

SRPSKO DRUŠTVO ZA ZAŠTITU VODA

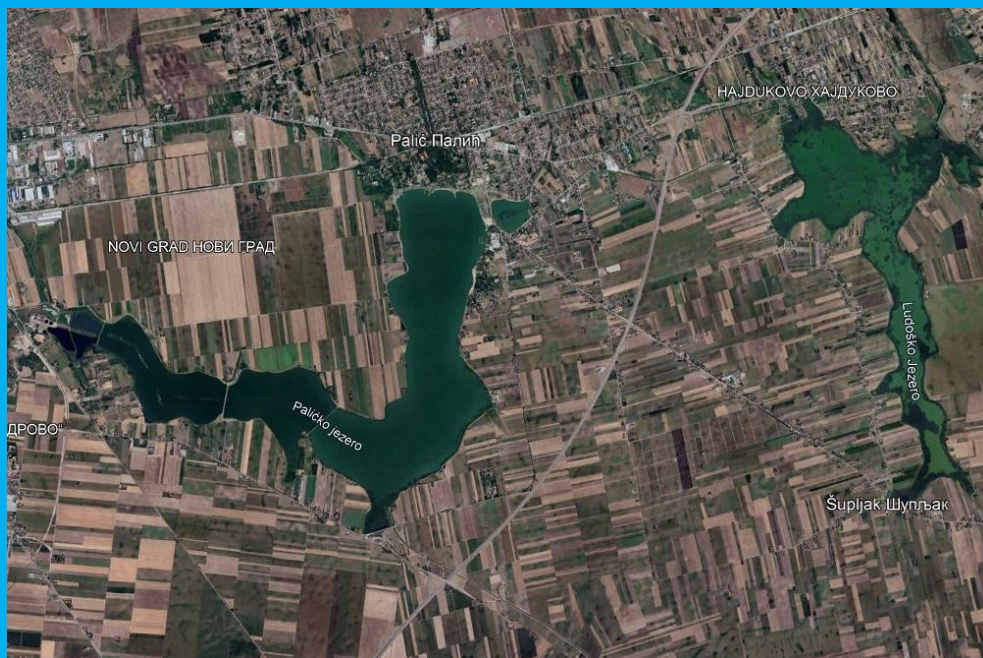
52. konferencija o aktuelnim temama korišćenja i zaštite voda

VODA 2022

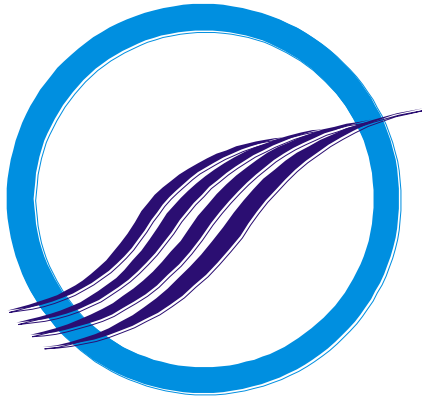
The 52nd Annual Conference of the Serbian Water Pollution Control Society

WATER 2023

Conference Proceedings



Palić, 31. maj – 2. jun 2023.



www.sdzv.org.rs

SRPSKO DRUŠTVO ZA ZAŠTITU VODA

SERBIAN WATER POLLUTION CONTROL SOCIETY



INŽENJERSKA KOMORA SRBIJE

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
Dr Momir PAUNOVIĆ, naučni savetnik, dipl.biol, 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 Božica VASILJEVIĆ, dipl.biol, Beograd

UREDNIK (EDITOR):

Dr Aleksandar ĐUKIĆ, dipl. građ.inž.

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):

150 primeraka

ŠTAMPA:

"Akademska izdanja", Zemun, 2023

CIP - Каталогизacija 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 (52 ; 2023 ; Палић)

Voda 2023 : zbornik radova 52. godišnje konferencije o aktuelnim problemima korišćenja i zaštite voda, Palić, 31. maj - 2. jun 2023. = Water 2023 : conference proceedings 52nd Annual Conference of the Serbian Water Pollution Control Society / [urednik, editor Aleksandar Đukić]. - Beograd : Srpsko društvo za zaštitu voda, 2023 (Zemun : Akademska izdanja). - X, 310 str. : ilustr. ; 24 cm

Tiraž 150. - Str. IX: Predgovor / Aleksandar Đukić. - Bibliografija uz svaki rad. - Abstracts.

ISBN 978-86-82674-00-9

a) Воде -- Зборници b) Отпадне воде -- Зборници v) Снабдевање водом -- Зборници

COBISS.SR-ID 116513289

SRPSKO DRUŠTVO ZA ZAŠTITU VODA

ZBORNİK RADOVA

**52. GODIŠNJE KONFERENCIJE O AKTUELNIM TEMAMA
KORIŠĆENJA I ZAŠTITE VODA**

VODA 2023

*52ND ANNUAL CONFERENCE OF THE
SERBIAN WATER POLLUTION CONTROL SOCIETY
"WATER 2023"
CONFERENCE PROCEEDINGS*

Palić, 31. maj - 2. jun 2023.

