

SRPSKO DRUŠTVO ZA ZAŠTITU VODA

49. konferencija o aktuelnim temama korišćenja i zaštite voda

VODA 2020

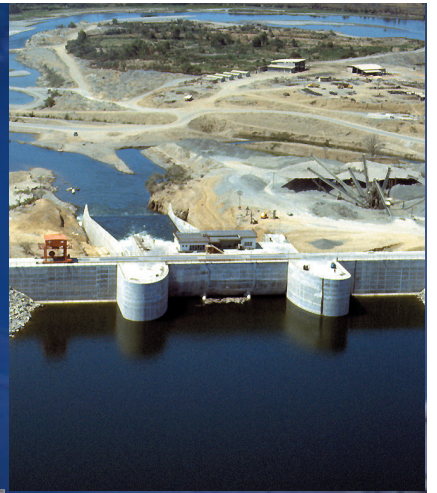
The 49th Annual Conference of the Serbian Water Pollution Control Society

WATER 2020

Conference Proceedings



Trebinje, 19. – 20. novembar 2020.

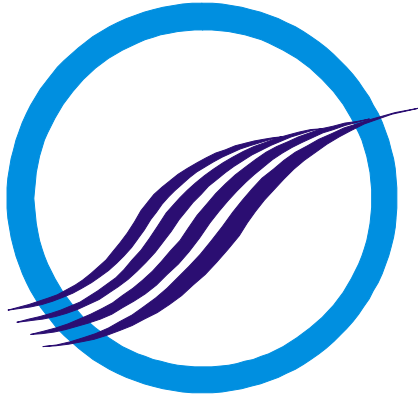


ENERGOPROJEKT
NISKOGRADNJA a.d.



Bulevar Mihaila Pupina 12,
11070 Beograd, Srbija
Tel: +381 11 214 64 24
Faks: +381 11 311 24 93

www.energoprojekt-ng.rs
www.energoprojekt.rs



www.sdzv.org.rs

SRPSKO DRUŠTVO ZA ZAŠTITU VODA

SERBIAN WATER POLLUTION CONTROL SOCIETY

II

IZDAVAČ (PUBLISHER):

Srpsko društvo za zaštitu voda, Kneza Miloša 9/1, Beograd, Srbija,
Tel/Faks: (011) 32 31 630

PROGRAMSKI ODBOR (PROGRAMME COMMITTEE):

Prof. dr Branislav ĐORĐEVIĆ, dipl.inž.građ., Beograd
Prof. dr Božo DALMACIJA, dipl.hem., Novi Sad
Prof. dr Milan DIMKIĆ, dipl.inž.građ., Beograd
Dr. Bela CSÁNYI, dipl.biol., Budimšešta-Mađarska
Prof. dr Peter KALINKOV, dipl.inž.građ., Sofija-Bugarska
Prof. dr Valentina SLAVEVSKA STAMENKOVIĆ, dipl.biol., Skoplje-R.Makedonija
Prof. Dr. Goran SEKULIĆ, dipl.inž.građ, Podgorica-Crna Gora
Prof. dr Violeta CIBULIĆ, dipl.hem., Beograd
Prof. dr Slavka STANKOVIĆ, dipl.inž.tehnol., Beograd
Prof. dr Zorana NAUNOVIĆ, dipl.inž.tehnol., Beograd
Dr Aleksandar JOKSIMOVIĆ, dipl.biol., Kotor-Crna Gora
Dr Momir PAUNOVIĆ, dipl.biol., Beograd
Dr Božica VASILJEVIĆ, dipl.biol., Beograd

UREDNIK (EDITOR): Dr Aleksandar ĐUKIĆ, dipl.inž.građ.

Svi radovi u ovom zborniku radova su recenzirani. Stavovi izneti u ovoj publikaciji ne odražavaju nužno i stavove izdavača, urednika ili programskog odbora.

