

Stručni članak (Professional paper) | UDK: 628.193:546.7[(497.6)]
Primljeno (Received): 02.11.2023.; Prihvaćeno (Accepted): 02.01.2024.

MONITORING ONEČIŠĆENJA TEŠKIM METALIMA RIJEKA KRIVAJE I BOSNE

prof. dr. sc. Karahmet Enver
Univerzitet u Sarajevu
Poljoprivredno-prehrambeni
fakultet
Zmaja od Bosne 8, Sarajevo
Bosna i Hercegovina
e.karahmet@ppf.unsa.ba

mr. sc. Isaković Senita preh. teh.
Univerzitet u Sarajevu
Poljoprivredno-prehrambeni
fakultet
Zmaja od Bosne 8, Sarajevo
Bosna i Hercegovina

prof. dr. sc. Bečić Ervina
Univerzitet u Sarajevu
Farmaceutski fakultet
Zmaja od Bosne 5, Sarajevo
Bosna i Hercegovina

prof. dr. sc. Bečić Fahir
Univerzitet u Sarajevu
Farmaceutski fakultet
Zmaja od Bosne 5, Sarajevo
Bosna i Hercegovina

**mr. sc. mikrobiologije
Smailović Ajla**
Pharmacy & Bio d.o.o.
Šerifa Loje 22, Sarajevo
Bosna i Hercegovina

Onečišćenje vode teškim metalima uzrokovano industrijskim aktivnostima i tehnološkim razvojem predstavlja ozbiljan zdravstveni i ekološki problem zato što su teški metali toksični, nisu biorazgradivi, akumuliraju se u živim ekosustavima i imaju dugo poluvrijeme života u svim sredinama. Za razliku od rijeke Krivaje koja svojim većim tokom teče kroz prirodne ljepote i ruralna područja, rijeka Bosna cijelim je svojim tokom recipijent otpadnih voda iz domaćinstava većeg broja gradova, industrijskih otpadnih voda i komunalnih ispusta. Osim toga deponiji svojim procjedom vodama značajno utječu na kvalitetu vodotoka i životne sredine.

Cilj ovog rada bio je utvrditi potencijalno prisustvo teških metala arsena (As), olova (Pb) i žive (Hg) u vodama rijeke Bosne i Krivaje atomskom apsorpcijskom spektrofotometrijom. Rezultati provedenih analiza ukazuju na prisustvo teških metala u vodi: koncentracija arsena (As) kretala se u granicama od 3,00 do 3,16 $\mu\text{g/l}$, koncentracija olova (Pb) kretala se od 3,90 do 4,20 $\mu\text{g/l}$ i žive (Hg) od 0,50 do 0,60 $\mu\text{g/l}$. u granicama koje ne mogu prouzrokovati poremećaj ekološke ravnoteže. Vodotok Bosne kod Maglaja klasificiran je od "dobro" do "umjereno", a Krivaja u Kovačima, u općini Zavidovići kao "dobro" u skladu s člankom 32, točka tri Zakona o vodama FBiH. Rezultati su potvrdili i zdravstvenu ispravnost vode za piće. Potrebno je pratiti unos polutanata u vodene ekosustave tokom dužeg vremenskog perioda i u različitim periodima kako bi utvrdili izvor onečišćenja i predvidjeli eventualne posljedice po ekosustav i zdravlje čovjeka.

Ključne riječi: životna sredina, onečišćenje vode, teški metali, arsen, olovo, živa, atomska apsorpcijska spektrofotometrija

1. UVOD

Voda kao najveći prirodni resurs i izvor života na planeti Zemlji mora biti zaštićena od onečišćenja kako bi osiguravala ravnotežu cjelokupnog ekosustava i zdravlje čovjeka. Neophodno je osigurati dovoljne količine zdravstveno ispravne vode za piće kako ne bi predstavljala ozbiljan zdravstveni rizik za populaciju. Higijenski ispravna voda za piće osnovni je preduvjet

za dobro zdravlje, jer je neophodna za održavanje života i osobne i sveopće higijene. Svjetska zdravstvena organizacija (WHO 2017) svrstala je kvalitetu vode za piće u dvanaest osnovnih indikatora zdravstvenog stanja stanovništva jedne zemlje, čime se potvrđuje njena značajna uloga u zaštiti i unapređenju zdravlja.

