

**SRPSKO DRUŠTVO ZA ZAŠTITU VODA**

53. konferencija o aktuelnim temama korišćenja i zaštite voda

# VODA 2024

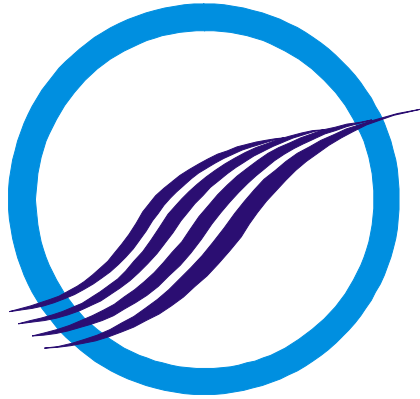
*The 53<sup>rd</sup> Annual Conference of the Serbian Water Pollution Control Society*

**WATER 2024**

*Conference Proceedings*



Palić, 27. – 29. maj 2024.



[www.sdzv.org.rs](http://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, Budimpešta-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

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

### RECENZENTI (*Reviewers*):

Dr Zorana NAUNOVIĆ, dipl.inž.tehnol, Univerzitet u Beogradu – Građevinski fakultet  
Dr Aleksandar ĐUKIĆ, dipl. građ.inž, Univerzitet u Beogradu – Građevinski fakultet  
Dr Aleksandar JOKSIMOVIĆ, dipl.biol, Univerzitet Crne Gore, Kotor-Crna Gora  
Dr Božica VASILJEVIĆ, dipl.biol, Univerzitet u Beogradu – Institut za biološka istraživanja „Siniša Stanković“  
Dr Maja RAKOVIĆ, dipl.biol, Univerzitet u Beogradu – Institut za biološka istraživanja „Siniša Stanković“

*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, 2024

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 (53 ; 2024 ; Палић)**

Voda 2024 : zbornik radova 53. godišnje konferencije o aktuelnim problemima korišćenja i zaštite voda = Water 2024 : conference proceedings 53rd Annual Conference of the Serbian Water Pollution Control Society, Palić, 27-29. maj 2024. / [urednik, editor Aleksandar Đukić]. - Beograd : Srpsko društvo za zaštitu voda, 2024 (Zemun : Akademska izdanja). - X, 372 str. : ilustr. ; 24 cm

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

ISBN 978-86-82674-01-6

a) Воде -- Зборници б) Отпадне воде -- Зборници в) Снабдевање водом -- Зборници

COBISS.SR-ID 145168649

**SRPSKO DRUŠTVO ZA ZAŠTITU VODA**

**ZBORNİK RADOVA**

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

# **VODA 2024**

*53<sup>RD</sup> ANNUAL CONFERENCE OF THE  
SERBIAN WATER POLLUTION CONTROL SOCIETY  
"WATER 2024"  
CONFERENCE PROCEEDINGS*

**Palić, 27. – 29. maj 2024.**



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

ODRŽAVANJE KONFERENCIJE SU POMOGLI (*SPONSORED BY*):

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

Slika na koricama: jezero Palić (fotografija A.Đukić)

## S A D R Ź A J C O N T E N T S

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

1. O.Govedarica, B.Lekić, V.Rajaković-Ognjanović, A.Radević, D.Zakić  
UNAPREĐENJE ODRŽIVE GRADNJE KROZ KONCEPT NULTOG OTPADA ZA  
ZAŠTITU GRADOVA OD KIŠNIH POPLAVA ..... 1
2. I.Krtolica  
PRIMENA METODE VEŠTAČKE INTELIGENCIJE U PROCENI KVALITETA  
POVRŠINSKIH VODA ..... 9
3. O.Govedarica, A.Đukić, V.Rajaković-Ognjanović  
PROCENA KOEFICIJENATA OPTEREĆENJA ZAGAĐENJEM POVRŠINSKOG OTICAJA  
SA RURALNIH POVRŠINA ..... 15
4. V.Đukić, R.Kovačević, D.Pavlović  
POREĐENJE VLAŽNOSTI ZEMLJIŠTA DOBIJENE SATELITSKIM OSMATRANJIMA I  
PRIMENOM HIDROLOŠKOG MODELA NA PRIMERU SLIVA REKE JIČINKE U  
ČEŠKOJ REPUBLICI ..... 23
5. S.Ketin, B.Kostić  
KONTROLA KVALITETA ZEMLJIŠTA U URBANIM SREDINAMA ..... 37

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

#### 2.1. Površinske vode

6. S.Čađo, N.Jelača, T.Važić, T.Dopuđa-Glišić, Z.Stojanović  
FITOPLANKTON REKE DUNAV NA GRANIČNOM LOKALITETU BEZDAN ..... 49
7. K.Jovičić, J.Vranković, V.Đikanović  
ZDRAVSTVENI ASPEKT DVE KOMERCIJALNE VRSTE RIBA BEOGRADSKOG  
SEKTORA DUNAVA ..... 59
8. M.Raković, N.Popović, B.Tubić, J.Đuknić, M.Paunović, S.Jarić, U.Živković  
UTICAJ ALOHTONE VODENE VEGETACIJE NA FAUNU MAKROBESKIČMENJAKA  
KANALSKE MREŽE LEVE OBALE DUNAVA ..... 65
9. J.Stanković, P.Simonović\*\*, Vera Nikolić\*\*, Ana Marić\*\*, Nikola Marinković\*,  
Tamara Mitić\*, Jelena Čanak Atlagić  
IHTIOFAUNA DUNAVA NIZVODNO OD BRANE HE „ĐERDAP 2“ U SRBIJI ..... 77
10. J.Tomović, J.Čanak Atlagić, S.Andus, B.Tubić, B.Vasiljević, M.Paunović, M.Raković  
KVALITET VODE DUNAVA NA OSNOVU ZAJEDNICA AKVATIČNIH  
MAKROBESKIČMENJAKA NA PODRUČJU PANČEVAČKE ADE ..... 83
11. Lj.Takić, I.Mladenović-Ranisavljević, N.Živković, V.Stefanović  
EKOLOŠKI STATUS DUNAVA U SRBIJI U FUNKCIJI KISEONIČNOG REŽIMA ..... 91

## VI

---

12. A.Bajić, N.Pankov, S.Pogrmić, I.Mijić Oljačić, D.Kostić, Z.Njenjić, B.Miljanović CRNI AMUR ( <i>MYLOPHARYNGODON PICEUS</i> ), NOVA ALOHTONA VRSTA RIBE U SRBIJI, INVAZIVNOST I POTENCIJALNI PROBLEMI .....	97
13. S.Simić, K.Markeljić, P.Simović, V.Simić PRELIMINARNA PROCENA EKOLOŠKOG STATUSA REKA RZAV, BELI RZAV I CRNI RZAV (BOSNA I HERCEGOVINA).....	103
14. B.Miljanović, I.Mijić Oljačić, A.Bajić, S.Pogrmić, N.Pankov, T.Jurca VIŠEGODIŠNJE PROMENE HIDROBIOLOŠKIH PARAMETARA PARKA PRIRODE "TIKVARA" .....	111
15. N.Grujić, B.Miljanović OCENA EKOLOŠKOG STATUSA SREDNJEG TOKA REKE IBAR .....	119
16. N.Grujić, B.Miljanović ODNOSI FUNKCIONALNIH HRANIDBENIH GRUPA MAKROZOOBENTOSA KAO POKAZATELJI EKOSISTEMSKIH OSOBENOSTI SREDNJEG TOKA REKE IBAR .....	129
17. B.Tubić, N.Popović, A.Atanacković, K.Zorić, J.Tomović, M.Paunović, N.Marinković DIVERZITET VODENIH MAKROBESKIČMENJAKA REKE RIBNICE (SLIV KOLUBARE) .....	137
18. O.Jakovljević, D.Predojević EKOLOŠKI STATUS LUDAŠKOG JEZERA NA OSNOVU ZAJEDNICE SILIKATNIH ALGI .....	143
19. V.Đikanović, J.Vranjković, K.Jovičić, K.Zorić, N.Pankov, B.Miljanović ZAJEDNICA RIBA BELOCRKVANSKIH JEZERA .....	149
20. S.Skorić, D.Nikolić KONCENTRACIJE PESTICIDA I PCB-A U TRI CIPRINIDNE VRSTE RIBA SA AKUMULACIJE MEĐUVRŠJE .....	155
21. T.Talevski, B.Trajčeski BIODIVERZITET IHTIOFAUNE VELIKIH PRIRODNIH MAKEDONSKIH JEZERA (PREPANSKO, OHRIDSKO I DOJRANSKO JEZERO) SA POSEBNIM OSVRTOM NA UNEŠENE VRSTE RIBA .....	161
22. E.Veljanoska Sarafiloska, O.Tasevska, L.Lokoska, S.Patčeva, J.Lešoski UTICAJ REKA NA KVALITET VODE U LITORALNOJ ZONI PREPANSKOG JEZERA, (R.S. MAKEDONIJA) .....	167
23. O.Tasevska, G.Kostoski, E.Veljanoska Sarafiloska ZAJEDNICA ROTIFERA KAO POKAZATELJ EKOLOŠKOG STATUSA PREPANSKOG JEZERA (R.S. MAKEDONIJA) .....	175
24. L.Lokoska, E.Veljanoska-Sarafiloska KVALITET VODE PREPANSKOG JEZERA .....	181
25. G. Kostoski, O. Tasevska SEZONSKA DINAMIKA ZAJEDNICE PLANKTONA ROTIFERA, CRUSTACEA (COPEPODA I CLADOCERA) IZ PELAGIJALA PREPANSKOG JEZERA - LOKALITET KAZAN .....	187

26.	S.Stojanovski, D.Blazhekovicj-Dimovska, L.Velkova-Jordanovska, E.Veljanoska Sarafiloska CONTRIBUTION TO PARASITE FAUNA OF PRESPA BLEAK (ALBURNUS BELVICA KARAMAN, 1924) (PISCES: CYPRINIDAE) IN LAKE PRESPA, REPUBLIC OF NORTH MACEDONIA .....	195
27.	M.Talevska, S.Trajanovska, E.Veljanoska-Sarafiloska RASPROSTRANJENOST ELODEA CANADENSIS SA VELIKOG PRESK ANSKOG JEZERA .....	205
28.	M.Stanković, M.Živković REZULTATI ISTRAŽIVANJA FLORE I VEGETACIJE KANALA ZA PROŠIRENJE GRANICA SRP „KRALJEVAC“ .....	211
29.	M.Stanković, M.Živković NOVI PODACI O FLORI I MAKROALGAMA PODRUČJA SRP „KRALJEVAC“ .....	219
<b>2.2. Podzemne vode i vode u karstu</b>		
30.	S.Mrazovac Kuričić, V.Cibulic PRIMENA PODZEMNIH VODA VOJVODINE U POLJOPRIVREDI .....	221
<b>2.3. Sedimenti</b>		
31.	S.Tenodi, D.Krčmar, M.Bečelić Tomin, D.Radenović, T.Tomić, Đ.Pejin, D.Tomašević Pilipović VIŠEKRITERIJUMSKA PROCENA RIZIKA ZAGAĐENOG SEDIMENTA U VODOTOKU .....	229
32.	D.Stefanović, J.Bašić, S.Krsmanović, G.Milojković, S.Lečić ANALIZA SPROVOĐENJA PROCESA REVITALIZACIJE VELIKOG BAČKOG KANALA .....	237
<b>2.4. Priobalne vode Jadranskog mora</b>		
33.	I.Kokić, S.Nikolić, M.Mandić PLUTAJUĆI OTPAD NA PODRUČJU BOKOKOTARSKOG ZALIVA (JUGOISTOČNI JADRAN) .....	243
34.	V.Vukanić, M.Malović PRILOG POZNAVANJU VREMENSKE I PROSTORNE DISTRIBUCIJE VRSTA IZ RODA ACARTIA (COPEPODA) U JUŽNOM JADRANU .....	253
<b>2.5. Monotoring</b>		
35.	V.Slavevska Stamenkovic, J.Hinić-Jordanovska, M.Raković, M.Paunović AQUATIC INVERTEBRATES AS KEY TOOL IN DEVELOPING METHODOLOGY AND IDENTIFICATION OF PRIORITY BARRIERS FOR REMOVAL .....	259
36.	M.Ćirić, C.Lemonnier, B.Alric, B.Dožčinović, J.Avdalović, S.Miletić, V.Petrović, Ž.Milovanović, D.Vidaković, A.Marković, F.Rimet, A.Ballot PROCENA EKOLOŠKOG POTENCIJALA MARKOVAČKOG JEZERA – NOVI PRISTUP U BIOMONITORINGU .....	273

### 3. TEMATSKA GRUPA: SAKUPLJANJE I PREČIŠĆAVANJE OTPADNH VODA

37. D.Krčmar, M.Bečelić-Tomin, V.Pešić, D.Tomašević-Pilipović, Đ.Kerkez  
AKCIONI PLAN ZA DOSTIZANJE GRANIČNIH VREDNOSTI EMISIJE ZAGAĐUJUĆIH  
MATERIJA U OTPADNIM VODAMA – PRIMER ZA JAVNO KOMUNALNO  
PREDUZEĆE.....283
38. J.Jovanović Marić  
ISPITIVANJE UTICAJA OTPADNIH VODA NA KVALITET VODE SAVE I DUNAVA NA  
TERITOTIJI GRADA BEOGRADA PRIMENOM MIKROBIOLOŠKIH ANALIZA .....291
39. I.Milojković, N.Praščević  
IZBOR OPTIMALNE TEHNOLOGIJE IZGRADNJE KANALIZACIONE CRPNE STANICE  
MAKIŠ KORIŠĆENJEM METODE AHP-VIKOR SA FAZI PRISTUPOM .....297
40. S.Branković, R.Glišić, F.Grbović, G.Đelić, N.Joksimović, I.Bogdanović,  
J.Bogosavljević  
INOVATIVNI PRISTUP NEUTRALIZACIJI POLUTANATA IZ KANALIZACIONOG  
MULJA PRIMENOM ORGANSKOG  $\square$ - DIKETONATA NA BILJNOM MODELU  
TRIFOLIUM PRATENSE L. ....305
41. A.Crnogaj, K.Buljan, Đ.Pejkić  
IMPLEMENTACIJA MALIH BIOLOŠKIH UREĐAJA ZA PROČIŠĆAVANJE OTPADNIH  
VODA U LOKALNIM ZAJEDNICAMA: PERSPEKTIVE I REALIZACIJE .....313
42. K.Buljan, A.Crnogaj, Đ.Pejkić  
OPTIMIZACIJA PROCESA ZA TRETMAN OTPADNIH VODA U KOKSNOJ  
INDUSTRIJI: IZAZOVI I INOVATIVNA REŠENJA .....319
43. T. Marković, N.Pilipović, V.Presburger Ulniković, V.Cibulić  
ANAEROBNA DIGESTIJA OTPADNOG MULJA IZ POSTROJENJA ZA PREČIŠĆAVANJE  
OTPADNIH VODA – SAVREMENI TRENDOVI I PERSPEKTIVE.....327
44. N.Pilipović, T.Marković, V.Presburger Ulniković, V.Cibulić  
OZONIRANJE PRIMENJENO U SEKVENCIRANOM ŠARŽNOM BIOFILTERSKI  
GRANULIRANOM REAKTORU (SBBGR) .....333
45. V.Cibulić, S.Mrazovac Kurilić, N.Staletović  
PROCENA I UPRAVLJANJE HEMIJSKIM RIZIKOM .....341

### 4. VODOSNABDEVANJE NASELJA

46. T.Ivetić, N.Pankov, S.Bognár, D.Jovanović, V.Despotović, D.Šojić Merkulov,  
B.Miljanović  
ZELENA SINTEZA CINK OKSIDNIH NANOČESTICA ZA FOTOKATALITIČKO  
UKLANJANJE MIKROPOLUTANATA IZ VODA.....347
47. O.Doklešić  
IZVORIŠTA I SLIVNA PODRUČJA U POJASU BUDUĆE BRZE SAOBRAĆAJNICE OD  
SUTORINE DO ZELENIKE .....355
48. O.Doklešić  
PLANSKI PRISTUP SNABDIJEVANJU VODOM MALIH NASELJA I AGLOMERACIJA U  
OPŠTINI ŽABLJAK .....365

## PREDGOVOR

Nastavljajući dugogodišnju tradiciju, Srpsko društvo za zaštitu voda – SDZV organizuje pedeset i treću 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 2024" sadrži ukupno 48 radova 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. Sedimenti
  - 2.4. Priobalne vode Jadranskog mora
  - 2.5. Monitoring
3. SAKUPLJANJE I PREČIŠĆAVANJE OTPADNH VODA
4. VODOSNABDEVANJE NASELJA

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 upotrebe inovativnih materijala u zaštiti voda, hidroloških analiza, aktuelnu problematiku kvaliteta voda i sedimenata, savremene saznanja o procesima prečišćavanja otpadnih voda i planiranje eksploatacije sistema vodosnabdevanja. 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.



## UNAPREĐENJE ODRŽIVE GRADNJE KROZ KONCEPT NULTOG OTPADA ZA ZAŠTITU GRADOVA OD KIŠNIH POPLAVA

Ognjen Govedarica\*, Branislava Lekić\*\*,  
Vladana Rajaković-Ognjanović\*\*\*,  
Aleksandar Radević\*\*\*\*, Dimitrije Zakić\*\*\*\*\*

\* *Univerzitet u Beogradu-Građevinski fakultet, Bulevar kralja Aleksandra 73-Beograd, [ogvedarica@grf.bg.ac](mailto:ogvedarica@grf.bg.ac), ORCID: 0000-0002-4995-3932*

\*\* *Univerzitet u Beogradu-Građevinski fakultet, Bulevar kralja Aleksandra 73-Beograd, [branaj@grf.bg.ac.rs](mailto:branaj@grf.bg.ac.rs), ORCID: 0000-0002-3360-2118*

\*\*\* *Univerzitet u Beogradu-Građevinski fakultet, Bulevar kralja Aleksandra 73-Beograd, [vladana@grf.bg.ac.rs](mailto:vladana@grf.bg.ac.rs), ORCID: 0000-0003-4895-7007*

\*\*\*\* *Univerzitet u Beogradu-Građevinski fakultet, Bulevar kralja Aleksandra 73-Beograd, [aradevic@grf.bg.ac.rs](mailto:aradevic@grf.bg.ac.rs), ORCID: 0000-0002-3224-8145*

\*\*\*\*\* *Univerzitet u Beogradu-Građevinski fakultet, Bulevar kralja Aleksandra 73-Beograd, [dimmy@grf.bg.ac.rs](mailto:dimmy@grf.bg.ac.rs), ORCID: 0000-0002-6531-6239*

### REZIME

Urbana područja danas se suočavaju s povećanim rizikom od kišnih poplava zbog rastuće urbanizacije i izmenjenih klimatskih uslova. Građevinska praksa zasnovana na principima cirkularne ekonomije može ponuditi rešenja koja povećavaju rezilijentnost gradova na ovaj problem. U radu su prikazana istraživanja o korišćenju otpadnih materijala kao zamene za cement u proizvodnji poroznih betonskih ploča za popločavanje. Rezultati pokazuju da otpadni materijali utiču na mehanička svojstva ploča ali ne i na hidrauličke karakteristike koje su bitne za smanjenje površinskog oticaja vode. Ovo istraživanje pruža detaljan uvid u održiva građevinska rešenja za adaptaciju gradova na kišne poplave.

KLJUČNE REČI: rezilijentnost na urbane poplave, porozni betonski pločnici, otpadni materijali, solidifikovani PPOV mulj, upravljanje kišnim oticajem

## ZERO WASTE STRATEGIES IN SUSTAINABLE CONSTRUCTION FOR FLOOD-RESILIENT CITIES

### ABSTRACT

Urban areas face increasing challenges from pluvial flooding due to climate change and increased urbanization rate. Sustainable construction practices involving circular economy principles offer a promising solution to enhance urban flood resilience. This paper investigates the utilization of waste materials in porous concrete pavers for mitigating urban flooding. The study examines the performance of porous concrete pavers incorporating waste materials such as solidified WWTP sludge in terms of permeability, durability, and flood resilience. Results demonstrate that the incorporation of waste materials influences



paver's mechanical properties but has no significant effect on the permeability of porous concrete.

KEY WORDS: urban flood resilience, porous concrete pavers, waste materials, solidified WWTP sludge, stormwater management

## UVOD

Rezilijentnost na kišne poplave (eng. Urban Flood Resilience) se definiše kao kapacitet grada ili urbanog područja da održi rizik od kišnih poplava na podnošljivom nivou na način da:

- spreči povrede i smrtne slučajeve izazvane kišnim poplavama,
- minimizira štetu i poremećaje u funkcionisanju grada tokom poplava,
- u kratkom vremenu povrati funkcionisanje grada na nivo pre poplave,

istovremeno upravljajući kvalitetom gradskih voda i ekosistema, obezbeđujući socijalnu jednakost i ekonomsku, ekološku i kulturnu vitalnost grada (O'Donnell i sar., 2020; Pearlmutter i sar., 2020).

Urbani razvoj je u direktnoj vezi sa rastućim povećanjem vodonepropusnih urbanih površina i, posledično, smanjenjem stepena infiltracije atmosferskih voda i povećanjem površinskog oticaja. Praksa urbanog odvodnjavanja u Srbiji je tradicionalna i zasniva se na konvencionalnom sakupljanju i kanalisanju atmosferskih otpadnih voda uz povremeno retenziranje. U kombinaciji sa sve češćom pojavom obilnih padavina u Srbiji, postojeća kanalizaciona infrastruktura često ne može da prihvati sve atmosferske otpadne vode u kratkom vremenskom intervalu što rezultira kišnim poplavama u mnogim gradovima u Srbiji skoro svake godine. Ograničenja postojećih sistema urbanog odvodnjavanja izazvala su interesovanje za alternativna rešenja koja mogu ublažiti efekte kišnih poplava.

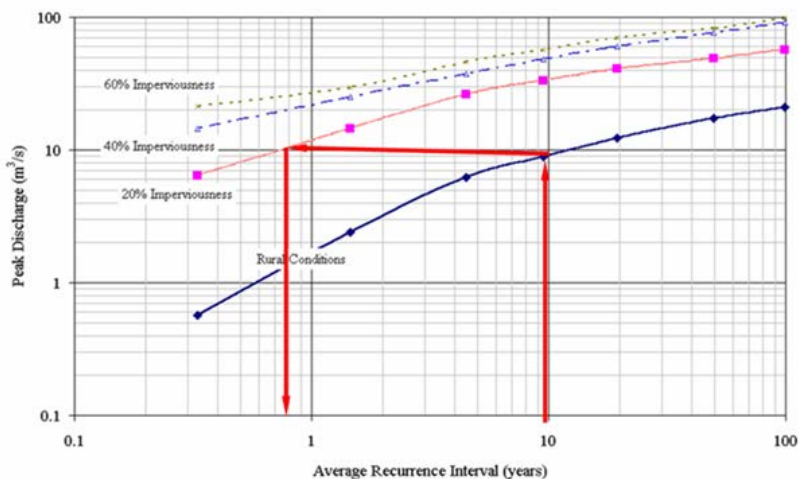
## UTICAJ URBANIZACIJE NA POVRŠINSKI OTICAJ

Urbanizacija smanjuje propustljivost površina zemljišta zamenom prirodnog poroznog i vodopropusnog tla nepropusnim površinama (krovovima, putnom infrastrukturom i popločanim površinama) koje se dreniraju preko kanalizacione infrastrukture. Tokom urbanizacije, uklanja se prirodna vegetacija koja akumulira, usporava i recirkuliše vodu iz atmosferskih padavina nazad u atmosferu preko evapotranspiracije. Tokom gradnje, podzemno tlo se sabija što dovodi do smanjenja infiltracije vode i njenog zadržavanja na površini. Svi ovi procesi smanjuju količinu atmosferske vode koja može da infiltrira u zemlju i značajno se povećava brzina oticanja vode sa površine (Đukić i sar., 2013a). Slika 1. ilustruje kako smanjenje vodopropusnosti zemljišta može dovesti do povećanja površinskog oticaja i na koji način proticaji izazvani kišom povratnog perioda 10 godina u ruralnom - izgradnjom neporemećenom slivu, koreliraju protocima značajno kraćeg povratnog perioda u slučaju urbanizovanih slivova.

## KAKAV GRAD ŽELIMO?

U smislu adaptibilnosti urbanih sredina na izmenjene klimatske uslove, postoje očekivanja da gradovi nastave da pružaju sigurnost, bezbednost i funkcionalnost čak i u slučaju

ekstremnih vremenskih događaja. Stanovnici gradova žele bezbedno i neometano funkcionisanje tokom i nakon kišnih poplava (Brite/Euram Report, 1994). To podrazumeva adekvatan dizajn i održavanje komunalne infrastrukture koja minimizira poremećaje u transportnoj mreži, poslovanju i svakodnevnim aktivnostima. Prioritet se daje strategijama za održivost i adaptibilnost gradova na posledice ekstremnih vremenskih uslova, koje uključuju korišćenje zelene infrastrukture, SUDS i druge ekološki prihvatljive pristupe upravljanja kišnim oticajem i smanjenja rizika od poplava



Slika 1. Hidrogrami površinskog oticaja pre i posle urbanizacije nakon kišne epizode u urbanom području (Delečić, 2023)

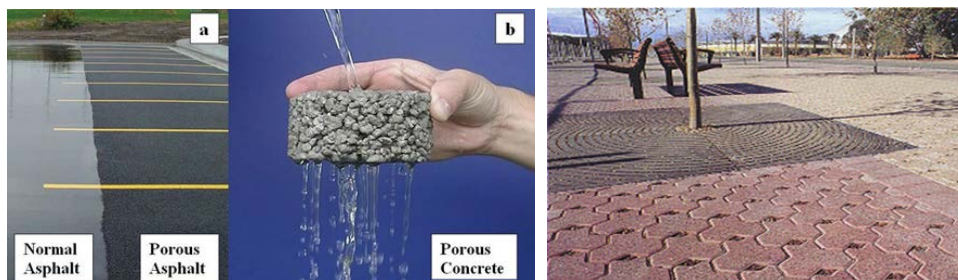
Figure 1. Surface runoff hydrographs before and after urbanization following a rainfall event in an urban area (Delečić, 2023)

## VODOPROPUSNO POPLOČANJE KAO METOD UPAVLJANJA KIŠNIM OTICAJEM

Vodopropusna popločanja su tip popločanja koja se koriste za prekrivanje urbanih površina pogodnih za pešački ili drumski saobraćaj, koja omogućavaju infiltraciju atmosferskih voda u donje noseće slojeve ili zemljište. Infiltrirana voda se može retenirati ispod ovakvog popločanja, infiltrirati kroz zemljište ili se u kontrolisanim uslovima može ispustiti u nizvodne recipijente atmosferskih otpadnih voda. Vodopropusna popločanja, zajedno sa donjim nosećim slojevima, predstavljaju efikasan način upravljanja površinskim oticajem na mestu njegovog nastanka, prihvatanjem površinskog oticaja, smanjivanjem zapremine otekle vode i delimičnim tretmanom površinskog oticaja (Đukić i sar.2013b).

Postoje dva tipa propusnih popločanja: porozno i propusno popločanje. Porozna popločanja omogućavaju infiltraciju površinskog oticaja po celoj površini (na primer: porozni betoni i asfalti, sloj granulisanog materijala - šljunak, rizla, malč) (Simić i sar., 2022). Propusna popločanja su napravljena od materijala koji je vodonepropusan, ali su ploče dizajnirane sa

takvim spojevima koji prilikom postavljanja formiraju šupljine kroz koje se površinski oticaj infiltrira u donje noseće slojeve ili zemljište (behaton ploče i rasteri, slika 2).



Slika 2. Porozni asfalt/beton (levo), propusno popločanje (desno)  
Figure 2. Porous asphalt/concrete (left), permeable paving (right).

Porozno popločanje je hidrotehničko rešenje za upravljanje kišnim oticajem na mestu njegovog nastanka koje je dizajnirano da imitira hidrološki ciklus pre urbanizacije tako što omogućava atmosferskoj vodi da prodre kroz površinski sloj i dospe u tlo ispod, umesto da se sliva kao površinski oticaj. Povećana infiltracija atmosferskih voda pomaže obnavljanju rezervi podzemnih voda, smanjuje se površinski oticaj i time i hidrauličko opterećenje za sisteme kanisanja otpadnih voda i minimizira se rizik od urbanih poplava i erozije zemljišta. U zavisnosti od dizajna i karakteristika, porozna popločanja mogu pomoći u uklanjanju zagađujućih materija iz atmosferskih voda koja kroz popločanje infiltrira u donje slojeve zemljišta. Za razliku od tradicionalnih nepropusnih materijala za pokrivanje urbanih površina poput betona ili asfalta, porozna popločanja duže zadržavaju vodu i vlagu u porama, manje apsorbuju toplotu sunca i smanjuju efekat toplotnih ostrva u gradovima.

#### UPOTREBA OTPADNIH MATERIJALA U PROIZVODNJI PLOČA OD POROZNOG BETONA

U okviru ovog poglavlja prikazani su neki od rezultata istraživanja koja su za cilj imala razvoj multifunkcionalnog prototipa porozne ploče od lakoagregatnog betona koja sadrži određeni udeo otpadnih materijala (ZEWA PPP). Prototip porozne betonske ploče je posebno dizajniran kao element SUDS za zaštitu od kišnih poplava u gradovima uz istovremeno uklanjanje zagađujućih materija iz atmosferske otpadne vode.

U prvoj seriji uzoraka kao otpadni materijal korišćen je solidifikovani otpadni mulj sa postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda (SWWTS) koji je, u proizvodnji prototipa, korišćen kao delimična zamena za cement, u različitim masenim udelima (10-30%) (Slika 3). U naknadnim fazama istraživanja, urađena je i dodatna modifikacija solidifikata (modifikovani SWWTS) radi postizanja boljih mehaničkih performansi prototipa. SWWTS je inertan praškast materijal nastao u procesu solidifikacije otpadnog mulja sa postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda. Otpadni mulj je preuzet sa gradskog postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda u Subotici. Solidifikacija otpadnog mulja, MID-MIX tehnologijom je obavljena u pogonu fabrike „Yunirisk“ u Beogradu.



Slika 3. Serija 01. Porozne ploče i lakoagregatnog betona od ekspanzirane gline. Maseni udeo SWWTS u ispitivanim uzorcima: sivi 0%, braon 10%, crveni 20%, zeleni 30%.

Figure 3. Series 01. Porous concrete pavers made from expanded clay. Mass fraction of SWWTS in the tested samples: gray 0%, brown 10%, red 20%, green 30%.

U trećoj seriji uzoraka testirane su porozne betonske ploče na bazi drobljenog agregata – andezita, frakcije 2-4 mm (Slika 4). Kao delimična zamena za cement korišćen je modifikovani SWWTS. Originalni otpadni materijal je modifikovan dodavanjem aluminijum-oksida, magnezijum silikata i zaptivača.



Slika 4. Serija 03. Porozne betonske ploče sa andezitom. Maseni udeo modifikovanog SWWTS u ispitivanim uzorcima: sivi 0%, crveni 30%.

Figure 4. Porous concrete pavers with andesite. Mass fraction of modified SWWTS in the tested samples: gray 0%, red 30%

U tabeli 1. dat je prikaz odabranih rezultata ispitivanja mehaničkih karakteristika poroznih betonskih ploča sa različitim udelom otpadnog materijala (SWWTS i modifikovani SWWTS).

Istraživanja su pokazala da upotreba solidifikovanog otpadnog mulja (SWWTS) koji je korišćen kao delimična zamena za cement dovodi do smanjenja mehaničkih čvrstoća u svim ispitivanim uzorcima (Govedarica i sar., 2024). Ovo smanjenje je očekivano budući da se SWWTS može koristiti kao filer, a ne kao vezivo (Govedarica i sar., 2022). Zbog toga se, uz isti sadržaj vode, vodocementni faktor povećao u mešavinama sa SWWTS. Međutim, betonska mešavina u kojoj je izvršena zamena cementa SWWTS-om u količini od 10% postigla je čvrstoću pri pritisku veću od 5 MPa, što znači da prototip porozne betonske ploče zadovoljava EU standarde za laki saobraćaj (kako je definisano u Önorm B 4710-1). Betonska mešavina koja sadrži 20% SWWTS takođe je bila vrlo blizu postizanja ovog cilja. Sve testirane mešavine su pokazale vrednost čvrstoće pri pritisku veću od 3.5 MPa, što je

definisano kao najniža čvrstoća u opsegu svojstava propusnog betona. Iako obično nije potrebno testirati čvrstoću pri zatezanju savijanjem pre primene propusnog betona, podaci iz literature sugerišu da ove čvrstoće variraju između 1 i 3.8 Mpa. Sve mešavine, osim one sa najvišim udelom zamene cementa, ispunile su ovaj zahtev. Uzimajući u obzir standardne devijacije rezultata, može se zaključiti da je uvođenje SWWTS u sistem dovelo do smanjenja čvrstoće pri zatezanju za 30%, ali da su razlike između čvrstoće mešavina sa 10% i 20% zamene cementa vrlo male. Čvrstoća pri zatezanju korišćenjem pull-off metode, koja je testirana radi dopune rezultata mehaničkih svojstava prototipa, takođe je pokazala smanjenje sa većim udelom SWWTS u mešavini (Govedarica i sar., 2022). Dodavanje SWWTS dovelo je do blagog smanjenja zapreminske mase betonskih mešavina i povećanja upijanja vode. Ovo se može objasniti smanjenjem produkata hidratacije koji bi popunili mikropore, budući da SWWTS nije pokazao pucolansku reaktivnost.

Tabela 1. Rezultati istraživanja mehaničkih karakteristika poroznih betonskih ploča sa otpadnim materijalima

Table 1. Investigation results on the mechanical characteristics of porous concrete pavers with waste materials

Udeo otpadnog materijala	Zapreminska masa (kg/m <sup>3</sup> )		Čvrstoća pri pritisku (na uzorcima isečenim iz ploča za popločavanje) (MPa)	
	Seriya 01	Seriya 03	Seriya 01	Seriya 03
0%	994,4	1628,1	7,17	4,21
10%	961,5	-	5,81	-
20%	942,8	-	4,83	-
30%	909,7	1493,2	3,91	3,17
Udeo otpadnog materijala	Čvrstoća pri zatezanju pull-off metodom (MPa)		Čvrstoća pri zatezanju savijanjem (MPa)	
	Seriya 01	Seriya 03	Seriya 01	Seriya 03
0%	1,05	1,33	1,78	1,58
10%	0,83	-	1,23	-
20%	0,76	-	1,08	-
30%	0,55	1,18	0,97	0,85

U tabeli 2 prikazani su rezultati ispitivanja vodopropusnosti poroznih betonskih ploča. Vodopropusnost poroznih betonskih ploča u rasponu 1,16-1,34 cm/s ukazuju na visoku vodopropusnost ispitivanog prototipa što omogućava brzu infiltraciju i sprečava akumuliranje atmosferske vode na površini terena (Stanić i sar., 2023). Ovim se smanjuje rizik od urbanih poplava i poboljšava sigurnost korisnika urbane površine. Ipak, iako visoka poroznost prototipa doprinosi efikasnosti infiltracije atmosferske vode, ista omogućava deponovanje prašine i sitnog sedimenta, koji se vremenom akumulira na urbanim površinama, u porama poroznog betona. Kako bi se održala visoka poroznost koja omogućava efikasnu infiltraciju atmosferske vode kroz porozne ploče, potrebno je češće čišćenje i održavanje površina od poroznog betona u odnosu na površine koje su izgrađene od konvencionalnog betona ili asfalta.

Tabela 2. Koeficijent vodopropusnosti poroznih betonskih ploča od lakoagregatnog betona sa udelom otpadnog materijala (SWWTS)

Table 2. Permeability coefficient of porous concrete pavers made of lightweight aggregate concrete with a proportion of waste material (SWWTS)

Test za ispitivanje koeficijenta vodopropusnost	Seriya 01	Uzorak 1 0% SWWTS	Uzorak 2 10% SWWTS	Uzorak 3 20% SWWTS	Uzorak 4 30% SWWTS
Opit sa konstantnim nivoom	$K_{sat}$ (m/s)	$1,18 \cdot 10^{-2}$	$1,16 \cdot 10^{-2}$	$1,13 \cdot 10^{-2}$	$1,34 \cdot 10^{-2}$

Testovi izluživanja na betonskim kockama koje sadrže otpadne materijale koji su korišćeni kao delimična zamena za cement su urađeni prema preporukama iz referentne stručne i naučne literature za tu vrstu betonskih mešavina (Sani i sar., 2005; Articles 31 and 33 of the Legislative Decree of 5 February 1997, n. 22. Italy). Rezultati laboratorijskih testova izluživanja su pokazali da su koncentracije teških metala u eluatu veoma niske. Odstupanja u koncentracijama zagađujućih materija u eluatu između referentnog (nultog) uzorka i uzoraka koji sadrže otpadni materijal su neznatne. Primenjeni test izluživanja je pokazao da su uzorci koji sadrže otpadni materijal, modifikovani SWWTS, bezbedni sa aspekta izluživanja, da je beton spravljen po navedenoj recepturi siguran i da se može koristiti kao lakoagregatni beton klase izloženosti XC1 (za unutrašnje konstruktivne elemente u zgradama i druge inženjerske objekte u suvom okruženju).

## PRIMENA ELEKTROFILTERSKOG PEPELA U PROIZVODNJI PLOČA OD POROZNOG BETONA

U okviru inovacionog projekta koji je podržan od strane UNDP i finansiran od strane EU kroz javni poziv za inovacije u oblasti cirkularne ekonomije „EU za Zelenu agendu u Srbiji, na Građevinskom fakultetu u Beogradu, u saradnji sa fabrikom betona „Promobet“ (Mladenovac) započeta su istraživanja u primeni elektrofilterskog pepela iz procesa sagorevanja uglja za proizvodnju poroznih betonskih ploča za povećanje rezilijentnosti urbanih sredina na kišne poplave. Iako su istraživanja već započeta, prvi rezultati će biti spremni i saopšteni na usmenoj prezentaciji rada tokom konferencija „Voda 2024“.

## ZAKLJUČAK

Ovaj rad ukazuje na potencijal poroznih betona kao građevinskog materijala koji se može koristiti za efikasno upravljanje površinskim oticajem na mestu njegovog nastanka i infiltraciju vode u zemljište, istovremeno smanjujući rizik od kišnih poplava u urbanim sredinama. Korišćenje otpadnih materijala kao dodatka poroznim betonima dodatno pojačava održivost ideje o primeni principa CE u urbanom odvodnjavanju pružajući alternativu tradicionalnim, resursno intenzivnim materijalima.

Implementacija ove tehnologije zahteva multidisciplinarni pristup koji uključuje saradnju između nauke i industrije, inženjera, urbanista i lokalnih vlasti. Kroz usklađivanje propisa, podršku istraživanja i edukaciju, može se stvoriti okruženje koje podstiče inovacije u održivoj gradnji i doprinosi stvaranju gradova za buduće generacije.

## Zahvalnica

Istraživanja prikazana u ovom radu su finansirana iz: 1) naučnog projekta "Ø-Waste-Water" iz programa IDEJE Fonda za nauku Republike Srbije (br. 7737365) i 2) projekta „Zero-Waste Porous Pavement Alternatives for Flood Resilient Cities“ (Pillar 2-Circular Economy of the project “EU for Green Agenda in Serbia, No. 00139323/0012089/2023/3).

## LITERATURA:

- Brite/Euram Report. (1994). Surface properties of concrete roads in accordance with traffic safety and reduction of noise (p. 138). Brite/Euram (Project BE3415).
- Deletić, A. (2023) Sistemi za odvodjenje kišnih voda kao deo kompleksnih urbanih sredina- Iskustva iz Australije, Predavanje na Građevinskom fakultetu u Beogradu, 2023.
- Đukić, A., Lekić, B., Prodanović, D., Rajković-Ognjanović, V., Ljubisavljević, D. & Vasilčić, Ž. (2013a) Eksperimentalno izučavanje kišnog oticaja u urbanim područjima, 42. *Međunarodna konferencija - Voda 2013, Perućac, Zbornik radova*, 321-328 (2013). ISBN 978-86-916753-0-1.
- Đukić, A., Lekić, B., Prodanović, D. & Rajković-Ognjanović, V. (2013b) Savremene metode kontrole kvaliteta kišnog oticaja u urbanim područjima. 34. *Međunarodni stručno-naučni skup „Vodovod i kanalizacija '13“*, Tara, *Zbornik radova*, 319-326. ISBN 978-86-80067-30-8, 2013.
- Govedarica, O., Aškračić, M., Hadnađev-Kostić, M., Vulić, T., Lekić, B., Rajković-Ognjanović, V. & Zakić, D. (2022) Evaluation of Solidified Wastewater Treatment Sludge as a Potential SCM in Pervious Concrete Pavements, *Materials*, 15 (14), art. no. 4919. <https://doi.org/10.3390/ma15144919>
- Govedarica, O. R., Karanović, Dj. M., Stanić, F. M., Škondrić, M. M., Lekić, B. M. & Rajković-Ognjanović, V. N. (2024). Circular Economy Innovation in Urban Infrastructure: Harnessing the Power of Solidified WWTP Sludge in Porous Concrete Pavements for Flood-Resilient Cities. *16th International Conference on Urban Drainage, Delft, June, 2024, Book of Abstracts*
- Identification of non-hazardous waste that is easily regenerated. Italian regulation (eng. Articles 31 and 33 of the Legislative Decree of 5 February 1997, n . 22. Italy: *Supplemento ordinario alla Gazzetta Ufficiale n 88 del 16 aprile 1998.*; 1998 p. 1–67).
- O'Donnell, E., et al. (2020) The blue-green path to urban flood resilience. *Blue-Green Systems* 2 (1): 28–45. <https://doi.org/10.2166/bgs.2019.199>
- Önorm B 4710-1; Beton—Festlegung, Eigenschaften, Herstellung, Verwendung Und Konformität—Teil 1: Regeln Zur Umsetzung Der Önorm EN 206 Für Normal—Und Schwerbeton. Austrian standard: Vienna, Austrian, 2018.
- Pearlmutter, D., et al. (2020) Enhancing the circular economy with nature-based solutions in the built urban environment: green building materials, systems and sites. *Blue-Green Systems*, 2 (1): 46–72. <https://doi.org/10.2166/bgs.2019.928>
- Sani, D., Moriconi, G., Fava, G., & Corinaldesi, V. (2005). Leaching and mechanical behaviour of concrete manufactured with recycled aggregates. *Waste Management*, 25(2), 177-182. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2004.12.006>
- Simić, A., Vuković, M., & Mitić-Radulović A. (2022) Mali katakog prirodom inspirisanih rešenja. *Centar za eksperimentalne i urbane studije-CEUS, Beograd, 2022.*
- Stanić F., Govedarica O., Jaćimović N., Lekić B. and Randelović A. (2023) A Novel Semi-Analytical (Inertial) Solution for Determining Permeability of Highly Pervious Porous Materials Using the Two-Reservoir Laboratory Setup. *Water Resources Research*. 59(7), art. no. e2022WR034158. <https://doi.org/10.1029/2022WR034158>

## PRIMENA METODA VEŠTAČKE INTELIGENCIJE U PROCENI KVALITETA POVRŠINSKIH VODA

Krtolica Ivana

*Institut za veštačku inteligenciju, Fruškogorska 1, 21000 Novi Sad, Srbija*  
*Email: ivana.krtolica@ivi.ac.rs*  
*ORCID: 0000-0002-1816-253X*

### REZIME:

U radu je prikazan pregled naučnih publikacija i opisano aktuelno stanje u oblasti na temu primene modela veštačke inteligencije za procenu kvaliteta površinskih voda. Rapidan razvoj modela zasnovanih na principima veštačke inteligencije i njihova visoka tačnost procene uslovile su sve frekventniju primenu ovih modela u oblasti upravljanja i proceni kvaliteta voda. Sposobnost modela veštačkih neuronskih mreža da obrađuju podatke koji nemaju međusobnu linearnu zavisnost, što je karakteristično za korelaciju bioloških i hemijskih parametara, i mogućnost obrade obimnih setova podataka, ove modele čini superiornijim u odnosu na druge i omogućava kvalitetniji monitoring površinskih voda.

KLJUČNE REČI: veštačka inteligencija, monitoring površinskih voda, biološki i hemijski parametri

## PREDICTIVE MODELING OF SURFACE WATER QUALITY USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE

### ABSTRACT:

The paper provides an overview of scientific publications and describes the current state in the field of ecological modeling for assessing surface water quality. The rapid development of Artificial Intelligence (AI) – based models and their high predictive accuracy in assessment have led to an increasingly frequent use of these models in water management and quality assessment. The ability of artificial neural network models to process data that do not have a linear correlation, which is characteristic of the correlation between biological and chemical parameters, and the capability of large data set modeling, make these models superior to others and enable better monitoring of surface water quality.

KEY WORDS: Artificial Intelligence, surface water monitoring, biological and chemical parameters



## UVOD

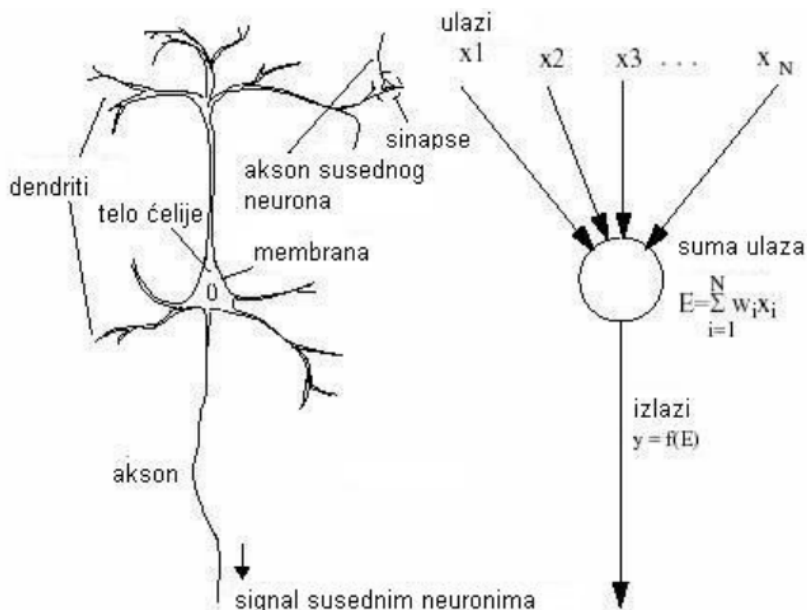
Određivanje i predikcija kvaliteta površinskih voda je kompleksan i izazovan zadatak za koji ne postoji utvrđen uniformni algoritam, te je neophodno i strateški značajno definisati precizan, pouzdan, ekološko-prijateljski orijentisan i ekonomski opravdan model za monitoring kvaliteta površinskih voda. Prema Okvirnoj Direktivi o vodama, koja je stupila na snagu 2000. godine, parametri za procenu ekološkog statusa vodnih tela klasifikovani su u 4 kategorije: biološki, fizičko-hemijski, hemijski i hidromorfološki [1]. Klasa ekološkog statusa vodnih tela određuje se na osnovu parametara obuhvaćenih jednom od 4 navedene kategorije, stoga se i klasifikacija ekološkog statusa razlikuje na osnovu kategorije parametara na osnovu kojih se određuje. Određene grupe parametara koji se koriste za procenu ekološkog statusa pokazuju linearnu zavisnost, kao što je to slučaj sa koncentracijom rastvorenog kiseonika i temperaturom vode, dok za neke relacije ne postoji linearna korelacija. Definisanje njihovih međusobnih interakcija moguće je simulirati matematičkim modelovanjem, koje je osnova modelovanja metodama veštačke inteligencije. Poznato je da prisustvo ksenobiotika, teških metala, ili organskih zagađivača u površinskim vodama ima negativan uticaj na biodiverzitet [2,3,4]. Izostanak neke vrste često je prouzrokovan hidromorfološkim uslovima staništa, ili je pak prisustvo nekog organizma kontradiktorno ekspertskim znanjima o uslovima staništa koje mu pogoduje [5].

Takve relacije moguće je proučiti modelovanjem zasnovanim na principima veštačke inteligencije. Inspirisane biološkim nervnim sistemom razvijeni su modeli veštačkih neuronskih mreža, mreže veštačkih neurona koje predstavljaju grubu aproksimaciju bioloških neuronskih mreža. Analogno biološkim, veštačke neuronske mreže uče na osnovu iskustva. Za dobro obučenu mrežu veštačkih neurona visoke tačnosti procene, neophodan je obiman set podataka za obučavanje mreže kako bi zavisnost među proučavanim varijablama bila što preciznije matematički modelovana.

Princip funkcionisanja mreže veštačkih neurona bazira se na podeli seta podataka na set podataka za obučavanje, validaciju i testiranje. Set podataka koji se koristi za obučavanje mreže najčešće obuhvata 70-80 % celokupnog obima seta podataka, dok se preostali podaci koriste za testiranje tačnosti obučene veštačke neuronske mreže. Na taj način mreža neurona koja je obučena tako da testirana na njoj nepoznatim podacima daje visok procenat tačnosti u proceni zavisnosti ulaznih i izlaznih varijabli može biti adekvatan alat za sve buduće predikcije zavisnosti istih grupa varijabli.

Opisana metodologija potencijalna je osnova za kreiranje aplikacija i web alata koji bi omogućili brz i precizan monitoring vodnih tela, s potencijalom procene budućih scenarija kvaliteta i ažurnog reagovanja u cilju postizanja što boljeg ekološkog statusa. Uspostavljanje zakonitosti o korelaciji određenih grupa parametara vezanih za procenu ekološkog statusa značajan je doprinos u oblasti monitoringa površinskih voda [6,7].

Pored mogućnosti analize obimnih setova podataka, favorizovanju primene veštačkih neuronskih mreža u oblasti ekološkog modelovanja doprinosi i mogućnost korelisanja podataka kolektovanih tokom dužih vremenskih serija i donošenje zaključaka o zavisnosti proučavanih parametara.



Slika 1. Analogija prirodnog i veštačkog neurona [8]  
 Figure 1. Analogy of natural and artificial neuron [8]

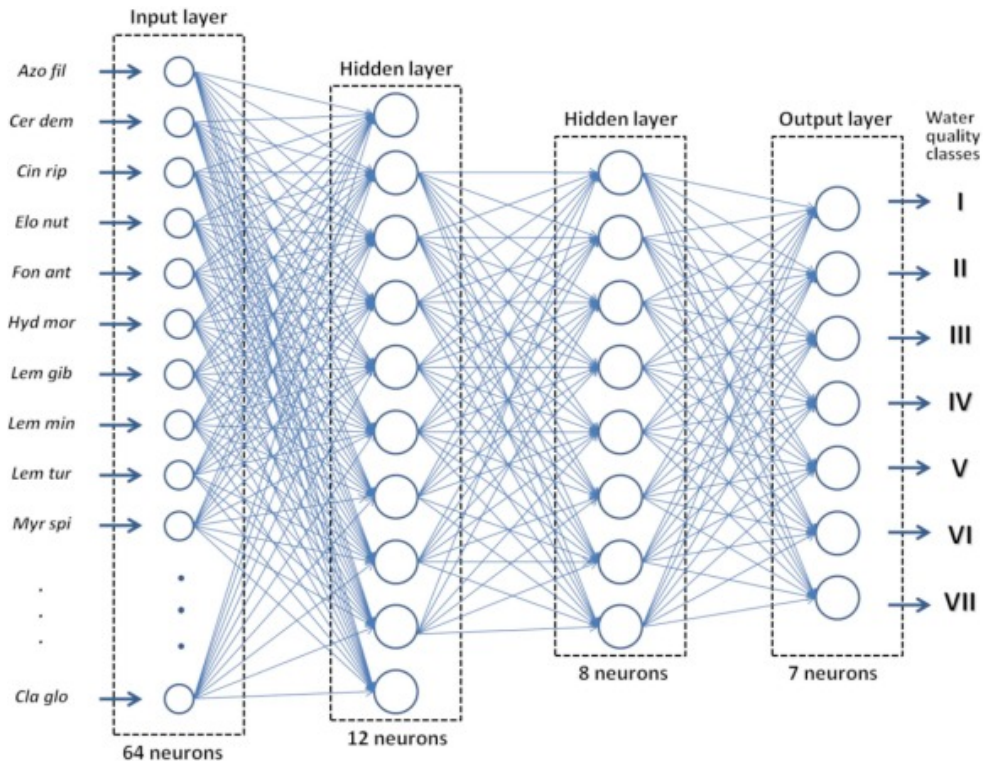
Jedna od ključnih prednosti primene modela veštačkih neuronskih mreža u ekološkim istraživanjima je da se jednom razvijen model može koristiti u svim budućim istraživanjima koja uključuju korelisanje istih parametara, što pored praktičnosti u implementaciji predstavlja i predikcioni model koji ne iziskuje materijalne troškove uzorkovanja na terenu i laboratorijske analize uzorkovanog materijala. Ekonomičnost primene modela zasnovanih na veštačkoj inteligenciji pre svega se odnosi na modele koji kao ulazne parametre koriste biološke parametre za procenu kvaliteta voda u cilju prediktovanja hemijskog statusa, čime se izbegavaju troškovi uzorkovanja hemijskih parametara i redukuje vreme potrebno za monitoring [9].

Zvanični biološki parametri za procenu kvaliteta površinskih voda kao što su makrofite, makroinvertebrate i ihtiofauna vidljive su golim okom i lako se detektuju na terenu, te utvrđivanje korelacije njihovog prisustva sa hemijskim statusom vodnih tela značajno ubrzava monitoring i omogućava brže reagovanje u slučaju hazarda. Živi sistemi su dinamički i podležu različitim uticajima sredine te se rezultati ovog modelovanja koriste pre svega za premonitoring.

#### PREGLED LITERATURE NA TEMU PRIMENE MODELA VEŠTAČKE INTELIGENCIJE U MONITORINGU POVRŠINSKIH VODA

U prokle tri decenije primetan je rapidan porast primene modela veštačke inteligencije u oblasti ekološkog modelovanja [10]. Visoko kategorisani naučni časopisi koji se bave tematikom ekološkog modelovanja su *Ecological Informatics* i *Ecological modelling*. Metodologija obrade podataka zasnovana na modelima veštačke inteligencije rapidno zamenjuje statističke metode, pružajući visok stepen kvaliteta obrade podataka i mogućnost korišćenja razvijenog modela u budućim istraživanjima.

U najvećem broju publikovanih radova na temu procene kvaliteta površinskih voda primenom modela veštačkih neuronskih mreža kao indikator za procenu kvaliteta koristi se rastvoreni kiseonik [11,12,13]. U radu Krtolica i dr., 2021[14] opisan je model veštačkih neuronskih mreža za procenu ekološkog statusa ekološkog statusa dunavskog basena na osnovu prisustva makrofita i izmerenih koncentracionih nivoa rastvorenog kiseonika, ortofosfatnih, nitratnih i nitritnih anjona. Razvijeni modeli VNM-a pokazali su dobre predikcione performanse s visokim procentom tačnosti procene klasa ekološkog statusa na osnovu odabranih hemijskih parametara i golim okom vidljivih biljaka, makrofita Slika 2.



Slika 2. Arhitektura modela veštackih neuronskih mreža za procenu klasa ekološkog statusa dunavskog basena <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X20310153>  
 Figure 2. Architecture of the artificial neural network model for the assessment of the ecological status classes of the Danube basin <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X20310153>

U radu [15] na osnovu pregleda više od 200 naučnih članaka, opisana je primena modela baziranih na veštačkoj inteligenciji u proceni kvaliteta voda u protekle dve decenije, i potvrđena je dominantna primena modela veštačkih neuronskih mreža u odnosu na druge metodologije. Vremenom su performanse modela nadograđene i tačnost procene im je znatno poboljšana. U periodu od 2011-2020 godine u najvećem broju radova publikovanih na temu primene modela veštačkih neuronskih mreža u oblasti predikcije kvaliteta voda kao ulazni parametri korišćene su koncentracije rastvorenog kiseonika, pH, temperatura, biološka i hemijska potrošnja kiseonika. Navedeni parametri korišćeni su pojedinačno ili u kombinaciji jedni s drugim. Najčešće primenjen model veštačkih neuronskih mreža su duboke

neuronske mreže sa propagacijom signala unazad. Predikcione performanse modela određivane su na osnovu srednje kvadratne greške i kvadratnog korena srednje kvadratne greške. Robustnost korišćenog seta podataka umnogome je uticala na tačnost procene modela, te su mreže obučene na većem broju podataka davale i veći procenat tačnosti [16]. Na izbor parametara za procenu kvaliteta površinskih voda znatno utiče i tržišna cena senzora za kolektovanje podataka. Senzori za merenje vrednosti koncentracija rastvorenog kiseonika, pH senzori i senzori za determinaciju zamućenosti su ekonomski najpristupačniji, te se stoga navedeni parametri najčešće koriste kao ulazne varijable za procenu kvaliteta površinskih voda.

Dinamika prikupljanja podataka značajno utiče na tačnost procene modela, te tako modeli zasnovani na podacima koji se prikupljaju na svaki sat imaju znatno veću tačnost u odnosu na modele koji koriste parametre koji se prikupljaju na mesečnom nivou. Vremenom su modeli veštačkih neuronskih mreža unapređeni, menjala se njihova arhitektura, razvijali su se novi i povećao se procenat tačnosti procene. U radu [17] predstavljen je potencijal primene generativnih suparničkih mreža (engl. Generative Adversarial Networks, GANs) u domenu procene kvaliteta voda, čime se može prevazići ograničenje nedostatka podataka i unaprediti performansa prediktivnih modela. U najaktuelnijim istraživanjima kao modeli najvišeg kvaliteta za predviđanje vremenskih serija podataka koriste se neuronske mreže transformer tipa [18,19]. Mogućnost obrade vremenskih serija podataka u oblasti monitoringa vodnih tela i vodnog inženjerstva pored mogućnosti praćenja stepena zagađenosti, može se koristiti i za razvoj modela za rano upozoravanje od poplava ili štetnog dejstva hazardnih supstanci, te sprečiti fatalne posledice po čoveka, floru i faunu istraživanog područja. Pored sposobnosti manipulisanja numeričkim podacima, posebna oblast mašinskog učenja zasnovana na modelima veštačke inteligencije odnosi se na obradu slike (engl. Computer vision). Korišćenje slika kao parametara za obučavanje neuronskih mreža omogućava da se mreža obuči na osnovu satelitskih snimaka i fotografija. Primer za takav vid predikcije ekološkog statusa može biti detekcija određenih indikatorskih vrsta i njihova korelacija sa stepenom trofičnosti staništa na kom su detektovane [20].

Potencijalan nedostatak u VI baziranom modelovanju kvaliteta površinskih voda je anomalija u detekciji podataka, ekstremna odstupanja vrednosti određenih parametara u procesu obučavanja i izostavljanje znanja eksperta u postavljanju zavisnosti između ulaznih i izlaznih varijabli, što može dovesti do nedovoljne preciznosti u tumačenju rezultata modelovanja.

## ZAKLJUČAK

Precizan i kvalitetan monitoring površinskih voda od izuzetnog je značaja u oblasti upravljanja vodama i postizanju što boljeg ekološkog statusa vodnih tela. Implementacija različitih senzora na mernim stanicama i kolekcija prikupljenih podataka na serverima omogućava dinamičnije prikupljanje obimnih setova podataka i predikciju statusa u realnom vremenu. Obučeni na istorijskim podacima modeli bazirani na veštačkoj inteligenciji superioran su alat u monitoring procesu vodnih tela. Uspostavljanje zavisnosti između određenih varijabli za praćenje kvaliteta odlična je osnova za kreiranje web alata koji bi unapredio monitoring proces i omogućio brže reagovanje u slučaju hazarda. Za uspostavljanje korelacija među parametrima za procenu kvaliteta i tumačenje rezultata modelovanja neophodno je domensko znanje eksperta.

## LITERATURA

1. Directive, W. F. (2000). EU Water framework directive. *EC Directive*, 60.
2. Piwowska, D., & Kiedrzyńska, E. (2022). Xenobiotics as a contemporary threat to surface waters. *Ecohydrology & Hydrobiology*, 22(2), 337-354.;

3. Tovar-Sánchez, E., Hernández-Plata, I., Martínez, M. S., Valencia-Cuevas, L., & Galante, P. M. (2018). Heavy metal pollution as a biodiversity threat. *Heavy Metals*, 383;
4. Sousa, J. C., Ribeiro, A. R., Barbosa, M. O., Pereira, M. F. R., & Silva, A. M. (2018). A review on environmental monitoring of water organic pollutants identified by EU guidelines. *Journal of hazardous materials*, 344, 146-162.
5. Elosegi, A., Díez, J., & Mutz, M. (2010). Effects of hydromorphological integrity on biodiversity and functioning of river ecosystems. *Hydrobiologia*, 657, 199-215.
6. Palani, S., Liong, S. Y., & Tkalich, P. (2008). An ANN application for water quality forecasting. *Marine pollution bulletin*, 56(9), 1586-1597.
7. Singh, K. P., Basant, A., Malik, A., & Jain, G. (2009). Artificial neural network modeling of the river water quality—a case study. *Ecological modelling*, 220(6), 888-895.
8. Ibrić, S., Knežević, M., Parojčić, J., & Đurić, Z. (2007). Primena veštačkih neuronskih mreža u formulaciji farmaceutskih preparata. *Arhiv za farmaciju*, 57(6), 399-414.
9. Yetilmezsoy, K., Ozkaya, B., & Cakmakci, M. (2011). Artificial intelligence-based prediction models for environmental engineering. *Neural Network World*, 21(3).
10. Lek, S., & Guégan, J. F. (1999). Artificial neural networks as a tool in ecological modelling, an introduction. *Ecological modelling*, 120(2-3), 65-73.
11. Chen, W. B., & Liu, W. C. (2014). Artificial neural network modeling of dissolved oxygen in reservoir. *Environmental Monitoring and Assessment*, 186, 1203-1217.; Zhu, S., & Heddam, S. (2020). Prediction of dissolved oxygen in urban rivers at the Three Gorges Reservoir, China: extreme learning machines (ELM) versus artificial neural network (ANN). *Water Quality Research Journal*, 55(1), 106-118.;
12. Wen, X., Fang, J., Diao, M., & Zhang, C. (2013). Artificial neural network modeling of dissolved oxygen in the Heihe River, Northwestern China. *Environmental monitoring and assessment*, 185, 4361-4371.;
13. Antanasijević, D., Pocaajt, V., Povrenović, D., Perić-Grujić, A., & Ristić, M. (2013). Modelling of dissolved oxygen content using artificial neural networks: Danube River, North Serbia, case study. *Environmental Science and Pollution Research*, 20, 9006-9013.
14. Krtolica, I., Cvijanović, D., Obradović, Đ., Novković, M., Milošević, D., Savić, D., ... & Radulović, S. (2021). Water quality and macrophytes in the Danube River: Artificial neural network modelling. *Ecological Indicators*, 121, 107076.
15. Tung, T. M., & Yaseen, Z. M. (2020). A survey on river water quality modelling using artificial intelligence models: 2000–2020. *Journal of Hydrology*, 585, 124670
16. Ighalo, J. O., Adeniyi, A. G., & Marques, G. (2021). Artificial intelligence for surface water quality monitoring and assessment: A systematic literature analysis. *Modeling Earth Systems and Environment*, 7(2), 669-681.
17. Irwan, D., Ali, M., Ahmed, A. N., Jacky, G., Nurhakim, A., Ping Han, M. C., ... & El-Shafie, A. (2023). Predicting water quality with artificial intelligence: A review of methods and applications. *Archives of Computational Methods in Engineering*, 30(8), 4633-4652.
18. Peng, L., Wu, H., Gao, M., Yi, H., Xiong, Q., Yang, L., & Cheng, S. (2022). TLT: Recurrent fine-tuning transfer learning for water quality long-term prediction. *Water Research*, 225, 119171.;
19. Nair, J. P., & Vijaya, M. S. (2023). Temporal fusion transformer: A deep learning approach for modeling and forecasting river water quality index. *International Journal of Intelligent Systems and Applications in Engineering*, 11(10s), 277-293.
20. Liao, Y., Xu, J., & Wang, W. (2011). A method of water quality assessment based on biomonitoring and multiclass support vector machine. *Procedia Environmental Sciences*, 10, 451-457.

## PROCENA KOEFICIJENTA OPTEREĆENJA ZAGAĐENJEM POVRŠINSKOG OTICAJA SA RURALNIH POVRŠINA

Ognjen Govedarica\*, Aleksandar Đukić\*\*,  
Vladana Rajaković-Ognjanović\*\*\*

\*Univerzitet u Beogradu – Građevinski fakultet, Bulevar kralja Aleksandra 73,  
Beograd. Email: [ogovedarica@grf.bg.ac.rs](mailto:ogovedarica@grf.bg.ac.rs) ORCID: 0000-0002-4995-3932

\*\* Univerzitet u Beogradu – Građevinski fakultet, Bulevar kralja Aleksandra 73,  
Beograd. Email: [djukic@grf.bg.ac.rs](mailto:djukic@grf.bg.ac.rs) ORCID: 0000-0003-3548-989X

\*\*\* Univerzitet u Beogradu – Građevinski fakultet, Bulevar kralja Aleksandra 73,  
Beograd. Email: [vladana@grf.bg.ac.rs](mailto:vladana@grf.bg.ac.rs) ORCID: 0000-0003-4895-7007

### REZIME

Na ruralnim površinama dolazi do akumuliranja različitih zagađujućih materija, koje se tokom kišnih perioda spiraju sa površine i nose ih površinski oticaj. Koncentracije parametara kvaliteta oticaja stalno variraju zbog čega procena koeficijenta opterećenja predstavlja izazov u stručnom i naučnom pogledu. U radu je opisan postupak određivanja koeficijenta opterećenja zagađenjem površinskog oticaja na jednom eksperimentalnom slivu u južnoj Srbiji. Prikazani su rezultati i dati predlozi za poboljšanje budućih istraživanja.

KLJUČNE REČI: koeficijent opterećenja, padavine, površinski oticaj, ruralne površine, akumuliranje zagađenja

## THE LOAD COEFFICIENT ASSESMENT OF SURFACE RUNOFF POLLUTION FROM RURAL SURFACES

### ABSTRACT

Various polluting compounds accumulate on rural surfaces. These compounds get washed off the surface during rainy periods and carried by the surface runoff. Concentrations of quality parameters are constantly changing, which is why the assessment of the value of load coefficient represents a significant challenge. This paper presents the determination of the pollution load coefficient of surface runoff in an experimental rural watershed in southern Serbia. The obtained results and suggestions for improving future research have also been covered.

KEYWORDS: load coefficient, precipitation, surface runoff, rural surfaces, pollution's accumulation

## UVOD - O AKUMULIRANJU ZAGAĐUJUĆIH MATERIJA NA RURALNIM POVRŠINAMA

Gradska naselja, industrija i poljoprivreda su osnovni izvori zagađenja voda. Od svih komunalnih otpadnih voda 80% se ispušta u vodna tela bez prečišćavanja. Poljoprivreda, koja za svoje potrebe zahvata 70% ukupne vode širom sveta, igra veliku ulogu u zagađenju voda (Mateo-Sagasta et al. 2017).

Farme ispuštaju velike količine agrohemijskih materija, ostataka lekova, sedimenta i soli, koje dospevaju u vodna tela odvodnjavanjem. Navedeni izvori zagađenja predstavljaju rizik i ugrožavaju ljudsko zdravlje, vodene ekosisteme i veliki opseg proizvodnih aktivnosti (Mateo-Sagasta et al. 2017).

U većini razvijenih, a čak i kod manje razvijenih zemalja, zagađenje koje potiče sa poljoprivrednih površina počelo je da dominira, u odnosu na zagađenje iz naselja i industrije (Firoz et al. 2018, Mallin et al. 2009). Osnovni faktor, odgovoran za degradaciju eko-sistema u okruženju poljoprivrednih površina jeste eutrofikacija.

Nitrati sa poljoprivrednih površina predstavljaju osnovne hemijske zagađivače podzemnih izvora pitke vode u celom svetu (akvifera). U zemljama Evropske unije 38% vodnih tela je pod velikim pritiskom poljoprivrednog zagađenja. U Sjedinjenim Američkim Državama, poljoprivreda je glavni izvor zagađenja reka i potoka. U manje razvijenim zemljama sa niskim prihodima i ekonomijama koje su u razvoju, neprečišćene komunalne i industrijske otpadne vode predstavljaju, opravdano, brigu. Ipak, zagađujuće materije sa poljoprivrednih zemljišta koja sadrže u oticaju velike količine sedimenta i jona koji utiču na salinitet podzemnih voda, takođe postaju problem koji dobija sve veći značaj.

## EKSPERIMENTALNI DEO – ODREĐIVANJE KOEFICIJENTA OTICAJA SA RURALNIH POVRŠINA NA ODABRANOM OPITNOM SLIVU

U cilju sprovođenja istraživanja koja se bavi određivanjem koeficijenta oticaja sa poljoprivrednih površina odabrano je poljoprivredno zemljište, odnosno plantaža jabuka koja ima zasad od 60 hektara jabuka u jugoistočnoj Srbiji, severozapadno od Sokobanje. Plantaža se nalazi na terenu između 350 i 400 metara nadmorske visine. Oslanjajući se na tehnologiju proizvodnje jabuka koja se koristi u najpoznatijem regionu ove delatnosti na svetu, Južnom Tirolu, uz sisteme protivgradne zaštite, sistemom protiv smrzavanja i navodnjavanjem, kao i najkvalitetnije sadnice, visok kvalitet jabuka je zagarantovan.

### Slivne površine i mesta uzorkovanja vode

Uzorkovanje vode urađeno je sa 4 lokacije, koje su prikazane na slici 1. Osnovni podaci o lokacijama uzorkovanja su sledeći:

- **Lokacija „Moravica“** je profil na reci Moravici za uzorkovanje vode iz reke južno od plantaže. Površina sliva do ovog profila na reci je preko 180 km<sup>2</sup> i pokriva poljoprivredno zemljište različitih namena, pašnjake, šume i urbanizovano područje Sokobanje. Izliv postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda Sokobanje (koje je samo manjim delom u funkciji) je udaljeno oko 10 km uzvodno, mereno duž rečnog toka. Na kanalizaciju Sokobanje je priključeno oko 7000 stalno naseljenih stanovnika u

opštinskom centru, a tokom letnje sezone i praznika priliv turista uvećava ovaj broj za dva i više puta. Nagib sliva varira u opsegu od 1 do preko 15%.

- **Lokacija „Bara“** je na pregrađenom povremenom toku potoka koji teče uz istočnu granicu plantaže, i čija ukupna slivna površina od preko 70 ha obuhvata najniži deo plataže (oko 15 ha) i okolne poljoprivredne povišine koje se koriste za plantaže.
- **Lokacija „Mala akumulacija“** je izgrađeni otvoreni bazen na istočnoj granici plantaže kome gravitira oko 30 ha najsevernijeg dela razmatrane plantaže jabuka.
- **Lokacija „Voćnjak“** je locirana unutar voćnjaka i na tom mestu su zahvatani uzorci koji se direktno spiraju sa stabala i krošnji biljaka voća. Ovi uzorci su zahvatani i analizirani da bi se proverilo koliki je potencijal generisanja zagađujućih materija spiranjem sa stabala i lišća biljaka (voća). Potrebno je istaći da voda koja se sliva sa voća pada na zemlju, gde deo upija a drugi deo otiče oticajem i podložan je transformacijama kvaliteta. Ukupna površina pod voćnjakom je oko 60 ha, a teren je u nagibu između 3% i 4% u smeru sever-severozapad – jug-jugoistok.



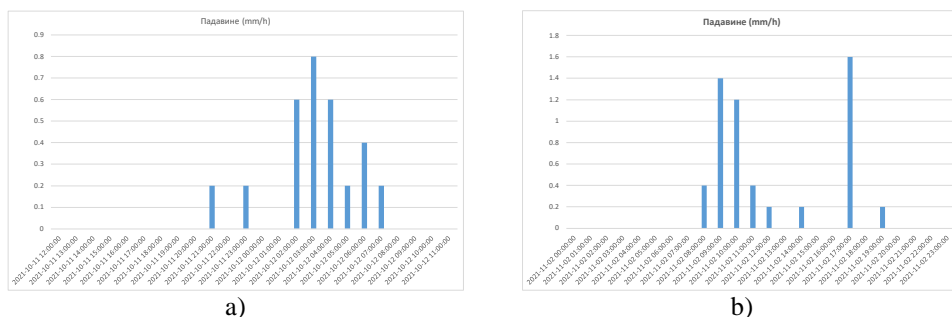
Slika 1. Lokacije uzorkovanja vode  
Figure 1. Water sampling locations



## MERENJE PADAVINA

Podaci o padavinama na lokaciji plantaže kod Sokobanje, prema podacima sa kišomera lociranog na plantaži, za dane uzorkovanja su dati na slikama 2.a i 2.b).

Prvo uzorkovanje izvedeno je u ranim jutarnjim časovima 12. oktobra. Ukupne padavine toga dana iznosile su 3,2 mm (2.a), a nekoliko uzastopnih dana pre uzorkovanja padala je slaba kiša koja je natopila zemljište vlagom i omogućila generisanje površinskog oticaja. Inače period od kraja jula do početka oktobra je bio karakterisan visokim temperaturama i produženom sušom, zbog čega nije bilo površinskog oticaja koji se mogao uzorkovati u tom periodu. Drugo uzorkovanje je bilo 2. novembra, tokom dana. Ukupne padavine toga dana iznosile su 5,6 mm (2.b).



Slika 2. Hijetogram pale kiše a) za 11. i 12. oktobar 2021.b) za 2. novembar 2021.  
Figure 2. Hyetograph a) for 11. and 12. October 2021. b) for 2. November 2021

## REZULTATI – PROCENA KOEFICIJENATA OPTEREĆENJA OTICAJA SA RURALNIH POVRŠINA ZA ANALIZIRANE KIŠNE EPIZODE

Oticaj  $Q_m$  kišnice sa neke površine je:

$$Q_m = C i A$$

gde je  $C$  koeficijent oticaja,  $i$  intenzitet kiše i  $A$  površina sliva. Da bi se protok dobio u L/s, uobičajeno je da se površina sliva unosi u ha, a intenzitet u L/s/ha. Ako su ulazne veličine date u drugim jedinicama, potrebno ih je uskladiti. Koeficijent oticaja  $C$  u gornjoj formuli predstavlja brojnu vrednost između 0 i 1 i pokazuje koji deo pale vode se pretvara u oticaj. On prevashodno zavisi od zemljišnog pokrivača, ali zavisi i od drugih faktora od kojih zavisi i količina otekle vode među kojima treba izdvojiti intenzitet kiše. Neke preporuke za vrednosti koeficijenta oticaja, u zavisnosti od tipa površine date su u tabeli 1.

U tabeli 2 date su karakteristike slivnih površina i izmerene karakteristične vrednosti pojedinih zadatih parametara kvaliteta.

Tabela 1. Preporučeni opsezi koeficijenta oticaja za različite zelene površine.

Table 1. Recommended runoff coefficient ranges for different green areas

Vrsta površine	Koeficijent oticaja*
Travnjaci i livade	
Peskovito zemljište, mali nagib (2%)	0,05 - 0,10
Peskovito zemljište, srednji nagib (2 - 7%)	0,10 - 0,15
Peskovito zemljište, veliki nagib (7%)	0,15 - 0,20
Glinovito zemljište, mali nagib (2%)	0,13 - 0,17
Glinovito zemljište, srednji nagib (2 - 7%)	0,18 - 0,22
Glinovito zemljište, veliki nagib (7%)	0,25 - 0,35
Šume	
Različite šume (mali i umereni nagibi)	0,01 - 0,10

\* Za povratne periode veće od 25 do 100 godina može se usvojiti koeficijent oticaja veći od 10-25% (ali ne može biti veći od 1)

Tabela 2. Karakteristike slivnih površina i izmerene koncentracije karakterističnih parametara u uzorcima

Table 2. Characteristics of catchment areas and measured concentrations of characteristic parameters in the samples

Veličina	jed.	Merno mesto			
		ZASAD	MORAVICA	BARA	MALA AKUMULACIJA
Površina sliva	ha	60	180.000	73	30
Koef. oticaja	-	0,15	0,25	0,2	0,2
<b>12. oktobar</b>					
BPK <sub>5</sub>	mg/L	22	24	25	28
HPK	mg/L	35	38	40	45
Ukupan azot	mgN/L	1,3	4	2	1,4
Ukupan fosfor	mg/L	10,8	0,92	0,15	0,43
<b>2. novembar</b>					
BPK <sub>5</sub>	mg/L	8,2	7,6	23,3	8,2
HPK	mg/L	13	12	37	13
Ukupan azot	mgN/L	1,7	6,4	7	1,3
Ukupan fosfor	mg/L	6	0,44	0,32	0,79

Rezultati ukazuju na sledeće:

- U pogledu BPK<sub>5</sub> i HPK svi uzorci pokazuju slične vrednosti.
- U pogledu azota, koncentracija u recipijentu (reka Moravica) je uglavnom veća (i do 3 puta) nego u oticajima sa preostale tri manje slivne površine pod voćnjacima i ratarskim kulturama. Mogući uzrok za ovo je postojanje drugih izvora zagađenja uzvodno na slivu (komunalne otpadne vode Sokobanje, industrijske otpadne vode i drugi izlivi). Potrebna su dalja ispitivanja da bi se utvrdio uzrok ovoga a moglo bi biti od značaja i proveriti sezonske varijacije ovog parametra.
- U pogledu fosfora, oticaj (spiranje) sa samih biljaka – voća (uzorak „Zasad“) pokazuje vrlo visok potencijal za spiranje fosfornih jedinjenja, koja verovatno potiču iz đubriva i sredstava za zaptitu bilja. Izmerene koncentracije fosfora u oticaju sa biljaka bile su između 12 i 72 puta veće nego izmerene koncentracije u drugim uzorcima (uzorci od 12. oktobra), odnosno od 7,6 do 19 puta veće neko koncentracije iz drugih uzoraka za

uzorke od 2. novembra. Sa druge strane, smanjenje koncentracije fosfora u uzorcima iz bare i male akumulacije u odnosu na uzorke spiranja sa biljaka, ukazuju da nakon spiranja sa krošnji i stabala voća fosfor u otcaju po površini zemljišta se većim delom zadržava u zemljištu samog voćnjaka.

U tabeli 2 date su ukupne procenjene količine pojedinih zagađujućih materija koje su sprane kišnim oticajem tokom kišnih epizoda 12. oktobra i 2. novembra, po jedinici površine svakog sliva. Zbog veličine sliva (veliko vreme koncentracije i inercija sistema), prisustva drugih zagađujućih materija uzvodno na slivu i odvijanja procesa transformacije zagađujućih materija u reci i na slivu, rezultati za reku Moravicu nisu mogli biti dobijeni samo na osnovu merenih rezultata, tako da rezultati za Moravicu nisu prikazani

Tabela 3. Količine spranog materijala tokom kišnih epizoda, po ha  
Table 3. Pollution washed off from the experimental basin on 30. September 2020.

Veličina	jed.	Količine spranog materijala sa slivnog područja mernog mesta		
		ZASAD	BARA	MALA AKUMULACIJA
<b>12. oktobar</b>				
BPK <sub>5</sub>	kg/ha	0,106	0,160	0,179
HPK	kg/ha	0,168	0,256	0,288
Ukupan azot	kg/ha	0,006	0,013	0,009
Ukupan fosfor	kg/ha	0,052	0,001	0,003
<b>2. novembar</b>				
BPK <sub>5</sub>	kg/ha	0,039	0,149	0,052
HPK	kg/ha	0,062	0,237	0,083
Ukupan azot	kg/ha	0,008	0,045	0,008
Ukupan fosfor	kg/ha	0,029	0,002	0,005

Rezultati iz tabele 3 omogućavaju bolje poređenje pojedinih slivnih površina, odnosno izvora zagađujućih materija sa površinskog oticaja, i to:

- Kišnica sprana sa biljaka („Zasad“) ima 1,5-2 puta manju produkciju BPK<sub>5</sub>, HPK i azota od drugih slivnih površina, ali zato višestruko veću produkciju fosfora (od 6 do 50 puta).
- Slivna površina „Bare“ se sastoji delom od voćnjaka (Korina klasa 2 2 2) ali većinski od drugih poljoprivrednih površina (iz Korina klase 2 1 1) sa malim udelom šuma. Sa druge strane, praktično celi sliv „Male Akumulacije“ je voćnjak (Korina klasa 2 2 2). Prema rezultatima merenja, može se zaključiti da su količine spranog BPK<sub>5</sub> i HPK slične ili veće za slivno područje „Bara“, dok su količine spranog azota znatno veće od spiranja sa slivnog područja „Mala Akumulacija“.
- Spiranje fosfora po jedinici površine, prema rezultatima merenja je znatno veće (od 2,5 do 3 puta) na slivnom području mernog mesta „Mala akumulacija“ u odnosu na slivno područje mernog mesta „Bara“, što se može pripisati spiranju sa biljaka (rezultati uzorka „Zasad“).

Koristeći podatke iz tabele 3, uz dodatne analize, mogu se proceniti godišnje količine zagađujućih materija koje se spiraju sa jednog hektara sa pojedinih analiziranih slivnih površina (osim sliva reke Moravica, iz prethodno navedenih razloga). U tabeli 4 date su procenjene vrednosti koeficijentata opterećenja za različite materije u kg/ha/god, prema merenjima od 12. oktobra i 2. novembra 2021. godine.

Ovu procenu, za sada, treba uzeti sa rezervom, jer uslovi koji vladaju tokom jedne kišne epizode ne mogu se ekstrapolovati na period od jedne godine, ali ova procena je rađena sa prvenstvenom namerom da se uporede dobijeni rezultati sa literaturinim podacima

Tabela 4. Koeficijenti opterećenja – godišnje količine odnetih materija sa različitih površina u kg/ha/god (procena prema merenim podacima)

Table 4. Load coefficients - Pollution removed from the experimental basin on 30. September 2020.

<b>Koeficijent opterećenja za slivne površine prema rezultatima merenja</b>				
<b>Veličina</b>	<b>jed.</b>	<b>ZASAD</b>	<b>BARA</b>	<b>MAŁA AKUMULACIJA</b>
<b>prema merenju uzoraka zahvaćenih 12. oktobar</b>				
BPK <sub>5</sub>	kg/ha/god	22,44	34,00	38,08
HPK	kg/ha/god	35,70	54,40	61,20
Ukupan azot	kg/ha/god	1,33	2,72	1,90
Ukupan fosfor	kg/ha/god	11,02	0,20	0,58
<b>prema merenju uzoraka zahvaćenih 2. novembar</b>				
BPK <sub>5</sub>	kg/ha/god	4,78	18,11	6,37
HPK	kg/ha/god	7,58	28,75	10,10
Ukupan azot	kg/ha/god	0,99	5,44	1,01
Ukupan fosfor	kg/ha/god	3,50	0,25	0,61

## ZAKLJUČAK

Merenja u ovom radu obuhvatila su dve serije uzorkovanja obavljenih 12. oktobra i 2. novembra 2021. godine i analize u akreditovanoj laboratoriji. Ovako kasni početak uzorkovanja je bio uslovljen prologiranim sušnim vremenom. Ispitivanja su pokazala sledeće:

- Mereni rezultati pokazuju znatne varijacije.
- Koncentracija BPK<sub>5</sub> i HPK u vodi reke Moravice, koja je krajnji recipijent površinskog oticaja sa razmatranih poljoprivrednih površina, ima slične vrednosti kao i površinski oticaj, ali sadržaj azota i fosfora u vodi reke mogu da znatno prevazilaze vrednosti izmerene u površinskom oticaju. Uzroke treba istražiti, a verovatni uzroci uključuju uzvodne zagađivače - izlive neprečišćenih otpadnih voda.
- U pogledu fosfora, oticaj (spiranje) sa samih biljaka – voća pokazuje vrlo visok potencijal za spiranje fosfornih jedinjenja, koja verovatno potiču iz đubriva i sredstava za zaštitu bilja. Izmerene koncentracije fosfora u spiranju sa biljaka bile su višestruko veće od izmerenih vrednosti u drugim uzorcima. Međutim, ispitivanja su ukazala na to da nakon spiranja sa krošnj i stabala voća dolazi do znatne redukcije fosfora u oticaju

po površini zemljišta (redukcija od nekoliko puta do nekoliko desetina puta, za merene uslove). Mogući uzrok je da se fosfor većim delom zadržava u zemljištu samog voćnjaka (gde se kasnije vezuje u biomasu), što treba dodatno ispitati.

- Ispitivanja su potvrdila da je spiranje BPK<sub>5</sub>, HPK i azota sa oranica veće nego sa površina pod voćnjacima (kao što se najčešće navodi u preporukama u literaturi), ali suprotno literaturi, nije identifikovano veće spiranje fosfora sa površina pod oranicama nego sa voćnjaka. Uzroci za ovo mogu biti sezonski, kada je vršeno uzorkovanje.
- Merenjima kvaliteta vode uzoraka površinskog oticaja u okviru ovog istraživanja nije detektovano prisustvo prioriternih i prioriternih hazardnih supstanci.
- Ugljovodonika (naftnog porekla) nema u ispitivanim uzorcima.

Treba istaći da je ovo samo preliminarna ocena ovih veličina, a za pouzdaniju ocenu potrebno je sprovesti više merenja na različiti slivovima i u različitim sezonama.

## LITERATURA

- Firoz K.M, N. A. M. Khairul, L.M.Talib,C. J. Xiang, A. Norhaniza, A. Azwani, S. M. N. Mohd, S. Mazrura,M. Maznorizan, J. M. Firdaus, H. Hanashriah, J. Farah , T. Norhayati, M. S. A. Sharifah , Physicochemical factors and their potential sources inferred from long-term rainfall measurements at an urban and a remote rural site in tropical areas, *Science of the Total Environment* 613-614 (2018) 1401–1416
- Mallin M.A, V. L. Johnson, S. H. Ensig, Comparative impacts of stormwater runoff on water quality of an urban, a suburban, and a rural stream, *Environmenatl Monitoring Assessment* 159 (2009) 475–491
- Mateo-Sagasta J., Marjani Zadeh S., Turrall H. (2017) Water pollution from agriculture: executive summary, The Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome,
- Стратегија управљања водама на територији Републике Србије до 2034. године, Службени гласник Републике Србије 3/2017

# POREĐENJE VLAŽNOSTI ZEMLJIŠTA DOBIJENE SATELITSKIM OSMATRANJIMA I PRIMENOM HIDROLOŠKOG MODELA NA PRIMERU SLIVA REKE JIČINKE U ČEŠKOJ REPUBLICI

Vesna Đukić\*, Ranka Kovačević\*\*, Dragutin Pavlović\*\*\*

\* *Univerzitet u Beogradu, Šumarski fakultet, ul. Kneza Višeslava 1,  
[vesna.djukic@sfb.bg.ac.rs](mailto:vesna.djukic@sfb.bg.ac.rs), ORCID: 0000-0002-6560-306X*

\*\* *Univerzitet u Beogradu, Šumarski fakultet, ul. Kneza Višeslava 1,  
[ranka.eric@sfb.bg.ac.rs](mailto:ranka.eric@sfb.bg.ac.rs), ORCID:0009-0005-6548-4637*

\*\*\* *Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet, Bulevar kralja Aleksandra 73,  
[dpavlovic@grf.bg.ac.rs](mailto:dpavlovic@grf.bg.ac.rs), ORCID:0000-0002-9843-3749*

## REZIME

Poznavanje stanja vlažnosti zemljišta u slivu je od velike važnosti sa stanovišta korišćenja voda, zaštite od voda i zaštite voda. U ovom radu izvršeno je poređenje vlažnosti zemljišta, dobijene na osnovu satelitskih osmatranja i primenom SHETRAN hidrološkog modela, na primeru sliva reke Jičinke (75.9 km<sup>2</sup>) u Češkoj Republici. Zbog grube prostorne rezolucije podataka o vlažnosti dobijenih satelitskim osmatranjima, redukovanjem razmere satelitskih snimaka, na osnovu poznatih vodno-fizičkih svojstava zemljišta, satelitski podaci su preuređeni na veličinu „čelije grida” SHETRAN modela. Utvrđena je dobra korelacija između podataka o vlažnosti zemljišta, dobijenih na dva različita načina. Zaključuje se da zajednička upotreba satelitskih snimaka i hidroloških modela može doprineti dobijanju pouzdanijih i preciznijih informacija o promenama vlažnosti zemljišta unutar sliva.

KLJUČNE REČI: vlažnost zemljišta, satelitska osmatranja, hidrološki model „SHETRAN”

## COMPARISON OF THE REMOTELY SENSED AND HYDROLOGICAL MODEL SOIL MOISTURE IN THE JIČINKA RIVER CATCHMENT IN THE CZECH REPUBLIC

## ABSTRACT

Understanding soil moisture conditions in a watershed is of great importance in terms of water use, water related hazard mitigation and water conservation. In this study the comparison between remotely sensed soil moisture and soil moisture estimated from the SHETRAN hydrological model was performed for the Jičinka River catchment (75.9 km<sup>2</sup>) in the Czech Republic. Due to a relatively coarse spatial resolution of the satellite-derived soil moisture data, the satellite soil moisture data were downscaled to the grid cell size of

the SHETRAN model, according to the known soil hydraulic properties within the catchment. The good correlation between the remotely sensed and hydrological model soil moisture data was obtained. It was concluded that their joint use can contribute to obtaining more reliable and more precise information about changes in soil moisture within the catchment.

KEY WORDS: soil moisture, satellite observations, downscaling method, hydrological SHETRAN model

## UVOD

Optimalna količina vlage u zemljištu je od ključne važnosti za poljoprivredu, šumarstvo i prirodne ekosisteme. Na osnovu poznatih promena vlažnosti zemljišta unutar sliva, u toku vremena, moguće je navodnjavati samo one površine i biljne kulture kojima je voda najpotrebnija. Takođe, moguće je smanjiti rizik od poplava i erozije. Vlažno zemljište deluje kao prirodni filter, koji može zadržati i ukloniti zagađivače i višak hranljivih materija iz zemljišta, sprečavajući da se one infiltriraju i zagade podzemne ili površinske vode. Efikasnim meliorativnim merama može se smanjiti prekomerna vlažnost zemljišta i mogućnost njegovog zaslanjivanja.

Promene vlažnosti zemljišta unutar sliva, na različitim dubinama zemljišta, u toku vremena, mogu se opisati primenom „fizički baziranih” modela i na osnovu satelitskih osmatranja. Primenom „fizički baziranog” distributivnog SHETRAN modela moguće je opisati hidrološko ponašanje sliva, na osnovu poznatih fizičkih karakteristika sliva, kroz međusobnu interakciju nekoliko različitih modula, u kojima su opisani procesi evapotranspiracije i intercepcije, površinskog oticaja i kretanja vode kroz hidrografsku mrežu, kao i kretanja vode kroz zasićenu i nezasićenu sredinu (Ewen et al., 2000). Promene vlažnosti zemljišta unutar sliva su jedan od rezultata, koji se mogu dobiti primenom modela, nakon prethodno urađene kalibracije i verifikacije. Međutim, nedostatak „fizički baziranih” modela je potreba za velikim brojem parametara o fizičkim karakteristikama sliva, koji povećavaju neizvesnost modela i dovode do smanjenja performansi i pouzdanosti modela (Beven, 2006).

Na osnovu različitih istraživanja uočeno je da se podaci o vlažnosti zemljišta, dobijeni na osnovu satelitskih osmatranja, mogu integrisati u hidrološke modele za veće slivove (Albergel et al., 2010; Brocca et al., 2011; Rötzer et al., 2014). U ovom radu analizirano je da li, i u kojoj meri, postoji slaganje između satelitskih osmatranja vlažnosti zemljišta i vlažnosti, određenoj primenom SHETRAN modela, na primeru sliva reke Jičinke (75.9 km<sup>2</sup>) u Češkoj. Imajući u vidu da su satelitski snimci relativno grube prostorne rezolucije, reda veličine nekoliko desetina kilometara, oni su do sada integrisani samo u hidrološke modele za veće slivove. Njihova primena na malim slivovima je otežana i nedovoljno analizirana. Usled promena klimatskih, topografskih i karakteristika zemljišta i vegetacije, vlažnost zemljišta je promenljiva unutar sliva. Primenom različitih metoda redukovanja razmere („downscaling methods”), na osnovu poznatih karakteristika zemljišta i/ili vegetacije, moguće je smanjiti razmeru satelitskih snimaka i proceniti promene vlažnosti zemljišta unutar jedne „ćelije grida” satelitskog snimka (Crow et al., 2012; Gwak and Kim,

2017; Koster et al., 2016; Rosenbaum et al., 2012), što je i urađeno u ovom radu. Konzistentnost i slaganje između ovako dobijenih podataka o vlažnosti zemljišta omogućili bi integriranje satelitskih podataka o vlažnosti u hidrološke modele za male slivove. Time bi kalibracija i verifikacija hidroloških modela malih slivova bili znatno olakšani, smanjile bi se neizvesnosti modela i povećala njihova tačnost i pouzdanost.

## PRIMENJENE METODE

### SHETRAN MODEL

Kretanje vode po površini terena i kroz rečnu mrežu opisano je aproksimacijom St. Venanovih jednačina (Saint-Venant, 1871) matematičkim modelom difuzionog talasa:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q \quad (1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(\alpha(Q^2/A))}{\partial x} + gA \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{gQ|Q|}{C^2 AR} = 0 \quad (2)$$

gde su:  $t$  - vreme,  $x$  - udaljenost merena duž kanala (m),  $Q$  - protok ( $m^3s^{-1}$ ),  $A$  – površina proticajnog profila ( $m^2$ ),  $q$  - protok pritoke ( $m^3s^{-1}$ ),  $h$  - dubina vode (m),  $C$  - Šezijev koeficijent ( $m^{0.5}s^{-1}$ ),  $R$  - hidraulički radijus (m) i  $\alpha$  - korekcionni faktor (-). Kretanje vode kroz nezasićenu i zasićenu zoni opisano je primenom Ričardsove jednačine (Richards, 1931). Priprema ulaznih podataka u vezi sa fizičkim karakteristikama sliva, kao i prikaz i vizuelizacija prostorno raspoređenih rezultata vlažnosti zemljišta unutar sliva, i u toku vremena, urađeni su primenom ArcGIS 10.2 softvera.

### KALIBRACIJA I VERIFIKACIJA SHETRAN MODELA

Kalibracija i verifikacija modela sprovedeni su poređenjem osmotrenih i simuliranih hidrograma oticaja na izlaznom profilu sliva. Kalibracija je urađena za intenzivnu kišnu epizodu, iz septembra 2007. godine, dok je verifikacija urađena za intenzivne kišne epizode, iz juna 2009., maja 2010. i juna 2010. godine. S obzirom da proticaj na izlaznom profilu sliva odražava hidrološki odgovor celog sliva na palu kišu, polazi se od pretpostavke da dobro slaganje između modeliranih i osmotrenih hidrograma oticaja znači da su i ostale komponente hidrološkog ciklusa, u ovom slučaju vlažnost zemljišta, dobro određeni. Na osnovu mnogobrojnih simulacija zaključeno je da veličina oticaja u najvećoj meri zavisi od: Striklerovog koeficijenta za površinski oticaj ( $S_r$ ), Striklerovog koeficijenta za reke ( $S_r$ ), Darsijevog koeficijenta u vertikalnom pravcu za nezasićenu sredinu ( $K_{vs}$ ), Darsijevog koeficijenta u horizontalnom pravcu za zasićenu sredinu ( $K_{hs}$ ) i vlažnosti zasićenog zemljišta ( $\theta_s$ ) (Đukić and Radić, 2014; Đukić and Radić, 2016). Preliminarne vrednosti parametara modela, koji su korišćene pri njegovoj kalibraciji, kao i vrednosti fiksnih parametara određene su iz literature (Tabela 3), i prikazane su u Tabelama 1 i 2.



Tabela 1. Kalibrisane vrednosti parametara SHETRAN modela za različite vrste zemljišta, za sliv reke Jičinke

Table 1. Calibrated values of SHETRAN model parameters for different soil types, for the Jicinka river basin

Vodno – fizička svojstva zemljišta i podloge								
Vrsta zemljišta	Deb. sloja (m)	Tekstura	$K_{vs}$ ( $mday^{-1}$ )	$K_{hs}$ ( $mday^{-1}$ )	$\theta_s$ (-)	$\theta_r$ (-)	$\alpha$ (-)	$n$ (-)
Distrični kambisol	0 - 0.7	Pesk. glin. ilovača	0.223-0.5814 (0.300)	0.223-0.5814 (0.300)	0.419-0.695 (0.480)	0.047	0.014	1.32
	0.7 – 1.2	Pesk. glin. ilovača	0.223-0.5814 (0.300)	0.223-0.5814 (0.300)	0.419-0.695 (0.480)	0.047	0.014	1.32
Rendzina	0-0.5	Glin. ilovača	0.217-0.4105 (0.270)	0.217-0.4105 (0.270)	0.437-0.442 (0.440)	0.075	0.013	1.42
Eutrični kambisol	0- 0.5	Glin. ilovača	0.217-0.4105 (0.270)	0.217-0.4105 (0.270)	0.426-0.469 (0.44)	0.075	0.013	1.42
	0.5-1.05	Ilovača	0.128-0.192 (0.15)	0.15	0.426-0.469 (0.430)	0.078	0.036	1.56
Fluvisol	0 - 0.40	Glin. ilovača	0.217-0.411 (0.255)	0.217-0.4105 (0.255)	0.426-0.469 (0.430)	0.075	0.013	1.42
	0.40 - 1.0	Mulj. ilovača	0.130-0.196 (0.163)	0.163	0.452	0.093	0.005	1.68
	1.0 -1.25	Pesk. glin. ilovača	0.223-0.581 (0.300)	0.223-0.5814 (0.300)	0.419-0.695 (0.480)	0.047	0.014	1.32
Geološka podloga	1.25-4	(Peščari, škriljci)	4	0.01 - 5 (4)	0.6	0.1	0.001	1.1

Tabela 2. Kalibrisane vrednosti Striklerovih koeficijenata modela, za površinski oticaj ( $S_t$ ) i za reke ( $S_{tr}$ )

Table 2. Calibrated values of Strickler model coefficients, for surface runoff ( $S_t$ ) and for rivers ( $S_{tr}$ )

Način korišćenja zemljišta/ vegetacija	Striklerovi koeficijenti, za površinski oticaj i za reke	
	$S_t$ ( $m^{1/3}s^{-1}$ )	$S_{tr}$ ( $m^{1/3}s^{-1}$ )
Šume	4 - 8 (7)	15-40 (30)
Poljoprivredno zemljište	8 - 20 (18)	
Prirodni travnjaci	7-18 (16)	
Oskudna vegetacija	30 – 50 (42)	

Saglasnost između modeliranih i osmotrenih hidrograma oticaja ocenjena je primenom nekoliko kriterijuma evaluacije, odnosno, tipova koeficijenata efikasnosti modela: Nash i Sutcliffe (1970) (CR1), Chiew i McMahon (1994) (CR2), Ye et al. (1997) (CR3), Pereira i Pruitt (2004) (CR4). Takođe su korišćene i sledeće statističke mere: srednja kvadratna greška (RMSE), srednja apsolutna greška (MAE), koeficijent korelacije (R), i indeks saglasnosti (d).

## METODA REDUKOVANJA RAZMERE

S obzirom da su primenom satelitskih osmatranja dobijeni podaci o prosečnoj vlažnosti zemljišta unutar „ćelija grida” veličine 25 km, u cilju poređenja ovih podataka sa podacima vlažnosti zemljišta dobijenih primenom SHETRAN modela, satelitski dobijeni podaci su redukovani i preuređeni na veličinu „ćelije grida” SHETRAN modela, koja iznosi 500 m. Polazeći od prosečne vlažnosti zemljišta za „ćeliju grida” satelitskog snimka i poznatih vodno-fizičkih karakteristika zemljišta, primenom „metode redukovanja razmere” („downscaling method”), koju su razvili Qu i saradnici (2015), određene su prosečne vlažnosti zemljišta za „ćelije grida” SHETRAN modela. Primenjena metoda redukovanja razmere (Qu i dr., 2015) zasniva se na modelu Mualem-Van Genuchten-a, u kome su vodno - fizička svojstva nezasićene sredine prikazana uspostavljanjem povezanosti između kapilarnog potencijala, vlažnosti i hidrauličke provodljivosti zemljišta, primenom jednačine Van Genuchten-a (1980) (jednačina 3) i Mualem-a (1976) (jednačina 4):

$$\theta(h) = \theta_r + \frac{S_e(\theta_s - \theta_r)}{\left[1 + |\alpha h|^n\right]^m} \quad h \leq 0 \quad (3)$$

gde su  $\theta$  -vlažnost zemljišta ( $\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$ );  $h$  – kapilarni potencijal (cm);  $\theta_s$  – vlažnost zasićenog zemljišta ( $\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$ );  $\theta_r$  – rezidualna vlažnost zemljišta ( $\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$ );  $\alpha$  ( $\text{cm}^{-1}$ ),  $n$  (-), and  $m$  (-) ( $m = 1 - 1/n$ ) su parametri oblika.

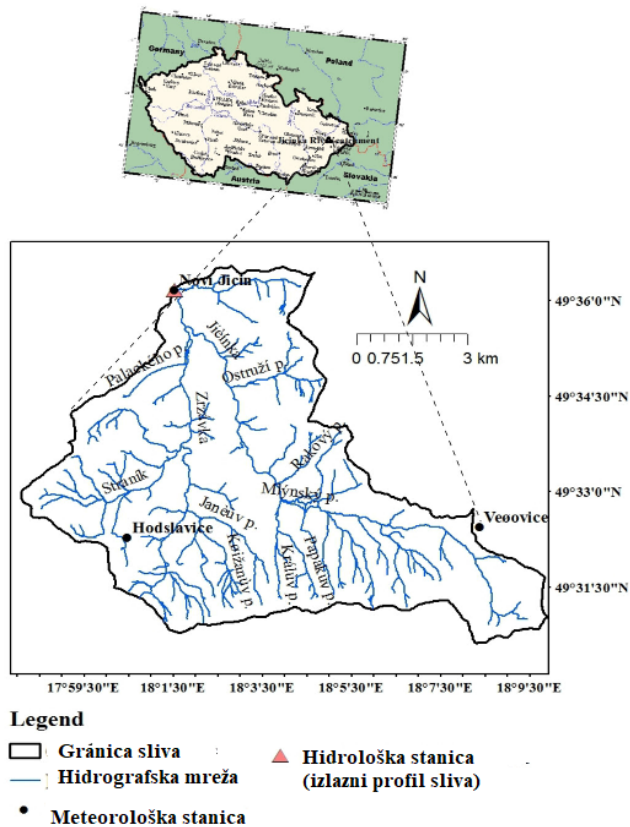
$$K(S_e) = K_s S_e^L \left[1 - (1 - S_e^{1/m})^m\right]^2, \quad h \leq 0 \quad (4)$$

gde je:  $K_s$  – Darsijev koeficijent filtracije ( $\text{cm d}^{-1}$ ) i  $K$  ( $\text{cm d}^{-1}$ ) – hidraulička provodljivost nezasićene sredine;  $L$  – parametar povezanosti pora u zemljištu ( $L = 0.5$ );  $S_e$  –efektivna zasićenost zemljišta. Za svaku „ćeliju grida” satelitskog snimka, standardna devijacija vlažnosti zemljišta  $\sigma_\theta(\bar{\theta})$  izražena je u funkciji srednje vrednosti i standardne devijacije vodno-fizičkih karakteristika sredine ( $K_s$ ,  $\theta_s$ ,  $\theta_r$ ,  $\alpha$ ,  $n$ ) (Montzka et al., 2018), u cilju procene vlažnosti zemljišta unutar jedne ćelije grida. Promene vlažnosti zemljišta unutar jedne „ćelije grida” mogu se proceniti, na osnovu poznate prosečne vlažnosti za „ćeliju grida” satelitskog snimka i vrednosti standardne devijacije vlažnosti zemljišta  $\sigma_\theta(\bar{\theta})$  (Montzka et al., 2018). Analiza rezultata vlažnosti u površinskom sloju zemljišta, dobijenih primenom hidrološkog modela i primenom satelitskih osmatranja, za svaku „ćeliju grida”

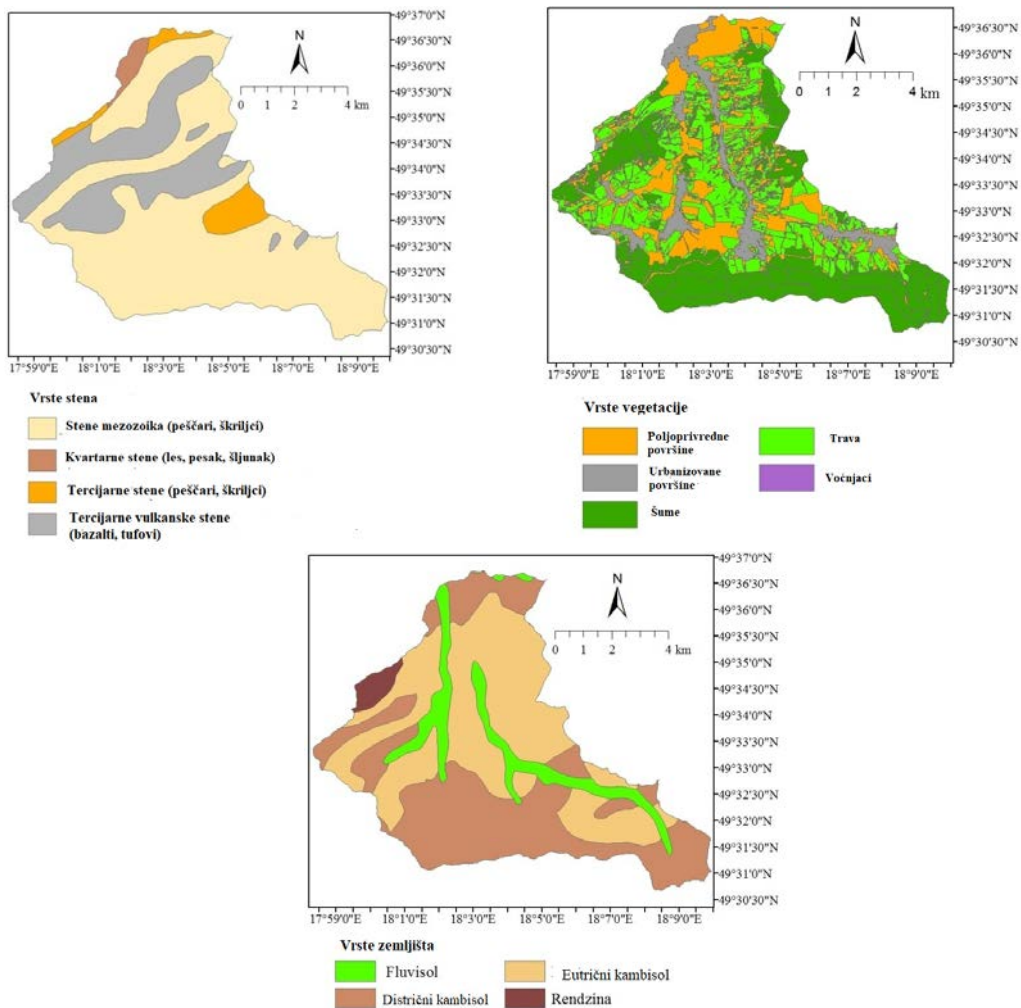
SHETRAN modela prostorno je analizirana primenom istih kriterijuma evaluacije korišćenih i za evaluaciju performansi hidrološkog modela.

## PODRUČJE ISTRAŽIVANJA

Sliv reke Jičinke do hidrološke stanice „Novy Jičín“ (Slika 1) nalazi se u Moravsko-šleskoj regiji, u istočnom delu Češke Republike. Reka Jičinka je pritoka reke Moravice, koja pripada slivu reke Opave i Baltičkog mora. Nadmorske visine na slivu kreću se od 270 mm, u donjem delu slivu, do 1000 metara u izvorišnim područjima sliva, sa prosečnim nagibom terena od 9,1%. Pedološke i geološke karakteristike sliva i zastupljene vrste vegetacije na slivu prikazane su na slici 2.



Slika 1. Sliv reke Jičinke sa hidrografskom mrežom, kišomernim i hidrološkim stanicama  
 Figure 1. The Jičinka River basin with the river system and the rain gauging and hydrological stations in the basin



Slika 2. Pedološka karta, karta vegetacije, geološka karta sliva reke Jičinke  
 Figure 2. The map of soil types, geological types and vegetation types at the Jičinka River basin

## ULAZNI PODACI

Ulazni podaci, odgovarajući ulazni parametri i izvori korišćenih podataka u SHETRAN modelu prikazani su u Tabeli 3. Prosečne časovne visine padavina na slivu i časovne vrednosti oticaja tokom analiziranih kišnih događaja prikazane su u Tabeli 4.

Tabela 3. Ulazni podaci i parametri korišćeni u okviru SHETRAN modela  
Table 3. Input data and parameters used in the SHETRAN model

Vrsta ulaznih podataka	Ulazni podaci	Izvor ulaznih podataka
Meterološki	Časovne padavine	Czech Hydrometeorological Institute
Hidrološki	Registrovani hidrogrami oticaja	T.G. Masaryk Water Research Institute
Topografski	Digitalni model terena (DEM) rezolucije: 10m*10m	T.G. Masaryk Water Research Institute
Namena zemljišta/ Karta vegetacije	Strickler-ovi koeficijenti za površinski oticaj ( $S_t$ ) i za reke ( $S_{tR}$ ) (Engman,1986)	Corine Land Cover Databases <a href="https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover">https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover</a>
Tipovi zemljišta	Hidraulička svojstva zemljišta/stena (poroznost i specifična izdašnost), rezidualna vlažnost ( $\theta_r$ ), vlažnost zasićenja ( $\theta_s$ ) Darsijevi koeficijenti vertikalne i horizontalne filtracije u zasićenom zemljištu ( $k_{vs}$ , $k_{hs}$ ), Van Genuchten- $\alpha$ , Van Genuchten- $n$	<a href="http://globalchange.bnu.edu.cn/research/soil5.jsp">http://globalchange.bnu.edu.cn/research/soil5.jsp</a> . "Czech Geological Survey"-ArcGIS online

Tabela 4. Ukupna visina pale kiše ( $P_{tot}$ ), zapremina padavina ( $V_p$ ), maksimalan proticaj ( $Q_{max}$ ) i zapremina oticaja ( $V_r$ )

Table 4. The precipitation ( $P_{tot}$ ) fallen on the ground, the volume of precipitation ( $V_p$ ), the maximum runoff value ( $Q_{max}$ ) and the runoff volume ( $V_r$ ).

Broj kišne epizode	Simulacioni period	$P_{tot}$ (mm)	$V_p$ ( $10^3$ m <sup>3</sup> )	$Q_{max}$ (m <sup>3</sup> /s)	$V_r$ ( $10^3$ m <sup>3</sup> )
1	5.09.2007. (10:00) 17.09.2007. (10:00)	190.13	14429.9	98	6387.5
2	22.06.2009. (05:00 - 29.06.2009. (7:00)	150.2	11403	264	5805.5
3	11.05.2010. (13:00 - 29.05.2010. (3:00)	232.8	17670.4	75.6	15666.4
4	30.05.2010. (11:00 - 2.06.2010. (14:00)	46.2	3502.2	43.1	4429.9

Podaci o vlažnosti zemljišta dobijeni satelitskim osmatranjima preuzeti su od Evropske svemirske agencije (ESA) i deo su projekta osmatranja vlažnosti zemljišta (SM), koji je sproveden u okviru Inicijative za klimatske promene (CCI) (<http://www.esasoilmoisture-cci.org>). Podaci o vodno-fizičkim svojstvima zemljišta preuzeti su iz Globalnog skupa podataka o zemljištu (GSDE) (Shangguan et al., 2014) koji se nalazi na internet adresi: <http://globalchange.bnu.edu.cn/research/soil5.jsp>.

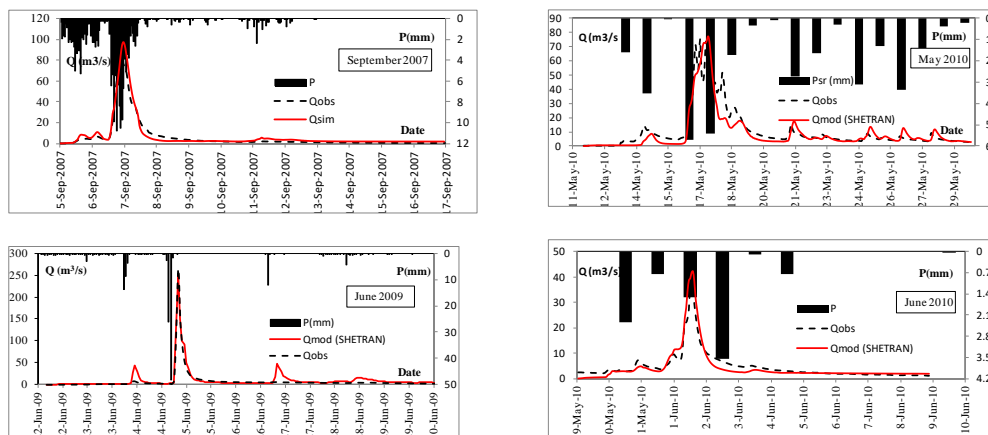
## REZULTATI I DISKUSIJA

Na osnovu uporednog pregleda rezultata kalibracije i verifikacije SHETRAN modela (Slika 3), i, na osnovu dobijenih rezultata ocene kvaliteta slaganja modeliranih i osmotrenih hidrograma (Tabela 5), može se uočiti dobro slaganje između modeliranih i osmotrenih hidrograma oticaja i za kalibracione i za verifikacione kišne epizode.

Tabela 5. Rezultati primenjenih kriterijuma CR1 - CR4 i statističkih mera (MAE, RMSE, R and d) za procenu kvaliteta simulacija SHETRAN modela

Table 5. The results of the application of criteria CR1 - CR4 and statistical measures (MAE, RMSE, R and d) for the assessment of the SHETRAN model simulations

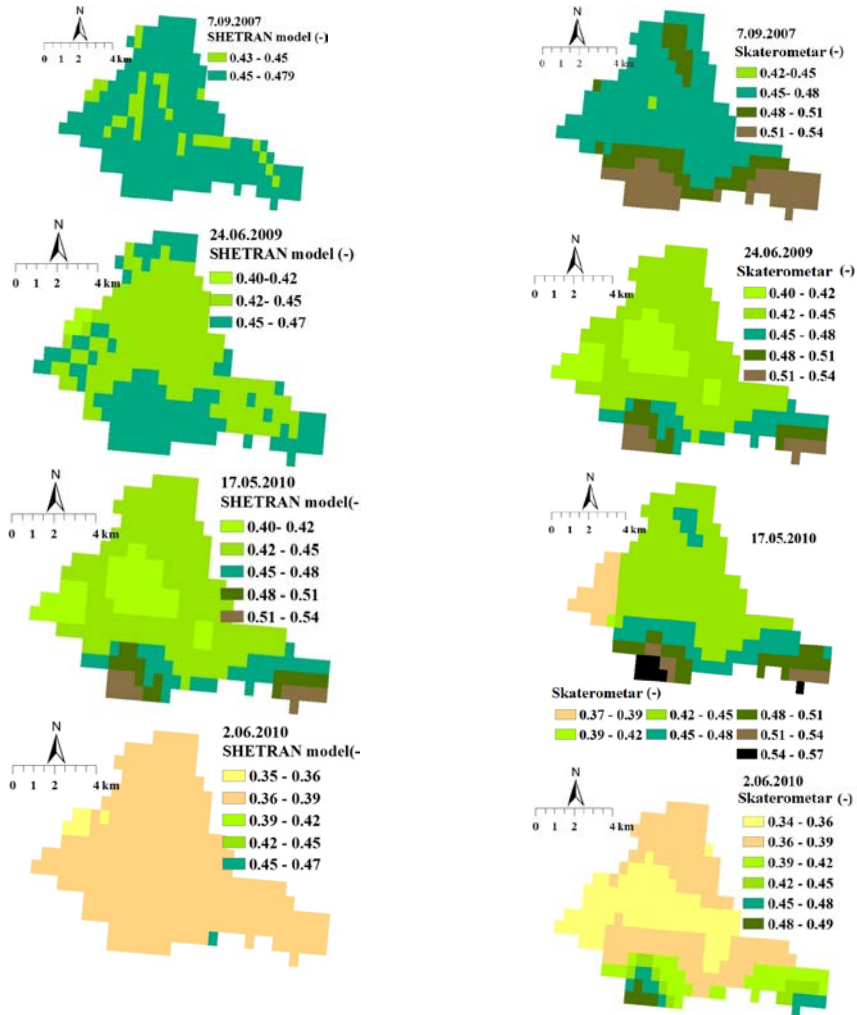
Kriterijum	Kalibraciona kišna epizoda	Verifikacione kišne epizode		
	septembar 2007	jun 2009	maj 2010	jun 2010
CR1	0.940	0.905	0.810	0.872
CR2	0.895	0.747	0.803	0.759
CR3	0.720	0.533	0.602	0.577
CR4	0.897	0.786	0.908	0.926
MAE	2.082	3.550	3.412	1.348
RMSE	3.598	7.381	6.036	2.0349
R	0.975	0.961	0.908	0.965
d	0.986	0.978	0.951	0.973



Slika 3. Osmotreni (Qobs) i modelirani (Qmod) hidrogrami oticaja za kišne epizode u okviru kalibracije (septembar 2007) i verifikacije modela (jun 2009, maj 2010 i jun 2010), za sliv reke Jičinke u Češkoj Republici (hidrološka stanica „Novy Jičín”)

Figure 3. The observed (Qobs) and the simulated (Qmod) streamflow hydrographs for the calibration (September 2007) and verification (June 2009, May 2010 and June 2010) rain events at the Jičina River catchment (hydrological station „Novy Jičín”)

Za svaku analiziranu kišnu epizodu napravljeni su rasterski prikazi dnevnih vlažnosti zemljišta, rezolucije 500 m \* 500 m, za dva različita izvora podataka o vlažnosti zemljišta. Na Slici 4 prikazana je prostorna raspoređenost maksimalne površinske vlažnosti zemljišta, tokom analiziranih kišnih događaja. Procenjene prostorno raspodeljene vlažnosti zemljišta, uglavnom, odgovaraju vlažnosti zasićenja zemljišta, samo u slučaju kišnog događaja iz juna 2010. godine, one su niže u odnosu na vlažnosti zasićenja.



Slika 4. Prostorni raspored maksimalne vlažnosti zemljišta dobijenih primenom SHETRAN modela i na osnovu satelitskih osmatranja, primenom skaterometra, za dane zabeleženog maksimalnog protoka  
 Figure 4. The spatial patterns of the maximum surface soil moisture simulated by the SHETRAN model and estimated by downscaling of the remote sensing data (from the scatterometer) for the days of the peak runoff occurring

Konzistentnost između dva izvora informacija o vlažnosti zemljišta analizirana je prostorno u smislu istih kriterijuma koji su korišćeni za evaluaciju performansi hidrološkog modela. U tabeli 6 su prikazane prosečne, minimalne i maksimalne vrednosti evaluacionih kriterijuma na nivou sliva. Na slici 6 prikazana je prostorna raspoređenost koeficijenta korelacije.

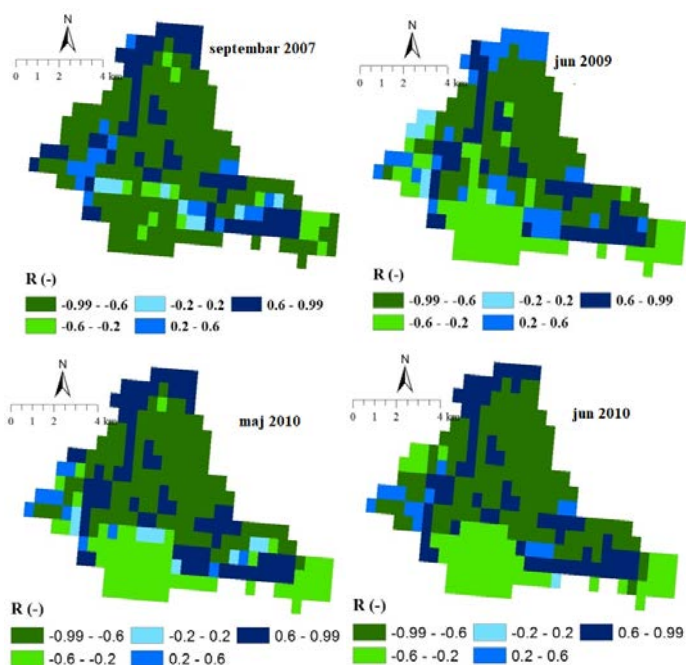
Tabela 6. Procena podudaranja prostorno raspoređenih vrednosti vlažnosti (prosečne/minimalne /maksimalne vrednosti), dobijenih primenom SHETRAN modela i na osnovu satelitskih osmatranja, za sliv reke Jićinke

Table 6. The assessment of the agreement between the two spatially distributed soil moisture values (average/minimum/maximum values), obtained by applying the SHETRAN model and based on satellite observations, for the Jicinka river basin

Kriterijum	Kalibraciona kišna epizoda	Verifikacione kišne epizode		
	septembar 2007	jun 2009	maj 2010	jun 2010
CR3	-0.28/-4.35/0.30	-0.495/-1.387/0	-1.45/-5.1/-0.02	-2.5/-7/-0.34
CR4	0.89/0.62/0.99	0.81/0.71/0.999	0.76/0.56/0.99	0.72/0.58/0.999
MAE	0.07/0.04/0.30.0	0.09/0.05/0.37	0.11/0.05/0.16	0.11/0.04/0.25
R	0.8/0.06/0.995	0.63/0.004/0.99	0.68/0.12/0.99	0.71/0.196/0.99
RMSE	0.096/0.08/0.196	0.11/0.06/0.15	0.12/0.05/0.18	0.13/0.05/0.17
d	0.55/0.18/0.66	0.51/0.15/0.91	0.49/0.24/0.68	0.41/0.15/0.53

Bitno je napomenuti da negativne vrednosti kriterijuma CR3 (Tabela 6), ne ukazuju na nedostatak saglasnosti između dva načina procene vlažnosti zemljišta, već da su rezultat male prostorne i vremenske razlike vlažnosti zemljišta u odnosu na uslove zasićenja, koji prevladavaju tokom analiziranih kišnih događaja. Sa druge strane, vrednosti ostalih evaluacionih kriterijuma (Tabela 6 i Slika 5) ukazuju da postoji dobra korelacija između dva tipa podataka. Rezultati su zadovoljavajući, posebno, ako se ima u vidu da, pored neizvesnosti u proceni parametara hidrološkog modela, postoje i neizvesnosti u vezi sa satelitskim osmatranjima, koje su posledica oblačnosti vremena, teškoća u tumačenju satelitskih osmatranja, kao i primenjene metode redukovanja razmere.





Slika 5. Prostorna raspoređenost koeficijenta korelacije na slivu reke Jičinke za analizirane kišne epizode u septembru 2007., junu 2009., maju 2010. i u junu 2010.  
 Figure 5. The spatial distribution of the correlation coefficient across the Jičinka River catchment for the analyzed rain events in September 2007, June 2009, May 2010 and June 2010

## ZAKLJUČAK

Poređenjem rezultata vlažnosti zemljišta, dobijenih primenom SHETRAN modela i na osnovu satelitskih osmatranja, na osnovu primenjenih kriterijuma evaluacije, može se zaključiti da postoji dobra saglasnost između dobijenih rezultata. Na taj način, redukovanjem razmere satelitskih prikaza, oni se mogu koristiti kao dodatni kriterijumi za kalibraciju i verifikaciju hidroloških modela na malim slivovima, čime bi se smanjile neizvesnosti pri određivanju parametara hidroloških modela. Iako oba pomenuta načina određivanja vlažnosti zemljišta imaju određena ograničenja i neizvesnosti, njihova integrisana upotreba može poboljšati hidrološke simulacije i tačnost dobijenih rezultata modela.

## LITERATURA:

- Albergel, C., Calvet, J.C., Mahfouf, J.F., Rüdiger, C., Barbu, A.L., Lafont, S., Roujean, J.L., Walker, J.P., Crapeau, M., Wigneron, J.P., Monitoring of water and carbon fluxes using a land data assimilation system: A case study for southwestern France. *Hydrology and Earth System Sciences*, 14 (2010) 1109–1124. DOI: 10.5194/hess-14-1109-2010
- Beven, K., A manifesto for the equifinality thesis. *Journal of Hydrology* 320 (2006) 18–30.
- Brocca, L., Hasenauer, S., Lacava, T., Melone, F., Moramarco, T., Wagner, W., Dorigo, W., Matgen, P., Martinez- Fernandez, J., Llorens, P., et al., Soil moisture estimation through ascats and amsr-e sensors: An intercomparison and validation study across Europe. *Remote Sens. Environ.* 115 (2011) 3390–3408.
- Chiew, F., McMahon, T., Application of the daily rainfall–runoff model MODHYDROLOG to 28 Australian catchments. *Journal of Hydrology* 153 (1994) 383–416.
- Crow, W.T., Berg, A.A., Cosh, M.H., Loew, A., Mohanty, B.P., Panciera, R., de Rosnay, P., Ryu, D., Walker, J.P., Upscaling sparse ground-based soil moisture observations for the validation of coarse-resolution satellite soil moisture products. *Rev. Geophys.*, 50, 2. (2012) <https://doi.org/10.1029/2011RG000372>
- Đukić, V., Radić, Z., GIS based estimation of sediment discharge and areas of soil erosion and deposition for the torrential Lukovska River Catchment in Serbia. *Water Resources Management*, 28, 13 (2014) 4567–4581. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11269-014-0751-7>
- Đukić, V., Radić, Z., Sensitivity analysis of a physically based distributed model. *Water Resources Management*, 3 (2016) 1669–1684. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11269-016-1243-8>
- Đukić, V., Radić, Z., GIS based estimation of sediment discharge and areas of soil erosion and deposition for the torrential Lukovska River Catchment in Serbia. *Water Resources Management*, 28, 13 (2014) 4567–4581. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11269-014-0751-7>
- Đukić, V., Radić, Z., Sensitivity analysis of a physically based distributed model. *Water Resources Management*, 3 (2016) 1669–1684. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11269-016-1243-8>
- Ewen, J., Parkin, G., O'Connell, P.E., SHETRAN: Distributed river basin flow and transport modelling system. *ASCE J. Hydrologic Eng.*, 5 (2000) 250–258. Available at: [https://research.ncl.ac.uk/shetran/SHETRAN\\_ASCE\\_paper.pdf](https://research.ncl.ac.uk/shetran/SHETRAN_ASCE_paper.pdf)
- Gwak, Y., Kim, S., Factors affecting soil moisture spatial variability for a humid forest hillslope. *Hydrol. Processes*, 31 (2017) 431–445. Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, 582 p.
- Koster, R.D., Brocca, L., Crow, W.T., Burgin, M.S., De Lannoy, G.J.M., Precipitation estimation using l-band and c-band soil moisture retrievals. *Water Resour. Res.* 52 (2016) 7213–7225.
- Montzka, C., Rötzer, K., Bogaen, H.R., Sanchez, N., Vereecken, H., A new soil moisture downscaling approach for SMAP, SMOS, and ASCAT by predicting sub-grid variability. *Remote Sens.*, 10 (2018) 427.
- Mualem, Y., A new model predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. *Water Resour. Res.*, 12 (1976) 513–522.
- Nash, J.E., Sutcliffe, J.V., River flow forecasting through conceptual models: Part I. A discussion of principles. *Journal of Hydrology*, 27, 3 (1970) 282–290.
- Pereira, A.R., Pruitt, W.O., Adaptation of the Thornthwaite scheme for estimating daily reference evapotranspiration. *Agricultural Water Management*, 66, 3 (2004) 251–257

- Qu, W., Bogena, H.R., Huisman, J.A., Vanderborght, J., Schuh, M., Priesack, E., Vereecken, H., Predicting subgrid variability of soil water content from basic soil information. *Geophys. Res. Lett.*, 42 (2015) 789–796.
- Richards, L.A., Capillary conduction of liquids through porous mediums. *Physics*, 1, 5 (1931) 318–333. DOI: 10.1063/1.1745010
- Rosenbaum, U., Bogena, H.R., Herbst, M., Huisman, J.A., Peterson, T.J., Weuthen, A., Western, A.W., Vereecken, H., Seasonal and event dynamics of spatial soil moisture patterns at the small catchment scale. *Water Resour. Res.*, 48 (2012) 10. <https://doi.org/10.1029/2011WR011518>
- Rötzer, K., Montzka, C., Bogena, H., Wagner, W., Kerr, Y.H., Kidd, R., Vereecken, H., Catchment scale validation of smos and ascot soil moisture products using hydrological modeling and temporal stability analysis. *J. Hydrol.*, 519 (2014) 934–946.
- Saint-Venant, A.J.C.B., Théorie du mouvement non permanent des eaux, avec application aux crues des rivières et à l'introduction de marées dans leurs lits. *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, 73 (1871) 147–154, 237–240.
- Shangguan, W., Dai, Y.J., Duan, Q.Y., Liu, B.Y., Yuan, H., A global soil data set for earth system modeling. *J. Adv. Model. Earth Syst.*, 6 (2014) 249–263.
- van Genuchten, M.T., A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 44 (1980) 892–898.
- Ye, W., Bates, B.C., Viney, N.R., Silvapan, M., Jakeman, A.J., Performance of conceptual rainfall-runoff models in low-yielding ephemeral catchments. *Water Resources Research*, 33, 1 (1997) 153–166.

## SOIL QUALITY CONTROL IN URBAN AREAS

Sonja Ketin\*, Boban Kostic\*\*

\* *"Tamiš" Research and Development Institute, Novoseljski put 33, Pančevo, Serbia, email:ketin.sonja@gmail.com, ORCID: 0000-0002-2232-0529*

\*\* *University of Business Academy in Novi Sad, Faculty of economics and management and engineering, Serbia, email:bobankosticbk@gmail.com, ORCID: 0000-0003-1134-5701*

### ABSTRACT

The paper presents soil pollution on the territory of Belgrade, when a total of 66 soil samples from 33 locations were sampled and laboratory tested. Soil pollution on the territory of Belgrade was controlled with a special emphasis on the examination of the content of hazardous and harmful substances in the soil surrounded by public fountains with spring water. Tests of land in the zone of sanitary protection of the Belgrade water supply source, from communal areas and along traffic roads are also presented. The paper showed that at a certain number of locations there are deviations in terms of the content of hazardous and harmful substances in the soil in relation to the prescribed norms.

KEY WORDS: pollution, soil, quality, testing, pollutants, urban area

## КОНТРОЛА КВАЛИТЕТА ЗЕМЉИШТА У УРБАНИМ СРЕДИНАМА

### РЕЗИМЕ

У раду је приказано загађење земљишта на територији Београда, када је узорковано и лабораторијски испитано укупно 66 узорака земљишта са 33 локације. Контролисано је загађење земљишта на територији Београда са посебним акцентом на испитивање садржаја опасних и штетних материја у земљишту окруженом јавним чесмама са изворском водом. Приказана су и испитивања земљишта у зони санитарне заштите изворишта Београдског водовода, са комуналних површина и дуж саобраћајница. Рад је показао да на одређеном броју локација постоје одступања у погледу садржаја опасних и штетних материја у земљишту у односу на прописане норме.

КЉУЧНЕ РЕЧИ: загађење, земљиште, квалитет, испитивање, загађивачи, урбано подручје

## INTRODUCTION

Soil or soil is a thin surface layer of the Earth's crust that has direct contact with the air and water environment, where dynamic processes are constantly taking place under the influence of chemical, mechanical, physical, biological and climatic factors as well as human activities. It was created by processes of decomposition and degradation of rocks under the influence of mechanical, physical-chemical, thermal and erosion, biological and other factors. It is the youngest layer of the Earth's crust and its age is estimated at several tens of thousands of years.

It consists of layers, profiles-horizons, each of which has its own specificities. The surface layer is a layer of humus, and its thickness ranges from a few centimeters to almost 2 m.

The humus layer is created over many years by stacking plant materials and other decomposed organic substances. The transitional layer of the soil consists of mineral material from which the dissolved components have been washed, and the deeper layer is clay in which water is deposited and organic and inorganic substances brought by leaching accumulate. Beneath the layer of clay are the parent rocks from which the soil became.

Soil is a mixture of organic and inorganic substances. Although the organic part is in the composition with a maximum of 5% and it is very important for plants as a reservoir of nutrients. Soil is a polyphase heterogeneous system consisting of solid, liquid and gaseous substances and living organisms. All these components are in dynamic balance. The soil ecosystem is made up of different forms of life, such as bacteria, fungi, molds, plants, etc. Land is a prerequisite for life and has great importance for human survival and the beginning of civilization. It is a source of energy, minerals, microelements, nutrients for plants. Because of this, soil as a limited natural resource must not be degraded and polluted, but must be constantly renewed and revitalized.

## SOIL CHARACTERISTICS

Soil is the most complex heterogeneous system in the lithosphere. It is an open dynamic system where the processes of circulation and exchange of substances and energy with the environment take place continuously. Polluted substances enter the soil from the environment, degrading it and disrupting the dynamic balance. It is disrupted: by excessive cropping, irrigation, impoverishment of the seed fund, exploitation of mineral and ore wealth, dumping of communal, industrial and hazardous waste, organization.

Land characteristics: Morphological features, Composition and structural-mechanical properties, Physical features and Chemical properties. The characteristics of the soil depend on the relief, geological structure, climate and vegetation, hydrological parameters and the age of the soil itself.

## MORPHOLOGICAL FEATURES

The soil profile shows the external morphological appearance of the soil. The morphological characteristics of the profile are the basis for testing the soil in the field.

- The composition of the soil is the general appearance of the soil profile and shows its division into genetic horizons

- Genetic horizons are horizontal zones on the soil profile that differ in color, thickness, mechanical composition, chemical composition and other properties.
- Horizons were named after the pedogenetic process that led to their formation. Land horizons are marked with capital letters O, A, E, B, C, R

O-surface horizon, contains organic substances; A- humus accumulative layer is located on the upper surface layer and has the highest content of humus and mineral elements; E-eluvial horizon is located below the O or A horizon. Humus and mineral substances are washed out of it. Gobat is made of clay and is lighter in color. The B-horizon is a zone of accumulation of organic substances - humus from the A and E horizons as well as mineral substances. C- horizon is a loose part of the parent substrate-rock. The lowest soil horizon. The R-horizon is the parent rock from which the soil was formed

#### Division of soil by depth

The characteristics of the soil depend on the relief, geological structure, climate and vegetation, hydrological parameters and the age of the soil itself.

Table1. Division of soil by depth

Very shallow	< 15 cm
shallow	15-30 cm
Medium deep	30-60 cm
deep	60-100 cm
Very deep	> 100 cm

The depth of the soil is very important for the process of absorption, adsorption, dissolution, water infiltration and penetration of polluting substances into the soil.

Soil color is an important morphological feature. It is an indicator of many chemical and biochemical processes in the soil. Soil compaction is a very important morphological feature and depends on its composition, porosity, state of aggregation, activity of soil fauna (highly compacted, compacted, loose and loose).

Tabel 2. Composition and structural mechanical properties of soil

Basic constituents of the solid phase of the soil	Dimensions
loam	up to 0.002mm
powder	from 0.002mm - 0.2mm
Fine sand	from 0.002mm - 0.2mm

The percentage share of certain particle fractions in the soil is the mechanical composition of the soil and is called soil texture

#### Physical properties of soil

Density of the solid phase-Specific mass of the solid phase of the soil

- Soil density Volumetric mass of soil
- Soil porosity

- Soil moisture
- Water permeability of the soil
- Capillarity

### Chemical and physical-chemical properties of soil

Chemical composition of the soil

- Sorptive properties
- Ion exchange characteristics of the soil
- Soil acidity
- Trace elements in the soil
- Organic substances in the soil
- Content of heavy metals
- Harmful substances in the soil

### Representation of elements in the Earth's crust

Microelements such as Cu, Zn, As, Co, Se, Ni, Pb, Mo and others enter the composition of the soil.

### Harmful substances in the soil

Due to the presence of humus and clay, the soil binds very high concentrations of harmful substances and elements. They reach the soil with water or air that carries dust and aerosols rich in polluting substances. Pesticides (fungicides, herbicides, insecticides), Unused artificial fertilizers, Organic waste, Drainage and waste water, Chemical compounds, Heavy metals, Radioactive elements.

## SOIL ANALYSIS

According to its chemical composition, the soil is a multiphase system. Solid phase about 50%. 45% of which is mineral matter and about 5% organic matter. The liquid phase of the soil, i.e. the soil solution and the gaseous phase each make up 25% of the total composition. Analyses: common organoleptic properties - describe the appearance of samples on cross-section.

Complete analysis - physical parameters (density, specific density, particle size and water content).

Electrochemical measurements - the pH, conductivity and redox potential of the sample are measured, and the alkalinity of the soil, the concentrations of dissolved organic matter, nitrogen, phosphorus, sulfur and heavy metals are determined. It is done by known standard methods.

Legal bases of the established program of soil pollution testing in the Law on Environmental Protection, Ordinance on the manner of determining and maintaining zones and zones of sanitary protection of water supply sources, Ordinance on permitted quantities of hazardous and harmful substances in soil and irrigation water and methods of their

testing, systematic monitoring of soil quality, indicators for assessing the risk of land degradation and methodology for the development of remediation programs and other legal provisions. Sampling and laboratory testing was performed in accordance with the provisions of the Ordinance on permitted quantities of hazardous and harmful substances in soil and irrigation water and their testing methods and requirements of SRPSISO 17025. Interpretation of results was performed based on comparisons with regulations given in the Regulation on , indicators for assessing the risk of land degradation and methodology for the development of remediation programs (Ketin et al. 2010, Ketin et al. 2015).

Table 3. Recommended procedures for dissolving soil samples

metal	process
Heavy metals	HF-HClO <sub>4</sub> digestion
Zn	HF-HClO <sub>4</sub> digestion
Na	HF-HClO <sub>4</sub> digestion
Si	Melting with NaCO <sub>3</sub> or NaOH or HF-HClO <sub>4</sub> digestion
K	Melting with NaCO <sub>3</sub> or NaOH or HF-HClO <sub>4</sub> digestion
Mg	Melting with NaCO <sub>3</sub> or NaOH or HF-HClO <sub>4</sub> digestion
Ca	Melting with NaCO <sub>3</sub> or NaOH or HF-HClO <sub>4</sub> digestion

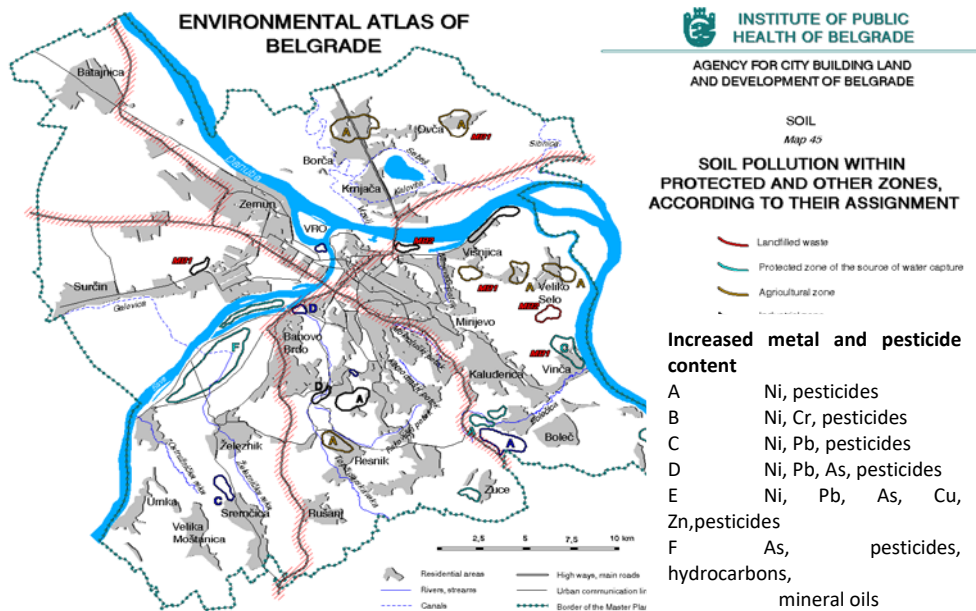


Fig. 1 Map of soil pollution in source protection zones  
Source <https://www.zdravlje.org.rs/ekoatlas/volbe/45ev.qif>



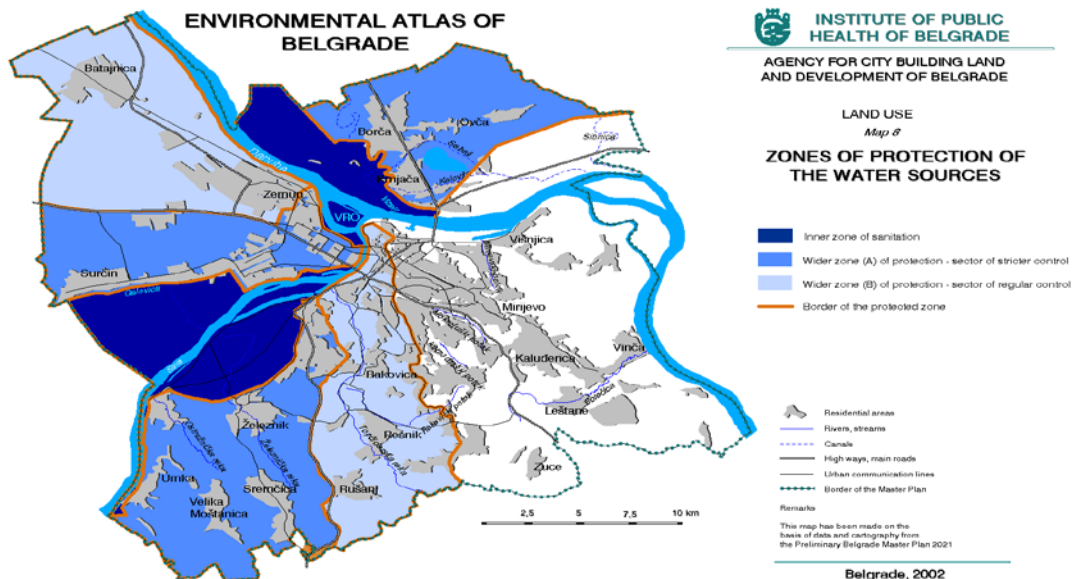


Fig. 2 Map of land use water supply source protection zones

Source: <https://www.zdravlje.org.rs/ekoatlas/volbe/08ev.qif>

### The aim of soil pollution testing

The program of systematic testing of soil pollution on the territory of Belgrade enables the achievement of the following goals: determination of the concentration of hazardous and harmful substances in the soil; monitoring the state of soil pollution in urban zones, especially in the narrower zone of sanitary protection of the Belgrade water supply source; processing information and supplementing the database on the degree of pollution and land characteristics and proposing measures to reduce pollution in the territory of Belgrade(Peric-Grujicic 2009).

## METHODS AND METHODOLOGY

### Research area

The program of soil pollution testing on the territory of Belgrade focused on the following areas of testing:

1. Land in the zone of sanitary protection of the Belgrade water supply source - soil samples from 6 locations, in the area of Usce, were processed.
2. Land near busy roads - at 3 locations next to the roads where intensive road traffic takes place: New Belgrade, Mirijevo, Lestane.
3. Land within the communal environment - 5 locations: New Belgrade, Konjarnik, Karaburma and Cubura.

4. Land surrounded by public fountains - 19 locations: Topcider, Kosutnjak, Rakovica, Miljakovac, Jajinci, Beli potok, Resnik, Zarkovo, Visnjicka Banja, Kaludjerica, Lestane, Bolec and Mali mokri lug.

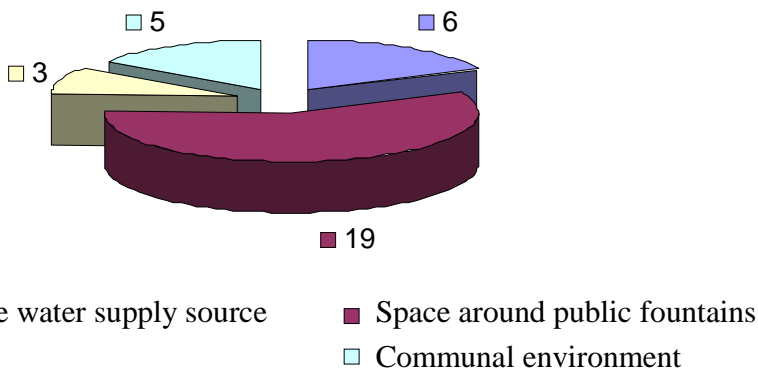


Fig. 3 Number of sampling locations by purpose zones

## RESULTS

### Test results

In order to implement the Program of soil pollution testing on the territory of Belgrade, a total of 66 soil samples were sampled and laboratory tested at 33 locations.