TIRAŽ (CIRCULATION): 200 primeraka

ŠTAMPA: "Akademska izdanja", Zemun, 2020

CIP - Каталогизација у публикацији
Народна библиотека Србије, Београд
502.51(082)
556.11(082)
628.3(082)
628.1(082)

ГОДИШЊА конференција о актуелним проблемима коришћења и заштите вода (49 ; 2020 ; Требиње)
Voda 2020 : zbornik radova 49. godišnje konferencije o aktuelnim problemima korišćenja i zaštite voda =
Water 2020 : conference proceedings 49th Annual Conference of the Serbian Water Pollution Control
Society, Trebinje, 19-20. novembar 2020. / [organizatori] Srpsko društvo za zaštitu voda [u saradnji sa
"Hidroelektrane na Trebišnjici" a.d., Trebinje i Mješoviti Holding "Elektroprivreda Republike Srpske",
Matično preduzeće a.d. Trebinje] ; [urednik, editor Aleksandar Đukić]. - Beograd : Srpsko društvo za zaštitu
voda, 2020 (Zemun : Akademska izdanja). - XII, [512] str. : ilustr. ; 24 cm

Radovi na srp. i engl. jeziku. - Tekst ćir. i lat. - Tiraž 200. - Str. XII: Predgovor / Aleksandar Đukić. -
Bibliografija uz svaki rad. - Abstracts.

ISBN 978-86-916753-7-0

a) Воде -- Зборници б) Отпадне воде -- Зборници в) Снабдевање водом -- Зборници
COBISS.SR-ID 25307657

KONCENTRACIJE TOKSIČNIH ELEMENATA U VODI I SEDIMENTU IZ ŠEST VEŠTAČKIH JEZERA U SRBIJI

Dušan Nikolić*, Stefan Skorić*, Vesna Đikanović**,
Branislav Mičković*, Aleksandar Hegediš*/***,
Mirjana Lenhardt*/**, Jasmina Krpo-Četković***

* *Univerzitet u Beogradu – Institut za multidisciplinarna istraživanja, Kneza
Višeslava 1, 11030 Beograd, Srbija, email: dušan@imsi.rs*

** *Univerzitet u Beogradu – Institut za biološka istraživanja "Siniša Stanković",
Bulevar despota Stefana 142, 11060 Beograd, Srbija*

*** *Univerzitet u Beogradu – Biološki fakultet, Studentski trg 16, 11000 Beograd,*

REZIME

Uzorci vode i sedimenta uzeti su tokom leta 2017. godine iz akumulacija Garaši, Vlasina, Perućac, Zaovine, Međuvršje i Savsko jezero. Analiza As, B, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb i Zn izvršena je pomoću optičke emisione spektroskopije sa induktivno spregnutom plazmom. Zabeležene su veće koncentracije elemenata u sedimentu u odnosu na vodu. Koncentracije elemenata nisu prelazile MDK vrednosti propisane za vodu. Koncentracija Cr za Zaovine, Cu za Međuvršje i Ni za Perućac, Zaovine i Međuvršje prelazile su MDK vrednosti propisane za sediment. Sediment svih jezera bio je kontaminiran; najmanja kontaminacija zabeležena je za akumulaciju za vodosnabdevanje (Garaši).

KLJUČNE REČI: teški metali, maksimalne dozvoljene koncentracije, indeks opterećenja metalima, ICP-OES, akumulacije.

CONCENTRATIONS OF TOXIC ELEMENTS IN WATER AND SEDIMENT FROM SIX RESERVOIRS IN SERBIA

ABSTRACT

Water and sediment samples were collected during summer of 2017 from reservoirs: Garaši, Vlasina, Perućac, Zaovine, Međuvršje, Sava Lake. Analysis of As, B, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, and Zn were performed using inductively-coupled plasma optical emission spectrometry. Elemental concentrations were higher in sediment compared to water samples. Elemental concentrations did not exceed the MACs prescribed for water. Concentration of Cr for Zaovine, Cu for Međuvršje, and Ni for Perućac, Zaovine and Međuvršje exceeded the MACs prescribed for sediment. Sediments of all reservoirs were contaminated; the least contamination was recorded for a water supply reservoir (Garaši).

