

**SRPSKO DRUŠTVO ZA ZAŠTITU VODA**

47. konferencija o aktuelnim temama korišćenja i zaštite voda

# VODA 2018

*The 47th Annual Conference of the Serbian Water Pollution Control Society*

**WATER 2018**

*Conference Proceedings*



Sokobanja, 12. – 14. jun 2018.



## ПОВОДОМ 150 ГОДИНА САВЕЗА ИНЖЕЊЕРА И ТЕХНИЧАРА СРБИЈЕ

Корени српске техничке цивилизације почињу још у средњем веку у доба Немањића. Зачети инжењерства су у рударско-металуршким подухватима као што је значајни рудник Ново Брдо и грађењу величанствених сакралних и других објеката.

Обнављањем српске државе после вишевековне Отоманске власти и стварањем модерне државе у 19. веку оживело је и инжењерство у Србији. Инжењери се тада претежно школују у Аустроугарском царству и у Француској. Већ 1868. године 3. фебруара била је основана „Техничарска дружина“ која је претеча данашњег Савеза инжењера и техничара Србије.

Инжењерски Савез је за својих 150 година пролазио кроз разне мене, али је стално био активан и друштвено препознатљив. Многи значајни инжењери и научници свих струка су били и сада су активни чланови. Први председник је био архитекта и урбаниста Емилијан Јосимовић, а истакнути почасни члан Никола Тесла.

Врло значајан моменат у раду и афирмацији Савеза је била изградња зграде Дома инжењера Србије 1936. године и новог Дома инжењера „Никола Тесла“ 1967. године. Средства за изградњу домова су обезбеђивали инжењери, привредници и добротвори чиме је инжењерска интелигенција исказала значај и вољу за окупљањем и деловањем кроз форму удружења и савеза као израз стручног, научног и интелектуалног, те критичког ангажовања.

Савез данас има преко четрдесет, што струковних, мултидисциплинарних, тематских, градских и регионалних чланица. У његовом саставу је Развојни центар, као и Инжењерска академија Србије. Активности су разноразне: окупљање, дебате, конференције, издаваштво, сарадња са другим струкама и удружењима, одржавање стручних испита, изложбе, рад са студентима, средњошколцима, младим истраживачима.

Чланство Савеза броји више хиљада инжењера из свих градова и општина Србије. Савез и његове чланице су невладине организације, које се самофинансирају из својих активности и чланарине.

Значај и улога Савеза у друштву су велики и у Србији и у широј европској и светској инжењерској заједници, што се очитује кроз видове чланства у међународним, сродним, организацијама, те у домаћем амбијенту кроз афирмацију знања и сарадњу са другим удружењима, државним органима, привредом, школством и нарочито по бројности и квалитету својих чланова.



[www.sdzv.org.rs](http://www.sdzv.org.rs)

**SRPSKO DRUŠTVO ZA ZAŠTITU VODA**

*SERBIAN WATER POLLUTION CONTROL SOCIETY*

## II

### IZDAVAČ (PUBLISHER):

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

### PROGRAMSKI ODBOR (PROGRAMME COMMITTEE):

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

### UREDNIK (EDITOR):

Dr Aleksandar ĐUKIĆ, dipl.inž.građ.

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

### TIRAŽ (CIRCULATION):

200 primeraka

### ŠTAMPA:

"Akademska izdanja", Zemun, 2018

CIP- Katalogizacija u publikaciji - Narodna biblioteka Srbije

502.51(082)

556.11(082)

628.3(082)

628.1(497.11)(082)

574.5(082)

ГОДИШЊА конференција о актуелним проблемима коришћења и заштите вода (47 ; 2018 ; Соко Бања)

Voda 2018 = Water 2018 : zbornik radova : 47. konferencija o aktuelnim temama korišćenja i zaštite voda = Conference Proceedings : 47th Annual Conference of the Serbian Water Pollution Control Society, Soko Banja, 12. - 14. jun 2018. / [organizator] Srpsko društvo za zaštitu voda u saradnji sa Institutom za vodoprivredu "Jaroslav Černi", Beograd [i JKP Drugi oktobar, Vršac] ; [urednik, editor Aleksandar Đukić]. - Beograd : Srpsko društvo za zaštitu voda, 2018 (Zemun : Akademska izdanja). - XII, 481 str. : Ilustr. ; 24 cm

Tiraž 200. - Str. XI: Predgovor / Aleksandar Đukić. - Bibliografija uz svaki rad. - Abstracts.

ISBN 978-86-916753-6-3

1. Српско друштво за заштиту вода (Београд) 2. Институт за водопривреду "Јарослав Черни" (Београд) 3. ЈКП Други октобар (Вршац)

a) Воде - Зборници b) Отпадне воде - Зборници c) Снабдевање водом - Србија - Зборници d) Хидробиологија - Зборници

---

**SRPSKO DRUŠTVO ZA ZAŠTITU VODA**

u saradnji sa

**Institutom za vodoprivredu "JAROSLAV ČERNI", Beograd**

ZBORNIK RADOVA

47. GODIŠNJE KONFERENCIJE O AKTUELNIM TEMAMA  
KORIŠĆENJA I ZAŠTITE VODA

# VODA 2018

*47<sup>TH</sup> ANNUAL CONFERENCE OF THE  
SERBIAN WATER POLLUTION CONTROL SOCIETY  
"WATER 2018"  
CONFERENCE PROCEEDINGS*

**Sokobanja, 12. - 14. jun 2018.**

## IV

---

### ORGANIZATORI KONFERENCIJE (*CONFERENCE ORGANISERS*):

Srpsko društvo za zaštitu voda (Beograd), u saradnji sa  
Institutom za vodoprivredu "Jaroslav Černi" (Beograd) i  
JKP "Napredak", Sokobanja

### ORGANIZACIONI ODBOR KONFERENCIJE (*ORGANIZING COMMITTEE*):

KOPREDSEDNICI: Saša DRLJAČA, dipl.ecc., Sokobanja  
Prof. dr Milan DIMKIĆ, dipl.inž.građ., Beograd

SEKRETAR: Milena MILORADOV, SDZV, Beograd

### ČLANOVI:

Nataša MILIĆ, dipl.inž.šum., Beograd  
Latinka OBRADOVIĆ, dipl.inž.građ., Beograd  
Goran PUZOVIĆ, dipl.inž.polj., Beograd  
Milutin IGNJATOVIĆ, dipl.inž., Beograd  
Dragan ĐORĐEVIĆ, dipl.ecc., Beograd  
Toplica GOLUBOVIĆ, dipl.inž., Sokobanja  
Zoran RISTIĆ, dipl.inž.građ., Sokobanja  
Zoran MILOSAVLJEVIĆ, dipl.ecc., Sokobanja  
Miodrag MILOVANOVIĆ, dipl.inž.građ., Beograd  
Dr Aleksandar ĐUKIĆ, dipl.inž.građ., Beograd  
Dr Momir PAUNOVIĆ, dipl.biolog, Beograd  
Radmilo NIKOLIĆ, dipl.inž., Kladovo  
Mr Bratislav STIŠOVIĆ, dipl.inž.građ., Beograd  
Slavko VRNĐIĆ, dipl.inž.građ., Novi Sad  
Dr Mirko ĐUROVIĆ, dipl.biolog, Kotor - Crna Gora  
Zdravko MRKONJA, dipl.hem., Trebinje - R.Srpska-BiH  
Dr Milenko SAVIĆ, dipl.inž.tehn., Bijeljina - R.Srpska-BiH  
Drago ĐAČIĆ, dipl.inž.rud., Podgorica - Crna Gora

### ODRŽAVANJE KONFERENCIJE SU POMOGLI (*SPONSORED BY*):

- Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije
- Institut za vodoprivredu "Jaroslav Černi", Beograd
- Saobraćajni institut CIP, Beograd

Slika na koricama: akumulacija Bovan na reci Moravici

## SADRŽAJ

### CONTENTS

#### UVODNI RAD

1. L. Ignjatović, P. Marjanović, D. Vulić, D. Kostić, (Beograd)  
ISTORIJAT TRETMANA OTPADNIH VODA SOKOBANJE ..... 1

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

2. D. Kostić, P. Marjanović, L. Ignjatović, M. Marjanović (Beograd)  
RETENZIJA NUTRIJENATA U ĐERDAPSKOJ AKUMULACIJI – OPRAVDANOST  
ZAHTEVA UWWT DIREKTIVE ZA TRETMANOM OTPADNIH VODA NAPREDNIJIM  
OD SEKUNDARNOG ..... 9
3. Lj. Marjanović, M. Babić Mladenović, N. Cvijanović (Beograd)  
MEĐUNARODNI PROJEKAT "UPRAVLJANJE NANOSOM DUNAVA" - PONOVNO  
USPOSTAVLJANJE BILANSA NANOSA DUNAVA ..... 19
4. S. Prohaska, N. Todorović, N. Božović (Beograd)  
PRO ET CONTRA KLIMATSKIH PROMENA ..... 27
5. D. Pejović, P. Marjanović, D. Vulić, M. Marjanović, L. Ignjatović (Beograd)  
INTEGRALNO UPRAVLJANJE SLIVOVIMA VIŠENAMENSKIH AKUMULACIJA –  
UBLAŽAVANJE KONFLIKATA MEĐU KORISNICIMA KROZ MULTISEKTORSKI  
PRISTUP ..... 43
6. R. Biočanin, S. Ketin (Novi Sad)  
EKOLOŠKI ZAHTEVI U REGIONALNOJ SNABDEVENOSTI PITKOM VODOM I  
ZDRAVOM HRANOM ZA LJUDE..... 49
7. D. Grubač, N. Čolović, D. Čeprić (Herceg Novi - Crna Gora)  
DECENIJA INTEGRALNOG UPRAVLJANJA CRNE GORE U OSNAŽIVANJU  
PREKOGRANIČNE POLITIKE ZAŠTITE VODA AKUMULACIJE "TREBIŠNJICA" ..... 61

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

##### 2.1. Površinske vode i sedimenti

8. G. Subakov Simić, D. Kostić, M. Marjanović, I. Trbojević (Beograd)  
STRUKTURA FITOPLANKTONA U AKUMULACIJAMA NA UVCU ..... 67
9. B. Mičković, M. Nikčević, S. Skorić, D. Nikolić, V. Đikanović (Beograd)  
STRATIFIKACIJA POKAZATELJA KVALITETA VODE AKUMULACIJE "UVAC"  
/SEZONA SREDINA LETA – RANA JESEN 2017./ ..... 75

## VI

10. M. Matavulj, J. Simeunović, K. Nemes, Z. Tica, S. Lolić, Đ. Jovanović, S. Vujičić (Novi Sad, Zrenjanin, Banjaluka - R.Srpska-BiH) HETEROTROFNA AKTIVNOST AKVATIČNIH MIKROORGANIZAMA KAO PARAMETAR PROCENE ORGANSKOG OPTEREĆENJA VODE RIBNJAKA .....	83
11. S. Branković, R. Glišić, M. Topuzović, V. Đekić, M. Marin (Kragujevac, Beograd) BIOAKUMULACIONI I TRANSLOKACIONI POTENCIJAL NEKIH VODENIH BILJAKA .....	95
12. T. Jakšić, N. Živić, P. Vasić, O. Papović, S. Milošević, M. Stanojević, N. Grujić (Kosovska Mitrovica) BETOFAUNA BARE NA LOKALITETU SANIRANE URBANE DEPONIJE U KOSOVSKOJ MITROVICI .....	97
13. B. Damnjanović, S. Ilić, M. Antonijević Nikolić, G. Jovanović, A. Matić, Lj. Mijić, M. Živković, M. Novković, S. Radulović, D. Vukov, D. Cvijanović (Šabac, Novi Sad) ODREĐIVANJE KVALITETA VODE ŠLJUNKARA U DONJEM TOKU REKE DRINE PRIMENOM SERBIAN WATER QUALITY INDEX-A .....	105
14. D. Cvijanović, B. Damnjanović, M. Novković, M. Živković, A. Anđelković, A. Vesić, D. Vukov, S. Radulović (Novi Sad, Beograd, Šabac) KONZERVACIONI STATUS MAKROFITSKE VEGETACIJE U KOPOVIMA ŠLJUNKA U PLAVNOM PODRUČJU DONJEG TOKA REKE DRINE .....	111
15. P. Đurašković (Podgorica - Crna Gora) ANALIZA ISTORIJSKOG NIZA PODATAKA U KVALITETU VODE SKADARSKOG JEZERA .....	119
16. J. Đuretić, M. Krikokapić (Podgorica - Crna Gora) ANALIZA UZRASNE I POLNE STRUKTURE ALBURNUS SCORANZA/HECKEL ET KNER, 1858./ IZ SKADARSKOG JEZERA .....	129
17. M. Krivokapić, V. Bušković, D. Radonjić, G. Nikolić, D. Veličković, I. Đuretić (Podgorica, Nikšić - Crna Gora) DETERMINACIJA SADRŽAJA TOKSIČNIH METALA /Pb, Hg i Cd/, PESTICIDA I PCB-A U MIŠIČNOM TKIVU CYPRINUS CARPIO I SQUALIUS PLATYCEPS IZ SKDARSKOJ JEZERA /CRNA GORA/ .....	137
18. V. Pešić, D. Krčmar, B. Dalmacija, M. Bečelić Tomin, Đ. Kerkez, N. Varga, N. Slijepčević (Novi Sad) OCENA KVALITETA VODE REKE TISE NA OSNOVU HEMIJSKIH PARAMETARA KVALITETA .....	145
19. M. Raković, N. Popović, J. Čanak Atlagić, J. Đuknić, N. Marinković, S. Andus, A. Tanasković, M. Paunović (Beograd) ANALIZA ZAJEDNICA MAKROBESKIČMENJAKA POVRŠINSKIH VODA NA TERITORIJI GRADA BEOGRADA .....	153
20. M. Kračun Kolarević, S. Kolarević, J. Kostić, A. Atanacković, K. Sunjog, V. Marković, B. Vuković Gačić, M. Paunović (Beograd) OCENA EKOLOŠKOG POTENCIJALA LOKALITETA DUBOKO /SAVA/ I VIŠNJICA /DUNAV/ NA OSNOVU ZAJEDNICE AKVATIČNIH OLIGOCHAETA .....	163
21. B. Vasiljević, S. Simić, J. Krizmanić, J. Tomović, M. Ilić, K. Zorić, B. Tubić, M. Paunović (Beograd, Kragujevac) BENTOSNE SILIKATNE ALGE KAO POKAZATELJI EKOLOŠKOG POTENCIJALA REKE SAVE .....	171



22. T. Jurca, B. Miljanović, Z. Svirčev (Novi Sad) HIDROMORFOLOŠKI POKAZATELJI EKOLOŠKOG POTENCIJALA NA PRIMERU KANALA DUNAV-TISA-DUNAV .....	179
23. G. Babić (Bor) PRAĆENJE KVALITETA POVRŠINSKIH VODA PRIMENOM SWQI METODE .....	185
24. M. Vranešević, M. Ilić, A. Bezdan (Novi Sad) OCENA KVALITETA VODE REKE BEGEJ ZA POTREBE NAVODNJAVANJA .....	189
25. D. Golub, R. Dekić, G. Šukalo (Banjaluka - R.Srpska-BiH) IHTIOFAUNA RIJEKE JABLANICE /REPUBLIKA SRPSKA, BiH/ KAO INDIKATOR KVALITETA VODE .....	195
26. D. Berak, S. Čučković, S. Radmilović (Trebinje – R.Srpska-BiH) ANALIZA KVALITETA VODE SLIVA RIJEKE TREBIŠNJICE NA OSNOVU MAKROINVERTEBRATA DNA .....	203
27. S. Vujčić, J. Simeunović, Lj. Vukić, D. Drljača, D.Đurica, M. Matavulj (Banjaluka - R.Srpska-BiH, Novi Sad) KVALITET VODE CRNE RIJEKE NA OSNOVU FIZIČKO-HEMIJSKIH I MIKROBIOLOŠKIH PARAMETARA .....	209
28. D. Veličković, M. Krivokapić (Podgorica - Crna Gora) ANALIZA TEŠKIH METALA /As, Cd, Hg/ U VODI RIJEKE LIM I MIŠIČNOM TKIVU CHONDROSTOMA NASUS I SQUALIUS CEPHALUS .....	215
29. M. Živković, A. Anđelković, M. Novković, B. Damnjanović, N. Banjac, N. Pankov, Š. Šipoš, S. Pogrmić, B. Miljanović, D. Cvijanović, S. Radulović (Novi Sad, Beograd, Šabac) ODREĐIVANJE EKOLOŠKOG STATUSA REKE KRIVAJE NA OSNOVU BIOLOŠKIH, HEMIJSKIH I HIDROMORFOLOŠKIH PARAMETARA .....	223
30. M. Novković, B. Damnjanović, D. Smailagić, M. Živković, A. Anđelković, S. Radulović, D. Cvijanović (Novi Sad, Beograd, Šabac) EKOLOŠKE KARAKTERISTIKE MAKROFITSKE VEGETACIJE U PLAVNOM PODRUČJU REKE DRINE .....	235
31. M. Stojanović, I. Zarić, P. Mitrović, M. Nikolić, T. Laketić, M. Savić (Bijeljina - R.Srpska – BiH) ZAGAĐENOST MANJIH VODOTOKA IZ SLIVA RIJEKE VRBAS I SAME RIJEKE VRBAS SA ASPEKTA FIZIČKO-HEMIJSKIH, MIKROBIOLOŠKIH I BIOLOŠKIH ISPITIVANJA .....	243
32. B. Ristanović, B. Miljanović, M. Cimbalević, N. Pankov, M. Živković, A. Popović (Novi Sad, Šid) DETERMINISANJE HIDROLOŠKIH PROBLEMA UPOTREBOM GIS-A, STUDIJA SLUČAJA KRASAVICA .....	255
33. B. Ristanović, B. Miljanović, M. Cimbalević, Đ. Miljković, D. Milošević, A. Popović (Novi Sad, Šid) MOGUĆNOSTI GIS-A U REŠAVANJU EROZIVNIH PROBLEMA U SLIVU POTOKA MAĐUPCA .....	263
34. T. Nenin, A. Petković, J. Čolić, M. Perović (Beograd) SADRŽAJ UKUPNIH NAFTNIH UGLJOVODONIKA U SEDIMENTU DUNAVA .....	271

## 2.2. Podzemne vode i vode u karstu

35. M. Perović, V. Obradović, A. Petković, T. Vučković, B. Obrovski, M. Dimkić (Beograd, Novi Sad)  
ANALIZA KORELACIJE IZMEĐU ODABRANIH PARAMETARA I TRANSFORMACIJE U KOVIN-DUBOVCU ..... 277
36. D. Krčmar, S. Tenodi, V. Pešić, S. Rončević, N. Varga, M. Grgić, B. Dalmacija (Novi Sad)  
KVALITET PODZEMNIH I PROCEDNIH VODA GRADSKJE DEPONIJJE KOMUNALNOG OTPADA ..... 279
37. J. Čolić, A. Petković, T. Nenin (Beograd)  
UTICAJ KOMUNALNE DEPONIJJE NA PODZEMNE VODE ..... 285
38. A. Petković, J. Čolić, T. Nenin (Beograd)  
UPUTSTVO ZA PRAVLJENJE PROGRAMA ZA PRAĆENJE KVALITETA I OCENU DEGRADAC IJE OD HEMIJSKOG ZAGAĐENJA ZEMLJIŠTA I PODZEMNIH VODA ..... 291

## 2.3. Priobalne vode Jadranskog mora

39. I. Peraš, S. Gvozdenović, S. Petović, M. Mandić (Kotor - Crna Gora)  
UPOREDNA ANALIZA DIVERZITETA ŠKOLJKI NA EKSPERIMENTALNIM KOLEKTORIMA ZA PRIHVAT MLAĐI ..... 297
40. S. Stanković, A. Perošević, N. Petrović, M. Ivković, M. Radomirović, B. Tanasković, A. Onjia (Beograd, Podgorica - Crna Gora)  
HEMIJSKI SASTAV UZORAKA ŠKOLJKI UKLJUČUJUĆI I SADRŽAJ Al i Li ..... 305
41. S. Stanković, A. Perošević, N. Petrović, M. Ivković, M. Radomirović, B. Tanasković, A. Onjia (Beograd, Podgorica - Crna Gora)  
ANALIZA HEMIJSKOG SASTAVA POVRŠINSKOG SEDIMENTA U BLIZINI MORSKE OBALE ..... 313
42. A. Castelli, R. Martinović, M. Mitrić, M. Peković, A. Perošević, D. Joksimović (Kotor - Crna Gora)  
KARAKTERIZACIJA SEDIMENTA STANIŠTA PALASTURE /PINNA NOBILIS/ U BOKOKOTORSKOM ZALIVU ..... 315

## 2.4. Laboratorijske metode i monitoring

43. P. Marjanović, D. Vulić, L. Ignjatović (Beograd)  
OPTIMIZACIJA MREŽE ZA MONITORING STATUSA POVRŠINSKIH VODA U R. SRBIJI U SKLADU SA ZAHTEVIMA OKVIRNE DIREKTIVE O VODAMA ..... 321
44. S. Čučković (Trebinje - R.Srpska-BiH)  
AUTOMATSKE STANICE ZA KONTINURAN MONITORING PARAMETARA KVALITETA VODE NA RIJECI TREBNINJICI ..... 333
45. B. Miljanović, I. Mijić Oljačić, N. Pankov, S. Pogrmić, Š. Šipoš, A. Bajić, T. Jurca, M. Živković, B. Ristanović, T. Grubar (Novi Sad, Bačka Palanka)  
REZULTATI MONITORINGA HIDROEKOSISTEMA TIKVARA ..... 341

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

#### 3.1. Planiranje i eksploatacija kanalizacionih sistema

46. K. Krstić, A. Đukić (Beograd)  
MODELIRANJE KVALITETA KIŠNOG OTICAJA SA GRADSKIH SAOBRAĆAJNICA –  
PRIMER MOSTA GAZELA U BEOGRADU ..... 347
47. G. Sekulić, I. Bakić (Podgorica - Crna Gora)  
BIOFILTERI KAO JEDAN OD PRIRODNIH NAČINA ZA TRETMAN OTICAJA  
ATMOSFERSKE VODE U URBANIM SRDINAMA ..... 349
48. B. Batinić, D. Pavlović, A. Randelović (Beograd)  
BEZBEDNA EVAKUACIJA PROVIRNIH VODA JALOVISTA - PRIMER JALOVISTA  
RUDNIK ..... 357
49. I. Milojković, M. Ćurčić, I. Romanović (Beograd)  
ISTRAŽIVANJE VARIJANTNIH REŠENJA KCS "UŠĆE-NOVA" U NOVOM BEOGRADU  
METODOM PROMETHEE ..... 361

#### 3.2. Savremene metode prečišćavanja otpadnih voda i obrade mulja

50. M. Radomirović, B. Tanaskovski, A. Onjia, S. Trivković, S. Stanković (Beograd)  
ELIMINACIJA MIKROPOLUTANATA IZ VODA PRIMENOM SAVREMENIH  
POSTUPAKA ..... 371
51. M. Ilić, V. Presburger Ulniković, V. Cibulić, S. Mrazovac Kurilić (Beograd)  
PREDNOSTI ODABRANOG TRETMANA KOMUNALNIH OTPADNIH VODA NA  
POSTROJENJU GRADA SKOPLJA ..... 381
52. V. Presburger Ulniković, M. Ilić, S. Mrazovac Kurilić, V. Cibulić (Beograd)  
IZBOR POSTUPKA OBRADNE OTPADNIH VODA I MULJA U GRADU KIČEVO ..... 389
53. B. Jordanoska Šiškoska, V. Pelivanoska, M. Jordanoski, Z. Resmi (Bitola, Struga - R.  
Makedonija)  
TRETMAN OTPADNOG MULJA OD PREČIŠĆAVANJA KOMUNALNIH OTPADNIH  
VODA I NJEGOVA VALORIZACIJA ..... 393
54. M. Babić, A. Đukić (Beograd)  
PREČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA OBRENOVCA ..... 395
55. J. Jonlija, O. Aleksić, A. Vučurević (Trebinje – R. Srpska, BiH)  
SBR TEHNOLOGIJA PREČIŠĆAVANJA KOMUNALNIH OTPADNIH VODA OPŠTINE  
BILEČA, REPUBLIKA SRPSKA ..... 403
56. S. Šarčević, Z. Sekulić, D. Budimirović, N. Malešić (Obrenovac, Beograd)  
UJEDNAČAVANJE TOKA I NEUTRALIZACIJA PRI PREČIŠĆAVANJU INDUSTRIJSKIH  
OTPADNIH VODA ..... 407

### 4. TEMATSKA GRUPA: VODOSNABDEVANJE NASELJA

#### 4.1. Eksploatacija i zaštita izvorišta vodosnabdevanja

57. T. Petrović, J. Kovačević (Kruševac, Beograd)  
ZASIPANJE JEZERA ČELIJE /1979-2017/ ..... 415

58. D. Đurica, T. Jurca, M. Miljanović (Banjaluka – R.Srpska-BiH, Novi Sad) HIDROBIOLOŠKI PARAMETRI U OCJENI KVALITETA VODE U INFILRACIONIM BAZENIMA VODOZAHVATA "NOVOSELIJA" /BANJA LUKA, REPUBLIKA SRPSKA/ .....	421
59. V. Presburger Ulniković, V. Cibulić, S. Mrazovac Kurilić, M. Trifunović, N. Staletović (Beograd) KVALITET VODE ZA PIĆE IZ AKUMULACIJE "PRVONEK", VRANJE .....	429
60. O. Doklešić (Herceg Novi - Crna Gora) JEDNO MOGUĆE RJEŠENJE SNABDEVANJA VODOM POLUOSTRVA LUŠTICA SA POLUOSTRVA KOBILA .....	437

#### **4.2. Savremeni postupci tretmana prirodnih voda u cilju dobijanja vode za piće**

61. S. Šarčević, Z. Sekulić, D. Budimirović, M. Malešić (Obrenovac, Beograd) DEZINFEKCIONI NUSPROIZVODI NASTALI PRIMENOM RAZLIČITIH DEZINFEKCIONIH SREDSTAVA .....	447
62. A. Rajević, D. Čeprić (Herceg Novi - Crna Gora) MIKROBIOLOŠKI STATUS VODE NA FABRICI ZA PROIZVODNJU VODE ZA PIĆE, MOJDEŽ, HERCEG NOVI .....	455
63. T. Stamenković, N. Čolović (Herceg Novi - Crna Gora) KVALITET SIROVE VODE IZ AKUMUNACIJE BILEČKO JEZERO PRE I NAKON TRETMANA NA FILTER STANICI MOJDEŽ, HERCEG NOVI .....	461

#### **4.3. Kvalitet vode isporučene potrošačima**

64. V. Cibulić, V. Presburger Ulniković, S. Mrazovac Kurilić, L.Ivančajić, N. Staletović, M. Trifunović, L. Stamenković (Beograd, Vranje) KARAKTERISTIKE VODE BEOGRADSKIH JAVNIH ČESAMA .....	467
65. S. Mrazovac Kurilić, V. Cibulić, V. Presburger Ulniković, L.Ivančajić, L. Stamenković, N. Staletović, M. Trifunović (Beograd, Vranje) NITRATI U VODAMA BEOGRADSKIH ČESAMA I NJIHOVA STATISTIČKA ANALIZA .....	469
66. V. Presburger Ulniković, S. Mrazovac Kurilić, V. Cibulić, L.Ivančajić, M. Trifunović (Beograd) TEŠKI METALI U VODAMA BEOGRADSKIH JAVNIH ČESAMA .....	471
67. B. Miljanović, I. Mijić Oljačić, N. Pankov, S. Pogrmić, Š. Šipoš, A. Bajić, M. Miljanović, Z. Popović, M. Nakić (Novi Sad, Banjaluka – R.Srpska-BiH) MONITORING SIROVE VODE I POLUPROIZVODA U VODOVODU BANJA LUKA .....	473

## PREDGOVOR

Nastavljajući dugogodišnju tradiciju, Srpsko društvo za zaštitu voda – SDZV organizuje četrdeset sedmu po redu godišnju konferenciju o aktuelnim temama zaštite vodnih resursa od zagađenja u cilju njihovog efikasnog i održivog korišćenja. Suorganizatori konferencije su Institut za vodoprivredu Jaroslav Černi iz Beograda i JKP Napredak iz Sokobanje. Zbornik radova konferencije "VODA 2018" sadrži ukupno 67 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 u sledeće tematske grupe:

1. VODOPRIVREDNI, EKOLOŠKI, I ORGANIZACIONI ASPEKTI KORIŠĆENJA I ZAŠTITE VODA
2. KVALITET VODA I PROCESI U PRIRODNIM VODAMA
  - 2.1. Površinske vode
  - 2.2. Podzemne vode i vode u karstu
  - 2.3. Priobalne vode Jadranskog mora
  - 2.4. Laboratorijske metode i monitoring
3. SAKUPLJANJE I PREČIŠĆAVANJE OTPADNH VODA
  - 3.1. Planiranje i eksploatacija kanizacionih sistema
  - 3.2. Savremene metode prečišćavanja otpadnih voda i obrade mulja
4. VODOSNABDEVANJE NASELJA
  - 4.1. Eksploatacija i zaštita izvorišta vodosnabdevanja
  - 4.2. Savremeni postupci tretmana prirodnih voda u cilju dobijanja vode za piće
  - 4.3. Kvalitet vode isporučene potrošačima

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 u oblasti 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 kvaliteta vode i upravljanje akumulacijama, aktuelnu problematiku kvaliteta voda i sedimenata, savremene metode kanisanja i tretmana otpadnih voda i aktuelnu problematiku 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.

Ove godine Programski odbor je između prispelih radova odabrao ukupno osam koji će, nakon potrebnih modifikacija i dopuna biti objavljeni u celini u naučnom časopisu *Water Research and Management* ([www.wrmjournal.com](http://www.wrmjournal.com)) koga izdaje SDZV. Ovi radovi su štampani u ovom Zborniku radova u izvodu, odnosno u formi proširenog rezimea.

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.

Beograd, maj 2018.

UREDNIK  
Dr Aleksandar Đukić



## ISTORIJAT TRETMANA OTPADNIH VODA SOKOBANJE

Lazar Ignjatović\*, Prvoslav Marjanović\*, Dragica Vulić\*,  
Dušan Kostić\*

*\*Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“, Jaroslava Černog 80, Beograd  
e-mail: [lazar.ignjatovic92@gmail.com](mailto:lazar.ignjatovic92@gmail.com)*

### REZIME

Pre nešto više od četiri decenije, 1975. godine u Sokobanji je pušteno u rad postrojenje koje je prema primenjenoj tehnologiji prerade otpadnih voda u datom trenutku bilo jedinstveno u svetu, jer su neke metode prerade otpadnih voda tada prvi put primenjene. Deo tehnološkog procesa zasnovan je na makrobiološkom tretmanu, što se tada smatralo smelim pionirskim poduhvatom za postrojenje ovog kapaciteta i izazvalo veliku pažnju međunarodne stručne i naučne zajednice. Rad se osvrće i na trenutno stanje PPOV Sokobanja, naučene lekcije i perspektive za budućnost, posebno kada se uzme u obzir da tada primenjene tehnologije u savremenoj praksi sve više dobijaju na značaju.

KLJUČNE REČI: postrojenje za prečišćavanje otpadnih voda, Sokobanja, makrobiološke metode.

## THE HISTORY OF SOKOBANJA'S WASTE WATER TREATMENT

### ABSTRACT

More than four decades ago, in 1975, in Sokobanja, a waste water treatment plant with a treatment technology unique in the world at that time has been put into operation. A part of the technological process is a microbiological treatment, which was then considered a daring project for the waste water treatment plant of this capacity, and caused a great attention of the international professional and scientific community. This work describes the current state of the WWTP Sokobanja, lessons learned and perspectives for the future, especially when taking into consideration that the technologies applied then are more and more important in contemporary practice.

KEY WORDS: waste water treatment plant, Sokobanja, microbiological methods.

### UVOD

Ubrzanom urbanizacijom nakon drugog svetskog rata u Srbiji je došlo do intenzivnog razvoja javnog vodosnabdevanja i kanalizacije što je dovelo i do većeg zagađivanja površinskih voda, a samim tim i sve veće potrebe za prečišćavanjem, kako vode za piće,

tako i otpadnih voda. U slučaju Sokobanje nizvodno od koje je sedamdesetih godina prošlog veka planirana izgradnja akumulacije Bovan za vodosnabdevanje stanovnika, pitanje rešavanja problema otpadnih voda u funkciji zaštite kvaliteta voda buduće akumulacije je bilo posebno aktuelno. Stoga je pre nešto više od četiri decenije, 1975. godine pušteno u rad postrojenje za preradu otpadnih voda Sokobanje koje je prema primenjenoj tehnologiji prerade otpadnih voda u tom trenutku bilo jedinstveno, ne samo na prostoru tadašnje Jugoslavije nego i u svetu. (Branu akumulacije Bovan je izgrađena 1978, a akumulacija je napunjena 1984. god. (Strategija upravljanja vodama na teritoriji Republike Srbije, 2015: Ignjatović, 1985a).

Projektovani tehnološki proces zasnovan je na makrobiološkom tretmanu, što se tada smatralo smelim pionirskim poduhvatom za postrojenje ovog kapaciteta i izazvalo veliku pažnju međunarodne stručne i naučne zajednice. Još tada je nagoveštaj energetske krize u svetu, a posebno kod nas, zahtevao usmeravanje ka jeftinim tehnologijama za visoko efikasnu obradu efluenta i zaštitu voda akumulacija od eutrofikacije (Ignjatović, 1995.). Osim energetske, s obzirom na današnju ekonomsku krizu, tehnologije koje su tada prvi put primenjene danas dobijaju još veći značaj. U radu se daje kratak prikaz tehnološkog procesa i istorijat rada postrojenja sa osvrtom na budućnost u svetlu primene postojeće domaće pravnog okvira i neizbežne implementacije Direktive Evropske unije o tretmanu urbanih otpadnih voda i konstatuje se da je prečišćavanje otpadnih voda izuzetno važno i sa etičkog aspekta i odgovornosti uzvodnih prema nizvodnim korisnicima vode na slivu, i prema životnoj sredini.

#### ISTORIJA POSTROJENJA: PROJEKAT, IZGRADNJA I RAD POSTROJENJA

Projekat PPOV Sokobanja je urađen 1972. godine u Institutu za građevinarstvo i arhitekturu pri Građevinskom fakultetu u Nišu (br.10/66 od 05.09.1972.god.), a projektant je bio profesor sa Građevinskog fakulteta iz Niša, dr Lazar Ignjatović.

Postrojenje za preradu i dispoziciju otpadne vode kanalizacije Sokobanja je građeno od 26. 8. 1973 (kada je počela izgradnja kolektora) do 20. 5. 1975. god., a radove je izvodilo Opšte građevinsko preduzeće „Crnotravec“ iz Beograda.

Vrlo je važno napomenuti da je sva hidromehanička oprema korišćena u izgradnji i radu postrojenja domaće proizvodnje, i da je postrojenje od početka rada imalo opremljenu laboratoriju za kontrolu osnovnih parametara (Ignjatović, 1980).

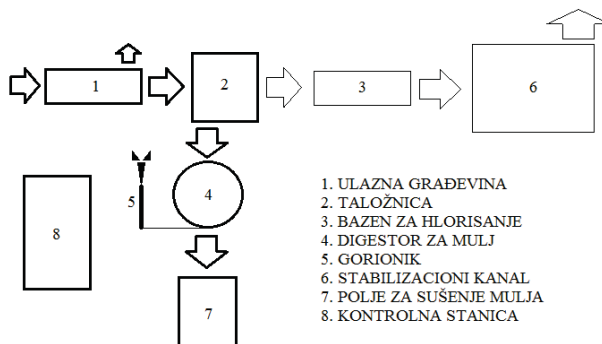
Kanalizacioni sistem Sokobanje je separatan, a projektom je predviđeno hidrauličko opterećenje za finalno stanje (Ignjatović, 1980):

$$Q_{sr\ dn} = 31\ l/s; \quad Q_{max\ dn} = 60\ l/s; \quad Q_{min\ dn} = 15,3\ l/s.$$

Procesno opterećenje obuhvata komponentni sastav otpadnih voda domaćinstava, a za finalno stanje, sračunato je za osnovicu prosečnog broja ekvivalentnih stanovnika: 12750 ES (Ignjatović, 1980).

Da bi se ispunili zahtevi u pogledu stepena prečišćavanja prema proračunu, usvojeno je mehaničko visokoefikasno prečišćavanje uz dezinfekciju i provođenje kroz stabilizacione lagune u cilju dodatne redukcije organskog i opterećenja nutrijentima i redukcije bakterija. Tehnološka šema postrojenja data je na slici 1.

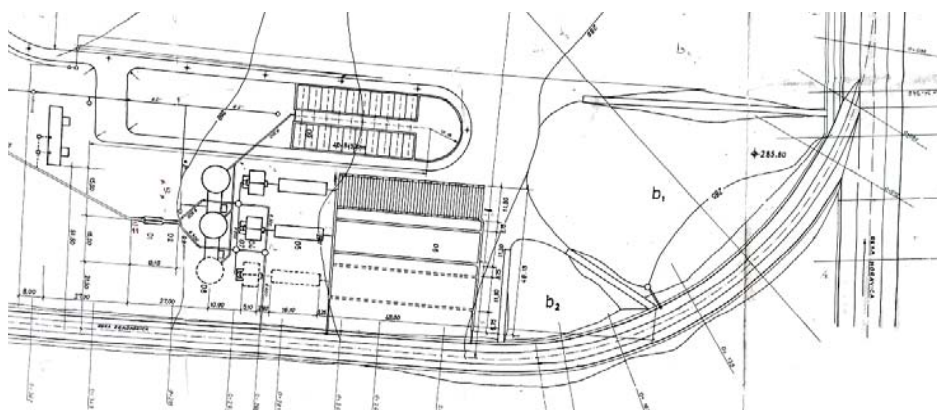




Slika 1. Šema postrojenja u Sokobanji pre izgradnje sanitarnih ribnjaka (Ignjatović, 1980)  
 Figure 1. WWTP Sokobanja flowchart before the sanitary fishponds were built (Ignjatović, 1980)

Projekat postrojenja predviđao je finalno stanje sa tri procesne linije (svaka bi obrađivala 33% projektovanog opterećenja od 12750 ES) kapaciteta 4250 ES. Prema Ignjatović, 1980, do 1977. god, bila je izgrađena I faza i međufaza.

Dispozicija ovih objekata data je na slici 2.



Slika 2. Situacija postrojenja u Sokobanji  
 Figure 2. Layout of the WWTP in Sokobanja

Još 1977. godine hlorisanje nije radeno redovno ili čak uopšte, što je imalo za posledicu visoku koncentraciju B. Coli u vodi na izlazu iz postrojenja. Odsustvo projektovanog uklanjanja bakterija bilo je posledica loše eksploatacije i nesprovođenje mera dezinfekcije i bakteriološke kontrole, pa postrojenje 1977. god. nije zadovoljavalo zahteve za uklanjanjem bakterija (Ignjatović, 1980).

