



VIII

MEMORIJALNI NAUČNI SKUP IZ
ZAŠTITE ŽIVOTNE SREDINE
„DOCENT DR MILENA DALMACIJA“

KNJIGA RADOVA

01-02.04.2021.

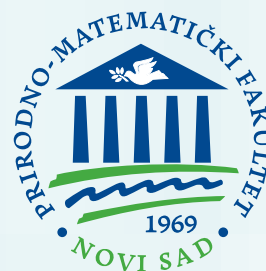


Organizatori



Univerzitet u Novom Sadu

Prirodno-matematički fakultet



**Departman za hemiju, biohemiju
i zaštitu životne sredine**

Fondacija Docent dr Milena Dalmacija



KNJIGA RADOVA

VIII Memorijalni naučni skup iz zaštite životne sredine „Docent dr Milena Dalmacija“

IZDAVAČ

PRIRODNO-MATEMATIČKI FAKULTET

GLAVNI UREDNIK

dr Dragana Tomašević Pilipović

dr Anita Leovac Maćerak

dr Đurđa Kerkez

CIP - Каталогизacija u publikaciji
Biblioteke Maticе српске, Нови Сад

502.17(082)

МЕМОРИЈАЛНИ научни скуп из заштите животне средине "Доцент др Милена Далмација" (8 ; 2021 ; Нови Сад)

Knjiga radova [Elektronski izvor] / VIII memorijalni naučni skup iz zaštite životne sredine "Docent dr Milena Dalmacija", 1-2.4.2021, Novi Sad ; [glavni urednik Dragana Tomašević Pilipović, Anita Leovac Maćerak, Đurđa Kerkez]. - Novi Sad : Prirodno-matematički fakultet, 2021. - 1 elektronski optički disk (CD ROM) : tekst, graf. prikazi ; 12 cm

Nasl. sa naslovnog ekrana. - Tiraž 100. - Bibliografija uz svaki rad.

ISBN 978-86-7031-567-9

a) Животна средина - Заштита - Зборници

COBISS.SR-ID 36751369

ISBN:978-86-7031-567-9

Tiraž:100; Obrada: dr Dragana Tomašević Pilipović, dr Anita Leovac Maćerak, dr Đurđa Kerkez, Nada Popsavin.

Odbori

Naučni odbor:

- ◆ dr Miladin Gligorić, redovni profesor, Tehnološki fakultet Zvornik, Univerzitet u Istočnom Sarajevu
- ◆ dr Olga Petrović, redovni profesor PMF, Univerziteta u Novom Sadu, u penziji
- ◆ dr Jasmina Agbaba, redovni profesor, PMF, Univerzitet u Novom Sadu
- ◆ dr Srđan Rončević, redovni profesor, PMF, Univerzitet u Novom Sadu
- ◆ dr Dragan Radnović, redovni profesor PMF, Univerziteta u Novom Sadu
- ◆ dr Dušan Mrđa, redovni profesor PMF, Univerziteta u Novom Sadu
- ◆ dr Milena Bečelić-Tomin, redovni profesor PMF, Univerziteta u Novom Sadu
- ◆ dr Miljana Prica, redovni profesor FTN, Univerziteta u Novom Sadu
- ◆ dr Jelena Tričković, redovni profesor PMF, Univerziteta u Novom Sadu
- ◆ dr Snežana Maletić, redovni profesor PMF, Univerziteta u Novom Sadu
- ◆ dr Dejan Krčmar, redovni profesor PMF, Univerziteta u Novom Sadu

Organizacioni odbor:

- ◆ dr Đurđa Kerkez, vanredni profesor, PMF, Univerzitet u Novom Sadu
- ◆ dr Dragana Tomašević Pilipović, vanredni profesor, PMF, Univerzitet u Novom Sadu
- ◆ dr Anita Leovac Maćerak, asistent sa doktoratom, PMF, Univerzitet u Novom Sadu
- ◆ dr Jelena Beljin, docent, PMF, Univerzitet u Novom Sadu
- ◆ dr Aleksandra Tubić, vanredni profesor, PMF, Univerzitet u Novom Sadu
- ◆ dr Marijana Kragulj Isakovski, vanredni profesor PMF, Univerzitet u Novom Sadu
- ◆ dr Vesna Pešić, docent PMF, Univerzitet u Novom Sadu
- ◆ Nada Popsavin, stručni saradnik za odnose sa javnošću, PMF, Univerzitet u Novom Sadu

Sadržaj

Sekcija: Održivi razvoj (OR)

Olgica Petrović: Uloga i značaj mikroorganizama u zaštiti životne sredine (plenarno predavanje).....OR-01

Livija Cvetičanin: Mehanicke metastrukture u zastiti zivotne i radne sredine od vibracija (plenarno predavanje).....OR-02

Mila Krstajić Pajić: Inovativni nanokatalizatori za anodne reakcije u gorivnim spregovima (pozivno predavanje).....OR-03

Branislav Stanković: Teorijsko proučavanje molekulskih osobina, mutagene aktivnosi i degradacije derivata policikličnih aromatičnih ugljovodonika (pozivno predavanje).....OR-04

Sanja Živković: Primena spektroskopije laserski indukovane plazme za analiza čvrstih uzoraka (pozivno predavanje).....OR-05

Dragan Troter, Primena eutektičkih rastvarača sa holin hloridom u heterogeno katalizovanoj etanolizi suncokretovog ulja (pozivno predavanje).....OR-06