ORGANIZATOR KONFERENCIJE (*CONFERENCE ORGANISERS*):

Srpsko društvo za zaštitu voda (Beograd),

uz podršku

Ministarstva nauke, tehnološkog razvoja i inovacija Republike Srbije i
Inženjerske komore Srbije

ORGANIZACIONI ODBOR KONFERENCIJE (*ORGANIZING COMMITTEE*):

PRESEDNIK: Dr Momir PAUNOVIĆ, dipl.biol, Beograd

SEKRETAR: Suzana VASIĆ, Beograd

ČLANOVI:

Dr Branko MILJANOVIĆ, dipl.biol, Novi Sad
Dr Aleksandar ĐUKIĆ, dipl.građ.inž, Beograd
Slavica ŽIVKOVIĆ, Beograd
Dr Maja RAKOVIĆ, dipl. biol, Beograd
Dr Tamara JURCA, dipl. biol, Novi Sad
Dr Jelena STANKOVIĆ, dipl.biol, Niš

ODRŽAVANJE KONFERENCIJE SU POMOGLI (*SPONSORED BY*):

- Ministarstvo nauke, tehnološkog razvoja i inovacija Republike Srbije
- Inženjerska komora Srbije

Slika na koricama: satelitski snimak jezera Palić i Ludaš 2022. godine (*Google Earth*)

SADRŽAJ

CONTENTS

1. TEMATSKA GRUPA: VODOPRIVREDNI, EKOLOŠKI, I ORGANIZACIONI ASPEKTI KORIŠĆENJA I ZAŠTITE VODA

1. Aleksandar Đukić, Branislava Lekić, Branislav Babić, Ognjen Govedarica (Beograd)
MOGUĆE IMPLIKACIJE PRIMENE PREDLOGA NOVE DIREKTIVE O OTPADNIM VODAMA EU U SRBIJI 1
2. Stevan Prohaska, Vladislava Bartoš, Divac, Ognjen Prohaska (Beograd)
KVANTITATIVNE KARAKTERISTIKE KIŠA JAKOG INTENZITETA U OKOLINI PALIĆA SA ASPEKTA PROJEKTOVANJA KIŠNE KANALIZACIJE 13
3. Danijela Veličković, Marijana Krivokapić, Nikola Simović (Beograd, Podgorica-Crna Gora)
HIDROLOŠKA ANALIZA RIJEKE LIM, PRORAČUN MALIH I VELIKIH VODA 23
4. Ana Stojanović, Dejan Vasović (Niš)
ZNAČAJ PRIMENE KONCEPTA INTEGRALNOG UPRAVLJANJA SLIVOVIMA SA ASPEKTA ZAŠTITE IZVORIŠTA VODOSNABDEVANJA 35
5. Olivera Doklešić (Herceg Novi – Crna Gora)
VIŠKOVI VODE U HERCEGNOVSKOM VODOVODNOM SISTEMU, KOLIČINA, NAMJENA, UPOTREBA 41

2. TEMATSKA GRUPA: KVALITET VODA I PROCESI U PRIRODNIM VODAMA

2.1. Površinske vode

6. Jelena Čanak Atlagić, Ana Marić, Jelena Đuknić, Maja Raković, Jelena Tomović, Momir Paunović, Predrag Simonović (Beograd)
SELEKTIVNO PONAŠANJE U ISHRANI POTOČNE PASTRMKE (*Salmo cf. trutta*) NA TRI STANIŠTA SA RAZLIČITOM KOLIČINOM AKVATIČNOG I TERESTRIČNOG PLENA 51
7. Margareta Kračun-Kolarević, Jovana Jovanović-Marić, Marija Ilić, Stefan Anđus, Momir Paunović, Stoimir Kolarević (Beograd)
ANALIZA MIKROBIOLOŠKIH PARAMETARA KVALITETA VODE NA PODRUČJU SPECIJALNOG REZERVATA PRIRODE „UVAC“ 57
8. Ivana Mijić Oljačić, Sonja Pogrmić, Nemanja Pankov, Aleksandar Bajić, Tamara Jurca, Branko Miljanović (Novi Sad)
EKOLOŠKI POTENCIJAL KANALA DTD 61
9. Snežana Čađo, Aleksandra Đurković, Boris Novaković, Nena Jelača, Tatjana Dopuđa Glišić, Nikola Paskaš, Tamara Važić, Zoran Stojanović (Beograd)
EKOLOŠKE KARAKTERISTIKE I RASPROSTRANJENJE SILIKATNE ALGE *ELLERBECKIA ARENARIA* (RALFS) DOROFEYUK & KULIKOVSKIY NA PODRUČJU SRBIJE 69