Povećanje stepena prerade otpadne vode nakon izgradnje postrojenja sa ciljem dodatnog uklanjanja nutrijenata iz otpadne vode razmatrano je u saradnji sa Fulbrajtovom komisijom (Ignjatović, 1995.). Odabrano rešenje zasnivalo se na primeni relativno jeftinih

makrobioloških metoda sa sanitarnim ribnjacima gde se kroz proces fotosinteze i primarne produkcije asimiliraju nutrijenti u algalnu biomasu (klasični pristup laguna) a pomoću riba (šaran, amur, beli i sivi tolstolobik) proizvodi primarne produkcije (biomasa algi) koji sadrže nutrijente azot i fosfor i rezidualne organske materije (Ignjatović, 1981).

U međuvremenu je prema Investiciono-tehničkoj dokumentaciji (Ignjatović, 1981. i 1983.) postrojenje dograđeno ribnjakom (baseni "a" i "b", odnosno b1 i b2 su završeni u septembru 1981. (Ignjatović, 1982),

Uvećanjem naselja i rekonstrukcijom vodovoda, delimičnim povezivanjem naselja Carina, mlekare i drugih sličnih objekata, hidrauličko i procesno opterećenje koje je dolazilo na postrojenje je postalo trostruko veće nego što je bilo. Naročito treba imati u vidu da tada postrojenje i dalje nije bilo izgrađeno do punog projektovanog kapaciteta (već samo 2/3). Iz ovih razloga, na prostoru rezervisanom za treću liniju, Investicioni program iz 1985. (Ignjatović, 1985) predviđao je dogradnju visokoeffikasne cevaste taložnice, ali ne ranijeg, već većeg kapaciteta  $q=35l/s$  u jednoj jedinici ( $Q_{max}=52 l/s$ ). Takođe je predviđena i dogradnja sanitarnog ribnjaka b3 (izgrađen 1990. god.) zapadno od postojećih b1 i b2. (Ignjatović, 1985) i počela je upotreba hidrofitekultura, tj. vodenih biljaka – makrofita i glista u preradi humusa. Vodene biljke koriste rastvorenu organsku materiju iz vode, i time je prečišćavaju. Nalazile su se na delu ribnjaka b3, ali su korišćene i u bazenima za hlorisanje kada hlorisanja nije bilo.

Na postrojenju je do 1989. godine dograđeno još 33% stabilizacionih kanala, čime su bile zaokružene dve linije pogona. Međutim, tada su iz pogona bila isključena oba digestora za mulj i oba bazena za hlorisanje (potpuno odsustvo dezinfekcije i prerade mulja). Efekti prerade dela otpadne vode koju je postrojenje prerađivalo 1989. god. bili su znatno niži po svim parametrima u odnosu na stanje iz 1977. godine, što je posledica veoma lošeg održavanja objekata postrojenja. (Milićević, D. 1989).

Uvođenje tercijarnog tretmana dogradnjom ribnjaka i uvođenjem makrofita, stepen prečišćavanja je znatno poboljšan.

U periodu od 1990. do 2001. godine, usled raspada SFR Jugoslavije, ratova, sankcija, NATO bombardovanja i sveukupne teške situacije u zemlji, postrojenje nije radilo, niti je dograđivano, i sva otpadna voda je ispuštana direktno u reku Moravicu. Rađeni su samo programi i predlozi sanacionih radova.

Tokom 1997. godine došlo je do pomora ribe u Bovanskom jezeru. Pošto su otpadne vode Sokobanje glavni zagađivač Bovanskog jezera, ovo je bila opomena da je neophodno što pre rekonstruisati postrojenje (Vodo – inženjering, 2001). Iz tog razloga, pristupilo se izradi projekta rekonstrukcije postrojenja. Glavni projekat rekonstrukcije postrojenja za preradu otpadnih voda Sokobanje izradilo je jula 2001. godine preduzeće za projektovanje, inženjering i zastupanje „Vodo – inženjering“ iz Beograda (Vodo – inženjering, 2001).

Rekonstrukcijom su svi objekti dovedni u funkcionalno stanje (izvođač radova bio je Gramont Inženjering iz Niša), a komisija za tehnički prijem je zapisnikom iz 2003. godine odobrila puštanje postrojenja u rad (Zapisnik komisije za tehnički pregled na rekonstrukciji PPOV, 2003).

Rekonstrukciju PPOV pomogla je i Savezna Republika Nemačka („HELP“ fondacija - hilfe zur selbsthilfe). Nakon rekonstrukcije, postrojenje radilo neko vreme, pa je nažalost ponovo zapušteno.

## INOVACIJE

Na postrojenju u Sokobanji su primenjena veoma inovativna rešenja, od kojih su neka među prvima u Evropi i svetu.

Jedna od najvažnijih činjenica o inovacijama je da ne samo da su troškovi rada postrojenja bili znatno niži u odnosu na konvencionalne metode prečišćavanja otpadnih voda, već su stvorene mogućnosti za komercijalnu proizvodnju ribe, materijala za proizvodnju stočne hrane i humusa.

- Cevaste taložnice: PPOV Sokobanja je prvo postrojenje u Jugoslaviji na kome su primenjene cevaste taložnice. U Engleskoj je skoro u isto vreme završeno, ali je znatno ranije pušteno u rad postrojenje sa cevastim taložnicama (Ignjatović, 1989);
- Primena makrobioloških metoda u preradi otpadnih voda (akvapolikulture: vodene biljke – makrofite, ribe i gliste);
- Gorionik i prekidač plamena pronalazak je 1975. godine dobio najviše društveno priznanje – Zlatnu plaketu i novčanu nagradu u iznosu od 10000 tadašnjih dinara na Jugoslovenskom konkursu za najbolje inovacije za zaštitu i unapređenje životne sredine, koji je organizovao Jugoslovenski savet za zaštitu i unapređenje čovekove sredine (Ignjatović, 1980).

## MEĐUNARODNA SARADNJA

Projekat, izgradnja i rad postrojenja je izazvao veliku pažnju međunarodne stručne i naučne zajednice. Istraživanja primene makrobioloških metoda, tj. primene vodenih biljaka, riba i glista u preradi otpadnih voda rađena su u okviru petogodišnjeg naučno-istraživačkog projekta "Uticaj akumulacije na promene ekosistema" (1975-1980) RZNS 4880/1-75, u okviru koga je ostvarena međunarodna saradnja između Jugoslavije i Sjedinjenih Američkih Država (1978 YU-USA Program) – Fulbrajtov program. Otkrića i saznanja dobijena u okviru ovog projekta objavljujvana su u posebnim sveskama Instituta za građevinarstvo i arhitekturu Građevinskog fakulteta Niš – Dokumentacioni arhiv sa oznakom PS, šifrom projekta i rednim brojem (videti: Ignjatović, 1980; Farlane, M. Mac, 1980; Goldman, C., R. 1988; Meier, P., G. 1983). U okviru međunarodne saradnje sa SAD na ovom projektu sa prof. dr Lazarom Ignjatovićem radili su istaknuti američki profesori.

Prema Knjizi utisaka sa postrojenja (Komunalno preduzeće "Napredak" Sokobanja, 1986) koja obuhvata period od 1976. do 1986. godine, na osnovu čitljivih komentara, postrojenje su obišli posetioci iz 55 preduzeća, univerziteta i instituta iz Srbije, 19 iz zemalja bivše SFRJ i 28 iz celog sveta, ali i mnogo studenata i privatnih lica.

Mesta iz kojih su bili posetioci prikazana su na karti (slika 3).

## ZAKLJUČAK: NAUČENE LEKCIJE I BUDUĆNOST POSTROJENJA

PPOV Sokobanja, u vreme kad je građeno i počelo sa radom bilo je daleko ispred svog vremena. Primena naprednih i jeftinijih tehnologija prečišćavanja vode među prvima u svetu, u vreme kada u mnogim drugim državama svest o značaju prečišćavanja otpadnih voda još uvek nije bila na potrebnom nivou dovoljno govori o značaju ovog projekta. Činjenica da je u Evropi u to vreme samo još u Engleskoj građeno postrojenje za preradu

otpadnih voda sa cevastim taložnicama nas podseća da je sanitarna hidrotehnika i ekološka svest u Srbiji i Jugoslaviji bila na visokom nivou i primer na kome su se učili mnogi stručnjaci i naučnici. Verovatno je zbog činjenice da je postrojenje bilo ispred svog vremena i došlo do postepenog zapuštanja održavanja postrojenja, možda zbog nedovoljnog prihvatanja činjenice o njegovom ogromnom značaju, a u vreme kada skoro nigde u drugim delovima naše zemlje nije ni bilo postrojenja. Bez obzira na veliki potencijal i perspektivu, postrojenje nije bilo adekvatno održavano, ali je i opšte stanje u državi i njen raspad bilo jedan od povoda za njegovo zapuštanje. Očigledno je da nije dovoljan samo vrhunski projekat i ideja ako se nakon izgradnje zapusti i ne održava. Postrojenje je definitivno bilo izgrađeno u pravo vreme, jer da je do danas bilo neprekidno u pogonu većina današnjih zahteva po pitanju zaštite voda bila bi rešena. Očigledno je i da je jedan od razloga zapuštanja postrojenja bio i odnos cene vode i troškova prečišćavanja, koji bez obzira na sve uštede ostvarene primenom opisanih jeftinih tehnologija, sposobnost samoodrživosti i proizvodnje komercijalne vrednosti iz otpadne vode ipak nije bio dovoljan da obezbedi održivost prečišćavanja. Sada, četrdeset godina kasnije, dužni smo da izvučemo pouku i obnovimo postrojenje uz adekvatno održavanje.



Slika 3. Mesta iz zemlje i sveta iz kojih su posetioci koji su obilazili postrojenje u Sokobanji (podloga: Google Maps karta sveta)

Figure 3. Places in the country and world from which were the visitors of the WWTP in Sokobanja (map: Google Maps world map)

## POSVETA

Rad je posvećen uspomeni na prof. dr Lazara Ignjatovića.

## LITERATURA:

- Farlane, M. Mac (1980) Moravica River biological assessment of water quality, DK 628, Dokumentacioni arhiv PS EKO 6, Niš, 1980., Institut za građevinarstvo i arhitekturu, Građevinski fakultet Niš, 1980.
- Film sa televizije o PPOV Sokobanja (nepoznata godina, dostupan u zbirci autora).
- Goldman, C., R. (1988) Eutrofikacija i primarna produkcija – akumulacija Bovan, DK 628, Dokumentacioni arhiv PS EKO 12, Niš, 1988, Institut za građevinarstvo i arhitekturu, Građevinski fakultet Niš, 1988.
- Građevinski fakultet Niš, Institut za građevinarstvo i arhitekturu, Odeljenje za hidrotehniku, 06 Broj 30/26-2 od 11. 12. 1985. god. (1985), Tehnička dokumentacija za dogradnju postrojenja za preradu otpadnih voda u Sokobanji, Sveska 2. Sanit. ribnjak. Niš, 1985. god.
- Ignjatović, L. (1980) Postrojenje za preradu otpadnih voda Sokobanja, UDK 628.3 Dokumentacioni arhiv PS EKO 3 – Niš 1980, Institut za građevinarstvo i arhitekturu, Građevinski fakultet Niš, 1980.
- Ignjatović, L. (1981) Investicioni program za dogradnju postrojenja za preradu otpadnih voda Sokobanje, Građevinski fakultet Niš, Institut za građevinarstvo i arhitekturu, 06 br. 26/9, 31.3.1981. god., Niš.
- Ignjatović, L. (1982) Akvapolika – biotehnologija u procesu prerade otpadnih voda, Vodoprivreda 14, 78-79 (1982/4-5), str 371-374, UDK: 639.31:626.88 Referat, 1982. god.
- Ignjatović, L. (1983) *Investicioni program za dogradnju ribnjaka za akvapolikulture u Sokobanji*, Građevinski fakultet Niš, Institut za građevinarstvo i arhitekturu, 06 br. 30/10, 6.7.1983. god., Niš.
- Ignjatović, L. (1985) Investicioni program za dogradnju postrojenja za preradu otpadnih voda u Sokobanji, Građevinski fakultet u Nišu, Institut za građevinarstvo i arhitekturu, Odeljenje za hidrotehniku, 06 br 30/17, 15. 8. 1985. god. Niš.
- Ignjatović, L. (1985a) Ribnjaci uz akumulaciju Bovan u Sokobanji, DK 628, Dokumentacioni arhiv PS EKO 11, Niš, 1985, Institut za građevinarstvo i arhitekturu, Građevinski fakultet Niš, 1985.
- Ignjatović, L., Milenković, S. (1985) Vermikulture u preradi mulja iz otpadnih voda, DK 628.3, Dokumentacioni arhiv, PC Toplica 4, Niš, 1985., Institut za građevinarstvo i arhitekturu, Građevinski fakultet Niš, 1985.
- Ignjatović, L. (1989) *Razvoj domaćih konstrukcija visokoeffikasnih (cevastih) taložnica u SR Srbiji*, Voda i sanitarna tehnika, časopis za tehnologiju vode, Beograd, god XIX, septembar, oktobar 1989., br. 5. UDK 66.065.628.335.
- Ignjatović, L. (1995) Makrobiološke metode u preradi otpadnih voda – Vodič kroz jedinične operacije, © D.o.o. ECO – TECH p.o. Sremska Mitrovica, 1995, 628.35(035).
- Ignjatović, L. (1998) Stručna ocena i mišljenje o rešenju problema revitalizacije Postrojenja za preradu otpadnih voda u Sokobanji, jul 1998. god.
- Ignjatović, L. (N) (2018) Fotodokumentacija sa PPOV Sokobanja, 10. april 2018.
- Komunalno preduzeće “Napredak” Sokobanja (1986) Knjiga utisaka sa postrojenja za preradu otpadnih voda u Sokobanji
- Meier, P., G. (1983) Primary productivity estimates in the sokobanja fish pond YU, DK 628, Dokumentacioni arhiv PS EKO 9, Niš, 1983., Institut za građevinarstvo i arhitekturu, Građevinski fakultet Niš, 1983.
- Milićević, D. (1989) Diplomski rad, Građevinski fakultet u Nišu, Hidrotehničko-konstruktorski odeljenje, predmet: Snabdevanje naselja vodom i kanalizacija, Niš, 1989.
- Opštinski sekretarijat za urbanizam i stambeno komunalne delatnosti opštine Sokobanja, Rešenje broj 351-247/85-03.

- Vlada Republike Srbije, Ministarstvo poljoprivrede i zaštite životne sredine, Strategija upravljanja vodama na teritoriji republike Srbije, analize i istraživanja, Institut za vodoprivredu "Jaroslav Černi", Beograd, 2015. god.
- "Vodo – Inženjering", preduzeće za projektovanje, inženjering i zastupanje (2001) Glavni projekat rekonstrukcije postrojenja za preradu otpadnih voda Sokobanja, Beograd, jul 2001. godine.
- Uredba o klasifikaciji voda ("Sl. glasnik SRS", br. 5/68)
- Uredba o kategorizaciji vodotoka ("Sl. glasnik SRS", br. 5/68)
- Zapisnik komisije za tehnički pregled na rekonstrukciji PPOV Sokobanja (2003)
- Zakon o vodama ("Sl. glasnik SRS", br. 17/67 i 53/67)

## RETENZIJA NUTRIJENATA U ĐERDAPSKOJ AKUMULACIJI - OPRAVDANOST ZAHTEVA UWWT DIREKTIVE ZA TRETMANOM OTPADNIH VODA NAPREDNIJIM OD SEKUNDARNOG

Dušan Kostić, Prvoslav Marjanović, Lazar Ignjatović,  
Marko Marjanović

*Institut za vodoprivredu "Jaroslav Černi", Jaroslava Černog 80, 11226 Beograd,  
Email: [dusan.kostic@jcerni.co.rs](mailto:dusan.kostic@jcerni.co.rs)*

### REZIME

Rad prikazuje izvod iz rezultata šire studije koja je imala za cilj, da na osnovu namenskih terenskih istraživanja i podataka o kvalitetu iz baze sistemskog državnog monitoringa, proceni ulogu Đerdapskih akumulacija na retenziranje nutrijenata, kao i da razvije konceptualni model bilansa nutrijenata na delu dunavskog sliva u R. Srbiji. Odredbama Direktive o Urbanim otpadnim vodama, za aglomeracije sa preko 10 hiljada stanovnika, zahteva se tretman otpadnih voda, napredniji od sekundarnog, sa ciljem zaštite priobalja Crnog mora, koje je proglašeno zonom osetljivom na eutrofikaciju. Istraživanja su pokazala da se uticaj uspora i akumulacija posebno odražava na retenziranje fosfora koji je u vodi uglavnom prisutan u čestičnoj formi, dok se azot takođe retenzira, ali u manjem obimu. U radu je prikazan i konceptualni model bilansa nutrijenata, sa osnovnim putanjama transporta, transformacije i akumuliranja azotnih i fosfornih jedinjenja.

KLJUČNE REČI: nutrijenti, akumulacije, UWWT Direktiva, konceptualni model

## NUTRIENT RETENTION IN THE DJERDAP RESERVOIR – DO WE REALLY NEED WASTEWATER TREATMENT MORE STRINGENT THAN SECONDARY, ACCORDING TO THE UWWT DIRECTIVE?

### ABSTRACT

The paper presents the results of a comprehensive study aimed at assessing and quantifying the role of the Djerdap reservoirs in nutrient retention in the Danube River. An additional objective was to develop a conceptual model of the aquatic nutrient budget. The main

results and conclusions are mainly based on field surveys for this particular study and the water quality database containing the results of official state monitoring. The Urban Wastewater Treatment Directive requires wastewater treatment more stringent than secondary treatment, for agglomerations with more than 10,000 inhabitants. This applies to the Danube River Basin in particular, since the Black Sea coastal area was declared as a sensitive area prone to eutrophication, which is vulnerable to excessive external nutrient loads. The study reveals that the decreased velocities in Reservoirs lead to an increased rate of settling, especially for phosphorus compounds in particle-form. Retention of nitrogen was also observed but to a lesser extent. We also present a conceptual model of the aquatic nutrient budget showing the primary pathways of transport and fate of nitrogen and phosphorus compounds in this aquatic environment

KEY WORDS: nutrients, reservoirs, UWWT Directive, conceptual model

## UVOD

Akumulacije na vodotocima utiču na izmene u hidrološkom režimu i rečnoj hidraulici, čime se utiče i na ciklus nutrijenata. Dok je u dubokim akumulacijama, sa velikim vremenom zadržavanja, gotovo dominantan mehanizam retenziranja nutrijenata u čestičnoj formi, putem taloženja u uslovima smanjenih brzina brzina, u akumulacijama u nižim delovima slivova, veliki deo akumuliranja nutrijenata odvija se u priobalnim, močvarnim i zabarenim zonama.

## RELEVANTNOST PROJEKTA

U EU zakonskom okviru, problem eutrofikacije površinskih voda je visoko rangiran i obuhvaćen je sa nekoliko EU direktiva i tehničkih smernica. Prema UWWT Direktivi o urbanim otpadnim vodama (91/271/EEC): *“Vodna tela, estuari i priobalne vode koje su eutrofne ili koje mogu postati eutrofne ukoliko se određene zaštitne mere ne preduzmu”*, definisane su kao *osetljive zone*. Zaštitne mere se uglavnom odnose na redukovanje eksternog unosa nutrijenata (jedinjenja azota i fosfora), tercijarnim prečišćavanjem otpadnih voda koje se upuštaju u osetljive zone.

Koordinacija vodoprivrednih aktivnosti na slivu Dunava, ostvaruje se kroz saradnju Dunavskih zemalja na osnovu odrednica Dunavske konvencije (2011). Konvencija poseban značaj daje prevenciji, kontroli i redukciji prekograničnih zagađenja nastalih pod uticajem izlivanja hazardnih supstanci i nutrijenata na slivu Dunava. Posebna pažnja se posvećuje zaštiti od zagađenja i eutrofikacije Crnog Mora, a u skladu sa Konvencijom o zaštiti Crnog Mora od zagađenja (21. april 1992.).

U skladu sa UWWT Direktivom pripadajući slivovi osetljivih zona se smatraju osetljivim na eutrofikaciju. U tom smislu ceo sliv Dunava se može smatrati osetljivom zonom, obzirom da gore navedene konvencije daju prioritet zaštiti Crnog mora od eutrofikacije. Čak 92% teritorije Srbije pripada Dunavskom slivu. Primera radi, Bugarska je proglasila ukupno 14 osetljivih zona i 14 slivova osetljivih zona što čini 87,67% njene teritorije. Sa druge strane, Mađarska je proglasila 3 osetljive zone što čini oko 7,04% njene teritorije. Austrija i Nemačka nisu definisale osetljive zone jer gotovo sva postrojenja već imaju tercijarni stepen tretmana otpadnih voda.



U skladu sa pomenutom Direktivom, zemlje članice imaju obavezu da identifikuju slivove osetljivih zona, kao i obavezu da osiguraju da sve aglomeracije veće od 10.000 ES, koje ispuštaju efluent na teritoriji tih slivova, poseduju tretman otpadnih voda efikasniji od sekundarnog. Izuzeće od ove obaveze moguće je dobiti isključivo ako se dokaže da zagađenje iz ovih naselja/aglomeracija nema uticaj na osetljivu zonu. Na bazi postojećih podataka i preliminarnih analiza, na teritoriji Srbije dolazi do retenzije više od 75% autohtono emitovane količine nutrijenata, što znači da je upitna gradnja postrojenja za tercijarni tretman u najvećem broju slučajeva. Izuzetak su osetljive i ranjive zone prema kriterijumima Nitratne direktive.

Ovakva analiza bila bi ozbiljna podrška jačanju pregovaračke pozicije Srbije u predpristupnim pregovorima sa Briselom, kod otvaranja poglavlja 27 i u transponovanju UWWT Direktive i Nitratne direktive u domaće zakonodavstvo.

## EKOLOGIJA NUTRIJENATA

Prirodni režim nutrijenata u akvatičnim ekosistemima, remeti se svakom antropogenom aktivnošću šireg obima na slivu. Od najvećeg značaja su: devastacija šuma, isušivanje bara i močvara, unos zemljišta u vodotoke usled loših poljoprivrednih praksi, izgradnja brana i direktni unos nutrijenata iz tačkastih i netačkastih izvora. Poljoprivredne aktivnosti posebno utiču na režim nutrijenata kroz: upotrebu đubriva, uvećanu eroziju, isušivanje močvarnog zemljišta i izmene trasa rečnih tokova.

Značajan uticaj na režim nutrijenata i njihovu mobilnost, ostvaruje se pregrađivanjem rečnih tokova. Izgradnjom brana, rečni tokovi se usporavaju, utiče se na kiseonični režim i povećava se vodno ogledalo čime se povećava i kontaktna površina voda-atmosfera. Sve navedeno utiče na taloženje nutrijenata, zatim na biogeohemijske procese u kojima sudeluju nutrijenti (npr. nitrifikacija) i na razmenu između vode i atmosfere.

Putanje kojima azot i fosfor, iz terestričkih sistema prelaze u akvatične, mogu biti veoma raznolike. U sistemima bogatim nutrijentima, azot je uglavnom prisutan u formi nitrata, sa preko 50% udela u ukupnom bilansu azota. Ova jonska forma azota je visoko rastvorljiva u vodi što njen transfer iz zemljišta, ka podzemnim i površinskim vodama čini posebno jednostavnim. Ova forma je takođe lako dostupna algama i bakterijama u vodenoj sredini, pa može dovesti do naglog porasta njihove biomase.

Nitratni azot napušta vodenu sredinu i ulazi u atmosferu u procesu denitrifikacije. Posredstvom bakterija nitrat prelazi u relativno inertan gasni azot. Ova transformacija se odvija u uslovima smanjenog ili odsutnog kiseonika, kao npr. kada se nitrat transportuje iz podzemnih voda ka močvarnim inundacijama ili kada se nađe u anaerobnom sedimentu.

Za razliku od visoko mobilnog nitrata, transport fosfora kroz ekosistem je relativno spor i najviše zavisi od erozije i transporta sedimenta. U nekim slučajevima, dinamika primarnih proizvođača, može značajno uticati na režim nutrijenata. Neorganski fosfor (ortofosfat) ima veliki afinitet prema mineralima i zbog toga se lako apsorbuje na čestice sedimenta i čestičnu materiju. Fosfor iz đubriva uglavnom se teško mobilize i uglavnom ostaje u mestu. Njegov transfer u vodenu sredinu zahteva mobilizaciju i transport čestica zemljišta. Međutim kombinacija urbanizacije (kada npr. velike količine opalog lišća dospevaju u vodotoke) kao i neodgovarajuće poljoprivredne prakse, dovode do mobilizacije fosfora i

njegovog intenzivnijeg dospevanja u vodenu sredinu. Akumulacije i jezera zadržavaju i talože čestice za koje je vezan fosfor.

Ciklus nutrijenata je neraskidivo povezan sa ciklusom organske materije. Organska materija u vodi može biti rastvorena i čestična, pri čemu se udeo rastvorenog organskog ugljenika prema čestičnom kreće u opsegu od 6:1 do 10:1. Ovo je posledica nestabilne prirode i lake degradabilnosti najvećeg broja organskih jedinjenja. Sedimentacija i mikrobiološka razgradnja su ključni procesi u dinamici ugljenika u vodenoj sredini. Taloženje organskog ugljenika u literaturi je poznato kao «fresh sedimentation». Kada se deponuje u sediment, istaloženi organski ugljenik se u gavnom mineralizuje od strane heterotrofnih organizama. Proces mineralizacije produkuje metan i CO<sub>2</sub>, kao neorgansku ugljeničnu formu koja može biti asimilovana od strane primarnih proizvođača u procesu fotosinteze. Zbog toga se generalno, jezera i akumulacije ponašaju kao ponori alohtonog organskog ugljenika. Što se tiče rastvorene organske materije, ona predstavlja osnovni izvor ugljenika i energije za bakterioplankton. Prisustvo organskog ugljenika utiče i na intenzitet procesa denitrifikacije. Denitrifikacija je intenzivnija u prisustvu organskog ugljenika koji se ponaša kao donor elektrona u reakciji redukcije.

Dunavski sedimenti su uglavnom peskoviti bez značajnog udela organske materije, a anaerobni uslovi se mogu javiti vrlo lokalizovano u neprotočnim rukavcima ili u blizini ispusta otpadnih voda. Sve to upućuje na pretpostavku da denitrifikacija nije dominantan proces u ciklusu azota i da je verovatno ključna sedimentacija. Proces sedimentacije je najverovatnije dominantan mehanizam i u ciklusu fosfora i u ciklusu organske materije.

#### PRETHODNA ISTRAŽIVANJA

Neka od prethodnih istraživanja izveštavaju o akumuliranju silikata i nutrijenata u Đerdapskoj akumulaciji. Teodoru et al. (2005), izveštavaju da se akumulacija Đerdap I (u periodu njihovog istraživanja) ponašala kao izvor nutrijenata i to 17% za TN i 11% za TP. Takođe izveštavaju o skromnoj eliminaciji silikata od oko 4-5%.

Prema ICPDR (2004b), opterećenje rastvorenim neorganskim azotom za 2000. god. mereno na Dunavu koji ulazi u deltu bilo je 27% manje nego u 1985. god, dok je opterećenje TP smanjeno za 40% u odnosu na maksimalno iz 1975. god. Autori su procenili da remobilizacija nutrijenata iz sedimenta iznosi 2% TN i 4.5% TP, a dobili su je kao razliku između modelom predviđene akumulacije u sedimentu na osnovu ulaznog opterećenja i stvarno izmerene retenzije. Takođe smatraju da dolazi do remobilizacije nutrijenata koji su istaloženi u periodu od 1970. do 1990, kada su i opterećenja Dunava nutrijentima bila 30% - 40% veća. Ova studija pokazuje da su sedimenti pod uticajem prethodnih opterećenja nutrijentima i da može doći do histerezisa i usporavanja oporavka nizvodnog sistema nakon smanjenja opterećenja nutrijentima.

Friedel i Wuest (2002) na osnovu N/Si i Si/P odnosa, zaključuju da su koncentracije oba nutrijenta istrošene, baš kao i rastvoreni silikati na ušću Dunava. Odnosi azota i fosfora prema silicijumu su: N/Si=0,5 i Si/P=200. Na ušću Dunava, javljaju se vrednosti N/Si=4-5. P i N se nadoknađuju nizvodno od brane poljoprivrednim aktivnostima i otpadnim vodama, dok nema značajnih izvora Si. Prosečne koncentracije rastvorenih silikata izmerene u Crnom moru, malo udaljeno od obale delte Dunava su se smanjile sa 55 μM pre izgradnje brane na oko 20 μM koliko iznose danas. Na osnovu toga učestalost cvetanja dijatoma

(silikatnih algi) tokom poslednjih decenija je opala, a dinoflagelate i želatinozne vrste su postale važnije.

Usled smene zajednica fitoplanktona, lanac ishrane severozapadnog Crnog mora se promenio, i došlo je do drastičnog smanjenja ribolova od 1970-ih. Istorijski je Crno more bilo jedno od ribom najbogatijih mora sveta.

## OSNOVNE PRETPOSTAVKE I METODOLOGIJA

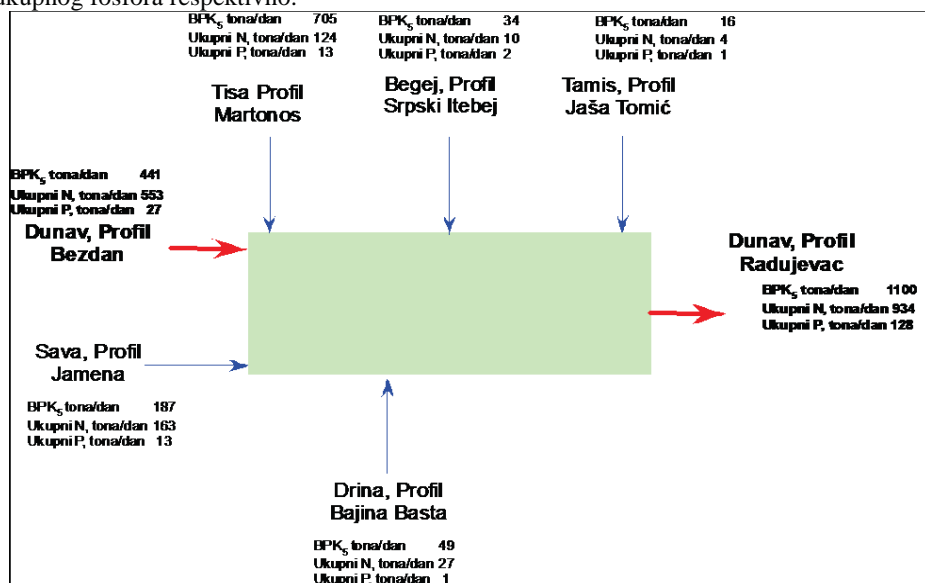
U akumulacijama HE sistema Đerdap dolazi do retenzije i transformacije organskog zagađenja i nutrijenata, pa se polazi od pretpostavke da bi se izgradnjom postrojenja sa sekundarnim tretmanom, doprinos teritorije Srbije na eutrofikaciju Crnog Mora, sveo na beznačajan nivo. Da bi se ovakve tvrdnje dokazale, bilo je neophodno uraditi detaljnu analizu retenzije i transformacije organskog i zagađenja nutrijentima u Đerdapu.

U okviru studijskih radova, realizovane su aktivnosti, koje bi se mogle svrstati u osnovne grupe:

1. Prikupljanje i sistematizacija postojećih podataka o kvalitetu i količinama vode i sedimenta u Dunavu i glavnim pritokama  
Zvanični monitoring kvaliteta vode u Dunavu i glavnim pritokama obavlja se na osnovu Uredbe o utvrđivanju godišnjeg programa monitoringa statusa voda. Monitoring kvaliteta vode organizuje i HE Đerdap za potrebe praćenja uticaja akumulacija „Đerdap 1“ i „Đerdap 2“ na priobalje. Podaci dosadašnjeg monitoringa su prikupljeni i sistematizovani i uz hidrološke podatke, poslužili su za izradu pojednostavljenih bilanskih analiza, osrednjenih na godišnjem nivou.
2. Pregled postojeće tehničke dokumentacije i objavljene literature  
Izvršen je pregled postojeće tehničke dokumentacije koja se odnosi na emisije otpadnih voda značajnih zagađivača na slivu Dunava, kao i izveštaji studijskih i istraživačkih projekata koji su obrađivali opterećenje vodotoka nutrijentima iz difuznih izvora i sa različitih tipova zemljišta. Ovom aktivnošću obuhvaćena je i pretraga stručne literature na teme kvaliteta vode u Dunavu i pritokama, kao i na teme kvantitativne procene i parametrizacije difuznog opterećenja u modelima bilansa nutrijenata.
3. Istražni radovi na ispitivanju kvaliteta vode i kvaliteta sedimenta u Dunavu i glavnim pritokama  
Realizovane su tri kampanje terenskih istražnih radova u: aprilu, septembru i novembru na ispitivanju pokazatelja kvaliteta vode Dunava na potezu od Bezdana do Radujevca. Na svaka 3-4 kilometra zahvaćeni su uzorci vode za analizu na nutrijente i organsku materiju. Multiparametarskom sondom in-situ su mereni osnovni pokazatelji, kao što su: pH, rastvoreni kiseonik, saturacija, mutnoća, elektroprovodljivost.
4. Formiranje konceptualnog modela bilansa nutrijenata na delu toka Dunava kroz Srbiju  
Konceptualni model nutrijenata formiran je na način da obuhvati sve dominantne komponente bilansa koje su merljive i koje je moguće matematički parametrizovati. Istražni radovi i formulisanje modela su potpuno kompatibilne aktivnosti. U okviru ove aktivnosti potrebno je uraditi pregled raspoloživih modela i izabrati odgovarajući model koji će se u narednoj fazi projekta kalibrisati, testirati i koristiti za simuliranje dinamike masenog bilansa nutrijenata.

## REZULTATI

Na bazi rezultata zvaničnog monitoringa površinskih voda, urađen je bilans organske materije, ukupnog fosfora i ukupnog azota za deo dunavskog sliva u Srbiji. Podaci su osrednjeni za vremenski period od 2012-2016. Na slici 1 u grafičkoj i tabelarnoj formi, pregledno su data prekogranična i interna optrećenja organskim materijama i nutrijentima. Prema preliminarnim analizama, u delu toka Dunava kroz Srbiju, prevashodno u Đerdapskim akumulacijama retenzira se: 74, 28 i 10%, organske materije, ukupnog azota i ukupnog fosfora respektivno.



Slika 1. Bilans nutrijenata za reku Dunav na delu toka kroz Republiku Srbiju za period od 2012. do 2016. godine

Figure 1. Nutrient budget for the Danube river on the section through the Republic of Serbia for the period from 2012 until 2016

Za potrebe preliminarne analize koeficijenata retenzije nutrijenata duž toka Dunava u Republici Srbiji u toku 2017. godine realizovana su tri ciklusa istražnih radova od Bezdana do Radujevca. Prvi ciklus realizovan je tokom aprila 2017 godine, drugi tokom septembra 2017. godine a treći u novembru 2017. godine. U prvom ciklusu istražnih radova zхваćeno je 190 uzoraka na 190 lokacija duž toka Dunava i izvršena su in situ merenja. U drugom ciklusu istražnih radova zхваćeno je 195 uzoraka na 195 lokacija duž toka Dunava i izvršena su in situ merenja. U trećem ciklusu istražnih radova zхваćeno je 138 uzoraka na 138 lokacija duž toka Dunava i izvršena su in situ merenja. U sva tri ciklusa detektovana je skoro identična fenomenologija transformacije koncentracije nutrijenata duž toka Dunava kroz Republiku Srbiju. Koeficijenti retenzije kreću se u opsegu od 10% do 20% za ukupni azot i od 50 od 85% za ukupni fosfor.

Tabela 1. Bilans nutrijenata za reku Dunav na delu toka kroz Republiku Srbiju za period od 2012. do 2016. godine

Table 1. Nutrient budget for the Danube river on the section through the Republic of Serbia for the period from 2012 until 2016

Parametar	BPK, tona/dan	Ukupni azot, tona/dan	Ukupni fosfor, tona/dan
Ulaz na graničnim profilima	1450	887	58
Zagađenje generisano u Republici Srbiji i ispušteno na slivu Dunava u Republici Srbiji, tona/dan	2794.5	409.9	83.8
Ukupno tona/dan	4244.5	1296.9	141.8
Izlaz iz Republike Srbije na profilu Radujevac*	1100	934	128
Retenzija nutrijenata duž toka Dunava u Republici Srbiji, %	74	28	10

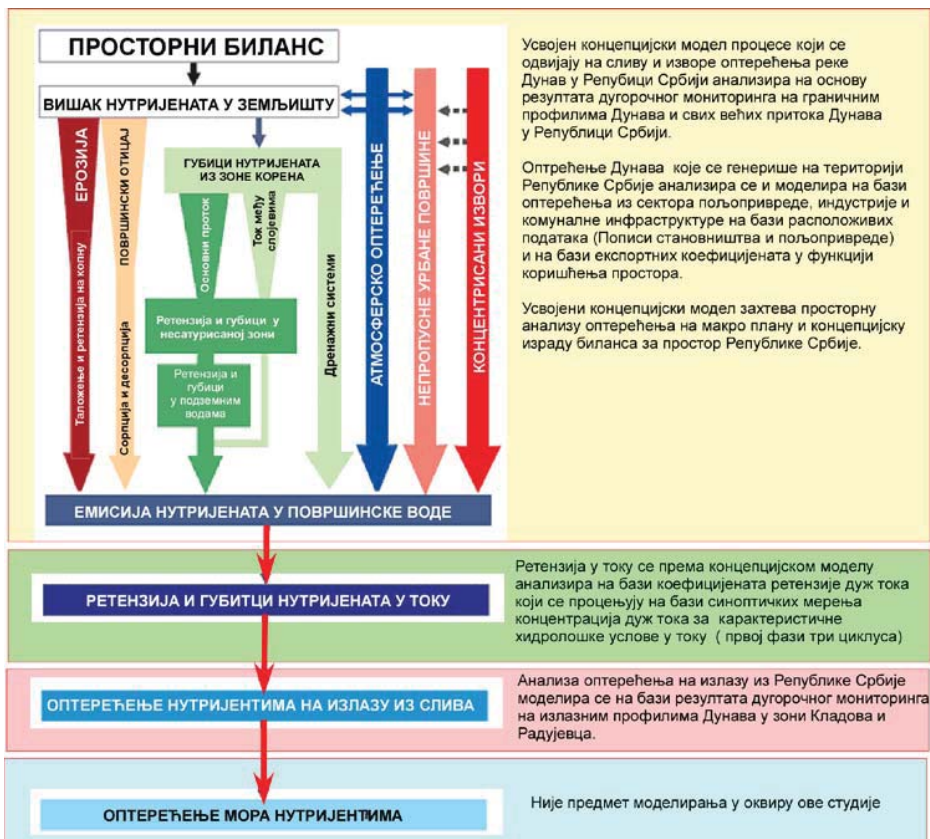
## KONCEPTUALNI MODEL

Iz do sada prikazanog i na bazi izvršenog pregleda literature za potrebe ove studije formiran je konceptijski model retenzije nutrijenata duž toka Dunava kroz Republiku Srbiju. Konceptijski model zasnovan je na bilansu mase koji opisuje kretanje mase nutrijenata u prostoru.