Jelena Senčanski, Milica Vujković, Zoran Nedić, Stevan Blagojević, Jelena Cvijović Maksimović, Maja Pagnacco: Ispitivanje purpurina kao katodnog materijala u vodenim Na-jonskim baterijama.....OR-07

Jelena Senčanski, Stevan Blagojević, Ivana Stojković Simatović: Sinteza i ispitivanje $ZnMn_2O_4$ kao katodnog materijala za vodene cink-jonske baterije.....OR-08

Vanja Šeregelj, Gordana Četković, Jasna Čanadanović-Brunet, Vesna Tumbas Šaponjac, Jelena Vulić: Valorizacija karotenoida iz sporednog proizvoda prerade šargarepe.....OR-09

Nikoleta Aleksić: Mikroelementi u uljnim šejlovima Aleksinca i njihov uticaj na životnu sredinu.....OR-10

Ružica Erceg, Jelena Maksimović, Maja Pagnacco: Indirektno spektrofotometrijsko određivanje koncentracije pirokatehola korišćenjem oscilatrone reakcije.....OR-11

Biljana Đorđević, Dragan Troter, Zoran Todorović, Ivica Đalović, Petar Mitrović, Vlada Veljković: Eutektički rastvarači na bazi glicerola kao kosolventi u heterogeno katalizovanoj etanolizi ulja semena crne slačice (*Brassica nigra* L.).....OR-12

Sadržaj

Sekcija: Voda (V)

Anita Leovac Maćerak: Sorpcija herbicida na odabranim geosorbentima (*pozivno predavanje*).....V-01

Nataša Šekuljica, Dušan Mijin, Zorica Knežević-Jugović: Biotehnološki postupak uklanjanja sintetičkih boja iz otpadnih voda imobilisanom peroksidazom iz rena (*pozivno predavanje*).....V-02

Dušan Nikolić: Grgeč (*Perca fluviatilis*) kao bioindikator zagađenja akumulacija toksičnim elementima (*pozivno predavanje*).....V-03

Vesna Gvoić, Ispitivanje mogućnosti primene fenton-procesa u tretmanu obojenih otpadnih voda grafičke industrije (*pozivno predavanje*).....V-04

Irina Jevrosimov, Marijana Kragulj Isakovski, Snežana Maletić, Tamara Apostolović, Aleksandra Tubić, Jelena Tričković, Jasmina Agbaba: Ispitivanje adsorpcionog potencijala hidročađi poreklom od rezanca šećerne repe za uklanjanje hlorporifosa.....V-05

Vasiljević Sanja, Tubić Aleksandra, Lončarski Maja, Agbaba Jasmina: Određivanje tačke nultog naelektrisanja mikroplastičnih čestica polietilena.....V-06

Jovana Jokić Govedarica, Dragana Tomašević Pilipović, Vesna Gvoić, Nataša Slijepčević, Anita Leovac Maćerak, Đurđa Kerkez: Optimizacija uklanjanja olova iz sintetičkog vodenog matriksa primenom statističkog modela DSD.....V-07

Marija Ćurčić, Jasmina Nikić, Marko Šolić, Aleksandra Tubić, Jasmina Agbaba: Uklanjanje nikla iz površinske vode primenom jonoizmenjivačke smole.....V-08

Bojan Damnjanović, Ana Matić, Ana Vasić, Ljiljana Tanasić, Igor Dragičević, Marijana Srećković: Kvalitet vode i ekološki potencijal izvorničkog jezera sa aspekta odabranih fizičko-hemijskih i mikrobioloških parametara.....V-09

Kristiana Zrnić Tenodi, Srđan Rončević, Emilijan Mohora, Slaven Tenodi, Nataša Duduković, Aleksandra Tubić, Jasmina Agbaba: Ispitivanje efikasnosti uklanjanja As iz prirodnih vodenih matriksa elektrokoagulacijom sa upotrebom Al i Fe elektroda.....V-10

Sekcija: Sediment (S)

Marko Grgić, Snežana Maletić, Srđan Rončević, Marijana Kragulj Isakovski, Jelena Petrović, Božo Dalmacija: Procena remedijacionog potencijala sedimenta zagađenog prioritetnim organskim zagađujućim materijama (*pozivno predavanje*).....S-01

Sadržaj

| | |
|---|------|
| Nataša Slijepčević, Dragana Tomašević Pilipović, Đurđa Kerkez, Dunja Rađenović, Nataša Duduković, Dejan Krčmar, Miloš Dubovina: Ispitivanje uticaja starenja na izluživanje metala iz stabilizovanih smeša sedimenta sa OL-nZVI I ML - nZVI | S-02 |
|---|------|

Sekcija: Upravljanje otpadom (UO)

| | |
|--|-------|
| Ivana Pajčin, Jovana Grahovac, Vanja Vlajkov, Jelena Dodić, Aleksandar Jokić, Zorana Rončević, Mila Grahovac: Iskorišćenje sirovog glicerola iz proizvodnje biodizela u biotehnološkoj proizvodnji agenasa biološke kontrole | UO-01 |
|--|-------|

| | |
|--|-------|
| Ida Zahović, Zorana Trivunović: Valorizacija otpadnog glicerola u biotehnološkoj proizvodnji ksantana: odabir proizvodnog soja | UO-02 |
|--|-------|

Sekcija: Zemljište (Z)

| | |
|---|------|
| Tijana Milićević, Dubravka Relić, Mira Aničić Urošević, Gordana Jovanović, Aleksandar Popović: Integrisani pristup istraživanju potencijalno toksičnih elemenata u sistemu zemljište–biljka–vazduh u različitim vinogradima u Srbiji (pozivno predavanje) | Z-01 |
|---|------|

| | |
|---|------|
| Olja Šovljanski, Ana Tomić, Siniša Markov: Praćenje procesa ureolize kod odabranih bakterijskih sojeva iz zemljišta | Z-02 |
|---|------|