Među najčešće kontaminante koji se mogu pronaći u zagađenim vodama ubrajaju se teški metali (olovo (Pb^{2+}), bakar (Cu^{2+}), živa (Hg^{2+}), arsen (As^{3+} , As^{5+}), krom (Cr^{3+} , Cr^{6+}))

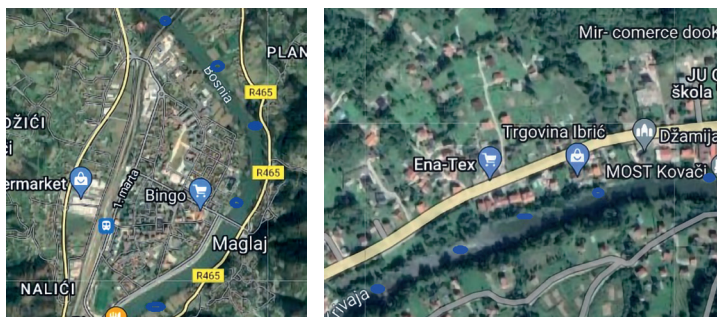
i dr.), organski spojevi različitog porijekla i različiti kemijski proizvodi (kozmetički i farmaceutski proizvodi). Zagađenje voda teškim metalima u najvećoj mjeri posljedica je ispuštanja nepročišćenih ili nedovoljno pročišćenih industrijskih otpadnih voda, iskopavanja ruda, ispušnih plinova iz automobila, deponija otpada i zaštitnih sredstva u poljoprivredi (Oreščanin 2013). Dospijevanjem teških metala u životnu sredinu pokreće se niz lančanih reakcija koje mijenjaju kvalitetu vode, zemljišta i atmosfere.

Prisustvo ovih zagađivača u vodenim sistemima dovodi do promjene fizičko-kemijskih parametara kvalitete vode, odnosno boje, mirisa, okusa, prozračnosti, pH, tvrdoće i tako dalje, (Milanov 2015).

Teški metali predstavljaju vrlo heterogenu grupu koja obuhvaća skoro 60 elemenata, koji se međusobno razlikuju po kemijskim i fizičkim osobinama, te afinitetu prema organskim strukturama. Njihov značaj ogleda se u toksičnosti i tendenciji da se duže zadržavaju u organizmu. Toksično djelovanje zasniva se na njihovom ireverzibilnom vezivanju za metabolički aktivne grupe u aminokiselinama, polipeptidima i proteinima (Mihaljev i sar. 2008).

Uzimajući u obzir da je čovjek zadnja karika lanca ishrane problem onečišćenja dobiva na značaju jer teški metali mogu biti uzročnici brojnih poremećaja kao što su psihički, senzorni, motorički, fiziološki poremećaji mozga i središnjeg živčanog sustava. Neki od ovih elemenata, kao što su bakar, cink, magnezij, željezo, kobalt i molibden, neophodni su u manjim količinama za odvijanje fizioloških procesa u organizmima tj. oni su esencijalni metali. Njihove su funkcije specifične i ne mogu se zamijeniti drugim elementima (Žiško 2016; Softilić 2014; Velagić-Habul i Omanović-Mikličanin 2011).