KEY WORDS: heavy metals, maximum allowed concentrations, pollution load index, ICP-OES, reservoirs

UVOD

Koncentracije mnogih elemenata povećane su poslednjih decenija kao posledica intenziviranih procesa poljoprivredne proizvodnje, industrijalizacije, urbanizacije, sagorevanja fosilnih goriva, rudarstva itd. (Dević i sar., 2014; Squadrone i sar., 2013; Uysal i sar., 2009; Weber i sar., 2012; Zuliani i sar., 2019). Navedene aktivnosti predstavljaju glavne antropogene izvore As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb i Zn (Zuliani i sar., 2019).

Srbija spada u grupu zemalja siromašnih vodnim resursima. Potrebe stanovništva za vodosnabdevanjem zadovoljavaju se uglavnom iz površinskih izvora vode. Potreba za vodosnabdevanjem, kao i potreba za proizvodnjom električne energije, uticale su na izgradnju veštačkih jezera. Međutim, zbog iracionalnog gazdovanja, neodgovarajućeg nadzora i odsustva ekološke zaštite nametnuo se problem njihovog očuvanja u vremenu i prostoru (Dević i sar., 2014). Određivanje koncentracija toksičnih elemenata prisutnih u vodi i sedimentima ima važnu ulogu u razmatranju biodostupnosti tih elemenata (Zuliani i sar., 2019). Primećeno je da intenzitet razmene vode utiče na akumulaciju metala, koja je veća u lentičkim u odnosu na lotičke ekosisteme (Has-Schön i sar., 2015).

Cilj ovog istraživanja bila je analiza koncentracija As, B, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb i Zn u vodi i sedimentu šest veštačkih jezera u Srbiji i poređenje dobijenih vrednosti sa maksimalno dozvoljenim koncentracijama (MDK) propisanim za te elemente.

MATERIJAL I METODE

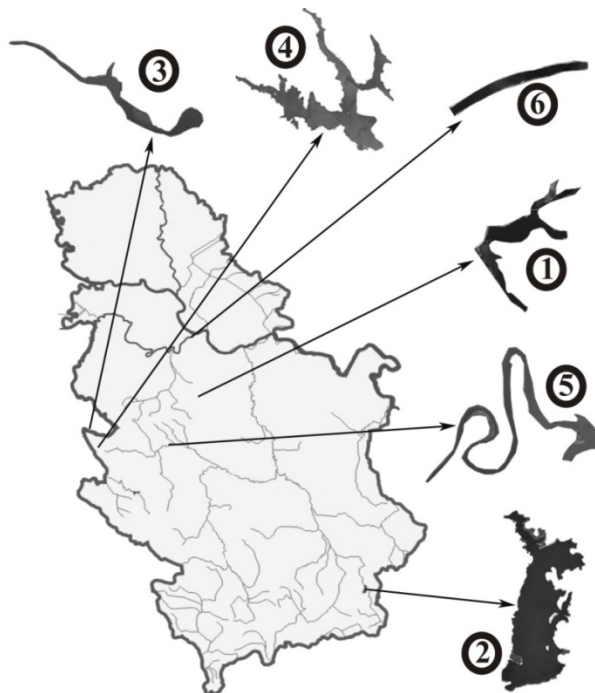
Opis istraživanih lokaliteta

Terenska istraživanja vršena su tokom leta 2017. godine na šest veštačkih jezera u Srbiji (Slika 1):