Sekcija: Vazduh (Va)

| | |
|--|-------|
| Stevan Đenadić, Vesna Damjanović, Predrag Jovančić, Dragutin Jovković: Mogućnost infracrvene termografije pri detekciji štetnih gasova | Va-01 |
|--|-------|

| | |
|---|-------|
| Mirjana Antonijević Nikolić, Jelena Đuričić Milanković, Bojan Damjanović, Procena kvaliteta vazduha u šapcu na osnovu folijarne akumulacije SO ₂ i čvrstih čestica na listovima ligustrum sp | Va-02 |
|---|-------|

GRGEČ (*Perca fluviatilis*) KAO BIOINDIKATOR ZAGAĐENJA AKUMULACIJA TOKSIČNIM ELEMENTIMA

Dušan Nikolić¹

¹Univerzitet u Beogradu – Institut za multidisciplinarna istraživanja, Odsek za biologiju i zaštitu kopnenih voda, Kneza Višeslava 1, 11030 Beograd, Srbija, dusan@imsi.rs

Izvod

Istraživanje je vršeno 2017. godine na šest akumulacija u Srbiji izgrađenih sa različitim namenom: vodosnabdevanje (Garaši), proizvodnja električne energije (Vlasina, Perućac, Zaovine i Međuvršje) i rekreacija (Savsko jezero), različitih karakteristika i stupnjeva eutrofikacije. Analiza As, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, i Zn u uzorcima vode, sedimenta, jetri, škragama i mišiću grgeča izvršena je optičkom emisionom spektroskopijom sa induktivno spregnutom plazmom (ICP-OES). Histopatološke (HP) analize jetre i škrge i Fultonov faktor kondicije (CF) korišćeni su kao biomarkeri. Izračunate su vrednosti indeksa opterećenja zagađenjem (PLI), stepena kontaminacije (C_d), potencijalnog ekološkog rizika (RI) i rizika po zdravlje ljudi (THQ i TR). Koncentracije elemenata varirale su značajno između tkiva, kao i između ispitivanih akumulacija. Škrge su bile pod najvećim pritiskom zagađenja. Zabeležen je nizak nivo HP promena. Prema vrednosti PLI, sediment svih ispitivanih akumulacija bio je kontaminiran, ali su niske vrednosti zabeležene za C_d i RI. Veće vrednosti PLI, C_d , RI, i TR imale su akumulacije za proizvodnju električne energije. Na osnovu dobijenih rezultata može se zaključiti da su akumulacije za proizvodnju električne energije pod najvećim antropogenim pritiskom i/ili imaju lošiju politiku upravljanja zagađenjem u poređenju sa ostalim tipovima akumulacija.

Ključne reči: riba, ksenobiotici, veštačka jezera, bioakumulacija, histopatologija, rizik po zdravlje ljudi.

Uvod

Tokom prošlog i ovog veka kao posledica intenziviranog procesa industrijalizacije, urbanizacije, poljoprivrede, sagorevanja fosilnih goriva, rudarstva, metalurgije itd., koncentracije mnogih elemenata su povećane u prirodnim ekosistemima, što predstavlja razlog za brigu ^{[1], [2]}. Određivanje koncentracija toksičnih elemenata prisutnih u vodi i sedimentu ima važnu ulogu u razmatranju njihove biodostupnosti. S druge strane, analiza samo vode ili sedimenta ne daje dovoljno informacija o posledicama koje ovi elementi imaju na ekosistem. Stoga je upotreba akvatičnih organizama kao bioindikatora neophodna jer bolje ukazuju na stanje i uslove koji vladaju u datom ekosistemu ^{[2], [3]}.

Ribe se izdvajaju kao jedna od najznačajnijih i najčešće korišćenih bioindikatorskih grupa organizama za procenu zagađenja vodenih ekosistema ^{[2], [4]}. Razlozi za opravdanje ove tvrdnje su brojni: (1) lako se uzorkuju; (2) imaju dug životni vek; (3) akumuliraju različite ksenobiotike tokom života; (4) taksonomija i fiziologija riba dobro su proučene; (5) visoka pozicija u akvatičnim lanacima ishrane i (6) značajan su izvor hrane za ljude ^{[1], [5]}. Tri tkiva kod riba imaju poseban značaj u istraživanjima koja se bave proučavanjem uticaja ksenobiotika na životnu sredinu ^[5]: (1) škrge, zbog direktnog kontakta sa spoljašnjom sredinom i potencijala da odraze nivo toksičnih elemenata u njoj ^[6]; (2) jetra, zbog svoje uloge u akumulaciji i biotransformaciji ksenobiotika ^{[1], [6]}; (3) mišić, zbog upotrebe u ljudskoj ishrani ^[1].

Grgeč (*Perca fluviatilis*) značajan je bioindikator u studijama koje se bave životnom sredinom, a to ogleda kroz njegovu: (1) trofičku poziciju –na vrhu je akvatičnih lanaca ishrane ^[7]; (2) veliku ekološku plastičnost i ontogenetsku promena ekološke niše ^{[7], [8]}; (3) abundantnost – često se sreće i brojan je u gotovo svim akumulacijama u Srbiji; (4) nutricionu vrednost – ima nizak nivo masti u mišićnom tkivu (oko 1%) ^[9]; (5) značajnost za komercijalni i sportski ribolov ^{[8], [9]}; (6) mogućnost lova tokom čitave godine ^[10].