VI

10. Jelena Vranković, Katarina Jovičić, Vesna Đikanović (Beograd) VARIJABILNOST DVA ANTIOKSIDATIVNA ENZIMA U ŠKRGAMA BODORKE (<i>RUTILUS RUTILUS</i>) U ZAVISNOSTI OD USLOVA ŽIVOTNE SREDINE	79
11. Nataša Popović, Jelena Đuknić, Maja Raković, Jelena Stanković, Bojana Tubić, Božica Vasiljević, Momir Paunović (Beograd) MAKROBESKIČMENJACI KAO INDIKATORI KVALITETA VODE U VEŠTAČKIM VODNIM TELIMA BEOGRADSKOG REGIONA	83
12. Bojana Tubić, Ana Atanacković, Katarina Zorić, Nataša Popović, Nikola Marinković, Momir Paunović, Stefan Anđus (Beograd) PRELIMINARNA OCENA EKOLOŠKOG STATUSA REKE ZLOŠNICE NA OSNOVU VODENIH MAKROBESKIČMENJAKA	91
13. Dušan Nikolić, Mira Stanković, Gorčin Cvijanović, Miroslav Nikčević, Ksenija Radotić (Beograd) ISPITIVANJE SADRŽAJA POTENCIJALNO TOKSIČNIH ELEMENATA I ORGANSKIH JEDINJENJA U UZORKU VODE IZ REKE PEK (UJEVAC, SRBIJA)	97
14. Dejan Dmitrović, Marija Marin, Dino Burzić, Natalija Đurić, Aleksandra Stanišljević, Blagoje Todorović, Goran Šukalo (Banja Luka – R.Srpska-BiH) PRILOG POZNAVANJU MAKROZOOBENTOSA TEKUĆICA BOSNE I HERCEGOVINE - FAUNISTIČKA I EKOLOŠKA STUDIJA	103
15. Siniša Škondrić (Banja Luka – R.Srpska-BiH) BRIOFLORA RIJEKE KRUPICE (REPUBLIKA SRPSKA)	111
16. Vladanka Presburger Ulniković, Violeta Cibulić, Lidija Stamenković (Beograd, Vranje) UPOREDNA ANALIZA KVALITETA ZAPADNE I JUŽNE MORAVE	119
17. Nikola Grujić, Branko Miljanović, Tamara Jurca, Aleksandar Bajić (Novi Sad) DINAMIKA ODABRANIH FIZIČKO-HEMIJSKIH KARAKTERISTIKA SREDNJEG TOKA REKE IBAR	125
18. Nikola Grujić, Branko Miljanović, Tamara Jurca, Aleksandar Bajić (Beograd) STRUKTURA FAUNE PIJAVICA (HIRUDINEA) SREDNJEG TOKA REKE IBAR U JESENJEM PERIODU	135
19. Melisa Numanović, Branko Miljanović, Nemanja Pankov, Branko Ristanović (Novi Sad) STRUKTURA I FUNKCIJA ZAJEDNICE MAKROZOOBENTOSA ČUKOTSKE REKE (JUGOZAPADNA SRBIJA, PEŠTERSKA VISORAVAN)	143
20. Melisa Numanović, Branko Miljanović, Katarina Stojanović (Novi Sad, Beograd) NOVI ROD ZA SRBIJU <i>Metreletus balcanicus</i> (Ulmer, 1920)	151
21. Dušan Nikolić, Stefan Skorić (Beograd) SEZONSKA VARIJABILNOST POKAZATELJA KVALITETA VODE AKUMULACIJE MEĐUVRŠJE	153
22. Goran Marković (Čačak) EKSPANZIJA ALOHTONIH VRSTA RIBA U SLIVU ZAPADNE MORAVE	159
23. Marijana Vasić, Katarina Ivić, Biljana Šmit, Goran Gavrilović, Ivan Bogdanović, Slavica Čirić, Ivana Radojević (Kruševac, Kragujevac, Lešak) KOMPARATIVNA ANALIZA KVALITETA SIROVE VODE IZ JEZERA ČELIJE U IZABRANIM MESECIMA 2019. I 2020. GODINE	165

24. Miloš Čirić, Jelena Krizmanić, Bojan Gavrilović, Biljana Dojčinović, Danijela Vidaković (Beograd) PROCENA EKOLOŠKOG STATUSA SLANIH JEZERA NA OSNOVU BENTOSNIH SILIKATNIH ALGI	175
25. Trajče Talevski, B. Trajčeski (Ohrid – Republika Severna Makedonija) UTICAJ ALOHTONIH VRSTA RIBA NA AUTOHTONU IHTIOFAUNU PRESPANSKOG JEZERA	183
26. Marina Talevska, Sonja Trajanovska (Ohrid – Republika Severna Makedonija) RESEARCH ON THE SUBMERGED MACROPHYTES IN LOCALITIES STENJE AND KRANI FROM GREAT PRESPI LAKE	193

2.2. Podzemne vode i vode u karstu

27. Tanja Petrović Pantić, Katarina Atanasković Samolov, Milan Tomić, Dragutin Kostić, Saša Petrović (Beograd) HEMIJSKI SASTAV PODZEMNIH VODA NA PODRUČJU NP FRUŠKA GORA	201
28. Sanja Mrazovac Kurilić, Violeta Cibulić (Beograd) PODZEMNE VODE U VOJVODINI I NJIHOVA OSNOVNA OBELEŽJA	209
29. Ljiljana Grujičić-Tešić (Ruma) TERMOMINERALNI IZVORI ČEDOVO - OBJEKAT HIDROGEOLOŠKOG GEONASLEĐA	215