Nasuprot kompleksnijim mehanističkim i determinističkim modelima, usvojeni konceptijski model izbegava detaljnu analizu ciklusa nutrijenata u sistemu već se pre svega fokusira na dugoročne prosečne uslove u stacionarnom stanju toka nutrijenata kroz sistem, korišćenjem empirijskih zavisnosti. Izvori nutrijenata locirani su u prostoru i njihova veličina se određuje na bazi prostorne rapodele korišćenja prostora (prema CORINE klasifikaciji korišćenja zemljišta) i koeficijenata opterećenja nutrijentima za svaku klasu korišćenja prostora. Opterećenje se dalje deli na dve frakcije (frakciju vezanu za nanos i podložnu taloženju i frakciju koja je u rastvoru i podložna je vodoenom transportu duž sistema). U sledećem koraku za svaku prostornu jedinicu vrši se proračun isporuke nutrijenata ka nizvodnom prostornom elementu pri čemu su glavni kontrolni elementi prostora i koeficijent retenzije za datu prostornu jedinicu. Na nizvodnom kraju sistema vrši se proračun svih relevantnih isporuka umanjen shodno koeficijentima retenzije u samom toku za dati element toka (deonicu toka).

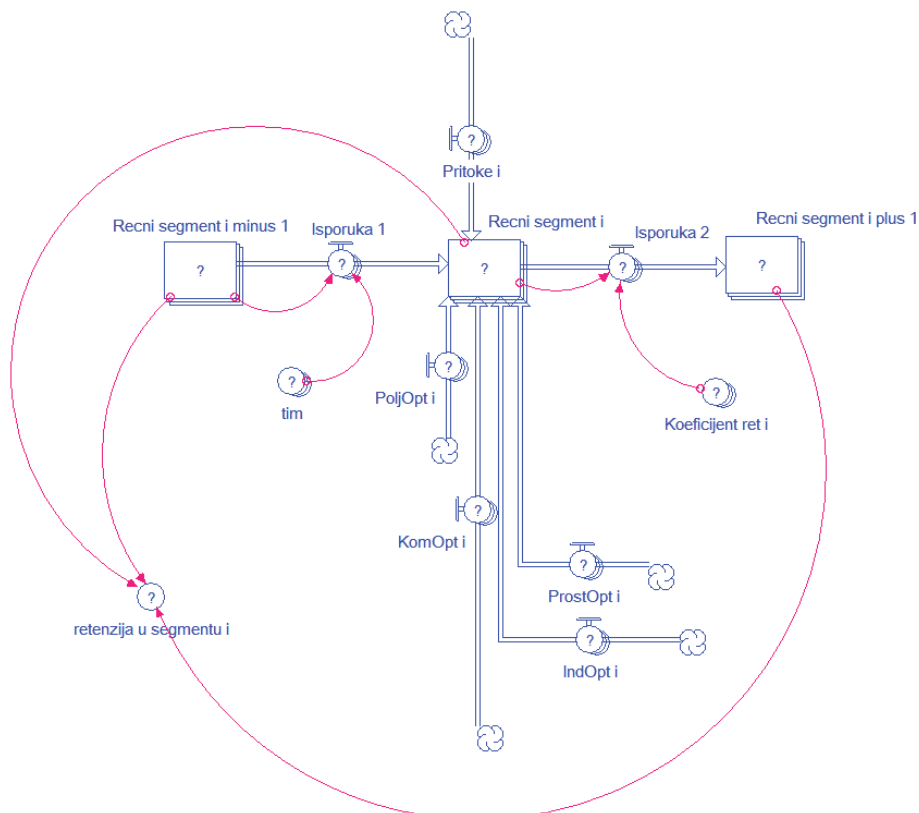
Razvijeni konceptualni model prikazan je na slikama 2 i 3. U saglasnosti sa literaturom i konceptom koeficijenata izvoza (eksport koeficijenti) koeficijenti opterećenja se određuju u funkciji korišćenja prostora.

Izvoz nutrijenata je zasnovan na konceptu koeficijenta retenzije, pristup koji je zasnovan na konceptu „isporuke nutrijenata“ koji je primenjen u modelu (Vigiak et al., 2017). Ovaj koncept je sličan na riziku zasnovanim konceptima koji su popularni u modeliranju nutrijenata u vodenim ekosistemima (Drewry et al., 2006).



Slika 2. Operacionalizacija koncepcijskog modela  
 Figure 2. Operationalisation of the conceptual model

Iz prikazanih rezultata evidentno je da ponuđeni koncepcijski model zadovoljava potrebe ove studije i da isti u narednoj fazi treba matematički razraditi čime bi se omogućilo njegovo rutinsko korišćenje za analizu retencije nutrijenata duž toka Dunava u Republici Srbiji pri različitim hidrološkim i drugim uslovima. Sam izbor numeričkog modela koji će se primeniti u narednim fazama rada pre svega će zavistiti od rezultata istražnih radova u narednim fazama i mogućnosti za kalibracijom modela (određivanje koeficijenata za kalibraciju modela i raspoloživosti podataka na osnovu kojih se definišu početni, granični uslovi i ulazne vremenske serije).



Slika 3. Dinamička operacionalizacija konceptijskog modela primenom alata „Stella Professional“ za modeliranje dinamičkih sistema

Figure 3. Dynamic operationalisation of the conceptual model using the tool „Stella Professional“ for modelling of dynamic systems

## ZAKLJUČCI

Rezultati istraživanja ukazuju da sistem Đerdapskih akumulacija ima značajan uticaj na ciklus nutrijenata i organske materije u Dunavu. Na bazi istražnih radova takođe je evidentirano da transformacije azota od amonijaka i organskog azota do nitrata i azota kao gasa, takođe mogu biti značajan element koji kontroliše retenziju azota i u tom kontekstu neophodno je dodatnim istražnim radovima bolje definisati i kvatifikovati relevantne procese transformacije i relevantne koeficijente transformacije azotnih formi u narednim fazama istražnih radova kako bi se stvorili svi preduslovi za implementaciju numeričkog dinamičkog modela retenzije nutrijenata. U slučaju fosfora situacija je daleko jednostavnija i osnovni mehanizam koji kontroliše retenziju je proces taloženja u zoni uspora Đerdapskih akumulacija. Procenjuje se da se na Dunavskom slivu retenzira 74, 28 i 10%, organske materije, ukupnog azota i ukupnog fosfora respektivno. Sve ovo ukazuje da je neophodno

preispitati nužnost izgradnje PPOV sa tercijskim tretmanom na slivu Dunava u Srbiji. Postoje indicije da bi i PPOV sa sekundarnim tretmanom zadovoljila potrebne zahteve za zaštitom sliva Dunava nizvodno od Srbije i Crnog Mora od eutrofikacije.

### Zahvalnost

Autori se zahvaljuju Ministarstvu poljoprivrede, šumarstva i vodoprivrede, Republičkoj Direkciji za vode, koja je finansirala istraživanje čiji su rezultati prezentovani u ovom radu.

### LITERATURA:

- Analiza retenzije zagađenja duž toka Dunava u Republici Srbiji – razvoj modela i kapaciteta samoprečišćavanja – I faza (2017). Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“ ad, Ministarstvo poljoprivrede, šumarstva i vodoprivrede – Republička direkcija za vode
- Council Directive 91/271/EEC of 21 May 1991 concerning urban waste-water treatment (91/271/EEC)
- A. Metzinger, R. Pieters, K. I. Ashley, G. A. Lawrence, A. Wuest, 2007, Effects of impoundment on nutrient availability and productivity in lakes, *Limnol. Oceanogr.*, 52(6), 2007, 2629-2640, ©2007, by the American Society of Limnology and Oceanography, Inc.
- C. Teodoru and B. Wehrli, 2005, Retention of sediments and nutrients in the Iron Gate I Reservoir on the Danube River, *Biogeochemistry* (2005) 76: 539-565, DOI 10.1007/s10533-005-0230-6. © Springer 2005.
- E. A. Stanley and M. W. Doyle, 2002. A geomorphic perspective on nutrient retention following dam removal, *Bioscience*, August 2002/Vol. 52 No. 8.
- G. Friedl and A. Wuest, 2001, Disrupting Biogeochemical Cycles – Consequences of Damming, *Aquat. Sci.* 64 (2002) 55-65, 1015-1621/02/010055-11, © EAWAG, Dübendorf, 2002.
- N. Pacini, D. M. Harper, V. Ittekkot, C. Humborg and L. Rahm, 2008, Nutrient processes and consequences, CAB International 2008. *Ecohydrology: Processes, Models and Case Studies* (eds Harper et al.).
- Vigiak, O., Malagó, A., Bouraoui, F., Vanmaercke, M., Obreja, F., Poesen, J. & Grošelj, S. (2017). Modelling sediment fluxes in the Danube River Basin with SWAT. *Science of the Total Environment*, 599, 992-1012.
- Drewry J.J., Newham L.T.H., Greene R.S.B., Jakeman A.J., Croke B.F.W. (2006) A review of nitrogen and phosphorus export to waterways: context for catchment modelling. *Marine and Freshwater Research* 57:757-774. DOI: 10.1071/mf05166.



MEĐUNARODNI PROJEKAT „UPRAVLJANJE  
NANOSOM DUNAVA” – PONOVRNO  
USPOSTAVLJANJE BILANSA NANOSA  
DUNAVA - PRIKUPLJANJE PODATAKA O NANOSU  
NA SLIVU DUNAVA U OKVIRU MEĐUNARODNOG  
PROJEKTA „DANUBE SEDIMENT”

Ljiljana Marjanović, Marina Babić Mladenović,  
Nevena Cvijanović

*Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi” a.d. „Jaroslava Černog 80, Beograd,  
Email: [ljiljana.marjanovic@jcerni.co.rs](mailto:ljiljana.marjanovic@jcerni.co.rs), [marina.babic-mladenovic@jcerni.co.rs](mailto:marina.babic-mladenovic@jcerni.co.rs),  
[nevena.cvijanovic@jcerni.co.rs](mailto:nevena.cvijanovic@jcerni.co.rs)*

REZIME

Projekat „Danube Sediment” (2017-2019) se finansira iz Dunavkog transnacionalnog programa (INTERREG Danube Transnational Programme) sa ciljem uspostavljanja ponovnog monitoringa i bilansa nanosa na slivu Dunava. U projektu učestvuju 14 partnera iz 9 zemalja. Projekat sadrži 4 tehnička radna paketa: Prikupljanje podataka o nanosu, Analize podataka za bilans nanosa, Pregled uticaja i mera i Upravljanje nanosom. Kroz projekat su prikupljeni postojeći podaci o nanosu na Dunavu i odabranim pritokama (mesta, učestalost i načini uzorkovanja, korišćene metodologije za obradu podataka i dr.). Dat je pregled prikupljenih podataka i uočenih problema, kao i preporuke za njihovo prevazilaženje radi harmonizacije mreže za praćenje nanosa i izrade zajedničkog bilansa nanosa.

KLJUČNE REČI: monitoring nanosa, bilans nanosa, sliv Dunava, suspendovani nanos, vučeni nanos

TRANSNATIONAL PROJECT "DANUBE  
SEDIMENT MANAGEMENT" - RESTORATION OF  
THE SEDIMENT BALANCE IN THE DANUBE  
RIVER - SEDIMENT DATA COLLECTION IN THE  
DANUBE BASIN WITHIN THE "DANUBE SEDIMENT"  
INTERNATIONAL PROJECT

ABSTRACT

The Danube Sediment Project (2017-2019) is financed from the INTERREG Danube Transnational Programme with the aim of establishing a Sediment Monitoring and Sediment Balance in the Danube Basin. The project involves 14 partners from 9 countries.

There are 4 technical work packages in the Project: Sediment Data Collection, Danube Sediment Balance, Impact and Measures and Sediment Management. Available Sediment Data on the Danube River and selected tributaries (monitoring sites, frequency and sampling methods, analysis method, etc.) were collected. Overview of the collected data and the observed problems is given, as well as recommendations for their overcoming in order to harmonize sediment monitoring network and development of a common sediment balance.

**KEY WORDS:** Sediment Monitoring, Sediment Balance, Danube Basin, Suspended Sediment, Bedload Sediment

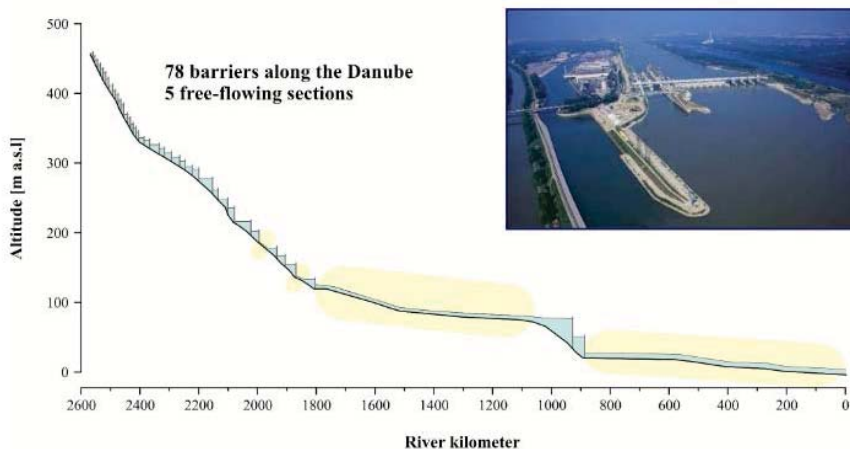
## UVOD

Akronim projekta: DanubeSediment  
 Trajanje projekta: 1. januar 2017 – 30. juni 2019.  
 Vodeći partner: Tehničko-Ekonomski fakultet u Budimpešti (BME), Mađarska  
 Uključene zemlje: Nemačka, Austrija, Slovačka, Mađarska, Slovenija, Hrvatska, Srbija, Rumunija, Bugarska.  
 Partneri iz Srbije (IPA): Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi” a.d. i Direkcija za vodne puteve, Ministarstvo građevinarstva, saobraćaja i infrastructure  
 Ukupan budžet projekta (EUR): 3.558.581,62  
 ERDF učešće (EUR): 2.827.421,16 i IPA učešće (EUR): 197.373,19  
 Broj poziva: Call 1 (DTP1-195-2.1)  
 Prioritet: Ekološki i kulturno odgovoran Dunavski region  
 Specifični cilj: Jačanje međunarodnog upravljanja vodama i prevencija rizika od poplava

Rečni nanos nastaje kao posledica erozionih procesa u slivu i prirodni je deo rečnih sistema. Svaka reka, pa i Dunav, ima svoj prirodni režim nanosa koji je značajno izmenjen zbog velikih promena u slivu, nastalih najčešće ljudskim aktivnostima.

Značajne promene na slivu Dunava, kao što su npr. izgrađene brane (78 brana duž toka Dunava - slika 1), dovele su do bitnih izmena režima nanosa Dunava i njegovih pritoka, usled čega se povećava opasnost od poplava, pogoršavaju uslovi plovidbe i hidroenergetske proizvodnje i gubi biodiverzitet. Na pojedinim deonicama Dunava dolazi do taloženja nanosa, a na drugima se opaža njegov nedostatak.

Na prekograničnim vodotocima pronos nanosa i upravljanje nanosom je neophodno razmatrati na međunarodnom nivou. Na nedostatke u ovoj oblasti ukazano je u Planovima upravljanja slivom Dunava (Međunarodna komisija za zaštitu reke Dunav – ICPDR, 2009. i 2015.) što je rezultiralo pokretanjem projekta DanubeSediment.



Slika 1. Hidroelektrane - značajan pokretački faktor i uticaj na bilans nanosa na slivu Dunava  
 Figure 1. Hydropower plants – significant driver and impact on DRB Sediment Balance

## O PROJEKTU

Projekat DanubeSediment (Danube Sediment Management - Restoration of the Sediment Balance in the Danube River) kofinansiran je u okviru prvog poziva Dunavskog transnacionalnog programa (Interreg Danube Transnational Programme). Implementacija projekta je započeta 01. januara 2017. godine i trajeće 30 meseci. Projekat je kofinansiran od strane fondova Evropske unije (ERDF i IPA).

Međunarodni konzorcijum koji implementira ovaj projekat, pored partnera iz Republike Srbije: Instituta za vodoprivredu „Jaroslav Černi” a.d. (JCI) i Direkcije za vodne puteve Ministarstvo građevinarstva, saobraćaja i infrastructure (Plovput), čine BME - Tehničko-ekonomski fakultet u Budimpešti, koji je i vodeći partner na projektu (Mađarska), LFU – Agencija za životnu sredinu Bavarije i TUM - Tehnički univerzitet iz Minhena, Katedra za hidraulička istraživanja i upravljanje vodnim resursima (Savezna Republika Nemačka), BOKU – Univerzitet prirodnih nauka (Republika Austrija), VUVH – Institut za vode (Republika Slovačka), OVF – Generalna direkcija za upravljanje vodama (Mađarska), IzVRS – Institut za vode Republike Slovenije (Republika Slovenija), HRVODE – Hrvatske vode (Republika Hrvatska), NARW - Nacionalna administracija „Vode Rumunije” i NIHWM - Nacionalni institut za Hidrologiju i upravljanje vodama (Rumunija), NIMH-BAS – Nacionalni institut za meteorologiju i hidrologiju – Akademija nauka Bugarske i EAEMDR – Izvršna agencija za istraživanje i održavanje reke Dunav (Republika Bugarska).

Status pridruženih partnera ima još 14 institucija, među kojima su i međunarodne organizacije (npr. ICPDR, ISRBC - Međunarodna komisija za sliv Save, DC –Dunavska komisija i dr.) i nacionalne institucije (npr. DRSV – Direkcija za vode Republike Slovenije, SVP – Vodoprivredno preduzeće Republike Slovačke i dr).

Cilj projekta DanubeSediment je unapređenje upravljanja nanosom Dunava i njegovih pritoka u zoni ušća.

Osnovne tematske oblasti u okviru projekta se odnose na prikupljanje podataka o nanosu (radni paket WP3), analizu podataka i uspostavljanje zajedničkog bilansa (WP4), pregled najznačajnijih uticaja i predloga mera za njihovo ublažavanje (WP5) i upravljanje nanosom (WP6).

Radni paket „Prikupljanje podataka o nanosu” obuhvata prikupljanje postojećih podataka, uporednu analizu podataka i ocenu podataka o nanosu.

Radni paket „Bilans nanosa na Dunavu” obuhvata analize podataka za bilans nanosa, ocenu bilansa nanosa i dugoročni razvoja morfoloških promena.

Radni paket „Uticaji i mere” obuhvata pregled ključnih pokretačkih činilaca i njihov uticaj, ocenu rizika vezanu za bilans nanosa i mere i primere dobre prakse za poboljšanje bilansa nanosa.

Radni paket „Upravljanje nanosom” obuhvata izradu zaključnih izveštaja i dokumenata i uključivanje zainteresovanih strana.

Države učesnice u projektu su definisale kategorije zainteresovanih strana za proces upravljanja nanosom: nadležna ministarstva i druge institucije uprave, plovidba, hidroenergetika, životna sredina, nadležne i druge organizacije, naučne institucije i dr.

Neki od glavnih rezultata koji se očekuju do kraja projekta su:

- Priručnik dobrih praksi praćenja nanosa,
- Izveštaj o bilansu nanosa Dunava, koji razmatra negativne uticaje diskontinuiteta pronosa nanosa na opasnost od poplava, plovidbu, hidroenergetiku i ekologiju,
- Uputstvo za upravljanje nanosom Dunava, koje obuhvata neophodne mere,
- Uputstvo za zainteresovane strane sa opisom načina primene mera.

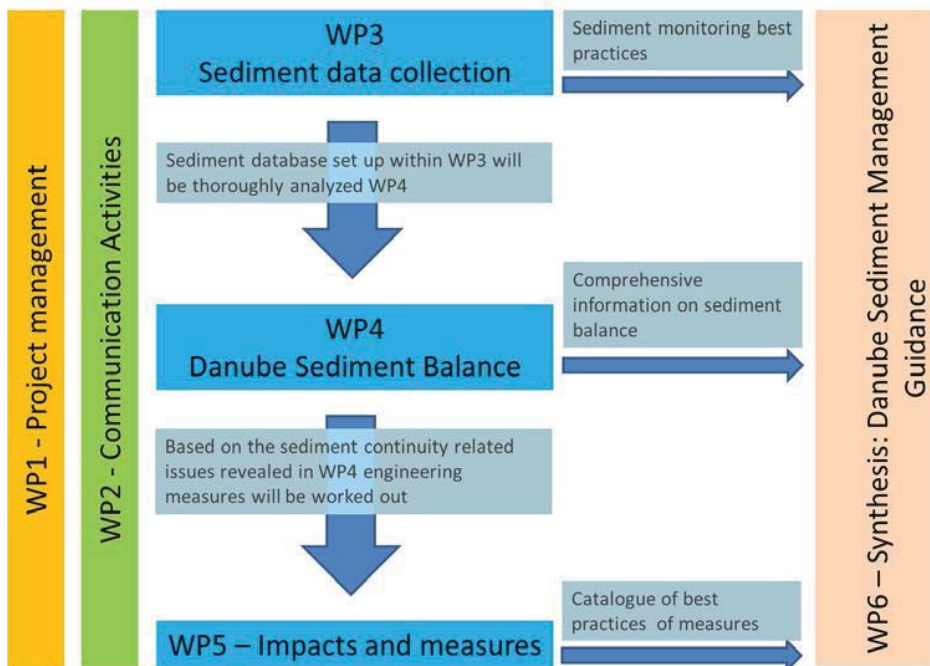
Šematski prikaz radnih paketa, njihovih odnosa i očekivanih rezultata DanubeSediment projekta prikazani su na slici 2.

U okviru projekta organizuju se i međunarodne radionice za ključne zainteresovane strane i obuka za oko 100 stručnjaka, kako bi se uspostavila efikasna komunikacija sa krajnjim korisnicima i kako bi se oni upoznali sa rezultatima projekta.

ICPDR će zaključke projekta uvrstiti u Plan upravljanja slivom Dunava i Plan upravljanja rizicima od poplava na slivu Dunava. Projekat treba da doprinese boljem i održivom upravljanju nanosom na slivu Dunava, kao i poboljšanju plovidbenih uslova, smanjenju rizika od poplava, poboljšanju ekološkog statusa i uslova za dugoročnu hidroenergetsku proizvodnju.

Više informacija o projektu može se naći na <http://www.interreg-danube.eu/approved-projects/danubesediment>.

Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“ a.d. učestvuje u svim projektnim aktivnostima, uključujući prikupljanje i analizu podataka i njihovu harmonizaciju sa susednim zemljama, proračun bilansa nanosa Dunava, analizu uticaja pritoka, hidrološkog režima i vodnih objekata na pronos nanosa i morfološke promene korita, analizu pritisaka, pripremu predloga mera za upravljanje nanosom, izradu priručnika, uputstava i drugih izveštaja.



Slika 2. Metodologija projekta DanubeSediment  
Figure 2. DanubeSediment project methodology

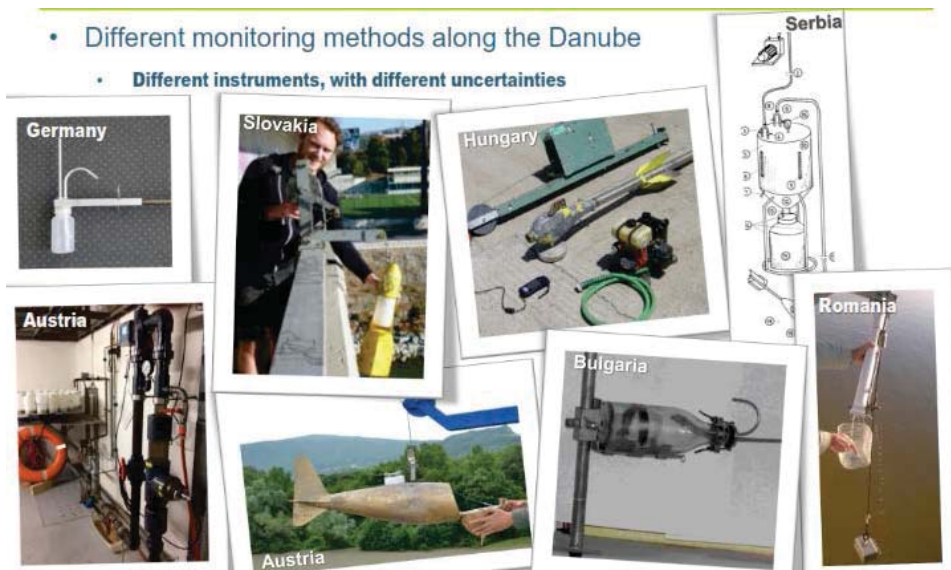
## PRIKUPLJANJE PODATAKA O NANOSU NA SLIVU DUNAVA

Za potrebe održavanja prve radionice za zainteresovane strane u Budimpešti 18.04.2018. g. vodeći partner radnog paketa br.3 Tehničko-Ekonomski fakultet u Budimpešti (BME), je predstavio dosadašnje rezultate na prikupljanju podataka o nanosu i njihovoj analizi.

Sve države su putem web kreiranog upitnika dostavile raspoložive podatke o praćenju suspendovanog i vučenog nanosa za Dunav i odabrane najznačajnije pritoke.

Prema podacima prezentovanim na kartama na slici 3 vidi se da postoji velika razlika u načinu uzorkovanja i broju stanica na kojima se meri suspendovan (65 stanica) ili vučen nanos (25 stanica). Prikupljeni su podaci o suspendovanom nanosu za 47 mernih mesta i 18 na pritokama, dok su za vučeni bili na raspolaganju podaci sa 24 merna mesta na Dunavu i 1 sa pritoke (Morava). Srbija, Hrvatska i Bugarska ne vrše praćenje vučenog nanosa.



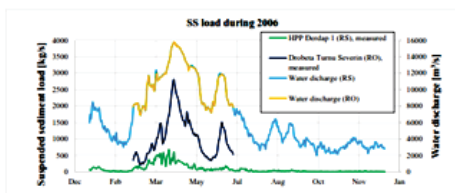


Slika 4. Različite metode uzorkovanja suspendovanog nanosa u državama duž Dunava  
 Figure 4. Different suspended sediment sampling along the Danube

Za dalje korišćenje postojećih podataka prepoznati su sledeći problemi:

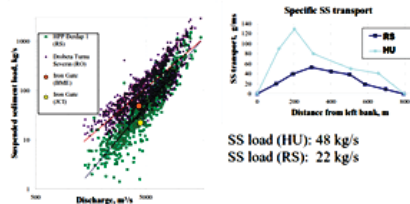
- Primenjuju se različite metode praćenja nanosa u državama duž Dunava (npr. za suspendovani nanos: različiti instrumenti – slika 4, različita učestalost uzorkovanja – od 4/sat do 5/godišnje, različite laboratorijske analize – sušenje u laboratoriji sa filterima različitih svojstava ili bez filtera (npr. HU i RS) ili zamućenost (RO) i sl.);
- Neslaganje podataka o nanosu na prekograničnim mernim mestima (npr. velike razlike u dostavljenim podacima RS-RO na HE „Đerdap I” za 2006. godinu (slika 5a) ili RO-BG podaci na lokaciji Zimnicea – rkm 553,8). Neslaganje podataka SRB-HU na zajedničkom merenju u Kladovu (slika 5b).
- Nedovoljan kvalitet podataka na postojećim mernim mestima (nedostatak podataka u periodu velikih voda) ;
- Nedostatak podataka na relevantnim lokacijama (merna mesta na pritokama su previše udaljena od ušća (npr. na Dravi je na rkm 80,5) ili nedostatak merenja na mestima gde su uočena taloženja nanosa ili erozija korita).

### Serbia-Romania (2006 flood)



- Flow discharge values agree very well
- Measured RO data shows significantly higher sediment load

### On-site comparison (Iron Gate)



Slika 5 – RS-RO podaci tokom 2006 (5a) i RS – HU podaci na zajedničkom merenju u Kladovu (5b)  
Figure 5. RS-RO 2006 data (5a) and RS-HU on-site comparison data in Kladovo (5b)

U skladu sa tim zaključeno je da je potrebno:

- harmonizovati metode za uzorkovanje i analizu podataka,
- uvesti nova merna mesta (na pritokama bliže ušću i na mestima gde su promene taloženja ili erozije uočene),
- uvesti teoretske i praktične treninge za praćenje nanosa,
- uvesti praćenje nanosa u periodu velikih voda i poplava,
- razvijanje numeričkih modela i dr.

### ZAKLJUČAK

Na prekograničnim vodotocima pronos nanosa i upravljanje nanosom je neophodno razmatrati na međunarodnom nivou. Na nedostatke u ovoj oblasti ukazano je u Planovima upravljanja slivom Dunava (ICPDR, 2009. i 2015.) što je rezultiralo pokretanjem projekta DanubeSediment.

Neophodno je sagledati trenutno stanje u oblasti praćenja nanosa u podunavskim državama i dati preporuke za harmonizaciju metoda uzorkovanja i analiza radi uspostavljanja ponovnog monitoring i bilansa nanosa na Dunavu i pritokama.

ICPDR će zaključke projekta uvrstiti u planove upravljanja slivom Dunava i upravljanja rizicima od poplava na slivu Dunava. Projekat treba da doprinese boljem i održivom upravljanju nanosom na slivu Dunava, kao i poboljšanju plovidbenih uslova, smanjenju rizika od poplava, poboljšanju ekološkog statusa i uslova za dugoročnu hidroenergetsku proizvodnju.

### Zahvalnica

Zahvaljujemo se projektnim partnerima projekta DanubeSediment, a posebno Tehničko-Ekonomskom fakultetu u Budimpešti (BME), Mađarska, čije smo podatke koristili.

### LITERATURA:

<http://www.interreg-danube.eu/approved-projects/danubesediment>



## PRO ET CONTRA КЛИМАТСКИХ ПРОМЕНА

Стеван Прохаска\*, Недељко Тодоровић\*\*,  
Никола Божовић\*

\* *Институт за водопривреду „Јарослав Черни“, Београд*

\*\* *Републички хидрометеоролошки завод Србије, Београд*

### РЕЗИМЕ

Последице климатских промена које се, са разних страна, из различитих извора и побуда, перманентно најављују за будући период, налазе се у жижи интересовања сваког нормалног човека. Углавном се најављује глобално отопљење, као последица „стаклене баште“ и учесталија појава екстремних (катастрофалних) метеоролошких ситуација – поплава природних водотокова и бујица, ерозија земљишта, појава клизишта, одрона и дужих сушних периода. Тако, на пример, многи извори процењују да ће средње годишња температура ваздуха на нашем подручју, односно у нашој земљи, порастати до краја овога века за 2 до 4 степена Целзијуса. Јавност посебно интересује понашање екстремних максималних температура ваздуха и падавина, посебно са аспекта најављених климатских промена. Многи стручњаци сматрају да су нагле промене температуре ваздуха и интензивне падавине у току краћих временских периода, које људи веома тешко прихватају, а често и негодују, такође, последица климатских промена. Да ли је то тако покушаћемо да илуструјемо на следећим примерима основних карактеристика клима на подручјима Београда, Зрењанина и Ниша.

КЉУЧНЕ РЕЧИ: промена климе, температура ваздуха, падавине, екстремни догађаји.

## PRO ET CONTRA CLIMATE CHANGE

### ABSTRACT

The consequences of climate change that are, from various sources and initiatives, permanently announced for the future, are in the interest of every person. Generally, global warming is predicted as a consequence of the "greenhouse" effect and the more frequent occurrence of extreme (catastrophic) meteorological events - floods and flash floods, soil erosion, landslides and extended drought periods. Thus, for example, many sources estimate that the mean annual air temperature in our country and the region will increase by the end of this century by 2 to 4 degrees Celsius. The public is particularly interested in the behavior of extreme maximum air temperatures and precipitation, especially from the aspect of the predicted climate changes. Many experts believe that sudden changes in air temperature and intense precipitation over shorter periods, which people are very difficult to accept, and often neglected, are also the result of climate change. This paper will try to illustrate through the following examples of the basic characteristics of the climate in the areas of Belgrade, Zrenjanin and Nis.

KEY WORDS: climate change, air temperature, rainfall, extreme events.

## УВОДНЕ НАПОМЕНЕ

Основни метеоролошки параметри који у основи карактеришу климу одређеног подручја су температура ваздуха и падавине. Због важности ових података у свакој земљи њих званично мере државне установе, као што су хидрометеоролошке службе. У нашој земљи за ову врсту делатности задужен је Републички хидрометеоролошки завод Србије. Подаци се мере и архивирају перманентно на официјелним метеоролошким и падавинским станицама у релативно дугом временском периоду. Најдуже серије метеоролошких података постоје на метеоролошкој опсерваторији од 1888. године до данас. На осталим постојећим метеоролошким станицама постоје подаци за релативно краће периоде мерења, али углавном и те временске серије су довољно дуге за поузданије статистичке прорачуне и анализе.

Предмет истраживања овога рада је утврђивање вишегодишњег карактера смене топлих и хладних, односно кишних и сушних временских периода у вишегодишњем периоду, с циљем да се сагледа евентуални утицај карактера промене климе, о чему се у последње време, са више или мање оправдања, интензивно расправља, како у научно-стручној јавности, на званичним скуповима и у писаним медијима, тако и у средствима јавног информисања, као и у друштву недовољно информисаних људи и љубитеља сензација.

За анализу вишегодишњег карактера промене режима температуре ваздуха и падавина по времену одабране су временске серије на главним метеоролошким станицама Београд-Врачар, Зрењанин и Ниш. Одабир ових станица је извршен с циљем покривања различитих региона у Србији, а с друге стране да се укључе што различитији утицаји локалних спољних фактора (урбанизације, физичко-географских услова, вегетације и сл.).

У конкретном случају за оцену вишегодишњег карактера промене режима температуре ваздуха анализирани су линеарни трендови у временским серијама апсолутно максималних и минималних, затим средње годишњих вредности, као и максималних годишњих разлика између максималних и минималних дневних температура ваздуха. За оцену вишегодишњег карактера режима падавина проанализирани су линеарни трендови у временским серијама сума годишњих падавина, затим сума максималних дневних, дводневних и тродневних падавина, као и серија броја дана у години са падавинама већим од 30 мм, броја максималних дужина епизода бескишних дана, као и укупног броја бескишних дана у години.

На основу дефинисаних линеарних трендова у свим наведеним карактеристичним временским серијама режима температуре ваздуха и падавина сагледаће се вишегодишњи карактер промена ових карактеристика и извести одговарајући закључци о евентуалном могућем утицају климатских промена у до сада регистрованим временским серијама.

### ИЗБОР ВРЕМЕНСКИХ СЕРИЈА

Анализа вишегодишњег карактера промена режима падавина и температура ваздуха извршена је за три локалитета на територији Републике Србије и то на следећим главним метеоролошким станицама:

1. ГМС Београд-Врачар у периоду од 1888–2017. године
2. ГМС Зрењанин у периоду од 1941–2017. године
3. ГМС Ниш у периоду од 1949–2017. године.

Разматране су следеће временске серије:

- За режим температуре ваздуха:
  - Абсолютно максималне температуре ваздуха
  - Абсолютно минималне температуре ваздуха
  - Средње годишње температуре ваздуха
  - Максималне годишње разлике између максималних и минималних дневних температура ваздуха
- За режим падавина:
  - Годишње суме падавина
  - Максималне дневне, дводневне и петодневне суме падавина у години
  - Број дана са падавинама већим или једнаким 30 мм у години
  - Максимални број дана без падавина у континуитету у години
  - Укупан број дана без падавина у години.

За све ове временске серије, на одабраним главним метеоролошким станицама (ГМС), дефинисани су линеарни трендови. Периоди обраде су били укупно расположиви, а такође, због реалности процене резултата, и за јединствен период од 1949. до 2017. године.

#### МЕТОДОЛОГИЈА ПРОРАЧУНА ЛИНЕАРНОГ ТРЕНДА

Једначина за прорачун линеарног тренда у свим наведеним карактеристичним временским серијама температура ваздуха и падавина дефинисана је у следећем виду:

$$T_t = b \cdot t + a$$

где су:

- $T_t$  – вредност тренда у тренутку  $t$
- $b$  – нагиб линије линеарног тренда
- $a$  – коефицијент (одсечак на ординати)

Статистичка значајност линеарног тренда оцењује се помоћу Kendall Stuart-овог теста. Критеријум за прихватање нулте хипотезе да је линеарни тренд статистички значајан, под претпоставком да је закон расподеле параметра  $b$  нормалан, на 95%-ном ниву поверења, гласи:

$$b \geq 1.96 \sqrt{\frac{12}{N^2}}$$

где је:

$N$  – укупан број чланова низа.

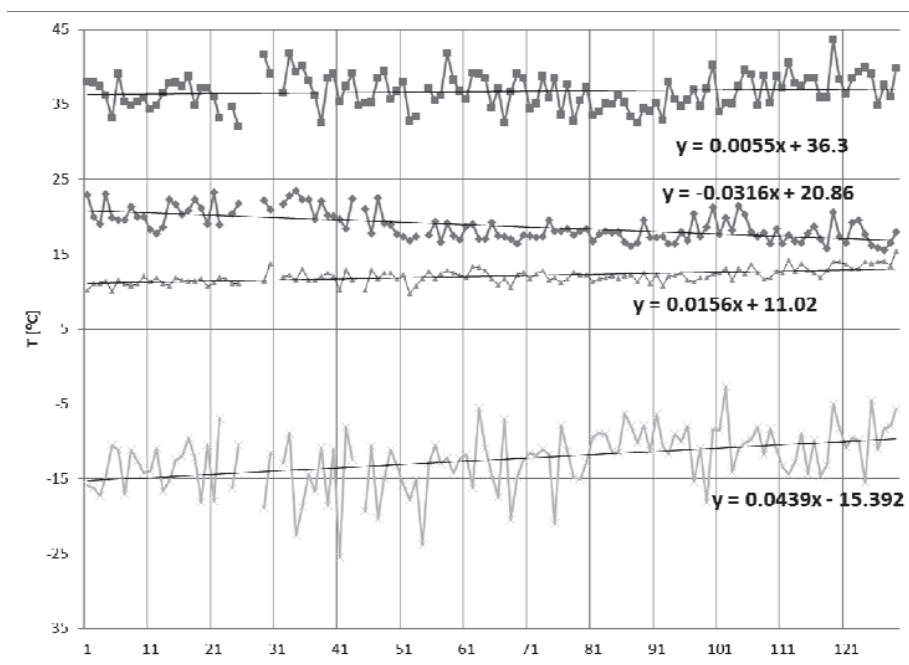
Ако је горе наведени критеријум задовољен, прихвата се нулта хипотеза да је дефинисани линеарни тренд статистички значајан, односно да у структури разматране временске серије постоји изражена детерминистичка компонента, која

може бити позитивног или негативног знака, и која може, између осталог, и бити последица климатских промена.