Ciljevi ovog istraživanja bili su: određivanje koncentracija As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Pb, i Zn u vodi, sedimentu, mišiću, škragama i jetri grgeča iz ispitivanih akumulacija; poređenje dobijenih koncentracija sa maksimalno dozvoljenim koncentracijama (MDK) propisanim nacionalnom i međunarodnom legislativom; utvrđivanje nivoa histopatoloških promena na grgeča iz ispitivanih akumulacija; ispitivanje korelacija između akumulacije elemenata u tkivima i kondicije riba, kao i između histopatoloških promena na jetri i škragama; procena potencijalnog ekološkog rizika i stepena kontaminacije; procena rizika po zdravlje ljudi; utvrđivanje postojanja veza između ispitivanih pojava i karakteristika veštačkih jezera i davanje odgovarajućih preporuka i zaključaka.

Eksperimentalni deo

Terenska istraživanja vršena su tokom leta 2017. godine na šest veštačkih jezera (akumulacija) u Srbiji: Garaši, Vlasina, Perućac, Zaovine, Međuvršje i Savsko jezero. Veštačka jezera se nalaze na različitim nadmorskim visinama, imaju različite karakteristike, kao i različite namene.

Uzorci vode, sedimenta i tkiva grgeča su prikupljeni i pripremljeni za analizu koncentracije elemenata, kao i uzorci jetre i škrge za HP analizu, prema metodologiji koju su koristili Nikolić et al. ^{[11], [12]}. Nakon merenja totalne dužine (TL, cm) i težine (W, g), ribe su disekovane. Određen je i Fultonov faktor kondicije (CF) prema Ricker ^[13]. Analiza elemenata izvršena je pomoću optičke emisione spektroskopije sa induktivno spregnutom plazmom (ICP-OES, Spectro Genesis EOP II, Spectro Analytical Instruments DmbH, Nemačka). Procenjene su koncentracije sledećih 7 elemenata: As, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, i Zn. Blank uzorci procesuirani su na isti način kao i uzorci tkiva, sedimenta i vode, a radi utvrđivanja i kontrole prisustva analiziranih elemenata u korišćenim hemikalijama. Semikvantitativni sistem skorovanja koji je razvijen od strane Bernet et al. ^[14] korišćen je za kvantifikaciju (HP) promena na jetri i škragama.

Koncentracije elemenata u vodi, sedimentu i mišićnom tkivu upoređene su sa propisanim maksimalno dozvoljenim koncentracijama (MDK) za vodu ^[15], sediment ^[15] i riblje meso prema nacionalnoj regulativi ^[16] i regulativi Evropske komisije ^[17]. Procena ukupnog statusa toksičnosti uzorka (koncentracije metala u tkivima grgeča i sedimentu) izvršena je upotrebom indeks zagađenja metalima (MPI) prema formuli iz Usero et al. ^[18], i indeks opterećenja zagađenjem (PLI) prema formuli iz Islam et al. ^[19]. Potencijalni ekološki rizik (RI) i stepen kontaminacije (C_d) izračunati su korišćenjem metodologije koju je predložio Hakanson ^[20], a zdravstveni rizik (THQ i TR) određen je prema metodologiji razvijenoj od strane USEPA ^[21].

U slučaju kada su podaci imali normalnu distribuciju, korišćena je jednosmerna ANOVA praćena Tukey-evim HSD *post-hoc* testom. U suprotnom, korišćen je Kruskal-Wallis *H* testa praćen Mann-Whitney *U* testom. Korelacije su ispitane korišćenjem Spearman-ovog korelacionog testa rangova. Obrada podataka vršena je u programu STATISTICA Software Package, Version 7.0, StatSoft Inc. Nivo vrednosti verovatnoće $p \leq 0,05$ smatrao se statistički značajnim za sve sprovedene testove.

Rezultati i diskusija

Dobijeni rezultati prikazani su u Tabeli 1. Koncentracije elemenata u vodi bile su uglavnom niže u poređenju sa koncentracijama u tkivima grgeča i sedimentu, i nisu prelazile MDK vrednosti propisane za vodu. Zabeležene su veće koncentracije elemenata u sedimentu u poređenju sa tkivima riba. Koncentracija Cr za Zaovine i Cu za Međuvršje prelazile MDK vrednosti propisane za sediment.

Tabela 4. Koncentracija elemenata u vodi ($\mu\text{g/mL}$), sedimentu mišiću ($\mu\text{g/g}$), škrgama i jetri grgeča ($\mu\text{g/g}$), kao i indeks opterećenja zagađenjem (PLI), stepen kontaminacije (C_d), potencijalni ekološki rizik (RI), zdravstveni rizik (TTHQ i TR), kondicija riba (CF, kao i vrednosti HP indeksa organa (I_G i I_L) i ukupnog HP indeksa (I_T) za šest ispitivanih veštačkih jezera. Vrednosti su predstavljene kao srednja vrednost \pm standardna devijacija, dok ND znači da su koncentracije bile ispod praga detekcije.