2.3. Priobalne vode Jadranskog mora

30. Jovo Žmukić (Kotor – Crna Gora) DINAMIKA FIZIČKO-HEMIJSKIH PARAMETARA I HLOROFILA a U BOKOKOTORSKOM ZALIVU	221
31. Milena Radmirović, Bojan Tanaskovski, Nevenka Mijatović, Chiarra Cantaluppi, Federica Ceccotto, Lato Pezo, Slavka Stanković (Beograd, Padova-Italija) TREND ZAGAĐENJA POVRŠINSKOG SEDIMENTA I PRAĆENJE EKOLOŠKOG RIZIKA U BOKOKOTORSKOM ZALIVU TOKOM DVE POSLEDNJE DEцениJE	227
32. Milena Radmirović, Bojan Tanaskovski, Nevenka Mijatović, Milica Vasić, Chiarra Cantaluppi, Lato Pezo, Slavka Stanković (Beograd, Padova-Italija) UPOREDNA STATISTIČKA ANALIZA ZAGAĐENJA POVRŠINSKOG SEDIMENTA IZ PRIOBALNIH I CENTRALNIH DELOVA BOKOKOTORSKOG ZALIVA ZA PERIOD OD 2005. DO 2019. GODINE	237
33. Ines Peraš, Slađana Nikolić, Milica Mandić (Kotor – Crna Gora) ANALIZA DIVERZITETA I ABUNDANCE OBRAŠTAJNIH VRSTA NA EKSPERIMENTALNIM POLIETILENSKIM KOLEKTORIMA SA RAZLIČITIM PERIODOM IMERZIJE (JUGOISTOČNI JADRAN)	247
34. Vera Vukanić, Miodrag Malović (Kosovska Mitrovica, Beograd) NOVI PODACI O COPEPODAMA U KOTORSKOM ZALIVU (BOKA KOTORSKA, JADRAN)	255

2.4. Sedimenti

35. Dejan Krčmar, Vesna Pešić, Radivoje Tomić, Snežana Maletić, Jelena Spasojević, Dragana Tomašević Pilipović (Novi Sad)
KVALITET VODE I SEDIMENTA DETALJNE KANALSKE MREŽE U GORNJEM DELU
SLIVA TISE261
36. Neda Bošković, Željko Jaćimović (Podgorica – Crna Gora)
PRVA PROCJENA PRISUSTVA PLASTIKE U OBALNOM SEDIMENTU RIJEKE ZETE267
37. Đorđe Pejin, Dejan Krčmar, Slaven Tenodi, Dunja Rađenović, Dragana Tomašević Pilipović (Novi Sad)
PROCENA UTICAJA ZAGAĐENJA SEDIMENTA TEŠKIM METALIMA U VELIKOM
BAČKOM KANALU275

3. TEMATSKA GRUPA: SAKUPLJANJE I PREČIŠĆAVANJE OTPADNH VODA

38. Ivan Milojković, Dragutin Pavlović, Dušan Prodanović (Beograd)
UTICAJ SAVREMENIH SISTEMA KONTROLE OTICAJA NA KANALISANJE NASELJA281
39. Snežana Branković, Radmila Glišić, Filip Grbović, Gorica Đelić, Zoran Simić, Vera Rajičić, Ranko Sarić (Kragujevac, Niš, Pančevo)
BIOAKUMULACIONI POTENCIJAL ZA METALE ODABRANIH BILJNIH VRSTA U
BAZENU DRENAŽNIH VODA RUDNIKA I FLOTACIJE RUDNIKA (RUDNIK, SRBIJA)291
40. Dragana Milošević, Branislava Borota, Boris Fejzulahi, Bojana Vujović (Novi Sad, Niš)
DIVERZITET CILIJATA NA PPOV RUMENKA, KOVILJ I STEPANOVIĆEVO U 2022.
GODINI299
41. Dragana Milošević, Branislava Borota, Boris Fejzulahi, Bojana Vujović (Novi Sad, Niš)
DOMINANTNO PRISUTNE FILAMENTOZNE BAKTERIJE NA PPOV RUMENKA U
PERIODU OD AVGUSTA 2022. GODINE DO FEBRUARA 2023. GODINE305

PREDGOVOR

Nastavljajući dugogodišnju tradiciju, Srpsko društvo za zaštitu voda – SDZV organizuje pedeset i drugu po redu godišnju konferenciju o aktuelnim temama zaštite vodnih resursa od zagađenja u cilju njihovog efikasnog i održivog korišćenja. Održavanje konferencije su pomogli Ministarstvo nauke, tehnološkog razvoja i inovacija Republike Srbije i Inženjerska komore Srbije. Zbornik radova konferencije "VODA 2023" sadrži ukupno 41 rad koje je Programski odbor nakon pregleda prihvatio za izlaganje na Konferenciji i štampanje u Zborniku radova. Najveći broj autora radova je iz Srbije a zastupljeni su i radovi autora iz regiona. Radovi su grupisani po sledećim tematskim grupama:

1. VODOPRIVREDNI, EKOLOŠKI, I ORGANIZACIONI ASPEKTI KORIŠĆENJA I ZAŠTITE VODA
2. KVALITET VODA I PROCESI U PRIRODNIM VODAMA
 - 2.1. Površinske vode
 - 2.2. Podzemne vode i vode u karstu
 - 2.3. Priobalne vode Jadranskog mora
 - 2.4. Sedimenti
3. SAKUPLJANJE I PREČIŠĆAVANJE OTPADNH VODA

Po ustaljenom običaju SDZV, autori su se sami opredeljivali za teme o kojoj će pisati tako da radovi u ovom Zborniku na neki način odslikavaju trenutno stanje i fokus istraživanja u oblastima korišćenja i zaštite voda od zagađenja u Srbiji i regionu. Od aktuelnih tema koje su našle svoje mesto u radovima ovog Zbornika posebno ističemo problematiku zakonske regulative iz oblasti sakupljanje i prečišćavanje otpadnih voda, hidroloških analiza, aktuelnu problematiku kvaliteta voda i sedimenata, savremene saszanja o procesima prečišćavanja otpadnih voda i eksploataciju izvorišta. Struktura stručnih profila autora je, kao i uvek, raznolika, što odgovara posebnoj težnji SDZV da se problemi zaštite voda posmatraju multidisciplinarno, čime se doprinosi poboljšanju sagledavanja i rešavanja problema.