Izmjerene koncentracije teških metala i metala u tragovima u tri segmenta životne sredine pokazuju da ljudske aktivnosti sada imaju veliki utjecaj na globalne i regionalne cikluse većine elemenata u tragovima slatkovodnih resursa i ubrzano nakupljanje toksičnih metala u lancu ishrane ljudi (Nriagu i Pacyna 1988). U današnje vrijeme sve se više povećava koncentracija teških metala u atmosferi, zemlji i vodi kao direktan rezultat sve veće proizvodnje, primjene i uporabe metala, što povećava rizik od ulaska u hranidbeni lanac, a samim tim povećava i rizik negativnog utjecaja na zdravlje ljudi (Đulančić 2016). Iako se metali najčešće javljaju kao onečišćenja iz antropogenih izvora, treba napomenuti da mogu biti i iz prirodnih izvora. Tako su najznačajniji prirodni izvori teških metala vulkanske erupcije, šumski požari, klizišta, pedogenetski procesi, kiše, oluje, tornada i poplave. Prema istraživanjima, u posljednjih nekoliko desetljeća godišnje se širom svijeta oslobodi oko 22.000 t kadmija, 939.000 t bakra, 783.000 t olova te 1.350.000 t cinka, (Sing i sur. 2003; Isaković i sur. 2021; Karahmet i sur. 2023).



Slika 1: Mjesta uzimanja uzoraka vode za analizu (plave točke)

Prisustvo teških metala u vodi može predstavljati ozbiljan problem zbog njihove toksičnosti, perzistentnosti i sposobnosti bioakumulacije. Oni pokazuju izraženu tendenciju inkorporacije u sediment i njihovom sorpcijom stvaraju se potencijalni ekološki rizici na lokalnom i globalnom nivou (Perez i sur. 2008; Tchounwou i sur. 2012). Stoga je neophodno redovito vršiti monitoring površinskih voda kako bi se osigurala pravilna kontrola i upravljanje vodnim resursima (Karahmet i sur. 2018). Cilj ovog rada bio je utvrditi potencijalno prisustvo i koncentraciju teških metala arsena (As), olova (Pb) i žive (Hg) u rijeci Bosni i ušću rijeke Krivaje u rijeku Bosnu, naselje Kovači.

1. MATERIJAL I METODE RADA

Eksperimentalni dio rada rađen je u periodu od jednog mjeseca na lokalitetima Maglaj i Zavidovići (slika 1). Nakon što je izvršeno uzorkovanje u prijenosnom rashladnom uređaju uzorci su transportirani do laboratorija. Analiza i priprema uzoraka rađena je u J. U. Zavod za javno zdravstvo kantona Sarajevo na odjeljenju Laboratorij za sanitarnu hemiju. Eksperimentalni dio rada bio je podijeljen u tri etape. Prva etapa je podrazumijevala uzorkovanje, druga etapa pripremu uzoraka za analizu dok je treća etapa bila sama analiza uzoraka te očitavanje dobivenih vrijednosti. Određivanje elemenata u tragu atomskom spektroskopijom s grafitnim pečima vršeno je prema standardima (EN ISO 15586:2003, IDT; ISO 15586:2003, IDT).

Za predtretman uzoraka i otopine za pripremu, korištene su jedino kemikalije i otopine najviše moguće čistoće.

- Voda prve kategorije kao što je navedeno u standardu ISO 3696:1987 (0,01 mS/m) ili bolje. Korištena je MQ Ultračista voda proizvođač opreme Sartorius Arium 611.

- Dušična kiselina, koncentrirana (HNO_3) = 14,4 mol/l ili 1,4 kg/l (65 %).



Slika 2: Atomski adsorpcijski spektrometar AA Duo

- Standardno rješenje = 100 µg/l za olovo i arsen.
- Blank otopina za razrjeđivanje.
- Paladijev nitrat/ magnezijev nitrat, modifikator.
- Inertni plin (argon)

Nivo teških metala određivao se na atomskom apsorpcijskom spektrofotometru: AA Duo proizvođača Agilent koji je opremljen grafitnom peći, grafitnim kivetama i sustavom korekcije pozadine te potrebnim šupljim katodnim lampama.

2. UVJETI POD KOJIM SU ODREĐIVANI TEŠKI METALI

Živa (Hg)

Određivanje žive vršeno je metodom atomske apsorpcijske spektrometrije (AAS) s i bez obogaćivanja prema BAS EN ISO 12846 – modificirana metoda.

