., Stute M., van Geen A., Gavrieli I., Dhar R., Simpson H.J., Schlosser P., Ahmed, K.M., Redox control of arsenic mobilization in Bangladesh groundwater, *Applied Geochemistry*, 19(2), 201-214, 2004.
- Zitko V., Principal component analysis in the evaluation of the environmental data, *Marine Pollution Bulletin*, 28(12), 718-722, 1994.

7. BIOGRAFIJA

Tamara Laketić je rođena u Nišu, 05.08.1977. godine.

Završila je Osnovnu školu „Đura Jakšić“ u Jelašnici i srednju medicinsku školu "Dr Milenko Hadžić" u Nišu sa odličnim uspehom. Školske 1996/1997 upisala je studije hemije na Prirodno-matematičkom fakulteta u Nišu. 2001. godine odbranila je diplomski rad po nazivom "Mikrogramsko određivanje arginina kinetičkom metodom".

Školske 2010/2011. godine upisala je doktorske studije na Departmanu za hemiju Prirodno-matematičkog fakulteta Univerziteta u Nišu. Položila je sve planom i programom predviđene ispite.

Od novembra 2006. godine zaposlena je u Institutu za vode u Bijeljini kao analitičar u fizičko-hemijskoj laboratoriji, a od januara 2016. imenovana je za tehničkog rukovodioca fizičko-hemijskog odeljenja.

Posедуje znanje Sistema menadžmenta kvaliteta (QMS) prema seriji standarda ISO 9000:2001, kao i opštih zahteva za kompetentnost laboratorija za ispitivanje ISO 17025:2006.

Udata je i majka dvogodišnjeg sina.

Učestvovala u sledećim projektima:

- 2016. Monitoring kvaliteta površinskih voda na području Brčko distrikta za 2016. godinu, br. 13-001325/16
- 2016. Monitoring kvaliteta površinskih voda u Republici Srpskoj, istraživanja za 2016. godinu, br. 01-710/16
- 2016. Izveštaj o procjeni štete ribljeg fonda i akvatičnih zajednica tokom eksploatacije HE "Bočac" i izgradnje MHE "Bočac 2" u toku 2016. godine, br. 01-2378-9/16
- 2015. Ispitivanje kvaliteta vode akumulacionog jezera Bočac i rijeke Vrbas uzvodno i nizvodno od brane, br. 01-1214-11/15
- 2015. Monitoring kvaliteta površinskih voda na području Brčko distrikta za 2015. godinu, br. 13-001623/15
- 2015. Monitoring kvaliteta površinskih voda u Republici Srpskoj, istraživanja za 2015. godinu, br. 1-458/15-1
- 2013. Ispitivanje kvaliteta vode akumulacionog jezera Bočac i rijeke Vrbas nizvodno od brane, br. 01-800/12