SDZV zahvaljuje ovim putem preduzećima i institucijama koje su pomogle održavanje ove Konferencije, članovima Programskog i Organizacionog odbora kao i autorima radova na uloženom trudu i njihovom stvaralačkom radu u pripremi radova.

Nadamo se i želimo da ovogodišnja Konferencija bude plodonosna i da se svi učesnici vrate u svoju sredinu obogaćeni novim saznanjima i kolegijalnim poznanstvima.

ISPITIVANJE SADRŽAJA POTENCIJALNO TOKSIČNIH ELEMENATA I ORGANSKIH JEDINJENJA U UZORKU VODE IZ REKE PEK (UJEVAC, SRBIJA)

Dušan Nikolić, Mira Stanković, Gorčin Cvijanović,
Miroslav Nikčević, Ksenija Radotić

*Univerzitet u Beogradu - Institut za multidisciplinarna istraživanja, Kneza
Višeslava 1, 11030 Beograd; e-mail: dusan@imsi.rs*

REZIME

Uzorci vode iz reke Pek uzeti su u proleće 2022. godine. Analiza potencijalno toksičnih elemenata (Hg, As, Zn, Cd, Pb, Ni, Fe, B, Cr, Mn i Cu) izvršena je pomoću optičke emisijske spektroskopije sa induktivno spregnutom plazmom (ICP-OES), a aromatičnih ugljovodonika, policikličnih aromatičnih ugljovodonika i fenola gasnim hromatografom sa masenom spektrometrijom (GC-MS). Koncentracije Mn prelazile su MDK vrednosti propisane za vodu. Od organskih jedinjenja, detektovani su samo fluoranten, naftalen i fenantren. Fluorescentna spektroskopija korišćena je za skrining vode na prisustvo aromatičnih jedinjenja. Dobijeni rezultati pokazali su da se ova metoda može koristiti kao brzi alat za skrining kvaliteta vode.

KLJUČNE REČI: teški metali, aromatični ugljovodonici, policiklični aromatični ugljovodonici, fenoli, kvalitet vode.

INVESTIGATION ON THE CONTENT OF POTENTIALLY TOXIC ELEMENTS AND ORGANIC COMPOUNDS IN THE WATER SAMPLE FROM THE PEK RIVER (UJEVAC, SERBIA)

ABSTRACT

Water samples from the Pek river were collected in the spring 2022. Analysis of potentially toxic elements (Hg, As, Zn, Cd, Pb, Ni, Fe, B, Cr, Mn, and Cu) was performed using inductively-coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES), and aromatic hydrocarbons, polycyclic aromatic hydrocarbons, and phenol by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). Mn concentrations exceeded the MAC values prescribed for water. Of organic compounds, only fluoranthene, naphthalene, and phenanthrene were detected. Fluorescence spectroscopy was used for water screening on presence of aromatic compounds. The results indicated that this method could be used as a fast screening tool for water quality analysis.

KEY WORDS: heavy metals, aromatic hydrocarbons, polycyclic aromatic hydrocarbons, phenols, water quality.

UVOD

Proučavanje ekoloških rizika nastalih usled zagađenja reka predstavlja veoma složen zadatak, jer obično zahteva praćenje mešavine većeg broja potencijalno toksičnih zagađivača. Različiti delovi reke su pod različitim ekološkim rizikom usled razlaganja i/ili imobilizacije polutanata koji se u njih ispuštaju, a zavisno od osobina polutanata (Smolders i sar., 2003).

Poreklo toksičnih metala u rekama je raznovrsno, od geološke podloge do otpadnih voda iz industrije, naselja i poljoprivrede. Rudarske aktivnosti se izdvajaju kao jedan od najvažnijih faktora zagađenja rečnih slivova (Petrović i Marković, 2015). S druge strane, organski zagađivači imaju antropogeno poreklo. Određivanje koncentracija toksičnih elemenata i jedinjenja u vodi ima važnu ulogu u razmatranju njihove biodostupnosti.

Reka Pek predstavlja desnu pritoku Dunava, nalazi se u istočnoj Srbiji, najstaje od reka Mali Pek i Veliki Pek i ima dužinu od 129 km (Petrović i Marković, 2015; Čanak Atlagić i sar., 2021). Prema Uredbi o kategorizaciji vodotoka (Službeni glasnik SRS, 1968), reka Pek spada u III klasu voda, dok Petrović i Marković (2015) navode da kvalitet vode ove reke značajno zavisi i od mesta uzorkovanja. Pek prima otpadne vode rudnika bakra Majdanpek (RBM), fabrike bakarnih cevi Majdanpek i kamenoloma „Kaona“ kod Kučeva (Šerbula i sar., 2014a; Petrović i Marković, 2015; Čanak Atlagić i sar., 2021). U otpadnim vodama RBM pronađene su koncentracije teških metala (Cu, Fe, Pb, Mn, Zn, Cd) i suspendovanih čestica koje su prelazile granične vrednosti propisane zakonom (Šerbula i sar., 2014a; Šerbula i sar., 2014b; Petrović i Marković, 2015). Utvrđeno je da je sediment reke Pek pod izuzetno velikom kontaminacijom bakrom (Sakan i sar., 2015).