The results of laboratory testing of soil pollution on the territory of Belgrade show in the surface layer of soil (up to 50 cm), in some locations, there is an increased concentration of certain test parameters, as follows:

#### *I Within the sanitary protection zone of the Belgrade water supply source*

1. in 9 out of 12 soil samples, the content of nickel (Ni) was increased in relation to the norms of the regulation on the program of systematic monitoring of soil quality, indicators for risk assessment of soil degradation and methodology for development of remediation programs. The excess of nickel concentration in the tested soil samples ranged from 37.5-99.4 mg/kgNi (Limit value for nickel - 35 mg/kg).
2. In 3 soil samples in the area of the estuary, the presence of DDT walls in low concentrations (17.0-85.0 mg/kg) was registered (limit value for DDT and its metabolites -10 µg/kg).

#### *II Land near busy roads*

1. Nickel content was increased in all 6 soil samples taken along busy roads. The concentration of nickel in the tested soil samples ranged from 43.4 to 72.7 mg/kg Ni.

2. In one sample of land at the location of New Belgrade, across from the gray building, an increased concentration of copper was registered, amounting to 53.2 mg / kg (limit value for copper - 36 mg / kg).
3. in 2 samples the increased content of C10-C40 hydrocarbon index in these samples was 132.0 - 51.9 mg/kg (limit value for hydrocarbon index C10-C40 -50 mg/kg).

### *III Land within the communal environment*

1. In 11 out of 20 soil samples, nickel limit values were exceeded. The increased concentration of nickel in the tested soil samples ranged from 35.4-68.3 mg/kg Ni.
2. Increased zinc concentration - 123.0 and 222.0 mg/kg (limit value for zinc - 140 mg/kg) was registered in 2 soil samples.
3. in one sample, an increased concentration of copper was registered - 64.1 mg/kg.
4. in addition to metals, increased values of organic pollutants were registered, as follows:
  - a. polycyclic aromatic hydrocarbons PAHs in 2 samples - 2792.0 and 8038.0 mg/kg.
  - b. DDT residues in 3 samples - concentration range 21.0-1188.0 mg/kg.
  - c. Hydrocarbon index C10-C40 in 2 samples - 64.0 and 79.4 mg/kg.
5. Land surrounded by public fountains
  - a. In 32 out of 38 soil samples, the limit value for nickel was exceeded. The increased concentration of nickel in the tested soil samples ranged from 37.5-87.6 mg/kg Ni.
  - b. In 6 soil samples, an increased concentration of zinc was registered, which in these samples ranged from 139.0-290.0 mg/kg (limit value for zinc - 140 mg/kg).
  - c. In 4 soil samples, an increased concentration of copper was registered, which ranged from 36.3-66.9 mg/kg.
  - d. An increase in the content of lead (290.0 mg/kg) (limit value for lead - 85 mg/kg) and cadmium (3.2) (limit value for cadmium - 0.8 mg/kg) was registered in one sample.
  - e. In addition to metals, increased levels of organic pollutants were registered, as follows:
    - Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in 3 samples - concentration range 1118.0-3074.0 mg/kg.
    - DDT residues in 13 samples - concentration range 12.0-834.0 mg/kg.
    - Hydrocarbon index c10-c40 in 9 samples-concentration range 54.6-209.7 mg/kg.
    - Polychlorinated biphenyls (PCBs) in two soil samples-15.2-42.0 mg/kg.

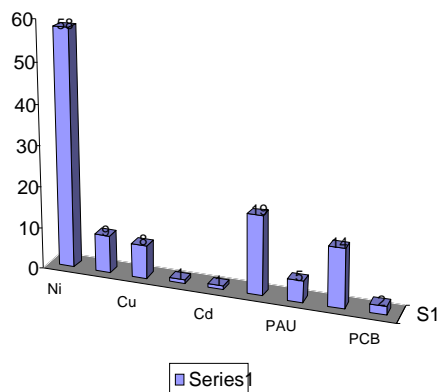


Fig. 4 Deviation according to parameters

Fig. 4 shows the number of soil samples in which the exceeding of some of the test parameters was registered, in relation to the total number of examined samples.

## DISCUSSION OF RESULTS

Based on the research of soil pollution within the 4 zones of the urban area, we can conclude that in a number of locations there are deviations in terms of the content of hazardous and harmful substances in the soil in relation to the prescribed norms.

Taking into account all the results of soil testing on the territory of Belgrade, the most common deviation was related to the increased nickel content in the soil.

The Decree on the program of systematic monitoring of land quality, indicators for risk assessment of land degradation and methodology for the development of remediation programs, etc., entered into force. Ch. RS 88/2010, in which the limit values for certain parameters are lower than in the rulebook on permitted quantities of hazardous and harmful substances in soil and water for supply and methods of their testing, fig. RS 23/94, which was previously used to compare the obtained results. This is one of the reasons why the number of soil samples in which an increased content of nickel and other metals (zinc and copper) has been registered is higher than in previous years.

The increased nickel content in the soil is related to the specific geochemical composition of the soil surface layers in this area, and is not directly caused by contamination of anthropogenic origin, although the contribution of pollution cannot be completely ruled out. This conclusion is reached on the basis of the analysis of a large number of samples and the annual monitoring of soil pollution in the observed area.

At the locations located within the sanitary protection zone of the Belgrade water supply source, no significant deviations of the concentrations of the examined parameters were registered (Fig.2). Within the narrower zone of the soil protection zone, residues (residues)

of pesticides DDT are registered even after several decades from the cessation of application, which imposes the need for further monitoring of this parameter in the soil. As well as water, it will burn after the purification procedure.

In terms of the presence of harmful and hazardous materials in the land near traffic roads, the increased values of the hydrocarbon index c10-c40 (mineral oils) and copper can be related to the impact of motor vehicles on the condition of the land along traffic roads. At the locations located on communal areas, the registered deviations are smaller in scope and mostly common in relation to the results of many years of monitoring of soil pollution in the monitored area. Regarding the findings of the laboratory test, we can single out the location within the Chubur park, where an increased concentration of zinc, copper, DDT residues, hydrocarbon index and high concentrations of polycyclic aromatic hydrocarbons PAHs was registered at a depth of 50 cm. This finding can be related to environmental influences and historical pollution (traffic, pollution, home fireplaces, etc.), and the high values of PAHs are probably related to the material used to fill that part of the Chubur park. The focus of soil pollution control on the territory of Belgrade was placed on testing the content of hazardous and harmful substances in the soil in the vicinity of public fountains with spring water. The control was carried out in order to determine the impact of pollution sources in urban areas on the pollution of land in the supply zone of public fountains and to assess the possible impacts on water quality.

The results of the conducted research indicate that in the land that is surrounded by certain public fountains, there is an increased content of dangerous and harmful substances that can lead to deterioration of the quality of drinking water from these springs and potentially endanger the health of potential users.

The most significant deviations in terms of types and concentrations of pollutants were found in the vicinity of the hajduk fountain on Kosutnjak, where an increased concentration of lead, cadmium, zinc, copper and DDT residues in the soil was registered.

The increased metal content in the soil within the immediate protection zone of the source (catchment) of the hajduk fountain is related to the unfavorable influences originating from motor vehicles, ie the sweeping road that passes in the immediate vicinity as well as the raft with several parts of hives moving in the direction of the fountain.

In addition to this, a significant finding is the presence of polychlorinated biphenyl (PCB) in the soil near the Zelenjak fountain in Resnik.

Due to possible harmful effects from the environment on the quality of spring waters, through the program of water quality control of public taps on the territory of Belgrade, implemented by the city institute for public health, the content of metals in water taps along which traffic roads pass and pesticides in water taps larger green areas. Analyzes showed that the water from the Hajduk fountain did not exceed the content of pollutants registered in the soil, but the question is whether and when the contamination of the soil in the environment will negatively affect the quality of drinking water from this facility.

Regarding the degree of contamination, ie deviations from the prescribed values given in the regulation, we can state that the concentrations of all parameters that exceeded the limit value for unpolluted land were significantly lower than the values that would require land remediation procedures. that they have not reached the remediation value given in the said regulation.

## CONCLUSIONS

The results of the research of soil pollution on the territory of Belgrade stated the following: the City Institute for Public Health sampled and laboratory tested a total of 66 soil samples from 33 locations;

Land pollution research (land testing within the sanitary protection zone of the Belgrade water supply source next to traffic roads) within the communal environment and in the vicinity of public fountains, it was found that at a number of locations there are deviations in terms of hazardous and harmful substances in the land;

Within the sanitary protection zone of the Belgrade water supply source, no significant deviations of the concentrations of the stitched parameters were registered. Registration of DDT pesticide residues at certain locations requires further monitoring of the presence of this pollutant in soil and drinking water;

The focus of control was placed on the examination of the content of hazardous and harmful substances in the environment of public fountains with spring water; the results indicate that in the soil surrounding public fountains, there is an increased content of hazardous and harmful substances that can lead to a deterioration in the quality of drinking water from polling stations and potentially endanger the health of users;

The most significant finding was found in the vicinity of the Hajduk fountain on Kosutnjak where the concentrations of Pb, Cd, Zn, Cu and DDT residues and the Zelenjak fountain in Resnik (presence of PCBs) increased and the concentrations of these parameters that exceeded the limit value were significantly lower than values that required the application of land remediation procedures (Remediation value according to the valid Regulation). Land quality was also monitored at the national level through national indicators. They give a more complete picture of the quality of soil.

## LITERATURA:

- Ali, M. M., Ali, M. L., Islam, M. S., & Rahman, M. Z., Preliminary assessment of heavy metals in water and sediment of Karnaphuli River, Bangladesh. *Environmental Nanotechnology, Monitoring and Management*,5, (2016) 27–35.
- Biocanin R, Stefanov S., Environmental bio-indicators of the quality systems of eco-monitoring, The International Conference on BioScience: Biotechnology and Biodiversity-step in the Future, The Forth Joint UNS-PSU, Novi Sad, Serbia, (2012) p. 60-72

- Chang-Yu, C., Tsu-Kung, L., Yi-Chuang, C., Yi-Fen, W., Huey-Wen, S., Kuan-Hua, L., et al., Nickel(II)-induced oxidative stress, apoptosis, G2/M arrest, and genotoxicity in normal rat kidney cells. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*, (2010)73, 529–539.
- Chowdhury, S., Mazumder, J. M. A., Al-Attas, O., & Husain, T., Heavy metals in drinking water: Occurrences, implications, and future needs in developing countries. *Science of the Total Environment*, (2016) 569–570, 476–488.
- Crnković, D., Ristić, M., & Antonović, D., Distribution of heavy metals and arsenic in soils of Belgrade (Serbia and Montenegro). *Soil Sediment Contam.* (2006),15, 581–589.
- Institute of Medicine, Food and Nutrition Board. Dietary reference intakes for vitamin A, vitamin K, arsenic, boron, chromium, copper, iodine, iron, manganese, molybdenum, nickel, silicon, vanadium and zinc. Washington DC: National Academy Press. (2001)
- Ketin, S., Biocanin, R., Technology for the remediation of soil, Book of Abstract, EnviroChem2015, 7th Symposium Chemistry and Environmental Protection with international participation, Palic, (2015) p.112
- Ketin, S., Imamovic, M., Nikolic, D., Biocanin, R., Technology for the remediation of soil. *Bulgarian journal of agricultural science*, (2010) vol. 21, no 5, p. 935-939
- Ketin, S., Dasic, P., Vukanic, V., Jaksic, T., Vasic, P. A, Contribution to chemical contamination of groundwater. *Fresenius environmental bulletin*, (2017) vol. 26, no. 10, p. 6104-6111
- Liang, Y., Yi, X., Dang, Z., Wang, Q., Luo, H., & Tang, J., Heavy metal contamination and health risk assessment in the vicinity of a tailing pond in Guangdong, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, (2017) 14, 1557. <https://doi.org/10.3390/ijerph14121557>.
- Marcovecchio, J. E., Botte, S. E., & Freije, R. H., Heavy metals, major metals, trace elements. In L. M. Nolllet (Ed.), *Handbook of water analysis* (2nd ed., pp. 275–311). London: CRC Press. (2007)
- Obhodas, S., Milosevic, Z., Biocanin R., Alic R, Stefanov S., Monitoring concentrations of nitrate water intake deepest River Rasina. XII international conference „RaDMI 2012“, (2012), p. 512-518
- Peric-Grujic, A., Pocajt, V., & Ristic, M., Determination of heavy metal content in teas from the market in Belgrade, Serbia. *Hem. Ind.*, (2009), 63, 433–436.
- Peric V, Jaric D, Ketin S, Konicanin A, Biocanin R., Quality of control of clinical-Biochemical Laboratories – Serbian case. *Macedonian Journal of Medical Sciences*, (2014), 7, 219-223.
- SRPS ISO 5667-6:1997. Water quality—Sampling—Part 6: Guidelines for sampling from rivers and streams.
- SRPS ISO 5667-11:2005. Water quality—Sampling—Part 11: Guidelines for taking samples from groundwater.
- SRPS ISO 5667-5:2008. Water quality—Sampling—Part 5: Guidelines for taking samples of drinking water from a water treatment plant and from a distribution system.
- Tutic, A., Novakovic, S., Lutovac, M., Biocanin, R., Ketin, S., Omerovic, N., The Heavy metals in agrosystems and impact on health and quality of life. *Open access Macedonian journal of medical sciences*, (2015), vol. 3, no. 2, p. 345-355
- US EPA. Guidelines for Carcinogen Risk Assessment, EPA/630/P-03/001F, Risk Assessment Forum, Washington, DC. (2005)
- US EPA Human Health Risk Assessment Protocol. EPA-530-D-98-001A. USEPA: Washington, DC. (1998)
- WHO. Guidelines for drinking water quality, 3rd edn., incorporating the first and second addenda. Volume 1, Recommendations. Geneva: World Health Organization. (2008)

## FITOPLANKTON REKE DUNAV NA GRANIČNOM LOKALITETU BEZDAN

Snežana Čađo\*, Nena Jelača\*, Tamara Važić\*\*,  
Tatjana Dopudja Glišić\*, Zoran Stojanović\*

\**Ministarstvo zaštite životne sredine, Agencija za zaštitu životne sredine, Žabljačka 10A, Beograd, [snezana.cadjo@sepa.gov.rs](mailto:snezana.cadjo@sepa.gov.rs), ORCID 0009-0004-2962-1668; [nena.jelaca@sepa.gov.rs](mailto:nena.jelaca@sepa.gov.rs), ORCID 0009-0009-2824-0149*

\*\**Univerzitet Novi Sad, Prirodno matematički fakultet, Departman za biologiju i ekologiju, Trg Dositeja Obradovića 2, Novi Sad, ORCID: 0009-0000-1454-6838*

### REZIME

U radu su prikazani rezultati trogodišnjeg ispitivanja sastava i dinamike zajednice fitoplanktona i fizičko-hemijskih karakteristika vodotoka Dunav, na graničnom lokalitetu sa Mađarskom kod Bezdana. Konstatovano je povećanje koncentracija primarnih i sekundarnih nutrijenata tokom zime i jeseni, a smanjenje tokom vegetacionog perioda, što je direktno vezano za produkciju fitoplanktona. Fitoplankton karakteriše velika floristička raznovrsnost, prisustvo 164 taksona iz 7 razdela algi i Cyanobacteria, od kojih su najzastupljenije silikatne i zelene alge, sa apsolutnom dominacijom centričnih dijatoma u brojnosti i biomasi. Najveća produkcija fitoplanktona konstatovana je u prolećnom periodu, u uslovima niskog vodostaja, niže koncentracije suspendovanih materija u vodi i povećanja transparentnosti. Apsolutni maksimumi brojnosti i biomase fitoplanktona konstatovani su tokom 2022. kada se intenzivna produkcija fitoplanktona nastavlja i tokom leta

KLJUČNE REČI: fitoplankton, abundanca, biomasa, hlorofil *a*, vodostaj

## PHYTOPLANKTON OF THE DANUBE RIVER AT THE BORDER SITE BEZDAN

### ABSTRACT

The paper presents the results of a three-year study of composition and dynamics of the phytoplankton community and physico-chemical characteristics of the Danube River, at the border site with Hungary near Bezdán. During winter and autumn period, an increase of primary and secondary nutrients' concentrations were recorded, and a decrease during the vegetation period which was directly related to phytoplankton production. Phytoplankton was characterized by a high floristic diversity, with the presence of 164 taxa from 7 algal divisions and Cyanobacteria, of which silicate and green algae are the most represented, with an absolute dominance of centric diatom species (abundance and biomass). The highest



phytoplankton production was observed in the spring period, during low water level conditions, lower concentrations of suspended solids in the water and increased transparency. During 2022 absolute maximums of phytoplankton abundance and biomass were recorded, when intensive phytoplankton production was continued throughout the summer.

KEY WORDS: phytoplankton, abundance, biomass, chlorophyll *a*, water level

## UVOD

Dunav je, posle reke Volge, druga reka po dužini na Evropskom kontinentu. Svojim tokom dugim 2850 km protiče kroz čak 10 zemalja. Ovo je ujedno jedina evropska reka čiji se tok pruža od zapada prema istoku. Kroz teritoriju Srbije protiče srednjim i delom donjeg toka, u dužini od 588 km i u ovom području dobija karakteristike tipične ravničarske reke. Ispuštanje velike količine industrijskih i otpadnih komunalnih voda predstavlja višedecenijski problem kako u Srbiji, tako i u drugim zemljama kroz koje protiče. Prirodni i antropogeni uticaji u slivu Dunava nameću potrebu učestalog biomonitoringa, posebno na graničnom lokalitetu sa Mađarskom kod Bezdana. Poznato je da povišene koncentracije nutrijenata u kombinaciji sa ostalim ekološkim faktorima rezultuju intenzivnom bioprodukcijom, te je od velike važnosti njihovo praćenje. U radu su prikazani rezultati trogodišnjeg ispitivanja sastava i dinamike fitoplanktonske zajednice i fizičko-hemijskih karakteristika reke Dunav.

## MATERIJAL I METODE

U skladu sa Okvirnom direktivom o vodi EU, Agencija za zaštitu životne izvršila je monitoring statusa voda reke Dunav na lokalitetu Bezdán (vodno telo D\_10, granični lokalitet sa državom Mađarskom). Za kvalitativnu analizu fitoplanktona uzorci su uzeti planktonskom mrežom promera okaca 22  $\mu\text{m}$ , prema standardu SRPS EN 16698:2016. Uzorci za kvantitativnu analizu fitoplanktona uzeti su direktnim zahvatanjem vode u boce zapremine 250 ml, prema standardu SRPS EN 16698:2016. Konzervacija uzoraka urađena je na terenu formaldehidom do finalne koncentracije od 4 %. Kvantitativna analiza fitoplanktona rađena je po Utermöhl metodi (1958), prema standardu SRPS EN 15204:2008. Određivanje biovolumena (biomase) fitoplanktona izvršeno je prema standardu SRPS EN 16695:2016. Analiza fitoplanktonskih zajednica rađena je na invertnim mikroskopima: Carl Zeiss Axio Observer D1 sa digitalnom kamerom AxioCam i ZEN softverskim programom i Nikon TE-2000U sa digitalnom kamerom DS-5M i softverskim programom NIS-Elements D. Za determinaciju algi korišćeni su odgovarajući „ključevi“. Za potrebe fizičko-hemijskih analiza uzorkovanje vode vršeno je u skladu sa zahtevima standarda SRPS EN ISO 5667-1:2008, SRPS EN ISO 5667-3:2018 i SRPS ISO 5667-4:2019. Primenom standardnih analitičkih postupaka u skladu sa metodama SRPS EN ISO, ISO, US EPA obavljena je analiza fizičko-hemijskih i hemijskih parametara. Šifre vodnih tela ustanovljene su prema Pravilniku o utvrđivanju vodnih tela površinskih i podzemnih voda (Sl. gl. RS, br. 96/2010). Prema Pravilniku o parametrima ekološkog i hemijskog statusa površinskih voda i parametrima hemijskog i kvantitativnog statusa podzemnih voda (Sl. gl. RS, br. 74/2011) izvršena je procena ekološkog statusa/potencijala.

## REZULTATI I DISKUSIJA

Temperatura vode kretala se od min. 3,2 °C u januaru 2020. i februaru 2022., do max. 25.3°C u julu 2022. (Tab. 1, Tab. 2). U reci Dunav povremeno se javljaju povećane koncentracije suspendovanih materija u vodi (preko 25 mg/l, granica II klase), a najveće koncentracije izmerene su 2021. sa pikom u septembru 115 mg/l. Povećanje pH vrednosti preko 8,5 konstatovano je u aprilu i maju 2021. (8,64, odnosno 8,60) i u maju 2022. (8,70). Ovo povećanje pH vrednosti rezultat je povećane fotosintetičke aktivnosti algi. Najniža vrednost rastvorenog kiseonika u vodi konstatovana je u julu 2020. i avgustu 2021. i iznosila je 7,90mg/l, a najviša u maju 2022. od 13,60 mg/l. Visoka produkcija fitoplanktona u prolećnom periodu 2021. i 2022. dovela je do pojave supersaturacije. Najviše vrednosti od 140 % izmerene su u maju 2022. Slične vrednosti ovih fizičko-hemijskih parametara konstatovane su tokom prethodnih ispitivanja 2002-2003. (Čađo i sar., 2005). Od parametara koji ukazuju na opterećenje vodotoka organskim materijama kao što su BPK<sub>5</sub>, HPK i TOC, povremeno se javljaju povećane koncentracije ukupnog organskog ugljenika (TOC) čija je najveća koncentracija od 6,1 mg/l. izmerena u septembru 2022. (Tab. 2). Prema Pravilniku (Sl. gl. RS, br. 74/2011) vrednosti koncentracija primarnih nutrijenata ne prelaze kriterijume za dobar ekološki potencijal (II klasa), samo u januaru 2022. konstatovane su povećane koncentracije ukupnog fosfora koje su odgovarale kriterijumima za III klasu (0,236 mg/l). Prema Uredbi (Sl. gl. RS, br. 50/2012) od novembra do marta konstatovane su povećane koncentracije ukupnog azota u vodi, koje odgovaraju III klasi. Prema kriterijumima švedske agencije za zaštitu životne sredine (SEPA, 2000) prosečne koncentracije ukupnog fosfora i ukupnog azota u vegetacionom periodu odgovaraju veoma visokim koncentracijama (IV klasa). Kao i tokom prethodnih ispitivanja (Čađo i sar., 2005) konstatovano je povećanje koncentracija primarnih nutrijenata tokom zime i jeseni, a smanjenje tokom vegetacionog perioda, što je vezano za produkciju fitoplanktona. Koncentracije sekundarnog nutrijenta silicijum-dioksida u jesenje-zimskom periodu kreću se od 3,1 do 8,6 mg/l, a u vegetacionom periodu od 1,2 do 5,7 mg/l, što je u skladu sa prethodnim ispitivanjima (Čađo i sar., 2005). Kvantitativnom analizom fitoplanktona konstatovano je 164 taksona iz 7 razdela algi (Chrysophyta-5 taksona; Bacillariophyta-65 taksona; Xanthophyta-1 takson; Cryptophyta-2 taksona; Dinophyta-3 taksona; Euglenophyta-6 taksona; Chlorophyta-64 taksona) i cijanobakterija (Cyanobacteria-18 taksona). U brojnosti i biomasi fitoplanktona Dunava dominiraju silikatne alge. Njihov udeo u biomasi se kreće od 68,41 do 98,31 %, prosečno 85.77 % (Slika 1) i uglavnom pripada centričnim silikatnim algama, što je u skladu sa prethodnim ispitivanjima (Verasztó et al., 2010; Dokulil, 2014). Bez obzira na prisustvo velikog broja taksona zelenih algi, njihov doprinos u biomasi je mali, prosečno 7,04 % (u rasponu od 0,92 do 21,35 %), što je u skladu sa ispitivanjima Verasztó et al. (2010). Prisustvo cijanobakterija je bez značaja za ovaj sektor Dunava, prosečno svega 1,08 % (od 0 do 5,65%), što je takođe u skladu sa predhodnim ispitivanjima (Dokulil, 2014; Dokulil & Donabaum, 2013) Dominantne vrste centričnih dijatoma u fitoplanktonu Dunava su: *Cyclotella meneghiniana* Kützing, *Stephanodiscus hantzschii* Grunow (in Cleve & Grunow), *Stephanodiscus minutulus* (Kützing) Cleve & Möller, *Stephanodiscus neoastrea* Håkansson & Hickel, *Skeletonema potamos* (Weber) Hasle in Hasle & Evensen, *Cyclostephanos dubuis* (Fricke) Round, *Cyclostephanos invisitatus* (M.H.Hohn & Hellerman) E.C.Theriot, Stoermer & Håkansson, *Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen, *Cyclotella* (Kützing)

Brébisson spp. i *Thalassiosira* Cleve spp. S obzirom da se ove vrste ne mogu identifikovati svetlosnim mikroskopom tokom brojanja Utermol tehnikom, one su podeljene u grupe: *Stephanodiscus* spp. (dijametar d=5-9 µm), *Cyclostephanos* spp. (d=10-15 µm) i grupa *Cyclotella meneghiniana*, koja obuhvata sve *Cyclotella* spp. i *Thalassiosira* spp, čiji je d=18-25µm. Dominantna vrsta u Dunavu u martu mesecu je *Cyclotella meneghiniana* (57,79 %-2021; 32,32 %-2022.). Subdominantna je grupa *Stephanodiscus* spp. (11,35 %-2021; 30,35%-2022.) i *Cyclostephanos* spp. (3,49 %-2022). Od ostalih grupa algi u martu 2021. konstatovano je prisustvo vrste *Trachelomonas volvocina* Ehrenberg (3,81 %) iz grupe Euglenophyta. U aprilu u fitoplanktonu dominira grupa *Stephanodiscus* spp. (od 37,48 % 2021. do 51,54% 2022.). Kao subdominantne javljaju se vrste *Cyclostephanos* spp. (od 9,39 do 28.01 % 2022.). Među zelenim algama ističu se vrste *Chlamydomonas* spp. (2,39 %-2021; 11,33 %-2022.). U maju mesecu dominiraju tri centrične vrste grupe *Stephanodiscus* spp. (od 33,97 do 39,94%). Od zelenih algi vrste: *Chlamydomonas* spp. (od 5,98 do 15,88 %), *Hindakia tetrachotoma* (Printz) C.Bock, Pröschold & Krienitz (5,10%-2020.), *Desmodesmus magnus* (Meyen) Tsarenko (3,09 %-2021.). Dijatoma *Asterionella formosa* Hassall ima značajno prisustvo u biomasi fitoplanktona Dunava od marta do maja (od 11,80 do 25,08 %) i tada je često subdominantna vrsta. U junu 2020. dominantna vrsta je *Cyclotella meneghiniana* (54,93%), a subdominantna u junu naredne dve godine (12,72 %-21.16 %). Procentualni udeo grupe *Stephanodiscus* spp. u junu mesecu se kreće od 22,31 % 2020, do 21.12 % 2021., kada dominira u fitoplanktonu Dunava i 18.64 % u junu 2022. *Skeletonema potamos* dostiže veliku gustinu populacije u junu, ali njena biomasa u junu 2020. i 2021. nije velika (2,26 %, odnosno 5,65 %). Tek u junu 2022. ona postaje dominantna vrsta i svojom brojnošću (56,42 %) i biomasaom (26,50 %). Procentualni udeo vrsta *Cyclostephanos* spp. kreće se od 12,62 do 21,09 %, što ih u junu 2022. čini subdominantnim taksonima. Vrste *Chlamydomonas* spp. su konstatovane sa procentualnom zastupljenošću od 2,60 do 7,78 %. Ostali taksoni zelenih algi pojedinačno ne prelaze 1% u biomasi fitoplanktona, osim u junu 2021. kada je konstatovano značajnije prisustvo vrsta: *Coelastrum astroideum* De Notaris (6,11 %), *Oocystis lacustris* Chodat (5,47 %) i *Desmodesmus opoliensis* (P.G.Richter) E.Hegewald (3,77 %). U julu 2020. utvrđena je mala brojnost fitoplanktona, dominacija bentosnih formi silikatnih algi u biomasi, zbog velikog biovolumena njihovih ćelija: *Didymosphaenia geminata* (Lyngbye) Schmidt sa 18,64 % i *Cymbella aspera* (Ehrenberg) Peragallo sa 8,46 %. Subdominantne u biomasi su vrste *Stephanodiscus* spp. (17,08 %) i *S. potamos* (2,96 %). Malu brojnost, a veliku biomasu imaju i predstavnici Dinophyta: *Ceratium hirundinella* (O.F.Müller) Dujardin (8,65 %) i *Gymnodinium* Stein sp. (9,85 %). U julu 2021. dominantne centrične dijatome su *Stephanodiscus* spp. (20,27 %) i *C. meneghiniana* (19,81 %). Subdominantna je *S. potamos* sa 9,57 %. Procentualno učešće grupe Euglenophyta u ovom mesecu je najveće - 7,07 %. Vrste *Lepocinclis ovum* (Ehrenberg) Lemmermann i *Trachelomonas volvocina* zasupljene su sa 3,60, odnosno 3,46 % u biomasi fitoplanktona. Među zelenim algama ističu se *Monactinus simplex* (Meyen) Corda (1,80 %), *Oocystis lacustris* (1,77 %) i *Pediastrum duplex* Meyen (2,59 %). U julu 2022. zapaža se apsolutna dominacija grupe *Stephanodiscus* spp. (45,56 %), subdominantne vrste su *S. potamos* (26,20%) i *Aulacoseira granulata* (23,41 %). U avgustu se nastavlja dominacija centričnih silikatnih algi. Vrste *Stephanodiscus* spp. (36,66 %) dominiraju u avgustu 2020., a *C. meneghiniana* u avgustu 2021. (46,61 %) i 2022. (41,33 %). Subdominantne vrste u avgustu

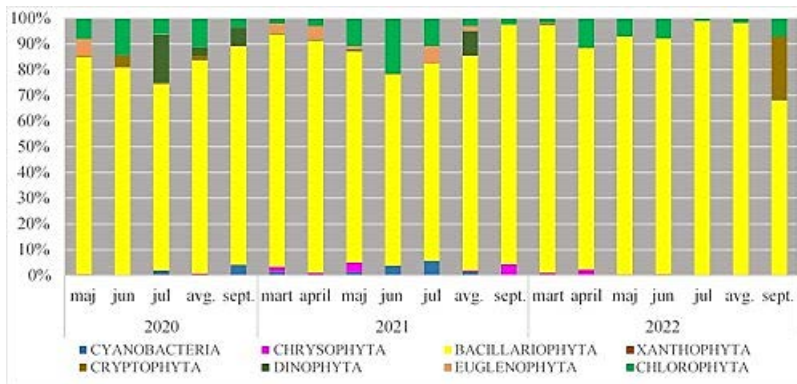
Tabela 1. Rezultati fizičko-hemijskih analiza vode reke Dunav, na lokalitetu Bezdán, u periodu 2020-2021. godine  
 Table 1. The results of physico-chemical analysis of the Danube river, on Bezdán locality (2020-2021.)

Parametar	08.01.2020.	05.02.2020.	04.03.2020.	06.05.2020.	03.06.2020.	08.07.2020.	05.08.2020.	09.09.2020.	07.10.2020.	04.11.2020.	02.12.2020.	13.01.2021.	03.02.2021.	03.03.2021.	07.04.2021.	05.05.2021.	16.06.2021.	07.07.2021.	11.08.2021.	08.09.2021.	06.10.2021.	03.11.2021.	01.12.2021.
T-vode ( $^{\circ}\text{C}$ )	3.2	5.3	7.4	26	18.4	22.8	23.8	21.2	16.2	11.6	5.2	3.7	3.5	7.0	10.6	15.5	21.4	23.7	22.0	18.2	16.7	10.7	6.3
Suspendovane materije ( $\text{mg dm}^{-3}$ )	9	11	20	26	10	35	9	14	27	39	19	15	71	27	27	16	34	33	74	115	28	19	5
Rastvoreni $\text{O}_2$ ( $\text{mg dm}^{-3}$ )	13.10	12.40	11.60	11.20	10.70	7.90	8.20	8.50	9.20	10.30	12.00	11.90	12.20	12.80	12.40	12.10	9.30	8.90	7.90	9.20	9.20	12.70	12.50
% zasićenja vode $\text{O}_2$	98	97	97	115	115	92	98	96	94	95	90	90	92	105	112	121	106	106	91	98	95	114	101
Ukupna tvrdoća ( $\text{mg dm}^{-3}$ )	218	230	205	180	159	152	174	162	191	204	233	235	243	235	226	216	162	94	197	185	207	245	248
pH	8.09	8.18	8.20	8.33	8.39	7.97	8.16	8.02	8.15	8.11	8.09	8.11	8.04	8.13	8.64	8.60	8.26	8.20	7.83	8.02	8.09	8.62	8.10
Elektroprovodljivost ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ )	453	510	445	384	348	329	361	353	375	418	467	488	505	493	476	442	341	343	367	373	442	477	486
Amonijum jon ( $\text{NH}_4\text{-N- mg dm}^{-3}$ )	0.06	0.03	0.02	0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	0.05	0.008	0.06	0.05	0.02	<0.02	0.02	0.02	<0.02	0.03	0.03	<0.02	<0.02	0.02
Nitriti ( $\text{NO}_2\text{-N- mg dm}^{-3}$ )	0.014	0.014	0.022	0.010	0.010	0.013	0.004	0.015	0.007	0.008	0.019	0.019	0.021	0.022	0.012	0.008	0.008	0.007	0.011	0.010	0.010	0.006	0.005
Nitrati ( $\text{NO}_3\text{-N- mg dm}^{-3}$ )	1.94	2.06	2.07	0.27	0.80	0.99	1.03	0.90	0.62	1.46	1.33	2.40	2.30	2.49	1.80	0.67	1.00	1.20	1.21	1.12	1.46	1.28	0.14
Organski azot (N) ( $\text{mg dm}^{-3}$ )	1.0	0.9	0.7	1.1	0.4	0.8	0.5	0.7	1.3	1.0	1.46	1.3	0.43	0.77	0.36		0.17	0.17	0.24	0.24	0.31	<0.1	0.33
Ukupni azot (N) ( $\text{mg dm}^{-3}$ )	3.0	3.0	2.8	1.4	1.2	1.8	1.6	1.6	1.9	2.4	2.8	2.8	2.80	3.30	2.20		1.20	1.40	1.50	1.40	1.80	1.40	0.50
Ortofosfati ( $\text{PO}_4^{3-}\text{-P- mg dm}^{-3}$ )	0.046	0.027	0.031	<0.01	<0.01	0.049	0.033	0.043	0.035	0.040	0.050	0.110	0.043	0.033	<0.01	<0.01	0.013	0.032	0.042	0.035	0.032	<0.01	0.032
Ukupan fosfor (P- $\text{mg dm}^{-3}$ )	0.084	0.072	0.058	0.071	0.070	0.134	0.075	0.136	0.101	0.152	0.089	0.110	0.129	0.073	0.062	0.064	0.098	0.106	0.132	0.107	0.094	0.078	0.073
Rastvoreni silikati ( $\text{SiO}_2$ ) ( $\text{mg dm}^{-3}$ )	7.0	6.2	6.3	1.2	3.0	3.7	4.6	5.7	5.3	6.4	7.0	8.6	7.1	8.0	2.2	1.5	3.8	4.9	5.5	5.2	5.7	4.5	5.3
HPK ( $\text{O}_2$ $\text{mg dm}^{-3}$ iz $\text{KMnO}_4$ )	3.5	2.5	4.1	3.9	3.7	3.8	3.2	3.9	3.7	3.8	3.0	3.9	3.9	3.3	3.9	4.8	3.9	3.6	3.6	3.4	2.9	4.5	3.1
BPK <sub>5</sub> ( $\text{O}_2$ - $\text{mg dm}^{-3}$ )	1.2	1.3	1.3	2.5	1.5	1.0	1.1	1.1	1.0	1.0	1.4	1.0	1.0	2.2	3.0	3.4	1.0	1.9	1.7	3.4	1.2	2.9	1.9
Ukupni organski ugljenik (TOC) ( $\text{mg dm}^{-3}$ )	4.3	3.3	4.8	5.8	4.6	4.8	4.7	5.0	4.6	6.0	5.9	3.4	2.7	3.6	4.2		3.1	3.8	4.1	5.2	3.3	4.9	3.6

Tabela 2. Rezultati fizičko-hemijskih analiza vode reke Dunav, na lokalitetu Bezdán, 2022.  
 Table 2. The results of physico-chemical analysis of the Danube river, on Bezdán locality 2022.

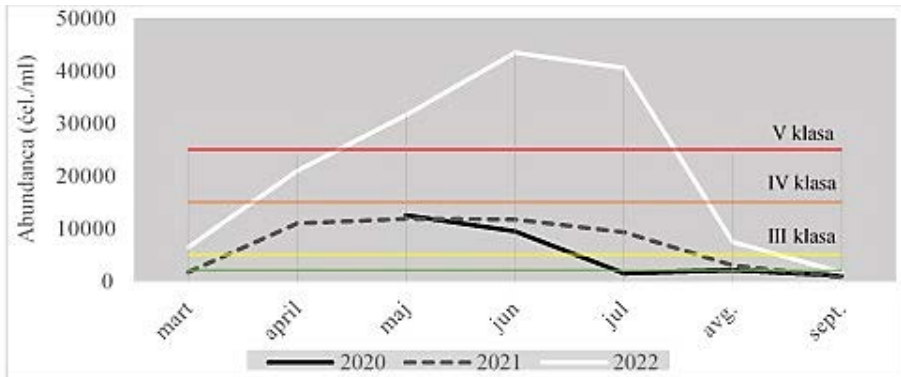
Parametar	T-vode (°C)	Suspendovane materije (mg dm <sup>-3</sup> )	Rastvoreni O <sub>2</sub> (mg dm <sup>-3</sup> )	% zasićenja vode O <sub>2</sub>	Ukupna tvrdoća (mg dm <sup>-3</sup> )	pH	Elektroprovodljivost (µS cm <sup>-1</sup> )	Amonijum jon (NH <sub>4</sub> -N- mg dm <sup>-3</sup> )	Nitriti (NO <sub>2</sub> -N- mg dm <sup>-3</sup> )
05.01.2022.	5.3	78	12.00	95	227	8.00	475	0.06	0.019
02.02.2022.	3.2	6	12.70	95	245	8.10	506	0.05	0.018
02.03.2022.	6.2	16	12.30	99	212	8.20	442	0.03	0.014
06.04.2022.	10.0	30	12.60	112	228	8.50	438	0.03	0.013
04.05.2022.	16.6	31	13.60	140	218	8.70	397	<0.02	0.010
01.06.2022.	20.0	12	11.00	122	164	8.40	327	<0.02	0.018
06.07.2022.	25.3	31	10.90	134	161	8.50	336	0.03	0.015
03.08.2022.	25.2	<4	10.50	128	167	8.20	372	0.03	0.008
14.09.2022.	21.5	6	8.20	93	186	8.00	386	0.04	0.007
05.10.2022.	15.0	12	9.80	98	215	8.10	393	0.03	0.005
02.11.2022.	13.8	10	10.00	97	264	8.20	433	0.03	0.008
20.12.2022.	3.5	38	12.30	92	191	8.00	488	0.07	0.016

Parametar	Nitriti (NO <sub>3</sub> -N- mg dm <sup>-3</sup> )	Organski azot (N) (mg dm <sup>-3</sup> )	Ukupni azot (N) (mg dm <sup>-3</sup> )	Ortofosfati (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P- mg dm <sup>-3</sup> )	Ukupan fosfor (P- mg dm <sup>-3</sup> )	Rastvoreni silikati (SiO <sub>2</sub> ) (mg dm <sup>-3</sup> )	HPK (O <sub>2</sub> mg dm <sup>-3</sup> iz KMnO <sub>4</sub> )	BPK <sub>5</sub> (O <sub>2</sub> -mg dm <sup>-3</sup> )	Ukupni organski ugljenik (TOC) (mg dm <sup>-3</sup> )
05.01.2022.	2.21	0.11	2.40	0.038	0.236	6.5	4.00	0.60	3.6
02.02.2022.	2.33	0.20	2.60	0.032	0.068	6.3	3.30	2.40	4.1
02.03.2022.	1.94	0.51	2.50	0.032	0.111	4.8	4.20	2.20	4.8
06.04.2022.	1.45	0.30	1.80	<0.01	0.081	2.1	4.80	4.20	4.3
04.05.2022.	1.05	0.22	1.30	<0.01	0.086	2.1	4.70	3.70	4.2
01.06.2022.	0.57	0.29	0.90	<0.01	0.115	2.9	3.40	3.30	5.0
06.07.2022.	0.71	0.14	0.90	<0.01	0.081	3.3	3.50	3.30	3.7
03.08.2022.	0.61	0.15	0.80	<0.01	0.094	2.9	4.10	2.10	4.7
14.09.2022.	1.24	0.11	1.40	0.056	0.059	5.1	3.30	2.50	6.1
05.10.2022.	1.28	<0.1	1.40	0.047	0.061	5.3	3.70	2.30	4.9
02.11.2022.	1.42	0.44	1.90	0.028	0.123	5.9	3.70	2.90	4.8
20.12.2022.	1.71	0.60	2.40	0.046	0.116	7.7	3.50	0.60	4.4

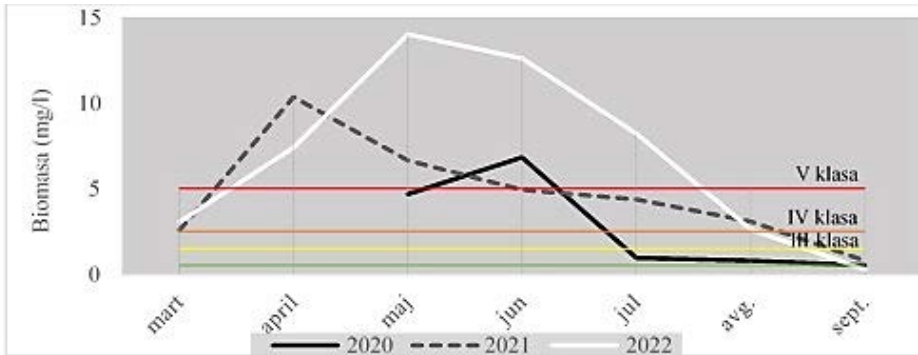


Slika 1 Procentualna zastupljenost pojedinih grupa algi u fitoplanktonu Dunava u periodu 2020-2022.  
Figure 1 Percentage representation of specific algal groups in phytoplankton in Danube river 2020-2022.

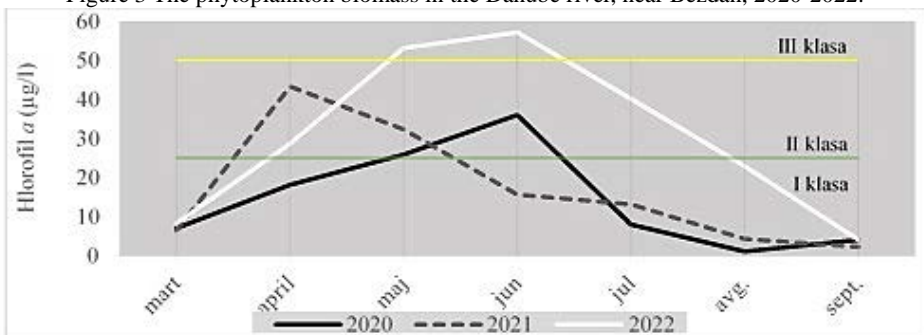
godine subdominatne vrste su *Stephanodiscus* spp (12,08 %, odnosno 32,3 %). *S. potamos* se u značajnom procentu javlja u avgustu 2022. (15,41 %). Zelene alge u letnjem periodu 2021. i 2022. se pojedinačno javljaju sa ispod 1 % zastupljenosti. U septembru sve tri godine je konstatovana najmanja brojnost i biomasa fitoplanktona. Dominantne vrste u septembru 2020. su *Stephanodiscus* spp. (17,96 %) i velike bentosne forme *Didymosphenia geminata* (15,64 %) i *Cymbella aspera* (15,6 %), a subdominantna vrsta *S. potamos* (9,36 %). U septembru 2021. u biomasi fitoplanktona dominira, takođe malobrojna, ali krupna bentosna vrsta *Diatoma vulgaris* (31,42 %) i centrična vrsta *Cyclotella meneghiniana* (29,98 %). Subdominantne vrste su *Stephanodiscus* spp. (9,55 %) i *S. potamos* (2,93 %). U septembru 2022. dominantne vrste su *S. potamos* (27,19 %) i *Plagioselmis nannoplanctica* (H.Skuja) G.Novarino, I.A.N.Lucas & S.Morrall (24,79 %) iz grupe Cryptophyta. Subdominantne vrste su *Stephanodiscus* spp. (22,28%) i *Aulacoseira granulata* (5,39 %). Tokom 2020. i 2021. abundanca fitoplanktona bila je na približno istom nivou, sa pikom u maju mesecu obe godine (12531 čel/ml, odnosno 11848 čel/ml). Prema Pravilniku (Sl. gl. RS, br. 74/2011) vrednosti abundance od aprila do juna 2020. i od aprila do jula 2021. godine odgovaraju III klasi ekološkog potencijala. Niske vrednosti abundance fitoplanktona konstatovane su u avgustu i septembru obe godine, što odgovara II klasi. Situacija se drastično pogoršava 2022., dolazi do proliferacije fitoplanktona još u martu i velikog povećanja brojnosti sa izraženim pikom u junu mesecu koji je iznosio 43415 čel/ml. Visoke vrednosti izmerene su i u julu (40555čel/ml). Prema Pravilniku (Sl. gl. RS, br. 74/2011) abundanca fitoplanktona, u periodu od maja do jula, odgovara V klasi ekološkog potencijala, u martu i avgustu iste godine odgovara III klasi ekološkog potencijala, a krajem vegetacione sezone, u septembru, se spušta na vrednosti od prethodne dve godine i odgovara II klasi ekološkog potencijala. Najveća biomasa fitoplanktona 2020. konstatovana je u junu (6,818 mg/l), 2021. u aprilu (10,343mg/l) i maju (6,636 mg/l), a tokom celog ispitivanog perioda najveća biomasa fitoplanktona konstatovana je 2022. od aprila do jula sa izraženim pikom u maju (14,013 mg/l.).



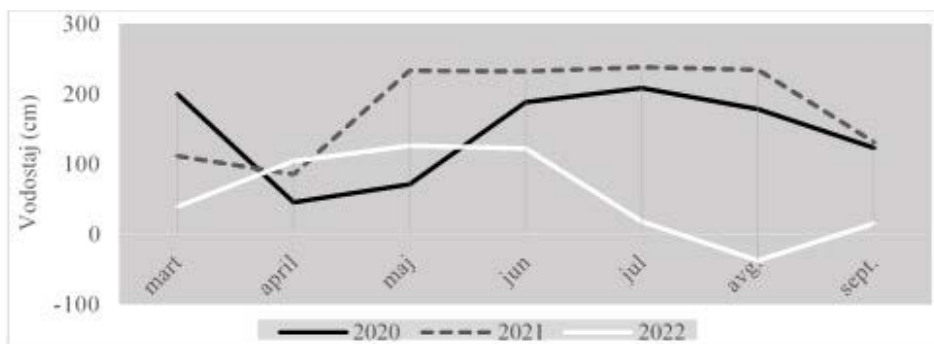
Slika 2 Abundanca fitoplanktona reke Dunav, kod Bezdana, u periodu 2020-2022.  
 Figure 2 The phytoplankton abundance in Danube river, near Bezdana, 2020-2022.



Slika 3 Biomasa fitoplanktona reke Dunav, kod Bezdana, u periodu 2020-2022.  
 Figure 3 The phytoplankton biomass in the Danube river, near Bezdana, 2020-2022.



Slika 4 Hlorofil a reke Dunav, kod Bezdana, u periodu 2020-2022.  
 Figure 4 The chlorophyll a levels in the Danube river, near Bezdana, 2020-2022.



Slika 5 Srednji mesečni vodostaj Dunava, kod Bezdana, u periodu 2020-2022.  
 Figure 5 The average monthly water level of the Danube river, near Bezdana, 2020-2022.

S obzirom da u Pravilniku (Sl. gl. RS, br. 74/2011) ne postoje kriterijumi za klasifikaciju za direktnu procenu biomase fitoplanktona, korišćeni su kriterijumi Švedske agencije za zaštitu životne sredine (SEPA, 2000) i prema njihovim kriterijumima biomasa u junu 2020., u aprilu i maju 2021. i od aprila do jula 2022. odgovara V klasi (veoma velika biomasa). Visoke vrednosti biomase fitoplanktona konstatovane su na početku vegetacione sezone, u martu 2021. i 2022. i odgovaraju IV klasi (visoka biomasa), a niske vrednosti biomase u septembru, krajem vegetacione sezone, odgovaraju I i II klasi (veoma mala, odnosno, mala biomasa). Najveće koncentracije hlorofila *a* izmerene su u junu 2020. (36.0 µg/l), u aprilu 2021. (43,3µg/l), a 2022. izmerene su veoma visoke vrednosti od maja do jula (53,1; 57,1; i 40,1 µg/l). Koncentracije hlorofila *a*, prema Pravilniku (Sl. gl. RS, br. 74/2011), tokom 2020. i 2021. odgovaraju II klasi (dobrom ekološkom potencijalu) u svim periodima ispitivanja, a u maju i junu 2022. III klasi ekološkog potencijala. Prema kriterijumima SEPA, 2000. koncentracije hlorofila *a* u pomenutim mesecima odgovaraju V klasi (veoma visoke koncentracije). Ovi rezultati nameću potrebu revizije Pravilnika (Sl. gl. RS, br. 74/2011) u delu koji se odnosi na kriterijume klasifikacije hlorofila *a*., a neophodno je i uvođenje novog parametra, a to je biomasa fitoplanktona, određena preko biovolumena. Prema Dokulil (2014) zbog složene hidrološke situacije i velikog sliva reke Dunav, vreme i obim maksimalnog razvoja fitoplanktona je teško predvideti i varira između godina. Prema Kiss (1994) stvarni trofički nivo Dunava se menja tokom godine u odnosu na brojnost algi, biomasu fitoplanktona, koncentraciju hlorofila *a*, primarnu produkciju. Reka je oligotrofna u decembru-januaru, može postati mezotrofna do kraja februara u periodu malih voda. Od proleća do jeseni reka je oligo-mezotrofna tokom poplava i eutrofna, politrofna tokom perioda malih voda. Najveća brojnost i biomasa fitoplanktona konstatovana je 2022. kada je srednji mesečni vodostaj Dunava, kod Bezdana, bio najniži (Slika 5). Nizak vodostaj direktno utiče na povećanu produkciju fitoplanktona. Najniži vodostaj 2020. i 2021. konstatovan je u aprilu. U tom periodu 2021. konstatovan je i pik razvoja algi, da bi nakon toga došlo do naglog povećanja vodostaja Dunava i naglog pada brojnosti i biomase algi. Važan ekološki faktor koji kontroliše gustinu fitoplanktona je providnost vode, na koju utiču pre svega poplave. Svetlosni uslovi reka poput Dunava uslovljeni su prvenstveno kvalitetom i količinom suspendovanih materija i dubinom eufotične zone. Sadržaj suspendovanih



Dunav je nizak, transparentnost visoka u periodu malih voda i obrnuto (Verasztó et al., 2010). Naši rezultati uglavnom pokazuju da je najveća produkcija fitoplanktona konstatovana u uslovima niskog vodostaja i niže koncentracije suspendovanih materija u vodi. Poredeći rezultate sa prethodnim ispitivanjima JDS-a 2001, 2007 i 2013, koja su sprovedena u septembru, na istom lokalitetu (JDS 1-24,958 mg/l i Chl-*a* 78,7 µg/l; JDS 2- 2,637 mg/l i Chl-*a* oko 10 µg/l; JDS 3- 9,9 mg/l i Chl-*a* 31 µg/l) možemo konstatovati pad koncentracije hlorofila *a* i biomase fitoplanktona (od 0,259 do 0,780 mg/l, odnosno od 2,2 do 4,0 µg/l). Prema statističkim podacima, opterećenje nutrijentima je smanjeno za 40-50% u slivnim područjima Dunava (Schreiber et al., 2005, ICPDR 2005, Csatho et al., 2007, prema Verasztó et al., 2010). i pojedina istraživanja (Verasztó et al., 2010) podržavaju pretpostavku da uprkos prekomernom snabdevanju hranom u Dunavu, zajednica stoji na pragu ere bez velikog cvetanja algi. Međutim, ako uporedimo rezultate sa novijim ispitivanjima 2019. (JDS-4), koje obuhvataju ceo vegetacioni period, gde je konstatovana koncentracija Chl-*a* od 5-30 µg/l i gde biomasa fitoplanktona nije prelazila 7 mg/l možemo konstatovati da su naši rezultati za 2020. veoma slični ovim. U 2021. ukazuju na povećanu produkciju algi, a ako poredimo 2022. sa 2019. godinom, možemo zaključiti gotovo dvostruko povećanje biomase i koncentracije hlorofila *a*. Ovo sve ukazuje da se uočene razlike u nivoima hlorofila *a* i biomase fitoplanktona u septembarskim ispitivanjima ne trebaju posmatrati kao poboljšanje kvaliteta vode, što je u skladu sa ispitivanjima Dokulil (2014). Apsolutni maksimumi razvoja algi konstatovani su u prolećnom periodu, a u uslovima niskog vodostaja, smanjene koncentracije suspendovanih materija u vodi i povećanja transparentnosti, uz sasvim dovoljno nutrijenata intenzivna produkcija fitoplanktona se nastavlja i tokom leta, kao što se dogodilo 2022. godine.

#### LITERATURA:

- Čađo, S., Đurković, A., Miletić, A., Bugarski, R. (2005): Sastav fitoplanktona, fizičko-hemijske i saprobiološke karakteristike reke Dunav na graničnom profilu Beždan, Konferencija o aktuelnim problemima korišćenja i zaštite voda "VODA 2005.", Kopaonik, 07-10 jun.
- Dokulil, M., Donabaum, U. (2015) : Phytoplankton. In: Liška, I., Wagner, F., Sengl, M., Deutsch, K., Slobodnik, J. (eds) Joint Danube Survey-3, Final scientific report. ICPDR, Vienna, Austria.
- Dokulil, M.T. (2014): Potamoplankton and primary productivity in the River Danube. *Hydrobiologia* 729:209–227.
- Dokulil, M.T., Kaiblinger, C.M. (2008): Phytoplankton. In: Liska, I., Wagner, F., Slobodnik, J. (eds) Joint Danube Survey 2, Final scientific report. ICPDR, Vienna, Austria., Austria.
- Kiss, K.T. (1994): Trophic level and eutrophication of the River Danube in Hungary. – *Ver. Int. Ver. Limnol.* 25: 1688-1691.
- Nemeth, J., Boyanovski, B., Traykov, I. (2002): Phytoplankton. In: Literáthy, P., Koller-Kreimel, V., Liška, I. (eds) Joint Danube Survey-1, Technical Report. ICPDR, Vienna, Austria.
- Stanković, I., Udovičić, M.G., Borics, G. (2021): Phytoplankton. In: Liška, I., Wagner, F., Sengl, M., Deutsch, K., Slobodnik, J., Paunović, M. (eds) Joint Danube Survey-4, Scientific report. ICPDR, Vienna, Austria.
- Swedish Environmental Protection Agency-SEPA (2000). Environmental quality criteria - lakes and watercourses, Report 5050. ISBN 91-620-5050-8. Kalmar.
- Verasztó, C.S., Kiss, K.T., Sipkay, C.S., Gimesi, L., Vadadi-Fülöp, C.S., Türei, D., Hufnagel, L. (2010): Long-term dynamic patterns and diversity of phytoplankton communities in a large eutrophic river (The case of River Danube, Hungary), *Applied Ecology and Environmental Research* 8(4):329-349. <http://www.ecology.uni-corvinus.hu>, Budapest, Hungary.

## ZDRAVSTVENI ASPEKT DVE KOMERCIJALNE VRSTE RIBA BEOGRADSKOG SEKTORA DUNAVA

Katarina Jovičić\*, Jelena Vranković\*, Vesna Djikanović\*

\* *Univerzitet u Beogradu, Institut za biološka istraživanja „Siniša Stanković” – Institut od nacionalnog značaja za Republiku Srbiju, Bulevar despota Stefana 142, 11108 Beograd, Srbija, [katarina.jovicic@ibiss.bg.ac.rs](mailto:katarina.jovicic@ibiss.bg.ac.rs), ORCID:0000-0002-5105-1532; [jeca.s@ibiss.bg.ac.rs](mailto:jeca.s@ibiss.bg.ac.rs), ORCID:0000-0002-2060-8633; [djiki@ibiss.bg.ac.rs](mailto:djiki@ibiss.bg.ac.rs), ORCID:0000-0002-3876-3420*

### REZIME

U ovoj studiji utvrđene su koncentracije sedam metala kod dve komercijalne vrste riba, bodorka i krupatica ulovljenih na dve različite lokacije u beogradskom delu Dunava. Izmerene koncentracije metala bile su ispod standardnih koncentracija preporučenih propisima EU i Republike Srbije. Vrednosti indeksa procenjenog dnevnog unosa (EDI) su daleko ispod referentnih doza, što znači da je rizik od konzumiranja analizirane ribe minimalan. Iako dobijeni rezultati ne pokazuju jasan uticaj neprečišćenih otpadnih voda na koncentraciju metala u mišićima riba, kontinuirano praćenje ovih zagađivača se i dalje preporučuje.

KLJUČNE REČI: bodorka, krupatica, metali, EDI, Dunav

## HEALTH ASPECT OF TWO COMMERCIAL FISH SPECIES FROM THE BELGRADE DANUBE SECTOR

### ABSTRACT

In this study, the concentrations of seven metals were determined in two commercial fish species, roach and white bream caught at two different sites in the Belgrade part of the Danube. The measured metal concentrations were below the standard concentrations recommended EU and the Republic of Serbia regulations. The EDI index values are far below the reference doses, which means that the risk of eating the fish analysed is minimal. The results obtained show no clear influence of untreated wastewater on the concentration of metals in the muscle of fish, but continuous monitoring of these pollutants is still necessary.

KEY WORDS: roach, white bream, metals, EDI, Danube

## UVOD

Reke su recipijenti svih tipova otpadnih voda (industrijskih, poljoprivrednih, komunalnih). Ribe su često izložene visokom stepenu zagađenja u vodi što dovodi do različitih promena, koje se mogu kretati od biohemijskih promena na nivou pojedinačne ćelije do promena u celoj populaciji. Pored toga, malo se zna o nivou kontaminiranosti riba kao namirnica za ishranu teškim metalima i drugim polutantima.

Teški metali se, usled njihove sposobnosti da se akumuliraju duž lanaca ishrane, smatraju jednim od ključnih zagađivača akvatičnih ekosistema. S obzirom da se ribe obično nalaze na vrhu lanaca ishrane u vodenoj sredini, često u organizmu akumuliraju velike količine pojedinih teških metala, a takođe spadaju u akvatične organizme koji su i najosetljiviji na prisustvo toksičnih materija u vodi.

Bodorka (*Rutilus rutilus*) je svaštojed i hrani se biljkama i raznim malim beskičmenjacima kao što su insekti, rakovi i mekušci. Krupatica (*Blicca bjoerkna*) je bentivorna riba koja se hrani bentosnim beskičmenjacima kao što su larve insekata, mekušci, rakovi i sitne ribe, kao i vodenom vegetacijom (Kottelat i Freyhof, 2007).

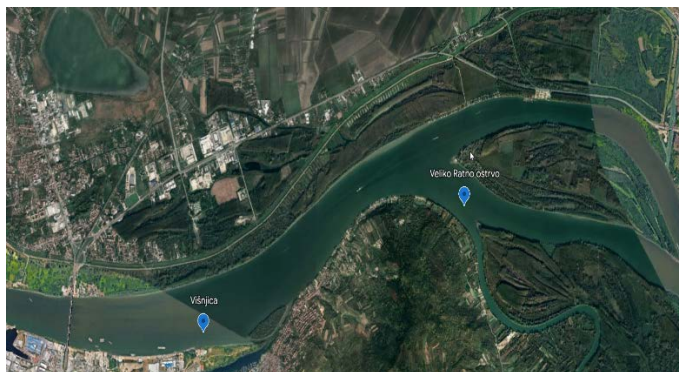
Beograd je najznačajnija industrijska zona u Srbiji, a najveći industrijski kapaciteti nalaze se uglavnom na obalama Dunava. Glavni problem zagađenja u Beogradu je ispuštanje otpadnih voda u reke Savu i Dunav bez prethodnog tretmana (Milanović i sar., 2010).

Sasvim je izvesno da su i ribe iz ribolovnih voda Beograda izložene i organskim i neorganskim polutantima koji mogu uticati na zdravlje ljudi koji ih konzumiraju. Ukupan godišnji ulov rekreativnih ribolovaca i alasa oko Beograda čini između 24 % i 31 % ukupnog godišnjeg ulova u Srbiji, i kreće se između 772 i 1.386 tona ribe, sa prosekom od 1.036 tona, u periodu od 2006. do 2012. godine.

Cilj rada je da se proceni rizik u slučaju konzumiranja bodorke i krupatice iz beogradskog sektora Dunava.

## MATERIJAL I METODE

Uzorci bodorke i krupatice prikupljeni su uz pomoć profesionalnih alasa u aprilu 2021. godine. Ovo istraživanje je sprovedeno na Dunavu: lokalitet Višnjica (1162 rkm), koji je izložen najvećem kolektoru otpadnih voda u Beogradu i lokalitet Veliko Ratno ostrvo (1170 rkm) koji se nalazi na ušću reke Save u Dunav, a uzvodno od kolektora otpadnih voda (Slika 1). Na terenu su mereni težina (g) i totalna dužina (cm) svake individue, a identifikacija vrsta izvršena je prema Simonović (2006) i Kottelat i Freyhof (2007). Uzorci mišićnog tkiva uzeti su od svake jedinke radi analize koncentracije metala i elemenata u tragovima.



Slika 1. Lokaliteti uzorkovanja materijala  
Figure 2. Sampling locations

Oderedjen je i Fultonov faktor kondicije (CF) po formuli:

$CF = WTL^{-3} \times 100$ , gde je W težina ribe, a TL njena totalna dužina (Ricker, 1975).

### Priprema uzoraka

Uzorci mišićnog tkiva svake jedinke osušeni su procesom liofilizacije, a zatim je oko 0,3 g svakog uzorka suvog materijala procesuirano 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 emisione spektroskopije sa induktivno spregnutom plazmom (ICP-OES, Spectro Genesis EOP II, Spectro Analytical Instruments DmbH, Germany). Izmerene su koncentracije sledećih elemenata: As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb i Zn. Vrednosti koncentracija su bile u opsegu 90–115% sertifikovanih vrednosti za sve ispitivane elemente. Blank uzorci procesuirani su na isti način radi utvrđivanja i kontrole prisustva analiziranih elemenata u korišćenim reagensima. Nakon procesuiranja, tečni uzorci filtrirani su i razblaženi destilovanom vodom do ukupne zapremine od 25 ml. Koncentracije elemenata izražene su u  $\mu g/g$  suve mase.

Dobijene vrednosti koncentracije analiziranih elemenata upoređene su sa propisanim maksimalno dozvoljenim koncentracijama za upotrebu u ljudskoj ishrani (MDK), koje se izražavaju po jedinici sveže mase, prema Zakonodavstvu Evropske Unije (EU, 2006) i nacionalnom zakonodavstvu (Službeni glasnik RS", 22/2018-3, 90/2018-22, 76/2019-35, 81/2019-17).

### Procenjeni dnevni unos

Procenjeni dnevni unos (EDI; u mg kg<sup>-1</sup> dan<sup>-1</sup>) metala i elemenata u tragovima kroz potrošnju mišića ribe izračunat je korišćenjem sledeće jednačine (Javed and Usmani, 2016):

$$EDI = (Mc \times IR) / Bm$$

gde je: Mc koncentracija elementa u mišiću ribe (mg kg<sup>-1</sup> vlažne težine); IR je stopa usvajanja mišića ribe (13.4 × 10<sup>-3</sup> kg day<sup>-1</sup>) prema navodima Speedy (2003), a Bm je prosečna telesna težina (70 kg za odrasle).

Dobijene vrednosti EDI su upoređene sa referentnom (bezbednom) oralnom dozom elementa (RfD). Ako je odnos EDI vrednosti elementa prema vrednosti referentne doze ili prihvatljivog dnevnog unosa (RfD) jednak ili manji od RfD, rizik će biti na minimalnom nivou; ako je 1-5 puta veći od RfD, rizik je nizak; ako je 5-10 puta veći od RfD, rizik je nizak; ako je 10 puta veći od RfD, rizik će biti visok.

### REZULTATI I DISKUSIJA

Sakupljene jedinke bodorka i krupatice iz beogradskog sektora Dunava bile su uzrasta od 3<sup>+</sup> do 5<sup>+</sup>. Kondicioni faktor jedinki na lokalitetu Veliko ratno ostrvo bio je ujednačen (1,45-1,98), dok je na lokalitetu Višnjica bio viši i kretao se u rasponu od 1,22 do 2,50. Izmerene dužine i težine jedinki prikazane su u Tabeli 1.

Tabela 1. Dužina, težina i uzrast sakupljenih jedinki riba na lokalitetima uzorkovanja  
Table 1. Size and age of the two fish species sampled for each sampling site

	Veliko Ratno ostrvo		Višnjica	
	<i>R. rutilus</i>	<i>B. bjoerkna</i>	<i>R. rutilus</i>	<i>B. bjoerkna</i>
<b>Dužina (cm)</b>				
Min – max	27.0–29.0	30.2–34.0	24.0–27.0	22.0–27.5
Srednja vrednost	28.05	32.25	25.3	24.87
<b>Težina (g)</b>				
Min – max	360.0–400.0	400.0–780.0	200.0–300.0	190.0–390.0
Srednja vrednost	380.0	607.5	247.5	267.5
Uzrast	4 <sup>+</sup>	5 <sup>+</sup>	4 <sup>+</sup>	3 <sup>+</sup> –4 <sup>+</sup>

Izmerene koncentracije elemenata bile su različite u zavisnosti od lokaliteta uzorkovanja i od vrste ribe. Krupatice sa lokaliteta Veliko ratno ostrvo se izdvajaju po najvišim koncentracijama As, Cr, Hg i Ni, dok su u mišićima bodorki sa lokaliteta Višnjica izmerene najviše koncentracije Cu, Pb i Zn.

Tabela 2. Koncentracije analiziranih elemenata u mišiću krupatice i bodorka, beogradski sektor Dunava  
 Table 2. Concentration of analzed elements in roach and white bream muscle, belgrade sector of the Danube

Element	Višnjica		Veliko Ratno ostrvo	
	Krupatica	Bodorka	Krupatica	Bodorka
As	0.036± 0.467	0.048± 0.049	0.095± 0.074	0.019± 0.003
Cr	0.038± 0.0337	0.012± 0.026	0.088± 0.194	0.019± 0.033
Cu	0.229± 0.155	0.473± 0.157	0.191± 0.205	0.264± 0.255
Hg	0.049± 0.0222	0.075± 0.041	0.101± 0.042	0.080± 0.067
Ni	0.378± 0.467	0.163± 0.087	0.536± 0.232	0.317± 0.510
Pb	0.048± 0.0627	0.103± 0.171	0.026± 0.008	0.023± 0.004
Zn	15.922±9.515	21.945± 9.940	11.407± 7.420	9.002± 8.040

Koncentracije metala i elemenata u tragovima su bile ispod dozvoljenih vrednosti prema nacionalnom zakonodavstvu kao i zakonodavstvu Evropske Unije, s tim što je koncentracija Pb prevazilazila tu vrednost u jednom uzorku.

Ribe akumuliraju toksične hemikalije direktno iz vode i kroz lance ishrane, tako da polutanti i njihovi ostaci na kraju mogu dostići koncentracije koje su stotine ili hiljade puta veće od onih u vodi, sedimentu i njihovoj prirodnoj hrani. Iz tog razloga, praćenje kontaminacije tkiva riba ima važnu funkciju kao indikator ranog upozorenja na probleme vezane za kvalitet vode i sedimenta. Praćenje kontaminacije omogućava otkrivanje toksičnih hemikalija u ribama koje mogu biti štetne za potrošače, što omogućava preduzimanje odgovarajućih mera radi zaštite javnog zdravlja i okruženja.

Prema Babović i sar. (2011) poslednjih godina u Srbiji proizvodnja ribe se kreće oko 12,500 tona godišnje, dok potrošnja per capita iznosi 5,7 kg. Oko 30 % u potrošnji odnosi se na domaću proizvodnju i ulov iz reka i jezera. Dakle, u Srbiji potrošnja ribe poreklom iz otvorenih voda iznosi oko 0,51 kg per capita, a u Beogradu je i nešto veća i iznosi oko 0,63kg.

EDI indeks je pokazao da su dobijene vrednosti daleko manje od referentnih doza, što znači da je rizik konzumiranja ispitivanih riba na minimalnom nivou.

Naši rezultati se razlikuju od prethodnih analiza koncentracija metala u mišićima ribe na istim mestima uzorkovanja kao u prethodnim studijama (Kostić-Vuković i sar., 2021; Subotić i sar., 2015; Subotić i sar., 2019). Što se tiče lokaliteta Veliko Ratno ostrvo, koncentracije Cr u mišićima ribe određene u ovoj studiji su u skladu sa rezultatima Subotić i sar., (2015, 2019). Koncentracije As, Cr i Cu u mišićima jedinki na zagađenom lokalitetu Višnjica bile su znatno niže nego u deverici uzorkovanoj na istom lokalitetu 2014. godine (Kostić-Vuković i sar., 2021).

## ZAKLJUČAK

Dobijeni rezultati ne pokazuju jasan uticaj neprečišćenih otpadnih voda na koncentraciju metala u mišiću bentivornih riba beogradskog sektora Dunava, međutim neophodno je kontinuirano praćenje pomenutih polutanata.

### Zahvalnica

Ovu studiju je finansiralo Ministarstvo nauke, tehnološkog razvoja i inovacija Republike Srbije, broj ugovora 451-03-47/2023-01/200007.

### LITERATURA:

- Babović, J., Ignjatijević, S. i Đorđević, D. (2011). Ponuda, tražnja i elastičnost potrošnje ribe. *Ekonomika poljoprivrede*, 58 (4): 595-608.
- EU. Commission Regulation (EC) No. 1881/2006 of 19 december 2006 setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs (text with EEA relevance). *Off. J. Eur. Union* 2006, 364, 5–24.
- Javed, M., Usmani, N., 2016. Accumulation of heavy metals and human health risk assessment via the consumption of freshwater fish *Mastacembelus armatus* inhabiting thermal power plant effluent loaded canal. *SpringerPlus* 5, 776.
- Kostić-Vuković, J.; Kolarević, S.; Kračun-Kolarević, M.; Višnjić-Jeftić, Ž.; Rašković, B.; Poleksić, V.; Gačić, Z.; Lenhardt, M.; Vuković-Gačić, B. Temporal variation of biomarkers in common bream *Abramis brama* (L., 1758) exposed to untreated municipal wastewater in the Danube River in Belgrade, Serbia. *Environ. Monit. Assess.* 2021, 193, 465.
- Kottelat, M., Freyhof, J.(2007), *Handbook of European freshwater fishes* 660. Kottelat, Cornol, Switzerland and Freyhof, Berlin Germany
- Pravilnik o 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. "Službeni glasnik RS", 22/2018-3, 90/2018-22, 76/2019-35, 81/2019-17
- Ricker, W.E. (1975). Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. *Bulletin of the Fisheries Research Board of Canada*, Bulletin 191, Ottawa. <http://www.dfo-mpo.gc.ca/Library/1485.pdf>
- Simonović, P. (2006) *Ribe Srbije*. NNK International, Biološki fakultet & Zavod za zaštitu prirode Srbije, Beograd.
- Speedy, A.W., 2003. Global production and consumption of animal source foods. *J. Nutr.* 133, 4048S-4053S.
- Subotić, S.; Višnjić-Jeftić, Ž.; Đikanović, V.; Spasić, S.; Krpo-Ćetković, J; Lenhardt, M. Metal Accumulation in Muscle and Liver of the Common Nase (*Chondrostoma nasus*) and Vimba Bream (*Vimba vimba*) from the Danube River, Serbia: Bioindicative Aspects. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 2019, 103, 261–266.
- Subotić, S.; Višnjić-Jeftić, Ž.; Spasić, S.; Hegediš, A.; Krpo-Ćetković, J; Lenhardt, M. Concentrations of 18 Elements in Muscle, Liver, Gills, and Gonads of Sichel (*Pelecus cultratus*), Ruffe (*Gymnocephalus cernua*), and European Perch (*Perca fluviatilis*) in the Danube River near Belgrade (Serbia). *Water Air Soil Pollut.* 2015, 226, 287.

## UTICAJ ALOHTONE VODENE VEGETACIJE NA FAUNU MAKROBESKIČMENJAKA KANALSKE MREŽE LEVE OBALE DUNAVA

Maja Raković\*, Nataša Popović\*, Bojana Tubić\*,  
Jelena Đuknić\*, Momir Paunović\*, Snežana Jarić\*\*,  
Uroš Živković\*\*\*

- \* *Odeljenje za hidroekologiju i zaštitu voda, Institut za biološka istraživanja „Siniša Stanković“ Institut od nacionalnog značaja za Republiku Srbiju, Univerzitet u Beogradu, Bulevar despota Stefana 142, Beograd, Srbija, [rakovic.maja@ibiss.bg.ac.rs](mailto:rakovic.maja@ibiss.bg.ac.rs), ORCID:0000-0001-6899-6113; ORCID: 0000-0001-6136-7867; ORCID:0000-0003-2050-177X; ORCID: 0000-0003-363-5463; ORCID: 0000-0002-6432-1191*
- \*\* *Odeljenje za ekologiju, Institut za biološka istraživanja „Siniša Stanković“ Institut od nacionalnog značaja za Republiku Srbiju, Univerzitet u Beogradu, Bulevar despota Stefana 142, Beograd, Srbija, [nenas2000@ibiss.bg.ac.rs](mailto:nenas2000@ibiss.bg.ac.rs), ORCID:0000-0002-9356-7334*
- \*\*\* *Odeljenje za evolucionu biologiju, Institut za biološka istraživanja „Siniša Stanković“ Institut od nacionalnog značaja za Republiku Srbiju, Univerzitet u Beogradu, Bulevar despota Stefana 142, Beograd, Srbija, [uros.zivkovic@ibiss.bg.ac.rs](mailto:uros.zivkovic@ibiss.bg.ac.rs), ORCID:0000-0002-6674-2563*

### REZIME

Akvatične biljke obuhvataju složenu grupu različitih adaptivnih tipova koje naseljavaju različite vodene basene. Ujedno, predstavljaju primarne producente, prvu kariku u lancima ishrane i svi drugi oblici života u akvatičnoj sredini zavise od njih. Sa druge strane, veliki uticaj na funkcionalnost sistema ima nekontrolisano obrastanje kanalske mreže vegetacijom, naročito novim, alohtonim invazivnim vrstama. Crpne stanice i kanalska mreža ne mogu kvalitetno da odgovore na novonastale izazove. Hidromorfološke promene imaju značajan uticaj na nativnu floru i faunu područja. Istraživanja interakcije vodenih biljaka i zajednice makroinvertebrata nisu samo od naučnog značaja, već predstavljaju i osnovu za adekvatno upravljanje vodenim ekosistema. Cilj rada je da se predstave oscilacije biološke raznovrsnosti istraživnog područja nastale kao posledica razlika u održavanju vodene vegetacije u kanalskoj mreži leve obale Dunava.

KLJUČNE REČI: antropogeni pritisci, hidromorfologija, makrofite, biodiverzitet, upravljanje vodama



# INFLUENCE OF ALLOCHTHONOUS AQUATIC VEGETATION ON THE MACROINVERTEBRATE FAUNA OF THE CANAL NETWORK ON THE LEFT BANK OF THE DANUBE

## ABSTRACT

Aquatic plants include a complex group of different adaptable plant species that inhabit different water basins. They are the primary producers, the first link in the food chain, and all other life forms in the aquatic environment depend on them. On the other hand, overgrowth of the canal network with vegetation, especially with new, allochthonous species, has a major impact on the functionality of the system. The pumping stations and the sewer network as a system for protecting agricultural and urban units cannot respond adequately to the new challenges. Hydromorphological changes have a significant impact on the native flora and fauna of the area. Research into the interaction of aquatic plants and macroinvertebrate communities is not only of scientific importance, but also forms the basis for appropriate management of aquatic ecosystems. The aim of the work is to illustrate the changes in the biodiversity caused by the different maintenance of aquatic vegetation in the canal network of the left bank of the Danube.

**KEY WORDS:** anthropogenic pressures, hydromorphology, macrophytes, biodiversity, water management

## UVOD

Rubno područje Beograda, na levoj obali Dunava, po svom položaju predstavlja područje veoma izloženo uticaju podzemnih voda. Okruženo nasipima duž Dunava, Tamiša i Karašca, područje je konstantno ugroženo izlivanjem voda, naročito u periodu visokog vodostaja na pomenutim rekama. Izgradnjom HEPS "Đerdap I" i formiranjem uspora, vodni režim u okviru niskih priobalnih područja, poput Pančevačkog rita, značajno se pogoršao. Poseban problem, tokom prethodnih godina, izazvala je intenzivna, neplanska urbanizacija, pre svega u okviru naselja Krnjača, Ovča i Borča, kada je veliki deo poljoprivrednog zemljišta preveden u građevinsko. Crpne stanice i kanalska mreža, izvedeni prevashodno za potrebe poljoprivrede, nisu u stanju da kvalitetno odgovore na novonastale izazove, kao sistem za zaštitu poljoprivrednih, ali sada i urbanih celina. Veliki uticaj na funkcionalnost sistema ima i obrastanje kanalske mreže vegetacijom, naročito novim, alohtonim vrstama, zatim zamuljenje izazvano urušavanjem obalnih kosina, kao i zatvaranjem otvora propusta usled formiranja plivajućih ostrva akvatičnih biljaka.

Hidromorfološke promene koje uključuju izmene hidrološkog režima i morfoloških karakteristika vodnog tela, a nastale kao posledice antropogenih pritisa, imaju značajan uticaj na nativnu faunu makrobescičmenjaka. Kao posledica nastalih izmena, dolazi do faunističkih promena zajednica, smanjenja abundance populacija osetljivih taksona i povećanja abundance tolerantnih vrsta (Kupilas et al., 2016). Sa druge strane, antropogeni pritisci definišu formiranje, rasprostranjenje i dinamiku flore i vegetacije određenog

područja. Među hidrofilnim biljkama vodenog ogledala dominiraju submerzne i flotantne hidrofitne, dok obalne zone naseljavaju emerzne makrofite i kopnena vegetacija.

Bioloski procesi imaju značajnu ulogu u održavanju ravnoteže vodenih ekosistema. Pored fizičko-hemijskih uslova, svako stanje vodenog sistema karakterise se i određenim vrstama ili grupama organizama, koje se još nazivaju i bioindikatori. Biološki indikatori su organizmi koji se koriste za prikaz stanja životne sredine. Hidromorfološke odlike i pozicija vodnog tela imaju najveći uticaj na distribuciju vrsta. Najčešće beleženi taksoni mogu se koristiti kao dobar prediktor tipa vodnog tela i kao pouzdan bioindikator procene kvaliteta vode. U odnosu na različite uslove života, u pojedinim delovima vodene sredine postoje različite adaptivne forme.

Akvatične biljke obuhvataju složenu grupu različitih adaptivnih tipova biljaka koje naseljavaju različite vodene basene. U obalnoj zoni kanala, bara, rukavaca ili zabarenih depresija, gde je povećan nivo podzemnih voda, a podloga sa izraženom anaerobnošću, razvija se karakteristična močvarna vegetacija.

Vodene makrofite u nekontrolisanim uslovima, doprinose zarastanju vodenog okna, smanjuju protok i providnost vodenog biotopa, a samim tim i narušavanju osnovne ekološke odlike područja. Ulaskom stranih vrsta dolazi do intezivnih sukcesija biljnih vrsta. Sa druge strane, u vodenoj sredini makrofite predstavljaju primarne producente, prvu kariku u lancima ishrane i svi drugi oblici života u akvatičnoj sredini zavise od njihovog postojanja. Obezbeđuju hranu za ribe, makroinvertebrate, kao i vodene ptice, a sa druge strane predstavljaju stanište za mrest riba, kao i izvor specifičnih mikrostaništa za različite grupe makroinvertebrata.

Istraživanja koja se odnose na interakcije vodenih biljaka i zajednice makroinvertebrata nisu samo od naučnog značaja, već su značajna i u pogledu očuvanja i upravljanja vodenim ekosistema. Biološki spektar analiziranih biljnih vrsta je terofitskog tipa, čija je odlika visok biotički potencijal, koji im omogućava intenzivan rast populacija. Zato je važna kontrola prisustva i brojnosti invazivnih vrsta i ublažavanje njihovog uticaja na autohtone vrste i staništa, naročito na vrste fragilnog tipa. Regulisanje kanalskih sistema posebno u naseljenim mestima ima važnu funkciju za nesmetano funkcionisanje i dalji razvoj istih. Cilj rada je da se prikažu i isatknju oscilacije biološke raznovrsnosti istraživanog područja, nastale kao posledica nesistemske održavanja vodene vegetacije u kanalskoj mreži leve obale Dunava.

## MATERIJAL I METODE

Uzorci akvatičnih makrobeskičmenjaka prikupljeni su sa pet lokaliteta kanalske mreže na levoj obali Dunavu (Slika 1) u maju 2021. godine i 2023 godine. Uzorci vodenih makrobeskičmenjaka prikupljeni su u priobalnom regionu (do 1,5 m dubine) bentosnom mrežom promera okaca 250 i 500  $\mu\text{m}$  sa svih dostupnih staništa, semikvantitativnom *Kick and Sweep* metodom – (*K&S*) (Barbour, 1999) korišćenjem jednakog napora pri svakom uzorkovanju. Uzorci su prikupljeni sa svih dostupnih staništa (*multihabitat sampling procedure*). U dubljim zonama vode, uzorci su prikupljeni korišćenjem Van Vin (*Van*

*Veen*) bagera zahvatne površine 270 cm<sup>2</sup>. Ispiranjem kroz sito promera okaca 200 μm, akvatični beskičmenjaci izdvojeni su iz sedimenta, fiksirani 96% etanolom i transportovani u laboratoriju Odeljenja za hidroekologiju i zaštitu voda, Instituta za biološka istraživanja „Siniša Stanković“ Instituta od nacionalnog značaja za Republiku Srbiju, Univerzitet u Beogradu.

Sortiranje i determinacija organizama obavljani su upotrebom stereo mikroskopa i binokularne lupe Krüss, Nemačka, i mikroskopa Opton, Nemačka. Identifikacija organizama izvršena do nivoa vrste, a gde to nije bilo moguće, do najnižeg mogućeg taksonomskog nivoa, upotrebom sledeće literature: Bole (1969), Brinkhurst & Jamieson (1971), Lellak (1980), Wiederholm (1983), Sladeček & Košel (1984), Elliot et al. (1988), Schmid (1993), Edington & Hildrew (1995), Pescador et al. (1995), Nilsson (1996a, b), Timm (1999), Pflieger (2000), Glöer (2002), Glöer & Meier-Brook (2003), Killeen et al. (2004), Korniushev (2004), Vallenduuk and Moller Pillot (2007), Andersen (2013).

Prisustvo vodenih makrofita u kanalskoj mreži, utvrđeno je preko relativne abundance u istom periodu. Prisustvo vodenih makrofita u kanalu, utvrđeno je preko relativne abundance (brojnosti, obilnosti) makrofita. Za procenu biljne mase (brojnosti vrste) primenjena je skala od 1 do 5 (1 = retka; 2 = slu-čajna; 3 = česta; 4 = brojna; 5 = vrlo brojna vrsta) (Kohler & Janauer (1997). Ovakav način procene biljne mase nije identičan biomasi izraženoj u kg po jedinici površine, ali je ekvivalentan „udelu vrste“, tj. 3-D-udelu“ ili „biljnoj bio-zapremini“ u analiziranoj zajednici tj. vegetaciji.



Slika 1. Fotografija ispitivanog područja: 1- Sibnica, 2-PKB kanal, 3- Vizelj (Raković M.)  
Figure 1. Photography of researched area: 1- Sibnica, 2-PKB kanal, 3- Vizelj (Raković M.)

## REZULTATI

Na istraživanom području zabeležene su značajne razlike u diverzitetu zajednica makrobeskičmenjaka tokom dve analizirane sezone. Tokom 2021. godine zabeleženo je ukupno 55 taksona iz 13 taksonomskih grupa akvatičnih makrobeskičmenjaka (Tabela 1), a

tokom 2023. godine 41 taksona iz 11 taksonomiskih grupa akvatičnih makrobeskimenjaka (Tabela 2).

Tabela 1. Spisak taksona na istraživanim lokalitetima tokom 2021. godine

Table 1. List of taxa in the investigated localities during 2021.

**Hirudinea**

<i>Placobdella costata</i> (Fr. Muller, 1846)
<i>Alboglossiphonia heteroclita</i> (Linnaeus, 1761)
<i>Glossiphonia complanata</i> (Linnaeus, 1758)
<i>Glossiphonia concolor</i> (Apathy, 1888)
<i>Glossiphonia nebulosa</i> Kalbe, 1964
<i>Helobdella stagnalis</i> (Linnaeus, 1758)
<i>Erpobdella octoculata</i> (Linnaeus, 1758)
<i>Erpobdella testacea</i> (Savigny, 1820)
<i>Trocheta riparia</i> Nesemann, 1993

**Oligochaeta**

<i>Dero dorsalis</i> Ferronnière, 1899
<i>Haemonais waldvogeli</i> Bretscher, 1900
<i>sLimnodrilus hoffmeiteri</i> Claparede, 1862
<i>Branchiodrilus hortensis</i> (Stephenson, 1910)
<i>Nais bretscheri</i> Michaelsen, 1899
<i>Potamothrix hammoniensis</i> (Michaelsen, 1901)
<i>Psammoryctides albicola</i>
<i>Pristina aequisetata</i> Bourne, 1891
<i>Pristina longisetata</i> Ehrenberg, 1828

**Diptera**

Simuliidae Gen. sp.
Ceratopogonidae Gen. Sp.
<i>Sericomyia lappona</i> (Linnaeus, 1758)
<i>Stratiomys longicornis</i> (Scopoli, 1763)

**Turbellaria**

<i>Dendrocoelum</i> sp.
-------------------------

**Ephemeroptera**

<i>Caenis robusta</i> Eaton, 1884.
<i>Cloeon dipterum</i> -Gr.

**Odonata**

<i>Aeshna cyanea</i> (Müller, 1764)
<i>Ischnura elegans</i> (Vander Linden, 1820)
<i>Platycnemis pennipes</i> Pallas, 1771

<i>Pyrrhosoma nymphula</i> (Sulzer, 1776)
<i>Sympetrum striolatum</i> (Charpentier, 1840)
<i>Orthetrum coerulescens</i> (Fabricius, 1798)

**Heteroptera**

<i>Sigara (Sigara) dorsalis</i> (Leach, 1817)
<i>Ilyocoris cimicoides</i> (Linnaeus, 1758)
<i>Plea</i> sp.
<i>Gerris (Gerris) lacustris</i> (Linnaeus, 1758)

**Coleoptera**

<i>Dytiscus</i> sp. Ad.
<i>Laccophilus</i> sp. Ad.
<i>Platambus maculatus</i> (Linnaeus, 1758) Ad.
<i>Noterus crassicornis</i> (Müller, 1776) Ad.
<i>Noterus crassicornis</i> (Müller, 1776) Lv.

<i>Halipus</i> sp. Ad
-----------------------

**Neuroptera**

<i>Sisyra</i> sp
------------------

**Crustacea**

<i>Asellus aquaticus</i> Linnaeus, 1758
---

**Gastropoda**

<i>Physella acuta</i> Draparnaud, 1805
<i>Segmentina nitida</i> (O.F. Muller, 1774)
<i>Planorbis planorbis</i> (Linnaeus, 1758)
<i>Oxyloma</i> sp.

**Chironomidae**

<i>Chironomus</i> spp.
<i>Cricotopus</i> gr. <i>sylvestris</i>
<i>Glyptotendipes pallens</i> agg.
<i>Monopelopia tenuicalcar</i>
<i>Parachironomus</i> gr <i>arctuatus</i>
<i>Paratanytarsus</i> sp.
<i>Polypedilum nubeculosum</i> (Meigen, 1830)
<i>Tanytus kraatzii</i> (Kieffer, 1912)

**Hydrachnidia Gen. Sp.**

Tabela 2. Spisak taksona na istraživanim lokalitetima tokom 2023. godine  
Table 2. List of taxa in the investigated localities during 2023

<b>Hirudinea</b>	<b>Heteroptera</b>
<i>Batracobdelloides moogi</i>	<i>Sigara (Sigara) dorsalis</i> (Leach, 1817)
<i>Glossiphonia concolor</i> (Apathy, 1888)	<i>Plea</i> sp.
<i>Erpobdella octoculata</i> (Linnaeus, 1758)	<i>Mesovelgia fuscata</i> Mulsant & Rey, 1852
<i>Erpobdella testacea</i> (Savigny, 1820)	<b>Coleoptera</b>
<i>Hirudo verbana</i> Carena, 1820	<i>Dytiscus</i> sp. Ad.
<b>Oligochaeta</b>	<i>Hydrobius</i> sp. Lv.
<i>Chaetogaster diaphanus</i> (Gruithuisen, 1828)	<i>Platambus maculatus</i> (Linnaeus, 1758) Ad.
<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i> Claparede, 1862	<i>Laccophilus minutus</i> (Linnaeus, 1758) Ad.
<i>Nais bretscheri</i> Michaelsen, 1899	<i>Elodes minutus</i> (Linnaeus, 1767) Ad.
<i>Ophiodonais serpentina</i> (Müller, 1773)	<b>Crustacea</b>
<i>Stylaria lacustris</i> (Linnaeus, 1767)	<i>Asellus aquaticus</i> Linnaeus, 1758
<i>Tubifex tubifex</i> (Müller, 1774)	<i>Dikerogammarus villosus</i> (Sowinsky, 1894)
<b>Diptera</b>	<i>Limomysis benedeni</i> Czerniavsky, 1882
Ceratopogonidae Gen. Sp.	<i>Faxonius limosus</i> (Rafinesque, 1817)
Culicidae Gen. sp.	<b>Gastropoda</b>
<b>Turbellaria</b>	<i>Lymnaea stagnalis</i> (Linnaeus, 1758)
<i>Dugesia lugubris</i> (Schmidt, 1861)	<i>Planorbarius corneus</i> (Linnaeus, 1758)
<b>Ephemeroptera</b>	<i>Physella acuta</i> (Draparnaud, 1805)
<i>Cloeon dipterum</i> (Linnaeus, 1758)	<i>Bithynia tentaculata</i> (Linnaeus, 1758)
<i>Caenis macrura</i> Stephens, 1835	<b>Chironomidae</b>
<i>Caenis robusta</i> Eaton, 1884.	<i>Chironomus</i> spp.
<b>Odonata</b>	<i>Cricotopus</i> gr. <i>sylvestris</i>
<i>Pyrrosoma nymphula</i> (Sulzer, 1776)	<i>Glyptotendipes</i> sp.
<i>Libellula depressa</i> Linnaeus, 1758	<i>Psectrocladius limbatellus/sordidellus</i> gr
<i>Ichnura elegans</i> (Vander Linden, 1820)	<i>Tanytus kraatzii</i>

Tokom 2021. godine na lokalitetu *Sibnica* zabeleženo je 17 taksona iz 8 taksonomskih grupa. Grupa Crustacea dominira u zajednici faune dna na ovom lokalitetu (47,86%), pored ove grupe zabeleženi su i predstavnici vilinih konjica (Odonata) sa udelom u zajednici 19,66% i Oligochaeta 11%. Na osnovu rezultata Indeksa diverziteta ( $H=1,85$ ) kvalitet vode kanala *Sibnica* se može svrstati u II klasu (dobar ekološki potencijal). Vrednost Saprobnog indeksa, BMWP indeksa kao i relativno veliki ukupan broj taksona i nizak udeo Tubificidae u zajednici takođe svrstavaju kvalitet vode u II klasu, odnosno ukazuju na dobar ekološki potencijal. Dok je tokom 2023. godine na lokalitetu *Sibnica* zabeležen značajno niži diverzitet, od ukupno pet taksona iz četiri taksonomske grupe. Grupa Crustacea, vrsta *Asellus aquaticus* (Linnaeus, 1758), je najzastupljenija u zajednici faune dna na ovom lokalitetu (66,15%). Pored ove grupe zabeleženi su i predstavnici Gastropoda sa udelom u zajednici od 30,77%, dok su ostale grupe bile zastupljene sa udelom manjim

do 2% u zajednici (Oligochaeta 1,54% i Hirudinea 1,54%). U zabeleženoj zajednici dominiraju  $\alpha$ - i  $\beta$ -mezosaprobni vrste (41,69%, odnosno 21,38%). Polisaprobni organizmi zastupljeni su sa 6,92% u zajednici, a za 29,23% taksona nema dostupnih podataka o saprobnoj valenci prema Moog (2002). Saprobní indeks određuje ekološki potencijal kanala Sibnica kao umeren, a nedostatak udela familije Tubificinae u zajednici daje povoljnu ocenu kvaliteta vode (II klasa). Prema BMWP indeksu, indeksu diverziteta (Shannon-Weaver) i ukupnom broju taksona kvalitet vode pripada IV klasi ekološkog potencijala.

U kanalu *Kalovita* zabeleženo je prisustvo većeg broja taksona (21) iz 9 taksonomskih grupa, tokom 2021. godine u odnosu na 2023. godinu. Najzastupljenija grupa su Crustacea 54,35%, zatim Gastropoda 23,91%, Hirudinea 8,70% i Coleoptera 7,25%, a ostale grupe su prisutne sa manje od 5% zastupljenosti. Najveće procentualno učešće prema saprobnoj valenci (Moog, 2002) imaju  $\alpha$  (35,43%) i  $\beta$ -mezosaprobni (37,25%) organizmi. Polisaprobni organizmi koji tolerišu visok stepen organskog zagađenja su zastupljeni sa 5,21%, dok su oligosaprobni, koji tolerišu nizak stepen organskog zagađenja zastupljeni sa 7,32%. Za 13,77% zabeleženih organizama nema podataka o saprobiološkoj valenci. Vrednosti saprobnog indeksa, BMWP skora, indeks diverziteta, kao i ukupan broj taksona i učešće familije Tubificinae pokazuju dobar ekološki potencijal odnosno II klasu kvaliteta. Tokom 2023. godine u kanalu *Kalovita* zabeleženo je prisustvo 14 taksona iz 7 taksonomskih grupa. Vrste iz grupe Oligochaeta prisutne su sa 53,27% od ukupne zastupljenosti zabeleženih taksona, dok su ostale grupe sa značajno manjim udelom - Gastropoda 16,51%, Crustacea 14,33%, Diptera 10,59%, Hirudinea 4,05%, Coleoptera 0,93% i Coelenterata 0,32%. Najveće procentualno učešće prema saprobnoj valenci (Moog, 2002) imaju  $\alpha$ -mezosaprobni i  $\beta$ -mezosaprobni organizmi sa sličnim procentualnim udelom u zajednici 38,44% i 32,96%. Oligosaprobni organizmi koji tolerišu nizak stepen organskog zagađenja su slabije zastupljeni (6,26%), kao i polisaprobni organizmi, koji tolerišu visok stepen organskog zagađenja (5,83%). Za 16,51% zabeleženih organizama nema podataka o saprobiološkoj valenci. Vrednosti većine parametara (saprobní indeks, indeks diverziteta, ukupan broj taksona i učešće tubificida) su u granicama II klase i pokazuju dobar ekološki potencijal.

Analizom zajednice vodenih makrobeskičmenjaka kanala *Vizelj* zabeleženo je ukupno 19 taksona u okviru 10 taksonomskih grupa, tokom 2021. godine. Grupa Crustacea je procentualno najzastupljenija grupa u zajednici sa 60,83%, a zatim slede Gastropoda sa 15,46%, Diptera sa 6,70% i Oligochaeta sa 5,67%. Ostale grupe su manje brojne i zastupljene sa po manje od 5% (Ephemeroptera, Odonata, Coleoptera, Heteroptera, Colembola, Hydrachnidia). Prema ekološkoj klasifikaciji taksona u odnosu na saprobnú valencu (Moog, 2002) najveći broj taksona pripada  $\alpha$ - mezosaprobnim (47,68%), odnosno  $\beta$ -mezosaprobnim organizmima (30,77%). Procentualno učešće polisaprobni taksona je 7,32%, oligosaprobni organizama je 6,19%, dok se 0,83% svrstava u ksenosaprobne organizme. Za 7,21% taksona nema podataka o klasifikaciji u odnosu na saprobiološku toleranciju. Vrednost svih parametara su u granicama II klase kvaliteta i ukazuju na dobar ekološki potencijal. Tokom 2023. godine zabeležen je sličan diverzitet kanala *Vizelj*, kada je ukupno zabeleženo 20 taksona u okviru 11 taksonomskih grupa. Najzastupljenija u zajednici bila je grupa Oligochaeta sa 63%, zatim slede Gastropoda sa 11,23%, Crustacea

10,16%, Diptera 6,95%, dok su ostale grupe manje brojne i zastupljene sa po manje od 5%. Prema ekološkoj klasifikaciji taksona u odnosu na saprobnju valencu (Moog, 2002) najveći broj taksona pripada  $\alpha$ -mezosaprobnim sa 39,14%, zatim  $\beta$ -mezosaprobnim (33,10%), i polisaprobnih organizmima (10,37%). Procentualno učešće oligosaprobnih taksona je 6,68%, dok za 10,69% taksona nema podataka o klasifikaciji u odnosu na saprobiološku toleranciju. Vrednosti saprobnog indeksa, BMWP skora, indeksa diverziteta, ukupnog broja taksona i udela Tubificinae svrstava Vizelj u II klasu, na osnovu čega se zaključuje da je trenutni ekološki potencijal kanala Vizelj dobar (II klasa kvaliteta vode).

Analizom uzorka makrobeskičmenjaka na lokalitetu *PKB kanal*, tokom 2021. godine zabeleženo je 25 taksona iz 9 taksonomskih grupa. Grupa Crustacea dominira u zajednici faune dna na ovom lokalitetu (33,85%), zatim Gastropoda sa udelom u zajednici od 23% i Diptera 14% dok su ostale grupe imale zastupljenost manju od 10%. U zabeleženoj zajednici dominiraju alfa i beta - mezosaprobne vrste (35,7%, odnosno 29%). Za 25% taksona nema dostupnih podataka o saprobnju valenci prema Moog (2002). Na osnovu rezultata Indeksa diverziteta kvalitet vode kanala PKB se može svrstati u II klasu (dobar ekološki potencijal). Vrednost Saprobnog indeksa, BMWP indeksa kao i relativno veliki ukupan broj taksona i odsustvo vrsta iz porodice Tubificidae u zajednici takođe svrstavaju kvalitet vode u II klasu, odnosno ukazuju na dobar ekološki potencijal. Analizom uzorka makrobeskičmenjaka tokom 2023. godine na lokalitetu *PKB kanal*, zabeleženo je ukupno 20 taksona iz 6 taksonomskih grupa. Grupa Gastropoda dominira u zajednici faune dna na ovom lokalitetu (40,40%), zatim Diptera sa udelom u zajednici od 27,82%, Heteroptera 19,21%, Coleoptera sa 8,61%, dok su ostale grupe imale zastupljenost manju od 5%. U zabeleženoj zajednici dominiraju  $\alpha$ - i  $\beta$ - mezosaprobne vrste (19,40%, odnosno 17,15%). Oligosaprobnih organizmi činili su 2,58%, a polisaprobnih 2,98% zajednice. Za 57,62% taksona nema dostupnih podataka o saprobnju valenci prema Moog (2002). Na osnovu vrednosti svih merenih parametara za ocenu ekološkog potencijala, kanal PKB spada u II klasu ekološkog potencijala.

Analizom zajednice vodenih makrobeskičmenjaka tokom 2021. godine na lokalitetu *Karaš kanal* zabeleženo je ukupno 7 taksona iz 5 taksonomskih grupa. U zajednici su najbrojniji predstavnici grupe Crustacea (64,70%), a za njima slede Odonata i Gastropoda sa po 13,73%. Predstavnici ostalih grupa (Oligochaeta, Diptera) su slabije zastupljeni sa ukupno 7,84%. Vrednosti ispitivanih parametara su različite: vrednosti saprobnog indeksa i učešće tubificida je u granicama II klase kvaliteta (dobar ekološki potencijal). Analizom zajednice vodenih makrobeskičmenjaka na lokalitetu *Karaš kanal*, tokom 2023. godine zabeleženo je ukupno 20 taksona iz 9 taksonomskih grupa. Grupa Crustacea je dominirala u zabeleženoj zajednici (53,76%), a pored njih značajan udeo imala je grupa Ephemeroptera sa 16,67%, Oligochaeta sa 13,98%, Gastropoda sa 7%, dok su ostali organizmi imali udeo manji od 5% u zajednici. Veći deo zajednice čine  $\alpha$ - i  $\beta$ - mezosaprobne vrste (21,66% i 56,67%), dok nešto manje ima oligosaprobnih (15,60%), a polisaprobnih svega 2,31% vrsta. Vrednosti svih ispitivanih parametara su u granicama II i III klase kvaliteta.

Tabela 3. Spisak taksona makrofita kanalske mreže leve obale Dunava  
 Table 3. List of macrophyte taxa of the canal network on the left bank of the Danube

<b>Vodene makrofite</b>	<b>Brojnost (Kohler &amp; Janauer, 1997)</b>
<b>Submerzne makrofite</b>	
<i>Paspalum distichum</i> L.	5
<i>Ceratophyllum demersum</i> L.	5
<i>Cladophora</i> sp.	3
<i>Elodea canadensis</i> Michx	4
<i>Myriophyllum spicatum</i> L.	2
<i>Najas marina</i> L.	3
<i>Potamogeton crispus</i> L.	2
<i>Potamogeton pectinatus</i> L.	1
<b>Flotantne makrofite</b>	
<i>Lemna minor</i> L.	2
<i>Nymphaea alba</i> L.	1
<i>Potamogeton lucens</i> L.	1
<i>Potamogeton x fluitans</i> Roth	1
<i>Salvinia natans</i> (L.) All.	2
<i>Spirodela polyrrhiza</i> (L.) Schleiden	4
<i>Trapa natans</i> L.	5
<b>Obalna zona</b>	
<b>Emerzne makrofite</b>	
<i>Carex</i> sp.	3
<i>Iris pseudacorus</i> L.	2
<i>Phragmites australis</i> (Cav.) Trin. ex Steud.	3
<i>Schoenoplectus lacustris</i> (L.) Palla	2
<i>Typha latifolia</i> L.	2

Rezultati istraživanja makrofita na istraživanom području pokazuju da je hidrofilna vegetacija bogata vrstama. Među hidrofilnim biljkama vodenog ogledala dominiraju submerzne i flotantne hidrofitne, dok obalsku zonu kanala naseljavaju emerzne makrofite i kopnena vegetacija. U okviru istraživanog područja *Caricetum gracilis* predstavlja sukcesivni stadijum u zarastanju i čini prelaz od vodene i amfibijske vegetacije muljevitih obala, ka vegetaciji vlažnih, povremeno plavljenih livada. Na staništima tipičnim za ovu zajednicu, masovno se javlja invazivna vrsta *Paspalum distichum*, koja obrazuje prostrane i guste tepihe, koji mogu potpuno da zaguše ostalu vegetaciju i prekriju skoro celo vodeno ogledalo. Takođe, zajednica Potamogetono-Ceratophylletum demersi obrasta sporotekuće i stajaće vode u vidu pojasa duž obala ili gustih podvodnih livada. Pored pomenutih zajednica, prisustvo edifikatorske vrste *Ceratophyllum demersum* L. usporava tok vode i menja svetlosni i termički režim i predstavlja trajni stadijum u razvoju vodene vegetacije.



Na dubinama od 0,5 do 2m, javlja se zajednica Ceratophyllo-Trapetum natantis, kao gusta masa koja ispunjava veći deo korita vodenog basena. Prema rezultatima obavljenog istraživanja najveću brojnost u vodi ima alohtona vrsta *Paspalum distichum* L. (5), zatim submerzne vrste *Ceratophyllum demersum* L. (5) i *Elodea canadensis* Michx (4) alohtona invazivna neofita poreklom iz Severne Amerike. Među flotantnim biljkama, po brojnosti dominiraju *Trapa natans* L. (5) i *Spirodela polyrrhiza* (L.) Schleiden (4). Među emerznim makrofitama u kanalskoj mreži značajnu brojnost imaju *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud. (3) i *Carex* sp. (3).

## ZAKLJUČAK

Ukupan diverzitet područja značajno varira u istraživanim periodima, što se može dovesti u direktnu vezu sa obrastanjem kanalske mreže makrofitskom vegetacijom. Kanali koji se redovno održavaju pokazuju stabilan diverzitet tokom oba istraživana perioda, dok je zajednica makrobescičmenjaka i ukupan diverzitet kanala koji nemaju stalno održavanje u opadanju. Diverzitet izražen preko indeksa bioloških parametara ekološkog potencijala pokazuje razlike u preliminarnoj oceni kvaliteta vode. Rezultati indeksa bioloških parametara za ocenu ekološkog potencijala tokom 2021. godine pokazuju *dobar ekološki potencijal*, dok tokom 2023. godine pokazuju *umeren ekološki potencijal* kanalske mreže leve obale Dunava. Florističkim istraživanjima detektovan je značaj broj alohtonih vrsta biljaka, uglavnom severnoameričkog porekla. Neofite dominiraju u hronološkom spektru, a najveći broj zabeleženih vrsta ima status invazivnih. Biološki spektar pokazuje terofitski tip, koji omogućava intenzivan rast njihovih populacija. Zato je važna kontrola prisustva i brojnosti invazivnih vrsta i ublažavanje njihovog uticaja na autohtone vrste i staništa. Invazivnu vrstu kada se proširi na nekoj teritoriji veoma je teško ukloniti. Zato je važno sprovesti monitoring tj. praćenje i rano otkrivanje potencijalno invazivnih vrsta i uvođenje mera njihove kontrole i uklanjanja. Potpuno uklanjanje invazivnih vrsta moguće je jedino ukoliko se rano detektuju, dok su njihove populacije malobrojne. Zarastanje kanalske mreže, alohtonim biljnim vrstama, ima negativan uticaj na biodiverzitet i kvalitet vode, kao i na socio-ekonomske aspekte funkcionisanja i upravljanja vodnim područjem.

### Zahvalnica

Istraživanje je sprovedeno za potrebe UNDP projekta Biomass for energy and biodiversity (B4EB), 00123168/2024/2, a podržano je od strane Ministarstva nauke, tehnološkog razvoja i inovacija Republike Srbije, ugovor br. 451-03-66/2024-03/200007.

## LITERATURA:

- AQEM (2002). Manual for the application of the AQEM system: A comprehensive method to assess European streams using benthic macroinvertebrates, developed for the purpose of the Water Framework Directive. Contract No: EVK1-CT1999- 00027.
- AQEM Consortium (2002). Manual for the application of the AQEM system. A comprehensive method to assess European streams using benthic macroinvertebrates developed for the purpose of the Water Framework Directive, Version 1.0, 202 p. ([www.aqem.de](http://www.aqem.de)).
- Armitage P.D., Moss D., Wright J.F., Furse, M.T. (1983). The performance of a new biological water quality score system based on macroinvertebrates over a wide range of unpolluted running-water sites. *Water Research*, 17: 333-347.
- Barbour, M. T., Gerritsen, J., Snyder B. D. & J. B. Stribling (1999): Rapid bioassessment protocols for use in streams and Wadeable rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates and Fish. (2nd ed.) EPA/841-B-98-010. U.S. EPA. Office of Water, Washington, DC.
- Bole J. 1969. Ključni za določevanje živali. IV. Mehkužci – Mollusca. Inštitut za biologijo Univerze v Ljubljani. Društvo biologov Slovenije. Ljubljana, 1-115.
- Brinkhurst R., Jamieson B. 1971. Aquatic Oligochaeta of the World. 1st ed. University of Toronto Press, Toronto, 1-860.
- Edington J., Hildrew A. 1995. A revised key to the caseless caddis larvae of the British isles (with notes on their ecology), Freshwater Biological Association, Scientific publication 53, Ambleside, 1-173.
- Elliot J., Humpesch U., Macan T. 1988. Larvae of the British Ephemeroptera: A Key with Ecological Notes. Freshwater Biological Association, Scientific Publication 49, Ambleside, 1-145.
- Glöer P. 2002. Die Süßwassergastropoden Nord- und Mitteleuropas. Bestimmungsschlüssel, Lebensweise, Verbreitung. ConchBooks, Hackenheim, 1-327.
- Glöer P., Meier-Brook C. 2003. Süßwassermollusken, Deutscher Jugendbund für Naturbeobachtung, Hamburg, 1-134.
- Lellak J. 1980. Pakomárovití – Chironomidae, In: Rozkošný R. (Ed.) Klíč vodních larev hmyzu. (Identification key to aquatic larvae of insects), Academia Praha, 310 – 392. (In Czech)
- Killeen I., Aldridge D., Oliver G. 2004. Freshwater Bivalves of Britain and Ireland. FSC, AIDGAP Occasional Publication 82, 1-114.
- Kupilas, B., Hering, D., Lorenz, A.W., Knuth, C., Gücker, B., 2016. *Hydromorphological restoration stimulates river ecosystem metabolism. Biogeosciences Discuss. 1–45.*
- Korniushin A. 2004. A revision of some Asian and African freshwater clams assigned to *Corbicula fluminalis* (Müller, 1774) (Mollusca: Bivalvia: Corbiculidae), with review of anatomical characters and reproductive features based on museum collections. *Hydrobiologia* 529, 251-270.
- Kohler, A. Janauer, G.A. (1995) *Zur Methodik der Untersuchungen von aquatischen Makrophyten in Fließgewässern*, pp. 1–22. In: Steinberg, Ch., Bernhardt, H. & Klapper, H. (eds), *Handbuch Angewandte Limnologie*. Ecomed Verlag, Lansberg/Lech.
- Moog O. (2002). Fauna Aquatica Austriaca – A Comprehensive Species Inventory of Austrian Aquatic Organisms with Ecological Notes. Federal Ministry for Agriculture and Forestry, Wasserwirtschaftskataster Vienna: loose-leaf binder.
- Nilsson N. 1996a. Aquatic insects of North Europe. A taxonomic handbook. Vol 1: Ephemeroptera, Plecoptera, Heteroptera, Neuroptera, Magaloptera, Coleoptera, Trichoptera and Lepidoptera. Apollo Books, Stenstrup, 1-274.
- Nilsson N. 1996b. Aquatic insects of North Europe. A taxonomic handbook. Vol 2: Odonata, Diptera. Apollo Books, Stenstrup, 1-440.

- Pescador M., Rasmussen K., Harris C. 1995. Identification manual for the caddisfly (Trichoptera) larvae of Florida. State of Florida, Department of Environmental Protection, Division of Water Facilities, Tallahassee, 1-132.
- Pfleger V. 2000. Molluscs. The English edition, Blits Ed., 1-216.
- Shannon C. E. (1948). A mathematical theory of communication. The Bell System Technical Journal, 27: 379–423.
- Sladěček V., Košel V. 1984. Indicator value of freshwater leeches (Hirudinea) with a key to the determination of European species. Acta Hydrochimica et Hydrobiologica 12, 451-461.
- Službeni glasnik 74/2011. Pravilnik o parametrima ekološkog i hemijskog statusa površinskih voda i parametrima hemijskog i kvantitativnog statusa podzemnih voda.
- Timm T. 1999. A Guide to the Estonian Annelida. Estonian Academy Publishing Tartu/Tallinn, 1-208.
- Wiederholm T. 1983. Chironomidae of the Holarctic region. Keys and diagnoses. Part I. Larvae – Entomologica Scandinavica 19, 1-457.
- Zelinka M. & P. Marvan (1961). Zur Präzisierung der biologischen Klassifikation der Reinheit fließender Gewässer. Arch.Hydrobiol. 57: 389–407.
- Moog O. (2002) Fauna Aquatica Austriaca. Edition 2002. Wasserwirtschaftskataster, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft.

## IHTIOFAUNA DUNAVA NIZVODNO OD BRANE HE „ĐERDAP 2“ U SRBIJI

Jelena Stanković\*, Predrag Simonović\*\*, Vera Nikolić\*\*,  
Ana Marić\*\*, Nikola Marinković\*, Tamara Mitić\*,  
Jelena Čanak Atlagić\*

\* *Odeljenje za hidroekologiju i zaštitu voda, Institut za biološka istraživanja „Siniša Stanković“ - Institut od nacionalnog značaja za Republiku Srbiju, Univerzitet u Beogradu, Bulevar despota Stefana 142, 11108 Beograd, Srbija*  
[jelena.stankovic@ibiss.bg.ac.rs](mailto:jelena.stankovic@ibiss.bg.ac.rs), <https://orcid.org/0000-0003-1560-3755>  
[nikola.marinkovic@ibiss.bg.ac.rs](mailto:nikola.marinkovic@ibiss.bg.ac.rs), <http://orcid.org/0000-0002-0360-5393>  
[tamara.mitic@ibiss.bg.ac.rs](mailto:tamara.mitic@ibiss.bg.ac.rs), <https://orcid.org/0009-0007-4485-9430>  
[jelena.canak@ibiss.bg.ac.rs](mailto:jelena.canak@ibiss.bg.ac.rs), <http://orcid.org/0000-0002-5330-1558>

\*\* *Biološki fakultet, Univerzitet u Beogradu, Studentski trg 16, 11158 Beograd, Srbija*  
[pedja@bio.bg.ac.rs](mailto:pedja@bio.bg.ac.rs), <https://orcid.org/0000-0002-4819-4962>  
[vera@bio.bg.ac.rs](mailto:vera@bio.bg.ac.rs), <https://orcid.org/0000-0002-1064-3312>  
[anatosic@bio.bg.ac.rs](mailto:anatosic@bio.bg.ac.rs), <https://orcid.org/0000-0003-1757-3000>

### REZIME

Ihtiološka istraživanja sprovedena 2019. godine na sprskom delu donjeg toka Dunava, nizvodno od brane HE „Đerdap 2“, na dva lokaliteta, ukazuju na prisustvo 33 vrsta riba. Na ispitivanim lokalitetima 51,5 % ihtiofaune je pod zaštitom, a zajednicu čini 75,8 % autohtone ihtiofaune. Na osnovu vrednosti indeksa diverziteta, zajednica na lokalitetu Radujevac je raznovrsnija i ujednačenija u odnosu na zajednicu na lokalitetu ušće Timoka. Saprobnost na oba lokaliteta je bila  $\beta$ -mezosaprobnoeg karaktera, tj. određena je II klasa kvaliteta vode. Ekološka karakterizacija istraživanih lokaliteta na osnovu sastava zajednice ukazuje na zajednice potamonskog tipa (Radujevac) i zajednice donjeg ritrona (ušće Timoka).

KLJUČNE REČI: ribe, indeksi diverziteta, saprobnost, autohtone vrste, zaštićene vrste, kvalitet vode

## ICHTYOFAUNA OF THE DANUBE DOWNSTREAM THE HPP „ĐERDAP 2“ IN SERBIA

### ABSTRACT

Ichthyological research conducted in 2019 on the Serbian part of the lower reaches of the Danube, downstream of the "Đerdap 2" dam, at two sampling sites, indicates the presence of 33 species of fish. At the examined localities, 51.5% of the ichthyofauna is under protection, and the community is 75.8% autochthonous. The indices of diversity indicated

the more diverse and uniform community at the Radujevac site than the ušće Timok site. Saprobity in both localities was of b-mesosaprobic character, water quality class II was determined. The ecological characterization of the researched localities based on the composition of the community points to communities of the potamon type (Radujevac) and communities of the lower ritron (ušće Timok).

KEY WORDS: fish, diversity indices, saprobity, autochthonous species, protected species, water quality

## UVOD

Dunav, druga reka po dužini u Evropi, podeljen je na tri podregiona: gornji, srednji i donji tok. Ukupno oko 100 vrsta slatkovodnih riba naseljava Dunav duž celog toka, obuhvatajući razne ekološke i funkcionalne gilde (Schiemer i sar., 2004, Eros i sar., 2005). Srpski deo Dunava pripada srednjem i donjem toku. Od tromeđe Srbije, Hrvatske i Mađarske, do tromeđe Srbije, Rumunije i Bugarske, Dunav kroz Srbiju protiče u dužini od 588 km. Donji tok Dunava počinje nizvodno od Đerdapa, i u Srbiji dužina tog dela toka iznosi 17,4 km. Hidrološke i ekološke odlike reke Dunav značajno su se promenile nakon izgradnje brana, naročito u pogledu kvalitativnog i kvantitativnog sastava ihtiofaune, jer su onemogućene migracije riba, koje su radi mresta, ishrane i zimovanja migrirale do svojih plodišta i zimovnika uzvodno u Đerdapu ili nizvodno na području Radujevca i ušća Timoka (Janković i Jovičić, 1994). Uspor vode i promena podloge uslovile su stvaranje nove mikroklimе. Novi uslovi omogućili su brže širenje alohtonih vrsta riba, koje imaju negativan efekat na autohtone vrste. Neke od unetih vrsta riba uspostavile su održive populacije duž srpskog dela toka Dunava, a druge samo u ograničenim oblastima akumulacije „Đerdap 2“ i ispod nje (npr. šilo - *Syngnathus abaster*), kao i u priobalnim područjima Dunava i njegovih stajaćih voda (npr. amurski spavač - *Perccottus glenii*) (Lenhardt i sar., 2018). Veći deo bentosnog biotopa u đerdapskim akumulacijama nastanile su veoma brojne populacije različitih vrsta glavoča. Cilj ovog rada je da se uradi pregled ihtiofaune na sektoru Dunava ispod đerdapskih brana kako bi se procenio diverzitet, ujednačenost i stepen autohtonosti ove zajednice.

## MATERIJAL I METODE

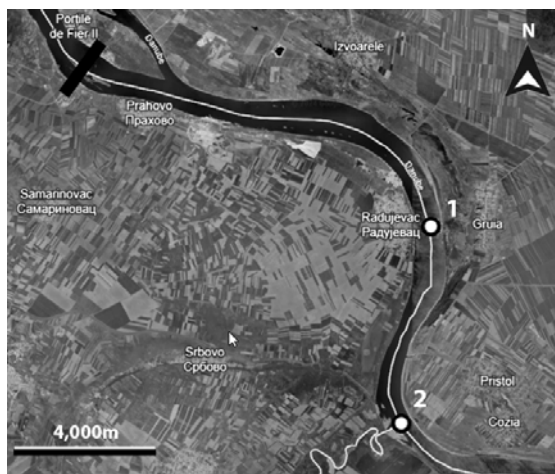
Uzorkovanje je vršeno u periodu jul-avgust 2019. godine tokom ihtioloških istraživanja reke Dunav u okviru ekspedicije „Zajedničkog istraživanja Dunava 4“ (eng. Joint Danube Survey 4 - JDS4), korišćenjem motornih čamaca i odgovarajuće opreme za elektroribolov prema EU Okvirmoj direktivi o vodama i evropskom standardu „Analiza vode – ribolov električnom energijom (EN 14011; CEN, 2003). Uzorkovanje je sprovedeno na dva lokaliteta nizvodno od brane HE „Đerdap 2“ na Dunavu, na lokalitetima Radujevac (N 44.27547; E 22.67703) i ušće Timoka (N 44.232111; E 22.678861) (Slika 1). Identifikacija jedinki je vršena na terenu do nivoa vrste (Kottelat i Freyhof, 2007; Simonović, 2001).

Određivanje bioloških elementa kvaliteta vršeno je izračunavanjem kvalitativnog i kvantitativnog sastava zajednice. Na osnovu dobijenih podataka o broju vrsta i broju jedinki po vrstama preračunate su vrednosti indeksa diverziteta (Shannon-Weaver (1949), Simpson

(1949)), indeksa ujednačenosti (1966), ekološkog indeksa (Šorić,1998) i saprobnog indeksa metodom Pantle-Buck-a (Si). Saprobnost je određena korišćenjem indikatorskih listi saprobnosti prema Sladačeku (1961) i Hofratu i Ottendorfu (1983). Prema važećem pravilniku (Službeni glasnik, 74/2011), izvršena je procena kvaliteta vode ispitivanih lokaliteta. Za svaku evidentiranu vrstu proveren je status zaštite u skladu sa nacionalnim i evropskim zakonodavstvom i preporukama.

## REZULTATI I DISKUSIJA

Tokom ihtioloških istraživanja reke Dunav JDS4 (Joint Danube Survey 4 – 2019) na dva lokaliteta nizvodno od brane HE „Đerdap 2“ zabeleženo je ukupno 33 vrste riba iz 12 familija. Na lokalitetu Radujevac je ukupno uzorkovano 5057 jedinki, 33 vrsta, 12 familija, dok je na lokalitetu ušće Timoka uzorkovano 432 jedinke, 16 vrsta, 6 familija. Spisak registrovanih vrsta na oba lokaliteta predstavljen je u Tabeli 1.



Slika 1. Područje istraživanja sa tačkama uzorkovanja na Dunavu. Crna linija – brana HE „Đerdap 2“; 1 – lokalitet Radujevac; 2- lokalitet ušće Timoka

Figure 1. Area of research with sampling sites on the Danube. Black line – HE „Đerdap 2“ dam; 1 – Radujevac sampling site; 2- Ušće Timoka sampling site

Prema važećem Zakonu o zaštiti prirode („Službeni glasnik RS“, broj 36/09, 88/2010, 91/2010 – ispr., 14/2016 i 95/2018 – i dr.zakon i 71/2021) i Pravilniku o proglašenju i zaštiti strogo zaštićenih i zaštićenih divljih vrsta biljaka, životinja i gljiva („Službeni glasnik RS“ broj 5/10, 47/11, 32/16 i 98/16), na ispitivanim lokalitetima zabeleženo je prisustvo 12 zaštićenih i 5 strogo zaštićenih vrsta riba, što čini 51,5 % od ukupnog broja registrovanih vrsta. Zajednicu većinski čini autohtona ihtiofauna (25 vrsta, 75,8 %), dok je 8 vrsta (24,2 %) alohtono.

Shannon, Simpson i indeks ujednačenosti za lokalitet Radujevac, iznosili su 1,42, 0,49 i 0,4, respektivno. Indeks saprobnosti imao je vrednost od 2,13 ( $\beta$ -mezosaprobn), odnosno

II klasu kvaliteta vode, dok je sastav bio potamonskog tipa prema ekološkom indeksu (3,56). Za lokalitet ušće Timoka, vrednosti indeksa (Shannon, Simpson i indeks ujednačenosti) iznosile su 0,31, 0,47, 0,11, respektivno. Vrednosti ukazuju na izrazitu dominantnost jedne vrste (*Alburnus alburnus*), odnosno na veoma nisku vrednost ujednačenosti zajednice. Saprobnost je bila 2,13, što se smatra  $\beta$ -mezosaprobim ili II klasom kvaliteta vode, dok je vrednost ekološkog indeksa iznosila 3,45 (donji ritron).

Vrednosti indeksa diverziteta na lokalitetu Radujevac ukazuju na veću raznovrsnost i ujednačenost vrsta u zajednici u odnosu na lokalitet ušće Timoka. Status zajednice riba,  $\beta$ -mezosaprobni kvalitet vode Dunava, kao i ekološka karakterizacija istraživanih lokaliteta na osnovu sastava zajednice su ostali nepromenjeni u odnosu na ranija istraživanja, (Simonović i sar., 2007).

Tabela 1. Spisak registrovanih vrsta riba na lokalitetima na Dunavu ispod brane HE „Đerdap 2“.

Status zaštite prema nacionalnom i međunarodnom zakonodavstvu („Službeni glasnik RS“ broj 5/2010, 47/2011, 32/2016, 98/2016; NATURA 2000; Bernska konvencija (1979)): SZ - strogo zaštićena, Z - zaštićena, # - alohtona vrsta.

Table 1. List of registered fish species in the Danube sections downstream the dam "Đerdap 2".

Conservation status according to national and international legislation (Official Gazette of the Republic of Serbia 5/2010, 47/2011, 32/2016, 98/2016; NATURA 2000; Bern Convention (1979)): SZ - strictly protected, Z - protected, # - allochthonous species.

Vrsta	Lokalitet 1 (Radujevac)	Lokalitet 2 (ušće Timoka)	Bernska konvencija (Aneksi)	Direktiva o staništima (Aneksi)	Srbija
<b>ACHEILOGNATHIDAE</b>					
<i>Rhodeus amarus</i> / <b>gavčica</b>	+		III	II	SZ
<b>CENTRACHIDAE</b>					
<i>Lepomis gibbosus</i> / <b>sunčica</b> #	+				
<b>COBITIDAE</b>					
<i>Cobitis elongatoides</i> / <b>dunavski vijun</b>	+		III	II	SZ
<b>CYPRINIDAE</b>					
<i>Carassius gibelio</i> / <b>babuška</b> #	+				
<i>Cyprinus carpio</i> / <b>šaran</b>	+	+			Z
<b>GOBIIDAE</b>					
<i>Babka gymnotrachelus</i> / <b>glavoč trkač</b> #	+				
<i>Neogobius fluviatilis</i> / <b>glavoč peskar</b> #	+	+	III		
<i>Neogobius melanostomus</i> / <b>glavoč okruglak</b> #	+	+			
<i>Ponticola kessleri</i> / <b>keslerov glavoč (glavaš)</b>	+	+	III		
<b>GOBIONIDAE</b>					
<i>Romanogobio vladkovi</i> / <b>zlatni vijun</b>	+				
<i>Gobio gobio</i> / <b>krkuša, govedarka</b>	+				
<i>Romanogobio kessleri</i> / <b>keslerova krkuša</b>	+			II	SZ

Vrsta	Lokalitet 1 (Radujevac)	Lokalitet 2 (ušće Timoka)	Bernska konvencija (Aneksi)	Direktiva o staništima (Aneksi)	Srbija
<i>Pseudorasbora parva</i> / <b>amurski čebačok #</b>	+				
<b>ICTALURIDAE</b>					
<i>Ameiurus nebulosus</i> / <b>smedi cverglan #</b>	+				
<b>LEUCISCIDAE</b>					
<i>Abramis brama</i> / <b>deverika</b>	+	+			Z
<i>Alburnus alburnus</i> / <b>uklija</b>	+	+			
<i>Aspius aspius</i> / <b>bucov</b>	+		III	II,V	Z
<i>Ballerus ballerus</i> / <b>kesega, špicer *</b>	+		III		Z
<i>Ballerus sapa</i> / <b>crnooka deverika</b>	+		III		Z
<i>Blicca bjoerkna</i> / <b>krupatica</b>	+				
<i>Chondrostoma nasus</i> / <b>skobalj</b>	+	+	III		Z
<i>Leuciscus idus</i> / <b>jaz, protfiš</b>	+	+			Z
<i>Pelecus cultratus</i> / <b>sabljarka</b>	+		III	II,IV,V	SZ
<i>Rutilus rutilus</i> / <b>bodorka</b>	+	+			
<i>Scardinius erythrophthalmus</i> / <b>crvenperka</b>	+				
<i>Squalius cephalus</i> / <b>klen</b>	+				Z
<i>Vimba vimba</i> / <b>nosara</b>	+		III		Z
<b>PERCIDAE</b>					
<i>Gymnocephalus cernua</i> / <b>balavac</b>	+				
<i>Perca fluviatilis</i> / <b>grgeč, bandar</b>	+	+			Z
<i>Sander lucioperca</i> / <b>smuđ</b>	+	+			Z
<b>SILURIDAE</b>					
<i>Silurus glanis</i> / <b>som</b>	+	+	III		Z
<b>SYNGNATHIDAE</b>					
<i>Syngnathus abaster</i> / <b>šilo kratkokljuno</b>	+		III		
<b>XENOCYPRIDIDAE</b>					
<i>Hypophthalmichthys molitrix</i> / <b>beli tolstolobik #</b>	+	+			

## ZAKLJUČAK

Sektor Dunava ispod brane HE „Derdap 2“ ima relativno bogatu faunu riba, sa velikim udelom autohtonih vrsta (51,5 %). Od ukupno 33 vrste koje su uzorkovane, 12 vrsta je zaštićeno i 5 vrsta je strogo zaštićeno. Analizom ihtiofaune određen je umereni kvalitet, odnosno III klasa kvaliteta vode, a indeks saprobnosti je indikovao  $\beta$ -mezosaprobnost, tj. II klasu kvaliteta vode na oba lokaliteta. Ekološki indeks je bio približno iste, granične vrednosti, gde je na lokalitetu Radujevac sastav zajednice bio potamonskog tipa, a na lokalitetu ušće Timoka tipa donjeg ritrona.



## Zahvalnica

Ovo istraživanje podržalo je Ministarstvo Nauke, Tehnološkog razvoja i inovacija Republike Srbije (451-03-66/2024-03/200007).

## LITERATURA:

- Bern Convention (Appendix/Annexe III), (1979). Convention on the Conservation of European Wildlife and Natural Habitats. ETS/STE 104
- CEN, European Committee for Standardization (2003): EN 14011, Water quality - Sampling of fish with electricity
- Eros, T. (2005): Life-history diversification in the Middle Danubian fish fauna - a conservation perspective. Arch. Hydrobiol., Suppl. Large Rivers 16,1-2: 289-305.
- Hofrat W., Ottendorfer J. Wien-Kaisermuhlen: Bundesanstalt für Wasserergute 26 (1983) 175.
- Janković D. and M. Jovičić (1994). The Danube in Yugoslavia – Contamination, Protection and Exploitation. Publ. Institute for Biological Research “S. Stankovic”, Institute for Development of Water Resources “J. Cerni”, Commission of the European Communities, Brussels, 220 pp., Belgium, Belgrade.
- Kottelat, M. and J. Freyhof, 2007. Handbook Of European Freshwater Fishes. Publications Kottelat, Cornol and Freyhof, Berlin.
- Lenhardt, M., Đikanović, V., Hegediš, A., Višnjić-Jeftić, Ž., Skorić, S., Smederevac-Lalić, M. (2018). Kvalitativno-kvantitativne promene ihtiofaune u protočnim dunavskim akumulacijama posle izgradnje brana derdapskih hidroelektrana. In: Petanović R., editor. Ekološki i ekonomski značaj faune Srbije: Zbornik radova sa naučnog skupa održanog 17 novembra 2016. Belgrade: Serbian Academy Of Sciences And Arts; 143–67.
- NATURA 2000 - European Union Fish Species (Annex II; IV & V) in Serbia.
- Pielou E. C. J. Theor. Biol. 13 (1966) 131-144.
- Pravilnik o proglašenju i zaštiti strogo zaštićenih i zaštićenih divljih vrsta biljaka, životinja i gljiva. „Službeni glasnik“ RS 5/2010, 47/2011, 32/2016 i 98/2016
- Pravilnik o parametrima ekološkog i hemijskog statusa površinskih voda i parametrima hemijskog i kvantitativnog statusa podzemnih voda. "Službeni glasnik " RS 74/2011
- Shannon C. E., Weaver W. (1949) The Mathematical Theory of Communication, University of Illinois Press, Chicago & Urbana p.125, ISBN: 0252725484.
- Schiemer, F., Guti, G., Keckeis, H., Staras, M., (2004): Ecological status and problems of the Danube and its fish fauna. A review- Proceedings of the second international Symposium on the management of large rivers for fisheries. 273-299.
- Simonović, P. (2001). Ribe Srbije.
- Simonović, P., Simić, V., Nikolić, V., Marić, S. (2007) Različiti aspekti analize statusa voda Dunava i pritoka (Sava, Tisa i Velika Morava) u Srbiji obavljenih na osnovu strukture zajednice riba iz uzoraka uzetih tokom JDS2 istraživanja. U: Simonović, P., Simić, V., Simić S., Paunović, M., urednici. Dunav kroz Srbiju: rezultati nacionalnog programa drugog Zajedničkog istraživanja reke Dunav 2007. Beograd, 1-331.
- Simpson E. H. Nature 163 (4148) (1949) 688-688.
- Sládeček V. Arch. Hydrobiol. 58 (1) (1961) 103-121.
- Šorić V. M. Ichthyologia 30 (1998) 51-70.
- Zakon o zaštiti prirode. „Službeni glasnik“ RS 36/2009, 88/2010, 91/2010 - ispr., 14/2016, 95/2018 - dr. zakon i 71/2021

## KVALITET VODE DUNAVA NA OSNOVU ZAJEDNICA AKVATIČNIH MAKROBESKIČMENJAKA NA PODRUČJU PANČEVAČKE ADE

Jelena Tomović\*, Jelena Čanak Atlagić\*, Stefan Andus\*,  
Bojana Tubić\*, Božica Vasiljević\*, Momir Paunović\*,  
Maja Raković\*

*\* Odeljenje za hidroekologiju i zaštitu voda, Institut za biološka istraživanja „Siniša Stanković” - Institut od nacionalnog značaja za Republiku Srbiju, Univerzitet u Beogradu, Bulevar despota Stefana 142, 11108 Beograd, Srbija  
jelena.tomovic@ibiss.bg.ac.rs; ORCID: 0000-0001-6359-0683  
jelena.canak@ibiss.bg.ac.rs; ORCID: 0000-0002-5330-1558.  
stefan.andjus@ibiss.bg.ac.rs; ORCID: 0000-0002-1102-7984  
bojana@ibiss.bg.ac.rs; ORCID: 0000-0003-2050-177X  
bozica@ibiss.bg.ac.rs; ORCID: 0000-0002-9856-5311  
mpaunovi@ibiss.bg.ac.rs; ORCID: 0000-0002-6432-1191  
rakovic.maja@ibiss.bg.ac.rs; ORCID:0000-0001-6899-6113*

### REZIME

Područje istraživanja Pančevačke Ade predstavlja zaštićeno stanište treće kategorije. Cilj ovog rada je da se utvrdi biološka raznovrsnost istraživanih područja i proceni kvalitet vode na osnovu zajednice makrobescičmenjaka. Uzorci su prikupljeni sa četiri lokaliteta 2023. godine. Na svakom lokalitetu uzorkovanje je izvršeno u tri do pet transekata bentološkom dredžom iz čamca. Na istraživanom području zabeležen je ukupno 61 takson akvatičnih makrobescikmenjaka iz 15 taksonomskih grupa. Analizom ukupne zajednice na istraživanim lokalitetima, najveća raznovrsnost zabeležena je na lokalitetu Bela Stena (32 taksona). Predstavnici Gastropoda i Crustacea su bile dominantne taksonomske grupe u zajednici makrobescičmenjaka. Parametri kvaliteta vode su varirali od II do V klase.

KLJUČNE REČI: vodeni makrobescičmenjaci, kvalitet vode, Dunav

# WATER QUALITY OF THE DANUBE BASED ON THE AQUATIC MACROINVERTEBRATE COMMUNITIES IN THE AREA OF PANČEVAČKE ADE

## ABSTRACT

The research area of Pančevačka Ada represents a protected habitat of the third category. The aim of this work is to determine the biodiversity of the studied area and to assess the water quality based on the macroinvertebrate community. The samples were taken at four sites in 2023. At each site, samples were collected in three to five transects using a benthic dredge from a boat. A total of 61 taxa of aquatic macroinvertebrates from 15 taxonomic groups were recorded in the study area. When analyzing the entire community at the surveyed sites, the greatest diversity was found at the Bela Stena site (32 taxa). Representatives of Gastropoda and Crustacea were the dominant taxonomic groups in the macroinvertebrate community. The water quality parameters ranged from class II to V.

KEY WORDS: aquatic macroinvertebrates, water quality, Danube

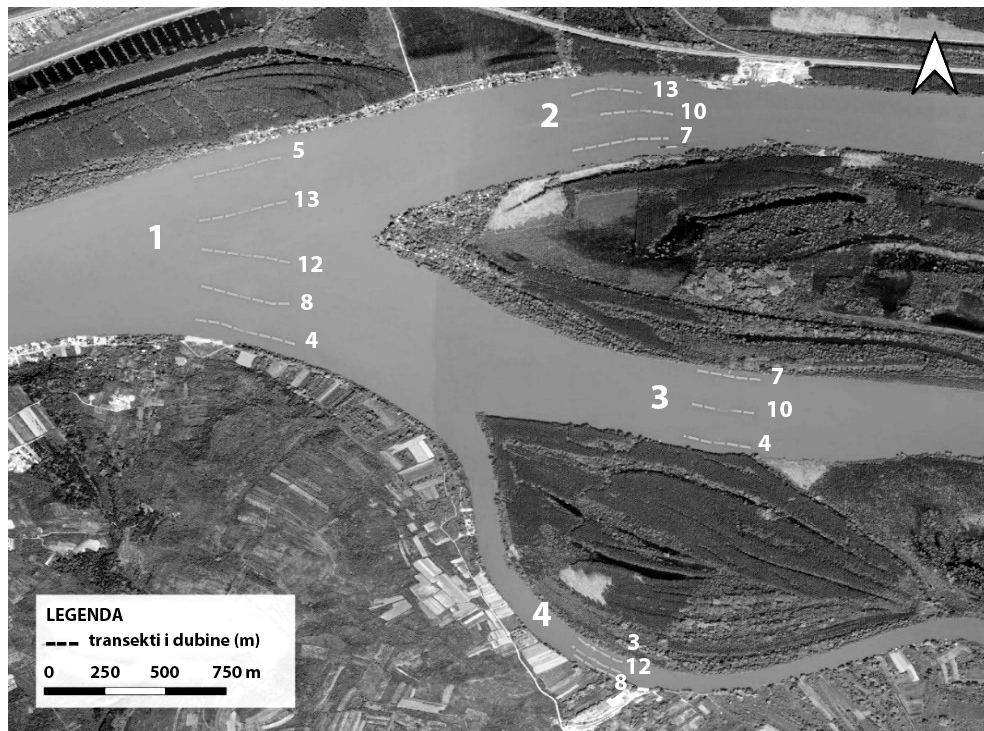
## UVOD

Zaštićeno stanište „Pančevačke ade“ obuhvata površinu od 1.309,25 ha, od čega je pod II stepenom zaštite 617 ha, a pod III stepenom zaštite 691,75 ha. Odluku o zaštiti prirodnog dobra „Pančevačke ade“, donela je Skupština grada Pančeva 5. maja 2019. godine na osnovu studije o zaštiti koju je izradio Pokrajinski zavod za zaštitu prirode (Službeni list Grada Pančeva 9/2019). Ovo stanište nalazi se istočno od Beograda i jugozapadno od grada Pančeva kome u celosti i pripada. Forkontumac ili severna ada je rečno ostrvo površine 391,7 hektara, čiji je veći deo obrastao gustom vegetacijom, na ostrvu se nalazi više bara izduženog oblika koje su nastale od nekadašnjih kanala. Na zapadnom kraju ostrva Forkontumac nalazi se vikend naselje i izletišta Bela Stena. Drugu celinu ovog područja čini južna Ada, koja se sastoji iz tri manja ostrva koja se mogu odvojiti prilikom višeg vodostaja, a nalaze se južno od ade Forkontumac, to su ostrva Čakljanac, Štefanac i Donja ada. Ove dve celine, severna i južna ada, čine zaštićeno stanište i predstavljaju funkcionalnu celinu vodenih, vlažnih i šumskih staništa, na kojima su prisutne zaštićene i strogo zaštićene vrste. Na području zaštite prepoznato je 15 stanišnih tipova, od čega je 12 prioritarno za nacionalnu zaštitu, 10 NATURA i 11 staništa u okviru EMERALD mreže. Severno od Forkontumca je ušće Tamiša u Dunav, što predstavlja najnižu tačku na području opštine Pančevo (71 m.n.v). Najveći industrijski kapaciteti hemijske i naftne industrije Srbije smešteni su na obalama ovih reka.

Srednji tok Dunava, na kojem se nalazi ovo područje, ima karakteristike aluvijalnog toka sa finim sedimentom. Zbog peskovitog nanosa i razlivanja vode oko rečnih ada morfološke karakteristike korita i dubine toka su promenljive, što znači i prisustvo diverzifikovanih mikrostaništa za vodene organizme kao što su makrobescičmenjaci. Cilj rada je da se utvrdi biološka raznovrsnost istraživanog područja i proceni kvalitet vode na osnovu zajednice makrobescičmenjaka.

## MATERIJAL I METODE

Uzorci akvatičnih makrobleskičmenjaka prikupljeni su sa četiri lokaliteta na Dunavu na području Pančevačkih ada (Slika 1) u septembru 2023. godine. Uzorkovanje je izvršeno povlačenjem bentološke dredže sa čamca po dnu reke u dužini od oko 10m. Na svakom lokalitetu uzorkovanje je izvršeno u tri do pet transekata. Pozicioniranje transekata je podrazumevalo poduzorke sa leve i desne obale i sredine toka, kao i sa različite dubine.



Slika 1. Prikaz ispitivanog područja sa transektima uzorkovanja i dubinama svakog pojedinačnog transeкта. 1-Bela stena, 2-Velike vode, 3-Srednje vode, 4-Male vode

Figure 1. Map of researched area with marked dredge samples transects with depths. 1-Bela stena, 2-Velike vode, 3- Srednje vode, 4-Male vode

Prema Pravilniku o parametrima ekološkog i hemijskog statusa površinskih voda i parametrima hemijskog i kvantitativnog statusa podzemnih voda (Sl. Glasnik RS, 74/2011), kao i prema važećoj tipologiji vodnih tela, Dunav u ovom delu svog toka pripada značajno izmenjenim vodnim telima na vodotokovima tipa 1. Za izračunavanje bioloških elementa kvaliteta korišćen je ASTERIX softverski program 4.04 (AQEM, 2002), kao i indikatorska lista po Moog-u (Moog, 2002), a prema važećem pravilniku (Službeni glasnik, 74/2011), izvršena je procena potencijala, tj. određen je kvalitet vode ispitivanih lokaliteta.

## REZULTATI

Na istraživanom području zabeležen je ukupno 61 takson (Tabela 1) akvatičnih makrobeskimenjaka iz 15 taksonomskih grupa i ukupno je izolovano 11889 jedinki.