1. Garaši – nalazi se u centralnoj Srbiji (44°17'18.0" N, 20°28'45.0" E, 400 m.n.v.). Akumulacija je nastala 1976. godine podizanjem betonske brane na mestu gde se sastaju potoci Mala Bukulja i Velika Bukulja. Pripada slivu Crnog mora. Dužina brane iznosi 380 m. Maksimalna dubina akumulacije je preko 20 m, a pokriva površinu od 0,65 km². Služi kao vodozahvat za vodosnabdevanje grada Arandjelovca. Izložena je niskom antropogenom pritisku, uglavnom putem poljoprivrednih otpadnih voda.
2. Vlasina – nalazi se u jugoistočnoj Srbiji, blizu granice sa Bugarskom (42°42'00" N, 22°20'00" E, 1213 m.n.v.). Akumulacija je nastala u periodu 1949–1954. godina izgradnjom zemljano-betonske brane na mestu na kome je reka Vlasina isticala iz tresave nazvane Vlasinsko blato. Brana je visoka 34 m, dugačka 239 m, u osnovi široka 139 m, a u kruni 5,5 m. Vlasinsko jezero se hrani vodom padavina, svojih pritoka i izvora, kao i vodom iz akumulacije Lisina. Pripada crnomorskom slivu, u koji je izgradnjom sistema Lisina prebačen deo vode iz egejskog sliva. Akumulacija Vlasina je najviše i najveće veštačko jezero Srbiji – dugačka je 9 km, široka 3,5 km, maksimalne dubine 35 m, površine 16,5 km² i zapremine 165.000.000 m³. Stvaranje akumulacije ima za cilj proizvodnju električne energije u sistemu hidroelektrana (HE) "Vrla I-IV", gde se tri hidroelektrane nalaze u dolini reke Vrle, a jedna u dolini Južne Morave. Nivo antropogenog pritiska je mali i ogleda se u ispuštanju otpadnih voda iz okolnih naselja i

kampova u ovo jezero. Takođe, treba pomenuti da je do polovine XX veka ovaj kraj bio centar za proizvodnju uglja i preradu rude gvožđa.

3. Perućac – nalazi se u zapadnoj Srbiji (43°58'02.0" N, 19°24'11.0" E, 290 m.n.v.). Akumulacija je nastala 1967. godine izgradnom gravitacione, betonske brane na reci Drina. Pripada slivu Crnog mora. Brana je dugačka 461 m i visoka 90 m. Akumulacija je dugačka 54 km, široka 1,1 km, maksimalne dubine 80 m, površine 12,4 km² i zapremine 340.000.000 m³. Sa akumulacijom Zaovine čini reverzibilni sistem izgrađen za potrebe HE "Bajina Bašta". Izložena je niskom antropogenom uticaju koji se manifestuje povremenom pojavom plutajućeg nanosa.
4. Zaovine – nalazi se u zapadnoj Srbiji, na planini Tara (43°52'58.0" N, 19°23'59.0" E, 881,5 m.n.v.). Akumulacija je nastala u periodu 1975–1983. godina izgradnjom nasute, kamene brane na reci Beli Rzav. Brana je visoka 130 m i dugačka 820 m. Zaovinsko jezero se napaja vodom padavina, iz svojih pritoka, kao i vodom iz akumulacije Perućac. Pripada slivu Crnog mora. Akumulacija je dugačka 4,1 km, široka 1,4 km, maksimalne dubine 110 m, površine 4,3 km² i zapremine 150.000.000 m³. Predstavlja reverzibilnu akumulaciju koja je napravljena za proizvodnju električne energije u HE "Bajina Bašta". Osim velikih varijacija u nivou vode, ova akumulacija takođe je izložena niskom antropogenom uticaju.
5. Međuvršje – nalazi se na izlazu iz Ovčarsko-Kablarske klisure i predstavlja najveću akumulaciju na reci Zapadna Morava (43°54'43.07" N, 20°14'12.71" E, 273 m.n.v.). Nastala je 1953. godine izgradnjom gravitacione, betonske brane dužine 190 m i visine 32 m. Pripada slivu Crnog mora. Akumulacija je dugačka 11 km, široka 272 m, maksimalne dubine 12 m (po osnivanju 23 m), površine 1,5 km² i zapremine 4.500.000 m³ (po osnivanju 18.500.000 m³). Napravljena je za potrebe HE "Međuvršje" i predstavlja zatvoren sistem omeđen sa dve brane. Akumulacija je pod velikim antropogenim pritiskom i eutrofikacijom koje izazivaju brojna industrijska postrojenja i naselja u slivu Zapadne Morave, a koja su bez postrojenja za prečišćavanje opadnih voda.
6. Savsko jezero – nalazi se na 4 km od centra Beograda (44°47'02.0" N, 20°23'24.0" E, 73 m.n.v.). Nastalo je u periodu 1967–1978. godina pregrađivanjem rukavca reke Save. Pripada slivu Crnog mora. Ova mikroakumulacija dugačka je 4.4 km, široka 0.5 km, maksimalne dubine 10 m, površine 0,9 km² i zapremine 4.000.000 m³. Rekreativnog je karaktera. Pod uticajem je intenzivne eutrofikacije i trpi jak antropogeni pritisak, zato što reka Sava (koja snabdeva vodom ovu akumulaciju) služi kao slivnik za otpadne vode iz naselja, industrije i poljoprivrede.