| | Tkivo | Garaši | Vlasina | Perućac | Zaovine | Međuvršje | Savsko jezero |
|-------|----------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| As | Mišić | 0,15 \pm 0,18 | 0,23 \pm 0,19 | 0,19 \pm 0,19 | 0,40 \pm 0,30 | 0,41 \pm 0,38 | 0,35 \pm 0,39 |
| | Škrge* | 0,06 \pm 0,09 ^a | 0,28 \pm 0,24 ^{bc} | 0,29 \pm 0,24 ^{bc} | 0,66 \pm 0,37 ^c | 0,18 \pm 0,24 ^{ab} | 0,44 \pm 0,35 ^{bc} |
| | Jetra* | 0,07, 1,02 ^{***a} | 0,06 \pm 0,16 ^a | 0,04 ^{***a} | 0,60 \pm 0,40 ^b | 0,46, 0,03 ^{***a} | 0,23 \pm 0,36 ^{ab} |
| | Voda | 0,002 | 0,002 | 0,005 | 0,008 | 0,004 | 0,003 |
| | Sediment | 7,30 | 1,49 | 3,02 | 1,08 | 8,31 | 3,56 |
| | TR | 4,66 $\times 10^{-7}$ | 1,26 $\times 10^{-6}$ | 5,51 $\times 10^{-7}$ | 1,52 $\times 10^{-6}$ | 1,12 $\times 10^{-6}$ | 9,31 $\times 10^{-7}$ |
| Cd | Mišić | 0,12 \pm 0,05 | 0,16 \pm 0,05 | 0,14 \pm 0,04 | 0,07 \pm 0,09 | 0,14 \pm 0,06 | 0,09 \pm 0,08 |
| | Škrge | 0,20 \pm 0,12 | 0,33 \pm 0,21 | 0,25 \pm 0,05 | 0,08 \pm 0,11 | 0,24 \pm 0,07 | 0,18 \pm 0,14 |
| | Jetra* | 0,04 \pm 0,07 ^{ac} | 0,37 \pm 0,48 ^b | 0,02 \pm 0,03 ^a | 0,14 \pm 0,24 ^{abc} | 0,45 \pm 0,63 ^{abc} | 0,70 \pm 0,82 ^{bc} |
| | Voda | 0,005 | 0,004 | 0,004 | 0,004 | 0,005 | 0,005 |
| | Sediment | 0,82 | 1,57 | 1,03 | 1,33 | 0,98 | 0,79 |
| | | | | | | | |
| Cr | Mišić* | 0,23 \pm 0,05 ^c | 0,16 \pm 0,11 ^{abc} | 0,21 \pm 0,08 ^{bc} | 0,06 \pm 0,07 ^a | 0,12 \pm 0,09 ^a | 0,29 \pm 0,65 ^{ab} |
| | Škrge* | 0,46 ^{**ab} | 0,07 \pm 0,12 ^{ab} | ND ^a | 0,13 \pm 0,13 ^b | ND ^a | ND ^a |
| | Jetra | 0,23 \pm 0,13 | 0,28 \pm 0,26 | 0,30 \pm 0,13 | 0,14 \pm 0,06 | 0,21 \pm 0,40 | 0,15 \pm 0,21 |
| | Voda | 0,052 | 0,053 | 0,054 | 0,050 | 0,052 | 0,054 |
| | Sediment | 25,66 | 48,01 | 79,29 | 949,58 | 93,73 | 48,81 |
| | | | | | | | |
| Cu | Mišić | 0,02 ^{**} | ND | ND | 0,10 ^{**} | ND | 0,44 ^{**} |
| | Škrge* | ND ^a | 0,62 \pm 1,30 ^{ab} | ND ^a | 0,62 \pm 0,58 ^b | ND ^a | 13,63 ^{**ab} |
| | Jetra* | 1,95 \pm 2,54 ^a | 9,91 \pm 8,69 ^{ab} | 6,97 \pm 3,26 ^b | 12,90 \pm 9,28 ^b | 17,96 \pm 21,29 ^b | 12,88 \pm 9,86 ^b |
| | Voda | 0,024 | 0,024 | 0,026 | 0,016 | 0,019 | 0,024 |
| | Sediment | 9,34 | 17,63 | 31,83 | 11,46 | 110,26 | 22,31 |
| | | | | | | | |
| Hg | Mišić* | 1,35 \pm 0,86 ^{ab} | 0,52 \pm 0,23 ^a | 1,16 \pm 0,47 ^b | 1,07 \pm 0,34 ^b | 0,59 \pm 0,17 ^a | 1,19 \pm 0,47 ^b |
| | Škrge* | 0,54 \pm 0,63 ^{ab} | 0,30 \pm 0,28 ^{ab} | 0,35 \pm 0,15 ^b | 0,50 \pm 0,17 ^b | 0,19 \pm 0,14 ^a | 0,44 \pm 0,30 ^{ab} |
| | Jetra | 0,79 \pm 0,48 | 0,48 \pm 0,18 | 0,71 \pm 0,12 | 0,54 \pm 0,11 | 0,53 \pm 0,31 | 0,66 \pm 0,28 |
| | Voda | 0,038 | 0,036 | 0,038 | 0,037 | 0,035 | 0,038 |
| | Sediment | ND | ND | ND | ND | ND | ND |
| | | | | | | | |
| Pb | Mišić* | 0,05 \pm 0,06 ^a | 0,18 \pm 0,16 ^{abc} | 0,28 \pm 0,20 ^{bc} | 0,06 \pm 0,11 ^a | 0,28 \pm 0,15 ^c | 1,45 \pm 4,45 ^{ab} |
| | Škrge* | 0,23 \pm 0,29 ^{ab} | 0,43 \pm 0,35 ^{bc} | 0,58 \pm 0,30 ^c | 0,10 \pm 0,15 ^a | 0,58 \pm 0,32 ^c | 2,15 \pm 5,52 ^{bc} |
| | Jetra* | 0,12 \pm 0,12 ^{ab} | 0,32 \pm 0,23 ^c | 0,26 \pm 0,25 ^{abc} | 0,12, 0,29 ^{***a} | 0,35 \pm 0,41 ^{bc} | 2,95 \pm 9,05 ^{ab} |
| | Voda | 0,036 | 0,041 | 0,042 | 0,040 | 0,043 | 0,043 |
| | Sediment | 46,07 | 69,45 | 64,52 | 32,23 | 55,62 | 50,95 |
| | TR | 2,96 $\times 10^{-8}$ | 1,75 $\times 10^{-7}$ | 1,52 $\times 10^{-7}$ | 1,69 $\times 10^{-7}$ | 3,26 $\times 10^{-8}$ | 7,11 $\times 10^{-7}$ |
| Zn | Mišić* | 18,64 \pm 4,13 ^{ab} | 18,88 \pm 5,01 ^a | 22,85 \pm 5,27 ^{abc} | 23,89 \pm 6,52 ^{abc} | 27,27 \pm 9,28 ^c | 23,22 \pm 7,18 ^{bc} |
| | Škrge* | 59,78 \pm 14,17 ^{bc} | 71,10 \pm 17,61 ^{bc} | 62,06 \pm 7,72 ^b | 69,63 \pm 5,23 ^c | 70,0 \pm 6,85 ^c | 80,91 \pm 10,85 ^a |
| | Jetra* | 58,76 \pm 10,74 ^a | 71,28 \pm 33,30 ^a | 57,36 \pm 8,55 ^a | 77,41 \pm 24,23 ^{ab} | 74,20 \pm 30,16 ^{ab} | 101,0 \pm 11,27 ^b |
| | Voda | 0,014 | 0,024 | 0,006 | 0,019 | 0,025 | 0,013 |
| | Sediment | 43,85 | 89,82 | 198,97 | 65,20 | 114,82 | 62,66 |
| | | | | | | | |
| MPI | Mišić | 0.05 | 0.19 | 0.14 | 0.16 | 0.11 | 0.18 |
| | Škrge | 0.10 | 0.15 | 0.29 | 0.22 | 0.41 | 0.16 |
| | Jetra | 0.13 | 0.25 | 0.13 | 0.27 | 0.41 | 0.25 |
| PLI | | 3,61 | 4,44 | 5,43 | 5,11 | 7,61 | 4,30 |
| C_d | | 2,69 | 4,06 | 4,24 | 3,52 | 6,23 | 3,10 |