Tabela 1. Spisak taksona na istraživanim lokalitetima  
Table 1. List of identified taxa in the investigated localities

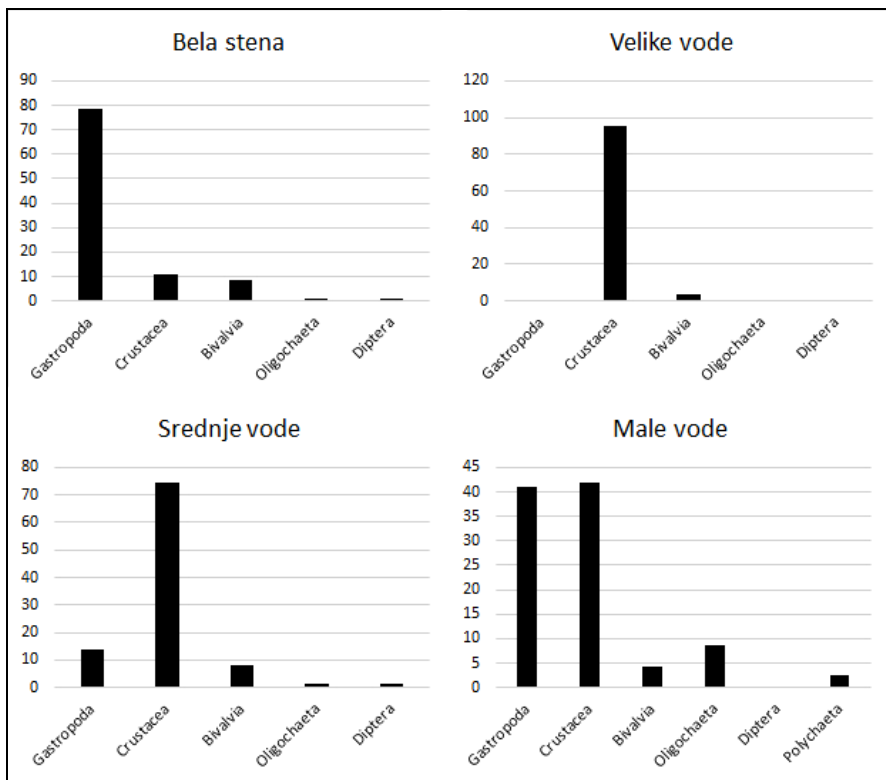
Spongillidae Gen. Sp.	<i>Sphaerium rivicola</i> (Lamarck, 1818)
Nematoda	<i>Unio tumidus</i> Philipsson, 1788
<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i> Claparede, 1862	<i>Unio pictorum</i> (Linnaeus, 1758)
<i>Psammoryctides barbatus</i> (Grube, 1861)	<i>Pisidium</i> sp.
<i>Psammoryctides albicola</i> (Michaelsen, 1901)	<i>Dikerogammarus villosus</i> (Sowinsky, 1894)
<i>Isochaetides michaelseni</i> (Lastockin, 1936)	<i>Dikerogammarus haemobaphes</i> (Eichwald, 1841)
<i>Branchyura sowerbyi</i> Beddard, 1892	<i>Dikerogammarus</i> sp.
<i>Limnodrilus udekemianus</i> Claparede, 1862	Gammaridae sp. juv.
<i>Tubifex tubifex</i> (Müller, 1774)	<i>Chelicorophium curvispinum</i> (G. O. Sars, 1895)
<i>Eiseniella tetraedra</i> (Savigny, 1826)	<i>Chelicorophium robustum</i> (G. O. Sars, 1895)
<i>Specaria josinae</i> (Vejdovsky, 1883)	<i>Jaera sarsi</i> Valkanov, 1936
<i>Potamothenix vejvodskyi</i> (Hrabe, 1941)	<i>Lymnomyia benedeni</i> Czerniavsky, 1882
<i>Stylaria lacustris</i> (Linnaeus, 1767)	<i>Paramysis lacustris</i> (Czerniavsky, 1882)
<i>Stylodrilus lemni</i> (Grube, 1879)	Collembola
<i>Potamothenix hammoniensis</i> (Michaelsen, 1901)	<i>Hydropsyche bulgaromanorum</i> Malicky, 1977
<i>Embolocephalus velutinus</i> (Grube, 1879)	<i>Cynus trimaculatus</i> (Curtis, 1834)
<i>Hypania invalida</i> (Grube, 1960)	<i>Cloeon dipterum</i> (Linnaeus, 1761)
<i>Dina apathyi</i> Gedroyc, 1916	<i>Gomphus vulgarissimus</i> (Charpentier, 1825)
<i>Trocheta haskonis</i> Grosser, 2000	Coleoptera Gen. Sp.
<i>Haemopis sanguisuga</i> (Linnaeus, 1758)	Ceratopogonidae
<i>Bithynia tentaculata</i> (Linnaeus, 1758)	<i>Xenochironomus xenobilis</i> Thienemann & Kieffer
<i>Theodoxus fluviatilis</i> Linnaeus, 1758	<i>Parachironomus</i> sp.
<i>Potamopyrgus antipodarum</i> (J. E. Gray, 1843)	<i>Kloosia pusilla</i> (Linnaeus, 1767)
<i>Lithoglyphus naticoides</i> Pfeiffer, 1828	<i>Paratendipes</i> gr. <i>albimanus</i>
Valvatidae Gen. sp.	<i>Procladius</i> sp.
<i>Valvata piscinalis</i> (O. F. Müller, 1774)	<i>Cryptochironomus defectus</i> (Kieffer, 1913)
<i>Viviparus viviparus</i> (Linnaeus, 1758)	<i>Dicrotendipes nervosus</i> (Staeger, 1839)
<i>Dreissena polymorpha</i> (Pallas, 1771)	<i>Nanocladius</i> gr. <i>dichromus</i>
<i>Dreissena bugensis</i> (Andrusov, 1897)	<i>Stenochironomus</i> sp.
<i>Corbicula fluminea</i> Müller, 1774	<i>Cricotopus</i> gr. <i>sylvestris</i>
Sphaeriidae Gen. sp.	

U ukupnoj zajednici, najveći broj zabeleženih taksona uočen je u okviru grupa: Oligochaeta (14), Chironomidae (10), Crustacea (9), Bivalvia (8) i Gastropoda (7). Taksonomska

raznovrsnost ostalih gupa makrobescičmenjaka je bila manja, dok je prisustvo nekih grupa zabeleženo, ali nisu identifikovane do nivoa roda ili vrste (spongia, ceratopogonidae, coleoptera). U okviru grupe Hirudinea registrovana su 3 taksona. Za ovaj deo toka i tip staništa očekivani rezultat je bila niža raznovrsnost grupe Insecta, zabeleženo je sedam taksona iz grupe Diptera, dve vrste u okviru reda Trichoptera i samo po jedan predstavnik iz Ephemeroptera i Odonata.

Analizom ukupne zajednice na istraživanim lokalitetima (uzimajući u obzir uzorke sa svih transekata), najveća raznovrsnost zabeležena je na lokalitetu Bela Stena (32 taksona), nešto manji broj taksona detektovan je na lokalitetu Srednje vode (28 taksona), i gotovo ujednačena raznovrsnost je zabeležena u uzorcima Velike vode (23) i Male vode (22). U odnosu na relativnu brojnost predstavnici Gastropoda i Crustacea su bile dominantne taksonomske grupe u zajednici makrobescičmenjaka istraživanog područja.

Lokaliteti se međusobno razlikuju po procentualnom udelu najbrojnijih grupa, a to su Gastropoda, Crustacea, Bivalvia, Diptera i Oligochaeta (Slika 2.).



Slika 2. Procentualni udeo najzastupljenijih grupa na četiri istraživana lokaliteta  
 Figure 2. Percentage share of dominant groups at four researched localities

Prema važećem Pravilniku o statusu voda (Sl. Glasnik RS, 74/2011), kao i prema tipologiji vodnih tela, u tabeli 2 su predstavljeni biološki indeksi korišćeni u proceni ekološkog potencijala istraživanih lokaliteta. S obzirom da je na svakom lokalitetu uzeto 3 do 5 poduzoraka, tj. transekata na različitim dubinama, vrednosti bioloških indeksa su prikazane u opsegu od najniže do najviše vrednosti.

Tabela 2. Opseg vrednosti bioloških indeksa  
Table 2. Range of biotic indices values

Vrednosti Bioloških Indeksa	Bela Stena	Velike vode	Srednje vode	Male vode
Saprobic Index (Zelinka & Marvan)	2,08-2,465	2,112-2,266	2,08-2,197	2,189-2,293
BMWP Score	17-28	6-27	22-40	13-39
Diversity (Shannon-Wiener-Index)	0,148-2,113	0,629-1,635	0,976-1,958	1,19-2,094
Number of Taxa	8-18	2-16	6-25	5-14
Tubificine%	0-8,5%	0-7,5%	0-1,9	2,6-14,3
Broj vrsta Bivalvia	1-4	1-4	1-3	1-3
Broj vrsta Gastropoda	1-4	0-1	2	0-2

Vrednosti saprobnog indeksa na svim istraživanim lokalitetima su bili u okviru II klase kvaliteta vode, tj. ukazivali su na dobar i bolji ekološki potencijal (Tabela 3). Isti trend pokazivao je i parametar koji se odnosi na udeo Tubificina u ukupnoj zajednici, prema kojem je kvalitet vode takođe bio u granicama II klase (dobar i bolji ekološki potencijal), na svim istraživanim transektima.

Na osnovu broja taksona i vrednosti indeksa diverziteta, kvalitet vode je bio nejednačen u opsegu od II do V klase (Tabela 3). Na osnovu broja taksona V klasa kvaliteta vode zabeležena je u uzorku Velike vode, transekt desna obala - 7m dubine i u uzorku Male vode, transekt leva obala - 3m dubine, dok je u većini ostalih poduzoraka/transekata bila u okviru II klase. Indeks diverziteta u granicama V klase zabeležen je jedino u uzorku Bela Stena, transekt leva obala - 5m dubine, a najmanju oscilaciju ovaj indeks je imao na lokalitetu Male vode (od II do III klase). BMWP skor je prilično ujednačeno ukazivao na kvalitet vode u opsegu III-IV klase, jedino je u uzorku Velike vode, transekt desna obala-7m dubine odgovarao V klasi.

Prema važećem pravilniku, po broju vrsta školjki (Bivalvia), kao i puževa (Gastropoda) nije postignut dobar i bolji ekološki potencijal u gotovo svim uzorcima, izuzev uzoraka Bela Stena, desna obala - 4m dubine i Velike vode, leva obala - 13m dubine, prema graničnim vrednostima za parametar 'broj vrsta školjki (Bivalvia)' (Službeni glasnik RS 74/2011).

Tabela 3. Ocena ekološkog potencijala vode na istraživanim lokalitetima na osnovu bioloških indeksa  
 Table. 3. Ecological potential of water at researched localities based on biotic indices

Indeksi	Bela Stena	Velike vode	Srednje vode	Male vode
Saprobic Index (Zelinka & Marvan)	II	II	II	II
BMWP Score	III-IV	IV-V	III-IV	III-IV
Diversity (Shannon-Wiener-Index)	II-V	II-IV	II-IV	II-III
Number of Taxa	II-IV	II-V	II-IV	II-V
Tubificidae%	II	II	II	II
Broj vrsta Bivalvia	-	-	-	-
Broj vrsta Gastropoda	-	-	-	-

(-) nije dostignut dobar i bolji ekološki potencijal

## ZAKLJUČAK

Na osnovu iznetih rezultata možemo da zaključimo da je na istraživanom području detektovan značajan diverzitet u okviru zajednice makrobeskičmenjaka u kojoj je identifikovan 61 takson. Poznato je da gornji tokovi reka imaju viši diverzitet zbog veće raznovrsnosti insekatske komponente, dok se u donjim delovima toka zajednica menja, diverzitet je niži, prevladavaju Crustacea, Mollusca, Oligochaeta, a insekatska komponenta ima manje prisutnih taksona. Primenjena metodologija uzorkovanja se pokazala kao efikasna s obzirom da je prilagođena karakteristikama staništa velike ravničarske reke i veličini slivnog područja. Upotrebom bentološke dredže na svakom lokalitetu uzeti su poduzorci zajednica sa više dubina, i na taj način se dobio reprezentativan uzorak, čime je utvrđen značajan diverzitet makrobeskičmenjaka. Rečna ostrva na ovom delu toka Dunava formiraju više mikrostaništa pogodnih za faunu makrobeskičmenjaka, što je razlog većeg diverziteta u odnosu na zabeleženi diverzitet na uzvodnom i nizvodnom lokalitetu.

Za ocenu ekološkog potencijala u ovom radu nisu korišćeni svi indikativni parametri koji se propisuju Pravilnikom, odnosno procena ekološkog potencijala na osnovu bioloških elemenata kvaliteta je jedna od faza u ukupnoj proceni kvaliteta vode koja obuhvata i hidromorfološke, kao i hemijske i fizičko-hemijske elemente kvaliteta.

Istraživano područje je pod negativnim uticajem različitih vrsta zagađujućih materija poreklom u najvećoj meri iz mineralne industrije, hemijske industrije, poljoprivrede, kao i od otpadnih voda iz domaćinstava. Iz objekata i postrojenja ovakvih zagađivača emituje se širok spektar organskih i neorganskih materija koji negativno utiču na kvalitet vode i indirektno na zajednice vodenih organizama.



Iz rezultata dobijenih ovim radom može se zaključiti da kvalitet vode na osnovu makrobeskičmenjaka nije ujednačen i da pojedini parametri odgovaraju II klasi kvaliteta, dok su pojedine vrednosti indeksa bile u granicama V klase, što ukazuje da zajednica u nekoj meri trpi posledice zagađenja. U skladu sa tim potrebno je preduzimanje preventivnih mera sa ciljem sprečavanja daljeg zagađenja i izrada sistema za sakupljanje i prečišćavanje otpadnih voda.

### Zahvalnica

Istraživanje je sprovedeno u saradnji sa Institutom za vodoprivredu Jaroslav Černi, projekat broj 32/20/49-104-08/09, a podržano je od strane Ministarstva nauke, tehnološkog razvoja i inovacija Republike Srbije, Ugovor br. 451-03-66/2024-03/200007.

### LITERATURA:

- AQEM (2002). Manual for the application of the AQEM system: A comprehensive method to assess European streams using benthic macroinvertebrates, developed for the purpose of the Water Framework Directive. Contract No: EVK1-CT1999- 00027.
- Moog O. (2002) Fauna Aquatica Austriaca. Edition 2002. Wasserwirtschaftskataster, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft.
- Službeni glasnik 74/2011. Pravilnik o parametrima ekološkog i hemijskog statusa površinskih voda i parametrima hemijskog i kvantitativnog statusa podzemnih voda.
- Službeni list grada Pančeva 9/2019. Izdavač: Градска управа града Панчева, 26000 Панчево, Трг краља Петра I 2-4

## EKOLOŠKI STATUS DUNAVA U SRBIJI U FUNKCIJI KISEONIČNOG REŽIMA

Ljiljana Takić<sup>\*</sup>, Ivana Mladenović-Ranisavljević<sup>\*\*</sup>,  
Nenad Živković<sup>\*\*\*</sup>, Violeta Stefanović<sup>\*\*\*\*</sup>

<sup>\*</sup> Tehnološki fakultet Leskovac, Univerzitet u Nišu, Bul. Osl. 124, 16000  
Leskovac, Srbija, [ljilja\\_t@yahoo.com](mailto:ljilja_t@yahoo.com), ORCID: 0000-0002-0462-836X

<sup>\*\*</sup> Tehnološki fakultet Leskovac, Univerzitet u Nišu, Bul. Osl. 124, 16000  
Leskovac, Srbija, [282ivana@gmail.com](mailto:282ivana@gmail.com), ORCID: 0000-0002-3112-428X

<sup>\*\*\*</sup> Fakultet zaštite na radu, Univerzitet u Nišu, Černojevića 10a, 18000, Niš,  
Srbija, [nenad.zivkovic@znrfak.ni.ac.rs](mailto:nenad.zivkovic@znrfak.ni.ac.rs), ORCID: 0000-0002-2731-2835

<sup>\*\*\*\*</sup> Faculty of Information Technology and Engineering, "Union – Nikola Tesla"  
University from Belgrade, Belgrade, Serbia; [violetastefanovic.le@gmail.com](mailto:violetastefanovic.le@gmail.com),  
ORCID: 0000-0002-0444-6523

### REZIME

Rad analizira promenu parametara kiseoničnog režima sa ciljem da se utvrdi da li se ispunjavaju rokovi za dostizanje zahtevane klase ekološkog statusa kvaliteta vode Dunava. Vrednosti parametara rastvoreni kiseonik, HPK i TOC na šest mernih mesta odgovaraju III klasi i ne ispunjavaju zahtevani kvalitet vode u 2015.godini dok se 2021. godine beleži poboljšanje kvaliteta vode do zahtevane II klase ekološkog statusa na tri merne stanice. Komparativna analiza promene vrednosti parametara kiseoničnog režima pokazuje pozitivan trend u godinama zadatih rokova realizacije tako da se može zaključiti da smo na pravom putu dostinja zahtevanog dobrog statusa kvaliteta vode Dunava u Srbiji.

KLJUČNE REČI: ekološki status, Dunav, kiseonični režim

## ECOLOGICAL STATUS OF THE DANUBE IN SERBIA AS A FUNCTION OF THE OXYGEN REGIME

### ABSTRACT

The paper analyzes the change in the parameters of the oxygen regime in order to determine whether the deadlines for reaching the required class of the ecological status of the water quality of the Danube are being met. The values of the dissolved oxygen, COD and TOC parameters at six measuring points in 2015 correspond to class III and do not meet the required water quality, while the improvement of water quality to the required class II of ecological status is recorded at three measuring stations in 2021. The comparative analysis

of the change in the value of the parameters of the oxygen regime shows a positive trend in the years of the given implementation deadlines, so it can be concluded that we are on the right track to achieve the required good status of the water quality of the Danube in Serbia.

KEY WORDS: ecological status, the Danube, oxygen regime

## UVOD

Promena koncentracije rastvorenog kiseonika pokazatelj je stepena ekoloških promena i degradacije kvaliteta vode Dunava. Kiseonik kao najznačajniji rastvoreni gas u vodi pokazuje meru održavanja života akvatičnog ekosistema vrednostima parametara kiseoničnog režima: rastvoreni kiseinik, zasićenost kiseonikom, biološka potrošnja kiseonika (BPK<sub>s</sub>), hemijska potrošnja kiseonika (HPK) i ukupni organski ugljenik (TOK). Okvirna direktiva o vodama Evropske Unije (EU), (Water Framework Directive, WFD) iz 2000-te godine je najznačajniji zakonski instrument u oblasti voda i preduslov za uspešno ostvarivanje integralnog upravljanja vodnim resursima.

Okvirna direktiva o vodama je ključni dokument kojim su zadate konkretne aktivnosti i propisani rokovi za realizaciju integralnog upravljanja vodnim resursima na nivou rečnog sliva. Za površinske vode opšti cilj Okvirne directive o vodama je da se postigne “dobar status”, odnosno II klasa ekološkog statusa kvaliteta vode, tj. nizak nivo prirodnih promena koje nastaju kao rezultat ljudskih aktivnosti. Rokovi za dostizanje zahtevane klase ekološkog statusa jasno su definisani, merljivi i sa zadatim rokovima realizacije. Treba naglasiti da se zadati rokovi određuju u skladu sa dinamikom utvrđenom Planovima upravljanja vodama, i to prvobitno do 2015. godine, zatim do 2021.godine, odnosno do 2027.godine dok je najkasniji rok za dostizanje graničnih vrednosti zahtevanog ekološkog statusa kvaliteta vode 31.decembar 2032. godine.

Poslednjih godina u značajnom je porastu interesovanje za reku Dunav, koji predstavlja jedan od najvažnijih evropskih razvojnih potencijala Evrope. Dunav je centralna evropska rečna saobraćajnica a dunavski sliv jedan od kapitalnih evropskih ekosistema koji traži hitne, međunarodno usaglašene mere očuvanja i zaštite. Republika Srbija je 2003. godine stupila u članstvo Međunarodne komisije za zaštitu reke Dunava, International Commission for the Protection of the Danube River (ICPDR), čime je prihvatila obavezu implementacije delova Okvirne direktive o vodama bez obzira što nije zemlja članica Evropske Unije.

## METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA

Ekološka klasifikacija vode Dunava određena je u skladu sa metodologijom koju propisuje Uredba o graničnim vrednostima zagađujućih materija u površinskim i podzemnim vodama i sedimentu i rokovima za njihovo dostizanje (“Sl.glasnik RS”, br. 50/2012) koja podrazumeva zakonsku regulativu u Srbiji usklađenu sa zahtevima Okvirne direktive o vodi EU-2000/60EC. Dunav spada u tip velikih reka sa dominacijom finog nanosa, Tip 1, za

koje su važećim regulativama definisane ciljne koncentracije parametara kiseoničnog režima za odgovarajuće klase ekološkog statusa vode (Tabela 1)

Tabela 1. Granične vrednosti parametara kiseoničnog režima (Tip1)  
Table 1. Limit values for the parameters of the oxygen regime (Type1)

Parametar	I klasa	II klasa	III klasa	IV klasa	V klasa
BPK5, mg O <sub>2</sub> /l	2	5	7	52	>25
Rastvoreni kiseonik, mg O <sub>2</sub> /l	8,5 (ili prir.nivo)	7	5	4	<4
TOC, mg/l	2	5	15	50	>50
Zasićenost kiseonikom, %	70-90	50-70	30-50	10-30	<10
HPK (permanganatna metoda), mg O <sub>2</sub> /l	5	10	20	50	>50
HPK (bihromatna metoda), mg O <sub>2</sub> /l	10	15	30	125	>125

## REZULTATI I DISKUSIJA

U radu se polazi od izveštaja Agencije za zaštitu životne sredine, Ministarstva zaštite životne sredine Republike Srbije gde su sistematizovani podaci publikovani u vidu Rezultata ispitivanja kvaliteta površinskih i podzemnih voda za 2015. godinu i Rezultata ispitivanja kvaliteta površinskih i podzemnih voda za 2021. godinu. Analiza stvarnog ekološkog statusa kvaliteta vode posmatra vrednosti parametara kiseoničnog režima na deset hidroliških mernih stanica reke Dunav duž toka kroz Srbiju.

Komparativnom analizom validnih vrednosti parametara kiseoničnog režima utvrđeno je na kojim mernim mestima su pokazatelji kvaliteta u okviru graničnih vrednosti ili imaodstpanja stvarnog od zahtevanog ekološkog statusa kvaliteta vode Dunava (Tabela 2).

Vrednosti rasvorenog kiseonika na mernim mestima Zemun i Smederevo nisu u okviru graničnih vrednosti za zahtevani kvalitet vodotoka, odgovaraju III klasi, što ukazuje na prisustvo zagađujućih materija čijom oksidacijom je smanjen sadržaj kiseonikau vodi i ne ispunjava opseg prirodnog nivoa mere održavanja života. Prisustvo sporo biorazgradive i bionerazgradive organske materije potvrđena je vrednostima parametra HPK (bihromatna metoda) kao ekvivalent ukupnog saržaja organske materije u vodi na mernom mestu Tekija. Povećane vrednosti ukupnog organskog ugljenika (TOC) odgovaraju umerenom ekološkom statusu, III klasi kvaliteta vode Dunava što jasno potvrđuje sadržaj organski vezanog ugljenika, koji ne zavisi od stepena oksidisanosti (BPK, HPK), i ukazuje na izlivanje otpadnih voda na mernim mestima Beždan, Novi Sad i Brza Palanka. Identifikovane ekološke promene na posmatranim mernim mestima u 2015. godini

zahtevaju hitne mere sprečavanja narušavanja i unapređenja kvaliteta vode do zahtevanog dobrog statusa Dunava u Srbiji.

Tabela 2. Ekološka klasifikacija Dunava 2015.godine  
Table 2. Ecological classification of the Danube in 2015

Merno mesto	R.kiseonik	Parametri kiseoničnog režima				
		Z. Kiseonikom	BPK <sub>5</sub>	HPK (bih.m.)	HPK (per.m)	TOC
Bezdan	I	-	II	II	I	<b>III</b>
Bogojevo	I	-	II	II	I	II
Novi Sad	II	-	II	II	I	<b>III</b>
Slankamen	II	-	II	II	I	II
Zemun	<b>III</b>	I	II	II	I	II
Smederevo	<b>III</b>	I	II	II	I	II
Banatska Palanka	II	I	II	II	I	II
Tekija	II	I	II	<b>III</b>	I	II
Brza Palanka	II	I	II	II	I	<b>III</b>
Radujevac	II	I	II	II	I	II

Prateći definisane rokove za dostizanje dobrog statusa analizirane su vrednosti parametara kiseoničnog režima iz 2021. godine radi utvrđivanja da li je došlo do promene klase ekološkog statusa kvaliteta vode na posmatranim mernim mestima vodotoka Dunava (Tabela 3.)

Ekološka klasifikacija posmatranih mernih mesta na Dunavu u 2021. godini pokazuje da na mernim mestima Tekija, Brza Palanka i Bačka Palanka vrednosti parametara rastvoreni kiseonik i ukupni organski ugljenik odgovaraju umerenom statusu ili III klasi kvaliteta vode, respektivno. Treba naglasiti da je na samo tri profila od ukupno deset analiziranih mernih mesta utvrđeno prisustvo zagađujućih materija i vezanog organskog ugljenik što je obećavajuće bolje stvarno stanje ekološkog statusa Dunava. Zasićenost kiseonikom i HPK odražavaju vrednosti uobičajene za taj tip vode u prirodnom odličnom stanju I klase ekološkog statusa kvaliteta vode. Takođe, vrednosti većeg broja parametara kiseoničnog režima odražavaju nizak nivo promena uzrokovan ljudskom delatnošću, tj. samo malo odstupanje od vrednosti uobičajenih za taj tip vode u nenarušenom – prirodnom stanju. Dakle, svojim vrednostima rastvoreni kiseonik, BPK<sub>5</sub> i ukupni organski ugljenik jasno definišu zahtevanu II klasu, odnosno dobar ekološki status kvaliteta vode Dunava u Srbiji.

Tabela 3. Ekološka klasifikacija Dunava 2021.godine  
Table 3. Ecological classification of the Danube in 2021

Parametri kiseoničnog režima						
Merno mesto	R.kiseoni k	Z. Kisenikom	BPK <sub>5</sub>	HPK (bih.m.)	HPK (per.m)	TOC
Bezdan	I	-	II	II	I	II
Bogojevo	II	-	II	-	I	II
Bačka Palanka	II	I	I	-	II	<b>III</b>
Novi Sad	II	I	II	-	I	II
Zemun	II	I	II	-	I	II
Smederevo	II	I	II	-	I	II
Banatska Palanka	II	I	II	-	I	II
Tekija	<b>III</b>	I	II	-	I	II
Brza Palanka	<b>III</b>	I	II	-	I	II
Radujevac	II	I	II	-	I	II

## ZAKLJUČAK

Ekološka klasifikacija u funkciji parametara kiseoničnog režima pokazuje realnu procenu stvarnog ekološkog statusa i utvrđuje na kojim mernim mestima ne odgovara zahtevanom kvalitetu vode saglasno Okvirnoj direktivi o vodama EU. Komparativnom analizom rezultata iz 2015. godine i rezultata iz 2021.godine može se konstatovati da je došlo do pozitivne promene u odnosu na broj parametara kiseoničnog režima i broj profila koji zadovoljavaju opseg vrednosti zahtevanog dobrog ekološkog statusa kvaliteta vodotoka. Konačno, rezultati istraživanja daju osnovu za predlog međunarodno usaglašenih mera očuvanja i zaštite kvaliteta vode koje se realizuju Planom upravljanja slivom reke Dunav u Srbiji.

### Zahvalnica

Rad je deo istraživanja sprovedenog u okviru projekta 451-03-65/2024-03/200133. Autori se zahvaljuju Ministarstvu za nauku, tehnološki razvoj i inovacije Republike Srbije.

## LITERATURA:

- The Danube River Basin District Management Plan, Part A – Basin – wide overview,  
<http://www.icpdr.org/main/sites/default/files/nodes/documents/dr bmp-update2015.pdf>
- Uredba o graničnim vrednostima zagađujućih materija u površinskim i podzemnim vodama sedimentu i rokovima za njihovo dostizanje (Službeni glasnik RS br. 50/2012).
- Ministarstvo zaštite životne sredine, Rezultati ispitivanja kvaliteta površinskih i podzemnih voda – 2015, Beograd, 2017.
- Ministarstvo zaštite životne sredine, Rezultati ispitivanja kvaliteta površinskih i podzemnih voda – 2021, Beograd, 2023.
- Water framework Directive (WFD), EU Commission. *An official website of the European Union*. Preuzeto sa Environment:  
[https://environment.ec.europa.eu/topics/water/water-framework-directive\\_en](https://environment.ec.europa.eu/topics/water/water-framework-directive_en)

## CRNI AMUR (*MYLOPHARYNGODON PICEUS*), NOVA ALOHTONA VRSTA RIBE U SRBIJI, INVAZIVNOST I POTENCIJALNI PROBLEMI

Aleksandar Bajić\*, Nemanja Pankov\*, Sonja Pogrmić\*,  
Ivana Mijić Oljačić\*, Desanka Kostić\*, Zoran Njenjić\*\*,  
Branko Miljanović\*

\* *Departman za biologiju i ekologiju, Prirodno-matematički fakultet, Univerzitet u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 2, Novi Sad, aleksandar.bajic@dbe.uns.ac.rs, ORCID: 0000-0002-1560-4486 nemanja.pankov@dbe.uns.ac.rs, ORCID:0000-0002-9949-4981 branko.miljanovic@dbe.uns.ac.rs, ORCID: 0000-0003-0125-032X*

\*\* *JVP „Vode Vojvodine“ Novi Sad, Bulevar Mihajla Pupina 25*

### REZIME

Iako ihtiofauna Srbije čini preko 100 vrsta riba, 32 od njih su prepoznate kao alohtone vrste. Alohtone i invazivne vrste predstavljaju veliki problem za autohtonu faunu riba, ali i čitave ekosisteme. Crni amur je prvi put zabeležen u Srbiji 2022. godine na Dunavu u okviru NP “Đerdap”, a 2023. godine je nalaz potvrđen preko 300 km uzvodno, na Dunavu kod Gložana (1280 rkm). Uzgoj crnog amura u zemljama u regionu u kombinaciji sa njegovim potencijalom invazivnosti i širokim dijapazonom potencijalnih staništa u slivu Dunava dovode do visokog rizika od invazije ove vrste.

KLJUČNE REČI: ihtiofauna, invazivne vrste, introdukcija, Dunav, crni amur

## BLACK AMUR (*MYLOPHARYNGODON PICEUS*), A NEW ALIEN FISH SPECIES IN SERBIA, INVASIVENESS AND A POTENTIAL PROBLEMS

### ABSTRACT

Although the ichthyofauna of Serbia consists of over 100 species of fish, 32 of them are recognized as allochthonous species. Allochthonous and invasive species pose a significant problem for the native fish fauna and entire ecosystems. The black amur was first recorded in Serbia in 2022 in the Danube within the Đerdap National Park, and in 2023, the find was confirmed over 300 km upstream, in the Danube near Gložan (1280 rkm). The cultivation of black amur in the countries of the region, combined with its invasive potential and a wide range of potential habitats in the Danube basin, create a high risk of invasion of this species.

KEY WORDS: ichthyofauna, invasive species, introduction, Danube, black carp



## UVOD

Reke na teritoriji Srbije pripadaju crnomorskom, egejskom i jadranskom basenu. Crnomorski basen, kom pripada Dunav sa svojim najznačajnijim pritokama (Savom, Tisom i Velikom Moravom), uzima 92% površine slivnog područja Srbije. Stoga, izuzev nekoliko endemičnih vrsta, većinu faune riba Srbije srećemo u Dunavu i njegovim pritokama. Faunu riba Dunava čini preko 100 vrsta riba (Simonović, 2001; Zorić, 2015). Veliki broj vrsta prisutnih u Dunavu zapravo pripada vrstama koje su introdukovane. Samo na području Balkanskog poluostrva do danas je introdukovano 60 vrsta riba od čega je 36 naturalizovano (Piria et al., 2018). Sa druge strane, na području Srbije registrovane su 32 alohtone vrste riba, koje učestvuju sa preko 27 % u diverzitetu faune riba Srbije (Djikanović et al., 2018; Smederevac-Lalić et al., 2019). Najčešći razlozi introdukcije su akvakultura, biološka kontrola ili rekreativne aktivnosti (akvaristika, ribolov) (Djikanović et al., 2018). Invazivne vrste riba u Srbiji mogu se podeliti na pet grupa zavisno od njihovog porekla: azijske, ponto-kaspijske, severnoameričke, južnoameričke i evropske bez ponto-kaspijskog regiona (Smederevac-Lalić et al., 2019). Dunav svojim tokom od izvorišta do ušća pruža širok dijapazon različitih staništa koja mogu pogodovati mnogim alohtonim vrstama. Duž toka se od planinskih potoka i brdsko-planinskih reka polako prelazi u srednji i niži tok koji karakteriše veća količina sedimenta i sporiji tok, ali i viša temperatura. Pored toga u donjem delu toka Dunava prisutna je čitava mreža plavnih područja koja stvaraju mirnije ekosisteme pune hranljivih materija koji pogoduju ne samo autohtonim nego i alohtonim vrstama. U delu toka Dunava kroz Srbiju pored nekoliko izraženih plavnih zona (Gornje Podunavlje, Karadorđevo, Koviljsko-petrovaradinski rit) imamo i izuzetno razvijenu Dunav-Tisa-Dunav (DTD) kanalsku mrežu koja je “plodno tlo” za aklimatizaciju mnogih invazivnih vrsta. Sve ovo pruža širok dijapazon različitih staništa i ekoloških niša koje mogu biti popunjene od strane agresivnijih i uspešnijih invazivnih vrsta. *Mylopharyngodon piceus* (Richardson, 1846) je riba iz porodice šarana (Cyprinidae), potporodice Squaliobarbinae čije autohtono rasprostranjenje obuhvata reke istočne Azije koje pripadaju Pacifičkom basenu. Zajedno sa belim tolstolobikom (*Hypophthalmichthys molitrix* (Valenciennes, 1844)), sivim tolstolobikom (*Hypophthalmichthys nobilis* (Richardson, 1845)) i amurom (*Ctenopharyngodon idella* (Valenciennes, 1844)) čini deo „velike četvorke“ koja je okosnica kineske akvakulture (Kroboth et al., 2019). Crni amur (*M. piceus*) može da naraste do dužine od 1800 mm i mase preko 60 kg. Mresti se relativno kasno, između 6. i 11. godine starosti, na veličini od 1000mm (ženke) i 900 mm (mužjaci). Mrest se dešava na temperaturama 19-30 °C, jaja su pelaška i semipelaška (Froese & Pauly, 2022; Kottelat & Freyhof, 2007). Ima izrazito molariformne ždrelnе zube i već na dužini od oko 120 mm počinje da se hrani gotovo isključivo mekušcima. Ovo je jedan od razloga introdukcije ove vrste širom sveta, jer su se pokazali izuzetno efikasnim u uklanjanju školjki i drugih mekušaca sa podvodnih građevina (brane, ustave, mostovi). Na svetskom nivou crni amur je introdukovan u Aziji (van pacifičkog basena), Africi, Evropi, Centralnoj i Severnoj Americi u ukupno 17 zemalja (Marić et al., 2023; Whitley et al., 2022). U Severnu Ameriku je introdukovan 1970-ih i 80-tih sa ciljem kontrole populacije metilja čiji prelazni domaćini su puževi (Kroboth et al., 2019). U otvorenim ekosistemima u Severnoj Americi je prvi put zabeležen 2003. godine i od tada je zabeleženo nekoliko stotina pojedinačnih nalaza sa distribucijom koja se kreće na sever

slivom reke Mizuri (Evans et al., 2023; Kroboth et al., 2019; Whitley et al., 2022). Na područje nekadašnje SFRJ, crni amur je introdukovan u Skadarsko jezero (1973 i 1983. godine), a prvi put u Srbiji se beleži 2022. godine na Dunavu u području NP „Đerdap“ (Marić et al., 2023). Od zemalja u regionu poznato je da se uzgaja u Mađarskoj, Sloveniji i Rumuniji, kao i da je zabeležen u Hrvatskoj (Piria et al., 2017; Pofuk et al., 2017; Skolka & Preda, 2011).

Cilj ovog rada je dokumentovanje nalaza alohtone vrste crnog amura (*Mylopharyngodon piceus*) u Srbiji i analiza njegove potencijalne invazivnosti na području Srbije.

## MATERIJAL I METODE

Uzorak je detektovan od strane privrednih ribara upotrebom mrežarskih alata na reci Dunav između Begeča i Gložana i prijavljen Departmanu za biologiju i ekologiju posredstvom ribočuvara JP Vode Vojvodine (Zoran Njenjić). Determinacija je izvršena upotrebom ključa za determinaciju riba (Kottelat & Freyhof, 2007). Merenje mase je izvršeno upotrebom digitalne vage dok su totalna i standardna dužina izmerene ihtiomotrom. Određivanje starosti je izvršeno inspekcijom kljušti uz pomoć binokularne lupe, dok je determinacija pola izvršena inspekcijom gonada. Podaci o vodostaju i temperaturi vode su dobijeni sa portala Republičkog hidrometeorološkog zavoda (<https://www.hidmet.gov.rs>).

## REZULTATI I DISKUSIJA

Dana 04.10.2023. na Dunavu kod Gložana (1280 rkm Dunava) je od strane komercijalnih ribara ulovljena jedna jedinka crnog amura (*Mylopharyngodon piceus*) mase 6870 g, totalne dužine (TL) 845 mm i standardne dužine (SL) 723 mm. Potvrda determinacije je izvršena uz pomoć ključa i inspekcijom ždrelnih zuba (Kottelat & Freyhof, 2007). Ždrelni zubi su bili jednorodni formule Df 4-4 i izrazito molariformni što je karakteristično za crnog amura (Slika 1.). Jedinka je bila u šestoj godini života (5+) i nije bila polno zrela. Zbog dugog perioda sazrevanja gonada u literaturi se ovakve jedinke nazivaju stariji juvenilni. Ulov je zabeležen pri vodostaju Dunava od 57 cm (Izveštajna stanica - Novi Sad) i temperaturi vode od 19,8 °C (<https://www.hidmet.gov.rs>). Marić et al. (2023), navode prvi nalaz crnog amura u Srbiji na Dunavu u području Nacionalnog Parka „Đerdap“ koji se desio godinu dana ranije (Oktobar 2022. godine). Jedinka zabeležena tokom ovog istraživanja predstavlja drugi nalaz na području Srbije. Pored ovoga postoje indicije o dokumentovanim ulovima od strane privrednih ribara na reci Tisi kod mesta Adorjan (Ribolovački Savez Vojvodine – usmeno saopštenje). Zabeležena jedinka je bila daleko krupnija od jedinke iz NP „Đerdap“ (350 g) stoga možemo bezbedno pretpostaviti da jedinke ne pripadaju istoj generaciji. Pored ovoga crni amur registovan kod Gložana je ulovljen u blizini 1280 rkm Dunava što je više od 300 kilometara uzvodno od prvog nalaza.



Slika 1. *Mylopharyngodon piceus* (crni amur) sa ždrelnim zubima  
Figure 1. *Mylopharyngodon piceus* (black carp) with pharyngeal teeth

Takođe, lokalitet na kome je ulovljen crni amur na Tisi je značajno udaljen od lokaliteta iz 2022 i 2023 godine na Dunavu. Taj ulov je zabeležen na Tisi kod mesta Adorjan, uzvodno od Bečejske brane, svega nekoliko kilometara nizvodno od granice sa Mađarskom. Iz priloženog sledi da su mogući različiti putevi dospevanja na teritoriju Republike Srbije. Poznato je da se crni amur, od zemalja u regionu, uzgaja na teritorijama Mađarske, Slovenije i Rumunije, kao i da je registrovan u otvorenim vodama na području Hrvatske (Piria et al., 2017). Svaka od navedenih zemalja može da bude izvor dospevanja ove vrste u vode Srbije. Posebno zabrinjavajuće je što je registrovana jedinka stariji juvenil, odnosno sub-adult, koji bi već u narednih godinu do dve dana mogao da stekne polnu zrelost. Crni amur je izuzetno eurivalentan opsegu temperatura za mrest (19-30 °C), a Dunav i veće pritoke predstavljaju dovoljno veliko stanište za uspešan mrest i pelašku i semipelašku inkubaciju jaja. Potrebno je sa visokom dozom opreza pristupiti pojedinačnim nalazima crnog amura i potencijalno utvrditi puteve stizanja, jer su se u Severnoj Americi pre prvog zvaničnog nalaza jedinke ove vrste beležile više od jedne decenije u nalazima ribara (Nico et al., 2005). Iako nije dokumentovan mrest u otvorenim ekosistemima u Severnoj Americi vrsta je zabeležena na mnogo različitih lokacija i u različitim uzrasnim kategorijama, od polno zrelih jedinki do jata juvenilnih jedinki, stoga postoje indicije da je do prirodnog mresta došlo. Skorašnjim istraživanjima invazivnih vrsta Dunava crni amur je klasifikovan kao neuspešan invazivac (Jarić et al., 2015). Ovome u prilog govore i slična istraživanja sprovedena u slivu reke Ob koja crnog amura klasifikuju kao vrstu srednjeg rizika invazivnosti (Interesova et al., 2020). U navedenom istraživanju autori su za crnog amura utvrdili vrednost osnovne procene rizika (eng. BRA score) od 17, dok je za amura (*Ctenopharyngodon idella*) i belog tolstolobika (*Hypophthalmichthys molitrix*) ona iznosila 42,5 i 36,5, respektivno. Radočaj et al. (2021), sa druge strane, primenom iste analize na području Slovenije i Hrvatske utvrđuju vrednost osnovne procene rizika od 22, dok je za amura (*Ctenopharyngodon idella*) i belog tolstolobika (*Hypophthalmichthys molitrix*) ona iznosila 21,0 i 15,0, respektivno. Pored

ovoga kod crnog amura je primećen najveći rast vrednosti procene rizika kada se u analizu uvrste i klimatske promene. Stoga je klasifikovan kao vrsta visoke invazivnosti za područje Hrvatske i Slovenije (Radočaj et al., 2021).

## ZAKLJUČAK

Crni amur je sa nekoliko različitih nalaza utvrdio svoju poziciju kao alohtona vrsta ribe u Srbiji i možemo ga očekivati u istraživanjima ihtiofaune u budućnosti. Veličina zabeleženih jedinki, kao i lokaliteti nalaza, ukazuju na to da su mogući različiti putevi dospevanja ove vrste na teritoriju Republike Srbije. Imajući u vidu nedavna istraživanja i uspešnu invazivnu prirodu crnog amura u Severnoj Americi, postoji zabrinutost u vezi sa mogućim invazivnim potencijalom ove vrste u Dunavu i njegovim pritokama. Smatramo da je potrebno izvršiti dodatna istraživanja kako bi se utvrdili putevi stizanja i mogućnost mresta u divljini na području Srbije.

### Zahvalnica

Istraživanja je finansiralo Ministarstvo nauke, tehnološkog razvoja i inovacija Republike Srbije (Ev.br. 451-03-66/2024-03/200125 i 451-03-65/2024-03/200125)". Pored ovoga zahvaljujemo se JVP „Vode Vojvodine“ na ustupljenom uzorku, kao i DOO „Ribolovački Savez Vojvodine“ na ustupljenim informacijama.

### LITERATURA:

- Djikanović, V., Simonović, P., Cakić, P., & Nikolić, V. (2018). Parasitofauna of allochthonous fish species in the open waters of the danube river basin (Serbian part) – impact on the native fish fauna. *Applied Ecology and Environmental Research*, 16(5), 6129–6142.
- Evans, H. S., Coulter, A. A., Johnson, A. L., Lamer, J. T., & Whitley, G. W. (2023). Comparison of resource use by invasive Black Carp and native fishes using isotopic niche analysis reveals spatial variation in potential competition. *Biological Invasions*, 25(7), 2249–2260.
- Froese, R., & Pauly, D. (2022). FishBase. World Wide Web Electronic Publication.
- Interesova, E., Vilizzi, L., & Copp, G. H. (2020). Risk screening of the potential invasiveness of non-native freshwater fishes in the River Ob basin (West Siberian Plain, Russia). *Regional Environmental Change*, 20(2).
- Jarić, I., Jaćimović, M., Cvijanović, G., Knežević-Jarić, J., & Lenhardt, M. (2015). Demographic flexibility influences colonization success: profiling invasive fish species in the Danube River by the use of population models. *Biological Invasions*, 17(1), 219–229.
- Kottelat, M., & Freyhof, J. (2007). Handbook of European freshwater fishes (3rd ed.). Kottelat, Cornol, Switzerland and Freyhof.
- Kroboth, P. T., Cox, C. L., Chapman, D. C., & Whitley, G. W. (2019). Black Carp in North America: a Description of Range, Habitats, Time of Year, and Methods of Reported Captures. *North American Journal of Fisheries Management*, 39(5), 1046–1055.
- Marić, A., Žikić, G., Kanjuh, T., Sokolović, V., Nikolić, V., Škraba Jurlina, D., & Simonović, P. (2023). First record of black carp *Mylopharyngodon piceus* in Serbia. Joint ESENIAS & DIAS Scientific Conference 2023 and 12th ESENIAS Workshop, 114.

- Nico, L., Williams, J., & Jelks, Howard. (2005). Black Carp: Biological Synopsis and Risk Assessment of an Introduced Fish.
- Piria, M., Simonović, P., Kalogianni, E., Vardakas, L., Koutsikos, N., Zanella, D., Ristovska, M., Apostolou, A., Adrović, A., Mrdak, D., Tarkan, A. S., Milošević, D., Zanella, L. N., Bakiu, R., Ekmekçi, F. G., Povž, M., Korro, K., Nikolić, V., Škrijelj, R., Joy, M. K. (2017). Alien freshwater fish species in the Balkans—Vectors and pathways of introduction. *Fish and Fisheries*, 19(1), 138–169.
- Piria, M., Simonović, P., Kalogianni, E., Vardakas, L., Koutsikos, N., Zanella, D., Ristovska, M., Apostolou, A., Adrović, A., Mrdak, D., Tarkan, A. S., Milošević, D., Zanella, L. N., Bakiu, R., Ekmekçi, F. G., Povž, M., Korro, K., Nikolić, V., Škrijelj, R., ... Joy, M. K. (2018). Alien freshwater fish species in the Balkans—Vectors and pathways of introduction. *Fish and Fisheries*, 19(1), 138–169.
- Pofuk, M., Zanella, D., & Piria, M. (2017). An overview of the translocated native and non-native fish species in Croatia: Pathways, impacts and management. *Management of Biological Invasions*, 8(3), 425–435.
- Radočaj, T., Špelić, I., Vilizzi, L., Povž, M., & Piria, M. (2021). Identifying threats from introduced and translocated non-native freshwater fishes in Croatia and Slovenia under current and future climatic conditions. *Global Ecology and Conservation*, 27.
- Simonović, P. (2001). *Ribe Srbije*. 247.
- Skolka, M., & Preda, C. (2011). Alien invasive species at the Romanian Black Sea coast - Present and perspectives. *Travaux Du Muséum National d'Histoire Naturelle "Grigore Antipa"*, 53(1), 443–467.
- Smederevac-Lalić, M., Regner, S., Nikolić, D., Cvijanović, G., Jaćimović, M., Hegediš, A., & Lenhardt, M. (2019). Review of allochthonous fish species with the marine origin in Serbian freshwater system. *Studia Marina*, 32(1), 33–46.
- Whitledge, G. W., Kroboth, P. T., Chapman, D. C., Phelps, Q. E., Sleeper, W., Bailey, J., & Jenkins, J. A. (2022). Establishment of invasive Black Carp (*Mylopharyngodon piceus*) in the Mississippi River basin: identifying sources and year classes contributing to recruitment. *Biological Invasions*, 24(12), 3885–3904.
- Zorić, K. (2015). Invasiveness of allochthonous macroinvertebrate and fish species of the Danube River. Doctoral dissertation.

## PRELIMINARNA PROCENA EKOLOŠKOG STATUSA REKA RZAV, CRNI RZAV I BELI RZAV (REPUBLIKA SRPSKA, BOSNA I HERCEGOVINA)

Snežana Simić\*, Kristina Markeljić\*\*, Predrag Simović\*,  
Vladica Simić\*

- \* *Univerzitet u Kragujevcu, Prirodno-matematički fakultet, Radoja Domanovića 12, Srbija, snezana.simic@pmf.kg.ac.rs ORCID 0000-0003-3273-2858*
- \* *Univerzitet u Kragujevcu, Prirodno-matematički fakultet, Radoja Domanovića 12, Srbija, predrag.simovic@pmf.kg.ac.rs ORCID 0000-0001-6723-8230*
- \* *Univerzitet u Kragujevcu, Prirodno-matematički fakultet, Radoja Domanovića 12, Srbija, vladica.simic@pmf.kg.ac.rs ORCID 0000-0001-6787-9783*
- \*\* *Univerzitet u Kragujevcu, Agronomski fakultet, Cara Dušana 34, Čačak, Srbija, kristina.markeljic@pmf.kg.ac.rs ORCID 0009-0007-8182-3429*

### REZIME

Ocena ekološkog statusa reke Rzav (tri lokaliteta) i njenih sastavnica reka Beli i Crni Rzav (po jedan lokalitet) izvršena je na osnovu bentosnih algi i makrobescičmenjaka sakupljenih u junu 2022. godine. Ocena je izvršena prema regulativi Republike Srpske i u skladu sa preporukama Okvirne direktive o vodama. Prema regulativi Republike Srpske ekološki status je bio visok na lokalitetu Belog Rzava i dobar na svim ostalim lokalitetima. Lošiji rezultati dobijeni su praćenjem smernica ODV. Ekološki status je bio dobar, izuzev na po jednom lokalitetu Rzava i Crnog Rzava gde je bio umeren.

KLJUČNE REČI: bentosne alge, epilitske dijatome, makrobescičmenjaci, WFD

## PRELIMINARY ECOLOGICAL STATUS ASSESSMENT OF THE RZAV, CRNI RZAV AND BELI RZAV RIVERS (BOSNIA AND HERZEGOVINA)

### ABSTRACT

Ecological status assessment of the river Rzav (three sites) and its tributaries Beli and Crni Rzav (one site each) was conducted based on the benthic algae and macroinvertebrates collected in June 2022. The assessment was carried out following the Republic of Srpska's regulation and the Water Framework Directive's recommendations. According to the regulation, the ecological status at the Beli Rzav site was high and at all other sites was

good. Worse results were obtained following the guidelines of the WFD. The ecological status was good, except at one site on the Rzav and Crni Rzav rivers, where it was moderate.

KEY WORDS: benthic algae, epilithic diatoms, macroinvertebrates, WFD

## UVOD

Reka Rzav (72 km) teče istočnim delom Bosne i Hercegovine i pripada Crnomorskom slivu. Nastaje kod sela Vardište, blizu Višegrada (Republika Srpska), na granici Bosne i Hercegovine i Srbije, spajanjem reka Beli Rzav i Crni Rzav, nakon čega se u Višegradu uliva u reku Drinu. Crni Rzav izvire u Srbiji, pod Čigotom u Carevom polju i selu Dragalica i teče centralnim delom Zlatibora (Marković, 1990). Zlatiborski planinski masiv se značajno promenio u proteklih 20 godina usled razvoja turizma, što je rezultiralo povećanjem potrošnje vode i ugroženosti životne sredine (Milenić i sar., 2014). Obzirom da u svom gornjem toku protiče kroz turistički deo planine Zlatibor u reku Crni Rzav se ulivaju delimično prečišćene ili neprečišćene kanalizacione vode turističkih i privrednih objekata. Beli Rzav svoj tok takođe započinje u Srbiji, u Zaovinama, na zapadnoj strani planine Tare (Marković, 1990). Na reci su formirane dve akumulacije. Veći deo reke protiče kroz kanjon, i duž toka nema značajnih zagađivača.

Okvirna direktiva o vodama Evropske unije (EU) (engl. *Water Framework Directive*) (WFD, 2000) od 2000. godine uspostavlja zajednička pravila za upravljanje vodama unutar EU s ciljem osiguranja visokog kvaliteta svih voda u Evropi. Reke su organizovane u velike rečne slivove pod zajedničkim upravljanjem država kroz koje protiču. Ključna za uspeh u upravljanju prekograničnim rečnim slivovima je efikasna međudržavna saradnja (Čađo i sar., 2021). Procena ekološkog statusa površinskih voda u Republici Srpskoj je propisana nacionalnim zakonodavstvom (Službeni glasnik Republike Srpske, br. 50/06, 42/01) i nije u potpunosti usklađena sa zahtevima WFD (2000). Sa druge strane, u Republici Srbiji se od 2012. godine monitoring sprovodi u skladu sa WFD (2000), a prema Zakonu o vodama (Sl. glasnik Republike Srbije, br. 30/10) i njegovim podzakonskim regulativama (Sl. glasnik Republike Srbije, br. 96/10, 74/11).

Cilj rada je procena ekološkog statusa reke Rzav i njenih sastavnica (Crni Rzav i Beli Rzav) na osnovu bentosnih algi i makrobescičmenjaka.

## MATERIJAL I METODE

Terensko istraživanje i sakupljanje uzoraka bentosnih algi i makrobescičmenjaka sprovedeno je u junu 2022. godine na tri lokaliteta reke Rzav (RL1 - N 43°46'52.8", E 19°18'38.4", 306 m nadmorske visine; RL2 - N 43°46'57.8", E 19°20'21.2", 333 m n. v.; RL3 - N 43°45'03.4", E 19°24'20.1", 413 m n. v.) i na po jednom lokalitetu reka Crni Rzav (CRL4 - N 43°45'06.2", E 19°26'44.2", 429 m n. v.) i Beli Rzav (BRL5 - N 43°45'07.0", E 19°26'44.9", 429 m n. v.).

Epilitske dijatome su uzorkovane prema standardu EN ISO 13946 (2015) sa 5 kamenova veličine šake, dok su uzorci makroagregacija bentosnih algi prikupljeni prema standardu EN ISO 15708 (2011). Prikupljeni uzorci su fiksirani 4% rastvorom formaldehida.

Priprema trajnih preparata epilitskih dijatoma je izvršena prema standardu EN ISO 13946 (2015). Preparati su posmatrani pod svetlosnim mikroskopom Motic BA310, dok su vrste fotografisane uz pomoć digitalne kamere BRESSER (9MR) i kompjuterskog programa MicroCamLab. Identifikacija pronađenih taksona izvršena je uz korišćenje odgovarajuće literature: Komárek i Anagnostidis (2005), Eloranta i sar. (2011) i Kaštovský i sar. (2018a, 2018b) i online ključeva za identifikaciju (Spaulding i sar., 2021; Jüttner i sar., 2022). Relativna brojnost identifikovanih taksona epilitskih dijatoma je utvrđena prema standardu EN ISO 14407 (2015).

Uzorci akvatičnih makrobescičmenjaka prikupljeni su pomoću bentosne mrežice (dužina ravne strane 25 cm, prečnik okca 500 µm), a prema standardu EN ISO 10870 (2012). Fauna pričvršćena na kamene površine sakupljana je pincetom i po potrebi strugana četkicom (planarije, puževi, pijavice). Uzorci su prebačeni u plastične boce i sačuvani u 96% etanolu. Identifikacija akvatičnih makrobescičmenjaka izvršena je do najnižeg mogućeg taksonomskog nivoa korišćenjem NIKON SMZ 800 stereomikroskopa i Nikon Eclipse E100 mikroskopa, pomoću odgovarajućih ključeva za identifikaciju (Conci i Nilsen, 1956; Rozkošný, 1980; Elliot i sar., 1988; Eiseler, 2005; Dobson, 2013).

Ekološki status istraživanih lokaliteta reke Rzav i njenih sastavnica (Crni i Beli Rzav) utvrđen je u skladu sa Uredbom (Sl. glasnik Republike Srpske, br. 42/01) korišćenjem algi i makrobescičmenjaka kao biodikatora. Izračunat je indeks saprobnosti (S) po metodi Pantle i Buck (1955), a na osnovu njega određen je stepen saprobnosti, kao i klasa ekološkog statusa poređenjem dobijenih vrednosti sa graničnim vrednostima iz Uredbe. Na ovaj način ekološki status može biti ocenjen kao: visok (I klasa, plava boja), dobar (II klasa, zelena boja), umeren (III klasa, žuta boja), loš (IV klasa, crvena boja) i veoma loš (V klasa, crna boja).

Dodatno je urađena i procena ekološkog statusa u skladu sa zahtevima WFD (2000). Zbog neusaglašenosti zakonske i podzakonske regulative u Republici Srpskoj sa WFD, procena je urađena u skladu sa Zakonom o vodama Republike Srbije (Sl. glasnik Republike Srbije, br. 30/10) i njegovim podzakonskim aktima, obzirom na činjenicu da reke Crni Rzav i Beli Rzav nastaju i većim delom protiču teritorijom Srbije. Korišćenjem Pravilnika o parametrima ekološkog i hemijskog statusa površinskih voda i parametrima hemijskog i kvantitativnog statusa podzemnih voda (Sl. glasnik Republike Srbije, br. 74/11) utvrđen je tip vodnog tela. Delovi reka Crni i Beli Rzav obuhvaćeni ovim Pravilnikom spadaju u TIP 4 (mali i srednji vodotoci, nadmorska visina iznad 500 m, dominacija krupne podloge). Obzirom na to da su delovi ovih reka koji protiču teritorijom Republike Srpske na nižim nadmorskim visinama (oko 400 m n.v.), u skladu sa kriterijumima Pravilnika tretirani su kao vodna tela TIP 3 (mali i srednji vodotoci, nadmorska visina ispod 500 m, dominacija krupne podloge), kao i tri lokaliteta reke Rzav. U skladu sa istim Pravilnikom ocenjen je ekološki status na osnovu bentosnih algi i makrobescičmenjaka kao bioloških elemenata. Kvalitativna i kvantitativna analiza epilitskih dijatoma korišćene su za izračunavanje vrednosti IPS (engl. *Pollution Sensitivity Index*) (Coste, 1982) i CEE (engl. *Commission for Economical Community metric*) (Descy i Coste, 1991) indeksa pomoću OMNIDIA softvera. Kvalitativna i kvantitativna analiza zajednice akvatičnih makrobescičmenjaka korišćene su za dobijanje sledećih parametara: Zelinka i Marvan saprobni indeks (Zelinka i Marvan, 1961), Biološki Rezultat radne grupe za praćenje (BMVP) (Chester, 1980), Shannon Weaver's Diversity Index (Shannon, 1948), Average score per Taxon (ASPT),



ukupan broj evidentiranih taksona, Balkan biotički indeks (BNBI) (Simić i Simić, 1999), procentualno učešće Olificidae/Tubificidae u ukupoj zajednici makrobeskičmenjaka, ukupan broj familija, kao i broj taksona Ephemeroptera, Plecoptera i Trichoptera (EPT), izračunatih u okviru softverskog paketa Asterics ver. 4.0.4. Konačnu ocenu ekološkog statusa na osnovu bioloških elemenata određivao je parametar sa najlošijom ocenom (Čađo i sar., 2021). Na ovaj način ekološki status može biti ocenjen kao: odličan (I klasa, plava boja), dobar (II klasa, zelena boja), umeren (III klasa, žuta boja), loš (IV klasa, narandžasta boja), veoma loš (V klasa, crvena boja).

## REZULTATI I DISKUSIJA

Kvalitativnom analizom bentosnih algi reke Rzav zabeležen je ukupno 41 takson: Cyanobacteria (3), Rhodophyta (2), Bacillariophyta (28) i Chlorophyta (8). Pri čemu je najveći broj taksona zabeležen na lokalitetu RL3 (29), a najmanji na RL1 (25). U reci Crni Rzav zabeležen je ukupno 21 takson bentosnih algi, koje pripadaju razdelima: Cyanobacteria (2), Bacillariophyta (15) i Chlorophyta (4), dok je u reci Beli Rzav detektovano ukupno 18 taksona, podeljenih u razdele: Bacillariophyta (13), Chlorophyta (4) i Charophyta (1).

Kvalitativno-kvantitativnom analizom akvatičnih makrobeskičmenjaka reke Rzav zabeleženo je ukupno 42 taksona, svrstana u okviru 10 sistematskih grupa: Trichoptera (11), Diptera (7), Ephemeroptera (7), Gastropoda (4), Odonata (3), Coleoptera (3), Plecoptera (2), Oligochaeta (2), Hirudinea (1) i Amphipoda (1). Broj taksona na pojedinačnim lokalitetima kretao se od 13 (RL2) do 24 (RL1). U reci Beli Rzav zabeleženo je 22 taksona makrobeskučmenjaka u okviru 10 sistematskih grupa: Odonata (4), Trichoptera (3), Ephemeroptera (3), Gastropoda (3), Plecoptera (2), Diptera (2), Coleoptera (2), Bivalvia (1), Amphipoda (1), Turbellaria (1). Najmanji broja taksona (19), zabeležen je u reci Crni Rzav: Ephemeroptera (7), Trichoptera (5), Diptera (4), Odonata (1), Plecoptera (1) i Coleoptera (1).

Tabela 1. Vrednosti saprobnog indeksa (S), saprobni stepen i ekološki status istraživanih lokaliteta na osnovu bentosnih algi i makrobeskičmenjaka (Prema Uredbi (Sl. glasnik Republike Srpske, br. 42/01))

Table 1. The values of the saprobic index (S), the saprobic degree and the ecological status of the investigated sites based on benthic algae and macroinvertebrates (According to the Republic of Srpska's national regulation)

Lokalitet	Saprobni indeks (S)		Saprobni stepen		Ekološki status	
	ALGE	MZB	ALGE	MZB	ALGE	MZB
RL1	1,81	1,59	β	o-β	dobar	dobar
RL2	1,77	2,06	β	β	dobar	dobar
RL3	1,78	1,52	β	o-β	dobar	dobar
CRL4	1,82	1,66	β	β	dobar	dobar
BRL5	1,56	1,27	o-β	o	dobar	visok

Na osnovu izračunatog indeksa saprobnosti (S) (Pantle i Buck, 1955) koji propisuje Uredba (Sl. glasnik Republike Srpske, br. 42/01), kvalitet vode svih istraživanih lokaliteta odgovara dobrom ekološkom statusu i β-mezosaprobnj vodi. Jedino odstupanje zabeleženo je na

lokalitetu Belog Rzava, gde zajednica akvatičnih makrobescičmenjaka ukazuje na oligosaprobnu vodu, odnosno visok ekološki status tog dela reke Beli Rzav (Tabela 1). Prema Pravilniku (Sl. glasnik Republike Srbije, br. 74/11), poređenjem vrednosti dobijenih izračunavanjem IPS (Coste, 1982) i CEE (Descy i Coste, 1991) dijatomnih indeksa i graničnih vrednosti klasa za TIP 3 vodnih tela površinskih voda utvrđen je dobar ekološki status na svim lokalitetima, izuzev na lokalitetu CRL4, gde je umeren (Tabela 2).

Tabela 2. Vrednosti IPS i CEE indeksa i ocena ekološkog statusa istraživanih lokaliteta (Prema Pravilniku (Sl. glasnik Republike Srbije, br. 74/11))

Table 2. The values of the IPS and CEE indices and the assessment of the ecological status of the investigated sites (According to the Republic of Serbia's national regulation)

Lokalitet	RL1	RL2	RL3	CRL4	BRL5
IPS indeks	15.7	14.7	14.2	13.7	14.8
CEE indeks	12.9	12.3	12.3	11.3	17.8
Klasa ekološkog statusa	II	II	II	III	II
Ocena ekološkog statusa	dobar	dobar	dobar	umeren	dobar

Na osnovu analize zajednice akvatičnih makrobescičmenjaka, dobijene vrednosti svih parametara prema Pravilniku (Sl. glasnik Republike Srbije, br. 74/11) ukazuju da kvalitet vode istraživanih lokaliteta, izuzev RL2, odgovara II klasi, odnosno dobrom ekološkom statusu. Lokalitet RL2 na reci Rzav ocenjen je umerenim ekološkim statusom (III klasa).

Tabela 3. Procena ekološkog statusa istraživanih lokaliteta zasnovana na zajednici akvatičnih makrobescičmenjaka (Prema Pravilniku (Sl. glasnik Republike Srbije, br. 74/11))

Table 3. Assessment of the ecological status of the investigated sites based on the aquatic macroinvertebrate community (According to Republic of Serbia's national regulation)

Parametar / Lokalitet	RL1	RL2	RL3	CRL4	BRL5
Saprobic Index (Zelinka & Marvan)	1.792	1.776	2.074	1.707	1.964
Number of Taxa	24	13	21	19	23
BMWP Score	92	69	93	85	118
Average score per Taxon (ASPT)	5.750	6.273	6.643	6.211	7.083
Diversity (Shannon-Wiener-Index)	2.496	1.779	2.229	2.148	2.587
EPT-Taxa	8	8	13	8	13
Oligochaeta [%]	7.407	0	0	0	0
Number of Families	19	12	15	12	19
Balkan Biotic Index (BNBI)	3.5	3.125	3.125	3.25	4
Index saprobity (Pantle and Buck)	1.59	2.06	1.52	1.66	1.27
Klasa ekološkog statusa	II	III	II	II	II
Ocena ekološkog statusa	dobar	umeren	dobar	dobar	dobar

Konačna ocena ekološkog statusa istraživanih lokaliteta, bazirana na bentosnoj zajednici (epilitske dijatome i makrobescičmenjaci) je dobar na lokalitetima RL1, RL3 i BRL5 i umeren na lokalitetima RL2 i CRL4 (Tabela 4). Lokalitet RL2 se nalazi u vikend naselju bez regulisanog sakupljanja kanalizacionih voda. Na lokalitetu CRL4 lošiji ekološki status je posledica zagađenja reke usled neadekvatnog rada postrojenja za preradu otpadnih voda na Zlatiboru.

Tabela 4. Konačna ocena ekološkog statusa istraživanih lokaliteta na osnovu bentosnih epilitskih dijatoma i makrobescičmenjaka kao bioloških elemenata (Prema Pravilniku (Sl. glasnik Republike Srbije, br. 74/11))

Table 4. Final assessment of the ecological status of the investigated sites based on benthic epilithic diatoms and macroinvertebrates as biological elements (According to the Republic of Serbia's national regulation)

Lokalitet	Klasa ekološkog statusa		Konačna ocena ekološkog statusa
	ALGE	MZB	
RL1	II	II	II klasa – dobar ekološki status
RL2	II	III	III klasa – umeren ekološki status
RL3	II	II	II klasa – dobar ekološki status
CRL4	III	II	III klasa – umeren ekološki status
BRL5	II	II	II klasa – dobar ekološki status

Osim epilitskih dijatoma koje su korišćene za procenu, praćeno je i prisustvo makroskopskih agregacija algi i njihova pojava u odnosu na procenjen ekološki status, a sve u cilju preporuke za njihovo buduće korišćenje u proceni ekološkog statusa. *Cladophora glomerata* (L.) Kütz. je bila prisutna na svim lokalitetima, ali je njena pokrovnost bila manja na lokalitetima sa umerenim statusom. Retka crvena alga *Lemanea fluviatilis* (L.) Agardh je pronađena na RL2 sa umerenim ekološkim statusom, ali u delu reke iznad područja negativnog antropogenog uticaja. Ova vrsta je ranije nalažena u Bosni i Hercegovini (Šovran i Mašić, 2022), ali je ovim istraživanjem prvi put registrovana u reci Rzav. Prilagođena je specifičnim uslovima životne sredine i bilo kakav negativan antropogeni uticaj bi ugrozio njen opstanak, zbog čega je često zaštićena (Mitrović i sar., 2021). Trenutno se ne nalazi na listi strogo zaštićenih divljih vrsta u Republici Srpskoj (Sl. glasnik Republike Srpske br. 65/20). Sve ostale agregacije algi vidljive golim okom koje su formirale vrste: *Homoeothrix janthina* (Bornet i Flahault) Starmach, *Audouinella pygmaea* (Kütz.) Weber Bosse, *Stigeoclonium tenue* (Agardh) Kütz., *Ulothrix zonata* (Weber i Mohr) Kütz., *Oedogonium* sp., *Spirogyra* sp.) su registrovane sa malim pokrovnostima 1-5%, na lokalitetima dobrog i umerenog ekološkog statusa.

## ZAKLJUČAK

Na lokalitetima duž reke Rzav i na lokalitetima Belog Rzava nema značajne razlike u ekološkom statusu. Procenom saprobnosti vode (Pantle i Buck, 1955) na istraživanim lokalitetima, korišćenjem biondiatorskih vrsta epilithnih diatoma i makrobescičmenjaka, a prema Uredbi (Sl. glasnik Republike Srpske, br. 42/01) najbolji kvalitet vode ocenjen je na lokalitetu BRL5 reke Beli Rzav (oligo-betamezosaprobna voda i visok-dobar ekološki status). Na ostalim lokalitetima reke Rzav (RL1, RL2, RL3) i na Crnom Rzavu (CRL4) ocenjen je dobar ekološki status (II klasa). Procena ekološkog statusa istraživanih lokaliteta, bazirana na epilithnim dijatoma i makrobescičmenjacima u skladu sa WFD (2000) i Pravilnikom (Sl. glasnik Republike Srbije, br. 74/11) pokazala je lošije rezultate na po jednom lokalitetu reke Rzav (RL2) i reke Crni Rzav (CRL4), gde je ocenjen umeren ekološki status (III klasa). Pogoršanje strukture zajednice algi i makrobescičmenjaka na ovim delovima reka je direktna posledica antropogenog uticaja. Na lokalitetu RL2 reke

Rzav uzrok je postojanje vikend naselja, dok se u reku Crni Rzav ulivaju delimično prečišćene kanalizacione vode turističkih naselja planine Zlatibor koja se nalaze uz samu obalu reke, ili uz njene pritoke. Na svim ostalim lokalitetima ekološki status je ocenjen kao dobar (II klasa). Značajan je i nalaz retke crvene alge *Lemanea fluviatilis* na RL2 reke Rzav u delu toka koji je iznad uliva otpadnih voda naselja.

### Zahvalnica

Istraživanje je sprovedeno za potrebe studije zaštite područja „Dobrun-Rzav“ koju je iniciralo udruženje “Eko centar” iz Višegrada, kao deo kampanje “Zajedno za rijeke” koju sprovodi The Nature conservancy u zemljama Zapadnog Balkana. Istraživanje je delimično finasirano od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije (No. 451-03-65/2024-03/200122, 451-03-66/2024-03/200088, 451-03-66/2024-03/200122).

### LITERATURA:

- Chester, R. (1980) Biological Monitoring Working Party. The 1978 National Testing Exercise. Department of the Environment. Water Data Unit Technical Memorandum 18, 36.
- Conci, C. and Nielsen, C. (1956) Odonata, Fauna d'Italia. Vol. I. Sotto gli dell' Accademia Nazionale Iteliana di Entomologia e dell'Unione Zoologica Italiana, Bologna.
- Coste, M. (1982) Étude des méthodes biologiques d'appréciation quantitative de la qualité des eaux. Rapport Cemagref QE Lyon-AF Bassin Rhône Méditerranée Corse, 218.
- Čađo, S., Denić, Lj., Dopuda-Glišić, T., Đurković, A., Novaković, B., Stojanović, Z., Žarić, D. (2021) Status površinskih voda Srbije u period 2017-2019. Ministarstvo za zaštitu životne sredine, Agencija za zaštitu životne sredine, Beograd, 161 pp.
- Descy, J. and Coste, M. (1991) A test of methods for assessing water quality based on diatoms. Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie: Verhandlungen 24 (4), 2112-2116.
- Dobson, M. (2013) Family-level keys to freshwater fly (Diptera) larvae: a brief review and a key to European families avoiding use of mouthpart characters. Freshwater Reviews 6, 1-32.
- Eiseler, B., 2005. Identification key to the mayfly larvae of the German Highlands und Lowlands. Lauterbornia 53: 1-112.
- Elliott, J., Humpesch, U. and Macan, T. (1988) Larvae of the British Ephemeroptera: A Key with Ecological Notes. FBA Scientific Publication 49, 42–86.
- Eloranta, P., Kwadrans, J., Kusel-Fetzmann, E. (2011) Rhodophyta and Phaeophyceae. In: Büdel, B., Gärtner, G., Krienitz, L., Preisig, H.R., Schagerl, M. (Eds.), Süßwasserflora von Mitteleuropa. Spektrum Akademischer Verlag.
- EN ISO 13946 (2015). Water quality – Guidance standard for the routine sampling and pretreatment of benthic diatoms from rivers. Institute for Standardization of Serbia.
- EN ISO 15708 (2011). Water Quality – Guidance Standard for Surveying, Sampling and Laboratory Analysis of Phytobenthos in Shallow Running Waters. Institute for Standardization of Serbia.
- EN ISO 10870, 2012. European Committee for Standardization (CEN). Water quality - Guidelines for the selection of sampling methods and devices for benthic macroinvertebrates in fresh waters, 2012. (EN 10870:2012).

- Jüttner, I., Carter, C., Chudaev, D., Cox, E., Ector, L., Jones, V., Kelly, M., Kennedy, B., Mann, D., Turner, J., Van de Vijver, B., Wetzel, C. and Williams, D. (2022) Freshwater Diatom Flora of Britain and Ireland. Amgueddfa Cymru - National Museum Wales. Available online at <https://naturalhistory.museumwales.ac.uk/diatoms>. [Accessed: 2 November 2022].
- Kaštovsky, J., Hauer, T., Geriš, R., Chattova, B., Juran, J., Skacelova, O., & Muhlsteinova, R. (2018a). Atlas sinic a řas ČR 1. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích.
- Kaštovsky, J., Hauer, T., Geriš, R., Chattova, B., Juran, J., Skacelova, O., & Muhlsteinova, R. (2018b). Atlas sinic a řas ČR 2. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích.
- Komarek, J., & Anagnostidis, K. (2005). Cyanoprokaryota 2. Teil: Oscillatoriales. In: Büdel, B., Gärtner, G., Krienitz, L., Schagerl, M. (Eds.) Süßwasserflora von Mitteleuropa (Vol. 19/2). Spektrum Akademischer Verlag.
- Marković, J. D. (1990). Enciklopedijski geografski leksikon Jugoslavije. Svjetlost.
- Milenić, D., Milanković, D., Petrić, M., Savić, N., and Vranješ, A. (2014). Integrated management of karstic waters-a case study of the Zlatibor mountain massif, Serbia. *Global Nest Journal*, 16 (4), 717-731.
- Mitrović, A., Đorđević, N., and Simić, S. (2021) A review of research on the genus in Serbia. *Oceanological and Hydrobiological Studies*, 50(1), 47-59.
- Pantle, R. and Buck, H. (1955) Die Biologische Überwachung der Gewässer und die Darstellung der Ergebnisse. *Gas und Wasserfach* 96, 604.
- Rozkošný, R. (1980) Klíč vodních lareu hmyzu. Vydala academia nakladatelství Československé akademie věd, Praha.
- Shannon, C. (1948) A mathematical theory of communication. *The Bell System Technical Journal* 27, 379-423.
- Simić, V. and Simić, S. (1999) Use of the river macrozoobenthos of Serbia to formulate a biotic index. *Hydrobiologia* 416, 51-64.
- Službeni glasnik Republike Srbije (30/10). Zakon o vodama.
- Službeni glasnik Republike Srbije (96/10). Pravilnik o utvrđivanju vodnih tela površinskih i podzemnih voda.
- Službeni glasnik Republike Srbije (74/11). Pravilnik o parametrima ekološkog i hemijskog statusa površinskih voda i parametrima hemijskog i kvantitativnog statusa podzemnih voda.
- Službeni glasnik Republike Srpske (42/01). Uredba o klasifikaciji voda i kategorizaciji vodotoka.
- Službeni glasnik Republike Srpske (50/06). Zakon o vodama.
- Službeni glasnik Republike Srpske (65/20). Uredba o strogo zaštićenim i zaštićenim divljim vrstama.
- Spaulding, S., Potapova, M., Bishop, I., Lee, S., Gasperak, T., Jovanoska, E., Furey, P., and Edlund, M. (2021) Diatoms.org: supporting taxonomists, connecting communities. *Diatom Research* 36(4): 291-304. Available online at <https://diatoms.org/>. [Accessed: 2 November 2022].
- Šovran, S., and Mašić, E. (2022). Diversity of freshwater red algae (Rhodophyta) in Bosnia and Herzegovina. In V. Randelović, Z. Stojanović-Radić, D. Nikolić, and D. Jenačković Gocić (Eds.), *Symposium on the Flora of Southeastern Serbia and Neighboring Regions, Book of Abstracts* (p. 20).
- WFD (2000) Water Framework Directive - Directive of European Parliament and of the Council 2000/60/EC – Establishing a Framework for Community Action in the Field of Water Policy.
- Zelinka, M. and Marvan, P. (1961) Zur Präzisierung der biologischen Klassifikation der Reinheit fließender Gewässer. *Archiv für Hydrobiologie* 57, 389-407.

## VIŠEGODIŠNJE PROMENE HIDROBIOLOŠKIH PARAMETARA PARKA PRIRODE „TIKVARA“

Branko Miljanović\*, Ivana Mijić Oljačić\*, Aleksandar Bajić\*,  
Sonja Pogrmić\*, Nemanja Pankov\*, Tamara Jurca\*

\* *Departman za biologiju i ekologiju, Prirodno-matematički fakultet, Univerzitet u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 2, Novi Sad, Srbija*  
*branko.miljanovic@dbe.uns.ac.rs, ORCID: 0000-0003-0125-032X*  
*aleksandar.bajic@dbe.uns.ac.rs, ORCID: 0000-0002-1560-4486*  
*tamara.jurca@dbe.uns.ac.rs, ORCID: 0000-0001-5565-5838*

### REZIME

Jezero Tikvara predstavlja najznačajniju hidrološku celinu Parka prirode „Tikvara“. U radu su predstavljeni rezultati hidrobioloških istraživanja za potrebe monitoringa riblje faune hidroekosistema „Tikvara“ u periodu od 2018. – 2023. godine. Analizirana je povezanost odabranih abiotičkih parametara, uključujući i promene u vodostaju Dunava, sa promenama u strukturi fitoplanktonskih, bentosnih i nektonskih zajednica Tikvare. Rezultati su ukazali na postojanje povezanosti između perioda visokih i niskih voda i strukture istraživanih zajednica, koja je reflektovana i indirektno, asocijacijom promena u biotičkim zajednicama sa variranjem određenih abiotičkih (temperatura, providnost) i biotičkih komponenti (intraspecijski odnosi) ovog specifičnog hidroekosistema.

KLJUČNE REČI: hidrološki režim, plavna zona reka, mrtvaje, monitoring akvatičnih zajednica

## MULTI-YEAR CHANGES IN THE HYDROBIOLOGICAL PARAMETERS OF "TIKVARA" NATURE PARK

### ABSTRACT

Lake Tikvara is the most significant hydrological unit of the "Tikvara" Nature Park. The paper presents the results of hydrobiological research with the aim of monitoring the fish fauna and relevant ecological factors of the "Tikvara" hydroecosystem from 2018 to 2023. The association of selected abiotic parameters, including changes in the water level of the Danube, with changes in the structure of the phytoplankton, benthic, and nektonic communities of Tikvara was analyzed. The results indicated the existence of a connection between the period of high and low water levels and the structure of the investigated communities, which was also reflected, indirectly, by the association of changes in biotic communities with the variation of certain abiotic (temperature, transparency) and biotic components (intraspecies relationships) of this unique hydroecosystem.

KEY WORDS: hydrological regime, river-floodplain, backwaters, freshwater assemblages monitoring

## UVOD

Ravničarske reke sa plavnim zonama predstavljaju vremenski i prostorno kompleksne sisteme, čiji karakter je definisan pre svega hidrološkim fluktuacijama (Junk i sar., 1989). Odlike fluvijalnih jezera koja se nalaze u plavnim zonama diktira njihova hidrološka konektivnost – povezanost sa glavnim rečnim tokom koja je uslovljena variranjem vodostaja (Li i sar., 2021). Snažnija konektivnost podrazumeva i značajnije promene u količini suspendovanih i rastvorenih organskih materija, kao i koncentracije nutrijenata u vodenom stubu jezera tokom perioda visokih voda. Promene u abiotičkim faktorima deluju na biotičku komponentu ovih dinamičnih ekosistema, što je definisano konceptualnim modelom međusobnog uticaja hidrološke konektivnosti sa ekološkim procesima (Tockner i sar., 2001).

Zaštićeno područje Park prirode „Tikvara“ se nalazi u južnoj Bačkoj, uz levu obalu Dunava, neposredno uz naselje Bačka Palanka. Od 2017. godine je deo Rezervata biosfere „Bačko Podunavlje“, a od 2021. godine postaje i deo prekograničnog Rezervata biosfere Mura-Drava-Dunav (UNESCO, n.d.). Najveći deo zaštićenog područja zauzima Palanački rit u kojem se nalazi jezero Tikvara, kao njegova najznačajnija hidrološka celina (Bošnjak i sar., 2015). Fluvijalnog porekla po nastanku, jezero Tikvara izdvaja se od ostalih mrtvaja u plavnim zonama, jer je dubokim kanalom povezano sa glavnim tokom Dunava. Zbog njihove direktne i stalne povezanosti, vodostaj Dunava ima presudan uticaj na hidrobiološke (hidrološke i ekološke) odlike Tikvare.

Cilj rada bio je da se istraži međusobna povezanost pojedinih hidrobioloških parametara hidroekosistema Tikvara tokom petogodišnjeg perioda, kao i njihove promene pod uticajem vodostaja Dunava. Podaci korišćeni za analizu su nastali kao rezultat redovnog monitoringa koji je sproveden za potrebe upravljača tokom perioda visokih i niskih voda od 2018. do 2023. godine.

## MATERIJAL I METODE

Radom su obuhvaćeni rezultati istraživanja jezera Tikvara sprovedenih u periodu od 2018. do 2023. godine za potrebe redovnog, trogodišnjeg monitoring programa, a u skladu sa Pravilnikom o programu monitoringa radi praćenja stanja ribljeg fonda u ribolovnim vodama („Sl. Glasnik RS“, br. 71/2010). Od osnovnih fizičko-hemijskih parametara praćeni su: količina rastvorenog kiseonika, zasićenost vode kiseonikom (saturacija) i temperatura (upotrebom oksimetra), biološka potrošnja kiseonika (BPK<sub>5</sub>), hemijska potrošnja kiseonika (HPK), totalni ugljenik (TOC), suspendovane čestice (TSS), surfaktanti (SUR) i nitrati mereni su upotrebom UV spektrofotometra-Sekomam Pastel-UV portabl. Elektroprovodljivost izmerena je konduktometrom, pH vrednost pomoću terenskog pH metra Eutech Instruments pH tester 11. Za analizu koncentracije hlorofila a filtrirana je određena količina vode kroz nitrocelulozni bakteriološki filter promera 47mm sa veličinom pora 0,45 μm. Određivanje koncentracije hlorofila a vršeno je spektrofotometrijskom standardnom metodom (APHA, 1995).

Uzorci za analizu fitoplanktonske zajednice prikupljeni su filtriranjem 20 l vode kroz planktonsku mrežicu, promera okaca 22  $\mu\text{m}$  i integrisanim uzorkivačem vodenog stuba, pomoću kojeg je prikupljan kompozitni uzorak, od površine vodenog stuba do dubine od 1m. Uzorci su prikupljeni u staklene boce, fiksirani Lugolovim rastvorom na licu mesta. Materijal je obrađen na Olympus CX41 i mikroskopu i invertnom mikroskopu marke Leica, uz upotrebu standardnih ključeva za determinaciju. Kvantitativna analiza fitoplanktona sprovedena je metododama po McDermott i Raine (2010), kao i LeGresley i McDermott (2010).

Uzorkovanje faune dna je izvršeno pomoću bagera tipa Van-Veen površine zahvata 255  $\text{cm}^2$ . Trijaža materijala izvršena je pomoću sistema sita promera oka od 500  $\mu\text{m}$  i 250  $\mu\text{m}$ . Determinacija biološkog materijala je urađena na živim ili fiksiranim jedinkama, korišćenjem standardnih ključeva za determinaciju pojedinih grupa organizama. Obrađeni materijal je fiksiran 70% alkoholom. Brojnost individua izražena je po metru kvadratnom. Uzorci ihtiofaune prikupljeni su pomoću akumulatorskog aparata za elektroribolov sa istosmernom-pulsirajućom izlaznom strujom, napona 400 V, snage 5 kW, prema evropskom standardu za elektroribolov "Water Analysis – Fishing with Electricity" (EN 14011; CEN, 2003). Masa jedinki merila se pomoću tehničke vage preciznosti 0.1 g, marke Ohaus Navigator 2100. Za determinaciju pojedinih porodica, rodova i vrsta korišćeni su standardni ključevi (Kottelat & Freyhof, 2007).

Statistička obrada podataka je izvršena sa ciljem da se istraže međusobne asocijacije između relevantnih hidrobioloških parametara hidroekosistema "Tikvara": fizičko-hemijskih parametara vodenog stuba, hidroloških parametara, fitoplanktonske, zajednice profundalnih makroinvertebrata i ihtiofaune. Nakon preliminarnе analize, potencijalne međuzavisnosti su testirane korelacionim testovima (Pirsonov koeficijent korelacije ( $R$ ),  $p < 0,05$ ). Poređenje parametara po hidrološkim sezonama ili godišnjim dobima prikazano je boks-plotovima. Sve analize su urađene pomoću osnovnih paketa programskog okruženja R (2024). Grafički prikaz korelacionih analiza urađen je pomoću paketa "ggpubr" (Kassambara, 2023) i "PerformanceAnalytics" (Peterson i sar., 2022).

## REZULTATI I DISKUSIJA

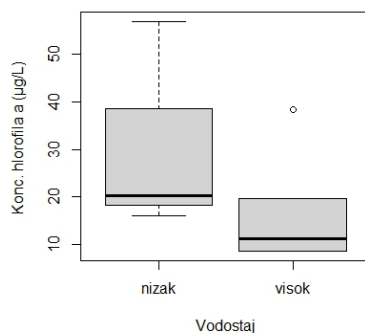
Rezultati istraživanja hidrobioloških parametara jezera Tikvara tokom petogodišnjeg monitoringa (od 2018. do 2023. godine) prikazani su u Tabeli 1. Analiza koncentracije hlorofila-*a*, kao pokazatelja biomase fitoplanktona, pokazala je više vrednosti tokom niskog vodostaja u odnosu na vrednosti iz uzoraka uzetih tokom visokog vodostaja (Slika 1.). Niža biomasa fitoplanktona u vodenom stubu je očekivana posledica razvodnjavanja vode Tikvare usled prodiranja vode iz Dunava tokom visokih voda, što je dokazano i u ranijim istraživanjima (na primer: Zalocar de Domitrovic, 2003).



Tabela 1. Minimalne i maksimalne vrednosti odabranih hidrobioloških parametara Tikvare u periodu od 2018. do 2023. godine (n=9)

Table 1. Minimum and maximum values of selected hydrobiological parameters in Tikvara lake during 2018-2023 timeframe (n=9)

Parametar	Minimalna vrednost	Maksimalna vrednost
Temperatura (°C)	9,1	24,7
Providnost (cm)	36	113
Vodostaj (cm)	-7	462
Ukupne čvrste supstance (mg/L)	6	16
Hlorofil- <i>a</i> (µg/L)	8,54	56,96
Brojnost riba (n=6)	111	274
Biomasa riba (g, n=6)	54874	272560
Brojnost Oligochaeta (ind/m <sup>2</sup> )	509	8212



Slika 1. Koncentracija horofila-*a* jezera Tikvare u periodu niskog i visokog vodostaja (od 2018.-2023. godine)

Figure 1. Chlorophyll-*a* concentration in lake Tikvara during the period of high and low water levels (during 2018-2023 timeframe)

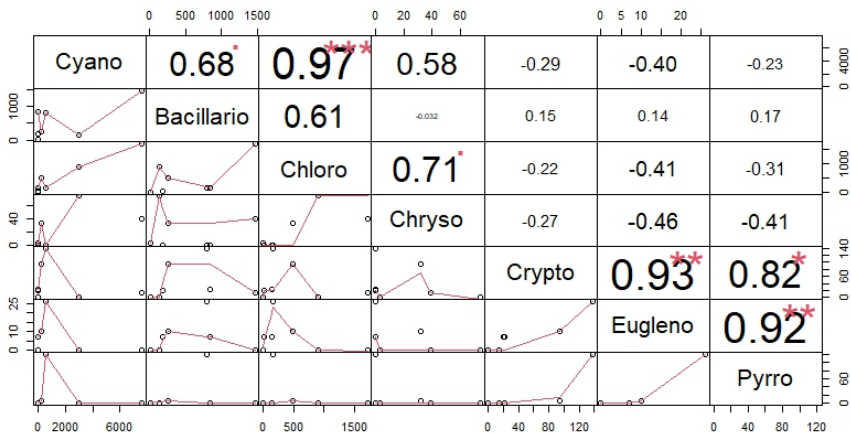
Razdeli Cyanobacteria i Chlorophyta konstatovani su u svim ispitivanim periodima osim u martu 2019. godine. Treba istaći da je jedino u ovom slučaju uzorkovanje sprovedeno početkom marta meseca. Tada su konstatovani samo predstavnici razdela Bacillariophyta i Chrysophyta, i to sa malom abundancom od svega 19 ćelija/ml. Prisustvo ovih razdela je karakteristično za hladnije periode godine. Tada je zabeležena i najniža temperatura vode od 9.1°C.

U prolećnoj sezoni 2022. i 2023. uočava se dominacija razdela Cyanobacterija čije procentualno učešće u broju ćelija po mililitru fitoplanktonske zajednice iznosi 73% koliko je zabeleženo 2022. godine i 70%, koliko je zabeleženo 2023. godine. Dok je u leto 2018. godine brojnost razdela Cyanobacteria najniža i iznosi 3% od ukupnog broja ćelija po mililitru. Razdeo Chlorophyta uočava se kao dominantan samo u leto 2021. godine, tada 44% totalnog broja ćelija po mililitru pripada ovom razdelu. U leto 2022. godine konstatovane su najmanje brojnosti ćelija ovog razdela, 9% od totalnog broja ćelija po mililitru.

Razdeo Bacillariophyta javlja se u svim ispitivanim periodima. Kao dominantan konstatovan je, kako u martu 2019. godine, tako i u septembru 2018. godine, kada procentualno učešće u broju ćelija po mililitru fitoplanktonske zajednice iznosi 80% i u avgustu 2022. godine kada 43% totalnog broja ćelija po mililitru pripada ovom razdelu.

Razdeli Cyanobacterija, Bacillariophyta i Chlorophyta čine osnovu fitoplanktonske zajednice ovog vodnog tela. Uočava se pozitivna korelacija između razdela Cyanobacteria i Chlorophyta (Slika 2.).

Tri razdela fitoplanktonskih organizama konstatovana su samo tokom letnjeg perioda i to sa malom brojnošću ćelija po mililitru vode. Razdeo Euglenophyta zastupljen je u fitoplanktonskoj zajednici, tokom letnje sezone, u sva tri ispitivana intervala sa 1% od totalnog broja ćelija po mililitru, dok tokom proletnje sezone nije konstatovan. Brojnost ćelija razdela Euglenophyta pozitivno je korelisana sa brojnošću ćelija razdela Pyrrophyta i Cryptophyta. Ova dva razdela takođe su konstatovana isključivo tokom letnje sezone. Razdeo Pyrrophyta nije konstatovan u septembru 2018. godine. U septembru 2021. godine svega 1% od totalnog broja ćelija po mililitru pripada ovom razdelu, dok u avgustu 2022. godine procentualno učešće ovog razdela iznosi 7%. Razdeo Cryptophyta konstatovan je tokom sve tri letnje sezone sa procentualnim učešćem od 3%, koliko je konstatovano 2018. godine, do 8%, koliko je konstatovao 2021. i 2022. godine.

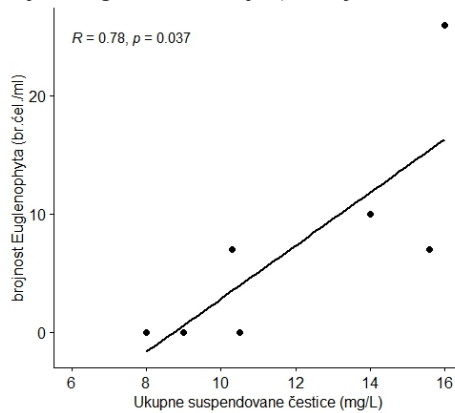


Slika 2. Korelacija brojnosti pojedinih razdela fitoplanktona jezera Tikvara tokom petogodišnjeg monitoringa (2018.-2023.): brojevi u gornjim desnim panelima su vrednosti Pirsonovog koeficijenta korelacije (R), zvezdice označavaju nivo značajnosti (\*\*\*)  $p < 0,001$ , \*\*  $p < 0,01$ , \*  $p < 0,05$ )

Figure 2. Correlation of the abundance between certain divisions of the Lake Tikvara phytoplankton during the five-year monitoring (2018-2023): numbers in the upper right panels are the values of the Pearson correlation coefficient (R), asterisks indicate the level of significance (\*\*\*)  $p < 0.001$ , \*\*  $p < 0,01$ , \*  $p < 0,05$ )

Takođe, uočava se pozitivna korelacija između razdela Euglenophyta i ukupnih suspendovanih čestica (Slika 3). Razdeo Euglenophyta obuhvata organizme koji su

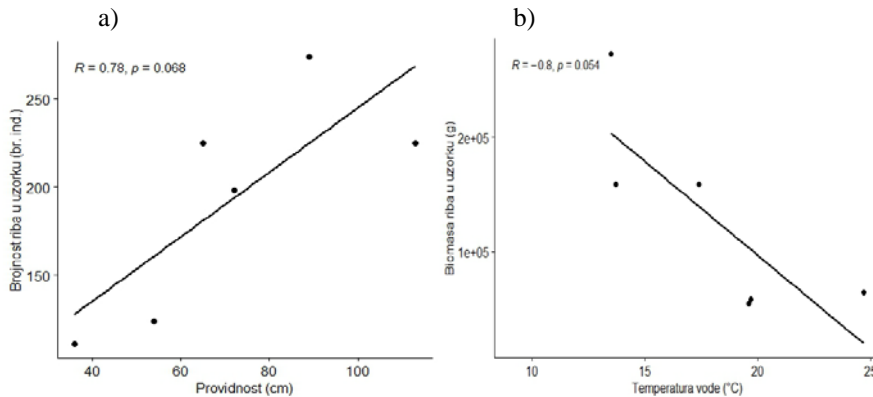
abundantniji i imaju veći diverzitet tokom toplijih meseci. Naseljavaju pretežno stajaće vode sa višom koncentracijom organske materije (Predojević i sar., 2015).



Slika 3. Korelacija između brojnosti Euglenophyta i ukupnih čvrstih čestica u vodenom stubu Tikvare (2018. – 2023.)

Figure 3. Correlation between the number of Euglenophyta and total solid substances in water collumn of the Tikvara lake (2018-2023)

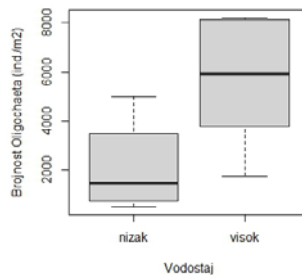
Analizom brojnosti i mase uzoraka ihtiofaune u periodu 2020. – 2023. godine, uočeno je da je abundanca riblje zajednice direktno korelisana sa providnošću vode (Slika 4a.), kao i da je biomasa ihtiofaune inverzno povezana sa temperaturom vode (Slika 4b.), iz čega se može zaključiti da je povećano prisustvo riba tokom hladnijeg perioda godine, tokom mresta.



Slika 4. Korelacija: a) između brojnosti riba u uzorku i providnosti vodenog stuba; b) između biomase riba u uzorku i temperature vode

Figure 4. Correlation: a) between the number of fish sample and transparency of the water collumn; b) between the biomass of fish sample and water temperature

Konačno, analizom brojnosti faune Oligochaeta koja je dominirala u bentosnim uzorcima makroinvertebrata iz Tikvare u istraživanom periodu uočena je značajno viša abundanca ovih organizama tokom visokog vodostaja (Slika 5). Moguće objašnjenje za ovaj iznenađujući rezultat možda leži u generalno boljim uslovima na dnu ovog parapotamona nakon prodora sveže vode iz Dunava, što generalno zavisi i od broja dana trajanja visokog vodostaja (Sporka&Nagy, 1998). Pokazano je da period visokih voda i plavnog talasa ne mora biti determinanta diverziteta bentosne faune u plavnim zonama (Larsen i sar., 2019), kako zbog kompleksnosti i heterogenosti ovih staništa, tako i zbog antropogenih aktivnosti koje direktno i indirektno utiču na ceo ekosistem. Ipak, razumevanje uzročno-posledičnih veza između strukture akvatičnih zajednica u plavnim zonama i hidrološke konektivnosti naročito je važno za adekvatnu zaštitu i održivo upravljanje ovim ugroženim ekosistemima. Stoga je neophodno započeta istraživanja nastaviti sa dodatnim naglaskom na proceni uticaja antropogenih aktivnosti u ekosistemu Tikvare.



Slika 5. Brojnost faune Oligochaeta jezera Tikvare u periodu niskog i visokog vodostaja (period 2018.-2023.)

Figure 5. Brojnost faune Oligochaeta in Tikvare lake during the period of high and low water levels (during 2018-2023 timeframe)

## ZAKLJUČAK

Rezultati hidrobioloških istraživanja za potrebe monitoringa riblje faune hidroekosistema „Tikvare“ u periodu od 2018. – 2023. godine pokazali su da su koncentracije hlorofila-*a*, kao indikatora biomase fitoplanktona, imale više vrednosti tokom niskog vodostaja, dok je brojnost faune Oligochaeta bila značajno niža u odnosu na vrednosti iz uzoraka uzetih tokom visokog vodostaja. Uočena je pozitivna korelacija između brojnosti ćelija iz razdela Cyanobacteria i Chlorophyta, dok je abundanca razdela Euglenophyta bila u direktnoj asocijaciji sa brojnošću ćelija razdela Pyrrophyta i Cryptophyta. Biomasa riba u uzorku je bila negativno korelisana sa temperaturom vode, dok je brojnost bila u pozitivnoj sprezi sa providnošću vodenog stuba. Rezultati su ukazali da je jezero Tikvare kompleksan ekosistem na čiji će opstanak u budućnosti značajno uticati hidrološke fluktuacije reke Dunav.

## Zahvalnica

Ovo istraživanje je finansijski podržano od Ministarstva nauke, tehnološkog razvoja i inovacija Republike Srbije (ev.br. 451-03-66/2024-03/200125 i 451-03-65/2024-03/200125).

## LITERATURA:

- APHA, AWWA, WEF (1995): Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.
- Bošnjak, T. (urednik) (2015): Park prirode „Tikvara“ predlog za stavljanje pod zaštitu kao zaštićenog područja III kategorije. Studija zaštite. Novi Sad (Srbija) Pokrajinski zavod za zaštitu prirode.
- Junk, W. J., Bayley, P. B., Sparks, R. E. (1989): The flood pulse concept in river floodplain systems. In Dodge, D. P. (ed.), Proceedings of the International Large River Symposium (LARS). Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences, Ottawa, Canada: 110–127.
- Kassambara A (2023): `ggplot2` Based Publication Ready Plots. R package version 0.6.0, <<https://CRAN.R-project.org/package=ggpubr>>.
- Kottelat, M., & Freyhof, J. (2007): Handbook of European freshwater fishes (3rd ed.). Kottelat, Cornol, Swizerland and Freyhof. <https://doi.org/10.1643/OT-08-098a.1>
- Larsen, S., Karaus, U., Claret, C., Sporka, F., Hamerlík, L., Tockner, K. (2019): Flooding and hydrologic connectivity modulate community assembly in a dynamic river-floodplain ecosystem. PLoS One, 14(4), 0213227.
- LeGresley, M., McDermott, G. (2010): Microscopic and molecular methods for quantitative phytoplankton analysis. Paris, UNESCO. 25-30
- Li, Y., Tan, Z., Zhang, Q., Liu, X., Chen, J. and Yao, J., 2021. Refining the concept of hydrological connectivity for large floodplain systems: Framework and implications for eco-environmental assessments. Water Research, 195, 117005.
- McDermott, G., Raine, R. (2010): Microscopic and molecular methods for quantitative phytoplankton analysis. Paris, UNESCO. 21-24.
- Peterson, B.G., Carl, P., Boudt, K., Bennett, R., Ulrich, J., Zivot, E., Cornilly, D., Hung, E., Lestel, M., Balkissoon, K., (2022): PerformanceAnalytics: Econometric Tools for Performance and Risk Analysis. 2020. R package version, 2(4).
- Pravilnik o programu monitoringa radi praćenja stanja ribljeg fonda u ribolovnim vodama („Sl. Glasnik RS “, br. 71/2010)
- Predojević, D., Subakov-Simić, G., Kovačević, E., Papić, P., Ćuk, M., Kljajić, Ž., Lazić, M. (2015): Diversity of the Euglenophyta division in the Zasavica River, Serbia. Botanica Serbica, 39 (1) 23-29 str
- R Core Team (2024): `R: A Language and Environment for Statistical Computing`. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <<https://www.R-project.org/>>.
- Sporka, F., Nagy, S. (1998): The macrozoobenthos of parapotamon-type side arms of the Danube river in Slovakia and its response to flowing conditions. BIOLOGIA-BRATISLAVA, 53, 633-644.
- Tockner, K., Pennetzdorfer, D., Reiner, N., Schiemer, F., Ward, J. V. (1999): Hydrological connectivity, and the exchange of organic matter and nutrients in a dynamic river-floodplain system (Danube, Austria). Freshwater Biology 41: 521–535.
- UNESCO (n.d.) Biosphere reserves in Europe and North America. <https://en.unesco.org/biosphere/eu-na>
- Zalocar de Domitrovic, Y. (2003): Effect of fluctuations in water level on phytoplankton development in three lakes of the Parana´ river floodplain (Argentina). Hydrobiologia 510: 175–193.

## OCENA EKOLOŠKOG STATUSA SREDNJEG TOKA REKE IBAR

Nikola Z. Grujić, Branko Miljanović

*Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno-matematički fakultet, Departman za biologiju i ekologiju, Trg Dositeja Obradovića 2, Novi Sad, Srbija,  
e-mail: grujic.n@outlook.com ORCID: 0000-0002-9531-2597  
e-mail: branko.miljanovic@bde.ns.ac.rs, ORCID: 0000-0003-0125-032X*

### REZIME

U periodu od oktobra 2022. do maja 2023. godine vršeno je hidrobiološko istraživanje kvaliteta vode srednjeg toka reke Ibar na osnovu makrozoobentosa i odabranih fizičko-hemijskih parametara. Procena ekološkog statusa izvršena je prema važećem republičkom Pravilniku, a na osnovu sledećih parametara: pH vrednost, koncentracija rastvorenog kiseonika, ukupni organski ugljenik, koncentracija nitrata, saprobni indeks, BMWP skor, ASPT skor, indeks diverziteta, ukupan broj taksona, EPT indeks i broj osetljivih taksona. Na osnovu dobijenih rezultata, ekološki status srednjeg toka reke Ibar ocenjen je kao dobar do umeren, pri čemu je bolji kvalitet zabeležen u drugom delu srenjeg toka.

KLJUČNE REČI: kvalitet vode, ekološki status, Ibar, Kosovo i Metohija

## ASSESSMENT OF THE ECOLOGICAL STATUS OF THE RIVER IBAR'S MIDDLE COURSE

### ABSTRACT

In the period from October 2022 to May 2023, a hydrobiological investigation of the water quality of the River Ibar's middle course was conducted based on macrozoobenthos and selected physical and chemical parameters. The assessment of the ecological status was carried out according to the current Republic Rulebook, based on the following parameters: pH value, dissolved oxygen concentration, total organic carbon, nitrate concentration, saprobic index, BMWP score, ASPT score, diversity index, total number of taxa, EPT index and number of sensitive taxa. Based on the obtained results, the ecological status of the middle course of the Ibar River was assessed as good to moderate, with better quality recorded in the second part of the middle course.

KEY WORDS: water quality, ecological status, Ibar, Kosovo and Metohija

## UVOD

U Republici Srbiji vodama se bavi nekoliko zakona, podzakonskih akata i strategija, među kojima je najznačajniji *Zakon o vodama* koji referira Okvirnoj direktivi EU o vodama. Iako je zakonom i podzakonskim aktima napravljen značajan korak u pravcu zaštite voda na teritoriji naše države, na terenu je stanje daleko od poželjnog. Marković i Ditrlih (2018) ističu da je neophodno unaprediti rešenja o javnoj svojini države nad vodnim resursima tako da država svojim merama postaje aktivni nosilac razvoja vodoprivrede u javnom interesu, te da se vodna područja razvijaju izgradnjom vodoprivrednih sistema. Jedna od značajnijih stvari koje *Zakon o vodama* propisuje jeste aktivni monitoring vodnih područja. Ovo je važno jer aktivnim praćenjem vodenih ekosistema možemo planirati i sprovesti mere zaštite, te efikasno upravljati vodnim resursom. Prvi sistem monitoringa kvaliteta vode u Republici Srbiji uspostavljen je 1965. godine i od tada je periodično unapređivan (Savić, 2012). Međutim, donošenjem *Zakona o vodama* i pratećih podzakonskih akata, a u cilju usklađivanja sa evropskom Direktivom, značajno je promenjena metodologija ispitivanja kvaliteta voda, te su stoga, podaci pre 2012. godine neuporedivi sa novim (Žarković, 2018). Pravilnikom o parametrima ekološkog i hemijskog statusa površinskih voda i parametrima hemijskog i kvantitativnog statusa podzemnih voda propisano je proučavanje ekološkog statusa vodnih tela na osnovu akvatičnih zajednica (makroinvertebrate, fitobentos, makrofite, fitoplankton i ribe), mikrobioloških i pratećih fizičkih, hemijskih i hidromorfoloških karakteristika. Na teritoriji Srbije makroinvertebrate su zajednica koja je najviše primenjivana u ekološkoj oceni kvaliteta površinskih voda (Paunović i sar. 2009). Na osnovu *Zakona* i prpratnih pravilnika, a prema godišnjim programima monitoringa statusa voda, Agencija za zaštitu životne sredine od 2012. godine realizuje kontinuirani monitoring statusa površinskih i podzemnih voda. Zbog političke situacije i objektivnih razloga program se ne sprovodi na teritoriji Autonomne pokrajine Kosova i Metohije.

Agencija za zaštitu životne sredine sprovodi program monitoringa na 43% vodnih tela reke Ibar kroz Republiku Srbiju (celom donjem toku, i delu gornjeg toka od državne granice sa Crnom Gorom do administrativne linije sa Kosovom i Metohijom) (Denić i sar., 2018). Kako je veći deo toka reke Ibar na severu Kosova i Metohije, sa koga se samo u pokrajini direktno vodosnabdeva oko 250.000 ljudi (od toga oko 60.000 na samom severu), postoji realna potreba za kontinuiranim monitoringom kvaliteta vode na ovom delu toka. Upravo na ovom području nalaze se najveći rizici po samu reku – duž srednjeg toka, na obalama od Kos. Mitrovice do Raške prostiru se postrojenja, rafinerije i industrijske deponije Rudarsko-metalurško-hemijskog kombinata „Trepča“. Iako Trepčina industrija poslednje dve decenije gotovo da ne radi, procenjuje se da ukupna količina industrijskog otpada, računajući i mala jalovišta, na ovom prostoru koji prati reku Ibar iznosi približno 150 miliona tona (Barać & Vitas, 2010).

Cilj ovog istraživanja bio je ocena ekološkog statusa vode srednjeg toka reke Ibar na osnovu makrozoobentosa i odabranih fizičko-hemijskih parametara, a prema Pravilniku o parametrima ekološkog i hemijskog statusa površinskih voda i parametrima hemijskog i kvantitativnog statusa podzemnih voda (Sl. glasnik RS 74/2011).

## MATERIJALI I METODE

### *Opis istraživanog područja*

Osmomesečnim istraživanjem je obuhvaćeno blizu 60 km rečnog toka od Kosovske Mitrovice preko Zvečana, Leposavića i Leška do Ibarskog Postenja, ispred administrativne linije sa centralnom Srbijom (Slika 1.). Ovim delom Ibarsku klisuru grade obronci Kopaonika i Rogozne sa kojih se desetine rečica i potoka sliva u Ibar. Kontrolne tačke odabrane su u odnosu na glavne zagađivače, ali tako da im je pristup lak. Svaki lokalitet obuhvata oko 50 m toka, a uzorkovanje je vršeno uvek sa leve obale. Lokalitet I – Dudin Krš (Kos. Mitrovica) se nalazi neposredno nakon ušća reke Sitnice u Ibar. Lokaliteti II – Valač i III – Balaban pripadaju opštini Zvečan, a lokaliteti IV – Donji Krnjini i V – Ibarsko Postenje opštini Leposavić. Detaljni opisi pojedinačnih lokaliteta kao i analiza ekoloških rizika i pregled svih dosadašnjih istraživanja životne sredine u istraživanom području dati su u radu „Biološka procena kvaliteta srednjeg toka reke Ibar uz osvrt na stanje životne sredine u regionu Kosovske Mitrovice” (Grujić, 2023).

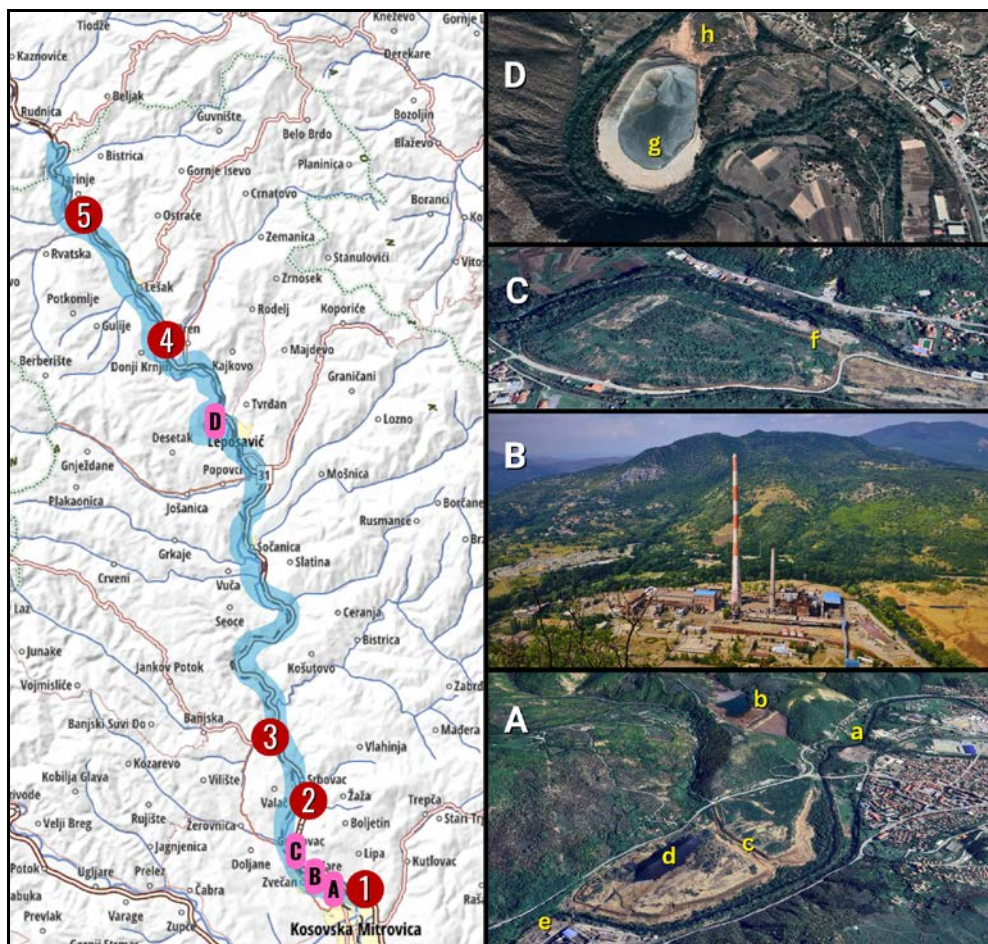
### *Određivanje fizičko-hemijskih karakteristika vode*

Temperatura, saturacija kisonika, količina rastvorenog kiseonika i parcijalni pritisak kisonika mereni su terenskim oksimetrom (WTW), a elektroprovodljivost i salinitet terenskim konduktometrom (WTW). Na terenu je određena i pH vrednost pH-metrom Eutech Instruments pH tester 11. Biološka potrošnja kiseonika (BPK), hemijska potrošnja kiseonika (HPK), ukupan organski ugljenik (TOC), ukupne suspendovane čestice (TSS), surfaktanti (SUR) i nitrati (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) određeni su spektrofotometrom (Secomam Pastel-UV) u laboratoriji iz uzorka vode.

### *Uzorkovanje i identifikacija makrozoobentosa*

Uzorkovanje makrozoobentosa rađeno je ručnom mrežom okvira dimenzija 25x25 cm i promera okaca 500 µm. Ram okvira postavljan je normalno na podlogu i protok vode. Nakon energičnog uznemiravanja podloge ispred mreže, mreža je povlačena blago uzvodno i ka površini vode. Jedan uzorak sastojao se iz dva poduzorka (različita podloga i režim brzine). Uzorkovanje je po lokalitetu trajalo 1 minut, a vreme odvojeno na jedan poduzorak zavisilo je od zastupljenosti tog supstrata u odnosu na drugi na datom lokalitetu. Obično se jedan poduzorak uzimao sa supstrata gde dominiraju makrofite, a drugi sa šljunkovitog i kamenitog supstrata, izuzev lokaliteta „Valački Krš" gde je jedan poduzorak predstavljao mulj, a drugi makrofite. Uzorci su na terenu stavljani u plastične flakone zapremine pola litara, te fiksirani u 96% etanolu. U laboratoriji je obavljeno ispiranje uzoraka, trebljenje i sortiranje makroinvertebrata. Predstavnici grupa Oligochaeta i Chironomidae su izdvojeni i konzervirani u 78% etanolu, a njihova identifikacija do nivoa vrste nije bila predmet ovog rada. Ostali beskičmenjaci su konzervirani u 96% etanolu. Identifikacija je urađena prema adekvatnim ključevima u Laboratoriji za hidrobiologiju Departmana za biologiju i ekologiju Prirodno-matematičkog fakulteta Univerziteta u Novom Sadu.





Slika 1. Prikaz istraživanog područja srednjeg toka reke Ibar (brojevima označeni lokaliteti)

A – Početak srednjeg toka: a – ušće Sitnice u Ibar, b – aktivna flotacijska deponija „Žarkov Potok“, c – pasivna flotacijska deponija „Gornje Polje“ Markovim potokom podeljena na dva dela. Prostire se na površini od oko 50 ha i na njemu se nalazi nalazišta od oko 12 miliona kubnih metara jalovine, a široke instrumentalne analize su pokazale da se metali olovo i cink nalaze u obliku sulfida, ali i u obliku rastvorljivih karbonata, i sulfata, kao posledica starenja i oksidacije deponije jalovinskog otpada; d – deponija šljake šahatnih peći koja se nalazi na deponiji „Gornje Polje“ na površini oko 6 ha (2,5 mil. t), e – industrijski kompleks u Zvečanu; B - Industrijski kompleks u Zvečanu; C - Delimično sanirana flotacijska deponija „Žitkovac“ na 26 ha (8,5 mil. t industrijskog otpada): f - aktivna divlja komunalna deponija „Pirit“; D - Industrijski deo u Leposaviću: g - aktivna flotacijska deponija „Bostanište“ (aktivna, na 10 ha sa oko 3,6 miliona tona jalovine); h – pasivna deponija „Gornji Krnjin“ (7 ha površine sa visinom od 14 m i 2,6 mil. t jalovine).

## Procena ekološkog statusa srednjeg toka reke Ibar

Za potrebe izračunavanja bioloških parametara korišćen je ASTERIX softverski program (AQEM, 2002), kao i Microsoft Excel. Procena ekološkog statusa izvršena je za svaki lokalitet na osnovu sledećih parametara: pH vrednost, koncentracija rastvorenog kiseonika, ukupni organski ugljenik, koncentracija nitrata, saprobni indeks, BMWP skor, ASPT skor, indeks diverziteta, ukupan broj taksona, EPT indeks i broj osetljivih taksona (Sl. glasnik RS 74/2011). Nakon ekološke procene pojedinačnih lokaliteta za svaki mesec (oktobar 2022. – maj 2023. godine) određen je osmomesecni proseki po lokalitetu kao krajnja ocena ekološkog statusa u analiziranom periodu. Za celokupni srednji tok izračunata je srednja vrednost zbira vrednosti svakog parametra za sve lokalitete.

### REZULTATI

Nakon pregleda 11 654 jedinice makrobeskičmenjaka iz 40 uzoraka makrozoobentosa srednjeg toka reke Ibar, ustanovljeno je prisustvo 101 taksona od kojih je 76 identifikovano do nivoa vrste (Gruić, 2023). Registrovani su predstavnici 15 osnovnih grupa makrozoobentosa iz 71 roda i 46 familija. Ephemeroptera je grupa sa najviše registrovanih taksona (20). Slede je Hirudinea i Diptera sa po 16, i Trichoptera sa 14 registrovanih taksona. Ako se izuzme grupa Oligochaeta, gde se nije radila identifikacija nižih taksonomskih kategorija, grupe Isopoda, Amphipoda, Plecoptera, Lepidoptera i Megaloptera su sa najmanjim brojem registrovanih taksona (po 1). Rezultati istraživanja su pokazali da postoje vremenske i prostorne varijacije vrednosti merenih fizičko-hemijskih parametara vode srednjeg toka reke Ibar, što će biti tema zasebnog rada.

Ono što je definitivno karakteristično za srednji tok reke Ibar jeste značajno prisustvo pijavica (Hirudinea), koje su registrovane u velikoj brojnosti na svim lokalitetima. Od ukupno 16 registrovanih vrsta, čak 13 je prisutno na lokalitetu „Valački Krš“, gde im je zabeležena i najveća brojnost. Jedino u uzorcima sa ovog lokaliteta su registrovane vrste *Batracobdella paludosa* (Carena, 1824), *Glossiphonia concolor* (Apathy, 1888), *Placobdella costata* (Müller, 1846), *Haemopsis sanguisuga* (Linnaeus, 1758) i *Limnatis nilotica* (Savigny, 1822), ali i *Hirudo verbana* Carena, 1820 koja je pokupljena sa obale nakon što se povukla voda. U srednjem toku reke Ibar registrovana su samo dva raka, izopodni *Asellus aquaticus* (Linnaeus, 1758) i dekapodni *Gammarus balcanicus* Schäferna, 1923. *A. aquaticus* je registrovan na svim lokalitetima, pri čemu mu je brojnost opadala nizvodno, gde je na lokalitetu „Ibarsko Postenje“ često odsustvovao u uzorcima. Na drugoj strani, *G. balcanicus* se nije pojavljivao u uzorcima sa početka srednjeg toka. Povezano sa kiseoničkim režimom dolazi do pravilne smene u dominantnosti ove dve vrste u srednjem toku, gde je *A. aquaticus* dominantan u prvoj polovini toka, gde su i manje količine rastvorenog kiseonika, a *G. balcanicus* u drugoj polovini, gde je voda bogatija kiseonikom. Vodeni cvetovi (Ephemeroptera) su taksonima najbrojnija grupa u srednjem Ibru, prisutna na svim ispitivanim lokalitetima. Vrste *Baetis lutheri* Müller-Liebenau, 1967, *Baetis rhodani* (Pictet, 1843) i *Cloeon dipterum* (Linnaeus, 1761) su registrovane na svim lokalitetima. *Baetis buceratus* Eaton, 1870 se pojavljuje samo na lokalitetu „Balaban“, a vrsta *Torleya major* (Klapálek, 1905) samo na lokalitetu „Valački Krš“.

U tabeli 1. je predstavljena ocena ekološkog statusa srednjeg toka reke Ibar u analiziranom periodu (oktobar 2022. – maj 2023. godine). Na osnovu predstavljenih rezultata može se zaključiti da se srednji tok reke Ibar nalazi između II i III klase ekološkog statusa.

Tabela 1. Ocena ekološkog statusa srednjeg toka reke Ibar (oktobar 2022. – maj 2023.)  
Table 1. Assessment of the ecol. status of the River Ibar's middle course (October 2022 - May 2023)

Parametar	Lokaliteti					Srednji tok
	Dudin Krš	Valački Krš	Balaban	Donji Krnjin	Ibarsko Postenje	
pH vrednost	I-V	I-V	I-V	I-V	I-V	I-V
Rastvoreni O <sub>2</sub>	II	II	II	I	I	II
Ukupni org. ugljenik	II	III	II	II	II	II
Nitrati	III	IV	III	IV	IV	IV
Saprobni indeks	II	III	III	II	II	II
BMWP skor	III	III	II	II	I	II
ASPT skor	IV	IV	III	III	III	III
Indeks diverziteta	II	II	II	II	II	II
Ukupan br. taksona	II	II	I	I	I	II
EPT indeks	II	III	I	I	I	II
Broj osetljivih taksona	III-IV	III-IV	III-IV	III-IV	III-IV	III-IV

## DISKUSIJA

Pogoršanje kvaliteta vodotokova u regionu Kosovske Mitrovice počelo je sa pokretanjem industrije. Sredinom XX veka reka Ibar je u svom gornjem toku bila I i II klase kvaliteta, a od Kosovske Mitrovice ka Kraljevu IV i III klase (Stević i sar., 1983). Sitnica je donosila otpadne vode iz industrija centralnog Kosova, uključujući i termoelektranu „Obilić", a od Kosovske Mitrovice, direktno u Ibar su odlazile industrijske vode iz pogona Trepče (flotacije, rafinerije, fabrike, deponije). Miletić i saradnici (1983) navode da je na osnovu saprobiološkog istraživanja 1977. godine reka Ibar kod Preleza imala osobine beta mezosaprobni voda sa dobrim bonitetom, a kod Leposavića osobine alfa-mezosaprobni voda sa ekstremno slabim bonitetom. Tom prilikom nije istraživana Ibar kod Kosovske Mitrovice, ali jeste Sitnica koja je imala osobine alfa-mezosaprobni voda sa tendencijom prelaska u polisaprobne vode.

Istraživanja fizičko-hemijskih parametara, uključujući i teške metale, u prvoj deceniji XXI veka, nakon prestanka rada industrije, pokazuju da reka Ibar između Kosovske Mitrovice i Raške ima odlike III i IV klase kvaliteta (Nedeljković & Milentijević, 2006; Jovanović i sar., 2007; Minić i sar., 2008; Babincev i sar., 2009). Rezultati monitoringa i analize koncentracije fenola u srednjem toku u periodu od 2003. do 2008. godine pokazali su da su koncentracije konstantno bile iznad maksimalno dozvoljenih koncentracija (Milisavljević i sar., 2009). Da je uzrok visokih koncentracija fenola reka Sitnica potvrđuje činjenica da su koncentracije u Kosovskoj Mitrovici bile i 100 puta veće od maksimalno dozvoljenih, a da je nizvodno koncentracija opadala, ali nikad ispod maksimalno dozvoljenih. Analiza

kvaliteta podzemnih voda uzvodno i nizvodno od Kosovske Mitrovice je takođe pokazala značajno lošiji kvalitet voda nizvodno od Kosovske Mitrovice (Milentijević, 2005).

Kasniji podaci o kvalitetu reke Ibar nizvodno od Kosovske Mitrovice govore o umerenom kvalitetu, odnosno III klasi kvaliteta (Elezović, 2016; Elezović i sar., 2016, 2018; Milentijević i sar., 2010). Važno je naglasiti da se ova ocena odnosi uglavnom na deo toka nizvodno od Kosova i Metohije. Pokazalo se da reka Ibar u svom donjem toku menja svoju klasu kvaliteta u zavisnosti od ispitivanih parametara od I do V klase (Marinović i sar., 2015). Ovakav trend je pokazala i saprobiološka analiza donjeg toka reke na osnovu akvatičnih makrobieskičmenjaka (Tubić i sar., 2012). Registrovan je gradijent poboljšanja kvaliteta od Raške do Kraljeva, od V i IV do II i I klase. Mikrobiološke analize vode reke Ibar na teritoriji opštine Raška su pokazale da je ukupni broj koliformnih bakterija u 100 ml vode iznosio preko 24 000 u većini uzoraka, što je svrstava u IV klasu kvaliteta (Nikolić i sar., 2014). Veliki broj koliformnih bakterija nedvosmisleno je ukazivao na dominantno fekalno zagađenje poreklom od domaćinstava i poljoprivrednih farmi. Postoji i gradijent koncentracija teških metala u reci Ibar od Kosovske Mitrovice do Kraljeva (Milićević i sar., 2018). Ovaj gradijent nije u potpunosti pravilan, već na njega utiču flotacija i industrijske deponije. Naime, koncentracije se povećavaju u Leposaviću, nakon čega sledi pad do Rudnice gde je novi porast koncentracija, a nakon Rudnice zabeležen je konstantni pad.

U godišnjim izveštajima rezultata ispitivanja kvaliteta površinskih i podzemnih voda Agencije za zaštitu životne sredine Republike Srbije stoji da je reka Ibar na stanici Batrage (u gornjem toku) između I i II klase, a na stanici Raška II i III klase kvaliteta na osnovu velikog broja parametara (fizičkih, hemijskih i bioloških) i ovakvo stanje je gotovo konstantno poslednjih godina.

Tokom hidrobioloških istraživanja sliva reke Sitnice u periodu od 1992. do 1994. godine istraživana je i reka Ibar na ukupno dva lokaliteta udaljenih 5 km ispred i iza ušća Sitnice (Živić, 1998). Rezultati fizičko-hemijskih i analiza makrozoobentosa su pokazali da je ispred Kosovske Mitrovice reka bila beta-mezosaprobnog karaktera, odnosno klase II boniteta, a nizvodno od grada beta-mezosaprobna do polisaprobna, IV klase boniteta. Zaključeno je da na promenu kvaliteta reke Ibar značajnije utiču industrijske i komunalne vode od Sitnice, kako se ranije smatralo. U jedinom algološkom istraživanju koje je izvršeno na srednjem toku reke Ibar registrovano je prisustvo 165 taksona, od kojih je 90 bilo indikatorskih vrsta sa najvećom zastupljenošću indikatora beta-mezosaprobni voda (Papović, 1999). Na osnovu saprobiološke analize, ovim istraživanjem je utvrđeno da je u periodu od 1996. do 1997. godine, reka Ibar na lokalitetu nizvodno od ušća Sitnice bila II klase boniteta.

Na osnovu klasifikacije prikazane u tabeli 1. može se zaključiti da se srednji tok reke Ibar nalazi između II i III klase ekološkog statusa u analiziranom periodu. Iako srednje vrednosti na nivou celog srednjeg toka ukazuju na II klasu na osnovu većine parametara, svrstavanje ekološkog statusa samo u II klasu bi bilo daleko od realne slike stanja srednjeg toka. Ovakav stav podržavaju i koncentracije teških metala (Grujić, 2023). Koncentracije teških metala upućuju na kritičko sagledavanje posmatranih parametara klasifikacije. Iako većina

posmatranih parametara ukazuje na dobar i umeren kvalitet, koncentracije teških metala pokazuju zagađenje. Lokalitet „Valački Krš“ je bio najlošijeg kvaliteta tokom svih analiziranih meseci. Ovo ukazuje na snažan uticaj industrijskih deponija koji u kombinaciji sa reljefom značajno doprinosi lošem kvalitetu. Sam početak srednjeg toka je najviše varirao po kvalitetu (posmatrajući sve analizirane parametre) što se može objasniti uticajima Sitnice kao velike pritoke koja značajno utiče na lokalitet „Dudin Krš“. Kao što se pokazalo i na terenu, reka Ibar je kod ušća Banjske reke vrlo promenljivog karaktera, što je bilo i očekivano imajući u vidu da je ovaj deo srednjeg toka meandar. U donjem delu srednjeg toka je voda bila najboljeg ekološkog statusa na osnovu odabranih parametara tokom celog ispitivanog perioda.

Važno je naglasiti da je bolja ocena ekološkog statusa donjeg dela srednjeg toka posledica veće količine rastvorenog kiseonika u vodi, a koji je opet posledica karakteristika terena, ali i antropogenog uticaja. Korito srednjeg toka reke Ibar je kamenito i bogato šljunkom, a evolucija same reke je napravila tridesetak većih, stabilnih brzaka. Osim ovih, postoje stabilni brzaci nastali antropogenim delovanjem. Na mestu brzaka se voda koncentriše i ubrzava, pri čemu se voda meša i oksidiše. Brzake prate i vrtlozi koji usporavaju vodu i dovode do taloženja čestica. Sprudovi, odnosno ostrvca, koji se u ekoremedijacijama konstruišu kako bi poboljšali sposobnost samoprečišćavanja vodotoka, na ovom delu Ibra se javljaju prirodno, ili češće kao posledica vađenja šljunka. Ovakva ostrvca filtriraju vodu (retencija suspendovanih čestica i zagađivača) i dodatno je oksidišu. Dodatno, sprudovi obogaćuju raznovrsnost vodenih i terestričnih vrsta stvarajući specifična staništa. Kao posledica vađenja šljunka sa površina uz samu reku, formirali su se bočni rukavci, koji osim usporavanja vode i poboljšanja sposobnosti samoprečišćavanja predstavljaju utočište za ribe u kritičnim periodima, ali i stanište vodozemcima, pticama i drugim životinjama. Na pojedinim delovima su te površine brojnije i zbijenije, što je dovelo do formiranja mrtvaja. Na samim obalama reke Ibar postoje i značajne površine pod vodom, u formi bara i močvara, a nastale su, takođe, eksploatacijom šljunka. Ovi mnogobrojni „bazeni“ se mogu preurediti u vlažna polja (CWs) za potrebe ekoremedijacije otpadnih voda. Princip metode vlažnih polja je formiranje močvarnog biofiltera u kome prirodnim putem dolazi do prečišćenja vode, oslanjajući se na fizičke, hemijske i biološke procese koji dešavaju u ovakvom tipu biotopa (Vymazal, 2019).

## ZAKLJUČAK

Ovim istraživanjem data je prva ocena ekološkog statusa srednjeg toka reke Ibar koja obuhvata i biološke parametre prema važećem Pravilniku o parametrima ekološkog i hemijskog statusa površinskih voda i parametrima hemijskog i kvantitativnog statusa podzemnih voda. Na osnovu dobijenih rezultata, ekološki status srednjeg toka reke Ibar ocenjen je kao dobar do umeren.

## LITERATURA:

- AQEM (2002) Manual for the application of the AQEM method. A comprehensive method to assess European streams using benthic macroinvertebrates, developed for the purpose of the Water Framework Directive. Contract No: EVK1-CT1999-00027.
- Babincev, Lj., Rajaković, Lj., Barać, M., Vitas, N., Teški metali u delu vodenog sistema reke Ibar, XXXIX Međunarodna konferencija Otpadne vode, komunalni čvrsti otpad i opasan otpad, 06-09. april 2009. godine, Zlatibor. Zbornik radova (2009) 29-33
- Barać, M., Vitas, N., Vode Gračanke, Sitnice i Ibra i flotacijsko-metalurško-hemijske deponije, Voda i sanitarna tehnika 40 (2010) 73-78
- Denić, Lj., Veljković, N., Stojanović, Z., Čado, S., Dopuđa-Glišić, T., Ćurković, A., Novaković, B., Domanović, M. (2018) Status površinskih voda Srbije – Razvoj monitoringa u okviru planova upravljanja rečnim slivovima. Agencija za zaštitu životne sredine, Ministarstvo zaštite životne sredine. Energodata, Beograd.
- Elezović, N. (2016) Karakterizacija kvaliteta vode reke Ibar u funkciji procene stanja životne sredine (doktorska disertacija). Univerzitet u Nišu: Tehnološki fakultet, Leskovac.
- Elezović, N., Ilić Komatina, D., Dervišević, I., Ketin, S., Dašić, P., Analysis of SWQI Index of the River Ibar (Serbia), Fresenius Environmental Bulletin 27(4) (2018) 2505-2509
- Elezović, N., Takić, L., Živković, N., Jovanić, P., Assessment of ecological status of the river Ibar in the function of physico-chemical parameters. Facta Universitatis, Series: Working and Living Environmental Protection (2016) 311-317
- Grujić, N. (2023) Biološka procena kvaliteta srednjeg toka reke Ibar uz osvrt na stanje životne sredine u regionu Kosovske Mitrovice (master rad). Univerzitet u Novom Sadu: Prirodno-matematički fakultet, Novi Sad.
- Jovanović, D., Biševac, Lj., Dražević, Lj., Uticaj industrijskog kombinata „Trepča” Zvečan - metalurgije olova na životnu sredinu K. Mitrovice, Zvečana i okoline u 2006. godini. I Okrugli Sto – Zaštita Životne Sredine u Industrijskim Područjima, Kosovska Mitrovica. Zbornik radova (2007) 241–247
- Marinović, D., Savić, V., Stojanović, M., Popović, D., Nikolić-Vujačić, V., Nikolić, S., Kvalitet reke Ibar od Biljanovca do Kraljeva, Tehnika – kvalitet IMS, standardizacija i metrologija 15 (1) (2015) 188-194
- Marković, S., Ditrih, S., Pravna zaštita voda u Republici Srbiji, Pravo - teorija i praksa 35 (7-9) (2018) 15-28
- Milentićević, G., Nedeljković, B., Djokić, J., Assessment of the mining practices effects on the water quality in the Ibar river within the Leposavić municipality, Journal of the Geographical Institute “Jovan Cvijic”, SASA 60 (2010) 31-46
- Milentićević, G. (2005) Podzemne vode severnog dela Kosova i Metohije - iskorišćavanje i zaštita (doktorska disertacija). Univerzitet u Beogradu: Rudarsko-geološki fakultet, Beograd.
- Miletić, S., Bejtullahu, B., Bećiri, Š., Saprobiološko određivanje fito i zooplanktona recipienata Ibra i Sitnice. Simpozijuma o stanju, zaštiti i unapređenju čovekove sredine na teritoriji SAP Kosovo, Zvečan. Zbornik radova (1983) 351-361
- Milićević, Z., Marinović, D., Đokić, N., Božović, I., Spatial and time aspects of the analysis of pollutants in the river water and its sediments, Mining and Metallurgy Engineering Bor (2018) 89-96
- Milislavljević, S., Vuksanović, Z., Ilić, D., Praćenje i analiza koncentracije fenola u Ibru na području Kosovsko-mitrovačkog okruga, in: Zaštita Životne Sredine u Industrijskim Područjima, Kosovska Mitrovica Zbornik radova (2009) 361–365
- Minić, D., Todorović, A., Milentićević, G., Petković, D., Heavy metals in the river Ibar in Mitrovica, Voda i sanitarna tehnika 38 (5) (2008) 39-44

- Nedeljković, B., Milentijević, G., Estimation of endangerment of surface and ground waters of the Ibar's middle river basin as a result of RMHK 'Trepča' activity, *Podzemni radovi* 13 (15) (2006) 61-68
- Nikolić, S., Mojović, L., Vujačić, V., Milovanović, D., Causes of pollution and the quality of river Ibar in Raška municipality, *Vodoprivreda* 46 (2014) 179-785
- Papović, O., (1999) Sezonska dinamika obraštajnih algi u hidrohemijским uslovima Sitnice, pritoka i Ibra (Magistarski rad). Univerzitet u Prištini: Prirodno-matematički fakultet, Priština.
- Paunović, M., Simić, V., Simović, P., Simić, S., Petrović, A., Gačić, Z., Vranković, J., Vasiljević, B., Stefanović, K., Tomović, J., Đorđević, A. (2009) Primena bioloških elemenata u oceni ekološkog statusa. Izveštaj po ugovoru 2075 od 14.07.2009. Institut za biološka istraživanja „Siniša Stanković“, Beograd.
- Savić, A. (2012) Ekološka analiza zajednice makrozoobentosa reke Nišave (doktorska disertacija). Univerzitet u Beogradu: Biološki fakultet, Beograd.
- Službeni glasnik Republike Srbije 74/2011. Pravilnik o parametrima ekološkog i hemijskog statusa površinskih voda i parametrima hemijskog i kvantitativnog statusa podzemnih voda
- Stević, Lj., Bejtullahu, B., Kravčenko, A., Nikić, M., Mikić, M., Prikaz nekih pokazatelja stanja životne sredine Titove Mitrovice i okoline i njihov uticaj na zdravstveno stanje stanovništva. Simpozijum o stanju, zaštiti i unapređenju čovekove sredine na teritoriji SAP Kosovo, Zvečan. Zbornik radova (1983) 175–184
- Tubić, B., Zorić, K., Vasiljević, B., Tomović, J., Atanacković, A., Marković, V., Paunović, M., Saprobological Analyze of the Ibar River Based on Aquatic Macroinvertebrates. V International Scientific Conference on Water, Climate and Environment BALWOIS 2012, 28. maj-2. jun 2012 godine, Ohrid. Zbornik radova (2012) : <http://www.balwois.com>
- Vymazal, J., Constructed Wetlands for Wastewater Treatment, *Encyclopedia of Ecology* (2019) 14-21
- Žarković, D., Monitoring podzemnih i površinskih voda – EU standardi i sistem zaštite voda u Srbiji, *Evropske sveske* 7 (2018) 22-30
- Živić, N. (1998) Zajednica makrozoobentosa kao biološki indikator stanja sliva reke Sitnice (Doktorska disertacija). Univerzitet u Novom Sadu: Prirodno-matematički fakultet, Novi Sad.

# ODNOSI FUNKCIONALNIH HRANIDBENIH GRUPA MAKROZOOBENTOSA KAO POKAZATELJI EKOSISTEMSKIH OSOBENOSTI SREDNJEG TOKA REKE IBAR

Nikola Z. Grujić, Branko Miljanović

*Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno-matematički fakultet, Departman za biologiju i ekologiju, Trg Dositeja Obradovića 2, Novi Sad, Srbija,  
e-mail: grujic.n@outlook.com ORCID: 0000-0002-9531-2597  
e-mail: branko.miljanovic@bde.ns.ac.rs, ORCID: 0000-0003-0125-032X*

## REZIME

Analiza funkcionalnih hranidbenih grupa makrozoobentosa pokazuje osetljivost kako na hidrološke i biološke promene, tako i na one nastale antropogenim delovanjem. Odnosi pojedinih funkcionalnih hranidbenih grupa odražavaju određene ekosistemske parametre. Dobijeni rezultati ukazuju da srednji tok reke Ibar odstupa od trendova definisanih u konceptu rečnog kontinuuma i trofičkoj teoriji toka. Mogući razlozi su visok antropogeni uticaj i promenljivi rečni režim u srednjem toku.

KLJUČNE REČI: funkcionalne hranidbene grupe, Ibar, Kosovo i Metohija

## MACROZOOBENTHOS FUNCTIONAL FEEDING GROUPS RATIOS AS INDICATORS OF THE RIVER IBAR'S MIDDLE COURSE ECOSYSTEM CHARACTERISTICS

## ABSTRACT

The analysis of the functional feeding groups (FFG) of macrozoobenthos shows sensitivity both to hydrological and biological changes, as well as to those caused by anthropogenic action. Certain FFG ratios reflect certain ecosystem parameters. The obtained results indicate that the mean flow of the Ibar River deviates from the trends defined in the river continuum concept and the trophic flow theory. Possible reasons are high anthropogenic influence and a variable river regime in the middle course.

KEY WORDS: functional feeding groups (FFG), Ibar, Kosovo and Metohija

## UVOD

Akvatični makrobeskičmenjaci igraju važnu ulogu u mnogim ekološkim procesima u ekosistemima kojima pripadaju, a funkcija određenih grupa se može najbolje razumeti



posmatranjem njihovih aktivnosti i preferiranih resursa. Upotreba funkcionalnih hranidbenih grupa u klasifikaciji kvaliteta vode se zasniva na morfofobihevioralnim mehanizmima uzimanja hrane, što u odnosu na težu metodu proučavanja desetina i stotina taksona do nivoa vrsta, omogućava da se grupe taksona posmatraju kolektivno na osnovu načina na koji funkcionišu i koriste energiju u ekosistemu (Merrit & Cummins, 1996). U zavisnosti od dostupnosti resursa hrane varira i zastupljenost funkcionalnih grupa. U odnosu na mehanizme dobijanja hrane određuju se primarni izvori hrane, pa se tako sekači hrane grubim česticama organske materije (CPOM), sakupljači se hrane finim česticama organske materije (FPOM), strugači perifitonom, a predatori plenom. FFG (Functional feeding groups) oslikavaju trofičke gilde u ekosistemu (Georgian & Wallace, 1983; Hawkins & Macmahon, 1989; Savić, 2012). Analiza funkcionalnih trofičkih grupa makrozoobentosa pokazuje osetljivost kako na hidrološke i biološke promene u reci od gornjeg do donjeg toka, tako i na promene izazvane antropogenim delovanjem (Vannote i sar., 1980). Odnosi pojedinih funkcionalnih hranidbenih grupa makrozoobentosa odražavaju određene ekosistemske parametre (Merrit i sar., 2017).

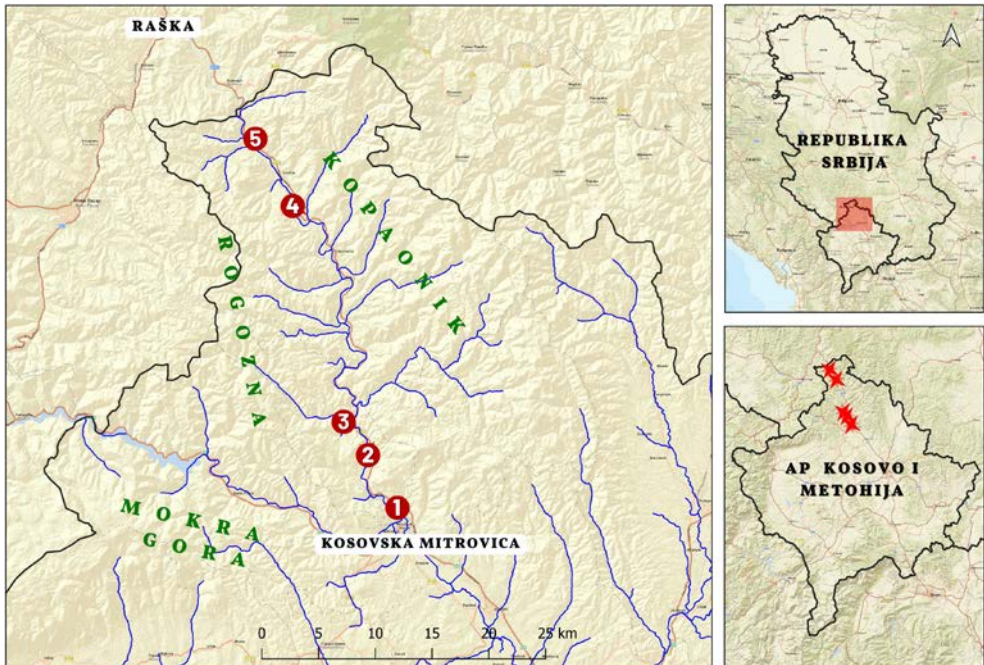
Sliv reke Ibar pripada Balkanskom poluostrvu, nalazeći se unutar granica Republike Srbije i Republike Crne Gore. U regionalnom pogledu, deo toka u Crnoj Gori pripada planinskom regionu, dok u Srbiji pripada Planinsko-kotlinsko-dolinskoj makroregiji, odnosno mezoregiji Jugozapadna Srbija. Gornjim tokom, Ibar kroz Srbiju teče subregijom Stari Vlah i Raška, dok donji i srednji tok pripadaju Ibarsko-kopaoničkoj subregiji (Pavlović, 2019). Posmatrajući reku Ibar od izvora do ušća u Zapadnu Moravu, uočavamo više biotopa i možemo reći da je Ibarska dolina po morfološkoj strukturi složena ili kompozitna (sastavljena od kotlina, klisura, kanjona i erozivnih proširenja), a po postanku je poligenetska (fluvijalno-kraška). Kroz teritoriju Autonomne pokrajine Kosovo i Metohija Ibar teče 104 km, sa slivom od 3966 km<sup>2</sup>, što je 48,7% od ukupne površine sliva Ibra i 38,2% od ukupne dužine toka (Elezović, 2016). Srednji tok reke Ibar obuhvata oko 72 km toka od ušća Sitnice u Ibar kod Kosovske Mitrovice do ušća reke Raške (Dukić, 1951). Važno je spomenuti da hidrografska mreža Ibarskog sliva, prolazeći kroz različite sastave stena, kao i zbog ogolelih terena, koji obuhvataju dobar deo okoline Kosovske Mitrovice, predstavlja ogromnu erozivnu energiju. Od reka ovog sliva, Ibar i Sitnica nose najveću količinu materijala koji se talože naročito u basenu Kosovske Mitrovice. Severno od Kosovske Mitrovice sliv Ibra je razvijen na serpentinitima i peridotitima (ibarski ultrabazični masiv) sa probojima eruptivnih stena (dacita i andezita) (Prodanović, 2007). Ogoleli predeli u dolini srednjeg Ibra posledica su paljenja šuma od strane Turaka u XIX veku kako bi predeo bio pregledniji. Ovo je bio period rušenja Osmanskog carstva kada nije bilo dovoljno ljudstva da spreči prodor ustanika dolinom Ibra.

Cilj ovog istraživanja bio je odrediti ekosistemske karakteristike srednjeg toka reke Ibar na osnovu odnosa funkcionalnih hranidbenih grupa makrozoobentosa.