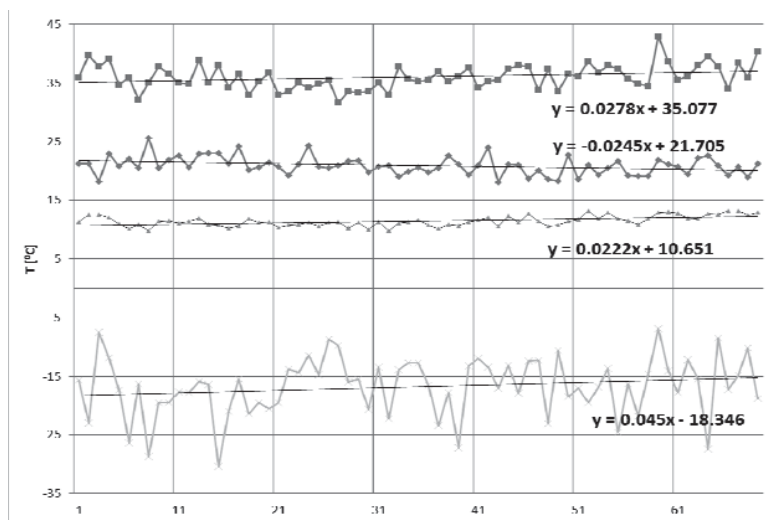
### РЕЗУЛТАТИ ПРОРАЧУНА ЛИНЕАРНОГ ТРЕНДА У РАЗМАТРАНИМ ВРЕМЕНСКИМ СЕРИЈАМА

Приказ резултата прорачуна линеарног тренда у свим наведеним карактеристичним серијама режима падавина и температура ваздуха за све ГМС, дат је на јединствен начин – нумерички у табеларном виду и графички у виду хистограма који показује хронологију разматране променљиве дуж целог вишегодишњег периода, као и дефинисан линеарни тренд.

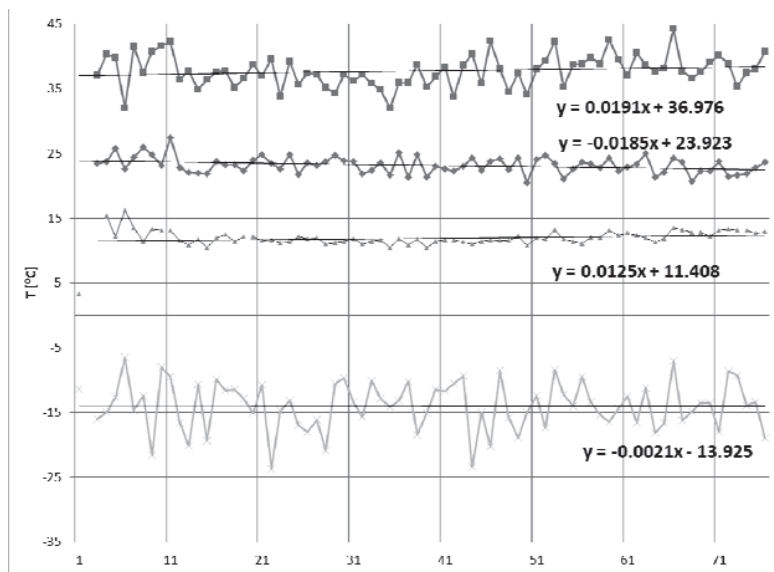
Резултати прорачуна линеарног тренда за изабране карактеристичне временске серије режима температуре ваздуха, апсолутно максималних и минималних, затим средње годишњих, као и максималних годишњих разлика између максималних и минималних дневних температура ваздуха, приказани су по главним метеоролошким станицама на истим цртежима на сликама бр. 1/1-3.



Слика 1/1. Приказ линеарних трендова у разматраним временским серијама режима температуре ваздуха на ГМС Београд-Врачар



Слика 1/2. Приказ линеарних трендова у разматраним временским серијама режима температуре ваздуха на ГМС Зрењанин



Слика 1/3. Приказ линеарних трендова у разматраним временским серијама режима температуре ваздуха на ГМС Ниш

Оцена статистичке значајности дефинисаних линеарних трендова у разматраним серијама режима температуре ваздуха, на свим разматраним метеоролошким станицама, а за различите дужине рачунских периода, дата је нумерички у табели број 1/1-4.

Табела 1/1. Оцена статистичке значајности линеарног тренда у серијама апсолутно максималних температура ваздуха на наведеним ГМС

ГМС	Период обраде	Једначина тренда	Знак	$b \geq ili \leq b_{\alpha=0.05}$	Значајност
Београд - Врачар	1888-2017	$T = 0.0055x + 36.3$	+	$b=0.0055 < 0.0522$	b
	1949-2017	$T = 0.0367x + 35.3$	+	$b=0.0367 < 0.0989$	b
Ниш	1941-2017	$T = 0.0191x + 37.0$	+	$b=0.0191 < 0.0882$	b
	1949-2017	$T = 0.0262x + 36.8$	+	$b=0.0262 < 0.0989$	b
Зрењанин	1949-2017	$T = 0.0278x + 35.1$	+	$b=0.0278 < 0.0989$	b

Табела 1/2. Оцена статистичке значајности линеарног тренда у серијама апсолутно минималних температура ваздуха на наведеним ГМС

ГМС	Период обраде	Једначина тренда	Знак	$b \geq ili \leq b_{\alpha=0.05}$	Значајност
Београд - Врачар	1888-2017	$T = 0.0439x - 15.4$	+	$b=0.0439 < 0.0522$	b
	1949-2017	$T = 0.0491x - 12.7$	+	$b=0.0491 < 0.0989$	b
Ниш	1941-2017	$T = -0.0021x - 13.9$	-	$b=-0.0021 < 0.0882$	b
	1949-2017	$T = 0.0078x - 14.4$	+	$b=0.0078 < 0.0989$	b
Зрењанин	1949-2017	$T = 0.0450x - 18.4$	+	$b=0.0450 < 0.0989$	b

Табела 1/3. Оцена статистичке значајности линеарног тренда у серијама средње годишњих температура ваздуха на наведеним ГМС

ГМС	Период обраде	Једначина тренда	Знак	$b \geq ili \leq b_{\alpha=0.05}$	Значајност
Београд - Врачар	1888-2017	$T = 0.0156x + 11.0$	+	$b=0.0156 < 0.0522$	b
	1949-2017	$T = 0.0277x + 11.4$	+	$b=0.0277 < 0.0989$	b
Ниш	1941-2017	$T = 0.0125x + 11.4$	+	$b=0.0125 < 0.0882$	b
	1949-2017	$T = 0.0153x + 11.3$	+	$b=0.0153 < 0.0989$	b
Зрењанин	1949-2017	$T = 0.0222x + 10.7$	+	$b=0.0222 < 0.0989$	b

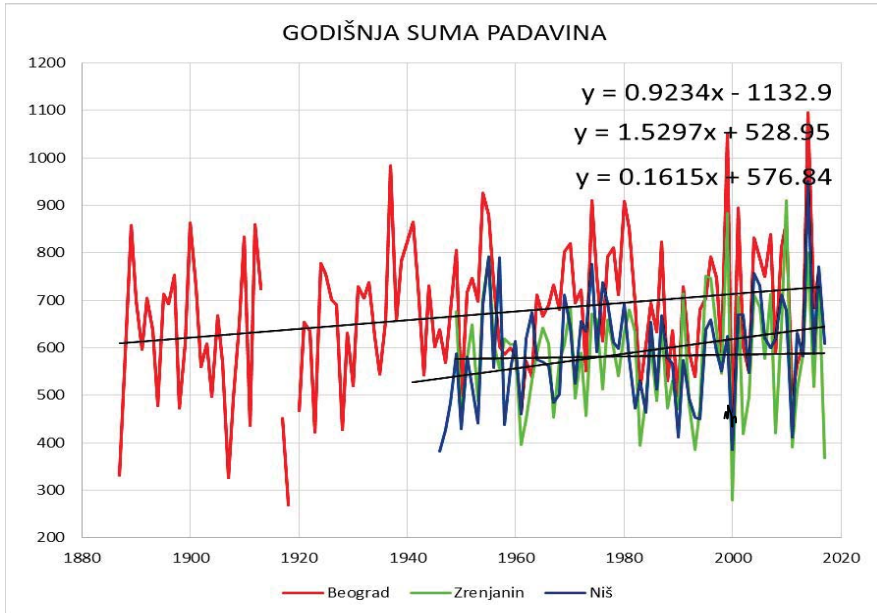
Табела 1/4. Оцена статистичке значајности линеарног тренда у серијама максималних годишњих разлика између максималне и минималне дневне температуре ваздуха на наведеним ГМС

ГМС	Период обраде	Једначина тренда	Знак	$b \geq  t  \leq b_{\alpha=0.05}$	Значајност
Београд - Врачар	1888-2017	$T = -0.0316x + 20.9$	-	$b=0.0316 < 0.0522$	b
	1949-2017	$T = -0.0041x + 17.9$	-	$b=0.0041 < 0.0989$	b
Ниш	1941-2017	$T = -0.0185x + 23.9$	-	$b=0.0185 < 0.0882$	b
	1949-2017	$T = -0.0174x + 23.7$	-	$b=0.0174 < 0.0989$	b
Зрењанин	1949-2017	$T = -0.0245x + 21.7$	-	$b=0.0245 < 0.0989$	b

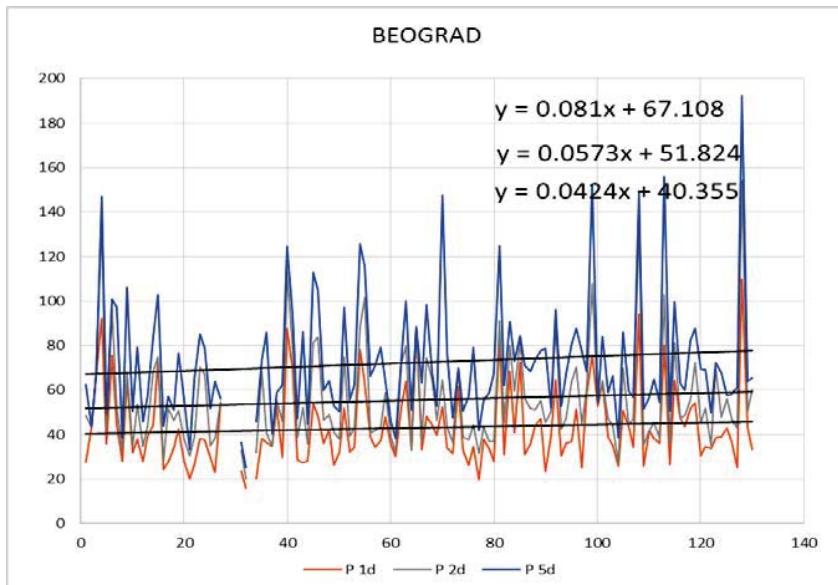
На основу резултата прорачуна линеарног тренда у свим разматраним вишегодишњим серијама режима температуре ваздуха на ГМС Београд-Врачар, Ниш и Зрењанин, а за све наведене рачунске периоде, је евидентно да су идентификовани трендови статистички безначајни. У свим разматраним серијама апсолутно максималних и средње годишњих температура ваздуха знакови линеарног тренда су позитивни. Слична ситуација је и код серија апсолутно минималних годишњих температура ваздуха где је једино код серије за ГМС Ниш за рачунски период 1941–2017. године знак тренда негативан. Међутим, код свих измерених серија максималних годишњих разлика између максималних и минималних дневних температура ваздуха идентификовани трендови су негативног знака.

Разлика између максималних и минималних дневних температура ваздуха се смањује првенствено због израженијег тренда пораста минималних у односу на максималне температуре што је последица урбанизације (више асфалта, повећање саобраћаја, изградња зграда) и стварања топлотног острва.

Резултати прорачуна линеарног тренда у одабраним карактеристичним временским серијама режима падавина приказани су на аналоган начин. На слици бр. 2 дати су хронолошки прикази вишегодишњих серија сума годишњих падавина, са приказом линеарних трендова на свим одабраним ГМС. Аналогни прикази за серије максималних дневних, дводневних и петодневних падавина дати су по ГМС на сликама бр. 3/1-3, а за бројеве дана са падавинама већим или једнаким 30 мм у години на слици бр. 4, док су резултати за максимални број дана без падавина у континуитету (максималне епизоде без падавина) и укупног броја дана без падавина у години, приказани су на сликама бр. 5/1-3.

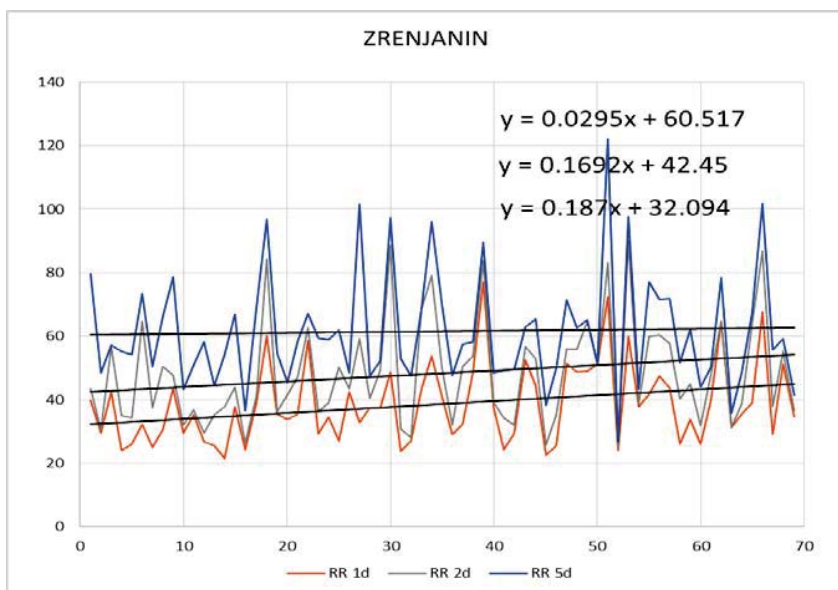


Слика 2. Приказ линеарних трендова у разматраним временским серијама сума годишњих падавина на ГМС

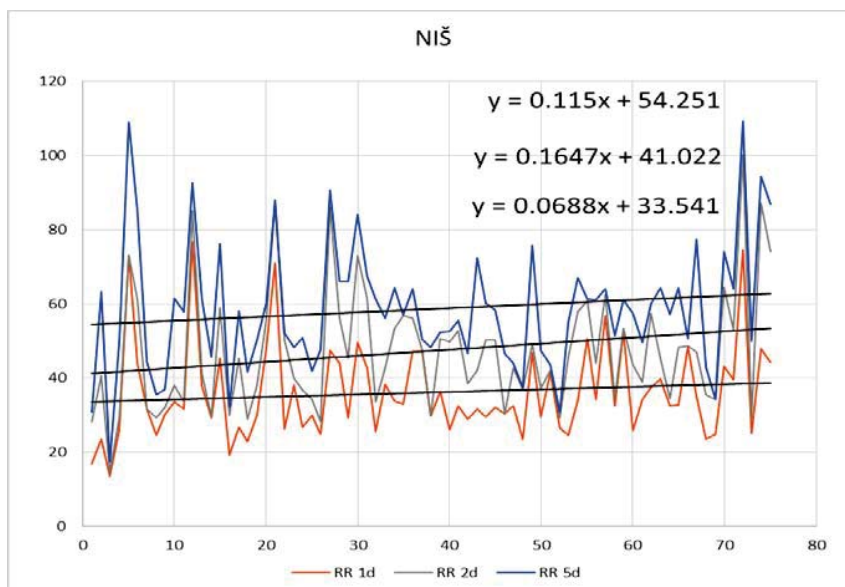


Слика 3/1. Приказ линеарних трендова у разматраним временским серијама максималних дневних, дводневних и петодневних сума падавина на ГМС Београд-Врачар

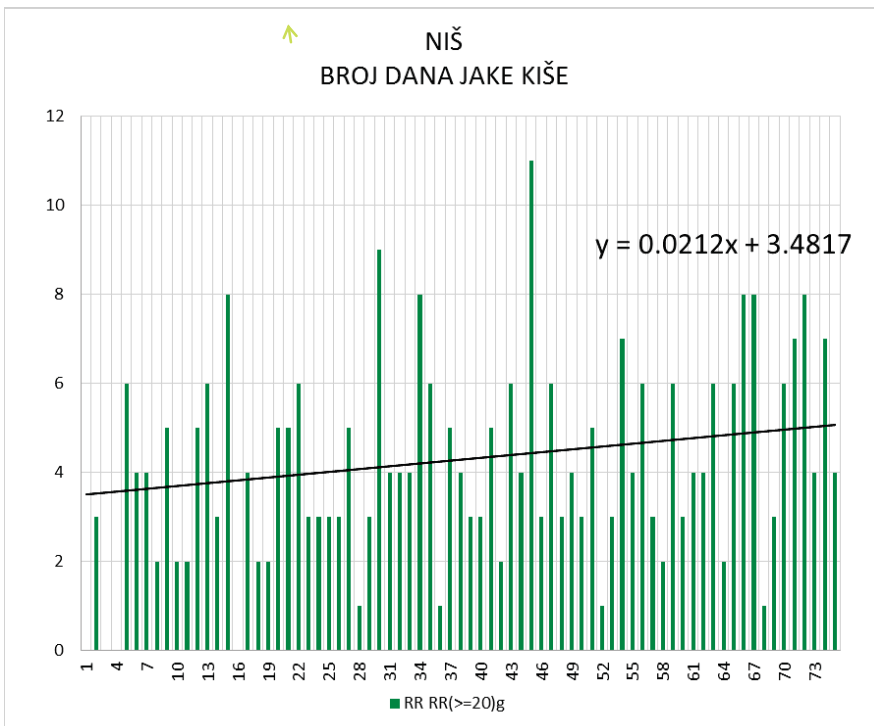
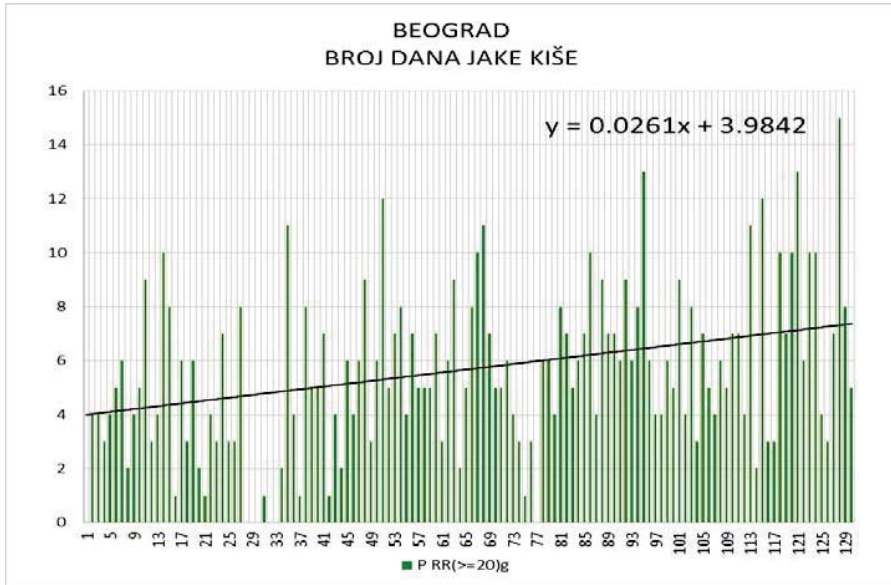


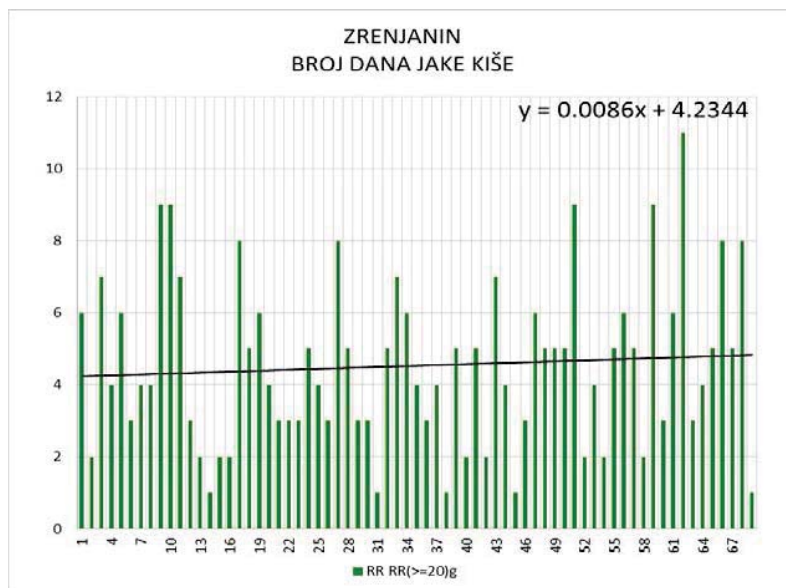


Слика 3/2. Приказ линеарних трендова у разматраним временским серијама максималних дневних, дводневних и петодневних сума падавина на ГМС Зрењанин

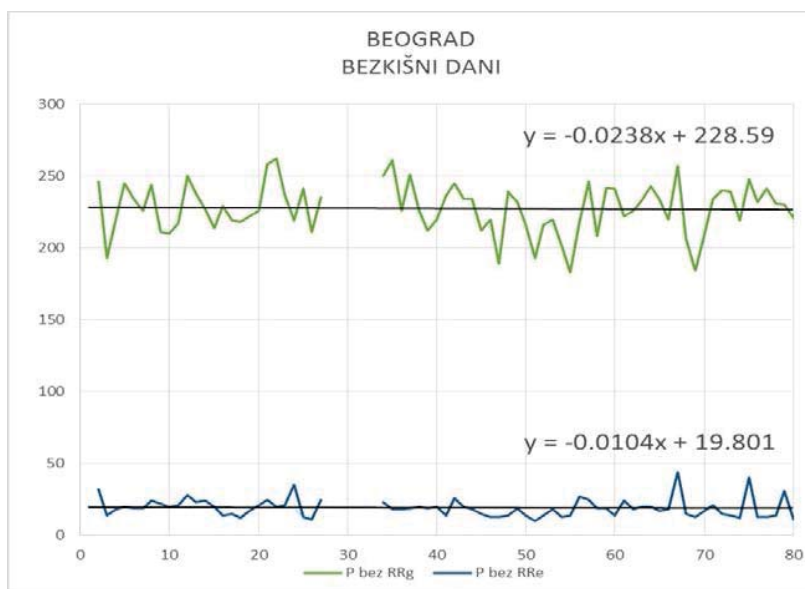


Слика 3/3. Приказ линеарних трендова у разматраним временским серијама максималних дневних, дводневних и петодневних сума падавина на ГМС Ниш

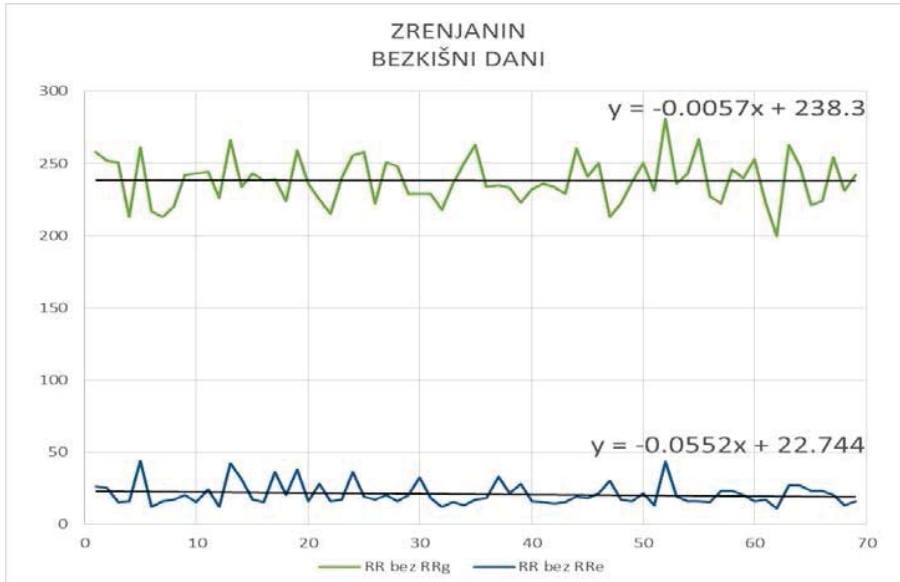




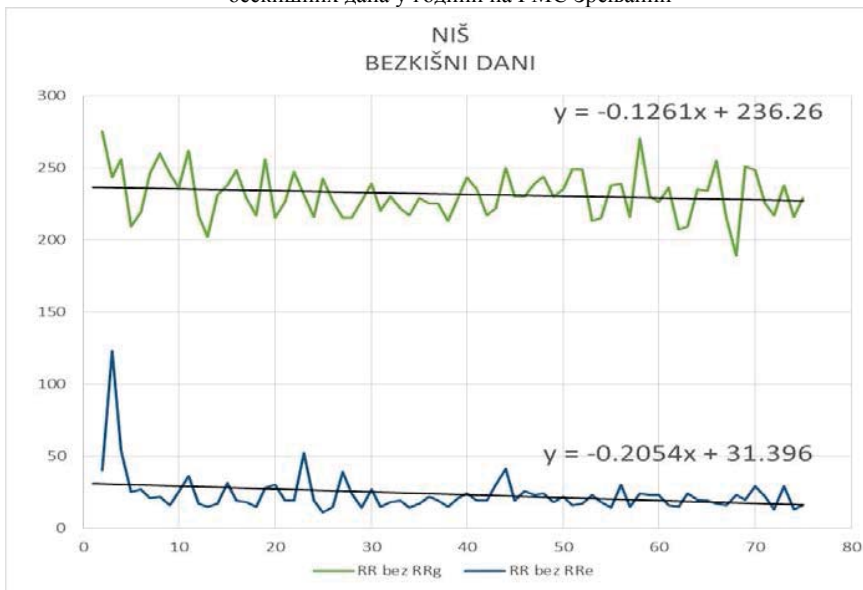
Слика 4. Приказ линеарних трендова у разматраним временским серијама број дана са падавинама већим или једнаким 30 мм у години на ГМС



Слика 5/1. Приказ линеарних трендова у разматраним временским серијама максимални број бескишних дана у континуитету (максималне епизоде без падавина) и укупног броја бескишних дана у години на ГМС Београд-Врачар



Слика 5/2. Приказ линеарних трендова у разматраним временским серијама максимални број бескишних дана у континуитету (максималне епизоде без падавина) и укупног броја бескишних дана у години на ГМС Зрењанин



Слика 5/3. Приказ линеарних трендова у разматраним временским серијама максимални број бескишних дана у континуитету (максималне епизоде без падавина) и укупног броја бескишних дана у години на ГМС Ниш

Аналогно претходном случају, оцена статистичке значајности дефинисаних линеарних трендова у разматраним карактеристичним серијама режима падавина, на свим разматраним метеоролошким станицама за различите дужине рачунских периода, дата је нумерички у табели број 2/1-5.

Табела 2/1. Оцена статистичке значајности линеарног тренда у разматраним временским серијама сума годишњих падавина на ГМС

ГМС	Период обраде	Једначина тренда	Знак	$b \geq ili \leq b_{\alpha=0.05}$	Значајност
Београд - Врачар	1888-2017	$P = 0.9234x + 608.6$	+	$b=0.9234 > 0.0522$	z
	1949-2017	$P = 0.5319x + 680.1$	+	$b=0.5319 > 0.0989$	z
Ниш	1941-2017	$P = 1.5297x + 528.9$	+	$b=1.5297 > 0.0882$	z
	1949-2017	$P = 0.887x + 567.47$	+	$b=0.8870 > 0.0989$	z
Зрењанин	1949-2017	$P = 0.1615x + 576.84$	+	$b=0.1615 > 0.0989$	z

Табела 2/2.1. Оцена статистичке значајности линеарног тренда у разматраним временским серијама максималних дневних сума падавина на ГМС

ГМС	Период обраде	Једначина тренда	Знак	$b \geq ili \leq b_{\alpha=0.05}$	Значајност
Београд - Врачар	1888-2017	$P = 0.0424x + 40.4$	+	$b=0.0424 < 0.0522$	b
	1949-2017	$P = 0.0232x + 44.1$	+	$b=0.0232 > 0.0989$	z
Ниш	1941-2017	$P = 0.0688x + 33.5$	+	$b=0.0688 > 0.0882$	z
	1949-2017	$P = 0.0559x + 34.5$	+	$b=0.0559 > 0.0989$	z
Зрењанин	1949-2017	$P = 0.1870x + 32.1$	+	$b=0.1870 > 0.0989$	z

Табела 2/2.2. Оцена статистичке значајности линеарног тренда у разматраним временским серијама максималних дводневних сума падавина на ГМС

ГМС	Период обраде	Једначина тренда	Знак	$b \geq ili \leq b_{\alpha=0.05}$	Значајност
Београд - Врачар	1888-2017	$P = 0.0573x + 51.8$	+	$b=0.0573 > 0.0522$	z
	1949-2017	$P = 0.1148x + 53.4$	+	$b=0.1148 > 0.0989$	z
Ниш	1941-2017	$P = 0.1647x + 41.0$	+	$b=0.1647 > 0.0882$	z
	1949-2017	$P = 0.1559x + 42.4$	+	$b=0.1559 > 0.0989$	z
Зрењанин	1949-2017	$P = 0.1692x + 42.4$	+	$b=0.1692 > 0.0989$	z

Табела 2/2.3. Оцена статистичке значајности линеарног тренда у разматраним временским серијама максималних петодневних сума падавина на ГМС

ГМС	Период обраде	Једначина тренда	Знак	$b \geq ili \leq b_{\alpha=0.05}$	Значајност
Београд - Врачар	1888-2017	$P = 0.0810x + 67.18$	+	$b=0.0810 > 0.0522$	z
	1949-2017	$P = 0.0542x + 73.46$	+	$b=0.0542 < 0.0989$	b
Ниш	1941-2017	$P = 0.1150x + 54.21$	+	$b=0.1150 > 0.0882$	z
	1949-2017	$P = 0.1450x + 53.5$	+	$b=0.1450 > 0.0989$	z
Зрењанин	1949-2017	$P = 0.0295x + 60.5$	+	$b=0.0295 < 0.0989$	b

Табела 2/3. Оцена статистичке значајности линеарног тренда у серијама број дана са падавинама већим или једнаким 20 мм у години на ГМС

ГМС	Период обраде	Једначина тренда	Знак	$b \geq ili \leq b_{\alpha=0.05}$	Значајност
Београд - Врачар	1888-2017	$y = 0.0261x + 3.9826$	+	$b=0.0261 < 0.0522$	b
	1949-2017	$y = 0.0307x + 5.4118$	+	$b=0.0307 < 0.0989$	b
Ниш	1941-2017	$y = 0.0212x + 3.4817$	+	$b=0.0212 < 0.0882$	b
	1949-2017	$y = 0.0242x + 3.4736$	+	$b=0.0242 < 0.0989$	b
Зрењанин	1949-2017	$y = 0.0086x + 4.2344$	+	$b=0.0086 < 0.0989$	b

Табела 2/4. Оцена статистичке значајности линеарног тренда у серијама максимални број дана без падавина у континуитету (максималне епизоде без падавина) на ГМС

ГМС	Период обраде	Једначина тренда	Знак	$b \geq ili \leq b_{\alpha=0.05}$	Значајност
Београд - Врачар	1888-2017	$Y = -0.0104x + 19.8$	-	$b=-0.0104 < 0.0522$	b
	1949-2017	$Y = -0.0103x + 19.413$	-	$b=-0.0103 < 0.0989$	b
Ниш	1941-2017	$Y = -0.2054x + 31.396$	-	$b=-0.2054 > 0.0882$	z
	1949-2017	$Y = -0.0440x + 22.829$	-	$b=-0.0440 < 0.0989$	b
Зрењанин	1949-2017	$Y = -0.0552x + 22.744$	-	$b=-0.0552 < 0.0989$	b

Табела 2/5. Оцена статистичке значајности линеарног тренда у серијама укупног броја дана без падавина у години на ГМС

ГМС	Период обраде	Једначина тренда	Знак	$b \geq ili \leq b_{\alpha=0.05}$	Значајност
Београд - Врачар	1888-2017	$Y = -0.0238x + 228.6$	-	$b = -0.0238 < 0.0522$	b
	1949-2017	$Y = -0.0151x + 227.3$	-	$b = -0.0151 < 0.0989$	b
Ниш	1941-2017	$Y = -0.1261x + 236.3$	-	$b = -0.1261 > 0.0882$	z
	1949-2017	$Y = -0.0894x + 233.9$	-	$b = -0.0894 < 0.0989$	b
Зрењанин	1949-2017	$Y = -0.0057x + 238.3$	-	$b = -0.0057 < 0.0989$	b

Резултати прорачуна вишегодишњег линеарног тренда у свим разматраним временским серијама режима годишњих сума падавина на ГМС Београд-Врачар, Ниш и Зрењанин, и за све наведене дужине рачунских периода, су показали да су трендови позитивног знака и статистички значајни. Слична ситуација је и код временских серија максималних дневних сума падавина, с тим што је у једном случају, код серије максималних дневних сума падавина за ГМС Београд-Врачар за најдужи постојећи рачунски период 1888–2017. године, идентификовани линеарни тренд у серији статистички безначајан. Аналогно серијама годишњих сума падавина и код серија максималних дводневних сума падавина је добијено да су у свим разматраним временским серијама на ГМС Београд-Врачар, Ниш и Зрењанин, и за све наведене дужине рачунских периода, трендови позитивног знака и статистички значајни. Ситуација код серија максималних петодневних сума падавина је нешто друкчија. У свим разматраним временским серијама на свим ГМС, и за све наведене дужине рачунских периода, трендови су позитивног знака. Код ГМС Ниш идентификовани трендови су статистички значајни за оба рачунска периода, док су код ГМС Београд-Врачар, у једном случају трендови статистички значајни за рачунски период 1888–2017. године, а у другом периоду статистички безначајни. За ГМС Зрењанин је добијено да је идентификовани линеарни тренд у серији петодневних сума падавина статистички безначајан.

У свим разматраним временским серијама укупног броја дана са падавинама већим од 30 мм у години на ГМС Београд-Врачар, Ниш и Зрењанин и за све наведене дужине рачунских периода, трендови су позитивног знака и статистички значајни. За разлику од њих код временских серија максималног броја дана без падавина у континуитету (максималне епизоде без падавина) и укупног броја дана без падавина у години на свим разматраним ГМС је добијено да су идентификовани линеарни трендови негативног знака. Са гледишта статистичке значајности тренда они су углавном статистички безначајни, са изузетком ГМС Ниш, где је за рачунски период 1941–2017. у оба случаја добијено да су идентификовани линеарни трендови статистички значајни.

## ЗАКЉУЧАК

Позитивни трендови температуре и падавина су природна варијација ових метеоролошких параметара. Нажалост, не постоје довољно дугачки низови података у инструменталном периоду којим би се то потврдило, мада најдужи низови 200–300 година са метеоролошких станица у Европи показују да су трендови мањи, а они су у корелацији са подацима из Србије. Што дужи низ података, то су трендови, било позитивни или негативни, мањи. То потврђују и реконструкције података, пре свега температуре. Утврђени позитивни трендови у овој анализи **нису доказ о климатским променама** јер ови параметри имају сталне природне варијације (пораст или пад) истог реда величине у последњих неколико хиљада година утврђене реконструкцијом. Човеков допринос је уочен на микро или мезоразмерном нивоу, пре свега у великим градовима као додатни ефект топлотних острва.

## ЛИТЕРАТУРА

- Вујовић Д, Тодоровић Н, 2008: *The Changes in Extreme Air Temperatures during the period 1887-2007 at Belgrade, Serbia*. Ovidius University Annals, Series: Civil Engineering (2008), 1, No. 10, 119-124, Constantza, Romania.
- Прохаска С, 2017: Хидрологија III Део, Стохастичка хидрологија, Институт за водопривреду „Јарослав Черни“, Републички хидрометеоролошки завод Србије.



## INTEGRALNO UPRAVLJANJE SLIVOVIMA VIŠENAMENSKIH AKUMULACIJA – UBLAŽAVANJE KONFLIKATA MEĐU KORISNICIMA KROZ MULTISEKTORSKI PRISTUP

Dragana Pejović, Marko Marjanović,  
Prvoslav Marjanović, Dušan Kostić, Lazar Ignjatović

*Institut za vodoprivredu "Jaroslav Černi", Jaroslava Černog 80, 11226 Beograd,  
Email: [dragana.spasic@jcerni.co.rs](mailto:dragana.spasic@jcerni.co.rs)*

### REZIME

Vrednost akvatičnih ekosistema je nezamenljiva, kao i njihova funkcija u različitim sektorima. Da bi se negativni uticaji antropogenih i drugih aktivnosti sveli na nivo koji je prihvatljiv sa aspekta očuvanja kvaliteta vode u akumulaciji i sposobnosti ekosistema da pružaju ekosistemske usluge i da bi se osiguralo efikasno upravljanje vodama, imperativ je uspostaviti blisku vezu sa prostornim planiranjem. Projekat CAMARO-D (Uticaj načina korišćenja zemljišta na vodni režim u slivu Dunava i dobra praksa upravljanja zemljištem) ima za cilj razvijanje sveobuhvatnih preporuka za implementaciju inovativnih mera koje obezbeđuju održivo upravljanje slivovima, uklađujući potrebe korisnika sa unapređenjem zaštite vodnih resursa od različitih negativnih uticaja.

KLJUČNE REČI: vodni resursi, integralno upravljanje, ekosistemske usluge, prostorno planiranje

## INTEGRATED MANAGEMENT OF MULTIPURPOSE WATER RESERVOIR CATCHMENTS – MITIGATION OF USER CONFLICTS THROUGH A MULTISECTORAL APPROACH

### ABSTRACT

The value of aquatic ecosystems is irreplaceable, as well as their role in different sectors. In order to mitigate negative impacts of anthropogenic and other activities to a level that is acceptable from the aspect of preserving the water quality in water reservoirs and

ecosystem capacity to provide ecosystem services, as well as to ensure efficient water management, there is an imperative to establish its close connection to spatial planning. The CAMARO-D project (Cooperating towards Advanced Management Routines for land use impacts on the water regime in the Danube river basin) aims to developing comprehensive recommendations for the implementation of innovative measures that will ensure sustainable catchment management, harmonizing the needs of users with the improvement of water resources protection.

**KEY WORDS:** water resources, integrated water management, ecosystem services, spatial planning

## UVOD

Vrednost akvatičnih ekosistema je nezamenljiva, kao i njihova funkcija u sektorima vodosnabdevanja, energetike, industrijske proizvodnje, poljoprivredi i ostalim sektorima koji su neophodni za smanjenje siromašnosti i socio-ekonomski razvoj jedne teritorije. Nažalost, ovi ekosistemi su izloženi velikim pritiscima koji umanjuju njihovu sposobnost da ispune brojne i rastuće ljudske zahteve.

Kako bi se negativni uticaji antropogenih i drugih aktivnosti sveli na nivo koji je prihvatljiv sa aspekta očuvanja kvaliteta vode u akumulaciji i sposobnosti ekosistema da pružaju ekosistemske usluge, upravljanje višenamenskim akumulacijama mora biti u skladu sa planskim i strateškim dokumentima koji se baziraju na načelima integralnosti, prevencije, očuvanja prirodnih vrednosti i održivog razvoja.

Upravljanje akvatičnim ekosistema je kompleksne prirode i uključuje učešće zainteresovanih strana koje se nalaze na različitim upravljačkim nivoima i koje zastupaju različite interese oblikovane političkim i institucionalnim kontekstom sektora koji zastupaju.

Trenutni proces planiranja je sektorski i neadaptibilan i upadljiv je nedostatak razmatranja međusobne povezanosti ekonomije, ekologije i prostornog planiranja. Kao rezultat toga, specifični zahtevi upravljanja vodama, koji su predviđeni planovima upravljanja vodama, nisu u potpunosti integrirani u strategije i razvojne planove definisane na opštinskom nivou.