Korištena je hidridna tehnika bez obogaćivanja koja može vršiti određivanja od 0,05 µg/l. Preporuka proizvođača opreme bila je da limit bude 0,20 µg/l. S obzirom na to da se radilo o praktički novoj aparaturi nije određen limit kvantifikacije već se poštovao zahtjev proizvođača opreme. Reducent, kositar (II) klorid (SnCl₂) pripremljen je kao 25 % w/v u 20 %v/v HCl. Uzorci se stabiliziraju dodatkom 5 % v/v nitratne kiseline i 5 % v/v kloridne kiseline prema preporuci proizvođača opreme.

253,7 nm; slit 0,5 nm, cold vapor, struja lampe 4,0 mA

Standard 1 mg/ml- iz kojeg je napravljen standard od 500 µg/l, a iz njega razblaženjem 10, 20, 40 µg/l.

Određivanje olova (Pb) i arsena (As) grafitnom tehnikom

Priprema uzorka vršila se zakiseljavanjem uzorka i filtriranjem ili se radila prethodna digestija u kiselini. Mali poduzorak otopine uzorka ubrizgavao se u grafitnu peć atomskog apsorpcijskog spektrometra (AAS). Postupnim povećavanjem temperature tretmana, uzorak se osušio, pirolizirao i atomizirao. Smanjenje intenziteta svjetlosti izmjereno je detektorom specifične valne duljine. Koncentracija elementa u uzorku određena je uspoređivanjem apsorpcije uzorka s apsorpcijom kalibracijske krivulje. Ako i kad su se pojavile smetnje one su se smanjile dodavanjem matriks modifikatora u uzorak prije analize ili primjenom standardnog dodatka.

Dobiveni rezultati su masa analita mjereni u µg ili mg po litri vode.

Temperaturno programiranje grafitne peći uključivalo je 4 koraka:

- Sušenje
- Piroliza
- Atomizacija
- Čišćenje

Korištena je temperatura i vrijeme preporučeno od proizvođača. Protok argona prekinut je tijekom koraka atomizacije. Korištena je pozadinska korekcija.

Instrumenti su podešeni na sljedeći način za mjerenje pojedinih teških metala:

Olovo (Pb):

Zahtjevani limit detekcije 2,0000 µg/l.
Instrument detekcijski limit 0,0600 µg/l.
Valna duljina 283,3 nm, slit 0,5 Zeeman background correction, struja lampe 10,0 mA.

Kalibracijska krivulja:

Standard 1 15,000 µg/l Abs 0,1440 RSD 0,0 (RSD - relativna standardna devijacija)

Standard 2 30,000 µg/l Abs 0,2451 RSD 1,4

Standard 3 45,000 µg/l Abs 0,3338 RSD 2,8

Arsen (As):

Zahtjevani limit detekcije 0,5000 µg/l.

Instrument detekcijski limit 0,2200600 µg/l.

Valna duljina 193,7 nm, slit 0,5 Zeeman background correction, struja lampe 10,0 mA V iniciranja 12µl.

Kalibracijska krivulja:

Standard 1 25,000 µg/l Abs 0,0470 RSD 1,4

Standard 2 50,000 µg/l Abs 0,0869 RSD 2,9

Standard 3 75,000 µg/l Abs 0,1271 RSD 0,1

3. REZULTATI

Dobiveni rezultati uspoređeni su s graničnim vrijednostima preuzetim iz Zakona o vodama (Službene novine FBiH, br. 70/06), Uredbe o opasnim i štetnim materijama u vodama (Sl. novine FBiH, br. 43/07 i Pravilnika o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće (Službeni glasnik BiH, br. 40/10, 62/17). Ekološko stanje vodnoga tijela površinskih voda klasificira se kao visoko, dobro, umjereno, slabo i loše. Klasifikacija se vrši prema referentnim uvjetima koji se utvrđuju podzakonskim propisom iz članka 43. stavak 1. točka 2. Zakona o vodama FBiH.