-
2013. Monitoring kvaliteta površinskih voda u Republici Srpskoj, istraživanja za 2013. godinu br. 01-341/12
2012. Monitoring kvaliteta površinskih voda u Republici Srpskoj, istraživanja za 2013. godinu br.01-338/12
2012. Ispitivanje kvaliteta vode akumulacionog jezera Bočac i rijeke Vrbas nizvodno od brane, br, br. 01-789/12
2012. Monitoring kvaliteta površinskih voda sliva Trebišnjice, br. 01-338/12
2012. Ispitivanje kvaliteta površinskih voda na području Brčko distrikta, br. 01-392/12
2012. Istraživanje stanja kvaliteta vode akumulacije Bilećko jezero, br. 01-356/12
2011. SERDA, projekat "Čista rijeka Miljacka", br. 01-71/10
2011. Istraživanje stanja kvaliteta vode akumulacije Bilećko jezero, br. 01-224/11
2011. Monitoring kvaliteta površinskih voda u Republici Srpskoj, br. 01-224/11
2011. Ispitivanje kvaliteta površinskih voda na području Brčko distrikta, br. 01-783/11
2010. SERDA, projekat "Čista rijeka Miljacka", br. 71/10
2010. Ispitivanje kvaliteta vodotoka Gračanica, br. 01-336/10
2010. Ispitivanje kvaliteta površinskih voda na području Brčko distrikta, br. 01-396/10
2010. Ispitivanje kvaliteta površinskih voda u Republici Srpskoj, бр.01-214/10 i 01-275/10
2010. Ispitivanje stanja kvalieta vode akumulacije Bilećko jezero, br. 01-215/10
2010. Ispitivanje stanja kvalieta vode akumulacije Višegradsko jezero, br. 01-215/10
2010. Ispitivanje stanja kvalieta izvora (podzemnih voda) na teritoriji Srebrenice, br.01-421/10
2009. Monitoring kvaliteta površinskih voda u Republici Srpskoj, br. 01-273 /09
2009. Istraživanje stanja kvalieta vode akumulacije Bilećko jezero, br. 01-352/09
2009. Istraživanje stanja kvalieta vode akumulacije Bočac, br. 01-352/09
2009. Monitoring kvaliteta urbanih otpadnih voda na teritoriji Sepublike Srpske, br. 01-353/09
2008. Monitoring kvaliteta površinskih voda u Republici Srpskoj, br. 01-201/08
2008. Monitoring stanja kvaliteta podzemnih voda, br. 01-201/08
2008. Monitoring stanja kvaliteta vode jezera Drenova, br. 01-203/08
2008. Monitoring kvaliteta Orlovačkog jezera, br. 01-291/08
2008. Istraživanje stanja kvalieta vode akumulacije Višegradsko jezero, br. 01-204/08
2008. Istraživanje stanja kvalieta vode akumulacije Bočac, бр. 01-203
2007. Monitoring kvaliteta površinskih voda na području Republike Srpske, br.01-285
2007. Monitoring otpadnih voda na na području Republike Srpske, br.01-442/07
2007. Monitoring kvaliteta podzemnih voda u Republici Srpskoj, br. 01-288/07
2007. Monitoring stanja kvaliteta vode jezera Drenova, br.01-286/07
2007. Monitoring stanja kvaliteta vode jezera akumulacije Bočac, br. 01-287/07
2007. Ispitivanje referentnih profila na području Republike Srpske, br. 01-285/07
2007. Monitoring stanja kvaliteta vode akumulacije Bilećko jezero, br. 01-512/07

8. BIBLIOGRAFIJA

Rad u međunarodnom časopisu, M23

1. **T. J. Laketić**, A. N. Pavlović, M. J. Savić, S. S. Mitić, S. B. Tošić, M. S. Đorđević, M. N. Mitić, Occurrence of arsenic in water in Semberija: connection with factors affecting arsenic mobility, *Oxidation Communications*, 36(3), 820-830, 2013.
2. A. N. Pavlović, **T. J. Laketić**, S. S. Mitić, M. J. Savić, S. B. Tošić, M. S. Đorđević, Multielement determination using inductively coupled plasma optical emission spectrometry for metal characterization of water from artesian wells in Semberija region: Multivariate analysis of data, *Hemijska Industrija*, 68(2), 247-256, 2014.

Rad u časopisu nacionalnog značaja, M52

1. **Tamara J. Laketić**, Aleksandra N. Pavlović, Milenko J. Savić, Snežana S. Mitić, Snežana B. Tošić, Milena N. Miljković, Sadržaj anjona u podzemnim vodama na teritoriji Semberije, *Savremene Tehnologije*, 3(1), 38-46, 2014.

Saopštenje sa međunarodnog skupa štampano u celini, M33

1. M. Nogić, **T. Laketić**, Ž. Ostojić, M. Savić, Fizičko-hemijski aspekt kontrole kvaliteta izvorišta na teritoriji opštine Srebrenica, Jedanaesta međunarodna konferencija vodovodi i kanalizacioni sistemi, Jahorina 2011, Bosna i Hercegovina, 76-79.
2. **T. Laketić**, M. Nogić, Monitoring podzemnih voda, Dvanaesta međunarodna konferencija vodovodi i kanalizacioni sistemi, Jahorina 2012, Bosna i Hercegovina 91-95.
3. **Tamara J. Laketić**, Aleksandra N. Pavlović, Milenko J. Savić, Snežana B. Tošić, Jelena M. Brčanović, Occurrence of arsenic in water from artesian wells in Semberija, III

International Congress "Engineering, Environment and Materials in Processing Industry", 4-6 March 2013, Jahorina, Bosnia and Herzegovina, 328-334.

4. **T. Laketić**, A. Pavlović, M. Savić, Analiza metala u arteškim bunarima Semberije, Trinaesta međunarodna konferencija vodovodni i kanalizacioni sistemi, Jahorina, 2013, Bosna i Hercegovina, 62-66.
5. **Tamara Laketić**, Maja Nogić, Water quality assessment of Bilečko lake based on physico-chemical parameters, III International Conference "Water in sensitive & protected areas", 13-15 June 2013, Zagreb, Croatia, 167-170.
6. **T. Laketić**, M. Nogić, M. Savić, Sezonske varijacije in situ parametara i nutrijenata u rijeci Bosni za period 2010-2015. godina, Šesnaesta međunarodna konferencija vodovodni i kanalizacioni sistemi, Jahorina, 2016, Bosna i Hercegovina, 62-66.