Slika 1. Mapa ispitivanih lokaliteta: 1 – Garaši; 2 – Vlasina; 3 – Perućac; 4 – Zaovine; 5 – Međuvršje; 6 – Savsko jezero.

Figure 1. Map of the sampling sites: 1 – Garaši; 2 – Vlasina; 3 – Perućac; 4 – Zaovine; 5 – Međuvršje; 6 – Sava Lake.

Uzorkovanje i priprema uzoraka

Uzorci vode prikupljeni su u sterilnim polietilenskim bocama zapremine 50 ml na dubini od 50 cm ispod vodene površine. Svi uzorci su filtrirani dva puta kroz 0,40 μm membrane, čuvani u mraku na 4 °C i fiksirani sa 0,1 ml 65% HNO_3 (Merck, Germany), do početka analiza.

Iz svake akumulacije uzeta su tri uzorka sedimenta upotrebom Ekmanovog bagera u transektnoj liniji upravnoj na obalu – jedan na obali akumulacije, drugi u blizini postavljenih mreža za uzorkovanje ribe i treći u dubljim delovima akumulacija (u sredini ili blizu sredine akumulacija). Sva tri uzorka sedimenta iz svake akumulacije pomešani su kako bi se dobio reprezentativni uzorak za svaku akumulaciju i izvršila analiza akumulacije elemenata. Takvi objedinjeni uzorci (po jedan iz svake akumulacije) stavljeni su u sterilne, demiralizovane polietilenske boce zapremine 50 ml i čuvani na temperaturi od 4 °C. U laboratoriji, uzorci su sušeni na 150 °C do konstantne težine i homogenizovani (mehanički) kako bi se dobio prah. Oko 0,3 g svakog uzorka suvog sedimenta iz ispitivanih akumulacija procesuiran je u mikrotalasnom digestoru (ETHOS EASY, Milestone, Italy), uz dodavanje 6 ml 65% HNO_3 (Merck, Germany) i 4 ml 30% H_2O_2 (Merck, Germany), korišćenjem temperaturnog programa 180–240 °C tokom 35 minuta.

Analiza elemenata

Analiza elemenata izvršena je pomoću optičke emisijske spektroskopije sa induktivnom spregnutom plazmom (ICP-OES, Spectro Genesis EOP II, Spectro Analytical Instruments DmbH, Germany). Procenjene su koncentracije sledećih 11 elemenata: As, B, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb i Zn. Tokom analize korišćene su sledeće talasne dužine (λ , nm): As 189.042, B 249.773, Cd 214.438, Cr 267.716, Cu 324.754, Fe 238.204, Hg 184.950, Mn 294.921, Ni 231.604, Pb 220.353 i Zn 213.856. Izmerene koncentracije bile su unutar 90–115% sertifikovanih vrednosti za sve ispitivane elemente. Blank uzorci (bez sedimenta/vode) procesuirani su na isti način kao i uzorci sedimenta i vode, a radi utvrđivanja i kontrole prisustva analiziranih elemenata u korišćenim reagensima. Nakon procesuiranja, tečni uzorci sedimenta filtrirani su i razblaženi destilovanom vodom do ukupne zapremine od 25 ml. Koncentracije elemenata izražene su u $\mu\text{g/ml}$ za vodu i u $\mu\text{g/g}$ suve mase (sm) za sediment.

Indeks opterećenja metalima ukazuje na zagađenje sedimenta metalima (Islam i sar., 2015):

$$\text{PLI} = (\text{Cf}_1 \times \text{Cf}_2 \times \dots \times \text{Cf}_n)^{1/n}$$

gde je Cf_n koncentracija metala n izražena u $\mu\text{g/g}$. Prema Rajeshkumar i sar. (2018), sediment se smatra kontaminiranim kada je vrednost PLI veća od 1.