| | | | | | | |
|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| RI | 34,50 | 56,48 | 43,08 | 46,52 | 52,59 | 33,42 |
| TTHQ | 0.58 | 0.39 | 0.53 | 0.32 | 0.36 | 0.48 |
| CF | 1.65±0.16 | 1.42±0.11 | 1.40±0.12 | 1.43±0.17 | 1.38±0.09 | 1.34±0.11 |
| I _G | 14.9±6.5 | 19.8±7.3 | 22.5±10.4 | 26.0±7.2 | 18.0±3.5 | 17.6±3.0 |
| I _L | 7.4±4.2 | 12.4±8.9 | 13.8±6.7 | 11.2±7.7 | 18.0±8.7 | 13.6±4.8 |
| I _T | 21.7±6.7 | 32.8±10.8 | 34.8±12.8 | 36.7±10.1 | 36.0±5.3 | 31.2±6.0 |

a,b,c,d,e Vrednosti sa različitim slovima u istom redu ukazuju na statistički značajne razlike (Mann-Whitney U test, $p \leq 0,05$ ili Tukey HSD post-hoc test, $p \leq 0,05$).

* Statistički značajne razlike između veštačkih jezera (Kruskal-Wallis H test, $p \leq 0,05$ ili jednosmerna ANOVA $p \leq 0,05$).

** Koncentracije iznad granica detekcije samo u jednom uzorku.

*** Koncentracije iznad granica detekcije samo u dva uzorka.

Pronađene su statistički značajne razlike između veštačkih jezera za sve elemente. Koncentracije elemenata u mišićnom tkivu bile su uglavnom niže u poređenju sa škragama i jetrom, što je u skladu sa podacima objavljenim u literaturi [3]. Rezultati su pokazali da nivo Hg u mišiću opada sa porastom nadmorske visine na kojoj se akumulacija nalazi. Manji antropogeni uticaj na višim nadmorskim visinama rezultat je manjeg broja naselja u ovim oblastima. Koncentracije Cd kod osam jedinki iz Vlasine, dve jedinke iz Zaovina, jedne jedinke iz Međuvršja, zatim Hg kod dve jedinke iz Garaša i jedne jedinke iz Perućca, kao i Pb kod jedne jedinke iz Savskog jezera prelazile su MDK vrednosti za pomenute elemente. Razlog za brigu jeste veliki broj uzoraka u kojima Cd prelazi propisanu MDK vrednost, jer su akutna trovanja ljudi ovim elementom dovode do promena na jetri, plućima i testisima [22]. IARC [23] klasifikuje Cd kao karcinogen kategorije 1, uprkos tome što sam po sebi ne predstavlja mutagen [22]. Statistički značajnih korelacija između akumulacije elemenata i kondicije riba nije bilo, što je zabeleženo kod više vrsta riba uzorkovanih kako na lokalitetima sa različitim stepenom zagađenja [24].