Da bi se osiguralo efikasno upravljanje vodama, imperativ je uspostaviti blisku vezu sa prostornim planiranjem. Koncept teritorijalne kohezije na nivou celog sliva nudi mogućnosti za preplitanje prostornog planiranja i upravljanja vodama , što bi stimulisalo održivi razvoj i povećalo ekonomski prosperitet date teritorije , a istovremeno osiguralo i ostvarivanje ciljeva sektorske politike.

## CAMARO-D PROJEKAT – INOVATIVNI PRISTUP

Projekat CAMARO-D <sup>1</sup>(Uticaoj načina korišćenja zemljišta na vodni režim u slivu Dunava i dobra praksa upravljanja zemljištem) ima za cilj razvijanje sveobuhvatnih preporuka za implementaciju inovativnog transnacionalnog “Razvojnog plana korišćenja zemljišta” za dunavski sliv. Rad na projektu će obezbediti važne ulazne podatke za dalji razvoj EU Strategije za dunavski region (EUSDR) i drugih relevantnih EU politika.

Rešavanje problema koji se javljaju na dunavskom slivu, kao što su erozija, poplave, sleganje tla, površinski oticaj, zagađenje vode, pojava invazivnih biljnih vrsta, kao i umanjeње rizika izazvanih klimatskim promenama, takođe iziskuje transnacionalni međusektorski pristup upravljanja korišćenjem zemljišta.

Projekat razmatra održivu zaštitu vodnih resursa i unapređenje zaštite od poplava primenom inovativnog pristupa u upravljanju korišćenjem zemljišta i mera koje podstiču infiltraciju i zadržavanje vode u zemljištu, kao i ublaženje erozije i poplava.

Glavni ciljevi projekta su:

- Postavljanje okvira za usaglašen transnacionalni sistem upravljanja korišćenjem zemljišta, uzimajući u obzir zahteve zaštite vodnih resursa i zaštite od poplava.
- Usklađivanje i unapređenje zaštite vodnih resursa od negativnih uticaja različitog korišćenja zemljišta i klimatskih promena, kao i smanjenje rizika od poplava.
- Održivo upravljanje slivovima.
- Unapređen status ekosistemskih usluga.
- Podsticaj za dalji razvoj transnacionalnog upravljanja zemljištem.

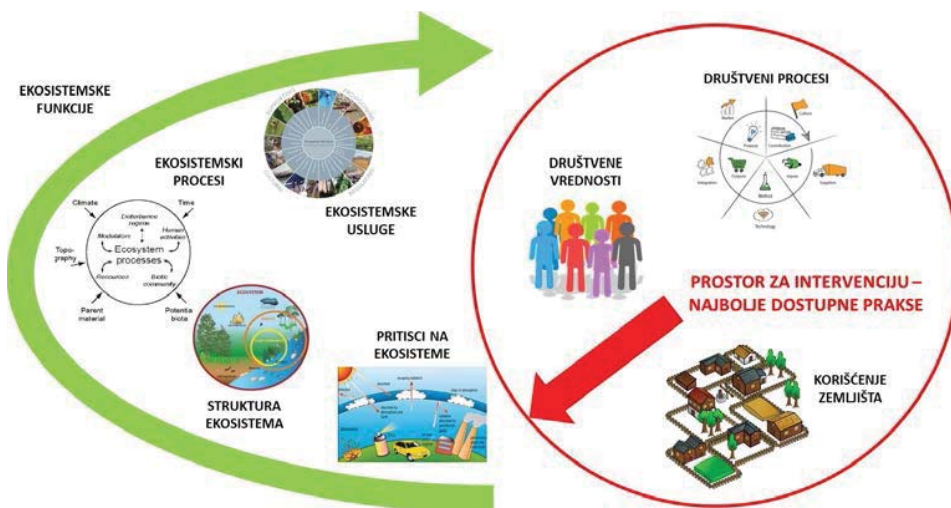
"Razvojni plan korišćenja zemljišta“ za dunavski sliv će postaviti okvirne uslove za uspostavljanje međunarodne saradnje i služiti kao osnova za adekvatnu koordinaciju i usklađivanje različitih aktivnosti za održivo upravljanje zemljištem u čitavom regionu. Operativna primena Plana će se već u toku projekta testirati u praksi na odabranim pilot područjima. Postojeći modeli upravljanja zemljištem će se proveriti i dalje razvijati u skladu sa potrebama izabranih pilot područja. Za donosiocje odluka, razviće se transnacionalni „Vodič za održivo upravljanje i planiranje korišćenja zemljišta“, koji će predstavljati praktičnu pomoć u procesu donošenja odluka i upravljanju zemljišnim i vodnim resursima. Vodič će obuhvatiti set najboljih praksi upravljanja zemljištem, koje će u obzir uzeti i neizvesne trendove klimatskih promena. Na osnovu Vodiča, za svako pilot područje će se odrediti specifične mere koje će doprineti rešavanju postojećih sukoba interesa i dati preporuke za njihovu optimalnu implementaciju.

---

<sup>1</sup> Projekat CAMARO – D (Cooperating towards Advanced Management routines for land use impacts on the water regime in the Danube river basin) se finansira u okviru Dunavskog transnacionalnog programa. Okuplja 14 partnera i 9 strateških partnera iz 9 zemalja (Austrija, Bugarska, Mađarska, Nemačka, Rumunija, Slovenija, Srbija, Hrvatska, Češka).

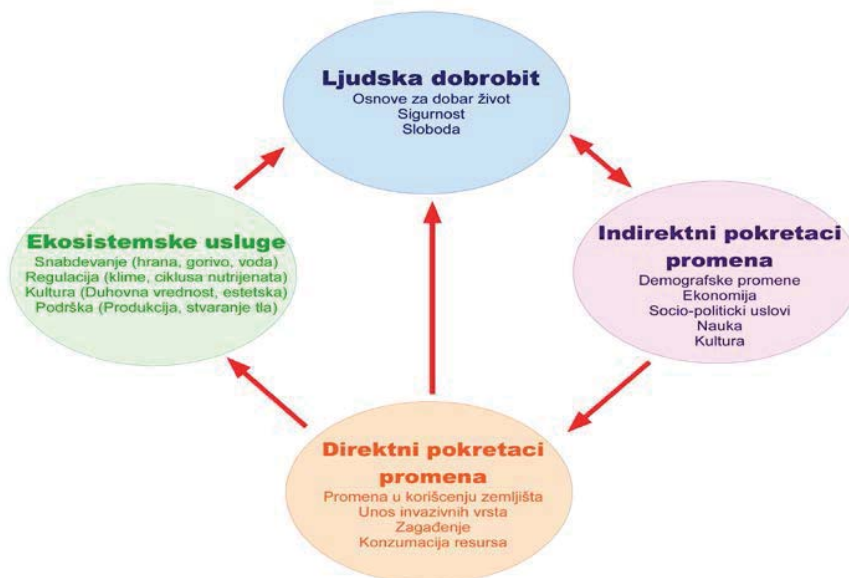
## MEĐUZAVISNOST DRUŠTVENIH I PRIRODNIH ČINILACA

Razvoj vodnih resursa i regulacija hidrografskih uslova sa ciljem zadovoljavanja ljudskih potreba, promena namene korišćenja zemljišta, urbanizacija i intenziviranje poljoprovrednih aktivnosti, dovelo je do značajnih uticaja na prirodne ekosisteme i zamene prirodnih funkcionalnosti sistema, sistemima koji se nalaze pod strogom kontrolom ljudi. Drugim rečima, ova rešenja koja nisu uzela u razmatranje sve aspekte funkcionisanja ekosistema i njihovu međuzavisnost, su postala direktni pokretači degradacije tih istih ekosistema.



Slika 1. Međuzavisnost društvenih vrednosti i procesa i prirodnih ekosistema i njihovih funkcija  
Figure 1. Interdependence of social values and processes and ecosystems and their functions

Društvene vrednosti i procesi koji utiču na korišćenje zemljišta, a zajedno, ova tri faktora, vrše specifične pritiske na prirodne ekosisteme. Kroz njihov uticaj se menja struktura ekosistema, a samim tim i procesi koji se odigravaju unutar tih ekosistema. Rezultat ovoga je promena u sposobnosti ekosistema da nam pruže pojedine ekosistemске usluge.



Slika 2. Međuzavisnost ekosistemskih servisa, ljudske dobrobiti, smanjenja siromaštva i direktnih i indirektnih pokretača promena i pritisaka na životnu sredinu

Figure 2. Interdependence of ecosystem services, human well-being, poverty reduction and direct and indirect drivers of changes and pressures on the environment

Demografske promene, ekonomija, sociopolitički faktori, nauka i tehnološki razvoj, kultura i religija čine indirektno pokretače promena koji dovode do direktnih pokretača promena, poput promene namene korišćenja zemljišta ili unosa invazivnih vrsta u ekosisteme. Kako bi se postigao cilj integralnog upravljanja slivovima višenamenskih akumulacija i ublažavanja konflikata među korisnicima kroz multisektorski pristup, neophodno je shvatiti direktnu i indirektnu povezanost dobrobiti ljudi, smanjenja siromaštva, ekosistemskih usluga i direktnih i indirektnih pokretača promena i pritisaka na životnu sredinu.

## ZAKLJUČAK

Ekosistemski pristup je strategija za integralno upravljanje zemljištem, vodom i prirodnim kapitalom, koji promoviše održivo korišćenje resursa na pravičan način. Kontekst i posledice koevoluiraju, zbog čega je potrebno primeniti adaptibilan ekosistemski pristup ekološkom planiranju. To će omogućiti da se bavimo teškim pitanjima održivog razvoja, koja se razmatraju u regionalnom i urbanističkom planiranju, na novi i alternativno realniji način.

Značaj prostornog planiranja i njegove veze sa ciljevima zaštite vodnih resursa je evidentan i njemu se mora posvetiti dodatna pažnja kako bi se omogućilo uspostavljanje funkcionalne

veze između željenih ciljeva zaštite vodnih resursa i mera zaštite koje se prostornim planovima nalaze na raspolaganju.

Bolja kooperacija i komunikacija između institucija u oblasti upravljanja vodama i institucija u oblasti prostornog planiranja mora biti postignuta. Neophodno je da prostorni planovi integralno sagledaju određenu oblast što bi omogućilo zaštitu vodnih resursa u skladu sa razvojnim interesima date oblasti.

Ekosistemski pristup može predstavljati promenu paradigme koja će se ogledati u načinu na koji vrednujemo i upravljamo prirodnom sredinom i ukoliko se realizuje uspešno, ekosistemski pristup će promeniti način donošenja odluka.

#### LITERATURA:

<http://www.interreg-danube.eu/approved-projects/camaro-d>

Convention on Biological Diversity, COP 7 Decision VII/11

Vasishth, A (2008), A scale-hierarchical ecosystem approach to integrative ecological planning, *Progress in Planning* 70:90-132

Head of Ecosystem Approach, Natural England (2010)

Millennium Ecosystem Assessment, *Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis* (2005)

## EKOLOŠKI ZAHTEVI U REGIONALNOJ SNABDEVENOSTI PITKOM VODOM I ZDRAVOM HRANOM ZA LJUDE

Rade Biočanin\*, Sonja Ketin\*\*

\* *Univerzitet Privredna akademija u Novom Sadu, Novi Sad, Srbija*

\*\* *Fakultet tehničkih nauka Univerziteta u Novom Sadu, Novi Sad, Srbija*

### REZIME:

Konflikti i tenzije oko korišćenja prirodnih resursa su sve učestaliji širom sveta, a potiču uglavnom kao posledica sve izraženijih nestašica i povećanih zahteva za vodom i hranom. Saglasno tome, ovi resursi postaju predmet eko-bezbednosnih analiza krajem XX veka pa do danas. Korišćenje pitke vode i zdrave hrane često stvara političke konflikte među državama, koje dele istu reku ili jezero. U ovom radu pitanje vode i hrane se sagledava kroz "prizmu" eko-bezbednosti i održivog razvoja. Najpre se opisuje stanje rezervi pitke vode i zdrave hrane u lokalnim, nacionalnim, regionalnim i globalnim razmerama i identifikuju glavni korisnici ovih resursa – vinovnici njene nestašice u mnogim delovima sveta. U središnjem delu rada se obrazlaže svojstvo vode i hrane da može da podstakne konflikte različitog intenziteta, kako između država tako i na regionalnom planu. Najzad, objašnjeni su i različiti modaliteti za prevazilaženje vodnog i hranidbenog stresa, s težištem na racionalnom korišćenju prirodnih resursa. Ovaj rad se zasniva na interdisciplinarnom pregledu literaturnih izvora i sopstvenih istraživanja, kako bi se doprinelo razrešavanje eko-sukoba zainteresovanih strana na svim nivoima.

KLJUČNE REČI: pitka voda, zdrava hrana, zagađenje, međudržavni konflikti, eko-bezbednost, održivi razvoj

## ENVIRONMENTAL REQUIREMENTS IN REGIONAL SUPPLY OF DRINKING WATER AND A HEALTHY FOOD FOR PEOPLE

### ABSTRACT:

Conflicts and tensions over the use of natural resources are increasingly common around the world, and arise mainly as a result of more prominent shortages and increased demand for food and water. Accordingly, these resources become the subject of eco-security analysis at the end of the twentieth century until today. Using drinking water and healthy food often creates political conflicts between countries sharing the same river or lake. In this paper, the issue of water and food can be viewed through "the prism of" eco-security and sustainable development. First, identify a reserve of drinking water and healthy food in local, national, regional and global scale to identify the main users of these resources - its

perpetrators shortages in many parts of the world. In the central part of the paper explains the status of water and food that may encourage conflicts of varying intensity, both between countries and at the regional level. Finally, are explained and različiti modalities for overcoming water stress and food, with a focus on the rational use of natural resurs. This work is based on interdisciplinary review of the literature sources and our own research, in order to contribute to the resolution of eco-conflict stakeholders at all levels.

KEY WORDS: drinking water, healthy food, pollution, interstate conflicts, ecological security, sustainable development

## UVOD

Prirodni kapital se definiše kao ukupna količina prirodnih resursa: obradivo zemljište, pašnjaci, površine pod šumama, zaštićena područja, biodiverzitet i neobnovljivi resursi (nafta, prirodni gas, uglj, rude). Raspoloživost, kvalitet i struktura prirodnih resursa uslovljavaju održivi razvoj jedne države.

Prirodni resursi su opšte dobro i zajedničko bogatstvo. Njihovo korišćenje, privredna primena i ekonomska valorizacija treba da budu planski usmereni i namenski kontrolisani. Bez obzira na vrstu, strukturu i pojedinačne količine, oni su osnov za predstojeći privredni i ekonomski razvoj. Svakako, postoji deo koji mora ostati izvan ekonomskih i privrednih tokova i koji treba da bude sačuvan za sadašnje i buduće generacije. To posebno važi za neobnovljive prirodne resurse. Generalni pristup prirodnim resursima mora da obuhvati definisanje politike i strategije njihovog održivog korišćenja, kao i definisanje zakonodavno-pravnog okvira za njihovo efikasno sprovođenje.

Čovek može koristiti prirodne resurse kao potencijale za razvoj. Prirodni resursi čoveku koriste za stanovanje, ishranu, proizvodnju energije i eksploataciju. Šteta koju čoveku nanose prirodni resursi se ispoljava u vidu bolesti, prirodnih nepogoda ili ugrožavanja životne sredine. Osnovni prirodni resursi su: zemljište (poljoprivredno, građevinsko i šumsko), stene, minerali, fosilna goriva, voda, klima (sunce, vetar, plima i oseka), flora i fauna

Prirodni resursi se mogu podeliti na više načina na: ograničene i neograničene, obnovljive i neobnovljive, biotičke i abiotičke. Ovi resursi su ekonomska interpretacija prirodnog potencijala u smislu nemilosrednog i nekontrolisanog iskorištavanja prirode,

Ovaj rad je nastao kao rezultat napora da se problematika upravljanja vodama približi svima koji vodu koriste, koji vodu zagađuju ili kojima voda čini određene probleme. Kako svaki čovek pripada jednoj od tri prethodno navedene grupe, naša želja bila je da rad bude informativan i razumljiv najširoj mogućoj publici. Rad tako može koristiti studentima, profesorima i stručnjacima, koji se bave upravljanjem vodama, kao i menadžerima koji rade u javnim institucijama, kako u sektoru voda tako i drugim sektorima koji su povezani sa korištenjem ili zagađenjem voda. Radom se mogu koristiti i profesionalci i aktivisti u nevladinim organizacijama koje rade na problematici zaštite voda i okoline, kao i profesionalci u kompanijama koje koriste i/ili zagađuju vodne resurse.

Imajući u vidu kompleksnost i multidisciplinarnost problematike upravljanja vodama, odnosno vodnim resursima, u ovom radu prikazani su samo neki značajniji aspekti koji se odnose na ovo pitanje..



Tabela 1. Raspoložive količine vode u biosferi

Komponenta biosfere	Zapremina (1.000 km <sup>3</sup> )	% od ukupne količine	Vreme zadržavanja
Okeani	1.370.000	97,61	3.100 god
Polarni led, glečeri	29.000	2,08	16.000 god
Podzemna voda	4.000	0,29	300 god
Slatkovodna jezera	125	0,009	1-100 god
Slana jezera	104	0,008	10-1.000 god
Vlaga u tlu	67	0,005	280 dana
Reke	1,2	0,00009	12-20 dana
Atmosferska vlaga	13	0,0009	9 dana

## PRIRODNI RESURSI U SVETU I REGIONU

Prirodni resursi su svuda oko nas, a zbog rastućih potreba mi ih vrlo brzo iskorištavamo. Mnogi se iscrpljuju brže nego što mogu biti nadomešteni novim. Moramo obratiti pažnju na činjenicu da će se neki od njih u potpunosti iscrpiti ukoliko ne smanjimo potrošnju, što je ozbiljan problem, jer živi svet zavisi od ovih resursa.

Prirodni resursi obuhvataju dve velike grupe:

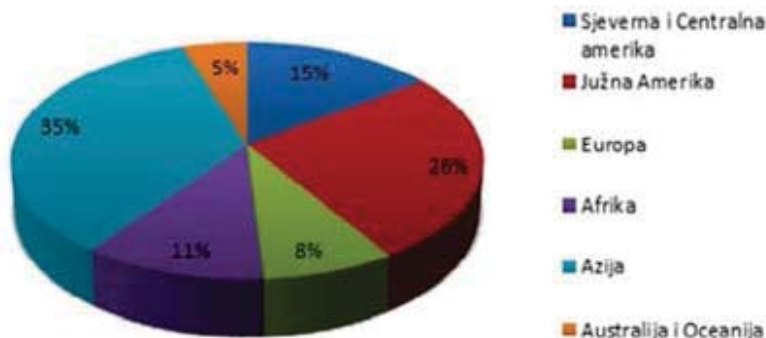
- I - osnovni prirodni resursi koji su neophodni za opstanak i razvoj života na planeti, a to su biološki sistemi Zemlje, zemljište, podzemne i površinske vode, atmosfera i okeani;
- II - resursi koji se koriste za razvoj i napredak ljudske kulture i civilizacije, odnosno za obezbeđivanje prosperiteta ljudskog društva. Eksploatišu se i prerađuju u proizvodnim procesima, pri čemu se koriste materijali biološkog porekla: drvo, metali i nemetali i prirodni energetske resursi.

U sagledavanju i izdvajanju prirodnih resursa zapaža se klasifikovanje različitih grupa, vrsta i pojedinačnih tipova resursa. U generalnoj analizi i načelnom prikazu prirodnih resursa Srbije obuhvatićemo najširu lepezu resursa, koja neće biti opterećena striktnim praćenjem prikazanih klasifikacija: zemljište kao resurs, vodni resursi, šumski resursi, mineralni resursi, obnovljivi izvori energije, tehnogene sirovine kao resurs, sekundarne sirovine kao resurs, vazdušni resursi, biljni resursi, životinjski svet, lov i ribolov, stočarski resursi, voćarstvo, nacionalni parkovi, pećine, lagumi i podzemni svet i održivo korišćenje prirodnih resursa.

Neiskorišteni resursi zemlje u svetu, na osnovi savremene tehnike i agronomije bit će privedeni eksploataciji, a postoje mnogi izvori hrane i vode, koji u visokom nivou mogu nahraniti/napojiti današnju znatno brojniju svetsku populaciju u budućnosti. Naučni napredak hemije, biologije, ekologije, agronomije i dr. sigurno će omogućiti nastanak novih izvora hrane i vode, o kojima danas i ne razmišljamo mnogo. Budućnost nosi prosperitet, ali i neke negativne tendencije (zagađivanje okoline) povezane i sa proizvodnjom hrane i vode. To postaje prioritarnim zadatkom, da

Aktuelni ekonomski, društveni i politički ambijent zahteva od menadžmenta da unese humanu dimenziju u u upravljanju prirodnim resursima, posebno kada je voda u pitanju. Za dugoročni uspeh u poslovanju od presudne nje važnosti primena novih koncepata poslovanja, koji se temelje na ekonomskoj, etičkoj i inovacijskoj strukturi. Stoga, održavanje konstantnog fokusa na poslovnu etiku pomaže korporaciji/preduzeću/ustanovi

da izade u susret svojim odgovornostima. Centralno pitanje poslovne etike predstavlja koncept društveno-odgovornog poslovanja, što predstavlja jedan od značajnijih izazova savremenog menadžmenta.



Slika 1. Raspored količina vode u svetu

Eksperti naglašavaju da je glavni deo problema zagađenje podzemnih voda, što je direktno povezano sa drugim zagađivačima, bilo da je reč o otpadu sa deponija ili pesticida i drugim materijama kojima se zagađuje zemljište.

U državama Zapadnog Balkana ima malo uređenih otpadnih deponija. Neodgovornost s jedne i zbrkani prioriteti gde se ta problematika stavlja u drugi plan dovode do toga da se zalihe pitke vode trajno uništavaju jer se podzemne vode mogu zaštititi od površinskih zagađivača izgradnjom deponija sa kontrolisanim odvodom vode, što je mnogo više od estetike i mnogo bliže razumu.

Sve je veća opasnost od posledica koje su čini se neizbežne. Stručnjaci celog sveta jedinstveni su u poruci da postoji nešto što možemo učiniti kao pojedinci. A to je da vodu štitimo i štedimo, svakodnevno u svakoj prilici u kojoj se nadjemo. To treba da bude sastavni deo vaspitanja dece, jer će oni biti ti koji će osetiti posledice zapostavljanja tog velikog, globalnog problema.

Generalno postoji tendencija smanjenja vode kao resursa tokom vremena, zbog sve oštrijih ekoloških, urbanih i socijalnih ograničenja. Nesporazumi na planu procene vodenog bogatstva potiču iz nepoznavanja činjenice da "prisutna voda ≠ vodeni resurs". Vode kao resursa količinski ima znatno manje od prisutne vode na nekom području.



Slika 2. Relativno mali procenat korišćenja pitke vode u praksi

Milenijumska procena ekosistema urađena u 2005. godini usluge vodenih ekosistema deli na:

- usluge davanja: hrana, pitka voda; ☒
- usluge reguliranja: reguliranje klime, reguliranje poplava;
- usluge podrške: stvaranje zemljišta, recikliranje nutrijenata;
- kulturološke usluge: spiritualnost, estetika, obrazovanje, rekreacija.

Dve najvažnije usluge koje čoveku pružaju vodeni ekosistemi i koje su od značaja za blagostanje su usluge davanja pitke vode i hrane. Osnovni izvor obnovljive pitke vode za ljudsku upotrebu dolazi iz kopnenih vodenih ekosistema uključujući jezera, reke, močvare i podzemne akvifere. Procenjuje se da oko 1,5-3 milijarde ljudi zavisi od podzemne vode kao izvora za piće. Kako bi se povećala raspoloživost pitke vode, grade se brane za koje se procenjuje da značaj vode za okolinu i čoveka 32 trenutno akumuliraju 6.000-7.000 km<sup>3</sup> vode.

## ZAGAĐIVANJE VODE

Prema poreklu vode mogu da se podele na: površinske, podzemne i atmosferske.

Površinske vode su reke, jezera, mora, potoci, bare, okeani. To je voda prirodnim putem stvarana i održavana. Površinske vode se obnavljaju padavinama ili iz izvora podzemnih voda.

Podzemne vode su izvorišta koja se nalaze ispod površine zemlje i koje se povremeno dopunjavaju atmosferskim padinama i površinskim vodama koje prodiru u vodonosne slojeve. Ove su vode prorodno čiste i koriste se kao voda za piće.

Atmosferske vode su u obliku padavina : rose, snega, grada i kao takve dospevaju na zemlji.

Najveću ulogu u zagađivanju vode ima čovek sa svoji aktivnostima što spada u veštačko zagađivanje. Iako voda prekriva  $\frac{3}{4}$  zemljine površine, problem vode postaje sve veći i opšti-međunarodni. Veštačke zagađivače možemo podeliti u dve osnovne grupe:

- a) koncentrisane zagađivače (izvori zagađenja),
- b) rasute izvore zagađivanja.

Koncentrisani zagađivači vode su obično razni objekti u kojima se obavlja neka delatnost i ljudska naselja. Ona su obično locirana na obalama reka jezera ili mora. Njih je lako uočiti i evidentirati. Najčešće su to:

- I- urbana naselja;
- II- industrijski objekti: hemijski bazne i prerađivačke, metalne i metalopreradaivačke, za preradu ruda, prehrambene industrije, celuloze i papira, tekstilne industrije, proizvodnje građevinskog materijala, proizvodnja deterdženta;
- III- energetski objekti: termoelektrane, toplane, nuklearne elektrane, prerada nafte, prerada uglja;
- IV- hidroenergetski objekti;
- V- poljoprivredni objekti za tov stoke;
- VI- deponije – smetlišta.

U rasute izvore zagađivanja spadaju: hemizacija tla (pesticidi i azotna đubriva), deponije industrijskog otpada, deponije komunalnog smeća, transport i transportna sredstva, lokacije za eksploataciju šljunka i peska.

Otpadne vode su najčešće bezvredne materije koje su u obliku tečnih, suspendovanih i koloidnih rastvora odstranjenih iz naselja i industrijskih objekata. Možemo ih podeliti u tri osnovne grupe:

- 1) otpadne vode iz ljudskih naselja koje potiču od ljudi i životinja;
- 2) industrijske otpadne vode;
- 3) atmosfere vode-dobijene spranjem zemljišta.

U ciklusima tehnološke proizvodnje energije u toplanama, termoelektranama, rafinerijama nafte, pri havarijama prilikom transporta, putem otpadnih voda ili direktnim izlivanjem sadržaja, u vode stižu mnogobrojne zagađujuće materije koje su na različite načine štetne za sredinu u koju dospevaju. iz termoeenergetskih objekata u vode stižu nekoliko vrsta otpadnih voda:

- agresivne vode sa sadržajem sumpora, jakih kiselina, baze, deterdženti,
- otpadne vode za sadržajem masti i ulja,
- voda sa sadržajem šljake i pepela,
- otpadne vode sa rashladnim tornjevima sa velikim sadržajem soli, mulja I fosfora,
- sanitarne vode sa velikim sadržajem fenola.



Slika 3. Kruženje vode u prirodi

Kao veoma opasni, uz to potvrđeni kao izaivači kancerogenih oboljenja ukoliko u kružnom toku stignu u vodu za piće, računaju se policiklični ugljovodonici u čiju grupu spadaju i mazivna ulja. Samo 1l ulja može da zagađi 1 milion litara vode. Pri proizvodnji koksa nastaju mnogobrojni zagađivači. Njihov sastav u otpadnim vodama je različit i zavisi od:

- vrste uglja,
- tehnološkog postupka koksovanja,
- sadržaja drugih elemenata u uglju.

U tehnološkom postupku stvaraju se razne zagađujuće materije prilikom:

- hlađenja gasova,
- prečišćavanja gasova,
- gašenja i hlađenja usijanog koksa.

Tabela 2. Klase kvaliteta vode prema indeksu saprobnosti

Stepen saprobnosti vode	Indeks saprobnosti	Klasa kvaliteta vode	Stepen zagađenja vode
oligosaprobna	1,00-1,50	I	Nezagađena do vrlo malo zagađena
Oligo-do betamezosaprobna	1,51-1,80	I-II	Malo zagađena
betamezosaprobna	1,81-2,30	II	Umereno zagađena
Beta-do alfamezosaprobna	2,31-2,70	II-III	Srednje zagađena
alfamezosaprobna	2,71-3,20	III	Srednje zagađena do zagađena
Alfa-do polisaprobna	3,21-3,50	III-IV	zagađena
polisaprobna	3,51-4,00	IV	Veoma zagađena

Pri hlađenju gasova izdvaja se voda i veliki broj tečnih i čvrstih materija i sedimenata, koji odlaze u reke. Prečišćavanje gasova vrši se apsorpcijom. Tom prilikom stvaraju se mnogi hemijski agensi. Posle procesa koksovanja, usijani koks se gasi i hladi polivanjem vodom. U nastaloj pari gasova i vode ima mnogih štetnih elemenata a prilikom hlađenja pare i gasova stvaraju se nove količine zagađenih voda. U njima ima: organskih i neorganskih jedinjenja prašine i uglja. Termička zagađena voda nastaje na dva načina: ili iz otpadnih voda i iz tehnološkog postupka hlađenja uređaja proizvoda ili nusprodukta. Često zagađenje vode, izmene temperature rečnih tokova do granica nepovoljnih za život. Izmena temperature u vodi za posledicu ima:

- ugrožavanje života akvatičnog sveta,
- utiče na promenu hemijskog sastava vode.

Najveći izvori toplotnog zagađenja su termoelektrane i nuklearne elektrane. Osim termičkog zagađenja iz tornjeva termoelektrana, emituju se vidljivi oblak vlage zasićenog vazduha. On može da ima razne nepoželjne posledice, jer jedan deo neisparive vode u vidu sitnih kapljica koje sadrže sve organske i neorganske nečistoće koje ima rečna voda, rasprsuju se u okolinu tornja i ugrožavaju je.



Slika 4. Veliki udeo otpadnih voda sa obradivih površina zemljista

Mnoge industrijske organizacije kao i naselje, svoje deponije otpadnog materijala lociraju na obalama reka. Na ovim smetlištima stvaraju se nova nepredviđena i neispitana jedinjenja koja daju svoj doprinos zagađenju reka priobalnih voda. Nije redak slučaj da se smeće izlučuje direktno u reku. Ispod otpadnog materijala stvara se gust tamni filtrat najčešće otrovnog sastava od izbačenog otpada, te kao tečan prodire u dubine zagađujući podzemna izvorišta vode za piće koje su zakonom spojenih sudova povezani sa rekam pa se na taj način vrši dvostruko zagađenje.

#### EKOLOŠKE MERE ZAŠTITE VODA

Sledeće aktivnosti predstavljaju upravljanje vodama:

- 1) uređivanje i zaštita od štetnog djelovanja voda,
- 2) korišćenje voda,
- 3) zaštita voda i mora od onečišćenja i zagađenja.

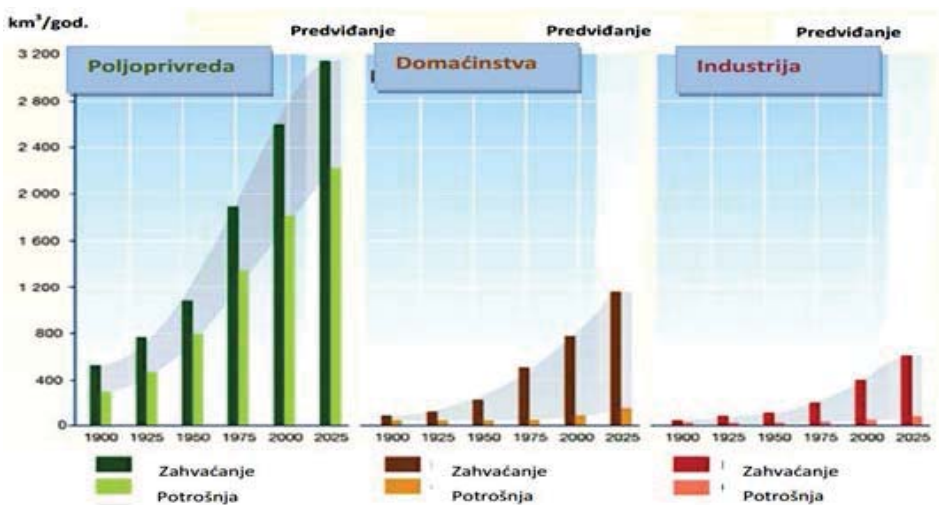
Osnovna načela upravljanja vodnim resursima:

- voda je nezamenljiv uslov života i rada, a obaveza je svih ljudi da čuvaju njen kvalitet, štedljivo i racionalno je koristiti;
- vodama se upravlja prema načelu jedinstva vodnog sistema i načelu održivog razvoja, kojim se zadovoljavaju potrebe sadašnje generacije i ne ugrožavaju pravo ni mogućnosti budućih generacija da to ostvare za sebe;
- voda ne poznaje granice – regionalne jedinice za upravljanje vodama jesu voda i slivna područja kao hidrografske i gospodarske celine;
- granice administrativno- teritorijalnih jedinica ne mogu biti zapreka za integralno upravljanje vodama na tim područjima;
- u pripremi i donošenju planova, koji su osnova upravljanja vodama polazi se od obaveze celovite zaštite okoline i ostvarivanja gospodarskog razvoja svake države u regionu;
- za korišćenje voda koje prelaze granice dopuštene opšte upotrebe, kao i za svako pogoršanje kvaliteta, plaća se naknada srazmerno opsegu uticaja na promene u stanju;
- propisima kojima su utvrđeni zadaci i obaveze ulaganja u poboljšanju vodnog sistema moraju se utvrditi i izvori za njihovo finansiranje.

Aktivnosti vodnog gospodarstva:

- istraživanja vodnih resursa u cilju racionalnog upravljanja vodama;
- monitoring količina i nivoa površinskih, podzemnih voda i nanosa;
- monitoring kvaliteta površinskih voda i sedimenta, podzemnih voda i mora;
- monitoring komunalnih i industrijskih otpadnih voda;
- uređenje voda, građenje regulacijskih i zaštitnih vodnih objekata te vodnih građevina za melioracijsku odvodnju;
- tehničko i gospodarsko održavanje vodotoka, vodnog dobra, regulacijskih i zaštitnih vodnih građevina uključujući održavanje plovnih puteva i građevina za zaštitu od erozija i bujica, te vodnih građevina za melioracijsku odvodnju;
- obrana od poplava i leda na državnim vodama, skladno planu odbrane od poplava;
- odbrana od poplava na lokalnim vodama, zaštita od erozija i bujica, te melioracijska odvodnja, skladno planovima odbrane od poplava, koje donose regionalni organi;
- zahvatanje, crpljenje i upotreba površinskih i podzemnih voda za potrebe vodoosnabdevanja i navodnjavanja;
- zahvatanje i upotreba voda za potrebe ribarstva, lova i ribolova;
- učestvovanje u planiranju, pripremi i izgradnji složenih hidroenergetskih sistema, posebno višenamenskih;
- koordinacija provedbe državnoga plana za zaštitu voda;
- koordinacija planiranja zaštite voda regionalnih i lokalnih zajednica;
- prevencija od akcidentnih zagađenja i nužne sanacije;
- učestvovanje u planiranju, pripremi i izgradnji projekata prečišćavanja otpadnih voda.

Generalno, može se reći da danas opstaju kompanije/preduzeća, koja se prilagođavaju novim situacijama na tržištu i kontinuirano upravljaju društveno odgovornim praksama u cilju dugoročnih rešavanja problema koji prete održivom rastu. Ukoliko svako preduzeće dobro sprovede strategiju društveno odgovornog poslovanja, postoji mogućnost da se ublaži disproporcija u raspodeli resursa. Neki autori smatraju kako je ironija ovog koncepta činjenica da pojedina preduzeća koriste ovu inicijativu, dok je produkt njihovog postojanja destruktivnost, zavisnost i opasnost proizvoda.



Slika 5. Odnos zahvaćene i potrošene količine vode u regionu

Potreba za društveno odgovornim projektnim aktivnostima preduzeća je globalni fenomen. U njoj leži srž dobre namere, kao suštinska pretpostavka da se ostvare ciljevi koji su u interesu preduzeća i društva u kome posluje. Bez dobrih projektnih aktivnosti društveno odgovornog karaktera nemoguća je dugoročna konkurentnost preduzeća. S druge strane, samo ona preduzeća koja su inkorporirala društveno odgovornu praksu u kulturu i strategiju poslovanja mogu očekivati pozitivne rezultate za korporaciju, preduzeće ili ustanovu. U otvorenoj tržišnoj privredi intenzivira se čvršće povezivanje sa preduzećima van nacionalnih granica. Na taj način mnoge zemlje dobijaju šansu da na osnovu svojih komparativnih prednosti postanu ravnopravni igrači na tržišnoj utakmici. Međutim, nova ekonomska realnost zahteva od preduzeća da budu 4 fleksibilna i inovativna. Trka za profitom nameće agresivna pravila igre, gde je konkurencija jaka a rizik veliki. Moć je sada u rukama kompanija/velikih preduzeća koja preuzimaju globalnu odgovornost rešavajući političke, ekonomske i ekološke probleme.



## ZAKLJUČAK

Prirodno okruženje predstavlja celokupnost prirodnih resursa, kao i uslova koji su u tesnoj vezi sa ljudskim društvom. Ekonomska aktivnost čoveka predstavlja svaku aktivnost ljudskog društva, koja je sa svrhom da se ostvari što veći obim proizvodnje, ali i što veća dobit na kraju proizvodnog ciklusa. Međutim, čovek je toliko narušio prirodni balans, da priroda svoje odgovore na nekontrolisanu ljudsku aktivnost daje u vidu klimatskih promena. Društveno odgovorno poslovanje je najnoviji koncept savremenog biznisa. Globalno zagrevanje je u tesnoj vezi sa svim promenama klime na Zemlji.

Poslovna etika i koncept društvene odgovornosti mogu se lako razumeti. Name, radi se o oslovanju gde se jasno povlači granica između dobrog i lošeg. Međutim nije lako odrediti šta je ispravno a šta pogrešno ponašanje u poslovanju. Dobro poslovno ponašanje samo po sebi nije rešenje za poslovni uspeh. Potrebno je nešto mnogo više od toga. Poslovno okruženje se stalno menja kao i sama moralna interpretacija poslovanja. Dakle, odgovorna strategija upravljanja vodnim resursima nije uvek garancija uspeha. Ona je samo jedna od mogućih rešenja i put ka uspehu. strategija.