Koncentracije elemenata u vodi upoređene su sa propisanim maksimalno dozvoljenim koncentracijama (MDK) za klasu II kvaliteta površinskih voda prema nacionalnoj regulativi RS (Službeni glasnik RS, 2012). Propisane MDK u vodi iznose: za As 10 $\mu\text{g/l}$, za B 1000 $\mu\text{g/l}$, za Cr 50 $\mu\text{g/l}$, za Cu od 5 do 112 $\mu\text{g/l}$ (zavisno od tvrdoće), za Fe 500 $\mu\text{g/l}$, za Mn 100 $\mu\text{g/l}$ i za Zn od 300 do 2000 $\mu\text{g/l}$ (zavisno od tvrdoće). Koncentracije elemenata u sedimentu upoređene su sa propisanim maksimalno dozvoljenim koncentracijama (MDK) za sediment prema nacionalnoj regulativi RS (Službeni glasnik RS, 50/2012). Propisane MDK u sedimentu iznose: za As 42 $\mu\text{g/g}$, za Cd 6,4 $\mu\text{g/g}$, za Cr 240 $\mu\text{g/g}$, za Cu 110 $\mu\text{g/g}$, za Hg 1,6 $\mu\text{g/g}$, za Pb 310 $\mu\text{g/g}$, za Ni 44 $\mu\text{g/g}$ i za Zn 430 $\mu\text{g/g}$.

REZULTATI

Najveće koncentracije u vodi svih ispitivanih veštačkih jezera zabeležene su za B, dok su najmanje koncentracije zabeležene za As (Tabela 1). Koncentracije As, B, Cr, Cu, Fe, Mn i Zn nisu prelazile MDK vrednosti propisane za vodu.

Najmanje koncentracije u sedimentu zabeležene su za As i Cd, dok Hg nije detektovana ni u jednom uzorku sedimenta svih ispitivanih veštačkih jezera (Tabela 2). Koncentracije Cr za Zaovine, Cu za Međuvršje i Ni za Perućac, Zaovine i Međuvršje prelazile su MDK vrednosti propisane za sediment. Sve PLI vrednosti bile su veće od 1, ukazujući na to da je sediment u svim ispitivanim veštačkim jezerima kontaminiran.

Tabela 1. Koncentracije elemenata u vodi ($\mu\text{g/ml}$) iz šest ispitivanih veštačkih jezera.
Table 1. Elemental concentrations in water ($\mu\text{g/ml}$) from six studied reservoirs.

	Garaši	Vlasina	Peručac	Zaovine	Međuvršje	Savsko jezero
As	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00
B	0,16	0,13	0,14	0,16	0,18	0,17
Cr	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Cu	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02
Fe	0,08	0,09	0,02	0,17	0,12	0,03
Mn	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,03
Zn	0,01	0,02	0,01	0,02	0,03	0,01

Tabela 2. Koncentracije elemenata u sedimentu ($\mu\text{g/g sm}$) i PLI vrednosti za šest ispitivanih veštačkih jezera. ND (nije detektovano) označava da su koncentracije bile ispod praga detekcije.

Table 2. Elemental concentrations in sediment ($\mu\text{g/g ww}$) and PLI values for six studied reservoirs.
ND (not detected) indicates values below the detection threshold.

	Garaši	Vlasina	Peručac	Zaovine	Međuvršje	Savsko jezero
As	7,3	1,5	3,0	1,1	8,3	3,6
Cd	0,8	1,6	1,0	1,3	1,0	0,8
Cr	25,7	48,0	79,3	949,6	93,7	48,8
Cu	9,3	17,6	31,8	11,5	110,3	22,3
Hg	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Ni	23,0	23,4	96,9	1916,0	112,0	42,9
Pb	46,1	69,5	64,5	32,2	55,6	51,0
Zn	43,9	89,8	199,0	65,2	114,8	62,7
PLI	13,06	16,23	26,59	34,88	34,76	17,11

DISKUSIJA

Voda je jedan od glavnih izvora kontaminanata za organizme akvatičnih ekosistemima (Monferran i sar., 2016; Salem i sar., 2014; Squadrone i sar., 2012). Sediment je kranji taložnik za različite toksične elemente (Malferrari i sar., 2009) i ima značajnu ulogu u remobilizaciji kontaminanata u akvatičnim sistemima putem prirodnih i antropogenih procesa (Pekey, 2006) sa mogućnošću izazivanja štetnih efekata kako na kvalitet vode, tako i na zdravlje ljudi (Yin i sar., 2011). Štaviše, direktan prenos hemikalija iz sedimenta u organizme sada se smatra glavnim putem izlaganja za mnoge vrste (Rašković i sar., 2015).