## MATERIJALI I METODE

U periodu od oktobra 2022. do maja 2023. godine vršeno je hidrobiološko istraživanje srednjeg toka reke Ibar radi biološke procene kvaliteta vode. Svakog meseca su merene određene fizičko-hemijske karakteristike vode i uzorkovan je makrozoobentos sa ukupno 5 lokaliteta (Slika 1). Uzorkovanje makrozoobentosa vršeno je ručnom mrežom okvira

dimenzija 25x25 cm i promera okaca 500  $\mu\text{m}$ . Ram okvira postavljan je normalno na podlogu i protok vode. Nakon energičnog uznemiravanja podloge ispred mreže, mreža je povučena blago uzvodno i ka površini vode. Jedan uzorak sastojao se iz dva poduzorka (različita podloga i režim brzine). Uzorkovanje je po lokalitetu trajalo 1 minut, a vreme odvojeno na jedan poduzorak zavisilo je od zastupljenosti tog supstrata u odnosu na drugi na datom lokalitetu. Obično se jedan poduzorak uzimao sa supstrata gde dominiraju makrofite, a drugi sa šljunkovitog i kamenitog supstrata, izuzev lokaliteta „Valački Krš" gde je jedan poduzorak predstavljao mulj, a drugi makrofite. Identifikacija organizama izvršena je prema adekvatnim ključevima za identifikaciju u Laboratoriji za hidrobiologiju Departmana za biologiju i ekologiju Prirodno-matematičkog fakulteta Univerziteta u Novom Sadu.



Slika 1. Istraživano područje srednjeg toka reke Ibar (Lokaliteti: 1-Dudin Krš; 2-Valački Krš; 3-Balaban; 4-Donji Krnjini; 5-Ibarsko Postenje)

Figure 1. The investigated area of the middle course of the Ibar river (Localities: 1-Dudin Krš; 2-Valački Krš; 3-Balaban; 4-Donji Krnjini; 5-Ibarsko Postenje)

Prema podacima iz studije „Fauna Aquatica Austriaca" makroinvertebrate su klasifikovane na osnovu trofičnosti (Moog & Hartmann, 2017). Određeno je procentualno učešće taksona unutar funkcionalnih grupa sa definisanom preferencom za određeni tip mikrostaništa. Nakon utvrđivanja procentualnog udela trofičkih grupa unutar uzorka, razmatrani su odnosi između pojedinih grupa. Odnosi pojedinih funkcionalnih hranidbenih grupa odražavaju određene ekosistemske parametre (Tabela 1.).

Tabela 1. Funkcionalne hranidbene grupe kao indikatori ekosistemskih karakteristika (prema Merritt i sar. (2017) – modifikovano)

Table 1. Functional feeding groups as indicators of ecosystem characteristics (according to Merritt et al. (2017) - modified)

<b>EKOSISTEMSKI PARAMETAR</b>	<b>OZNAKA</b>	<b>ODNOS</b>	<b>OPŠTI KRITERIJUM</b>
Indeks ondosa autotrofije prema heterotrofiji, odnosno bruto primarna proizvodnja / respiracioni indeks zajednice	<b>AUTO / HETERO</b>	Strugači / (sekači + ukupni sakupljači)	Autotrofno >0,75
Indeks odnosa grubih čestica organske materije (CPOM) prema finim česticama organske materije (FPOM)	<b>CPOM / FPOM</b>	Sekači / ukupni sakupljači	Uobičajena asocijacija sekača vezana za funkcionalne riparijalne sisteme: jesen – zima >0,5; proleće – leto >0,25
Odnos finih čestica organske materije u transportu (suspendovane) (TFPOM) prema finim česticama organske materije u sedimentu (deponovane u bentosu) (BFPOM)	<b>TFPOM / BFPOM</b>	Sakupljači filtratori / sakupljači žeteoci	FPOM u transportu (u suspenziji) je veća nego normalno zasićenje ovim česticama u suspenziji >0,50
Stabilnost podloge (kanala) – kapacitet otpornosti rečnog kanala na odvajanje materijala koji čini supstrat dna i obale)	<b>STABLE CHANNEL</b>	(Strugači + sakupljači filtratori) / (sekači + sakupljači žeteoci)	Stabilni supstrati (stene, krupno kamenje, veliki delovi drveća) >0,50
Kontrola predatora odozgo na dole	<b>TOP - DOWN CONTROL</b>	Predatori / sve ostale grupe	Uobičajeni balans predator/plen 0,10-0,20

## REZULTATI

Rezultati udela funkcionalnih hranidbenih grupa ukazuju da se najveći deo makrozoobentosa srednjeg toka reke Ibar hrani finim česticama organske materije, te da je to glavni izvor hrane. U tabelama 2-6. predstavljeni su rezultati odnosa između funkcionalnih hranidbenih grupa u uzorcima makrozoobentosa srednjeg toka reke Ibar u periodu od oktobra 2022. do maja 2023. godine, po lokalitetima.

Tabela 2. Vrednosti ekosistemskih parametara na osnovu odnosa FFG makrozoobentosa - Lokalitet I - Dudin Krš (Kosovska Mitrovica) (oktobar 2022. - maj 2023.)

Table 2. Values of ecosystem parameters based on the ratio of FFG macrozoobenthos - Locality I - Dudin Krš (Kosovska Mitrovica) (October 2022 - May 2023)

PARAMETAR	Uzorak - mesec							
	okt	nov	dec	jan	feb	mar	apr	maj
AUTO/HETERO	0,41	0,64	0,40	0,31	0,32	0,38	0,46	0,62
CPOM/FPOM	0,34	0,53	0,22	0,20	0,35	0,38	0,28	0,32
TFPOM/BFPOM	0,34	0,16	1,25	0,47	0,34	0,34	0,40	0,27
STABLE CHANNEL	0,73	0,80	1,57	0,78	0,63	0,70	0,88	0,94
TOP-DOWN CONTROL	0,15	0,22	0,23	0,06	0,28	0,18	0,11	0,15

Tabela 3. Vrednosti ekosistemskih parametrov na osnovu odnosa FFG makrozoobentosa - Lokalizet II - Valački Krš (Zvečan) (oktobar 2022. - maj 2023.)

Table 3. Values of ecosystem parameters based on the ratio of FFG macrozoobenthos - Locality II - Valački Krš (Zvečan) (October 2022 - May 2023)

PARAMETAR	Uzorak - mesec							
	okt	nov	dec	jan	feb	mar	apr	maj
AUTO/HETERO	0,34	0,30	0,08	0,24	0,36	0,29	0,34	0,38
CPOM/FPOM	0,46	0,36	0,09	0,28	0,44	0,34	0,29	0,43
TFPOM/BFPOM	0,08	0,05	0,13	0,15	0,25	0,28	0,04	0,07
STABLE CHANNEL	0,41	0,35	0,21	0,38	0,58	0,54	0,38	0,45
TOP-DOWN CONTROL	0,05	0,08	0,12	1,10	0,14	0,35	0,92	0,23

Tabela 4. Vrednosti ekosistemskih parametrov na osnovu odnosa FFG makrozoobentosa - Lokalizet III - Balaban (Zvečan) (oktobar 2022. - maj 2023.)

Table 4. Values of ecosystem parameters based on the ratio of FFG macrozoobenthos - Locality III - Balaban (Zvečan) (October 2022 - May 2023)

PARAMETAR	Uzorak - mesec							
	okt	nov	dec	jan	feb	mar	apr	maj
AUTO/HETERO	0,42	0,34	0,37	0,25	0,23	0,25	0,38	0,28
CPOM/FPOM	0,58	0,40	0,39	0,10	0,14	0,19	0,44	0,32
TFPOM/BFPOM	0,04	0,27	0,11	1,87	0,10	0,50	0,23	0,36
STABLE CHANNEL	0,46	0,58	0,48	2,05	2,03	0,74	0,58	0,61
TOP-DOWN CONTROL	0,17	0,21	0,27	0,67	0,06	0,37	0,45	0,10

Tabela 5. Vrednosti ekosistemskih parametrov na osnovu odnosa FFG makrozoobentosa - Lokalizet IV - Donji Krnjin (Leposavić) (oktobar 2022. - maj 2023.)

Table 5. Values of ecosystem parameters based on the ratio of FFG macrozoobenthos - Locality IV - Donji Krnjin (Leposavić) (October 2022 - May 2023)

PARAMETAR	Uzorak - mesec							
	okt	nov	dec	jan	feb	mar	apr	maj
AUTO/HETERO	0,39	0,32	0,04	0,12	0,14	0,19	0,19	0,17
CPOM/FPOM	0,27	0,24	1,08	0,49	0,81	0,44	0,63	0,70
TFPOM/BFPOM	0,20	0,19	0,75	0,97	1,03	0,13	0,43	0,29
STABLE CHANNEL	0,61	0,52	0,31	0,67	0,58	0,29	0,56	0,35
TOP-DOWN CONTROL	0,90	0,08	0,15	0,03	0,06	0,07	0,06	0,05

Tabela 6. Vrednosti ekosistemskih parametrov na osnovu odnosa FFG makrozoobentosa - Lokalizet V - Ibarsko Postenje (oktobar 2022. - maj 2023.)

Table 6. Values of ecosystem parameters based on the ratio of FFG macrozoobenthos - Locality V - Ibarsko Postenje (October 2022 - May 2023)

PARAMETAR	Uzorak - mesec							
	okt	nov	dec	jan	feb	mar	apr	maj
AUTO/HETERO	0,12	0,20	0,24	0,09	0,07	0,14	0,19	0,44
CPOM/FPOM	0,15	0,65	0,09	1,12	0,61	0,60	0,45	0,37
TFPOM/BFPOM	0,06	0,16	0,74	0,42	0,26	0,04	0,53	0,28
STABLE CHANNEL	0,18	0,31	1,05	0,27	0,22	0,17	0,57	0,71
TOP-DOWN CONTROL	0,31	0,23	0,07	0,03	0,24	0,13	0,16	0,09

## DISKUSIJA

Pristup funkcionalnih hranidbenih grupa poznat je, sada već, pola veka i u ovom periodu je dodatno modifikovan (Savić i sar., 2017). Značajna modifikacija bilo je razvijanje indeksa trofičke potpunosti (Index of Trophic Completeness - ITC), koji daje klasifikaciju funkcionalnosti rečnog sistema zasnovan na trofičkoj klasifikaciji bentosnih makrobeskičmenjaka (Bij De Vaate & Pavluk, 2004). Kao zamena za indeks trofičke potpunosti za procenu ekološkog stanja slatkovodnih ekosistema široko se koriste odnosi hranidbenih funkcionalnih grupa kao pokazatelji atributa vodenog ekosistema (Merritt & Cummins, 2007; Savić i sar., 2017). Na osnovu odnosa strugača prema sekačima i ukupnim sakupljačima (parametar AUTO/HETERO – tabele 2-6.) ekosistem srednjeg toka reke Ibar u istraživanom periodu bio je heterotrofan. Ovo znači da je na svim lokalitetima i u svim istraživanim mesecima osnovni hranidbeni resurs u reci bio alohtoni detritus, koji je uglavnom poreklom iz priobalne zone. Ovakav rezultat se mogao predvideti, imajući u vidu da je uzorkovanje makrozoobentosa vršeno upravo u blizini riparijalne zone. Prosečno su heterofilnija staništa u donjem delu srednjeg toka reke Ibar, dok su vrednosti ovog parametra na početku srednjeg toka, na lokalitetu „Dudin Krš“ često bile blizu indikatorskih vrednosti autotrofnih staništa. Ovo se može objasniti samim položajem lokaliteta, odnosno ušća reke Sitnice koja donosi veliku vodu te ne dolazi do zadržavanja velikih količina detritusa.

Odnos sekača prema ukupnim sakupljačima (parametar CPOM/FPOM – tabele 2-6.) ukazuje na funkcionalnost obalskog (riparijalnog) sistema. Iz rezultata se može zaključiti da je stabilnost riparijalnog sistema srednjeg toka reke Ibar vrlo promenljiva. U prolećnom aspektu (april i maj) na svim lokalitetima zabeleženi su odnosi koji odgovaraju funkcionalnoj riparijalnoj zoni, kao i u martu. U jesenjem i zimskom periodu vrednosti su na lokalitetima nekad bile iznad, nekad ispod preporučenih za stabilnu riparijalnu zonu u ovom periodu godine. Ovo je posledica same prirode srednjeg toka i rečnog režima, obzirom da jesenji pljuskovi i mnogobrojne pritoke dovode do značajnih promena u vodostaju i proticaju. Ako se posmatra celokupni istraživani period, situacija je bila najstabilnija na lokalitetu „Donji Krnjin“, gde su tokom istraživanja bile najmanje promene na obalama.

Odnos sakupljača žetelaca prema sakupljačima filtratorima pokazuje odnos finih čestica organske materije u transportu (suspendovane) prema finim česticama organske materije u sedimentu (deponovane u bentosu) (parametar TFPOM/BFPOM – tabele 2-6.). Na većini lokaliteta i u najvećem broju slučajeva koncentracije finih čestica organske materije u transportu su bile manje od zasićenja ovim česticama u supstratu. Jedino na lokalitetu „Valački Krš“ koncentracije u transportu nisu premašile one u supstratu, što se može objasniti najmirnijom vodom u odnosu na druge lokalitete, ali i najvećom količinom vrlo stabilnog mulja.

Odnos strugača i sakupljača filtratora prema sekačima i sakupljačima žteocima opisuje stabilnost podloge (kanala), ukazujući na kapacitet otpornosti rečnog kanala na odvajanje materijala koji čini supstrat dna i obale (Merritt i sar., 2017). Ukoliko je podloga stabilna (postojana), makrobeskičmenjaci koji se drže površine čvrstih supstrata (npr. kamen, drveće i drugi materijali) će biti brojniji (Cummins i sar., 2005). Rezultati ovog istraživanja pokazuju da je podloga srednjeg toka reke Ibar relativno stabilna (parametar STABLE

CHANNEL – tabele 2-6.). Konstantno stabilna podloga bila je na lokalitetima „Dudin Krš“ i „Balaban“ (sa beznačajnim odstupanjem u oktobru i decembru na lokalitetu III). Ovakav rezultat je bio očekivan na osnovu zapažanja sa terena. Značajno visoke vrednosti (veće od 2) na lokalitetu „Balaban“ u januaru i februaru su direktno povezane sa izmenjenim koritom reke nakon poplava, gde je obala skraćena za više od 10 metara nanosima šljunka i peska. U najvećem broju slučajeva je podloga na lokalitetu „Ibarsko Postenje“ bila najnestabilnija (najniže vrednosti odnosa). Međutim, supstrat na lokalitetu „Valački Krš“ je najveći broj puta bio nestabilan (6). Ako se vrednosti odnosa u februaru i martu posmatraju kao statističke greške, jer su neznatno iznad preporučenog praga vrednosti, onda je na ovom lokalitetu konstantno nestabilan supstrat, što je u korelaciji sa zapažanjima o količini mulja na ovom lokalitetu. Odnos predatora i ostalih funkcionalnih hranidbenih grupa makrozoobentosa ukazuje na postojanje kontrole odozgo na dole (Merritt i sar., 2017). Da bi u staništu postojala ravnoteža, odnosno balans između predatora i plena, vrednost odnosa predator-plen mora da bude između 0,10 i 0,20 (Masese i sar., 2014).

Rezultati odnosa predatora prema plenu u makrozoobentosu srednjeg toka reke Ibar pokazuju da u svim analiziranim mesecima u delu toka postoji kontrola predatora odozgo na dole, a u delu ne (parametar TOP-DOWN CONTROL– tabele 2-6.). Oktobarski uzorak je pokazao da je u gornjem delu srednjeg toka postojala kontrola predatora, dok u donjem delu nije. Međutim, u svim kasnijim uzorcima je kontrola postojala u donjem delu, na lokalitetima „Donji Krnjini“ i „Ibarsko Postenje“, ali je bila znatno promenljiva na lokalitetima „Valački Krš“ (gde je u januaru odnos bio čak 1,10) i „Balaban“. Najstabilniji lokalitet, u smislu kontrole predatora odozgo na dole, bio je lokalitet „Dudin Krš“.

Koncept rečnog kontinuuma (river continuum concept – RCC) sugerise da se fizičke karakteristike rečnog sistema od izvora ka ušću menjaju kontinuiranim gradijentom (Vannote i sar., 1980). Ove fizičke karakteristike uključuju širinu, dubinu, brzinu i zapreminu protoka, temperaturu i povećanje entropije. Pretpostavka je da u razvoju biološkog analoga fizičkom sistemu, biološka organizacija u rekama strukturno i funkcionalno je u skladu sa obrascima kinetičke disipacije energije fizičkog sistema. Trofička teorija toka i RCC objašnjavaju da bi obilje funkcionalnih hranidbenih grupa trebalo da se menja sezonski, prvenstveno kao odgovor na povećanu dostupnost organske materije (Cummins & Klug, 1979). Na osnovu rezultata istraživanja, ustanovljeni trendovi u srednjem toku reke Ibar odstupaju od trofičke teorije toka i koncepta rečnog kontinuuma. Ovakvo stanje je u korelaciji sa registrovanim stanjem u reci Nišavi (Savić i sar., 2017). U slučaju Nišave, kao moguće objašnjenje navode se mali rasponi fizičkih karakteristika toka između sektora toka i narušavanje vegetacije. U slučaju srednjeg toka reke Ibar, mogući razlozi su visok antropogeni uticaj i promenljivi rečni režim.

## ZAKLJUČAK

Na osnovu funkcionalnih hranidbenih grupa makrozoobentosa doneti su zaključci o ekosistemskim karakteristikama srednjeg toka reke Ibar. U analiziranom periodu je ekosistem srednjeg toka bio heterotrofan. Prosečno su heterofilnija staništa bila u donjem delu srednjeg toka, dok je sam početak srednjeg toka često vrlo blizu autotrofije. Kao posledica prirode srednjeg toka i rečnog režima, riparijalna zona je prema najvećem broju uzoraka okarakterisana kao relativno nestabilna. U najvećem delu srednjeg toka je tokom

istraživanog perioda koncentracija finih čestica organske materije u transportu bila manja od zasićenja ovim česticama u supstratu. Najveća stabilnost supstrata potvrđena je na lokalitetima „Dudin Krš“ i „Balaban“, a podloga na lokalitetu „Valački Krš“ je bila najestabilnija. Kontrola predatora odozgo na dole je relativna pojava u srednjem toku reke Ibar. Dobijeni rezultati ukazuju da srednji tok reke Ibar odstupa od trendova definisanih u konceptu rečnog kontinuuma i trofičkoj teoriji toka. Mogući razlozi su visok antropogeni uticaj i promenljivi rečni režim.

#### LITERATURA:

- Bij De Vaate, A., Pavluk, T. I., Practicability of the Index of Trophic Completeness for running waters, *Hydrobiologia* 519 (2004) 49–60
- Cummins, K. W., Klug, M. J., Feeding Ecology of Stream Invertebrates, *Annu Rev Ecol Syst* 10 (1979) 147–172
- Cummins, K. W., Merritt, R. W., Andrade, P. C. N., The use of invertebrate functional groups to characterize ecosystem attributes in selected streams and rivers in south Brazil, *Stud Neotrop Fauna Environ* 40 (2005) 69–89
- Dukić, D., Gustina realne mreže u slivu Ibra i režim Ibra, *Zbornik radova Geografskog instituta SANU*, 8 (1) (1951) 37–84
- Elezović, N. (2016) Karakterizacija kvaliteta vode reke Ibar u funkciji procene stanja životne sredine (doktorska disertacija). Univerzitet u Nišu: Tehnološki fakultet, Leskovac.
- Georgian, T., Wallace, J.B., Seasonal Production Dynamics in a Guild of Periphyton-Grazing Insects in a Southern Appalachian Stream, *Ecology* 64 (1983) 1236–1248
- Hawkins, C.P., Macmahon, J.A., Guilds: The Multiple Meanings of a Concept, *Annu Rev Entomol* 34 (1989) 423–451
- Masese, F. O., Kitaka, N., Kipkemboi, J., Gettel, G. M., Irvine, K., McClain, M. E., 2014. Macroinvertebrate functional feeding groups in Kenyan highland streams: Evidence for a diverse shredder guild, *Freshwater Science* 33 (2014) 435–450
- Merritt, R.W., Cummins, K.W. (Eds.) (1996) *An introduction to the Aquatic Insects of North America*, 3rd ed. Kendall/Hunt Publ. Co., Dubuque.
- Merritt, R. W., Cummins, K. W. (2007) *Trophic Relationships of Macroinvertebrates*, u: Hauer, F.R., Lamberti, G.A. (Eds.), *Methods in Stream Ecology (Second Edition)*. Academic Press, San Diego, 585–601.
- Merritt, R. W., Cummins, K. W., Berg, M. B., *Trophic Relationships of Macroinvertebrates. Methods in Stream Ecology: Third Edition* 1 (2017) 413–433
- Moog, O., Hartmann, A. (2017) *Fauna Aquatica Austriaca*, 3rd edition. ed. BMLFUW, Wien.
- Pavlović, M. (2019) *Geografske regije Srbije 2*. Geografski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd.
- Prodanović, D. (2007) *Serpentinska flora kosovskog dela Ibarske doline (doktorska disertacija)*. Univerzitet u Prištini: Prirodno-matematički fakultet, Kosovska Mitrovica.
- Savić, A. (2012) *Ekološka analiza zajednice makrozoobentosa reke Nišave (doktorska disertacija)*. Univerzitet u Beogradu: Biološki fakultet, Beograd.
- Savić, A., Dorđević, M., Jušković, M., Pešić, V., Ecological analysis of macroinvertebrate communities based on functional feeding groups: a case study in southeastern Serbia, *Biologica Nyssana* 8 (2017) 159–166
- Vannote, R. L., Minshall, G. W., Cummins, K. W., Sedell, J. R., Cushing, C. E., The River Continuum Concept, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 37 (1980) 130–137

## DIVERZITET VODENIH MAKROBESKIČMENJAKA REKE RIBNICE (SLIV KOLUBARE)

Bojana Tubić\*, Nataša Popović\*, Ana Atanacković\*,  
Katarina Zorić\*, Jelena Tomović\*, Momir Paunović\*,  
Nikola Marinković\*

\* *Odeljenje za hidroekologiju i zaštitu voda, Institut za biološka istraživanja „Siniša Stanković” - Institut od nacionalnog značaja za Republiku Srbiju, Univerzitet u Beogradu, Bulevar despota Stefana 142, 11108 Beograd, Srbija, bojana@ibiss.bg.ac.rs, ORCID: 0000-0003-2050-177X  
nataša.popovic@ibiss.bg.ac.rs, ORCID: 0000-0001-6136-7867  
adjordjevic@ibiss.bg.ac.rs, ORCID: 0000-0003-3991-1058  
katarinas@ibiss.bg.ac.rs, ORCID: 0000-0002-4575-2375  
jelena.tomovic@ibiss.bg.ac.rs, ORCID: 0000-0001-6359-0683  
mpaunovi@ibiss.bg.ac.rs, ORCID: 0000-0002-6432-1191  
nikola.marinkovic@ibiss.bg.ac.rs, ORCID: 0000-0002-0360-5393*

### REZIME

Cilj istraživanja zajednice vodenih makrobescikmenjaka reke Ribnice je stvaranje polazne osnove za procenu uticaja na diverzitet pomenute zajednice i propisivanja mera zaštite prilikom izgradnje brane „Struganik”. Materijal je prikupljan tokom 2019. i 2022. godine. na sedam lokaliteta. Zajednica vodenih makrobescikmenjaka sa dominacijom insekatskih grupa je tipična i odražava očuvanost staništa ispitivane reke. Zabeležen je ukupno 121 takson iz 12 taksonomskih grupa. Zabeležene su četiri vrste zaštićene nacionalnim i/ili međunarodnim zakonodavstvom. Izgradnja brane mogla bi dovesti do promena staništa, ali ne bi značajno uticala na populaciju zaštićenih vrsta, jer bi se one preselile u uzvodne delove reke i pritoke,

KLJUČNE REČI: vodeni makrobescikmenjaci, diverzitet, Ribnica, zaštićene vrste.

## AQUATIC MACROINVERTEBRATE DIVERSITY OF RIBNICA RIVER (THE KOLUBARA BASIN)

### ABSTRACT

The aim of the study of the aquatic macroinvertebrate community of the Ribnica River is to provide a starting point for assessing the impact on the diversity of the community and defining protective measures during the construction of the "Struganik" dam on the Ribnica River. The material was collected in seven sites in 2019 and 2022. Macroinvertebrates community with a dominance of insect groups, is typical and reflects the preserved habitats of the studied river. A total of 121 taxa from 12 taxonomic groups were recorded. Four



species protected by national and/or international legislation were recorded. The dam construction could lead to habitat changes, but would not significantly affect the population of protected species as they would move to the upstream parts of the river and tributaries.

KEY WORDS: aquatic macroinvertebrates, diversity, Ribnica River, protected species.

## UVOD

Region valjevskih planina karakterišu raznovrsne geološke i biološke karakteristike. Valjevske planine su bogate vodom, površinskom i podzemnom. Najveći vodotok u severnom delu regiona je reka Kolubara, sa svojim glavnim pritokama Gradcem, Ribnicom i Ljigom. Sa južnih padina ovih planina teku reke Skrapež, Kamenica, Čemernica i Dičina. Reka Ribnica je deo valjevske kraške zone. Klisura reke Ribnice nalazi se na prelazu iz planinskih u brdsko-planinske predele, između sela Brežde i Paštrića, u dužini od 10 km sa padinama visine do 200 m.

Analiza zajednica vodenih makrobescičmenjaka pruža značajan uvid u stanje slatkovodnih ekosistema. Istraživanje zajednice vodenih makrobescičmenjaka reke Ribnice imalo je za cilj stvaranje polazne osnove za procenu potencijalnog uticaja na diverzitet pomenute zajednice kao i propisivanja mera zaštite prilikom izgradnje brane „Struganik” na reci Ribnici.

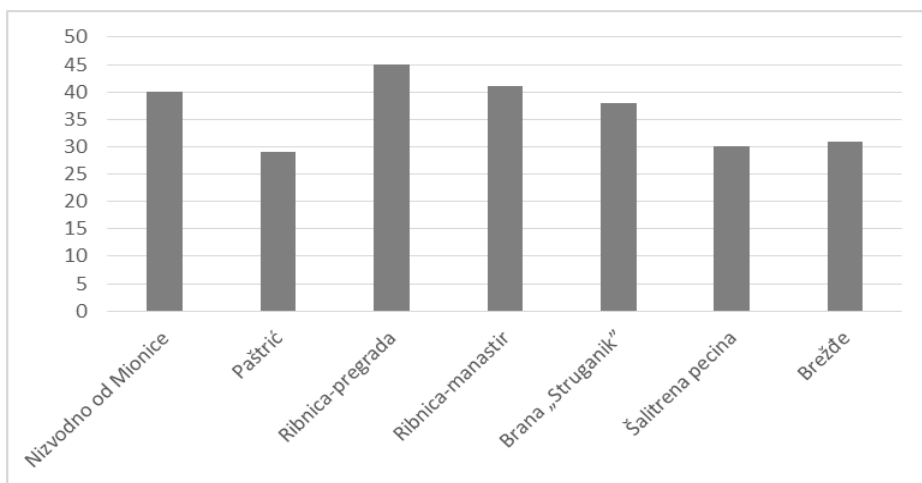
Terenska istraživanja su realizovana tokom 2019. godine i dopunjena tokom 2022. Prikupljanje materijala obavljeno je na sedam lokaliteta ručnom bentološkom mrežom, *Kick & Sweep* metodom, sa svih dostupnih staništa prema evropskom standardu EN 27828: 1994. Sortiranje i identifikacija organizama izvršena je do najnižeg mogućeg taksonomskog nivoa uz korišćenje adekvatnih ključeva za determinaciju organizama. Za analizu zajednice korišćen je softverski paket ASTERICS 4.04 (AQEM 2002). Saprobnost je procenjena korišćenjem bioindikatorskih lista organizama koje je dao Moog (2002).

## ANALIZA ZAJEDNICE VODENIH MAKROBESKIČMENJAKA RIBNICE

Na sedam ispitivanih lokaliteta na reci Ribnici zabeležen je ukupno 121 takson iz 12 taksonomskih grupa.

Predstavnici grupe Insecta su, očekivano, najzastupljeniji na svim ispitivanim lokalitetima. Grupa Diptera bila je najraznovrsnija sa 42 zabeležena taksona. Više od polovine zabeleženih taksona ove grupe (27) pripada familiji Chironomidae. Veliki broja taksona zabeležen je takođe u okviru grupa Ephemeroptera (20) i Trichoptera (18). Diverzitet ostalih insekatskih grupa makrobescičmenjaka bio je slabiji: Coleoptera 6 taksona, Odonata 4 taksona i Plecoptera, 3 taksona. Među ostalim zabeleženim grupama makrobescičmenjaka, grupa Oligochaeta bila je najraznovrsnija (13 taksona) dok je sedam taksona zabeleženo u okviru grupe Gastropoda, tri u okviru grupe Crustacea i dva u okviru grupe Hirudinea. Tri grupe zabeleženih makrobescičmenjaka je bilo zastupljeno sa samo jednom vrstom (Nematoda, Hidrachnidia, Colembola).

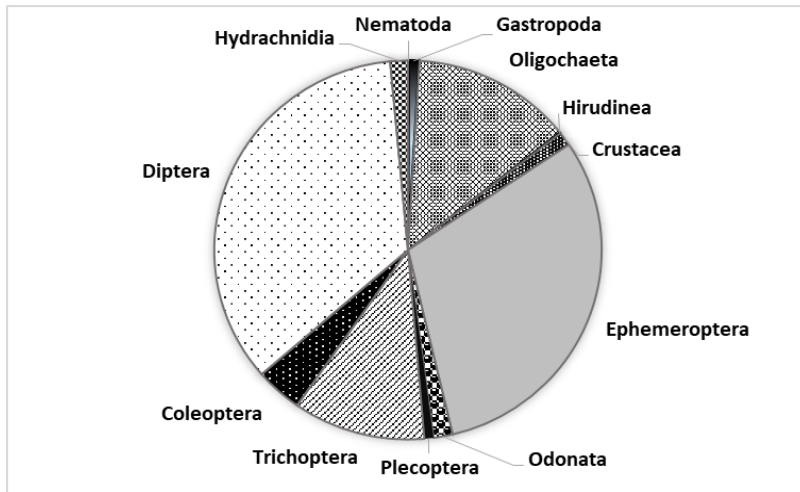
Najveći broj taksona (45) zabeležen je na lokalitetu Ribnica-pregrada nizvodno od buduće brane „Struganik”, dok je najmanji broj taksona (29) zabeležen na lokalitetu Paštrić. Značajno bogatstvo taksona bilo je i na lokalitetima Ribnica-manastir (41), Nizvodno od Mionice (40) kao i na lokalitetu „Brana Struganik” (38), dok je nešto manji broj taksona zabeležen na lokalitetima Brežde (31) i Šalitrena pećina (30). Broj zabeleženih taksona po lokalitetima prikazan na Slici 1.



Slika 1. Broj zabeleženih taksona po lokalitetima  
Figure 1. Number of taxa per sampling sites

Predstavnici insektskih grupa su bili procentualno najdominantnija u zabeleženoj zajednici (84,33%). Među njima su grupe Diptera (34,87%) i Ephemeroptera (30,66) imale najznačajnije procentualno učešće u zajednici, kao i Trichoptera (11,05). Značajno procentualno učešće u zajednici imala je grupa Oligochaeta (13,36%), dok su ostale zabeležene grupe bile prisutne sa manje od 5% u ukupnoj zajednici (Slika 2). Predstavnici *Nais barbata* Müller, 1774, rod *Corynoneura* sp. i *Microtendipes pedellus* gr. bili su najabundantniji i sva tri taksona su zabeležena na lokalitetu Šalitrena pećina.

Većina zabeleženih vrsta na istraživanom području se može smatrati osetljivim na organsko zagađenje. Prema ekološkoj klasifikaciji taksona u odnosu na saprobnost prema Moog (2002), 32,61% vrsta bilo tolerantno na umereno organsko zagađenje (beta-mezosaprobnost). Oligosaprobnosti pripada 11,63% identifikovanih vrsta (vrste tolerantne na niski stepen organskog zagađenja), 15,63% taksona pripada alfa-mezosaprobnosti organizama koja je tolerantna na viši stepen organskog zagađenja, dok 1,23% pripada ksenosaprobnosti organizama (vrste tolerantne na najniži stepen organskog zagađenja). Neznan broj zabeleženih vrsta (0,28%) toleriše visok stepen organskog zagađenja (polisaprobne vrste). Za ostatak zajednice (38,62%) nema podataka na osnovu kojih bi se klasifikovali u pogledu saprobne tolerancije.



Slika 2. Procentualno učešće zabeleženih grupa vodenih makrobeskičmenjaka u ukupnoj zajednici  
 Figure 2. Percentage participation of recorded aquatic macroinvertebrates groups in the total community

Prema preferencama taksona u okviru rečnog kontinuma (longitudinalna zonalnost), 33,04% zabeleženih taksona bili su tipični za gornje tokove reke (ritral – epi-, meta-, hiporitral), dok 21,67% taksona u okviru zabeležene zajednice čine taksoni potamalnog tipa-zone (epi-, meta- i hipopotamal-donji tokovi reke). Manje procentualno učešće (4,51%) čine taksoni koji preferiraju krenalni tip-zonu (krenal i hipokrenal- izvorište reke). Sličan obrazac distribucije zabeleženih taksona utvrđen je na svakom lokalitetu. Za ostatak zajednice (32,86%) nema podataka na osnovu kojih bi se klasifikovali u odnosu na longitudinalnu zonalnost.

Zabeleženu zajednicu karakteriše dominacija taksona reofilnog tipa, koji se javljaju u potocima, preferirajući zone sa umerenom do jakom strujom (Tip RP–34,46% od ukupnog broja zabeleženih taksona). Indiferentni taksoni (Tip IN) koji nemaju preferencu prema određenoj brzini vodene struje čine 13,46% ukupne zajednice. Slede vrste okarakterisane kao reobionti, koji se obično nalaze u potocima, vezane za zone sa jakom strujom (Tip RB, 7,67%), reo-limnofilni taksoni, koji preferiraju sporotekuće potoke i lentičke zone (Tip RL– 5,05%) i limno-reofilne vrste (Tip LR) sa 5,19 % procentualno učešće. Vrste okarakterisane kao limnofilne, koje se nalaze uglavnom u stajaćim vodama, izbegava struju, a retko biraju spore tokove (Tip LP) i limnobionti, koji se javljaju samo u stajaćim vodama (Tip LB) zastupljene su sa manje od 3% u zajednici. Zbog nedostatka relevantnih podataka 31,81% taksona nije moglo biti klasifikovano u odnosu na trenutnu preferenciju jačine vodene struje.

Struktura zajednice u pogledu adaptacije na različite tipove staništa pokazala je da su najzastupljeniji bili fitofilni taksoni (fital: alge, mahovine i makrofiti, uključujući i delove kopnenih biljaka, 22,71%). Značajan je procentualni udeo taksona, koji preferiraju krupni šljunak, kamenje i stene (lital-veličina zrna >2 cm) činio je 19,57% ukupne zajednice.

Zabeleženo je prisustvo 15,39% organizama koji preferiraju mekani supstrat (mulj, glinu, ilovaču i sitan pesakl-pelal, argilal i psamal) Preferenca taksona za podlogu koju čini šljunak, sitan do srednje veličine (akal) zabeleženo je kod 5,31% ukupne zajednice, dok 4,25% taksona preferira druge vrste podloga. Za 29,04% taksona nema podataka o preferenci za mikrostanište.

Prema načinu ishrane u ispitivanoj zajednici zabeležene su sledeće grupe: sakupljači/kolektori su bili dominantna grupa i činili su 37,1% zajednice. Brojni su bili i strugači (24,04%). Procenat predatora u okviru zajednice iznosi 11,09%, a filtratora (aktivnih i pasivnih) 6,97%. Manji procentualni udeo u zajednici imali su sekači (2,3%). Ostale vrste koje se hrane na druge načine zastupljene su sa manje od 1% u zajednici. Fauna makrobeskičmenjaka zabeležena u reci Ribnici smatra se autohtonom za Srbiju/Balkansko poluostrvo. Tokom naših istraživanja nije zabeležen ni jedan takson koji se smatra alohtonim ili invazivnim.

Prisustvo potočnog raka (*Austropotamobius torrentium* (Schrank, 1803)) zabeleženo je na lokalitetu Šalitrena pećina. Vrsta je strogo zaštićena prema Pravilniku o određivanju i zaštiti zaštićenih i strogo zaštićenih divljih vrsta biljaka, životinja i gljiva (Službeni glasnik RS, br. 5/2010 i 47/2011), a navedena je u Dodatku III Bernske konvencije i Aneksima II i V Direktive o staništima (92/43/EEC).

Balkanski zlatni vilin konjic (*Cordulegaster heros* Theischinger, 1979) je vrsta zaštićena nacionalnim i međunarodnim zakonodavstvom (Službeni glasnik RS, br. 5/2010 i 47/2011, Aneksi II i IV direktive o staništima (EU)). Larve ove vrste zabeležene su na lokalitetu Brežde.

Na lokalitetu Brana „Struganik” zabeležene su tri larve kamenjarke *Taeniopteryx hubaulti* (Linnaeus, 1758). Ova vrsta je strogo zaštićena Pravilnikom o određivanju i zaštiti zaštićenih i strogo zaštićenih divljih vrsta biljaka, životinja i gljiva (Službeni glasnik RS, br. 5/2010 i 47/2011).

Na lokalitetu Nizvodno od Mionice detektovane su larve tuluraša *Hydropsyche fulvipes* (Curtis, 1834). Ova vrsta je zaštićena nacionalnim zakonodavstvom Republike Srbije (Službeni glasnik RS, br. 5/2010 i 47/2011).

## ZAKLJUČAK

Bogata i raznovrsna zajednica vodenih makrobeskičmenjaka sa dominacijom insekatske komponente, zabeležena na ispitivanim lokalitetima na reci Ribnici, očekivana je i tipična za ispitivani tip vodotoka, nadmorska visina do 500 m, sa dominacijom krupne podloge, i odražava očuvana staništa ovog vodotoka. Dobijeni rezultati predstavljaju dobru polaznu osnovu za procenu potencijalnog uticaja izgradnje brane „Struganik” na Ribnici i preduzimanje adekvatnih mera zaštite i očuvanja diverziteta vodenih makrobeskičmenjaka ovog područja. Tokom istraživanja utvrđeno je prisustvo četiri vrste koje su zaštićene

nacionalnim i/ili međunarodnim zakonodavstvom. Svaka od vrsta je zabeležena samo na po jednom lokalitetu.

Treba istaći trendove smanjenja populacija, naročito zaštićenih vrsta, u većini zemalja sa dovoljno podataka, prouzrokovanih antropogenim aktivnostima. Aktivnosti tokom izgradnje brane mogle bi prouzrokovati gubitak delova staništa na ispitivanoj reci i dovesti do promena u brzini toka i vodostaju, ali ne bi trebalo značajno da utiču na populaciju zaštićenih vrsta, jer bi se u slučaju izgradnje brane, pomenute vrste preselile u uzvodne delove reke i njene pritoke, gde bi stanište ostalo nepromenjeno.

### Zahvalnica

Ovaj rad je finansiran od strane Ministarstvom nauke, tehnološkog razvoja i inovacija Republike Srbije, Ugovor br. 451-03-47/2023-01/200007, Ministarstva poljoprivrede, šumarstva i vodoprivrede Republike Srbije – Republička direkcija za vode po osnovu ugovora br. 04-02-269/2019-07 od 14.11.2019. i od strane Planet WBIF-IPF10 Consortium po osnovu ugovora br. 01-2355 od 11.11.2022. godine.

### LITERATURA:

- AQEM (2002). Manual for the application of the AQEM system: A comprehensive method to assess European streams using benthic macroinvertebrates, developed for the purpose of the Water Framework Directive. Contract No: EVK1-CT1999- 00027.
- EN 27828: 1994. Water quality - Methods of biological sampling; Guidance on handnet sampling of aquatic benthic macro-invertebrates - ISO 7828:1985
- Füreder, L., Gherardi, F., Souty-Grosset, C. (2010). Austropotamobius torrentium. The IUCN Red List of Threatened Species 2010: e.T2431A9439449.
- Moog O. (2002) Fauna Aquatica Austriaca. Edition 2002. Wasserwirtschaftskataster, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft.
- Službeni glasnik Republike Srbije. Pravilnik o proglašenju i zaštiti strogo zaštićenih i zaštićenih divljih vrsta biljaka, životinja i gljiva, 5/2010, 47/2011, 32/2016 i 98/2016.
- Direktiva o očuvanju prirodnih staništa i divljih biljnih i životinjskih vrsta (1992). Direktiva o staništima, 92/43/EEC, Aneksi II, IV, V. Savet Evrope, Brisel, Belgija.
- Konvencija o zaštiti evropske divlje flore i faune i prirodnih staništa (1979). Bernska konvencija, Dodatak III. Savet Evrope, Bern, Švajcarska.

## EKOLOŠKI STATUS LUDAŠKOG JEZERA NA OSNOVU ZAJEDNICE SILIKATNIH ALGI

Olga Jakovljević\*, Dragana Predojević\*\*

\* *Univerzitet u Beogradu, Biološki fakultet, Institut za botaniku i Botanička bašta „Jevremovac“, Takovska 43, 11000 Beograd, Srbija, email: olga.jakovljevic@bio.bg.ac.rs, ORCID: 0000-0002-3079-8602*

\*\* *Univerzitet u Beogradu, Biološki fakultet, Institut za botaniku i Botanička bašta „Jevremovac“, Takovska 43, 11000 Beograd, Srbija, email: d.predojevic@bio.bg.ac.rs, ORCID: 0000-0003-4939-6969*

### REZIME

Cilj rada je procena ekološkog statusa Ludaškog jezera na osnovu zajednice silikatnih algi. U tu svrhu se uzimaju u obzir vrednosti dijatomnih indeksa, za čije izračunavanje je neophodna kvalitativna i kvantitativna analiza zajednice silikatnih algi. Prema zakonskim aktima Republike Srbije, za jezera se uzimaju u obzir vrednosti IPS dijatomnog indeksa. U uzorcima, prikupljenim od maja do septembra 2022. godine, ukupno je identifikovano 68 taksona silikatnih algi (*Bacillariophyceae*). Vrednosti IPS indeksa ukazuju na različit ekološki status Ludaškog jezera u zavisnosti od meseca i lokaliteta uzorkovanja.

KLJUČNE REČI: kvalitet vode, *Bacillariophyceae*, fitobentos, Ludaš

## ECOLOGICAL STATUS OF LAKE LUDAŠ BASED ON THE DIATOM COMMUNITY

### ABSTRACT

The aim of the study is to assess the ecological status of Lake Ludaš based on the diatom community. For this purpose, the values of the diatom indices are used, for the calculation of which a qualitative and quantitative analysis of the diatom community is required. According to the national regulations of the Republic of Serbia, the IPS diatom index values for lakes are taken into account. A total of 68 diatom taxa (*Bacillariophyceae*) were identified in the samples collected from May to September 2022. The IPS index values indicate to different ecological status of Lake Ludaš depending on the month and sampling site.

KEY WORDS: water quality, *Bacillariophyceae*, phytobenthos, Ludaš Lake

## UVOD

Značaj silikatnih algi u bioindikaciji kvaliteta površinskih voda je prepoznat još početkom 20. veka. Izuzetno su osetljive na promene uslova u životnoj sredini, imaju kratak životni ciklus, mogu se naći na različitim podlogama, u svim tipovima vodenih ekosistema. Dobri su indikatori antropogenih uticaja u vodenim ekosistemima, kao što je organsko zagađenje, eutrofikacija i acidifikacija (Costa i Schneck, 2022). U tu svrhu su kreirani različiti indeksi – dijatomni indeksi, koji su našli primenu u monitoringu vodenih ekosistema širom sveta. Neki od njih su se pokazali veoma korisnim u različitim delovima sveta, npr. TDI (Trophic Diatom Index) (Kelly i Whitton, 1995), koji ukazuje na količinu nutrijenata u određenom vodnom telu, dok su neki lokalnog značaja, npr. IDP (Pampean Diatom Index) (Gòmez i Licursi, 2001). Iako se stotine vrsta smatraju indikatorima različitih vrsta uticaja širom sveta, postoji potreba da se sumiraju znanja o indikatorskim vrstama, kao i trendovi i praznine u studijama koje koriste bentosne silikatne alge za procenu ekološkog statusa vodenih ekosistema. Ludaško jezero je jedno od malobrojnih očuvanih stepskih jezera Panonske regije i jedini predstavnik plitkih, semistatičnih jezera stepske oblasti u našoj zemlji. Zaštićeno je kao prirodno dobro (Specijalni rezervat prirode „Ludaško jezero“) od izuzetnog značaja za Republiku Srbiju (<https://pzzp.rs/zastita-prirode/podrucja-od-medunarodnog-znacaja/srp-ludasko-jezero.html>).

Cilj istraživanja silikatnih algi Ludaškog jezera tokom tri sezone 2022. godine je procena ekološkog statusa vode jezera na osnovu vrednosti dijatomnih indeksa, kao i analiza zajednice silikatnih algi. Takođe je izvršena procena na osnovu nacionalnih akata Republike Srbije uzimajući u obzir jednu komponentu parametra fitobentosa – IPS dijatomni indeks.

## MATERIJAL I METODE

Uzorci epifitskih silikatnih algi su sakupljeni u maju, julu i septembru 2022. godine sa tri lokaliteta prema standardu SRPS EN 13946 (2015), a potom su fiksirani formaldehidom do konačne koncentracije od 4%. Dobremljeni uzorci su podvrgnuti laboratorijskoj obradi u prostorijama Katedre za algologiju i mikologiju Biološkog fakulteta Univerziteta u Beogradu primenom metode sa vrućom kiselinom (HCl) u cilju pripreme trajnih preparata silikatnih algi neophodnih za identifikaciju do nivoa vrste (SRPS EN 13946, 2015). Kvalitativna i kvantitativna analiza su urađene korišćenjem svetlosnog mikroskopa Carl Zeiss AxioImagerM.1 sa kamerom AxioCam MRc5, i to kvalitativna je urađena do nivoa vrste korišćenjem odgovarajuće taksonomske literature (Krammer i Lange-Bertalot, 1986, 1988, 2004, 2011; Lange-Bertalot, 2001; Levkov i sar., 2016; Lange-Bertalot i sar., 2017), a kvantitativna određivanjem relativne brojnosti zabeleženih taksona na osnovu 400 valvi silikatnih algi na svakom preparatu. Vrednosti dijatomnih indeksa su dobijene na osnovu podataka dobijenih analizom zajednice silikatnih algi i programa OMNIDIA (Lecoite i sar., 1993). Ekološki status Ludaškog jezera na osnovu fitobentosa je određen na osnovu granica klasa datim u Prigyel i Coste (2000), kao i na osnovu Pravilnika Republike Srbije (Službeni glasnik RS br. 74/2011) uzimajući u obzir jedan parametar – IPS indeks.

## REZULTATI I DISKUSIJA

Ukupno je identificirano 68 taksona silikatnih algi. Rodovi koji su se izdvojili po broju vrsta su *Nitzschia* (17) i *Gomphonema* (10) (Tabela 1).

Tabela 1. Broj taksona silikatnih algi u okviru rodova identificiranih istraživanjem Ludaškog jezera tokom 2022. godine  
Table 1. The number of diatom taxa within the genera identified by the research of Lake Ludaš during 2022

Naziv roda	Broj taksona
<i>Achnanthydium</i> Kützing	2
<i>Amphora</i> Ehrenberg ex Kützing	1
<i>Anomoeoneis</i> E.Pfitzer	1
<i>Aulacoseira</i> Thwaites	2
<i>Cocconeis</i> Ehrenberg	1
<i>Craticula</i> Grunow	2
<i>Cyclostephanos</i> Round	2
<i>Cyclotella</i> (Kützing) Brébisson	1
<i>Cymbella</i> C.Agardh	3
<i>Encyonopsis</i> Krammer	2
<i>Epithemia</i> Kützing	2
<i>Fallacia</i> Stickle & D.G.Mann	2
<i>Fragilaria</i> Lyngbye	1
<i>Gomphonema</i> Ehrenberg	10
<i>Halamphora</i> (Cleve) Mereschkowsky	1
<i>Hippodonta</i> Lange-Bertalot, Witkowski & Metzeltin	1
<i>Navicula</i> Bory	5
<i>Nitzschia</i> Hassall	17
<i>Planothydium</i> Round & Bukhtiyarova	1
<i>Pseudostaurosira</i> D.M.Williams & Round	2
<i>Rhopalodia</i> O.Müller	1
<i>Sellaphora</i> Mereschowsky	1
<i>Staurosira</i> Ehrenberg	1
<i>Stephanodiscus</i> Ehrenberg	1
<i>Tabularia</i> (Kützing) D.M.Williams & Round	1
<i>Tryblionella</i> W.Smith	1
<i>Ulnaria</i> (Kützing) Compère	3

U jesen je zabeležen najveći broj vrsta (41), dok se leto i proleće razlikuju za svega jednu vrstu; u proleće 36, u leto 37. *Cyclotella meneghiniana* Kützing, *Achnanthydium minutissimum* (Kützing) Czarnecki, *Halamphora veneta* (Kützing) Levkov, *Nitzschia amphibia* Grunow i *Staurosira venter* (Ehrenberg) Cleve & Moeller su vrste zabeležene na svim lokalitetima u dve ili sve tri istraživane sezone. Neke od ovih vrsta su bile ujedno i dominantne (Tabela 2). Npr. *A. minutissimum* je takson koji je u proleće na jednom od lokaliteta bio dominantan. Na ostala dva lokaliteta taksoni *Gomphonema parvulum* (Kützing) Kützing i *Epithemia sorex* Kützing su bili dominantni. *E. sorex* je i u leto predstavljala dominantan takson na čak dva lokaliteta, dok je na trećem dominirala vrsta *Nitzschia amphibia* Grunow. *H. veneta* je vrsta koja je identificirana na svim lokalitetima



tokom sve tri sezone i koja je bila dominantna u jesen na jednom od lokaliteta, dok su na ostala dva bile dominantne *N. amphibia* i *E. sorex*. Dominantne i učestale vrste u ovom istraživanju su uglavnom vrste koje najčešće naseljavaju slatkovodna staništa sa srednjim do visokim nivoom trofije (Lange-Bertalot et al., 2017).

Tabela 2. Dominantne vrste identifikovane u Ludaškom jezeru i njihove najviše relativne brojnosti  
Table 2. Dominant species identified in Lake Ludaš and their highest relative abundances

Vrsta	Rel. brojnost (%)
<i>Achnantheidium minutissimum</i> (Kützing) Czarnecki	36,38
<i>Epithemia sorex</i> Kützing	72,20
<i>Gomphonema parvulum</i> (Kützing) Kützing	22,11
<i>Halamphora veneta</i> (Kützing) Levkov	20,97
<i>Nitzschia amphibia</i> Grunow	47,30

Ekološki status na osnovu dijatomnih indeksa se može definisati u rasponu od dobrog (II klasa) do slabog (IV klasa) u zavisnosti od sezone i lokaliteta uzorkovanja (Tabela 3).

Tabela 3. Klase ekološkog statusa vode Ludaškog jezera na osnovu vrednosti dijatomnih indeksa na istraživanim lokalitetima (1-3) tokom tri sezone; granice klasa prema Prygiel i Coste (2000)

Table 3. Ecological status classes of Lake Ludaš based on the values of diatom indices at the investigated sites (1-3) during three seasons; class boundaries according to Prygiel and Coste (2000)

Indeks	proleće			leto			jesen		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
IBD	III	III	II	III	IV	III	III	III	III
IPS	III	III	III	III	IV	II	III	III	III
TID	IV	IV	IV	IV	V	IV	V	IV	IV
SID	II	III	III	II	III	II	III	II	II
TDI	IV	V	III	IV	V	IV	IV	IV	IV
CEE	III	III	II	III	IV	III	II	IV	III
IDP	III	IV	III	III	IV	III	III	IV	IV
SHE	III	IV	II	III	III	II	III	II	II
IDG	II	IV	III	III	V	II	III	IV	III
Descy	IV	IV	III	III	IV	III	III	III	III
Sla.	III	III	III	II	III	II	III	III	III
IDSE	III	III	II	III	III	III	III	III	III
IDAP	V	IV	III	IV	IV	IV	V	IV	V
EPID	III	III	III	II	IV	III	III	III	III
Lobo	III	IV	I	III	I	II	IV	II	III
Hurl.	IV	IV	III	III	IV	III	III	III	III
TDIL	III	IV	III	III	IV	III	IV	IV	IV
WAT	IV	III	II	III	III	III	III	III	III

TID i TDI ukazuju na čak loš ekološki status (V klasa) na lokalitetu 2. Ovi indeksi su razvijeni sa ciljem detekcije eutrofikacije. Prilikom izračunavanja TDI indeksa, OMNIDIA nam omogućava i izračunavanje parametra %PT, koji nam zapravo govori o pouzdanosti TDI indeksa. Ukoliko je ovaj parametar <20%, možemo govoriti o visokom stepenu pouzdanosti prisustva eutrofikacije na koju utiče prisustvo nutrijenata, a ukoliko je %PT>20%, onda na stepen eutrofikacije uticaj ima organsko zagađenje (Kelly i sar., 2001).

Naši rezultati ukazuju da na najvećem broju lokaliteta na stepen eutrofikacije utiče organsko zagađenje, mada treba istaći i da su na svakom lokalitetu u po jednoj sezoni najveći uticaj imali nutrijenti. Prema Pravilniku (Službeni glasnik RS br. 74/2011), jedino se vrednosti IPS indeksa uzimaju u obzir od svih dijatomnih indeksa. Na osnovu granica klasa ekološkog statusa datih u Pravilniku, voda Ludaškog jezera je lošijeg kvaliteta na većini lokaliteta tokom istraživanog perioda u odnosu na granice klasa prema Prygiel i Coste (2000) (Tabela 4).

Tabela 4. Klase ekološkog statusa vode Ludaškog jezera na osnovu vrednosti IPS na istraživanim lokalitetima (1-3) tokom tri sezone; granice klasa prema Pravilniku (Službeni glasnik RS br. 74/2011)  
Table 4. Ecological status classes of Lake Ludaš based on the values of IPS at the investigated sites (1-3) during three seasons; class boundaries according to national legislative (Official Gazette No. 74/2011)

IPS	proleće			leto			jesen		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Vrednost indeksa	12,8	10,1	11	12,8	6,8	14,3	12,2	9,4	10,4
Klasa ekološkog statusa	III	IV	IV	III	V	II	III	IV	IV

## ZAKLJUČAK

Naše istraživanje ukazuje na različit ekološki status Ludaškog jezera na osnovu dijatomnih indeksa i na potrebu redovnog monitoringa. Redovni biomonitoring jezera i reka je neophodan u cilju njihovog očuvanja i održivog korišćenja, u čemu silikatne alge imaju nezamenljivu ulogu prepoznatu širom sveta. Istraživanje stanja što većeg broja vodenih ekosistema analizom zajednice silikatnih algi omogućilo bi formiranje baze podataka na osnovu koje bi se potencijal ove grupe organizama u bioindikaciji na teritoriji Srbije mogao iskoristiti u potpunosti.

## Zahvalnica

Ovaj rad je podržan od strane Ministarstva nauke, tehnološkog razvoja i inovacija Republike Srbije br. 451-03-66/2024-03/ 200178 i 451-03-65/2024-03/ 200178.

## LITERATURA:

- Costa, A.P.T., Schneck, F., Diatoms as indicators in running waters: trends of studies on biological assessment and monitoring, *Environmental and Monitoring Assessment* (695) (2022) 194.
- Gómez, N., Licursi, M., The Pampean Diatom Index (IDP) for assessment of rivers and streams in Argentina, *Aquatic Ecology* 35 (2) (2001) 173 – 181.
- <https://pzzp.rs/zastita-prirode/podrucja-od-medunarodnog-znacaja/srp-ludasko-jezero.html>
- Kelly, M.G., Whitton, B.A., The Trophic Diatom Index: a new index for monitoring eutrophication in rivers, *Journal of Applied Phycology* 7 (4) (1995) 433 – 444.
- Kelly, M.G., Adams, C., Graves, A.C., Jamieson, J., Krokowski, J., Lycett, E.B. and Murraybligh, J. (2001) *The Trophic Diatom Index: A User's Manual. Revised Edition.* Environment Agency, Bristol

- Krammer, K., Lange-Bertalot, H., Bacillariophyceae 1, Teil: Naviculaceae. In: Ettl, H., Gerloff, J., Heynig, H., Mollenhauer, D. (eds.). Süßwasser flora von Mitteleuropa, Band 2/1 (1986), Gustav Fischer Verlag, Jena
- Krammer, K., Lange-Bertalot, H., Bacillariophyceae 2/2, Teil: Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae. In: H. Ettl, J. Gerloff, H. Heynig, D. Mollenhauer, (eds.). Süßwasserflora von Mitteleuropa, Band 2/2 (1988), Gustav Fischer Verlag, Stuttgart
- Krammer, K., Lange-Bertalot, H., Bacillariophyceae 2/3, Teil: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae. In: H. Ettl, J. Gerloff, H. Heynig, D. Mollenhauer (eds.). Süßwasserflora von Mitteleuropa, Band 2/3 (2004), Gustav Fischer Verlag, Stuttgart
- Krammer, K., Lange-Bertalot, H., Bacillariophyceae 2/4, Teil: Achnanthaceae, Kristische Ergänzungen zu Navicula (Lineolate) und Gomphonema. In: H. Ettl, J. Gerloff, H. Heynig, D. Mollenhauer (eds.). Süßwasserflora von Mitteleuropa, Band 2/4 (2011), Gustav Fischer Verlag, Stuttgart
- Lange-Bertalot, H., Diatoms of Europe, Navicula sensu stricto, Volume 2: 10 genera separated from Navicula sensu lato, Frustulia (2001), A.R.G. Gantner Verlag K.G
- Lange-Bertalot, H., Hofmann, G., Werum, M., Cantonati, M., Freshwater Benthic Diatoms of Central Europe: Over 800 Common Species Used in Ecological Assessment. English edition with updated taxonomy and added species (2017), Koeltz Botanical Books, Schmittener-Oberreifenberg
- Lecointe, C., Coste, M., Prygiel, J., Omnidia: software for taxonomy, calculation of diatom indices and inventories management, Hydrobiologia 269/270 (1993) 509 – 513
- Levkov, Z., Mitić-Kopanja, D., Reichardt, E., The diatom genus Gomphonema from the Republic of Macedonia, Diatoms of Europe, Diatoms of the European Inland Waters and Comparable Habitats 8 (2016)
- Prygiel, J., Coste, M. (2000) Guide méthodologique pour la mise en oeuvre de l'Indice Biologique Diatomées NF T 90-354. Agence de l'eau Artois Picardie
- Službeni glasnik Republike Srbije 74/2011, Pravilnik o parametrima ekološkog i hemijskog statusa površinskih voda i parametrima hemijskog i kvantitativnog statusa podzemnih voda
- SRPS EN 13946:2015, Kvalitet vode – Uputstvo za rutinsko uzimanje uzoraka i pripremu preparata bentosnih silikatnih algi iz reka i jezera

## ZAJEDNICA RIBA BELOCRKVANSKIH JEZERA

Vesna Djikanović\*, Jelena Vranković\*, Katarina Jovičić\*,  
Katarina Zorić\*, Nemanja Pankov\*\*, Branko Miljanović\*\*

\* *Univerzitet u Beogradu, Institut za biološka istraživanja „Siniša Stanković” – Institut od nacionalnog značaja za Republiku Srbiju, Bulevar despota Stefana 142, 11108 Beograd, Srbija, djiki@ibiss.bg.ac.rs, ORCID:0000-0002-3876-3420, jeca.s@ibiss.bg.ac.rs, ORCID:0000-0002-2060-8633, katarina.jovicic@ibiss.bg.ac.rs, ORCID:0000-0002-5105-1532; katarinas@ibiss.bg.ac.rs, ORCID: 0000-0002-4575-2375*

\*\* *Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno-matematički fakultet, Departman za biologiju i ekologiju, Trg Dositeja Obradovića 2, Novi Sad, Srbija, branko.miljanovic@dbe.uns.ac.rs, ORCID:0000-0003-0125-032x, nemanja.pankov@dbe.uns.ac.rs, ORCID:0000-0002-9949-4981*

### REZIME

Istraživanja zajednica riba obavljena su u novembru 2023. godine u veštačkim jezerima na području Bele Crkve. Upotrebom multiparametarske sonde izmereni su i osnovni fizičko-hemijski parametri kvaliteta vode, prema kojima vode ovih jezera pripadaju vodama I i II klase. Registrovano je prisustvo devet vrsta iz šest familija, od kojih su dve navedene u Bernskoj konvenciji, dok je u Direktivi o staništima navedena jedna vrsta. Prema nacionalnom zakonodavstvu jedna vrsta je strogo zaštićena, dok je tri vrste zaštićeno. Može se zaključiti da je biološka raznovrsnost ihtiofaune ispitivanih jezera solidna, kao i da je osnovna karakteristika ihtiofaune visok nivo autohtonosti.

KLJUČNE REČI: ihtiofauna, sastav i struktura zajednice, status zaštite, direktive, jezera

## FISH COMMUNITY OF BELOCRKVAN LAKES

### ABSTRACT

Research of fish communities was carried out in November 2023 in artificial lakes in the area of Bela Crkva. Using a multiparameter probe, the basic physical and chemical parameters of water quality were measured, according to which the waters of these lakes belongs to the class I and II waters. In total, the presence of nine species from six families was registered. Of the total number of registered species, two are listed in the Berne Convention, while one species is listed in the Habitats Directive. According to national legislation, one species is strictly protected, while three species are protected. It can be

concluded that the biological diversity of the ichthyofauna of the studied lakes is solid, and that the basic characteristic of the ichthyofauna is a high level of autochthonousness.

KEY WORDS: ichthyofauna, community composition and structure, conservation status, directives, lakes

## UVOD

Belocrkvanska jezera nalaze se u neposrednoj blizini od grada Bele Crkve. To su veštačka, kristalno čista jezera, ukupne površina 150 hektara, nastala eksploatacijom šljunka u industrijske svrhe sa dna Panonskog basena. Jezera se snabdevaju vodom iz arteških bunara i podzemnih izvora. Voda iz jezera služi za snabdevanje vodom i navodnjavanje poljoprivrednih površina. Jezera imaju šljunkovitu i peščanu obalu, što vodi daje proziriost. Jezera sa okolinom su veoma pogodna za rekreaciju i izlete. Sačinjavaju ih sedam većih jezera i više manjih.

U području Bele Crkve uključujući i vodene akumulacije jezera: Vračev Gaj, Novo jezero, Šaransko jezero, Malo jezero, Šljunkara i Veliko Jezero, analize voda su pokazale da vode imaju slabo alkalni karakter. Ove vode su po svom sastavu uglavnom kalcijum-sulfatne, a po mineralizaciji uglavnom pripadaju vodama I odnosno II kategorije. Bitno je istaći da se i po sadržaju teških metala mogu svrstati u I/II kategoriju voda prema važećoj uredbi.

Ihtiofauna ima poseban značaj za strukturu i funkcionisanje vodenih ekosistema. Išezavanje pojedinih vrsta iz ekosistema, kao i unošenje novih, alohtonih vrsta, može dovesti do složenih problema i posledica (Simonović, 2006). Ribe u svojoj ishrani mogu da koriste hranu koja je manje ili više raznovrsna (Simić i Simić, 2009). Mesojedi obuhvataju veliku grupu riba (bentivori, insektivori, zooplanktivori). Te ribe su izuzetno cenjene u sportskom ribolovu i imaju veliki značaj u održavanju prirodne ravnoteže između vrsta. Najpoznatije grabljivice naših voda su štika (*Esox lucius*), som (*Silurus glanis*), smuđ (*Sander lucioperca*), grgeč (*Perca fluviatilis*) itd. (Simić i Simić, 2009).

Cilj ovog rada je određivanje kvalitativnog i kvantitativnog sastava ihtiofaune Belocrkvanskih jezera, koja su dobrog kvaliteta i služe za rekreaciju.

## MATERIJAL I METODE

Uzorci faune riba iz manjih vodenih basena i u priobalju uzeti su elektroribolovom, a iz delova nedostupnih elektroribolovu dopunjeni su standardnim ribolovnim mrežama različite veličine okaca (Slika 1).



Slika 1. Lokaliteti sakupljanja materijala  
Figure 1. Sampling locations

Na terenu su upotrebom multiparametarske sonde Horiba W-23XD (HORIBA Instruments Corporation, Irvine, CA, USA) izmereni i osnovni fizičko-hemijski parametri kvaliteta vode (Tabela 1).

Tabela 1. Vrednosti osnovnih fizičko-hemijskih parametara  
Table 2. Values of physico-chemical parameters

Parametri	Vrednosti min-max
O <sub>2</sub> (mg/l)	7.35-9.02
O <sub>2</sub> (%)	72.4-85.8
temperatura °C	12.6-13.1
pH	7.55-7.9
provodljivost (μS/cm-1)	496-483
providnost (cm)	125-210
prozracnost (mg suve materije/L)	130-250

Na terenu su mereni težina (g) i totalna dužina (cm) svake individue, a identifikacija vrsta izvršena je prema Simonović (2006) i Kottelat i Freyhof (2007), a utvrđena je i brojnost jedinki po vrstama. Autohtone i ribolovno značajne vrste vraćene su u vodu nakon prebrojavanja.



Slika 2. Uzorkovane vrste riba  
Figure 2. Sampled fish species

## REZULTATI I DISKUSIJA

Na osnovu izmerenih fizičko-hemijskih parametara, vode jezera se nalaze u granicama koje su propisane za vode I i II klase. Belocrkvanska jezera se razlikuju po svojoj veličini, dubini, vremenu nastanka i morfološkim odlikama, ali im je zajedničko svojstvo stalni kvalitet vode i slična ihtiofauna, što je posledica veštačkog naseljavanja ribe u njima.

Tabela 1. Kvalitativni i kvantitativni (abundancija) sastav faune riba Belocrkvanskih jezera  
Table 1. Qualitative and quantitative (abundance) composition of fish in BeloCrkvan lakes

Vrste riba	Abundancija
<b>Cyprinidae</b>	
Uklija ( <i>Alburnus alburnus</i> )	65
Gavčica ( <i>Rhodeus sericeus</i> )	13
Bodorka ( <i>Rutilus rutilus</i> )	1
Crvenperka ( <i>Scardinius erythrophthalmus</i> )	18
<b>Percidae</b>	
Grgeč ( <i>Perca fluviatilis</i> )	28
<b>Esocidae</b>	
Štuka ( <i>Esox lucius</i> )	26
<b>Siluridae</b>	
Som ( <i>Silurus glanis</i> )	1
<b>Centrarchidae</b>	
Sunčica ( <i>Lepomis gibbosus</i> )	32
<b>Ictaluridae</b>	
Cverglan ( <i>Ameiurus nebulosus</i> )	23

Prema navedenim podacima, može se reći da je biološka raznovrsnost ihtiofaune ispitivanih jezera solidna, kao i da je osnovna karakteristika ihtiofaune visok nivo autohtonosti. Od ukupnog broja identifikovanih vrsta, njih sedam spada u autohtonu faunu riba ribolovnog područja, dok su dve vrste riba alohtone i invazivne, prisutne sa visokom abundancom. Dobijeni rezultati su u skladu sa prethodno obavljenom analizom zajednice riba Belocrkvanskih jezera (Nikolic i sar., 2020).

Ispitivana jezera kao šljunkare, su prema tipu zajednice planktona i zoobentosa svrstana u mezotrofna. Trend mezotrofije je verovatno vezan za starost šljunkara i stabilizaciju tog ekosistema. Uzimajući u obzir tip staništa, ihtioprodukcija jezera se može oceniti kao veoma solidna, i stoga u ihtiofauni ispitivanog područja dominiraju grabljivice (štuka, grgeč, som).

Status zaštite prema IUCN crvenoj listi, crvenoj listi EU, EU 27, Bernskoj konvenciji, Direktivi o staništima i nacionalnom zakonodavstvu za zaštićene vrste prikazan je u Tabeli 3. Od ukupno devet vrsta, dve su navedene u Bernskoj konvenciji, dok je u Direktivi o staništima jedna vrsta. Na osnovu nacionalnog zakonodavstva jedna vrsta je strogo zaštićeno, dok je tri vrsta zaštićeno („Službeni glasnik RS”, 5/2010, 47/2011, 32/2016 i 98/2016).

Tabela 3. Status zaštite prisutnih vrsta riba, Belocrkvanska jezera  
Table 3. Conservation status of fish species, Belocrkvan lakes

Vrsta ribe	EU Crvena lista	EU 27 Crvena lista	Bernska konvencija	Direktiva o staništima	Nacionalno zakonodavstvo
<i>Esox lucius</i> / štuka	LC	LC			zaštićena
<i>Perca fluviatilis</i> / grgeč	LC	LC			zaštićena
<i>Rhodeus sericeus</i> / gavčica	LC	LC	III	II	strogo zaštićena
<i>Silurus glanis</i> / som	LC	LC	III		zaštićena

Napomena: LC - vrsta „niskog rizika“; III – zaštićena, fauna; II - vrste koje zahtevaju zaštitu posebnih staništa; IV – vrste koje zahtevaju, striktnu zaštitu; V – vrste čije korišćenje mora biti zakonski regulisano

## ZAKLJUČAK

Pored redovnog praćenja kvaliteta vode, neophodno je i vršiti monitoring ihtiofaune i pre svega sprovesti mere zaštite u interesu očuvanja ribljeg fonda. Takođe je veoma važno voditi računa o okvirima dozvoljenog ribolova, s obzirom da je ispitivano ribolovno područje značajno sa aspekta rekreacije.



## Zahvalnica

Ovaj rad je finansiran od strane Ustanove "Rezervati prirode" Zrenjanin, ugovor br. V-2-12/2023-1410.

## LITERATURA:

- Bern Convention (Appendix/Annexe III), (1979) Convention on the Conservation of European Wildlife and Natural Habitats. ETS/STE 104. 32/2016.
- IUCN (2020) The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2020-1.
- Kottelat, M., Freyhof, J. (2007) Handbook of European freshwater fishes. Publications Kottelat, Cornol and Freyhof, Berlin.
- Natura 2000 - European Union fish species (annex ii; iv & v) in Serbia.
- Nikolić, V., Simonović, P., Marić, A., Škraba, D., Kanjuh, T. (2020) Program upravljanja delovima ribarskog područja „Banat“, Ustanova "Rezervati prirode" Zrenjanin, Biološki fakultet, Univerzitet u Beogradu.
- Pravilnik o proglašenju i zaštiti strogo zaštićenih i zaštićenih divljih vrsta biljaka, životinja i gljiva. „Službeni glasnik“ RS 5/2010, 47/2011, 32/2016 i 98/2016
- Simić, V., Simić, S. (2009) Ekologija kopnenih voda (Hidrobiologija I). Biološki fakultet, Beograd. PMF Kragujevac. 295 pp.
- Simonović, P. (2006) Ribe Srbije. NNK International, Biološki fakultet & Zavod za zaštitu prirode Srbije, Beograd.

## KONCENTRACIJE PESTICIDA I PCB-A U TRI CIPRINIDNE VRSTE RIBA SA AKUMULACIJE MEĐUVRŠJE

Stefan Skorić\*, Dušan Nikolić\*\*

\* *Univerzitet u Beogradu - Institut za multidisciplinarna istraživanja, Kneza Višeslava 1, stefan.skoric@imsi.bg.ac.rs, ORCID: 0000-0002-3577-2735*

\*\* *Univerzitet u Beogradu - Institut za multidisciplinarna istraživanja, Kneza Višeslava 1, dusan@imsi.bg.ac.rs, ORCID: 0000-0003-2004-1662*

### REZIME

Tokom ihtioloških istraživanja na akumulaciji Međuvršje 2016. godine analiziran je sadržaj 4 vrste pesticida (aldrin, 4,4'-DDT, 4,4'-DDD, 4,4'-DDE) i 6 vrsta polihlorovanih bifenila (PCB - 28, 52, 101, 138, 153, 180, kao i ukupni PCB) u mišićnom tkivu tri ciprinidne vrste riba (klen, skobalj i bodorka) koje imaju ribolovni značaj i koriste se u ljudskoj ishrani. Vrednosti svih analiziranih jedinjenja su bile ispod vrednosti dozvoljenih nacionalnom legislativom te se stoga može smatrati bezbedna konzumacija ovih vrsta riba.

KLJUČNE REČI: Akumulacija Međuvršje, ciprinide, pesticidi, polihlorovani bifenili, ishrana

## CONCENTRATIONS OF PESTICIDES AND PCBs IN THREE CYPRINID FISH SPECIES FROM THE MEDJUVRSJE RESERVOIR

### ABSTRACT

In 2016, during ichthyological research on the Medjuvršje reservoir, the content of 4 types of pesticides (aldrin, 4,4'-DDT, 4,4'-DDD, 4,4'-DDE) and 6 types of polychlorinated biphenyls (PCB - 28, 52) were analyzed. , 101, 138, 153, 180, as well as total PCBs) in the muscle tissue of three cyprinid fish species (chub, nase and roach) that have fishing importance and are used in human nutrition. The values of all analyzed compounds were below the values allowed by the national legislation, and therefore it can be considered safe consumption of these fish species.

KEY WORDS: Međuvršje reservoir, cyprinid fish, pesticides, polychlorinated biphenyls, nutrition

## UVOD

Akumulacija Međuvršje je među najstarijim akumulacijama u Srbiji. Prošla je kroz sve faze razvića jezerskih ekosistema. Promene koje su nastale u morfometriji jezera, fizičko-hemijskim karakteristikama vode i razvoju zajednica hidrobionata (planktonskih, makrofitske vegetacije, faune dna) imaju odraza na kvalitativnu i kvantitativnu strukturu ribljih zajednica kao i različite aspekte ekologije riba (populacionu gustinu, tempo dužinskog i masenog rasta, plodnost i druge) (Marković, 2007).

Vodotoci slivnog područja Zapadne Morave su pod velikim uticajem otpadnih voda različitog porekla (industrije, poljoprivrede, urbanih i ruralnih komunalnih aktivnosti). Registrovano je više od 200 većih industrijskih zagađivača u slivu (Pandurović & Vasileva 2000). Poljoprivredne aktivnosti, naročito voćarstvo (58.8% površine sliva je pod poljoprivrednim zemljištem) su u značajnoj meri zastupljene u slivnom području uzvodno od akumulacije Međuvršje (Marković i sar. 1998).

Ribe su često izložene visokom stepenu zagađenja u vodi, što može dovesti do čitavog niza različitih promena, od onih biohemijskih na nivou ćelija, do promena na nivou celih populacija (Bernet et al. 1999). Kao rezultat mehanizama absorpcije, regulacije, skladištenja i ekskrecije, tkiva se međusobno razlikuju po stepenu akumulacije, kao i po svojoj ulozi u ovim procesima (Storelli et al. 2006). Mišićno tkivo ne predstavlja uvek dobar indikator celokupne kontaminacije organizma, ali s obzirom da se isključivo meso koristi u ishrani ljudi važno je na njemu raditi razne analize i merenja radi utvrđivanja rizika po zdravlje usled konzumacije (Has-Schön et al. 2006).

Osnovni cilj ovih istraživanja bio je da se utvrdi nivo sadržaja pesticida i polihlorovanih bifenila u mišićnom tkivu (fileu) tri vrste riba koje su ribolovno značajne za ovu akumulaciju, kao i bezbednost njegove upotrebe u ljudskoj ishrani.

## MATERIJAL I METODE

Uzorci odabranih ciprinidnih vrsta riba (skobalj, klen i bodorka) sakupljeni su tokom oktobra 2016. godine, na dve lokacije akumulacije Međuvršje (Zagrade- N 43.917886°, E 20.214295° i brana Međuvršje - N 43.911017°, E 20.236177°). Riba je lovljena pomoću ribarskih mreža dimenzija 30 m x 2 m i promera okaca 30 - 50 mm. Mreže su preko noći ostajale u vodi (približno 13 sati). Po deset jedinki od svake vrste prikupljeno je za analizu. Uzorci mišićnog tkiva (10 – 50g po jedinci) su disekovani na terenu i zamrzavani.

Za ekstrakciju ostataka organohlorinih pesticida korišćena je modifikovana QuEChERS tehnika sa acetonitrilom. Uzorci su prečišćeni korišćenjem disperzivne ekstrakcije čvrste faze (d-SPE). Podela tečnost-tečnost je sprovedena korišćenjem 10 g ribljeg mišića, 10 mL acetonitrila, 5 mL vode, 1,6 g MgSO<sub>4</sub> i 0,4 g NaCl, a disperzivna ekstrakcija u čvrstoj fazi

korišćenjem 80 mg C18, 150 mg MgSO<sub>4</sub> i 80 mg primarnog sekundarnog amina. Finalni ekstrakti acetonitrila su koncentrovani blagom strujom azota i rekonstituisani u heksan. Ponovno prečišćavanje je izvršeno pre analize ekstrakata korišćenjem kolone C18.

Ostaci organohlornih pesticida (OCP), u ribljim mišićima (file), analizirani su gasnom hromatografijom sa masenom spektrometrijskom detekcijom (GC-MS). Analizirani su sledeći OCP: aldrin, 4,4'-DDT, 4,4'-DDD, 4,4'-DDE i polihlorovani bifenili (PCB) 28, 52, 101, 138, 153, 180, kao i ukupni PCB. Gasni hromatograf povezan sa instrumentom MS Clarus SK8T i GC Clarus 680 PerkinElmer sistemom koji se sastoji od autosemplera i postavljeni su pod sledećim uslovima: kapilarna kolona Elite-5MS (30 k 0,25 mm ID k 0,25 µm df, sastavljena od 5% fenila i 95% dimetil polisiloksana), koji rade u režimu elektronskog udara na 70 eV. Temperatura izvora jona bila je 280 °C. Helijum (99,999%) pri konstantnom pritisku (22,5 psi) je bio gas nosač i korišćena je zapremina injekcije od 2µL (odnos podele 50:1) na temperaturi injektora od 250 °C. Temperatura pećnice je podešena na 70 °C prva 3 minuta, podignuta na 150 °C brzinom od 25 °C min<sup>-1</sup>, zatim na 200 °C na 3 °C min<sup>-1</sup>, a na kraju do 280 °C na 8 °C min<sup>-1</sup>, i držano 10 min. Maseni spektri su snimljeni pri 70 eV, kao i interval skeniranja od 0,2 sekunde i korišćeni su fragmenti u rasponu od 50 do 400 Da. Koristili smo softver Turbo Mass Ver 6.1.0 za obradu masenih spektra i hromatograma.

Tabela1. Parametri linearne regresije kalibracione krive organohlornih pesticida i polihlorovanih bifenila, koeficijent korelacije (R<sup>2</sup>), granice detekcije (GD) i granice kvantifikacije (GK).

Jedinjenje	Regresiona jednačina	R <sup>2</sup>	Granice detekcije (µg/kg)	Granice kvantifikacije (µg/kg)
Aldrin	$y = 1.08677x + (-44.9351)$	0.994454	1.8	6.1
4,4'-DDD	$y = 2.83435x + (-127.385)$	0.993733	1.7	5.6
4,4'-DDE	$y = 1.90671x + (-82.0592)$	0.994457	1.0	3.3
4,4'-DDT	$y = 2.16509x + (-105.751)$	0.996042	1.0	3.3
PCB 28	$y = 1.6008x - 1.1437$	0.999532	0.0009	0.003
PCB 52	$y = 0.6789x + 0.8609$	0.997972	0.0012	0.004
PCB 101	$y = 0.7961x - 1.708$	0.998750	0.0015	0.005
PCB 153	$y = 0.7256x - 0.6538$	0.999022	0.0012	0.004
PCB 138	$y = 0.7330x + 0.6586$	0.997674	0.0012	0.004
PCB 180	$y = 0.4281x + 0.5923$	0.997738	0.0009	0.003

Korišćeni su osnovni standardni rastvori (10 mg mL<sup>-1</sup>) AccuStandard Inc. (Nev Haven, SAD), a radni rastvori odgovarajućim razblaženjima sa heksanom. Priprema blank uzoraka je sprovedena pomoću čistih rastvarača sa dodacima internih standarda da bi se izvršila kalibracija matrice. Trifenil fofat (TPP) je korišćen kao interni standard. Granice detekcije (GD) za aldrin, 4,4'-DDD, 4,4'-DDE, 4,4'-DDT, je bio 1, 0,9, 1,7, 2,0, mg kg<sup>-1</sup>, respektivno. Granice kvantifikacije (GK) za aldrin 4,4'-DDD, 4,4'-DDE, 4,4'-DDT, su bili 6, 3, 6 i 7mg kg<sup>-1</sup>, respektivno.

Koncentracije analiziranih organohlornih pesticida su izražene kao mg kg<sup>-1</sup>. Koncentracije 4,4'-DDT, 4,4'-DDE, 4,4'-DDD u mišiću analiziranih vrsta riba upoređivane su sa maksimalno dozvoljenim koncentracijama u mesu ribe utvrđenim nacionalnim zakonodavstvom Srbije. (Službeni glasnik RS, 2011). Maksimalne dozvoljene koncentracije za DDT i derivate je 1,0 mg kg<sup>-1</sup>, a za PCB je 3,0 mg kg<sup>-1</sup>.

## REZULTATI I DISKUSIJA

U tabeli 2. prikazani su rezultati sadržaja pesticida i polihlorovanih bifenila u mišićnom tkivu (fileu) tri vrste ciprinida (klen, skobalj i bodorka) iz akumulacije Međuvršje. Dobijeni rezultati ukazuju da su dobijene vrednosti svih analiziranih jedinjenja značajno ispod maksimalno dozvoljenih koncentracija predviđenih zakonskom regulativom. Sve vrednosti su višestruko ispod dozvoljenih koncentracija, a najviša registrovana vrednost ukupnih PCB-a u mišiću skobalja je gotovo tri puta niža od dozvoljenih vrednosti.

Tabela 2. Koncentracije pesticida i polihlorovanih bifenila u mišićnom tkivu tri vrste ciprinida iz akumulacije Međuvršje.

Jedinjenje	Jedinica	Klen	Skobalj	Bodorka
PESTICIDI				
Aldrin	mg/kg	0,023	0,027	0,018
4,4'-DDD	mg/kg	0,084	0,191	0,152
4,4'-DDE	mg/kg	0,006	ND	0,010
4,4'-DDT	mg/kg	ND	ND	0,098*
POLIHLOROVANI BIFENOLI (PCB)				
PCB 28	mg/kg	0,0354	0,071	0,034
PCB 52	mg/kg	0,034	0,147*	0,044
PCB 101	mg/kg	0,127	0,282	0,192
PCB 153	mg/kg	0,021**	0,121	0,050
PCB 138	mg/kg	0,117	0,335	0,160
PCB 180	mg/kg	0,025	0,243**	0,043
∑PCB	mg/kg	0,347	1,240	0,627

Rezultati dobijeni u ovom istraživanju u skladu su sa rezultatima drugih istraživanja rađenih u Srbiji gde su takođe pesticidi i PCB bili ispod dozvoljenih koncentracija. Niske vrednosti analiziranih jedinjenja u mišićima klena, skobalja i bodorke iz akumulacije Međuvršje, kao i njihov izostanak u mišićima smuđa iz akumulacije Garaši (Nikolić i sar., 2023) i uzorcima klena sa akumulacija Garaši, Vlasina, Perućac, Zaovine i Međuvršje (Nikolić i dr. 2022) su verovatno zbog njihovog izbacivanja iz primene poslednjih decenija. Zbog toga upotreba ribljeg mesa u ishrani ljudi ne predstavlja opasnosti po zdravlje u kontekstu analiziranih pesticida i polihlorovanih bifenila.

## ZAKLJUČAK

Koncentracije analiziranih pesticida i polihlorovanih bifenola u mišićnom tkivu klene, skobalja i bodorke iz akumulacije Međuvršje imaju vrednosti analiziranih jedinjenja ispod granica predviđenih nacionalnom regulativom pa ih samim tim možemo smatrati bezbednim za ljudsku ishranu.

### Zahvalnica

Ovu istraživanje je podržalo Ministarstvo za nauku, tehnološki razvoj i inovacije Republike Srbije (br. ugovora: 451-03-66/2024-03/200053).

### LITERATURA:

- Bernet D., Schmidt H., Meier W., Burkhardt-Holm P. & Wahli T. Histopathology in fish: proposal for a protocol to assess aquatic pollution. *Journal of Fish Diseases* 22, (1999) 25-34.
- Has-Schön E., Bogut I. & Strelec I. Heavy metal profile in five fish species included in human diet, domiciled in the end flow of River Neretva (Croatia). *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 50, (2006) 545-551.
- Marković G., Simović S., Jurišić I. Zagađenost gornjeg i srednjeg toka reke Zapadne Morave i zaštita. VI Naučno-stručni skup "Ekološka istina", Negotin, (1998) 163-165.
- Marković G., Srednjoročni program unapređenja ribarstva na ribolovnom području predela izuzetnih odlika "Ovčarsko-kablarska klisura" za period 2007-2011. (2007) Turistička organizacija Čačka.
- Nikolić D., Poleksić V., Skorić S., Tasić A., Stanojević S. & Rašković B. The European Chub (*Squalius cephalus*) as an indicator of reservoirs pollution and human health risk assessment associated with its consumption, 310, (2022), 119871.

- Nikolić D., Poleksić V., Tasić A., Smederevac-Lalić M., Djikanović V. & Rašković B. Two Age Groups of Adult Pikeperch (*Sander lucioperca*) as Bioindicators of Aquatic Pollution, 15 (14), (2023), /
- Pandurović S., Vasileva D. Hidrološko-hidrogeološki aspekti zaštite voda u slivu Zapadne Morave. Savetovanje "Vodni resursi sliva Velike Morave i njihovo krišćenje", Kruševac, (2000) 136-139.
- Storelli M.M., Barone G., Storelli A. & Marcotrigiano G.O. Trace metals in tissues of Mugilids (*Mugil auratus*, *Mugil capito*, and *Mugil labrosus*) from the Mediterranean Sea. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology 77, (2006) 43-50.

# BIODIVERZITET IHTIOFAUNE VELIKIH PRIRODNIH MAKEDONSKIH JEZERA (PRESPANSKO, OHRIDSKO I DOJRANSKO JEZERO) SA POSEBNIM OSVRTOM NA UNEŠENE VRSTE RIBA

Trajče Talevski<sup>1</sup>, Blagoja Trajčeski<sup>2</sup>

<sup>1</sup> JNU Hidrobiološki Institut, Ohrid, Odeljenje za ciprinidnu faunu, Naum Ohridski 50, Ohrid, [tratal2001@gmail.com](mailto:tratal2001@gmail.com), ORCID: 0000-0001-8009-3187

<sup>2</sup> JNU Hidrobiološki Institut, Ohrid, Odeljenje za ciprinidnu faunu, Naum Ohridski 50, Ohrid, ORCID: 0000-0001-6857-173X

## REZIME

U radu je prikazano istraživanje biodiverziteta ihtiofaune velikih prirodnih makedonskih jezera (Prespansko, Ohridsko i Dojransko jezero) i probleme koje prouzrokuju alohtone vrste riba na autohtonu ihtiofaunu. Makedonska riblja fauna je predstavljena sa osamdeset vrsta od kojih šezdeset jedna vrsta riba je opisana za Prespansko, Ohridsko i Dojransko jezero. U Prespanskom jezeru opisano je 11 autohtonih i 12 introduciranih vrsta riba, u Ohridskom jezeru ima 22 autohtonih i 7 uvedenih vrsta riba, a u Dojranskom jezeru 14 autohtonih i 8 uvedenih vrsta riba.

KLJUČNE REČI: slatke vode, ekoregioni, prirodna jezera, endemizam, riblje vrste

## BIODIVERSITY OF THE ICHTYOFAUNA OF THE LARGE NATURAL MACEDONIAN LAKES (PRESPA, OHRID AND DOJRAN LAKE) WITH SPECIAL REFERENCE TO INTRODUCED FISH SPECIES

## ABSTRACT

The paper presents research into the biodiversity of the ichthyofauna of large natural Macedonian lakes (Prespa, Ohrid and Dojran lakes) and the problems caused by non-native fish species on the autochthonous ichthyofauna. The Macedonian fish fauna is represented by eighty species, of which sixty-one fish species are described for the Prespa, Ohrid and Dojran lakes. 11 autochthonous and 12 introduced fish species were described in Prespa Lake, 22 autochthonous and 7 introduced fish species in Ohrid Lake, and 14 autochthonous and 8 introduced fish species in Dojran Lake.

KEY WORDS: freshwater, ecoregions, natural lakes, endemism, fish species

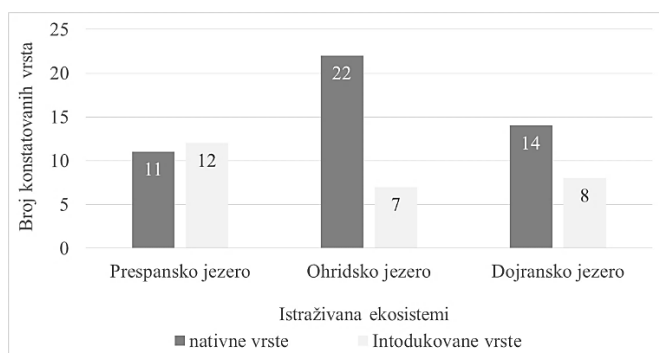


## UVOD

U slatkovodnim ekosistemima u Republici Severnoj Makedoniji konstatovano je oko 80 vrsta riba iz 17 porodica. U porodici Petromizonidae pripadaju 2 vrste, Acipenseridae - 1 vrsta, Anguillidae - 1 vrsta, Clupeidae - 1 vrsta, Ciprinidae - 46 vrsta, Cobitidae - 5 vrsta, Nemacheilidae - 3 vrste, Ictaluridae - 1 vrsta, Siluridae - 1 vrsta, Esocidae - 1 vrsta, Salmonidae - 11 vrsta, Poecilidae - 1 vrsta, Cottidae - 1 vrsta, Centrarchidae - 1 vrsta, Percidae - 2 vrste, Blennidae - 1 vrsta i Gobiidae - 1 vrsta (Talevski & Talevska, 2010).

Populacije riba u Republici Severnoj Makedoniji dele se na autohtone (nativne) i alohtone (unešene ili introdukovane) vrste (Talevski et al. 2023.).

Broj autohtonih i alohtonih vrsta riba u Prespansko, Ohridsko i Dojransko jezero prestavljen je na Slici 1. (Talevski & Talevska, 2010; Kottelat & Freyhof, 2007)



Slika 1. Broj autohtonih i alohtonih riba u istraživanim makedonskim jezerima

Figure 1. Number of autochthonous and allochthonous fish in the investigated Macedonian lakes

Riblju faunu u Republici Severnoj Makedoniji karakteriše prisustvo endemičnih vrsta riba. U Prespanskom jezeru endemični su 9 vrsta riba (82%): *Salmo peristericus* Karaman, 1938; *Alburnoides prespensis* (Karaman, 1924); *Alburnus belvica* (Karaman, 1924); *Barbus prespensis* Karaman, 1924; *Chonrostma prespense* Karaman, 1924; *Cobitis meridionalis*, Karaman, 1924; *Pelagus prespensis* (Karaman, 1924); *Rutilus prespensis* (Karaman, 1924) i *Squalis prespensis* (Fowler, 1977) (Talevski et al., 2010; Milošević & Talevski, 2015; Talevski & Milosevic, 2016).

U Ohridskom jezeru endemični su 7 vrsta riba (33,3%): *Salmo ohridanus* Steindachner 1892; *Salmo aphelios*, Kottelat, 1997; *Salmo balcanicus* Karaman, 1928; *Salmo letnica* Karaman, 1924; *Salmo lumi* Poljakov, Filipi, Basho & Hysenaj, 1958; *Barbatula sturanyi* (Steindachner, 1892) i *Gobio ohridanus*, Karaman, 1924. *Salmo balcanicus* je jedna od četiri vrste ohridske pastrmke, koja je endemična za Ohridsko jezero, uz *Salmo letnica* (Karaman, 1924), *Salmo aphelios* Kottelat, 1997 i *Salmo lumi* Poljakov, Filipi, Basho & Hysenaj, 1958. To su različite vrste koje se razlikuju po periodu razmnožavanja i po izolovanom staništu mreščenja (Milošević & Talevski, 2015; Talevski & Milosevic, 2016).

I u Dojranskom jezeru endemični su sedam vrsta riba: *Alburnus macedonicus* Karaman, 1928; *Barbus balcanicus* Kotlík, Tsigenopoulos, Ráb & Berrebi, 2002; *Pachychilon macedonicum* (Steindachner, 1892); *Squalius vardarensis* Karaman, 1928; *Cobitis vardarensis* Karaman, 1928; *Sabanejewia balcanica* (Karaman, 1922) i *Zingel balcanicus* (Karaman, 1937) (Talevski & Talevska, 2018).

## MATERIJAL I METOD

Materijal za istraživanja riba je kolekcioniran sa Prespanskog, Ohridskog i Dojranskog jezera različitim ribarskim mrežama i obrađivan je standardnim ihtiološkim metodama.

## REZULTATI I DISKUSIJA

U poslednjih tridesetak godina u prirodnim jezerima Republike Severne Makedonije uvedeno je 17 vrsta riba koje su sa različnom zastupljenošću (Tabela 1., Slika1.).

U prošlom periodu u Prespanskom jezeru introducirane su sledeće alohtone vrste: *Carassius gibelio* Bloch, 1782; *Gambusia affinis*, Girard, 1859; *Pseudorasbora parva* (Temminck & Schlegel, 1846); *Rhodeus amarus* (Bloch, 1782); *Tinca tinca* (Linnaeus, 1758) i *Lepomis gibbosus* (Linnaeus, 1758). Ove vrste se susreću u eksperimentalnom i profesionalnom ribolovu, dok su *Salmo letnica* Karaman, 1924; *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1792); *Ctenopharyngodon idella* (Valenciennes 1844); *Hypophthalmichthys molitrix* (Valenciennes, 1844); *Parabramis pekinensis* (Basilewsky, 1855) i *Silurus glanis* Linnaeus, 1758 vrste koje se sada skoro i ne susreću ni u jednom načinu ribolova. U eksperimentalnom ribolovu u 2017 godine je konstatovana još jedna vrsta - *Economidichthys pygmaeus*, Holly, 1929 (Trajchevski et al., 2020), za koju još nemamo saznanja dali je nativna ili unešena vrsta iz okolnih grčkih jezera.

Tabela 1. Alohtone vrste u velikim makedonskim jezerima (Prespansko, Ohridsko i Dojransko jezero)  
Table 1. Allochthonous species in large Macedonian lakes (Prespa, Ohrid and Dojran Lake)

	Prespansko jezero	Ohridsko jezero	Dojransko jezero
1.	<i>Carassius gibelio</i>	<i>Carassius gibelio</i>	<i>Carassius gibelio</i>
2.	<i>Pseudorasbora parva</i>	<i>Pseudorasbora parva</i>	<i>Pseudorasbora parva</i>
3.	<i>Rhodeus amarus</i>	<i>Rhodeus amarus</i>	<i>Rhodeus amarus</i>
4.	<i>Hypophthalmichthys molitrix</i>		<i>Hypophthalmichthys molitrix</i>
5.	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	
6.	<i>Tinca tinca</i>		<i>Tinca tinca</i>
7.	<i>Lepomis gibbosus</i>	<i>Lepomis gibbosus</i>	
8.		<i>Gambusia holbrooki</i>	<i>Gambusia holbrooki</i>
9.		<i>Alosa fallax</i>	
10.	<i>Salmo letnica</i>		
11.			<i>Hypophthalmichthys nobilis</i>
12.	<i>Ctenopharyngodon idella</i>		
13.	<i>Parabramis pekinensis</i>		
14.	<i>Gambusia affinis</i>		
15.			<i>Pygocentrus nattereri</i>
16.	<i>Silurus glanis</i>		
17.	<i>Economidichthys pygmaeus</i> ?		
	Ukupno 12 vrsta + 1?	Ukupno 7 vrsta	Ukupno 8 vrsta

Iz priložene Tabela 1. se može zaključiti da su tri iste vrste riba unešene u sva tri jezera. To su: *Carassius gibelio* Bloch, 1782, *Pseudorasbora parva* (Temminck & Schlegel, 1846) i *Rhodeus amarus* (Bloch, 1782).

Alohtone vrste koje su u prošlom periodu introducirane u Ohridskom jezeru su: *Alosa fallax* (Lacepède, 1803), *Carassius gibelio*, Bloch, 1782; *Gambusia affinis*, Girard, 1859; *Pseudorasbora parva*, (Temminck & Schlegel, 1846); *Rhodeus amarus*, (Bloch, 1782); *Lepomis gibbosus* (Linnaeus, 1758); *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1792) i *Gambusia holbrooki* Girard, 1859 (Talevski, 1996).

Alohtone vrste koje su u prošlom periodu introducirane u Dojranskom jezeru su: *Carassius gibelio* Bloch, 1782; *Hypophthalmichthys molitrix* (Valenciennes, 1844); *Hypophthalmichthys nobilis* (J. Richardson, 1845); *Pseudorasbora parva* (Temminck & Schlegel, 1846); *Rhodeus amarus* (Bloch, 1782); *Tinca tinca* (Linnaeus, 1758); *Gambusia holbrooki* Girard, 1859 i *Pygocentrus nattereri* Kner, 1858 (Talevski et al., 2023).

Prema našim dugoročnim istraživanjima najveći negativni uticaj na autohtonu riblju populaciju u prirodnim jezerima Republike Makedonije imaju: *Carassius gibelio*, *Lepomis gibbosus* i *Rhodeus amarus*. Ostale unešene vrste ribe imaju znatno manji uticaj na autohtone vrste riba (Talevski et al., 2023.).

Alohtone (unešene) vrste mogu konkurisati sa autohtonim vrstama za hranu, stanište, sklonište ili mjesto za razmnožavanje. Negativni uticaj ovih unešenih vrsta riba na autohtone vrste zavisi od više faktora, uključujući ekološke uslove, konkurencija i dostupnost hrane, prisustvo prirodnih predatora i konkurenata, kao i sposobnost unešenih vrsta da se prilagode novom okruženju. Tako na primer, ako unešena vrsta efikasnije koristi određene izvore hrane, može doći do smanjenja dostupnosti hrane za autohtone vrste, što dovodi do smanjenja njihove populacije. Ovakav negativni uticaj je registrovan u sva tri prirodna makedonska jezera i to od većeg broja alohtonih vrsta (Talevski et al., 2023).

Takođe alohtone vrste riba imaju negativni uticaj i u konkurenciji za staništa pri čemu unešene vrste često mogu izmeniti stanište koje posle promrne ne odgovara autohtonim vrstama. Promenom staništa koje su prouzrokovale alohtone vrste autohtonim vrstama je smanjen pristup resursima potrebnim za opstanak, kao što su stanište za gniježđenje, hrana ili sklonište. Zbog posebnog ponašanja u reproduktivnom periodu vrsta *Lepomis gibbosus* utiče na izgled i sastav staništa gde ova riba vrši svoj mrest, pri čemu se uništava taj deo litorala za mrest ostalih ciprinida u Prespanskom, pa i Ohridskom jezeru (Talevski et al. 2009; Talevski et al., 2009; Trajchevski et al., 2020; Talevski et al., 2023).

Ukoliko unešena vrsta spada u istom rodu ili familiji sa nekom autohtonom vrstom može doći i do konkurencija za partnerstvo pri čemu unešena vrsta (*Carassius gibelio*) može da konkuriše sa autohtonim vrstama za partnere u reprodukciji, što dovodi do smanjenja reproduktionog procesa autohtonih vrsta. To se događa već dugi niz godina sa autohtonom populacijom riba u Dojranskom jezeru i unešene vrste *Carassius gibelio* (Talevski et al., 2023).

Značajan negativni uticaj unešene vrste *Lepomis gibbosus* na autohtonu ihtiofaunu je i konkurencija sa autohtonim predatorima. Ukoliko unešena vrsta nema prirodnih predatora u novom okruženju, može brzo rasti i širiti se, što može imati negativne posledice po autohtone vrste koje su dio lanca ishrane (Talevski et al., 2023).

Lanac ishrane se može prekinuti ako su unešene vrste efikasniji predatori ili konkurenti (*Lepomis gibbosus* i *Carassius gibelio*) i mogu smanjiti populacije autohtonih predatora. Ukoliko se unešene ribe hrane istom hranom kao autohtone ribe mogu dovesti do smanjenja populacija autohtonih riba. Kada se lanac ishrane prekine, to može imati dugoročne posledice po ekosistem, uključujući smanjenje biološke raznolikosti, promjene u strukturi populacija i smanjenje ekosistemskih usluga koje pruža taj ekosistem. Stoga je važno prepoznati i upravljati unešenim vrstama kako bi se očuvala stabilnost i funkcionalnost ekosistema.

Ostale unešene vrste *Alosa fallax*, *Hypophthalmichthys molitrix*, *Salmo letnica*, *Hypophthalmichthys nobilis*, *Ctenopharyngodon idella*, *Oncorhynchus mykiss*, *Parabramis pekinensis*, *Pseudorasbora parva*, *Tinca tinca*, *Gambusia holbrooki*, *Gambusia affinis*, *Pygocentrus nattereri*, *Silurus glanis*, *Economidichthys pygmaeus* imaju znatno manji negativni uticaj na autohtone vrste riba jer je njihova populacija smanjena od momenata njihove introdukcije i nemaju veliki uticaj u funkcioniranju ekosistema velikih makedonskih prirodnih jezera.

#### ZAKLJUČAK

Negativni uticaj alohtonih (unešenih) vrsta riba na autohtone vrste je složen i zavisi od mnogo faktora, uključujući ekološke uslove, kokurentnost, dostupnost hrane, prisustvo prirodnih predatora i konkurenata, kao i sposobnost unešenih vrsta da se prilagode novom okruženju. Tri vrste, *Carassius gibelio*, *Pseudorasbora parva* i *Rhodeus amarus* su unešena u sva tri prirodna makedonska jezera.

Najveći negativni uticaj na autohtonu riblju populaciju u makedonskim prirodnim jezerima imaju *Carassius gibelio*, *Lepomis gibbosus* i *Rhodeus amarus*.

Ostale unešene vrste *Alosa fallax*, *Hypophthalmichthys molitrix*, *Salmo letnica*, *Hypophthalmichthys nobilis*, *Ctenopharyngodon idella*, *Oncorhynchus mykiss*, *Parabramis pekinensis*, *Tinca tinca*, *Gambusia holbrooki*, *Gambusia affinis*, *Pygocentrus nattereri*, *Silurus glanis*, *Economidichthys pygmaeus* imaju neznatan negativni uticaj na autohtone vrste riba.

U narednom periodu potrebno je pravilno upravljanje ribljim resursima u svim makedonskim akvatičnim ekosistemima i primeniti posebne metode da bi se smanjile populacije svih alohtonih populacija i preuzeti sve mere protiv njihovo unošenje u ekosistemima.

## LITERATURA

- Kottelat M, Freyhof J. (2007) Handbook of European freshwater fishes DOI: 10.1007/s10228-007-012-3
- Milošević D, Talevski T (2015) Conservation Status Of Native Species In Natural Lakes Of Drim System (Prespa, Ohrid And Skadar Lake) And Dangers Of Commercial Fishing Bulg. J. Agric. Sci., Supplement 1, 21: 61–67
- Talevski T (1996) *Rhodeus sericeus amarus* (Bloch, 1782) нов вид во алохтоната ихтиофауна од Охридското Езеро I Конгрес на биолози на Македонија (со меѓународно учество), 146, Охрид
- Talevski T, Talevska M, Milosevic D, Talevska A (2009) Cyprinids spawning grounds and macrophyte vegetation in Lake Prespa, GEC16 Abstract book: pp 62-64.
- Talevski T, Talevska M, Milosevic D, Talevska A (2009) Cyprinids spawning grounds and macrophyte vegetation in Lake Ohrid , GEC16 Abstract book: pp 67-69,
- Talevski T, Talevska, A (2010) Comparative analysis of fish biodiversity of the Adriatic and the Aegean basin in the Republic of Macedonia, IV International Symposium of Ecologists of Montenegro, 06-10.10.2010 Budva, Monte Negro The book of Abstracts and programme pp.78-79
- Talevski T, Milosevic D, Talevska A (2010) Anthropogenic influence and conservation status of autochthonous fish fauna from Lake Prespa, Conference of water observation and information system for decision support, Balwois 2010, [http://balwois.com/balwois/administration/full\\_paper/ffp-1588.pdf](http://balwois.com/balwois/administration/full_paper/ffp-1588.pdf)
- Talevski T, Milosevic D (2016) Biodiversity and conservation status of the fish in the great natural lakes (Dojran Lake, Prespa Lake and Ohrid Lake) of the Macedonia Impact Factor IF-0.532. Acta zoologica bulgarica .
- Talevski T, Talevska M (2018) Biodiversity and conservation status of the fish and qualitative composition of the macrophytic vegetation in the Lake Dojran, Republic of Macedonia, 8th International Conference “Water & Fish” - Conference Proceedings 448 – 452
- Talevski, T., Trajčeski, B., Talevska, M., Tasevska, O. (2023) Fish and Fisheries of the Republic of North Macedonia, Current Situation, and its Perspective. part V Pages 249-301. Book. Editors; Simić, V., Simić, S., Pešić, V. Fish & Fisheries Series (FIFI, volume 43) „Ecological Sustainability of Fish Resources of Inland Waters of the Western Balkans Freshwater Fish Stocks, Sustainable Use and Conservation“ <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-031-36926-1>
- Trajchevski, B., Spirkovski Z., Ilik-Boeva, D., Talevski, T. (2020) An alien species or another perspective to the freshwater gobies puzzle: a new finding in Lake Prespa, Turkish Journal of Zoology

## UTICAJ REKA NA KVALITET VODE U LITORALNOJ ZONI PRESPANSKOG JEZERA (R.S. MAKEDONIJA)

Elizabeta Veljanoska Sarafiloska, Orhideja Tasevska,  
Lenče Lokoska, Suzana Patčeva, Jovica Lešoski

\* *JNU Hidrobiološki Institut, Ohrid, Naum Ohridski 50, 6000 Ohrid*  
[elizabetasarafiloska@yahoo.com](mailto:elizabetasarafiloska@yahoo.com), ORCID: 0009-0003-1630-3321  
[orhidejat@hio.edu.mk](mailto:orhidejat@hio.edu.mk), ORCID: 0000-0003-3976-0616

### REZIME

Cilj ovog rada je da se prikaže trofičko stanje i nutrijentno opterećenje vode u litoralnoj zoni Prespanskog jezera u blizini reka, kako i kvalitet same rečne vode, na osnovu dobivenih rezultata za pojedine definirane parametre fizičko hemijskog i biološkog aspekta. Dobiveni rezultati ukazuju na izrazit antropogeni uticaj u istraživanim mernim mestima, sa posebnim akcentom na lokalitet Golema Reka i litoral gde se ona uliva u jezero. Numeričke vrednosti dobivene za indeks trofičkog stanja (TSI) na bazi koncentracije ukupnog fosfora i hlorofila *a*, voda u litoralnoj zoni Prespanskog jezera je u mezotrofnom stanju.

KLJUČNE REČI: nutrijenti, litoral, antropogeni uticaj, trofičko stanje

## INFLUENCE OF RIVERS ON WATER QUALITY IN THE LITTORAL ZONE OF LAKE PRESPA (R.MACEDONIA)

### ABSTRACT

The aim of this work is to present the trophic state of water and nutrient loading at the littoral zone of Lake Prespa near the rivers and water quality of the rivers, reviewing the results of defined physical, chemical and biological parameters. The obtained results indicate an intense anthropogenic influence in the researched measuring points, with a special emphasis on the River Golema and the littoral where it flows into the lake. According to the numerical values for the trophic state index (TSI) based on the concentration of total phosphorus and chlorophyll *a*, the water in the littoral zone of Lake Prespa belongs to a mesotrophic state.

KEY WORDS: nutrients, littoral, anthropogenic influence, trophic state

## UVOD

Akvatični ekosistemi su podložni promenama, ne samo onih prirodnih kao što je geološko starenje nego i onih koji nastaju kao uzrok čovekovih aktivnosti (Reynolds 1978). Intenzivan proces urbanizacije, savremen način života, brzi razvoj industrijske proizvodnje, korišćenje savremene tehnike i sredstava u poljoprivredi, čija je primena neizbežna zbog zadovoljavanje potrebe humane populacije, dovode u velikoj meri do izrazitog poremećaja prirodne ravnoteže vodenih ekosistema.

Jezerski ekosistemi, posebno priobalni region jezera, u velikoj meri zavise od svog okruženja, odnosno od fizičkih, hemijskih i bioloških varijabla u slivnom području. Dosadašnja dugogodišnja istraživanja Prespanskog jezera, drugo prirodno jezero po veličini u Makedoniji, kako i njegovog rečnog sliva, ukazuju da je antropogeni uticaj izrazit u većem delu litoralne zone, sa posebnim akcentom na one regione gde se reke ulivaju u jezero (Lokoska 2005; Patčeva 2006; Sarafiloska 2012; Sarafiloska 2019; Vasileska 2019).

Cilj ovog rada je praćenje sezonskih promjena kvaliteta vode u rekama i litoralnoj zoni Prespanskog jezera, na osnovi nutrijentnog i organskog opterećenja, mikrobioloških analiza (ukupan broj heterotrofnih i koliformnih bakterija), vrste zooplanktona i koncentracija hlorofila *a* kao direktan indikator fitoplanktonske biomase.

## MATERIJAL I METOD RADA

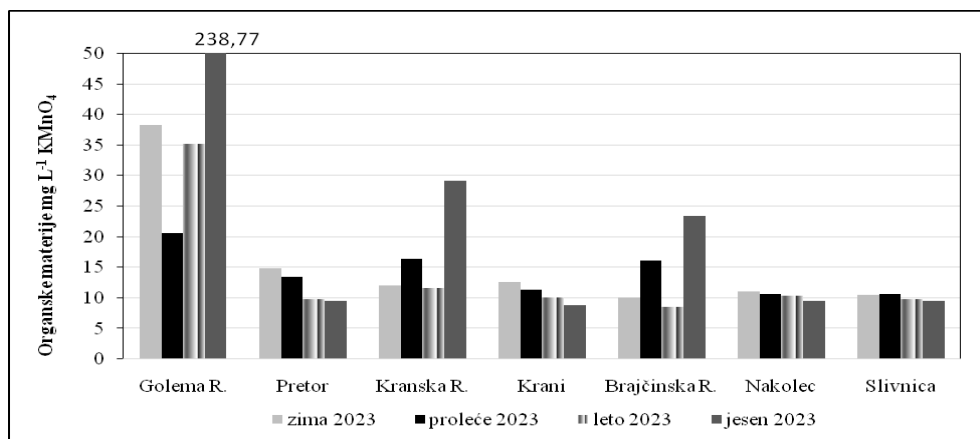
Uzorkovanje materijala sa sezonskom dinamikom tokom 2023 izvedeno je na sedam mernih mesta (četiri u litoralnoj zoni jezera: Pretor, Slivnica, Krani i Nakolec i tri najuticajnijih reka u slivu Prespanskog jezera: Golema, Kranska i Brajčnska).

Kolekcioniranje i skladiranje uzoraka vode za fizičko-hemijske i biološke analize vrši se standardnim limnološkim metodama (Wetzel & Likens 1978; APHA-AWWA-WPCF 2005), Ruttnerovom flašom i dređom za zooplankton. Prema standardnim metodama, ukupan azot i ukupan fosfor očitavaju se spektrofotometrijski, dok organske materije izražene kao potrošnja permanganata, rade se titrimetrijskom metodom Kubel-Tieman (Beter 1957; APHA-AWWA-WPCF 2005, Strickland & Parsons 1972; Solarzano 1969).

Klasifikacija vode urađena je prema Uredbi za klasifikacije voda Republike Makedonije (Sl. vesnik, 1999). Trofičko stanje vode određeno je primenom multidimenzionalnog trofičkog koncepta - Karlsonov indeks za trofičko stanje (TSI), koji je u funkciji fizičkih, hemijskih i bioloških parametara (Carlson 1977), a čije se numeričke vrednosti dobijaju na bazi koncentracije ukupnog fosfora i hlorofila *a*. Za klasifikaciju ekosistema koristi se skala (Aizaki 1981). Mikrobiološka procena kvaliteta vode urađena je prema Poetch & Kafka (2002) i Kohl (1975) klasifikaciji. Koncentracija hlorofila *a*, meri se spektrofotometrijski, nakon ekstrakcijom sa 90%-og etanola (ISO 10260 1992). Stepem saprobnosti na osnovi bioindikatora određen je prema Pantle i Bucku (1955).

## REZULTATI I DISKUSIJA

Organske materije u akvatičnim ekosistemima predstavljaju proizvodi biljnog i životinjskog porekla u različitim fazama njihovog raspadanja. Procesi mineralizacije organskih materija su najvažniji u oslobađanju biogenih elemenata u vodnoj sredini, čineći ih biološki dostupnim za živi svjet. Na slici 1, dat je grafički prikaz sadržaja organske materije u definiranim lokalitetima.

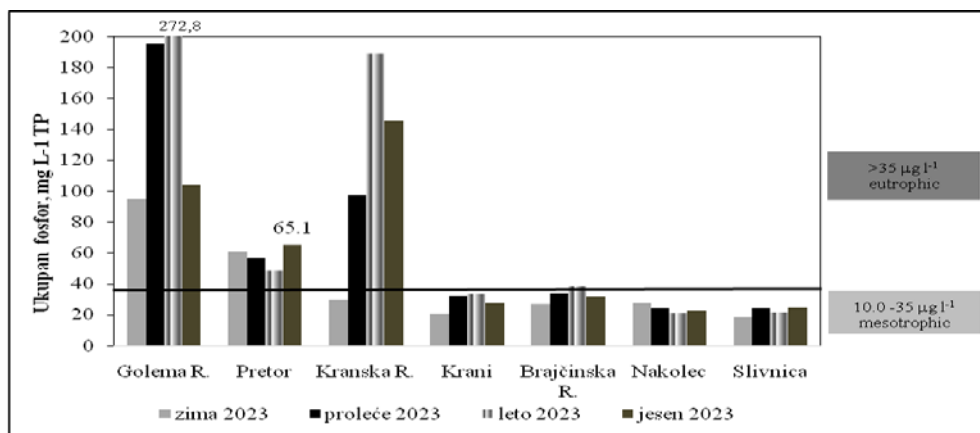


Slika 1. Organske materija, potrošnja  $\text{KMnO}_4$   
Figure 1. Organic matter,  $\text{KMnO}_4$  consumption

Možemo konstatirati da tokom svih sezona, najvarijabilnije i maksimalne vrednosti za ovog parametra su registrovane u Golemoj reci. Maksimalna vrednost iznosi  $238,77 \text{ mg L}^{-1}$ , evidentirana tokom jeseni 2023. Vrednosti u uzorcima kolekcioniranih iz reka su znatno veći od onih u litoralnoj zoni. U lokalitetu Pretor koji je u blizini ušća reke Goleme beleže se najveće vrednosti organskih materija. Ovaj fakat ukazuje na veliki uticaj reke na litoralnoj zoni jezera.

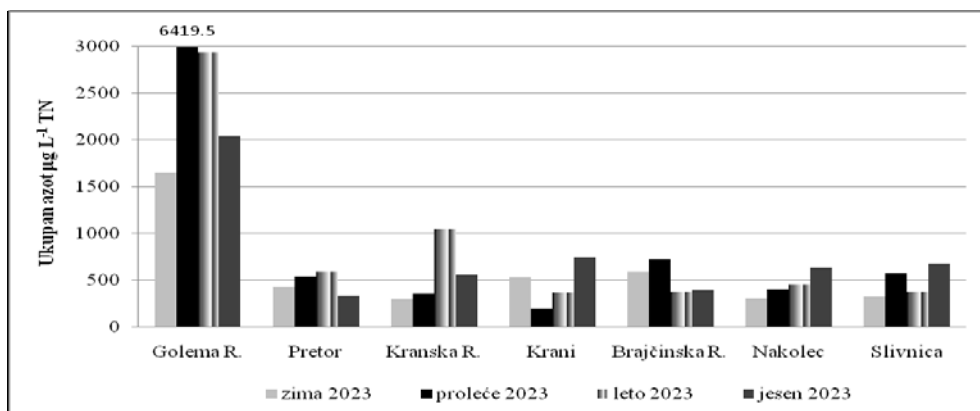
Nutrijentno opterećenje vode praćeno je određivanjem ukupne koncentracije dva najznačajnija biogena elementa, fosfora i azota. Na slici 2, dat je grafički prikaz sezonske vrednosti ukupnog fosfora, dok je na slici 3 prikaz ukupnog azota. Kao esencijalni element za rast organizama, fosfor može da bude biogeni element koji ograničava primarnu produkciju vodnih ekosistema. Njegova uloga u biološkom metabolizmu je razlog za ekološki interes o njemu. Dobiveni rezultati za ukupan fosfor ukazuju da uzorci iz reka imaju veće vrednosti koncentracije ukupnog fosfora u odnosu na litoral. Maksimalna vrednost je evidentirana u Golemoj reci i iznosi  $272,8 \mu\text{g L}^{-1}$  tokom leta 2023, dok maksimalna vrednost u litoralu Pretor iznosi  $65,1 \mu\text{g L}^{-1}$ , što je još jedna potvrda na uticaj Goleme reke na kvalitet vode litorala Prespanskog jezera. Suglasno Uredbi o klasifikaciji voda, na osnovu ukupnog fosfora, voda u litoralnoj zoni kreće se od II do IV klase, dok u rekama voda pripada V klasi.





Slika 2. Koncentracije ukupnog fosfora  
Figure 2. Concentration of total phosphorus

Primarni antropogeni izvor fosfora u akvatičnim ekosistemima predstavljaju otpadne vode iz urbanih sredina (iz domaćinstava pre svega deterdenti i sredstava za ličnu higijenu), industrijske otpadne vode kako i najznačajniji izvor za ovog područja, sa ogleđom da je ovo poljoprivredno područje, drenažne vode iz poljoprivrednjih površina. Intenzivna upotreba veštačkih đubriva koji kao aktivnu komponentu sadrže azot i fosfor, značajno doprinose za obogaćenje vodnih ekosistema organski materijama.

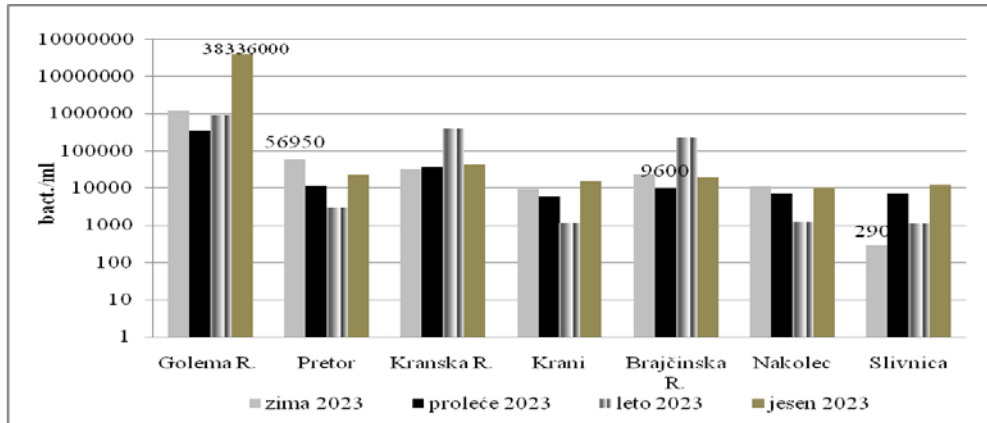


Slika 3. Koncentracije ukupnog azota  
Figure 3. Concentration of total nitrogen

Maksimalne vrednosti za azot su evidentirane u Golemoj reci i to tokom celog istraživačkog perioda (Sl. 3). Kategorizacija vode u litoralnoj zoni Prespanskog jezera je sezonski jako varijabilna i kreće se u granicama od I - III klase.

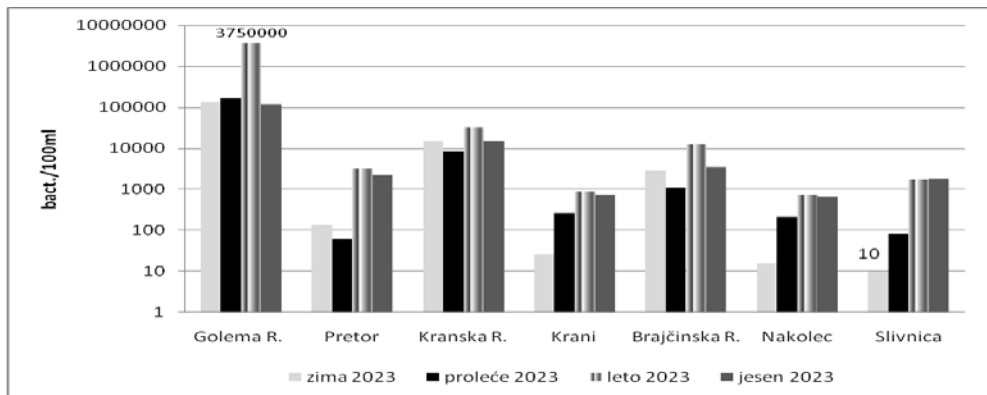
U kompleksnoj proceni trofičkog stanja i kvalitet vode u akvatičnim ekosistemima, mikrobiološki parametri zauzimaju vrlo značajno mesto. Bakterije su idealan senzor za

indikacije mikrobnih zagađenja površinskih voda i prve odgovaraju na promene uslova u životnoj sredini i su u korelaciji za fizičko-hemijskim parametrima. Heterotrofne bakterije su nađene u svim uzorcima vode. U odnosu na njihovu brojnost vide se velike prostorne i sezonske varijabilnosti (Sl. 4).



Slika 4. Ukupan broj heterotrofnih bakterija  
Figure 4. Total heterotrophic bacteria

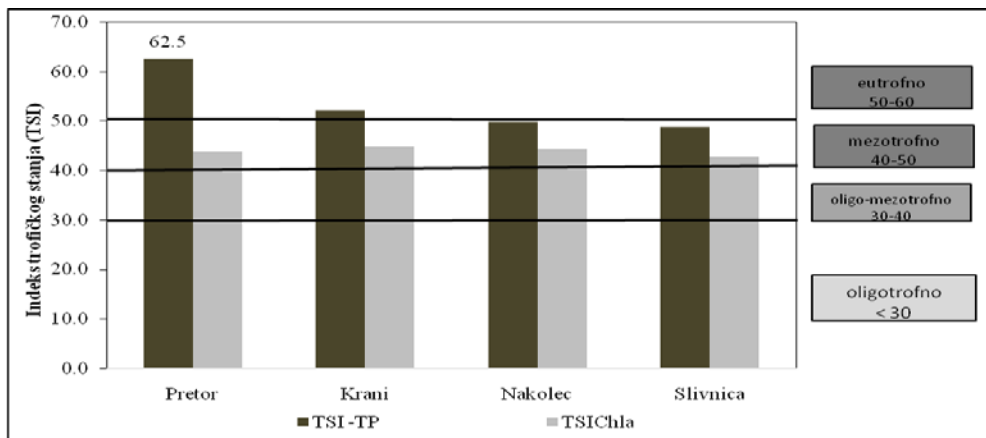
Vrednosti u uzorcima reke kreću se od 9600 (Brajčinska reka) do 3833600 bakt./ml (Golema reka), a u vodi litorala od 290 (lokalitet Slivnica) do 56950 bakt./ml (Pretor). Velika brojnost heterotrofnih bakterija u litoralu Pretor je rezultat negativnog uticaja Goleme reke, koja je zagađena komunalnim, drenažnim i industrijskim otpadnim vodama. Prema klasifikaciji voda na bazi brojnosti heterotrofnih bakterija (Kohl 1975; Kavka & Poetsch 2002), voda litorala jezera pripada u granicama od II do III klase, a voda Kranske i Brajčinske reke pripada III-IV klasi. Tokom istraživanja Golema reka se karakterizira sa najvećim brojem heterotrofnih bakterija i pripada generalno IV-V klasi.



Slika 5. Ukupan broj koliformnih bakterija  
Figure 5. Total coliformn bacteria

Koliformne bakterije, kao pokazatelj fekalnog zagađenja, su prisutne tokom celog istraživačkog perioda i to u svim lokalitetima, sa najvećom evidentiranom brojnošću tokom letnjeg perioda. Njihova zastupljenost je veća u rečnim uzorcima, sa maksimalnom vrednošću u Golemoj reci (3750000 bact./100ml) (Sl. 5). Prema brojnosti koliformnih bakterija voda litorala Prespanskog jezera pripada uglavnom granicama I - II klase (Kavka & Poetsh 2002), dok spored Kohl (1975) kvalitet vode reke Brajčinske i Kranske pripada u granicama III-IV klase, dok Golema reka pripada u granicama od IV-V klase.

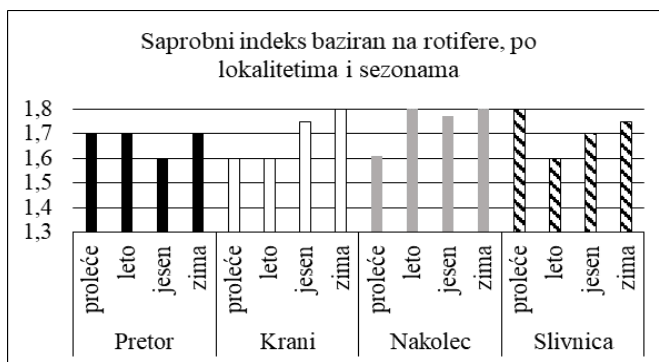
U svim uzorcima iz litorala Prespanskog jezera, prosečna vrednost koncentracije hlorofila *a* je bila niža od  $5 \mu\text{g L}^{-1}$ . Maksimalna prosečna vrednost hlorofila *a* evidentirana je u litoralu Nakolec i iznosi  $4,78 \mu\text{g L}^{-1}$ , dok minimalna prosečna vrednost je u Pretor ( $3,21 \mu\text{g L}^{-1}$ ), što govori da u litoralu Prespanskog jezera postoji vidljivo opterećenje nutrijentima, posebno fosforom. Za razliku od litorala, prosečne vrednosti za hlorofil *a* u rekama, su znatno niže i kreću se od 1,43 u Brajčinskoj do  $1,73 \mu\text{g L}^{-1}$  u Kranskoj reci, srazmerno gustini fitoplanktona, što ukazuje na nisku produkciju fitoplanktona u rekama.



Slika 6. Indeks trofičkog stanja u odnosu na ukupnog fosfora i hlorofila *a*  
 Figure 6. Trophic state index based on total phosphorus and chlorophyll *a*

Numeričke vrednosti indeksa trofičkog stanja (TSI), dobivene na osnovu koncentracije ukupnog fosfora i hlorofila *a*, tokom 2023, ukazuju na mezotrofno stanje jezerske vode u litoralu Prespanskog jezera (Sl. 6). Izuzetak pretstavlja vrednost TSI indeksa izračunata na osnovu ukupnog fosfora za Pretor koja iznosi 62,5, i ukazuje na prelaz u eutrofno stanje.

Prema sastavu rotifera i vrednostima saprobnog indeksa koji se kreće u granicama 1.6 do 1.8, voda iz priobalja Prespanskog jezera uglavnom ima b-mesosaprobni karakter (Sl. 7).



Slika 7 Saprobni indeks  
Figure 7 Index of saprobity

Osetljivost rotifera na niz fizičko-hemijskih indikatora omogućava njihovu upotrebu kao bioloških indikatora saprobnosti vodenih ekosistema (Tasevska et al. 2004; Fowler & Duggan 2008). Kvalitativni i kvantitativni sastav zajednice litoralnih rotifera varira u zavisnosti od godišnjeg doba i lokaliteta. U Prespanskom jezeru najveći broj taksona registrovan je u proleće i leto. Tip staništa, odnosno lokalitet, u velikoj meri utiče na sastav i gustinu populacije rotifera. Najveći broj vrsta pronađen je na lokalitetima obraslim vodenom vegetacijom, gde je moguće naslagati muljeviti materijal i detritus, koji uglavnom potiče od razloženih delova uginulih biljaka. Analiza kvalitativnog sastava rotifera u litoralu pokazuje da preovlađuju fitofilne i epifitske vrste prisutne u oblasti vodene vegetacije, delimično bentoske, dok je manji broj tipično planktonski. Analiza prikupljenog materijala iz reka pokazuje kvalitativno i kvantitativno siromaštvo vrsta, pre svega zbog nestabilnosti staništa (Ricci & Balsamo 2001). Registrovane vrste su uglavnom bentosne i perifitonske.

## ZAKLJUČAK

Dobiveni rezultati iz fizičko-hemijskog i biološkog aspekta, ukazuju na izrazit antropogeni uticaj u rekama i litoralnoj zoni Prespanskog jezera, posebno u regionima gde se reke ulivaju u jezero. Najalarmantnije stanje na bazi svih analiza je registrovano u Golemoj reci i litoral Pretor, ispred njenog ušća.

Rezultati TSI indeksa na bazi ukupnog fosfora i hlorofila a, ukazuju na mezotrofno stanje vode litorala Prespanskog jezera.

Imajući u vidu veliku naučnu važnost Prespanskog jezera, njegovu multifunkcionalnost kao rezervoar za vodu za piće, ribolov, sport i rekreaciju, nameće se potreba o permanentnom praćenju kvaliteta jezerske vode.

### Zahvalnica

Velika zahvalnost fondaciji PONT (Prespa Ohrid Nature Trust) koja je finansirala sve aktivnosti projekta "Identifikacija antropogenog uticaja na Prespansko jezero" 2021-2024, u čijem okviru su sprovedena ova istraživanja.

## LITERATURA:

- APHA-AWWA-WPCF, (2005) Standard methods for the examination of water and wastewater. 21th ed – Washington DC.
- Aizaki, M., Otsuki, A., Fukusima, T., Hosomi, M., Muraoka, K., Application of Carlson's trophic state index to Japanese lakes and relationship between the index and other parameters. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 21 (1981) 675-678
- Bether, G., (1953) Praktikum za hemisko ispitivanje voda. Hig. Inst. Srbije br 3. Beograd. Str.79.
- Carlson, R.E. A Trophic State Index for Lakes. *Limn. and Oceanogr* 22 (1977) 363– 369
- Elizabeta M. Veljanoska-Sarafiloska, Lence S. Lokoska & Suzana B. Patceva — Water Quality of Lakes Ohrid and Prespa Based on Physical-chemical and Biological Parameters in 2013-2014. *Acta zool. bulg., Suppl.* 13 (2019) 25-32
- Elizabeta V. Sarafiloska, Suzana Patceva., Trophic Status of Lakes Ohrid and Prespa during 2004-2006. *Journal of International Environmental Application & Science* 7(2) (2012) 291-299
- Göbel, C. Dierkes, W.G. Coldewey, Storm water runoff concentration matrix for urban areas, *Journal of Contaminant Hydrology* 91 (2007) 26–42
- Kavka G, Poetsch E, (2002) Microbiology. In: Joint Danube Survey – Technical report of the International Commission for the Protection of the Danube River. 138-150.
- Kohl, W., Über die Bedeutung Bakteriologischer Untersuchungen für die Beurteilung von Fließgewässern, Dargestellt am Beispiel der Österreich. Donau. *Arch. Hydrobiol.* 44 (1975) 4: 392 - 461.
- ISO 10260, (1992). Water quality - measurement of biochemical parameters - spectrometric determination of the chlorophyll *a* concentration, ISO, Geneva.
- Локоска, Л., М. Јорданоски, Е.В. Сарафилошка, Квалитет воде Преспанског језера са биолошког и физичко-хемијског аспекта. Зборник радова. Југословенско друштво за заштиту вода и Друштво за заштиту вода Србије, 7-10 јуни Копаоник. Вода 2005
- Pantle, R. and Buck, H., (1955). Die biologische Überwachung der Gewässer und die Darstellung der Ergebnisse. *Gas und Wasserfach* 96, 604.
- Reynolds, C.S., (1978) Phosphorus and the eutrophication of lakes - a personal view. In Phosphorus in the Environment: its chemistry and biochemistry. Ciba foundation Symposium 57 201-228
- Vasilevska, S. P., E. M. Veljanoska-Sarafiloska & L. S. Lokoska, Water Quality of the Rivers in the Prespa Region in 2014. *Acta zool. bulg., Suppl.* 13 (2019) 11-18
- Solorzano, L., Determination of ammonia in natural waters by the phenylhypochlorite method. *Limnol. Oceanogr.* 14 (1969) 799-801.
- Strickland, J.D.H. & Parsons, T. R., (1972): A practical handbook of seawater analysis. 2nd ed. - Bull. Fish. Res. Bd. Canada: 167pp.
- Patceva, S., V. Mitik, M. Jordanoski, E. Veljanoska-Sarafiloska, Trophic state of Lake Prespa, Conference on water observation and information system for decision support. Ohrid, Macedonia 23-26 May (2006). CD- publikacija. [www.balwois.net](http://www.balwois.net).
- Uredba o klasifikaciji površinskih voda R. Makedonija 1999, Služben vesnik Rmakedonije (18/99) 1165-1179
- Westerlund C., Viklander M., Particles and associated metals in road runoff during snowmelt and rainfall, *Science of the Total Environment* 362 (2006) 143– 156
- Woods-Ballard, B., Kellagher, R., Martin, P., Jefferies, C., Bray, R. and Shaffer, P. (2007) The SUDS Manual: Updated Guidance on Technical Design and Construction. Report 697. CIRIA, London
- Wetzel, R. G., Likens, G. (1979) *Limnological analyses*. W. B. Saunders Comp. Philadelphia, London, Toronto 357.

## ZAJEDNICA ROTIFERA KAO POKAZATELJ EKOLOŠKOG STATUSA PRESPANSKOG JEZERA (R.S. MAKEDONIJA)

Orhideja Tasevska, Goce Kostoski, Elizabeta Veljanoska  
Sarafiloska

*JNU Hidrobiološki zavod, Naum Ohridski 50 Ohrid,  
orhidejat@hio.edu.mk, ORCID: 0000-0003-3976-0616  
gocekos@hio.edu.mk,  
elizabetasarafiloska@yahoo.com, ORCID: 0009-0003-1630-3321*

### REZIME

Ekološki status Prespanskog jezera određivan je na osnovu taksonomskih (broj vrsta, diverzitet, gustina) i funkcionalnih osobina (strategija ishrane) rotifera. Konstatovano je 44 vrsta, 35 litoralnih i 9 pelagičnih s prosečnom gustinom populacije od 25 ind. L<sup>-1</sup> i značajnim udelom (65%) u skupu zooplanktona. Dominiraju mikrofagne *Kellicottia longispina* i *Keratella cochlearis* u proleće i leto, i grabljive *Polyarthra vulgaris* i *Synchaeta pectinata* u jesen. Dominacija mikrofagnih rotifera ukazuje na povećanu produktivnost u Prespanskom jezeru. Pearsonova korelacija pokazuje da je brojnost rotifera značajno povezana sa TP i TN. Taksonomske i funkcionalne osobine rotifera mogu biti koristan pokazatelj ekoloških procesa u slatkovodnim ekosistemima.

KLJUČNE REČI: taksonomske, funkcionalne osobine, trofički status

## ROTIFERA COMMUNITY AS AN INDICATOR OF THE ECOLOGICAL STATUS OF LAKE PRESPA (R.N. MACEDONIA)

### ABSTRACT

The ecological status of Prespa Lake was determined on the basis of taxonomic (number of species, diversity, density) and functional properties (feeding strategy) of rotifers. 44 species were found, 35 littoral and 9 pelagic with an average population density of 25 ind. L<sup>-1</sup> and a remarkable share (65%) in the zooplankton assemblage. Microphagous *Kellicottia longispina* and *Keratella cochlearis* dominate in spring and summer, and raptorial *Polyarthra vulgaris* and *Synchaeta pectinata* in autumn. The dominance of microphagous rotifers indicates increased productivity in Lake Prespa. Pearson's correlation shows that the abundance of rotifers is significantly related to TP and TN. Taxonomic and functional characteristics of rotifers can be a useful indicator of ecological processes in freshwater ecosystems.

KEY WORDS: taxon-based indicators, feeding guilds, trophic level

## UVOD

Skupine rotifera su značajni indikatori promena životne sredine zbog njihove suštinske uloge u lancima ishrane, kao ključni organizmi između hranljivih resursa, primarnih proizvođača i viših trofičkih nivoa (Duggan et al. 2001; Fowler and Duggan, 2008; Compte et al., 2016).

Dinamika populacije, fluktuacije abundantnosti i interakcije u lancima ishrane, kao i strategija ishrane su osobine koje se koriste za procenu mehanizama odgovora rotifera na promene u životnoj sredini i funkcionisanje unutar ekosistema (Karabin 1985; Obertegger and Manca, 2011; Špoljar et al., 2011; Litchman et al., 2013; Tasevska et al., 2017).

## MATERIJAL I METOD RADA

Uzorkovanje je obavljeno tokom 2023 u pelagijalnoj i litoralnoj zoni Prespanskog jezera. Materijal iz pelagijala je sakupljen 5-litarskim Ruttnerovim uzorkivačem, dok je iz litorala uzorkovan dredom, zatim filtriran kroz sito (45  $\mu\text{m}$ ) i fiksiran 4% formaldehidom. Analiziran je pomoću mikroskopa Olympus BKS43 i inverznog mikroskopa Leica DM IRB kao i Olympus UC30 kamere opremljene softverom za arhiviranje i obradu fotografija i podataka. Identifikacija vrsta je izvršena prema Rudescu (1960), Kutikova (1970), Koste (1978), Živković (1987), Segers (1995).

Taksoni su podeljeni u funkcionalne grupe (FFG), prema njihovom mehanizmu sakupljanja hrane i veličini čestica kojima se hrane (Karabin, 1985; Špoljar et al., 2011) kao mikrofagi (M) – sakupljaju uglavnom suspenzije bakterio-detritusa i grabljivci (R) – pokazuju aktivno hvatanje hrane, tj. algi, protozoa ili mikrofaune (Obertegger et al., 2011).

Stepen saprobnosti na osnovi bioindikatora određen je prema Pantle i Bucku (1955).

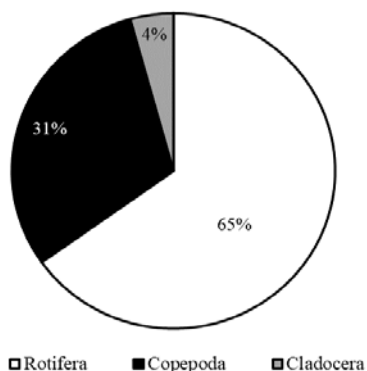
Standardnim limnološkim metodama praćeni su sledeći hemijski i fizički parametri: temperatura, rastvoreni kiseonik, pH, Seki prozirnost, ukupan azot i ukupan fosfor.

Pearsonovom korelacijom (STATISTICA 12.0) analiziramo odnose između promenljivih parametara životne sredine (koncentracije TP i TN) i brojnosti rotifera.

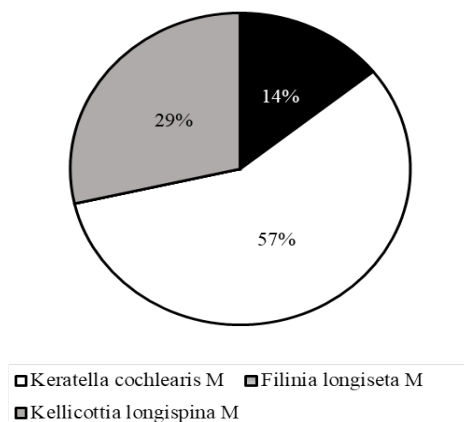
## REZULTATI I DISKUSIJA

U Prespanskom jezeru zabeležene su ukupno 44 vrste rotifera, koje pripadaju 15 porodica i 24 roda. 35 vrsta su tipični stanovnici litorala. Devet pelagijalnih rotifera sa prosečnom godišnjom gustinom od 25 ind.  $L^{-1}$  pokazuju značajan udeo (65%) u skupu zooplanktona (Slika 1). Ekosistemi s višim stepenom trofije sadrže veće količine suspendovane organske materije i stoga lako podržavaju veću biomasu i produktivnost mikrozooplanktona sa kratkim generacijskim vremenom (Haberman and Haldna, 2014). Konstatovana je očigledna godišnja dominacija mikrofaga *Kellicottia longispina* i *Keratella cochlearis* u

proleće i leto, praćeno grabljivim *Poliarthra vulgaris* i *Synchaeta pectinata* u jesen, sa prosećnom godišnjom gustinom od 43, 27, 16 i 9 ind. L<sup>-1</sup>, respektivno (Slika 2 i 3). Dominacija mikroflagnih rotifera ukazuje na povećanu produktivnost u Prespanskom jezeru.

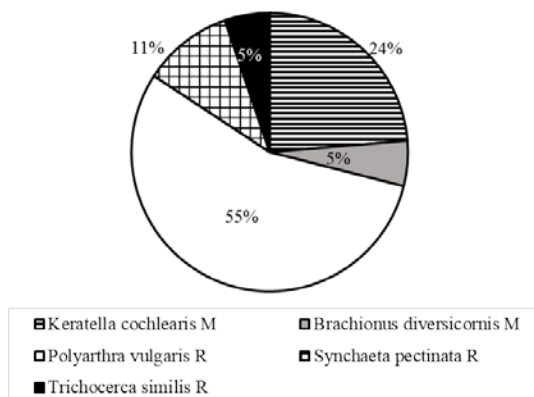


Slika 1. Sastav zooplanktona Prespanskog jezera  
Figure 1. Lake Prespa zooplankton assemblage



Slika 2. Letnji sastav skupine Rotifera  
Figure 2. Summer Rotifera assemblage



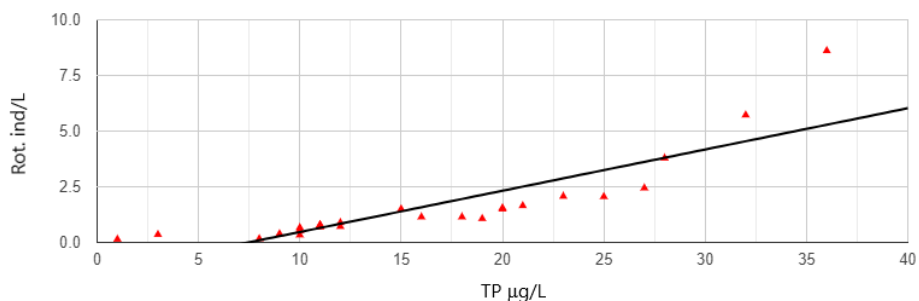


Slika 3. Jesenji sastav skupine Rotifera  
Figure 3. Autumn Rotifera assemblage

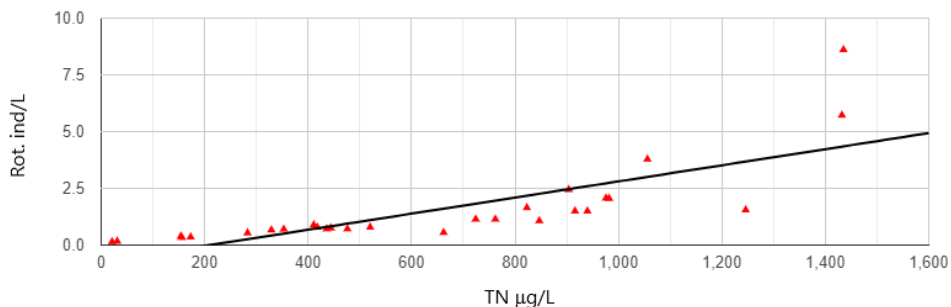
Saprobni indeks u litoralnoj zoni se kretao između 1.7 i 2, što ukazuje na  $\beta$ -mezosaprobni karakter vode.

Antropogene aktivnosti u Prespanskom regionu: prekomerna primena đubriva, navodnjavanje i ispuštanje otpadnih voda dovode do povećanja količine azota (N) i fosfora (P) u jezerskom ekosistemu (Löffler et al, 1998; Veljanoska-Sarafiloska et al., 2019). Ovi hranljivi sastojci su često ograničavajući faktor u primarnoj proizvodnji i mogu imati ozbiljne posledice na dinamiku ekosistema. Pošto opterećenje nutrijentima utiče na sastav, raznovrsnost i brojnost zajednica rotifera (dos Santos et al., 2021), analizirali smo i glavne pokretače strukturiranja zajednice rotifera u pelagijalnoj zoni Prespanskog jezera.

TP se kretao između 10 i 36  $\mu\text{g/L}$  ( $\pm 8 \mu\text{g/L}$ ), a TN između 376 i 1383  $\mu\text{g/L}$  ( $\pm 246 \mu\text{g/L}$ ). Pearsonova korelacija je pokazala da je brojnost rotifera značajno povezana sa TP ( $R = 0,802$ ,  $P = .016638$ ,  $p < .05$ ) (Slika 4) i TN ( $R = 0.776$ ,  $P = .023589$ ,  $p < .05$ ) (Slika 5).