Tablica 1: Rezultati ispitivanja površinske vode (rijeka Bosna) Maglaj

UZORAK	Arsen (As)	Olovo (Pb)	Živa (Hg)	Jedinica mjere
1.	3,16	4,16	0,50	µg/l
2.	3,08	4,12	0,55	µg/l
3.	3,10	4,20	0,50	µg/l
4.	3,12	3,90	0,60	µg/l
5.	3,00	4,08	0,60	µg/l

Nakon analize uzoraka površinske vode rijeke Bosne kod Maglaja utvrđene su sljedeće vrijednosti pojedinih polutanata: koncentracija arsena (As) kretala se u okviru od 3,00 do 3,16 µg/l, koncentracija olova (Pb) kretala se od 3,90 do 4,20 µg/l i žive (Hg) od 0,50 do 0,60 µg/l. Pronađene vrijednosti pokazuju da koncentracija ispitivanih teških metala nije prešla dozvoljenu granicu koja bi mogla štetiti fauni rijeke Bosne i eventualno ljudskom zdravlju.

Iz dobivenih rezultata fizičko-kemijskog ispitivanja vode, odnosno promatrajući režim prisustva olova (Pb), žive (Hg) i arsena (As) rijeka Bosna kod Maglaja klasificirana je u "dobru" i "umjerenu" kategoriju.

Nakon izvršene analize uzoraka površinske vode rijeke Krivaje u mjestu Kovači, u općini Zavidovići, utvrđene su sljedeće vrijednosti pojedinih polutanata: koncentracija arsena (As) u svih pet uzoraka je < 0,5 µg/l, koncentracija

Tablica 2: Rezultati ispitivanja površinske vode (rijeka Krivaja) Kovači-Zavidovići

UZORAK	Arsen (As)	Olovo (Pb)	Živa (Hg)	Jedinica mjere
1.	<0,5	6,74	0,10	µg/l
2.	<0,5	5,22	0,15	µg/l
3.	<0,5	6,20	0,10	µg/l
4.	<0,5	5,90	0,10	µg/l
5.	<0,5	5,08	0,10	µg/l

olova (Pb) kretala se u granicama od 5,08 do 6,74 µg/l i koncentracija žive (Hg) u četiri uzorka iznosi 0,10 µg/l, a u jednom uzorku 0,15 µg/l. Pronađene vrijednosti pokazuju da koncentracija ispitivanih teških metala nije prešla dozvoljenu granicu koja bi mogla štetiti fauni rijeke Krivaje i eventualno ljudskom zdravlju.

Iz dobivenih rezultata fizičko-kemijskog ispitivanja vode, odnosno promatrajući režim prisustva olova (Pb), žive (Hg) i arsena (As) rijeka Krivaja u mjestu Kovači - Zavidovići klasificirana je u "umjerenu" kategoriju.

Nakon analize uzoraka vode gradskog vodovoda

Tablica 3: Rezultati ispitivanja vode iz gradskog vodovoda Zavidovići

UZORAK	Arsen (As)	Olovo (Pb)	Živa (Hg)	Jedinica mjere
1.	1,05	<2,00	0,50	µg/l
2.	<0,5	<2,00	0,50	µg/l
3.	<0,5	<2,00	0,50	µg/l

Zavidovići utvrđene su sljedeće koncentracije: arsen (As) dva uzorka s koncentracijom <0,5 µg/l i jedan uzorak 1,05 µg/l, vrijednosti za olovo (Pb) za sva tri uzorka su < 2,00 µg/l i živa (Hg) sva tri uzorka vrijednosti 0,50 µg/l. Utvrđene vrijednosti pokazuju da koncentracije ispitivanih teških metala ne prelaze dozvoljenu granicu i nisu prijatna po ljudsko zdravlje.

Na osnovu dobivenih rezultata analize vode na prisustvo olova (Pb), žive (Hg) i arsena (As) i njihove usporedbe s referentnim vrijednostima preuzetim iz Pravilnika o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće (Službeni glasnik BiH, br. 40/10, 62/17) možemo zaključiti da voda zadovoljava kriterije i da je zdravstveno ispravna.