Koncentracije elemenata u ispitivanim veštačkim jezerima bile su veće u sedimentu nego u vodi, osim za Hg. Veće opterećenje sedimenta potvrđeno je i u brojnim publikacijama za različita vodna tela (Rajeshkumar i sar., 2018; Weber i sar., 2012), Niske koncentracije Hg u sedimentu takođe su zabeležene i u Šaleškim jezerima u Sloveniji (Mazej i sar., 2010; Petkovšek i sar., 2012), kao i u San Roque akumulaciji u Argentini (Monferran i sar., 2016), što ukazuje na to da sediment nije taložnik ovog metala. Hg može ući u slatkovodne ekosisteme putem prirodnih procesa, atmosferskom depozicijom, industrijskim otpadnim vodama, ali i sagorevanjem fosilnih goriva (Tchounwou i sar., 2003). Sa druge strane, ne treba

isključiti mogućnost da Hg nije detektovana zbog načina preparacije uzoraka sedimenta. Tačnije, Štrbac i sar. (2014) navode da sušenje uzoraka sedimenta treba vršiti na 60 °C kako bi se minimalizovao gubitak isparljivih elemenata. PLI je ukazao na to da je sediment svih veštačkih jezera kontaminiran, a da je najmanja kontaminacija u jezeru za vodosnabdevanje (Garaši).

ZAKLJUČAK

Koncentracije elemenata u sedimentu bile su veće nego u vodi u svim ispitivanim jezerima. Koncentracije elemenata nisu prelazile MDK vrednosti propisane za vodu. Koncentracija Cr za Zaovine, Cu za Međuvršje i Ni za Perućac, Zaovine i Međuvršje prelazile su MDK vrednosti propisane za sediment. Usled manjeg intenziteta antropogenog uticaja, najmanja kontaminacija zabeležena je u jezeru za vodosnabdevanje.

Zahvalnica

Istraživanje je podržano od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije (broj ugovora 451-03-68/2020-14/200053 i 451-03-68/2020-14/200007).

Zahvaljujemo se dr Ljiljani Kostić-Kravljanac koja je pomogla u ICP-OES analizama.

LITERATURA

- Dević G, Đorđević D, Sakan S, Freshwater environmental quality parameters of man-made lakes of Serbia, *Environmental Monitoring and Assessment* 186(8) (2014) 5221-5234.
- Zuliani T, Vidmar J, Drinčić A, Ščančar J, Horvat M, Nečemer M, Piria M, Simonović P, Paunović M, Milačić R, Potentially toxic elements in muscle tissue of different fish species from the Sava River and risk assessment for consumers, *Science of the Total Environment* 650 (2019) 958-969.
- Islam MS, Ahmed MK, Raknuzzaman M, Habibullah-Al-Mamun M, Islam MK, Heavy metal pollution in surface water and sediment: a preliminary assessment of an urban river in a developing country, *Ecological Indicators* 48 (2015) 282-291.
- Mazej Z, Al Sayegh-Petkovšek S, Pokorny B, Heavy metal concentrations in food chain of lake Velenjsko jezero, Slovenia: an artificial lake from mining, *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 58(4) (2010) 998-1007.
- Malferrari D, Brigatti MF, Laurora A, Pini S, Heavy metals in sediments from canals for water supplying and drainage: mobilization and control strategies, *Journal of Hazardous Materials* 161(2-3) (2009) 723-729.
- Monferrán MV, Garnero P, de los Angeles Bistoni M, Anbar AA, Gordon GW, Wunderlin DA, From water to edible fish. Transfer of metals and metalloids in the San Roque Reservoir (Córdoba, Argentina). Implications associated with fish consumption, *Ecological Indicators* 63 (2016) 48-60.
- Pekey H, The distribution and sources of heavy metals in Izmit Bay surface sediments affected by a polluted stream. *Marine Pollution Bulletin* 52(10) (2006) 1197-1208.
- Petkovšek SAS, Grudnik ZM, Pokorny B, Heavy metals and arsenic concentrations in ten fish species from the Šalek lakes (Slovenia): assessment of potential human health risk due to fish consumption, *Environmental Monitoring and Assessment* 184(5) (2012) 2647-2662.
- Rajeshkumar S, Liu Y, Zhang X, Ravikumar B, Bai G, Li X, Studies on seasonal pollution of heavy metals in water, sediment, fish and oyster from the Meiliang Bay of Taihu Lake in China, *Chemosphere* 191 (2018) 626-638.
- Rašković B, Poleksić V, Višnjić-Jeftić Ž, Skorić S, Gačić Z, Djikanović V, Jarić I, Lenhardt M, Use of histopathology and elemental accumulation in different organs of two benthophagous fish species as indicators of river pollution. *Environmental Toxicology* 30(10) (2015) 1153-1161.