Slika 4. Odnos TP i abudantnost rotifera  
Figure 4. Relationship of TP with rotifer abundance



Slika 5. Odnos TN i abudantnost rotifera  
Figure 5. Relationship of TN with rotifer abundance

Očigledan odgovor zajednice rotifera na TP i TN i njihovu ulogu u slatkovodnim ekosistemima, povezujući primarne proizvođače i više trofičke nivoe, čini ih efikasnim sredstvom u praćenju zagađenja i proceni funkcionisanja i očuvanja ekosistema.

## ZAKLJUČAK

Indikatori zasnovani na taksonomskim karakteristikama kao što su bogatstvo vrsta i diverzitet imaju tendenciju da opadaju sa povećanjem trofičkih nivoea, dok se gustina rotifera povećava sa povećanjem trofičkog statusa.

Dominacija mikrofagnih rotifera ukazuje na povećanu produktivnost u Prespanskom jezeru.

Nalazi ove studije pokazuju da pristup zasnovan na taksonimskim i funkcionalnim karakteristikama rotifera može biti koristan alat za procenu ekoloških procesa u slatkovodnim ekosistemima.

## Zahvalnica

Zahvaljujemo fondaciji PONT (Prespa Ohrid Nature Trust) koja je finansirala projekt „Identifikacija antropogenog uticaja na Prespansko jezero“ u čijem okviru su sprovedena ova istraživanja.

## LITERATURA:

- Compte, J., Montenegro, M., Ruhí, A., Gascón, S., Sala, J., Boix, D., Microhabitat selection and diel patterns of zooplankton in a Mediterranean temporary pond. *Hydrobiologia* 766 (2016) 201-213
- dos Santos, E.F., Abra, J., Castilho-Noll, M.S.M. Does land use influence the local and regional structure of the rotifer assemblage?. *Hydrobiologia* 848 (2021) 1059–1072

- Duggan I.C, Green J.D. and Shiel R.J., Distribution of rotifers in North Island, New Zealand, and their potential use as bioindicators of lake trophic state. *Hydrobiologia* 446/447 (2001) 155–164.
- Fowler, E.C., Duggan, I.C. (2008) Assessment of trophic state change in selected lakes of the Auckland Region based on rotifer assemblages: 2005–2008. Prepared by the Centre for the Biodiversity and Ecology Research, University of Waikato, for Auckland Regional Council. Auckland Regional Council Document TR 2009/001
- Haberman J., Haldna M., Indices of zooplankton community as valuable tools in assessing the trophic state and water quality of eutrophic lakes: long term study of Lake Vörtsjärv. *Journal of Limnology* 73 (2014) 263–273
- Karabin, A., Pelagic zooplankton (Rotatoria + Crustacea) variation in the process of lake eutrophication. Modifying effect of biotic agents. *Ekologia Polska* 33 (1985) 617–644
- Koste, W. (1978) Rotatoria. Die Radertiere Mitteleuropas. Überordnung Monogononta. Ein Bestimmungswerk, begründet von Max Voigt. 2. Auflage neubearbeitet von Walter Koste. 2 Bände. Textband: VIII, 673 S., ISBN 3-443-39071-4 II Tafelband: II, 476 S., 234 Taf.
- Kutikova, L.A. (1970) Kolovratki fauny SSSR (Rotatoria) podklass Eurotatoria (Otryady Ploimida, Monimotrochida, Paedotrochida). Opređeliteli po faune, Vyp. 104. Izd. Nauka, Leningrad, 744 p. (In Russian).
- Litchman, E., Ohman, M. D., Kiørboe, T. Trait-based approaches to zooplankton communities. *Journal of Plankton Research* 35 (2013) 473-484
- Löffler, H., Schiller, E., Kusel, E. et al. Lake Prespa, a European natural monument, endangered by irrigation and eutrophication?. *Hydrobiologia* 384 (1998) 69–74
- Obertegger, U., Smith, H. A., Flaim, G., Wallace, R. L. Using the guild ratio to characterize pelagic rotifer communities. *Hydrobiologia* 662 (2011) 157-162
- Obertegger, U., Manca, M., Response of rotifer functional groups to changing trophic state and crustacean community. *Journal of limnology* 70, 2 (2011) 231-238.
- Pantle, R., Buck, H. (1955) Die biologische Überwachung der Gewässer und die Darstellung der Ergebnisse. *Gas und Wasserfach* 96, 604.
- Segers H. (1995) Rotifera. Volume 2: The Lecanidae (Monogononta). SPB Academic Publishing, 226
- Špoljar, M., Dražina, T., Habdija, I., Meseljević, M., Grčić, Z., Contrasting zooplankton assemblages in two oxbow lakes with low transparencies and narrow emergent macrophyte belts (Krapina River, Croatia). *International Review of Hydrobiology* 96, 2 (2011) 175-190
- Tasevska, O., Špoljar, M., Gušeska, D., Kostoski, G., Patcheva, S., Elizabeta Sarafiloska, V., Zooplankton in ancient and oligotrophic Lake Ohrid (Europe) in association with environmental variables. *Croatian Journal of Fisheries* 75 (2017) 95-103.
- Živković A. (1987) Fauna Rotatoria jugoslovenskog dela Dunava i voda njegovog plavnog područja kod Apatina. [Fauna Rotatoria in the Yugoslav part of the Danube River and its flood regions at Apatin with descriptions of three new species]. *Zbornik radova o fauni SR Srbije*, IV, SANU, Odeljenje priir. mat. nauka, Beograd, 115 pp.
- Veljanoska-Sarafiloska, E., L. Lokoska, S. Patceva., Water Quality of Lakes Ohrid and Prespa Based on Physical-chemical and Biological Parameters in 2013-2014. *Acta zool. bulg.*, Suppl. 13, (2019) 25-32

## KVALITET VODE PRESPANSKOG JEZERA

Lence Lokoska, Elizabeta Veljanoska-Sarafiloska

*Hidrobiološki zavod, Naum Ohridski, 50, 6000 Ohrid, R Makedonija*

*Email: [lokoskalence@yahoo.com](mailto:lokoskalence@yahoo.com)*

*[elizabetasarafiloska@yahoo.com](mailto:elizabetasarafiloska@yahoo.com), ORCID: 0009-0003-1630-3321*

### REZIME

Kvalitet površinskih voda je od izuzetnog značaja, kako za organizme koji u njima žive, tako i za ljude koji ih koriste za različite potrebe. U toku 2023 godine vršena su mikrobiološka i fizičko-hemijska istraživanja vode litorala i pelagijala Prespanskog jezera. Cilj istraživanja je da se utvrdi kvalitet vode i antropogeni uticaj na trofiju jezera. Korišćene su standardne limnološke metode. Prema dobijenih rezultata i normative o kategorizaciji voda, kvalitet vode Prespanskog jezera uglavnom se kreće od I do V klase. Da bi se sprečili procesi eutrofizacije trebalo bi preduzeti mere stalne kontrole kvaliteta i zaštite Prespanskog jezera.

KLJUČNE REČI: bakterii, nutrienti, litoral, peagijjal

## WATER QUALITY OF LAKE PRESPEA

### ABSTRACT

The quality of surface waters is a matter of extremely great importance, not only for the organisms living in these waters, but also for human beings. Investigations of Lake Prespa water were conducted during 2023, with aim to determine water quality and anthropogenic influence on the trophic state of the Lake, using standard limnological methods. According to the obtained results and criteria for the water categorization, the water quality of the Lake Prespa is I to V class. In order to prevent further eutrophication processes, measures of permanent quality control and protection of Lake Prespa should be taken.

KEY WORDS: bacteria, nutrients, littoral, pelagial

### UVOD

Prespansko jezero ima promenljivu površinu i dubinu kroz evoluciju jezera, u zavisnosti od klimatskih promena i od antropogenog uticaja. Cvijić [1] ističe da velike oscilacije jezerskog nivoa koje su se pojavile u XI- tom stoleću uticale su na opadanje jezerskog nivoa za 10m na početku XX-tog stoleća. Vodni resursi Prespanske kotline koriste se za različite namene: vodosnabdevanje naseljenih mesta u dolini, vode za industrijske

kapacitete i navodnavanje poljoprivrednih regiona u sve tri zemlje (Makedonija, Grčka, Albanija). Pored poljoprivredne upotrebe, ekonomski značaj u slivu jezera imaju turizam i ribarstvo.

Procesi intenzivne urbanizacije i industrijalizacije sve više utiču na kvalitet površinskih voda. Iz naselja i sa poljoprivrednih površina unose se nutrijente što dovodi do ubrzavanja procesa eutrofikacije vode.

Bakterijski indikatori zagađenosti predstavljaju vrlo značajne parametre za ocenu stepena čistoće jezerske vode i to naročito u priobalnoj zoni jezera.

U cilju istraživanja kvaliteta vode definisana su pet merna mesta u litoralnom regionu jezera: Stenje, Oteševo, Asamati, Slivnica i Dolno Dupeni. Sa pelagijalnog dela jezera (lokalitet Kazan) uzorkovanje je vršeno u vertikalnom profilu sa četiri dubine (0,5 m, 7, 15 i 25 m).

## MATERIJAL I METODE

Uzorcima su uzimani za mikrobiološka i fizičko-hemijska istraživanja vode u zimskom, prolećnom, letnjem i jesennjem periodu tokom 2023 godine, standardnim limnološkim metodama [1, 5, 7, 8]

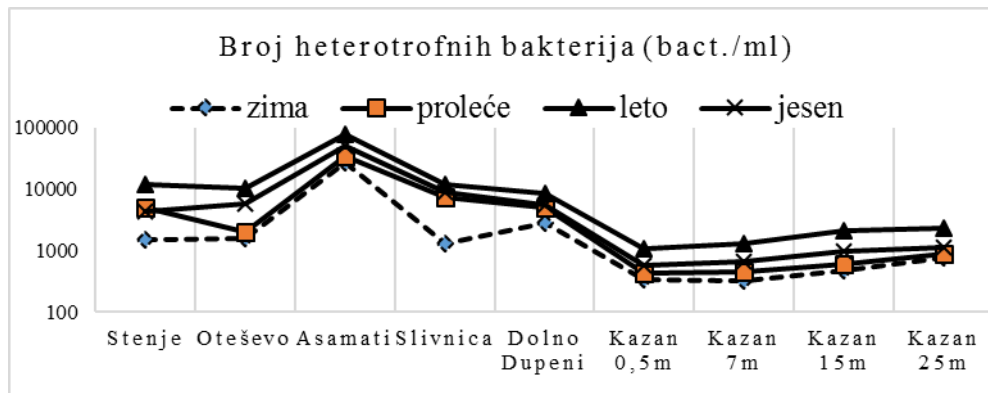
U svim uzorcima utvrđen je broj aerobnih heterotrofnih bakterija na hranljivom agaru. Ukupni koliformi i *E. coli* su određeni metodom membranske filtracije, korišćenjem Chromocult Coliform agara (CCA, Merck) nakon inkubacije od 24 h na 37°C. Enterokoki su kultivisani na Bile esculin agaru (tehnika membranskog filtera). Kulturne karakteristike, posle 18-24h na 37 °C sa smeđim kolonijama i bujnim rastom. Biološka potrošnja kiseonika za pet dana-BPK<sub>5</sub> rađena je metodom Winkler-a; organsko opterećenje kao permanganatna potrošnja metodom titracije, amonijak-spektrofotometrijski [1].

## REZULTATI I DISKUSIJA

Ukupan broj aerobnih heterotrofa (saprofita) - predstavlja mikrobiološki indikator stanja i kvaliteta voda koji se primjenjuje sa šireg ekološkog aspekta. Predstavljaju najrašireniju grupu bakterija prema tipu metabolizma u prirodi. Za ove bakterije organska materija je izvor ugljenika i izvor energije. Rezultati analiza broja heterotrofnih bakterija prikazani su na Slika 1. Ove bakterije su nađene u svim uzorcima vode.

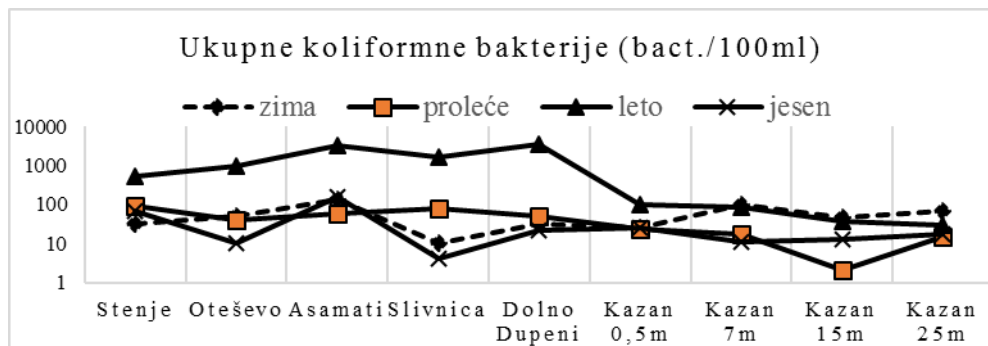
Brojnost heterotrofnih bakterija je velike prostorne i sezonske varijabilnosti i kreće se od 1290 (kod Slivnice) do 78 000 bakt./ml (Asamati) u vodi litorala i od 316 (na dubini od 7m) do 2320 bakt./ml (25m) u vodi pelagijala jezera. Minimalne vrednosti su zimi, a maksimalne leti kada su temperature vode visoke. Velika brojnost heterotrofa u vodi litorala kod Asamati je rezultat negativnog uticaja reke Golema koja je zagađena komunalnih i industrijskih otpadnih voda. Kod ostale lokalitete u litoralu ove bakterije su

više zastupljene tokom letnjih mjeseca u vreme turističke sezone. U pelagijalu jezera, vertikalna distribucija heterotrofa pokazuje najveće vrednosti u sloju kontaktne vode.



Sl. 1. Ukupan broj heterotrofnih bakterija u vodi Prespanskog jezera  
Fig. 1. Total number of heterotrophic bacteria in the water of Lake Prespa

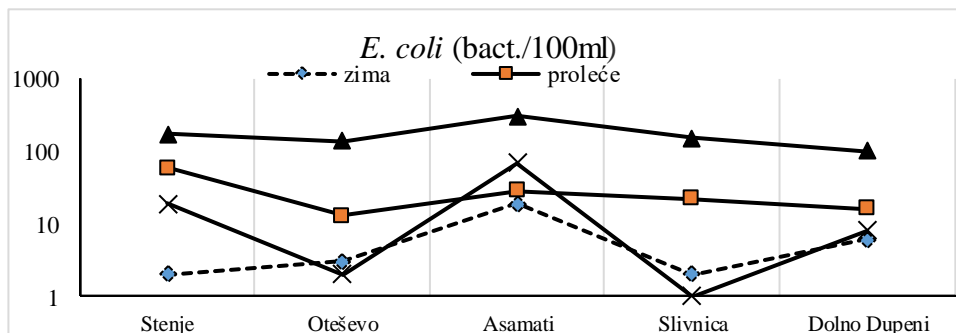
Prema klasifikaciji voda na bazi brojnosti heterotrofnih bakterija [2, 4] voda litorala jezera pripada u granicama od II do III klase, a voda sa vertikalnog profila pelagijala pripada u II klasu boniteta, osim na dubini od 0,5 i 7 metara (I klasi) tokom zime.



Sl. 2. Ukupan broj koliformnih bakterija u vodi Prespanskog jezera  
Fig. 2. Total koliforms in the water of Lake Prespa

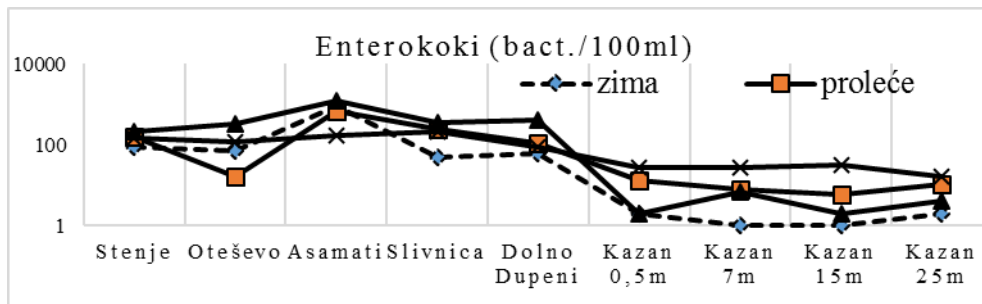
Naša istraživanja ukazuju i na to da osim opterećenja organskim materijama alohtonog porekla, jezerska voda je zagađena i fekalnim vodama. Ukupne koliformne bakterije su nađene u svim uzorcima vode Prespanskog jezera (Sl. 2). Porast broja koliformnih bakterija u svim lokalitetima tokom leta, može biti posledica razmnožavanja ovih bakterija usled većih temperatura vode, kao i prisustva velikih koncentracija organske materije. U ovom periodu u vodi svih navedenih lokaliteta u litoralnom regionu jezera konstatovano je i prisustvo indikatora svežeg fekalnog zagađenja – *Escherichia coli* (Sl. 3). *E. coli* nije identifikovana u vodi pelagijala jezera. Veći broj bakterija, karakterističan za II klasu nađen

je u svim lokalitetima litorala tokom leta. Intestinalne enterokoke (fekalne streptococce) su nađene u svim uzorcima vode (Sl. 4), ali sa mnogo većim vrednostima u litoralu u odnosu na pelagijalu. Prema broju enterokoke voda pelagijala na svim dubinama je I klase, dok voda litorala u istraživanim lokalitetima je pretežno II klase, osim kod Asamati (III klase).



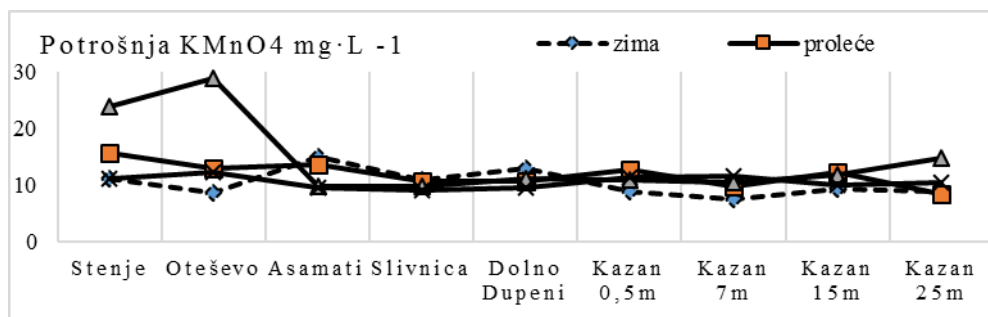
Sl. 3. Broj bakterije *E. coli* u void Prespanskog jezera  
Fig. 3. Number of *E. coli* in the water of Lake Prespa

Prema zastupljenosti i brojnosti koliformnih bakterija po Kavka&Poetsch [2] voda pelagijala Prespanskog jezera pripada I klasi, kao i voda litorala osim tokom leta kada kod svih lokaliteta je II klase. Prema Uredbi za klasifikaciju voda RM [9], voda litorala jezera pripada u granicama od II do V klasi, a voda sa vertikalnog profila pelagijala pripada u granicama od I do III klase.



Sl. 4. Broj enterokoka u vodi Prespanskog jezera  
Fig. 4. Number of enterococci in the water of Lake Prespa

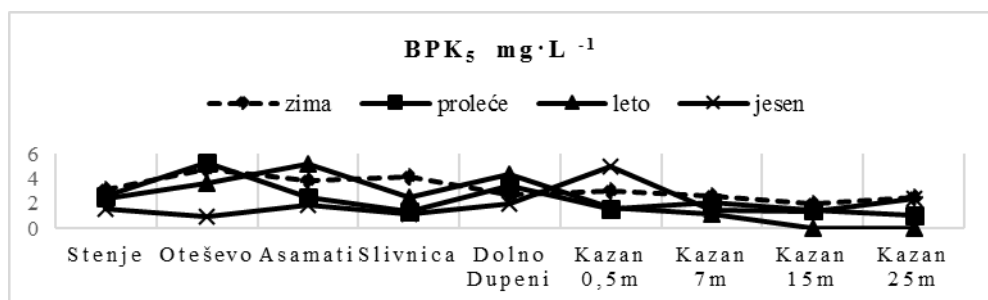
Ovi mikrobiološki pokazatelji su u korelaciji sa ispitivanim fizičko-hemijskim parametrima (Sl. 5-7). Izrazit je uticaj temperature na procese mikrobioloških organizama. Bakterijalni porast je proporcionalan sa porastom temperature.



Sl. 5. Organsko opterećenje vode Prespanskog jezera

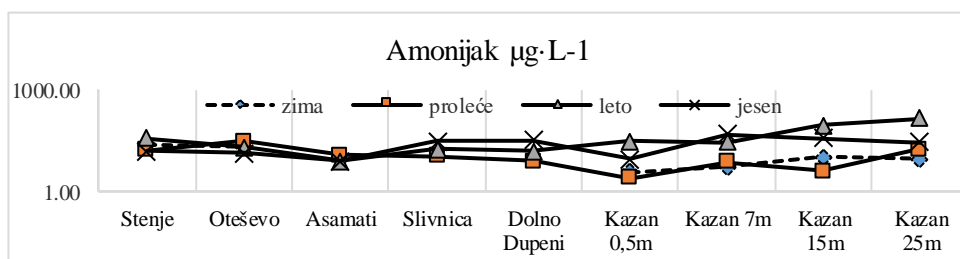
Fig. 5. Organic matter expressed by KMnO<sub>4</sub> demand in the water of Lake Prespa

Biohemijska potrošnja kiseonika i potrošnja kiseonika iz KMnO<sub>4</sub> su parametric koji ukazuju na koncentraciju organskih biorazgradljivih materija prisutnih u vodi (Sl. 5 i 6). U odnosu na organsko opterećenje, koristeći Uredbu za klasifikaciju voda RM [9], najlošijeg kvaliteta je voda kod Stenja i Oteševa u svim godišnjim dobima (V klasa). Prema biološkoj potrošnji kiseonika za 5 dana, kvalitet vode iz Prespanskog jezera je u granicama od I do III klase. Voda sa litoralnih lokaliteta je lošijeg kvaliteta [9].



Sl. 6. BPK<sub>5</sub> u vodi Prespanskog jezera

Fig. 6. BOD<sub>5</sub> in the water of Lake Prespa



Sl. 7. Koncentracija amonijaka u vodi Prespanskog jezera

Fig. 7. Content of ammonia in the water of Lake Prespa



Amonijak se uobičajeno smatra indikatorom svježeg fekalnog zagađenja, ali povećane koncentracije mogu biti i posljedica apliciranja đubriva na površinama uz vodno tijelo, kao i raspada organske materije.

Prema dobivenim rezultatima možemo konstatovati da je Prespansko jezero pod intenzivnim uticajem čovekovih aktivnosti tokom cele godine.

## ZAKLJUČAK

Prema rezultatima mikrobioloških i fizičko-hemijskih ispitivanja vode, može se zaključiti da je Prespansko jezero pod uticajem alohtonog zagađenja materijama organske i fekalne prirode. Pritoke jezera u velikoj meri opterećuju delove litorala gde se ulivaju. Znatan dio litorala je u manjoj i većoj meri zagađen otpadnih vodama okolnih naselja. Izrazito organsko i fekalno opterećenje je registrovano i u pelagijalnom delu jezera.

Da bi se sprečili dalji procesi eutrofizacije Prespanskog jezera, bilo bi neophodno prvo eliminisati postojeće zagađivače i sprovesti odgovarajuće režime zaštite od alohtonih zagađenja. Da bi se obezbedio što bolji kvalitet vode u Prespansko jezero, neophodna je stalna kontrola sastava ne samo vode, već i sedimenta.

## Zahvalnica

Ova su istraživanja sprovedena u okviru projekta: Identifikacija antropogenog uticaja na Prespansko jezero, finansiran od Prespa Ohrid Nature Trust (PONT) fondacije.

## LITERATURA:

- APHA-AWWA-WPCF 2005, Standard methods for the examination of water and wastewater. 21th ed – Washington DC (2005)
- Kavka G., Poetsch E. Microbiology. In: Joint Danube Survey – Technical report of the International Commission for the Protection of the Danube River. (2002) 138-150
- Kavka, G., Kasimir G.D., Farneitner, A.H., Microbiological water quality of the River Danube (km 2581-km 15): Longitudinal variation of pollution as determined by the standard parameters. In: Vienna, (2008) 415-421. ISBN: 13: 978-3-9500723-2-7
- Kohl, W. (1975)- Ueber die Bedeutung bakteriologischer Untersuchungen fuer die Beurteilung von leisgewassern, Dargestellt am Beispiel der Oesterreich, Donau. Arch. Hydrobiol. 44 IV, (1975) 392-461
- Petrovic O., Gajn S., Matavulj M., Radnovic D., Svirčev Z., Mikrobiološko ispitivanje kvaliteta površinskih voda, PMF Novi Sad (1998) 108
- Rheinheimer G., Aquatic microbiology, 2 nd edition. John Wiley and Sons. , (1980) 235,
- Rodina G.A., Methods in aquatic microbiology, Univ Park Press, Baltimore, Butterworths, London (1972)
- Uredba za klasifikacija na void; Služben vesnik na RM 18/99

## SEZONSKA DINAMIKA ZAJEDNICE PLANKTONA ROTIFERA, CRUSTACEA (COPEPODA I CLADOCERA) IZ PELAGIJALA PRESPANSKOG JEZERA - LOKALITET KAZAN

Goce Kostoski, Orhideja Tasevska

*JNU Hidrobiološki zavod, Ohrid, ul. Naum Ohridski 50, 6000 Ohrid  
gocekos@hio.edu.mk  
orhidejat@hio.edu.mk ORCID: 0000-0003-3976-0616*

### REZIME

U okviru PONT projekta praćena je raznovrsnost predstavnika Rotifera, Crustacea (Copepoda i Cladocera), koji su najzastupljenija hrana za ichthyofaunu. Pri tome je utvrđena njihova saprobiološka pripadnost i brojnost. Materijal je sakupljen iz pelagijala jezera, lokalitet Kazan, i obrađen standardnim limnološkim metodama. Konstatovano je prisustvo 9 predstavnika Rotifera, 5 Cladocera, 3 Copepoda i jedan predstavnik Mollusca. Za sve vrste karakteristično je da se nalaze u vodama bogatim kalcijumom i vodama sa kiselom sredinom. Dok se, u pogledu električne provodljivosti, nalaze i u vodama sa niskom i u vodama sa visokom električnom provodljivošću. Na osnovu saprobiološke pripadnosti vrsta, kreću se od 1,1 do 2,2 indeksa saprobnosti.

KLJUČNE REČI: kvalitativni i kvantitativni sastav, saprobni indeks

## SEASONAL DYNAMICS OF THE PLANKTON ROTIFERA, CRUSTACEA (COPEPODA AND CLADOCERA) COMMUNITY FROM THE PELAGIAL OF LAKE PRESPAN - KAZAN LOCATION

### ABSTRACT

Within the PONT project, the diversity of representatives of Rotifera, Crustacea (Copepoda and Cladocera), which are the most abundant food for ichthyofauna, was monitored. Their saprobiological affiliation and abundance was determined. The material was collected from the pelagic zone, Kazan locality, and processed by standard limnological methods. The presence of 9 representatives of Rotifera, 5 Cladocera, 3 Copepoda and one representative of Mollusca was noted. It is characteristic for all species that they are found in waters rich in calcium and waters with an acidic environment. While, in terms of electrical conductivity, they are found both in waters with low and in waters with high electrical conductivity. Based on the saprobiological affiliation of the species, they range from 1.1 to 2.2 saprobity index.

KEY WORDS: Qualitative and quantitative composition, Saprobic index

## UVOD

Slatkovodni zooplankton zauzima važnu i stratešku poziciju u trofičkom lancu ishrane u vodnim ekosistemima i veoma je osetljiv na antropogene uticaje (Caroni and Irvine 2010). Kao integrisani i neizostavni deo lanca ishrane, smešten između fitoplanktona kao njegovog resursa za ishranu i ribe kao predatora, odražava suptilne promene koje se dešavaju u nižim i višim trofičkim nivoima.

Promene kvaliteta vode, ali i klimatske promene, odražavaju se na brojnost i biomasu zooplanktona, kao i na pojavu ili odsustvo pojedinih vrsta, parametara koji se mogu koristiti kao efikasan pokazatelj trofičkog stanja i ekološkog statusa površinskih voda (Hsieh et al. 2011; Jeppessen et al. 2011). Struktura njihove zajednice ne samo da omogućava procenu stepena zagađenosti, već može odrediti trend opštih uslova tokom vremena.

## MATERIJAL I METODE RADA

Materijal za analizu slobodnoživućih planktonskih vrsta je sakupljen Ruttner uzorkovačem (Hydro-bios, Kiel, Nemačka) i filtriran kroz mikrosito od 55  $\mu\text{m}$ . Materijal je fiksiran sa 4% formaldehidom i transportovan u laboratoriju gde je analiziran pomoću mikroskopa Olympus BX43 i invertnog mikroskopa Leica DM IRB, kao i Olympus UC30 kamerom i softverom za arhiviranje i merenje fotografija i podataka. Taksonomska obrada materijala obavljena je korišćenjem standardnih identifikacionih ključeva (Kutikova 1970; Koste 1978; Segers 1995; Borutsky 1960; Manuilova 1964; Mazepova 1978).

Na osnovu kvalitativne analize i relativne zastupljenosti bioindikatora, određen je stepen saprobnosti proučavanih lokaliteta prema Pantle and Buck (1955).

## REZULTATI I DISKUSIJA

### Rotifera

Tokom perioda istraživanja u pelagiju jezera utvrđeno je prisustvo 13 vrsta rotifera. Rotiferi su evolutivno litoralni oblici i najveću raznolikost postižu u litoralnom regionu (Pennak 1966; Havens 1991; Pejler 1995). U pelagiju Prespanskog jezera konstatovano je prisustvo sledećih vrsta: *Trichocerca pusilla* (Lauterborn, 1898), *Trichocerca capucina* (Wierzejski et Zacharias, 1893), *Trichocerca similis similis* (Wierzejski, 1893), *Synchaeta pectinata* Ehrenberg, 1832, *Polyarthra vulgaris* Carlin, 1943, *Asplanchna priodonta* Gosse, 1850, *Keratella cochlearis cochlearis* (Gosse, 1851), *Keratella cochlearis tecta* (Gosse, 1851), *Keratella quadrata* (Müller, 1786), *Kellicottia longispina* (Kellicott, 1879), *Filinia longisetata* (Ehrenberg, 1834).

## Copepoda i Cladocera

Tokom ovih istraživanja na različitim dubinama pelagija, registrovano je četiri (4) vrste Cladocera, dva (2) predstavnika iz Copepoda i jedan predstavnik Mollusca u fazi larve. Istovremeno, samo nekoliko vrsta je registrovano sa većom učestalošću. Saprobiološka pripadnost vrste je u granicama od 1,2 do 2,6.

Kratak opis zabeleženih vrsta:

*Leptodora kindtii* je pravi pelagični predator i registrovan je u tri prirodna jezera i akumulacije gde se prikupljaju uzorci zooplanktona. Retko se nalazi u malim jezerima. U akumulacijama i jezerima čija je površina veća od 100 hektara sreće se sa učestalošću od oko 20%. *L. kindtii* je retka u jezerima iznad 500 metara nadmorske visine i nikada nije zabeležena iznad 1000 metara nadmorske visine. Koristi se kao indikator kada imamo procese mineralizacije, a povremeno se nalazi i kada je pH manji od 5,5.

*Daphnia cucullata* se nalazi u Prespanskom i Dojranskom jezeru i tipična je nizijska vrsta, retko se nalazi iznad 300 metara nadmorske visine. Javlja se uglavnom u jezerima bogatim hranljivim materijama (provodljivost veća od 10 mS/m) sa velikom gustinom ribe. Retko se nalazi u vodama sa pH manjim od 6.

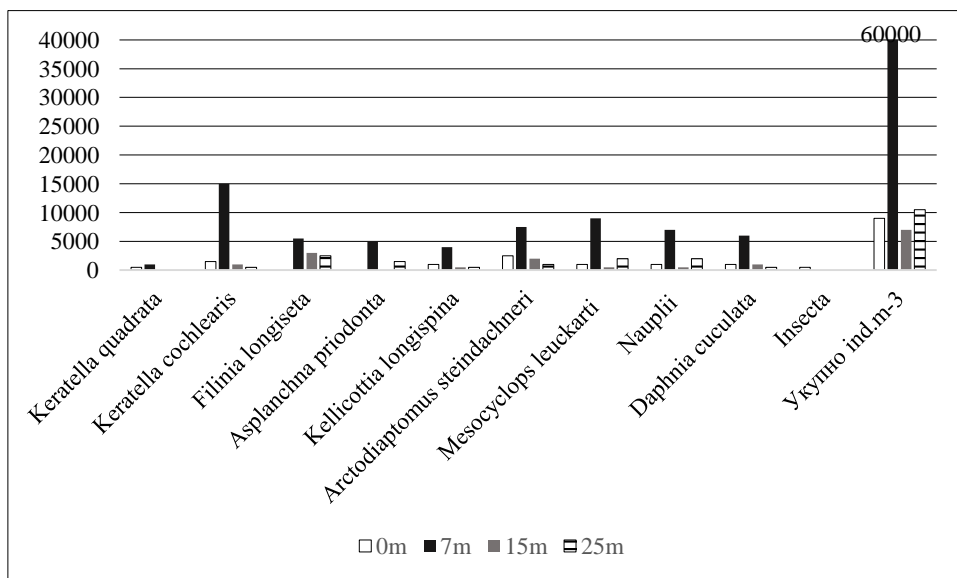
*Diaphanosoma brachyurum* se javlja u 30% vodnih tela. Osim u prirodnim jezerima, ova vrsta se takođe može naći u većini rezervoara. Između 300 i 500 metara nadmorske visine javlja se u 39% vodnih tela, dok nijedan primerak nikada nije pronađen iznad 1000 metara nadmorske visine. *D. brachyurum* se može naći na visokim frekvencijama u vodenim telima svih veličina. Posebno se javlja na visokoj frekvenciji kada je pH vode manji od 4,5 (58%). Provodljivost vodenih tela u kojima se ova vrsta javlja može varirati između 0,4 i 44 mS/m.

*Bosmina longirostris* je vrsta koja potencijalno može koegzistirati sa toksičnim plavozelenim algama tokom njihovog cvetanja. To je planktonska/litoralna vrsta koja se nalazi u manje od 10% vodnih tela. Vrsta se često nalazi u vodenim telima bogatim hranljivim materijama i velikom gustinom ribljih populacija. Mnogo češće se nalazi u vodama niže nadmorske visine ispod 500 metara. Javlja se u vodenim telima svih veličina, ali ne u vodama u kojima je pH manji od 5,0. Takođe, ova vrsta je retka u vodama sa niskom koncentracijom elektrolita.

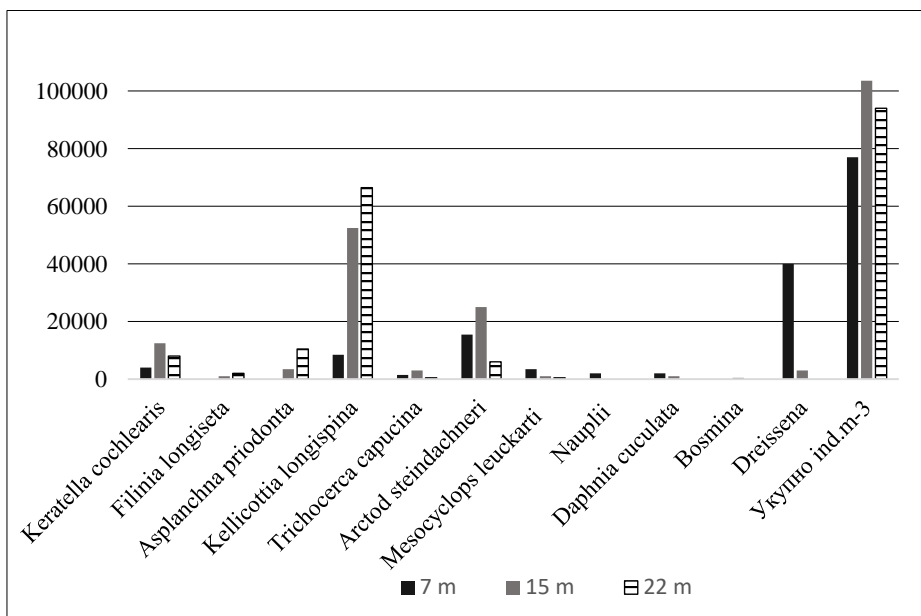
*Arctodiaptomus steindachneri* je izrazito limnopelagična forma i naseljava gornje slojeve jezerske vode. U Prespanskom jezeru javlja se kao stalna vrsta, dok je u Ohridskom jezeru letnja forma. Predstavlja epirski faunistički element koji je ograničen na Epir i Zapadnu Makedoniju. Do sada je registrovana na Janinskom, Ohridskom, Prespanskom i Vendlinskom jezeru. Nema podataka o Maličkom jezeru u Albaniji.

*Mesocyclops leuckarti* je planktonska/litoralna vrsta koja se nalazi na oko 20% lokaliteta i javlja se u svim delovima zemlje, najčešće ispod 500 metara nadmorske visine. Nikada se ne nalazi u alpskom pojasu (> 1000 m nadmorske visine). Nalazi se u svim vrstama vodenih tela i javlja se sa najvećom učestalošću u jarcima/malim bazenima i velikim jezerima. Ima široku pH toleranciju (4,2-8,6). Prisustvo visokog nivoa elektrolita favorizuje ovu vrstu, a povremeno se javlja u jezerima sa provodljivošću manjom od <1,5 mS/m.

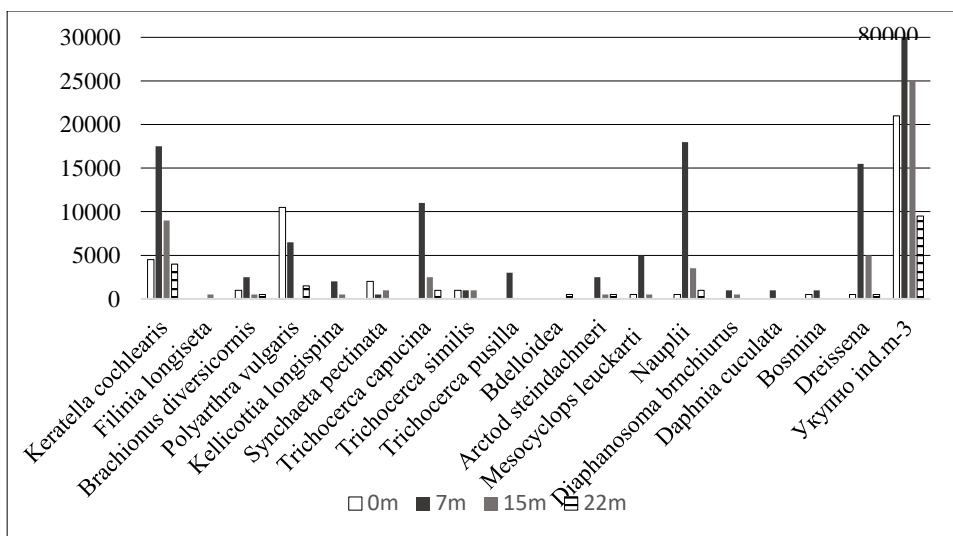
Kvalitativni i kvantitativni sastav zajednice zooplanktona predstavljen je na slikama 1 – 5.



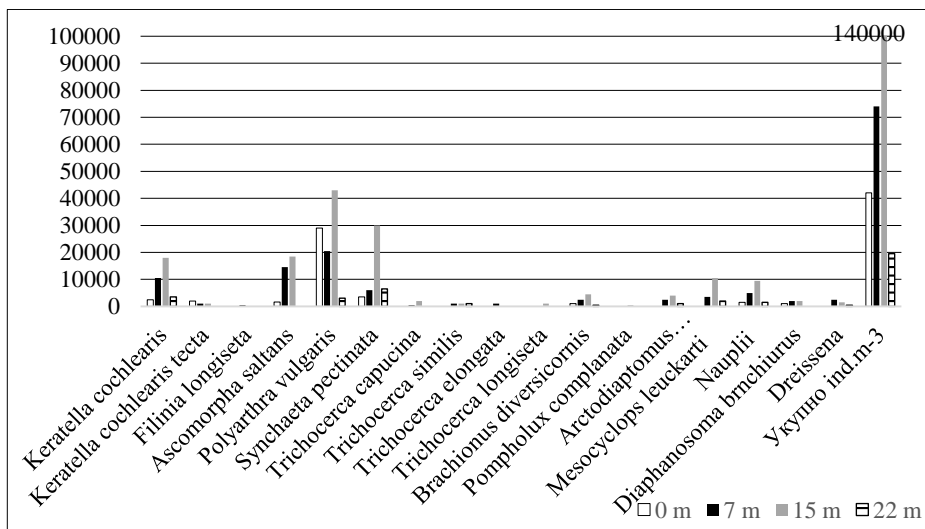
Slika 1. Kvalitativni i kvantitativni sastav zajednice zooplanktona (april 2022).  
Figure 1. Qualitative and quantitative composition of zooplankton community (April 2022)



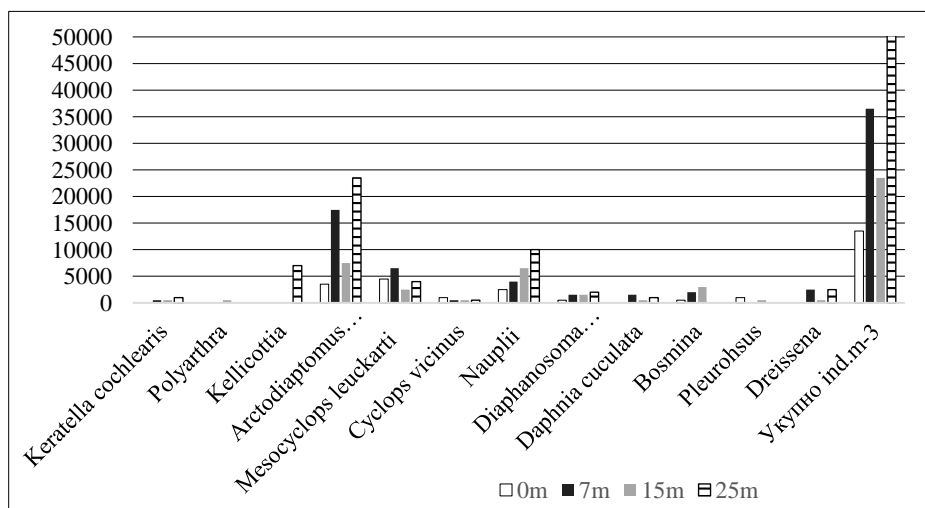
Slika 2. Kvalitativni i kvantitativni sastav zooplanktonske zajednice (jun 2022).  
 Figure 2. Qualitative and quantitative composition of zooplankton community (June 2022)



Slika 3. Kvalitativni i kvantitativni sastav zajednice zooplanktona (avgust 2022).  
 Figure 3. Qualitative and quantitative composition of zooplankton community (August 2022)



Slika 4. Kvalitativni i kvantitativni sastav zajednice zooplanktona (septembar 2022).  
 Figure 4. Qualitative and quantitative composition of zooplankton community (September 2022)



Slika 5. Kvalitativni i kvantitativni sastav zooplanktonske zajednice (novembar 2022).  
 Figure 5. Qualitative and quantitative composition of zooplankton community (November 2022)

U Prespanskom jezeru pretstavnici zooplanktona su raspoređeni duž celog vodenog stuba, što je naravno posledica male dubine ovog jezera. Međutim, najveća gustina naseljenosti

dostiže od 5 do 15 metara dubine, što je svakako uslovljeno povoljnom kombinacijom uslova, kao što su temperatura, rastvoreni kiseonik, veće količine rastvorenih organskih materija i, naravno, visoka produkcija fitoplanktona u ovim slojevima.

Eutrofikacija površinskih voda je sve češća posledica zagađenja industrijskim i kanalizacionim otpadnim vodama, ali i sve intenzivnije upotrebe mineralnih đubriva i pesticida (koji nisu biorazgradivi i pesticida koji sadrže feromone) u poljoprivredi. Alohton materijal, dospevši u vodu, menja uslove životne sredine, što se odražava i na sastav biocenoza. Te promene, u zavisnosti od intenziteta zagađenja, mogu biti, manje ili više, kvantitativno ili kvalitativno uočljive.

## ZAKLJUCAK

Dobijene rezultate, u okviru ovog projekta, treba intenzivno koristiti u pravcu sprečavanja ubrzane eutrofikacije jezera, odnosno u sprečavanju unošenja novih alohtonih materija.

Dakle, iz istraživanja u okviru ovog projekta možemo konstatovati da Prespanskom jezeru preči globalni problem eutrofikacije. Zadnjih nekoliko decenija antropogeni uticaj je sve izraženiji, odvija se ubrzanom dinamikom i rezultat je naglog razvoja prigradskih naselja sa obe strane jezera, razvoja turizma, pojačanog potrošačkog mentaliteta, kao i savremenog načina življenja današnje civilizacije. To dovodi do postepenog zanemarivanja prirodnih zakonitosti koje vladaju jezerom, što negativno utiče na celo jezero, a posebno na pojedine delove litoralnog regiona, gde su procesi eutrofikacije dinamičniji.

Imajući u vidu veliki naučni značaj Prespanskog jezera, njegovu multifunkcionalnost kao rezervoara za vodosnabdevanje, ribolov, sport i rekreaciju, nameće se potreba za stalnim praćenjem kvaliteta vode. Zbog činjenice da se u Prespansko jezero uliva više reka koje unose velike količine alohtnog materijala, neophodno je utvrditi i pratiti uticaj tih reka na nivo saprobnosti vode u istraživanom priobalju jezera.

Rezultati dobijeni iz ovog istraživanja, zajedno sa rezultatima istraživanja za druge projekte u budućnosti, trebalo bi da upotpune sliku stanja na tri strane jezera. Ovo predstavlja polaznu osnovu za animiranje parametara i lokaliteta koje treba ugraditi u dugoročni i kontinuirani monitoring Prespanskog jezera.

Potrebno je uvesti poseban katastar upotrebe biorazgradivih pesticida na tri strane jezera (Albanija, Grčka i Makedonija). Zabraniti upotrebu feromonskih preparata za opravšavanje zasada jabuke.

### Zahvalnica

Ova su istraživanja sprovedena u okviru projekta: Identifikacija antropogenog uticaja na Prespansko jezero, finansiranog od Prespa Ohrid Nature Trust (PONT) fondacije.



## LITERATURA:

- Borutsky, E.V., (1960) Key to identification of wild freshwater crawfish of the USSR and contiguous countries from fragments in fish intestines, Academy of Sciences of the USSR, Moscow, 218
- Caroni, R., Irvine, K., The potential of zooplankton communities for ecological assessment of lakes: redundant concept or political oversight? *Biology and Environment: Proceedings of the Royal Irish Academy* 110B (2010) 35–53
- Fowler, E.C., Duggan, I.C. (2008) Assessment of trophic state change in selected lakes of the Auckland Region based on rotifer assemblages: 2005-2008. Prepared by the Centre for the Biodiversity and Ecology Research, University of Waikato, for Auckland Regional Council. Auckland Regional Council Document TR 2009/001
- Havens, K.E., Summer zooplankton dynamics in the limnetic and littoral zones of a humic acid lake. *Hydrobiologia* 215 (1991) 21-29
- Hsieh, C.H., Y. Sakai, S. Ban, K. Ishikawa, T. Ishikawa, S. Ichise, N. Yamamura, and M. Kumagai, Eutrophication and warming effects on long-term variation of zooplankton in Lake Biwa. *Biogeosciences*, 8 (2011) 1383–1399
- Jeppesen E., P. Nøges, T.A. Davidson, J. Haberman, T.Nøges, K. Blank, T.L. Lauridsen, M. Søndergaard, C. Sayer, R. Laugaste, L.S. Johansson, R. Bjerring and S.L. Amsinck, Zooplankton as indicators in lakes - a plea for including zooplankton in the ecological quality assessment of lakes according to the European Water Framework Directive (WFD). *Hydrobiologia*, 676 (2011) 270-297
- Koste, W. (1978) Rotatoria. Die Radertiere Mitteleuropas. .Uberordnung Monogononta. Ein Bestimmungswerk, begr.undet von Max Voigt. 2. Auflage neubearbeitet von Walter Koste. 2. Bande. Textband: VIII, 673 S., ISBN 3-443-39071-4 II Tafelband: II, 476 S., 234 Taf.
- Kutikova, L.A. (1970) Kolovratki fauny SSSR (Rotatoria) podklass Eurotatoria (Otryady Ploimida, Monimotrochida, Paedotrochida). Opredeliteli po faune, Vyp. 104. Izd. Nauka, Leningrad, 744 p. (In Russian).
- Manuilova, E.F. (1964) Cladocera of the USSR fauna. Nauka, Moscow-Leningrad. 327 p. [Мануйлова ЕФ Ветвистоусые рачки (Cladocera) фауны СССР. М., Л., 1964. 327 с.].
- Mazepova, G.F. (1978) Cyclopoids of Lake Baikal. *Trudy Limnol Inst SO Akad Nauk SSSR* 28:1-143.
- Pantle, R., Buck, H. (1955) Die biologische Überwachung der Gewässer und die Darstellung der Ergebnisse. *Gas und Wasserfach* 96, 604.
- Pejler, B., Relation to habitat in rotifers. *Hydrobiologia* 313/314 (1995) 267-278
- Pennak, P.W., Structure of zooplankton populations in the littoral macrophyte zone of some Colorado lakes. *Trans. am. microsc. Soc.* 85(3) (1966) 329-349
- Ricci, C., Balsamo, M., The biology and ecology of lotic rotifers and gastrotrichs. *Freshwater biology*, 44(1) (2001) 15-28
- Segers H. (1995) Rotifera. Volume 2: The Lecanidae (Monogononta). SPB Academic Publishing, 226
- Smirnov, N. N., (1992) Guides to the identification of the microinvertebrates of the continental waters of the world. 1. The Macrotrichidae of the world. The Hague, SPB Academic Publishing, 143p.
- Тасевска, О., Костоски, Г. и Гушеска, Д., Фауната на ротиферите од северозападниот литорален регион на Охридското Езеро и нејзиното сапробиолошко значење. II Конгрес на еколозите на Македонија со меѓународно учество. Охрид, 2003, Македонија, Зборник на трудови (2004) стр. 184-189

## CONTRIBUTION TO PARASITE FAUNA OF PRESPA BLEAK (*ALBURNUS BELVICA* KARAMAN, 1924) (PISCES: CYPRINIDAE) IN LAKE PRESPA, REPUBLIC OF MACEDONIA

Stojmir Stojanovski<sup>1</sup>, Dijana Blazhekovikj-  
Dimovska<sup>2</sup>, Lidija Velkova-Jordanovska<sup>1</sup>,  
Elizabeta Veljanoska-Sarafiloska<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Hidrobiological Institute, "Naum Ohridski" 50, 6000 Ohrid, N. Macedonia; e-mail: [stojstoi@gmail.com](mailto:stojstoi@gmail.com).  
ORCID ID: 0000-0003-4704-4820; ORCID: 0000-0002-8065-9379;  
ORCID: 0009-0003-1630-3321.*

<sup>2</sup>*University "St. Kliment Ohridski", Faculty of Biotechnical Sciences, "Partizanska" b.b. 7000 Bitola, N. Macedonia;  
ORCID: 0000-0001-5912-9093.*

### ABSTRACT

Eight out of the eleven indigenous fish species of Prespa are endemic, i.e. they exist only in the Lake Prespa. One of these endemic fish species is Prespa bleak (*Alburnus belvica*). The parasitological examination from the Macedonian part of the Lake Prespa in 2023 showed that all of 14 examined specimens of Prespa bleak fishes were infested (100.0%). In our case study the presence of 8 parasite species was established: *Gyrodactylus sp.*, *Dactylogyrus alatus f. typica*, *Dactylogyrus fraternus*, *Dactylogyrus sphyrna*, *Posthodiplostomum cuticola* (larva), *Cestoda gen. sp.* (larva), *Raphidascaris acus* (larva) and *Ergasilus sieboldi*. Individually, by the parasite species, the highest prevalence was with *Dactylogyrus fraternus*, *Dactylogyrus sphyrna* and *Posthodiplostomum cuticola* (larva) (71.43%). The lowest one was with *Cestoda gen. sp.* (larva) (7.14%). In our case study the parasites *Gyrodactylus sp.*, *Dactylogyrus fraternus* and *Cestoda gen. sp.* (larva), are recorded for the first time in the ichthyoparasitofauna of Lake Prespa and Macedonia.

KEY WORDS: Parasite fauna, *Alburnus belvica*, Lake Prespa

### INTRODUCTION

Lake Prespa is a high-altitude basin (approximately 850 m asl.) situated in the southwestern region of R.N. Macedonia (Figure 1). It consists of two interlinked lakes, Macro Prespa (47.4 km<sup>2</sup>) and Micro Prespa (259,4 km<sup>2</sup>), which together constitute an inner-mountainous basin that has no natural surface outflow. The Macro Prespa Lake is shared between three countries: North Macedonia, Albania, and Greece. In the past, its maximum depth was 54.2 m and the average depth was 18,74 m, a situation that has drastically changed in recent years

[1]. The lake has several small rivers as tributaries. In the past, its trophic state was on the border between oligotrophic and mesotrophic. Nowadays, the surface level of the lake has significantly decreased, especially in the last decade, due to a long-term dry period, which has resulted in eutrophication. Consequentially, at present, its trophic state has decreased to eutrophic and, in the near future, has the potential to become a hyper-eutrophic ecosystem [1]. The lake was formed in Pliocene and is the same age as Lake Ohrid. Considering the fish fauna, this lake is a typical cyprinid lake, although the trout (*Salmo peristericus*) live in the rivers on the side of the Pelister Mountain and penetrate the lake waters, particularly in the summer.

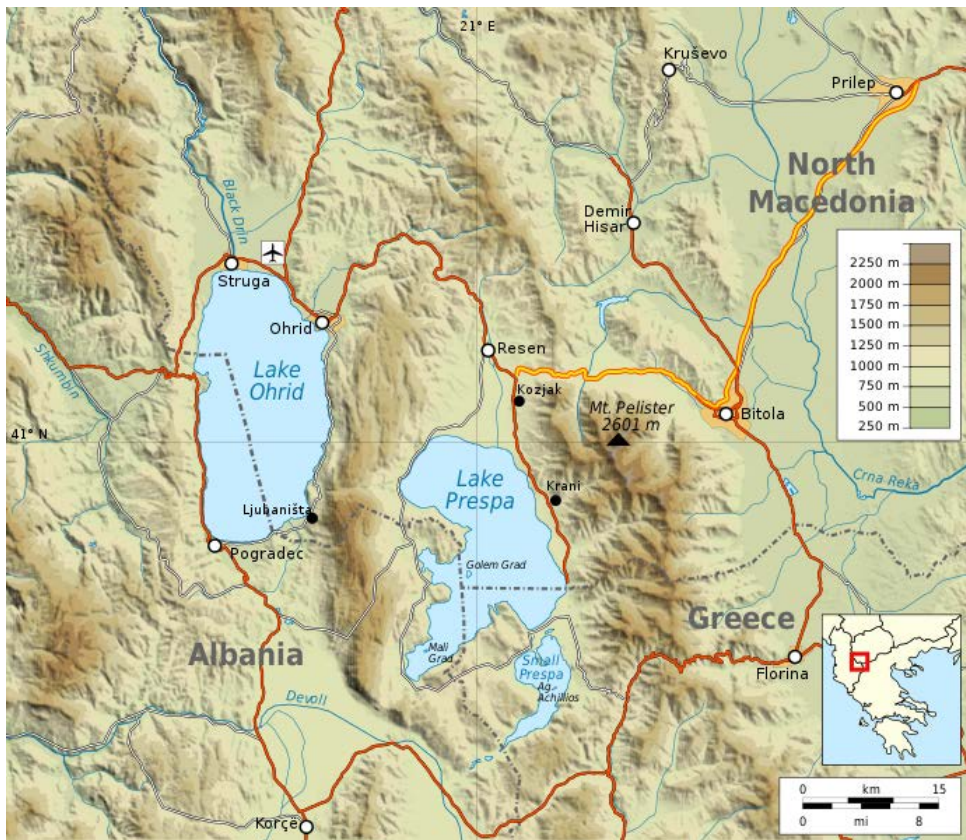


Figure 1. Topographic map of the Ohrid and Prespa lakes (from Wikimedia Commons).

Unfortunately, over recent years, the entire ecosystem has faced serious environmental challenges such as pollution, ineffective planning for land and water use, and poor preservation of rare and threatened species. The unsustainable agricultural, fishery, forest, water, wastewater, and solid waste management practices have had a harsh impact on the ecosystem's health [2].

In addition, due to the unfavorable hydrological conditions, the system lost excessive quantities of freshwater which resulted in a 9-meter water level decline over a period of 25 years. This has not only severely affected valuable shoreline habitats but has also intensified major degradation processes [2].

The pollution and eutrophication processes have not only affected the region's valuable biodiversity but also key sectors such as tourism, water, and fisheries, all of which have been imperative in ensuring the local population's socio-economic well-being [2].

The measures for protection of the lake are based on the Watershed Management Plan's recommendations from the UNDP project RESTORATION OF THE PRESPA LAKE ECOSYSTEM — Implementation of the Prespa Lake Watershed Management Plan, aiming at reducing the pressures from:

- Agriculture (through the introduction of agro-ecological practices);
- Forestry (erosion control by reforestation and control of torrents);
- River pollution (wetland restoration techniques would be used for flood control and water filtering of the Golema Reka River);
- Wastewaters (use of wetlands to upgrade the technology of the existing municipal wastewater treatment plant for nutrient removal);
- Solid waste (upgrade of the agricultural waste management systems).

Neighboring Lake Ohrid is inhabited by the related species *Alburnus scoranza* Heckel & Kner, 1857.

Primarily investigations of the parasite fauna of the fish from Lake Prespa and neighboring Lake Ohrid were carried out by [3,4,5,6], who found *Allocreadium markewitchi*, *Phyllodistomum elongatum*, *Caryophyllaeus laticeps*, *Ligula intestinalis* (plerocercoid), *Contracaecum microcephalum* (larva), *Cystidicoloides tenuissima*, *Philometra ovata*, *Metechinorhynchus truttae* and *Pomphorhynchus bosniacus* at *Alburnus belvica* from Lake Prespa; *Allocreadium markewitschi*, *Phyllodistomum elongatum*, *Ligula intestinalis* (plerocercoid), *Caryophyllaeus laticeps*, *Caryophyllaeides fennica*, *Proteocephalus torulosus*, *Rhabdochona denudata*, *Contracaecum microcephalum* (larva) and *Pomphorhynchus bosniacus* at *Alburnus scoranza* from Lake Ohrid; *Allocreadium isoporum*, *Phyllodistomum elongatum*, *Ligula intestinalis* (plerocercoid), *Caryophyllaeides fennica*, *Rhabdochona denudata*, *Contracaecum microcephalum* (larva) and *Pomphorhynchus laevis* at *Alburnus scoranza* from Lake Dojran; *Allocreadium markewitchi*, *Ligula intestinalis* (larva), *Contracaecum microcephalum* (larva) at *Alburnus alburnus* from River Strumica.

Later, at *Alburnus belvica* from Lake Prespa were found the following parasites: *Myxobolus cyprini*, *M. dispar*, *M. müelleri*, *Trichodina sp.*, *Dactylogyrus alatus f. typica*, *D. elegantis*, *D. minor*, *D. vistulae*, *Diplozoon paradoxum*, *Paradiplozoon homoion homoion*, *P. alburni*, *Posthodiplostomum cuticola* (larva), *Ligula intestinalis* (plerocercoid), *Cystidicoloides tenuissima*, *Raphidascaris acus* and *Ergasilus sieboldi* [7,8].

At *Alburnus scoranza* from Lake Ohrid were found the following parasites: *Bothriocephalus opsariichthydis*, *Cystidicoloides tenuissima*, *Raphidascaris acus* (larva) and *Ergasilus sieboldi* [9].

At *Alburnus thessallicus* from Reservoir Strezhevo are found *Raphidascaris acus* and *Ergasilus sieboldi* [10].



Figure 2. *Alburnus belvica* – original photo.

## MATERIALS AND METHODS

Fish material from a total of 14 specimens of Prespa bleak - *Alburnus belvica* Karaman, 1924 from Lake Prespa (southwest N. Macedonia) were subjected to a parasitological investigation, by seasons from 2021 to 2023. The localities in Lake Prespa where the investigations were carried out were: Nakolec, Oteshevo and Kazan. Only fresh fish were subjected to routine identification, dissection and observation methods. Cleaned parasites were separated and put in certain fixatives, prepared for determination with determined techniques of staining and clearing [11,12]. For the collection of parasite species, intestines of fish were examined using the stereomicroscope “Zeiss Stemi 305” and microscope “Zeiss Primovert” and parasites were removed. Identification was made throughout the morphology of parasites, using referent keys for determination [13,14,15].

## RESULTS

During the parasitological investigations on Prespa bleak (*Alburnus belvica*) from Lake Prespa (N. Macedonia) 8 parasite species were found: *Gyrodactylus* sp., *Dactylogyrus fraternus* (Figure 3), *Dactylogyrus alatus* f. *typica* (Figure 4), *Dactylogyrus sphyrna* (Figure 5), *Posthodiplostomum cuticola* (larva) (Figure 6), *Cestoda* gen. sp. (larva) (Figure 7), *Raphidascaris acus* (larva) (Figure 8) and *Ergasilus sieboldi* (Figure 9).

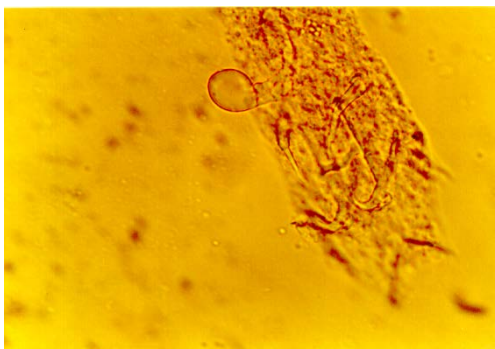


Figure 3. *Dactylogyrus alatus f. typica* – original photo.

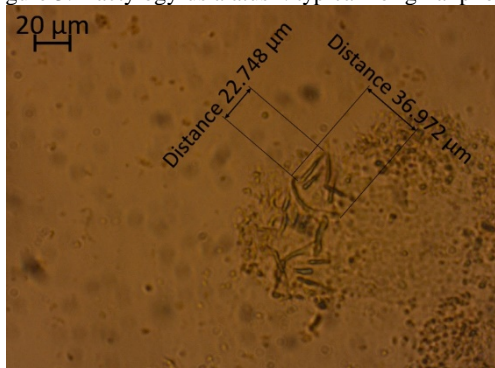


Figure 4. *Dactylogyrus fraternus* – original photo.

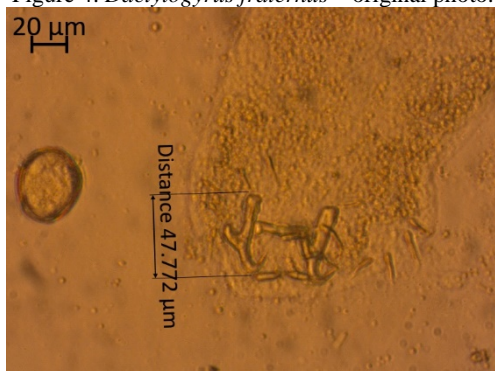


Figure 5. *Dactylogyrus sphyrna* – original photo.





Figure 6. *Posthodiplostomum cuticola* (larva)



Figure 7. *Cestoda gen. sp.* (larva) – original photo.

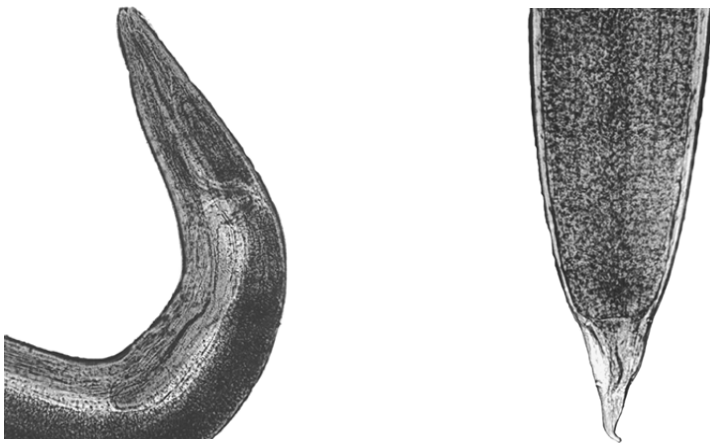


Figure 8. *Rhabdiascaris acus*: anterior end (left), posterior end (right) – original photo.

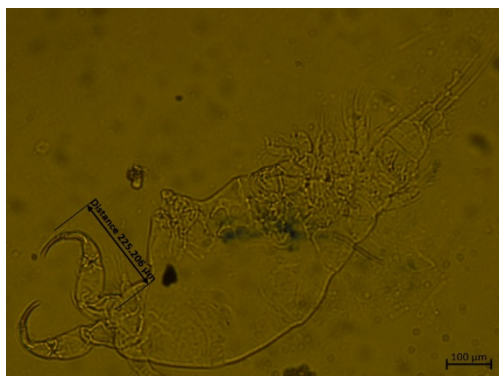


Figure 9. *Ergasilus sieboldi* – original photo.

The total prevalence of infestation was 100.0% and the highest prevalence was of *Dactylogyrus fraternus*, *Dactylogyrus Sphyrna* and *Posthodiplostomum cuticola* (larva) (found in 71,43% of Prespa bleak) and the lowest prevalence was with *Cestoda gen. sp.* (larva) (7.14%) (Table 1, Figure 12).

The average intensity of infestation was 4.41, and the highest level was that of *Cestoda gen. sp.* (larva) (20.0) and *Raphidascaris acus* (larva) (10.0) (Table 1, Figure 10).

Table 1. Parasite fauna of the Prespa bleak (*Alburnus belvica*) from Lake Prespa.

Parasite species	Prevalence		Intensity of infection
	No. of examined fish	% of infected fish	
Gyrodactylus sp.	14	42.86	6.67
Dactylogyrus alatus f. typica		14.29	3.50
Dactylogyrus fraternus		71.43	3.40
Dactylogyrus sphyrna		71.43	1.20
Posthodiplostomum cuticola (larva)		71.43	5.0
Cestoda gen. sp. (larva)		7.14	20.0
Raphidascaris acus (larva)		14.29	10.0
Ergasilus sieboldi		42.85	1,0
Total infection	14	100.0	4,41



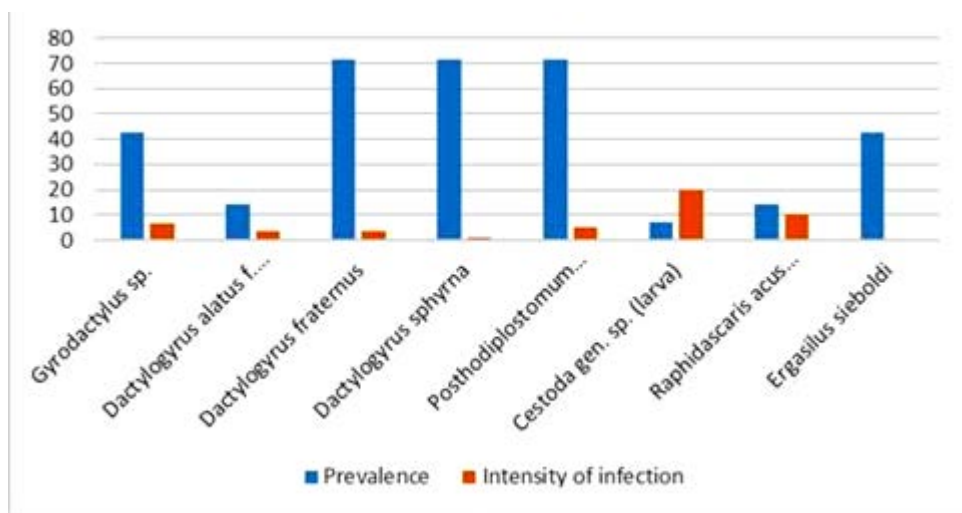


Figure 10. Parasite fauna of the Prespa bleak (*Alburnus belvica*) from Lake Prespa.

## DISCUSSION

According to preliminary molecular research, we think it is a species of *Gyrodactylus laevis*, but additional research will be done in the near future.

For the larva of cestod, based on the analysis of morphological characteristics, we believe that it is a larva from the order Caryophyllidea. However, in general, larvae of cestods are often very poorly described by fish parasitologists and it is not possible to find more detailed information that would help a closer determination.

The parasite fauna of Prespa bleak (*Alburnus belvica*) from the Lake Prespa is in common with that of the fishes of the family Cyprinidae from the Balkan Peninsula and more widely [16,17,18,19,20,21,22,23].

The parasitofauna of *Alburnus belvica* is mostly freshwater, with one exception that is met both in marine and fresh waters (*Raphidascaris acus*).

One part of established parasites is with wide area of distribution and wide specter of hosts, like: *Gyrodactylus* sp., *Posthodiplostomum cuticola* (larva), *Raphidascaris acus* (larva) and *Ergasilus sieboldi*. Other part of established parasites are stenoparasites or on the border of stenoparasitism, like: *Dactylogyrus alatus* f. *typica*, *Dactylogyrus fraternus*, *Dactylogyrus sphyrna*,

Findings of *Gyrodactylus* sp., *Dactylogyrus fraternus* and *Cestoda* gen. sp. (larva) represented first finding for Prespa nase from Lake Prespa and N. Macedonia.

Among the parasite species found out in Prespa nase from Lake Prespa, the greatest pathological influence was associated with *Gyrodactylus* sp., *Dactylogyrus sphyrna* and *Ergasilus sieboldi*.

## Acknowledgments

We would like to thank for the grant support of PONT (Prespa Ohrid Nature Trust) for the project part “Understanding anthropogenic pressures on Lake Prespa”

## REFERENCES

1. Petrovska M., T. Conevski, S. Krstić, I. Blinkov, V. Stavric, O. Cukaliev, J. Longholt, I. Ristovski, Z. Kočovski, I. Minčev, Ć. Dinev, J. Mileski, M. Dimov, R. Bojkovska, T. Talevski, M. Talevska, V. Slavevska Stamenković, T. Stafilov, I. Kaevski, S. Spirovska, N. Krango, I. Soreva, M. Blinkova, 2014. Prespa Lake Watershed Management Plan. Report, Ministry of Environment and Physical Planning.
2. Restoration of the Prespa Lake Ecosystem - Implementation of the Prespa Lake Watershed Management Plan, UNDP project final report, 2012. Skopje, N. Macedonia.
3. Hristovski, N., 1975: Endohelminths of cyprinid fish from Lake Prespa. MSc thesis. Faculty of Natural Sciences and Mathematics, Novi Sad (in Serbian).
4. Hristovski, N. D. 1983. Fauna of fish endohelminths in the lakes from Macedonia (PhD thesis) Faculty of Natural Sciences and Mathematics, Novi Sad (in Serbian).
5. N. Hristovski, 1987: Helminth fauna in fish from the Lake Ohrid. Veterinarski arhiv 57(3): 183-196.
6. N. Hristovski, 1989: Endohelminths of fishes in the Lake Dojran. Biosistematika 15(2): 149-156.
7. Stojanovski, S., 2003: Fauna of monogenean trematodes - parasites of fishes from natural lakes in Macedonia (on Macedonian). Ph.D. thesis. Faculty of Veterinary Medicine. Skopje, Macedonia (in Macedonian).
8. N. Hristovski, S. Stojanovski, T. Talevski, D. Blažeković-Dimovska, 2012: The fish parasite fauna and the fish of the Lake Prespa. Monography. University “St. Kliment Ohridski”, National and University Library “St. Kliment Ohridski”, Bitola, Macedonia.
9. Stojanovski S., 1997: Ecto and endoparasites from the fishes of the Lake Ohrid. MSc thesis (on Serbian). Veterinary Faculty. Belgrade, Yugoslavia.
10. D. Blazhekovicj-Dimovska, S. Stojanovski, Lidija Velkova-Jordanovska, B. Trajchevski, A. Vangelovski, 2021: Parasite fauna of fish from reservoir Strezhevo (N. Macedonia). Ahi Evran International Conference on Scientific Research. Full text book. Vol. 3: 234-240. ISBN: 978-625-7464-55-0.
11. Vasiljkov, G. V., 1983: Gelmintoziyrb. Izdateljstvo "Kolos", Moskva (in Russian).
12. Gussev, A.V., 1983: Methodology of sampling and processing of material of monogeneans, parasitising in fishes. Academy of Sciences of USSR. Zoological Institute. Leningrad (in Russian).
13. Bauer, O. N. 1985. Key for determination of freshwater fish parasites in the fauna of USSR. Vol. II. First part. Akademia Nauk SSSR. Izdateljstvo "Nauka", Leningrad (in Russian).
14. Bauer, O. N. 1987. Key for determination of freshwater fish parasites in the fauna of USSR. Vol. III. Second part. Akademia Nauk SSSR. Izdateljstvo "Nauka", Leningrad (in Russian).
15. Lom, J., Dykova, I., 1992: Protozoan parasites of fishes. Elsevier. Amsterdam - London - New York - Tokyo.
16. Cacic, P., 1992: Fish parasites in the waters of Sjenica-Peshter Plateau and possibilities of their prevention. PhD Thesis. Faculty of Veterinary Medicine, University of Belgrade, Yugoslavia (in Serbian).
17. Chankovic, M., Delic, S., Kiskarolj, M., Rukavina, J. 1968. Parasite fauna of freshwater fish from Bosnia and Hercegovina (Trematoda, Cestoda, Nematoda, Acanthocephala). Academy of Sciences and Arts of Bosnia and Hercegovina. Sarajevo (in Bosnian).

18. Djikanovic V., Nikolic V., Cacic P., Paunovic M., Simonovic P. 2012. Parasitofauna of freshwater fishes in the Serbian open waters: a checklist of parasites of freshwater fishes in Serbian open waters. *Rev Fish Biol Fisheries* 22(1): 297-324. DOI 10.1007/s11160-011-9226-6.
19. Dupont F., Lambert A., 1986: Etude des communautés de Monogènes Dactylogyridae parasites des Cyprinidae du Lac Mikri Prespa (Nord de la Grèce). Description de trois nouvelles espèces chez un *Barbus* endémique: *Barbus cyclolepis prespensis* Karaman, 1924. *Ann. Parasitol. Hum. Comp.*; 61 (6): 597 - 616.
20. Ergens R., 1960: Helminth fauna of some fishes in Albania. *Ceskosl. parasitologie*; VII: 49 - 90 (in Russian).
21. Ergens R., 1970: Parasite fauna of fishes in Montenegro. I. Polyonchoinea (Monogenoidea) of some fishes from the Lake Skadar and Great Black Lake. *Poljoprivreda i sumarstvo*; XVI(1 - 2): 149 - 192 (in Russian).
22. Kakacheva-Avramova, D. (1983): Helminths of freshwater fishes in Bulgaria. Bulgarian Academy of Sciences, Sofia (in Bulgarian).
23. Nedeva-Lebenova, I., 1991: Morphology, fauna and ecology of fish helminths from the reservoir "Pcelina". PhD Thesis. Bulgarian Academy of Sciences. Institute of Parasitology, Sofia (in Bulgarian).

## RASPROSTRANJENOST *ELODEA CANADENSIS* SA VELIKOG PRESPANSKOG JEZERA

Marina Talevska<sup>1</sup>, Sonja Trajanovska<sup>1\*</sup>,  
Elizabeta Veljanoska-Sarafiloska<sup>2</sup>

JNU Hidrobiološki Institut, Ohrid, "Naum Ohridski" 50, 6000 Ohrid,  
Republika Severna Makedonija

E-mail: [mtalevska2000@yahoo.com](mailto:mtalevska2000@yahoo.com)

<sup>1</sup> Odeljenje za hidrobotaniku ORCID 0009-0008-9434-2699

<sup>1\*</sup> Odeljenje za hidrobotaniku ORCID 0009-0003-4193-9452

<sup>2</sup> Odeljenje za fizičko hemijska istraživanja ORCID 0009-0003-1630-3321

### REZIME

Istraživanja rasprostranjenosti *Elodea canadensis* vršena su na 6 lokaliteta sa Velikog Prespanskog jezera na teritoriji Republike Severne Makedonije (Stenje, Oteševo, Ezerani, Asamati, Krani i Nakolec). Od svih evidentovanih vrsta makrofita samo je *Elodea canadensis* alohtona (nenativna) biljna vrsta za Prespansko jezero i prisutna je na dva lokaliteta (Stenje i Oteševo). Pošto ova vrsta ima široku ekološku toleranciju i relativno brzo raste, njeno nekontrolisano širenje u budućnosti moglo bi nepovoljno uticati na autohtonu vegetaciju makrofita u Prespanskom jezeru.

KLJUČNE REČI: potopljeni makrofiti, alohtona vrsta, Veliko Prespansko jezero

## DISTRIBUTION OF *ELODEA CANADENSIS* FROM LAKE MACRO PRESPA

### ABSTRACT

Research on the distribution of *Elodea canadensis* was carried out in 6 localities from the Macro Prespa Lake in the territory of the Republic of North Macedonia (Stenje, Oteševo, Ezerani, Asamati, Krani and Nakolec). Of all recorded macrophyte species, only *Elodea canadensis* is an allochthonous (non-native) species for Lake Prespa and it is present in two localities (Stenje and Oteševo). Since this species has a wide ecological tolerance and grows relatively quickly, its uncontrolled spread in the future could adversely affect the autochthonous macrophyte vegetation in Lake Prespa.

KEY WORDS: submerged macrophytes, allochthonous species, Lake Macro Prespa

## UVOD

*Elodea canadensis* Michx. je vodena potopljena višegodišnja biljka koja se brzo i lako proširila svetom. Smatra se invazivnom vrstom, koja brzo i bujno raste i osvaja vodene površine čime smanjuje raznolikost flore vodnog ekosistema. Takođe ugrožava autohtone vrste, transformiše staništa čime narušava opstanak ostalih biljnih i životinjskih vrsta i funkcije ekosistema u celini. Pošto se ova biljna vrsta veoma brzo širila u vodenim ekosistemima u Makedoniji poznata je kao „vodena čuma“.

U litoralnom (priobalnom) regionu Prespanskog jezera razvijaju se različite populacije makrofitske vegetacije: emernze, flotantne (plivajuće) i submerzne (potopljene) makrofite. Od svih evidentiranih makrofita sa najvećim brojem prisutni su potopljeni makrofiti: *Potamogeton perfoliatus* L., *Stuckenia pectinata* (L.) Borner, *Potamogeton lucens* L., *Potamogeton crispus* L., *Potamogeton pussilus* L., *Zannichellia palustris* L., *Myriophyllum spicatum* L., *Myriophyllum verticillatum* L., *Ceratophyllum demersum* L., *Ceratophyllum submersum* L., *Vallisneria spiralis* L., *Najas marina* L. i *Najas minor* All., a ređe druge vrste potopljenih makrofita (Talevska et al. 2009).

## ISTRAŽIVANO PODRUČJE

Veliko Prespansko jezero (Lake Macro Prespa) je prekogranično jezero i nalazi se u jugozapadnom delu Republike Severne Makedonije. Nalazi se na nadmorskoj visini od 853 metra i ima površinu od 274 km<sup>2</sup>.



Slika 1. Istraživani lokaliteti sa Prespanskog jezera  
Figure 1. Researched localities from Lake Prespa

Istraživanja rasprostranjenosti *Elodea canadensis* vršena su na 6 lokaliteta koje pokrivaju skoro citavu obalu Velikog Prespanskog jezera na teritoriji Republike Severne Makedonije (Stenje, Oteševo, Ezerani, Asamati, Krani i Nakolec) u toku 2023 godine (Slika 1.).

## MATERIJAL I METODE RADA

U ovom istraživanju utvrđen je kvalitativni sastav makrofita, kao i gustina (abundanca) svake vrste makrofita u ovim lokalitetima. Za prikupljanje materijala korišćene su standardne limnološke metode (Lind 1986). Uzorci su sakupljeni Van-Veen-ovim bagerom sa 3 tačke dubine: 2 metara, 5 metara i 10 metara.

Istraživanja su vršena tokom čitavog vegetacionog perioda makrofita u toku 2023 godine (proleće, leto, jesen i zima). Sakupljeni biljni materijal je determinisan pomoću različitih flora i ključeva. Procena gustine makrofita urađena je korišćenjem skale od 1 do 5 (Tuxen & Preising 1942).

## REZULTATI I DISKUSIJA

Iz istraživanja sprovedena tokom 2023 godine u lokalitetima Stenje, Oteševo, Ezerani, Asamati, Krani i Nakolec evidentirali smo sledeće makrofite: *Potamogeton crispus* L., *Stuckenia pectinata* (L.) Börner, *Potamogeton perfoliatus* L., *Potamogeton lucens* L., *Myriophyllum spicatum* L., *Myriophyllum verticillatum* L., *Ceratophyllum demersum* L., *Ceratophyllum submersum* L., *Vallisneria spiralis* L., *Elodea canadensis* Michx., *Najas marina* L. i *Chara imperfecta* A.Braun 1845 koji pripadaju 6 porodicama: Potamogetonaceae, Halorhagaceae, Ceratophyllaceae, Hydrocharitaceae, Najadaceae i Characeae (Tabela 1.).

Tabela 1. Lista makrofitskih vrsta u istraživanim lokalitetima tokom 2023 godine  
Table 1. List of macrophyte species in the researched localities during the year 2023

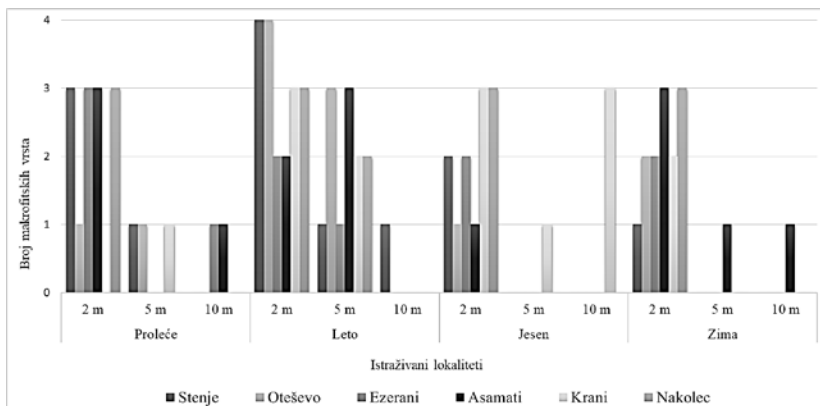
Makrofitska vrsta	Porodica	Narodno ime
1. <i>Potamogeton perfoliatus</i> L.	Potamogetonaceae	Prorasli mrijesnjak
2. <i>Stuckenia pectinata</i> (L.) Börner	Potamogetonaceae	Češljasti mrijesnjak
3. <i>Potamogeton lucens</i> L.	Potamogetonaceae	Prozirni mrijesnjak
4. <i>Potamogeton crispus</i> L.	Potamogetonaceae	Kovrdavi mrijesnjak
5. <i>Myriophyllum spicatum</i> L.	Halorhagaceae	Klasasti krocanj
6. <i>Myriophyllum verticillatum</i> L.	Halorhagaceae	Pršljenasti krocanj
7. <i>Ceratophyllum demersum</i> L.	Ceratophyllaceae	Kruta voščika
8. <i>Ceratophyllum submersum</i> L.	Ceratophyllaceae	Mekana voščika
9. <i>Vallisneria spiralis</i> L.	Hydrocharitaceae	Valisnerija (uvijuša)
10. <i>Elodea canadensis</i> Michx.	Hydrocharitaceae	Vodena kuga
11. <i>Najas marina</i> L.	Najadaceae	Morska podvodnica
12. <i>Chara imperfecta</i> A.Braun 1845	Characeae	Hara

Rezultati istraživanja potopljenih makrofita sa Velikog Prespanskog jezera ukazuju da postoje razlike u diverzitetu makrofita između pojedinih lokaliteta. Naime, na severozapadnoj (lokaliteti Stenje i Oteševo) i severnoj obali (lokalitet Ezerani) jezera evidentiran je veći broj vrsta makrofita, koji rastu u relativno gustim populacijama. U ostalim delovima litoralnog regiona broj vrsta makrofita je manji i populacije su sa manjom gustinom: jugoistočna (lokalitet Asamati) i istočna obala (Krani i Nakolec).

Ove razlike diverziteta makrofita su rezultat ekoloških uslova prisutnih u istraživanim lokalitetima: konfiguracije jezerskog dna, vrste supstrata, nivoa vode, temperature, svetlosti, uticaj korišćenja veštačkih đubriva, insekticida i pesticida, kao i od unešenih količina organskih materija.

To potvrđuju i istraživanja organskih materija tokom 2023 godine. Naime, količina organskih materija u istraživanim lokalitetima tokom cele godine (proleće, leto, jesen i zima) variraju od 8,54 mg L<sup>-1</sup> (lokalitet Oteševo - zima) do 28,96 mg L<sup>-1</sup> (Oteševo - leto). U ostalim istraživanim lokalitetima količina organskih materija varira od 8,85 mg L<sup>-1</sup>, odnosno 9,48 mg L<sup>-1</sup> (lokaliteti Krani i Nakolec - jesen), do 23,87 mg L<sup>-1</sup> (lokalitet Stenje - leto).

Takođe, podaci dobiveni istraživanjem submerznih makrofita tokom njihovog vegetacionog perioda (proleće, leto, jesen i zima 2023 godine) pokazuju da i broj makrofitskih vrsta u različitim lokalitetima sa istražene 3 tačke dubine (2 metara, 5 metara i 10 metara) varira. Brojnost registrovanih vrsta makrofita najveći je na dubini od 2 metara i to tokom leta na svim istraživanim lokalitetima (Slika 2.). To je rezultat ekoloških uslova za rast i razvoj makrofita koji su najpovoljniji u ovom periodu godine. U prolećnom i jesenskom periodu broj potopljenih vrsta je manji. U zimskom periodu potopljeni makrofiti su zastupljeni u malom broju, dok u nekim lokalitetima nije evidentovano njihovo prisustvo (Slika 2.). Tokom leta registrovane su i vrste Charophyta koje su u istraživanjima Prespanskog jezera evidentovane i tokom 2022 godine.



Slika 2. Broj makrofitskih vrsta u toku vegetacionog perioda u istraživanim lokalitetima  
 Figure 2. The number of macrophyte species during the vegetation period in researched localities

Tokom vegetacionog perioda varira i gustina potopljenih makrofita. Najveća gustina (4 i 5) registrovanih vrsta makrofita evidentovana je takođe tokom leta na dubini od 2 metara. U proletnom i jesenskom periodu gustina makrofita je manja (uglavnom 3), dok u zimskom period potopljeni makrofiti su zastupljeni u malom broju (glavno 1, a ređe 2).

Od svih evidentovanih vrsta submerznih makrofita samo je vodena kuga *Elodea canadensis* invazivna vrsta za Prespansko jezero. Na istraživanim lokalitetima u Prespanskom jezeru gustina (abudantnost) vodene kuge varira od 1 do 3 na skali od pet tačaka (Tuxen & Preising 1942), dok su ostale potopljene biljke u zajednici bile sa gustinom koja uglavnom varira od 3 do 5.

Rezultati istraživanja tokom 2023 godine pokazuju da je vodena kuga, *Elodea canadensis* (koja je registrovana i tokom 2020, 2021 i 2022 godine) bila prisutna na 2 lokaliteta (Stenje i Oteševo) što čini 33,33% of svih istraživanih lokaliteta (6) duž obale Prespanskog jezera. U istraživanim lokalitetima *Elodea canadensis* najčešće raste u zajednici sa *Myriophyllum spicatum* L., *Myriophyllum verticillatum* L., *Ceratophyllum demersum* L., *Ceratophyllum submersum* L. i *Najas marina* L. Takođe dobijeni rezultati tokom 2023 godine ukazuju da *Elodea canadensis* raste na peskovitom, peskovito-muljevitim i muljevitim supstratima na 2 metara dubine. To potvrđuju i saznanja dobijena našim prethodnim istraživanjima vodne kuge sa Ohridskog jezera (Talevska 2011) i Prespanskog jezera (Talevska 2022).

Dobijeni podaci o stanju makrofitskih vrsta tokom 2023 godine uglavnom daju jasnu sliku o stanju makrofitske vegetacije Prespanskog jezera u svim godišnjim dobima. Raznovrsnost i gustina registrovanih makrofita ukazuje na postojanje umerenog, a u pojedinim regionima i većeg zagađenja vode jezera.

## ZAKLJUČAK

Najveći diverzitet i gustina svih potopljenih makrofita u istraživanim lokalitetima sa Velikog Prespanskog jezera na teritoriji Republike Severne Makedonije (Stenje, Oteševo, Ezerani, Asamati, Krani i Nakolec) u svim godišnjim dobima (proleće, leto, jesen i zima 2023 godine) je evidentovana na dubini od 2 metara.

Od svih evidentovanih vrsta makrofita samo je *Elodea canadensis* alohtona vrsta za Prespansko jezero i da je prisutna samo na dva lokaliteta (Stenje i Oteševo).

Pošto ova vrsta ima široku ekološku toleranciju i relativno brzo raste, njeno nekontrolisano širenje u budućnosti moglo bi nepovoljno uticati na nativnu makrofitsku vegetaciju Prespanskog jezera.

Obzirom na značajnu ulogu potopljenih makrofita u ekosistemu Velikog Prespanskog jezera, u budućnosti je neophodno kontinuirano pratiti njihovo stanje.

### Zahvalnica

Istraživanja su vršena u okviru projekta "Identifikacija antropogenih uticaja na Prespansko jezero" (PONT)



#### LITERATURA:

- Lind, O. T. 1986. Handbook of common methods in limnology. Sec. ed. Kendall/hunt Publ. Comp. Dubuque 199.
- Talevska M., Petrovic D., Milosevic D., Talevski T., Maric D., Talevska A. 2009. Biodiversity of macrophyte vegetation from Lake Prespa, Lake Ohrid and Lake Skadar. Biotechnology and Biotechnological Equipment. Special Edition (XI Anniversary Scientific Conference 120 years of academic education in biology, 45 years faculty of biology), Vol.23, pp: 931-935. ISSN 1310-2818.  
[http://www.diagnosisp.com/dp/journals/issue.php?journal\\_id=1&archive=0&issue\\_id=22](http://www.diagnosisp.com/dp/journals/issue.php?journal_id=1&archive=0&issue_id=22)
- Talevska, M. 2011. Distribution of *Elodea canadensis* in Lake Ohrid. International Conference on Carstic Water Bodies in Albania. Alblakes 2. Proceedings. Elbasan. Albania. pp: 49-53.
- Talevska M., 2022. Preliminary research on distribution of *Elodea canadensis* in Lake Prespa. The second International Conference: Adriatic Biodiversity Protection – AdriBioPro2022. Kotor. Montenegro. Book of Abstracts: 50
- Tüxen, R. & E. Preising, 1942. Grundbegriffe und Methoden zum Studium der Wasser-und Sumpfpflanzengesellschaften. Dtsch. Wasserwirtsch. 37: 10'17 & 57–69.

## REZULTATI ISTRAŽIVANJA FLORE I VEGETACIJE KANALA ZA PROŠIRENJE GRANICA SRP „KRALJEVAC“

Stanković Mihajlo<sup>1</sup>, Milica Živković<sup>2,3,4</sup>

<sup>1</sup> *Pokret gorana Sremska Mitrovica, Svetog Save 19, Sremska Mitrovica, Srbija*  
[trogloxen@gmail.com](mailto:trogloxen@gmail.com), ORCID ID 0000-0001-5718-9527

<sup>2</sup> *Fakultet za ekonomiju i inženjerski menadžment, Privredna akademija,*  
*Cvećarska 2, Novi Sad, Srbija, [milica.zivkovic.edu@gmail.com](mailto:milica.zivkovic.edu@gmail.com)* ORCID ID 0000-  
0003-1206-8718

<sup>3</sup> *Departman za biologiju i ekologiju, Prirodno-matematički fakultet, Univerzitet u*  
*Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 2, Novi Sad, Srbija*

<sup>4</sup> *Institut za regionalni razvoj, Balzakova 24, Novi Sad, Srbija*

### REZIME

U cilju istraživanja staništa strogo zaštićene vrste *Umbra krameri*, na lokalitetima koja treba da budu deo novih granica SRP „Kraljevac“, tokom 2023. godine, urađen je popis i sastav flore i vegetacije. Fokus ovih istraživanja su makrofitske vrste. Obradeno je pet kanala (lokaliteti su: Bela ćuprija; Ulmi duđ; Gradska šuma; Crna bara i Ćinkina ćuprija). Ukupno su zabeležene 42 vrste biljaka, gde dominiraju kosmopolitske eurivalentne vrste. Značajne vrste, koje su ređe, su vrsta *Sparganium erectum* ssp. *neglectum* i strogo zaštićena vrsta *Thelypteris palustris* (lokalitet Crna bara). Od ukupno prisutnih biljaka, četiri vrste su alohtone sa invazivnim karakterom (*Amorpha fruticosa*, *Aster lanceolatum*, *Cyperus odoratus* i *Populus euroamericana*). Od vegetacije ukupno je zabeleženo 15 vegetacijskih zajednica i to sedam akvatičnih (*Lemna minoris-Spirodeletum polyrrhizae* W. Koch 1954.; *Lemnetum trisulca* Knapp et. Stoffers 1962; *Ceratophyllo-Hydrocharietum morsis-ranae* Pop 1962; *Ceratophylletum demersi* (Soó1927) Hild 1934; *Lemno-Utricularietum vulgaris* Soó1928; *Myriophyllum spicatum-Ceratophylletum demersi*; *Lemnetum trisulcae* Knapp et Stoffers 1962.) i osam emerznih (*Scirpo-Phragmitetum* W. Koch 1926. ssp. *typhaetosum* (*angustifoliae-latifoliae*) Soó 1973.; *Glyceretum aquaticae* Slavnić, 1956, ssp. *schoenoplectetosum lacustris* Soó1957; *Scirpo-Phragmitetum* W. Koch 1926. ssp. *phragmite-tosum* Schmall. 1939; *Scirpo-Phragmitetum* W.Koch 1926. ssp. *schoenoplectetosum lacustris* Soó 1919; *Glyceretum aquaticae* Slavnić, 1956, *Thelyptero-Phragmito-Salicetum cinereae* M. Jank. 1994. i sveza *Convolvulion sepia* R.Tx 1947).

KLJUČNE REČI: SRP “Kraljevac“, Deliblato, flora, vegetacija, kanali

# RESULTS OF FLORA AND VEGETATION INVESTIGATION OF CHANNEL FOR EXTENSION OF SRP KRALJEVAC BORDER

## ABSTRACT

In order to investigate the habitat of the strictly protected species *Umbra krameria*, in the localities that should enter the new boundaries of the reserve, during 2023, an inventory and composition of flora and vegetation was made. The focus of these researches are macrophytic species. Five canals were processed (the properties Bela ćuprija; Ulmi dud; Gradska šuma; Crna bara and Ćinkina ćuprija). A total of 42 species of plants were recorded, where cosmopolitan eurivalent species dominate. Important species are the rarer species *Sparganium erectum ssp.neglectum* and the strictly protected species *Thelypteris palustris* (Lolalita Crna bara). Of the total number of plants present, four species are non-native with an invasive character (*Amorpha fruticosa*, *Aster lanceolatum*, *Cyperus odoratus* and *Populus euroamericana*). A total of 15 vegetation communities were recorded, seven of which were aquatic (*Lemna minoris-Spirodeletum polyrrhizae* W. Koch 1954; *Lemnetum trisulca* Knapp et. Stoffers 1962; *Ceratophyllo-Hydrocharietum morsis-ranae* Pop 1962; *Ceratophylletum demersi* (Soó 1927) Hild 1934); *Lemno-Utricularietum* Soó 1928; *Myriophyllum spicatum-Ceratophylletum demersi*; *Lemnetum trisulcae* Knapp et Stoffers 1962), *ssp. schoenoplectosum* Soó1957; *ssp. phragmitetum* W.Koch 1956; *Thelyptero-Phragmito-Salicetum cinereae* M. Jank. 1994 and *Convolvulion sepia* R.Tx 1947).

KEY WORDS: SNP Kraljevac, Deliblato, flora, vegetation, canals

## UVOD

U blizini mesta Deliblato, na obodu Deliblatske peščare, u Južnom Banatu na teritoriji opštine Kovin smešten je Specijalni rezervat prirode „Kraljevac”. Jezero Kraljevac (nekada Deliblatsko jezero) ima plutajuća ostrva, prostrane tršćake, a po obali se smenjuju šumska, livadska i pašnjačka staništa koja se odlikuju bogatstvom i raznovrsnošću flore i faune. Rezervat „Kraljevac” ima površinu do 264 ha i obuhvata tri prostorne celine: jezero Kraljevac sa plutajućum i stalnim ostrvima i okolne tršćake sa površinom 192 ha, zatim pašnjak „Spasovina” na lesnoj tarasi površine 20 ha, i dolinu izvora Obzovik sa pašnjakom „Obzovik” površine 52 ha. Zaštićeno područje ima trostepeni režim zaštite. Plutajuća ostrva predstavljaju ostatke nizijskih tresava, jedno je od globalno najređih i najugroženijih tipova staništa na kojima žive retke glacijalne reliktnne biljne zajednice poput ass. *Thelyptero-Phragmito-Salicetum cinereae* M. Jank.1994. Pored vodene akvatorije jezera značajna i vredna staništa su lesni odseci koji okružuju jezero Kraljevac gde se gnezde kolonije pčelarica, a takva staništa naseljavaju mnogi drugi stepski predstavnici flore i faune, kao i obližnji pašnjaci sa ostacima kontinentalne stepe koji su jedno od poslednjih staništa ugroženih vrsta poput stepskih glodara *Spermophilus citellus* i *Spalax Leucodon* u Srbiji.

Prema studiji zaštite prirode na području SRP “Kraljevac” ukupno je registrovano 50 vrsta vaskularne flore (Stojšić, V. 2005), među kojima se nalaze i reliktnne vrste glacijalnog/interglacijalnog perioda za koje je jezero Kraljevac refugialno područje u

Panonskoj niziji. Najznačajnija vrsta u flori SRP “Kraljevac” je paprat *Thelypteris palustris* za koju je na području rezervata „Kraljevac” utvrđena do sada najveća populacija na našim prostorima. Tu ona formira i reliktnu zajednicu *Thelyptero – Phragmito – Salicetum cinereae*, koja je prisutna na plutajućim i stalnim ostrvima gde sa svojim gusto isprepletanim rizomima i snažnim korenjem vrbe ive, kao i razgrađenim biljnim ostacima obrazuju inicijalne slojeve treseta, koji dosteže debljinu i do pola metra na nekim mestima (Stojšić, V. 2005).

Na zahtev upravljača SRP “Kraljevac” urađeno je terensko istraživanje kanala na lokalitetima koja su staništa strogo zaštićene vrste ribe *Umbra krameri*, a nalaze se trenutno van sadašnjih granica rezervata, u cilju pokretanja i izrade studije o proširenju područja SRP “Kraljevac”. Ovaj rad ima za cilj da prikaže vegetacijske vrednosti lokaliteta koji treba da uđu u nove granice ovog zaštićenog područja.

## MATERIJAL I METODE

Tokom 2023.godine urađen je popis flore makrofitske vegetacije na lokalitetima koja treba da uđu u nove granice rezervata. Obradeno je pet kanala na lokalitetima Bela ćuprija; Ulmi duđ; Gradska šuma; Crna bara i Činkina ćuprija. Na svakom lokalitetu u zavisnosti od konfiguracije terena fitocenološki snimci su urađeni ili kao transekt dužine 30 ili 50 m ili na određenoj površini. U tabeli 1. date su dimenzije transekta ili površine radnog polja za svaki lokalitet i njegove GPS koordinate gde su urađeni fitocenološki snimci. Kod popisa flore deo materijala je herbarizovan radi determinacije a deo je determinisan direktno na terenu.

Determinacija je obavljena prema: Gajić, M., Karadžić, D. (1991), Javorka, S., Csapody, V. (1975), Josifović, M. (1970-1976), Tatić, B., Petković, B. (2012), Obratov, D., Korać, M., Gajić, M. (1990), Verloove, F. (2014).

Tabela 1. Pregled lokaliteta sa dimenzijama transekta ili površine radnog polja, njegove GPS coordinate i nadmorska visina.

Table 1. Overview of the locality with the dimensions of the transect or the surface of the working field, its GPS coordinates and altitude.

Lokaliteti	Nadmorska visina (m)	Dužina transekta ili površina radnog polja	GPS koordinate	
			X	Y
Bela ćuprija Kanal I	79	P=50 x 3 m	44°80'728"N	21°00'443"E
Ulmi duđ Kanal II	83	P=30 x 4 m	44°81'891"N	21°02'444"E
Gradska šuma Kanal IIIa	81	L=50 m	44°80'385"N	20°09'777"E
Crna bara Kanal IV	79	L=50 m	44°78'549"N	20°99'203"E
Činkina ćuprija Kanal V	86	L=30 m	44°83'578"N	20°97'099"E

## REZULTATI SA DISKUSIJOM

U kanalima je ukupno zabeleženo 42 vrste biljaka i jedna subspeciacija; 15 vegetacijskih zajednica i to sedam akvatičnih (*Lemna minoris-Spirodeletum polyrrhizae* W. Koch 1954; *Lemnetum trisulca* Knapp et. Stoffers 1962; *Ceratophyllo-Hydrocharietum morsis-ranae* Pop 1962; *Ceratophylletum demersi* (Soó1927) Hild 1934; *Lemno-Utricularietum vulgaris* Soó1928; *Myriophyllum spicatum-Ceratophylletum demersi*; *Lemnetum trisulcae* Knapp et Stoffers 1962) i osam emerznih (*Scirpo-Phragmitetum* W. Koch 1926. *ssp.typhaetosum (angustifoliae-latifoliae)* Soó 1973; *Glyceretum aquaticae* Slavnić, 1956, *ssp. schoenoplecte-tosum lacustris* Soó1957; *Scirpo-Phragmitetum* W. Koch 1926. *ssp. Phragmitetosum Schmall.* 1939; *Scirpo-Phragmitetum* W.Koch 1926. *ssp. schoenoplectetosum lacustris* Soó 1919; *Glyceretum aquaticae* Slavnić, 1956, *Thelypterio-Phragmito-Salicetum cinereae* M. Jank. 1994. i sveza *Convolvulion sepia* R.Tx 1947). Dominiraju kosmopolitske eurivalentne vrste širokog rasprostranjenja, a pošto su kanali u direktnom kontaktu sa poljoprivrednim zemljištem u okruženju, naročito na rubnim delovima kanala imamo znatan uticaj korovske i ruderalne flore koja ovom prilikom nije razmatrana jer je fokus istraživanja bio na makrofitskoj vegetaciji. Od ukupno prisutnih biljaka, četiri vrste su alohtone sa izraženim invazivnim karakterom, od toga jedna je žbunasta (*Amorpha fruticosa*) dve su zeljaste (*Aster lanceolatum*, *Cyperus odoratus*) a jedna je drvenasta (*Populus euroamericana*). Nađena je i jedna ređa subspeciacija *Sparganium erectum ssp.neglectum* u flori Vojvodine, sa nekoliko primeraka. Na jednom lokalitetu koji je van granica sadašnjeg SRP „Kraljevac“ nađena je dobra populacija strogo zaštićene vrste *Thelypteris palustris*. U kanalu V među ostalim akvatičnim vrstama nađena je i insektivorna vrsta *Utricularia vulgaris* sa malim brojem primeraka. Prisustvo alohtone invazivne vrste *Cyperus odoratus* čiji indeks prisutnosti se kreće od dva do tri, ukazuje na njegovo dalje jače širenje kanalskom mrežom. Ova vrsta u Srbiji prvi put je zabeležena od strane Stevanović V, tokom revizije herbarskog uzorka iz okoline Dubovca iz 2003. i 2004. godine (Stevanović, et al. 2005) što je blizu ovim lokacijama. Pregledom herbarskog materijala deponovanog u Botaničkoj bašti u Beogradu čiji podaci do sad nisu bili publikovani ova vrsta je nađena i kod Malog Bavaništa EQ05, 2002. godine Leg. Stevanović,V. i u Pančevačkom ritu DQ66, 2019. godine Leg. Pantović, J, Stevanovski, I, Ćosić, M. (Jenačković-Gocić et al, 2020). Do sad je poznato da se vrsta proširila i južno od Save uz tok reke Drine kao i na prostoru SRP „Zasavica“ (Perić et al, 2020). Svakako ovaj nalaz vrste *Cyperus odoratus* je Vojvodinu i pokazuje njen stepen invazivnosti kod nas. Na lokalitetu Bela ćuprija (kanal I) zabeleženo je 17 vrsta biljaka i to: *Typha angustifolia* *Amorpha fruticosa*; *Alisma plantago -aquatica*; *Bolboschaenus maritimus*; *Rumex hydrolapatum*; *Berula erecta*; *Sium latifolium*; *Mentha aquatica*; *Lysimachia vulgaris*; *Sparganium erectum (Sparganium erectum ssp.neglectum)* *Iris pseudoacorus*; *Lythrum salicarium*; *Lemna minor*; *Spirodella polyrrhiza*; *Solanum dulcamara* i *Lycopus europaeus*. Na lokalitetu izdvojene su sledeće vegetacijske sintaksonomske jedinice: akvatična vegetacija je flotantna i pripada svezi *Lemnion minoris* Koch et Tx ex Ober 1957 ass. *Lemna minoris-Spirodeletum polyrrhizae* W.Koch 1954. Veliki deo površine vode je do 80% prekriven ovom zajednicom, dok emerzna vegetacija pripada ass. *Scirpo-Phragmitetum* W.Koch 1926. *ssp.typhaetosum (angustifoliae-latifoliae)* Soó1973. U ovoj zajednici nađena je i jedna ređa subspeciacija *Sparganium erectum ssp. neglectum* u flori

Vojvodine, sa svega nekoliko primeraka. Naglašavamo da je u ovoj zajednici prisutna i vrsta *Berula erecta* koja je imala veliku brojnost i prisutnost jedinki po površini dok joj pokrovnost nije velika. Za vrstu *Berula erecta* karakteristično je da se javlja na slabo dreniranim neutralnim i kiselim zemljištima nizijskih i planinskih rubova i da se obično nalazi na mestima sa dobrom zamuljenošću. Veliki indeks prisutnosti (III) imamo i kod vrste *Bolboschaenus maritimus* koji sa dominantnim vrstama *Typha angustifolia* i *Berula erecta* ukazuje na prisutni proces zarastanja i eutrofizacije staništa.

Na lokalitetu Ulmi duđ (kanal II) zabeleženo je 19 vrsta biljaka i to: *Typha angustifolia*; *Alisma plantago-aquatica*; *Rumex hydrolapatum*; *Berula erecta*; *Mentha aquatica*; *Lysimachia vulgaris*; *Iris pseudoacorus*; *Lythrum salicarium*; *Lemna minor*; *Spirodella polyrrhiza*; *Populus euroamericana*; *Salix cinerea*; *Aster lanceolatum*; *Calystegia sepia*; *Pulicaria dysenterica*; *Gallium palustre*; *Stachis palustris*; *Glyceria sp.* i *Schoenoplectus lacuster*. Na lokalitetu izdvojene su sledeće vegetacije sintaksonomske jedinice: akvatična vegetacija je flotantna i pripada svezi *Lemnion minoris* Koch et Tx ex Ober 1957 ass. *Lemna minoris-Spirodeletum polyrrhizae* W.Koch 1954. Veliki deo površine vode je do 90% prekriven ovom zajednicom a u emerznom pojasu dominira vegetacija ass. *Scirpo-Phragmitetum* W.Koch 1926. ssp. *typhaetosum (angustifoliae-latifoliae)* Sođ1973, dok na manjim površinama pojavljuju se i ass. **Glyceretum aquaticae** Slavnić, 1956 i ssp. *Schoenoplectetum lacustris* Sođ1957. U ovoj zajednici prisutna je vrsta *Berula erecta* koja ima veliku brojnost i prisutnost jedinki po površini dok joj pokrovnost nije velika. Pored nje veliki indeks prisutnosti (IV) ima i *Typha angustifolia* što ukazuje na prisutni proces zarastanja i eutrofizacije staništa. Iz klase *Artemisietea vulgaris* Lohm Prsg et Tx 1950., fragmentalno se u emerznom pojasu pojavljuje i vegetacija iz sveze *Convolvulion sepia* R.Tx 1947.

Na lokalitetu Gradska šuma (kanal III) teren je podeljen na dva dela (IIIa i IIIb) zbog velike razlike u sastavu i zastupljenosti vrsta, pristupačnosti i celokupnog izgleda na terenu. Ukupno na lokalitetu Gradska šuma zabeleženo je 18 vrsta biljaka: u delu kanala IIIa - (uzvodno od ćuprije) nađeno je ukupno 9 vrsta i to: *Berula erecta*; *Sparganium erectum*; *Lemna minor*; *Spirodella polyrrhiza*; *Salix cinerea*; *Phragmites communis*; *Glyceria fluitans*; *Salix alba* i *Lemna trisulca*, a u delu kanala IIIb - (nizvodno od ćuprije) nađeno je ukupno 14 vrsta i to: *Typha angustifolia*; *Alisma plantago-aquatica*; *Lysimachia vulgaris*; *Lythrum salicarium*; *Lemna minor*; *Spirodella polyrrhiza*; *Calystegia sepia*; *Amorpha fruticosa*; *Sium latifolium*; *Phragmites communis*; *Glyceria fluitans*; *Veronica anagalis-aquatica*; *Peucedanum officinalis* i *Sparganium erectum*. Po istom principu je urađena i vegetacija gde je u kanala IIIa izdvojena sledeća vegetacija i to: akvatična vegetacija je flotantna i submerzna. Flotantna vegetacija pripada svezi *Lemnion minoris* Koch et Tx ex Ober 1957 ass. *Lemna minoris-Spirodeletum polyrrhizae* W.Koch 1954, i dominira terenom, dok sporadično se pojavljuje submerzna vegetacija koju čini ass. *Lemnetum trisulca* Knapp et. Stoffers 1962. Flotantna vegetacija prekriva i do 90% površine vode, dok u emerznim pojasom dominira vegetacija ass. *Scirpo-Phragmitetum* W.Koch 1926. ssp. *Phragmite-tosum* Schmall.1939, dok na manjim površinama pojavljuju se i ass. *Glyceretum aquaticae* Slavnić,1956. Zabeležena vrsta *Berula erecta* u ovoj zajednici je imala veliku brojnost i prisutnost jedinki po površini dok joj pokrovnost nije velika. Veliki indeks

prisutnosti (III-IV) imamo kod vrste *Phragmites communis* i *Glyceria fluitans* što ukazuje na poodmaklu fazu zarastanja i eutrofizacije staništa. U delu kanala IIIb izdvojene su sledeće vegetacije i to: akvatična vegetacija je flotantna i pripada svezi *Lemna minoris* Koch et Tx ex Ober 1957 ass. *Lemna minoris-Spirodeletum polyrrhizae* W.Koch 1954. i prekriva do 70% površine vode. Za razliku od *Lemna minor* koja je sitnija, vrsta *Spirodella polyrrhiza* je krupnija sa većom pokrivenošću i dominira površinom vode dok u emerznim pojasom dominira vegetacija ass. *Scirpo-Phragmitetum* W.Koch 1926. ssp. *phragmitetosum* Schmall.1939, dok na manjim površinama pojavljuje se i ass. *Glyceretum aquaticae* Slavnić,1956. a iz klase *Artemisietea vulgaris* Lohm Prsg et Tx 1950, fragmentalno se pojavljuje vegetacija iz sveze *Convolvulion sepia* R.Tx 1947. Veliku brojnost imamo kod vrste *Glyceria fluitans* što ukazuje na fazu zarastanja i eutrofizacije staništa. Napominjemo da je u blizini ćuprije na oko 10ak m dužine kanala primećena vrsta *Veronica anagalis-aquatica* koja je imala veliku brojnost dok joj pokrovnost nije velika, za koju je karakteristično da se javlja na mestima sa dobrom zamuljenošću.

Na lokalitetu Crna bara (kanal IV) zabeleženo je 18 vrsta biljaka i to: *Typha angustifolia*; *Rumex hydrolapatum*; *Berula erecta*; *Lythrum salicarium*; *Spirodella polyrrhiza*; *Calystegia sepia*; *Phragmites communis*; *Glyceria sp*; *Sium latifolium*; *Salix cinerea*, *Salix alba*; *Hydrocharis morsus-rane*; *Ceratophyllum demersum*; *Myriophyllum spicatum*; *Cyperus odoratus*; *Epilobium sp.*; *Populus canescens* i *Thelypteris palustris*. Na lokalitetu Crna bara zabeležena je vegetacija koje čine akvatična vegetacija flotantna i submerzna. Flotantna vegetacija pripada svezi *Lemna minoris* Koch et Tx ex Ober 1957 ass. *Lemna minoris-Spirodeletum polyrrhizae* W.Koch 1954, i pored ove zajednice zabeležena je i vegetacija iz sveze *Hydrocharition* Rübel 1933 ass. *Ceratophyllo-Hydrocharietum morsis-ranae* Pop 1962, koja je prelazna zajednica iz flotantne u submerznu. Submerzna vegetacija pripada dvema zajednicama ass. *Myriophyllum spicatum-Ceratophylletum demersi* koja dominira prostorom i ass. *Ceratophylletum demersi* (Soó 1927) Hild 1934. koja se pojavljuje u samo pojedinim delovima bare. Emerznim pojasom dominira vegetacija ass. *Scirpo-Phragmitetum* W.Koch1926. ssp. *typhaetosum (angustifoliae-latifoliae)* Soð1973 i ssp. *phragmitetosum* Schmall.1939, dok na manjim površinama pojavlja se i ass. *Glyceretum aquaticae* Slavnić, 1956. Na ovom lokalitetu na sredini bare ima deo kao „ostrvo,, gde je prisutna vegetacija ass. *Thelyptero-Phragmito-Salicetum cinereae* M. Jank.1994. Naglašavamo da ova zajednica ima reliktni karakter u Panonskoj niziji kao reliktna glacijalna (borealna) zajednica. Na ovom lokalitetu nađena je veća površina obrasla sa alohtonom invazivnom vrstom *Cyperus odoratus* čiji indeks prisutnosti je dva, što ukazuje na njegovo dalje širenje.

Na lokalitetu Ćinkina ćuprija (kanal V) zabeleženo je 18 vrsta biljaka i to: *Typha angustifolia*; *Sium latifolium*; *Berula erecta*; *Lythrum salicarium*; *Lysimachia vulgaris*; *Calystegia sepia*; *Phragmites communis*; *Glyceria sp*; *Sparganium erectum*; *Iris pseudoacorus*; *Lemna trisulca*; *Ceratophyllum submersum*; *Hydrocharis morsus-rane*; *Ceratophyllum demersum*; *Schoenoplectus lacuster*; *Cyperus odoratus*; *Utricularia vulgaris* i *Mentha arvensis*. Od vegetacije na lokalitetu Ćinkina ćuprija izdvojene su sledeće sintaksonomske jedinice: akvatična vegetacija pripada svezi *Hydrocharition* Rübel 1933 ass. *Ceratophyllo-Hydrocharietum morsis-ranae* Pop 1962, dok u pojedinim delovima

kanala je prisutna i ass. *Lemno-Utricularietum vulgaris* Soð1928. Deo ove vegetacije pripada svezi *Lemnon minoris* Koch et Tx ex Ober 1957 ass. *Lemnetum trisulcae* Knapp et Stoffers 1962, dok u emerznim pojasom dominira vegetacija ass. *Scirpo-Phragmitetum* W. Koch 1926, ssp. *typhaetosum (angustifoliae-latifoliae)* Soð1973 i ssp. *Schoenoplectetosum lacustris* Soð1919., dok na manjim površinama pojavljuje se i ass. *Glyceretum aquaticae* Slavnić,1956. Prisustvo vrste *Berula erecta* u ovoj zajednici iako nema dominantnu brojnost i prisutnost ukazuje na veću zamuljenost. Smena grupičnog rasporeda vrsta iz roda *Typha* i *Phragmites* ukazuje na jaču zamuljenost ali i prelaz ka formiranju mineralno-barskog zemljišta. Veliki indeks prisutnosti (III) imamo kod vrste *Phragmites communis*, dok veliku brojnost imamo kod vrste *Glyceria sp.* što ukazuje na podmaklu fazu zarastanja i eutrofizacije staništa. Na ovom lokalitetu pomalo zabrinjavajuće je prisustvo alohtone invazivne vrste *Cyperus odoratus* čiji indeks prisutnosti je tri, što ukazuje na njegovo ozbiljno širenje i kanalskom mrežom

## ZAKLJUČAK

Tokom 2023. godine urađen je popis flore i vegetacije u pet kanala na lokalitetima Bela ćuprija; Ulmi duđ; Gradska šuma; Crna bara i Ćinkina ćuprija koja treba da uđu u nove granice rezervata i fokus ovih istraživanja su makrofitske i emerzne vrste biljaka. Ukupno su zabeležene 42 vrste biljaka i jedan subspecijski, oblik gde dominiraju kosmopolitske eurivalentne vrste širokog rasprostranjenja. Od ukupno prisutnih biljaka, četiri vrste su alohtone sa izraženim invazivnim karakterom (*Amorpha fruticosa*, *Aster lanceolatum*, *Cyperus odoratus*, *Populus euroamericana*). Nađena je i jedna ređa subspeciacija *Sparganium erectum ssp.neglectum* u flori Vojvodine, sa nekoliko primeraka. Na jednom lokalitetu koji je van granica sadašnjeg SRP Kraljevac nađena je dobra populacija strogo zaštićene vrste *Thelypteris palustris*. Na lokalitetu Ćinkina ćuprija među ostalim akvatičnim vrstama nađena je i insektivorna vrsta *Utricularia vulgaris* sa pojedinačnim primercima.

Na obrađenih pet lokaliteta ukupno je zabeleženo 15 vegetacijskih zajednica i to sedam akvatičnih (*Lemna minoris-Spirodeletum polyrrhizae* W. Koch 1954.; *Lemnetum trisulca* Knapp et. Stoffers 1962.; *Ceratophyllo-Hydrocharietum morsis-ranae* Pop 1962.; *Ceratophylletum demersi* (Soð1927) Hild 1934.; *Lemno-Utricularietum vulgaris* Soð1928.; *Myriophyllum spicatum-Ceratophylletum demersi*; *Lemnetum trisulcae* Knapp et Stoffers 1962.) i osam emerznih (*Scirpo-Phragmitetum* W. Koch 1926. ssp.*typhaetosum (angustifoliae-latifoliae)* Soð 1973.; *Glyceretum aquaticae* Slavnić, 1956, ssp. *schoenoplectetosum lacustris* Soð1957.; *Scirpo-Phragmitetum* W. Koch 1926. ssp. *phragmitetosum* Schmall. 1939.; *Scirpo-Phragmitetum* W.Koch 1926. ssp. *schoenoplectetosum lacustris* Soð 1919.; *Glyceretum aquaticae* Slavnić, 1956., *Thelyptero-Phragmito-Salicetum cinereae* M. Jank. 1994. i sveza *Convolvulion sepia* R.Tx 1947.). Među zabeleženim zajednicama izdvaja se jedna reliktna glacijalna (borealna) zajednica *Thelyptero-Phragmito-Salicetum cinereae* M. Jank. 1994 sa retkom paprati *Thelypteris palustris*.



## Zahvalnica

Ova istraživanja su deo projekata "Sačuvajmo stanište umbre" koji su sproveli Institut za regionalni razvoj u partnerstvu sa USR "Deliblatsko jezero", uz finansijsku podršku EU i Vlade Švajcarske. Ovaj projekat je deo šire inicijative „EU za Zelenu agendu u Srbiji“, koju, uz tehničku i finansijsku podršku EU i u partnerstvu sa Ministarstvom zaštite životne sredine, sprovodi UNDP, a u saradnji sa Ambasadom Švedske i Evropskom investicionom bankom (EIB), uz dodatna finansijska sredstva koja su obezbedile vlade Švedske, Švajcarske i Srbije.

## LITERATURA:

- Gajić, M., Karadžić, D. (1991): Flora ravnog Srema sa posebnim osvrtom na Obedsku baru, Šumarski fakultet Beograd,
- Javorka, S., Csapody, V. (1975): Iconographia florum partis austro-orientalis Europae centralis. Akademiai Kiado, Budapest.
- Jenačković Gocić, D., Bolbotinović, Lj., Jušković, M., Nikolić, D., Randelović, V., (2020): Insight into the chorology of some endangered, rare and potentially invasive plant species in Serbia, *Biologica Nyssana*, 11 (2), 71-84 pp.
- Josifović, M., (1970-1976): Flora SR Srbije I-VIII, SANU, odeljenje Prirodno-matematičkih nauka, Beograd,
- Obratov, D., Korać, M., Gajić, M., (1990): Određivanje biljaka u šumskim asocijacijama SR Srbije, Naučna knjiga, Beograd, 25-582 str.
- Perić, R., Stanković, M., Đorđević, S., Bartula, M., Đorđević-Milošević, S., (2020): *Cyperus odoratus* L. (LILIOPSIDA CYPERACEAE), in Niketić, M., Tomović, G., Anačkov, G., Bartula, M., Djordjević, S., Djordjević, V., Djordjević-Milošević, S., Duraki, Š., Gavrilović, M., Janačković, P., Kabaš, E., Kuzmanović, N., Lakušić, D., Lazarević, P., Perić, R., Randjelović, V., Savić, D., Stanković, M., Stevanoski, I., Stojanović, V., Vasić, O., Vukojičić, S., Zlatković, B., Stevanović, V., (2020): Material on the annotated checklist of vascular flora of Serbia. Nomenclatural, taxonomic and floristic notes II, *Bulletin of the Natural History Museum*, 13: 87-169.
- Stojšić, V., (2005): Florističke karakteristike i Vegetacija u Habijan-Mikeš, V., Mijović, D., Stojšić, V., Budakov, Lj., Stojnić, N., Čalakić, D., Marinković, L., Nikolić, S., Amidžić, L., (2005): Specijalni rezervat prirode Kraljevac- Studija zaštite predlog za stavljanje pod zaštitu kao prirodnog dobra od izuzetnog značaja, Zavod za zaštitu prirode Srbije, Novi Sad.
- Tatić, B., Petković, B. (2012): Urticaceae Jussieu. U: Flora Srbije 2 (Ur. V. Stevanović), str. 88-99. Srpska akademija nauka i umetnosti, Beograd
- Verloove, F., (2014): A conspectus of *Cyperus* s.l. (Cyperaceae) in Europe (incl. Azores, Madeira and Canary Islands), with emphasis on non-native naturalized species, *Journal of Plant Taxonomy and Geography*, Vol.69, No.2, 179-223 pp.

## NOVI PODACI O FLORI I MAKROALGAMA PODRUČJA SRP „KRALJEVAC“

Stanković Mihajlo<sup>1</sup>, Milica Živković<sup>2,3,4</sup>

<sup>1</sup> Pokret gorana Sremska Mitrovica, Svetog Save 19, Sremska Mitrovica, Srbija  
[trogloxe@gmail.com](mailto:trogloxe@gmail.com), ORCID ID 0000-0001-5718-9527

<sup>2</sup> Fakultet za ekonomiju i inženjerski menadžment, Privredna akademija,  
Cvečarska 2, Novi Sad, Srbija, [milica.zivkovic.edu@gmail.com](mailto:milica.zivkovic.edu@gmail.com)  
ORCID ID 0000-0003-1206-8718

<sup>3</sup> Departman za biologiju i ekologiju, Prirodno-matematički fakultet, Univerzitet u  
Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 2, Novi Sad, Srbija

<sup>4</sup> Institut za regionalni razvoj, Balzakova 24, Novi Sad, Srbija

### REZIME

Prema objedinjenim podacima dosadašnjih sporadičnih istraživanja SRP “Kraljevca” autora od 1989 -2023. godine ukupno je zabeleženo 282 vrste biljaka za spisak. Od ukupnog broja, 232 vrste su nove za spisak područja Kraljevac jer se ne nalaze u studiji zaštite. Među novim biljkama dominiraju kosmopolitske i eurivalentne vrste širokog rasprostranjenja uz znatno prisustvo korovske i ruderalne flore. Ukupno je zabeleženo 37 alohtonih vrsta biljaka od kojih su 15 invazivne vrste. Najznačajniji nalaz je reliktna vrsta *Urtica kioviensis* na plutajućem ostrvu, a od zanimljivih je insektivorna *Utricularia vulgaris*. Od algi iz razreda Charophyta nađene su tri vrste (*Chara globularis*, *Nitella mucronate* i *Chara contraria*).

KLJUČNE REČI: novi podaci, flora, Charophyta, SRP Kraljevac

### Zahvalnica:

Ova istraživanja su deo projekata “Sačuvajmo stanište umbre” koji su sproveli Institut za regionalni razvoj u partnerstvu sa USR “Deliblatsko jezero”, uz finansijsku podršku EU i Vlade Švajcarske. Ovaj projekat je deo šire inicijative „EU za Zelenu agendu u Srbiji“, koju, uz tehničku i finansijsku podršku EU i u partnerstvu sa Ministarstvom zaštite životne sredine, sprovodi UNDP, a u saradnji sa Ambasadam Švedske i Evropskom investicionom bankom (EIB), uz dodatna finansijska sredstva koja su obezbedile vlade Švedske, Švajcarske i Srbije.

## NEW DATA ON THE FLORA AND MACROALGAE OF THE SRP KRALJEVAC AREA

### ABSTRACT

According to the combined data of the author's sporadic research SNR "Kraljevac" from 1989-2023, a total of 282 species of plants were recorded for the list. Out of the total number, 232 species are new to the list of the Kraljevac area because they are not included in the conservation study. Among the new plants, cosmopolitan and eurivalent species of wide distribution dominate, with a considerable presence of weedy and ruderal flora. A total of 37 non-native plant species were recorded, of which 15 are invasive species. The most significant find is the relic *Urtica kioviensis* species on the floating island, and the insectivorous *Utricularia vulgaris* is among the interesting ones. Three species of algae from the Charophyta division were found (*Chara globularis*, *Nitella mucronate* and *Chara contraria*).

KEY WORDS: new data, flora, Charophyta, SRP Kraljevac

## KORIŠTENJE PODZEMNIH VODA VOJVODINE ZA NAVODNJAVANJE

Sanja Mrazovac Kurilić<sup>1</sup>, Violeta Cibulić<sup>1</sup>

<sup>1</sup>University “Union-Nikola Tesla” Belgrade, Cara Dušana 62-64  
smrazovac@unionnikolatesla.edu.rs , ORCID: 0000-0001-9644-8309

### REZIME

U radu su prikazani rezultati ispitivanja mogućnosti podzemnih voda za potrebe navodnjavanja. Definisanje indikatora kvaliteta izvorišta podzemnih voda bazira se na kriterijumu njihovog održivog korištenja za navodnjavanje. Indikatori kvaliteta na osnovu kojih se zbirno vrši procena mogućnosti primene voda za navodnjavanje su: elektroprovodljivost, koncentracija jona natrijuma, koeficijent apsorpcije natrijuma, RSC, magnezijum hazard i indeks propustljivosti. Izučavanje ovog problema je vršeno na podzemnim vodama Vojvodine. Ispitivanja su vršena na 22 lokaliteta na teritoriji Vojvodine za 2023. Na osnovu prezentovanih indikatora stanje kvaliteta podzemnih voda prve izdani Vojvodine za navodnjavanje, većinski se može oceniti kao zadovoljavajuće.

KLJUČNE REČI: podzemna voda, navodnjavanje, prva izdan, Dunavsko vodno područje

## GROUNDWATER OF VOJVODINA AND THEIR APPLICATIONS FOR IRRIGATION

### SUMMARY

The paper presents the results of testing possibility of groundwater application for irrigation. The definition of groundwater source quality indicators is based on the criterion of their sustainable use for irrigation. The quality indicators on the basis of which the possibility of applying irrigation water is collectively assessed are: electrical conductivity, sodium ion concentration, sodium absorption coefficient, RSC, magnesium hazard and permeability index. The study of this problem was carried out on the underground waters of Vojvodina. Tests were carried out at 22 localities on the territory of Vojvodina in 2023. Based on the presented indicators, the state of groundwater quality of the first issue of Vojvodina for irrigation can be assessed as satisfactory in most cases.

KEY WORDS: groundwater, irrigation, shallow aquifer, Vojvodina

## UVOD

Na severnom području Srbije, podzemne vode igraju ključnu ulogu u snabdevanju gradova i naselja pijaćom vodom. Osim toga, koriste se i za navodnjavanje zemljišta, što je posebno važno s obzirom na agrarni karakter ovog područja. Kvalitet podzemnih voda, determinisan fizičkim i hemijskim svojstvima zemljišta i stena, određuje njihovu upotrebu u različite svrhe, uključujući ljudsku potrošnju, industriju i poljoprivredu. Ova interakcija između vode i okolnih stenskih masa kontinuirano se odvija tokom dugog vremenskog perioda, što dodatno utiče na karakteristike vode i njenu dalju upotrebu.

Korišćenje podzemnih voda za navodnjavanje predstavlja ključni element održivog poljoprivrednog razvoja, posebno u poljoprivrednim regionima poput Vojvodine. Ova praksa omogućava efikasno iskorišćavanje vodnih resursa, osiguravajući stabilnost poljoprivredne proizvodnje i ekonomski prosperitet ruralnih zajednica. U kontekstu sve većih izazova kao što su klimatske promene i ograničena dostupnost površinskih voda, istraživanje i implementacija strategija za optimalno korišćenje podzemnih voda postaje imperativ. Ovaj rad istražuje različite aspekte korišćenja podzemnih voda za navodnjavanje u Vojvodini, analizira njihovu ekološku, ekonomsku i društvenu važnost, te predlaže mere za unapređenje ove prakse u cilju održivog razvoja poljoprivrede i zaštite vodnih resursa.

Navodnjavanje je ključna komponenta modernog poljoprivrednog sistema, omogućavajući efikasno upravljanje vodom i poboljšanje prinosa. Značaj navodnjavanja u poljoprivredi je višestruk, kako za proizvođače hrane, tako i za globalnu sigurnost hrane.

Prvo, navodnjavanje osigurava konzistentan pristup vodi tokom cele godine, nezavisno o sezonskim padavinama ili sušama. To omogućava proizvođačima da uzgajaju raznovrsne kulture i produže sezone rasta, povećavajući ukupne prinose i stabilizujući proizvodnju hrane.

Drugo, navodnjavanje doprinosi povećanju produktivnosti zemljišta. Kontrolisano unošenje vode direktno do korena biljaka omogućava optimalno iskorišćenje hranjivih materija iz tla, što rezultira većim i kvalitetnijim plodovima. Ovo je posebno važno u sušnim područjima gde bi se bez navodnjavanja mnoga zemljišta teško obrađivala.

Treće, navodnjavanje može doprineti očuvanju vodnih resursa. Kroz upotrebu tehnologija poput kap po kap navodnjavanja, koja minimizira gubitke vode putem isparavanja ili oticanja, poljoprivrednici mogu efikasnije koristiti dostupne resurse i smanjiti pritisak na vodne ekosisteme.

Dakle, navodnjavanje igra ključnu ulogu u osiguranju globalne sigurnosti hrane. Sa rastućom populacijom i promenama u klimatskim uzorcima, navodnjavanje postaje još važnije za održavanje stabilne proizvodnje hrane i sprečavanje gladi.

Ukratko, navodnjavanje je neophodno za modernu poljoprivredu, pružajući stabilnost, produktivnost i održivost u proizvodnji hrane. Investicije u infrastrukturu navodnjavanja i razvoj održivih praksi su ključni za budućnost globalne poljoprivrede i sigurnost snabdevanja hranom.

Voda za navodnjavanje koja se koristi je lako dostupna i nalazi se na manjim dubinama, do 20 metara. Kvalitet vode za navodnjavanje se ocenjuje laboratorijskom analizom uzoraka vode, gde se prate parametri kao što su pH, salinitet, koncentracija natrijuma, karbonata i bikarbonata, elementi u tragovima, toksični anjoni, nutrijenti i slobodni hlor. Analiza svih

ovih parametara pruža dobar uvid u kvalitet vode za poljoprivredno navodnjavanje. Podzemne vode u oblastima koje se proučavaju često se koriste za navodnjavanje zemljišta, ali njihova podobnost zavisi od hemijskog sastava i prisustva soli. Koncentracija rastvorenih soli u vodi može klasifikovati vodu kao nisko, umereno ili visoko salinitetnu. Visoka elektroprovodljivost vode može dovesti do formiranja slanih zemljišta. Ključni hemijski pokazatelji za procenu pogodnosti vode za navodnjavanje uključuju sadržaj natrijuma, koeficijent adsorpcije natrijuma (SAR), sadržaj natrijuma u procentima i rezidualni natrijum karbonat. Severni deo Srbije, Vojvodina, većinski spada u jugoistočni deo Panonskog basena, koji je poznat po bogatstvu podzemnim vodama. Na analiziranom području, identifikovano je 22 lokaliteta na kojima je ispitivana voda prve izdani, svi smešteni u vodnom području reke Dunav. (Robbinson, 1984; Pfeifer et al., 1999; Van de Graaff & Patterson, 2001; Prasad et al., 2001; Bauder et al., 2007; Seilsepour et al., 2009; Gungor & Arslan, 2016; Manimaran 2016).

## METODOLOGIJA ISPITIVANJA

Korišćenje podzemnih voda za navodnjavanje predstavlja ključni element održivog poljoprivrednog razvoja, posebno u sušnim regionima poput Vojvodine. Ova praksa omogućava efikasno iskorišćavanje vodnih resursa, osiguravajući stabilnost poljoprivredne proizvodnje i ekonomski prosperitet ruralnih zajednica. U kontekstu sve većih izazova kao što su klimatske promene i ograničena dostupnost površinskih voda, istraživanje i implementacija strategija za optimalno korišćenje podzemnih voda postaje imperativ. Ovaj rad istražuje različite aspekte korišćenja podzemnih voda za navodnjavanje u Vojvodini, analizira njihovu ekološku, ekonomsku i društvenu važnost, te predlaže mere za unapređenje ove prakse u cilju održivog razvoja poljoprivrede i zaštite vodnih resursa.

Tehnike koje se koriste za testiranje kvaliteta vode za poljoprivredu:

1. Fizičko testiranje: Ovo obuhvata vizuelnu procenu boje, mirisa i prozirnosti vode. Takođe se može meriti temperatura i pH vrednost vode.
2. Hemijsko testiranje: Ova tehnika uključuje analizu koncentracije hemikalija poput nitrata, fosfata, pesticida i teških metala u vodi. Različite metode, poput spektrofotometrije i hromatografije, koriste se za identifikaciju i kvantifikaciju hemikalija.
3. Biološko testiranje: Ovo obuhvata procenu biološke aktivnosti vode, kao što su testovi za bakterije, alge i druge organizme. Bakteriološki testovi, poput testova na *Escherichia coli*, mogu se koristiti za procenu nivoa zagađenja vode.
4. Testiranje za prisustvo patogena: Ovo obuhvata testiranje vode na prisustvo patogenih mikroorganizama poput bakterija, virusa i parazita koji mogu uticati na zdravlje ljudi, životinja i biljaka.
5. Testiranje za biljne hranjive materije: Ovo uključuje testiranje vode na prisustvo i koncentraciju hranjivih materija poput azota, fosfora i kalijuma, koje su važne za rast i razvoj biljaka.

Sve ove tehnike su važne za procenu kvaliteta vode koja se koristi u poljoprivredi kako bi se osiguralo zdravlje biljaka, životinja i ljudi, kao i očuvanje okoline. (Eaton, 1950; Freeze and Cheery, 1979; Kelly, 1957; Eaton, 1950; Szabolcs and Darab, 1964; Doneen, 1964).

Kada se razmatra kvalitet vode za navodnjavanje, nekoliko ključnih faktora treba uzeti u obzir kako bi se osiguralo da je voda prikladna za upotrebu u poljoprivredi:

1. pH vrednost: pH vrednost vode je važan faktor jer utiče na rast i apsorpciju hranljivih materija kod biljaka. Idealna pH vrednost za većinu useva je obično između 6,5 i 7,5. Voda sa ekstremno visokom ili niskom pH vrednošću može izazvati nepravilnosti u rastu biljaka.
2. Sadržaj rastvorenih soli: Visok sadržaj rastvorenih soli u vodi može dovesti do soljenja zemljišta, što otežava apsorpciju vode i hranljivih materija kod biljaka. Ključni pokazatelji su električna provodljivost (EC) i specifična električna provodljivost (SEC), koje se koriste za procenu nivoa soli u vodi.
3. Prisustvo teških metala i hemijskih zagađivača: Teški metali poput olova, žive, kadmijuma i arsena mogu biti štetni po zdravlje ljudi i biljaka ako se nalaze u vodi za navodnjavanje u visokim koncentracijama. Analiza vode radi otkrivanja ovih zagađivača ključna je za identifikaciju potencijalnih problema.
4. Mikrobiološka čistoća: Prisustvo patogenih mikroorganizama poput bakterija, virusa i parazita u vodi može predstavljati ozbiljan rizik po zdravlje ljudi i biljaka. Testiranje vode na prisustvo mikroorganizama i preduzimanje odgovarajućih mera dezinfekcije je ključno za osiguravanje mikrobiološke čistoće.

Pored ovih faktora, lokalni propisi i standardi takođe igraju važnu ulogu u određivanju kriterijuma za ocenu kvaliteta vode za navodnjavanje. Stoga je važno da se voda redovno testira i prati kako bi se osiguralo da zadovoljava sve potrebne specifikacije za bezbedno navodnjavanje i optimalan rast useva.

U tabelama 1-6 prikazani su kriterijumi za ocenu kvaliteta vode za navodnjavanje primenjeni u ovom radu na 22 istraživana lokaliteta u Vojvodini.

Tabela 1: Kriterijumi za ocenu kvaliteta vode za navodnjavanje na osnovu elektroprovodljivosti ili TDS

Table 1. Criteria for assessment of water quality for irrigation based on the electrical conductivity or TDS

TDS (mg/l)	EC ( $\mu$ S/cm)	Kvalitet
<150	<250	Odličan 1
150-500	250-750	Dobar 2
500-1500	750-2250	Zadovoljavajući 3
1500-3000	2250-5000	Neodgovarajući 4

Tabela 2. Kriterijumi za ocenu kvaliteta voda za navodnjavanje na osnovu koncentracije jona natrijuma

Table 2. Criteria for water quality assessment for irrigation based on sodium ion concentration

Na%	Kvalitet
< 20	Odličan 1
20-40	Dobar 2
40-60	Zadovoljavajući 3
60-80	Sumnjiv 4
> 80	Neodgovarajući 5

Tabela 3. Kriterijumi za ocenu kvaliteta vode za navodnjavanje na osnovu izračunate vrednosti koeficijenta adsorpcije natrijuma (SAR)

Table 3. Criteria for water quality assessment for irrigation based on the calculated value of the sodium adsorption coefficient (SAR)

SAR	Kvalitet
<10	Odličan 2
10-18	Dobar 2
18-26	Zadovoljavajući 3
>26	Neodgovarajući 4

Tabela 4. Kriterijumi za ocenu kvaliteta voda za navodnjavanje na osnovu koncentracije karbonata i hidrokarbonata (RSC)

Table 4. Criteria for water quality assessment for irrigation based on the concentration of carbonates and hydrocarbons (RSC)

RSC	Kvalitet
<1.25	Bezbedno 1
1.25-2.5	Umereno 2
>2.5	Neodgovarajuće 3

Tabela 5. Kriterijumi za ocenu kvaliteta voda za navodnjavanje na osnovu vrednosti magnezijum hazarda (MH)

Table 5. Criteria for water quality assessment for irrigation based on values of magnesium hazard (MH)

MH	Kvalitet
≤50	Dobar 1
>50	Neodgovarajući 2



Tabela 6. Kriterijumi za ocenu kvaliteta voda za navodnjavanje na osnovu indeksa propustljivosti zemljišta (PI)

Table 6. Criteria for water quality assessment for irrigation based on the soil permeability index (PI)

PI %	Klasa kvaliteta
>75	Odličan I klasa (1)
25-75	Dobar II klasa (2)
<25	Neodgovarajuća III klasa (3)

## REZULTATI I DISKUSIJA

Na osnovu rezultata redovnog monitoringa koncentracije glavnih jona, elektroprovodljivosti i ukupne mineralizacije voda prve izdani na 22 ispitivane lokacije Vjvodine za 2023.godinu, izračunati su osnovni indikatori kvaliteta vode za navodnjavanje: Na%, SAR, RSC, MH i PI. U tabeli 7 je prikazana vrednost ocena pojedinog indikatora (uključujući i EC) za pojedini lokalitet koji je osmatran. U poslednjoj koloni Tabele 7 data je vrednost zbirne ocene svih indikatora za svaki lokalitet pojedinačno. Indikatori kvaliteta voda za navodnjavanje prikazani u Tabeli 7 se računaju preko sadržaja jona izraženog u mekv/l. Ocene pojedinih indikatora su iskazane kao bezdimenzione, te je na taj način moguće iskazivanje konačne zbirne ocene svakog pojedinog analiziranog lokaliteta.

Tabela 7. Ocena indikatora kvaliteta voda prve izdani za navodnjavanje na ispitivanim lokalitetima  
Table 7. Assessment of shallow aquifer water quality indicators for irrigation at the analyzed sites

No	Na%	EC	SAR	RSC	MH	PI	PROSEČNO
1	3	3	1	3	1	1	2.00
2	2	3	1	2	1	2	1.83
3	2	3	1	1	1	2	1.67
4	3	3	1	3	2	2	2.33
5	1	3	1	1	1	2	1.50
6	1	2	1	2	1	2	1.50
7	2	3	1	1	1	2	1.67
8	3	3	1	3	1	1	2.00
9	1	3	1	1	1	2	1.50
10	2	3	1	2	2	2	2.00
11	2	3	1	1	1	2	1.67
12	1	3	1	1	1	2	1.50
13	1	3	1	1	2	2	1.67
14	3	3	1	3	1	2	2.17
15	4	3	1	3	2	1	2.33

16	1	2	1	1	1	2	1.33
17	1	2	1	1	1	2	1.33
18	1	2	1	1	1	2	1.33
19	4	2	2	1	1	1	1.83
20	5	3	4	3	1	1	2.83
21	4	3	2	1	1	1	2.00
22	1	3	1	1	1	2	1.50

Nakon izvršene analize moguće je primetiti da ukupno 12 lokaliteta od 22 poseduje odličan kvalitet vode za navodnjavanje koja potiče iz prve izdani, gde je najniža postignuta prosečna ocena 1.33, na lokalitetima 16, 17 i 18-područje Banat i Vršacke planine. Ukupno 9 od 22 lokaliteta pokazuju srednji kvalitet vode za navodnjavanje, dok je samo jedan lokalitet ocenjen kao nepodoban, i to lokalitet broj 20- Sečanj u Banatu. Procentualno gledano, 96% voda prve izdani na 22 lokaliteta mogu se bezbedno koristiti u svrhe navodnjavanja zemljišta.

Na osnovu iznetih podataka u tabeli 7 može se zaključiti da prva izdan Vojvodine poseduje vode odličnog i dobrog kvaliteta koje su pogodne za navodnjavanje zemljišta, te da je ta činjenica kompatibilna sa činjenicom o najvećim površinama plodne obradive zemlje na teritoriji Srbije.

### ZAKLJUČAK

U ovom prikazani su organizovani podaci o kvalitetu voda prve izdani Vojvodine namenjenih za navodnjavanje poljoprivrednih površina. Podaci su prikupljeni putem redovnog monitoringa na 22 različite monitoring stanice u Vojvodini. Parametri koji su analizirani obuhvatali su elektroprovodljivost (EC), ukupnu mineralizaciju (TDS), kao i koncentracije jona natrijuma, magnezijuma, kalijuma, kalcijuma, hidrokarbonata, hlora i sulfata. Na osnovu dobijenih podataka, procenjeni su indikatori kvaliteta vode za navodnjavanje kao što su Na%, SAR, RSC, MH i PI, i na osnovu tih parametara, svakom lokalitetu je dodeljena ocena kvaliteta vode. Zaključak istraživanja je da 41% lokaliteta pokazuje dobar kvalitet vode za navodnjavanje, 55% ima odličan kvalitet, dok je samo 1 lokalitet (Sečanj) ili 4% ukupnog broja lokaliteta ocenjen kao nezadovoljavajući po pitanju kvaliteta vode za navodnjavanje. Konačna analiza podataka sugerise da je sveukupna ocena kvaliteta vode prve izdani Vojvodine veoma zadovoljavajuća.