## LITERATURA

- Barnatt, C. (2013): "Is sustainability a dangerous myth fuelling over consumption?" The Guardian,  
 Beker, A., Ivanović, I. (2013): "Profit, ekologija i ljudska prava", Deutsche Welle.  
 Biočanin R. Humana ekologija, Farmaceutsko-zdravstveni fakultet u Travniku, Travnik, 2016.  
 Biočanin R. Quantification of influences on environment in quality system excellence, VIII Balkan Conference on Operational research (BALCOR-2007), 14-17. September 2007. Belgrade-Zlatibor.  
 Biočanin R., Škrbić V. Ekološka bezbednost i održivi razvoj kao uslov za evropske integracije, NUBL, Banja Luka, 2011. ISSN 1986-8588  
 Biočanin R., Zagađivači životne sredine, IUT Travnik, Travnik 2011.  
 Buzuk M. Sustavi upravljanja okolišem, Kemijsko-tehnološki fakultet, Split, 2013.  
 Biswas A. K. (2008). Integrated Water Resources Management: Is It Working? Water Resources Development, Vol. 24, No. 1, 5–22.  
 Brindle, D. (2014): "Corporates can lead on sustainability but there are no "good companies" yet", The Guardian.  
 Chirisa I. (2013). Solid waste, the 'Throw-Away' culture and livelihoods: Problems and prospects in Dimitrijević N. Poslovna etika, društvena odgovornost i konkurentska prednost preduzeća, ALFA BK Univerzitet, Beograd, 2016.  
 Malović M., Održivi rast i životna sredina, šta smo naučili i šta nas čeka?, Ecologica, No 74, 2014.  
 Malović M, Matić M, Ilić B. Prirodni resursi i društveno odgovorno poslovanje preduzeća sagledavanjem klimatskih promena, Ppolicijska uprava Leskovac, 2015.  
 Mihajlović D., Simić V., Upravljanje obnovljivim prirodnim resursima, Knjaževac, 2010. god.  
 Munitlak O.I., Raspopović N., Mitić P, Jovanović L., Kvantifikacija bogatstva i društva u smislu održive privrede, Ecologica, No 74, str: 165-168, 2014.

- Holling C.S. (2001). Understanding the complexity of economic, social and ecological systems. *Ecosystems*. Vol. 4, 390-405.
- Holmlund C.M., Hammer M. (1999). Analysis: Ecosystem services generated by fish populations. *Ecological Economics*, Vol. 29, 253–268.
- Jahić M. B. (1990). *Kondicioniranje voda*. Književna zajednica Drugari, Sarajevo.
- Jusupović, F. (2008). *Higijena pitke vode*. Univerzitet u Sarajevu, Fakultet zdravstvenih studija.
- Kovačević B. *Nastavni materijal*, Univerzitet u Banjoj Luci, Banja Luka, 2016.
- Omer A. M. (2012). Sustainable water resources management, future demands and adaptation strategies in Sudan. *Journal of Environmental Science and Water Resources*
- Stefanov S., Nešković S., Biočanin R. Atmospheric input of pollutants-opportunity for innovation, International conference “Marine research Horizon 2020“, 17-20. September 2013., Sofia, Bulgaria.

## DECENIJA INTEGRALNOG UPRAVLJANJA CRNE GORE U OSNAŽIVANJU PREKOGRANIČNE POLITIKE ZAŠTITE VODA AKUMULACIJE „TREBIŠNJICA“

Dušica Grubač, Nataša Čolović, Dražan Čeprić

*DOO Vodovod i kanalizacija Herceg Novi, X Hercegovačke brigade 3, Herceg Novi, Crna Gora, [dusicagrubač@gmail.com](mailto:dusicagrubač@gmail.com)*

### REZIME

Uloga države Crne Gore u politici voda i zaštiti građana u ostvarivanju prava na zdravu vodu prikazana je hronologijom događaja koji su doveli do prekogranične saradnje u zaštiti vode za piće koju koriste građani Herceg Novog.

KLJUČNE RIJEČI: voda za piće, diskontinuitet, dogovor, kvalitet

## DECADE OF INTEGRAL MANAGEMENT OF CRNA GORA IN STRENGTHENING THE CROSS-BORDER POLICY OF WATER PROTECTION OF ACUMULATION „TREBIŠNJICA“

### ABSTRACT

The role of the state of Montenegro in water policy and the protection of citizens in exercising the right to healthy water is illustrated by the chronology of events that led to cross-border cooperation in the protection of drinking water for the citizens of Herceg Novi.

KEY WORDS: drinking water, discontinuity, agreement, quality

### UVOD

Za Integralno upravljanje obalnim područjem u Crnoj Gori poseban značaj ima set zakona koji se odnosi na pitanja uređenja pojedinih segmenata ovog prostora, podjele nadležnosti u donošenju odluka i regulisanje obavljanja djelatnosti koje dominantno utiču na održivi razvoj i zaštitu ovog prostora. S toga su ovdje prezentovana hronologija pravnih dokumenata u Crnoj Gori koji su doveli do vodne politike koja je primijenjena na cjevovod kojim se transportuje voda za piće kroz Konavosko polje, Republika Hrvatska od tunela HE Plat do Postrojenja za preradu vode za piće u selu Mojdež, Herceg Novi, Republika Crna Gora.

Koncept integracije se vidi kao ključ upravljanja zaštitom voda unutar slivnog područja i obuhvata spajanje elemenata u cjelinu, pa je tako cilj udruživanje zaštite životne sredine,

svih vodnih resursa, svih upotreba vode, funkcija i vrijednosti u zajednički politički okvir, kao i integracija svih disciplina - analiza i ekspertiza, legislative o vodama, stvaranje zajedničkog koherentnog okvira svih značajnih aspekata upravljanja kao i ekoloških aspekata, formiranje cijena, udruživanje stejkholdera i javnosti u donošenju odluka, različitih nivoa donošenja odluka vezanih za vodne resurse i status voda i zajednički pristup upravljanju. Zajedničkim pristupom upravljanju definišu se programi mjera u Planu upravljanja riječnim slivom.

Cjevovod koji kroz Konavosko polje transportuje vodu iz sliva Trebišnjice može se definisati kao vještačko vodno tijelo o kome do sada nije detaljno razrađen Plan upravljanja. Bilateralnim ugovorima Hrvatske i Crne Gore su uspostavljeni prvi koraci integralnog upravljanja i doveli su do rezultata koji će biti navedeni u daljem tekstu.

Najvažniji cilj u oblasti korišćenja voda, jeste obezbjeđenje vode za piće u svrhu pokrivanja potreba za pitkom vodom stanovništva i privrede, gdje se postavlja zahtjev za korišćenje vode najvišeg kvaliteta.

## VODOSNABDIJEVANJE GRADA HERCEG NOVOG

Snabdijevanje potrošača u Herceg Novom obezbjeđuje se iz tri glavna izvorišta: Akumulacije na Trebišnjici; iz podzemne akumulacije, zahvatanja vode razbijene karstno pukotinske izdani „Opačica“ i izvorišta „Bolje sestre“ iz sistema Regionalnog vodovoda. Izvorišta "Lovac", "Crnica" "Vrela" i "Pijavica" su manja izvorišta lokalnog karaktera.

Zbog čestih problema u vodosnabdijevanju Herceg Novog, a pogotovo u ljetnim mjesecima, Opština Herceg Novi se opredijelila da trajno obezbijedi dovoljne količine pitke vode zahvatanjem, dovodom i prečišćavanjem vode iz akumulacije na rijeci Trebišnjici. Ovaj projekat je završen u avgustu 1980. godine. Iz kompenzacionog bazena "Gorica", Trebinje voda se gravitacionim putem transportuje tunelom prečnika 6,0 m i dužine 16,6 km do vodostana "Plat" hidroelektrane "Dubrovnik", Plat, Hrvatska. Priključak cjevovoda za Herceg Novi izveden je nizvodno od vodostana na glavnom dovodu za hidroelektranu i dalje preko Konavoskog polja do sela Mojdež, Herceg Novi tj. do postrojenja za prečišćavanje vode kroz gravitacioni čelični cjevovod prečnika cijevi 660,4 mm. Opisani sistem je projektovan za maksimalni kapacitet 600 l/s.

Tokom godine najveće je korišćenje vode sa AK „Trebišnjica“ koja se može okarakterisati kao voda dobrog ekološkog statusa, pa otuda i veliki značaj ove vode za održivost i razvoj grada. Promjenljivosti su očekivane uslijed prirodnih pojava zamućenja vode akumulacije tokom i nakon kiša i uslijed pražnjenja jezera pri čemu se isporučuje voda iz nižeg sloja jezera sa manjim promjenama u fizičko-hemijskim i mikrobiološkim parametrima.

Voda iz podzemne akumulacije „Opačica“ povremeno se nalazi u distributivnom sistemu tokom većih ljetnjih eksploatacija kada je neophodna dopuna snabdijevanja pijaće vode. Karakteriše je opterećenost mutnoćom nakon kiša, kada se i ne koristi.

Voda sa izvorišta „Bolje sestre“, koje se nalazi u basenu Malog blata Skadarskog jezera, na sjeveroistočnom obodu zaliva, u podnožju padina Kolozuba, blizu ostrva Kosmač, isporučuje se Herceg Novom sistemom Regionalnog vodovoda. Dobrog je kvaliteta ali zbog nedostatka potrebe za većim količinama, samo 20-tak dana u godini se nalazi u sistemu vodosnabdijevanja Herceg Novog.

Dominantno korišćenje vode za piće AK „Trebišnjica“ je tokom ratnih devedesetih godina prošlog vijeka i tokom nedefiniranih ekonomsko-političkih odnosa početkom 21. vijeka, bilo pod velikim opterećenjem zbog neredovnih i nenajavljenih prekida isporuke vode od konavoske strane, neplaćanja mjesečnih nadoknada Konavoskom društvu od strane JP Vodovod i kanalizacija kao i zbog međusobnih sudskih sporova. To je umnogome dovelo do narušavanja prerade i isporuke kvalitetne vode za piće. Ovakav prekogranični uticaj štetio je kako preduzeću Vodovod i kanalizacija Herceg Novi, tako i najviše pogođenoj strani, a to su građani. Česte restrikcije uticale su i na kvalitet isporučene vode za piće i na najveću privrednu granu, turizam, što je dovelo u pitanje održivost razvoja grada.

#### BILATERALNA SARADNJA BiH I HRVATSKE

Aktivnosti na korišćenju vode sliva Trebišnjice odvijale su se još u drugoj polovini dvadesetog vijeka, nakon izgradnje regulacionog vodnog tunela sa AK „Trebišnjica“ prema Platu, Hrvatska. Nakon donesenih odluka: Dogovor o načinu i uslovima uređenja i korišćenja voda područja sliva Trebižata«, potpisan u Grudama, 12. veljače 1982. godine (Narodne novine SRH, broj 16/82 i Službeni list SR BiH, broj 9/82) i »Sporazum o načinu izgradnje i obezbjeđenja sredstava za izgradnju objekata, uslovima uređenja i korišćenja objekata, kao i načinu upravljanja objektima na vodama, u području sliva rijeke Trebižat«, potpisan u Grudama, 12. veljače 1982. godine (Narodne novine SRH, broj 16/82); počelo se sa izgradnjom vodostana „Plat“ u sklopu hidroelektrane Dubrovnik. Prelivne vode sa ovog vodostana su iskorišćene za vodosnabdjevanje Herceg Novog izgradnjom cjevovoda Plat-Herceg Novi.

Na području Hercegovine vode Trebišnjice podzemnim tokovima dolaze do morske obale i doline Neretve. Duž Dubrovačke obale one ističu na 72 izvora, od kojih su 33 kaptirana, od čega 7 za vodovode. Međunarodni karakter ovih voda nalaže da se integralne politike i rešenja, i kasnije, upravljanje sistemima, može odvijati isključivo kroz međunarodnu saradnju sa jasno definisanim ciljevima, kriterijumima i ograničenjima. Na osnovu ovakvih polazištva, BiH i Republika Hrvatska sklopile su Ugovor o vodoprivrednim odnosima ove dvije zemlje, 11.07.1996., potpisanog u Dubrovniku, kojim se uređuju međusobna prava, obaveze i odgovornosti za korišćenje voda sa izvorišta koja se nalaze na teritoriji jedne države, a koriste se za javno snabdjevanje na teritoriji druge države, a posebno pravo na vodu, kao i obaveze koje treba podmiriti da se ostvari takvo pravo.

Na osnovu ovog sporazuma formirana je Komisija za vodoprivredne odnose između Rep. Hrvatske i BiH, koja je formirala Podkomisiju za sliv Jadranskog mora i rijeke Save.

#### BILATERALNA SARADNJA HRVATSKE I CRNE GORE

Između Vlade Crne Gore i Vlade Republike Hrvatske je u septembru 2007. godine potpisan Ugovor o međusobnim odnosima u oblasti upravljanja vodama. U skladu sa Ugovorom, u junu 2008. godine osnovana je Stalna crnogorsko - hrvatska komisija za upravljanje vodama od zajedničkog interesa i donesen zaključak da se, pored ostalog, formira Potkomisija koja će se baviti uređenjem međusobnih odnosa po pitanju korišćenja hidropotencijala sliva Trebišnjice. Ova potkomisija je formirana od predstavnika Crne Gore i Hrvatske.

Shodno zaključcima sa sastanka Potkomisije za cjevovod Plat - Herceg Novi, održanog u Cavtatu 09.aprila 2011. godine, opštine Herceg Novi i Konavle uz pomoć Ministarstva održivog razvoja i turizma Crne Gore predložen je način regulisanja međusobnih odnosa u oblasti korišćenja i upravljanja cjevovodom Plat - Herceg Novi u narednom periodu i način na koji bi se izvršilo poravnanje međusobnih potraživanja, nastalih u periodu od 01.07.2008. do 31.12.2010. godine, definisanjem tekstova ovih ugovora:

- Ugovor između Opštine Herceg Novi i Općine Konavle o korišćenju i održavanju cjevovoda Plat - Herceg Novi;

- Ugovor o načunu na koji će se izvršiti poravnanje međusobnih potraživanja između Opštine Herceg Novi i Općine Konavle nastalih po osnovu korišćenja i održavanja cjevovoda Plat -Herceg Novi.

Na narednom sastanku koji je održan u Herceg Novom 4. jula 2011. godine, je dogovoreno:

- da se odnosi u dijelu pitanja korišćenja i održavanja cjevovoda Plat – Herceg Novi u periodu od 01.01.2011. godine do 01.01.2021. godine urede u okviru dva posebna ugovora, koja će biti istovremeno potpisana:
  - prvim ugovorom uredila bi se pitanja naknade za umanjenu vrijednost zemljišta na trasi cjevovoda Plat –Herceg Novi, koja prolazi preko teritorije Republike Hrvatske (25.000 € mjesečno) i definisale generalne osnove za uspostavljanje odnosa u dijelu pitanja upravljanja i održavanja cjevovoda – Ugovor o visini naknade za umanjenu upotrebnu vrijednost zemljišta u vlasništvu Općine Konavle preko kojeg prolazi cjevovod Plat – Herceg Novi (Osnovni ugovor);
  - drugim ugovorom, detaljno i sveobuhvatno bi se uredila konkretna pitanja vezana za upravljanje i održavanje cjevovoda Plat – Herceg Novi – Ugovor o korišćenju i održavanju cjevovoda Plat – Herceg Novi;
- da Opština Herceg Novi naknadu po Osnovnom ugovoru za 2011. i 2012. godinu, u ukupnom iznosu od 600.000 €, plati u 16 jednakih mjesečnih rata počevši od 01.08.2011. godine;
- da se pitanja međusobnih potraživanja između opština Herceg Novi i Konavle, odnosno visina dospjelih, a nenaplaćenih potraživanja i dinamika plaćanja, urede Ugovorom o načinu izvršenja potraživanja između Opštine Herceg Novi i Opštine Konavle za korišćenje i održavanje cjevovoda na dionici Plat – Debeli brijeg (u daljem tekstu: Ugovor o poravnanju); saglasno ovom ugovoru, plaćanje preostalih obaveza u iznosu od 515.000 € izvršilo bi se u tri rate i to:
  - I rata: 115.000 € do 31.10.2011. godine,
  - II rata: 115.000 € do 30.11.2011. godine;
  - III rata: preostalih 285.000 € najkasnije do 31.03.2012. godine;
- da JP „Vodovod i kanalizacija“ iz Herceg Novog, u roku od osam dana, zaključi sudsko poravnanje /sudsku nagodbu/ o poravnanju troškova na ime transporta vode cjevovodom na dijelu trase koja prolazi hrvatskom teritorijom, za period od 01.07.2008. godine do 31.03.2011. godine (po zahtjevu Općine Konavle) i troškova korišćenja vode na dijelu cjevovoda koji prolazi hrvatskom teritorijom i to za period do 2005. godine (po tužbenom zahtjevu P. br. 606/9 Javnog preduzeća „Vodovod i kanalizacija“ iz Herceg Novog, protiv Općine Konavle, kod Privrednog suda u

Podgorici); zaključivanje ove nagodbe bio je uslov hrvatske strane za zaključivanje Ugovora o poravnanju.

Shodno dogovoru sa sastanka u Herceg Novom, realizovane su sljedeće aktivnosti:

- JP „Vodovod i kanalizacija“ Herceg Novi je 30. avgusta 2011. godine, povukla tužbeni zahtjev;

- pripremljeni su i usaglašeni tekstovi sljedećih ugovora :

1. Ugovor o visini naknade za umanjenu upotrebnu vrijednost zemljišta u vlasništvu Opštine Konavle preko kojeg prolazi međunarodni infrastrukturni objekat za transport vode, cjevovod Plat – Herceg Novi (Osnovni ugovor),
2. Ugovor o korišćenju i održavanju međunarodnog infrastrukturnog objekta za transport vode, cjevovoda Plat – Herceg Novi,
3. Ugovorom o načinu izvršenja potraživanja između Opštine Herceg Novi i Opštine Konavle za korišćenje i održavanje cjevovoda na dionici Plat – Debeli brijeg i isti se dostavljaju na saglasnost.

Godine 2013. u Dubrovniku je održan sastanak Stalne Crnogorsko – Hrvatske Komsije za upravljanje vodama, od zajedničkog interesa Podkomisije za cjevovod Plat – Herceg Novi.

Konstatovano je da su zaključena sva tri navedena Ugovora ali da se primjenjuju samo prvi i treći Ugovor, dok će se u narednom periodu dati prioritet realizaciji drugog, tj. Ugovora o korišćenju i održavanju cjevovoda Plat – Herceg Novi, i da Opština Herceg Novi uspijeva da svoje mjesečne obaveze realizuje bez nekih većih problema. Takođe, obje strane su se složile da će u svrhu regulisanja odnosa pripremiti predlog i četvrtog Ugovora cjelovitog uređenja odnosa u oblasti prava na vodu i korišćenja i održavanja cjevovoda Plat – Herceg Novi, a nakon međusobnog usaglašavanja Podkomsija će precizirati sve detalje u pogledu odnosa i odredbi ovog ugovora. Takođe, razmatrano je pitanje izgradnje novog cjevovoda iz hidro- energetskog sistema Trebišnjice, i s tim u vezi istaknuta važnost izjašnjavanja nadležnih državnih organa Crne Gore o potrebi zajedničke inicijative i konkurisanja kod odgovarajućih fondova EU, za potrebu izgradnje novog cjevovoda.

Realizacijom drugog i definisanje četvrtog Ugovora između opština Konavle i Herceg Novi došlo bi do uređenja prekograničnih odnosa u sveobuhvatnosti ispunjenja prava na vodu. Ugovorne strane bi, između ostalog, putem svojih operatera (Konavosko komunalno društvo d.o.o. „Čilipi“ i DOO „Vodovod i kanalizacija“ Herceg Novi) obezbjedili funkcionalnu ispravnost postojećih, odnosno ugradnju novih uređaja za mjerenje protoka i osigurali stalni nadzor nad potrošenim količinama vode, postavili odgovarajuće uređaje i opremu u cilju zaštite i stalnog ispitivanja kvaliteta vode na vodozahvatu, preduzeli mjere za osiguranje tehničke ispravnosti svih uređaja i stvorili potrebne uslove za upravljanje cjevovodom Plat – Herceg Novi na način koji obezbjeđuje njegovu funkcionalnu ispravnost i održivost.

Nakon potpisivanja i realizacije prvog i trećeg Ugovora isporuka vode je konstantna što je dovelo do kvalitetnije proizvodnje vode za piće i stalne isporuke vode građanima Herceg Novog. Obustavljene su isporuke vode do sadašnjeg vremena samo u periodima remonta tunela AK Trebišnjica –Plat i prilikom najavljenih remonta na cjevovodu Plat-Herceg Novi.

#### ULOGA VODOVODA I KANALIZACIJE HERCEG NOVI U POLITICI VODA

DOO Vodovod i kanalizacija je tokom proteklih dvadeset godina, iako u izuzetno teškim ratnim i posleratnim ekonomskim opterećenjima, uspelo da održi u svom poslovanju

internu kontrolu kvaliteta vode za piće, kako na postrojenju iz 1983. tako i na novom postrojenju od 2008.godine. U okviru Interne kontrole organizovana je Laboratorija za mjerenje fizičko-hemijskih, mikrobioloških i hidroloških parametara. Organizacija ovog nadzornog 24-satnog monitoringa, od 1996.zbog mogućeg ugrožavanja kvaliteta vode od strane tadašnjeg Ministarstva odbrane SR Jugoslavije, našlo je svoju opravdanost u svim akcidentnim situacijama koje su nastajale uslijed povećane zamućenosti vode tokom kišnih perioda.Naročito u jednoj prekograničnoj akcidentnoj situaciji koja je nastala ispiranjem zemljišta na kojem su avgusta 2012.g. izbili veliki požari u okolini Trebinja, a nalaze se prostorno u slivu rijeke Trebišnjice.

Konstatovan je dobrog kvaliteta prekogranične vode iz AK „Trebišnjica“ u poslednjih deset godina, od kako je Crna Gora, u saradnji sa Hrvatskom, uspjela da kroz politiku vodosnabdjevanja u okviru integralnog upravljanja omogući kontinuitet dotoka.

## ZAKLJUČAK

Opština Herceg Novi kao i ostale opštine primorskog dijela CG nemaju na svojoj teritoriji izvorišta vode čiji bi kapaciteti zadovoljili osnovne potrebe vodosnabdjevanja. Ugovorima sa Hrvatskom stranom preko koje se transportuje voda sa Trebinjskog jezera, a koje se nalazi u graničnom dijelu CG i BIH, obezbjeđuje se najveći dio vode za VIK Herceg Novi. Ugovorom sa Regionalnim vodovodom se u mjeri u kojoj je to tehnički moguće, a u toku ljetne sezone, kada je povećana potrošnja, značajno poboljšava nivo vodosnabdjevanja, tako da ne dolazi do restrikcija kao u ranijem periodu. Najveći značaj lokalnog izvorišta "Opačica" je u periodu povećane potrošnje vode i svakako za vrijeme redovnog godišnjeg remonta hidrotehničkog tunela Trebinje-Plat koji traje u prosjeku 20-ak dana

U očekivanju ostavarivanja trećeg i četvrtog Ugovora cjelovitog uređenja odnosa u oblasti prava na vodu i korišćenje i održavanje cjevovoda Plat – Herceg Novi, Vodovod i kanalizacija Herceg Novi zauzeće jasne stavove i potrebe za ostvarivanje prava na zdravu vodu predlozima koji će, između ostalog, omogućiti blagovremeno obavještanje o vrstama zagađenja i mogućim rizicima u prekograničnoj oblasti koji bi mogli da ugroze isporuku vode za piće do Herceg Novog. Kao i da se obezbijedi relevantnu osnovu u poboljšanju kapaciteta interne laboratorije Vodovoda i eventualnom prepoznavanju Laboratorije kao već postojeće tačke nadzornog monitoringa od strane državnih institucija.

## LITERATURA

Nacionalna strategija integralnog upravljanja obalnim područjem (NS IUOP) republike Crne Gore, jul 2007.g.

Prostorni plan Opštine Herceg Novi do 2020.g.

Strategija upravljanja vodama Crne Gore, podgorica, jun 2017

Strategija integralnog upravljanja vodama Republike Srpske do 2024.g.

Informacija o aktivnostima na uređenju odnosa vezanih za korišćenje i održavanje cjevovoda Plat-Herceg Novi, Vlada Crne Gore, 2011.g.



## STRUKTURA FITOPLANKTONA U AKUMULACIJAMA NA UVCU

Gordana Subakov Simić\*, Dušan Kostić\*\*, Marko Marjanović\*\*,  
Ivana Trbojević\*

\* *Biološki fakultet Univerzitet u Beogradu, Studentski trg 16, Beograd,*  
Email: [gsubak@bio.bg.ac.rs](mailto:gsubak@bio.bg.ac.rs)

\*\* *Institut za vodoprivredu "Jaroslav Černi", Jaroslava Černog 80, Beograd*

### REZIME

Struktura fitoplanktona u tri akumulacije na Uvcu: Sjeničkom, Zlatarskom i Radoinjskom jezeru ukazuje na stabilnu zajednicu, gde dominiraju tipične planktonske forme. U sva tri jezera identifikovano je ukupno 64 taksona cijanobakterija i algi iz 8 razdela. U biomasi epilimniona Sjeničkog i Zlatarskog jezera dominirao je takson *Ceratium hirundinella*, dok su u meta i hipolimnionu domirale silikatne alge. U Radoinjskom jezeru u sva tri sloja prema biomasi dominirale su silikatne alge. Na osnovu abundance cijanobakterija, sva tri jezera spadaju u II klasu ekološkog potencijala.

KLJUČNE REČI: fitoplankton, akumulacije, Uvac

## PHYTOPLANKTON STRUCTURE IN RESERVOIRS OF UVAC

### ABSTRACT

Phytoplankton structure in three reservoirs of Uvac: Sjeničko, Zlatarsko and Radoinjsko lake refers to stable communities, dominated prevalently by typical planktonic forms. In total 64 cyanobacterial and algal taxa from 8 divisions were identified. Phytoplankton biomass in Sjeničko and Zlatarsko lake was dominated by *Ceratium hirundinella* in epilimnion, while in metalimnetic and hypolimnetic communities diatoms prevailed. In Radoinjsko lake, diatoms dominated over whole water column. According to cyanobacteria abundance, all three reservoirs were classified as II class of ecological potential.

KEY WORDS: phytoplankton, reservoirs, Uvac

## UVOD

Reka Uvac izvire pod planinom Ozren, ukupne dužine 119 km, površine sliva 1334 km<sup>2</sup> i predstavlja jednu od najvećih pritoka reke Lim. Na reci Uvac izgrađene su 3 akumulacije: Sjeničko, Zlatarsko i Radoinjsko jezero. Prvo u nizu, Sjeničko jezero, dugačko je 25 km, duboko do 108m, namenjeno je proizvodnji električne energije od 1979. godine. Drugo jezero u nizu je Zlatarsko, površine 7,25 km<sup>2</sup>, duboko do 70m i treće je Radoinjsko, duboko do 30m, dugo 11km (Stanković, 2005). U ranijem hidrobiološkom izveštaju (Zavod za zaštitu zdravlja Srbije, 1995) u akumulaciji Uvac (Sjeničko jezero) ustanovljen je relativno nizak diverzitet algi (svega 21 takson), među kojima su dominirale silikatne alge, ali uz masovo cvetanje cijanbakterije *Plankthotrix rubescens*. Cilj ove studije bio je utvrđivanje diverziteta, abundance i biomase cijanobakterija i algi u zajednici fitoplanktona tri akumulacije na Uvcu.

## MATERIJAL I METODE

Merenje koncentracije hlorofila *a* vršeno je duž vodenog stuba pomoću sonde YSI ProDSS, a koncentracija ukupnog fosfora (TP) u stratifikovanim slojevima vode (kompozit) određena je standardnom metodom u laboratoriji Instituta za vodoprivredu "Jaroslav Černi". Prozirnost vode merena je pomoću Secchi diska. Uzorci za kvalitativnu analizu fitoplanktona uzeti su planktonskom mrežicom (promera okaca 22-23  $\mu$ m). Koncentrisan uzorak fitoplanktona je odložen u plastične flakone zapremine 100 mL i fiksiran Lugolovim rastvorom. Kvalitativna analiza urađena je uz pomoć svetlosnog mikroskopa Zeiss AXIOIMAGER.M1 i standardne literature za određivanje algi. Uzorci za kvantitativnu analizu fitoplanktona uzeti su uz pomoć VanDorn boce, odloženi u plastične boce zapremine 1 L i fiksirani Lugolovim rastvorom. Kvantitativna analiza urađena je uz pomoć invertnog mikroskopa marke Leica prema utermohl-ovoj metodi (Utermohl, 1958), a izražena kao broj individua/mL, odnosno ćelija/ml. Biomasa i biozapremina su izračunate preko geometrijskih aproksimacija na osnovu najmanje 25 pregledanih jedinki iste vrste, a izraženi u mm<sup>3</sup>/mL, odnosno biomasa kao mg/L (Hillebrand i sar., 1999). Karlsonov indeks trofičnosti izračunat je na osnovu izmerenih vrednosti za providnost (TSI(SD)), koncentraciju hlorofila *a* u vodi (TSI(CHL)), i koncentraciju ukupnog fosfora (TSI(TP)), a na osnovu dobijenih vrednosti izvršena je procena trofičnosti vodenih ekosistema (Carlson 1977; Carlson i Simpson, 1996).

## REZULTATI I DISKUSIJA

Prozirnost vode u periodu istraživanja varirala je od 1,5 m (na Sjeničkom jezeru) do 4,5 m (na Zlatarskom i Radoinjskom jezeru).

Karlsonov indeks trofičnosti izračunat je za sve tri akumulacije na osnovu prosečnih vrednosti za sva tri stratifikovana sloja vode i rezultati su predstavljeni u Tabeli 1.

Na osnovu dobijenih vrednosti, za sve tri akumulacije prema Karlsonovom indeksu na osnovu ukupnog fosfora TSI (TP) možemo reći da su eutrofne. Prema TSI (SD) i TSI

(CHL), Radoinjsko i Zlatarsko jezero se mogu okarakterisati kao oligotrofne akumulacije, dok je prema istim vrednostima Sjeničko jezero mezotrofno (TSI (CHL)), odnosno eutrofno (TSI (SD)).

Tabela 1. Karlsonov indeks trofičnosti.

Table 1. Carlson`s trophic index

	TSI (TP)	TSI (SD)	TSI (CHL)
Radoinjsko jezero	69	38	36
Zlatarsko jezero	67	38	33
Sjeničko jezero	69	54	45

### Analiza fitoplanktona

U kvalitativnim uzorcima u sva tri jezera ustanovljeno je prisustvo 64 taksona iz 8 razdela algi: Cyanobacteria (13), Dinophyta (7), Chrysophyta (5), Xanthophyta (1), Cryptophyta (3), Bacillariophyta (9), Euglenophyta (3) i Chlorophyta (23). Među njima, najveći broj vrsta zabeležen je iz razdela Chlorophyta. Prisustvo potencijalno toksične cijanobakterije *P. rubescens* nije zabeleženo u ovim analizama ni u jednoj akumulaciji na Uvcu, a među predstavnicima cijanobakterija preovladavali su kokoidni oblici (Tabela 2).

Većina identifikovanih taksona predstavlja tipične planktonske oblike, a spisak taksona po razdelima i po jezerima dat je u Tabeli 2.

Tabela 2. Spisak identifikovanih taksona u Sjeničkom (S), Zlatarskom (Z) i Radoinjskom (R) jezeru.

Table 2. List of identifiide taxa in Sjeničko (S), Zlatarsko (Z) and Radoinjsko (R) lake.

	Spisak vrsta	S	Z	R
Cyanobacteria	<i>Aphanocapsa conferta</i> (West & G.S.West) Kom.-Leg. & Cronberg	+	+	+
	<i>Aphanocapsa delicatissima</i> West & G.S.West		+	
	<i>Aphanocapsa incerta</i> (Lemmermann) G.Cronberg & Komárek			+
	<i>Aphanocapsa planctonica</i> (G.M.Smith) Komárek & Anagnostidis		+	
	<i>Chroococcus minutus</i> (Kützing) Nägeli	+		
	<i>Geitlerinema</i> cf. <i>amphibium</i> (C.Agardh ex Gomont) Anagnostidis		+	
	<i>Komvophoron</i> sp. K.Anagnostidis & J.Komárek	+	+	+
	<i>Merismopedia glauca</i> (Ehrenberg) Kützing		+	
	<i>Oscillatoria</i> sp. Vaucher ex Gomont			+
	<i>Planktolynghya limnetica</i> (Lemmermann) Kom.-Leg. & Cronberg	+	+	
	<i>Pseudanabaena catenata</i> Lauterborn		+	+
	<i>Snowella lacustris</i> (Chodat) Komárek & Hindák	+		
	<i>Woronichinia naegeliana</i> (Unger) Elenkin		+	

	<b>Spisak vrsta</b>	<b>S</b>	<b>Z</b>	<b>R</b>
Chlorophyta	<i>Ankistrodesmus fusiformis</i> Corda	+		
	<i>Botryococcus braunii</i> Kützing	+	+	+
	<i>Coelastrum astroideum</i> De Notaris	+		
	<i>Coelastrum microporum</i> Nägeli	+		
	<i>Coenochloris</i> sp. Korshikov	+	+	
	<i>Elakatothrix</i> sp. Wille		+	
	<i>Eudorina elegans</i> Ehrenberg		+	
	<i>Eutetramorus fottii</i> (Hindák) Komárek	+		+
	<i>Eutetramorus planctonicus</i> (Korshikov) Bourrelly	+		
	<i>Gonium pectorale</i> O.F.Müller			+
	<i>Lagerheimia genevensis</i> (Chodat) Chodat	+		
	<i>Monoraphidium komarkovae</i> Nygaard	+	+	+
	<i>Monoraphidium minutum</i> (Nägeli) Komárková-Legnerová	+		
	<i>Oocystis borgei</i> J.W.Snow		+	
	<i>Oocystis marssoni</i> Lemmermann	+	+	
	<i>Oocystis parva</i> West & G.S.West	+	+	
	<i>Pandorina morum</i> (O.F.Müller) Bory		+	
	<i>Scenedesmus ecornis</i> (Ehrenberg) Chodat	+		
	<i>Scenedesmus linearis</i> Komárek	+		
	<i>Scenedesmus quadricauda</i> Chodat	+		
	<i>Shroederia</i> sp. Lemmermann		+	
	<i>Staurastrum chaetoceras</i> (Schröder) G.M.Smith	+	+	
<i>Tetraedron minimum</i> (A.Braun) Hansgirg	+			
	<i>Euglena</i> sp. Ehrenberg		+	
Euglenophyta	<i>Phacus</i> sp. Dujardin	+		
	<i>Trachelomonas</i> sp. Ehrenberg	+	+	+
Xanthophyta	<i>Centritractus brunneus</i> Fott		+	
	<i>Cryptomonas erosa</i> Ehrenberg	+	+	+
Cryptophyta	<i>Cryptomonas marssonii</i> Skuja		+	+
	<i>Rhodomonas minuta</i> var. <i>nannoplanctica</i> Skuja		+	+
Chrysophyta	<i>Dinobryon divergens</i> O.E.Imhof	+	+	+
	<i>Mallomonas</i> cf. <i>denticulata</i> Matvienko	+	+	+
	<i>Mallomonas globosa</i> Schiller	+	+	+
	<i>Microglena punctifera</i> (O.F.Müller) Ehrenberg	+		
	<i>Synura</i> sp. Ehrenberg	+		
Bacillariophyta	<i>Achnanthidium</i> spp. Kützing		+	
	<i>Asterionella formosa</i> Hassall	+		+
	<i>Amphora</i> sp. Ehrenberg ex Kützing		+	

<b>Spisak vrsta</b>		<b>S</b>	<b>Z</b>	<b>R</b>
	<i>Cyclotella</i> spp. (Kützing) Brébisson	+	+	+
	<i>Fragilaria crotonensis</i> Kitton	+		
	<i>Fragilaria vaucheriae</i> (Kützing) J.B.Petersen			+
	<i>Gyrosigma</i> sp. Hassall		+	
	<i>Ulnaria delicatissima</i> var. <i>angustissima</i> (Grunow) Aboal & P.C.Silva	+	+	+
	<i>Nitzschia acicularis</i> (Kützing) W.Smith	+		+
Dinophyta	<i>Ceratium hirundinella</i> (O.F.Müller) Dujardin	+	+	+
	<i>Peridinium umbonatum</i> Stein	+	+	+
	<i>Peridinium cinctum</i> (O.F.Müller) Ehrenberg	+	+	+
	<i>Peridiniopsis cunningtonii</i> Lemmermann	+	+	+
	<i>Peridiniopsis</i> cf. <i>sphaeroideum</i> (Christen) Bourrelly		+	
	<i>Gymnodinium aeruginosum</i> F.Stein		+	+
	<i>Gymnodinium latum</i> Skuja	+	+	+
UKUPNO	64 taksona	40	41	27

Najveći diverzitet algi zabeležen je u Zlatarskom jezeru, a najmanji u Radoinjskom. U Sjeničkom jezeru najveći diverzitet među algama zabeležen je u razdelu Chlorophyta, čak 42 %, dok je njihov diverzitet u Zlatarskom i Radoinjskom jezeru prepolovljen, a na čiji račun se povećava diverzitet Cyanobacteria u Zlatarskom, odnosno Dinophyta u Radoinjskom jezeru. U poređnom analizom diverziteta fitoplanktonskih zajednica Sjeničkog, Zlatarskog i Radoinjskog jezera, utvrđena je velika sličnost između ova tri jezera u diverzitetu većine prisutnih razdela algi, sem zelenih i cijanobakterija. Prema ukupnom diverzitetu najveća sličnost zabeležena je između Sjeničkog i Zlatarskog jezera, dok je u Radoinjskom jezeru zabeležen niži ukupni diverzitet.

Ukupna biomasa fitoplanktona za sva tri jezera predstavljena je u Tabeli 3. U poređujući sva tri jezera, najveću biomasu smo zabeležili u metalimnionu i epilimnionu Sjeničkog jezera. Najmanja produkcija, prema biomasi zabeležena je u Zlatarskom jezeru.

U Sjeničkom jezeru dominaciju u biomasi, u epilimnionu imaju krupni pripadnici razdela Dinophyta (*Ceratium hirundinella*), dok u meta i hipolimnionu dominiraju silikatne alge, prvenstveno zahvaljujući veoma brojnoj populaciji krupnih silikatnih algi *Ulnaria delicatissima* var. *angustissima*. U Zlatarskom jezeru, slično kao i u Sjeničkom, u epilimnionu ali i metalimnionu dominaciju imaju pripadnici razdela Dinophyta (*Ceratium hirundinella*), dok u hipolimnionu dominiraju silikatne alge. U Radoinjskom jezeru u sva tri sloja prema biomasi dominiraju silikatne alge.

Tabela 3. Ukupna biomasa fitoplanktona po jezerima  
Table 3. Total phytoplankton biomass in three lakes

Datum	Akumulacija	Stratifikovani sloj	Ukupna biomasa (mg/L)
8.8.2017	Radoinjsko jezero	EPILIMNION	0,26
		METALIMNION	0,31
		HIPOLIMNION	0,07
8.8.2017	Zlatarsko jezero	EPILIMNION	0,08
		METALIMNION	0,12
		HIPOLIMNION	0,12
9.8.2017	Sjeničko jezero	EPILIMNION	0,45
		METALIMNION	0,48
		HIPOLIMNION	0,07

#### Procena ekološkog potencijala prema Pravilniku RS

Prema Pravilniku o parametrima ekološkog i hemijskog statusa površinskih voda i parametrima hemijskog i kvantitativnog statusa podzemnih voda (Sl. glasnik RS, br. 74/11), prema abudanci cijanobakterija (ćelija/mL) sva tri jezera (Tabela 3) spadaju u II klasu ekološkog potencijala, međutim prema procentualnom udelu cijanobakterija u zajednici fitoplanktona prema brojnosti ćel/ml sva tri jezera su van kategorije (V klasa ekološkog potencijala). No, međutim, ako posmatramo procentualni udeo cijanobakterija u ukupnoj biomasi fitoplanktona, u svim slojevima svih jezera, taj udeo je manji od 1%, odnosno kreće se od 0,03 do 0,3%.