- Salem ZB, Capelli N, Laffray X, Elise G, Ayadi H, Aleya L, Seasonal variation of heavy metals in water, sediment and roach tissues in a landfill draining system pond (Etueffont, France), *Ecological Engineering* 69 (2014) 25-37.
- Službeni glasnik Republike Srbije No. 50/2012, 2012. Uredba o graničnim vrednostima zagađujućih materija u površinskim i podzemnim vodama i sedimentu i rokovima za njihovo dostizanje. Preuzeto iz <http://www.rdvode.gov.rs/doc/dokumenta/podzak/Uredba%20o%20granici-m%20vrednostima%20zagadjujucih%20materija%20u%20povrsinskim%20i%20podzemni-m%20vodama%20i%20sedimentu%20i%20rokovima%20za%20njihovo%20dostizanje.pdf>
- Squadrone S, Prearo M, Brizio P, Gavinelli S, Pellegrino M, Scanzio T, Guarise S, Benedetto A, Abete MC, Heavy metals distribution in muscle, liver, kidney and gill of European catfish (*Silurus glanis*) from Italian Rivers, *Chemosphere* 90(2) (2013) 358-365.
- Tchounwou PB, Ayensu WK, Ninashvili N, Sutton D, Environmental exposure to mercury and its toxicopathologic implications for public health. *Environmental Toxicology* 18(3) (2003) 149-175.
- Uysal K, Köse E, Bülbül M, Dönmez M, Erdoğan Y, Koyun M, Ömeroğlu Ç, Özmal F, The comparison of heavy metal accumulation ratios of some fish species in Enne Dame Lake (Kütahya/Turkey), *Environmental Monitoring and Assessment* 157(1-4) (2009) 355-362.
- Has-Schön E, Bogut, I, Vuković R, Galović D, Bogut A, Horvatić J, Distribution and age-related bioaccumulation of lead (Pb), mercury (Hg), cadmium (Cd), and arsenic (As) in tissues of common carp (*Cyprinus carpio*) and European catfish (*Sylurus glanis*) from the Buško Blato reservoir (Bosnia and Herzegovina), *Chemosphere* 135 (2015) 289-296.
- Štrbac S, Šajnović A, Budakov Lj, Vasić N, Kašanin-Grubin M, Simonović P, Jovančićević B, Metals in the sediment and liver of four fish species from different trophic levels in Tisza River, Serbia, *Chemistry and Ecology* 30(2) (2014) 169-186.
- Weber P, Behr ER, Knorr CDL, Vendruscolo DS, Flores EM, Dressler VL, Baldissertotto B, Metals in the water, sediment, and tissues of two fish species from different trophic levels in a subtropical Brazilian river, *Microchemical Journal* 106 (2012) 61-66.
- Yin H, Gao Y, Fan C, Distribution, sources and ecological risk assessment of heavy metals in surface sediments from Lake Taihu, China, *Environmental Research Letters* 6(4) (2011) 044012.