### LITERATURA

- Bauder T.T., Waskom R.M., Davis J.G. (2007) Irrigation Water Criteria, 1-3, Colorado State University, USA.
- Doneen, L.D. (1964) Notes on Water Quality in Agriculture (p. 400). Department of Water Science and Engineering, University of California, Water Science and Engineering.
- Eaton, F. M. (1950) Significance of carbonates in irrigation waters. Soil Sci., 69(2), 123-134.
- Freeze, R.A., and Cherry, J.A. (1979) Groundwater: Englewood Cliffs, NJ, Prentice-Hall, 604 p.

- Gungor A., Arslan H. (2016) Assessment of water quality in drainage canals of Çarşamba plain, Turkey, Through water quality indexes and graphical methods, *Global NEST Journal*. 18:1, 67-78.
- Kelly W.P. (1957) 'Adsorbed sodium cation exchange capacity and percentage sodium sorption in alkali soils', *Science*, Vol.84, pp.473-477
- Manimaran M. (2016) Assessment of quality contributing parameters of irrigation water by using standard formulae. *Advances in Applied Science Research*, 2016, 7(3):155-157
- Matthess G (1982) *The properties of groundwater*. Wiley, New York, p 498
- Paliwal, K.V. (1972) *Irrigation with Saline Water*. Water Technology Centre, Indian Agriculture Research Institute, New Delhi, 198 p.
- Pfeifer, J., Balázs, C., Kiss, B. A., Pécz, B., & Tóth, A. L. (1999) The influence of residual sodium on the formation and reductive decomposition of hexagonal tungsten oxide. *Journal of materials science letters*. 18:14, 1103-1105.
- Polomčić D, Stevanović Z, Dokmanović P, Ristić Vakanjac V, Hajdin B, Milanović S, Bajić D (2011) Groundwater in water supply of Serbia—current state and perspectives. *Faculty of Mining and Geology, Belgrade*, pp 45–77
- Prasad, A., Kumar, D., & Singh, D. V. (2001) Effect of residual sodium carbonate in irrigation water on the soil sodication and yield of palmarosa (*Cymbopogon martinni*) and lemongrass (*Cymbopogon flexuosus*). *Agricultural Water Management*. 50:3, 161-172
- Robbinson C.W. (1984) Sodium Adsorption Ratio-Exchangeable Sodium Percentage Relationships in a High Potassium Saline-Sodic Soil, *Irrigation Science*. 5: 173-179.
- Seilsepour M., Rashidi M., Khabaz B.G. (2009) Prediction of Soil Exchangeable Sodium Percentage Based on Soil Sodium Adsorption Ratio, *American-Euroasian J. Agric&Environ.Sci* 5: 1-4.
- Szabolcs I. and Darab C. (1964), 'The influences of irrigation water of high sodium carbonate contents on soils', In: Szabolcs I (ed) *Proc 8th International Congress Soil Science Sodic Soils*, Res Inst Soil Sci Agric Chem Hungarian Acad Sci, ISSS Trans II, pp.803-812
- Van de Graaff, R., Patterson, R. A. (2001) Explaining the mysteries of salinity, sodicity, SAR and ESP in on-site practice. *On-Site '01 Conference: Advancing On-site Wastewater Systems*, September, University of Armidale, New England.
- Wilcox, L.V. (1955). *Classification and Use of Irrigation Waters* (p. 19). Washington D.C.: US Department of Agriculture.
- Pravilnik o dozvoljenim količinama opasnih i štetnih materija u zemljištu i vodi za navodnjavanje i metodama njihovog ispitivanja, *Sl.glasnik RS* br. 23 od 18. marta 1994.
- Uredba o graničnim vrednostima zagađujućih materija u površinskim i podzemnim vodama I sedimentu, " *Sl glasnik RS*"br. 50/2012.

## VIŠEKRITERIJUMSKA PROCENA RIZIKA ZAGAĐENOG SEDIMENTA U VODOTOKU

Slaven Tenodi\*, Dejan Krčmar\*, Milena Bečelić Tomić\*,  
Dunja Rađenović\*, Tanja Tomić\*, Đorđe Pejin\*, Dragana  
Tomašević Pilipović\*

*\*Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno-matematički fakultet, Trg Dositeja  
Obradovića 3, 21000 Novi Sad, Departman za hemiju, biohemiju i zaštitu životne  
sredine. e-mail: slaven.tenodi@dh.uns.ac.rs ORCID: 0000-0002-8073-8915;  
ORCID: 0000-0003-4583-3279; ORCID: 0000-0001-8363-2959; ORCID: 0000-  
0002-6862-4691; ORCID: 0000-0001-7692-1306; ORCID: 0009-0009-2471-  
743X; ORCID: 0000-0002-8275-3297.*

### REZIME

Rad istražuje problematiku upravljanja sedimentom u vodotocima, ističući kompleksnost i nedostatke postojećih metoda. Naglašava se da ukupne koncentracije zagađujućih materija nisu dovoljne za realnu procenu štetnih efekata, s obzirom na biodostupnost i složenost sedimenta. Predstavljen je višekriterijumski model procene rizika sedimenta, integrišući FUCOM i SAW metode, primenjen na Velikom bačkom kanalu. Rezultati analize pokazuju važnost multidisciplinarnog pristupa u optimizaciji mera rukovanja sedimentom. Na osnovu modela, zaključeno je da sediment VBK ne ispoljava značajan potencijal negativnog uticaja na životnu sredinu i zdravlje ljudi, što pruža osnovu za dalje upravljanje sedimentom.

KLJUČNE REČI: Upravljanje sedimentom, višekriterijumska procena rizika, uticaj na životnu sredinu, Veliki bački kanal

## MULTI-CRITERIA RISK ASSESSMENT OF CONTAMINATED SEDIMENT IN WATERCOURSE

### ABSTRACT

The paper explores sediment management issues in watercourses, highlighting the complexity and shortcomings of existing methods. It emphasizes that total concentrations of pollutants are insufficient for a realistic assessment of harmful effects, considering the bioavailability and complexity of sediment. A multi-criteria risk assessment model integrating FUCOM and SAW methods is presented, applied to the Veliki Bački Canal. The results of the analysis demonstrate the importance of a multidisciplinary approach in optimizing sediment management measures. Based on the model, it is concluded that the VBK sediment does not exhibit significant potential for negative environmental and human health impacts, providing a basis for further sediment management.

KEY WORDS: Sediment management, Multi-criteria risk assessment, Environmental impact, Great backa canal

## UVOD

Zbog kompleksnih fizičkih i hemijskih osobina sedimenta ne postoji sveobuhvatna i univerzalna metodologija upravljanja sedimentom (*Radenočić i sar., 2024*). Opšte je prihvaćeno da ukupne koncentracije zagađujućih materija u sedimentu nisu dovoljne za realnu procenu štetnih efekata na vodeni ekosistem. Npr. sedimenti sa sličnim ukupnim koncentracijama često imaju različitu mobilnost biodostupnost, bioakumulacioni potencijal zagađujućih materija i toksičnost. Razlozi za ovo mogu biti složena struktura sedimenta i brojni faktori koji utiču na dostupnost zagađujućih materija kao što su: specijacije metala, mineraloški sastav sedimenta, pH vrednost, redoks potencijal, temperatura i sl.

Dakle, primenom samo standarda kvaliteta hemijskih supstanci postoji mogućnost preceñivanja rizika od zagađujućih supstanci vezanih za sediment, jer se na taj način ne uzima u obzir biodostupnost. Naime, nisu sva jedinjenja u sedimentu pristupaćna ili biodostupna organizmima vodenih ekosistema. Ukupne koncentracije polutanata koje se izmere u sedimentu nisu ujedno i stvarne koncentracije kojima su organizmi izloženi tj. koncentracije ekspozicije mogu biti niže od izmerenih.

Sa druge strane, postoji mogućnost potceñivanja rizika, jer se ne uzima u obzir efekat smeša, kao ni efekat neidentifikovanih zagađujućih supstanci. Stvarni rizik za živa bića vodenog ekosistema može biti viši u odnosu na ono na šta ukazuju izmerene koncentracije zagađujućih supstanci u odnosu na standarde kvaliteta sedimenta, jer su u životnoj sredini organizmi izloženi smešama zagađujućih supstanci koje mogu imati efekat koji se ne može predvideti preko individualnih vrednosti standarda kvaliteta. Takođe, u sedimentu su prisutne i hemijskim metodama neidentifikovane zagađujuće supstance (*Linkov i sar., 2006*). Dakle, jedan od nedostataka ovog pristupa je izuzimanje bioloških odgovora u monitoringu sedimenta koji integrišu efekte svih prisutnih biodostupnih polutanata i detektuju sve sinergističke, aditivne ili antagonističke efekte smeše prisutnih zagađujućih supstanci sličnog ili različitog mehanizma toksičnog dejstva (*Tlig i sar., 2023*).

Iz prethodno navedenog proistiće potreba, odnosno cilj ovog rada koji se zasniva na razvoju višekriterijumskog pristupa procene rizika zagađenog sedimenta. Ovaj cilj ostvaren je kroz razvoj višekriterijumskog modela (MCDM) procene rizika integrisanjem FUCOM i SAW metode koja je kroz studija slućaja korišćena za procenu rizika zagađenog sedimenta Velikog baćkog kanala (VBK).

## MATERIJALI I METODE

Za procenu rizika ispitivanog sedimenta VBK razvijen je višekriterijumski FUCOM-SAW model. SAW (*eng. Simple additive weighting*) predstavlja osnovu MCDM modela, dok FUCOM metoda služi za određivanje težinskih faktora odabranih kriterijuma i podkriterijuma.

Zbog svoje jednostavnosti SAW metoda je jedna od najpopularnijih i najpoznatijih MCDM metoda, pri ćemu se koristi jednostavna jednaćina za određivanje najbolje alternative:

$$p_i = \sum_{j=1}^m w_j r_{ij} \quad (1)$$

gde  $p_i$  predstavlja ukupnu ocenu  $i$ -te alternative,  $w_j$  predstavlja težinski faktor kriterijuma  $j$ ;  $r_{ij}$  predstavlja normalizovanu vrednost alternative  $i$  prema kriterijumu  $j$ , a  $m$  predstavlja broj korišćenih kriterijuma.

Prednosti ove metode ogledaju se u njenoj jednostavnosti, fleksibilnosti i mogućnosti upotrebe velikog broja kriterijuma. Za određivanje težinskih faktora mora se koristiti odgovarajuća metoda, što omogućava kontrolisanje subjektivnosti. U poređenju sa drugim MCDM metodama, SAW je mnogo jednostavnija metoda koja daje slične rezultate kao i mnogo kompleksnije metode (*Ubavin i sar., 2017*).

FUCOM metoda za određivanje težinskih faktora se zasniva na metodi parnog poređenja sa validacijom dobijenih rezultata određivanjem devijacije od maksimalne doslednosti. U poređenju sa AHP metodom, FUCOM ima manji broj poređenja kriterijuma. Manje subjektivan pristup postiže se upotrebom algoritma prema kome se parna poređenja odabranih kriterijuma od strane donosioca odluka vrši sa mnogo manje varijacija (*Pamučar i sar., 2018*).

Nakon određivanja osnovnih vrednosti pod-kriterijuma i određivanja težinskih faktora, sledeći koraci FUCOM-SAW modela su: računanje ponderisanih vrednosti pod-kriterijuma svake grupe kriterijuma; određivanje vrednosti kriterijuma, i određivanje konačne ocene date alternative.

Ponderisane vrednosti pod-kriterijuma računane su kao proizvod osnovnih vrednosti pod-kriterijuma i pripadajućih težinskih faktora. Računanje kriterijuma izvršeno je sabiranjem svih ponderisanih vrednosti pod-kriterijuma koji pripadaju datom kriterijumu:

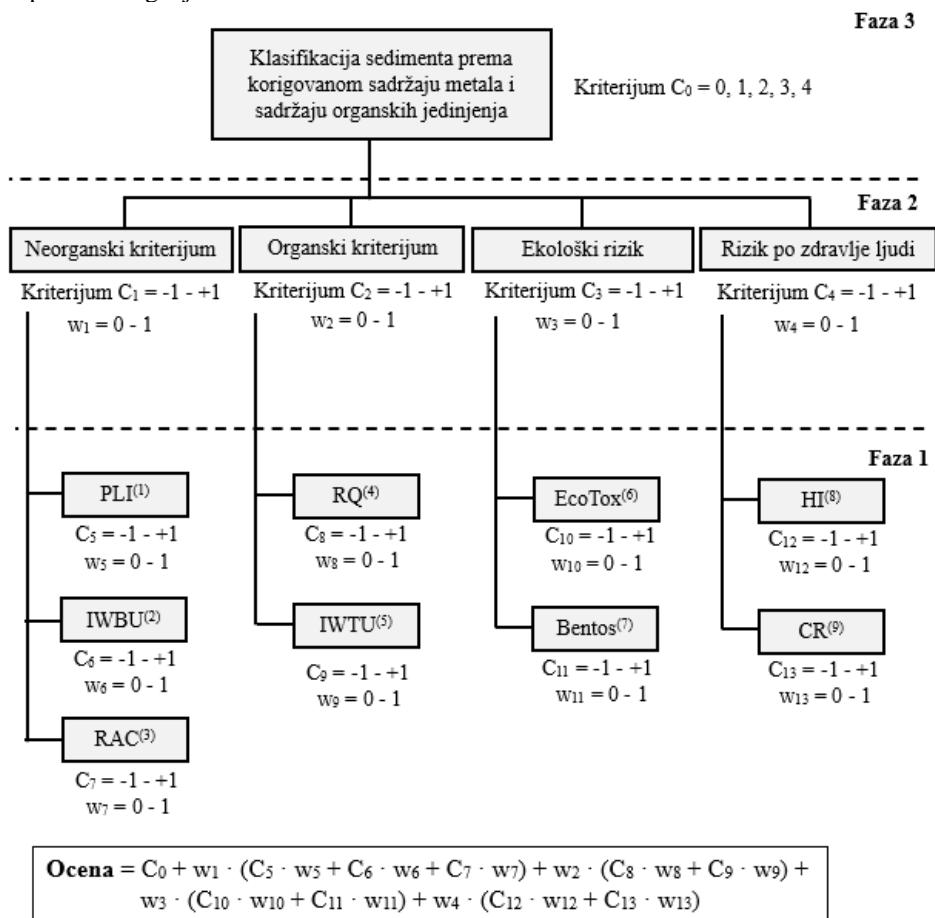
$$C_n = \sum_{i=1}^m S_i \quad (2)$$

gde  $C_n$  predstavlja kriterijum  $n$ ,  $m$  predstavlja broj pod-kriterijuma datog kriterijuma  $n$ ,  $S_i$  predstavlja ponderisanu vrednost pod-kriterijuma  $i$ . Nakon računanja osnovnih vrednosti kriterijuma izvršeno je određivanje ponderisanih vrednosti, po istom principu kao i za pod-kriterijume.

MCDM model za procenu rizika sedimenta dizajniran je tako da ima 4 kriterijuma i 9 pod-kriterijuma (slika 1). Konačne vrednosti 4 odabranih kriterijuma koristiće se za korekciju osnovnog kriterijuma MCDM modela (C0) koji predstavlja klasifikaciju sedimenta prema aktuelnoj Uredbi o graničnim vrednostima zagađujućih materija u površinskim i podzemnim vodama i sedimentu i rokovima za njihovo dostizanje ("Sl. glasnik RS", br. 50/2012). Ova 4 MCDM kriterijuma odabrana su prema njihovom značaju za određivanje performansi alternativa, odnosno za procenu rizika sedimenta:

- 1) **Neorganski kriterijum** - Odnosi se na sadržaj metala u sedimentu i pornoj vodi (pasivno uzorkovanje). Ovaj kriterijum opisuje rizik koji sediment može ispoljiti kroz različite negativne efekte prouzrokovane rastvorenim i nerastvorenim metalima, uzimajući u obzir i njihovu potencijalnu mobilnost u sredini.
- 2) **Organski kriterijum** - Odnosi se na sadržaj PAH-ova u sedimentu i uključuje rizik od potencijalnog negativnog efekta koje mogu ispoljiti ukupni PAH-ovi u sedimentu i PAH-ovi koji su dostupni u sredini, odnosno mobilni (pasivno uzorkovanje).

- 3) **Ekološki rizik** - Odnosi se na ukupni kvantifikovani efekat na biotu ispoljen kroz ekotoksične testove i ocenu ekološkog potencijala vodnog tela na osnovu faune sedimenta.
- 4) **Rizik po zdravlje ljudi** - Odnosi se na kvantifikaciju toksičnog i kancerogenog negativnog efekta kroz izlaganje ljudi datim sedimentom, uzimajući u obzir dominantne puteve izlaganja.



Slika 1. Šematski prikazan višekriterijumski model procene rizika zagađenog sedimenta  
 Figure 1. Schematically depicted multi-criteria risk assessment model of polluted sediment

Kako su prethodno navedeni kriterijumi opšte (generalno) definisani, za njihovu kvantifikaciju odabrani su odgovarajući pod-kriterijumi, grupisani prema prethodno prikazanoj šemi:

- **PLI** – Kvantitativna procena stepena zagađenja sedimenta teškim metalima uzimajući u obzir kvalitet nezagađenog sedimenta. Koriste se ukupne koncentracije metala u uzorcima sedimenta (Tomlinson i sar., 1980).

- **IWBU** – Kvantitativna (zbirna) procena toksičnosti metala u pornoj vodi. Koristiće se za rezultate pasivnog uzorkovanja, a u vezi sa metalima (*Ankley i sar., 1996*).
- **RAC** - Risk Assessment Code – Kvantitativna procena stepena mobilnosti i biodostupnosti teškim metalima u vezi sa koncentracijom metala u karbonatnoj frakciji sedimenta (*Jain, 2003*).
- **RQ** - Koeficijent rizika računa se uzimajući koncentracije odabranih organskih jedinjenja, u ovom slučaju 16 EPA PAH-ova u cilju procene ekološkog rizika (*Cao i sar., 2010*).
- **IWTU** - Kvantitativna (zbirna) procena toksičnosti PAH-ova u pornoj vodi. Koristiće se za rezultate pasivnog uzorkovanja, a u vezi sa PAH-ovima (*Hu i sar., 2021*).
- **EcoTox** - Zbirna kvantitativna procena toksičnosti sedimenta na biljke (primarni producenti), bakterije (razlagači) i dafnije (konzumenti) (*Kaisarevic i sar., 2021*).
- **Bentos** - Ocena ekološkog potencijala vodnog tela na osnovu aune dna. Taj "potncijal" može se posmatrati kao "status" ili "stanje". Prisustvo/odsustvo indikatorskih vrsta faune dna i njihova brojnost (indikatorske vrste su one koje ukazuju na kvalitet sedimenta) (*Ellingsen, 2002*).
- **HI** - Zbirna procena kancerogenog rizika (po ljude) ispitivanih parametara, uzimajući u obzir dominantne puteve izlaganja (*Radenočić i sar., 2022*).
- **CR** - Zbirna procena nekancerogenog, odnosno toksičnog rizika (po ljude) ispitivanih parametara, uzimajući u obzir dominantne puteve izlaganja (*Qishlaqi i Beiramali, 2019*).

Prethodno razvije model višekriterijumske procene rizika primenjen je na sediment VBK za koji je prethodno određeno da je potrebno izvršiti njegovo izmuljivanje. Rezultat ovog procesa je multidisciplinarnim pristupom opravdana optimizacija mera rukovanja sedimentom kojeg je potrebno izmuljiti.

VBK je deo složenog hidro-sistema DTD u Bačkoj, i spaja Dunav i Tisu. VBK se danas smatra jednim od najzagađenijih vodotoka u Evropi, sa dubinom vode oko 30 cm i protokom oko 0,5 m/s. Standardni pristup procene rizika definisan Uredbom o graničnim vrednostima zagađujućih materija u površinskim i podzemnim vodama i sedimentu i rokovima za njihovo dostizanje ("Sl. glasnik RS", br. 50/2012) zasniva se na odabiru najnepovoljnije klasifikacije sedimenta po bilo kojem parametru koji pokazuje najveći rizik, odnosno prema kome se, u skladu sa kriterijumima za ocenu kvaliteta sedimenta, pokaže da ima najvišu klasu.

Za ispitivanu deonicu kanala (*Pejin i sar., 2023*) određena je prioritarna potreba izmuljivanja sedimenta. Na ovoj deonici izvršeno je uzimanje trenutnog uzorka sedimenta i analiza uzoraka, pri čemu su rezultati ukazali da sediment odgovara klasi 3, što prema Uredbi ("Sl. glasnik RS", br. 50/2012) znači da je sediment zagađen u meri po kojoj se zahteva njegovo čuvanje u kontrolisanim uslovima i nije dozvoljeno odlaganje bez posebnih mera zaštite (*Krčmar i sar., 2017*).

## REZULTATI I DISKUSIJA

Multidisciplinarnim i više-kriterijumskim pristupom procene rizika sagledan je kumulativan potencijalni uticaj datog sedimenta u cilju optimizacije mera rukovanja istim. Ovakav



pristup zasniva se na korekciji Uredbom ("Sl. glasnik RS", br. 50/2012) određene klase ispitivanog sedimenta, što predstavlja osnovnu vrednost (C0), i za sediment na datoj lokaciji VBK iznosi 3. Razvoj i upotreba MCDM modela zasniva se na korišćenju rezultata analiza prethodno sprovedenih studija (*Krčmar i sar., 2017; Rađenović i sar., 2023; Pejin i sar., 2023*). U sledećem koraku uključeno je učešće 6 eksperata iz oblasti procene rizika sedimenta, zaštite životne sredine i upravljanja vodotokovima. Međusobni značaj odabranih pod-kriterijuma prethodno glavnih grupa kriterijuma (slika 1), određen je u odnosu na dati slučaj, odnosno ciljeve izmuljivanja sedimenta, stanje životne sredine i upravljanja sedimentom, i nacionalne i međunarodne regulative. Značaj kriterijuma i pod-kriterijuma izražen je kroz težinske faktore (W1-W13) određene FUCOM algoritmom (*Pamučar i sar., 2018*) učešćenjem eksperata, pri čemu je za posmatrani sediment određen najveći značaj neorganskom kriterijumu, što je opravdano višegodišnjom detekcijom povišenih koncentracija metala u sedimentu i nemogućnosti biodegradacije ove grupe polutanata (*Krčmar i sar., 2017*), dok je najmanji značaj određen riziku po ljudsko zdravlje, uzimajući u obzir da je upotreba kanala u rekreacione svrhe zabranjena.

U sledećem koraku određene su osnovne i normalizovane vrednosti pod-kriterijuma svake grupe kriterijuma, kao što je prikazano u tabeli 1. Računanjem PLI vrednosti određeno je da je određeni deo metala prisutnog u sedimentu prirodnog, geogenog porekla. RAC vrednosti ukazuju da veći deo metala nije u lako-vezujućem obliku (*Rađenović i sar., 2023*), što smanjuje rizik od njihovog oslobađanja. IWCTU vrednosti određene rezultatima dobijenim pasivnim uzorkovanjem pokazuju vrlo malu slobodnu koncentraciju metala u sedimentu, čineći rizik od slobodnog kretanja metala vrlo malim. RQ vrednosti iskazuju relativno mali potencijal policikličnih aromatičnih jedinjenja ka ispoljavanju ekološkog rizika. Slično je zaključeno i slobodnu koncentraciju organskih jedinjenja određenu IWTU indeksom računatom na osnovu rezultata pasivnog uzorkovanja (*Pejin i sar., 2023*). EcoTox vrednosti određene ekotoksičnim testima ukazuju na umerenu toksičnost sedimenta, dok Bontos vrednosti ukazuju na siromašni biodiverzitet i ograničenu gustinu prisutnih bentosnih vrsta. HI vrednosti pokazuju nepostojanje potencijala za toksičnim (nekancerogenim) efektima sedimenta, dok CR vrednosti ukazuju na mogući potencijal ispoljavanja kancerogenih efekata.

Tabela 1. Vrednosti pod-kriterijuma određenih za posmatrani sediment  
Table 1. The values of sub-criteria determined for the observed sediment

Kriterijum	Pod-kriterijum	Osnovna vrednost pod-kriterijuma	Normalizovana vrednost pod-kriterijuma
Neorganski kriterijum (C1)	PLI (C5)	1,18	-0,7069
	RAC (C6)	0,58-34,56%	-0,2143
	IWCTU (C7)	0,004	-1,0000
Organski kriterijum (C2)	RQ (C8)	0,48/0,00	-0,5000
	IWTU (C9)	0,03	-1,0000
Ekološki rizik (C3)	EcoTox (C10)	24%/25%/100%	0,1111
	Bentos (C11)	5	1,0000
Rizik po zdravlje ljudi (C4)	HI (C12)	0,12	-1,0000
	CR (C13)	0,0002/0,0000	0,0000

U cilju optimizacije mera upravljanja sedimentom VBK koji se izmuljuje posmatran je kumulativan potencijal negativnog delovanja zasnovan na multidisciplinarnom pristupu

više-kriterijumske procene rizika, što podrazumeva korekciju Uredbom ("Sl. glasnik RS", br. 50/2012) određene klase na osnovu vrednosti kriterijuma (i pod-kriterijuma), na sledeći način:

$$\text{Konačna ocena} = C0 + W1 \cdot (C5 \cdot W5 + C6 \cdot W6 + C7 \cdot W7) + W2 \cdot (C8 \cdot W8 + C9 \cdot W9) + W3 \cdot (C10 \cdot W10 + C11 \cdot W11) + W4 \cdot (C12 \cdot W12 + C13 \cdot W13)$$

$$\text{Konačna ocena} = 3 + 0,2797 \cdot (-0,7069 \cdot 0,2666 + -0,2143 \cdot 0,3200 + -1,0000 \cdot 0,4134) + 0,2570 \cdot (-0,5000 \cdot 0,4952 + -1,0000 \cdot 0,5048) + 0,3052 \cdot (0,1111 \cdot 0,5048 + 1,0000 \cdot 0,4924) + 0,1581 \cdot (-1,0000 \cdot 0,5260 + 0,0000 \cdot 0,4740)$$

$$\text{Konačna ocena} = 3 + -0,19 + -0,19 + 0,17 + 0,08$$

Konačna ocena određuje se nakon normalizacije vrednosti glavnih kriterijuma (C1, C2, C3 i C4), tako da vrednosti kriterijuma budu u opsegu od -1 do +1. Normalizacija vrednosti se vrši zbog potrebe određivanja međusobnog značaja ovih kriterijuma inkorporiranjem prethodno određenih težinskih faktora. Nakon normalizacije vrednosti kriterijuma konačna ocena određena je na sledeći način:

$$\text{Konačna ocena} = 3 + -0,67 + -0,75 + 0,55 + -0,53 = 1,60$$

Više-kriterijumskim pristupom određeno je da posmatrani sediment VBK ne iskazuje kumulativan potencijal ispoljavanja negativnog delovanja na životnu sredinu i zdravlje ljudi da bi se zahtevale posebne mere za njegovo dalje rukovanje nakon izmuljivanja. Ovako se na opravdan način optimizuju mere rukovanja sedimentom čije je izmuljivanje neophodno, iako je prethodno Uredbom ("Sl. glasnik RS", br. 50/2012) određena klasa 3 sedimenta.

## ZAKLJUČAK

Na osnovu sprovedenih istraživanja, zaključujemo da je multidisciplinarni pristup ključan u efikasnom upravljanju sedimentom u vodotocima. Razvijeni višekriterijumski model procene rizika, koji integriše FUCOM i SAW metode, pruža korisne smernice za optimizaciju mera rukovanja sedimentom. Analiza sedimenta Velikog bačkog kanala pokazuje da postojeći sediment ne predstavlja značajan rizik po životnu sredinu i zdravlje ljudi, što omogućava dalje planiranje upravljanja. Važno je dalje istraživanje i implementacija ovakvih metoda u praksi radi očuvanja ekosistema vodenih tokova i zaštite ljudskog zdravlja. Ova studija ističe potrebu za holističkim pristupom i stalnim praćenjem kako bi se osigurala održiva upotreba i zaštita vodenih resursa.

### Zahvalnica

Ovo istraživanje je sprovedeno uz podršku Fonda za nauku Republike Srbije, #7753609, BEuSED

### LITERATURA:

Ankley, G.T., Di Toro, D., Hansen, D.J., Berry, W.J. (1996) Technical basis and proposal for deriving sediment quality criteria for metals, Environmental Toxicology and Chemistry, 15, 2056-2066

- Cao, Z., Liu, J., Luan, Y., Li, Y., Ma, M., Xu, J., Han, S. (2010) Distribution and ecosystem risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons in the Luan River, China, *Ecotoxicology*, 19, 827-837
- Ellingsen, K.E. (2002) Soft-sediment benthic biodiversity on the continental shelf in relation to environmental variability, *Marine Ecology Progress*, 232, 15-27
- Hu, S.Y., Hsieh, C.Y., Dahms, H.U., Tseng, Y.H., Chen, J., Wu, M.C., Kim, J.H., Liu, C.H. (2021) Toxic Effects of Heavy Metals and Organic Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Sediment Porewater on the Amphipod *Hyaella azteca* and Zebrafish *Brachydanio rerio* Embryos from Different Rivers in Taiwan, *Appl. Sci.*, 11, 8021
- Jain, C.K. (2003) Metal fractionation study on bed sediments of River Yamuna, India, *Water Research*, 38, 569-578
- Kaisarevic, S., Vulin, I., Tenji, D., Tomic, T., Teodorovic, I. (2021) Approaches, limitations and challenges in development of biomarker-based strategy for impact assessment of neuroactive compounds in the aquatic environment, *Environmental Sciences, Europe*, 33, 115
- Krčmar, D., Dubovina, M., Grba, N., Pešić, V., Watson, M., Tričković, J., Dalmacija, B. (2017) Distribution of organic and inorganic substances in the sediments of the "Great Bačka Canal", a European environmental hotspot, *Science of Total Environment*, 601-602, 833-844
- Linkov, I., Satterstrom, F.K., Kiker, G., Seager, T.P., Bridges, T., Gardner, K.H., Rogers, S.H., Belluck, D.A., Mayer, A. (2006) Multicriteria Decision Analysis: A Comprehensive Decision Approach for Management of Contaminated Sediments, *Risk Analysis*, 26(1), 61-78
- Pamučar, D., Stević, Ž., Sremac, S. (2018) A New Model for Determining Weight Coefficients of Criteria in MCDM Models: Full Consistency Method (FUCOM), *Symmetry*, 10(9), 393
- Pejin, Đ., Krčmar, D., Tenodi, S., Radenović, D., Tomašević Pilipović, D. (2023) Procena uticaja zagađenja sedimenta teškim metalima u Velikom bačkom kanalu, *Zbornik radova 52. godišnje konferencije o aktuelnim problemima korišćenja i zaštite voda „VODA 2023“*, 275-279
- Qishlaqi, A., Beiramali, F. (2019) Potential sources and health risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons in street dusts of Karaj urban area, northern Iran, *J Environ Health Sci Eng*, 17(2), 1029-1044
- Radenović, D., Kerkez, Đ., Tomašević Pilipović, D., Dubovina, M., Šešlija, M., Tenodi S., Peško, I. (2024) The beneficial reuse of contaminated sediment: Long-term assessment of fly ash and lime-based mixtures, *Case Studies in Construction Materials*, 20, e02711
- Radenović, D., Pejin, Đ., Krčmar, D., Beljin, J., Slijepčević, N., Tenodi, S., Tomašević-Pilipović, D. (2022) Different approach to assessment of heavy metals contaminated sediments in the Great Backa canal. *REMTECH Europe*, 19-23 September
- Tlig, N., Boye, M., Hallek, T., Burckel, P., Gzam, M., Tagorti M. (2023) Sediment quality and environmental risk assessment in a Mediterranean coastal system using geochemical and multivariate statistical analyses: the case of Boughrara Lagoon (southeastern Tunisia), *Environmental Monitoring and Assessment*, 195(3), 442-461
- Tomlinson, D.L., Wilson, J.G., Harris, C.R., Jeffrey, D.W. (1980) Problems in the assessment of heavy-metal levels in estuaries and formation of a pollution index, *Helgoländer Meeresuntersuchungen*, 33, 566-575
- Ubavin, D., Agarski, B., Maodus, N., Stanisavljevic, N., Budak, I. (2017) A model for prioritizing landfills for remediation and closure: A case study in Serbia, *Integrated Environmental Assessment and Management*, 14(1), 105-119

## ANALIZA SPROVOĐENJA PROCESA REVITALIZACIJE VELIKOG BAČKOG KANALA

Dragoslav Stefanović<sup>1</sup>, Jasmina Bašić<sup>1</sup>, Slavica Krsmanović<sup>1</sup>,  
Gordana Milojković<sup>2</sup>, Sara Lečić<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Akademija strukovnih studija Beograd, Odsek Visoka zdravstvena škola Cara Dušana 254, Zemun, dragoslav.stefanovic.vms@ gmail.com*

<sup>2</sup> *Studenti master strukovnih studija Akademija strukovnih studija Beograd, Odsek Visoka zdravstvena škola Cara Dušana 254, Zemun*

### REZIME

Problem današnjice jesu otpadne vode koje nastaju iz industrijskih postrojenja bez ugrađenih prečišćivača. Otpadne, odnosno kontaminirana voda ima veliki uticaj kako na samu okolinu tako i na zdravlje ljudi i živi svet. U samom radu stavlja se težište na samu količinu i vrstu otpada koja se nalazi u Velikom Bačkom kanalu, i način rešavanja problema uz pomoć razvrstavanja nastalog mulja po klasama i izbor tehnološkog procesa koji će na pravilan način dovesti do prevodenja opasnog mulja u bezopasni/neutralni oblik i kao takav se deponovati na mesto predviđeno za tu vrstu otpada ili se koristiti u korisne svrhe.

KLJUČNE REČI: zagađenje, otpadne vode, industrija, prečišćavanje

## ANALYSIS OD THE IMPLEMENTATION OF THE REVITALIZATION PROCESS OF THE VELIKI BAČKI CANAL

### ABSTRACT

The problem we face today is the wastewater generated by industrial facilities without installed purification systems. This wastewater or contaminated water has a significant impact on the environment and human health, as well as on the ecosystem. The focus of the work is on the amount and type of waste found in the Veliki Bački canal, and on solving the problem by classifying the resulting sludge and selecting a technological process that will properly convert the hazardous sludge into a safe/neutral form, either for disposal in a designated waste site or for beneficial use.

KEY WORDS: pollution, wastewater, industry, purification

## UVOD

Povećanjem standarda i industrilizacijom zemlje, dolazi do konstantne potrebe za povećanom potrošnjom vode. Život bez vode je nezamisliv, ali je situacija svakodnevno sve teža, jer je zagađivača sve više i samim tim neki izvori i kanali dovode do povećanog rizika za zdravlje ljudi i bezbednost životne sredine, budući da je voda kontaminirana velikim količinama štetnih i opasnih materija, a u nekim slučajevima su u pitanju i kancerogene supstance.

Veliki broj industrija nema izgrađen sistem za prečišćavanje otpadnih voda koje se direktno ispuštaju u kanale iz čega proizilazi problem Velikog Bačkog kanala, koji predstavlja jedan od najzagađenijih kanala u Evropi- smatra se „CRNOM TAČKOM“ Evrope.

Mesna industrija, indrustrija šećera, industrija alkohola koriste velike količine vode u samim tehnološkim procesima obrade i dobijanja finalnog proizvoda. Iz tih procesa nastaju ogromne količine otpadnih voda koje nisu adekvatno prečišćene zbog nepostojanja prečistača i to isključivo onih industrija koje su locirane uz sam kanal. Čovek takođe ima veliki uticaj u zagađenju samog kanala, direktnim odlaganjem otpada,tako i otpad koji dospe kao produkt poljoprivrednih aktivnosti. Samim tim dovodi se u pitanje budućnost kako kanala, tako i njegovog okruženja i same životne sredne.

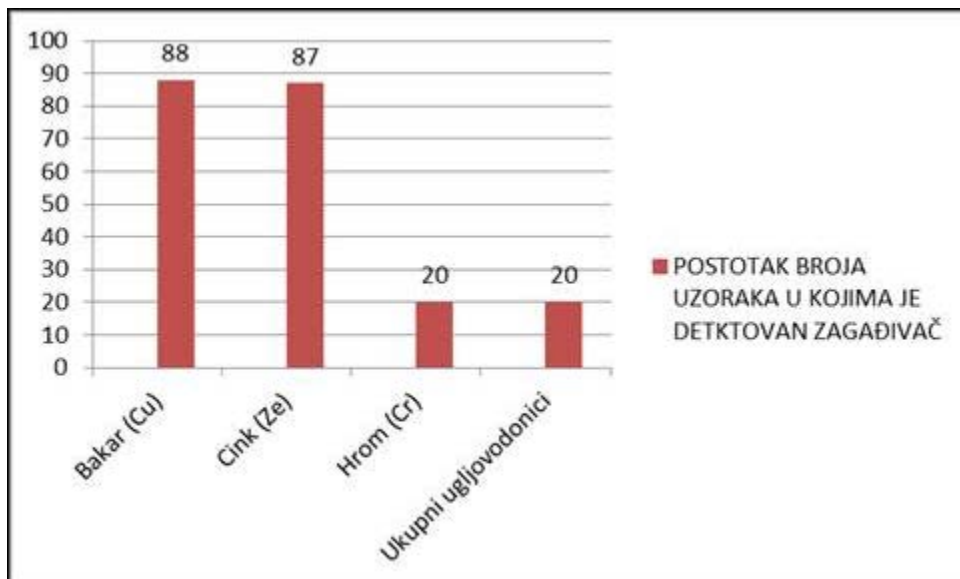
Zbog povećane potrebe za zaštitom reka, jezera i generalno poboljšanja kvaliteta same vode u našoj zemlji potrebno je sprovođenje i planiranje ativnosti koje će dovesti do pravilnog upravljanja određenim vrstama i količinama otpada, izgradnja deponija različite namene i obučenosn kadra za pravilno upravljanje svim vrstama otpada.

## KOLIČINA I FIZIČKA SVOJSTVA SEDIMENTA

Prema proračunima vršenim 2018. i 2019. godine u kanalu se nalazilo 368.887m<sup>3</sup> mulja, koji su pripadali klasama 1-4. Veći deo mulja pripada klasi 3 i 4 koje su označene kao grupa opasnih materija, i samim tim ovu vrstu otpada potrebno je podvrgnuti odgovarajućem tehnološkom postupku u cilju prevođenja u grupu neopasnog otpada. Mulj 3 i 4 klase neophodno je tretirati postupkom stabilizacije sa solidifikacijom.

Kvalitet sedimenta je analiziran na 34 mesta, na svakom je uzorkovano od 2 do 4 neporemećena sedimenta jezgra sa leve i desne strane kanala, što je ukupno 115 uzoraka. Najčešće detektovan teški metal jeste bakar u 88% uzoraka, cink u 87% uzoraka, dok su hrom i ukupni ugljovodonici u 20% uzoraka (Grafik 1). Organski parametri (PCB i organohlorni pesticidi), kadmijum i arsen u manje od 10% uzoraka.

Prema klasama otpada, od ispitivanih uzoraka 85% klasifikovano je kao kontaminirano i pripada klasama 3 i 4, dok je polovina klasifikovana kao teško kontaminirana (klasa 4). Bakar predstavlja najveći problem , dok se nikl nalazi u 70% uzoraka u većim količinama u odnosu na nivo provere i ti uzorci pripadaju klasi 3.



Slika 1. Postotak broja uzoraka u kojima su detektovani zagađivači Cu, Zn, Cr, ukupni ugljovodonici  
 Figure 1. Percentage of the number of samples in which Cu, Zn, Cr pollutants, total hydrocarbons were detected

### PLANIRANE AKTIVNOSTI NA REMEDIJACIJI VELIKOG BAČKOG KANALA

Rešenje za remedijaciju Velikog Bačkog kanala se bazira na sledećim procesima:

1. Razgraničenje tretmana opasnog i neopasnog mulja- izbor tretmana za odgovarajuću klasu mulja. Potrebna je identifikacija delova kanala, na deonicama sa muljem opasnih karakteristika (3 i 4 klase) i deonicama sa neopasnim muljem (1 i 2 klase).
2. Tehničko-tehnološke aktivnosti- neophodno je obezbediti sušenje sedimenta u kanalu (obezvodnjavanje kanala) kao i način odlaganja neopasnog mulja i zagađenog/kontaminiranog mulja sa opasnim karakteristikama
3. Tehnologija izmuljenja kanala: Utvrđene su 4 klase mulja, gde se zelenom bojom obeležavaju 1 i 2 klasa, 3 klasa mulja obeležava se žutom bojom i najkritičnija 4 klasa obeležava se crvenom bojom.

Sam proces predviđa dobijanje rezultata količina mulja po klasama i nakon toga se utvrđuju varijante načina rešavanja izmuljenja kanala. Lateralni kanali donose zagađene industrijske i komunalne vode i potrebno je da se pre radova na izmuljenju mora sprovesti proces postavljanja prečistača u koji bi odlazila sva zagađena voda. Proces izmuljenja se sprovodi celom dužinom, i tokom tog procesa je potrebno sporovoditi stalni monitoring kvaliteta mulja. Mulj se odlaže na deponiju koja je predviđena za tu klasu kojoj mulj pripada, a

ukoliko se monitoringom utvrdi da je mulj promenio klasu, potrebno ga je odložiti na deponiju predviđenu za utvrđenu klasu. Sam proces se sprovodi plovnim bagerom (refuler), a uz samu levu i desnu ivicu obale vrši se uz pomoć bagera.

### TEHNOLOŠKI POSTUPAK REMEDIJACIJE KANALA

Sediment klase 3 i 4 spada u grupu opasnih materija i posle izmuljenja sadrži veliku količinu vlage potrebno je sporovesti odgovarajući tretman odnosno izvršiti isušivanje sedimenta do sadržaja vlage oko 65%. Tehničko- tehnološkim rešenjem predviđeno je da se sušenje sedimenta sprovodi na samom kanalu zbog sprečavanja zauzimanja velikih površina zemljišta za izgradnju privremenih skladišta sedimenta u cilju ocedivanja. U tu svrhu potrebno je za period sušenja mulja, sprečiti dotok vode u kanal (osim direktnih atmosferskih padavina na površini kanala).

Neophodno je da se zaostala površinska voda iz deonice koja je predmet čišćenja odvede, a to se postiže procesom prepumpavanja, nakon čega se zaostali sediment ostavlja na sušenje evaporacijom do predviđenog sadržaja vlage. Za proces eskavacije ostaje isušeni sediment sa 65% suve materije koji se transportuje na postrojenje za solidifikaciju.

### TEHNOLOŠKI POSTUPAK STABILIZACIJE I SOLIDIFIKACIJE SEDIMENTA 3 I 4 KLASE

Na postrojenju za stabilizaciju i solidifikaciju teretira se mulj, koji se usled sadržaja visokih koncentracija teških metala i metaloida, smatra opasnim otpadom. Na osnovu zakonske regulative Republike Srbije takav otpad ne može se trajno odlagati, već se mora izvršiti njegov tretman koji ga prevodi u bezopasni/neutralni oblik i omogućava njegovo konačno odlaganje ili upotrebljavanje u korisne svrhe.

Tretman sedimenta zasnovan je na procesu stabilizacije kontaminanta u sedimentu (teški metali), a zatim solidifikacije stabilisanog sedimenta u cilju minimalnog izlaganja teških metala u okolinu. Materijali koji se koriste pri tehnologiji solidifikacije i stabilizacije kao vezujući reagensi su: cement, kreč, leteći pepeo, gips, glina, šljunak, zeolit i organski polimeri.

Za proces solidifikacije i stabilizacije koriste se mobilna postrojenja namenjena za sakupljanje i reciklažu industrijskog otpada, posebno opasnog. Kapacitet postrojenja zavisi od sastava sedimenta i kreće se oko 100t/dan. Tehnologija stabilizacije sa solidifikacijom je namenjen za tretman opasnog industrijskog otpada, pod definisanim procesnim uslovima u rektoru, čime se dobija bezopasni finalni proizvod- solidifikat.

### VRSTE DEPONIJA

Utvrđene su tri lokacije za izgradnju deonija koje će se koristiti za odlaganje mulja na adekvatan način.

Deponija broj 1 je locirana uzvodno od hidročvora Vrbas, koristi se za deponovanje mulja sa uzvodne deonice hidročvora Vrbas i nalazi se van granica građevinskog reona. Kod ove deponije posebno se izvodi deo deponije za prihvatanje zagađenog i deo za prihvatanje nezagađenog sedimenta. Ova deponija ima 8 kasete, od kojih su četiri kasete dimenzija 50\*100m, a ostale su dimenzija 50\*120m. Dno i kosina kasete su obložene glinenim slojem od 30cm na koji su postavljeni geotekstil i folija. Voda iz kasete u kasetu se preliva preko formiranih preliva. Na dnu kasete su postavljene drenažne cevi u sloju šljunka debljine 30cm i vertikalno cevi za sakupljanje gasa koji se oslobađa iz mulja. Postavljaju se kolektori za sakupljanje ocedne vode iz drenova, koja se odvodi do crpne stanice koja prebacuje vodu u statički mešač gde se meša sa ferohloridom, i nakon prolaska ide u taložnu lagunu gde se sitne čestice talože i voda se vraća u kanal Vrbas-Bezdan. Ovaj deo deponije služi za deponovanje 3 i 4 klase mulja.

Deponija broj 6 se nalazi na sredini predmetne deonice, i ova lokacija deponije je u građanskom reonu. Na ovoj deponiji se mogu deponovati sve klase mulja. Kod ove deponije se rade kasete za prihvatanje zagađenog sedimenta. Deponija 6 ima dvanaest malih kasete dimenzija 50\*80m.

Deponija broj 3 se nalazi kod ušća kanala Vrbas-Bezdan u kanal Bečej-Bogojevo (kod trianglera). U deponiju broj 3 se deponuje mulj 1 i 2 klase, kod ove deponije nema specijalnih radova na telu deponije. Formira se obodni nasip potrebnih dimenzija i izvede se objekat za odvod vode sa deponije. Deo iskopanog materijala se koristi za izradu obodnog nasipa, a drugi deo se deponuje sa strane i nakon punjenja deponije isti se rasipa po površini deponije. Nezagađeni mulj se deponuje na deponiju 3, a ako se prilikom monitoringa rada ustanovi da je sediment prešao granice za nezagađeni mulj, sediment se deponuje u deponiju 6 i 1 koje su predviđene za zagađeni mulj. Proces remedijacije zagađenog mulja ne počinje odmah, mulj se deponuje u zaštićenu kasetu i nakon mirovanja od dve godine, mulj se ocedi i osuši i može da se radi proces remedijacije. Tehnološko postrojenje je isto na deponiji 1 i 6, kada se na jednoj deponiji preradi zagađeni sediment, tehnološko postrojenje se seli na drugu deponiju.

## ZAKLJUČAK

Sprovedenjem procesa revitalizacije, odnosno izmuljenja i pravilnog izbora tehnološkog procesa radi prevođenja mulja iz opasnog u bezopasni/neutralni oblik, kao i odlaganje prerađenog otpada na predviđenu deponiju za tu klasu mulja dolazimo do zaključka da se na taj način smanjuje količina opasnog otpada, sprečava dalji razvoj mikroorganizama i štetnih uticaja na živi svet i samu okolinu. Sam položaj kanala je veoma pogodan za razvoj turizma, sporta i rekreacije kako na vodi tako i na suvom, i utiče na ekonomsku dobit i smanjenje siromaštva.



## LITERATURA

- Ministarstvo evropske integracije, Projekat remedijacije/revitalizacije Velikog Bačkog kanala sa postrojenjem za tretman opasnog otpada- Studija o proceni uticaja na životnu sredinu,(2022)
- Dr Nebojša Veljković, dip. inž. građ. Milorad Jovičić, Agencija za zaštitu životne sredine, Stanje zagađenosti voda Srbije, (2007)
- Dr Nebojša Veljković i dr., Kvalitet sedimenta reka i akumulacija Srbije, Beograd: Ministarstvo zaštite životne sredine, Agencija za zaštitu životne sredine, (2019)
- Aleksandra Dimitrov, Fakultet tehničkih nauka Čačak, Mogućnosti sanacije zagađenih vodotokova sa osvrtnom na Veliki Bački kanal na potezu Vrbas-Kula, (2013)

## PLUTAJUĆI OTPAD NA PODRUČJU BOKOKOTORSKOG ZALIVA (JUGOISTOČNI JADRAN)

Ines Kokić\*, Slađana Nikolić\*, Milica Mandić\*

\* *Univerzitet Crne Gore, Institut za biologiju mora, Put 1 bokeljske brigade 68, Kotor, Crna Gora, [ines@ucg.ac.me](mailto:ines@ucg.ac.me), ORCID: 0000-0002-2355-7325*

\* *Univerzitet Crne Gore, Institut za biologiju mora, Put 1 bokeljske brigade 68, Kotor, Crna Gora, [sladjanag@ucg.ac.me](mailto:sladjanag@ucg.ac.me), ORCID: 0000-0003-4459-7585*

\* *Univerzitet Crne Gore, Institut za biologiju mora, Put 1 bokeljske brigade 68, Kotor, Crna Gora, [mamilica@ucg.ac.me](mailto:mamilica@ucg.ac.me), ORCID: 0000-0001-8501-7618*

### REZIME

U radu su predstavljeni rezultati vizuelnog monitoringa plutajućeg otpada (>2,5 cm) na tri transektu na području Bokokotorskog zaliva sprovedenog tokom tri sezone: jeseni i zime 2022. i proljeća 2023. godine. Ukupno je sakupljeno 148 komada otpada, najzastupljenija kategorija otpada je bio plastični otpad (84,45 %), a u pogledu veličine komada otpada, kategorija A (41,86%). Najveća količina otpada na sva tri transektu zabilježena je u sezoni jesen 2022, 93 komada otpada. U pogledu zastupljenosti otpada na transektima, najveća količina je zapažena na Transektu 1 za sve tri sezone, dok na Transektu 3 u sezoni jesen i proljeće nije bio zabilježen niti jedan komad otpada. Srednja gustina otpada u moru na sva tri transektu iznosi 146,51 komad/km<sup>2</sup>.

KLJUČNE REČI: plutajući makro otpad, plastika, Bokokotorski zaliv

## FLOATING MARINE LITTER IN THE BOKA KOTORSKA BAY (SOUTHEAST ADRIATIC SEA)

### ABSTRACT

This paper presents the results of visual monitoring of floating marine litter (>2.5 cm) in the area of the Bokakotorska bay, conducted during three seasons, autumn and winter 2022 and spring 2023. A total of 148 of litter items were collected, the most represented category of marine litter was plastic (84.45%), while considering the size classes, the most numerous was size class A (46.54%). The largest amount of litter on all three transects was recorded in the fall season of 2022, 93 items. The largest amount of marine litter was observed on Transect 1, while on Transect 3 in the autumn and spring season, it was not recorded any item of marine litter. The mean marine litter density was 146.51 items/km<sup>2</sup>.

KEY WORDS: floating macro litter, plastic, Boka Kotorska bay

## UVOD

Okvirna direktiva o morskoj strategiji (MSFD - Direktiva 2008/56/EC) usvojena je 2008. godine u cilju zaštite morskog i priobalnog okruženja. U okviru strategije postoji 11 deskriptora za definisanje ekološkog statusa morskih ekosistema, pri čemu je otpad u moru (Deskriptor 10) prepoznat je kao jedan od glavnih uzroka zagađenja morskih voda.

Sredozemno more, uključujući i Jadransko more, je jedno od područja koja su najviše pogođena otpadom u moru na svijetu. Otpad u moru, a posebno plutajuća plastika, pronađeni u Sredozemnom moru su uporedivi sa količinama koje su pronađene u pet okeanskih područja akumulacije otpada, i utiču na ekosisteme i vrste na različitim trofičkim nivoima (Fossi i sar., 2019). Smatra se da je glavni izvor unosa otpada u Jadransko more kopnenog porijekla (UNEP/MAP, 2015; Vlachogianni i sar., 2017, 2018) uz značajan doprinos ribarstva i akvakulture.

Oko 80% plastičnog otpada je porijeklom sa kopna i potiče od slučajnog ili namjernog odlaganja kao i loših sistema upravljanja otpadom u priobalnim regionima (Andrady, 2011; Bonanno i Orlando-Bonaca, 2018). Ne treba zanemariti ni morske izvore koji takođe igraju važnu ulogu kroz nenamjerno ili nezakonito odlaganje otpada sa brodova, uključujući ribarske brodove, kao i slučajne gubitke ribolovne opreme (Bonanno i Orlando Bonaca, 2018; Ryan, 2015).

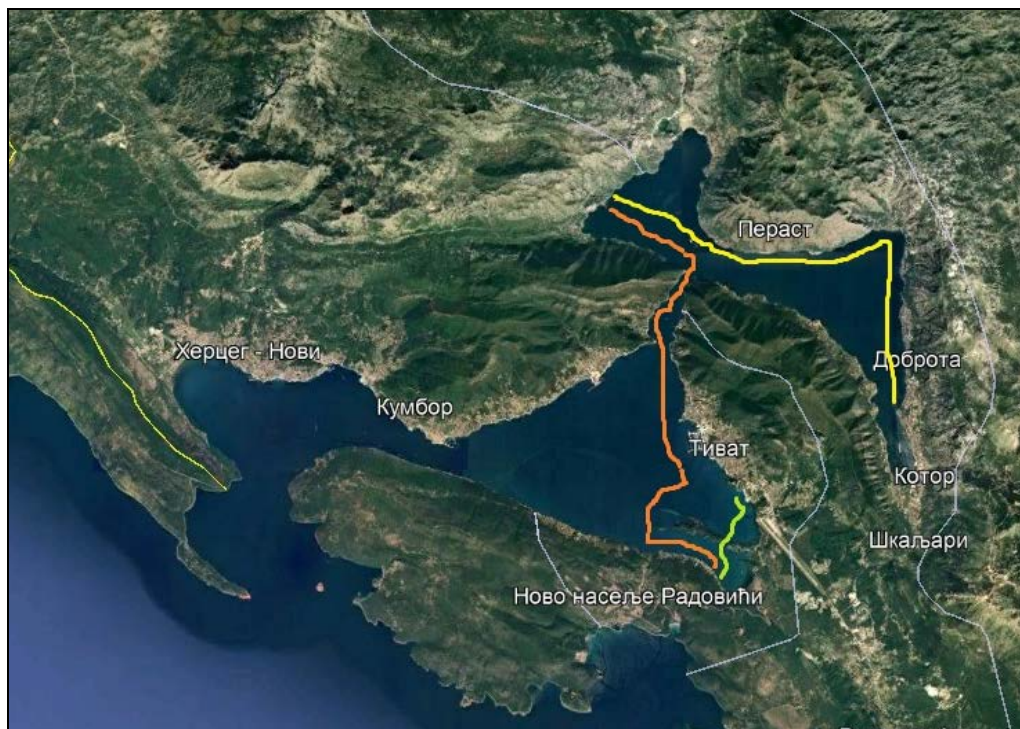
Makro otpad negativno utiče na različite morske organizme, na obavljanje normalnih životnih funkcija, a kao najčešći primjer koji se sreće je upravo zaplitanje ili gutanje plastičnih komada otpada od strane morskih organizama (Biagi i sar., 2021; Di Renzo i sar., 2021; Fossi i sar., 2020). Pored toga, on može imati ulogu i kao stanište za različite vrste morskih organizama i kao vektor unosa invazivnih i stranih vrsta (Kiessling i sar., 2015). Prema literaturnim podacima, u nekim istraživanjima naučnici su ukazali na ulogu plutajućeg morskog otpada kao vektora prenosa za neke vrste rakova (Tutman i sar., 2017). Takođe plutajući otpad je odličan vektor širenja invazivnih morskih vrsta (Barnes, 2002; Barnes i Frejzer, 2003; Barnes i Milner, 2005; Gregori, 2009), kao na primer algi koje dovode do cvjetanja mora (Maso i sar., 2003) ili bakterijskih patogena (Carson i sar., 2013; Harrison i sar., 2011; Zettler i sar., 2013). U pogledu makro otpada, Jadransko more spada u jedno od najzagađenijih mora (UNEP/MAP-PAP/RAC-SPA/RAC and MESPU, 2021).

Bokokotorski zaliv predstavlja poluzatvoreno područje koje je većim dijelom izolovano od uticaja otvorenih voda (Kotorski-Risanski, Tivatski zaliv) osim HercegNovskog zaliva koji je pod jakim uticajem otvorenog mora. Prema tome, otpad u unutrašnjem dijelu zaliva javlja se kao posljedica lošeg upravljanja otpadom na kopnu, kao i raznim aktivnostima na obali, turizma i rekreativnih aktivnosti, ali ne treba zanemariti i uticaj sektora ribarstva ili pomorstvo (UNEP/MAP-PAP/RAC-SPA/RAC and MESPU, 2021).

Cilj ovog istraživanja je kategorizacija i procjena prostorne i vremenske dinamike količine plutajućeg otpada na području Bokokotorskog zaliva.

## METODOLOGIJA

Vizuelni monitoring plutajućeg otpada realizovan je na tri transekte na području unutrašnjeg dijela Bokokotorskog zaliva. Prvi transekt obuhvatao je područje od Dobrote do mjesta Lipci (Transekt 1), drugi od Lipaca do obale Đuraševića (Transekt 2) i treći od Obale Đuraševića do uvale Kukoljina (Transekt 3) (Slika 1).



Slika 1. Transekti monitoringa plutajućeg otpada na području Bokokotorskog zaliva (--Transekt 1, --Transekt 2, --Transekt 3)

Figure 1. Transects of floating waste monitoring in the area of the Bay of Kotor (--Transekt 1, --Transekt 2, --Transekt 3)

Za realizaciju ove aktivnosti koristio se istraživački brod Instituta za biologiju mora "Nemirna II", dok se monitoring obavljao sezonski, obuhvatajući tri sezone, jesen (2022), zimu (2022) i proljeće (2023).

Metodologija monitoringa zasniva se na metodi vizuelnog cenzusa, a posmatranje plutajućeg otpada prati se sa pramca broda. Detektovan je otpad u rasponu veličina od 2,5cm do 50cm, dok je širina transekta posmatranja bila 10m. Brzina kretanja broda nije bila veća od 3 čvora, dok je dužina transekta približno trajala oko 1 h posmatranja za svaki

transekt. Dužina transektata izračunata je na osnovu početne i krajnje koordinate transektata i iznosila je: 13,96 km za Transekt 1 , 12,92 km za Transekt 2 i 2,73 km za Transekt 3. Svaki zabilježen komad otpada na transektu identifikovan je korišćenjem lista za praćenje plutajućeg otpada („Floating Litter Monitoring Sheet“). Plutajući otpad je kategorizovan u 6 glavnih kategorija: plastika, guma, garderoba/tekstil, papir/karton, obrađeno drvo i metal. Svaki komad otpada se broji i na osnovu veličine kategoriše u sledeće kategorije: A. 2,5 cm – 5 cm; B. 5 cm – 10 cm; C. 10 cm – 20 cm; D. 20 cm – 30 cm; E. 30 cm – 50 cm; F. > 50cm.

Gustina plutajućeg otpada izračunava se prema sledećoj formuli (komada otpada/km<sup>2</sup>):

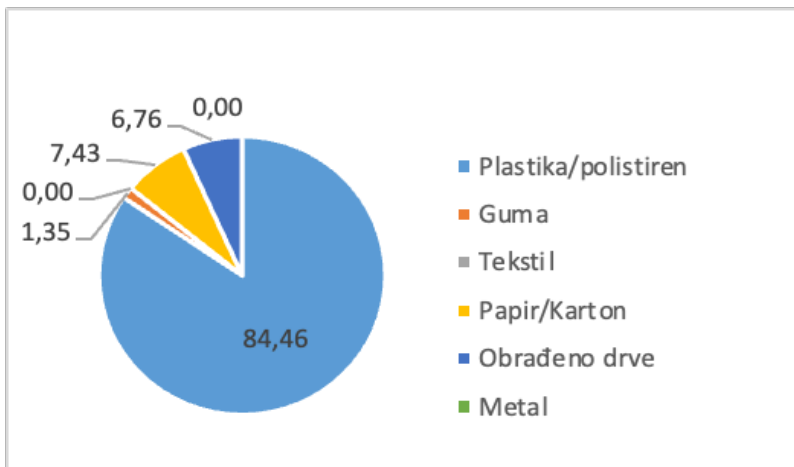
$$D = N / ((V/1000) \times D) \quad (1)$$

gde je N broj komada otpada , V je širina posmatranog transektata (m), a L je ukupna dužina (m) transektata (Burnham i Anderson, 1984).

Statistička obrada podataka vršena je pomoću programa StatSoft Statistica 12.0 i Microsoft Excel 2007.

## REZULTATI

Tokom istraživanja plutajućeg otpada obuhvaćena su tri transektata sa ukupnom dužinom rute od 29,25 km. Na svim transektima tokom tri sezone uzorkovanja, ukupno je sakupljeno 148 komada otpada, pri čemu je u najvećem procentu bila zastupljena plastika (84,45%) (Grafik 1). Gustina plutajućeg otpada varirala je od 0 – 608,88 komada otpada/km<sup>2</sup> sa prosečnom koncentracijom od 146,51 komada otpada/km<sup>2</sup>. Najveća gustina otpada od 608,88 komada otpada/ km<sup>2</sup> zabilježena na Transektu 1 tokom jeseni 2022. godine.



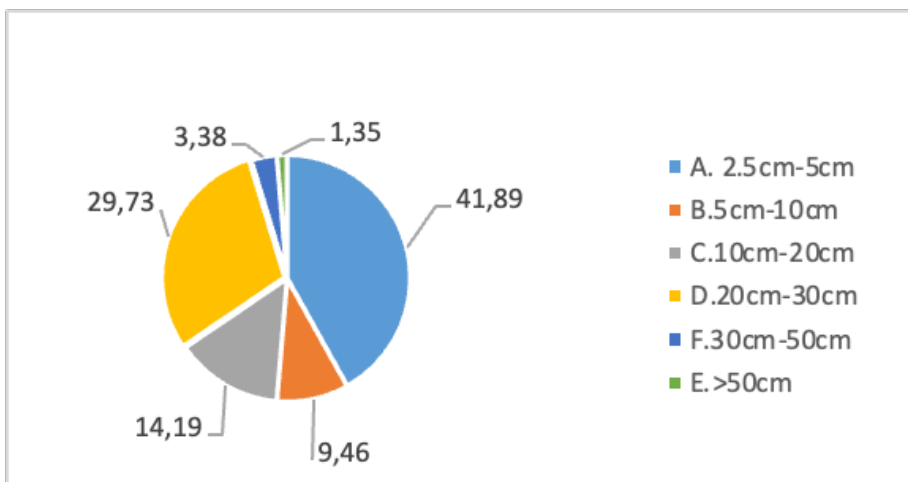
Grafik 1. Zastupljenost kategorija plutajućeg makro otpada na istraživanim transektima  
Graph 1. Representation of categories of floating macro litter on the investigated transects

Od ukupnog broja zabilježenih komada otpada (148), u sezoni jesen na Transektu 1 bila je zabilježena najveća gustina otpada, 608,88 komada otpada/km<sup>2</sup>, zatim na Transektu 2, 61,91 komad otpada/km<sup>2</sup>, dok na Transektu 3 nije bilo zabilježenog otpada.

U sezoni zima, na Transektu 1 zabilježena je gustina od 193,40 komada otpada/km<sup>2</sup>, na Transektu 2, 92,87 komada otpada/km<sup>2</sup> i na Transektu 3, 295,35 komada otpada/km<sup>2</sup>, dok se u sezoni proljeće na Transektu 1 bilježi gustina otpada od 42,98 komada otpada/km<sup>2</sup>, na Transektu 2, 23,22 komada otpada/km<sup>2</sup> dok na Transektu 3 u ovoj sezoni nije bilo zabilježenih komada otpada.

Nakon sezonskog monitoringa plutajućeg otpada na području Bokokotorskog zaliva, identifikovano je ukupno 125 komada plastičnog otpada. Najveća količina plastičnog otpada sakupljena je na Transektu 1 i to u sezoni jesen, dok ni jedan komad plastičnog otpada nije zabilježen na Transektu 3 u sezonama zima i proljeće.

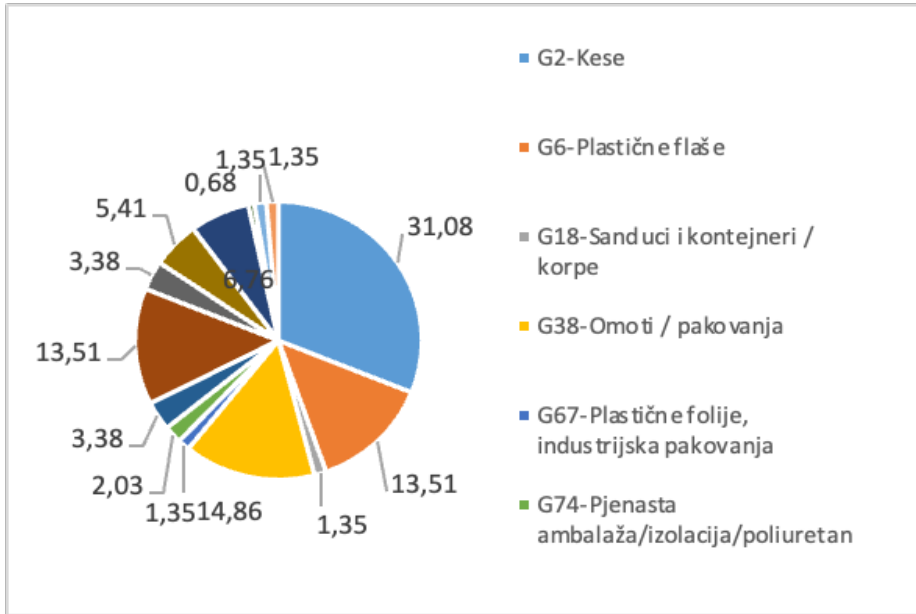
Prema veličini zabilježenih komada plutajućeg makro otpada (ukupnog broja za sve transekte), najveći procentualni udio su imali predmeti kategorije A, veličine 2,5 cm – 5 cm (41,89 %), dok je najmanji udio zabilježen za predmete veličine > 50 cm (1,35%) (Grafik 2).



Grafik 2. Procentualna zastupljenost različitih klasa veličine plutajućeg makro otpada  
Graph 2. Percentage coverage of different size classes of floating macro litter

Obradom svih dobijenih podataka, rezultati ukazuju da je većina plastičnih predmeta (66%) bila manja od 20 cm, s obzirom da su zabilježeni predmeti većinom predstavljale kese i omoti od grickalica. Procentualna zastupljenost predmeta od plastike u opsegu veličine od 2,5 - 5 cm je 45,6%, zatim 6,4 % za opseg od 5 – 10 cm i 14,4% za opseg od 10 - 20 cm.

Na osnovu obrađenih podataka svih transekata i sezona, od podkategorija plastičnog otpada na transektima najbrojnije su bile kese (31,08%), zatim omoti i pakovanja (14,86%) i flaše i drugi plastični otpad (13,51%) (Grafik 3).



Grafik 3. Procentualna zastupljenost pod-kategorija plutajućeg makro otpada  
Graph 3. Percentage representation of sub-categories of floating macro litter

Vrijednosti između transekata u pogledu sastava otpada ne pokazuje statistički značajnu razliku, kako u pogledu sezone, tako ni u pogledu transekata ( $p > 0,05$ ).

## DISKUSIJA

Podaci o praćenju makro otpada u Jadranskom moru su vrlo oskudni i do sada su objavljeni u samo par radova (Aliani i sar., 2003; Suaria i Aliani, 2014; Arcangeli i sar., 2017; Carlson i sar., 2017; Vlachogianni i sar., 2017; Zeri i sar., 2018; Palatinus i sar., 2019). U zavisnosti od načina primjene metodologije, nekada nije moguće zabilježiti manje veličine makro otpada ( $2,5\text{cm} < < 5\text{cm}$ ) usled upotrebe većih plovila za vizuelno posmatranje plutajućeg otpada. Detekcija manjih veličina makro otpada posebno je važna za procjene ukupne količine otpada prisutnog u morskome okruženju (Vlachogianni i sar., 2017).

Rezultati istraživanja Zeri i sar. (2018), sa posebnim akcentom na metodologiju i važnosti njene adekvatne primjene, pokazali su da na istraživnom području Jadranskog mora (Venecijanski zaliv i Čezenatiko, Tršćanski zaliv, Splitski zaliv i vode hrvatskog kanala,

Bokokotorski zaliv) pluta znatno veća količina makro plastike malih veličina (2,5 – 5 cm) nego što se ranije smatralo. Prema njihovim rezultatima, zabilježena je srednja vrijednost svih istraživanih transekata od  $260 \pm 596$  komada/km<sup>2</sup>. Slični uslovi u pogledu primjene metodologije, u našem istraživanju zabilježile su srednje vrijednosti gustine od 146,51 komad/km<sup>2</sup>. U istom radu navode da je najzastupljenija klasa u pogledu veličine zabilježenih komada otpada bila klasa A (2,5cm >> 5 cm), što je bio slučaj i sa rezultatima našeg istraživanja. Na dominantnost klase A ukazuju i istraživanja sprovedena na području Centralnog Mediterana i Jadransko-Jonskog regiona (Campanale i sar., 2019; Vlachogianni i sar., 2017).

U radu Vlachogianni i sar. (2017) prilikom istraživanja količine plutajućeg otpada za Jadransko more, tačnije dio koji obuhvata Bokokotorski zaliv, kao najzastupljenije kategorije plutajućeg otpada navodi plastiku, obrađeno drvo i papir, čiji se rezultati podudaraju sa dobijenim rezultatima ovog istraživanja. Takođe, sličnost smo zabilježili i u pogledu rezultata vezanih za najzastupljenije pod kategorije plastičnog otpada; najveću procentualnu zastupljenost imale su kese, različiti djelovi od plastike, omoti i pakovanja. U istom radu naveden je podatak da na području istraživanja (Bokokotorski zaliv, jugoistočni Jadran) i ranije bila zabilježena veća količina plastičnih flaša i kartonskog otpada. Zabilježene vrijednosti pomenute studije u pogledu zastupljenosti flaša u zalivu, iznosi 1,1%, dok naši rezultati bilježe zastupljenost od čak 13,51%. Što se tiče papirnog otpada, Vlachogianni i sar. (2017) navodi da su omoti/ pakovanja od kartona (G38) i papirna ambalaža (G149) bile zastupljene u sličnom procentu od 2,1%, dok se u našem istraživanju bilježi veća zastupljenost kartonskog otpada 14,86 % (G38) i nešto manja količina papirne ambalaže 1,35% (G149).

Prema rezultatima predstavljenim u dokumentu Procjene morske sredine i održivosti vrijednosti ekosistema (UNEP/MAP-PAP/RAC-SPA/RAC and MESPU, 2021) za područje Bokokotorskog zaliva, nakon sezonskog uzorkovanja, prosječna količina otpada iznosila je 131,08 komada/km<sup>2</sup>, što su slične vrijednosti koje bilježimo i u našem istraživanju (146,51 komad/km<sup>2</sup>). U radu Suaria i Aliani (2014), za Jadransko more (centralni Jadran, jugozapadni Jadran, jugoistočni Jadran i područje oko Otrantskog moreuza), zabilježena je manja gustina od 55 komada/km<sup>2</sup>, ali treba uzeti u obzir da su veličine detektovanog otpada bile veće od 10 cm.

Arcangeli i sar.(2017) su prilikom svog istraživanja zabilježili da se u Jadranskom moru (sjeverni, centralni i južni dio Jadrana, obala Italije) zapažaju najveće vrijednosti gustine plutajućeg otpada i to u svim godišnjim dobima u poređenju sa drugim oblastima. U pogledu sezonske varijacije, najveća gustina zabilježena je tokom zime, što nije bio slučaj sa našim istraživanjem, tokom kojeg smo najveću gustinu bilježili tokom jeseni.

Podaci iz 2014. i 2015 godine (UNEP/MAP-PAP/RAC-SPA/RAC and MESPU, 2021) za područje Boke Kotorske, pokazuju da je najveća gustina bila zabilježena za sezone proljeće i ljeto, a najmanja gustina zabilježena je za sezonu jesen. Nasuprot tome, prema dobijenim podacima ovog istraživanja najveća gustina bila je u sezoni jesen i zima.



## ZAKLJUČAK

Prema dobijenim rezultatima, srednje vrijednosti gustine plutajućeg otpada daleko su veće od predloženih graničnih i baznih vrijednosti za Jadransko more (bazna vrijenost 44-47 komada/km<sup>2</sup> i granična 5 komada/km<sup>2</sup> (UNEP/MED WG.482/23).

Ne smijemo zaboraviti da su uticaji plutajućeg otpada višestruki; zaplitanje morskih organizama, gutanje usled zamjene otpada hranom, što dovodi do uginuća različitih morskih i priobalnih vrsta, a često završi i na obalama. Pritom, plutajući otpad može dovesti do širenja invazivnih i patogenih vrsta organizama.

Međutim, negativni uticaj otpada se ne odnosi samo na morske organizme s obzirom da fragmenti plutajućeg otpada koje se unesu kao hrana, ulaze u lanaca ishrane, i na taj način utiče i na čovjeka

## LITERATURA:

- Aliani, S., Griffa, A., Molcard, A., 2003. Floating debris in the Ligurian Sea, north-western Mediterranean. *Mar. Pollut. Bull.* 46, 1142–1149.
- Andrady, A. L. (2011). Microplastics in the marine environment. *Marine pollution bulletin*, 62(8), 1596-1605
- Arcangeli, A., Campana, I., Angeletti, D., Atzori, F., Azzolin, M., Carosso, L., Di Miccoli, V., Giacoletti, A., Gregoriotti, M., Luperini, C., Paraboschi, M., Pellegrino, G., Ramazio, M., Sarà Roberto, G., Crosti, R., 2017. Amount, composition, and spatial distribution of floating macro litter along fixed trans-border transects in the Mediterranean basin. *Mar. Pollut. Bull.* 115 (1–2), 282–291. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.10.028>.
- Barnes, D.K., Milner, P., 2005. Drifting plastic and its consequences for sessile organism dispersal in the Atlantic Ocean. *Mar. Biol.* 146 (4), 815–825.
- Barnes, D.K., 2002. Biodiversity: invasions by marine life on plastic debris. *Nature* 416 (6883), 808–809.
- Barnes, D.K., Fraser, K.P., 2003. Rafting by five phyla on man-made flotsam in the Southern Ocean. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 262, 289–291.
- Biagi, E., Musella, M., Palladino, G., Angelini, V., Pari, S., Roncari, C., Scicchitano, D., Rampelli, S., Franzellitti, S., & Candela, M. (2021). Impact of Plastic Debris on the Gut Microbiota of *Caretta caretta* From Northwestern Adriatic Sea. *Frontiers in Marine Science*, 8, 127.
- Bonanno, G., & Orlando-Bonaca, M. (2018). Ten inconvenient questions about plastics in the sea. *Environmental Science & Policy*, 85, 146-154.
- Campanale, C., Suaria, G., Bagnuolo, G., Bainsi, M., Galli, M., de Rysky, E., Ballini, M., Aliani, S., Fossi, M., & Uricchio, V. (2019). Visual observations of floating macro litter around Italy (Mediterranean Sea). *Mediterranean Marine Science*, 20(2), 271-281. doi:<http://dx.doi.org/10.12681/mms.19054>
- Carlson, D.F., Suaria, G., Aliani, S., Fredj, E., Fortibuoni, T., Griffa, A., Russo, A., Melli, V., 2017. Combining litter observations with a regional ocean model to identify sources and sinks

- of floating debris in a semi-enclosed basin: the Adriatic Sea. *Front. Mar. Sci.* 4, 78. <https://doi.org/10.3389/fmars.2017.00078>.
- Carson, H.S., Lamson, M.R., Nakashima, D., Toloumu, D., Hafner, J., Maximenko, N., McDermid, K.J., 2013. Tracking the sources and sinks of local marine debris in Hawai‘i. *Mar. Environ. Res.* 84, 76–83.
- Di Renzo, L., Mascilongo, G., Berti, M., Bogdanović, T., Listeš, E., Brkljača, M., Notarstefano, V., Gioacchini, G., Giorgini, E., Olivieri, V., Silvestri, C., Matiddi, M., D’Alterio, N., Ferri, N. & Di Giacinto, F. (2021). Potential Impact of Microplastics and Additives on the Health Status of Loggerhead Turtles (*Caretta caretta*) Stranded Along the Central Adriatic Coast. *Water, Air, & Soil Pollution*, 232(3), 1-20.
- Galgani, F., Hanke, G., Werner, S., Oosterbaan, L., Nilsson, P., Fleet, D., Kinsey, S., Thompson, R.C., Van Franeker, J., Vlachogianni, T., Scoullou, M., Mira Veiga, J., Palatinus, A., Matiddi, M., Maes, T., Korpinen, S., Budziak, A., Leslie, H., Gago, J., Liebezeit, G., 2013. Guidance on Monitoring of Marine Litter in European Seas. MSFD Technical Subgroup on Marine Litter (TSG-ML).
- Galgani, F., Ruiz-Orejón, L. F., Ronchi, F., Tallec, K., Fischer, E. K., Matiddi, M., Anastasopoulou, A., Andresmaa, E., Angiolillo, M., Bakker Paiva, M., Booth, A. M., Buhhalko, N., Cadiou, B., Claró, F., Consoli, P., Darmon, G., Deudero, S., Fleet, D., Fortibuoni, T., Fossi, M.C., Gago, J., Gèrigny, O., Giorgetti, A., González-Fernández, D., Guse, N., Haseler, M., Ioakeimidis, C., Kammann, U., Kühn, S., Lacroix, C., Lips, I., Loza, A. L., Molina Jack, M. E., Norén, K., Papadoyannakis, M., Pragnel-Raasch, H., Rindorf, A., Ruiz, M., Setälä, O., Schulz, M., Schultze, M., Silvestri, C., Soederberg, L., Stoica, E., Storr-Paulsen, M., Strand, J., Valente, T., van Franeker, J., van Loon, W. M. G. M., Vighi, M., Vinci, M., Vlachogianni, T., Volckaert, A., Weiel, S., Wenneker, B., Werner, S., Zeri, C., Zorzo, P., and Hanke, G., *Guidance on the Monitoring of Marine Litter in European Seas An update to improve the harmonised monitoring of marine litter under the Marine Strategy Framework Directive*, EUR 31539 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2023, ISBN 978-92- 68-04093-5, doi:10.2760/59137, JRC133594.
- Gregory, M.R., 2009. Environmental implications of plastic debris in marine settings – entanglement, ingestion, smothering, hangers-on, hitch-hiking and alien invasions. *Philos. Trans. R. Soc. B: Biol. Sci.* 364 (1526), 2013–2025.
- Fossi, M.C., Panti, C. (2020). The Impact of Marine Litter in Marine Protected Areas (MPAs) in the Mediterranean Sea: How Can We Protect MPAs?. In: Streit-Bianchi, M., Cimadevila, M., Trettnak, W. (eds) *Mare Plasticum - The Plastic Sea*. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-38945-1\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-030-38945-1_6)
- Fossi, M. C., Vlachogianni, T., Galgani, F., Degli Innocenti, F., Zampetti, G., & Leone, G. (2020). Assessing and mitigating the harmful effects of plastic pollution: the collective multi-stakeholder driven Euro-Mediterranean response. *Ocean & Coastal Management*, 184, 105005
- Harrison, J.P., Sapp, M., Schratzberger, M., Osborn, A.M., 2011. Interactions between microorganisms and marine microplastics: a call for research. *Mar. Technol. Soc. J.* 45 (2), 12–20.
- Kiessling, T., Gutow, L., Thiel, M. (2015). Marine Litter as Habitat and Dispersal Vector. In: Bergmann, M., Gutow, L., Klages, M. (eds) *Marine Anthropogenic Litter*. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-16510-3\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-319-16510-3_6)
- Masó, M., Garcés, E., Pagès, F., Camp, J., 2003. Drifting plastic debris as a potential vector for dispersing Harmful Algal Bloom (HAB) species. *Sci. Mar.* 67 (1), 107– 111.
- Palatinus A., Kovač Viršek M., Robič U., Grego M., Bajt O., Šiljić J., Suaria G., Liubartseva S., Coppini G., Peterlin M. Marine litter in the Croatian part of the middle Adriatic Sea:

- Simultaneous assessment of floating and seabed macro and micro litter abundance and composition. *Marine Pollution Bulletin*. 2019 Feb;139:427-439. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2018.12.038. PMID: 30686446.
- Ryan, P. G. (2015). A brief history of marine litter research. In *Marine anthropogenic litter* (pp. 1-25). Springer, Cham.
- Suaria, G., Aliani, S., 2014. Floating debris in the Mediterranean Sea. *Mar. Pollut. Bull.* 86 (1–2), 494–504.
- Tutman, P., Kapiris, K., Kirinčić, M., Pallaoro, A., 2017. Floating marine litter as a raft for drifting voyages for *Planes minutus* (Crustacea: Decapoda: Grapsidae) and *Liocarcinus navigator* (Crustacea: Decapoda: Polybiidae). *Mar. Pollut. Bull.* 120, 217–221.  
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.04.063>
- UNEP/MAP-PAP/RAC-SPA/RAC and MESPU (2021). Towards an Integrated Marine Good Environmental Status (GES) Assessment for Montenegro. Assessment of the marine environment and the sustainability of the ecosystem values. Željka Čurović, Dragana Drakulović, Mirko Đurović, Carlos Guitart, Aleksandra Ivanović, Christos Ioakemidis, Darinka Joksimović, Vesna Mačić, Milica Mandić, Marina Marković, Branka Pestorić, Slavica Petović, Robert Precali, Darko Saveljić, Ivana Stojanović, Ivan Sekovski, Ana Štrbenac, Danijela Šuković, Anis Zarrouk. Eds: PAP/RAC, GEF Adriatic project. pp 110 + Annex
- UNEP/MAP, 2015. *Marine Litter Assessment in the Mediterranean*. (ISBN No: 978-92- 807-3564-2).
- Vlachogianni, T., Anastasopoulou, A., Fortibuoni, T., Ronchi, F., Zeri, C., 2017. Marine litter assessment in the Adriatic and Ionian Seas. In: IPA-Adriatic DeFishGear Project, MIO-ECSDE, HCMR and ISPRA, pp. 168 (ISBN: 978-960-6793-25-7).
- Zeri, C., Adamopoulou, A., Varezić, D.B., Fortibuoni, T., Viršek, M.K., Kržan, A., Mandić, M., Mazziotti, C., Palatinus, A., Peterlin, M., Prvan, M., 2018. Floating plastics in Adriatic waters (Mediterranean Sea): from the macro-to the micro-scale. *Mar. Pollut.Bull.* 136, 341–350.
- Zettler, E.R., Mincer, T.J., Amaral-Zettler, L.A., 2013. Life in the 'plastisphere': microbial communities on plastic marine debris. *Environ. Sci. Technol.* 47 (13), 7137–7146.

## PRILOG POZNAVANJU VREMENSKE I PROSTORNE DISTRIBUCIJE VRSTA IZ RODA *ACARTIA* (COPEPODA) U JUŽNOM JADRANU

Vera Vukanić\*, Miodrag Malović\*\*

\* *Prirodnomatemički fakultet, Univerzitet u Prištini (Kosovska Mitrovica, Lole Ribara 29, 38220 Kosovska Mitrovica, Srbija); ORCID:0000-0002-3494-5876*

\*\* *Univerzitet u Beogradu, Inovacioni centar Tehnološko-metalurškog fakulteta (Karnegijeva 4, 11120 Beograd, Srbija) ORCID:0000-0002-0691-4626*

### REZIME

U radu smo prikazali sezonska istraživanja planktonske zajednice Copepoda u Južnom Jadraniu na dve postaje za vrste iz roda *Acartia*. Podaci o horizontalnom rasprostranjenju planktona dobijeni su iz materijala koji je sezonski prikupljan u toku jedne godine u otvorenim vodama Južnog Jadrana. Zaključak je da su sezonske razlike u horizontalnoj distribuciji povezane s dinamikom hidrografskih uslova Jadranskog mora.

KLJUČNE REČI: *Acartia* Copepoda, južni Jadran, zooplankton

## CONTRIBUTION TO THE KNOWLEDGE OF THE TEMPORAL AND SPATIAL DISTRIBUTION OF SPECIES FROM THE GENUS *ACARTIA* (COPEPODA) IN THE SOUTHERN ADRIATIC

### ABSTRACT

In this contribution, we present seasonal research on the plankton community of Copepoda in the Southern Adriatic at two stations for species from the genus *Acartia*. Data on the horizontal distribution of plankton were obtained from material collected seasonally over one year in the open waters of the South Adriatic. The conclusion is that seasonal variations in horizontal distribution are linked to the dynamics of the hydrographic conditions of the South Adriatic Sea.

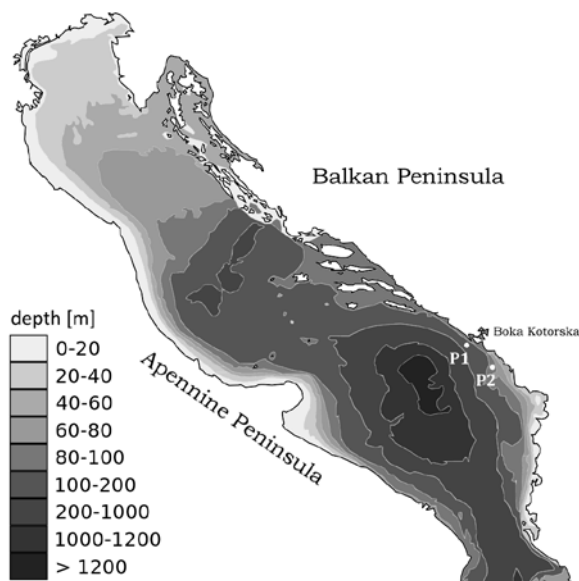
KEY WORDS: *Acartia* Copepoda, South Adriatic, zooplankton

## UVOD

Jadran je poluotvoreno more u istočnom Sredozemnom basenu (Slika 1). Geografski se nalazi između 40. i 46. sjeverne paralele. U svom sjevernom dijelu je obična sredozemna voda gotovo u cijelini, dok u južnom dijelu Jadran komunicira s vodama istočnog Sredozemlja preko Otrantskog moreuza (širine 70 km). Južnojadranski basen je polukružna jama (maks. dubine 1330 m in: Lepetić, 1965) omeđena Palagruškim pragom (150 m) na sjeveru i Otrantskim tjesnacem (dubina praga 800 m) na jugu. Relativno duboku vodu južnog Jadrana karakteriše niska gustina i velika raznovrsnost planktonskih vrsta. Vremenske promjene u horizontalnoj distribuciji populacija vrsta zavise od njihovih sezonskih ciklusa, brojnosti i trenutnog režimu u Jadranskom moru. Ova studija donosi nove podatke za vode južnog Jadrana, s posebnim osvrtom na horizontalnu distribuciju faune Copepoda iz roda *Acartia* i ulogu ekoloških parametara u njihovim sezonskim ciklusima.

## MATERIJAL I METODE

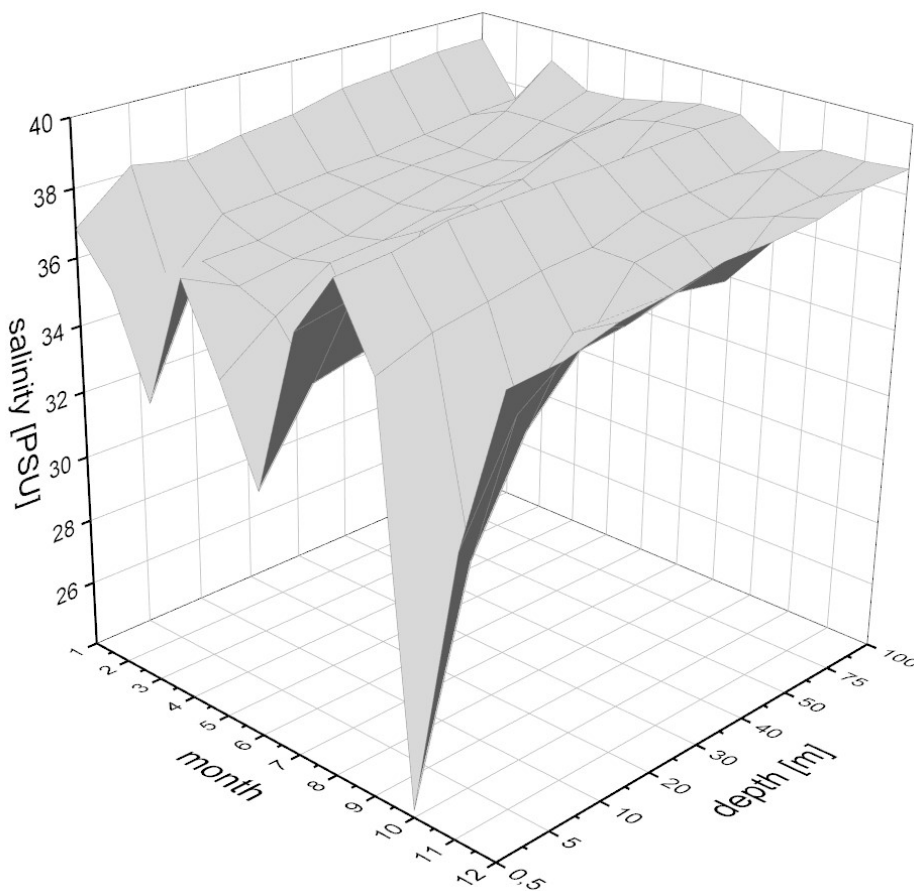
Istraživanja su vršena na 2 postaje u Južnom Jadranu, na dubinama 100m i 200m. Zooplankton je lovljen Nansenovom mrežom dijametara 57cm i dužine 2,5 metra. Otvor okaca mreže za vertikalne lovine zooplanktona od dna do površine mora iznosio je 150 $\mu$ m. Hidrografski parametri su mereni sondom Multiline P4 na lokalitetu P1 i P2. Metodika je detaljno data u Vukanić, V. *et al.* (2018).



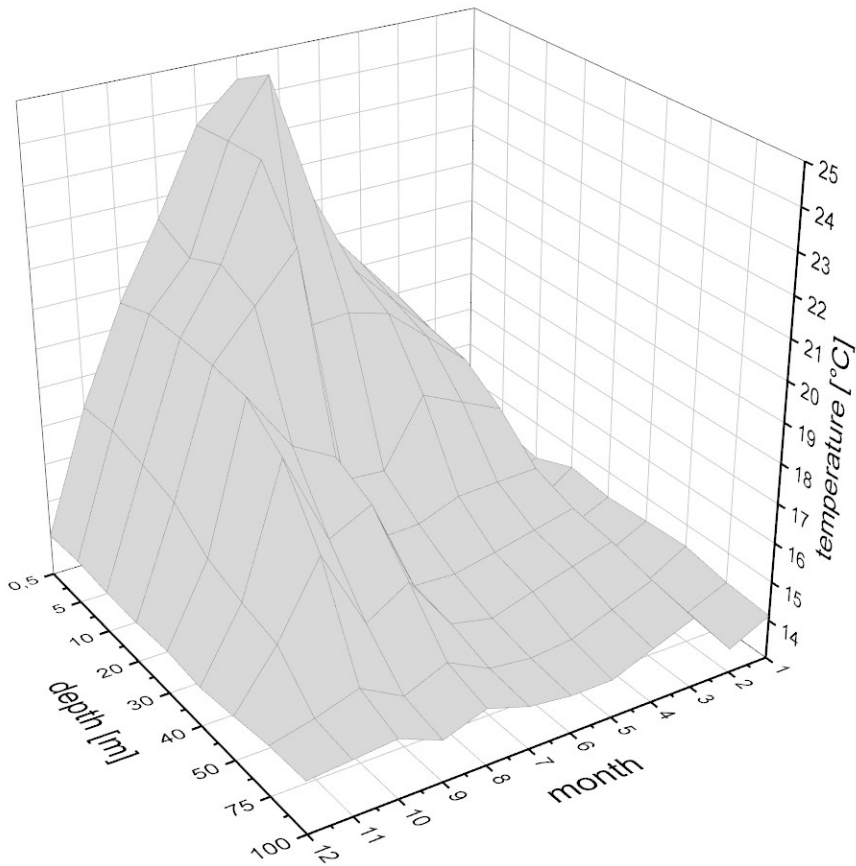
Sl.1. Karta istraživanog područja u Južnom Jadranu  
Fig.1. Map of the researched area in the South Adriatic Sea

## REZULTATI I DISKUSIJA

Oscilacije temperature su bile jasno izražene. Minimalna srednja temperatura od 13,20°C je zabeležena u februaru na dubini od 100m, a maksimalna srednja temperatura od 26,20°C u avgustu. Salinitet varira u površinskom sloju mora od 22,80psu u septembru do 38.57psu u maju. Maksimum saliniteta je iznosio 39,00psu na 50-100m u junu, a minimum od 22,80psu je zabeležen u septembru na površini mora.



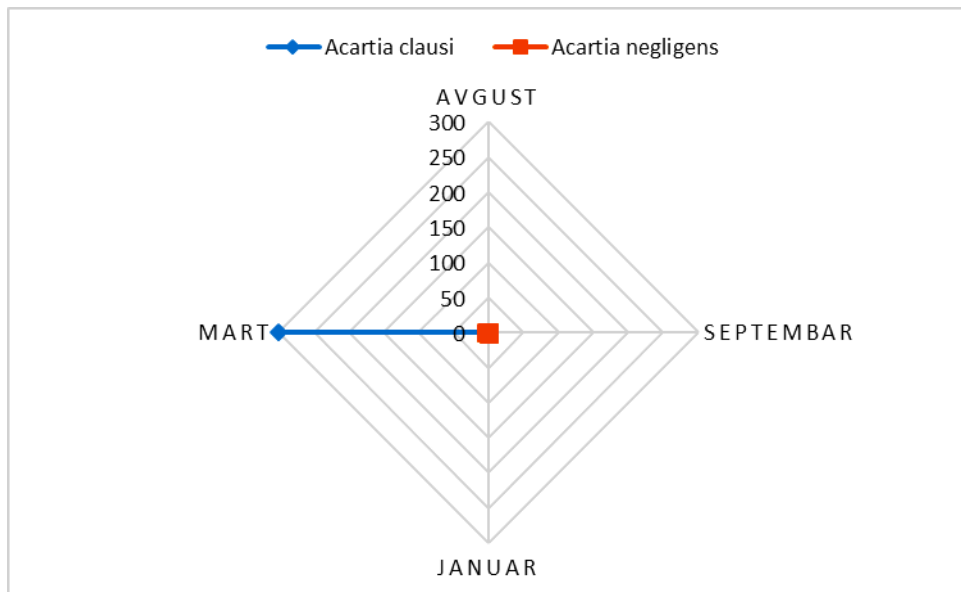
Sl.2. Oscilacije saliniteta u Južnom Jadranu tokom 2020.g.  
Fig.2. Salinity oscillations in the South Adriatic Sea during 2020.



Sl.3. Oscilacije temperature u Južnom Jadranu tokom 2020.  
 Fig.3. Temperature oscillations in the South Adriatic Sea during 2020.

Gustina cjelokupnog zooplanktona od površine do dna pokazuje u vodama južnog, otvorenog Jadrana dva izrazita godišnja maksimuma: jedan veći i duži početkom proleća i drugi daleko manji i kraći sredinom ljeta (Hure, 1955; Vukanić, 1975). Na istraživanim postajama zabilježeno je u zooplanktonu 79,67% i 87,33% kopepoda. *Acartia clausi* je vrsta morskog kopepoda iz porodice Acartiidae. Ranije se smatralo da je rasprostranjen širom svijeta, ali nedavna istraživanja ograničila su njen areal na obalna područja sjeveroistočnog Atlantskog oceana, uključujući područja sve do Islanda, Sredozemnog mora i Crnog mora (Bradford, 1976). U Sjevernom Jadranu moru nalazi pokazuju da se abundancija *Acartia clausi* značajno povećala tokom dva velika cvjetanja dijatomeja u kasnu zimu 1997 i 1998 u poređenju nakon cvatnje u rano ljeto 1997. *A. clausi* bio je najobilniji kopepod uzorkovan u junu čineći 47,7% ukupnog broja kopepoda. Nasuprot tome, niske abundancije zabilježene su u februaru 1997. (1,6%) i 1998. (1,8%). Najdramatičnije razlike između uslova cvatnje i stanja nakon cvatnje bile su u pogledu

održivosti jaja, sa srednjim vrijednostima od 15,4% i 16,1% u februaru 1997. i 1998, nasuprot 89,1% u junu. Broj fekalnih čestica za ženke bio je najveći zimi, što ukazuje na aktivno hranjenje dijatomejama. Broj nauplijus larvi bio su iznimno visok u junu (790,2 nauplija  $m^{-3} dan^{-1}$ ) u poređenju s februarom 1997. (2,8 nauplija  $m^{-3} dan^{-1}$ ) i 1998. (15,6 nauplija  $m^{-3} dan^{-1}$ ). Sve to ukazuje da *Acartia clausi* ima ključnu ulogu u morskom ekosistemu, a na dinamiku njene populacije značajno utiče cvjetanje dijatomeja u sjevernom Jadranu. Ovi kopepodi dinamički reaguju na promjene u dostupnosti hrane i uslovima u staništu, utičući na njihov reprodukciju i stopu rasta (Miralto *et al.* 2003).



Sl.4. *Acartia clausi* i *Acartia negligens* sezonska fluktuacija abundance u Južnom Jadranu  
Fig.4. *Acartia clausi* and *Acartia negligens* seasonal fluctuations abundance in the South Adriatic Sea

Vrste roda *Acartia* su zastupljene u veoma malom broju u otvorenim vodama Južnog Jadrana. Registrovali smo dvije vrste *Acartia clausi* i *Acartia negligens*. Postaje u Bokotorskom zalivu karakteriše vrlo visoka brojnost kopepoda sa relativno velikim brojem dominantnih vrsta u koje spada i *Acartia clausi*. Situacija na otvorenom moru je drugačija. *Acartia clausi* je zabilježena na postaji P1 u martu, 300 primeraka. Njeno procentualno godišnje učešće u ukupnim kopepodama je bilo 0.0017%.

*Acartia negligens* je registrovana na postajama P1 i P2 samo u pojedinačnim primercima u prolećnoj sezoni.



## ZAKLJUČAK

Na osnovu ovih sezonskih istraživanja možemo da zaključimo da se otvorenim dubokim vodama Južnog Jadrana vrste roda *Acartia* pojavljuju u malom broju ili u pojedinačnim primercima tokom hladnijeg perioda godine.

### Zahvalnica

Ovo istraživanje je delimično podržano od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije (ugovor 451-03-66/2024-03/200287).

### LITERATURA:

- Bradford, J., 1976. Partial Revision of the *Acartia* Subgenus (Copepoda: Calanoida: Acartidae). *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*. 10(1):159-202.
- Hure, J., 1955. Sezonski ritam vertikalnog rasprostranjenja zooplanktona u dubljim vodama Južnog Jadrana. *Acta Adriatica*, Vol.XI.(22)167.172.
- Lepetić, V., 1965. Sastav i sezonska dinamika ihtiobentosa i jestivih avvertebrata u Bokokotorskom zalivu i mogućnosti njihove eksploatacije. *Studia Marina*, 1, 1–100. (In Serbian)
- Miralto, A., L.Gugliermo, G.Zagami, I.Buttino, A.Granata, A.Ianora, 2003. Inhibition of population growth in the copepods *Acartia clausi* and *Calanus helgolandicus* during diatom blooms. *Marine Ecology Progress Series*. Vol.254:253-268.
- Vukanić, D., 1975: Prilog poznavanju zooplanktona obalnih voda južnog Jadrana. *Ekologija / Acta Biologica Iugoslavica* 10 (1975) 1:79–106
- Vukanić V, Vukanić D, Filipović M, Glišović N, Sezgin M, 2018: Spatial and temporal distribution of Temoridae species in coastal waters of the Southeast Adriatic (NE Mediterranean), *Cahiers de Biologie Marine* 59 (2018) 3:205–215, doi: [10.21411/CBM.A.A9061453](https://doi.org/10.21411/CBM.A.A9061453)

## AQUATIC INVERTEBRATES AS KEY TOOL IN DEVELOPING METHODOLOGY AND IDENTIFICATION OF PRIORITY BARRIERS FOR REMOVAL

Valentina Slavevska-Stamenković\*, Jelena Hinić-Jordanovska\*, Maja Raković\*\*, Momir Paunović\*\*

\* *Institut za biologiju, Prirodno-matematički fakultet, Univerzitet Sv. Kiril i Metodij - Skopje, Arhimedova 3, 1000 Skopje, N. Macedonia, vale@pmf.ukim.mk; ORCID: 0000-0001-9031-5249; jelena.hinic@pmf.ukim.mk; ORCID: 0000-0002-6194-6145*

\*\**Odeljenje za hidroekologiju i zaštitu voda, Institut za biološka istraživanja "Siniša Stanković" Institut od nacionalnog značaja za Republiku Srbiju, Bulevar despota Stefana 142, Beograd, Srbija, rakovic.maja@ibiss.bg.ac.rs; 0000-0001-6899-6113; mpaunovi@ibiss.bg.ac.rs; 0000-0002-6432-1191*

### ABSTRACT

The aim of the study is to assess the effects of six weirs towards the macroinvertebrates and to establish methodology for selection of priority weirs for removal. Macroinvertebrates were collected from 12 sampling sites on the rivers Kriva Reka (2), Pcinja (8) and Kumanovska Reka (2) upstream and downstream of selected weirs. The degree of similarity of the macroinvertebrates above and below the weirs was used as ecological criteria to participate in determining which weirs could be subject to removal or could remain unchanged. Results showed that only weir below the city of Kriva Palanka could be subject to removal. KEY WORDS: macroinvertebrates, weirs, rivers, Index of similarity, R. North Macedonia

## VODENI BESKIČMENJACI KAO KLJUČNI ELEMENT U RAZVOJU METODOLOGIJE I IDENTIFIKACIJI PRIORITETNIH KASKADA ZA UKLANJANJE

### REZIME

Cilj ove studije je da se proceni uticaj šest kaskada na makrobekičmenjake i utvrdi metodologija za izbor prioriternih kaskada za uklanjanje. Makrobekičmenjaci su prikupljeni sa 12 lokacija za uzorkovanje na rekama Kriva Reka (2), Pčinja (8) i Kumanovska Reka (2) uzvodno i nizvodno od odabranih kaskada. Stepenn sličnosti makrobekičmenjaka iznad i ispod kaskada je korišćen kao jedan od ekološki kriterijuma u određivanju koje kaskade mogu biti predmet uklanjanja, a koje mogu ostati nepromenjene. Rezultati su pokazali da samo kaskada ispod grada Krive Palanke može biti uklonjena.

KLJUČNE REČI: makrobekičmenjaci, kaskade, reke, Indeks sličnosti, R. Severna Makedonija

## INTRODUCTION

Of all the environmental changes caused by river barriers, the disturbance of natural water flows is typically the most damaging (Deinet *et al.*, 2020). Barriers can also alter sediment transport (Bushaw-Newton *et al.*, 2002) and have a hugely negative impact on ecosystems and their processes (Petts, 1979). Additionally, barriers often create conditions favorable to the establishment and expansion of non-native, invasive species (Clavero *et al.*, 2004) in the channel and adjacent riparian structures (Clavero *et al.*, 2004). A number of studies (*e.g.*, Petts, 1979) have described how barriers impact stream processes and/or forms. To our knowledge, there aren't any studies in R. North Macedonia that comprehensively assesses the effects of weirs towards the aquatic invertebrate communities.

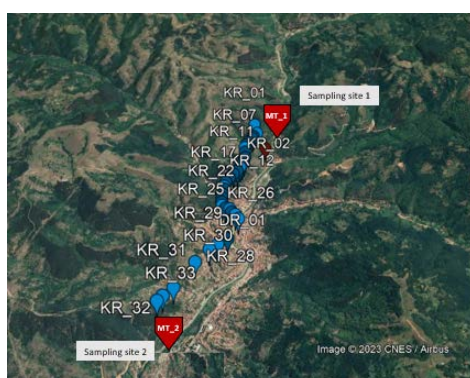
In this paper aquatic invertebrates (macroinvertebrates) are selected as target group for research. Macroinvertebrates are less mobile than most other groups of aquatic organisms, they are easily collected, and most have relatively long periods of development in the aquatic environment. Thus, macroinvertebrate species should reflect deleterious events that have occurred in the aquatic environment during any stage of their development and therefore are often used as biological indicators (Slavevska-Stamenković *et al.*, 2011).

This study aims to assess the effects of six weirs towards the macroinvertebrates and to establish methodology for selection of priority weirs for removal.

## METHODOLOGY

### Studied area

During the two fieldtrips on 6<sup>th</sup> and 7<sup>th</sup> of July 2023, macroinvertebrate sampling was conducted on 12 previously selected sampling sites on the rivers Kriva Reka (2 sampling sites), Pcinja (8 sampling sites) and Kumanovska Reka (2 sampling sites) upstream and downstream of selected weirs (Figure 1). More detailed information about weirs and sampling sites is given in Table 1.



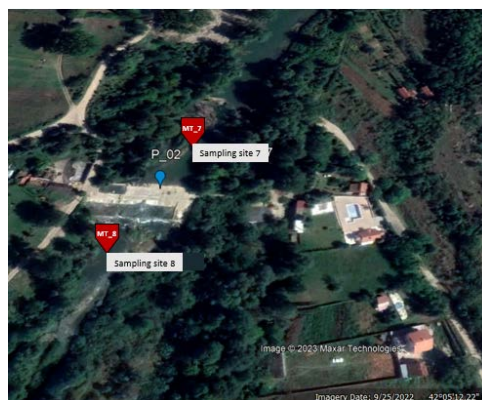
Cascade weirs KR\_01 - KR\_33 on Kriva River in the area of Kriva Palanka and the sampling sites.



P\_01 on Pcinja river near Village Dragomanci and the sampling sites.



Cascade weirs KU\_01 - KU\_03 on Kumanovska Reka river in Kumanovo and the sampling sites.



P\_02 on Pcinja river near Suplji Kamen and the sampling sites.



P\_03 on Pcinja river in Village Pcinja and the sampling sites.



P\_04 on Pcinja river in Village Donlo Konjare and the sampling sites.

Figure 1. Maps of the sampling sites.

### Field and laboratory work

Macroinvertebrate samples from different microhabitats on each sampling site were obtained using Kick sampling method, a technique in which submerged aquatic vegetation, stones and other hard substrates are disturbed to encourage organisms to fall in the 500  $\mu\text{m}$  mesh net (Figure 2 a, b). All biological material collected during the fieldtrips was preserved in plastic sample containers using 96% ethanol and transferred to the Laboratory of Invertebrates in the Institute of Biology at the Faculty of Natural Sciences and Mathematics in Skopje.

Further processing of the material included sorting of macroinvertebrates into groups for additional identification, preserving, preparation of microscope slides (for aquatic worms Oligochaeta), as well as, adequate handling, labelling, and documentation of the sorted material. Sorting and identification of benthic macroinvertebrates in laboratory was done following the standard EN ISO 10870: 2012 (Figure 2 c).

Table 1. Information about sampling sites.

Code and location of weir	Code of sampling site	Location of sampling site	Watercourse	Date
KR_01 Above city of Kriva Palanka	MT_1	Upstream of weir KR_01	Kriva Reka	06.07.2023
KR_33 Below the city of Kriva Palanka	MT_2	Downstream of weir KR_33	Kriva Reka	06.07.2023
Cascade weirs P_01	MT_3	Upstream of weir P_01	Pcinja	06.07.2023
Village Dragomanci	MT_4	Downstream of weir P_01	Pcinja	06.07.2023
KU_01	MT_5	Downstream of weir KU_01 /	Kumanovska Reka	06.07.2023
KU_02		Upstream of weir KU_02		
KU_03				
Cascade weirs in Kumanovo	MT_6	Downstream of weir KU_03	Kumanovska Reka	06.07.2023
P_02	MT_7	Upstream of weir P_02	Pcinja	07.07.2023
Suplji Kamen	MT_8	Downstream of weir P_02	Pcinja	07.07.2023
P_03	MT_9	Upstream of weir P_03	Pcinja	07.07.2023
Village Pcinja	MT_10	Downstream of weir P_03	Pcinja	07.07.2023
P_04	MT_11	Upstream of weir P_04	Pcinja	07.07.2023
Village Donlo Konjare	MT_12	Downstream of weir P_04	Pcinja	07.07.2023



Figure 2. Field and laboratory work: a), b) Kick sampling method; c) Extraction of different systematic macroinvertebrate groups and sorting them into Petri dishes.

Macroinvertebrates prepared for taxonomic identification were identified using Nikon SMZ750 stereomicroscope following appropriate taxonomic keys (Aubert, 1959; Hynes, 1977; Edington & Hidrew, 1981; Elliott et al., 1988; Waringer & Graf, 1997; Wallace et al., 2003; Zwick 2004; Waringer & Graf, 2013; Glöer, 2015) to the lowest possible taxonomic level (mostly species level). After identification, list of detected taxa was produced and the species richness was determined as number of taxa at the sampling localities (Table 4).



The degree of similarity of macroinvertebrate communities, upstream and downstream of selected weirs was used as ecological criteria to participate in determining which weirs could be subject to removal or could remain unchanged. The degree of similarity of the macroinvertebrate communities above and below the weir is expressed as percentage (%) by applying the Index of similarity – S (according to formula by Marczewski and Steinhaus, 1959) as:

$$S = \frac{W}{a + b - W} 100$$

where a is the number of species above the cascade, b number of species detected below the weir, and W is the number of species common in both macroinvertebrate communities (above and under the same weir).

Table 2. Class boundary of index of similarity – S, classification of similarity, classification of effects.

Degree of similarity - S (%)	Classification of similarity	Classification of effects	Score of effects
81-100	Very high similarity	No effect	1
61-80	High similarity	Low effect	2
41-60	Moderate similarity	Moderate effect	3
21-40	Low similarity	High effect	4
0-20	Very low similarity	Very high effect	5

Concerning ecological criteria, class boundary of index of similarity along with classification (five classes) of similarity is used to developed classification (five classes) of effects of the weirs. For each class of effect, separate score (1 to 5) is given (Table 2). After calculating the scores for class of effect for each weir, classification (two classes) of weirs priority for removal was developed based on expert judgement. Ranking of the score of effects in the frame of interval from 1 to 3 gets classification of the weir not priority for removal, while score of effects from 4 to 5 gets classification of the weir priority for removal (Table 3).

Table 3. Ranking of the score of effects and classification of weirs priority for removal.

Score of effects	Interval	Classification of priority for removal
1	1-3	No
2		
3		
4	4-5	Yes
5		

## RESULTS AND DISCUSSION

The results obtained from the data analysis within the macroinvertebrate survey are presented and discussed for each sampling locality.

## MACROINVERTEBRATE SURVEY CONDUCTED ON KRIVA REKA RIVER

### Sampling site MT\_1, upstream of the weir KR\_01

The sampling locality MT\_1 is located above the city Kriva Palanka, upstream of the weir KR\_01, the first weir of the cascade weirs on Kriva Reka river. During the macroinvertebrate survey conducted in July 2023 the presence of 13 macroinvertebrates, mainly cosmopolitan taxa were recorded (Table 4). The results have shown that this locality is inhabited with three major groups of aquatic invertebrates: 1) aquatic snails (Gastropoda), crustaceans (Amphipoda) and aquatic insects including mayflies (Ephemeroptera), caddisflies (Trichoptera), dipterans (Diptera) and beetles (Coleoptera). Among the aquatic insects (11 taxa) mayflies and aquatic dipterans were the most diverse groups with 5 and 4 identified taxa, respectively (Table 4). The absence of the stoneflies (Plecoptera) and the notation of only one specimen of the cold stenothermic aquatic beetle *Elmis aenea* (Coleoptera) and *Ancylus fluviatilis* (Gastropoda) indicates towards negative influence derived from anthropogenic activities above and around this sampling site, such as the noted bridge restoration, construction of the intake of the small hydro powerplant and the sand extraction.

### Sampling site MT\_2, downstream of the weir KR\_33

The sampling locality MT\_2 is located below the city Kriva Palanka, downstream of the KR\_33, the last weir of the cascade weirs on Kriva Reka river. This makes the sampling locality MT\_2 really distant from MT\_1 and was selected for survey in order to determine possible impact of the cascade weirs towards the macroinvertebrate community. In the macroinvertebrate community 18 taxa occurred, mainly aquatic insects (Table 4). Similar to MT\_1, mayflies (Ephemeroptera) were the most numerous and diverse group of aquatic insects with 5 identified taxa. Quantitative contribution of other aquatic invertebrates was significantly lower. The notation of the sensitive *Perla bipunctata* means that this part of Kriva Reka river is inhabited by stoneflies (Plecoptera), although only one specimen was collected. The indicators of organically-rich sediment such as the caddisfly *Hydroptila sparsa* (Trichoptera) and the aquatic worm *Limnodrilus hoffmeisteri* (Oligochaeta) also occurred in the macroinvertebrate community at MT\_2 (Table 4). Although not present at MT\_1, their presence is not strange on MT\_2, as Kriva Reka river has passed through the city of Kriva Palanka and received organic pollution from the communal wastewater.

According the classification given in Table 2 and the results presented in Table 4, there is a moderate similarity (39,9%) of the macroinvertebrate communities above the weir KR\_01 and below the weir KR\_33 (MT\_1 and MT\_2). Bearing in mind that both sampling sites (MT\_1 and MT\_2) are exposed to different pressures each, the moderate similarity may not necessarily mean that the cascade weirs have caused changes in the benthic community. Knowing also the big distance between them, it is most likely to be a result of a cumulative impact of more pressures.

## MACROINVERTEBRATE SURVEY CONDUCTED ON KUMANOVSKA REKA RIVER

Sampling site MT\_5, downstream of the weir KU\_01 / upstream of the weir KU\_02

The sampling locality MT\_5 is located downstream of weir KU\_01, or more precisely upstream of weir KU\_02 in the city Kumanovo. The analysis of the macroinvertebrates collected on this sampling site showed that the benthic community is characterised by the low number (6) of macroinvertebrate taxa (Table 4).

The sensitive stonefly and caddisfly species (Plecoptera and Trichoptera) are completely lacking. Concerning the mayflies (Ephemeroptera), the laboratory analysis showed that this sampling locality is inhabited only by the eurivalent species *Baetis rhodani* (Table 4) which has wide range of tolerance for ecological factors. The dense population of the phytophilous amphipod *Gammarus balcanicus* (Crustacea) is directly correlated with the intensive growth of the filamentous green algae and macrophyte vegetation. In the benthic community the indicators of organically-rich sediment like Chironomini larvae (Chironomidae), *Tubifex tubifex* (Oligochaeta) and *Erpobdella octoculata* (Hirudinea) occur, which points out the high organic pollution as well as the poor or bad ecological status on the Kumanovska Reka river on the sampling site MT\_5, downstream of weir KU\_01 (upstream of the weir KU\_02).

Sampling site MT\_6, downstream of the weir KU\_03

The sampling locality MT\_6 is located downstream of weir KU\_03 in the city Kumanovo. As presented in Table 4 it is evident that the macroinvertebrate community on this sampling sites shows high similarity with the one at sampling site MT\_5 (66,7%). The species diversity remains low as only 9 taxa were registered. Among EPT taxa (Ephemeroptera, Plecoptera and Trichoptera) only the mayfly *Baetis rhodani* occurs (Table 4). From a quantitative point of view, the dense population of the phytophilous amphipod *Gammarus balcanicus* (Crustacea) is still evident at this sector of the river and due to the intensive growth of the filamentous green algae and macrophyte vegetation. In the benthic community the tolerant indicators like Chironomini larvae (Chironomidae), *Tubifex tubifex* (Oligochaeta), *Glossiphonia complanata* and *Erpobdella octoculata* (Hirudinea) occur, suggesting high organic pollution as well poor or bad ecological status of Kumanovska Reka river downstream of weir KU\_03.

Both sampling sites (MT\_5 and MT\_6) are exposed to similar pressures (organic pollution) and therefore, their benthic communities are characterised by high similarity (Table 4). If the cascade weirs had additional negative impact towards MT\_6, we suppose that the benthic community on the two sampling sites would be less similar.

## MACROINVERTEBRATE SURVEY CONDUCTED ON PCINJA RIVER

Sampling site MT\_3, upstream of the weir P\_01

The sampling locality MT\_3 is located upstream of the weir P\_01 in the village Dragomanci. The macroinvertebrate analysis showed relatively high number of taxa (19). The benthic



community is characterised with aquatic worms (Oligochaeta), decapods (Crustacea) and aquatic insects including mayflies (Ephemeroptera), stoneflies (Plecoptera), caddisflies (Trichoptera), dragonflies (Odonata), true flies (Diptera) and aquatic beetles (Coleoptera) (Table 4). Among the aquatic insects (16 taxa), mayflies and caddisflies were the most diverse groups with 5 and 4 identified taxa, respectively. Smaller diversity was registered in other groups as shown in Table 4. Significant member of the macroinvertebrate community is the mayfly *Oligoneuriella rhenana* which is typical inhabitant of the hyporithron sector and epipotamon sector of the watercourses in R. North Macedonia. This species is very sensitive to heavy pollution and hydro morphological alterations.

During the survey, one specimen of the noble crayfish (*Astacus astacus*) was detected at the sampling site MT\_3 on Pcinja river. The IUCN Red List of Threatened Species classifies the noble crayfish as a vulnerable species (VU) with a decreasing population trend. The noble crayfish is further included in the Bern Convention (Appendix III) and listed in the EU Habitat Directive 92/43/EEC (Appendix V) (Slavevska-Stamenković *et al.*, 2016).

#### Sampling site MT\_4, downstream of the weir P\_01

The sampling locality MT\_4 is located downstream of the weir P\_01 in the village Dragomanci. As the previous sampling site (MT\_3), the benthic community at MT\_4 is characterised by both sensitive and tolerant macroinvertebrate taxa (Table 4). The diversity of EPT groups (Ephemeroptera, Plecoptera and Trichoptera) is high and almost the same as on the Pcinja River upstream of the weir P\_01. The noble crayfish (Crustacea), aquatic beetles (Coleoptera) and dragonflies (Odonata) are the only groups that weren't recorded at MT\_4 sampling locality (Table 4). The benthic communities on the sampling localities upstream and downstream of P\_01 have high similarity (73,7%) as shown in Table 4. The similarity would probably be even higher if the marginal vegetation wasn't altered at MT\_4. Alteration of the habitats can strongly modify the emergence behaviour of the dragonflies. Changes in vegetation may affect the number of individuals of the next generation and ultimately the survival of the population, so the absence of *Onychogomphus forcipatus* downstream of P\_01 is probably a result of the lack of proper habitat and not due to other pressures. The situation is similar with the aquatic beetle *Platambus maculatus* which also wasn't recorded in the sample collected at MT\_4.

#### Sampling site MT\_7, upstream of the weir P\_02

The sampling locality MT\_7 is located upstream of the weir P\_02 on the lowland river reach of Pcinja river, near the locality Suplji Kamen. The results presented in Table 4 show that the sampling site MT\_7 is inhabited by 12 taxa such as aquatic worms (*Tubifex tubifex*) and leeches (*Glossiphonia complanata* and *Erpobdella octoculata*), crustaceans (*Gammarus balcanicus*, *Asellus aquaticus*, *Astacus astacus*), mayflies (*Serratella ignita*, *Caenis macrura* and *Baetis rhodani*), true flies (Chironomini and *Simulium* sp.) and damselflies (*Calopteryx splendens*). Scarce population of tolerant aquatic worms, leeches and isopod crustaceans was recorded, indicating signs of organic loading at Pcinja river on sampling site MT\_7. The absence of the sensitive stoneflies is probably a result of organic loading but also of the change of the watercourse type of Pcinja river, since stoneflies assemblage consists mostly

of representatives typical for higher altitudes. However, the observed changes in the community may be a result of the both circumstances. Although the mayflies (Ephemeroptera) were shown to be quantitatively dominant group at this sampling site it is evident that they are present with lower number of taxa (3) than in river Pcinja near v. Dragomanci (Table 4). This is really notable when it comes to the mayfly *Oligoneuriella rhenana* which was detected in the previous sampling sites on Pcinja river (MT\_3 and MT\_4) as well as on this sampling site during previous research (Slavevska Stamenković *et al.*, 2011). It's the same concerning the caddisflies (Trichoptera) which presence weren't recorded in the current study, but was years ago (Slavevska Stamenković *et al.*, 2011). Some limitations to the survey during field work could explain this situation. Namely, the limited access in the riverbed at the sampling locality MT\_7 compromised the sampling methodology and made the sampling from different microhabitats impossible. So, the absence of the mentioned aquatic insects may be a result of insufficient sampling. During the survey, one specimen of the noble crayfish (*Astacus astacus*) was detected at the sampling site MT\_7 on the Pcinja river. The IUCN Red List of Threatened Species classifies the noble crayfish as a vulnerable species (VU) with a decreasing population trend. The noble crayfish is further included in the Bern Convention (Appendix III) and listed in the EU Habitat Directive 92/43/EEC (Appendix V) (Slavevska-Stamenković *et al.*, 2016).

#### Sampling site MT\_8, downstream of the weir P\_02

The sampling locality MT\_8 is located downstream of the weir P\_02 on the lowland river reach of Pcinja river, near the locality Suplji Kamen. According to the results presented in Table 4, the macroinvertebrate community at this sampling locality shows high similarity (64,3%) with the previous one (MT\_7). The mayflies (Ephemeroptera) are still qualitatively and quantitatively dominant group and the mayfly *Oligoneuriella rhenana* is still lacking. Stoneflies are still absent and few tolerant species are present (*Tubifex tubifex*, *Glossiphonia complanata* and *Erpobdella octoculata*). The limitation mentioned on the sampling site upstream of weir P\_02 also occurred at the sampling locality MT\_08, so the similarity between the macroinvertebrate communities is probably even higher.

#### Sampling site MT\_9, upstream of the weir P\_03

The sampling site MT\_9 is located upstream of the weir P\_03 on the lowland river reach of Pcinja river in village Pcinja. The macroinvertebrate survey showed presence of total number of 15 taxa mainly typical for lowland river reaches (Table 4). The benthic community is inhabited by 5 major groups of aquatic invertebrates: sphaerid mussels (Bivalvia), aquatic worms (Oligochaeta), leeches (Hirudinea), crustaceans (Amphipoda and Isopoda) and aquatic insects including 3 species of mayflies, 2 of dipterans, while caddisflies, true bugs and damselflies were present with one species each (Table 4). The presence of sphaerids (Sphaeriidae) and the absence of the mayfly *Oligoneuriella rhenana* (prefers harder substrates) is a result of a limited sampling due to high water level, mainly from softer sediment near the riverbank. Same as at the benthic community in river Pcinja near Suplji Kamen, presence of tolerant aquatic worms, leeches and isopod crustaceans was recorded

along with the absence of the sensitive stoneflies indicating signs of organic loading at Pcinja river upstream of the weir P\_03.

Sampling site MT\_10, downstream of the weir P\_03

The sampling site MT\_10 is located upstream of the weir P\_03 on the lowland river reach of Pcinja river in village Pcinja. The laboratory analysis of the collected samples showed presence of 15 taxa belonging to the following groups: flat worms (Turbellaria), aquatic worms (Oligochaeta), leeches (Hirudinea), crustaceans (Amphipoda and Isopoda) and aquatic insects (Ephemeroptera, Trichoptera, Diptera and Heteroptera) (Table 4). Although mayflies (Ephemeroptera) are numerous, the indicators of organically-rich sediment like isopods, aquatic worms and leeches quantitatively dominate in the benthic community in comparison to the sector of Pcinja near Suplji Kamen. The results confirm the deterioration of the ecological status (moderate towards poor) of Pcinja river in village Pcinja after the confluence of significantly polluted Kumanovska Reka river. The better accessibility of the terrain enabled macroinvertebrate collection from different microhabitats, such as stones and gravel which resulted in the notation of the flat worm *Dendrocoelum lacteum*, the leech *Piscicola geometra* and the mayfly *Oligoneuriella rhenana*. All of this resulted with some differences between the macroinvertebrate communities on MT\_9 and MT\_10 and brought the similarity to 66,7% (Table 4) which is probably even higher.

Sampling site MT\_11 upstream of the weir P\_04

The sampling site MT\_11 is located upstream of the weir P\_04 on the lowland river reach of Pcinja river in village Dolno Konjari. A total number of 17 macroinvertebrate taxa were present at this part of Pcinja river among which the highest diversity was noted in the mayflies and true flies (4 species each) (Table 4). The other aquatic invertebrate groups (Gastropoda, Oligochaeta, Hirudinea, Amphipoda, Isopoda, Trichoptera and Odonata) are less diverse and presented by only one or two species. Compared to the sector of Pcinja river near village Pcinja, tolerant species are still present in the community, but are less numerous than mayflies, caddisflies and amphipods, indicating slight improvement of the water quality or moderate ecological status. The fact that the sensitive mayfly *Potamanthus luteus* occurred in the community also confirms this statement.

Sampling site MT\_12 downstream of the weir P\_04

The sampling site MT\_12 is located downstream of the weir P\_04 on the lowland river reach of Pcinja river in village Dolno Konjari. In the macroinvertebrate community, mayflies, caddisflies and amphipods dominated, while tolerant species (*Limnodrilus hoffmeisteri*, *Tubifex tubifex*, *Erpobdella octoculata*, *Asellus aquaticus* and larvae of Chironomini) are less numerous. Significant member of the macroinvertebrate community is the mayfly *Oligoneuriella rhenana* which is very sensitive to heavy pollution and hydro morphological alterations. The data analysis showed high similarity of 63,2% between the macroinvertebrate communities on MT\_11 and MT\_12 (Table 4). Namely, 12 common taxa inhabit the bottom of the Pcinja upstream and downstream of the weir P\_04 (Table 4). Bearing in mind that

some species were present with only one or two specimens upstream (*Radix auricularia*, *Piscicola geometra*, *Platynemis pennipes*, *Potamanthus luteus*) and downstream (*Oligoneuriella rhenana*) of the weir P\_04 it is possible that the diversity is higher on the both side of the weir and similarity is even higher.

Table 4. List of detected macroinvertebrate taxa

Taxa	MT_1	MT_2	MT_3	MT_4	MT_5	MT_6	MT_7	MT_8	MT_9	MT_1	MT_1	MT_1
	above KR_01	under KR_33	above P_01	under P_01	above KUM_0 2	under KUM_0 3	above P_02	under P_02	above P_03	under P_03	above P_04	under P_04
<b>Turbellaria</b>												
<i>Dendrocoelum lacteum</i> (Muller, 1774)											+	
<b>Gastropoda</b>												
<i>Planorbis (Planorbis)</i> <i>planorbis</i> (Linnaeus, 1758)		+				+						
<i>Radix auricularia</i> (Linnaeus, 1758)												+
<i>Ancylus fluviatilis</i> O.F. Muller, 1774	+	+										
<b>Bivalvia</b>												
<i>Sphaeriidae</i>										+		
<b>Oligochaeta</b>												
<i>Limnodrilus</i> <i>hoffmeisteri</i> Claparede, 1862		+	+	+						+	+	+
<i>Enchytraeus albidus</i> Henle, 1837			+	+								
<i>Tubifex tubifex</i> (Muller, 1774)					+	+	+	+	+	+	+	+
<b>Hirudinea</b>												
<i>Glossiphonia</i> <i>complanata</i> (Linnaeus, 1758)						+	+	+	+	+		
<i>Erpobdella octoculata</i> (Linnaeus, 1758)					+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Piscicola geometra</i> (Linnaeus, 1758)										+	+	
<b>Malacostraca</b>												
<b>Amphipoda</b>												
<i>Gammarus balcanicus</i> Schaferna, 1922	+				+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Gammarus roeseli</i> Gervais, 1835						+						
<b>Isopoda</b>												
<i>Asellus aquaticus</i> (Linnaeus, 1758)							+		+	+	+	+
<b>Decapoda</b>												
<i>Astacus astacus</i> (Linnaeus, 1758)			+				+					
<b>Insecta</b>												

<b>Ephemeroptera</b>											
<i>Serratella ignita</i> (Poda, 1761)	+	+	+	+			+	+	+	+	+
<i>Ephemer a danica</i> Muller, 1764		+									
<i>Caenis macrura</i> Stephens, 1835			+	+			+	+	+	+	+
<i>Epeorus assimilis</i> Eaton, 1885	+	+									
<i>Ecdyonurus venosus</i> (Fabricius, 1775)	+		+	+							
<i>Baetis rhodani</i> (Pictet, 1843)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Baetis muticus</i> (Linnaeus, 1758)	+	+									
<i>Oligoneuriella</i> <i>rhenana</i> (Imhoff, 1852)			+	+					+		+
<i>Potamanthus luteus</i> (Linnaeus, 1767)											+
<b>Plecoptera</b>											
<i>Leuctra nigra</i> (Olivier, 1811)			+	+							
<i>Perla bipunctata</i> Pictet, 1833		+									
<b>Trichoptera</b>											
<i>Limnephilus lunatus</i> Curtis, 1834		+									
<i>Sericostoma</i> <i>personatum</i> (Kirby & Spence, 1826)			+								
<i>Hydropsyche instabilis</i> (Curtis, 1834)		+	+	+			+	+	+	+	+
<i>Hydropsyche</i> <i>incognita</i> Pitsch, 1993			+	+			+				
<i>Philopotamus</i> <i>montanus</i> (Donovan, 1813)			+	+							
<i>Rhyacophila nubila</i> Zetterstedt, 1840	+	+									
<i>Hydroptila sparsa</i> Curtis, 1834		+									
<b>Diptera</b>											
<i>Orthocladiinae</i>	+	+			+	+				+	+
<i>Chironominae</i>					+	+	+	+	+	+	+
<i>Tanypodinae</i>	+	+	+	+							
<i>Tanytarsini</i>			+	+					+	+	+
<i>Simulium</i> sp.	+	+					+	+		+	+
<i>Tipula</i> ( <i>Acutipula</i> ) <i>maxima</i> Poda, 1761											
<i>Atherix ibis</i> (Fabricius, 1798)											+
<i>Tabanus</i> sp.	+										
<i>Dicranota</i> sp.		+	+	+							
<b>Heteroptera</b>											
<i>Nepa cinerea</i> Linnaeus, 1758								+	+		

Coleoptera													
<i>Platambus maculatus</i> (Linnaeus, 1758) (ad.)													+
<i>Dryops</i> sp. (ad.)													+
<i>Elmis aenea</i> (Muller, 1806) (ad.)	+												
Odonata													
<i>Onychogomphus</i> <i>forcipatus</i> (Linnaeus, 1758)		+		+									
<i>Calopteryx splendens</i> (Harris, 1782)								+			+		
<i>Platycnemis pennipes</i> (Pallas, 1771)													+
Total number of taxa	13	18	19	14	6	9	12	11	15	15	17	14	
Common taxa	9		14			6		9		12		12	
Index of similarity (%)	39,9		73,7			66,7		64,3		66,7		63,2	
Score of effects	4		2			2		2		2		2	
Classification of priority for removal	yes		no			no		no		no		no	

## CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

Ranking of the score of effects in the frame of interval from 1 to 3 gets classification of the weir not priority for removal, while score of effects from 4 to 5 gets classification of the weir priority for removal. Therefore, based on the ecological criteria (in this study based only on macroinvertebrates), weir KR\_33 (below the city of Kriva Palanka) is proposed for dam removal and the other 5 would be able to remain unchanged.

In summary, we consider that the proposed methodology in this project has the potential to be applied in existing rivers throughout Republic of North Macedonia, or even wider in Balkan Peninsula. Nevertheless, this study presents the first step in such research and provides the basis for further improvements in the methodology and including fish, macrophytes and hydrology elements in defining criteria.

## REFERENCES

- Aubert, J. (1959) Plecoptera. *Insecta Helvetica, Fauna* (Lausanne), 1: 1-140.
- Bushaw-Newton, K. L., Hart, D. D., Pizzuto, J. E., Thomson, J. R., Egan, J., Ashley, J. T., & Velinsky, D. J. (2002) An integrative approach towards understanding ecological responses to dam removal: The Manatawny creek study 1. *Jawra Journal of the American Water Resources Association*, 38(6), 1581-1599.
- Clavero, M., Blanco-Garrido, F., & Prenda, J. (2004) Fish fauna in Iberian Mediterranean River basins: biodiversity, introduced species and damming impacts.
- Deinet, S., Scott-Gatty, K., Rotton, H., Twardek, W. M., Marconi, V., McRae, L., ... & Berkhuisen, A. (2020) The living planet index (LPI) for migratory freshwater fish: Technical report.

- Edington, J. M. & Hildrew, A. G. (1981) A key to the Caseless Caddis larvae of the British Isles, with notes on their ecology. *Freshwater biological associations, Scientific publications*, 43: 1-91.
- Elliott, J. M., Humpesch, U. H. & Macan, T. T. (1988) Larvae of the British Ephemeroptera: a key with ecological notes (No. 49). *Freshwater Biological Association*.
- EN ISO 10870: 2012 Water quality–Guidance for the selection of sampling methods and devices for benthic macroinvertebrates in fresh waters.
- Glöer, P. (2015) Süßwassermollusken-Ein Bestimmungsschlüssel für die Muscheln und Schnecken im Süßwasser der Bundesrepublik Deutschland. Göttingen, Deutscher Jugendbund für Naturbeobachtung.
- Hynes, H. (1977) A key to the adults and nymphs of the British Stoneflies (Plecoptera) with notes on their ecology and distribution. *Freshwater Biological Association Scientific Publications*, 17: 92 p.
- Marczewski, M. & Steinhaus, H. (1959) On the taxonomic distance of biotopes. *Zastosowania matem.*, 4: 195-203.
- Petts, G. E. (1979) Complex response of river channel morphology subsequent to reservoir construction. *Progress in Physical Geography*, 3(3), 329-362.
- Slavevska-Stamenković, V., Paunović, M., Miljanović, B., Kostov, V., Ristovska, M. & Miteva, D. (2011) Water Quality Assessment Based on the Macroinvertebrate Fauna - the Pcinja River Case Study. *Water Research and Management*, 1 (2): 63-69.
- Slavevska-Stamenković, V., Rimcheska, B., Stojkoska, E., Stefanovska, N., Hinić, J. & Kostov, V. (2016) The Catalogue of the freshwater Decapoda (Decapoda: Potamonidae, Astacidae, Atyidae) from Republic of Macedonia in the collection of Macedonian Museum of Natural History. *Section of Natural, Mathematical & Biotechnical Sciences*, 37 (2): 173-183
- Wallace, I. D., Wallace, B. & Philipson, G. N. (2003) Keys to the Case-Bearing Caddis Larvae of Britain and Ireland. *Scientific Publication 61. Freshwater Biological Association: Ambleside*.
- Waringer, J. & Graf, W. (1997) Atlas der österreichischen Köcherfliegenlarven: unter Einschluß der angrenzenden Gebiete. Wien (Facultas Universitätsverlag), 286 p.
- Waringer, J. & Graf, W. (2013) Key and bibliography of the genera of European Trichoptera larvae. *Zootaxa*, 3640 (2): 101-151.
- Zwick, P. (2004) Key to the West Palearctic genera of stoneflies (Plecoptera) in the larval stage. *Limnologica*, 34: 315-348.

## PROCENA EKOLOŠKOG POTENCIJALA MARKOVAČKOG JEZERA – NOVI PRISTUP U BIOMONITORINGU

Miloš Ćirić\*, Clarisse Lemonnier\*\*, Benjamin Alric\*\*\*,  
Biljana Dojčinović\*, Jelena Avdalović\*, Srđan Miletić\*,  
Vladimir Petrović\*\*\*\*, Željka Milovanović\*\*\*\*\*,  
Danijela Vidaković\*\*\*\*\*, Aleksandra Marković\*,  
Frédéric Rimet\*\*, Andreas Ballot\*\*\*\*\*

- \* *Univerzitet u Beogradu, Institut za hemiju, tehnologiju i metalurgiju, Institut od nacionalnog značaja za Republiku Srbiju, Centar za hemiju, Njegoševa 12, Beograd, Srbija (ORCID: 0000-0002-6835-3385; email: ciric@ihtm.bg.ac.rs, ORCID: 0000-0003-1479-8060; ORCID: 0000-0001-9917-7997; ORCID: 0000-0002-7263-2686; ORCID: 0000-0003-2718-173X)*
- \*\* *UMR CARTELE, INRAE, Savoie-Mont Blanc University, Thonon-les-Bains cedex, France (ORCID: 0000-0001-7665-6872)*
- \*\*\* *UMR CARTELE, INRAE, Savoie-Mont Blanc University, Thonon-les-Bains cedex, France; Pôle R&D ECLA Ecosystèmes Lacustres, France (ORCID: 0000-0003-2774-0546)*
- \*\*\*\* *Univerzitet u Beogradu, Institut za hemiju, tehnologiju i metalurgiju, Institut od nacionalnog značaja za Republiku Srbiju, Centar za ekologiju i tehnoeonomiku, Njegoševa 12, Beograd, Srbija (ORCID: 0000-0003-0745-4008 i ORCID: 0000-0002-1998-5239)*
- \*\*\*\*\* *Univerzitet u Beogradu, Institut za hemiju, tehnologiju i metalurgiju, Institut od nacionalnog značaja za Republiku Srbiju, Centar za hemiju i inženjering životne sredine, Centar za hemiju, Njegoševa 12, Beograd, Srbija (ORCID: 0000-0002-8696-7743)*
- \*\*\*\*\* *Norwegian Institute for Water Research – NIVA, Oslo, Norway (ORCID: 0000-0002-4088-0677)*

### REZIME

Napredak u molekularnoj biologiji doveo je do snažnog razvoja molekularnih metoda u biomonitoringu. Metabarkoding je procedura zasnovana na upotrebi DNK molekula koja može da dopuni ili čak potpuno zameni klasičan biomonitoring u skorijoj budućnosti. Sproveli smo istraživanje fitoplanktonske zajednice, važnog biološkog parametra kvaliteta, u Markovačkom jezeru sa ciljem da uporedimo tradicionalni i molekularni pristup u biomonitoringu. Ukupno smo pronašli 105 sekvenci algi i cijanobakterija, ali usled nepotpunosti baze, lista taksona dobijena metabarkodingom je nepotpuna. Iako se rezultati metabarkodinga trenutno ne mogu koristiti za procenu ekološkog statusa u Republici Srbiji, primena molekularnog pristupa u biomonitoringu je obećavajuća.

KLJUČNE REČI: metabarkoding, fitoplankton, ekološki potencijal, biomonitoring, Markovačko jezero



# ECOLOGICAL POTENTIAL ASSESSMENT OF MARKOVAČKO LAKE – A NEW APPROACH IN BIOMONITORING

## ABSTRACT

The advancement in molecular biology resulted in development of molecular methods in biomonitoring. Metabarcoding is a DNA based procedure that can supplement or even replace classical biomonitoring in the near future. We conducted a study of phytoplankton, an important biological quality element, in Markovačko lake aiming to compare morphological and metabarcoding approach in biomonitoring. In total, 105 sequences were obtained, but due to the incompleteness of the reference library the metabarcoding taxonomic list was not comprehensive. Although, the metabarcoding results can not be currently used for ecological status assessment in the Republic of Serbia, its application in biomonitoring is promising.

**KEY WORDS:** metabarcoding, phytoplankton, ecological potential, biomonitoring, Markovačko lake

## UVOD

Evropska okvirna direktiva o vodama (EU WFD), kao krovni dokument za zaštitu voda u Evropi, ima za cilj postizanje dobrog ekološkog statusa, ekološkog potencijala i hemijskog statusa površinskih i podzemnih voda, uključujući i zaštićena područja (European Commission, 2000). Republika Srbija, iako nije članica Evropske Unije (EU), od 2012. godine sprovodi monitoring vodnih tela uzimajući u obzir preporuke, mere i procedure navedene u EU WFD (Ćirić i sar., 2018).

U većini evropskih zemalja, uključujući i Republiku Srbiju, trenutno se za procenu ekološkog statusa koriste indeksi zasnovani na tradicionalnom, morfološko-taksonomskom pristupu. Ovaj postupak uključuje sakupljanje organizama na njihovom staništu i transport do laboratorije gde se njihova identifikacija i brojanje sprovode koristeći specijalizovane mikroskope (Rimet i sar., 2018). Međutim, obrada uzoraka na tradicionalan način ima nekoliko nedostataka od kojih su najvažniji: 1) dugotrajna obrada uzoraka i 2) sve izraženiji nedostatak stručnjaka taksonoma za pojedine grupe organizama (Rimet i sar., 2018). Kako bi prevazišli ove izazove, naučnici su počeli da razvijaju nove metode zasnovane na molekularno genetičkim analizama sa ciljem da u početku dopune, a kasnije i potpuno zamene klasične tehnike biomonitoringa (Hering i sar., 2018). Metabarcoding je metoda koja najviše obećava i zasnovana je na sledećim koracima: 1) izolacija sredinske DNK (npr. DNK molekula sakupljenih iz vode), 2) umnožavanje fragmenata gena koji je karakterističan za ciljanu biološku zajednicu PCR metodom (npr. rbcL marker za silikatne alge), 3) sekvenciranje umnoženih fragmenata i 4) bioinformatička analiza čiji je krajnji rezultat lista sekvenci povezanih sa naučnim imenima taksona u referentnim bibliotekama gena (Pawlowski i sar., 2018).

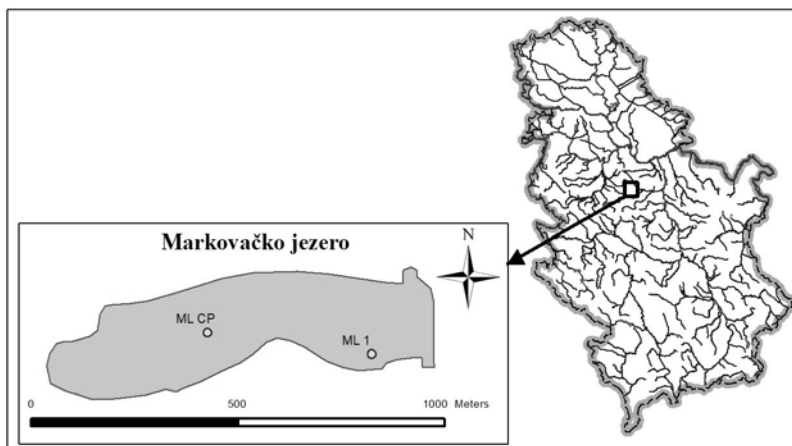
Fitoplankton predstavlja važan biološki element kvaliteta površinskih voda i obavezan parametar koji se koristi u biomonitoringu i proceni ekološkog statusa/potencijala jezera (Canino et al., 2021). U nekim državama su razvijeni specijalizovani indeksi bazirani na fitoplanktonu, dok se u drugim primenjuju jednostavniji pristupi. Na primer, u Mađarskoj se koristi Hungarian lake phytoplankton index tj. HLPI indeks (Borics et al., 2018). S druge strane, u Republici Srbiji se za određivanje klase ekološkog statusa/potencijala koristi procentualni udeo euglenoidnih algi i cijanobakterija u ukupnoj biomasi fitoplanktona (Sl. glasnik, 2011).

BIOLAWEB projekat koji je počeo 01. oktobra 2022. godine ima za cilj unapređenje biomonitoringa zasnovanog na DNK metodama kroz zajedničko istraživanje Univerziteta u Beogradu, Instituta za hemiju, tehnologiju i metalurgiju sa vodećim partnerskim institutima - Francuskim nacionalnim institutom za poljoprivredu, hranu i životnu sredinu (French National Research Institute for Agriculture, Food and Environment - INRAE) i Norveškim institutom za istraživanje vode (Norwegian Institute for Water Research - NIVA). Istraživanja uključuju razvoj molekularno genetičkih metoda u analizi fitoplanktona, fitobentosa i makrofitske vegetacije.

U ovom radu su prikazani prvi rezultati metabarkodiranja fitoplanktonske zajednice jednog jezera u Republici Srbiji koji su proizašli iz BIOLAWEB projekta.