Na osnovu istog pravilnika, koncentracija hlorofila *a* zabeležena u sva tri jezera ( u Radoinjskom jezeru 1,8 µg/L, u Zlatarskom 1,4 µg/L i u Sjeničkom 4,6 µg/L) ne prevazilazi maksimalno dozvoljene vrednosti za II klasu ekološkog potencijala akumulacija formiranih na vodnim telima tipa 4, u koje spadaju sve tri akumulacije.

Prema Svetskoj zdravstvenoj organizaciji (Chorus i Bartram, 1999) pri monitoringu akumulacija za vodosnabdevanje ako, broj ćelija cijanobakterija ne prevazilazi 2000 ćelija/L, smatra se da nema rizika od pojave cvetanja i trovanja cijanotoksinima. Ipak se preporučuje nedeljno uzorkovanje i kontinuirani monitoring sirove vode.

Tabela 3 Abudanca i procentualni udeo (prema abudanci) cijanobakterija u sva tri jezera  
 Table 3. Abundance and percentage of cyanobacteria in three lakes

		Cyano ćel/mL	Suma ćel/mL	Cyano %
Sjениčko jezero	EPI	154	312	49,36
	META	71	325	21,85
	HIPO	20	45	44,44
Zlatarsko jezero	EPI	270	427	63,23
	META	287	327	87,77
	HIPO	114	191	59,69
Radoinjsko jezero	EPI	25	343,4	7,28
	META	56	261	21,46
	HIPO	124	171	72,51

## ZAKLJUČAK

Sve tri ispitivane akumulacije na reci Uvac imaju stabilnu strukturu fitoplanktona, na šta ukazuje i visok diverzitet (ukupno 64 taksona) cijanobakterija i algi. Prema Karlsonovom indeksu na osnovu ukupnog fosfora TSI (TP) sve tri akumulacije su eutrofne, ipak prema TSI (SD) i TSI (CHL), Radoinjsko i Zlatarsko jezero se mogu okarakterisati kao oligotrofne, dok je prema istim vrednostima Sjениčko jezero mezotrofno do eutrofno. Iako je u prošlosti bilo zabeleženo cvetanje *P. rubescens*, u našim rezultatima nije nađeno prisustvo ove cijanobakterije.

## Zahvalnica

Ovo istraživanje urađeno je u saradnji sa Institutom za vodoprivredu "Jaroslav Ćerni" i pod pokroviteljstvom projekta MNTR OI176020. Jedan deo istraživanja urađeno je za potrebe projekta Elaborat o zonama sanitarne zaštite akumulacija na Uvcu, finansiranog od strane Ministarstva poljoprivrede, šumarstva i vodoprivrede, Republičke Direkcije za vode.

## LITERATURA:

- Carlson, R.E. (1977): A trophic state index for lakes. *Limnology and Oceanography*, 22, 361-369.
- Carlson, R.E. and Simpson, J.T. (1996): A coordinator's guide to volunteer lake monitoring methods. Madison, North American Lake Management Society.
- Chorus, I. and J. Bartram (eds.). 1999. *Toxic Cyanobacteria in Water—A Guide to Their Public Health Consequences, Monitoring, and Management*, E & FN Spon, published on behalf of the World Health Organization, New York.
- Hillebrand, H., Dürselen, C. D., Kirschtel, D., Pollinger, D. and Zohary, T.(1999): Biovolume calculation for pelagic and benthic microalgae. *Journal of Phycology*, 35(2), 403-424.
- Službeni glasnik Republike Srbije (Sl. glasnik RS) (2011): Pravilnik o parametrima ekološkog i hemijskog statusa površinskih voda i parametrima hemijskog i kvantitativnog statusa podzemnih voda. 74/11.
- Stanković, S. (2005): *Jezeru Srbije: Limnološka monografija*. Beograd, Zavod za udžbenike i nastavna sredstva.
- Utermöhl, H. (1958): Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik. *Mitteilungen Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie*, 9, 1-38.
- Zavod za zaštitu zdravlja Srbije "Dr Milan Jovanović Batut"(1995): *Studija kvaliteta vode akumulacije Uvac 1994 – 95. godine*



## STRATIFIKACIJA POKAZATELJA KVALITETA VODE AKUMULACIJE „UVAC” (SEZONA SREDINA LETA – RANA JESEN 2017)

Branislav Mićković\*, Miroslav Nikčević\*, Stefan Skorić\*,  
Dušan Nikolić\*, Vesna Đikanović\*\*

\* *Institut za multidisciplinarna istraživanja, Univerzitet u Beogradu, Kneza  
Višeslava 1a, 11 000 Beograd, Srbija, e-mail: [baneklej@imsi.rs](mailto:baneklej@imsi.rs)*

\*\* *Institut za biološka istraživanja „Siniša Stanković”, Univerzitet u Beogradu,  
Bulevar despota Stefana 142, 11 060 Beograd, Srbija*

### REZIME

Cilj rada je da se opiše dubinska distribucija odabranih parametara kvaliteta vode (temperatura, koncentracija rastvorenog kiseonika, pH, konduktivitet i koncentracija hlorofila-a) u vodi akumulacije „Uvac” tokom sezone sredina leta – rana jesen 2017. godine. Tokom posmatranog dela vegetacione sezone vodu ove akumulacije odlikuje direktna termička stratifikacija. Dubinska distribucija ostalih praćenih parametara usko prati uspostavljenu termičku stratifikaciju.

KLJUČNE REČI: akumulacija, direktna stratifikacija, dubinska distribucija, kvalitet vode

## STRATIFICATION OF WATER QUALITY PARAMETERS IN THE "UVAC" RESERVOIR (MIDDLE OF SUMMER – EARLY AUTUMN 2017 SEASON)

### ABSTRACT

The aim of the study was to describe the depth distribution of selected water quality parameters (temperature, dissolved oxygen content, pH, conductivity and chlorophyll – a concentration) in the "Uvac" reservoir during the middle of the summer to early autumn 2017. During observed part of the vegetation season, direct thermal stratification of water was recorded. Depth distribution of other water quality parameters closely followed the thermal stratification.

KEY WORDS: reservoir, direct stratification, depth distribution, water quality

## UVOD

Akumulacija „Uvac” formirana je na istoimenoj reci 1979. godine, sa osnovnom namenom za hidroenergetske potrebe. Nalazi se na 985 m nadmorske visine, po čemu je na drugom mestu među akumulacijama u Srbiji, i po svojim morfološkim karakteristikama (dužina do 25 km, maksimalna dubina 108 m, površina 6,1 km<sup>2</sup>, zapremina 212 000 000 m<sup>3</sup>) spada među najveće akumulacije u Srbiji (Stanković, 2005). Odlikuje je veliko kolebanje nivoa vode, koje je vezano za sezonski režim rada hidroelektrane. Po formiranju, kvalitet vode ove akumulacije bio je prve klase, odlikovali su je oligosaprobni uslovi sredine i visok sadržaj rastvorenog kiseonika u vodi (Stanković, 2005). Međutim, sa starenjem akumulacije, kao i zbog pojačanog zagađenja došlo je do pogoršanja hemijskog kvaliteta vode. Dosadašnja istraživanja fizičko – hemijskih karakteristika vode akumulacije su malobrojna (Čađo i sar., 2015; Mićković i sar., 2015). Denić i sar. (2015) daju ocenu ekološkog potencijala ovog vodenog tela na osnovu bioloških i fizičko – hemijskih elemenata kvaliteta. Cilj rada je da se dokumentuje dubinska distribucija odabranih parametara kvaliteta vode, čime se daje doprinos poznavanju statusa kvaliteta vode u akumulaciji. Dobijeni rezultati imaju nesumnjivi značaj za potrebe monitoringa, kao i za potrebe višenamenskog racionalnog i održivog korišćenja akumulacije.

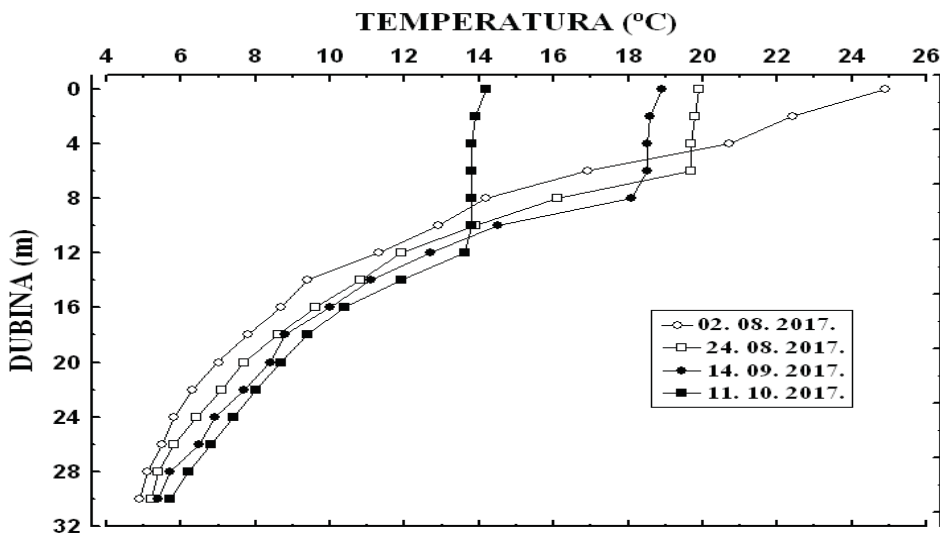
## MATERIJAL I METODE

Merenja fizičko-hemijskih karakteristika vode vršena su tokom perioda sredina leta do rane jeseni u zoni brane akumulacije „Uvac” (pozicija N: 43° 25,072', EO: 19° 55,644'), četiri puta tokom 2017 godine (2.08., 24.08., 14.09. i 11.10). Od površine do 30 m dubine, sa intervalom od 2 m, mereni su sledeći pokazatelji kvaliteta vode: temperatura, sadržaj rastvorenog kiseonika, konduktivitet, pH, koncentracija hlorofila-a. Za potrebe merenja kvaliteta vode korišćena je multiparametrijska sonda YSI 6600 V2. Sva merenja obavljena su u prepodnevnom časovima (oko 11 h) po sunčanom vremenu bez vetra.

## REZULTATI I DISKUSIJA

Na slikama 1. do 6. dat je prikaz dubinske distribucije praćenih pokazatelja kvaliteta vode akumulacije „Uvac”, za ceo posmatrani period (sredina leta – rana jesen 2017. godine). Kod svih temperaturnih dubinskih profila zabeležena je direktna stratifikacija registrovanih vrednosti (Slika 1.).

Termička stratifikacija trajala je tokom cele praćene sezone, a odlikuje je postepeno smanjenje temperatura epilimniona, kao i njegovo produbljivanje u funkciji vremena. U zavisnosti od termina merenja, debljina epilimniona varirala je u rasponu od 4 m do 12 m, debljina metalimniona varirala je u rasponu od 6 m do 10 m, dok se kod sva četiri registrovana profila hipolimnion proteže od 16 m naniže. Sa odmicanjem sezone, temperatura gornjih slojeva vode postepeno se snižava usled čega dolazi do povećanja debljine epilimniona.

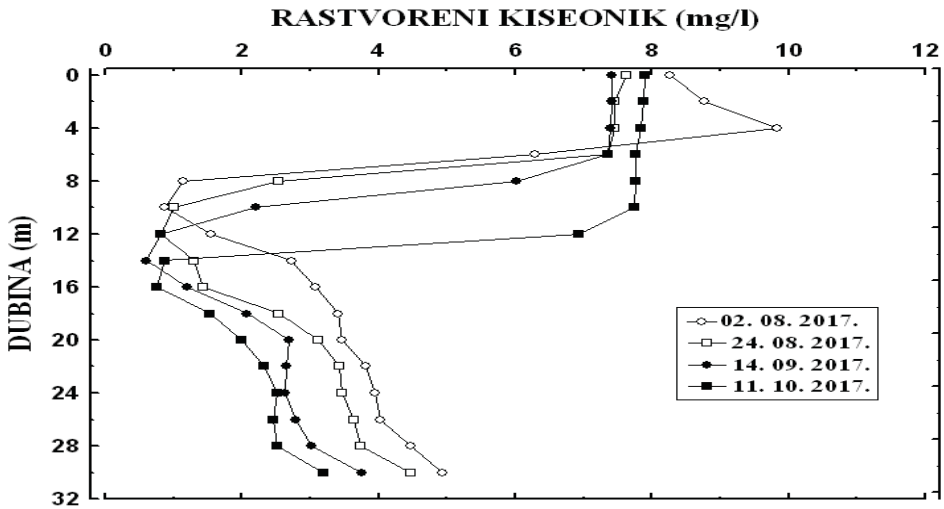


Slika 1. Dubinska distribucija temperature vode akumulacije zabeležena tokom sezone sredina leta – rana jesen 2017. godine

Figure 1. Depth distribution of water temperature recorded in the middle of summer to early autumn 2017

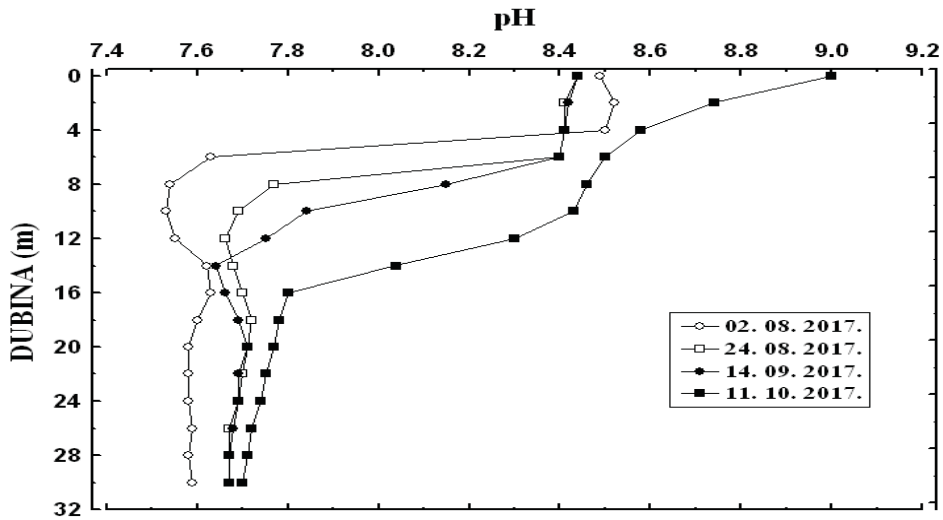
Stratifikaciju temperature prati stratifikacija sadržaja rastvorenog kiseonika (Slika 2.). U sloju epilimniona zabeležene su povišene koncentracije rastvorenog kiseonika, koje su samo tokom merenja vezanih za početak avgusta dostizale supersaturacijske vrednosti (do 109,4%). Koncentracija rastvorenog kiseonika naglo opada u zoni metalimniona, gde su sredinom septembra i u prvoj dekadi oktobra registrovane najniže vrednosti ovog parametra od 0,6 mg/l i 0,87 mg/l. U hipolimnionu zabeležen je postepeni oporavak sadržaja rastvorenog kiseonika. Na najdubljoj mernoj tački (30 m) koncentracija rastvorenog kiseonika bila je u rasponu od 3,2 mg/l do 4,94 mg/l, odnosno od 25% do 38,5% saturacije.

Sva četiri registrovana dubinska gradijenta pH odlikuje jasna stratifikacija vrednosti (Slika 3.). Povišene vrednosti pH (> 8) zabeležene su u sloju epilimniona. U prvoj dekadi oktobra, na površini zabeležena je maksimalna vrednost pH u iznosu od 9,0 jedinica. U metalimnionu zabeležen je značajan pad vrednosti pH sa apsolutnim amplitudama od oko 0,8 jedinica. U sloju hipolimniona pH vrednosti su ujednačene i u zavisnosti od termina merenja na najdubljoj mernoj tački iznosile su 7,6, odnosno 7,7.



Slika 2. Dubinska distribucija koncentracije rastvorenog kiseonika u vodi akumulacije zabeležena tokom sezone sredina leta – rana jesen 2017. godine

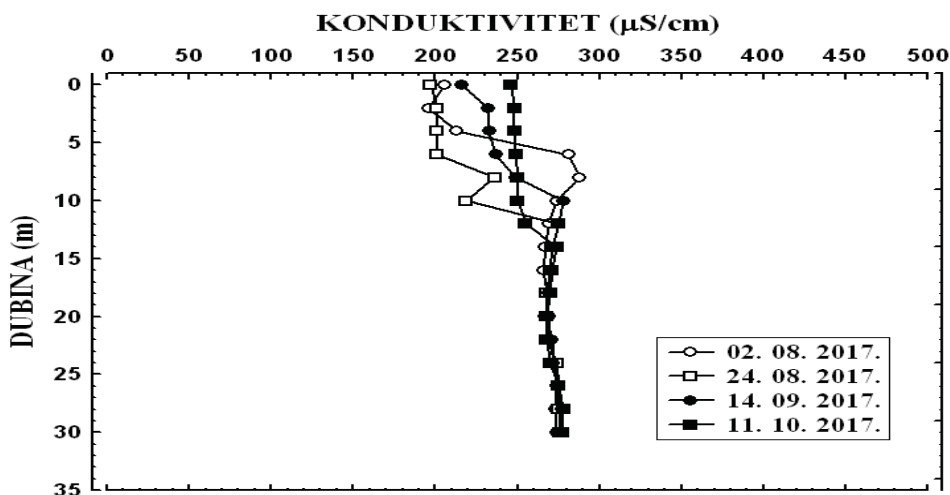
Figure 2. Depth distribution of dissolved oxygen content recorded in the middle of summer to early autumn 2017



Slika 3. Dubinska distribucija vrednosti pH u vodi akumulacije zabeležena tokom sezone sredina leta – rana jesen 2017. godine

Figure 3. Depth distribution of pH values recorded in the middle of summer to early autumn 2017

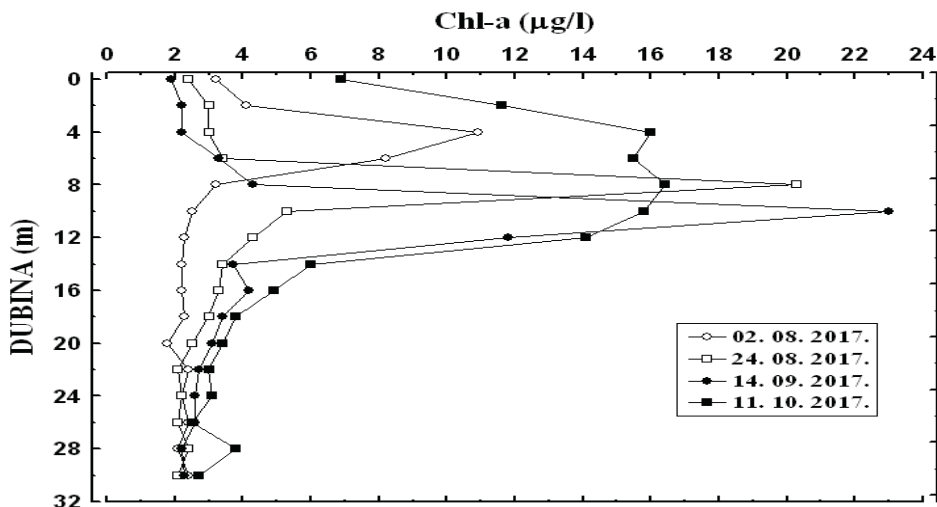
Na slici 4. dat je prikaz dubinske distribucije vrednosti konduktiviteta, zabeleženih za celu istraživanu sezonu. Kod registrovanih profila, karakteristično je da su vrednosti konduktiviteta u slojevima epilimniona i hipolimniona bile ujednačene, dok sloj metalimniona odlikuje blago variranje vrednosti ovog parametra. U avgustu vrednosti konduktiviteta u epilimnionu iznosile su oko 200  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , u septembru oko 230  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , dok su ove vrednosti u oktobru iznosile oko 250  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . U hipolimnionu, vrednosti konduktiviteta bile su ujednačene, kako za svaki od registrovanih profila, tako i u odnosu na celokupnu istraživanu sezonu, i iznosile su oko 270  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .



Slika 4. Dubinska distribucija vrednosti konduktiviteta u vodi akumulacije zabeležena tokom sezone sredina leta – rana jesen 2017. godine

Figure 4. Depth distribution of conductivity values recorded in the middle of summer to early autumn 2017

Na slici 5. prikazani su dubinski profili koncentracije hlorofila-a zabeleženi tokom terenskih istraživanja. Za ceo posmatrani period koncentracija hlorofila-a u vodi akumulacije „Uvac” varirala je u rasponu od 1,8  $\mu\text{g}/\text{l}$  do 23  $\mu\text{g}/\text{l}$ . Maksimalna koncentracija hlorofila-a u vodi akumulacije „Uvac” zabeležena je sredinom septembra. Dubinsku distribuciju koncentracije hlorofila-a odlikuje jasna stratifikacija, sa naglim porastom vrednosti u metalimnionu za period početak avgusta – sredina septembra. U oktobru, povišene vrednosti koncentracije hlorofila-a registrovane su u sloju epilimniona.



Slika 5. Dubinska distribucija koncentracije hlorofila-a u vodi akumulacije zabeležena tokom sezone sredina leta – rana jesen 2017. godine

Figure 5. Depth distribution of chlorophyll-a concentrations recorded in the middle of summer to early autumn 2017

Akumulacija „Uvac” spada u umereno topla dimiktička jezera, za koje je u periodu direktne termičke stratifikacije karakteristično formiranje jasno diferenciranih slojeva epilimniona, metalimniona i hipolimniona (Čađo i sar., 2015; Mićković i sar., 2015). Čađo i sar. (2015) iznose da se termička stratifikacija vode akumulacije uspostavlja u maju i da traje tokom celog vegetacionog perioda, pri čemu je dinamika procesa stratifikacije u velikoj meri saglasna sa ovde iznetim rezultatima. Uspostavljanje direktne termičke stratifikacije, zbog nemešanja voda diferenciranih slojeva, direktno se ispoljava na dubinsku distribuciju ostalih parametara kvaliteta vode. Tokom većeg dela vegetacione sezone konstatovana je pojava drastičnog pada sadržaja rastvorenog kiseonika u metalimnionu, u čijim su donjim slojevima registrovane izuzetno niske koncentracije rastvorenog kiseonika (< 1 mg/l).

Zbog temperaturnih razlika sprečeno je slobodno difundovanje kiseonika iz kiseonikom bogatijeg epilimniona, pa su hipoksični uslovi u metalimnionu posledica povišenog utroška kiseonika na intenzivne procese razgradnje i procesa respiracije.

Koncentracija vodonikovih jona (pH) je u uskoj vezi sa režimom rastvorenih gasova. Tokom obdanice povišena je fotosintetička aktivnost planktonskih algi, što rezultira povećanjem vrednosti pH u epilimnionu, odnosno povećanjem sadržaja rastvorenog kiseonika u ovom vodenom sloju.

Vrednosti konduktiviteta odnose se na koncentraciju jonizovanih rastvorenih materija u vodi i predstavljaju značajan indikator u kojem se opsegu nalaze alkalinitet i tvrdoća vode. Takođe, vrednosti konduktiviteta su komplementarne koncentraciji totalno rastvorenih materija u vodi, pa se primenom jednostavne formule mogu relativno precizno odrediti koncentracije potonjeg parametra kvaliteta vode.

Koncentracija hlorofila-a predstavlja najznačajniji parametar pri utvrđivanju indeksa trofičkog statusa jezera (Carlson, 1977). Ovaj parametar je i dobar indikator zagađenja vode nutrijentima. Koncentracije hlorofila-a i njegova vertikalna distribucija u odnosu na temperaturu u saglasnosti su sa hipotezom metalimnionskog maksimuma hlorofila za oligotrofno-mezotrofna jezera (Moll i Stoermer, 1982). Na osnovu registrovane maksimalne godišnje vrednosti ovog parametra može se konstatovati da jezersku zonu u nivou brane odlikuju mezotrofni uslovi.

## ZAKLJUČAK

Rezultati dobijeni istraživanjem dubinske distribucije odabranih parametara kvaliteta vode mogu imati nesumnjivi značaj za potrebe monitoringa, kao i za potrebe višenamenskog racionalnog i održivog korišćenja akumulacije.

### Zahvalnica

Istraživanje je podržano od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije (br. projekta TR 37009)

## LITERATURA

- Carlson, R. E. (1977). A trophic state index for lakes. *Limnology and Oceanography*, 22 (2), 361-369.
- Denić, Lj., Čado, S., Đurković, A., Dopuđa-Glišić, T., Novaković, B., Stojanović, Z. (2015). Ocena ekološkog potencijala akumulacije „Sjenica” na osnovu bioloških i fizičko-hemijskih elemenata kvaliteta. 44. konferencija o aktuelnim problemima korišćenja i zaštite voda „Voda 2015”, Zbornik radova, 59-64.
- Mićković, B., Nikčević, M., Smederevac-Lalić, M., Đikanović, V. (2015). Sezonski aspekt fizičko-hemijskih karakteristika voda uvačkih akumulacija. 44. konferencija o aktuelnim problemima korišćenja i zaštite voda „Voda 2015”, Zbornik radova, 123-130.
- Moll, R. A., Stoermer, E. F. (1982). A hypothesis relating trophic status and subsurface chllorophyll maxima of lakes. *Arch. Hydrobiol.*, 94 (4), 425-440.
- Stanković, M. S. (2000). Jezera Srbije: limnološka monografija. Zavod za izdavanje udžbenika i nastavna sredstva, Beograd, pp 224.
- Čado, S., Đurković, A., Denić, Lj., Dopuđa-Glišić, T., Stojanović, Z. (2015). Ocena ekološkog potencijala akumulacije „Sjenica” na osnovu bioloških i fizičko-hemijskih elemenata kvaliteta. 44. konferencija o aktuelnim problemima korišćenja i zaštite voda „Voda 2015”, Zbornik radova, 65-70.



## HETEROTROFNA AKTIVNOST AKVATIČNIH MIKROORGANIZAMA KAO PARAMETAR PROCENE ORGANSKOG OPTEREĆENJA VODE RIBNJAKA

Milan Matavulj<sup>1</sup>, Jelica Simeunović<sup>1</sup>, Karolina Nemes<sup>1</sup>,  
Zdenka Tica<sup>2</sup>, Svjetlana Lolić<sup>3</sup>, Đorđe Jovanović<sup>4</sup>,  
Slobodanka Vujčić<sup>5</sup>

<sup>1</sup>*Departman za biologiju i ekologiju, Prirodno-matematički fakultet, Univerzitet u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 2, 21000 Novi Sad, E-mail:*

*[milan.matavulj@dbe.uns.ac.rs](mailto:milan.matavulj@dbe.uns.ac.rs)*

<sup>2</sup>*Ribnjak Ečka, Lukino Selo kod Zrenjanina.*

<sup>3</sup>*Prirodno-matematički fakultet u Banjaluci;*

<sup>4</sup>*Univerzitet Privredna akademija, FIMEK, Novi Sad;*

<sup>5</sup>*Univerzitet za poslovne studije, Banja Luka.*

### REZIME

Tokom tridesetak godina korišćenja metode određivanja biohemijske, heterotrofne aktivnosti akvatičnih mikroorganizama, putem merenja nivoa enzimске (fosfatazne) aktivnosti u okviru monitoringa stanja i kvaliteta površinskih voda naših geografskih prostora, ovaj parametar se afirmisao kao pouzdan, verodostojan, i efikasan indikator u brzoj, preliminarnoj dopunskoj analizi kvaliteta i ekološkog statusa voda ribnjaka i drugih površinskih slatkovodnih ekosistema. Na primeru voda ribnjaka Ečka potvrđena je pouzdanost i verodostojnost procene stanja i kvaliteta vode, evaluiranog na osnovu ovog ekofiziološkog parametra.

KLJUČNE REČI: heterotrofna aktivnost, fosfataze, organsko opterećenje, ribnjaci, monitoring.

## HETEROTROPHIC ACTIVITY OF AQUATIC MICROORGANISMS AS A PARAMETER FOR THE ESTIMATION OF FISHPOND WATER ORGANIC LOAD

### ABSTRACT

On the basis of statistically significant correlation between classical microbiological (and other) water quality indicators and phosphatase activity index, in 1986 (Matavulj, Ph.D.

Thesis) the first standardized system for a classification of surface freshwaters into the categories of their quality considering biodegradable organic contaminants load, has been published. More than thirty years of experience of use of this biochemical parameter testifies the phosphatase activity index as a reliable additional indicator in fast preliminary water quality monitoring. On the case of Ečka fishponds, the reliability of the assessment of the status and quality of water, evaluated on the basis of this eco-physiological parameter, has been confirmed.

KEY WORDS: Heterotrophic activity, phosphatases, organic load, fishponds, monitoring

## UVOD

Mada ne i najopasnija, opterećenja površinskih voda organskim netoksičnim polutantima, značajna su komponenta ukupnog opterećenja voda, naročito kada su i u funkciji prirodnih resursa vodosanbdevanja, između ostalog i u ribnjačarskoj proizvodnji. Kontrola i podešavanje kvaliteta vode jedan su od odlučujućih faktora u postizanju optimalnih rezultata prilikom proizvodnje ribe. Budući da u velikom broju slučajeva zagađenja površinskih voda, bilo autohtonim, bilo alohtonim, antropogenim otpadom predstavljaju u suštini biološki fenomen, logično je da ta opterećenja treba da se mere biološkim pokazateljima (James, 1979). Jedan od danas najprisutnijih stavova jeste da se prilikom monitoringa stanja i kvaliteta površinskih voda biološki (mikrobiološki i hidrobiološki) s jedne, i fizičko-hemijski parametri s druge strane, najčešće uzimaju u obzir alternativno. Međutim, većina bioloških parametara indikatori su ekološke ravnoteže ili stepena prouzrokovane neravnoteže, dok se hemijskim metodama mere koncentracije pojedinih polutanata. Prema našim iskustvima, iz mnogo razloga nezavisan fizičko-hemijski, ili nezavisan biološki pristup, često ograničen samo na sanitarni bakteriološki aspekt, nedovoljni su i neadekvatni. Koncentracija polutanata ne ukazuje na stanje biocenoze vodenog ekosistema, značajnog faktora stanja vode, dok s druge strane biološki indikatori ne menjaju svoj kvantitativni i kvalitativni sastav simultano sa promenom koncentracije kontaminanata. Otuda potiču često kontradiktorni podaci o stanju vode, uporedo procenjivanom na osnovu bioloških s jedne, i fizičko-hemijskih parametara s druge strane. Budući da će indikatorski organizmi ostati prisutni u vodi još izvesno vreme nakon nestanka supstrata, kao i da sa pojavom veće koncentracije nutrijenata neće doći do istovremene i istoprostorne promene brojnosti i kvaliteta populacija indikatorskih organizama, ali će zato biohemijski odgovor zatečene populacije, zasnovan na indukciji produkcije i aktivnosti adaptivnih enzima biti skoro momentalan, biohemijski pristup monitoringu stanja i kvaliteta voda nameće se kao karika koja će povezati biološke i hemijske metode u ovakvim istraživanjima.

Savremene biohemijske metode, od kojih je jedna merenje heterotrofne aktivnosti akvatičnih mikroorganizama putem određivanja nivoa enzimske aktivnosti vode, omogućavaju kvantifikaciju transformacije polutanata prisutnih u ispitivanom uzorku vode od strane organotrofne komponente vodene mikroflore. Ovakva informacija povezuje koncentraciju organskih polutanata i brzinu njihove mineralizacije s jedne, sa fiziološkim stanjem heterotrofnih saprotrofa s druge strane, što obezbeđuje uvid u "ekofiziološko stanje

vode” ukoliko je posmatramo kao specifičan “biosistem”. Rezultati naših ranijih istraživanja (Matavulj i sar., 1976, 1978, 1990; Matavulj i Bokorov, 1991), ukazuju na univerzalno prisustvo nespecifičnih fosfomonoestar-hidrolaza (kiselih, neutralnih i alkalnih fosfataza) kod vodenih mikroorganizama. Fosfataze se kod njih javljaju kao ekstracelularni ektoenzimi, slobodni enzimi u vodi ili pričvršćeni za čestice supstrata, tzv. partikularni enzimi. Takođe se nalaze i kao intracelularni endoenzimi; konstitutivni i adaptivni.

#### Indeks fosfatazne aktivnosti (IFA)

Budući da povećana koncentracija kompleksnih organskih polutanata indukuje produkciju i povećan nivo aktivnosti ovih enzima, stepen njihove aktivnosti u vodi odražava nivo heterotrofne aktivnosti prisutnih mikroorganizama i posredno ukazuje na koncentraciju organofosfatnih polutanata. Pošto je ovaj tip organskih jedinjenja relativno proporcionalno zastupljen u ukupnim kompleksnim polutantima, nivo fosfatazne aktivnosti vode oslikava stanje ukupnog organskog opterećenja vodenih ekosistema kao recipijenata.

Uporednim analizama kvaliteta voda klasičnim mikrobiološkim i modernim biohemijskim metodama ustanovili smo visok stepen podudarnosti mikrobioloških i enzimoloških indikatora opterećenja vode organskim kontaminantima (Matavulj, 1986; Matavulj i sar., 1982, 1984b, 1987, 1988, 1989a,b). Statistički signifikantnu korelaciju između klasičnih mikrobioloških (ukupan broj bakterioplanktona, broj heterotrofnih i broj fakultativno oligotrofnih bakterija), hemijskih (količina organskih fosfata, količina ortofosfata) i biohemijskih (BPK<sub>5</sub>) pokazatelja kvaliteta površinskih voda, smatrali smo relevantnom osnovom za predlaganje i uvođenje nivoa enzimske (fosfatazne) aktivnosti vode kao dopunskog biohemijskog indikatora u monitoringu kvaliteta voda.

Budući da je kod voda sa varijabilnom elektrohemijskom reakcijom uočen uticaj pH na aktivnost pH-specifičnih enzima, za indikovanje organskog opterećenja izračunat je “Indeks fosfatazne aktivnosti” – IFA, kao srednja vrednost aktivnosti kiselih, neutralnih i alkalnih fosfomonoestar-hidrolaza, i to njihove potencijalne aktivnosti, pošto je određivana pri podešenim pH optimumima i temperaturi od 30°C. Određivanjem ovakve “potencijalne aktivnosti” uniformisana je i standardizovana metodologija za ispitivanje različitih voda, kao i veoma dinamičke prirode voda istog staništa i lokaliteta.

Poređenjem sa ranije ustanovljenim sistemima klasifikacije slatkih površinskih voda na osnovu mikrobioloških i drugih indikatora (Matavulj i sar, 1982, 1984a,b), objavili smo prvi standardizovan sistem za određivanje kvaliteta površinskih voda u smislu njihovog opterećenja biorazgradljivim, netoksičnim organskim polutantima, a na osnovu IFA (Matavulj, 1986), ili PAI (Phosphatase Activity Index) (Matavulj i sar. 1990) (Tab. 1). Tokom proteklih tridesetak godina ova biohemijska metoda korišćena je u monitoringu stanja i kvaliteta vode reka (Matavulj i sar, 1989a,b; Todorova et al, 2017) i jezera (Matavulj i sar, 1984; Matavulj i Flint, 1987; Đukić i sar, 1991, Zlatković et al, 2010; Kolarević et al, 2012; Babić et al, 2013; Schneider and Topalova, 2013, 2016; Orban et al, 2017) naših geografskih prostora i šire (Song et al, 2006; Chen Yan-ting et al, 2011; Zhang et al, 2015). Fosfatazna aktivnost heterotrofne mikroflore ispitivana je i kao pokazatelj

procesa prečišćavanja otpadnih voda, kako u laboratorijskim uređajima, tako i u sistemima za prečišćavanje otpadnih voda proizvodnih pogona (Petrović i sar. 1982, 1985; Matavulj i sar, 1983, Gantar i sar., 1986; Topalova et al, 2013; Todorova et al, 2015).

Uverenja istraživača o manjkavosti postojećih sistema procene stanja i kvaliteta površinskih voda rezultovala su predlozima uvođenja novih, i po mišljenju predlagača potpunijih i pouzdanijih. Jedan od takvih sistema je i Water Quality Index (WQI) , predložen od strane Engineering Division of the Scottish Development Department (1976); (Ćirić i Nikolić, 1995). Ne osporavajući metodološki pristup, mislimo da je zasnivanje predloženog WQI skoro isključivo na fizičko-hemijskim parametrima neopravdano. Svođenje bioloških parametara samo na sanitarni bakteriološki aspekt neopravdano je, pogotovo kada su u pitanju potrebe sagledavanja ekološkog stanja i statusa površinskih voda s aspekta nivoa saprobnosti i eutrofije. Uvođenje većeg broja bioloških parametara obezbedilo bi bolju osnovu za razumevanje složenih ekoloških procesa i bolju i pouzdaniju procenu kvaliteta i ekološkog statusa slatkih voda, posebno ako su u službi resursa vodosnabdevanja. Ćurčić i Čomić (2002), predlažu uvođenje mikrobiološkog mWQI po analogiji sa škotskim, pretežno na fizičko-hemijskim parametrima zasnovanom WQI.

## MATERIJAL I METODE

Voda iz produkcionih bazena (jezera) ribnjaka Ečka uzorkovana je dva puta, krajem avgusta meseca. Mikrobiološke i hidrobiološke analize urađene su prema standardnoj metodologiji (Petrović i saradnici, 1998; Grginčević i Pujin, 1998). Kategorizacija ispitivanih voda prema klasama kvaliteta (boniteta) izvršena je na osnovu postojećih sistema (Kohl, 1975; Kavka, 1994; Pantle i Buck, 1955; Matavulj, 1986).

## REZULTATI I DISKUSIJA

U okviru uspostavljenog monitoringa kvaliteta vode produkcionih jezera ribnjaka, pažnja je posvećena hemijskim, ekofiziološkim, hidrobiološkim i mikrobiološkim parametrima koji su mogli da ukažu na uzroke uginuća ribe, naročito u jezeru Mika, primećenim u više navrata od leta 2004. god. do danas. Rezultati analiza prikazani su tabelarno (Tab. 2-5).

Na osnovu dobijenih rezultata, produkcionih bazeni ribnjaka Ečka, u vreme ispitivanja mogli su se generalno podeliti u dve grupe:

- 1) Produkciona jezera: Brana I, Šovajka, Čikoš I i Južno jezero 4/4.
- 2) Produkciona jezera: Belo jezero (1 i 2), Koča i Mika.

Tabela 1. Kategorizacija vode prema opterećenosti organskim polutantima a na osnovu indeksa fosfatazne aktivnosti vode (Matavulj, 1986), modifikovana za vode ribnjaka.  
 Table 1. Categorization of water according to the load on organic pollutants and on the basis of the water phosphatase activity index (Matavuly, 1986), modified for fishpond waters.