Saopštenje sa međunarodnog skupa štampano u izvodu, M34

1. Jovana Veljković, Aleksandra Pavlović, Jelena Brcanović, Snežana Mitić, Ružica Micić, Emilija Pecev, **Tamara Laketić**, Total polyphenol, flavonoid content and antioxidant capacity of commercially available black, green and herbal tea infusions, 8th International Conference of the Chemical Societies of the South-East European Countries, June 27-29, 2013, Belgrade, Serbia.

Saopštenje sa nacionalnog skupa štampano u celini, M63

1. D. Đokić, A. Elez, **T. Laketić**, M. Nogić, S. Lazić, Ž. Ostojić, G. Lekić, M. Odić, Kvalitet površinskih voda u Republici Srpskoj u 2009. godini, "Srpsko društvo za zaštitu voda" 39. konferencija o aktuelnim problemima korišćenja i zaštite voda "VODA 2010" Divčibare 2010, 63-68.
2. **T. Laketić**, A. Elez, D. Đokić, I. Zarić, M. Nogić, Ž. Ostojić, S. Lazić, M. Odić, G. Lekić, Ocena trofičnog stanja Bilečkog jezera u 2009. godini, "Srpsko društvo za zaštitu voda" 39. konferencija o aktuelnim problemima korišćenja i zaštite voda "VODA 2010" Divčibare 2010, 129-134.

3. A. Elez, D. Đokić, **T. Laketić**, M. Nogić, Ž. Ostojić, S. Lazić, M. Odić, G. Lekić, Kontrola kvaliteta komunalnih otpadnih voda u Republici Srpskoj u 2009. godini, "Srpsko društvo za zaštitu voda" 39. konferencija o aktuelnim problemima korišćenja i zaštite voda "VODA 2010" Divčibare 2010, 249-258.
4. D. Đokić Vasić, A. Elez, **T. Laketić**, M. Savić, Metali u vodotocima međunarodnog nadzornog monitoringa /TNMN/ u Republici Srpskoj u periodu od 2005. do 2010. godine, "Srpsko društvo za zaštitu voda" 40. konferencija o aktuelnim problemima korišćenja i zaštite voda "VODA 2011" Zlatibor 2011, 79-84.
5. A. Elez, D. Đokić Vasić, **T. Laketić**, M. Savić, Monitoring kvaliteta vodotoka u Republici Srpskoj za 2010. godinu-osvrta na hemijske i fizičko-hemijske parametre kvaliteta, "Srpsko društvo za zaštitu voda" 40. konferencija o aktuelnim problemima korišćenja i zaštite voda "VODA 2011" Zlatibor 2011, 71-78.
6. **T. Laketić**, A. Elez, D. Đokić Vasić, M. Savić, Ispitivanje kvaliteta vode vodotoka Gradačnica, "Srpsko društvo za zaštitu voda" 40. konferencija o aktuelnim problemima korišćenja i zaštite voda "VODA 2011" Zlatibor 2011, 97-102.
7. M. Nogić, **T. Laketić**, Ž. Ostojić, M. Savić, Ispitivanje kvaliteta podzemnih voda na teritoriji opštine Srebrenica, "Srpsko društvo za zaštitu voda" 40. konferencija o aktuelnim problemima korišćenja i zaštite voda "VODA 2011" Zlatibor 2011, 223-228.
8. **T. Laketić**, A. Pavlović, M. Savić, Analiza amonijum jona i anjona u arteškim bunarima Semberije, "Srpsko društvo za zaštitu voda" 42. konferencija o aktuelnim problemima korišćenja i zaštite voda "VODA 2013" Perućac 2013, 193-200.
9. M. Nogić, **T. Laketić**, P. Mitrović, M. Nikolić, M. Savić, I. Zarić, Ekološki status neposrednog sliva rijeke Une kroz Republiku Srpsku, "Srpsko društvo za zaštitu voda" 45. konferencija o aktuelnim problemima korišćenja i zaštite voda "VODA 2016" Zlatibor 2016, 223-229.
10. M. Nikolić, P. Mitrović, M. Nogić, **T. Laketić**, M. Savić, I. Zarić, Kontrola kvaliteta voda Gatačkog basena sa aspekta fizičko-hemijskih, mikrobioloških i toksikoloških ispitivanja u 2015. godini, "Srpsko društvo za zaštitu voda" 45. konferencija o aktuelnim problemima korišćenja i zaštite voda "VODA 2016" Zlatibor 2016, 397-403.