4. DISKUSIJA

Kada su u pitanju rijeke možemo vidjeti da je najniža koncentracija arsena zabilježena u uzorku iz Krivaje i iznosila je < 0,5 µg/l, a najviša u Bosni i iznosila je 3,16 µg/l. Najniža koncentracija olova zabilježena je u Bosni 3,9 µg/l, a najviša u Krivaji 6,74 µg/l. Najniža koncentracija žive određena je u uzorku Krivaje 0,10 µg/l, a najviša u rijeci Bosni 0,6 µg/l. Na osnovu rezultata fizičko-kemijskih analiza parametara kvalitete vodotoka rijeka Bosne i Krivaje određivana je klasa vodotoka, a slični rezultati već su pronađeni (Bresler i sur. 2004), dobivene vrijednosti klasificiraju vodu rijeke Krivaje u "dobro" kategoriju, a vodu rijeke Bosne od "dobro" do "umjereno" kategorije, što se slaže s otprije provedenim istraživanjima (Veljkovića i sur. 2010). Kvaliteta vode rijeke Krivaje pokazuje da je pogodna za uzgoj drugih

vrsta ribe (cipirinide), u prehrambenoj industriji te se može koristiti kao voda za piće, ali uz neophodne prethodne metode obrade. Pogodna je za rekreaciju građana i sportove na vodi po čemu je i poznata ova rijeka budući da većim dijelom svog toka prolazi kroz prirodne ljepote i ruralna područja.

Teški metali predstavljaju opasnost za sediment, akvatične ekosustave, ali i za čovjeka zbog izražene tendencije inkorporacije u sediment, perzistentnosti, toksičnosti i sposobnosti bioakumulacije (Dalmacija i sur. 2011). Kako je voda rijeke Bosne klasificirana kao voda između "dobro" i "umjereno" kategorije i njena snaga može biti u mogućnosti navodnjavanja i korištenja u industriji u sustavima za grijanje odnosno hlađenje. U prehrambenoj industriji ne može se koristiti, a uz posebne tretmane obrade može naći i neke druge primjene. Znatno veće koncentracije arsena i žive u vodi rijeke Bosne, u odnosu na Krivaju, bile su za očekivati s obzirom na to da rijeka Bosna protiče kroz veće gradove i centre industrije, a stanovnici se bave poljoprivrednom proizvodnjom uz obalna područja.

5. ZAKLJUČAK

Nakon ispitivanja i dobivanja rezultata analiza uzoraka vode u rijekama Krivaja i Bosna možemo ustvrditi da su nivoi teških metala u uzorcima bili ispod dozvoljenih limita i da time ove rijeke nisu ugrožene u smislu oštećenja flore i faune u samim vodotocima. Sukladno Zakonu o vodama Federacije BiH možemo reći da se vode obje rijeke (Krivaja i Bosna) mogu koristiti za sportske aktivnosti i izlov ribe bez bojazni po zdravlje stanovništva i konzumenata ribe. Koncentracije olova svih uzoraka rijeke Krivaje veće su nego u rijeci Bosni i trebalo bi ispitati sadržaje olova na više lokaliteta i u različitim periodima kako bi pratili trend pojave olova u životnoj sredini i izvore onečišćenja te na taj način očuvali jedinstveno prirodno blago. ■