## MATERIJAL I METODE

Uzorci fitoplanktona i vode za hemijsku analizu sakupljeni su u avgustu 2023. godine sa dva mesta u Markovačkom jezeru (selo Markovac, Srbija) [ML1-N44°23'20.14"E20°39'31.54"; MLCP-N44°23'23.14" E20°39'16.75"] (Slika 1).



Slika 1. Pozicija Markovačkog jezera u Srbiji (desno) i izgled obale (levo); tačke označavaju mesta uzorkovanja  
Figure 1. Position of Markovačko lake in Serbia (right) with coastal line (left); dots indicate sampling sites.

Temperatura vode i providnost su mereni "in situ", dok su uzorci vode sakupljeni za analizu sledećih parametara: pH, rastvoreni kiseonik, provodljivost, karbonati, bikarbonati, hloridi, sulfati, amonijak, nitriti, nitrati, ukupan azot, fosfati, ukupan fosfor, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> i hlorofil *a*.

pH vrednost je izmerena na pH-metru INOLAB pH 730, WTW. Specifična provodljivost ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) uzoraka urađena je prema standardnoj metodi (U.S. EPA, 1982) pomoću konduktometra LF 191, WTW. Sadržaj rastvorenog kiseonika ( $\text{mg O}_2/\text{L}$ ) u uzorcima površinske vode urađen je po Winkler-ovoj metodi (APHA, 2015b). Koncentracija ortofosfata i ukupnog fosfora u uzorcima vode uređena je na UV-Vis spektrofotometru, Lambda 25/35/45, Perkin Elmer, na talasnoj dužini od 880 nm po metodi ISO 6878 (2004). Koncentracije karbonata i bikarbonata ( $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{mg}/\text{L}$ ) su izmerene po metodi (APHA, 2015a) na osnovu stehiometrijskih odnosa p- i m-alkaliteta. Koncentracije katjona ( $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ) su izmerene po metodi U.S. EPA (2001) pomoću analitičke tehnike induktivno kuplovana plazma sa optičkom emisionom spektrometrijom (ICP-OES) na instrumentu model: iCAP 6500 Duo ICP (Thermo Fisher Scientific, Cambridge, United Kingdom). Kalibracija je urađena pomoću sertifikovanog multielementarnog standardnog rastvora: Multi-Element Plasma Standard Solution 4, Specpure®, 1000  $\mu\text{g}/\text{ml}$  (Alfa Aesar GmbH & Co KG, Germany). Kvantifikacija je urađena na sledećim talasnim dužinama: Ca II 315.887 nm, Mg I 285.213 nm, Na I 818.326 nm i K I 769.896 nm. Kontrola kvaliteta (*QA, Quality Control*) analitičkog procesa je obezbeđena korišćenjem sertifikovanog referentnog materijala (*CRM, certified reference material*): EPA Method 200.7 LPC Solution (ULTRA Scientific, USA). Izmerene koncentracije su pokazale prinos standarda (*recovery*) u opsegu od 99–101%. Koncentracije hlorida, sulfata, nitrita, nitrata i amonijum-jona ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ) su izmerene po metodi U.S. EPA (1997a) korišćenjem joskog hromatografskog sistema DIONEX ICS 3000 (Dionex, Sunnyvale, CA, USA). Ukupan azot je određivan prema metodi ISO 11905-1 (1997). Određivanje hlorofila *a* je izvedeno na UV-Vis spektrofotometru model Evolution™ 220 (Thermo Scientific, USA), na talasnim dužinama 750, 665 i 664 nm prema U.S. EPA (1997b).

Za kvalitativnu (mikroskopsku) analizu algi i cijanobakterija, uzorci su sakupljeni pomoću fitoplanktonske mrežice, sa promerom okaca od 20  $\mu\text{m}$ . Za kvantitativnu (mikroskopsku) analizu, organizmi fitoplanktonske zajednice sakupljeni su pomoću plastičnog creva uzimanjem integralnog uzorka vodenog stuba u eufotičnoj zoni (određenoj kao  $2 \times$  providnost vode merene Secchi diskom) i fiksirani Lugolovim rastvorom. Alge i cijanobakterije su identifikovane korišćenjem svetlosnog mikroskopa Leica DM750 (Leica Microsystems) i objektivna HI PLAN 40/0.65 na uveličanju  $400\times$ . Planktonski organizmi su brojani u komorici (Hydro-Bios, Kiel, Germany) nakon sedimentacije od 24 h pomoću invertnog mikroskopa INVE 500T (COLO Lab Experts, Slovenija) prema metodi Utermöhl (1958). Biomasa pojedinačnih taksona je dobijena množenjem abundance tog taksona (obično broja ćelija) i zapremine ćelije koja je preračunata koristeći geometrijske aproksimacije oblika individualnih ćelija (Hillebrand i sar., 1999).

Uzorci vode (200 mL) za molekularnu analizu fitoplanktona filtrirani su na terenu pomoću 0,45 µm filtera (Sterivex, Millipore) prema protokolu razvijenom od strane instituta INRAE (The French National Research Institute for Agriculture, Food and Environment, link protokola: [https://www.youtube.com/watch?v=x\\_t0-063Qno](https://www.youtube.com/watch?v=x_t0-063Qno)). DNK je izolovana iz uzoraka pomoću NucleoSpin soil kit-a (Macherey-Nagel) prema uputstvima proizvođača. Kao marker za procenu diverziteta odabran je fragment gena za 23s rRNK, koji je umnožen korišćenjem para prajmera opisanih od strane Canino i sar. 2023 (ECLA23S\_F1 (5'-ACAGWAAGACCCTATGAAGCTT-3') ECLA23S\_R1 (5'-CCTGTTATCCCTAGAGTAACTT-3')). Pre PCR amplifikacije, DNK je kvantifikovana pomoću NanoDrop spektrofotometra (NanoDrop ONE, Thermo Scientific). Za umnožavanje DNK PCR metodom korišćeno je 25 µL ukupne reakcione smeše: po 5 µL prajmera (*forward* i *reverse*, 1 µM), 12.5 µL KAPA HiFi HotStart Ready Mix (Roche Molecular Systems, Inc) i 2.5 µL DNK uzorka (konc. 5 ng/µL). Temperaturni profil reakcije sastojao se iz početne denaturacije matrice i aktivacije HotStart DNK Polimeraze na 95°C u trajanju od 3 min, 30 ciklusa sačinjenih od denaturacije na 95°C u trajanju od 30s, praćene hibridizacijom prajmera na 58°C i elongacijom na 72°C, takođe u trajanju po 30s, i završne elongacije na 72°C u trajanju od 5 minuta. Umnoženi DNK fragmenti poslani su na sekvenciranje pri PGTB platformi (Plateforme de Génomique et Transcriptomique, Bordeaux, France) pomoću MiSeq tehnologije (Illumina, SY-410-1003) uz korišćenje v3 kita sa reagensima. Očekivan prosečan broj očitanih sekvenci po uzorku iznosio je 50 000. Podaci dobijeni sekvenciranjem su obrađeni bioinformatičkim postupkom opisanim u radu Nicolosi Gelis i sar. (2024), a za povezivanje sekvenci sa odgovarajućim taksonima korišćena je Phytool aplikacija (Canino i sar., 2021).

## REZULTATI I DISKUSIJA

### FIZIČKO-HEMIJSKI PARAMETRI

Rezultati merenja fizičkih i hemijskih parametara za ispitivane uzorke voda Markovačkog jezera (tačke ML-1 i ML-CP) su dati u Tabeli 1. U tabeli su date pojedinačne vrednosti za svaki uzorak, kao i srednja vrednost  $\pm$  standardna devijacija (SD). Izmerene vrednosti se odnose na letnju sezonu, za uzorke koji su uzeti za analizu dana 22.08.2023.

pH vrednosti u uzorcima vode iz Markovačkog jezera ukazuju na blago alkalnu vodu. Provodljivost vode odražava nivo jona rastvorenih u vodi, a visoka vrednost može ukazivati na prisustvo soli ili drugih rastvorenih materija. Provodljivost vode u Markovačkom jezeru je bila 252 µS/cm u trenutku uzorkovanja, što predstavlja vodu sa srednjom koncentracijom rastvorenih soli u površinskim vodama. Rastvoren kiseonik je od vitalnog značaja za život organizama u vodi, jer većina vodenih organizama zahteva određeni nivo kiseonika za disanje. U uzorcima vode sa Markovačkog jezera vrednosti rastvorenog kiseonika su bile 7,96 i 7,89 mg O<sub>2</sub>/L. Ovi parametri su bitni kao deo monitoringa kvaliteta vode radi zaštite ekosistema i ljudskog zdravlja.

Tabela 1. Rezultati merjenja fizičkih i hemijskih parametara za uzorke vode Markovačko jezero (tačke ML-1 i ML-CP), datum uzorkovanja 22.08.2023.

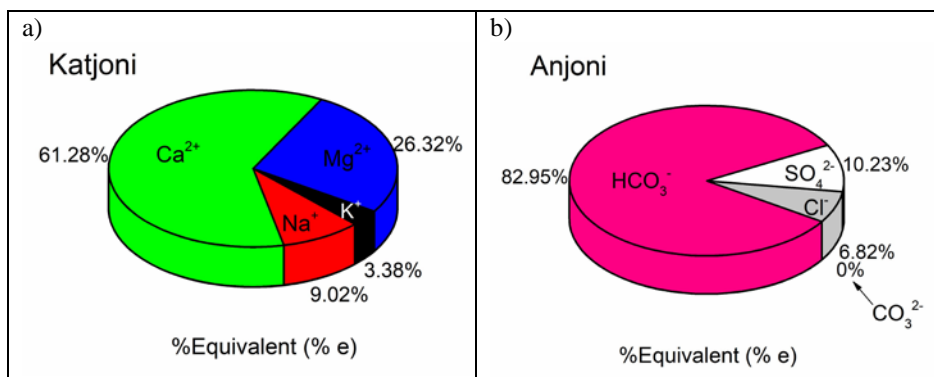
Table 1. Results of measurement of physical and chemical parameters for water samples of Lake Markovačko (points ML-1 and ML-CP), sampling date 08/22/2023.

Parametar	Skracenic	Jedinica	Vrednost		Srednja vrednost ± SD*
			ML-1	ML-CP	
T vode	T	°C	27,0	29,0	28,0 ± 1,4
Providnost	TRANS	m	0,90	0,88	0,89 ± 0,01
pH	pH	(-)	7,930	8,148	8,039 ± 0,154
El. provodljivost	COND	µS/cm	252	252	252 ± 0
Kiseonik (rastvoreni)	DO	mg/L	7,96	7,89	7,93 ± 0,05
Kalijum	K <sup>+</sup>	mg/L	3,56	3,47	3,52 ± 0,06
Natrijum	Na <sup>+</sup>	mg/L	5,63	5,34	5,49 ± 0,21
Kalcijum	Ca <sup>2+</sup>	mg/L	32,97	32,52	32,75 ± 0,32
Magnezijum	Mg <sup>2+</sup>	mg/L	8,75	8,36	8,56 ± 0,28
Karbonati	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	mg/L	0	0	0
Bikarbonati	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/L	176,9	179,4	178,2 ± 1,8
Amonijum-jon	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	mg/L	<0,01	<0,01	<0,01
Nitriti	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	mg/L	<0,01	0,01	0,01 ± 0,01
Nitrati	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/L	0,24	0,22	0,23 ± 0,01
Azot (ukupan)	TN	N mg/L	1,0	0,7	0,9 ± 0,2
o-Fosfati	P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	P mg/L	<0,01	<0,01	<0,01
Fosfor (ukupan)	TP	P mg/L	<0,01	<0,01	<0,01
Hloridi	Cl <sup>-</sup>	mg/L	8,6	8,5	8,6 ± 0,1
Sulfati	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg/L	17,16	17,79	17,48 ± 0,45
Hlorofil a	Chl a	µg/L	5,81	7,48	6,65 ± 1,18

\*SD-standardna devijacija

Na osnovu izmerenih srednjih vrednosti za koncentracije neorganskih katjona i anjona (Tabela 1) u uzorcima voda, izračunata je zastupljenost svakog od njih (Slika 1). Koncentracije su izražene u % Equivalent (% e) i predstavljaju procenete ekvivalentnog zbira ukupnih katjona ili anjona.

Kalcijum je dominantan katjon u vodi Markovačkog jezera. Njegov procenat ekvivalentnog zbira ukupnih katjona dostigao je 61,3%. Sadržaj magnezijumovih jona je okvirno duplo niži u odnosu na kalcijum (26,3%). Koncentracija natrijuma je oko 10%, a kalijuma 3,4%. Bikarbonat je dominantan anjon u ispitivanoj jezerskoj vodi. Njegova koncentracija je čak skoro 83 % e. Koncentracija sulfata iznosi 10,2 % e, a koncentracija hlorida iznosi 6,8 % e. Na izmerenoj pH vrednosti vode (pH<8,3), karbonati ne mogu biti prisutni, što je eksperimentalno i potvrđeno. Može se zaključiti da ispitivana voda Markovačkog jezera, pripada klasi kalcijum-bikarbonatnih voda, prema dominantnoj zastupljenosti katjona i anjona.



Slika 1. Zastupljenosti neorganskih a) katjona i b) anjona u vodi Markovačkog jezera, izraženo u % Equivalent (% e)

Figure 1. Concentrations of inorganic a) cations and b) anions in the water of Lake Markovac, expressed in % Equivalent (% e)

Određivanje koncentracije hlorofila *a* daje informaciju o kvantitetu i potencijalnoj fotosintetskoj aktivnosti fitoplanktona. Takođe, ovaj podatak u površinskim vodama ukazuju na njihov stepen trofičnosti. Dakle, na osnovu dobijene srednje vrednosti koncentracije hlorofila *a* možemo zaključiti da je Markovačko jezero u trenutku ispitivanja (avgust 2023. godine) imalo mezotrofan status (OECD, 1982).

#### ANALIZA FITOPLANKTONA

U Markovačkom jezeru zabeleženo je ukupno 38 različitih taksona iz 7 razdela algi (Chlorophyta, Euglenophyta, Bacillariophyta, Cryptophyta, Chrysophyta, Xanthophyta i Dinophyta) uključujući cijanobakterije (Cyanobacteria) koristeći klasičan morfološki (mikroskopski) pristup. Najveći broj taksona (18) zabeležen je u grupi zelenih algi. S druge strane, metabarkoding analizom zabeleženo je ukupno 105 sekvenci iz sledećih grupa (Cyanobacteria, Chlorophyta, Bacillariophyta, Chrysophyta, Cryptophyta, Euglenophyta i Rhodophyta). Najveći broj različitih sekvenci zabeležen je među cijanobakterijama (28) i zelenim algama (21), s tim da je manji broj sekvenci povezan sa odgovarajućim imenom taksona u Phytool bazi podataka. Na primer, u uzorku sakupljenom na mestu ML1, zabeleženo je 28 različitih sekvenci cijanobakterija, od kojih se samo 19 podudara sa sledećim rodovima u bazi: *Cyanobium*, *Microcystis* i *Pseudanabaena*. Iako je metabarkoding analizom zabeležen manji broj taksona u Markovačkom jezeru u odnosu na morfološku analizu, stepen podudaranja je visok, naročito na nivou roda.

Rezultati kvantitativne analize fitoplanktona po Utermöhl-u (1958) pokazuju da cijanobakterije dominiraju u zajednici po broju ćelija na oba mesta uzorkovanja, ispred zelenih i silikatnih algi (Tabela 2).

Tabela 2. Procentualni udeo razdela u ukupnoj abundanci (br. ćelija/mL) na dva mesta uzorkovanja (ML1 i MLCP) u Markovačkom jezeru  
 Table 2. Percentage of divisions in total abundance (cells/mL) on two sampling sites (ML1 i MLCP) in Markovačko lake

Razdeo	ML1	MLCP
Cyanobacteria	98,0	94,2
Bacillariophyta	0,6	1,4
Chrysophyta	0,1	0,1
Chlorophyta	1,0	3,1
Euglenophyta	0,3	0,6
Cryptophyta	0,0	0,6
Xanthophyta	0,0	0,0
Dinophyta	0,0	0,0
Ukupno	100,0	100,0

Ako se pogledaju rezultati metabarkoding analize, cijanobakterije takođe dominiraju po broju očitanih sekvenci (eng. reed), dok su na drugom mestu silikatne alge (Tabela 3).

Tabela 3. Procentualni udeo sekvenci (broj očitavanja, eng. reeds) po razdelima na dva mesta uzorkovanja (ML1 i MLCP) u Markovačkom jezeru  
 Table 3. Percentage of sequences per divisions in total reeds on two sampling sites (ML1 i MLCP) in Markovačko lake

Razdeo	ML1	MLCP
Cyanobacteria	42,3	52,6
Bacillariophyta	25,5	25,9
Chrysophyta	7,7	6,0
Chlorophyta	7,6	7,2
Euglenophyta	7,4	0,8
Cryptophyta	5,8	1,9
Rhodophyta	0,2	0,1
Ukupno	96,3	99,9

Procena ekološkog potencijala akumulacija tj. značajno izmenjenih vodnih tela zasnovana je na procentualnom udelu cijanobakterija u ukupnoj biomasi fitoplanktona, ukupnoj abundanci izraženoj u broju ćelija po mL i vrednosti hlorofila a. Klasična kvantitativna analiza fitoplanktona Markovačkog jezera pokazala je da procentualni udeo cijanobakterija ne prelazi 20% (Tabela 4), da je abundanca fitoplanktona ispod 15000 ćel/mL i da hlorofil a ne prelazi 50 µg/L (Tabela 1). Tako, rezultati analize fitoplanktona ukazuju da Markovačko jezero pripada III klasi ekološkog potencijala. S druge strane, iako se rezultati metabarkoding analize donekle podudaraju sa podacima o abundanci dobijenim morfološkom analizom, oni se ne mogu direktno primeniti na definisane parametre ocene ekološkog potencijala. Ipak, novi pravci razvoja metabarkodinga uključuju istraživanje gena koji se pojavljuju u genomima algi i cijanobakterija sa samo jednom kopijom i ukoliko ova istraživanja uspeju mogu predstavljati prekretnicu u biomonitoringu.

Tabela 3.4 Procentualni udeo razdela u ukupnoj biomasi (mg/L) na dva mesta uzorkovanja (ML1 i MLCP) u Markovačkom jezeru  
 Table 4. The percentage share of the division in the total biomass (mg/L) at the two sampling sites (ML1 and MLCP) in Lake Markovac

Razdeo	ML1	MLCP
Cyanobacteria	19,4	2,0
Bacillariophyta	0,6	49,1
Chrysophyta	2,0	0,2
Chlorophyta	40,0	30,2
Euglenophyta	37,8	14,8
Cryptophyta	0,2	3,7
Xanthophyta	0,0	0,0
Dinophyta	0,0	0,0
Ukupno	100,0	100,0

## ZAKLJUČAK

Metabarkoding analiza fitoplanktona Markovačkog jezera pokazala je manji broj taksona u odnosu na klasičnu mikroskopsku analizu usled nekompletnosti baze sekvenci. Ipak, postoji zadovoljavajući nivo preklapanja inventarnih lista dobijenih pomoću ove dve metode. Da bi se metabarkoding podaci mogli koristiti u biomonitoringu jezera i akumulacija, potrebno je prilagoditi parametre ocene ekološkog statusa/potencijala novim indeksima baziranim na DNK pristupu.

## Zahvalnica

Ovaj rad je finansirala Evropska Unija kroz Horizon Europe progam istraživanja i inovacija (BIOLAWEB twinning projekat, broj opšteg ugovora 101079234). Istraživanje je podržalo Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije (451-03-66/2024-03/200026).



**Finansira  
Evropska Unija**

## LITERATURA:

- APHA 2015a. "2320 B. Titration Method." Washington D.C.  
 APHA 2015b. "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater-. No: 4500-O C. Winkler Method, Azide Modification." Washington D.C  
 Borics, G., Wolfram, G., Chiriac, G., Belkinova, D., Donabaum, K. and Poikane, S. (2018) Intercalibration of the national classifications of ecological status for Eastern Continental lakes: Biological quality Element: Phytoplankton, Publications Office of the European Union, JRC Technical Reports



- Canino, A., Bouchez, A., Laplace-Treyture, C., Domaizon, I. and Rimet, F., Phytool, a ShinyApp to homogenize taxonomy of freshwater microalgae from DNA barcodes and microscopic observations, *Metabarcoding and Metagenomics* 5 (2021), 199–205
- Canino, A., Lemonier, C., Alric, B., Bouchez, A., Domaizon, I., Laplace-Treyture, C. and Rimet, F., Which barcode to decipher freshwater microalgal assemblages? Tests on mock communities, *Int. J. Lim.* 59 (2023)
- Ćirić, M., Nikolić, N., Krizmanić, J., Gavrilović, B., Pantelić, A., Petrović, M. V., Diatom diversity and ecological status of the Lasovačka and Lenovačka streams near Zaječar: consideration of WFD implementation in Serbia, *Archives of Biological Sciences* 70 (2018) 691–698
- European Commission (2000) European Commission, Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 Establishing a Framework for Community Action in the Field of Water Policy, *Official Journal of the European Union L* 327/1, 1–72
- Hering, D., Borja, A., Jones, J.I., Pont, D., Boets, P., Bouchez, A., and Bruce, K. et al., Implementation Options for DNA-Based Identification into Ecological Status Assessment under the European Water Framework Directive, *Water Research* 138 (2018), 192–205
- Hillebrand, H., Dürselen, C.-D., Kirschtel, D., Pollinger, U. and Zohary, T., Biovolume calculation for pelagic and benthic microalgae, *Journal of Phycology* 35 (2) (1999), 403–24
- ISO 6878 (2004) Determination of total phosphorus (TP): Ammonium molybdate spectrometric method, European Committee for Standardization, Brussels
- ISO 11905-1 (1997) Water quality - Determination of nitrogen - Part 1: Method using oxidative digestion with peroxodisulfate
- Nicolosi Gelis, M. M., Canino, A., Bouchez, A., Domaizon, I., Laplace-Treyture, C., Rimet, F. and Alric, B., Assessing the relevance of DNA metabarcoding compared to morphological identification for lake phytoplankton monitoring, *Science of the Total Environment* 914 (2024)
- OECD (1982) Eutrophication of Waters. Monitoring, Assessment and Control, Organisation de Coopération et de Développement Economiques, 134 pp, Paris
- Pawlowski, J., Kelly-Quinn, M., Altermatt, F., Apothéloz-Perret-Gentil, L., Beja, P., Boggero, A., Borja, A. et al., The Future of Biotic Indices in the Ecogenomic Era: Integrating (e)DNA Metabarcoding in Biological Assessment of Aquatic Ecosystems, *Science of the Total Environment* 637–638 (2018) 1295–1310
- Rimet, F., Vasselon, V., A.-Keszte, B. and Bouchez, A., Do We Similarly Assess Diversity with Microscopy and High-Throughput Sequencing? Case of Microalgae in Lakes, *Organisms Diversity and Evolution* 18 (2018) 51–62
- Sl. glasnik (2011) “Pravilnik o Parametrizaciji Ekološkog i Hemijskog Statusa Površinskih Voda i Parametrizaciji Hemijskog i Kvantitativnog Statusa Podzemnih Voda.” *Sl. Glasnik RS*, Broj 74/2011
- U.S. EPA (1982) Method 120.1: Methods for Chemical Analysis Of Water and Wastes, EPA-600/4-79-020. Cincinnati, OH
- U.S. EPA. (1997a) Method 300.1: Determination of Inorganic Anions in Drinking Water by Ion Chromatography. Revision 1.0. Cincinnati, OH
- U.S. EPA (1997b) Method 446.0: In Vitro Determination of Chlorophylls a, b, c + c and Pheopigments in Marine And Freshwater Algae by Visible Spectrophotometry. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, EPA/600/R-15/005
- U.S. EPA. (2001) Method 200.7: Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry, Revision 5.0. Cincinnati, OH

## AKCIONI PLAN ZA DOSTIZANJE GRANIČNIH VREDNOSTI EMISIJE ZAGAĐUJUĆIH MATERIJA U OTPADNIM VODAMA – PRIMER ZA JAVNO KOMUNALNO PREDUZEĆE

Dejan Krčmar, Milena Bečelić-Tomin, Vesna Pešić,  
Dragana Tomašević-Pilipović, Đurđa Kerkez

*Departman za hemiju, biohemiju i zaštitu životne sredine, Prirodno matematički fakultet, Trg D. Obradovića 3, 21000 Novi Sad  
dejan.krčmar@dh.uns.ac.rs ORCID: 0000-0003-4583-3279  
milena.becelic-tomin@dh.uns.ac.rs ORCID: 0000-0001-8363-2959  
vesna.pesic@dh.uns.ac.rs ORCID: 0000-0002-9125-9485  
dragana.tomasevic@dh.uns.ac.rs ORCID: 0000-0002-8275-3297  
djurdja.kerkez@dh.uns.ac.rs ORCID: 0000-0003-0997-6635*

### REZIME

Obaveza izrade Akcionih planova za dostizanje graničnih vrednosti emisije (GVE) zagađujućih materija koje se emituju kroz komunalne otpadne vode u praksi je naišla na brojne probleme. Pored ekonomskih faktora i nedostatka stručnog kadra, glavni problem u implementaciji Akcionih planova je nedostatak jasno definisanog njegovog obima i sadržaja. Ovaj rad ima za cilj da pruži osnovne smernice za izradu Akcionih planova za komunalna preduzeća kako bi doprineo konačnom cilju – dostizanje definisanih GVE i zaštiti vodnih tela.

KLJUČNE REČI: Akcioni plan, otpadne vode, GVE

## ACTION PLAN FOR ACHIEVING EMISSION LIMIT VALUES OF POLLUTANTS IN WASTEWATER - EXAMPLE FOR A PUBLIC UTILITY COMPANY

### ABSTRACT

The obligation to develop Action Plans for achieving the emission limit values (ELVs) of pollutants discharged through municipal wastewater has encountered numerous challenges in practice. In addition to economic factors and a lack of skilled personnel, the main problem in implementing Action Plans is the lack of clearly defined scope and content. This paper aims to provide basic guidelines for the development of Action Plans for municipal enterprises to contribute to the ultimate goal of achieving defined ELVs and protecting water bodies.

KEY WORDS: Action plan, wastewater, ELV

## UVOD

Uredbom o graničnim vrednostima emisije zagađujućih materija u vode i rokovima za njihovo dostizanje (Sl. glasnik RS, 67/11, 48/12 i 1/2016) definisana je obaveza izrade Akcionih planova za dostizanje graničnih vrednosti emisije zagađujućih materija koje se emituju kroz industrijske otpadne vode i otpadne vode koje potiču iz aglomeracija. Postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda iz aglomeracija sa opterećenjem većim od 2000 ekvivalent stanovnika (ES) koja svoje komunalne otpadne vode ispuštaju u recipijent uskladiće svoje emisije sa graničnim vrednostima zagađujućih materija propisanih ovom uredbom najkasnije do 31. Decembra 2040. godine, a za komunalne otpadne vode koje ispuštaju iz aglomeracija sa opterećenjem manjim od 2000 ekvivalent stanovnika (ES) uskladiće svoje granične vrednosti emisije zagađujućih materija u skladu sa planom upravljanja vodama.

Ako analiziramo navedene aglomeracije i rokove koji se i dalje čine prilično dalekim, osnovni razlog za postavljanje takvih rokova je taj što u ovom slučaju, za razliku od industrijskih postrojenja, imamo znatno složeniji problem. Pored same izgradnje postrojenja za tretman otpadnih voda, suočavamo se i sa potrebom izgradnje neophodne infrastrukture, to jest kanalizacione mreže, kao i sa procesom priključenja stanovništva i industrije na istu. Obaveza izrade Akcionog plana nalaže da se na pravi, stručan način sagleda celokupna situacija vezana za otpadne vode i na najoptimalniji način donese plan sa tačno definisanim aktivnostima sa kojima se može garantovati da će na kraju definisanog roka na ispustu u krajnji recipijent biti postignute definisane granične vrednosti emisije (GVE).

U periodu od donošenja ove obaveze do danas očekivalo se da će industrija već završiti realizaciju svojih Akcionih planova, i da će, shodno tome, biti izrađeni Akcioni planovi za otpadne vode na nivou aglomeracija, zajedno sa postepenom realizacijom istog (prvim koracima), kako bi se konačno dostigle granične vrednosti emisije. Pored obaveze dostizanja GVE, ovaj plan je trebao da podstakne komunalna preduzeća koja upravljaju odvođenjem i prečišćavanjem otpadnih voda jednog naselja da sa dovoljno vremena strateški rešavaju problem otpadnih voda i pronađu najbolje rešenje koje bi omogućilo efikasan rad postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda (PPOV). Jasno je da izgradnja komunalne infrastrukture sa predikcijom broja stanovnika i industrijskih aktivnosti u narednom periodu, u smislu procene količina otpadnih voda radi optimizacije kapaciteta budućeg PPOV, kao i odabir same tehnologije za PPOV, nije ni malo jednostavan ni brz proces, zbog čega je i ostavljeno dosta vremena za ove aktivnosti. Ipak, na osnovu dosadašnjih iskustava, utisak je da se proces izrade Akcionih planova, kao i njihova implementacija, ne odvija na način koji bi omogućio da očekujemo postizanje zacrtanih ciljeva do 2040. godine. Naime, iako je izvesno da će do 2040. godine doći do izgradnje novih PPOV, postoji opravdana zabrinutost da bi ta postrojenja mogla biti ili predimenzionisana ili nedovoljno prilagođena stvarnim potrebama. Takođe, poseban naglasak treba staviti na način upravljanja i održavanja budućih PPOV kako bi se osigurala ekonomska isplativost, posebno u kontekstu sistema naplate za korisnike kanalizacije i troškova funkcionisanja postrojenja, kao što su energetske troškovi. Pored toga, iskustva sa

već izgrađenim PPOV-ima ukazuju na ozbiljan problem tretmana i deponovanja muljeva, što već sada zahteva posebnu pažnju i optimalna rešenja.

Razlozi za probleme u funkcionisanju postojećih PPOV kao i neefikasna implementacija akcionih planova su mnogobrojni. Jedan od glavnih uzroka je nedostatak stručnog kadra kako u komunalnim preduzećima, tako i u nadležnim organima. Pored toga, nedostatak jasno definisanog obima i sadržaja propisanih akcionih planova se pokazao kao značajan izazov. U praksi, primetni su različiti primeri akcionih planova, pri čemu neki od njih samo formalno ispunjavaju zahteve, umesto da predstavljaju ozbiljan dokument u kojem se stratezijski navode aktivnosti usmerene ka postizanju definisanih ciljeva.

Iz navedenih razloga, ovaj rad ima za cilj da pruži osnovne smernice za izradu Akcionih planova za otpadne vode naselja (komunalna preduzeća) kroz primere mera i aktivnosti koje, u zavisnosti od slučaja, mogu biti deo ovih planova.

## SMERNICE ZA IZRADU AKCIONOG PLANA

Akcionni plan treba da obuhvati konkretne aktivnosti koje treba sprovesti kako bi se postepeno dostigle granične vrednosti za naselja koja nemaju postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda (PPOV), ali i za naselja koja imaju PPOV, ali ne funkcionišu sa zadovoljavajućim efektom. Ove aktivnosti moraju biti precizno definisane i strukturirane po redosledu sprovođenja mera, uz postavljanje prioriteta i tačno određenih rokova za njihovu realizaciju (Bečelić-Tomin i sar. 2017).

Definisanje ovih aktivnosti nije ni malo lak i jednostavan postupak i podrazumeva sistematsko prikupljanje prikupljanje i analizu podataka o postojećem stanju u komunalnim preduzećima i prospekciju mogućih promena u datom periodu na osnovu kojih se mogu doneti konačne odluke vezane za Akcioni plan. Uvid u postojeće stanje otpadnih voda aglomeracija podrazumeva: pregled postojećeg stanja sistema otpadnih voda i analizu potreba u budućem periodu.

Pregled stanja sistema otpadnih voda na nivou aglomeracije se odnosi na pregled komunalne infrastrukture i procenu funkcionalnosti postojećeg sistema otpadnih voda. U okviru postojećeg sistema treba analizirati uređaj za prečišćavanje ukoliko postoji, trenutno stanje i vrstu tretmana (efikasnost), kanalizacioni sistem, kapacitet i potrebu za nove priključke. Analiza koliko trenutni sistem zadovoljava potrebe posebno se odnosi na sledeće tačke: upoređivanje performansi trenutnog sistema sa njegovim dizajniranim kapacitetom; evaluacija efikasnosti trenutnog postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda i mogućnosti njegovog unapređenja radi poboljšanja kvaliteta efluenta (uključujući koncentraciju azota i fosfora); identifikacija organskog i hidrauličkog opterećenja, kao i akcidentna ispuštanja tokom proteklog perioda. Stoga, neophodno je analizirati trenutno stanje uzimajući u obzir mogućnosti za poboljšanje putem efikasnijeg upravljanja i održavanja sistema. Na osnovu ove analize, potrebno je identifikovati mere koje treba preduzeti kako bi se postigle granične vrednosti emisije (GVE), uzimajući u obzir sve projekcije promena i potreba do 2040. godine i nakon toga. Od posebnog značaja za izradu akcionog plana su podaci o industrijskim zagađivačima koji su priključeni na kanalizaciju. Ovi podaci dobijaju se iz katastra zagađivača na teritoriji aglomeracije. Pod tim se podrazumeva identifikacija komercijalnih i industrijskih preduzeća i institucija koji otpadne vode ispuštaju kanalizacioni sistem, posebno onih sa velikom količinom produkovanih

otpadnih voda ili onih čije otpadne vode zbog potencijalnog prisustva zagađujućih materija zahtevaju poseban tretman. Dakle, potrebni su podaci o godišnjim količinama otpadnih voda iz relevantnih izvora. Pored kvaliteta, na izlivima otpadnih voda neophodno je meriti i protok, a dobijene informacije koristiti za izradu akcionih planova. Posebno je važno uzeti u obzir sve varijacije u kvalitetu i količini otpadnih voda koje su specifične za svaku industriju, kao što su dnevne i sezonske oscilacije, kao i predviđene promene u kapacitetu proizvodnje i generisanju otpadnih voda koje mogu uticati na kanalizacioni sistem i funkcionisanje postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda u naseljima.

S obzirom na sve navedeno, važno je imati uvid u projektovane potrebe na nivou aglomeracije. Projektovane potrebe na nivou aglomeracije odnose se na predviđeni rast i razvoj u datoj oblasti, procenu generisanja otpadnih voda i njihov uticaj na postojeći sistem. Takođe, neophodno je uzeti u obzir procenjen demografski rast i urbanistički razvoj stambenih područja u kratkoročnom (npr. narednih 10 godina), srednjoročnom (npr. 11-20 godina) i dugoročnom (npr. 25 godina i više) periodu. Ovi podaci su od posebnog značaja, budući da su ranije strategije predviđale porast broja stanovnika, a time i količinu otpadnih voda, dok se zapravo desio smanjen broj stanovnika u većem broju naselja u procentualnom iznosu od oko 10 do 20%. To je dovelo u pitanje tadašnje projektovane parametre proizvodnje otpadnih voda (PPOV) i njihovu efikasnu obradu. Pored predviđanja budućeg stanja kada su u pitanju otpadne vode domaćinstava, potrebni su podaci o planiranom razvoju industrijskih aktivnosti koje mogu imati značajan uticaj na kvalitet otpadnih voda u dugoročnom periodu kao i identifikacija novih priključaka i vremenski period priključenja. I ovde je takođe u prethodnom periodu predviđan značajni porast količina otpadnih voda, a primetno je da se primenom najboljih dostupnih tehnika, putem implementacije BREF dokumenata (Referentni dokument za najbolje dostupne tehnike, dostupan na: <https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference>), količine otpadnih voda ispuštenih iz industrijskih postrojenja smanjuju i teže ka maksimalnoj recirkulaciji.

## MERE I AKTIVNOSTI U OKVIRU AKCIONIH PLANOVA

Pre nego što se odluči koji sistem će se koristiti za obradu/tretman otpadnih voda potrebno je razmotriti mere koje će uticati na smanjenje količine i smanjenje emisije u vodu u samom kanalizacionom slivu. Dakle, neophodno je uložiti napore u sprovođenju mera prevencije nastanka zagađenja, a potom tek pristupiti projektovanju odgovarajućih uređaja za tretman otpadnih voda.

U cilju prevencije preopterećenja uređaja za prečišćavanje otpadnih voda, njegove loše operativnosti, održavanja ili postavljanja «bajpasova», neophodno je izvršiti proveru i odgovoriti na ključna pitanja pre ulaganja u tretman gradskih otpadnih voda: Da li će se preduzeti mere smanjenja potrošnje vode u industrijama i domaćinstvima? Da li će industrijske otpadne vode proći kroz predtretman pre ispuštanja u gradsku kanalizaciju? Da li je moguća ponovna upotreba ili reciklaža otpadnih voda? Da li će preporučena investicija biti razmatrana u kontekstu rečnog basena? Ukoliko hoće, da li će ulaganje biti poređeno sa benefitima ostalih investicija (u ostalim delovima rečnog basena)? Da li će opcija tretmana najboljim i istovremeno najisplativijim dostupnim tehnikama biti primenjena u postizanju

željenog kvaliteta ambijentalnih voda? Da li će biti primenjena ekonomska analiza u proceni beneficija (u smislu kvaliteta ambijentalnih voda) koja će biti prihvatljiva u faznim ulaganjima u toku narednih deset godina ili i više? U tom cilju potrebno je prihvatanje dugoročne perspektive sa preduzimanjem akcija «korak po korak», počevši odmah.

U cilju dostizanja GVE potrebno je sagledati:

- ✓ mesto na kome nastaju i procese iz kojih nastaju komunalne otpadne vode (domaćinstva, i svi ostali objekti, privredni i neprivredni: štale, radionice, fabrike, škole, bolnice, restorani, benzinske pumpe, itd.);
- ✓ prikupljanje i transport otpadnih voda (kanalizaciju);
- ✓ prečišćavanje otpadnih voda;
- ✓ transport otpadnih voda do mesta korišćenja i/ili izlivanja u odgovarajući prijemnik;
- ✓ ponovnu upotrebu sirovih otpadnih voda ili recirkulaciju/ponovnu upotrebu prečišćenih otpadnih voda;
- ✓ prijemnik neprečišćenih ili prečišćenih komunalnih otpadnih voda.

Da bi se sve to obuhvatilo, potrebno je angažovati celokupan tim stručnjaka iz različitih oblasti i posvetiti se dugotrajnom radu.

Sagledavanje negativnog uticaja i posledica ispuštanja na prvom mestu neprečišćenih ili nedovoljno prečišćenih otpadnih voda pojedinačnih zagađivača u gradsku kanalizaciju naselja neophodno je i sa ekonomskog i organizacionog aspekta. U cilju planiranja, izgradnje i kontrole rada uređaja za prečišćavanje otpadnih voda, njihovog pravilnog funkcionisanja, kao i celokupnog sistema kontrole kvaliteta voda, od izuzetnog je značaja **izrada katastra otpadnih voda**, kao i sistema za njihovo prečišćavanje. Formiranje katastra zagađivača voda zahteva prikupljanje sledećih podataka:

- ✓ identifikacionih podataka o zagađivaču
- ✓ podataka o proizvodnji
- ✓ podataka o otpadnoj vodi i načinu utvrđivanja količine i kvaliteta otpadnih voda
- ✓ podataka o otpadu koji se formira u toku proizvodnje i tokom prečišćavanja otpadnih voda i o njegovom odlaganju
- ✓ podataka o postrojenju za prečišćavanje otpadnih voda

**Prikupljanje i transport otpadnih voda** podrazumeva primarnu i sekundarnu kanalizacionu mrežu sa pripadajućim objektima. Izgradnja kanalizacione infrastrukture predstavlja jedan od osnovnih preduslova za puštanje u rad i kasnije samu efikasnost PPOV. U cilju što potpunijeg i adekvatnijeg projektovanja sistema i objekata za sakupljanje otpadnih voda osnovne postavke i tehnički principi koji bi trebali da se primenjuju su sledeći:

- ✓ Razdvajanje sistema za otpadne i atmosfere vode, prvenstveno zbog racionalnosti i optimizacije objekata prečišćavanja, uz apsolutni prioritet izgradnje fekalne kanalizacije;
- ✓ Projektovanje trase cevovoda treba da je takvo, da se maksimalno iskoristi mogućnost gravitacionog transporta kanalskog sadržaja;

- ✓ Zbog uslova održavanja, voditi računa o minimalnim prečnicima primarne mreže i sekundarne mreže
- ✓ Maksimalno računsko punjenje cevovoda ne sme biti veće od 50%-70% u separacionom sistemu;
- ✓ Revizione šahtove postavljati na mestima priključaka, promene pravca, profila, nagiba i kaskada, kao i duž pravolinijskih deonica na rastojanju od oko 50 m.;
- ✓ Crpne stanice prema potrebi graditi uglavnom šahtnog tipa- bez posade;

**Monitoring otpadnih voda.** Neophodni element akcionog plana upravljanja gradskim otpadnim vodama predstavlja i monitoring program kvaliteta i kvantiteta otpadnih voda pojedinačnih zagađivača i gradskih otpadnih voda. Monitoring programi predstavljaju prvi korak u uvid o stvarnom stanju kvaliteta i kvantiteta otpadnih voda pojedinačnih industrijskih zagađivača i gradskih otpadnih voda na izlivu u recipijent. Na osnovu Uredbe o graničnim vrednostima emisije zagađujućih materija u vode i rokovima za njihovo dostizanje ("Sl. glasnik RS" br. 67/11, 48/12 i 1/2016) potrebno je definisati granične vrednosti emisije za određene grupe ili kategorije zagađujućih materija za tehnološke otpadne vode, pre njihovog ispuštanja u javnu kanalizaciju.

Obaveza svakog korisnika kanalizacije je da ispoštuje ove GVE za opšte parametre koji su definisani Pravilnikom o načinu i uslovima za merenje količine i ispitivanje kvaliteta otpadnih voda i sadržini izveštaja o izvršenim merenjima (Sl.Glasnik RS 33/2016) kao i specifične parametre za dati industrijski sektor koji su definisani Uredbom o graničnim vrednostima emisije zagađujućih materija u vode i rokovima za njihovo dostizanje ("Sl. glasnik RS" br. 67/11, 48/12 i 1/2016). Iz tog razloga, neophodno je da se u opštinskim propisima (npr. pravilnicima, odlukama) o uslovima priključenja na javnu kanalizacionu mrežu, osim ostalog, precizno definišu određeni tehnički i organizacioni detalji, kao i kvalitet otpadnih voda koji se smeju ispuštati u kolektorsku mrežu. Ovim se propisuju uslovi za ispuštanje otpadnih voda u javnu kanalizaciju, u cilju njene zaštite i zaštite prijemnika od mehaničkog, biološkog, hemijskog i infektivnog štetnog dejstva zapaljivih, eksplozivnih i radioaktivnih materija.

Na ovaj način omogućuje se optimizacija rada na centralnom postrojenju za prečišćavanje otpadnih voda i njegova efikasnost kojom će se omogućiti postizanje GVE na ispustu u recipijent. Takođe je obaveza svakog korisnika kanalizacije da obezbedi reprezentativno mesto za uzorkovanje otpadnih voda u kanalizaciju kao i da vrši merenja količine otpadnih voda. U zavisnosti od količine otpadne vode i tipa otpadne vode određuje se učestalost merenja i vreme uzorkovanja što je definisano u Pravilniku o načinu i uslovima za merenje količine i ispitivanje kvaliteta otpadnih voda i sadržini izveštaja o izvršenim merenjima (Sl.Glasnik RS 33/2016).

Pored obaveznog uzimanja uzoraka otpadnih voda (nadzorni monitoring), neophodno je sprovesti i istraživački monitoring radi potreba planiranja, upravljanja i prečišćavanja otpadnih voda. Rezultati dobijeni ovim monitoringom poslužiće kao ulazni parametri za izradu projektnog zadatka na osnovu kojeg će se izraditi potrebna projektno-tehnička dokumentacija za izgradnju postrojenja za tretman otpadnih voda.

*Izrada projektno-tehničke dokumentacije.* U cilju projektovanja novog postrojenja neophodno je izraditi određenu projektno-tehničku dokumentaciju. Potrebna projektno-

tehnička dokumentacija: IDR - idejno rešenje, PGD – projekat za građevinsku dozvolu, tehnička kontrola PGD, studija o proceni uticaja na životnu sredinu, vodna saglasnost, PZI – projekat za izvođenje, vodna dozvola, upotrebna dozvola.

Na kraju, nakon sistematske primene svih navedenih mera, neophodno je planirati aktivnost izgradnje postrojenja za tretman otpadnih voda. Danas postoji širok spektar projektantskih rešenja za prečišćavanje komunalnih otpadnih voda. Odabir odgovarajućeg projektantskog rešenja zavisi u velikoj meri od efikasnosti uređenja kanizacionog sistema, kao i primenjenih preventivnih mera koje bi smanjile količinu i stepen zagađenja otpadnih voda koje treba tretirati. Ključni korak u odabiru optimalnog rešenja je izrada kvalitetnog projektnog zadatka, što zahteva prethodno sprovođenje adekvatnog monitoringa otpadnih voda, kako je objašnjeno u prethodnom delu teksta.

Koja opcija tretmana otpadnih voda će biti konkretno primenjena zavisiće od mnogo faktora kao što su:

- ✓ Obezbeđenje pozitivne «političke klime» i korišćenje lokalnih finansijskih novčanih izvora. Politička podrška kreirana sa visoko postavljenim prioritetom održivog upravljanja gradskim otpadnim vodama uključujući neophodne izvore finansiranja u okviru integrisanog upravljanja resursima vode.
- ✓ Kreiranje novih uslova životne sredine na lokalnom, pokrajinskom i republičkom nivou.
- ✓ Uključivanje svih korisnika na samom početku i obezbeđenje transparentnosti u upravljanju i procesima donošenja odluka. Uključivanje privatnog sektora u smislu preuzimanja odgovornosti za različite faze u implementaciji projekta prečišćavanja gradskih otpadnih voda pokrenutog od strane javnog sektora. Osnovni razlozi za uključivanje privatnog sektora su: nedostatak resursa (tehničke podrške) u organizaciji javnog sektora u fazi planiranja i dizajna uređaja; poteškoće u dobijanju podrške od strane Vlade u finansiranju projekata tretmana otpadnih voda; nedostatak resursa (tehničke podrške) u radu i održavanju kompletnog posla.
- ✓ Obezbeđenje finansijske stabilnosti i održivosti. Povraćaj finansijskih ulaganja u sektor otpadnih voda je relativno dug proces. Povezivanjem upravljanja otpadnim vodama sa ostalim sektorima može do određene mere obezbediti brži proces obnavljanja novčanih ulaganja, redukciju rizika, finansijsku stabilnost i održivu implementaciju. To podrazumeva inovativne, fleksibilnije i efektivnije mehanizme upravljanja finansijama.
- ✓ Postavljanje sistema naplate za ispuštene otpadne vode u gradsku kanalizaciju na realne osnove.
- ✓ Definisani plan daljeg razvoja opštine. Plan dalje izgradnje kanizacionog sistema u gradovima koji nisu u celosti pokriveni ovim sistemom, statistička obrada podataka priraštaja stanovništva itd.

Na osnovu svega napred rečenog neophodno je da se na kraju da pregledan prikaz (npr. u vidu jedne tabele) svih neophodnih aktivnosti koje je potrebno sprovesti sa ciljem dostizanja GVE do 2040. godine i sa rokovima za postepeno dostizanje tih graničnih vrednosti. Naravno svaka navedena aktivnost mora biti dobro proučena, dokaziva i objašnjena u samom Akcionom planu.



Iako možda izgleda da imamo dovoljno vremena za postizanje navedenih ciljeva, složenost i sistematičnost pristupa ovom problemu, kao i zaštita vodenih tela i zahtevi savremenog društva, posebno kada se posmatraju kroz prizmu klimatskih promena i zaštite životne sredine, izazivaju opravdanu zabrinutost u vezi sa sposobnošću našeg društva da se adekvatno suoči sa ovim izazovom.

## ZAKLJUČAK

Procesa planiranja i implementacije Akcionih planova za tretman otpadnih voda u naseljima je izuzetno složen i suočava se sa mnogobrojnim izazovima koji ugrožavaju ostvarenje jasno definisanih ciljeva do 2040. godine. Navedeni izazovi obuhvataju nedostatak stručnog kadra, nedostatak jasno definisanog obima i sadržaja akcionih planova, kao i tehničke, organizacione i finansijske prepreke.

Ključni koraci u izradi Akcionih planova uključuju analizu postojećeg stanja sistema otpadnih voda, projekciju budućih potreba i demografskih trendova, kao i identifikaciju industrijskih zagađivača i njihovih uticaja. Nadalje, neophodno je sprovesti mere prevencije zagađenja i izgraditi odgovarajuću infrastrukturu prečišćavanja, uz praćenje kvaliteta otpadnih voda putem monitoringa.

U krajnjoj liniji, usklađivanje sa GVE zahteva dugoročno posvećenost, strateško planiranje i koordinaciju svih relevantnih faktora. Samo integrisanim pristupom i zajedničkim naporima može se osigurati efikasan tretman otpadnih voda i zaštititi životna sredinu za buduće generacije.

## Zahvalnica



This project has received funding from the European Union's Horizon Europe research and innovation programme, Horizon Europe – Work Programme 2021-2022 Widening participation and strengthening the European Research Area, HORIZON-WIDERA-2021-ACCESS-02, under grant agreement No [101060110], SmartWaterTwin.

## LITERATURA:

- Bečelić-Tomin M., Dalmacija B., Pešić V., Kerkez Đ., Tomašević Pilipović D. (2017) Akcioni planovi za dostizanje graničnih vrednosti emisije zagađujućih materija u otpadnim vodama, 47. Konferencija - Otpadne vode, komunalni čvrsti otpad i opasan otpad; 05-07.04.2017., Piroć, Srbija; ISBN-978-86-82931-80-5, Izdavač: Udruženje za tehnologiju vode i sanitarno inženjstvo (Beograd), p.10-16.
- Pravilnik o načinu i uslovima za merenje količine i ispitivanje kvaliteta otpadnih voda i sadržini izveštaja o izvršenim merenjima („Sl.Glasnik RS“, br. 33/2016).
- Uredba o graničnim vrednostima zagađujućih materija u vodama i rokovi za njihovo dostizanje, „Službeni glasnik RS“, br. 67/2011, 48/2012, 1/2016, Beograd, Republika Srbija.
- <https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference>

## UTICAJ OTPADNIH VODA NA MIKROBIOLOŠKI KVALITET VODE SAVE I DUNAVA NA TERITORIJI GRADA BEOGRADA

Jovana Jovanović Marić<sup>1</sup>, Margareta Kračun-Kolarević<sup>1</sup>,  
Marija Ilić<sup>1</sup>, Momir Paunović<sup>1</sup>, Maja Raković<sup>1</sup>,  
Stoimir Kolarević<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Institut za biološka istraživanja „Siniša Stanković“ Institut od nacionalnog značaja za Republiku Srbiju Univerzitet u Beogradu, Bulevar despota Stefana 142, 11060 Beograd*

*jovana.maric@ibiss.bg.ac.rs, ORCID: 0000-0003-1635-7787;*

*margareta.kracun@ibiss.bg.ac.rs, ORCID: 0000-0002-8885-2456;*

*marija.ilic@ibiss.bg.ac.rs, ORCID: 0000-0002-7418-7731;*

*mpaunovi@ibiss.bg.ac.rs, ORCID: 0000-0002-6432-1191;*

*rakovic.maja@ibiss.bg.ac.rs, ORCID: 0000-0001-6899-6113;*

*stoimir.kolarevic@ibiss.bg.ac.rs, ORCID: 0000-0002-6938-8803;*

### REZIME

U okviru ove studije, sa mikrobiološkog stanovišta se ispitivao pritisak otpadnih voda na površinske vodotokove na teritoriji grada Beograda. Prisustvo *Escherichia coli* u analiziranim uzorcima ukazuje na značajan uticaj fekalnog zagađenja na lokalitetima koji su pod direktnim pritiskom otpadnih voda. Međutim, negativan uticaj na kvalitet vode je zabeležen i na lokalitetima koji se ne nalaze u neposrednoj blizini kolektora. Izgradnja postrojenja za preradu otpadnih voda može biti od velikog značaja za očuvanje kvaliteta vode i poboljšanje ekološkog statusa površinskih voda u Srbiji.

KLJUČNE REČI: mikrobiološki kvalitet voda; Dunav; Sava; fekalni indikatori

## THE IMPACT OF WASTEWATERS ON THE MICROBIOLOGICAL QUALITY OF THE WATER OF THE SAVA AND DANUBE RIVERS IN THE TERRITORY OF THE CITY OF BELGRADE

### ABSTRACT

Within this study, the microbiological impact of wastewater on surface watercourses in the territory of the city of Belgrade was investigated. The presence of *Escherichia coli* in the analyzed samples indicates a significant impact of fecal contamination in the locations directly affected by wastewater. However, a negative impact on water quality was also observed in areas not in close proximity to sewers. The construction of wastewater treatment plants could be of great importance for preserving water quality and maintaining the ecological status of surface waters in Serbia.

KEY WORDS: microbiological water quality; Danube, Sava, faecal indicators

## UVOD

Emisija otpadnih voda u površinske vode predstavlja ozbiljan problem kako sa aspekta očuvanja životne sredine, tako i iz ugla ograničenja upotrebe ovog resursa za različite ljudske aktivnosti. U Srbiji se preradi samo 13 % komunalnih otpadnih voda pre ispuštanja u recipijente (Agencija za zaštitu životne sredine, 2019), te je izgradnja infrastrukture kao što su kanalizaciona mreža i postrojenja za preradu otpadnih voda neophodna kako bi se umanjio uticaj zagađenja na vodene ekosisteme. Problem nedostatka navedene infrastrukture se posebno uočava na primeru Beograda u kome živi preko 1.700.000 stanovnika, a koji još uvek nema fabriku za preradu otpadnih voda. Dunav i Sava su glavni recipijenti u koje se ispuštaju na relativno malom području velike količine beogradskih otpadnih voda. Pored preko 20 kolektora koji predstavljaju tačkaste izvore zagađenja, u pojedinim delovima grada postoje i brojni difuzni izvori zagađenja zbog nepostojanja kanalizacione mreže. Prethodna istraživanja pokazala su da je kvalitet vode reka na teritoriji grada Beograda narušen i da otpadne vode predstavljaju glavne izvore zagađenja (Kolarević 2021, 2022).

Analize za procenu mikrobiološkog kvaliteta su uključene u program monitoringa kvaliteta površinskih voda u Republici Srbiji u skladu sa Pravilnikom o parametrima ekološkog i hemijskog statusa površinskih voda i parametrima hemijskog i kvantitativnog statusa podzemnih voda (Sl. glasnik RS 74/11). Mikrobiološke analize obuhvataju indikatore fekalnog zagađenja koji ujedno ukazuju i na prisustvo patogenih bakterija koje mogu predstavljati opasnost po zdravlje. Indikatori fekalnog zagađenja uključuju fekalne koliforme i crevne enterokoke. *Escherichia coli* je dominantni predstavnik grupe fekalnih koliforma dok je *Enterococcus faecalis* predstavnik crevnih enterokoka.

Cilj ovog istraživanja je da se sa mikrobiološkog stanovišta ispita koliki je pritisak otpadnih voda na površinske vodotokove na teritoriji grada Beograda. U skladu sa tim, odabran je ukupno 21 lokalitet na Dunavu, Savi i Topčiderskoj reci koji trpe različit stepen zagađenja.

## MATERIJAL I METODE

Istraživanje je sprovedeno tokom 2021. i 2023. godine. Na Dunavu je ispitivano 15, na Savi tri, a na Topčiderskoj reci jedan lokalitet. Na Slici 1 prikazani su ispitivani lokaliteti. Crnom bojom su označeni lokaliteti koji se nalaze u neposrednoj blizini kolektora, te su pod direktnim uticajem otpadnih voda. Sivom bojom označeni su lokaliteti koji nisu pod direktnim zagađenjem.

Uzorci vode sa lokaliteta sakupljeni su pomoću sterilnih boca zapremine 500 ml i transportovani su u rashladnim torbama do laboratorije. Detekcija i kvantifikacija *E. coli* u uzorcima vršena je pomoću Colilert 18 sistema (IDEXX Quanti-Tray 2000). Po 100 ml uzorka vode ili razblaženog uzorka inkubirani su sa supstratom u Quanti Tray/2000 pločama na 37 °C, 24h. Prisustvo *E. coli* u uzorku utvrđeno je pomoću UV svetla (365 nm). Na osnovu vrednosti iz statističkih tablica proizvođača utvrđen je najverovatniji broj *E. coli* u 100 ml uzorka (engl. *Most Probable Number*, MPN). Dobijene vrednosti su korišćene za

procenu kvaliteta, tj. klase vode, u skladu sa Pravilnikom o parametrima ekološkog i hemijskog statusa površinskih voda i parametrima hemijskog i kvantitativnog statusa podzemnih voda (Sl. glasnik RS 74/11).



Slika 1. Mapa ispitivanih lokaliteta: 1- Zemun, 2- Ušće, 3- Topčiderska reka, 4- Savski rukavac, 5- Sajam, 6- Beograd na Vodi, 7- 25. maj, 8- Pančevački most, 9- Ispust kod Pančevačkog mosta, 10- Karaburma kej, 11- Višnjica rukavac, 12- Paradajz ostrvo, 13- Na kraju sveta, 14- Dunavska terasa, 15- Desna obala uzvodno od ada, 16- Male vode sredina kanala, 17- Nizvodno od Malih voda desna obala, 18- Nizvodno od Malih voda leva obala, 19- Izlaz iz Srednjeg kanala, 20- Sredina Velikih voda, 21- Leva obala uzvodno od ada.

Figure 1. Map of investigated sites: 1- Zemun, 2- Ušće, 3- Topčiderska reka, 4- Savski rukavac, 5- Sajam, 6- Beograd na Vodi, 7- 25. maj, 8- Pančevački most, 9- Ispust kod Pančevačkog mosta, 10- Karaburma kej, 11- Višnjica rukavac, 12- Paradajz ostrvo, 13- Na kraju sveta, 14- Dunavska terasa, 15- Desna obala uzvodno od ada, 16- Male vode sredina kanala, 17- Nizvodno od Malih voda desna obala, 18- Nizvodno od Malih voda leva obala, 19- Izlaz iz Srednjeg kanala, 20- Sredina Velikih voda, 21- Leva obala uzvodno od ada

## REZULTATI I DISKUSIJA

Rezultati mikrobioloških analiza prikazani su u Tabeli 1. Prisustvo *E. coli* u analiziranim uzorcima ukazuje na značajan pritisak fekalnog zagađenja na lokalitetima koji su pod direktnim uticajem otpadnih voda. Na ovim lokalitetima zabeležen je loš kvalitet vode (klasa V). Najviša brojnost *E. coli* (čak 24.196.000/100 ml) zabeležena je na lokalitetu Sajam nizvodno od velikog ispusta koji je tu pozicioniran. Međutim, negativan uticaj na kvalitet vode zabeležen je i na lokalitetima koji se ne nalaze u neposrednoj blizini kolektora, u ovom slučaju kvalitet je na osnovu brojnosti *E. coli* varirao u okviru granica III i IV klase. Zanimljivo je istaći da se uticaj otpadnih voda iz ispusta koji se nalaze kod Beograda na vodi, može detektovati na lokalitetu lokalitet 7 (SC 25. maj). Isto tako se uticaj ispusta u Višnjici odražava na kvalitet vode na nizvodnim lokalitetima 13 (Na kraju sveta) i 14 (Dunavska terasa). Na osnovu rezultata dobijenih na lokalitetima koji se nalaze nizvodno od grada, može se zaključiti da je pritisak zagađenja viši na desnoj obali, kao i da je zagađenje prisutno i na lokalitetima koji se nalaze nizvodno od pančevačkih ada.

Tabela 1. Rezultati mikrobioloških analiza uzoraka vode sa ispitivanih lokaliteta.  
Table 1. The results of microbiological analyses of water samples from investigated sites.

Lokalitet	Reka	Datum	MPN <i>E. coli</i> /100 mL	Klasa
1. Zemun	Dunav	12.10.2021.	12.360	IV
		12.04.2021.	3.010	III
2. Ušće	Sava	31.03.2021.	857.000	V
		21.04.2021.	299.000	V
3. Topčiderska reka	Topčiderska reka	31.03.2021.	2.359.000	V
4. Savski rukavac	Sava	31.03.2021.	6.867.000	V
5. Sajam	Sava	31.03.2021.	24.196.000	V
		13.04.2021.	15.531.000	V
6. Beograd na vodi	Sava	31.03.2021.	1.333.000	V
		21.04.2021.	839.000	V
7. SC 25. maj	Sava	26.09.2021.	24.196	IV
8. Pančevački most	Dunav	28.02.2021.	1.720	III
9. Ispust kod mosta	Dunav	28.02.2021.	6.867.000	V
10. Karaburma kej	Dunav	28.02.2021.	4.460	III
11. Višnjica rukavac	Dunav	26.09.2021.	380.800	V
12. Paradajz ostrvo	Dunav	28.02.2021.	5.180	III
13. Na kraju sveta	Dunav	28.02.2021.	186.400	V
14. Dunavska terasa	Dunav	28.02.2021.	12.150	IV
15. Desna obala uzvodno od ada	Dunav	10.08.2023.	12.320	IV
16. Male vode sredina kanala	Dunav	10.08.2023.	5.172	III
17. Nizvodno od Malih voda desna obala	Dunav	10.08.2023.	2.755	III
18. Nizvodno od Malih voda leva obala	Dunav	10.08.2023.	2.382	III
19. Izlaz iz Srednjeg kanala	Dunav	10.08.2023.	5.172	III
20. Sredina Velikih voda	Dunav	10.08.2023.	2.247	III
21. Leva obala uzvodno od ada	Dunav	10.08.2023.	1.467	III

Dobijeni rezultati su u skladu sa prethodnim studijama koje su rađene u ovom sektoru Dunava. Negativan uticaj neprerađenih otpadnih voda na kvalitet vode Dunava pokazan je u studiji Kirschner i sar. (2017). U ovom istraživanju je na osnovu mikrobioloških parametara zabeležen značajno narušen kvalitet vode u potezu od Novog Sada do ušća Velike Morave, kao i značajna razlika u kvalitetu vode u ovom sektoru u poređenju sa sektorima u kojima se prerađuje otpadna voda (npr. Nizvodno od Beča) pre ispuštanja u površinske vodotokove. Evidentno je da savremena postrojenja za preradu otpadnih voda mogu umanjiti pritiske mikrobiološkog zagađenja na površinske vode. Samim tim,

izgradnja ovih postrojenja koja bi, pre svega, prerasurala otpadne vode velikih gradova može biti od velikog značaja za očuvanje kvaliteta vode i poboljšanje ekološkog statusa površinskih voda u Srbiji.

Prisustvo velikog broja *E. coli* na svim ispitivanim lokalitetima ukazuje i na potencijalno prisustvo patogenih mikroorganizama u vodi. Najčešći načini zaraze ljudi ovim patogenima je udisanjem ili ingestijom kontaminirane vode (WHO, 2003). S obzirom da se lokaliteti nalaze u urbanom području, oni se ne koriste za kupanje. Međutim, patogeni u vodi predstavljaju rizik po zdravlje ljudi pre svega na lokalitetima koji se koriste za ribolov ili kao marina za čamce i brodove. Kao primer možemo izdvojiti vrstu *Clostridium perfringens* koja se takođe koristi kao indikator fekalnog zagađenja (Bonde, 1977). Formiranje spora je jedna od važnih karakteristika koja omogućava *C. perfringens* preživljavanje nepovoljnih uslova. Iz tog razloga, ova bakterija se koristi kao indikator dugoročnog fekalnog zagađenja, za razliku od *E. coli* koja ukazuje na trenutno zagađenje (Mueller-Spitz i sar., 2010). Prisustvo spora *C. perfringens* detektovano u vodi i plavnoj zoni na lokalitetima na Savi nizvodno od kolektora (Kračun-Kolarević i sar., 2022), a koji se nalaze u blizini lokaliteta 6 (Beograd na vodi), ukazuje da postoji dodatni rizik od infekcije sporulišućim bakterijama u ovom području.

Dodatnu opasnost predstavlja i antibiotska rezistencija koja je identifikovana kao jedan od primarnih zdravstvenih problema globalno. Komunalne otpadne vode predstavljaju svojevrsne rezervoare rezistentnosti koji omogućuju preživljavanje i širenje postojećih, ali i nastanak novih rezistentnih sojeva (Dagher i sar., 2021). Naša istraživanja su rađena na čitavom toku Dunava ukazuju da su komunalne otpadne vode dominantni faktor koji je uticao na prisustvo antimikrobne rezistencije (Schachner-Groehs i sar., 2024).

## ZAKLJUČAK

Na osnovu mikrobiološke analize utvrđen je narušen kvalitet vode na svim ispitivanim lokalitetima usled fekalnog zagađenja. Rezultati ukazuju da je zagađenje iz otpadnih voda prisutno u vodi ne samo u neposrednoj blizini kolektora, već se taj uticaj odražava na veće područje. Dodatno, prisustvo velikog broja *E. coli* u vodi ukazuje na potencijalno prisustvo patogena, što predstavlja rizik po zdravlje ljudi koji mogu doći u kontakt sa kontaminiranom vodom, pre svega u područjima koji se koriste za rekreaciju..

### Zahvalnica

Ova studija je finansirana od strane Ministarstva nauke, tehnološkog razvoja i inovacija Republike Srbije u okviru ugovora broj 451-03-68/2024-14/200007.

## LITERATURA:

- Kolarević, S., Micsinai, A., Szántó-Egész, R., Lukács, A., Kračun-Kolarević, M., Djordjevic, A., ... & Paunović, M. (2022). Wastewater-based epidemiology in countries with poor wastewater treatment—epidemiological indicator function of SARS-CoV-2 RNA in surface waters. *Science of the Total Environment*, 843, 156964.
- Kolarević, S., Micsinai, A., Szántó-Egész, R., Lukács, A., Kračun-Kolarević, M., Lundy, L., ... & Paunović, M. (2021). Detection of SARS-CoV-2 RNA in the Danube River in Serbia associated with the discharge of untreated wastewaters. *Science of the Total environment*, 783, 146967.
- Dagher, L. A., Hassan, J., Kharroubi, S., Jaafar, H., & Kassem, I. I. (2021). Nationwide assessment of water quality in rivers across Lebanon by quantifying fecal indicators densities and profiling antibiotic resistance of *Escherichia coli*. *Antibiotics*, 10(7), 883.
- Ministarstvo za zaštitu životne sredine Republike Srbije, Agencija za zaštitu životne sredine (2019). *Životna sredina u Srbiji 2004-2019*. Beograd, Srbija.
- WHO (2003). *Emerging Issues in Water and Infectious Disease*; WHO Library Cataloguing-in-Publication Data: Geneva, Switzerland,.
- Bonde G. J. (1977) Bacterial indication of water pollution. In *Advances in Aquatic Microbiology* (Edited by Droop M. R. and Jannasch H. W.), pp. 273-365. Academic Press, London.
- Mueller-Spitz, S. R., Stewart, L. B., Klump, J. V., & McLellan, S. L. (2010). Freshwater suspended sediments and sewage are reservoirs for enterotoxin-positive *Clostridium perfringens*. *Applied and environmental microbiology*, 76(16), 5556-5562.
- Schachner-Groehs, I., Koller, M., Leopold, M., Kolm, C., Linke, R. B., Jakwerth, S., ... & Kirschner, A. K. T. (2024). Linking antibiotic resistance gene patterns with advanced faecal pollution assessment and
- Službeni glasnik RS (2011). Pravilnik o parametrima ekološkog i hemijskog statusa površinskih voda i parametrima hemijskog i kvantitativnog statusa podzemnih voda br. 74/2011.
- Kirschner, A. K. T., Reischer, G. H., Jakwerth, S., Savio, D., Ixenmaier, S., Toth, E., Sommer, R., Mach, R. L., Elier, A., Kolarević, S., Farnleitner, A. H. (2017). Multiparametric monitoring of microbial faecal pollution reveals the dominance of human contamination along the whole Danube River. *Water Research*, 124, 543-555.
- Kračun-Kolarević, M., Nikolić, S., Jovanović Marić, J., Ilić, M., Đukić, A., Paunović, M., & Kolarević, S. (2022). Procena kontaminacije vode i plavne zone reke Save na mestu ispusta otpadnih voda korišćenjem mikrobioloških indikatora fekalnog porekla. In *Voda 2022: zbornik radova 51. godišnje konferencije o aktuelnim problemima korišćenja i zaštite voda*

## IZBOR OPTIMALNE TEHNOLOGIJE IZGRADNJE KANALIZACIONE CRPNE STANICE MAKIŠ KORIŠĆENJEM METODE AHP-VIKOR SA FAZI PRISTUPOM

Ivan Milojković\*, Nataša Prašćević\*\*

\* *Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“ , ul. Jaroslava Černog 80, Beograd, ivan.milojkovic@jcerni.rs, ORCID: 0000-0003-4108-7774*

\*\* *Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet · Bulevar kralja Aleksandra 73, Beograd, natasa@grf.bg.ac.rs, ORCID: 0000-0002-8696-8551*

### REZIME

Analizirana su projektna rešenja za kanalizaciju, prečišćavanje i pumpanje atmosferskih otpadnih voda u Kanalizacionoj pumpnoj stanici (PS) Makiš. Analiza je sprovedena u odnosu na izgradnju sagledavajući korišćenje metode višekriterijumske optimizacije uz razmatranje različitih načina kanalisanja, tretmana i evakuacije otpadnih voda. Analizirani su mnogi kriterijumi prema kojima su ocenjena različita varijantna rešenja za izgradnju kanalizacione PS Makiš. Razmatrani su različiti načini projektovanja i izgradnje objekata. Korišćene su metode AHP, VIKOR i Fuzzy pristup.

KLJUČNE REČI: otpadne vode, pumpna stanica, AHP, VIKOR, Fuzzy

## CHOICE OF THE OPTIMUM TECHNOLOGY FOR THE CONSTRUCTION OF SEWAGE PUMPING STATION MAKISH USING THE AHP-VIKOR METHOD WITH A FUZZY APPROACH

### ABSTRACT

Project solutions for sewage treatment, purification and pumping of atmospheric wastewater in Sewage Pumping Station (PS) Makiš were analyzed. The analysis was carried out in relation to the construction considering the use of the multi-criteria optimization method with the consideration of different ways of channeling, treatment, and evacuation of wastewater. Many criteria were analyzed according to which different variant solutions for the construction of the Makiš sewage treatment plant were evaluated. Different ways of designing and building buildings were considered. AHP, VIKOR and Fuzzy approach methods were used.

KEY WORDS: wastewater, pumping station, AHP, VIKOR, Fuzzy

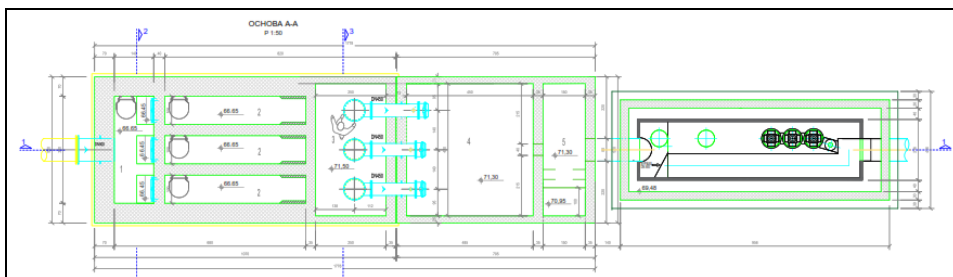


## UVOD

Istražuje se optimalno projektovanje i izgradnja pumpne stanice atmosferskih voda za kompleks Makiš (Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“, 2020). Razmatrani su cevovodi i šahtovi oko tretmana i pumpne stanice potrebni za pravilno funkcionisanje sistema kao i cevovod od pumpne stanice do recipijenta.

Iz pumpne stanice, građevine 1 i separatora atmosferske vode se po projektu gravitaciono, cevovodom, odvode u kanal „Strugara“. U ovoj višekriterijumskoj proceduri korišćene su metode višekriterijumske optimizacije AHP i VIKOR uz primenu Fazi skupova na posmatrane alternative i kriterijume.

Razmatra se rad kanalizacione crpne stanice i tretman atmosferskih voda sa pripadajućom kanalizacijom (Jevtic i sar. , 2011) , (Kessili i Benmamar, 2016) , (Milojković, 2019a) , (Milojković, 2019b) , (Milojković i sar. , 2015) , (Milojković i Romanović, 2018) , (Savić, 2009). Metoda Analitičkih Hijerarhijskih Procesa (AHP), Metoda Višekriterijumskog Kompromisnog Rešenja (VIKOR) i teorija fazi logike su korišćene u višekriterijumskoj optimizaciji pri izboru metode izvođenja objekata. Metoda Analitičkih Hijerarhijskih Procesa (AHP), poput drugih višekriterijumskih metoda (Abu-Taleb i Mareschal, 1995), (Athawale i Chakraborty, 2010), (del Cano i sar. , 2016) se koristi za dobijanje prioriteta faktora rizika u građevinskim projektima. Koriste se modeli (Jaskowski i sar. , 2010), (Prascevic N. i Prascevic Z. , 2016) , (Prascevic N. i Prascevic Z. , 2017) za izbor odgovarajuće metode projektovanja i izvođenja objekata zasnovani na fazi AHP sa trouglastim i trapezoidnim rasplinutim brojevima (elementi fazi skupova) sa konceptom  $\alpha$  reza. N. Prašćević i Ž. Prašćević (Prascevic N. i Prascevic Z. , 2016) razmatrali su problem izbora konstruktivnog sistema za izgradnju industrijske hale po propisanim kriterijumima.



Slika 1. – Osnova pumpne stanice i separatora  
Figure 1. The basis of the pumping station and separator

Teorija fazi logike ima za cilj da obezbedi matematički okvir za tretiranje nepreciznosti i neodređenosti imanentne čovekovim saznavnim procesima kao što su mišljenje i rezonovanje. Uobičajeni način rezonovanja čoveka pri rešavanju svakodnevnih problema počiva na rečima (kvalitativni pristup), a ređe brojevima (kvantitativni pristup). Nastanak

teorije fazi skupova i fazi logike motivisan je željom da se sačini osnova za računanje rečima sa ciljem da se kvalitativnim pristupom rešavaju problemi kao što su: donošenje odluka u uslovima neodređenosti, prepoznavanje oblika i rukom pisanih znakova, analize scene, modelovanja kompleksnih sistema, upravljanje sistemima itd. Nepreciznosti imanentne rečima onemogućuju jednostavnu ili čak primenu opšte teorije dvovrednosne logike i klasičnu teoriju skupova.

## METODE

Metoda Analitičkih Hijerarhijskih Procesa (AHP), poput drugih višekriterijumskih metoda (Abu-Taleb i Mareschal, 1995), (Athawale i Chakraborty, 2010), (del Cano i sar. , 2016), se koristi za dobijanje prioriteta faktora rizika u građevinskim projektima. Pan (Pan, 2008) je predložio model za izbor odgovarajuće metode konstrukcije mosta zasnovan na fazi AHP sa trouglastim i trapezoidnim rasplnutim brojevima (elementi fazi skupova) sa konceptom  $\alpha$  reza. Jaskovski i dr. (Jaskowski i sar. , 2010) je predložio prošireni fazi AHP metod za procenu težine kriterijuma za izbor izvođača, prema poljskom zakonu o javnim nabavkama koji je usklađen sa smernicama EU o toj temi. Taylan i dr. (Taylan i sar. , 2010) su koristili fazi AHP i fazi TOPSIS metode za odabir građevinskih projekata i procenu rizika. N. Prašćević i Ž. Prašćević (Prascevic N. i Prascevic Z., 2016) razmatrali su problem izbora konstruktivnog sistema za izgradnju industrijske hale po propisanim kriterijumima. Polat (Polat, 2016) je predložio integrisani pristup odlučivanju, koji koristi AHP i PROMETEE zajedno za problem izbora podizvođača. del Kano i dr. (del Cano i sar. , 2016) predstavili su metod za analizu neizvesnosti u održivom projektovanju betonskih konstrukcija. Ovaj metod se zasniva na stabilima zahteva, analizi vrednosti i AHP.

Metoda VIKOR, koja je ovde predstavljena, razvijena je za određivanje višekriterijumskog optimalnog rešenja. Konačnu odluku donosi donosilac odluke koji ima složenu strukturu i nedovoljno izraženu preferenciju u postupku optimizacije (Milojković, 2019a; Opricović, 2009) VIKOR metoda je razvijena na takvim metodološkim osnovama da se donosiocu odluke nudi alternativa (ili rešenje) da:

a) nudi kompromis između želja i mogućnosti

b) predstavlja primer kompromisa između različitih interesa učesnika u procesu donošenja odluka.

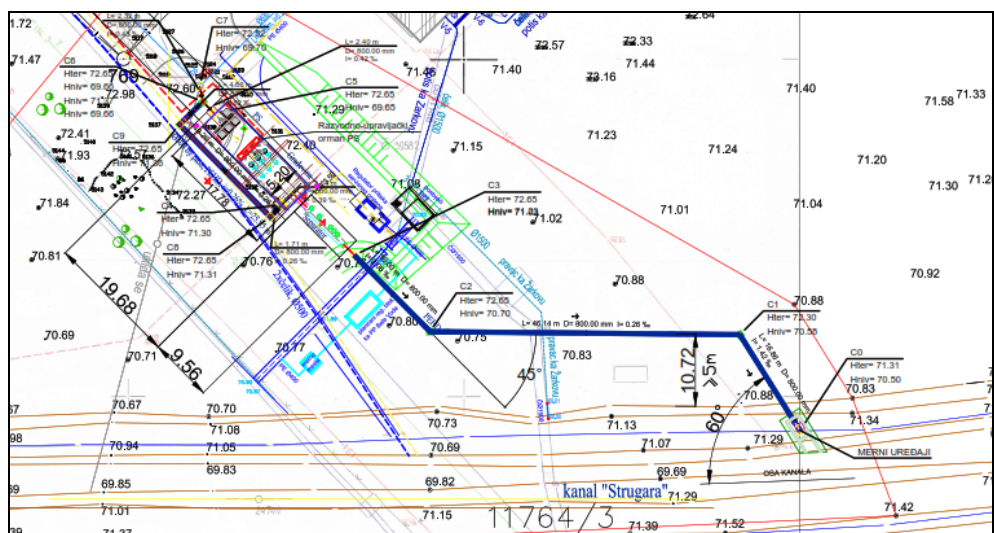
Teorija fazi logike ima za cilj da obezbedi matematički okvir za tretiranje nepreciznosti i neodređenosti imanentne čovekovim sazajnim procesima kao što su mišljenje i rezonovanje. Uobičajeni način rezonovanja čoveka pri rešavanju svakodnevnih problema počiva na rečima (kvalitativni pristup), a ređe brojevima (kvantitativni pristup). Nastanak teorije fazi skupova i fazi logike motivisan je željom da se sačini osnova za računanje rečima sa ciljem da se kvalitativnim pristupom rešavaju problemi kao što su: donošenje odluka u uslovima neodređenosti, prepoznavanje oblika i rukom pisanih znakova, analize scene, modelovanja kompleksnih sistema, upravljanje sistemima itd. Nepreciznosti

imanentne rečima onemogućuju jednostavnu ili čak primenu opšte teorije dvovrednosne logike i klasičnu teoriju skupova.

## REZULTATI I DISKUSIJA

U analizi su razmatrana alternativna rešenja za prečišćavanje atmosferskih voda za kompleks Makiš, cevovode i šahtove oko prečišćavanja i crpne stanice. Konkretno, u ovom radu se analizira projektovanje i izvođenje objekta pumpne stanice (PS) i cevovoda od pumpne stanice do recipijenta – kanala Strugara. Zgrada zgrade crpne stanice je pravougaone osnove, dimenzija 5,4 k 10,9 m ukupne visine 7,75 m. Iskopan je do nadmorske visine od 65,05 metara i pronađen je u sloju peska i šljunka. Postoje dve varijante projektovanja i izgradnje pumpne stanice:

- Varijanta 1 – u ovom alternativnom rešenju – alternativa podrazumeva izvođenje PS u otvorenom iskopu sa izlivom pod pravim uglom u odnosu na osu kanala.
- Varijanta 2 – u ovom alternativnom rešenju – alternativa podrazumeva izvođenje PS u otvorenom iskopu sa izlivom pod uglom u odnosu na osu kanala.
- Varijanta 3 – ova alternativa predviđa da se crpna stanica izvodi kao otvoreni keson – bunar sa izlivom pod pravim uglom u odnosu na osu kanala.
- Varijanta 4 - ova alternativa predviđa da se crpna stanica projektuje kao otvoreni keson – bunar sa izlivom pod uglom u odnosu na osu kanala. Bunar se spušta potkopavanjem bez crpljenja vode pri spuštanju na projektovanu kotu. Za spuštanje bunara potrebno je formirati radni plato.



Slika 2. – Situacija sistema kanalizacione PS Makiš  
Figure 2. The layout of the PS Makish sewer system

Alternative se vrednuju na osnovu sledećih kriterijuma:

- K1 Uticaj izvođenja iskopa na postojeće objekte
- K2 Uticaj na postojeće infrastrukturne vodove
- K3 Uticaj na zauzetost građevinske parcele iskopom
- K4 Uticaj građevinskih radova na rad PP Makiš
- K5 Uticaj podzemnih voda na izvođenje
- K6 Uticaj na težinu objekta

Metodom Analitičkih Hijerarhijskih Procesa (AHP) može da se formira model u četiri faze [13], primenjeno je i u kombinovanoj AHP-VIKOR metodi sa Fuzzy pristupom:

- Strukturiranje problema
- Prikupljanje podataka
- Ocenjivanje relativnih težina
- Određivanje rešenja problema.

U tabeli u nastavku dati su obrađeni ulazni podaci za optimizacioni model i primenu metode AHP-VIKOR sa Fuzzy pristupom za određivanje optimalne tehnologije projektovanja i izgradnje.

Tabela 1. Obradeni ulazni podaci za primenu metode AHP-VIKOR sa Fuzzy pristupom  
Table 1. Processed input data for the application of the AHP-VIKOR method with the Fuzzy approach

AHP-VIKOR sa Fuzzy pristupom

Alternative	Vrednosti kriterijumskih funkcija					
	K1	K2	K3	K4	K5	K6
A1	0.05	0.049	0.071	0.115	0.072	0.523
A2	0.05	0.049	0.040	0.064	0.041	0.313
A3	0.45	0.270	0.331	0.270	0.444	0.082
A4	0.45	0.633	0.557	0.551	0.444	0.082
Ekstremizacija	max	max	max	max	max	max

U nastavku prikazuje se procedura višekriterijumske optimizacije primenom nove AHP – VIKOR metode sa Fuzzi pristupom. Kao optimalno je dobijeno rešenje: Varijanta 4 - ova alternativa predviđa da se pumpna stanica izvede kao otvoreni keson - bunar sa izlivom pod uglom u odnosu na osu kanala koji se nakon gore pomenute detaljne analize primenom metoda višekriterijumske optimizacije (MCO) smatra boljim od ostalih varijanti.



Slika 3. – Dijagram toka aktivnosti AHP – VIKOR metode sa Fuzzy pristupom  
 Figure 3. Activity Flowchart AHP – VIKOR Method With Fuzzy Approach

## ZAKLJUČAK

U prikazanoj proceduri višekriterijumske optimizacije primenom metode AHP – VIKOR sa Fuzzi pristupom kao optimalno je dobijeno sledeće rešenje: Varijanta 4 - ova alternativa predviđa da se pumpna stanica izvede kao otvoreni keson - bunar sa izlivom pod uglom u odnosu na osu kanala koji se nakon gore pomenute detaljne analize primenom metoda višekriterijumske optimizacije (MCO) smatra boljim od ostalih varijanti.

Rezultat ove optimizacije u potpunosti se slaže sa stvarnim zahtevima zainteresovanih i nadležnih komisija za izgradnju predmetnih objekata. Kao optimalno rešenje usvojena je varijanta 4. Ovom alternativom je predviđeno da se crpna stanica izvede kao otvoreni keson - bunar sa izlivom pod uglom u odnosu na osu kanala koji u potpunosti ispunjava zahteve naručioca. Bunarski način izgradnje crpne stanice izbegava interakciju sa okolnim cevovodima, posebno sa magistralnim vodovodom Ø1500 čija je namena snabdevanje grada Beograda pijaćom vodom, kao i sa spoljnim servisnim prstenom fabrike za proizvodnju vode za piće Makiš Ø500 čije oštećenje i prekid izaziva prekid rada cele fabrike za proizvodnju vode za piće Makiš i prekid vodosnabdevanja potrošača na području grada Beograda sa oko 2.000.000 stanovnika. Jednako je važno izbegavati interakciju sa drugim vodovima u neposrednom okruženju ostavljajući dovoljno prostora za planirano izvođenje i održavanje regulatora pritiska i sl. Dobija se nešto teža građevinska konstrukcija, ali je znatno manje štetna u odnosu na ukupne probleme koji su ovom izabranom varijantom izbegnuti.

#### LITERATURA:

- Abu-Taleb, M.F., Mareschal, B. Water resources planning in the Middle East: Application of the PROMETHEE V multicriteria method. *European Journal of Operational Research*, 81 (1995) 500–511
- Athawale, V.M., Chakraborty, S..Facility Layout Selection Using PROMETHEE II Method. *The IUP Journal of Operations Management*, 9(1-2) (2010) 81–98
- del Cano, A.; de la Cruz, M. P.; Gomez, D.; Perez, M. Fuzzy method for analysing uncertainty in the sustainable design of concrete structures, *Journal of Civil Engineering and Management* 22(7): (2016) 924–935. <https://doi.org/10.3846/13923730.2014.928361>
- Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“ ,Beograd IZRADA PROJEKTA ZA IZVOĐENJE I IZGRADNJA PUMPNE STANICE I OBJEKATA ZA TRETMAN I ODVOĐENJE ATMOSFERSKIH VODA – MAKIŠ, Idejno rešenje (2020)
- Jaskowski, P.; Biruk, S.; Bucon, R. Assessing contractor selection criteria weights with fuzzy AHP method application in group decision environment, *Automation in Construction* 19: (2010) 120–126. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2009.12.014>
- Jevtic, M., Milojkovic, I., Stojnic, N. Research of the performance of pulse electrohydrodynamics in blockage removal, *Water Science & Technology*, 64.1 (2011) 102-108
- Kessili, A., Benmamar, S. Prioritizing sewer rehabilitation projects using AHP-PROMETHEE II ranking method. *Water Science & Technology*, 73(2) (2016) 283–291
- Milojković, I., Despotović, J., Karanović, I. Model for Maintenance of Sewerage System based on Inspection. *IWA 7th Eastern European Young Water Professionals Conference*, 17-19 September 2015, Belgrade, Serbia, Publisher: IWA - International Water Association (2015) 538-543
- Milojković, I., Romanović I. Analiza varijantnih rešenja rekonstrukcije KCS „Železnička stanica“ metodom PROMETHEE, 39. Međunarodni stručno-naučni skup „Vodovod i kanalizacija '18“, Valjevo, 09–12.10.2018., Izdavač: Savez inženjera i tehničara Srbije, ISBN 978-86-80067-39-1 (2018) 121-126
- Milojković, I. Upporedna analiza varijantnih rešenja rekonstrukcije KCS „Železnička stanica“ metodama VIKOR i PROMETHEE, 40. Međunarodna konferencija „Vodovod i

- kanalizacija '19', Novi Sad, 01.–04.10.2019., Izdavač: Savez inženjera i tehničara Srbije, ISBN 978-86-80067-42-1 (2019a) 322-327
- Milojković, I. Usporedna analiza prečišćavanja industrijskih otpadnih voda u HE „Đerdap 1“ metodama VIKOR i PROMETHEE, 48. konferencija o aktuelnim temama korišćenja i zaštite voda „VODA 2019“, 04.-06. jun 2019., Zlatibor, Izdavač: Srpsko društvo za zaštitu voda, Beograd, ISBN 978-86-916753-5-6 (2019b) 329-338
- Opricović, S. 2009 Compromise in Cooperative Game and the Vikor Method Yugoslav Journal of Operations Research. Volume 19. Number 2. 225-238. DOI:10.2298/YUJOR0902225O <https://doiserbia.nb.rs/Article.aspx?ID=0354-02430902225O>
- Pan, N. F. Fuzzy AHP approach for selecting the suitable bridge construction method, Automation in Construction 17: (2008) 958–965. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2008.03.005>
- Polat, G. Subcontractor selection using the integration of the AHP and PROMETHEE methods, Journal of Civil Engineering and Management 22(8): (2016) 1042–1054. <https://doi.org/10.3846/13923730.2014.948910>
- Prascevic, N.; Prascevic, Z. Application of fuzzy AHP method on eigenvalues for decision making in construction industry, Technical Gazette 23(1): (2016) 57–64.
- Prascevic, N., Prascevic, Z. APPLICATION OF FUZZY AHP FOR RANKING AND SELECTION OF ALTERNATIVES IN CONSTRUCTION PROJECT MANAGEMENT, JOURNAL OF CIVIL ENGINEERING AND MANAGEMENT, ISSN 1392-3730 / eISSN 1822-3605, Volume 23(8): (2017) 1123–1135 <https://doi.org/10.3846/13923730.2017.1388278>
- Savić, A.D. The use of data-driven methodologies for prediction of water and wastewater asset failures, Centre for Water Systems, University of Exeter, North Park Road, Exeter, EX4 4QF, United Kingdom, Chapter published in the Springer book: Risk Management of Water Supply and Sanitation Systems (2009) 181-190
- Taylan, O.; Bafail, A. O.; Abdulaal, R. M. S.; Kabli, M. R. Construction projects selection and risk assessment by fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS methodologies, Applied Soft Computing 17: (2014) 105–116. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2014.01.003>

## INOVATIVNI PRISTUP NEUTRALIZACIJI POLUTANATA IZ KANALIZACIONOG MULJA PRIMENOM ORGANSKOG $\beta$ - DIKETONATA NA BILJNOM MODELU *TRIFOLIUM PRATENSE* L.

Snežana Branković\*, Radmila Glišić\*, Filip Grbović\*,  
Gorica Đelić\*, Nenad Joksimović\*\*, Ivan Bogdanović\*\*\*,  
Jelena Bogosavljević\*\*\*\*

- \* *Univerzitet u Kragujevcu, Prirodno-matematički fakultet, Institut za biologiju i ekologiju, Radoja Domanovića 12, 34 000 Kragujevac, Srbija;*  
*email:* [snezana.brankovic@pmf.kg.ac.rs](mailto:snezana.brankovic@pmf.kg.ac.rs); *ORCID* 0000-0001-5290-6718;  
*email:* [radmila.glisic@pmf.kg.ac.rs](mailto:radmila.glisic@pmf.kg.ac.rs); *ORCID* 0000-0002-1212-8955;  
*email:* [filip.grbovic@pmf.kg.ac.rs](mailto:filip.grbovic@pmf.kg.ac.rs); *ORCID* 0000-0001-6382-5200;  
*email:* [gorica.djelic@pmf.kg.ac.rs](mailto:gorica.djelic@pmf.kg.ac.rs); *ORCID* 0000-0003-3713-710X;
- \*\* *Univerzitet u Kragujevcu, Prirodno-matematički fakultet, Institut za hemiju, Radoja Domanovića 12, 34 000 Kragujevac, R Srbija;*  
*email:* [nenad.joksimovic@pmf.kg.ac.rs](mailto:nenad.joksimovic@pmf.kg.ac.rs); *ORCID* 0000-0003-3365-6762;
- \*\*\* *Javno komunalno preduzeće "Vodovod i kanalizacija", Kralja Aleksandra I Karađorđevića 48, 34000 Kragujevac, R Srbija;*  
*email:* [ivan.bogdanovic72@gmail.com](mailto:ivan.bogdanovic72@gmail.com); *ORCID* 0009-0006-6581-8673;
- \*\*\*\* *Univerzitet u Beogradu, Poljoprivredni fakultet, Nemanjina 6, 11080 Beograd, R Srbija; email:* [jelena.bogosavljevic@agrif.bg.ac.rs](mailto:jelena.bogosavljevic@agrif.bg.ac.rs);  
*ORCID* 0000-0003-4443-9202.

### REZIME

Cilj ove studije bio je ispitivanje mogućnosti primene inovativnog pristupa neutralizacije polutanata iz kanalizacionog mulja, korišćenjem modifikovane „sendvič“ metode uz upotrebu  $\beta$ -diketonata. Kanalizacioni mulj za potrebe istraživanja uzorkovan je na postrojenju „Sistem za prečišćavanje otpadnih voda Cvetujevac“ u Kragujevcu. Za ispitivanje klijavosti semena model-organizma, crvene deteline (*Trifolium pratense* L.) korišćen je kanalizacioni mulj tretiran organskim  $\beta$ -diketonatom različitih koncentracija. Pokazano je da primena  $\beta$ -diketonata statistički značajno utiče na klijavost semena i rast korenka date vrste. Sintetisana supstanca  $\beta$ -diketonat je pokazala sposobnost da efikasno umanjí toksične efekte polutanata u kanalizacionom mulju, što ukazuje na njen potencijal kao agensa za neutralizaciju štetnih supstanci.

KLJUČNE REČI: kanalizacioni mulj, polutanti,  $\beta$ -diketonat, neutralizacija



# INNOVATIVE APPROACH TO THE NEUTRALIZATION OF POLLUTANTS FROM SEWAGE SLUDGE USING OF ORGANIC $\beta$ - DIKETONATE ON THE PLANT MODEL *TRIFOLIUM PRATENSE* L.

## ABSTRACT

The aim of this study was to examine the possibility of applying an innovative approach to neutralization of sewage sludge pollutants, using a modified “sandwich” method with the use of  $\beta$ -diketonate. Sewage sludge was sampled at the Cvetojevac wastewater treatment plant in Kragujevac, treated with organic  $\beta$ -diketonate of different concentrations and used to test the germination of seeds of red clover (*Trifolium pratense* L.). Application of  $\beta$ -diketonate has a statistically significant effect on seed germination and root growth of the given species. The  $\beta$ -diketonate showed the ability to effectively reduce the toxic effects of pollutants in sewage sludge, showing potential as an agent for neutralizing harmful substances.

KEY WORDS: sewage sludge, pollutants,  $\beta$ -diketonate, neutralization

## UVOD

Životna sredina je sve više opterećena velikim količinama otpadnih voda, usled povećane urbanizacije i industrijalizacije. Pre ispuštanja ovih voda u prirodne vodotokove, a radi minimiziranja njihovog štetnog uticaja na sredinu, kao standardni proces vrši se njihovo prečišćavanje. Na postrojenjima za prečišćavanje kanalizacionih voda, osim njihovog fizičkog prečišćavanja, vrši se i uklanjanje drugih nečistoća i eliminacija patogenih mikroorganizama, nakon čega zaostaju određeni nusproizvodi (Singh and Agrawal, 2008; Vsevolod *et al.*, 2019). Tokom ovog tretmana, postepeno se smanjuje koncentracija lako razgradljivih organskih materijala, ali ostaju nerastvorljivi čvrsti ostaci, označeni kao biočvrste materije, ostaci kućne otpadne vode ili kanalizacioni mulj. Ovaj mulj, usled prisustva toksičnih materija (polutanti, teški metali, organski zagađivači), kao i patogenih mikroorganizama, često predstavlja rizik po zdravlje ljudi i životnu sredinu. Stoga je njegovo pravilno odlaganje ozbiljan ekološki problem s kojim se susreću pomenuta postrojenja, u kojima se on akumulira u velikim količinama. Neke od glavnih metoda za odlaganje kanalizacionog mulja uključuju njegovu primenu na zemljišnu (nanošenje na zemljište), odlaganje u more, deponovanje i spaljivanje (McBride, 2003). Fizičko-hemijska svojstva dobijenog mulja zavise od kvaliteta otpadnih voda i načina njihovog tretiranja. Analize su utvrdile visok procenat prisustva hranjivih neorganskih i organskih materija (50% čvrste frakcije) u kanalizacionom mulju, tako da se on može smatrati i potencijalnim đubrivom u agronomiji i hortikulturi (Wiater and Żebranowicz, 2005; Rao *et al.*, 2007; Oliverio *et al.*, 2011; Deeks *et al.*, 2012; Mazeika *et al.*, 2016), jer ima značajan uticaj na fizička, hemijska i biološka svojstva zemljišta (Kominko *et al.*, 2017). Međutim, njegova direktna primena, bez prethodnog tretmana za minimizaciju njegovog toksičnog efekta predstavlja veliki rizik za ljude i životnu sredinu (Goss *et al.*, 2013). Stoga, pronalaženje hemijskih jedinjenja koja mogu umanjiti ili neutralisati štetni efekat otpadnog mulja je od

suštinskog značaja za zaštitu životne sredine. Jedno od takvih, za ljudski organizam netoksičnih jedinjenja, je i  $\beta$ -diketonat, sintetisan reakcijom metil ketona i dietil oksalata u baznim uslovima (Branković *et al.*, 2022). Njegova sposobnost kompleksovanja sa metalima, a time i sprečavanje njihovog unošenja u biljni organizam, čini ga pogodnim sredstvom za upotrebu u hortikulturi i agronomiji.

Ovo istraživanje je imalo za cilj utvrđivanje mogućnosti primene inovativnog pristupa neutralizaciji polutanata iz kanizacionog mulja pomoću organskog  $\beta$ -diketonata, a samim tim i mogućnost potencijalne primene datog mulja u hortikulturi i agronomiji. Efikasnost različitih koncentracija ispitivane supstance u neutralizaciji i stabilizaciji kanizacionog mulja je bila procenjavana na osnovu stepena inhibicije klijanja i rasta korenka indikatorske biljne vrste *Trifolium pratense* L., izazvane polutantima kanizacionog mulja.

## LISTA SIMBOLA

U Tabeli 1 prikazani su simboli korišćeni u radu za bolje razumevanje metodologije i prezentovanja rezultata eksperimentalnih procedura.

Tabela 1. Simboli korišćeni u radu  
Table 1. Symbols used in the paper

simbol	
$\beta$ diketonat	natrijumova so etil-2-hidroksi-4-[(E)-2-fenilvinil]-4-okso-2-butenoa
M11	0,5g mulja 1+ 2,5g humusa
M11 <sub>50</sub>	0,5g mulja 1+ 2,5g humusa + 1mL $\beta$ -diketonata koncentracije 50 mg/L
M11 <sub>100</sub>	0,5g mulja 1+ 2,5g humusa + 1mL $\beta$ -diketonata koncentracije 100 mg/L
M11 <sub>200</sub>	0,5g mulja 1+ 2,5g humusa + 1mL $\beta$ -diketonata koncentracije 200 mg/L
M21	0,5g mulja 2+ 2,5g humusa
M21 <sub>50</sub>	0,5g mulja 2+ 2,5g humusa + 1mL $\beta$ -diketonata koncentracije 50 mg/L
M21 <sub>100</sub>	0,5g mulja 2+ 2,5g humusa + 1mL $\beta$ -diketonata koncentracije 100 mg/L
M21 <sub>200</sub>	0,5g mulja 2+ 2,5g humusa + 1mL $\beta$ -diketonata koncentracije 200 mg/L

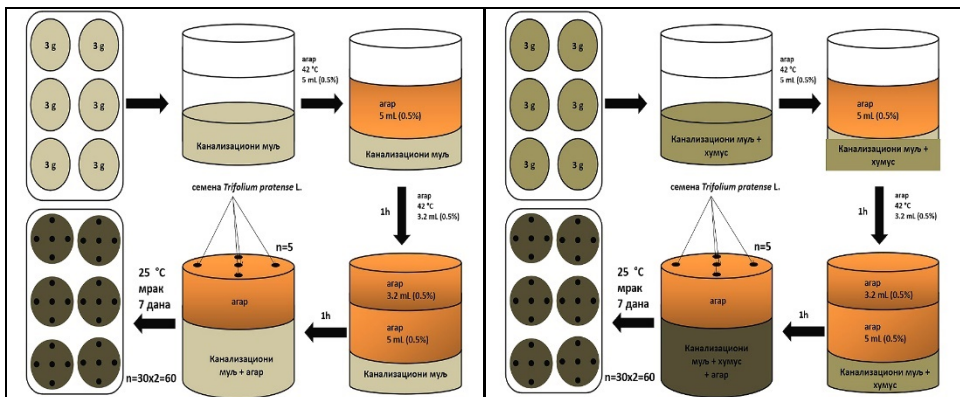
## METODE RADA

Sprovedeno istraživanje je obuhvatilo terenski i laboratorijski rad. Prerađen kanizacioni mulj uzorkovan je tokom oktobra 2023. godine na postrojenju „Sistem za prečišćavanje otpadnih voda Cvetojevca“, u Cvetojevcu, kod Kragujevca. Nakon toga je skladišten i pripremljen za dalje analize na adekvatan način u laboratorijama Prirodno-matematičkog fakulteta u Kragujevcu.

U eksperimentu je po prvi put korišćena, prilagođena laboratorijska metoda biotestova (bioeseja), sendvič metoda sa agarom (Slike 1 i 2). Ovom metodom je istraživana aktivnost polutanata na klijanje semena crvene deteline (*Trifolium pratense* L.), upotrebom agara kao podloge i plejtova sa šest komora (Fuji *et al.*, 2003). Crvena detelina (*Trifolium pratense* L.) je odabrana kao indikatorska vrsta stepena klijavosti primenom sendvič metode (Грбовић, 2021), na osnovu literaturnih podataka. Za eksperiment je odabrana nova sorta crvene deteline „Kruševačka 38“ (K-38), razvijena u Institutu za krmno bilje u Kruševcu iz pretežno domaćih genotipova adaptiranih na naše agroekološke uslove. Biljke ove sorte su

uspravne, bujne, visoke do 80 cm i karakterišu se brzom regeneracijom i dobrom kompetitivnom sposobnošću (<https://www.ikbks.com/blog/portfolio/crvena-detelina/>). Koncept eksperimenta (Slika 1) je podrazumevao postavljanje mešavine kanalizacionog mulja (različitog vremena odlaganja na postojenju), humusa u različitim odnosima i sintetisane supstance  $\beta$ -diketonata (natrijumova so etil-2-hidroksi-4-[(E)-2-fenilvinil]-4-okso-2-butenoa) primenjene u različitim koncentracijama (50, 100 i 200 mg/L). U eksperimentu je korišćen kanalizacioni mulj uzet direktno sa postrojenja - mulj 1 (M11), kao i mulj koji je na deponiji postrojenja odlagan u periodu 3-4 godine - mulj 2 (M21). Humus korišćen u eksperimentu je humusno organska zemlja za cveće firme „Fina“ (Agrofina Sistem, D.D.O., Čačak). Supstanca  $\beta$ -diketonat je sintetisana na Institutu za hemiju Prirodno-matematičkog fakulteta prema standardnoj proceduri (Branković *et al.*, 2022). U eksperimentu su korišćeni šestokomorni plejtovi prečnika svake komore 36 mm i dubine 18 mm. Plejtovi za klijanje semena su pripremljeni prema sledećoj proceduri: 5 mL autoklaviranog agara (0,5%) ohlađenog do 42 °C dodavano je u plejtove, a nakon 1h, dodat je još jedan sloj agara (3,5 mL) koji je ostavljen da odstoji još 45 min do 1h, a zatim po 10 semena vrste *T. pratense* na površinu učvršćenog agara u svaku komoru (60 semena po plejtu).

Eksperimentalni setovi su organizovani u dva segmenta, gde je svaki plejt sadržao različite kombinacije mulja, humusa i  $\beta$ -diketonata (Slike 2 i 3). U prvom segmentu plejtova svaki bunarić (osim M11) je sadržao 2,5 g humusa, 0,5 g mulja 1 i po 1 mL supstance istraživanih koncentracija (M11<sub>50</sub>, M11<sub>100</sub>, M11<sub>200</sub>), a u drugom segmentu plejtova svaki bunarić (osim M21) je sadržao 2,5 g humusa, 0,5 g mulja 2 i po 1 mL supstance istraživanih koncentracija (M21<sub>50</sub>, M21<sub>100</sub>, M21<sub>200</sub>). Na ovako pripremljenim plejtovima sprovedena je gore pomenuta procedura i dodavano po 10 semena crvene deteline u svaki bunarić.

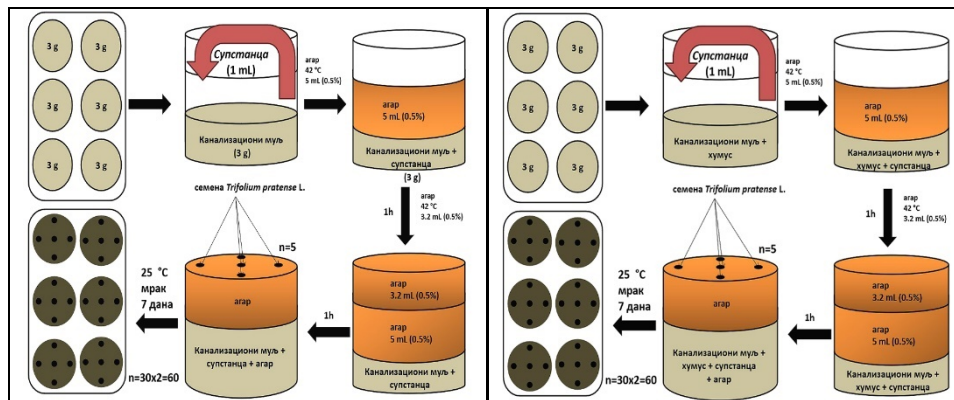


Slika 1. Sendvič metoda sa kanalizacionim muljem – tretman mulj + agar i mulj + humus (prema Fujii *et al.*, 2005)

Figure 1. Sandwich method with sewage sludge - sludge + agar and sludge + humus treatment (according to Fujii *et al.*, 2005)

Plejtovi su zatim inkubirani u mraku na 25 °C u termostatu. Nakon 7 dana, merena je dužina korenka *T. pratense* i određivan je procenat inhibicije rasta u odnosu na kontrolu.

Merenja su vršena uz pomoć digitalnog šublera (nonijusa) sa preciznošću od  $10^{-2}$  mm. Biotestovi su odrađeni u 10 semena po plejtu (n =  $14 \times 10 \times 6 = 840$  semena).



Slika 2. Sendvič metoda sa kanalizacionim muljem – tretman mulj + supstanca i mulj + humus + supstanca (prema Fujii *et al.*, 2005)

Figure 2. Sandwich method with sewage sludge - treatment sludge + substance and sludge + humus + substance (according to Fujii *et al.*, 2005)

Statistička analiza je sprovedena uz pomoć softverskog paketa STATISTICA (STATISTICA, 2011]. Za statističko upoređivanje efekata različitih tretmana na inhibiciju rasta korenka *T. pratense*, primenjena je univarijantna analiza varijansi (ANOVA), metoda koja omogućava analizu varijacija među grupama. Nakon toga, za detaljnije poređenje parova grupa, korišćen je Šefeov post-hoc test (Scheffé's test), koji procenjuje značajne razlike pri nivou značajnosti  $p < 0.05$  i  $p < 0.001$ . Rezultati su predstavljeni kao srednja vrednost (M) i standardna devijacija (SD).

## REZULTATI I DISKUSIJA

Rezultati biotestova u kojima je ispitivan uticaj kanalizacionog mulja na klijanje semena i rasta korenka *T. pratense* L. prikazani su tabelama 2, 3 i 4. Najveći procenat klijavosti zabeležen je u biotestovima sa muljem M11 i M11<sub>50</sub> (80 i 78,34%), a najmanji procenat klijavosti kod M21 i M21<sub>50</sub> (50 i 50,67%). Inhibicija rasta korenka *T. pratense* kod humusa statistički se značajno razlikovala u odnosu na M11<sub>50</sub> и M11<sub>100</sub> ( $p < 0.001$ ), dok je razlika u odnosu na M11 i M11<sub>200</sub> bila bez statističke značajnosti (ns). Dobijeni rezultati pokazuju da je humus imao statistički značajno veće vrednosti inhibicije rasta korenka *T. pratense* u odnosu na mulj 2 netretiran supstancom (M21), dok razlike u odnosu na mulj tretiran supstancom (M21<sub>50</sub>, M21<sub>100</sub> и M21<sub>200</sub>) nisu bile statističke značajne (ns).

Statističkom analizom podataka (Tabela 3) utvrđeno je da najveću inhibiciju rasta korenka pokazuje mulj koji nije tretiran supstancom (M11) u odnosu na mulj koji je tretiran supstancom (M11<sub>50</sub>, M11<sub>100</sub>, M11<sub>200</sub>; ( $p < 0.001$ )). Mulj M11<sub>200</sub> pokazao je statistički značajno veću inhibiciju rasta korenka *T. pratense* u odnosu na M11<sub>50</sub> i M11<sub>100</sub> ( $p < 0.001$ ), kao i mulj M11<sub>100</sub> u odnosu na M11<sub>50</sub> ( $p < 0.001$ ). Dobijeni rezultati ukazuju da je mulj M21<sub>200</sub> pokazao statistički značajno veće vrednosti inhibicije rasta korenka *T. pratense* u

odnosu na M21 ( $p < 0.001$ ), kao i M21<sub>50</sub> и M21<sub>100</sub> ( $p < 0.05$ ). Mulj M21<sub>50</sub> i M21<sub>100</sub> je imao statistički značajno veće vrednosti inhibicije rasta korenka u odnosu na M11 ( $p < 0.001$ ), dok su razlike između M21<sub>50</sub> i M21<sub>100</sub> bile bez statističke značajnosti (ns).

Tabela 2. Inhibicija klijanja i rasta klijanca *T. pratense* L. u biotestovima sa kanalizacionim muljem 1 i 2  
Table 2. Inhibition of germination and growth of seedlings of *T. pratense* L. in bioassays with sewage sludge 1 and 2

materijal	Procenat klijavosti (%)	Inhibicija rasta korenka
	<i>T. pratense</i>	<i>T. pratense</i> (%)
Хумус	58,33	47,38 (3,95)
M11	78,34	50,18 (4,70)
M11 <sub>50</sub>	80	14,87 (2,35)
M11 <sub>100</sub>	66,67	34,84 (3,12)
M11 <sub>200</sub>	75	45,56 (3,85)
M21	50	36,53 (3,50)
M21 <sub>50</sub>	56,67	45,65 (4,21)
M21 <sub>100</sub>	75	43,81 (3,90)
M21 <sub>200</sub>	71,67	51,84 (4,35)

Табела 3. Procenat inhibicije rasta korenka *T. pratense* u biotestovima sa kanlizacionim muljem – uporedna analiza različitih koncentracija dodate supstance

Tabela 3. Percentage inhibition of *T. pratense* root growth in bioassays with sewage sludge - comparative analysis between different concentrations of the added substance

Tip materijala	M11	M11 <sub>50</sub>	M11 <sub>100</sub>	M11 <sub>200</sub>
Inhibicija rasta korenka	50,18 (4,70) a*** b*** c***	14,87 (2,35)	34,84 (3,12) d***	45,56 (3,85) e*** f***
<i>T. pratense</i> (%)	M21 36,53 (3,50)	M21 <sub>50</sub> 45,65 (4,21) a*** d <sup>ns</sup>	M21 <sub>100</sub> 43,81 (3,90) b***	M21 <sub>200</sub> 51,84 (4,35) c*** e* f*

Analiza varijansi (ANOVA) i Šefov test (Scheffe's post-hoc test); srednja vrednost i standardna devijacija - M (SD), n=60; (a) M11 (21) – M11 (21)50, (b) M11 (21) – M11 (21)100; (c) M11 (21) – M11 (21)200; (d) M11(21)50 – M11 (21)100; (e) M11 (21)50 – M11 (21)200; (f) M11(21)100 – M11 (21)200; \*  $p < 0.05$ , \*\*\*  $p < 0.001$ , ns – nema statističke značajnosti

Rezultati uporedne analize inhibicije aktivnosti mulja 1 i 2 (Tabela 4) pokazuju da postoji statistički značajno veća vrednost inhibicije rasta korenka *T. pratense* kod netretiranog mulja M11 u odnosu na M21 ( $p < 0.001$ ). Dobijeni rezultati pokazuju i da mulj 2 koji je tretiran supstancom različitih koncentracija (M21<sub>50</sub>, M21<sub>100</sub> i M21<sub>200</sub>) ima statistički značajno veće vrednosti inhibicije rasta korenka u odnosu na mulj 1 koji je tretiran istim koncentracijama  $\beta$ -diketonata (M11<sub>50</sub>, M11<sub>100</sub> i M11<sub>200</sub>) ( $p < 0.001$ ,  $p < 0.001$ ,  $p < 0.05$ ). Pokazano je da humus, kao bogat izvor organske materije, ima značajnu ulogu u modifikaciji fizičkih i hemijskih osobina supstrata, da unapređuje njegovu strukturu, vodni kapacitet i dostupnost mineralnih materija biljkama (Stevenson, 1994). Dobijeni rezultati ove studije ukazuju da humus utiče na rasta korenka *T. pratense* kod njegove primene sa muljem direktno sa postrojenja koji je tretiran  $\beta$ -diketonatom koncentracija 50 i 100 mg/L, kao i u primeni sa muljem netretiranim ispitivanom supstancom koji je na postojenju bio duže odložen.

Табела 4. Procenat inhibicije rasta korenka *T. pratense* u biotestovima sa kanalizacionim muljem – uporedna analiza inhibitorne aktivnosti mulja 1 i 2

Табела 4. Percentage inhibition of *T. pratense* root growth in bioassays with sewage sludge - comparative analysis of the inhibitory activity of sludges 1 and 2

Tip materijala	M11	M21
	50,18 (4,70) ***	36,53 (3,50)
	M11 <sub>50</sub>	M21 <sub>50</sub>
	14,87 (2,35)	45,65 (4,21) ***
Inhibicija rasta korenka <i>T. pratense</i> (%)	M11 <sub>100</sub>	M21 <sub>100</sub>
	34,84 (3,12)	43,81 (3,90) ***
	M11 <sub>200</sub>	M21 <sub>200</sub>
	45,56 (3,85)	51,84 (4,35) *

Analiza varijansi (ANOVA) i Šefeov test (Scheffé's post-hoc test); srednja vrednost i standardna devijacija - M (SD), n=60; \* p<0.05, \*\*\* p<0.001

Neka istraživanja su pokazala da sintetisana supstanca  $\beta$ -diketonat može efikasno umanjiti toksične efekte polutanata prisutnih u kanalizacionom mulju, ukazujući na njen potencijal u neutralizaciji različitih polutanata mulja (Branković et al., 2022). Dobijeni rezultati pokazuju da primena supstance  $\beta$ -diketonata kod mulja koji nije duže odlagan na postrojenju utiče na smanjenje inhibicije rasta korenka *T. pratense*. U ovoj studiji je pokazano je i da sa povećanjem koncentracije  $\beta$ -diketonata primenjenog kako na mulj koji je odlagan, tako i na mulj koji nije duže odlagan na postrojenju, raste inhibicije rasta korenka *T. pratense*. Takođe, dobijeni rezultati ukazuju da se odlaganjem mulja na postojenju povećava procenat rasta korenka *T. pratense*. Međutim, primenom sintetisane supstance kod mulja koji je duže odlagan povećava se i inhibitorno dejstvo supstance na rast korenka *T. pratense*. Ovo ukazuje da se  $\beta$ -diketonat najefikasnije može primeniti u neutralizaciji mulja koji direktno stiže sa postrojenje i koji nije odlagan u dužem vremenskom periodu. Zabeležena povećana inhibicija rasta korenka *T. pratense* pri višim koncentracijama  $\beta$ -diketonata naglašava potrebu opreza u njegovoj primeni i ukazuje na neophodnost daljih istraživanja. Rezultati ove studije doprinose razumevanju kompleksnih interakcija između kanalizacionog mulja, humusa i sintetisanih sustanci, kao i njihovog uticaja na biljke. To bi moglo da vodi daljem razvoju novih tehnika za rešavanje problema u vezi sa prečišćavanjem, deponovanjem i bezbednim korišćenjem kanalizacionog mulja u hortikulturi i poljoprivredi, a time i zaštiti životne sredine.

## ZAKLJUČAK

Dobijeni rezultati ove studije pokazuju da primena supstance  $\beta$ -diketonata kod mulja koji nije duže odlagan na postrojenju utiče na smanjenje inhibicije rasta korenka *T. pratense*, kao i da sa povećanjem koncentracije ispitivane supstance  $\beta$ -diketonata raste inhibicije rasta korenka *T. pratense* kod oba tipa ispitivanog mulja. Zabeležena povećana inhibicija rasta korenka *T. pratense* pri višim koncentracijama  $\beta$ -diketonata naglašava potrebu opreza

u njegovoj primeni i ukazuje na neophodnost daljih istraživanja. Ovi nalazi mogu poslužiti kao osnova za razvoj inovativnih pristupa u upravljanju kanalizacionim muljem, koji bi omogućili njegovu bezbednu i održivu upotrebu u hortikulturi i poljoprivredi, čime se doprinosi zaštiti životne sredine.

#### LITERATURA:

- Branković, S., Bugarčić, M., Bugarčić, F., Ostojić, A., Petronijević, J., Rosić, G., Radojević, I., Selaković, D., Simić, Z., Joksimović, N., Economic, ecological, and health aspects of  $\beta$ -diketonate application un the process of water purification, *Environmental Science and Pollutin Research* (2022) 29:58703-58715. doi: 10.1007/s11356-022-19986-2
- Deeks, L.K., Chaney, K., Murray, C., Sakrabani, R., Gedara, S., Le, M.S., Tyrrel, S., Pawlett, M., Read, R., Smith, G.H., A new sludge-derived organo-mineral fertilizer gives similar crop yields as conventional fertilizers, *American Journal of Plant Sciences* (2012) 3:1708–1721. doi: 10.1007/s13593-013-0135-z
- Fuji, Y., Parvez, S.S., Parvez, M.M., Ohmae, Y., Lida, Y., Sceening of 239 medicinal plant species for allelopathic activity using the sandwich metod, *Weed Biology Management* (2003) 3:233-241. doi: 10.1046/j.1444-6162.2003.00111.x
- Fujii, Y., Furubayashi, A., Hiradate, S., Rhizosphere soil method: a new bioassay to evaluate allelopathy in the field, In *Proceedings of the 4th World Congress on Allelopathy, Establishing the Scientific Base* (2005) 21–26.
- Goss, M.J., Tubulleh, A., Gorahoo, D., A review of the use of organic amendments and the risk to human health, *Advances in Agronomy* (2013) 120:275–379. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-407686-0.00005-1>
- Grbović, F.J. (2021). Alelopatski potencijal izabranih invazivnih vrsta biljaka iz različitih ekosistema Srbije, Doktorska disertacija, Prirodno-matematički fakultet Univerzitet u Kragujevcu. <https://www.ikbks.com/blog/portfolio/crvena-detelina/>
- Kominko, H., Gorazda, K., Wzorek, Z., The Possibility of Organo-Mineral Fertilizer Production from Sewage Sludge, *Waste Biomass* (2017) 8:1781–1791. doi: 10.1007/s12649-016-9805-9
- Mazeika, R., Staugaitis, G., Baltrusaitis, J., Engineered pel letized organo-mineral fertilizers (OMF) from poultry manure, diammonium phosphate and potassium chloride, *ACS Sustainable Chemistry & Engineering* (2016) 4:2279–2285. doi: 10.1021/acssuschemeng.5b01748
- McBride, M.B. Toxic metals in sewage sludge-amended soil: has promotion of beneficial use discounted the risks? *Advances in Environmental Research* 2003 8(1):5–19.
- Oliverio, J.L., Boscariol, F.C., Mantelatto, P.U., Integrated pro duction of ogranomineral biofertilizer (BIOFOM) using by-prod ucts from the sugar and ethanol agro-industry, associated with the cogeneration of energy, *Sugar Tech* (2011) 13(1):17–22.
- Rao, J.R., Watabe, M., Stewart, T.A., Millar, B.C., Moore, J.E., Pelleted organo-mineral fertilisers from composted pig slurry solids, animal wastes and spent mushroom compost for amenity grasslands, *Waste Manage* (2007) 27:1117–1128.
- Singh, R.P., Agrawal, M., Potential benefits and risks of land application of sewage sludge, *Waste Management* (2008) 28(2):347-358.
- STATISTICA (2011). Version 10.0, StatSoft, Inc., Tulsa, OK, USA.
- Stevenson, F. J. (1994). *Humus Chemistry: Genesis, Composition, Reactions*. John Wiley & Sons, Inc.
- Vsévolod, M., Hackbart, F.M., Alekseev, K., Avanci, M.A., Winter, E.J., Marinho, G.P., Iarozinski, A.N., Catai, R.E., Construction materials wastes use to neutralize hazardous municipal water treatment sludge, *Construction and Building Materials* (2019) 204:800-808.
- Wiater, J., Żebanowicz, E.J., Fertilization value of the granulate made from sewage sludge, *Polish Journal of Chemical Technology* (2005) 7(2):80–84.

# IMPLEMENTACIJA MALIH BIOLOŠKIH UREĐAJA ZA PROČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA U LOKALNIM ZAJEDNICAMA: PERSPEKTIVE I REALIZACIJE

Anja Crnogaj\*, Klara Buljan, Đorđe Pejkić

*BP Group d.o.o., Glavna 2, 31309 Kneževi Vinogradi - Hrvatska,  
acrnogaj.inzenjering@bp-group.hr, \*ORCID: 0009-0005-1401-2998*

## REZIME

Implementacija malih bioloških uređaja za pročišćavanje otpadnih voda nudi ekonomična i ekološka rešenja lokalnim zajednicama. Ovi sastavi, prilagođeni specifičnim potrebama, predstavljaju izvodljivo rešenje za upravljanje otpadnim vodama. Rad analizira tehnologiju, učinkovitost, adaptacija i uspešne primere primene, identificirajući ključne faktore uspeha. Buduće perspektive uključuju tehnološki napredak i poboljšanje regulativa. Cilj je pokazati kako ovi uređaji dobrinose održivom razvoju. Ističući važnost lokalne adaptacije i angažmana zajednice u rešavanju izazova upravljanja vodom.

KLJUČNE REČI: mali biološki uređaji, pročišćavanje otpadnih voda, održivi razvoj, lokalna zajednica, tehnološke inovacije

## IMPLEMENTATION OF SMALL BIOLOGICAL DEVICES FOR WASTEWATER TREATMENT IN LOCAL COMMUNITIES: PERSPECTIVES AND REALIZATIONS

## ABSTRACT

The implementation of small-scale biological devices for wastewater treatment offers economical and ecological solutions to local communities. These systems, tailored to specific needs, represent a feasible solution for wastewater management. The paper analyzes the technology, efficiency, adaptability, and successful application examples, identifying key success factors. Future perspectives include technological advancements and regulatory improvements. The aim is to demonstrate how these devices contribute to sustainable development, emphasizing the importance of local adaptation and community engagement in addressing water management challenges.

KEY WORDS: small biological devices, wastewater treatment, sustainable development, local community, technological innovations



## UVOD

Implementacija malih bioloških uređaja za pročišćavanje otpadnih voda predstavlja ključan korak ka održivom razvoju i zaštiti okoline u lokalnim zajednicama. S obzirom na rastuće izazove povezane s onečišćenjem voda i sve većim pritiskom na prirodne resurse, potreba za inovativnim i pristupačnim rešenjima postaje neizbežna. Ovaj rad fokusira se na analizu potencijala i praktične implementacije malih bioloških uređaja kao održivih tehnologija za pročišćavanje otpadnih voda. Pritom se posebna pažnja posvećuje adaptaciji i integraciji ovih sastava u specifične uslove lokalnih zajednica, uzimajući u obzir njihove ekonomske, ekološke i socijalne aspekte.

Uvodni deo rada osvrće se na trenutno stanje upravljanja otpadnim vodama na globalnom nivou, s naglaskom na izazove s kojima se suočavaju lokalne zajednice, posebno u područjima s ograničenim resursima. Mali biološki uređaji nude fleksibilnost, niže troškove implementacije i održavanja što ih čini privlačnim rešenjem lokalne zajednice.

Dalje, rad detaljno ispituje tehnološke osnove malih bioloških uređaja, uključujući vrste bioloških tretmana, njihovu učinkovitost u uklanjanju različitih zagađivača, te adaptaciju različitim uslovima rada.

Završno, rad razmatra perspektive daljeg razvoja i šire primene malih bioloških uređaja za pročišćavanje otpadnih voda, uzimajući u obzir tehnološke inovacije, regulatorne okvire, te potrebu za jačanjem svesti i kapaciteta lokalnih zajednica. Cilj rada je pružiti sveobuhvatni uvid u mogućnosti koje mali biološki uređaji nude za unapređenje upravljanja lokalnim vodama i održivosti lokalnih zajednica, ističući kako inovacije u ovoj oblasti mogu pridoneti ostvarenju globalnih ciljeva održivog razvoja.

## TEHNOLOŠKI OKVIR MALIH BIOLOŠKIH UREĐAJA

Sve su stroži zakoni danas koji propisuju dopuštene koncentracije onečišćenja u okolini. „Zakonski zahtevi postavljeni s ciljem odgovornog ponašanja prema prirodi, a u skladu s njenim zakonitostima kruženja biogenih elemenata, su zakoni usmereni prema očuvanju okoline i podrazumevaju primenu odgovarajućih postupaka obrade otpadnih voda, često kombinacijom više postupaka obrade, zbrinjavanje aktivnog mulja takođe primenom odgovarajućeg postupka obrade i proizvodnje energije iz obnovljivih izvora energije.“

Uređaji firme BP group d.o.o. projektovani u skladu sa Evropskom normom EN 12566, što znači da je u proračunu kapaciteta uređaja, predviđeno po jednom ekvivalent stanovniku (ES): 150 litara vode i BPK<sub>5</sub> 60 g/dan.

Firma nudi različite modele bioloških pročišćavača otpadnih voda, uključujući šaržne i kontinuirane pročišćavače. Svaki od ovih sistema koristi mikroorganizme i njihove prirodne metaboličke puteve za razgradnju organskih materijala prisutnih u otpadnoj vodi, čime se postiže njeno pročišćavanje pre ispuštanja u okolinu. U zavisnosti odvijaju li se ovi procesi u prisustvu ili bez kiseonika, mogu biti aerobni ili anaerobni.

Biološki procesi primjenjuju se u tretmanu komunalnih i drugih otpadnih voda koje sadrže visoku koncentraciju biorazgradive organske materije, kao što su otpadne vode prehrambene i agro-industrije. Dok se mali biološki pročišćavači uglavnom upotrebljavaju za pročišćavanje otpadnih voda porodičnih kuća, manjih fabrika, hotela, manjih naselja i delova grada.

Tipičan primer kontinuiranog biološkog sastava uključuje nekoliko ključnih koraka: primarnu sedimentaciju, aeraciju i sekundarnu sedimentaciju s povratom aktivnog mulja. Sve počinje u primarnom taložniku, gde dolazi do odvajanja tvrdih materija od tečnosti. U ovom koraku, tvrde materije koje su razgradive ili se talože na dno ili isplivavaju na površinu. Na dnu se stvara mulj koji sadrži anaerobne mikroorganizme koji započinju proces razgradnje tih materija.

Nakon primarne sedimentacije, pročišćena voda se prenosi u aeracijski bazen. Ovde se uduvava komprimirani vazduh kroz membranske aeratore, stvarajući fine mehuriće koji omogućavaju rastvor kiseonika u vodi. Nivo kiseonika u vodi mora biti visok kako bi se omogućila efikasna aktivnost aerobnih bakterija. Ove bakterije konzumiraju otopljene organske materije iz vode, što dodatno pročišćava vodu.

Proces se nastavlja sekundarnom sedimentacijom, gde mešavina otpadne vode, mehurića vazduha i mikroorganizama ulazi u sekundarni taložnik. U ovom koraku, aktivni mulj se odvaja od izbistrene vode. Izbistrena voda zatim izlazi iz uređaja i ispušta se u prirodni recipijent.

Važan deo procesa je recirkulacija aktivnog mulja. Aktivni mulj se vraća u aeracijski bazen, čime se kontinuirano obnavlja proces i osigurava efikasna obrada otpadnih voda. Osim toga, deo mikroorganizama vremenom umire i pretvara se u biomasu koja se može vraćati u primarni taložnik za daljnje taloženje, smanjujući tako volumen viška mulja i potrebu za njegovim uklanjanjem. Ovaj kontinuirani ciklus optimiziran je za maksimalnu učinkovitost u obradi otpadnih voda uz minimalan uticaj na okolinu.



Slika 1. Primer malog kontinuiranog biološkog pročišćača  
Figure 1. Example of a small continuous biological treatment plant

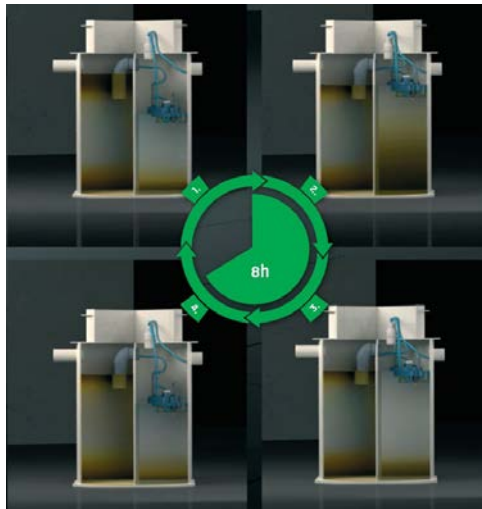
Šaržni uređaji najčešće se primenjuju u slučajevima kada hidrauličko opterećenje varira (restorani, objekti turističkih destinacija i sl.). Pročišćavanje otpadne vode odvija se u tri ciklusa dnevno i u četiri faze po ciklusu.

Uređaj se sastoji od dva funkcionalno različita segmenta: prijemnog odeljka i reaktora. Prijemni odeljak deluje kao primarni taložnik i rezervoar mulja te kao međurezervoar za akumulaciju određenog volumena otpadne vode pre njezina biološkog tretmana u reaktoru. Reaktor, formiran u jednoj komori, mesto je gde se odvija aerobna biološka razgradnja otpadnih tvari korištenjem aktivnog mulja. Dinamika punjenja i pražnjenja reaktora regulirana je pomoću mamut pumpi koje omogućuju precizno upravljanje volumenima vode.

Proces pročišćavanja u reaktoru organizovan je u cikličnim fazama koje uključuju punjenje, pročišćavanje, taloženje i pražnjenje. Tokom faze punjenja, otpadna voda se pumpa iz međurezervoara u reaktor. Sledi faza pročišćavanja gde se voda intenzivno meša i aerira. Aeratori osiguravaju kontinuiranu opskrbu kiseonikom potrebnim bakterijama za metabolizam, pri čemu se aeracija odvija prema unapred određenim intervalima koje diktira upravljačka jedinica.

Nakon pročišćavanja, proces ulazi u fazu taloženja gde se prekida aeracija omogućujući mirovanje vode. Tokom ove faze, aktivni mulj se taloži na dnu rezervoara, dok pročišćena voda ostaje na vrhu. Završna faza, pražnjenje, uključuje ispumpavanje sloja pročišćene vode iz reaktora, dok se višak taloženog mulja prebacuje u zaseban rezervoar za višak mulja.

Ove četiri faze zajedno čine jedan kompletni ciklus pročišćavanja otpadne vode, omogućujući efikasno upravljanje procesom u skladu s ekološkim standardima i potrebama korisnika. Ova tehnologija nudi modularnost i adaptabilnost u obradi otpadnih voda, što je čini idealnom za primene gde su potrebni visoka efikasnost i operativna fleksibilnost.



Slika 2. Primer malog šaržnog biološkog pročišćača  
Figure 2. Example of a small batch biological treatment plant

Da bi se osigurao kvalitet pročišćene otpadne vode u skladu s Pravilnikom o graničnim vrednostima emisija otpadnih voda (NN broj 80/2013, 43/2014 i 27/2015), postrojenja moraju koristiti efikasne biološke pročišćače koji mogu zadovoljiti stroge norme kvaliteta

izlazne vode. Kvalitet izlaznih parametara zavisi o usklađenosti ulaznih parametara s propisima i pravilnom korištenju uređaja. Ako ulazni parametri nisu u skladu s onima navedenima u tehničkoj ponudi ili ako dođe do nepravilne upotrebe, tehničkih kvarova ili neadekvatnog održavanja, ne možemo garantovati zadovoljavanje propisanih izlaznih parametara. Stoga je redovito održavanje i ispravno rukovanje ključno za dugotrajnu efikasnost i usklađenost sa zakonskim okvirima.

Tabela 1. Zahtevani izlazni parametri  
Table 2. Required output parameters

Rb.	PARAMETAR	JEDINICA	GRANIČNA VRIJEDNOST	NAJMANJI POSTOTAK SMANJENJA OPTEREĆENJA
1	Hemijska potrošnja kiseonika HPK <sub>Cr</sub>	mg O <sub>2</sub> /l	125	75 %
2	Biološka potrošnja kiseonika, BPK <sub>5</sub>	mg O <sub>2</sub> /l	25	70 %
3	Suspendovana materija, ST	mg/l	35	90 %

## PREDNOSTI BIOLOŠKIH TRETMANA OTPADNIH VODA

Uređaji za biološko pročišćavanje otpadnih voda imaju ključne prednosti u odnosu na druge tipove uređaja. Prednosti uključuju jednostavnost ugradnje, minimalne zahteve za održavanje te ekonomičnost u dugoročnoj upotrebi.

Jedna od najistaknutijih prednosti ovakvih uređaja je lakoća ugradnje. Ovaj aspekt je izuzetno važan jer omogućava brzu adaptaciju i implementaciju uređaja na različitim lokacijama, bez potrebe za kompleksnim radovima ili specijalizovanom opremom.

U praksi, mulj se izvlači iz uređaja vrlo retko, u intervalima koji mogu varirati od šest meseci do dve godine. Ovo ukazuje na efikasnost procesa pročišćavanja, budući da je potreba za intervencijom minimalna, što takođe smanjuje operativne troškove.

Održavanje uređaja se svodi na redovite nedeljne preglede koje obavlja određena osoba. Ovi pregledi uključuju proveru rada uređaja i osiguranje da svi parametri zadovoljavaju zadane norme. Ako su svi parametri u optimalnom stanju, uređaj neće ispuštati neugodne mirise, što je važno za održavanje kvaliteta života u okolini.

Značajna karakteristika ovih uređaja je odsutnost pokretnih delova, osim kompresora. To značajno smanjuje mogućnost kvarova i dodatno smanjuje troškove održavanja. Kompresor, kao jedini pokretni deo, zahteva održavanje prema proizvođačkim uputstvima, ali je generalno vrlo izdržljiv i efikasan.

Još jedna prednost je da uređaj ne zahteva dodavanje bioaktivatora. Ovo ne samo da pojednostavljuje proces rada uređaja, već dodatno smanjuje operativne troškove, čineći ovu tehnologiju izuzetno ekonomičnom u dugoročnom smislu.

Ukupno gledajući, uređaji za biološko pročišćavanje otpadnih voda pružaju efikasan, ekonomičan i jednostavan način za upravljanje otpadnim vodama, uz minimalan uticaj na okolinu i niske operativne troškove.

## ZAKLJUČAK

Implementacija malih bioloških uređaja za pročišćavanje otpadnih voda predstavlja inovativno i održivo rešenje koje može značajno doprinijeti upravljanju otpadnim vodama na lokalnom nivou, posebno u zajednicama s ograničenim resursima. Kroz analizu tehnoloških osnova, regulatornih okvira i praktičnih primena, ovaj rad pokazuje kako mali biološki pročištači nudi fleksibilnost, efikasnost i ekonomske prednosti koje su ključne za održivi razvoj.

Prednosti ovih sastava uključuju jednostavnu instalaciju, niske operativne troškove, minimalnu potrebu za održavanjem, te visoku efikasnost u obradi otpadnih voda. Oni su prilagođeni različitim uslovima rada, mogući za implementaciju u raznolikim geografskim i socijalnim okruženjima, i primenjivi su na širok spektar industrija i domaćinstava. S obzirom na to da ne zahtevaju kompleksnu infrastrukturu ni visoke početne investicije, mali biološki pročištači predstavljaju optimalno rešenje za mnoge zajednice koje se suočavaju s izazovima u upravljanju otpadnim vodama.

Tehnološke inovacije i dalji razvoj ovih sastava mogu dodatno unaprediti njihovu učinkovitost i adaptabilnost, pružajući time još veći potencijal za globalno širenje njihove upotrebe. U kontekstu globalnih ciljeva održivog razvoja, mali biološki pročištači otpadnih voda ne samo da doprinose zaštiti okoline i očuvanju prirodnih resursa, već i omogućavaju lokalnim zajednicama da unaprede kvalitet života i održivost svojih sredina.

Ovaj rad naglašava važnost šireg prihvatanja i podrške ovakvim tehnologijama, kako na lokalnom tako i na globalnom nivou, te ističe potrebu za kontinuiranim istraživanjima i edukacijom kako bi se osiguralo da sve veći broj zajednica može iskoristiti prednosti koje mali biološki pročištači nude. Konačno, implementacija ovih tehnologija predstavlja ključan korak napred prema održivijem i ekološki odgovornijem upravljanju otpadnim vodama, što je od esencijalne važnosti za budućnost naše planete.

## LITERATURA:

- Jurac, Z.: Otpadne vode, Fakultet u Karlovcu, Karlovac 2009  
Dellavia, A., Marković, M., Habuda-Stanić, M., Kovačić, Đ., Bubalo, A., Popović, B.: Wastewater-Based Crop Irrigation: An Issue or a Solution?, Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek, Agricultural Institute Osijek 2023

## OPTIMIZACIJA PROCESA ZA TRETMAN OTPADNIH VODA U KOKSNOJ INDUSTRIJI: IZAZOVI I INOVATIVNA REŠENJA

Klara Buljan, Anja Crnogaj, Đorđe Pejkić

*BP Group d.o.o., Glavna 2, 31309 Kneževi Vinogradi - Hrvatska,  
[kbuljan.inzenjering@bp-group.hr](mailto:kbuljan.inzenjering@bp-group.hr), ORCID: 0009-0005-1401-2998*

### REZIME

Sve više industrija teži očuvanju prirodnih resursa i promenama u zbrinjavanju nusprodukata i pročišćavanju nastale otpadne vode. Jedna od njih je i GIKIL, koksara Lukavac. S obzirom na zahtevnost i problematiku projekta, bila je potrebna velika snalažljivost, strpljenje, rad i trud kako bi se postigli zadovoljavajući izlazni parametri i ispunili zahtevi propisani Uredbom. Količina otpadne vode iz procesa koksanja iznosi 1200m<sup>3</sup>/dan, s početnim parametrima daleko iznad dopuštenih granica, što je zahtevalo korekciju. Predloženo i sprovedeno tehnološko rešenje obuhvatilo je biološku i fizičko-hemijsku obradu, uključujući sisteme dubinske aeracije, automatizaciju procesa, nadogradnju postojećeg sistema, taloženje i dehidraciju mulja..

KLJUČNE REČI: koksara Lukavac, pročišćavanje otpadnih voda, biološka i fizičko-hemijska obrada, tehnološke inovacije

## PROCESS OPTIMIZATION FOR WASTEWATER TREATMENT IN THE COKE INDUSTRY: CHALLENGES AND INNOVATIVE SOLUTIONS

### ABSTRACT

More and more industries are striving to conserve natural resources and make changes in the disposal of by-products and the treatment of resulting wastewater. One of them is GIKIL, the Lukavac coke plant. Given the complexity and challenges of the project, significant adaptability, patience, hard work, and effort were required to achieve satisfactory output parameters and meet the requirements prescribed by regulations. The amount of wastewater generated in the coking process is 1200 m<sup>3</sup>/day, with initial parameters far exceeding permissible limits, necessitating correction. The proposed and implemented technological solution involved biological and physico-chemical treatment, including deep aeration systems, process automation, upgrading of the existing system, and sludge settling and dehydration

KEY WORDS: Lukavac Coke Plant, wastewater treatment, biological and physico-chemical treatment, technological innovations

## UVOD

Otpadna voda iz koksnog industrijskog procesa sadrži visoke koncentracije teških metala i različitih hemikalija, čiji spojevi mogu biti štetni za okolinu ako se ne tretiraju pre ispuštanja. Takođe, sve je važnije recikliranje vode radi smanjenja količine otpadne vode i minimaliziranja uticaja na okolinu, uz zadovoljenje regulatornih standarda zaštite okoline i očuvanja vodnih resursa za buduće generacije.

Otpadne vode Koksare GIKIL d.o.o. u Lukavcu imaju prekomernu koncentraciju fizičko-hemijskih, hemijskih i biokemijskih zagađenja. Voda se prvobitno čisti na lokaciji putem postojećeg sistema za pročišćavanje otpadnih voda, koji u završnoj fazi koristi dvostepeni biološki proces. Međutim, takav proces čišćenja nije dovoljno efikasan, pa efluent iz uređaja uvek ima povećane vrednosti osnovnih parametara i sadrži konstituente poput amonijaka, cijanida, fenola i rodanida, čije koncentracije premašuju zakonom dozvoljene granične vrednosti.

Tipične trenutne vrednosti koncentracija nekih od navedenih pokazatelja kvaliteta vode prikazane su u *tablici 1*.

*Tablica 1.* Tipične vrednosti nekih od pokazatelja kvaliteta efluenta iz postojećeg uređaja za pročišćavanje otpadnih voda Koksare u Lukavcu.

*Table 1.* Typical values of some of the indicators of effluent quality from the existing wastewater treatment plant at the Coke Plant in Lukavac.

Redni broj	Pokazatelj kakvoće	Područje vrijednosti	Mjerna jedinica
1.	KPK	257 – 360	mg/L
2.	Fenoli	3,6 – 2,82	mg/L
3.	Rodanidi	0,1 – 0,34	mg/L
4.	Cijanidi	>0,5	mg/L

*Tablica 2.* Tipične vrednosti nekih od pokazatelja kvaliteta efluenta iz postojećeg uređaja za pročišćavanje otpadnih voda Koksare u Lukavcu.

*Table 2.* Typical values of some indicators of effluent quality from the existing wastewater treatment plant at Koksare in Lukavec.

Redni broj	Pokazatelj kvaliteta	Područje vrednosti	Merna jedinica
1.	HPK	125	mg/L
2.	Fenoli	0,1	mg/L
3.	Rodanidi	0,1	mg/L
4.	Cijanidi	0,1	mg/L

## ISPITIVANJE PARAMETARA, LABORATORIJSKO TESTIRANJE

Pročišćavanje otpadnih voda Koksare u Lukavcu moguće je sprovoditi putem fizičko-hemijskih, hemijskih i bioloških postupaka. Pročišćavanje je izvršeno u laboratorijskim uslovima putem procesa koagulacije i flokulacije radi uklanjanja cijanida i organskog opterećenja, naprednih oksidacionih procesa Fentonovom reakcijom radi dodatnog uklanjanja organskog opterećenja i organskih mikrokonstituenata, kao i bioloških procesa završne obrade otpadnih voda.

Maksimalna dnevna količina otpadne vode iznosi 1200 m<sup>3</sup>/dan, a maksimalni satni protok je 50 m<sup>3</sup>/h. Za eksperimente koagulacije i flokulacije korišćena je tehnika JAR testova, dok su Fentonove reakcije sprovedene korišćenjem termostatanog laboratorijskog reaktora s ručnim doziranjem reaktanata. Što se tiče poboljšanja biološkog dela procesa, sprovedeno je kroz pilot postrojenje kroz koje je otpadna voda prošla kroz biološki filter koji sadrži aktivni uglj.

Rezultati laboratorijskih testiranja, kao i kombinacija različitih postupaka koji uključuju taloženje cijanida solima Fe(II) i Fe(III), koagulaciju i flokulaciju otpadnih voda sa stvorenim željeznim (III) hidroksidom iz vode, uspešno su uklonili kako cijanide tako i organsko opterećenje. Nadalje, proces Fentonove reakcije pokazuje uklanjanje mikrokonstituenata organskog porekla, uz dodatno uklanjanje organskog opterećenja. Završna obrada otpadne vode kroz biološki filter sa aktivnim ugljem dovela je do postizanja vrednosti ispod zakonom propisanih graničnih vrednosti.

### Postupak koagulacije i flokulacije

Proces koagulacije i flokulacije sprovodi se dodavanjem Fe(II) sulfata ili Fe(III) hlorida u otpadnu vodu pri pH vrednosti od 7-8. Prilikom uklanjanja cijanida pomoću Fe(II) sulfata, Fe(II) joni postepeno oksidiraju u Fe(III) jone, zbog čega je potreban sistem aeracije kako bi se taloženje bolje odvajalo.