Cilj ovog istraživanja bila je analiza koncentracija 11 elemenata (Hg, As, Zn, Cd, Pb, Ni, Fe, B, Cr, Mn i Cu), aromatičnih ugljovodonika (benzen, etilbenzen, toluen, ksilen), policikličnih aromatičnih ugljovodonika - PAH (acenaften, acenaftilen, antracen, benzo(a)antracen, benzo(b)fluoranten, benzo(k)fluoranten, benzo(g,h,i)pirelin, benzo(a)piren, krizen, dibenz(a,h)antracen, fluoranten, fluoren, indeno(1,2,3-c,d)piren, naftalen, fenantren, piren) i fenola (2-hlorofenol, 3-metilfenol, 3+4 metilfenol, 2,4-dimetilfenol, 2-nitrofenol, 2,4-dihlorofenol, 2,4,5-trihlorofenol, 2,4,6-trihlorofenol, 4-nitrofenol, 2,3,4,6-tetrahlchlorofenol, 2,4-dinitrofenol, 2-metil-4,6-dinitrofenol). Dobljene vrednosti upoređene su sa maksimalno dozvoljenim koncentracijama (MDK) propisanim zakonom. Takođe, ispitan je potencijal metode fluorescentne spektroskopije kao alata za brz skrining kvaliteta vode.

MATERIJAL I METODE

Uzorkovanje i priprema uzoraka

Uzorci vode prikupljeni su u martu 2022. godine na tri profila reke Pek kod mesta Ujevac (44.415014 N, 21.873378 E). Za analizu koncentracije elemenata uzorci vode prikupljeni su

u sterilnim polietilenskim bocama zapremine 50 ml, filtrirani su dva puta kroz 0,40 µm membrane, čuvani u mraku na 4 °C i fiksirani upotrebom 0,1 ml 65% HNO₃. Uzorci vode za analizu organskih zagađivača prikupljeni su u sterilnim bocama zapremine 250 ml i čuvani na temperaturi od -20 °C do analize.

Analiza elemenata

Optička emisiona spektroskopija sa induktivno spregnutom plazmom (ICP-OES, Spectro Genesis EOP II, Spectro Analytical Instruments DmbH, Germany) korišćena je za analizu elemenata. Procenjene su koncentracije 11 elemenata sa sledećim talasnim dužinama (λ, nm): Hg 184.950, As 189.042, Zn 213.856, Cd 214.438, Pb 220.353, Ni 231.604, Fe 238.204, B 249.773, Cr 267.716, Mn 294.921 i Cu 324.754. Izmerene koncentracije bile su između 90 i 115% sertifikovanih vrednosti za sve elemente.

Koncentracije analiziranih elemenata izražene su u µg/ml. Dobijene koncentracije upoređene su sa propisanim maksimalno dozvoljenim koncentracijama za klasu III kvaliteta površinskih voda prema nacionalnoj regulativi RS (Službeni glasnik RS, 2012) i to: As 50 µg/l, Zn 2000 µg/l, Fe 1000 µg/l, B 1000 µg/l, Cr 100 µg/l, Mn 300 µg/l i Cu 500 µg/l.

Analiza organskih jedinjenja

Sve analize su vršene pomoću gasnog hromatografskog sistema – GC Trace 1300, a detekcije upotrebom masenih detektora Triplequadropol – MS TSQ 9000 (aromatični ugljovodoni i PAH-ovi) i Single quadropol – MS ISQ 7000 (fenoli).

Aromatični ugljovodoni su ekstrahovani pentanom, a određivanje njihovog sadržaja u vodi obavljano je se u skladu sa metodom baziranoj na ISO 11423 Water quality - Determination of benzene and some derivatives - Part 2: Method using extraction and gas chromatography.

PAH-ovi su ekstrahovani heksanom, a određivanje njihovog sadržaja u vodi obavljano je se u skladu sa metodom baziranoj na EPA 8270d; Thermo AN 52389 Consolidated-GC-MS-MS-Analysis-of-OCPs-PAHs-and-PCBs-in-Environmental-Samples, Method 270d, Semivolatile organic compounds by gas chromatography/mass spectrometry, i Method 8510c – Separatory funnel Liquid-Liquid extraction.

Fenoli su ekstrahovani metilen-hloridom, a određivanje njihovog sadržaja u vodi obavljano je se u skladu sa metodom baziranoj na EPA 8270d Semivolatile organic compounds by gas chromatography/mass spectrometry i EPA Method 3510 – Separatory funnel Liquid-Liquid extraction.

Prema nacionalnoj regulativi RS (Službeni glasnik RS, 2012), za klasu III kvaliteta površinskih voda MDK vrednost za fenolna jedinjenja iznosi 20 µg/l, dok za naftne ugljovodonike nema propisanih MDK vrednosti.