Mišić je tkivo koje je najmanje izloženo pritisku zagađenja metalima u svim akumulacijama, dok su škrge najizloženije pomenutom zagađenju. Kod jedinki iz akumulacije Garaši uočen je najmanji uticaj zagađenja metalima, dok su jedinke iz Savskog jezera bile izložene najvećem zagađenju. Ovakav rezultat za Garaše je očekivan, zato što se ova akumulacija koristi za vodosnabdevanje i pod malim je antropogenim pritiskom [25]. S druge strane, Savsko jezero je indirektno, preko reke Save i zbog blizine gradskog centra i intenziteta gradskog saobraćaja, kao što je već pomenuto, izloženo jakom antropogenom uticaju [3]. Sledeća akumulacija po veličini MPI indeksa jeste Međuvršje koje je takođe pod jakim antropogenim pritiskom [26]. Sve PLI vrednosti bile su veće od 1, što ukazuje da je sediment u svim akumulacijama kontaminiran, pri čemu je u akumulacijama za proizvodnju električne energije konstatovano veće zagađenje sedimenta od jezera za vodosnabdevanje i rekreaciju.. Yi et al. [27] uočili su da se toksični metali akumuliraju više u lentičkim u poređenju sa lotičkim ekosistemima zbog većeg protoka vode u rekama.

Nisu dobijene statistički značajne razlike između ispitivanih veštačkih jezera u pogledu HP indeksa za jetru i škrge, kao ni za ukupni HP indeks. Kod uzorkovanih jedinki iz akumulacije Vlasina utvrđen je najniži intenzitet HP promena. Takođe, nisu nađene ni statistički značajne korelacije između pojedinih HP indeksa. Jetra je bila manje zahvaćena promenama u odnosu na škrge. Činjenica da je branhijalni aparat u konstantnom kontaktu sa vodenom sredinom, uzimajući u obzir i njegovu fiziološku ulogu (usvajanje kiseonika, oslobađanje ugljen-dioksida, osmoregulacija, ekskrecija azota, kiselinsko-bazna regulacija, metabolizam hormona, čulna funkcija), kao i to da je njegova građa veoma delikatna, čini ovaj organ najosetljivijim prema zagađivačima u vodi [14].

Zabeležen je nizak stepen kontaminacije u svim ispitivanim akumulacijama, a najviše vrednosti zabeležene su za akumulacije za proizvodnju električne energije. Takođe, zabeležen je nizak potencijalni ekološki rizik za sve ispitivane akumulacije, pri čemu su više vrednosti zabeležene za akumulacije za proizvodnju električne energije.

Indeks rizika pruža brzu i jednostavnu kvantitativnu procenu potencijalnog ekološkog rizika određene kontaminacije u ispitivanom akvatičnom ekosistemu^{[20], [27]}. Vrednosti TTHQ (indeks opasnosti) u svakoj akumulaciji bile su manje od 1 (prag količnika ciljane opasnosti), što ukazuje na odsustvo nekancerogenog rizika po zdravlje ljudi usled unosa ispitivanih elemenata^[28]. TR ukazuje na rastuću verovatnoću da se kod određenog čoveka razvije kancer tokom životnog ciklusa, kao rezultat izlaganja potencijalnim kancerogenima. Više vrednosti ciljnog kancerogenog faktora rizika (TR) zabeležene su za As u odnosu na Pb. Najniže vrednosti TR za neorganski As i Pb zabeležene su za Garaše, dok su najviše vrednosti zabeležene za veštačka jezera za proizvodnju električne energije.

Zaključak

Rezultati ukazuju na to da su akumulacije za proizvodnju električne energije pod većim antropogenim pritiskom i/ili je politika upravljanja zagađenjem lošija u poređenju sa ostalim tipovima veštačkih jezera uključenih u ovo istraživanje, naročito u poređenju sa akumulacijom za vodosnabdevanje.

Literatura (APA standard)

- [1] Uysal, K., Köse, E., Bülbül, M., Dönmez, M., Erdoğan, Y., Koyun, M., ... & Özmal, F. (2009). The comparison of heavy metal accumulation ratios of some fish species in Enne Dame Lake (Kütahya/Turkey). *Environmental Monitoring and Assessment*, 157(1), 355-362.
- [2] Zuliani, T., Vidmar, J., Drinčić, A., Ščančar, J., Horvat, M., Nečemer, M., ... & Milačić, R. (2019). 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, 958-969.
- [3] Kostić, J., Kolarević, S., Kračun-Kolarević, M., Aborgiba, M., Gačić, Z., Paunović, M., ... & Vuković-Gačić, B. (2017). The impact of multiple stressors on the biomarkers response in gills and liver of freshwater breams during different seasons. *Science of the Total Environment*, 601, 1670-1681.
- [4] Di Giulio, R.T., & Hinton, D.E. (2008). Introduction. In: Di Giulio, R.T., Hinton, D.E. (Eds.), *The Toxicology of Fishes*. Boca Raton: CRC Press, Taylor & Francis Group, pp. 3-7.
- [5] Kroon, F., Streten, C., & Harries, S. (2017). A protocol for identifying suitable biomarkers to assess fish health: A systematic review. *PloS One*, 12(4), e0174762.
- [6] Van der Oost, R., Beyer, J., & Vermeulen, N.P. (2003). Fish bioaccumulation and biomarkers in environmental risk assessment: a review. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 13(2), 57-149.
- [7] Freyhof, J., & Brooks, E. (2011). *European red list of freshwater fishes*. Luxembourg: Publications Office of the European Communities, pp. 1-60.
- [8] Skov, C., Jansen, T., & Arlinghaus, R. (2017). 62 years of population dynamics of European perch (*Perca fluviatilis*) in a mesotrophic lake tracked using angler diaries: The role of commercial fishing, predation and temperature. *Fisheries Research*, 195, 71-79.
- [9] Järv, L., Kotta, J., & Simm, M. (2013). Relationship between biological characteristics of fish and their contamination with trace metals: a case study of perch *Perca fluviatilis* L. in the Baltic Sea. *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences*, 62(3).
- [10] Službeni glasnik Republike Srbije No. 56/2015, 2015. Naredba o merama za očuvanje i zaštitu ribljeg fonda. Preuzeto iz www.pravnoinformacionisistem.rs/SIGlasnikPortal/eli/re-p/sgrs/ministarstva/naredba/2015/56/1/reg
- [11] Nikolić, D., Skorić, S., Rašković, B., Lenhardt, M., & Krpo-Ćetković, J. (2020a). Impact of reservoir properties on elemental accumulation and histopathology of European perch (*Perca fluviatilis*). *Chemosphere*, 244, 125503.