Radi poboljšanja i održavanja odgovarajuće pH vrednosti, predviđeno je doziranje lužine (NaOH), jer doziranjem Fe(II)/Fe(III) spojeva dolazi do njihove hidrolize i povećanja kiselosti otpadne vode.

Sistem za koagulaciju i flokulaciju ima zapreminu od 10 m<sup>3</sup> s hidrauličkim zadržavanjem od približno 15 minuta. Radi adekvatne homogenizacije, uvedeno je brzo i sporo mešanje pomoću mješalice.

### Postupak sa naprednim oksidacionim sredstvima

Za naprednu oksidaciju koristi se Fentonova reakcija, uz fino podešavanje pH vrednosti otpadne vode u rasponu od 3 do 4, kao i doziranje Fe(III) sulfata i vodik peroksida. Procesi se odvijaju relativno sporo na sobnoj temperaturi, ali je poželjno primenjivati temperature iznad 40 °C.



Sistemski reaktor, čiji je volumen otprilike 40 m<sup>3</sup>, osigurava kontrolisane uslove reakcije i bezbednost operatera.

### Taloženje

Nakon završetka oksidacijske faze, reakciona smeša neutrališe se lužinom pre daljnjeg taloženja u lamelarnom taložniku. Lamelarni taložnici su dizajnirani kako bi potpuno povećali površinu taloženja uz minimalan prostor. Njihova specifična geometrija omogućava efikasno taloženje čestica uz dugotrajno zadržavanje mulja, pružajući dodatnu fazu obrade otpadnih voda.

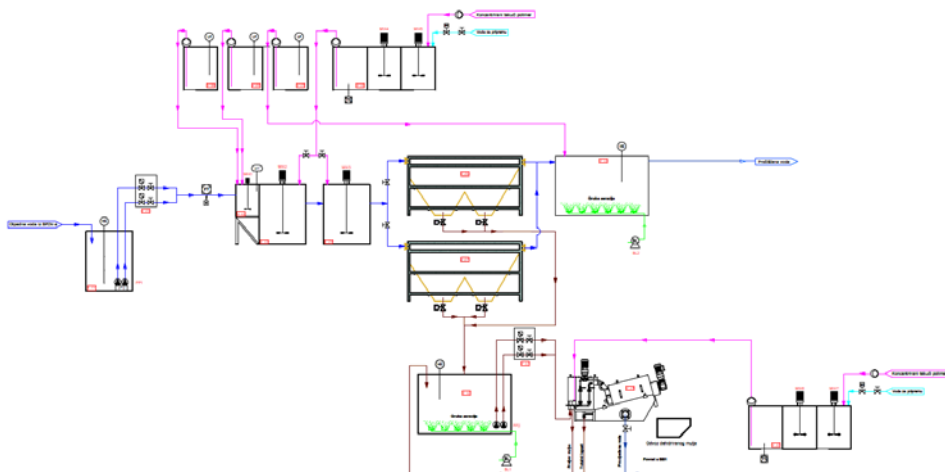
### Završna biološka obrada

Završna biološka obrada se sprovodi kroz dvoslojni filtracijski sistem, pri čemu gornji sloj (porozna struktura) aktivnog uglja služi kao nosač mikroorganizama i adsorbira preostali vodik peroksid iz reakcione smese. Donji sloj kvarcnog peska služi kao filtracijski medij za uklanjanje preostalih suspendovanih čestica.

## TEHNOLOŠKO RJEŠENJE

Predloženo tehnološko rešenje sastoji se od sledećih celina:

- Uvođenje sistema aeracije i mešanja otpadne vode u rezervoaru za egalizaciju
- Optimizacija biološkog procesa pročišćavanja (automatizacija procesa)
- Nadogradnja postojećeg sistema pročišćavanja, posle bioloških bazena, sa dodatnom fizičko-hemijsko-biološkom obradom (završni stepen pročišćavanja)
- Uređaj za mašinsku dehidraciju mulja



Slika 1. Tehnološka shema druge faze  
Slika 1. Technological scheme of the second phase

## Hemijska stanica

U svrhu koagulacije, u otpadnu vodu dozirala se rastvor aluminijum sulfata, ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ), koji se priprema rastvaranjem kristalnog aluminijum sulfata u tehničkoj vodi koje zamenjen korištenjem PAC-a (polialuminijum hlorid).

Prednosti PAC-a, u odnosu na aluminijum sulfat su sledeće:

- najmanje 30% manja količina potrebna za uspešan proces koagulacije
- nije potrebno rastvaranje, što znači manju potrošnju vode i jednostavniju manipulaciju
- radi jednako dobro na svim temperaturama
- radi u širokom rasponu pH vrednosti
- aluminijum koji nakon reakcije zaostaje u vodi nastaje znatno manje nego u slučaju korištenja aluminijum sulfata



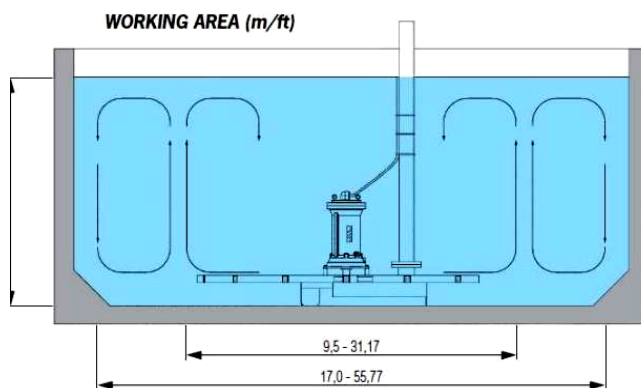
Slika 2. Izgled hemijske stanice nakon sanacije  
Figure 2. Appearance of the chemical plant after remediation



Slika 3. Dozirna stanica sa dozirnim pumpama  
Figure 3. Dosing station with dosing pumps

### Predodzračivač i biološki bazeni

Betonski bazen predodzračivača je saniran, a postavljen je novi grubo aerator. U biološkim bazenima, radi mešanja i aeracije, koriste se površinski mikseri, koji tokom rada raspršuju kapljice vode u vazduh, omogućavajući tako otapanje kiseonika u kontaktu sa vodom. Nedostatak korišćenja površinskih miksera je razbijanje flokula aktivnog mulja, što nepovoljno utiče na biološke procese pročišćavanja otpadnih voda. Shodno tome, zamenjeni su dubinskim samousisnim aeratorima, gde se mehurići vazduha ubacuju u otpadnu vodu s dna, omogućavajući tako otapanje kiseonika kroz celokupnu zapreminu vode. Osim što ubacuju vazduh, ovi aeratori takođe služe i za mešanje otpadne vode.



Slika 4. Primer dubinskog aeratora  
Figure 4. Example of a deep aerator

### Fizičko – hemijska obrada

Sastoji se od taloženja nastalog mulja u lamelarnom protočnom taložniku, gde se mulj odvaja od pročišćene vode.



Slika 5. Lamelarni taložnik  
Figure 5. Lamella settler

## Dehidracija mulja

Nastali mulj se zatim pomoću zračne pumpe iz spremnika mulja dovodi na strojnu dehidraciju u pužnom dehidratoru, gde se izdvaja voda iz muljnih flokula i volumen mulja se smanjuje do 20 puta. Tako pripremljenom mulju dodaje se pripremljeni polimer iz uređaja za pripremu polielektrolita, te se meša sporim mikserom kako bi se mulj dobro flokulirao. Smesa flokuliranog mulja gravitacijski odlazi u telo dehidratora, gde se vrši postupak dehidracije (istiskivanja) vode.

Vijak "puž" se okreće i prenosi čvrste materije uz bubanj, dok zbog pritiska između fiksnih i pokretnih ploča dolazi do odvajanja vode, a kod zadnje rotirajuće ploče izlazi dehidrirani mulj. Nastali dehidrirani mulj se skladišti i odvodi na daljnje zbrinjavanje.



Slika 6. Dehidracija mulja  
Figure 6. Sludge dehydration

*Tablica 3.* Rezultati merenih izlaznih parametara nakon pročišćavanja otpadne vode postavljenom tehnologijom

*Table 3.* Results of measured output parameters after wastewater treatment using the installed technology

Redni broj	Pokazatelj kvaliteta	Područje vrednosti	Merna jedinica
1.	HPK	62,5	mg/L
2.	Fenoli	0,03	mg/L
3.	Rodanidi	0,01	mg/L
4.	Cijanidi	0,04	mg/L

## ZAKLJUČAK

Rezultati provedenih eksperimenata dodatne obrade efluenta unutar postojećeg postrojenja za pročišćavanje otpadnih voda Koksare u Lukavcu sugeriraju visoku verovatnoću postizanja zadovoljavajuće kvalitete pročišćene vode primenom kombinovanih metoda obrade. Konkretno, primena koagulacije/flokulacije sa spojevima Fe (II) i/ili Fe (III), uz Fentonovu reakciju, te naknadnu biološku obradu putem aktivnog uglja, daje dobre rezultate u smanjenju koncentracije organskih materija i suspendiranih čestica u efluentu.

# ANAEROBNA DIGESTIJA OTPADNOG MULJA IZ POSTROJENJA ZA PREČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA – SAVREMENI TRENDovi I PERSPEKTIVE

Teodora Marković\*, Nikola Pilipović\*,  
Vladanka Presburger Ulniković\*, Violeta Cibulić\*

*\*Fakultet za ekologiju i zaštitu životne sredine, Univerzitet "Union Nikola Tesla",  
Cara Dušana 62-64 Beograd, 11158,  
vladanka.gsc@unionnikolatesla.edu.rs, ORCID: 0000-0001-6144-3399*

## REZIME

Ovaj rad istražuje proces anaerobne digestije i inovativnu tehniku sušenja u mikrotalasnim pećnicama. Nakon anaerobne digestije, biološka čvrsta materija i biogas se koriste za proizvodnju aktivnog uglja. Ovaj metod omogućava smanjenje volumena mulja i njegovu upotrebu u prečišćavanju vode i građevinskim materijalima. Cilj je minimiziranje otpada i stvaranje sigurnih proizvoda. Ovaj multidisciplinarni pristup doprinosi dugoročnoj zaštiti životne sredine i održivom upravljanju prirodnim resursima.

KLJUČNE REČI: anaerobna digestija, aktivni ugalj, otpadni mulj, biogas, biološke čvrste materije

## ANAEROBIC DIGESTION OF WASTE SLUDGE FROM WASTEWATER TREATMENT PLANTS- CONTEMPORARY TRENDS AND PERSPECTIVES

## ABSTRACT

The disposal of sewage sludge presents a long-term environmental challenge. This paper explores the process of anaerobic digestion and an innovative technique involving microwave oven drying for sludge treatment. Following anaerobic digestion, the organic solid matter and biogas are utilized to produce activated charcoal using microwave drying. This method reduces the volume of sludge and allows its utilization in water purification and building materials. The aim is to minimize waste and generate safe products. This multidisciplinary approach contributes to long-term environmental preservation and sustainable natural resource management.

KEY WORDS: anaerobic digestion, activated carbon, waste sludge, biogas, biological solids.

## UVOD

Anaerobna digestija je jedan od najstarijih i najčešće korišćenih procesa za stabilizaciju mulja otpadnih voda za postrojenja sa prosečnim proticajima većim od 20.000 m<sup>3</sup>/d. Proces transformiše organske čvrste materije u mulju, u odsustvu kiseonika, u gasovite krajnje proizvode kao što su metan i ugljen-dioksid i u manje štetne supstance. Procesom anaerobne digestije takođe se postiže smanjenje količine čvrstih materija i uništavanje patogenih organizama. .

## ANAEROBNA DIGESTIJA

Anaerobna digestija nudi nekoliko prednosti u odnosu na druge metode stabilizacije mulja, koje uključuju:

Proizvedeni gas metan je izvor upotrebljive energije.

- Proizvedeni gas metan je izvor upotrebljive energije. U većini slučajeva proizvedena energija premašuje energiju potrebnu za održavanje temperature za varenje mulja. Višak metana se može koristiti za grejanje zgrada ili za proizvodnju električne energije.
- Smanjenje ukupne mase mulja kroz konverziju organske materije prvenstveno u metan, ugljen-dioksid i vodu. Obično se uništi 30 do 65% sirovog mulja. Ovo može značajno smanjiti troškove odlaganja mulja.
- Svarene čvrste materije uglavnom nemaju neprijatan miris.
- Svarene biočvrste materije sadrže hranljive materije kao što su azot i fosfor, i organske materije koje mogu poboljšati plodnost i teksturu zemljišta.
- Može se postići visoka stopa distribucije patogena, posebno procesom termofilne digestije.

Glavni nedostaci anaerobne digestije mulja su sledeći:

- Kapitalni troškovi su visoki jer su potrebni veliki zatvoreni rezervoari za digestiju opremljeni sistemima za hranjenje, zagrevanje i mešanje mulja.
- Potrebni su veliki reaktori da obezbede vreme hidrauličkog zadržavanja duže od 10 dana da bi se mulj efikasno stabilizovao. Ovaj spor proces varenja takođe ograničava brzinu kojom se sistem može prilagoditi promenama opterećenja otpada, temperature i drugih uslova okoline.
- Mikroorganizmi uključeni u anaerobnu digestiju su osetljivi na male promene u životnoj sredini. Zbog toga je proces podložan poremećajima. Da bi se sprečili poremećaji neophodna je stalna kontrola procesa.
- Proces proizvodi struju lošeg kvaliteta. Supernatanti često imaju visoku potrebu za kiseonikom i visoku koncentraciju suspendovanih čvrstih materija, azota i fosfora. Ovi tokovi mogu zahtevati dodatni tretman pre reciklaže u influentne tokove u postrojenjima koja su potrebna za uklanjanje azota i fosfora iz otpadnih voda. (Gupta i sar., 2021)

## FAKTORI ŽIVOTNE SREDINE

Važni faktori koji utiču na brzinu tri faze anaerobnih reakcija su: Vreme zadržavanja čvrstih materija (SRT), Hidraulično vreme zadržavanja (HRT), Temperatura, pH, Alkalnost, Prisustvo toksičnih materija.

Eksperimentisanje tokom godina dalo je četiri osnovne varijacije anaerobne digestije mulja: varenje niske brzine, varenje visoke brzine, dvostepeno varenje i dvofazno varenje.

## TERMOFILNA ANAEROBNA DIGESTIJA

Većina digestora visoke brzine radi u opsegu od 30 do 38°C. Bakterije koje rastu u ovom temperaturnom opsegu nazivaju se mezofilne. Druga grupa mikroorganizama, nazvana termofilne bakterije, raste u temperaturnom opsegu od 50 do 57°C.

Generalno, prednosti koje se traže za termofilnu anaerobnu digestiju u odnosu na mezofilno varenje su: veće brzine odvijanja reakcije koje omogućavaju povećano uništavanje isparljivih čvrstih materija i povećano uništavanje patogena.

Nedostaci termofilne anaerobne digestije uključuju: veći energetska zahtevi za grejanje, supernatant nižeg kvaliteta koji sadrži velike količine rastvorenog materijala, veći potencijal mirisa, loša stabilnost procesa jer su termofilne bakterije osetljivije od mezofilnih na temperaturne fluktuacije, loša sposobnost odvajanja vode.

Postoje dve vrste termofilne digestije: dvostepena i dvofazna digestija.

Anaerobna digestija uključuje dve glavne faze: hidroliza i formiranje kiseline, i proizvodnja metana. U tri prethodna procesa digestije visoke brzine, obe faze se odvijaju u jednom reaktoru. U dvofaznoj digestiji, dve glavne faze su podeljene u odvojene rezervoare spojene u nizu. Bolja digestija mulja može se postići odvojenom optimizacijom dve faze.

Prvi reaktor, poznat kao digestor kisele faze, služi za hidrolizu i acidogenezu i dizajniran je za zadržavanje od 1 do 2 dana. Ova faza može da se odigrava u mezofilnom ili termofilnom režimu. pH u reaktoru je između 5,5 i 6,5. Generisanje metana je zanemarljivo u ovom reaktoru. Drugi reaktor, poznat kao digestor u metanskoj fazi, dizajniran je za oko 10 dana zadržavanja i radi u mezofilnom temperaturnom opsegu. Navedene prednosti za dvofaznu anaerobnu digestiju u poređenju sa jednofaznom digestijom uključuju: veću redukciju isparljivih čvrstih materija; povećanu proizvodnju gasova; veći sadržaj metana u gasu finalnog proizvoda; veću redukciju patogena; manje problema sa penom; bolju stabilnost procesa varenja. (Turovski & Mathai, 2006)

Nedavne studije proizvele su nekoliko varijacija dvofaznog sistema anaerobne digestije, uključujući stepenastu mezofilnu digestiju, digestiju u temperaturnoj fazi (TPAD), digestiju u kiseloj/gasnoj fazi (kao što je gore opisano) i stepenastu termofilnu digestiju. Ove varijacije



koriste različita vremena zadržavanja čvrstih materija u dva reaktora i odigravaju se u mezofilnom ili termofilnom režimu. Neki od ovih procesa sposobni su da ispune zahteve za biočvrste materije klase A. (Turovskiĭ & Mathai, 2006)

## PROIZVODNJA I UPOTREBA GASA

Stvaranje gasa iz digestora je direktan rezultat uništavanja isparljivih čvrstih materija. Specifična proizvodnja gasa za mulj otpadnih voda se uglavnom kreće od 0,8 do 1,1 m<sup>3</sup>/kg uništenih isparljivih čvrstih materija. Specifične vrednosti proizvodnje gasa biće bliže maksimumu ovog opsega ako mulj sadrži veći procenat masti i sve dok je obezbeđen adekvatan SRT za ove materijale koji se sporo metabolišu.

Zdrav proces varenja proizvodi gas sa oko 65 do 75% metana, 30 do 35% ugljen-dioksida i veoma niskim nivoom azota, vodonika i vodonik-sulfida. Toplotna vrednost gasa digestora je približno 24 MJ/m<sup>3</sup>, u poređenju sa 38 MJ/m<sup>3</sup> za metan.

Sistem aerobnog digestora koji dobro funkcioniše proizvodi više gasa nego što je potrebno za snabdevanje energijom za zagrevanje digestora. U većini malih postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda, višak proizvedenog gasa se raspršuje u gorioniku za otpadni gas kako bi se izbegao neprijatan miris. U velikim postrojenjima za prečišćavanje, višak gasa se može spaliti u kotlu za proizvodnju toplote za zgrade u postrojenju, koristiti za napajanje motora za proizvodnju električne energije ili direktno za pogon pumpi, koristiti za spalionice, ili prodati lokalnom komunalnom preduzeću za korišćenje u snabdevanju gasom u domaćinstvu. Biogas se može koristiti u kogeneraciji, koja je sistem za proizvodnju i električne i toplotne energije. (Capodaglio & Callegari, 2023)

## SPALJIVANJE MULJA U MIKROTALASNIM PEĆNICAMA

Jedna od ključnih komponenti za maksimiziranje povrata resursa u postrojenju za prečišćavanje otpadnih voda je kanalizacioni mulj koji se stvara iz primarne i sekundarne faze tretmana, kao i anaerobne digestije (AD). Mulj nije samo bogat organskom materijom sa vrednim hranljivim materijama, uključujući azot (N) i fosfor (P), već sadrži i značajnu energiju.

Iako neke od ovih tradicionalnih metoda doprinose delimičnom oporavku hranljivih materija i energije, one ne mogu u potpunosti da iskoriste potencijal mulja. Pored toga, prisustvo štetnih materija u mulju, kao što su patogeni, hormoni, antibiotici, teški metali i postojane organske zagađujuće materije, čine dodatno odvracanje od dalje upotrebe nekih savremenih metoda odlaganja (Lazzari i sar., 2000). Zbog toga je drugi deo ovog rada posvećen procesu mikrotalasnog sušenja, kao procesu koji može da se odvija nakon anaerobne digestije.

Upotreba mulja u građevinskoj industriji pruža nekoliko prednosti, uključujući smanjenje otpada i efikasno korišćenje resursa. Ko-spaljivanje mulja kao grejnog ulja u industrijskim procesima može pomoći u smanjenju potražnje za fosilnim gorivima pružajući istovremeno održivo rešenje za upravljanje otpadom. Uključivanje mulja u cementne peći za proizvodnju

maltera ne samo da pomaže u odlaganju otpada, već i poboljšava osobine maltera, poput čvrstoće i trajnosti. (Wang i sar., 2022) Dodatno, mešanje mulja sa vlažnim cementom u svrhu stabilizacije može poboljšati inženjerske osobine tla i doprineti održivim građevinskim praksama. Sveukupno, ovi primeri pokazuju potencijal mulja kao vrednog resursa u građevinskom sektoru, dok se istovremeno bave ekološkim problemima. Ovi pravci pružaju dodatnu ekonomsku korist u odlaganju kanalizacionog mulja u odnosu na neke druge tradicionalne metode.

Sušenje u mikrotalasnoj pećnici je prepoznato kao pogodna tehnologija obrade mulja. Međutim, mikrotalasni sistemi za sušenje pokazuju visoke troškove energije zbog: nepotrebnog zagrevanja rezonatora i drugih komponenti sistema, neefikasnog izvlačenja kondenzata iz rezonatora za zračenje, neefikasnog korišćenja mikrotalasnog zračenja. Ukoliko se sušenje u mikrotalasnoj pećnici odvija kao proces odmah nakon anaerobne digestije, količina utrošene energija može značajno da se umanja. U prvom delu ovog rada se govori o termalnoj dvofaznoj anaerobnoj digestiji koja proizvodi najveću količinu biogasa u odnosu na ostale tipove anaerobne digestije. Proizvedeni biogas se dalje može iskoristiti u procesu sušenja u mikrotalasnoj pećnici. (Jumasheva i sar., 2023)

Rezultati su pokazali da sušenje u mikrotalasnoj pećnici značajno produžava trajanje perioda sušenja sa konstantnom brzinom koji je povezan sa isparavanjem slobodne vode iz mulja, što je faza povezana sa niskom potrošnjom energije za isparavanje vode. Pored toga, što je veća izlazna snaga mikrotalasne pećnice, veća je gustina apsorpcije, snage mulja i efikasnost proizvodnje mikrotalasne pećnice. Specifična potrošnja energije može biti čak 2,6 MJ, što je sasvim uporedivo sa konvencionalnim termalnim sušarama.

Mulj otpadnih voda iz postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda je po prirodi bogat ugljenikom i organskom materijom, tako da se potencijalno može pretvoriti u aktivni ugalj. Pretvaranje kanalizacionog mulja u aktivni ugalj, zbog visokog sadržaja organskih komponenti, ne samo da rešava problem odlaganja kanalizacionog mulja, već i pretvara čvrsti otpad u koristan materijal u proizvodnji adsorbenta za prečišćavanje otpadnih voda.

Prema studiji rađenoj u Skoplju, aktivni ugalj na bazi mulja je dobijen korišćenjem mulja otpadnih voda iz Volkovovog postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda hemijskom aktivacijom, korišćenjem 25% rastvora  $ZnCl_2$  i karbonizacijom na  $6000\text{ }^{\circ}C$  tokom 50 minuta. (Pancevska & Zendelska, 2022) Dobijeni aktivni ugalj na bazi mulja ima makroporoznu strukturu i zamenljive katjone, što ga čini pogodnim kao adsorbenta za tretman otpadnih voda.

Pepeo iz kanalizacionog mulja se može koristiti kao zamena za cement u proizvodnji betona. Pepeo iz kanalizacionog mulja je praškasti materijal koji sadrži visok procenat  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $CaO$ ,  $P_2O_5$  i  $SO_3$  i umereno je reaktivan. Većina istraživača je spaljivala kanalizacioni mulj na temperaturama između  $600\text{ }^{\circ}C$  i  $900\text{ }^{\circ}C$  da bi proizvela pepeo iz kanalizacionog mulja. Delimična zamena cementa pepelom iz kanalizacionog mulja doprinela je povećanju čvrstoće betona na pritisak i savijanje. Zamena 5% pepela iz kanalizacionog mulja po težini cementa smatra se optimalnim sadržajem za postizanje najboljih mehaničkih performansi

betona. Pored toga, obradivost betona nakon 28 dana je poboljšana dodatkom kanalizacionog mulja.

## ZAKLJUČAK

Problem odlaganja kanalizacionog mulja predstavlja dugoročni izazov zaštite životne sredine, koji zahteva angažovanje inovativnih rešenja radi očuvanja ekosistema i javnog zdravlja. Ovaj rad se fokusira na proces anaerobne digestije kao ključne metode za obradu kanalizacionog mulja, istovremeno istražujući novi pristup sušenja mulja pomoću mikrotalasnih pećnica. Nakon završetka anaerobne digestije, biološka čvrsta materija, zajedno s biogasom, podvrgava se sušenju u mikrotalasnim pećnicama radi proizvodnje aktivnog uglja. Ova inovativna metoda omogućava značajno smanjenje volumena preostalog mulja, dok se istovremeno omogućava njegova dalja upotreba u procesima prečišćavanja vode kao i primena u građevini. Konačni cilj ovog procesa je minimiziranje količine otpada i stvaranje sigurnih i ekološki prihvatljivih proizvoda, kao rezultat tretmana kanalizacionog mulja. Multidisciplinarni pristup ne samo da rešava konkretan problem odlaganja mulja, već i doprinosi dugoročnom očuvanju životne sredine i održivom upravljanju prirodnim resursima.

## LITERATURA:

- Capodaglio, A. G., & Callegari, A., Energy and resources recovery from excess sewage sludge: A holistic analysis of opportunities and strategies. *Resources, Conservation and Recycling Advances*, 19 (2023) <https://doi.org/10.1016/j.rcradv.2023.200184>
- Gupta, A., Kumar, M., & Srivastava, S., *Recent Advances in Wastewater Sludge Valorization* (pp. 225–247). (2021) [https://doi.org/10.1007/978-981-15-9696-4\\_10](https://doi.org/10.1007/978-981-15-9696-4_10)
- Jumasheva, K., Syrlybekkyzy, S., Serikbayeva, A., Suleimenova, B., & Altybayeva, Z., Overview of modern methods of treatment and disposal of sewage sludge. *E3S Web of Conferences*, 420. (2023) <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202342007008>
- Lazzari L, Sperti L, Bertin P, Pavoni B. Correlation between inorganic (heavy metals) and organic (PCBs and PAHs) micropollutant concentrations during sewage sludge composting processes. *Chemosphere*. 41(3):427-35. (2000) [https://doi.org/10.1016/s0045-6535\(99\)00289-1](https://doi.org/10.1016/s0045-6535(99)00289-1). PMID: 11057605.
- Pancevska, V., Zendelska, A., Preparation and characterization of sludge-based activated carbon, *Natural Resources and Technology* 16(1):61-67 (2022) <https://doi.org/10.46763/NRT22161061p>
- Turovskii, I. S., & Mathai, P. K. (2006) *Wastewater sludge processing*. Wiley-Interscience.
- Wang, Y., Ge, Y., Wang, X., Chen, X., & Li, Q., The effect of powder activated carbon on mechanical properties and pore structures of cement-based mortars. *Construction and Building Materials*, 316. (2022) <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.125798>

## OZONIRANJE PRIMENJENO U SEKVENCIJANOM ŠARŽNOM BIOFILTERSKI GRANULIRANOM REAKTORU (SBBGR)

Nikola Pilipović\*, Teodora Marković\* , Vladanka  
Presburger Ulniković\*, Violeta Cibulić\*

*\*Fakultet za ekologiju i zaštitu životne sredine, Univerzitet "Union Nikola  
Tesla", Cara Dušana 62-64 Beograd, 11158,  
vladanka.gsc@unionnikolatesla.edu.rs, ORCID: 0000-0001-6144-3399*

### REZIME

Tekstilne otpadne vode spadaju među industrijske otpadne vode čije je prečišćavanje najkompleksnije zbog varijabilnosti njihovog sastava i prisustva brojnih različitih hemikalija koje su namerno dizajnirane da se odupru degradaciji. Iako biološke metode nude jeftiniju i ekološki prihvatljiviju alternativu za tretman tekstilnih otpadnih voda i dalje je potreban dodatni korak za uklanjanje pojedinih jedinjenja. U ovom radu su analizirani procesi prečišćavanja tekstilnih otpadnih voda zasnovani na SBBGR i ozoniranju, kao i rezultati dobijeni pomenutim metodama. Zahvaljujući sinergiji dveju metoda omogućeno je da se ispune zahtevi ispuštanja u vodoprijemnike.

KLJUČNE REČI: prečišćavanje otpadnih voda, biološki tretman, ozoniranje, tekstilne  
otpadne vode, biološka degradacija

## OZONATION FOLLOWED BY SEQUENCING BATCH BIOFILTER GRANULAR REACTOR (SBBGR)

### ABSTRACT

Textile wastewater is among the industrial wastewater whose treatment is most complex due to the variability of their composition and the presence of a number of different chemicals that are deliberately designed to resist degradation. Although biological methods offer a cheaper and more environmentally friendly alternative for the treatment of textile wastewater, an additional step is still needed to remove individual compounds. This paper analysis the processes of textile wastewater treatment based on SBBGR and ozonation, as well as the results obtained by the aforementioned methods. Thanks to the synergy of the two methods, it is possible to meet the requirements of discharge into water receivers.

KEY WORDS: wastewater treatment, textile wastewater, biological treatment, ozonation,  
biological degradation

## UVOD

Tekstilna industrija se može smatrati najvećim zagađivačem među svim industrijskim sektorima, kako po potrošnji vode, tako i po sastavu otpadnih voda. To je posledica tehnološkog procesa koji zahteva potrošnju oko 125-150 l vode za 1 kg tekstilnog proizvoda. Zbog složenosti tekstilnih otpadnih voda, primena jedne tehnologije tretmana ne garantuje zadovoljavajuću efikasnost uklanjanja svih zagađujućih materija. Tradicionalne metode koje su usvojene za prečišćavanje tekstilnih otpadnih voda uključuju različite kombinacije bioloških i fizičko-hemijskih procesa. Obzirom na stepen zagađenja koji nastaje prilikom obrade tekstila, jedna od pogodnih metoda za prečišćavanje jeste upravo ozoniranje primenjeno u sekvenciranom šaržnom biofilterski granuliranom reaktoru (SBBGR). (Lotito i sar., 2012)

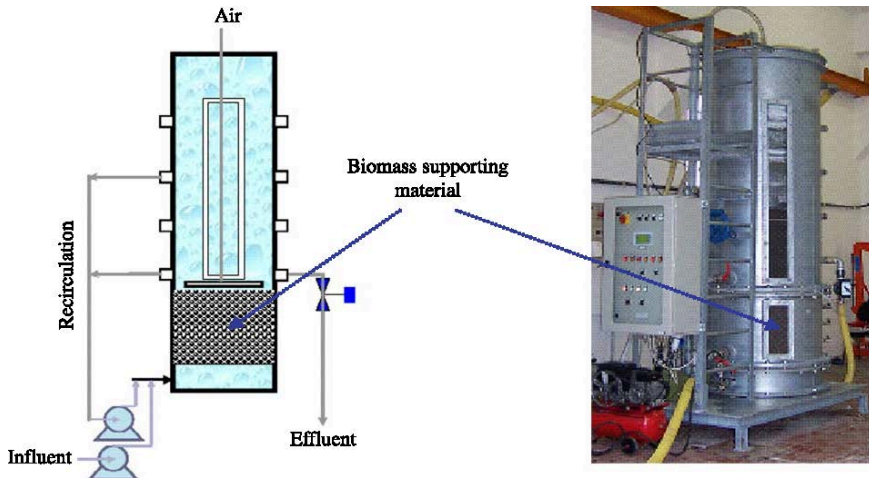
Sekvencirani biofilterski granularni reaktori (SBBGRs) predstavljaju inovativnu tehnologiju: spajanje granulirane i dodatke biomase. Ovi sistemi omogućavaju dobre stope uklanjanja uz nisku proizvodnju mulja i potrebu za prostorom. U ovom, granule nisu suspendovane kao u sekvenciranom reaktoru (SBGR), već se zadržavaju u porama koje nastaju pakovanjem reaktora sa materijalom za punjenje. Ovo omogućava da se dobije veće zadržavanje biomase u reaktoru (do jednog reda magnitude veće od one zabeležene u konvencionalnim biološkim reaktorima). SBBGR mogao bi predstavljati optimalni biološki tretman za složene otpadne vode, kao što je tekstilna. Ova inovativna tehnologija, zasnovana na potopljenom biofilteru koji radi u šaržnom režimu, upravo omogućava da se dobije veće zadržavanje biomase u reaktoru, uz značajno smanjenje proizvodnje mulja. (Cirello i sar., 2016)

## PRINCIP RADA REAKTORA

SBBGR sistem se sastoji od jednog rezervoara u koji se otpadna voda uvodi, tretira i zatim ispušta. Slika 1 prikazuje skicu i sliku SBBGR prototipa, koji je posebno dizajniran i izgrađen za potrebe ove metode. Moguće je primetiti da se sastoji od cilindričnog čeličnog reaktora (zapremine 2-3 m<sup>3</sup>) delimično ispunjenog potpornim materijalom od biomase (plastični elementi u obliku točkova) koji se drži između dve površine ploča koje su snabdevene sa nekoliko diseminatora. Reaktor se aerira pomoću duvaljke spojene sa difuzorima (sistem finih mehurića) postavljenim na gornjoj ploči. Spoljašnja cev omogućava ponovnu cirkulaciju otpadnih voda kroz materijal za potporu biomase. Pumpa i motorni ventil obezbeđuju operacije punjenja i izvlačenja. Merač pritiska, koji se nalazi na dnu reaktora, meri gubitke biofiltera usled rasta biomase i zarobljenih suspendovanih čvrstih materija koje se javljaju u otpadnoj vodi tokom rada reaktora. Kada se dostigne zadata vrednost gubitka, korak ispiranja se sprovodi komprimovanim vazduhom sve dok se gubitak na smanji na određenu vrednost. SBBGR sistem sprovodi ciklus tretmana koji se sastoji od tri uzastopne faze: punjenje, reakcija i izvlačenje.

Tokom faze punjenja, fiksna zapremina otpadne vode koja se prečišćava pumpa se na dno reaktora. Tokom reakcione faze, napunjena otpadna voda se kontinuirano aerira i reciklira

kroz materijal od biomase sve dok se ne postigne fiksna vrednost zaostalih koncentracija zagađujućih materija. Konačno, prečišćena otpadna voda se gravitacijom povlači iz reaktora i sistem je spreman da započne novi ciklus tretmana. Operativni raspored (punjenje, recirkulacija, aeracija) je potpuno automatski pomoću programiranog kontrolera.



Slika 1. Skica i slika SBBGR reaktora (De Sanctis i sar., 2008)  
Figure 1. Sketch and picture of SBBGR

Shodno tome, sistem SBBGR kombinuje prednosti priključenih sistema biomase (tj. veće koncentracije biomase i veće organsko opterećenje, odsustvo sekundarnog taložnika) sa prednostima periodičnih sistema (tj. veća fleksibilnost i stabilnost) i on je jedinstven sistem određene vrste biomase koja raste u njemu. U stvari, biomasa se sastoji od dve različite frakcije: biofilma pričvršćenog za noseći materijal i granula zarobljenih u porama koje nastaju pakovanjem materijala za punjenje (slika 2). (Tomei, 2016)

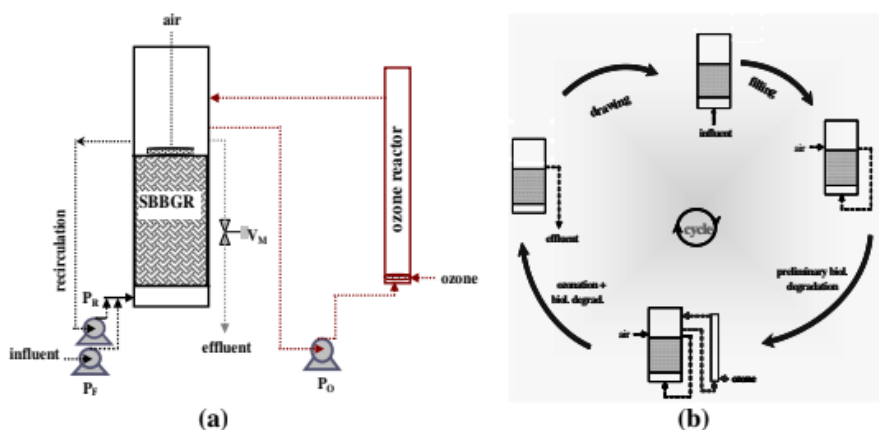


Slika 2. Fotografije biomase priložene u SBBGR sistem (levo) i granule zatvorene u pore (desno)  
(Tomei, 2016)

Figure 2. Photographs of the attached biomass in SBBGR system (on the left) and granules confined in the pores (on the right)

## SBBGR PRAĆEN OZONIRANJEM

Spojeni tretman je zasnovan na SBBGR metodi koja je praćena korakom ozoniranja. SBBGR reaktor je radio sa ciklusima tretmana od 8h, svaki se sastojao od tri uzastopne faze punjenja, biološke degradacije i izvlačenja. Biološki efluent je sukcesivno ozonizovan u šaržnom režimu. Slika 3. prikazuje skicu i rad postrojenja zasnovanog na sistemu integrisanom sa ozonizacijom koja se koristi za prečišćavanje otpadne vode. U fazi preliminarne biološke degradacije, generator ozona i pumpa ostali su isključeni tako da su biorazgradive zagađujuće materije biološki uklonjene u aerobnim uslovima pomoću biomase SBBGR. U fazi ozonizacije i biološke degradacije, u cilju uklanjanja zagađujućih materija, aktivirani su generator ozona i pumpa. Tokom ove faze, koju karakteriše ista doza prenesenog ozona kao što je korišćena u spregnutom tretmanu, biorazgradiva jedinjenja nastala delimičnom hemijskom oksidacijom zagađujućih materija u ozonskom reaktoru su potisnuta pumpom u vrh biološkog reaktora. (Di Iaconi, 2012)



Slika 3. Skica (a) i rad postrojenja (b) zasnovanog na SBBGR sistemu integrisanom sa ozonizacijom (Di Iaconi, 2012, Biological treatment and ozone oxidation)

Figure 3. Sketch (a) and operation (b) of the treatment based on a SBBGR system integrated with ozonation

## SASTAV OTPADNE VODE

Kao primer uzeto je testiranje efluenta iz fabrike za bojenje tkanine. Tabela 1 izveštava o sastavu otpadne vode koja je bila predmet testiranja. (Di Iaconi, 2012)

Tabela 1. Primer sastava tekstilne otpadne vode  
 Table 1. An example of the composition of textile wastewater period (Di Iaconi, 2012)

Parametar	Tekstilna otp.voda
COD (mg/l)	617±105
DOC (mg/l)	186±24
TSS (mg/l)	106±37
VSS (mg/l)	102±35
TKN (mg/l)	22.6±4.1
NH <sub>4</sub> (mg N/l)	7.8±4.6
NO (mg N/l)	0.9±0.4
pH	8.1±0.1

Efikasnost nakon kombinovanog tretmana ozoniranja i SBBGR metode data je u tabeli 2. Podaci navedeni u tabeli 2 pokazuju da sam biološki tretman nije dovoljno efikasan za dostizanje koncentracija za direktno ispuštanje u površinska vodna tela. Podaci u tabeli 2 pokazuju da je nakon kombinovanog tretmana ozoniranja i SBBGR stvoren efluent sa svojstvima koja su pogodna za ispuštanje u vodoprijemnik. Ovo pokazuje da je zapravo ozon izazvao mineralizaciju organskih zagađivača i da je ozon efikasan kao završni tretman nakon SBBGR. Na osnovu eksperimenata koji je opisao 'Di Iaconi', u tabeli je izračunat odnos efikasnosti prečišćavanja u SBBGR i nakon ozoniranja.

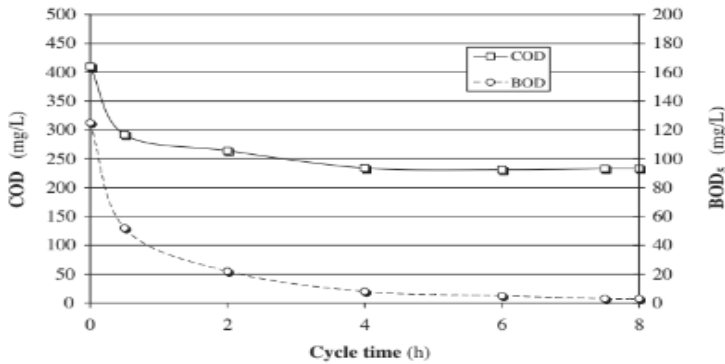
Tabela 2. Sastav otpadne vode nakon tretmana ( u smislu srednje vrednosti ± standardne devijacije)  
 Table 2. Composition of textile wastewater after the experimental period (in terms of mean± st.dev)

Parametar	Nakon SBBGR (A)	Nakon ozoniranja (B)	Odnos procenta uklanjanja (A/B)
COD eff.(mg/l), procentat uklanjanja (%)	208±38 66.3±7.1	154±25 73.2±4.1	54±13 6.9±3
DOC eff.(mg/l), procentat uklanjanja (%)	58±19 68.1±8.1	50±9 72.2±3.8	8±10 4.1±4.3
TSS eff.(mg/l), procentat uklanjanja (%)	23±15 72.6±15	18±12 79.8±12	5±3 7.2±3
TKN eff.(mg/l), procentat uklanjanja (%)	2.7±1.9 83.9±12.8	2.5±2.0 3.2±12.5	0.2±0.1 80.7±0.3
NH <sub>4</sub> eff.(mg N/l), procentat uklanjanja (%)	0.1±0.1 99.4±3.3	0.5±0.2 99.1±3.4	0.4±0.1 0.3±0.1
NO eff.(mg N/l)	8.4±4.5	8.3±4.2	0.1±0.3

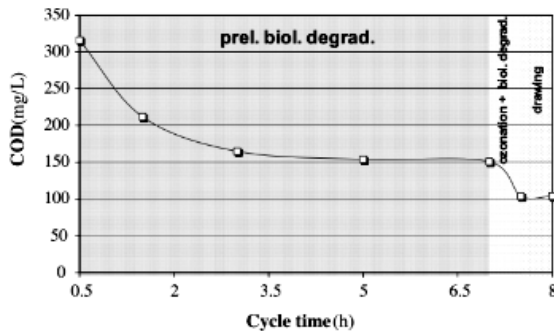
Podaci dati na slici 4. jasno pokazuju da se rezidualni COD sastojao od posrednih jedinjenja, odnosno, ceo biorazgradivi organski sadržaj je uklonjen tretmanom SBBGR koji je proizveo efluent sa BPK5 vrednošću blizu nule. Takođe, iz HPK profila prikazanog na slici 5. moguće je primetiti da je tokom ove faze uklonjeno 47 mg/L HPK. Stoga, bilansi ozona i HPK jasno pokazuju da je ozon takođe korišćen da bi se rekalcitrantna jedinjenja



učinila biorazgradivim (Liu i sar., 2022; Wang i sar., 2022; Alvares i sar., 2001), koja su potom biološki uklonjena. (Di Iaconi, 2012)



Slika 4. HPK I BPK5 tokom SBBGR ciklusa tretmana tekstilnih otpadnih voda (Di Iaconi, 2012)  
Figure 4. COD and BOD<sub>5</sub> during a typical SBBGR treatment cycle of textile wastewater



Slika 5. HPK profil tokom SBBGR ciklusa tretmana integrisan sa ozoniranjem za tretman tekstilnih otpadnih voda (Di Iaconi, 2012)

Figure 5. COD profile in a typical treatment cycle of SBBGR integrated with ozonation for textile wastewater treatment

## PREDNOSTI SBBGR METODE

U poređenju sa konvencionalnim sistemima za tretman, SBBGR tehnologija je u mogućnosti da:

- pojednostavi šemu tretmana (u jednoj fazi se odvija ceo sistem za tretman otpadnih voda)
- smanjuje se potreba za površinom potrebnom za instalaciju uređaja (do 50%)
- smanjuje se proizvodnja mulja (do 70%)
- smanjuju se ukupni troškovi (do 40%).

Na slici 6. prikazano je koliko površinski SBBGR reaktor zauzima manje prostora od konvencionalnih sistema za prečišćavanje otpadnih voda (Mascolo and Di Iaconi, 2016)



Slika 6. Prikaz zauzimanja prostora SBBGR u odnosu na konvencionalne metode (Mascolo and Di Iaconi, 2016)

Figure 6. Representation of SBBGR space consumption compared to conventional methods

## ZAKLJUČAK

U ovom radu je upoređena efikasnost prečišćavanja otpadne vode iz tekstilne industrije procesom biološke degradacije praćenim procesom ozoniranja i biološkom degradacijom integrisanom sa ozoniranjem u SBBGR. Rezultati pokazuju da integrisani sistem SBBGR i ozoniranje nude viši stepen prečišćavanja otpadne vode, omogućavajući da se ispune određeni zakonski okviri za ispuštanje u vodoprijemnike. Ovo je zbog odličnog sinergijskog efekta između biološke degradacije i ozoniranja koja daje ukupnu veću efikasnost uklanjanja nego što je to ostvarljivo korišćenjem samo biološkog tretmana. Dolazi do značajnog smanjenja troškova tako da se dolazi do zaključka da SBBGR tehnologija u kombinaciji sa ozoniranjem i dalje predstavlja efikasan i istovremeno ekonomičan sistem tretmana otpadnih voda tekstilne industrije za bezbedno ispuštanje u površinska vodna tela ili opštinsku kanalizaciju.

## LITERATURA:

- Alvares, C., Diaper, C., Parsons, S.A., Partial Oxidation by Ozone to Remove Recalcitrance from Wastewaters - a Review. *Environmental Technology*, 22(4), 409–427. (2001).  
<https://doi.org/10.1080/09593332208618273>
- Cirello, P., Cecchini, G., Biagio, E., Evaluation of a Pilot-scale Sequencing Batch Biofilter Granular Reactors (SBBGR) System for Municipal Wastewater Treatment, *Environmental Engineering and Management Journal*, September 2016, Vol.15, No. 9, 1941-1948 (2016)
- De Sanctis, M., Di Iaconi, C., Rosseti, S., Technological transfer to demonstrative scale of sequencing batch biofilter reactor (SBBGR) technology for municipal and industrial wastewater treatment, *Water Sci Technol* (2008) 58 (2): 367–372. <https://doi.org/10.2166/wst.2008.395>
- Di Iaconi, C., Biological treatment and ozone oxidation: Integration or coupling? *Bioresource Technology* 106; 63–68 (2012) <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.12.007>
- Liu, J, Xiang, T, Wang, W, Bu, Z., Case Report: Omalizumab Successfully Treated Recalcitrant Bullous Pemphigoid in an Elderly Patient with Multiple Comorbidities. *Clin Cosmet Investig Dermatol.*;15:1391-1396. (2022) <https://doi.org/10.2147/CCID.S373682>.
- Lotito, A., Fratino, U., Bergna, G., Di Iaconi, C., Integrated biological and ozone treatment of printing textile wastewater. *Chemical Engineering Journal* 195–196 (2012) 261–269  
<https://doi.org/10.1016/j.cej.2012.05.006> (2012)
- Mascolo, G., Di Iaconi, C., A new process for the treatment of recalcitrant wastewater, IRAN: La nuova frontiera del Business, Bari, Italy (2016)
- Tomei, M.C., Enhanced Biological Wastewater Treatment to Produce Effluents Suitable for Reuse. [The Handbook of Environmental Chemistry], (Chapter 362), (2015)  
[https://doi.org/10.1007/978-90-481-3621-3\\_362](https://doi.org/10.1007/978-90-481-3621-3_362)
- Wang, W., Chang, J.S., Show, K.Y., Lee, D.J., Anaerobic recalcitrance in wastewater treatment: A review, *Bioresource Technology*, Volume 363, (2022)  
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.127920>.

## PROCENA I UPRAVLJANJE HEMIJSKIM RIZIKOM

Violeta Cibulić, Sanja Mrazovac Kurilić<sup>1</sup>, Novica Staletović

<sup>1</sup>University “Union-Nikola Tesla” Belgrade, Cara Dušana 62-64  
smrazovac@unionnikolatesla.edu.rs ORCID 0000-0001-9644-8309;  
ORCID: 0000-00018450-5564

### REZIME

U radu je razmatrana procena i upravljanje hemijskim rizikom u procesu elektrolize. Za prepoznate opasnosti od korišćenih hemikalija, bilo u fazi njihovog korišćenja u proizvodnom procesu, skladištenja ili transporta, procenjuju se postojeći hemijski rizici, predviđaju se akcije za njihovo otklanjanje kao i upravljanje istim. Za ovu procenu je korišćena metoda KINNEY koja je kod nas uglavnom korišćena za procenu uticaja na radna mesta, a u ovom radu je prvi put korišćena za procenu hemijskog rizika u jednom procesu. Određen je nivo hemijskog rizika kao proizvod posledica, verovatnoće kao i učestalosti nastajanja hemijskog akcidenta na primeru elektrolize NaCl, kao i hemikalija koje mogu nastati pri ovom procesu. Uzimajući u obzir efekte rizika svih korišćenih ili nastalih hemijskih supstanci u celokupnom proizvodnom procesu izračunat je ukupan nivo rizika u procesu elektrolize natrijumhlorida i on je na samoj gornjoj granici umerenog nivoa rizika, III nivo rizika.

KLJUČNE REČI: Akcident, nivo hemijskog rizika, upravljanje rizikom, posledice rizika, verovatnoća i učestalost rizika.

## ASSESSMENT AND MANAGEMENT OF CHEMICAL RISK

### ABSTRACT

The assessment and management of chemical risk in the electrolysis process were discussed in the paper. Existing chemical risks were evaluated for identified hazards from the use of chemicals in the production process, storage, or transportation phases, and actions for their elimination and management were predicted. The KINNEY method, primarily used for assessing workplace impacts, was employed for the first time in this study to assess chemical risk in a specific process. The level of chemical risk was determined as a product of consequences, probability, and frequency of chemical accidents, using the example of NaCl electrolysis and chemicals that may arise from this process. Considering the risk effects of all used or resulting chemical substances in the entire production process, the total risk level in the sodium chloride electrolysis process was calculated and it was at the upper boundary of moderate risk, level III risk.

KEY WORDS: Accident, level of chemical risks, risk management, consequences of risk, probability and frequency of risk.

## OPIS TEHNOLOŠKOG PROCESA

Elektroliza soli natrijum-hlorida (NaCl) predstavlja reakciju razlaganja elektrolita pod dejstvom jednosmerne električne struje pri kojoj se kao proizvodi dobijaju hlor, vodonik, natrijum-hidroksid i natrijum-hipohlorit. Proces teče tako što se NaCl kao zasićeni vodeni rastvor u elektrolizeru razdvaja na elementarni hlor koji se izdvaja na metalnoj anodi i na natrijumamalgam koji se izdvaja na tečnoj živinoj katodi. Dobijeni hlor odlazi na dalju obradu ili se koristiti za proizvodnju hlorovodonične kiseline. Nastali natrijumamalgam napušta elektrolizer i odlazi u dekompozitor gde se oslobađa živa a stvaraju se natrijum hidroksid i vodonik. Vodonik koji nastaje u dekompozitoru se hladi i odlazi na dalju obradu. Natrijum hidroksid iz dekompozitora se filtrira, hladi i skladišti. Živa se kontinualno recirkuliše u svaku pojedinačnu elektro-ćeliju dok osiromašeni elektrolit napušta elektrolizer i odlazi na ponovnu pripremu elektrolita. (Zakon o zžs 2004/2009; Pravilnik o listi opasnih materija i njihovim količinama i kriterijumima za određivanje vrste dokumenata koje izrađuje operater Seveso postrojenja, odnosno kompleksa 2010). Proizvedene količine hlora i vodonika mogu se koristiti za sintezu hlorovodonične kiseline i za proizvodnju natrijum hipohlorita. Za sve hemikalije koje se koriste ili nastaju tokom procesa najvažnije je pravilno definisati njihove karakteristike, opasnosti i štetnosti. Za prepoznate opasnosti za svaku od hemikalija, bilo u okviru njihovog transporta, skladištenja ili njihovog korišćenja u tehnološkom procesu proizvodnje, predviđene su određene mere (akcije) za otklanjanje opasnosti (Pravilnik o klasifikaciji, pakovanju, obeležavanju i reklamiranju hemikalije i određenog proizvoda u skladu Globalno harmonizovanim sistemom za klasifikaciju i obeležavanje UN 2011; Pravilnik o metodologiji za procenu opasnosti od hemijskog udesa i od zagađivanja životne sredine, merama pripreme i merama za otklanjanja posledica 1994).

## METODE ANALIZE I PROCENE HEMIJSKOG RIZIKA

Proces procene rizika obuhvata sledeće faze: identifikaciju opasnosti od udesa, modelovanje razvoja udesa i posledica, analizu povredivosti, ocenu rizika, plan zaštite i prevencije od udesa, postupak reagovanja (odgovor) na udes i monitoring postudesne situacije. Pojava udesa i postupak za slučaj udesa definisan je procedurom reagovanja u slučaju udesa u svakom pojedinačnom preduzeću elektrolize NaCl, uzimajući u obzir sve specifičnosti svakog od preduzeća. Ovom procedurom definisan je način koordinacije rada odgovarajućih službi, uspostavljanje neprekidnog osmatranja i monitoringa, kao i planiranje i sanacija posledica od udesa. O svakom udesu se izrađuje detaljan izveštaj koji se dostavlja nadležnim eksternim organizacijama i inspekcijskim službama.

Zakonom o zaštiti životne sredine započeta je implementacija evropske Seveso II Direktive o kontroli rizika od velikih akcideneta vezano za opasne materije u našoj zemlji. U skladu sa Pravilnikom o listi opasnih materija i njihovim količinama i kriterijumima za određivanje vrste dokumenta koje izrađuje operater Seveso postrojenja, odnosno kompleksa definisani su kriterijumi za izradu dokumenata Politika prevencije udesa ili Izveštaj o bezbednosti i Plan zaštite od udesa. Svi operateri Seveso postrojenja dužni su da preduzmu sve neophodne mere

za sprečavanje hemijskog udesa i ograničavanje uticaja tog udesa na život i zdravlje ljudi i životnu sredinu u cilju upravljanje rizikom.

## PROCENA HEMIJSKOG RIZIKA I UPRAVLJANJE

Za proces elektrolize NaCl prepoznate su opasnosti za svaku od hemikalija, bilo u okviru njihovog transporta, skladištenja ili njihovog korišćenja u tehnološkom procesu proizvodnje, i predviđene su određene akcije za otklanjanje opasnosti (Pravilnik o klasifikaciji, pakovanju, obeležavanju i reklamiranju hemikalije i određenog proizvoda u skladu Globalno harmonizovanim sistemom za klasifikaciju i obeležavanje UN 2011; Pravilnik o metodologiji za procenu opasnosti od hemijskog udesa i od zagađivanja životne sredine, merama pripreme i merama za otklanjanja posledica 1994). Na osnovu izloženih karakteristika hemikalija iz procesa elektrolize NaCl, količina koje se koriste, vremena izlaganja kao i učestalosti izlaganja, izvršeno je prepoznavanje hemijskih opasnosti i rizika koji postoji u ovakvim fabrikama. Postojanje procene hemijskog rizika u svakom preduzeću pokazatelj je njene ozbiljnosti dugoročnog opstanka, kao i poboljšanja kapaciteta, produktivnosti i profita (Babut i sar. 2011; Hadži-Nikolova i sar. 2012; Kostić Gvozdenović i sar. 1996).

Procena nivoa hemijskog rizika je u ovom radu urađena po KINNEY metodom koja je kod nas uglavnom korišćena za procenu uticaja na radna mesta (Hadži-Nikolova i sar. 2012; Ozun 2009), tako što je izvršena procena verovatnoće nastanka hemijskog udesa, ozbiljnost posledica po životnu i radnu sredinu i učestalosti nastanka hemijskog udesa. Tako se nivo hemijskog rizika-R može definisati kao proizvod posledica-P, verovatnoće-V i učestalosti nastajanja hemijskog akcidenta-U.

$$R = P \times V \times U \quad (1)$$

Posledice-P (moguća šteta) rangiraju se od 1 kao najmanje do 10 koja se smatra katastrofalnom. Verovatnoća dešavanja udesa u odnosu na hemikalije koje se koriste ili nastaju u proizvodnji rangira se od 0,1 kao najmanje do 10 kao maksimalno predvidive i učestalosti dešavanja -U hemijskih akcidenata koja se rangira od 1 kao zanemarljive do 10 kao maksimalne-očekivane.

Prikaz procene nivoa hemijskog rizika po KINNEY metodi je data u tabeli 1, pri čemu su uzete u obzir sve preduzete preventivne mere zaštite od eventualnog hemijskog akcidenta u fabrici a u cilju zaštite zdravlja zaposlenih, životne i radne sredine. [Pravilnik o listi opasnih materija i njihovim količinama i kriterijumima za određivanje vrste dokumenata koje izrađuje operater Seveso postrojenja, odnosno kompleksa 2010; Pravilnik o klasifikaciji, pakovanju, obeležavanju i reklamiranju hemikalije i određenog proizvoda u skladu Globalno harmonizovanim sistemom za klasifikaciju i obeležavanje UN 2011; Pravilnik o metodologiji za procenu opasnosti od hemijskog udesa i od zagađivanja životne sredine, merama pripreme i merama za otklanjanja posledica 1994).

Nivo procenjenog hemijskog rizika za svaku od hemikalija koje se koriste ili nastaju u procesu elektrolize NaCl je veoma nizak, tj. na nivou prihvatljivog-neznatnog rizika, uz uslov da su sve preventivno-sigurnosne mere iz bezbedonosnih listi svake od hemikalija ispoštovane. Ukupan pak nivo rizika uzimajući u obzir efekte rizika svih korišćenih ili u proizvodnom procesu nastalih hemijskih supstanci je na samoj gornjoj granici umerenog nivoa rizika 199,5 što predstavlja treći nivo rizika (R III), tzv. srednji nivo rizika (Petrov 2013; Burton 1981).

Tabela 1. Procena hemijskog rizika  
Table 1. Assessment of chemical risks

Korišćene hemikalije	Posledice-P (rang 1-10)	Verovatnoća-V (rang 0,1-10)	Učestalost-U (rang 1-10)
H <sub>2</sub>	3	0,1	1
HCl	3	0,1	1
NaOCl	2	0,1	1
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	3	0,1	1
Cl <sub>2</sub>	2	0,5	1
Hg	3	0,5	1
NaOH	3	0,1	1
Ukupno	19	1,5	7

---


$$\text{UKUPAN RIZIK } R = P \times V \times U = 19 \times 1,5 \times 7 = 199,5$$


---

Procenjenim rizikom se može upravljati ali isključivo uz obaveznu primenu unapred definisanih organizacionih, tehničko-tehnoloških mera zaštite i poštovanje propisanih procedura i uputstava za bezbedan rad u proizvodnom procesu, u procesu manipulacije, transporta kao i skladištenja svih hemikalija koje se koriste ili nastaju u proizvodnom procesu elektrolize NaCl. Prevencija je prema tome, suštinska karakteristika delotvornog upravljanja hemijskim rizikom [Biočanin i sar. 2000; Kim 2002). Dobijeni hlor iz procesa elektrolize NaCl može da se absorbuje u vodenom rastvoru natrijumhidroksida praveći natrijumhipohlorit. Rezervoari za skladištenje kiseline, hidroksida i hipohlorita trebalo bi da imaju betonske tankvane koje bi služile za prihvatanje eventualno izlivenih hemikalija. Pored ovih mera, upravljanja rizikom od hemijskog akcidenta, podrazumeva i redovni monitoring kvaliteta vazduha, koncentracije zagađujućih materija u vazduhu žive, hlora i hlorovodonika u proizvodnim pogonima na mestima koja su utvrđena kao rizična. Rezultati ovog monitoringa su konačna provera za uspešnost funkcionisanja primenjenih preventivnih mera (Biočanin 2003).

## ZAKLJUČAK

Utvrđeno je da se metoda KINNY može primeniti na procenu hemijskog rizika od korišćenih hemikalija ili u proizvodnom procesu nastalih hemijskih supstanci, s obzirom da su one od direktnog uticaja na zdravlje zaposlenih, bezbednost na radu kao i na celokupnu životnu i radnu sredinu.

Nivo hemijskog rizika za svaku od hemikalija u procesu elektrolize je na nivou prihvatljivog niskog rizika. Ukupan nivo rizika, u celokupnom proizvodnom procesu je 199,5 odnosno na gornjoj granici umerenog nivoa rizika, što predstavlja III-srednji nivo rizika.

Procenjenim povećanim rizikom se može upravljati uz obaveznu primenu unapred definisanih organizacionih, tehničkih, preventivnih mera zaštite i poštovanjem propisanih procedura i uputstava za bezbedan rad (bezbedonosne liste) u proizvodnom procesu, u procesu manipulacije, transporta kao i pri skladištenju svih hemikalija koje se koriste ili nastaju u proizvodnom procesu. Mere upravljanja hemijskim rizikom predstavljaju i niz preventivnih mera koje treba preduzeti u tehnološkom procesu elektrolize NaCl (tankvane, ventilacioni otvori, sigurnosni odušci itd.) u cilju ograničavanja veličine udesa-akcidenta, a rezultati monitoringa zagađenja vazduha predstavljaju konačnu proveru da primenjene preventivne mere uspešno funkcionišu.

## LITERATURA

- Babut G.B., Moraru R.I., Cioca L.I. "Kinney-type methods: useful or harmful tools in the risk assessment and management process?", International conference on manufacturing science and education, Sibiu, Romania, 2011.22
- Berggren C., Environmental risk assessment of an adhesion promoter used in asphalt; 2002 20
- Biocanin R. Protection of the human environment in case chemical accident, II regional Symposium "Chemistry and the environment" 18-22.june 2003. Krusevac.13
- Biočanin R., Veselinović D., Božović – Simić S.: Uklanjanje posledica hemijskih udesa u železničkom saobraćaju opasnih materija, "III seminar železničke gradjevske infrastrukture", 11-13.05.2000. Zlatibor.20
- Burton I. "What happened at Mississaga", Planning emergency response system for chemical accidents, World Health Organization, Regional office for Europe, Copenhagen, 1981.
- Zakon o zaštiti životne sredine ("Sl.glasnik RS", br. 135/2004, 72/2009)
- Kim N., "Exploring Determinant Factors for Effective End-of-Life Vehicle Policy, Thesis for the fulfillment Management and Policy", The International Institute for Industrial Environmental Economics, IIIIEE Reports 2002:7, Lund, 2002.
- Ozunu, A. (2009)19: Risk Assessment of Tailings Facility Dam Failure, Babeş-Bolyai University of Cluj-Napoca, Romania.
- Kostić Gvozdenović Lj., Ninković R., Dumić J. "Neorganska hemijska tehnologija sa praktikumom za vežbe", Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Beograd, 1996.
- Petrov K., Master rad:Procena i upravljanje hemijskim rizikom u industrijskim postrojenjima, Univerzitet Union- nikola Tesla, Fakultet za ekologiju i zaštitu životne sredine, Beograd, 2013.17



- Pravilnik o listi opasnih materija i njihovim količinama i kriterijumima za određivanje vrste dokumenata koje izrađuje operater Seveso postrojenja, odnosno kompleksa ("Sl. glasnik RS", br. 41/2010).
- Pravilnik o klasifikaciji, pakovanju, obeležavanju i reklamiranju hemikalije i određenog proizvoda u skladu Globalno harmonizovanim sistemom za klasifikaciju i obeležavanje UN ("Sl. glasnik RS", br. 26/2011).
- Pravilnik o metodologiji za procenu opasnosti od hemijskog udesa i od zagađivanja životne sredine, merama pripreme i merama za otklanjanja posledica, ("Sl. glasnik RS", br. 60/94), prilog broj 2.
- Hadži-Nikolova M., Mirakovski D., Doneva N. (2012): Procena rizika i smernice za smanjenje rizika u rudarstvu, Rudarsko-geološki fakultet Beograd.

## ZELENA SINTEZA CINK OKSIDNIH NANOČESTICA ZA FOTOKATALITIČKO UKLANJANJE MIKROPOLUTANATA IZ VODA

Tamara Ivetić\*, Nemanja Pankov\*\*, Szabolcs Bognár\*\*\*, Dušica Jovanović\*\*\*, Vesna Despotović\*\*\*, Daniela Šojić Merkulov\*\*\*, Branko Miljanović\*\*

\* *Departman za fiziku, Prirodno-matematički fakultet, Univerzitet u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 4, Novi Sad, tamara.ivetic@df.uns.ac.rs, ORCID: 0000-0001-8353-9033*

\*\* *Departman za biologiju i ekologiju, Prirodno-matematički fakultet, Univerzitet u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 2, Novi Sad, branko.miljanovic@dbe.uns.ac.rs, ORCID: 0000-0003-0125-032X*

\*\*\* *Departman za hemiju, biohemiju i zaštitu životne sredine, Prirodno-matematički fakultet, Univerzitet u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 3, Novi Sad, daniela.sojic@dh.uns.ac.rs, ORCID: 0000-0003-4504-291X; ORCID: 0000-0003-4113-6724*

### REZIME

Analiza fizičko-hemijskih, bioloških i mikrobioloških parametara kvaliteta vode Paličkog i Ludaškog jezera pokazala je loš ekološki status koji pripada V klasi sa dominantnim prisustvom cijanobakterija u sastavu fitoplanktonske zajednice što je pokazatelj potencijalno rizične zagađenosti vode cijanotoksinima. Heterogena fotokataliza na bazi ZnO je inovativna metoda za mineralizaciju cijanotoksina, mikotoksina, farmaceutika, pesticida i drugih mikropolutanata iz vodenih ekosistema. Nanočestice ZnO sintetisane po principu „zelene hemije” sa netoksičnim prekursorima primenom metode sagorevanja vinske kiseline pokazale su 100% fotokatalitičku efikasnost u uklanjanju nekoliko vrsta mikropolutanata posle samo 60 min ozračivanja vidljivom svetlošću.

KLJUČNE REČI: ZnO nanočestice, fotokataliza, prečišćavanje voda, savremene metode

## GREEN SYNTHESIS OF ZINC OXIDE NANOPARTICLES FOR PHOTOCATALYTIC REMOVAL OF MICROPOLLUTANTS FROM WATER

### ABSTRACT

The analysis of the physical-chemical, biological and microbiological parameters of the water quality of Lake Palić and Lake Ludaš showed a poor ecological status belonging to class V with the dominant presence of cyanobacteria in the composition of the phytoplankton community, which is an indicator of potentially risky water pollution with cyanotoxins. Heterogeneous photocatalysis based on ZnO is an innovative method for the

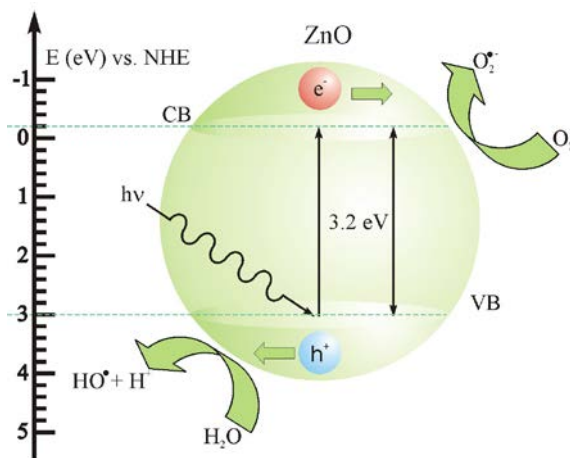
mineralization of cyanotoxins, mycotoxins, pharmaceuticals, pesticides and other micropollutants from aquatic ecosystems. ZnO nanoparticles synthesized according to the principle of „green chemistry” with non-toxic precursors using the tartaric acid combustion method showed 100% photocatalytic efficiency in the removal of several types of micropollutants after only 60 min of visible light irradiation.

KEY WORDS: ZnO nanoparticles, photocatalysis, water purification, contemporary methods

## UVOD

Nanomaterijali na bazi ZnO poluprovodnika se smatraju pionirskim nanomaterijalima koji se u obliku nanočestica, nanožica, nanovlakana ili drugih sofisticiranih nanostrukture koriste u nekoliko vodećih primena nanotehnologije kao što su fotonaponski sistemi, gorive ćelije, biomedicina (Isk i sar., 2019). Posebno je interesantna inovativna primena ZnO nanomaterijala u fotokatalitičkom tretmanu zagađenih voda (Bognár i sar., 2024). Heterogena fotokataliza koja pripada fotohemijskim unapređenim procesima oksidacije je već dugi niz godina veoma obećavajuća metoda za tretman voda posebno za uklanjanje perzistentnih mikropolutanta koji najčešće zaostaju nakon primene konvencionalnih metoda prečišćavanja. Mikropolutanti su organske ili mineralne supstance čija toksična, perzistentna i bioakumulativna svojstva imaju negativan uticaj na životnu sredinu i žive organizme čak i pri relativno niskim koncentracijama ( $\mu\text{g/l}$  ili  $\text{ng/l}$ ). Među njima cijanotoksini koji nastaju tokom cijanobakterijskog cvetanja u vodenim ekosistemima bogatim mineralnim i organskim materijama kao što su eutrofna jezera, bare, sistemi za navodnjavanje, kanali, ribnjaci i sl. izazivaju uginuća riba i drugih životinja ekosistema ali predstavljaju i značajan rizik za ljudsko zdravlje koje je ugroženo čak i u kontaktu sa manjim dozama u dužem vremenskom periodu. Sa obzirom da je Paličko jezero kao najveće prirodno jezero u Srbiji zaštićeno područje sa rangom Parka prirode a Ludaško jezero jedno od najstarijih ramsarskih područja Srbije, stabilnost ovih vodenih ekosistema je od velikog ekološkog lokalnog i globalnog značaja (Svirčev i sar. 2017). Najveći uticaj na zagađenje Paličkog i Ludaškog jezera su imale delimično prečišćene otpadne vode grada Subotice i neprečišćene vode naselja Palić (Miljanović i sar., 2018). U ovakvim vodama se mogu naći pesticidi, mikotoksini i farmaceutski aktivna jedinjenja. Stalno alarmantno stanje Paličkog i Ludaškog jezera predstavlja veliki zdravstveni rizik koji može da dovede do kolapsa ovih posebno značajnih vodenih ekosistema. Već duži vremenski period postoji potreba za pronalaženjem novih, efikasnijih metoda sanacije a posebno za neprestani problem cvetanja cijanobakterija i prateću zagađenost cijanotoksinima (Tokodi i sar., 2020). Heterogena fotokataliza je jedna od alternativnih metoda koja se zasniva na generisanju visoko reaktivnih intermedijera kao što su hidroksilni ( $\bullet\text{OH}$ ) radikali pod uticajem svetlosne energije na površini poluprovodničkih metal-oksida, koji u posledičnim reakcijama oksidacije i redukcije mogu praktično da mineralizuju sve toksične supstance u vodi. ZnO kao poluprovodnik sa širokim energetskeg procepom ( $\sim 3.2$  eV) ima jako povoljna optička i električna svojstva za fotokatalitičku razgradnju (Ivetić i sar., 2014). Kada se ZnO ozrači svetlošću odgovarajuće talasne dužine koja odgovara širini optičkog energetskeg procepa, elektroni u valentnoj zoni (engl. valence band, VB) se energetske

pobuđuju u provodni pojas (engl. conduction band, CB) što ostavlja pozitivno naelektrisane šupljine (Slika 1). Pobuđeni elektroni koji migriraju ka površini poluprovodnika mogu da redukuju adsorbovani kiseonik, a zaostale fotogenerisane šupljine direktno da oksiduju polutante ili vodu formirajući  $\cdot\text{OH}$  radikale. Nastali visoko reaktivni anjonski radikali razgrađuju zagađujuće supstance u vodi do manje toksičnih oblika ili ih potpuno mineralizuju do bezopasnih ugljen-dioksida i vode.



Slika 1. Šematski dijagram fotokatalitičke razgradnje sa ZnO  
Figure 1. Schematic diagram of photocatalytic degradation by ZnO

Sinteza ZnO nanočestica sa optimalnom energetsom potrošnjom i ekološki prihvatljivim principima bez oslobađanja toksičnih hemikalija koje mogu dodatno da ugroze životnu sredinu i zdravlje ljudi su izazovi u nanotehnologiji dobijanja ZnO koje tek treba ostvariti. Zelena hemija se kao koncept pominje prvi put još davne 1978. godine (Kletz, 1978) kao alternativno naučno polje sa ciljem realizovanja hemijskih istraživanja i inženjerstva koje minimiziraju upotrebu i formiranje opasnih supstanci. Zelena sinteza ZnO podrazumeva korišćenje jednostavnih, brzih i bezbednih procedura sa netoksičnim prekursorima primenom hidrotermalne, mikrotalasna, sonohemijske ili niskotemperaturne metode.

#### FIZIČKO-HEMIJSKA, BIOLOŠKA I MIKROBIOLOŠKA ANALIZA VODE PALIČKOG I LUDAŠKOG JEZERA

U okviru programa upravljanja ribarskim područjem „Palić” i „Ludaš” urađene su fizičko-hemijske, biološke i mikrobiološke analize vode u periodu od decembra 2018. godine do marta 2019. godine kao deo redovnog monitoringa radi zaštite od potencijalnih zagađenja. Fizičko-hemijski, biološki i mikrobiološki parametri su mereni na nekoliko lokacija (GPS koordinate, Tabela 1 i 2) metodama koje su opisane ranije (Tokodi i sar., 2020). Od fizičko-hemijskih parametara merena je pre svega količina rastvorenog kiseonika (mg/l), saturacija vode kiseonikom (%), elektroprovodljivost ( $E_p$ ), totalni ugljenik (TOC), surfaktanti (SUR),

itd. Povećane vrednosti biološke (BOD) i hemijske (COD) potrošnje kiseonika su pokazatelji ubrzanog procesa eutrofizacije na jezeru Palić (sektor IV), a povišene koncentracije nitrata (NO<sub>3</sub>) na sektoru II (Tabela 1).

Tabela 1. Osnovni fizičko-hemijski parametri vode na jezeru Palić  
Table 1. Basic physico-chemical parameters of water at Lake Palić

Lokalitet	Palić sektor II	Palić sektor III	Palić sektor IV
GPS koordinate	N 46°4'26.6'' E 19°43'19''	N 46°4'26.3'' E 19°43'33.6''	N 46°3'56.2'' E 19°45'1.7''
Parametri/Datum	12.12.2018.	06.03.2019.	12.12.2018.
T (°C)	3,7	7,9	4,2
O <sub>2</sub> (mg/l)	4,91	8,46	8,84
O <sub>2</sub> (%)	37,6	72,3	68,6
E <sub>p</sub> (μS/m)	973	876	934
pH	7,9	8,99	8,44
TSS (mg/l)	15	86	44
TOC (mg/l)	9,8	6,6	9,6
NO <sub>3</sub> (mg/l)	10,6	3,3	1,1
SUR (mg/l)	5,5	1,3	3,1
COD (mg/l)	23,6	20,4	26,8
BOD (mg/l)	8,6	9,2	13,6
Providnost (cm)	35	20	13
Prozračnost (cm)	50	23	14

Ubrzan proces eutrofizacije je konstatovan i na jezeru Ludaš (Tabela 2), što potvrđuju povećana biološka potrošnja kiseonika i povišene koncentracije suspendovanih materija (TSS). Kiseonični režim bio je posebno nepovoljan na lokalitetu Kanal Palić-Ludaš sa izmerenim vrednostima od 1,27 mg/l (Miljanović i sar., 2018).

U skladu sa Pravilnikom o parametrima ekološkog i hemijskog statusa površinskih voda i parametrima hemijskog i kvantitativnog statusa podzemnih voda („Sl. Glasnik RS”, br. 74/2011) i u odnosu na konstatovane vrednosti abundance, % zastupljenosti cijanobakterija i biomase fitoplanktona ispitani lokaliteti jezera Ludaš su svrstani u odgovarajuće klase ekološkog statusa kako je prikazano u Tabeli 3.

Tabela 2. Osnovni fizičko-hemijski parametri vode na jezeru Ludaš  
Table 2. Basic physico-chemical parameters of water at Lake Ludaš

Lokalitet	Ludaš sever	Ludaš sredina	Kanal Palić-Ludaš	Rečica Kireš uzvodno od uliva do železničke pruge	Ludaš kod ustave
GPS koordinate	N46°6'11,43'' E19°49'16,68''	N46°5'50,4'' E19°49'21,9''	N46°6'25,7'' E19°47'58,8''	N46°6'32,0'' E19°50'3,4''	N46°6'9,32'' E19°50'36,54''
Parametri/Datum	12.12.2018.	06.03.2019.	06.03.2019.	06.03.2019.	06.03.2019.
T (°C)	3,5	9,5	10,1	8,5	9,2
O <sub>2</sub> (mg/l)	5,07	11,65	1,27	4,28	8,79
O <sub>2</sub> (%)	39,3	108,3	11,9	45,7	90
E <sub>p</sub> (μS/m)	978	858	894	797	886
pH	7,92	9,35	8	7,56	8,85
TSS (mg/l)	28,4	80,0	33,5	10,6	36,5
TOC (mg/l)	9,8	9,5	8,8	6,5	9,8
NO <sub>3</sub> (mg/l)	<0,5	<0,5	<0,5	4,2	<0,5
SUR (mg/l)	3,9	0,8	2,4	3,2	2,1
COD (mg/l)	25,8	30,0	25	16,4	28,6
BOD (mg/l)	13,7	13,6	12,6	9,2	14,1
Providnost (cm)	11	10,0	15	do dna	10
Prozračnost (cm)	15	13,0	19	do dna	13

Tabela 3. Ocena ekološkog statusa različitih lokaliteta jezera Ludaš  
Table 3. Evaluation of the ecological status of different localities in Lake Ludaš

Parametar	Abundanca	Hlorofil „a”	CYA, %
Lokalitet		Ludaš sever	
Klasa ekološkog satusa	V	III	V
Lokalitet		Ludaš sredina	
Klasa ekološkog satusa	V	V	V
Lokalitet		Kanal Palić-Ludaš	
Klasa ekološkog satusa	V	IV	V
Lokalitet		Rečica Kireš uzvodno od uliva do železničke pruge	
Klasa ekološkog satusa	I	I	V
Lokalitet		Ludaš kod ustave	
Klasa ekološkog satusa	V	V	V

Zbog anaerobnih procesa razgradnje koji se odvijaju u sedimentu, konstatovan je mali diverzitet faune dna, gde je zabeleženo prisustvo samo dve grupe organizama (Diptera i Oligochaeta) sa veoma niskom abudancom.

U istraživanom periodu je konstatovana dominancija cijanobakterija, sa preko 90% na sektorima II i IV Palićkog jezera i na lokalitetima Ludaš sever, Ludaš sredina, Kanal Palić-Ludaš, rečica Kireš uzvodno od uliva do železničke pruge i Ludaš kod ustave (koordinate date u Tabli 2.). Biomasa fitoplanktona, izražena preko hlorofila „a“ ukazuje na drugu klasu ekološkog statusa ovih sektora Palićkog jezera. Na lokalitetu sektor III Palićkog jezera pronađena je znatno manja zastupljenost cijanobakterija (58%) i povećano prisustvo bacilariofita, utvrđena je II klasa ekološkog statusa vode u odnosu na abundancu, V klasa po % zastupljenosti predstavnika razdela cijanobakterija i IV klasa po koncentraciji hlorofila „a“.

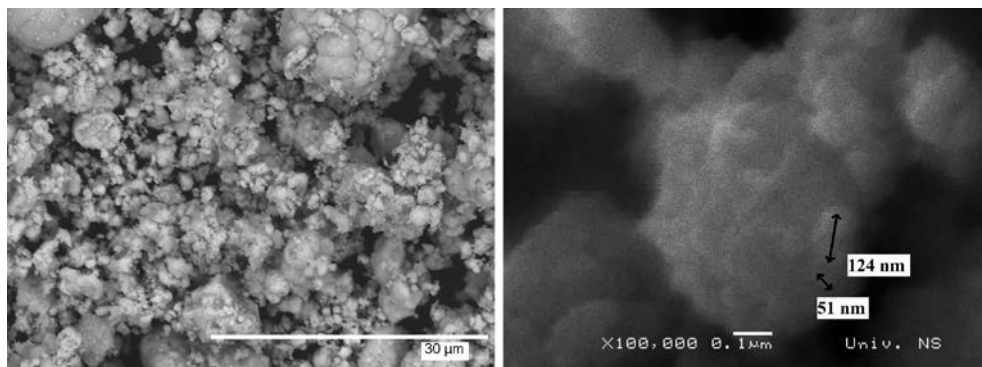
Ovi podaci govore o povećanom riziku trovanja cijanotoksinima, biološki aktivnim jedinjenjima koja se skupljaju unutar ćelija cijanobakterija i oslobađaju prilikom njihovog oštećenja ili prirodnog uginuća. Vrste cijanobakterija roda *Microcystis* koja proizvodi brojnu familiju toksina naziva mikrocistini sa do sad preko 100 pronađenih strukturnih formi su dominantno prisutne u vodi jezera Ludoš po poslednjim ispitivanjima (Tokodi i sar., 2020). Svetska zdravstvena organizacija (SZO) je propisala najvišu dozvoljenu koncentraciju mikrocistina od 1µg/L. Najveća koncentracija od 0.285 µg/L je zabeležena u septembru 2018. godine (Tokodi i sar., 2020) u vodi jezera Ludaš. Mikrocistini su ciklični heptapeptidi toksični za životinje i ljude i predstavljaju jednu od glavnih pretnji vodi za piće i navodnjavanje, kao i životnoj sredini u celini.

#### POSTUPAK ZELENE SINTEZE

Cink oksidne nanočestice za fotokatalitičko uklanjanje mikropolutanata kao što su cijanotoksini, mikotoksini, herbicidi i farmaceutici iz vode su sintetisane trostepenim procesom sagorevanja vinske kiseline. Prvi korak je bilo mlevenje stehiometrijske mešavine polaznih prekursora cink-acetata (Betahem, p.a.,  $Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$ ) i vinske kiseline (Carl Roth, p.a., DL- $C_4H_6O_6$ ) na sobnoj temperaturi tokom 60 minuta i formiranje međuproizvoda cink-tartarata. Drugi korak je termičko razlaganje cink-tartarata laganim odgrevanjem brzinom od 10 stepeni u minuti od sobne temperature do 450°C, a treći je bilo žarenje na temperaturi od 450°C još 60 minuta kada nastaju nanočestice ZnO. Dobijeni prah se potom ispirao radi uklonjanja ostataka organske materije centrifugiranjem pet puta po 10 min na 4000 rpm i konačno sušio na 100 °C nekoliko sati.

#### KARAKTERIZACIJA ZnO NANOČESTICA

Prosečna veličina kristalita ZnO heksagonale faze je procenjena iz rendgenograma (Rigaku Miniflex 600 diffractometer) primenom Debaj-Šererove jednačine i određivanjem širenja linije najintenzivnije difrakcije (101) na  $2\theta = 36.2^\circ$  i iznosila je manje od 20 nm. Skenirajuća elektronska mikroskopija (SEM, Hitachi TM3030 i JEOL JSM 6460LV) na nekoliko uvećanja pokazala je sfernu morfologiju ZnO čestica i povezivanje u veće agregate (Slika 2).



Slika 2. SEM slike ZnO nanočestica na različitim uvećanjima  
 Figure 2. SEM images of ZnO nanoparticles at different magnifications

## FOTOKATALITIČKA RAZGRADNJA MIKROPOLUTANATA

Fotokatalitička aktivnost novosintetisanih zelenih ZnO nanočestica na bazi vinske kiseline ispitana je korišćenjem fotokatalitičkog reaktora (TOPT-V, Toption, China) sa fotohemijskom ćelijom od kvarcnog stakla ukupne zapremine 100 mL i ksenonskom lampom koja simulira sunčevo zračenje (Merkulov i sar., 2023). Promena koncentracije zagađujućih mikropolutanata (herbicida klomazona i kvimerka, mikotoksina zearalenon, i leka ciprofloksacina) praćena je u vremenskom intervalu od 60 min ozraćivanja metodom tačne hromatografije (UFLC-FL, Shimadzu Nexera, Tokyo, Japan). Efikasnost razgradnje ispitanih mikropolutanata od 100% utvrđena je za herbicide i mikotoksin, dok je efikasnost u razgradnji modelne supstance farmaceutika bila nešto viša od 90%.

## ZAKLJUČAK

Fotokatalitička razgradnja se pokazala veoma efikasnom metodom za prečišćavanje vode. ZnO se često primenjuje kao fotokatalizator u heterogenoj fotokatalizi zbog svojih dobrih fizičko-hemijskih svojstava, kao što je hemijska stabilnost i optički energetski procep koji pogoduju uspešnoj fotokatalitičkoj aktivaciji i razgradnji zagađujućih organskih materija u vodi. Fotokatalitička aktivnost ZnO zavisi od više faktora, kao što su veličina kristalita, specifična površina i način sinteze. U ovom radu, opisana je sinteza nanočestica ZnO primenom „zeleno hemije” i 100% efikasnost u fotokatalitičkoj razgradnji nekoliko mikropolutanata voda u laboratorijskim uslovima u trajanju od samo 60 minuta ozraćivanja simuliranim sunčevim zraćenjem. Ovakav alternativni metod bi mogao biti rešenje za problem cijanotoksičnih zagađenja otvorenih i zatvorenih vodenih ekosistema ali i vode za piće.



## Zahvalnica

Ovo istraživanje je finansirao Fond za nauku Republike Srbije (br. projekta 7747845, naziv projekta: „In situ pollutants removal from waters by sustainable green nanotechnologies”-CleanNanoCatalyze). Autori takođe zahvaljuju na finansiskoj podršci i Ministarstvu nauke, tehnološkog razvoja i inovacija Republike Srbije (ev.br. 451-03-66/2024-03/200125 i 451-03-65/2024-03/200125) i Pokrajinskom sekretarijatu za visoko obrazovanje i naučnoistraživačku delatnost (br. projekta: 142-451-3479/2023-01/2, naziv projekta: „Razvoj novih visoko-osetljivih senzora za monitoring gasnih zagađenja i vlažnosti u Vojvodini”).

## LITERATURA:

- Bognár, S., Jovanovića, D., Putnik, P., Despotović, V., Ivetić, T., Bajac, B., Tóth, E., Finčur, N., Maksimović, I., Putnik-Delić, M., Zec, N., Deák, C., Kozma, G., Banić, N., Jagodić, I., Šojić Merkulov, D., Solar-driven removal of selected organics with binary ZnO based nanomaterials from aquatic environment: chemometric and toxicological assessments on wheat, *Journal of Environmental Chemical Engineering* 12 (2024) 112016.
- Miljanović, B., Jurca, T., Pogrmic, S., Mijić Oljačić, I., Pankov, N., Bajić, A., Simeunović, J., Program upravljanja ribarskim područjem u okviru PP „Palić” za period 2018.–2027. godine, Prirodno-matematički fakultet, Univerzitet u Noviom Sadu, Novi Sad, 2018, 1–42.
- Šojić Merkulov, D., Bognar, S., Finčur, N., Jovanović, D., Eco-inspired synthesis and photocatalytic application of novel ZnO nanoparticles from peel extract of banana, *International Scientific Journal ”Machines, Technologies, Materials”*, 17 (2023) 38–39.
- Ivetić, T.B., Dimitrievska, M.D., Finčur, N.L., Đačanin, Lj.R., Guth, I.O., Abramović, B.F., Lukić-Petrović, S.R., Effect of annealing temperature on structural and optical properties of Mg-doped ZnO nanoparticles and their photocatalytic efficiency in alprazolam degradation, *Ceramics International* 40 (2014) 1545–1552.
- Isık T, Elhousseini Hilal M, Horzum N. Green Synthesis of Zinc Oxide Nanostructures, *Zinc Oxide Based Nano Materials and Devices*, IntechOpen, Oct. 09, 2019. doi: 10.5772/intechopen.83338.
- Svirčev, Z., Tokodi, N., Drobac, D., Review of 130 years of research on cyanobacteria in aquatic ecosystems in Serbia presented in a Serbian Cyanobacterial Database, *Advances in Oceanography and Limnology* 8 (2017) 153–160.
- Tokodi, N., Drobac Backović, D., Lujčić, J., Šćekić, I., Simić, S., Đorđević, N., Dulić, T., Miljanović, B., Kitanović, N., Marinović, Z., Savela, H., Meriluoto, J., Svirčev, Z., Protected freshwater ecosystem with incessant cyanobacterial blooming awaiting a resolution, *Water* 12 (2020) 129.
- Kletz, T. A., What You Don't Have, Can't Leak., *Chemistry and Industry* (1978) 287–292.

## IZVORIŠTA I SLIVNA PODRUČJA U POJASU BUDUĆE BRZE SAOBRAĆAJNICE OD SUTORINE DO ZELENIKE

Olivera Doklešić\*

Ekoboka projekt d.o.o. – Herceg Novi, e mail: ekoboka.rp@gmail.com

### REZIME

Projektno rješenje i izgradnja brze saobraćajnice kroz Herceg Novi, na potezu: Sutorina-Mojdež- Sušćepan-Trebesin- Zirine-Podi-Zelenika u ukupnoj dužini 10,5 km treba da se nadoveže na prostorno-plansko rješenje dato u PUP-u Herceg Novog i Prostornom planu Crne Gore. Trasa je izazvala veliku sumnju građana i stručne javnosti iz razloga metodologije rada u pristupu rješavanju saobraćajnog zadatka, gdje su izostale prethodne studije rekognosciranja terena, sagledavanje vodnih prilika na terenu, geoloških i hidrogeoloških, i bojazan zbog moguće izgradnje takve saobraćajnice koja prolazi kroz područja karakteristična po brojnim izvorima, bujičnim tokovima, vrelima, ali i već postojećim klizištima. Rad daje kratku analizu vodne slike na predmetnom zahvatu.

KLJUČNE RIJEČI: brza saobraćajnica, izvor, vodotok, slivno područje, PUPOHN.

## WATER SOURCES AND DRAINAGE AREAS IN THE BAND OF THE FUTURE HIGH-SPEED ROAD FROM SUTORINA TO ZELENIKA

### APSTRACT

Project solution and construction of a high-speed road through Herceg Novi, on the stretch: Sutorina- Mojdež-Sušćepan-Trebesin-Zirine-Podi-Zelenika with a total length of 10.5 km should be connected to the average the planning solution given in the Space Plan of Herceg Novi Municipality and the Spatial Plan of Montenegro. The route is challenging caused great suspicion by citizens and the professional public due to the methodology of work in the approach to solving problems of fraternal tasks, where there were no previous studies of terrain reconnaissance, surveying water conditions on the ground, geological and hydrogeological, and fears about the possible construction of such a road which passes through areas characterized by numerous springs, torrents, but also already existing landslides. The paper provides a brief analysis of the water picture in the subject area.

KEY WORDS: motorway, water sources, drainage areas, Space and urban plan of Herceg Novi Municipality.

## UVOD

Očuvanje vodnih resursa pitanje je, koliko za sadašnjost, toliko još više za budućnost. Čiste vode, neopasne za ljudsku konzumaciju i upotrebu, sve je manje u svijetu. U našim predjelima gotovo je nemoguće naći izvorsku vodu koja je bakteriološki ispravna. Hemijska kontaminacija je rjeđa pojava. U kontekstu geološkog i morfološkog sklopa terena, tektonskih poremećaja (gledajući analizu velikih zemljotresa u posljednja tri vijeka) i imajući u vidu antropogene činioce sredine, gdje su najznačajniji radovi koji slobodne površine pretvaraju u građevinsko tlo, uz modifikovanje parametara tla, vodni resursi su sve više ugroženi. Ugrožen je njihov kvalitet, kvantitet, prirodni tok, često se gube iz poznatih vodnih tijela i pojavljuju na drugim (neočekivanim) mjestima. Lutajuće vode, kao fenomen prostora i vremena

U ovom radu razmatramo trasu buduće tzv. brze saobraćajnice kroz hercegnovsku opštinu, na području od granice sa Republikom Hrvatskom, koja vodi bližim zaledem, do sasovića, odakle se spušta odvojak lokalne saobraćajnice do Zelenike i spaja na Jadransku magistralu. Ovakva trasa je zacrtana Prostorno-urbanističkim planom Opštine, izmjene i dopune, koji je još u izradi, ali sa nactom izloženim u junu 2023. godine. Na ovom potezu zapažen je veliki broj značajnih vodnih tokova, izvorišta, podzemnih akumulacija i značajnih podzemnih tokova koji prihranjuju vodna tijela, odnosno, izvorišta koja su u fukciji Sistema snabdijevanja vodom, ili su to bila u nekom prethodnom period. Ovaj rad ima zadatak da skrene pažnju stručnoj javnosti i vlasnicima zemljišta na tom području na postojanje vodnih resursa, te da ona zaslužuju ozbiljnu pažnju i studijsku analizu. Pojava vodnih resursa je znak upozorenja, kako zbog činjenice nužnog očuvanja istih, u kvalitativnom i kvantitativnom smislu, a, s druge strane, i zbog izbjegavanja konfliktnih situacija, do kojih dovodi poremećaj

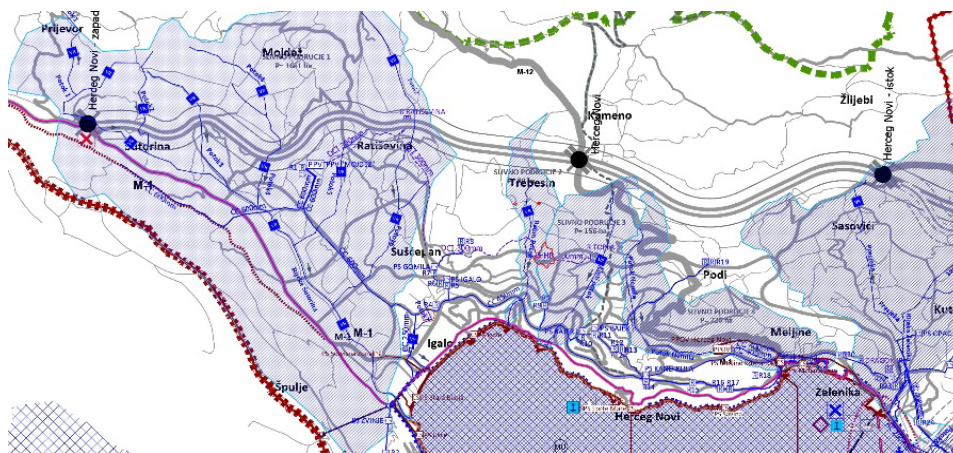
## OSNOVNE KARAKTERISTIKE BRZE SAOBRAĆAJNICE

Herceg Novi već duže vrijeme ima velike saobraćajne gužve, kolapse u ljetnjem periodu, kada se duž magistrale formiraju kilometarske kolone vozila. Kao pogranični grad, sa tri međunarodna granična prelaza, Herceg Novi prihvata tranzitni saobraćaj između Evrope i Albanije, odnosno, Južne Srbije i Makedonije, kao i veliki broj turista, koji saobraćaju tuda, sa destinacijom: Herceg Novi ili cijela Crna Gora. U cilju rasterećenja postojeće mreže saobraćajnica planeri su predvidjeli izgradnju "obilaznog" koridora za tranzitne tokove na pravcu Sutorina-Zelenika sa povoljnijim elementima trase i diferenciranim priključcima.

U planskom dokumentu, faza saobraćaja piše: "Okosnicu razvoja područja opštine Herceg Novi čine planirane trase obilaznih puteva koji treba da po obodu šireg gradskog područja izvedu tranzitne tokove koji u postojećem stanju opterećuju gradsku dionicu magistralnog puta M-1 kao i da sublimiraju saobraćajne tokove prigradskih naselja. Obilaznica Herceg Novog je neophodna da obezbijedi saobraćajnu vezu šireg područja Herceg Novog, tj. da poveže naselja koja su sjeverno od grada, tako da taj saobraćaj ne prolazi kroz uže urbano područje Herceg Novog, već da ga zaobiđe. U skladu sa tim planira se obilaznica od Sutorine do Zelenike, na trasi: Sutorina-Sušćepan-Zirine-Podi-Zelenika u ukupnoj dužini 10,5 km.

Funkcionalna kategorizacija planirane putne mreže urađena je u skladu sa: Prostornim planom Crne Gore ("Službeni list Crne Gore", br. 24/08), te usklađena sa konceptom novog Prostornog plana Crne Gore, Zakonom o putevima ("Službeni list RCG" br. 82/2020), Pravilnikom o bližem sadržaju i formi planskog dokumenta, kriterijumima namjene površina, elementima urbanističke regulacije i jedinstvenim grafičkim simbolima ("Službeni list Crne Gore", br. 24/10 i 33) itd.... Osovina razvoja južnog dijela Crne Gore, a samim tim i područja opštine Herceg Novi, biće izgradnja Jadranske magistrale za brzi motorni saobraćaj”.

Prostornim planom su definisani koridori i osnovne i alternativne trase brze saobraćajnice, usklađeno i sa Prostornim planom posebne namjene za obalno područje CG (PPNOP). Načelno je ostavljeno koridor od 300 metara širine za definisanje putnog pojasa, u dužini od oko 19,2 km. Trasa započinje od granice sa R. Hrvatskom, vodi sjeverno od Sutorine na oko 350 m.n.m., preko donjeg područja sela Mojdež, iznad Igala i Herceg Novog i spušta se prema Zelenici, i do sada je definisana na nivou generalnog projekta.



Slika 1. Izvod iz PUP OHN, izmjene i dopune, nacrt, kolska obilaznica sa identifikovanim vodnim tokovima, svijetlo plavom bojom su prikazana slivna područja

Figure 1. Extract from PUP OHN, changes and additions, plan, road bypass with identified water courses, catchment areas are shown in light blue

### VODNI TOKOVI KOJE PRESJECA TRASA ZA OBILAZNICU

Na području opštine Herceg Novi prosječne godišnje padavine su 1920 l/m<sup>2</sup> padavina. Od ove količine tokom perioda od oktobra do januara (period maksimalnih godišnjih padavina, po intenzitetu i dužinama trajanja) padne 49 % kiše, odnosno oko 234 l/m<sup>2</sup>, dok u periodu od juna do avgusta padne svega 9% od ukupne godišnje količine, ili oko 60 l/m<sup>2</sup>. U ostalom dijelu padavine su 42% od ukupno godišnjeg vodnog bilansa. Kiše, odnosno, pale i otekle vode, na gravitacionim i geološkim slivnim područjima, formiraju potoke i određuju njihov godišnji režim tečenja, odnosno, periodičnost pojavljivanja. Na području opštine većina

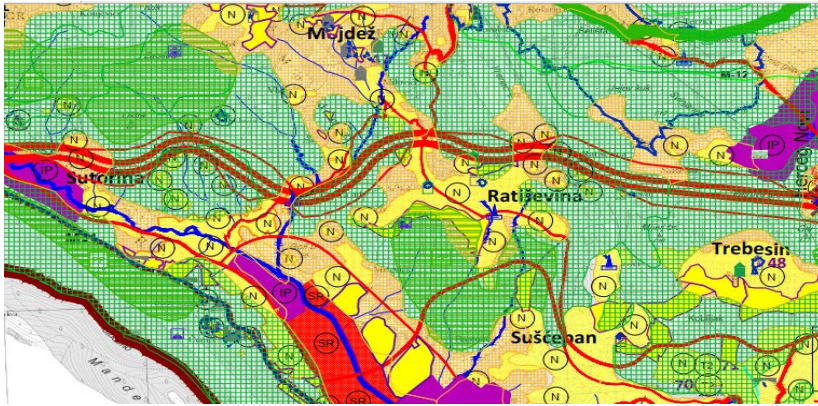
potoka je takvog karaktera, s izuzetkom rijeke Sutorine i nekih manjih tokova. Režim pojavljivanja izvorišta u vezi je sa geološkim sklopom tla, gdje se akumuliraju ili kroz koje putuju podzemne vode. U zavisnosti od brzine punjenja podzemnih spremišta dolazi i do pojavljivanja vode na površini terena, što zovemo izvorom vode. Trasa vodi od rijeke Sutorine, neposredno uz sutorinsko polje, pa prekovodonosnog predjela donjeg Mojdeža i Ratiševine, preko Trebesina, potom, preko Matkovića mosta i Ljutog potka, Mištice iznad kuća Kneževića, gdje je klizište koje nije u potpunosti sanirano; potom prolazi iznad izvora Crmnica, do ulazi u apartmansko naselje „Boka hills“, gdje se sječe sa starim pitem: Meljine – Kruševice. Čitav taj dio je prepun potoka i izvora vode. U kišnom periodu ovo područje je ispresjecano velikim brojem otvorenih i podzemnih tokova, koji su često i uzročnici klizanja terena. Zapravo, pojava i dalje latentnih, nesaniranih, klizišta ima u Mojdežu, Ratiševini, Podima, a zbog velikog nagiba terena, usljed lošeg izvođenja građevinskih radova, a djelovanje razbuđenih vodnih tokova, naročito u vrijeme kišnih perioda, moguća su aktiviranja novih. Na karti vodnih područja i brze saobraćajnice, na analiziranoj dionici: planer hidrotehnike je izdiferencirao:

- Slivno područje “1”, površine  $P = 1661$  ha (Sutorina, Mojdež, sa rijekom Sutorinom, potokom Trtor i dr.)
- Slivno područje “2”, površine  $P = 80$  ha (Trebesin, Topla 2, sa potocima: Igalo ili Babin),
- Slivno područje “3”, površine  $P = 156$  ha (Trebesin, Podi, sa potocima: Ljuti, Crmnica – Nemila)
- Slivno područje “5”, površine  $P = 956$  ha (Sasovići, Presjeka, Kuti, sa izvorima u Sasovićima, rijekom Zelenika, Opačicom).

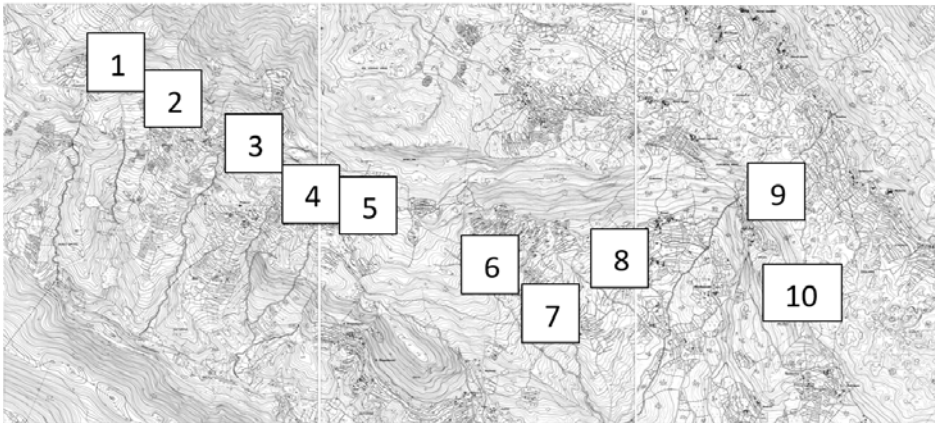
U nastavku ćemo razmotriti najvažnije vodotokove, izvore i slivna područja.

### 1) Rijeka Sutorina

Slivno područje rijeke Sutorine čine južne padine areala sela Mokrine i pripada širokoj tektonsko-erozionoj zoni, koja je izrađena od flišnih naslaga iz perioda gornjeg eocena, zapunjena u donjem dijelu aluvijalnim nanosom, debljine 15÷30 metara. Kako u sastavu tla slivnog područja preovladava glinena komponenta, vodopropusnost sliva je relativno niska, tako da se pale i otekle vode slivaju u obliku velikog broja malih bujica koje stvaraju tok rijeke Sutorine. Erozioni procesi su naročito razvijeni u gornjem toku sliva, dok su najniži djelovi izgrađeni od debelih naslaga aluvijalnog nanosa, zasićeni podzemnom vodom i često plavljeni zbog uspornog djelovanja mora.



Slika 2. Trasa saobraćajnice i pripadajući putni pojas  
 Figure 2. Road route and the associated road belt



Slika 3. Rječice i slivna područja na potezu Sutorina – Mojdež – Ratiševina, u zahvatu brze saobraćajnice  
 Figure 3. Rivers and catchment areas on the stretch Sutorina - Mojdež - Ratiševina, in the reach of the high-speed road

Osnovne karakteristike sliva rijeke Sutorine:

- Površina sliva je 23,40 km<sup>2</sup>
- Koeficijent oblika sliva  $A = 0,429$ , sliv male do srednje koncentracije poplavnog talasa
- Srednja visinska razlika sliva:  $H = 200$  m
- Nagib sliva je  $i=2,7\%$
- Srednja širina sliva  $B=23,40/7,5 = 3,12$  m
- Dužina toka rijeke je 9,1 km
- Računski proticaj:  $Q = 70$  l/s.



Tok rijeke Sutorine oformljava nekoliko izvorišta u selima od Draževog brda, Matkovina, sa Hrvatske strane, i Dubrave, Malte, Prijedora, sa crnogorske strane. Takođe, u vrijeme kiša ulijevaju se brojni bujični tokovi iz ovih sela, u tok Sutorine. Računajući da je vrh Kuk sa 457 mm (selo Malta) najvisočija tačka u slivnom području Sutorine, to se može uzeti i da je to najvisočija tačka rijeke, odakle se formira tok i eventualni poplavni talas. Najvisočiji izvor je Dubovik na oko 400 mm, u rubnom dijelu sela Malta prema Mokrinama ili južnim Mokrinama. Vododjelnica, koja je granica između Hrvatske i Crne Gore, čini razdjelnicu dva vodna sliva, onog sa crnogorske strane, koji tvori Sutorinu, i drugog, sa Hrvatske, koji tvori Konavočicu. Izvori, od kojih počinje rijeka Sutorina, ljeti su slabe izdašnosti da skoro i presušuju. Gotove sve pritoke rijeke nalaze se sa njene lijeve strane. Radi se o bujičnim tokovima, periodičnog klaraktera, osim potoka Trtor, koji ima vode preko čitave godine. Ali, kako mu i ime kaže, može da ima dosta veliku snagu usljed velikog nagiba trase kojom prolazi sve do ušća u Sutorinu.

## 2) Vodno područje u ataru sela Mojdež

Selo Mojdež poznato je da ima najviše izvorišta vode u cijeloj opštini Herceg Novi (Glogovac, Lovac, Trtor, Oštri Zub, Žljebljenik, Gučina, Podkučje ili Zorića voda, Donja voda, Vojinova voda, Dubočnjak, Milića voda, Vlaovića voda, Perova voda i dr.). Na slici 1. slivna područja u Mojdežu i Sutorini zajedno su označena brojem "1" površine 1661 ha. Iz dostupne literature, terenskih obilazaka i analiziranja inženjersko-geoloških i hidrogeoloških karata, zaključuje se da se radi o cjelovitom vodonosnom području, gdje jedan broj izvora ima cjelogodišnju izdašnost. Pedesetih godina prošlog vijeka izgrađena je vodovodna cjev sa Lovca za dopunu hercegnovskog sistema snabdijevanja, po proračunu za kapacitet od  $Q=42$  l/s, čime su mještani ostali uskraćeni za vodu koja je pokretala mlinove i za natapanje poljoprivrednih površina. Zagonetka postojanja brojnih izvora 70-tih godina je bila osnova za geoistražne radove, (1972-74, izvođač radova zavod za geološka i geofizička istraživanja "Geozavod" iz Beograda) uz pretpostavku postojanja velikih podzemnih spremišta, akumulacije u području Mokrine-Mojdež, te mogućnosti zahvatanja za potrebe snabdijevanja vodom opštine Herceg Novi. Tada se započelo sa kopanjem tunela dužine 1060 m, za zahvatanje podzemnih voda ispod puta između zaselaka Miokusovići i Kovači, u gornjem predjelu Mojdeža. Međutim, septembra 1974. pokuljala je bujica vode iz tunela (grubi proračun količine od  $Q = 10$  m<sup>3</sup>/s) koja je napravila veliku štetu nizvodnim imanjima i objektima za 20 porodica. Tada su radovi okončani i gradilište zapečaćeno. Nikada nije urađen bilans mojdeških izvora niti jer je ikada išta rađeno na fizičkoj zaštiti vodnih tijela, vodnih tokova, permanentnom praćenju kvantiteta i kvaliteta mojdeških izvora. Zapravo, prije Drugog svjetskog rata postojao je Odbor za vodu, koji se bavio rasporedom vode po domaćinstvima i poljoprivrednim imanjima, kao i ljekarskom kontrolom kvaliteta vode. Međutim, mjenjanje suštine pojma vode, kao robe, sa ekonomskom cijenom, uz razvoj turističke privrede, izmijenilo je svijest o značaju vode, pa je ona postala predmet koncesija i tržišnih odnosa. Povrh svega, izvor "Lovac", koji je u kišnom periodu imao maksimalnu izdašnost od 180 l/s, a u minimum u septembru opadao na 10 l/s, u junu 2001. je potpuno presušio. Vjerovatno iz razloga pretjerane iscrpljivosti njegovih podzemnih spremišta iz kojih se prihranjivao, a možda i iz razloga promjena u geomorfološkoj strukturi podzemnim slojeva tla.

### 3) Potok Igalo, ili Babin potok

Slivno područje ovog vodotoka nalazi se u selu Trebesin,

- Površina sliva je  $P=1,64 \text{ km}^2$ ,
- Najveća dužina sliva:  $L=2,20 \text{ km}$ ,
- Koeficijent oblika sliva  $A=0,469$  (sliv srednje koncentracije poplavnog talasa, oblik lepezast, veća mogućnost poplavnih voda),
- Srednja visinska razlika sliva:  $H_{sr}=230\text{m}$ ,
- Nagib sliva:  $i=20\%$ ,
- Srednja širina sliva  $B=745 \text{ m}$

### 4) Ljuti potok

Slivno područje Ljutog potoka je na površinama neurbanizovanog i izgrađenog područja naselja Topla 1, Topla 2, dio Poda i Kamenoga i započinje visoko, čak do jugozapadnih padina Dobroštica. Prema hidrogeološkoj karti, teren slivnog područja je heterogenog sastava, tako što se u litološkom nizu smjenjuju partije krečnjaka i rožnaca, do laporovitih krečnjaka, laporaca i glinaca, u gornjem dijelu sliva i toka Ljutog potoka, do glinovite drobine, u donjem dijelu sliva. U hidrogeološkom smislu, sastav slivnog područja upućuje na stijene koje su u cjelosti vodopropusne, zatim slabo vadopropusne i promjenljive vodopropusnosti. Osnovni elementi slivnog područja su:

- Površina sliva iznosi  $P=7,2 \text{ km}^2$ ,
- Najveća dužina sliva  $L=5,6 \text{ km}$ ,
- Koeficijent oblika sliva  $A=0,425$  (sliv srednje koncentracije poplavnog talasa)
- Srednja visinska razlika sliva  $H_{sr}=690\text{m}$ ,
- Pad sliva  $i=23\%$
- Srednja širina sliva  $B=1,285 \text{ m}$ .

### 5) Izvorište Crmnica

Izvorište Crmnica u Podima je kaptiran u doba austrougarske uprave i bio je nekada glavni vodni resurs za snabdijevanje grada Herceg Novog. Izdašnost mu je danas na  $Q=3,0 \text{ l/s}$ . Dovođenjem u Herceg Novi vode sa vodostana "Plat" iz sistema Hidroelektrana na Trebišnjici, ovaj izvor je ostao van javne funkcije, zaboravljen. Neobičan je tok koji formira Crmnica, I to prvo kao rječica (na kojoj su takođe bili mlinovi za ulje), a potom se spušta vodopadom u dolinu Nemila gdje tok dobija takvo i ime. Gornji dio sliva je izgrađen od krečnjaka i rožnaca, dobro vodopropusnih naslaga pukotinske poroznosti. Na području sela Podi depresije su mjestimično zapunjene glinovitim materijalom sa promjernljivom sadržinom sitne drobine (crvenica u depresiji i na padini), a to su uglavnom naslage promjenljive vodopropusnosti i relativno male debljine. Površina sliva je  $3,26 \text{ km}^2$ , a dužina sliva  $L=3,8 \text{ km}$ ; koeficijent oblika sliva je  $A=0,370$  što odgovara srednjoj koncentraciji poplavnog talasa.



## 6) Izvori u Sasovićima

Područje Sasovića sa Vrelima je izuzetno vodonosno. Postoji i podzemno jezero u Sasovićima, nepoznatog volumena vode, a koje je prehranjivalo Vrelo. Nažalost zbog miniranja prije više od deset godina došlo je do poremećaja vodnog toka; voda se izgubila sa poznatog točila. Ovo izvorište već odavno nije u sastavu hercegnovskog sistema snabdijevanja vodom iako se i dalje računa na njegovih  $Q=3,0$  l/s u prostorno-planskim dokumentima.

## 7) Opačica

Karstna izdan Opačice razvijena je u karstifikovanim i masivnim krečnjacima gornjokredne starosti, koji izgrađuju istočni obod i paleorelje Kućanskog polja. Karstna vodonosna sredina oivičena je prema jugu bočnom i podinskom barijerom, koju čine slabo propusni tankoslojeviti i pločasti krečnjaci donjokredne starosti, odnosno nepropusni sedimenti fliša koji izgrađuju osnovu terena. U ovom izvorištu nivo vode u karstnom kanalu tokom hidrološkog minimuma je oko 4 m.n.m., a preliva na 7 m.n.m. Slivno područje Opačice je površine oko 18 km<sup>2</sup> i zahvata lokalitete: Kuti, Marići, Lastva i Podi. Opačica je najvrijedniji izvor na potezu obale Crne Gore, sve do Ulcinja, jer ne zaslanjuje ni tokom ljetnjeg perioda, što mu omogućava geološka barijera. Opačica je dio sistema snabdijevanja vodom Herceg Novog, a maksimalna izdašnost joj je 150 l/s. Slivno područje je već uveliko u zoni građevinskog zemljišta. Međutim, gradnja još nije intenzivirana kao u drugim djelovima opštine. Nagovještaj izgradnje saobraćajnice a bez velike pažnje ka slivnom području Opačice unosi sumnju i veliku dozu rezerve u kvalitet projektnog rješenja i izvođenje radova. Naime, slivno područje Opačice kao i voda u sasovićima i Presjeci nije potpuno istraženo. Postoje pretpostavke da bi se mogla uhvatiti još bat jedna vodna „žica“ koja prihranjuje bunare u Kućanskom polju ili izvorišta koja izlaze u more na granici Zelenika – Kumbor. Te „žice“ su u pojasu nove brze saobraćajnice.

Zaštita slivnog područja Opačice je već duže vrijeme predmet interesovanja lokalne uprave, ali i države. Bilo kakvi značajniji radovi u zoni slivnog područja, bez detaljnih analiza kretanja vodnih tokova mogu dovesti do trajnog oštećenja i gubitka ovog značajnog vodnog resursa.

## RAZMATRANJA U OKVIRU PROSTORNO-PLANSKE DOKUMENTACIJE I IZVEDENIH RADOVA NA SAOBRAĆAJNICAMA

Postojeći magistralni put Meljine–Kruševice – Trebinje, sa graničnim prelazom na Sitnici napravio je dosta poremećaja na terenu. Pori njegovoj izgradnji nije se na potreban način vodilo računa o potocima, koji su ostali velikim dijelom nerješeni, odnosno, s lošim tehničkim rješenjima, te su to potencijalni problem za nastanak klizišta. U središnjem dijelu te saobraćajnice nalazi se kamenolom, gdje se u iskopanim rupama i stvorenim zasjecima sakuplja velika količina vode, čiji dalji tok je novi problem. Kamenolom je svojim radom a naročito miniranjem značajno promijenio geološku i morfološku strukturu terena. U neposrednoj blizini kamenoloma postojeći kolski put je s velikim pukotinama, kao i potporni

zidovi uz put. Samo je pitanje kada će se dogoditi još veća i opasnija pucanja i klizanja tla, koja mogu da imaju tragične posljedice. Ovaj postojeći put se ukršta sa budućom brzom saobraćajnicom, u tački iznad Trebesina a ispod Kamenoga. Dosadašnja iskustva u projektovanju i izgradnji kolskih saobraćajnica, pogotovo onih većeg značaja, morala bi da imaju ozbiljnu ulogu u svakom daljem projektovanju. Naime, za ovdje predmetnu brzu saobraćajnicu kroz Herceg Novi, koja je zacrtana PUP-om Crne Gore, PPPNOP kao i PUP-om Opštine Herceg Novi, izmjene i dopune, koje je javnosti i stručnoj komisiji, koji je oformilo Ministarstvo uređenja prostora, predočeno, trasa brze saobraćajnice je ucrtana ali bez prethodnih hidrotehničkih studija, analiza prostornih hidrogeoloških svosjtava terena, u kojoj bi bili sagledani izvori, kaptaze, bujični tokovi, slivna područja, kao i sve anomalije na terenu uzrokovane vodnim djelovanjem. Ovakvo ponašanje u planiranju prostora gdje je zamjenjen red koraka može da ima velike posljedice po kvantitet i kvalitet vodnih resursa, ali još više i po cijelokupni prostor koji može da ima značajne štetne posljedice u aktiviranju klizišta, i nanošenju velike materijalne štete, do ugrožavanja ljudskih života.

## ZAKLJUČAK

Živimo u vremenu brzih a značajnih promjena. Naročito se brze promjene događaju u domenu izgradnje objekata. Brze saobraćajnice su uslov razvoja sredine, privrede, a naročito turizma. Zapravo, bez dobrih saobraćajnica i nema razvoja turizma. Herceg Novi je nekako ostao na margini ubrzanog razvoja upravo i iz razloga nedostatka dobrih saobraćajnica. S druge strane gledano, Opština Herceg Novi, njene urbanizovane i poluurbanizovane strukture su smještene na kotama terena od same obale mora do nekih 300 mnm. Karstni sklop terena je činilac nastajanja vodnih tijela, odnosno, izvorišta i vodnih tokova. Veliki broj vodnih tokova čini vodnu sliku odnosno, daje jednu od osnovnih odlika ovog područja. Iako su izvorišta karakteristična po periodičnosti i presušivanju tokom ljetnjeg perioda, ima dosta izvora koji su aktivni, zapravo izdašni cijele godine. Brza saobraćajnica prolazi pojasevima vodnih tijela, gledajući njen potez od Sutorine preko Mojdeža, Trebesina, Poda, Sasovića i Kuta i stvara bojazan o eventualnim opasnostima koje projekat može da nosi, ukoliko nisu sagledani svi parametri sredine, a u prvom redu vodni resursi. Na ovom području ih ima jako mnogo, a ne postoji nikakva vodna studija koja ih je sve sabrala, opisala, niti postoje detaljna istraživanja o njima, u kvantitativnom smislu, kao ni određenje o njihovom toku, u smislu periodičnosti i eventualnog lutanja. Svaka gradnja, koja nema dobru osnovu u poznavanju svih parametara vodnih resursa, može da ima ozbiljne štetne i dugoročne posljedice.

Praksa iz bliske prošlosti nam nameće potrebu da treba biti pažljiviji i detaljniji u izradi projektne dokumentacije, da bi se izbjegle neželjene posljedice.

## LITERATURA

1. Generalni urbanistički plan Opštine Herceg Novi 2001, Republički zavod za urbanizam i projektovanje Titograd, Centar Ujedinjenih nacija za ljudska naselja (UNCHS), Organizacija Ujedinjenih nacija za otklanjanje posljedica katastrofa (UNDRO), Herceg novi, 1988
2. Prostorno-urbanistički plan Opštine Herceg Novi sa izvještajem sa SPU, Herceg Novi, 2019.
3. Strategija upravljanja vodama Crne Gore, Ministarstvo poljoprivrede i ruralnog razvoja, Podgorica, 2017.
4. Strateški plan razvoja Opštine Herceg Novi 2020-2027, Herceg Novi 2020.
5. Urban water Conservation and Efficiency Poential in California, issue brief, Pacific Institute, IB 14-05 D, June 2014.
6. Darko Novaković et all.: „Osnovne karakteristike malih vodotoka Crnogorskog primorja“, Zavod za hidrometeorologiju i seizmologiju u saradnji sa UNDP, Podgorica, 2013. (za potrebe Druge Nacionalne komunikacije Crne Gore prema Okvirnoj konvenciji UN o promjeni klime – UNFCCC)
7. Radulović M.: “Podzemne vode Crne Gore” u Zborniku radova sa savjetovanja: Pretpostavke i potencijali realizacije ideje “Ekološka država Crne Gora”, Ministarstvo zaštite životne sredine RCG, Univerzitet Crne Gore, Podgorica, 1993.
8. Radulović M., Radulović V.: “Metodologija izrade i značaj hidrogeološke karte Crne Gore, 1:100.000 za prostorni plan Republike” u Zborniku Jugoslovenskog simpozijuma za prostorno i urbanističko planiranje u seizmičkim uslovima, Herceg Novi, 1982.
9. Šabović Z., Mojdež, prilozi za hroniku sela i rodoslove, knjiga I, Herceg Novi, Beograd, 2007.

# PLANSKI PRISTUP SNABDIJEVANJU VODOM MALIH NASELJA I AGLOMERACIJA U OPŠTINI ŽABLJAK

Olivera Doklešić\*

*\*Ekoboka projekt d.o.o. – Herceg Novi, e mail: ekoboka.rp@gmail.com*

## REZIME

Opština Žabljak, sa svim gradskim i seoskim područjem, nalazi se u zoni visokih nadmorskih visina. Rad daje kratku analizu vodnih resursa za područje opštine Žabljak, i pregled naselja u pogledu potreba za vodom. Rad, takođe, daje analizu mikrolokacija, i rješavanje pitanja njihovih potreba u vodi. Rad je izvod iz hidrotehničke faze u izmjenama i dopunama Prostornog planu Opštine Žabljak.

KLJUČNE RIJEČI: Žabljak, Durmitorski kraj, snabdijevanja vodom,

## PLANNING APPROACH TO THE WATER SUPPLY OF SMALL SETTLEMENTS AND AGGLOMERATIONS IN THE MUNICIPALITY OF ZABLJAK

## ABSTRACT

The municipality of Žabljak, with all urban and rural areas, is located in the zone of high altitudes. The paper provides a brief analysis of water resources for the area of the municipality of Zabljak, and an overview of settlements in terms of water needs. The paper also provides an analysis of microlocations, and the resolution of their water needs. The paper is an excerpt from the hydrotechnical phase in the in the amendments to the Spatial Plan of the Municipality of Zabljak.

KEY WORDS: Zabljak, Durmitor mountain area, water supply system,

## UVOD

Opština Žabljak nalazi se u sjeverozapadnom dijelu Crne Gore, na površini od 445 km<sup>2</sup> (3,22% površine Crne Gore). U geografskom smislu žabljačko područje čini "geografski krov" Crne Gore, jer se 30% njene teritorije nalazi na nadmorskoj visini iznad 1.500 mnm. Ljudska staništa su, najvećim djelom, smještene na visinama od 1.300-1.650 mnm. Kao i u drugim sredinama, i ovdje su klimatske, geološke i hidrogeološke prilike najznačajniji činioci hidrološke slike područja, a možda i više izraženi nego u drugim predjelima Crne Gore. Gradsko jezgro Žabljaka nalazi se na 1450 mnm, a manje grupacije stambenih i

turističkih objekata smješteni su i iznad 1500 mm. U ukupnom godišnjem bilansu voda posmatrajući, Opština Žabljak ima na raspolaganju dosta ili dovoljno vode, računajući na izdašnost izvora, akumuliranu količinu u jezerima, kao i količinu u otvorenim riječnim tokovima. Raspoloživi vodni resursi daju i više nego potrebne količine vode, za sve kategorije potrošača, gledajući godišnji vodni bilans. Međutim, zbog sezonskih varijacija u količinama, odnosno, u pogledu raspoloživih količina vode, a sezonski rastućih potreba, postoji značajan sezonski disbalans. Tokom ljeta, zbog turističke sezone i sve većih potreba za vodom, ukupne raspoložive količine nedovoljne su da bi sve kategorije potrošača bile snabdijevane, svih 24 sata, tokom svih dana u sedmici. Prirodni uslovi sredine (mala visina padavina, stepen isparavanja a povećane ljetnje temperature) dovode do smanjenja raspoloživih količina. Značajna količina leži i u neiskorišćenim vodnim resursima, najviše jezerima i karstnim vrelima. Na ovom području pojavljuju se karstne izdanske vode koje su dobrog kvaliteta u pogledu hemijskog i bakteriološkog sastava, ali su periodičnog karaktera, odnosno, imaju značajne oscilacije u kvantitetu, naročito u pogledu minimalnih količina tokom ljeta.

#### POTREBE ZA VODOVOM U SISTEMU SNABDIJEVANJA ŽABLJAKA

U tabeli 1. predstavljena su sva naselja u opštini Žabljak, sa brojem stanovnika, računskom potrebom u vodi i konstatacijom da li ima ili ne javni vodovod, a slikovito predstavljeno (slika 1.) kartom sa prostornim rasporedom naselja. Svaka lokacija naselja iziskuje detaljniju prostornu hidrološku, i hidrogeološku analizu radi utvrđivanja bilansa voda (prihranjivanje : potrebe).

U cilju utvrđivanja vodnog bilansa i statusa prirodnog prihranjivanja za Prostorno-urbanistički plan Žabljaka, izmjene i dopune, (čija izrada je u toku) norme potrošnje vode su prenesene iz prethodnog PUP-a, u skladu sa vodnim i planskim dokumentima višeg reda. Vrijednosti normi, po kategorijama potrošača, su:

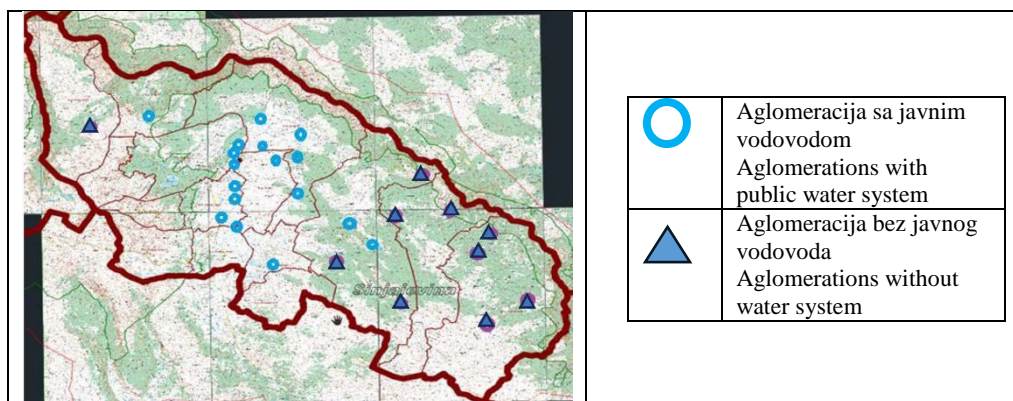
- za stalno stanovništvo:  $Q_s=190$  [l/st,dan]
- za turiste u privatnom smještaju (domaća radinost):  $Q_{t1}=210$  [l/st,dan]
- za hotelski smještaj:  $G_h=280$  [l/st,dan]
- za ostale smještajne kategorije, odmarališta:  $Q_2=200$  [l/st,dan]
- za kampove:  $Q_k=140$  [l/st,dan].

Ciljevi planskog rješenja za period: 2023 – 2031 su:

- Obezbjedenje sanitarno ispravne vode za piće u svim domaćinstvima
- Smanjenje tehničkih gubitaka na 40%
- Zamjena postojećih azbest-cementnih cjevovodima drugih materijala
- Obezbjedenje dovoljnog rezervoarskog prostora za sve aglomeracije sa 500 i više dnevnih korisnika.
- Vlasničko i upravljačko unificiranje svih vodovodnih podistema, odnosno seoskih vodovoda.
- Težnja ka primjeni jedinstvenog monitoringa za način tretiranja i otklanjanje kvarova.
- Za potrebe poljoprivrede (stočarstva i ratarstva) potrebne količine vode ne smiju biti iz sistema snabdijevanja vodom za piće.

*Tabela 1. Broj stanovnika po popisu iz 2011. i organizovanje snabdijevanja vodom*  
*Table 1. Number of inhabitants according to the 2011 census and organization of water supply*

Red. Br.	Naziv sela ili gradske aglomeracije	Broj stanovnika (popis iz 2011)	Ima / nema javni vodovod	Potrebe za vodom (m <sup>3</sup> /dan
1.	Žabljak	603	DA	90,45
2.	Mala Crna Gora	28	NE	4,20
3.	Tepca	20	NE	3,00
4.	Tepačko polje	20	DA	3,00
5.	Ninkovići	15	DA	2,25
6.	Borje	20	DA	3,00
7.	Vrela	16	DA	2,40
8.	Šumanovac	24	DA	3,60
9.	Podgora	38	DA	5,70
10.	Palež	120	DA	18,00
11.	Pitomine	43	DA	6,45
12.	Motički Gaj	41	DA	6,15
13.	Virak	30	DA	4,50
14.	Pošćanski kraj	9	DA	1,35
15.	Pašina voda	32	DA	4,80
16.	Novakovići	8	DA	1,20
17.	Rasova	16	NE	2,40
18.	Suvodo	9	NE	1,35
19.	Njegovuđa	78	DA	11,70
20.	Zminica	15	DA	2,25
21.	Dobri Nugo	5	NE	0,75
22.	Pašino polje	3	NE	0,45
23.	Krš	34	NE	5,10
24.	Šljivansko	4	NE	0,60
25.	Gradina	10	NE	1,50
26.	Rudanci	2	NE	0,30



Slika 1. Karta Žabljaka sa stambenim aglomeracijama, sa i bez javnog vodovoda  
 Figure 1. Layout of Žabljak with residential agglomerations, with and without public water supply

Na osnovu normi potrošnje i tabela "namjena prostora", sa kapacitetima po kategorijama potrošača, dobija se zbirni prikaz osnovnih, neto, potreba za vodom.

Potrebnu količinu vode čine: količina potrebna za osnovne potrebe (za piće, higijenske potrebe, spremanje hrane), za gašenje požara (gašenje jednog požara u trajanju od 5 sati količinom vode od 10 l/s) trajanja i količina koja odlazi u gubitke vode iz sistema. Obračun ukupne potrebne količine vode za cjelodnevno snabdijevanje tokom svih 365 dana u godini je:  $Q=Q_{sn}+Q_p+Q_g$ . Takođe, treba da uvrstimo i koeficijent sezonske neravnomjernosti, koji je u PPPN za Durmitorsko područje uzet  $K_s=1,35$ . Uvećanje neto potrošnje za procenat tehničkih gubitaka je već postalo aksiom za naše područje. Kako se ne zna tačan procenat tehničkih i administrativnih gubitaka, za njihovo smanjenje treba imati u vidu činjenicu da je to dugoročan proces, pa se preporučuje godišnji trend smanjenja od 7%. Svakako treba računati na permanentno ulaganje u sistem, u zamjenu dotrajalih cjevovoda, objekata i instalacija, kao i uz provjeru svih priključnih mjesta i uvođenje jedinstvenog registra potrošača, i provođenje redovnog kontriolisanja, zamjene i baždarenja vodomjera.

Tabela 2. Neto potrebe za vodom po naseljima  
Table 2. Nett water demand for settlements

naselje	namjena prostora	broj korisnika	norma	maksi-	potreba	ukupno	ukupno
			potroš.	malna			
			(l/st, dan)	potrošnja	(m <sup>3</sup> /dan)	(l/s)	(m <sup>3</sup> /dan)
Grad Žabljak	Stanovništvo	3250	190	12,86	617,50	62,13	2.426,23
	Hoteli	5.094	280	41,27	1.426,32		
	odmarališta	0	200	0	0		
	privatni smještaj	1.821	210	8,00	382,41		
	Kamp	0	140	0	0		
Palež	Stanovništvo	293	190	1,16	55,67	1,16	55,67
Pitomine / DSL Ivan do	Stanovništvo	102	190	0,40	19,38	4,79	194,25
	Hoteli	150	280	1,22	42,00		
	privatni smještaj	725	210	3,17	152,25		
Tepačko polje	Stanovništvo	56	190	0,22	10,64	0,22	10,64
Šumanovac	Stanovništvo	46	190	0,18	8,74	0,18	8,74
Bojje	Stanovništvo	117	190	0,46	22,23	3,86	287,46
	Hoteli	420	280	3,40	117,60		
	privatni smještaj	703	210	3,08	147,63		
Vrela	Stanovništvo	48	190	0,19	9,12	0,19	9,12
Motički gaj /Savin kuk	Stanovništvo	268	190	1,06	50,92	8,33	355,74
	Hoteli	774	280	6,27	216,72		
	odmarališta	0	200	0	0		
	privatni smještaj	410	210	1,00	86,10		
Virak	Stanovništvo	110	190	0,44	20,90	0,44	20,90

naselje	namjena prostora	broj korisnika	norma	maxi-	potreba	ukupno	ukupno
			potroš.	malna			
			(l/st, dan)	(l/s)	(m <sup>3</sup> /dan)	(l/s)	(m <sup>3</sup> /dan)
Pošćen-ski kraj	Stanovništvo	10	190	0,04	1,90	0,04	1,90
Pašina voda	Stanovništvo	28	190	0,11	5,32	0,11	5,32
Podgora	stanovništvo	41	190	0,16	7,79	0,16	7,79
Ninko-vići	stanovništvo	15	190	0,06	2,85	0,06	2,85
Novakovići	stanovništvo	10	190	0,04	1,90	0,04	1,90
Suvodo	stanovništvo	8	190	0,03	1,52	0,03	1,52
Njegovuđa	stanovništvo	96	190	0,38	18,24	0,38	18,24
Zminica	stanovništvo	48	190	0,19	9,12	0,19	9,12
Dobri Nugo	stanovništvo	3	190	0,01	0,57	0,01	0,57
Pašino polje	stanovništvo	4	190	0,02	0,76	0,02	0,76
Gomile	stanovništvo	0	190	0,00	0,00	0,09	4,20
	privatni smještaj	20	210	0,09	4,20		
Brajkovača	stanovništvo	4	190	0,02	0,76	0,02	0,76
Rudanci	stanovništvo	2	190	> 0,01	0,38	> 0,01	0,38
Gradina	stanovništvo	5	190	0,01	0,95	0,01	0,95
Krš	stanovništvo	48	190	0,03	9,12	0,03	9,12
Šljivan-sko	stanovništvo	3	190	0,01	0,57	0,01	0,57
Rasova	stanovništvo	16	190	0,06	3,04	0,06	3,04
Mala Crna Gora	stanovništvo	18	190	0,07	3,42	0,07	3,42

U narednom periodu sistem snabdijevanja vodom u opštini Žabljak imaće i dalje osnovu u pet nezavisnih sistema:

- Gradski sistem Žabljaka, koji pored urbanog dijela opštine, snabdijeva još osam naselja: Palež, Podgora, Morički Gaj, Trepачko Polje, Borje, Vrela, Šumanovac i Ninkovići).
- Sistem Njegovuđa,
- Sistem Tepca,
- Sistem Pitomine
- Sistem izvorišta Sopot sa kog se snabdijevaju 4 naselja južnog dijela opštine: Pašina Voda, Virak, Poščenski kraj i Novakovići.

Za grad Žabljak i zahvat Pitomine računato je sa obezbjeđenjem dodatne zapremine za gašenje požara od 180 m<sup>3</sup>, (jedan požar u trajanju gašenja od 5 sati). U narednom periodu, do 2030. godine treba raditi na promjeni stanja u vodosnabdijevanju Žabljaka, direktnim suočavanjem sa najvažnijim problemima i njihovom eliminacijom, odnosno, rješavanjem.



- Nedostatak vode, koji se javlja pretežno sezonski, kada se smanjuje izdašnost izvora i povećavaju potrebe za vodom (juni/julu-septembar, rješava se: kontrolom potrošnje vode (uređenje baze podataka svih potrošača i upravljanje njome kroz stimulativne i druge mjere ka nesavjesnim potrošačima), izgradnjom dodatnih rezervoara za vodu, mjerom da svaki veći objekat, posebno hoteli i objekti sa više apartmana za turiste, moraju pod obavezno da imaju i svoje kućne rezervoare, za skladištenje kišne ili vode iz sistema, zatim, iskopom bunara uz jezera i otvorene vodotokove, po principu hidrauličkih zakonitosti postojanja vode u zoni jezera, „bunar u blizini jezera“, izradom dodatnih cjevovoda sa neiskorištenih jezerskih površina; takođe, za period januar-februar primijeniti sličan princip za čuvanje otopljene vode od snijega i leda).
- Bunari u zahvatu "Mlinski potok", koji više ne rade predviđenim kapacitetom, moraju da imaju stalnu provjeru stepena izdašnosti i iscrpljivosti, trebalo bi uvesti kontrolu iscrpljivanja; preporuka je izraditi studije za utvrđivanje izdašnosti vodnog resursa u zahvatu „Mlinski potok“.
- Pumpni agregati, zastarjeli i neusklađeni u radu, kojima se upravlja po vizuelnom konstatovanju smanjenog nivoa u rezervoaru, moraju biti zamjeni adekvatnim po Q, H parametrima sa provjerom sinhronosti rada istih, i kontrolom i drugih tehničkih performansi.
- Svi primarni cjevovodi, a posebno azbest-cementni, treba da budu „pokriveni“ programom detekcije gubitaka; moraju da budu uključeni u program zamjene istih cjevovodima drugih materijala (program finasira EU, koji provodi „Prokon“, nacionalna jedinica za implementaciju projekata iz oblasti komunalne djelatnosti i zaštite životne sredine, u junu 2023. potpisala je ugovora sa Vladom CG, kao menadžerska kompanija za ovaj posao).
- Za rješavanje stanja sekundarne mreže, koje je u lošem stanju, sa tehničkim gubicima koji su i preko 50%, treba sistematski pristup kroz permanentno detektovanje, zoniranje i otklanjanje kvarova, uz zamjenu dotrajalih cjevovoda.

Tabela 3. Bruto, ukupne potrebe za vodom po naseljima  
Table 2. Gross, total water demand

Podsistem	Naselja i zaseoci	Izdašnost resursa, min, max (l/s)	Potreba za vodom (l/s)	Potrebna zapremina (m <sup>3</sup> /dan)	Deficit /višak	Dopuna deficita
Grad Žabljak	Grad Žab-ljak, Palež, Podgora, Motički gaj, Tepačko polje, Borje, Vrela, Šuma-novac, Ninkovići.	Oko, Q=7÷40 Mlinski potok, bunari, Q=15÷52 Ukupno: Q=22÷92, Studenac Q= 2	113,55	3500	- 91,55	Izgradnja doda-tnih rezervoara (punjenje no-ću), korištenje već upotre-bljene vode, prebacivanje iz drugih pod-sistema
Sistem Njegovuđa	Njegovuđa, Zminjica	10÷12	1,00	88	+ 9,00	
Sistem Tepca	Tepca	1÷10	0,16	14	+0,84	
Sistem Pitomine	Pitomine	Q=1÷20	9,06	960	Nema podataka	
Sistem sa Sopota	Pašina voda, Virak, Poš-ćenski kraj, Novakovići	Sopot, Q=3÷40	1,00	86	+ 2,00	

## SNABDIJEVANJE ZA MIKRO AGLOMERACIJE

Za očekivati je da će mali, nezavisni sistemi imati bolju funkcionalnost od jedinstvenog sistema; treba da imaju manje pogonske troškove, i lakše upravljanje. S druge strane, svi podsistemi treba da budu dio jedinstvenog upravljačkog tijela, kako zbog stalnog nadzora, tako i zbog jeftinijeg pristupa sanaciji kvarova preuzimanjem ljudstva i materijala iz jedinstvene baze.

Rubna naselja, poput Brajkovače, Gradine, Rudanaca, Šljivanskog, Bogomolje, sa veoma malo stanovnika (jedno ili tek nekoliko domaćinstava) nemaju ekonomsku opravdanost dovođenja tekuće vode iz sistema snabdijevanja vodom. To ne znači da za ova domaćinstva ne treba obezbijediti pijaću vodu dovoljno dobrog kvaliteta i kvantiteta, po zahtjevima i standardu za urbanu sredinu. Ovi objekti su i do sada koristili bunarsku vodu, ali bez kontrole kvaliteta. U ljetnjem periodu se dešava spuštanje nivoa vode, pa i presušivanje. Svim domaćinstvima treba obezbijediti male rezervoarske prostore, i to tako da ona omoguće minimalno desetodnevnu zapreminu vode, za higijenske potrebe, stoku i za potrebe poljoprivrede, navodnjavanje.

Tabele 4. Bruto potreba za vodom u naseljima sa malim brojem stanovnika  
Table 4.. Gross water demand in settlements with a small number of inhabitants

Naselje	Broj stanovnika	Neto potreba za vodom (m <sup>3</sup> )	Stvarna 10-to dnevna potreba za vodom (m <sup>3</sup> )	Potreban rezervoarski prostor (m <sup>3</sup> )
Brajkovača	4	0,76	9,0	30,00
Rudanci	2	0,38	4,5	15,00
Gradina	5	0,95	13,5	45,00
Šljivansko	3	0,57	9,0	30,00
Rasova	16	3,04	35,0	120,00
Mala Crna Gora	18	3,42	40,0	130,00

Priključivanje naselja Krš, čiji stanovnici se bave pretežno stočarstvo, po projektu treba da se priključi na vodovod Njegovuđa. Rješenje se sastoji od distributivnog cjevovoda DN 75 mm od rezervoara "Krš" do potrošača. Glavnim projektom za vodovosnabdijevanje oba sela, Krš i Pometenici, predviđena je izgradnja dva rezervoara, jedan V=100 m<sup>3</sup>, na koti 1527 mm, samo za selo Krš, a drugi, kapaciteta V=30 m<sup>3</sup>, na koti 1626 mm, namijenjen za vodosnabdijevanje sela Pometenici i drugih domaćinstava koji svojim položajem nemaju mogućnost vodosnabdijevanja sa prvog rezervoara. Projektovani cjevovod je DN75 mm. Problem će biti razvijanje radnih pritisaka od PN 16 bara, što nameće potrebu ugradnje cjevnog materijala otpornog na visoke unutrašnje pritiske. Uz ovo rješenje, moguće je riješiti problem vodosnabdijevanja i naselja u blizini Tare, Rudanci i Rasova. Ova rješenja treba preispitati u pogledu tehno-ekonomske opravdanosti.

U tabeli 4. data je procjena bruto potreba za vodom u malim naseljima, koja su svedena na jedno do desetak domaćinstava, računajući na potrošnju vode po čovjeku kao u urbanoj sredini. Stvarna desetodnevna potreba je količina vode za desetodnevno funkcionisanje takve mikro aglomeracije, uključujući i potrebe za pojenje stoke i navodnjavanje manje poljoprivredne površine, a koja je indikator postavljanja ili izgradnje rezervoarskog prostora za to područje. Prosječne najniže padavine su u avgustu, i iznose 82 mm, i u julu 90 mm. Za ove interne podsisteme je važna hemijska kontrola vode, koja se koristi, u domaćinstvima, te je preporučljiva primjena savremenih sredstava za kondicioniranje vode, kojim se popravljiva kvaliteta vode za konzumaciju.

### ZAKLJUČAK

U skladu sa civilizacijskim principom da svako domaćinstvo ima tekuću vodu u svom objektu, Prostorni plan Žabljaka, daje rješenje, za gradsko naselje, prigradske i ruralne djelove, ali i najmanje grupacije objekata, do svega jednog domaćinstva. Ravnomjernom raspodjelom vode iz postojećih resursa može se umanjiti efekat nedostajućih količina vode u sistemu, tokom ljeta. Za najmanje aglomeracije, zbog udaljenosti, ali i klimatskih uslova preporučljivo je korištenje padavinske vode, sa adekvatnih slivnih površina.

### LITERATURA

1. Prostorni plan posebne namjene za Durmitorsko područje, Službeni list CG, br.47/16
2. Prostorni plan posebne namjene NP Durmitor, Službeni list CG, br.47/16
3. Detaljna razrada lokaliteta "Savin kuk", Službeni list CG, br.47/16
4. Detaljna razrada lokaliteta "Vojno odmaralište", Službeni list CG, br.47/16
5. Državna studija lokacije "Ivan Do", Službeni list CG br.52/18.
6. Prostorno-urbanistički plan Opštine Žabljak, Službeni list CG-opštinski propisi, br. 22/11
7. Lokalna studija lokacije „Kovačka Dolina I“, Službeni list CG-opštinski propisi, br. 32/11
8. Izmjene i dopune Detaljnog urbanističkog plana Žabljak, Službeni list CG-opštinski propisi, br.7/14
9. Lokalna studija lokacije »Motički Gaj », Službeni list CG-opštinski propisi, br. 45/16
10. Strateški plan Opštine Žabljak, Žabljak, 2022.

**ISBN-978-86-82674-01-6**