LITERATURA

1. Bressler, J. P.; OLIVI, L.; CHEONGJ; H.; KIM, Y.; BANNONA, D. 2004. Divalent metal transporter 1 in lead and cadmium transport. *Annals of the New York Academy of Sciences*. 1012. 142 str.
2. Dalmacija, M.; Dalmacija, B.; Krčmar, D.; Pricam, M.; Ljiljana M. Rajić; Rončević, S.; Gavrilović, O. 2011. *Solidifikacija/stabilizacija sedimenta vodotoka Krivaja zagađenog metalima*. Naučni rad. Prirodno–matematički fakultet, Departman za hemiju, biohemiju i zaštitu životne sredine i Fakultet tehničkih nauka Univerziteta u Novom Sadu. JVP Vode Vojvodine. Novi Sad. Srbija. 469 str.
3. Đulančić, N. 2016. *Toksikologija hrane*. Interna skripta. Poljoprivredno-prehrambeni fakultet. Sarajevo. 15 str.
4. Isaković, Senita; Karahmet, Enver; Toroman, Almir; Smajić, Lerina. 2021. Level of pollution of the Miljacka river. 10th Central European Congress on Food (CEFood). *Proceedings of CE-Food 2020*. Sarajevo. 280-287. Springer, DOI: 10.1007/978-3-031-04797-8.
5. Karahmet, Enver; Isaković, Senita; Toroman, Almir; Hamidović, Saud; Bečić, Fahir; Bečić, Ervina. 2023. Examination of physico-chemical and microbiological characteristics of spring water Zlatarica Bugojno. *Journal of Hygienic Engineering and Design*. No. 43: 47-52.
6. Karahmet, Enver; Salkić, Senita; Omanović-Miklićanin, Enisa; Ganić, Amir; Begić, Munevera; Toroman, Almir; Čatić, Erna. 2018. Microbiological analysis and determination of quality of water. *Proceedings of the 11th International Scientific and Professional Conference "With Food To Health"*. Split. Croatia. 10: 18-19.
7. Mihaljev, Ž.; Živkov-Baloš, M.; Pavkov, S.; Stojanović, D. 2008. Sadržaj toksičnih elemenata u uzorcima lucerke sa područja Vojvodine. *Savremena poljoprivreda*. 57: 35–38.
8. Milanov, Đ. R. 2015. *Ispitivanje sadržaja teških metala i metaloida u tkivima rečne ribe kao pokazatelja bezbednosti mesa ribe i zagađenja životne sredine*. Doktorska disertacija. Fakultet veterinarske medicine. Beograd. 5. str.
9. Nriagu, J. O.; Pacyna, J. M. 1988. Quantitative assessment of worldwide contamination of air, water and soils by trace metals. *Nature*. 333: 138-139.
10. Oreščanin, V. 2013. Arsen u vodama - porijeklo, toksični učinak i metoda uklanjanja. *Hrvatske vode*. 21/83: 7-16.
11. Pérez-Marín, A. B.; Ballester, A.; González, F.; Blázquez, M. L.; Muñoz, J. A.; Sáez, J.; Zapata, V. M. 2008. *Bioresource Technology*. 99: 8101 str.
12. Pravilnik o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće (Službeni glasnik BiH, br. 40/10, 62/17).
13. Sing, O. V.; Labana, S.; Pandey, G.; Budhiraja, R.; Jain, R. K. 2003. Phytoremediation: an overview of metallion decontamination from soil. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 61: 405-412.
14. Soflić, T. 2014. *Ekotoksikologija*. Metalurški fakultet Sveučilišta u Zagrebu. Zagreb. 15. str.
15. Tchounwou, P. B.; Yedjou, C. G.; Patlolla, A. K.; Sutton, D. J. 2012. *Heavy Metals Toxicity and the Environment*. National Institutes of Health. 133-164.
16. Uredba o opasnim i štetnim materijama u vodama Sl. novine FBiH br. 43/07.
17. Velagić-Habul, E.; Omanović-Miklićanin, E. 2011. *Hemijska kontaminacija hrane*. Poljoprivredno-prehrambeni fakultet. Sarajevo. 64 str.
18. Veljković, N.; Vidojević, D.; Jovičić, M. 2010. *Utjecaji zagađujućih materija iz urbanih otpadnih voda na životnu sredinu i zdravlje*. Ministarstvo životne sredine i prostornog planiranja. Agencija za zaštitu životne sredine. 4. str.
19. WHO 2017. *Guidelines for Drinking-Water Quality*. Fourth Edition Incorporating the First Addendum. World Health Organization, Geneva.
20. Zakon o vodama (Službene novine FBiH, br. 70/06).
21. Žiško, D. 2016. *Prisustvo teških metala u površinskim i industrijskim otpadnim vodama na području općine Lukavac*. Centar za ekologiju i energiju. Tuzla.