- [12] Nikolić, D., Skorić, S., Lenhardt, M., Hegediš, A., & Krpo-Ćetković, J. (2020b). Risk assessment of using fish from different types of reservoirs as human food—A study on European perch (*Perca fluviatilis*). *Environmental Pollution*, 257, 113586.
- [13] Ricker, W.E. (1975). Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. *Bulletin - Fisheries Research Board of Canada*, 191, 1-382.
- [14] Bernet, D., Schmidt, H., Meier, W., Burkhardt-Holm, P., & Wahli, T. (1999). Histopathology in fish: proposal for a protocol to assess aquatic pollution. *Journal of Fish Diseases*, 22(1), 25-34.
- [15] 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%20-granicnim%20vrednostima%20zagadjujucih%20materija%20u%20povrsinskim%20i%20podzemnim%20vodama%20i%20sedimentu%20i%20rokovima%20za%20njihovo%20dostizanje.pdf>
- [16] Službeni glasnik Republike Srbije Nos. 22/2018 & 90/2018, 2018. Pravilnik o maksimalno dozvoljenim količinama ostataka sredstava za zaštitu bilja u hrani i hrani za životinje i o hrani i hrani za životinje za koju se utvrđuju maksimalno dozvoljene količine ostataka sredstava za zaštitu bilja. Prilog 5 – Maksimalno dozvoljene količine određenih kontaminanata u hrani i hrani za životinje biljnog i životinjskog porekla Preuzeto iz www.pravno-informacioni-sistem.rs/SlGlasnikPortal/prilozi/5.html&doctype=reg&abc=cba&eli=true&eliActId=427071®actid=427071
- [17] EU (2006). Commission Regulation (EC) No. 1881/2006 of 19 December 2006 setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs (Text with EEA relevance). Official Journal of the European Union No. 1881/2006, 364: 5-24.
- [18] Usero, J., Gonzalez-Regalado, E., & Gracia, I. (1997). Trace metals in the bivalve molluscs *Ruditapes decussatus* and *Ruditapes philippinarum* from the Atlantic Coast of Southern Spain. *Environment International*, 23(3), 291-298.
- [19] Islam, M. S., Ahmed, M. K., Raknuzzaman, M., Habibullah-Al-Mamun, M., & Islam, M. K. (2015). Heavy metal pollution in surface water and sediment: a preliminary assessment of an urban river in a developing country. *Ecological Indicators*, 48, 282-291.
- [20] Hakanson, L. (1980). An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. *Water Research*, 14(8), 975-1001.
- [21] USEPA (1989). Risk assessment guidance for superfund. In: Human Health Evaluation Manual Part A, Interim Final, vol. I. Washington DC, United States Environmental Protection Agency: EPA/540/1-89/ 002.
- [22] Bertin, G., & Averbeck, D. (2006). Cadmium: cellular effects, modifications of biomolecules, modulation of DNA repair and genotoxic consequences (a review). *Biochimie*, 88(11), 1549-1559.
- [23] IARC (1993). Beryllium, cadmium, mercury and exposures in the glass manufacturing industry, in: International Agency for Research on Cancer Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, vol. 58. Lyon, IARC Scientific Publications: 119–237.
- [24] Fonseca, V. F., Vasconcelos, R. P., Tanner, S. E., França, S., Serafim, A., Lopes, B., ... & Cabral, H. N. (2015). Habitat quality of estuarine nursery grounds: Integrating non-biological indicators and multilevel biological responses in *Solea senegalensis*. *Ecological Indicators*, 58, 335-345.
- [25] Sunjog, K., Kolarević, S., Kračun-Kolarević, M., Višnjjić-Jeftić, Ž., Skorić, S., Gačić, Z., ... & Vuković-Gačić, B. (2016). Assessment of status of three water bodies in Serbia based on tissue metal and metalloid concentration (ICP-OES) and genotoxicity (comet assay). *Environmental Pollution*, 213, 600-607.
- [26] Djikanović, V., Skorić, S., Spasić, S., Naunovic, Z., & Lenhardt, M. (2018). Ecological risk assessment for different macrophytes and fish species in reservoirs using biota-sediment accumulation factors as a useful tool. *Environmental Pollution*, 241, 1167-1174.

- [27] Yi, Y., Yang, Z., & Zhang, S. (2011). Ecological risk assessment of heavy metals in sediment and human health risk assessment of heavy metals in fishes in the middle and lower reaches of the Yangtze River basin. *Environmental Pollution*, 159(10), 2575-2585.
- [28] Zheng, N., Wang, Q., Zhang, X., Zheng, D., Zhang, Z., & Zhang, S. (2007). Population health risk due to dietary intake of heavy metals in the industrial area of Huludao city, China. *Science of the Total Environment*, 387(1-3), 96-104.