ИЗЈАВА О АУТОРСТВУ

Изјављујем да је докторска дисертација, под насловом

Хемијски и микробиолошки профил вода из артезијских бунара на територији Семберије: анализа фактора који утичу на мобилност хемијских загађивача

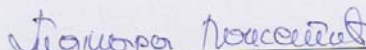
која је одбрањена на Природно-математичком факултету Универзитета у Нишу:

- резултат сопственог истраживачког рада;
- да ову дисертацију, ни у целини, нити у деловима, нисам пријављивао/ла на другим факултетима, нити универзитетима;
- да нисам повредио/ла ауторска права, нити злоупотребио/ла интелектуалну својину других лица.

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци, који су у вези са ауторством и добијањем академског звања доктора наука, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада, и то у каталогу Библиотеке, Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Нишу, као и у публикацијама Универзитета у Нишу.

У Нишу, 17.03.2017.

Потпис аутора дисертације:


др Тамара Ј. Лакетић



**ИЗЈАВА О ИСТОВЕТНОСТИ ЕЛЕКТРОНСКОГ И ШТАМПАНОГ ОБЛИКА
ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ**

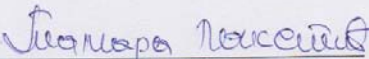
Наслов дисертације:

*Хемијски и микробиолошки профил вода из артешких бунара на територији
Семберије: анализа фактора који утичу на мобилност хемијских загађивача*

Изјављујем да је електронски облик моје докторске дисертације, коју сам
предао/ла за уношење у **Дигитални репозиторијум Универзитета у Нишу**, истовестан
штампаном облику.

У Нишу, 17.03.2017.

Потпис аутора дисертације:


др Тамара Ј. Лакетић



ИЗЈАВА О КОРИШЋЕЊУ

Овлашћујем Универзитетску библиотеку „Никола Тесла“ да у Дигитални репозиторијум Универзитета у Нишу унесе моју докторску дисертацију, под насловом:

Хемијски и микробиолошки профил вода из артезијских бунара на територији Семберије: анализа фактора који утичу на мобилност хемијских загађивача

Дисертацију са свим прилозима предао/ла сам у електронском облику, погодном за трајно архивирање.

Моју докторску дисертацију, унету у Дигитални репозиторијум Универзитета у Нишу, могу користити сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons), за коју сам се одлучио/ла.

1. Ауторство (CC BY)
2. Ауторство – некомерцијално (CC BY-NC)
3. Ауторство – некомерцијално – без прераде (CC BY-NC-ND)
4. Ауторство – некомерцијално – делим под истим условима (CC BY-NC-SA)
5. Ауторство – без прераде (CC BY-ND)
6. Ауторство – делим под истим условима (CC BY-SA)⁷

У Нишу, 17.03.2017.

Потпис аутора дисертације:

др Тамара Ј. Лакетић

⁷ Аутор дисертације обавезан је да изабере и означи (заокружи) само једну од шест понуђених лиценци; опис лиценци дат је у наставку текста.



Типови лиценци КРЕАТИВНЕ ЗАЈЕДНИЦЕ

1. Ауторство (CC BY)

Дозвољава умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора, на начин одређен од аутора или даваоца лиценце, чак и у комерцијалне сврхе. Ово је најслободнија од свих лиценци.

2. Ауторство – некомерцијално (CC BY-NC)

Дозвољава умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора, на начин одређен од аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела.

3. Ауторство – некомерцијално – без прерада (CC BY-NC-ND)

Дозвољава умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора, на начин одређен од аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела. Уодносу на све остале лиценце, овом лиценцом се ограничава највећи обим права коришћења дела.

4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима (CC BY-NC-SA)

Дозвољава умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора, на начин одређен од аутора или даваоца лиценце, и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада

5. Ауторство – без прерада (CC BY-ND)

Дозвољава умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора, на начин одређен од аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела.

6. Ауторство – делити под истим условима (CC BY-SA)

Дозвољава умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора, на начин одређен од аутора или даваоца лиценце, и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада. Слична је софтверским лиценцама, односно лиценцама отвореног кода.