Analiza fluorescentnih spektara

Fluorescentni spektri su snimljeni korišćenjem spektrofluorimetra Fluorolog FL3-221 (Jobin Ivon Horiba, Pariz, Francuska) opremljenog ksenonskom lampom od 450 V i fotomultiplikatorom. Prorezi (slitovi) za ekscitacione i emisijske zrake su fiksirani na 4 nm i 2 nm, respektivno. Uzorci su smešteni u kvarnu kivetu optičkog puta 10 mm. Uzorak vode iz reke Pek upoređen je sa uzorkom destilovane vode i vodom iz beogradskog vodovoda.

REZULTATI I DISKUSIJA

Koncentracije As, Zn, Cd, Pb, Ni i B bile su ispod praga detekcije, dok su najveće koncentracije zabeležene za Mn (Tabela 1). Koncentracije Mn prelazile su MDK vrednosti propisane za vodu. Toksičnost Mn primarno se odražava na respiratorni i centralni nervni sistem, a zabeleženi su toksični efekti kardiovaskularnog i reproduktivnog sistema, jetre, kao i negativan uticaj na razviće fetusa (Crossgrove i Zheng, 2004).

Tabela 1. Koncentracije elemenata u uzorku vode ($\mu\text{g/l}$) iz reke Pek.
Table 1. Elemental concentrations in water sample ($\mu\text{g/l}$) from Pek river.

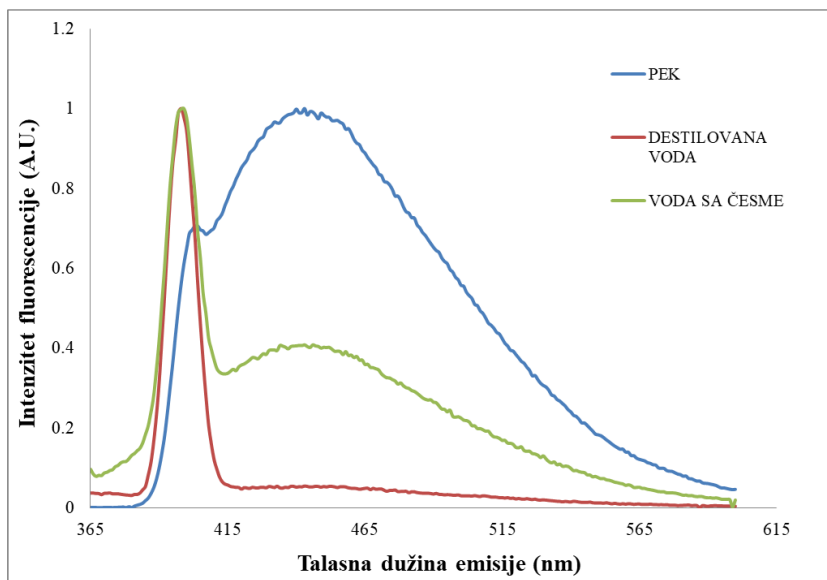
Koncentracija ($\mu\text{g/l}$)	Hg	Fe	Cr	Mn	Cu
Srednja vrednost + SD	5,91 \pm 1,49	69,20 \pm 0,96	188,32 \pm 0,36	811,95 \pm 7,24	12 \pm 1,41

Svi analizirani aromatični ugljovodonici i fenoli bili su ispod nivoa detekcije. Od 16 analiziranih PAH-ova, detektovani su fluoranten (0,06 $\mu\text{g/l}$), naftalen (0,11 $\mu\text{g/l}$) i fenantren (0,10 $\mu\text{g/l}$). Ova jedinjenja, označena kao potencijalno toksična, negativno utiču na rast i razvoj vodenih organizama (Albarano i sar., 2022). Koncentracija PAH-ova u vodi u pozitivnoj je korelaciji sa njihovom koncentracijom u sedimentu. Iako rastvorljivost ovih jedinjenja u vodi nije velika, njihova koncentracija u vodenom stubu ostaje stabilna tokom vremena što negativno utiče na živi svet. Vreme poluraspada PAH-ova male molekulske težine (npr. fluoren, fenantren, naftalen) kreće se između tri i osam dana (Albarano i sar., 2022).

Evropska okvirna direktiva o vodama 2000/60/EC razvijena je sa ciljem da se postigne i osigura dobar ekološki i hemijski status otvorenih voda tako što se od država članica očekuje da postepeno smanje emisiju i ispuštanje opasnih materija. Novom Direktivom (2013/39/EU) ažurirana je lista zagađivača koji će se pratiti u cilju identifikacije veliki broj hemikalija koje izazivaju zabrinutost. Tu spadaju i nepolarne organske supstance (npr. PAH-ovi i polihlorovani bifenili - PCB), kao i polarna jedinjenja (npr. pesticidi i farmaceutski proizvodi).