MONITORING THE BOSNA AND KRIVAJA RIVERS POLLUTION BY HEAVY METALS

Abstract: Water pollution by heavy metals due to industrial activities and technological development poses a serious health and environmental problem. Heavy metals are toxic, non-biodegradable, accumulate in living ecosystems and have a long half-life in all environments. Unlike the Krivaja River that flows through rural areas of great natural beauty for the majority of its flow, the entire flow of the Bosna River receives wastewater from households of numerous cities, industrial wastewater and urban discharges.

The purpose of this paper is to determine a potential presence of heavy metals - mercury (Hg), arsenic (As) and lead (Pb) using atomic absorption spectrophotometry. The results of conducted analyses indicate a presence of heavy metals in water. Arsenic concentrations ranged from 3.00 to 3.16 $\mu\text{g/l}$, lead concentration from 3.90 to 4.20 $\mu\text{g/l}$, and mercury concentrations from 0.50 to 0.60 $\mu\text{g/l}$, all of which was within the limits and could not disturb the ecological balance. The Bosna River at was classified as "good" or "moderate", while the Krivaja River at Kovači in the Municipality of Zavidovići was classified as "good" pursuant to Article 32, para 3 of the Water Act of Bosnia-Herzegovina. Therefore, the results confirmed the health safety of drinking water. Monitoring the input of pollutants into aquatic ecosystems over a longer period of time and in different periods is necessary for the determination of pollution sources and prevention of potential consequences for the ecosystem and human health.

Keywords: environment, water pollution, heavy metals, arsenic, lead, mercury, atomic absorption spectrophotometry

ÜBERWACHUNG DER VERSCHMUTZUNG VON FLÜSSEN KRIVAJA UND BOSNA DURCH SCHWERMETALLE

Zusammenfassung: Die Wasserverschmutzung mit Schwermetallen durch industrielle Aktivitäten und technologische Entwicklung stellt ein ernstes Gesundheits- und Umweltproblem dar, weil Schwermetalle giftig und nicht biologisch abbaubar sind, sich in lebenden Systemen anreichern und in allen Umgebungen lange Halbwertszeiten haben. Im Gegensatz zum Fluss Krivaja, der zum größten Teil inmitten natürlicher Schönheit und durch ländliche Gebiete fließt, wird Abwasser aus Haushalten zahlreicher Städte, kommunales Abwasser und Industrieabwässer in den Fluss Bosna in seinem gesamten Verlauf eingeleitet. Außerdem beeinträchtigt das Sickerwasser aus Deponien die Qualität von Wasserläufen und der Umwelt erheblich.

Das Ziel dieser Arbeit war es, das mögliche Vorhandensein der Schermetale Arsen (As), Blei (Pb) und Quecksilber (Hg) in Flüssen Bosna und Krivaja mittels Atomabsorptionsspektrophotometrie zu bestimmen. Die Ergebnisse der Analysen weisen auf das Vorhandensein von Schwermetallen im Wasser hin: die Konzentration von Arsen (As) lag zwischen 3,00 und 3,16 $\mu\text{g/l}$, die Konzentration von Blei (Pb) zwischen 3,90 und 4,20 $\mu\text{g/l}$ und die Konzentration von Quecksilber (Hg) zwischen 0,50 und 0,60 $\mu\text{g/l}$, innerhalb der Grenzen also, die keine Störung des ökologischen Gleichgewichts verursachen können. Gemäß Artikel 32 Absatz 3 des Wassergesetzes der Föderation Bosnien und Herzegovina wird die Gewässerqualität des Flusses Bosna bei Maglaj als "gut" bis "mäßig" und die Gewässerqualität des Flusses Krivaja in Kovači, Gemeinde Zavidovići, als "gut" eingestuft. Die Ergebnisse bestätigten auch die Trinkwassersicherheit. Es ist notwendig, die Einträge von Schadstoffen in aquatische Ökosysteme über einen langen Zeitraum und in unterschiedlichen Zeiträumen zu überwachen, um die Quelle der Verschmutzung zu ermitteln und möglichen Folgen für das Ökosystem und die menschliche Gesundheit vorzubeugen.

Schlüsselwörter: Umwelt, Wasserverschmutzung, Schwermetalle, Arsen, Blei, Quecksilber, Atomabsorptionsspektrophotometrie