Fluorescentni spektri vode iz reke Pek i iz vode beogradskog vodovoda su pokazali širok maksimum na oko 450 nm (Slika 1), koji može da potiče od nekog od aromatičnih jedinjenja koja sadrže fenolni prsten, kao što su detektovani u vodi Peka fluoranten, naftalen i fenantren. Ova jedinjenja, koja su i u veoma malim količinama toksična i kancerogena (Žamojć et al. 2013), nisu prešla kritične koncentracije u Peku, ali su veoma fluorescentna, pa se zato mogu detektovati i u malim količinama fluorescentnom

spektroskopijom. Iako emisijski spektri ne ukazuju precizno na hemijski sastav analiziranih uzoraka, rezultati pokazuju da se ova metoda može upotrebiti kao relativno brz, jednostavan i jeftin način za utvrđivanje razlika u sastavu i kvalitetu vode.



Slika 1. Fluorescentni spektri vode iz reke Pek, destilovane vode i vode sa česme.
Figure 1. Fluorescence spectra of water from Pek river, distilled water, and tap water.

U cilju sprečavanja daljeg zagađivanja reke Pek, kao i poboljšanja njenog postojećeg stanja, Petrović i Marković (2015) navode da je potrebno ispitati uticaj i drugih izvora zagađenja (komunalna i industrijska) na kvalitet reke Pek. Takođe, navode da bi primena koagulanata u taložnicima za gravitaciono prečišćavanje i jonskog izmenjivača smanjila štetne efekte otpadnih voda postrojenja za filtriranje otpadnih voda iz rudnika bakra i gubitak koncentrata bakra. Razvoj komunalne infrastrukture u naseljima sliva reke Pek, uključujući izgradnju sanitarnih deponija i sistema za prečišćavanje otpadnih voda je takođe neophodno (Petrović i Marković, 2015).

ZAKLJUČAK

Više od polovine potencijalno toksičnih elemenata bilo je ispod praga detekcije u uzorku vode iz reke Pek. S druge strane, koncentracije Mn prelazile su MDK vrednosti propisane za vodu. Od 32 organska jedinjenja analiziranih u ovom radu, samo je tri detektovano u uzorku vode iz reke Pek. Upotreba metode fluorescentne spektroskopije kao indikatora kvaliteta vode pokazala se jako korisnom, ukazujući na različit hemijski sastav vode iz reke Pek, destilovane vode i vode sa česme. Ova brza, jednostavna i jeftina metoda može poslužiti kao sistem ranog upozoravanja na zagađenje u otvorenim vodama.

Zahvalnica:

Istraživanje je podržano od Ministarstva nauke, tehnološkog razvoja i inovacija Republike Srbije (br.ugovora 451-03-47/2023-01/200053).

LITERATURA

- Albarano, L., Serafini, S., Toscanesi, M., Trifuoggi, M., Zupo, V., Costantini, M., Vignati, D. A., Guida, M., Libralato, G., Genotoxicity Set Up in *Artemia franciscana* Nauplii and Adults Exposed to Phenanthrene, Naphthalene, Fluoranthene, and Benzo (k) fluoranthene. *Water* 14(10) (2022) 1594.
- Crossgrove, J., Zheng, W., Manganese toxicity upon overexposure. *NMR in Biomedicine* 17(8) (2004) 544-553.
- Čanak Atlagić, J., Andus, S., Đuknić, J., Milivojević, A., Kulić, K., Pokrajac, J., Tubić, B., Paunović, M., Assessment of the impact of copper mining and related industrial activities on aquatic macroinvertebrate communities of the Pek River (Serbia). *Archives of Biological Sciences* 73(2) (2021) 291-301.
- Petrović, N. V., Marković D. P., Assessment of water quality of the Pek River based on physicochemical analysis. *Archives for Technical Sciences* 1(13) (2015) 59-66.
- Smolders, A. J. P., Lock, R. A. C., Van der Velde, G., Medina Hoyos, R. I., Roelofs, J. G. M., Effects of mining activities on heavy metal concentrations in water, sediment, and macroinvertebrates in different reaches of the Pilcomayo River, South America. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 44 (2003) 0314-0323.
- Sakan, S., Dević, G., Relić, D., Anđelković, I., Sakan, N., Đorđević, D., Risk assessment of trace element contamination in river sediments in Serbia using pollution indices and statistical methods: a pilot study. *Environmental Earth Sciences*, 73 (2015) 6625-6638.
- Službeni glasnik SRS No. 5/68, (1968). Uredba o kategorizaciji vodotoka. Preuzeto iz <https://www.pravno-informacioni-sistem.rs/SlGlasnikPortal/eli/rep/sgsrs/vlada/uredba/1968/5/1/reg>
- 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%20granicnim%20vrednostima%20zagadjujucih%20materija%20u%20povrsinskim%20i%20podzemnim%20vodama%20i%20sedimentu%20i%20rokovima%20za%20njihovo%20dostizanje.pdf>
- Šerbula, S., Ristić, A., Manasijević, S., Dolić, N., Heavy metal ions in the wastewater of the Majdanpek copper mine. *Zaštita materijala*, 56(1) (2014) 52-58.
- Šerbula, S., Ristić, A., Manasijević, S., Dolić, N., Davitkov, N., pH vrednosti i koncentracije ukupnog svog ostatka i suspendovanih materija u otpadnim vodama rudnika bakra Majdanpek. *Zaštita materijala*, 55(3) (2014b) 327-334.
- Žamojć, K., Jacewicz, D., Chmurzyński, L., Quenching of Fluorescence of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons by 4-OH-TEMPO, *Analytical Letters*, 46(2) (2013) 349-355