Indeks fosfatazne aktivnosti*	Predlog naziva kategorije	Osobine vode ribnjaka (uslovno)	Stepen heterotrofnih transformacija organske materije	odgovara klasifikaciji po:		
				Kohl-u (1975)	Tümping-u (1969)	Pantle-Buck-u (1955)
ispod 0,01	IA	maksimalno čista	I - maksimalno nizak	I	I	katarobna zona
0,1-0,10	IB	veoma čista	II - veoma nizak			
0,10-0,25	I-II	čista	III - nizak			
0,25-0,50	IIA	zadovoljavajuće čista	IV - umeren	I-II	II	oligo-saprobna zona
0,50-1,00	IIB	slabo opterećena	V - zadovoljavajući	II		
1,00-2,50	II-III	umereno opterećena	VI – visok	II-III	II	<input type="checkbox"/> mezo-saprobna
2,50-5,00	IIIA	opterećena	VII – veoma visok	III		<input type="checkbox"/> mezo-saprobna
5,00-7,50	IIIB	veoma opterećena	VIII – izuzetno visok	III-IV	III	<input type="checkbox"/> mezo-saprobna
7,50-10,00	III-IV	kritično opterećena	IX – kritično visok			<input type="checkbox"/> mezo-saprobna
10,00-15,00	IVA	izuzetno opterećena	X – kritično visok*	IV	IV	poli-saprobna
15,00-20,00	IVB	maksimalno opterećena	XI – kritično visok**			
iznad 20,00 *( <input type="checkbox"/> mol/s/dm <sup>3</sup> pNP) 30 °C	V	van okvira kategorizacije za stanje prirodnih voda	XII – maksimalno visok			

Prva četiri navedena jezera karakterisala su se relativno stabilnim metabolizmom vode sa vrednostima pH koje su se stabilizovale oko 6,5; sa vrednostima elektro-provodljivosti ispod 500 mS/cm, i sa vrednostima ukupnih suspendovanih čestica ispod 50mg/l (Tab. 2). Takođe, u sva četiri navedena jezera ukupni organski ugljenik nije prelazio koncentraciju od 7mg/l, a hemijska potrošnja kiseonika je bila ispod 20mg/l. Jedan od najznačajnijih izmerenih pokazatelja stanja vode je rastvoreni kiseonik koji je meren pred zoru, u 4 časa ujutro. Za razliku od potpune anoksije, konstatovane u vodi Belog jezera i u jezerima Koča i Mika, u prvoj grupi jezera koncentracija rastvorenog kiseonika nije ni u najkritičnijim časovima potrošnje padala na nulu. Ova četiri jezera razlikuju se od ostala tri (Belo jezero, Koča i Mika) i po rezultatima ispitivanja ekofizioloških parametara (Tab. 3). Za razliku od prva četiri, gde biološka potrošnja kiseonika nije prelazila 8mg/l, jezera iz druge grupe imala su BPK vrednosti iznad 10mg/l, a naročito kritična situacija je zabeležena u jezeru Mika. Takođe, o izuzetno visokim koncentracijama organske materije i o burnim metaboličkim, pre svega heterotrofnim, oksidacionim procesima, svedoči pripadnost vode jezera druge grupe alfa-mezosaprobnim vodama (Tab. 3). Kada je u pitanju stepen trofije, ova jezera su pripadala eu-politrofičnim ili čak politrofičnim vodama, sudeći prema koncentraciji hlorofila »a«, koja je najviše vrednosti dostigla u Belom jezeru, koga po visini primarne produkcije sledi jezero Mika, sa jezerom Koča na trećem mestu (Tab. 3).

I izmerene vrednosti enzimske aktivnosti vode, ukazuju na intenzivne procese heterotrofne razgradnje organske materije u jezerima iz druge grupe. Tako, u jezerima Mika i Belo jezero, stepen fosfatazne aktivnosti prevazilazi vrednosti nivoa enzimske aktivnosti karakteristične za akvatične ekosisteme i približava ove vode osobinama muljeva. Kategorizacija ribnjačarskih voda na osnovu vrednosti ovog parametra ukazuje na vrlo visok intenzitet heterotrofnih transformacija u svim ispitivanim produkcionim jezerima, koji svoje kritične vrednosti dostiže i prevazilazi ih po pravilu u jezerima druge grupe.

S obzirom na činjenicu da su izuzetno burni procesi enzimske razgradnje organske materije praćeni maksimalnom potrošnjom kiseonika, razumljivo je što je u vodi jezera druge grupe, gde je konstatovan kritično visok stepen biohemijskih heterotrofnih transformacija, istovremeno zabeležen izrazit deficit rastvorenog kiseonika, koji je padao na nulu u ranim jutarnjim časovima, što koincidira sa maksimalnom potrošnjom kiseonika u tamnoj fazi fotosinteze od strane prenamnožene algalne populacije i dodatne heterotrofne potrošnje kiseonika od strane saprotrofne bakterijske populacije.

Da su najintenzivniji procesi heterotrofne razgradnje organske materije u vreme ispitivanja bili prisutni u jezeru Mika, svedoči i najviši broj aerobnih saprotrofnih bakterija (Tab. 4), koji vodu ovog jezera svrstava u vrlo opterećene organskom materijom (II-III klasa boniteta po Kolu – Kohl, 1975), ali i relativno najviša brojnost ukupnih i fekalnih koliformnih bakterija (IV klasa po Kafki – Kavka, 1984) što ukazuje na uticaj dubrenja stajnjakom. Na još jedan mogući uzrok poremećaja u uzgoju ribe ukazuju podaci o kvantitativnom i kvalitativnom sastavu fitoplanktona (Tab. 5). Ovi podaci upozoravaju na mogućnost intoksikacije gajene ribe cijanotoksinima poreklom iz vrlo gusto zastupljene populacije cijanofita (*Cyanobacteria*), koje su u jezeru Mika konstatovane sa gustom i do 10.000 individua po mililitru ispitivane vode, i što je takođe alarmantno, u vodi Belog jezera sa populacijom od više od 36.000 individua po mililitru. Tako visoka brojnost ove grupe prokariota takođe može da prouzrokuje povremenu anoksiju vode.

Masovni razvoj cijanofita u jezeru Mika, uglavnom pripadnika vrsta *Cylindrospermum stagnale* i *Mycrocystis flos-aquae*, ali i visoka brojnost silikatne alge *Nitzschia acicularis* indikacija je alfa-mezosaprobnog stepena opterećenosti organskom materijom, ali i indikator povišenog saliniteta vode ribnjaka, što može da se potkrepi i najvišim vrednostima elektroprovodljivosti, konstatovanim baš u ovoj vodi (Tab. 2).

Što se tiče zooplanktona, u svim ribnjacima su konstatovani predstavnici grupa: *Protozoa*, *Rotatoria*, *Cladocera* i *Copepoda*, ali dominantni su predstavnici sitnih oblika *Rotatoria*. *Crustacea-e*, značajne kao prirodna hrana, javljaju se u izvesnom (malom) broju u ribnjacima druge grupe, ali i u ribnjaku Brana I. Poznato je da nepovoljan kiseonički režim može da negativno utiče i na ovu grupu organizama.

Tabela 2. Rezultati ispitivanja osnovnih hemijskih parametara, pokazatelja kvaliteta i stanja voda u produkcionim jezerima ribnjaka Ečka.

Table 2. Results of examination of basic chemical parameters, indicators of quality and condition of waters in the production lakes of Ečka fishpond.

Mesto uzorkovanja Sampling site ↓	pH	EP	NO <sub>3</sub>	USČ	UOU	SUR	HPK	O <sub>2</sub>
Brana I	6,51	463	< 0,5	9,9	2,6	< 0,5	8,4	1,03
Šovajka	6,57	450	< 0,5	16,6	4,2	1,2	12,1	4,55
Čikoš I	6,63	426	< 0,5	13,3	3,4	0,5	10,2	6,20
Južno jezero 4/4	6,75	491	< 0,5	47,0	5,6	1,0	17,2	2,82
Belo jezero 1	6,49	533	< 0,5	88,0	8,3	2,6	23,6	0,00
Belo jezero 2	6,33	519	< 0,5	100,0	8,4	2,4	24,6	0,00
Koča 1	6,35	568	< 0,5	146,0	8,6	0,7	27,8	0,18
Koča 2	6,39	565	< 0,5	126,0	7,1	0,6	23,4	0,26
Mika 1	6,32	637	< 0,5	53,0	13,2	7,2	32,0	0,00
Mika 2	6,21	639	< 0,5	51,0	12,8	6,4	32,0	0,00

**Značenje skraćenica:** EP = elektroprovodljivost (mS/cm); NO<sub>3</sub> = nitrati; USČČ = ukupne suspendovane čestice(mg/l); UOU = ukupni organski ugljenik (mg/l); SUR = površinski aktivne materije; HPK = hemijska potrošnja kiseonika; O<sub>2</sub> = koncentracija rastvorenog kiseonika merena pred zoru (mg/l).

**The meaning of abbreviations:** EP = electrical conductivity (mS/cm); NO<sub>3</sub> = nitrates; USČČ = total suspended matter (mg/l); UOU = total organic carbon (mg/l); SUR = surfactants; HPK = chemical oxygen consumption; O<sub>2</sub> = concentration of dissolved oxygen measured before dawn (mg/l).

Tabela 3. Rezultati ispitivanja ekofizioloških pokazatelja kvaliteta voda u jezerima ribnjaka Ečka

Table 3. Results of study of ecophysiological indicators of fishpond Ečka lakes water quality

Jezero Lake ↓	1	2	3	4	5	6	7
Brana I	3,9	β-mezo-saprobna	25,37	mezo-eu-trofičan	8,74	III-IV kritično opterećena	IX kritično visok
Šovajka	6,1	β-α-mezo-saprobna	14,69	mezo-trofičan	3,84	IIIA opterećena	VII veoma visok
Čikoš I	4,9	β-mezo-saprobna	3,34	mezo-eu-trofičan	2,58	IIIA opterećena	VII veoma visok
Južno jezero 4/4	8,0	β-α-mezo-saprobna	5,34	mezo-eu-trofičan	6,25	IIIB veoma opterećena	VIII izuzetno visok
Belo jezero 1	11,4	α-mezo-saprobna	347,1	poli-trofičan	23,5	V van klase za prirodne vode	XII maksimalno visok
Belo jezero 2	11,6	α-mezo-saprobna	320,4	poli-trofičan	22,5	V van klase za prirodne vode	XII maksimalno visok

Jezero Lake ↓	1	2	3	4	5	6	7
Koča 1	11,7	α-mezo-saprobna	40,05	mezo-eu-trofičan	15,0	IV-A maksimalno opterećena	X vrlo kritično visok
Koča 2	10,8	α-mezo-saprobna	42,72	mezo-eu-trofičan	13,38	IV-A izuzetno opterećena	X vrlo kritično visok
Mika 1	18,2	α-mezo-saprobna	170,9	eu-poli-trofičan	20,12	V van klase za prirodne vode	XII maksimalno visok
Mika 2	17,6	α-mezo-saprobna	160,2	eu-poli-trofičan	20,16	V van klase za prirodne vode	XII maksimalno visok

**Značenje brojeva u prvom redu** 1. Biološka potrošnja kiseonika (BPK) ( $\text{g}/\text{m}^3$ ) (Petrović i saradnici, 1998); 2. Stepen saprobnosti vode prema BPK (Felföldy, 1980); 3. Koncentracija hlorofila «a» ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) (Petrović i saradnici, 1998); 4. Stepen trofičnosti vodenog ekosistema prema koncentraciji hlorofila «a» (Felföldy, 1980); 5. Indeks fosfatne aktivnosti ( $\mu\text{mPNP}/\text{s}/\text{dm}^3$ ) (Matavulj, 1986); 6. Klasa opterećenosti organskom materijom (Матавуль, 1986); 7. Stepen biohemijskih heterotrofnih transformacija (Matavulj, 1997, Matavulj et al., 1999).

**The meaning of numbers in the first row:** 1. Biological oxygen demand (BOD) ( $\text{g}/\text{m}^3$ ) (Petrović et al., 1998); 2. The degree of saprobity of water according to the BOD (Felföldy, 1980); 3. Concentration of chlorophyll «a» ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) (Petrović et al., 1998); 4. The degree of trophicity of the aquatic ecosystem according to the concentration of chlorophyll «a» (Felföldy, 1980); 5. Phosphate activity index ( $\mu\text{mPNP}/\text{s}/\text{dm}^3$ ) (Matavulj, 1986); 6. The load of organic matter (Matavulj, 1986); 7. Degree of biochemical heterotrophic transformations (Matavulj, 1997, Matavulj et al., 1999).

Tab. 4. Rezultati ispitivanja mikrobioloških pokazatelja kvaliteta voda u jezerima ribnjaka Ečka

Tab. 4. Results of study of microbiological indicators of water quality of fishpond Echka lakes

Mesto uzorkovanja Sampling site ↓	1	2	3	4	5	6	7	8
Brana I	9.900	II	1.418	1.714	IV	0	3.500	0
Šovajka	3.317	II	900	579	III	0	0	200
Čikoš I	9.000	II	1.983	911	III	0	0	1.500
Južno jezero 4/4	7.311	II	1.367	516	III	2.050	0	100
Belo jezero 1	5.630	II	3.682	835	III	0	500	14.000
Belo jezero 2	4.783	II	3.212	992	III	0	0	100
Koča 1	7.500	II	1.173	634	III	0	0	550
Koča 2	8.183	II	1.438	941	III	0	0	1.150
Mika 1	11.850	II-III	5.637	2.950	IV	0	0	1.050
Mika 2	16.433	II-III	4.810	1.275	IV	0	0	100

**Značenje brojeva u prvom redu:** 1. brojnost aerobnog saprofitnog bakterioplanktona/ml (Petrović i saradnici, 1998); 2. Klasa po Kolu (Kohl, 1975); 3. Ukupni broj koliformnih bakterija/ml (Petrović i saradnici, 1998); 4. Broj fekalnih koliformnih bakterija/ml (Petrović i saradnici, 1998); 5. Procena kvaliteta vode sa sanitarnog aspekta po Kafki (Kavka, 1994); 6. Broj ćelija *Escherichia coli*/ml (Manafi and Kneifel, 1989); 7. Broj ćelija *Shigella* vrsta/ml (MERCK, 1996; Kilian and Bülow, 1976); 8. Broj *Salmonella* vrsta/ml (Kilian and Bülow, 1976).

**The meaning of the numbers in the first row:** 1. The number of aerobic saprophytic bacterioplankton/ $\text{cm}^3$  (Petrović et al., 1998); 2. Class according to Kol (Kohl, 1975); 3. Total number of coliform bacteria/ $\text{cm}^3$  (Petrović et al., 1998); 4. Number of faecal coliform bacteria/ $\text{cm}^3$  (Petrović et al., 1998); 5. Assessment of water quality from the sanitary aspect of Kafka (Kavka, 1994); 6. Number of cells of *E.coli*/ $\text{cm}^3$  (Manafi and Kneifel, 1989); 7. Number of cells of *Shigella* species/ $\text{cm}^3$  (MERCK, 1996; Kilian and Bülow, 1976). 8. *Salmonella* species/ $\text{cm}^3$  (Kilian and Bülow, 1976).



Tabela 5. Kvantitativni sastav planktona (ind./cm<sup>3</sup>) i (mg/dm<sup>3</sup>)  
 Table 5. Quantitative composition of plankton (ind./cm<sup>3</sup>) and (mg/dm<sup>3</sup>)

Biota↓	Mesto uzorkovanja – Sampling site									
	Brana I		Šovajka		Čikoš I		Južno jezero		Belo jezero I	
Fitoplankton (ind./cm <sup>3</sup> )										
Cyanobacteria	100		20		100		20		36.100	
Bacillariophyta	20		50		200		150		25.000	
Euglenophyta	200		40		10		300		5	
Chlorophyta	30		200		50		250		5.000	
Zooplankton (ind./cm <sup>3</sup> ), (mg/dm <sup>3</sup> )										
Protozoa	10	0,01	20	0,02	50	0,05	500	0,50	20	0,02
Rotatoria	1.000	2,00	100	0,20	400	0,80	200	0,40	200	0,40
Cladocera	-	-	-	-	10	0,20	50	1,00	10	0,20
Copepoda	-	-	10	0,16	50	0,80	5	0,08	10	0,16
Nauplius	-	-	50	0,20	350	0,20	10	0,04	10	0,04

Tabela 5. (nastavak). Kvantitativni sastav planktona (ind./cm<sup>3</sup>) i (mg/dm<sup>3</sup>)  
 Table 5. (Extension). Quantitative composition of plankton (ind./cm<sup>3</sup>) and (mg/dm<sup>3</sup>)

Biota ↓	Mesto uzorkovanja – Sampling site									
	Belo jezero 2		Koča 1		Koča 2		Mika 1		Mika 2	
Fitoplankton (ind./cm <sup>3</sup> )										
Cyanobacteria	4.000		40		20		10.000		10.000	
Bacillariophyta	36.100		110		210		3.500		3.500	
Euglenophyta	50		40		60		100		100	
Chlorophyta	3.600		80		90		1.000		1.000	
Zooplankton (ind./cm <sup>3</sup> ), (mg/dm <sup>3</sup> )										
Protozoa	100	0,01	200	0,2	1.500	1,50	2.000	2,00	2.000	2,00
Rotatoria	150	0,30	300	0,6	740	1,48	30	0,06	50	0,10
Cladocera	50	1,00	200	4,00	200	4,00	20	0,40	20	0,40
Copepoda	10	0,16	10	0,60	10	0,16	-	-	10	0,16
Nauplius	50	0,20	-	-	100	0,40	10	0,04	-	-

## ZAKLJUČAK

Raspolažući podacima i višegodišnjim iskustvom u korišćenju nivoa fosfatne aktivnosti kao pokazatelja stepena opterećenosti slatkih površinskih voda organskim polutantima smatramo ga pouzdanim parametrom u verodostojnijoj proceni kvaliteta i ekološkog statusa voda s aspekta njihove opterećenosti kompleksnim, ukupnim organskim biodegradabilnim materijama, posebno u akvakulturi. Takođe smo uverenja da bi se određivanjem nivoa aktivnosti nekih drugih hidrolitičkih enzima kao što su proteinaze, lipaze, glukozidaze, celulaze, dehidrogenaze, i drugi, dobili podaci o koncentraciji specifičnih polutanata prisutnim u ispitivanim vodama, što bi bilo osnov uvođenju biohemijskog bWQI kao integralne komponente jednog opšteg indeksa kvaliteta vode ribnjaka.

## LITERATURA:

- Babić, O.B., Simeunović, J.B., Škrbić, N.Z., Kovač, D.J., Svirčev, Z.B. (2013): Detection of phosphatase activity in aquatic and terrestrial cyanobacterial strains. *Jour. Nat. Sci, Matica Srpska Novi Sad*, 125, 31-42.
- Chen Y., Yin L., Chen, J., Zhao, J., Yuan, D. (2011): Structural Characteristics and sources of the surface sediments in Xiamen coast. *Environmental Science & Technology*, 34: 12H: 1-6.
- Ćirić, B., M.Nikolić (1995): Prilog jugoslovenskoj legislaciji iz oblasti kontrole kvaliteta vodotoka. *Zbornik radova Konferencije "Zaštita voda'95"*, Tara, jun 1995, pp: 412-415.
- Ćurčić, S., Čomić, L.J. (2002): Microbiological index of water quality (mWQI) tested on the Gruza reservoir. *Arch. Biol. Sci. Belgrade*, 54, 3-4: 75-78.
- Djukić, N., V.Pujin, S.Maletin, S.Gajin, M.Gantar, O.Petrović, R.Ratajac, Dj.Seleši, M.Matavulj (1991): Eutrofizacija stajaćih voda Vojvodine. I deo. "Vode Vojvodine", 20, p. 1-98.
- Felföldy, L. (1980): A biológiai vizminősítés. 3. javított és bővített kiadás. *Vizugyi Hidrobiologia*, 9. Budapest.
- Grginčević, M., V.Pujin (1998): Hidrobiologija, priručnik za studente i postdiplomce. Ekološki pokret grada Novog Sada.
- James, A.(1979): The value of biological indicators in relation to the other parameters of water quality. U knjizi "Biological indicators of water quality", A.James i L.Evison editori, John Wiley & sons, Chichester, New York, Brisbane, Toronto.
- Kavka, G.G. (1994): Erfassung und Bewertung der bakteriologischen Beschaffenheit der Donau im Jahre 1993. Vergleich der Grenzprofile Deutschland-Österreich und Österreich-Slowakei. 30. Arbeitstagung der IAD der SIL, 296.1-296.7.
- Kilian, M., P.Bulow (1979): Rapid identification of Enterobacteriaceae. *Acta Path. Microbiol. Scand. Sect. B*, 87: 271-276.
- Kohl, W. (1975): Über die Bedeutung bakteriologischer Untersuchungen fuer die Beurteilung von Fließgewässern, dargesetllt am Beispiel der Österreichischen Donau. *Arch. Hydrobiol.*, 44(4):392-461.
- Kolarević, S., Knežević-Vukčević, J., Paunović, M., Vasiljević, B., Kračun, M., Gačić, Z., Vuković-gačić, B. (2012): Seasonal variations of microbiological parameters of water quality of the Velika Morava River Serbia. *Arch. Biol. Sci., Belgrade*, 64, 3: 1017-1027.
- Matavulj, M., V.Palanački, O.Ristić (1976): Fosfatazna aktivnost heterotrofnih bakterija iz rečne i morske vode. *Mikrobiologija*, 13, (1): 89-95.
- Matavulj, M., G.Grubor, V.Palanački (1978): Aktivnost ekstracelularnih fosfomonoestar hidrolaza u alkalnoj, kiseloj i neutralnoj sredini kod nekih heterotrofnih baterija izolovanih iz Dunava. *Mikrobiologija*, 15 (1):49-57.
- Matavulj M. S.Gajin, M.Gantar, O.Petrović (1982): Enzimaska aktivnost kao parametar procene stanja voda. *Vodoprivreda*, 14, 78-79 (4-5): 225-235.
- Matavulj, M., O.Petrović, B.Dalmacija, S.Gajin, S.Stojilković (1983): Fosfatazna aktivnost kao pokazatelj procesa prečišćavanja otpadnih voda rafinerije nafte u laboratorijskom uredjaju. *Vodoprivreda*, 15, 82-83 (2-3): 165-172.
- Matavulj, M., O.Petrović, S.Gajin, M.Gantar, M.Bokorov, M. Erbežnik, S. Stojilković (1984a): Korrelation zwischen Phosphatase-Aktivitaet und mikrobiologischen Kennziffern der Qulitaet des Donauwassers. 24. Arbeitstagung der IAD, Szentendre, Sept. 1984, pp. 57-60.
- Matavulj, M., S.Gajin, M.Gantar, O.Petrović, M. Erbežnik, M.Bokorov and S.Stojilković (1984b): Phosphatase activity as an additional parameter of water condition estimate in some lakes Voyvodina province. *Mikrobiologija*, 21 (1): 53-61.

- Matavulj, M. (1986): Nespecifične fosfomonoestar-hidrolaze mikroorganizama i njihov značaj u kruženju fosfora u akvatičnim staništima. Doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, 1986.
- Matavulj, M., K.P. Flint (1987): A model for acid and alkaline phosphatase in a small pond. *Microbial Ecology*, 13 (2): 141-158.
- Matavulj, M., M.Bokorov, S. Stojilković, S.Gajin, M.Gantar, M. Erbežnik, O.Petrović (1988): Enzimski aktivnost vode kao parametar monitoringa. *Konf. "Zaštita voda '88"*, pp. 182-192.
- Matavulj, M., S.Gajin, M.Erbežnik, M.Bokorov and O.Petrović (1989a): Phosphatase activity of water as a parameter of the river Tisa water monitoring. *Tiscia*, 23: 29-36.
- Matavulj, M. M.Bokorov, S.Gajin, M.Gantar, S.Stojilković and K.P. Flint (1989b): Phosphatase activity of water as a monitoring parameter - I. *Proc. International Conference on water pollution control in the basin of the river Danube*, Novi Sad, 20- 23.06.1989, pp.378-384.
- Matavulj M. M.Bokorov, S.Gajin, M.Gantar, S.Stojilković and K.P.Flint (1990a): Phosphatase activity of water as a monitoring parameter. *Water Science and Technology*, 22 (5): 63-68.
- Matavulj, M. S.Gajin i M.Bokorov (1990b): Sezonska dinamika fosfomineralizatora u vodi ribnjaka i njihov odnos sa drugim članovima mikrobiocenoze I – Ribnjak Futog II. *Zbornik radova II Jugoslovenskog Simpozija mikrobne ekologije*, Zagreb, 16- 19.10.1990, pp.219-227.
- Matavulj, M., M.Bokorov, (1991): Osvrta na metodu identifikacije fosfomineralizatora na osnovi njihove sposobnosti acidogeneze. *Zbornik Matice srpske za prirodne nauke*, 81: 99- 118.
- Orban, M., Plugaru, S., Rusu, T., Carpa, R. (2017): Researches and studies regarding the microbial indicators of water pollution of Castailor Creek, Bistrita. *Scientific Papers. Series E. Land Reclamation, Earth Observation Surveying, Environmental Engineering. Vol. VI*, 2017. ISSN 2285-6064, CD-ROM ISSN 2285-6072, Online ISSN 2393-5138, ISSN-L 2285-6064
- Pantle, R., H. Buck (1955): Die Biologische Überwachung der Gewässer und die Darstellung der Ergebnisse. *Gas und Wasserfach*, 96: 604-609
- Petrović O., M.Matavulj, B.Dalmacija (1982): Zajedničko prečišćavanje rafinerijskih i komunalnih otpadnih voda u laboratorijskom uređaju. *Vodoprivreda*, 14, 78-79 (4-5): 341-348.
- Petrović, O., S. Gajin, M. Matavulj, B. Dalmacija (1985): Mikrobiološka ispitivanja procesa prečišćavanja otpadnih voda rafinerije nafte. *Mikrobiologija*, 22 (1): 85-96.
- Petrović, O., S. Gajin, M. Matavulj, D. Radnović, Z. Svirčev (1998): Mikrobiološko ispitivanje kvaliteta površinskih voda. *Institut za biologiju, PMF Univerziteta u Novom Sadu*.
- Schneider, I., Topalova, Y (2013): Enzyme activities as a tool for biological control in dairy wastewater treatment. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 19, 2: 132–134.
- Schneider, I., and Topalova, Y. (2016): Risk modelling of organic pollution in lake sediments. *Journal of environmental protection*, 7: 591-601. <http://dx.doi.org/10.4236/jep.2016.75053>.
- Scottish Development Department, Engineering Division, Edinburgh (1976): Development of a WQI
- Song, S., Cao, X., Li, J., Li, Q., Chen, G., Zhou, Y. (2006): Contributions of phosphatase and microbial activity to internal phosphorus loading and their relation to lake eutrophication. *Science in China: Series D Earth Sciences*, 49 Supp. I: 102—113. [www.scichina.com](http://www.scichina.com) [www.springerlink.com](http://www.springerlink.com). DOI: 10.1007/s11430-006-8110-z.
- Topalova, Y., Schneider I., Todorova, Y., Panova, A. (2013): Analogous modelling of nutrient transformation in Iskar River sediments at different moisture content: microbiological and enzymological indicators. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 27:4, 3923-3931,
- Todorova, Y., Yotinov, I., Lincheva, S., Topalova, Y (2015): A Large-Scale Identification of Sediment-Associated Risks of Contamination with Heavy Metals and Organics: Indicators and Algorithms. *Journal of Water Resource and Protection*, 2015, 7, 101-110.
- Todorova, Y., Schneider I., Yotinov, I., Lincheva, S., Topalova, Y (2017): Potential of phosphatases for express assessment of self-purification at different types of pollution in running waters. *Water practice and technology*, 12, 4: 953-963. DOI: 10.2166/wpt.2017.103.

- Tümping, W. (1969): Zur Klassifizierung der Wasser Beschaffenheit aus biologischer Sicht. *Wiss.Z.Univ.Rostock*, 18: 793-798.
- Zlatković, S., Šabić, D., Milinčić, M., Knežević-Vukčević, J., Stanković, S. (2010): Geographical and biological analysis of the water quality of Bovan Lake, Serbia. *Arch. Biol. Sci., Belgrade*, 62 (4), 1083-1087. DOI:10.2298/ABS1004083Z1083.
- Zhang, P., Feng, J., Li, Z., Guo, J., Xiao, J., Liu, J. (2015): Alkaline phosphatase activity and its kinetics in Lake Gaoyang, Pengxi River during high water level of the Three Gorges Reservoir. *J. Lake Sci.* 27, 4: 629-636.

## BIOAKUMULACIONI I TRANSLOKACIONI POTENCIJAL NEKIH VODENIH BILJKA

Snežana Branković\*, Radmila Glišić\*, Marina Topuzović\*,  
Vera Đekić\*\*, Marija Marin\*\*\*

\* *Univerzitet u Kragujevcu, Prirodno-matematički fakultet, Institut za biologiju i ekologiju, Radoja Domanovića 12, 34 000 Kragujevac, R Srbija;*  
[pavsnez@kg.ac.rs](mailto:pavsnez@kg.ac.rs)

\*\* *Centar za strna žita, Save Kovačevića 31, 34 000 Kragujevac, R Srbija,*

\*\*\**Univerzitet u Beogradu Biološki fakultet, , Studentski trg 16, 11 000, Beograd, R Srbija.*

### REZIME

Cilj ove studije bio je utvrđivanje sposobnosti bioakumulacije i translokacije Pb, Cd, Hg i As makrofita *Typha angustifolia* L., *Iris pseudacorus* L. i *Polygonum amphibium* L. uzorkovane na akumulaciji Gruža. Pokazano je da su koncentracije Hg i As više od propisanih maksimalno dozvoljenih koncentracija u vodi, kao i da su koncentracije Hg i As više od ciljnih, maksimalno dozvoljenih i remedijacionih vrednosti u sedimentu. Vrsta *T. angustifolia* je pogodna za fitoekstrakciju Hg i As iz vode, kao i fitoekstrakciju Pb, Cd i As iz sedimenta, dok se vrsta *I. pseudacorus* može primeniti za fitoekstrakciju As iz vode i sedimenta.

KLJUČNE REČI: bioakumulacija, translokacija, elementi, makrofite

## THE BIOACUMULATION AND TRANSLOCATION POTENTIAL OF SOME AQUATIC PLANTS

### ABSTRACT

The aim of this study was to determine the bioaccumulation and translocation potential for Pb, Cd, Hg and As of macrophytes *Typha angustifolia* L., *Iris pseudacorus* L. and *Polygonum amphibium* L. sampled on the Gruža reservoir. The concentrations of Hg and As were higher than prescribed maximum water concentrations; the concentrations of Hg and As were higher than target, maximum permitted and remediation values in sediment. *T. angustifolia* is suitable for the phytoextraction of Hg and As from water and Pb, Cd and As from sediment as well as *I. pseudacorus* for the phytoextraction of As from water and sediment.

KEY WORDS: bioaccumulation, translocation, elements, macrophytes

## BENTOFAUNA BARE NA LOKALITETU SANIRANE URBANE DEPONIJE U KOSOVSKOJ MITROVICI

Tatjana R. Jakšić, Nebojša V. Živić, Predrag S. Vasić,  
Olivera M. Papović, Slaviša M. Milošević, Miloš R. Stanojević,  
Nikola Z. Grujić

*Faculty of Science and Mathematics, University of Priština, Lole Ribara 29,  
38220 Kosovska Mitrovica, Serbia*

### REZIME

Istražen je ekosistem bare u blizini reke Ibar na mestu sanirane gradske deponije u Kosovskoj Mitrovici, sa ciljem da se utvrdi struktura bentofaune. Bentofauna je uzorkovana povlačenjem sita kroz mulj, odvojena i konzervirana u 75% alkoholu. Fizičko-hemijske osobine vode su određene na mestu uzorkovanja. Koncentracija O<sub>2</sub> je iznosila 7 mg / l, Temperatura 19 ° C i pH 8. Predstavnici: Oligochaeta, Hirudinea, Isopoda, Gastropoda, Coleoptera, Heteroptera, Diptera, Trichoptera i Collembola sa površine vode su zabeleženi. Vrednost Simpson index je bila 0,3656, Shannon-Wiener's index 1,943, a Indeksa dominacije 0,6344 ukazujući na vodu III klase kvaliteta.

KLJUČNE REČI: bara, bentofauna, osobine vode, bioindikatori

## PUDDLE BENTHOFAUNA IN THE SITE OF REMEDIAED URBAN LANDFILL IN KOSOVSKA MITROVICA

### ABSTRACT

Puddle ecosystem near the Ibar River was investigated in the rehabilitated urban landfill in Kosovska Mitrovica, aiming to determine benthofauna structure. Benthofauna was sampled pulling the sieve through the sludge, separated and preserved in 75% alcohol. Physico-chemical water properties were determined on the spot. O<sub>2</sub> concentration was 7 mg / l, temperature of 19 ° C and pH 8. The representatives of: Oligochaeta, Hirudinea, Isopoda, Gastropoda, Coleoptera, Heteroptera, Diptera, Trichoptera and Collembola from the water surface were recorded. The Simpson index value was 0,3656, Shannon-Wiener's index of 1,943, and the Index of dominance 0,6344 indicated III class of water quality.

KEY WORDS: puddle, benthofauna, water properties, bioindicators

## UVOD

Reka Ibar, u prolasku kroz grad Kosovska Mitrovica u dužini od 2 km, ima na osnovu Pravilnika o parametrima ekološkog i hemijskog statusa površinskih voda i parametrima hemijskog i kvantitativnog statusa podzemnih voda („Službeni glasnik R S“ br. 74/2011), drugi stepen kvaliteta i pripada IIb klasi voda (Barać et al. 2010). Na levoj obali reke Ibar, pored železničke pruge Skoplje- Beograd, u periodu 2012-2014 odlagan je, usled nedostatka sanitarne gradske deponije komunalni i medicinski otpad iz grada Kosovska Mitrovica. Ovaj lokalitet je poznat kao “Česmin Lug” i nastao je žrtvovanjem odmarališta i uređene pešačke staze. Iako je deponija korišćena u relativno kratkom vremenskom periodu, tu je odlagan i otpadni građevinski materijal u periodu intenzivne izgradnje grada u posleratnim uslovima. Na lokalitetu postoji više jama, nastalih iskopavanjem šljunka pored reke Ibar, a koje se pune vodom procedivanjem i izlivanjem vode iz reke i putem atmosferalija. Na istom lokalitetu, ali na desnoj obali reke smeštena je industrijska deponija “Gornje Polje” na koju je odlagan otpad iz topionice olova koja se nalazi u neposrednoj blizini. Industrijska deponija Gornje Polje bila je aktivna u periodu od 1930. do 1965. godine. Ukupna količina deponovanog industrijskog otpada izražena u tonama je 26.344.212., a zapremina iznosi 8.498.133 m<sup>3</sup> (Milentijević, Nedeljković, Đokić 2014).

Živi svet akvatičnih ekosistema reflektuje kumulativno i istovremeno dejstvo svih ekoloških faktora pri bentofauna predstavlja vrlo značajnu komponentu ove zajednice. Prednosti korišćenja bentofaune makroinvertebrata kao indikatora je to što su ubikvitarni organizmi, pretežno sedentarni i pogodni za prostornu analizu uticaja spoljašnjih faktora. Organizmi faune dna su osetljivi na promene uslova sredine, pa se sastav i struktura zajednica makrozoobentosa koriste kao pokazatelji stanja akvatičnih ekosistema, odnosno u proceni kvaliteta vode (Rosenberg, D.M. and Resh, V.H.). Bentosne makroinvertebrate predstavljaju integralni deo lotičkih sistema preradom organske materije i snabdevanjem energijom viših trofičkih nivoa; dakle, razumevanje efekta antropogenih, takodje i prirodnih stresora, na njihovu distribuciju i abundancu je kritično za sveobuhvatnu procenu uticaja na potoke i reke.

Ovaj rad predstavlja rezultate ispitivanja kvalitativnog i kvantitativnog sastava zajednice fauna dna bare i nalaze diverziteta zasnovane na konceptu ekoloških indeksa: Simpson index, Shannon-Wiener's index i Indeksa dominacije. Cilj rada je se primenom ekoloških indeksa proceni kvalitet vode u privremenom ekosistemu bare u neposrednoj blizini reke Ibar sa II klasom kvaliteta vode, a u uslovima rezidua organskih materija nakon saniranja gradske deponije.

## PODRUČJE ISTRAŽIVANJA

Reka Ibar protiče kroz istočni deo Crne Gore i južni deo Srbije ukupne dužine 276 km, a svojim srednjim tokom prolazi grad Kosovska Mitrovica. Površina sliva iznosi 8,059 km<sup>2</sup>. Pripada Crnomorskom slivu. Prosečan protok na ušću iznosi 60 m<sup>3</sup>/s što pokazuje da reka nije plovna. Izvire jakim vrelom ispod planine Hajla u istočnoj Crnoj Gori, 10 km južno od Rožaja. Od Rožaja teče istočno do Kosovske Mitrovice na Kosovu. Na 24. km uzvodno od Kosovske Mitrovice na Ibru je izgrađena brana visine 110 m, koja gradi veštačko jezero Gazivode. U Kosovskoj Mitrovici se u Ibar uliva reka Sitnica i Ibar oštro skreće na sever.



Odatle ide uskim klisurama sa izuzetkom nešto širih kotlina u okolini Zvečana, Leposavića, Raške i Baljevca. Tu je Ibar iskopao prirodni put između Kosovske nizije i ostatka Srbije. Ovim putem prolazi železnička pruga i magistralni put koji je po ovoj reci i dobio ime. Ibar se kod Kraljeva uliva u Zapadnu Moravu i njena je najveća pritoka. Važnije pritoke Ibra su: Raška i Studenica sa leve, a Sitnica i Jošanica sa desne strane. Veća naselja kroz koja Ibar protiče su: Rožaje, Ribariće, Zubin Potok, Kosovska Mitrovica, Zvečan, Leposavić, Lešak, Raška, Baljevac, Ušće, Bogutovac, Mataruška Banja i Kraljevo (Slika 1).

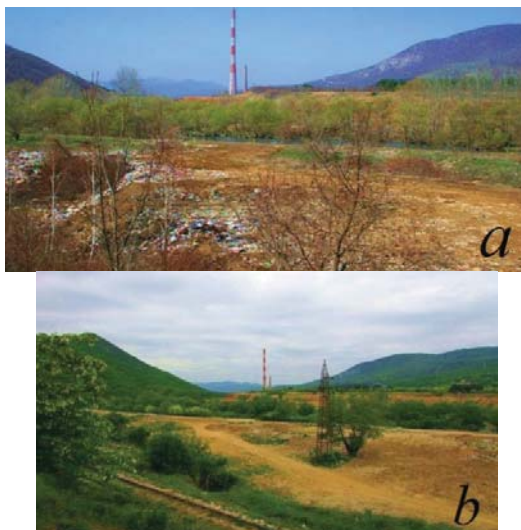


Slika 1. Sliv reke Ibar  
Figure 1. The River Ibar Basin

U Kosovsku Mitrovicu Ibar ulazi sa širokim koritom i relativno plitkom vodom, do jednog metra dubine. Nagnutost terena je relativno mala, te je izmerena brzina toka od 0,5 m/s. Dno je izgrađeno od krupnog peska-šljunka i kamenja, koje na pojedinim mestima može da bude vrlo krupno i obraslo je tankim slojem algi. U priobalnim delovima na pojedinim mestima ima malih količina nataloženog mulja i sitnog peska (Jakšić i Labus 2014).

## MATERIJAL I METODE

Uzorkovanje je obavljeno u proleće 2017. godine sa ciljem utvrđivanja sastava i strukture bentofaune u barskom ekosistemu u uslovima organskog zagađenja zaostalog nakon saniranja deponije „Česmin Lug“ (Slika 2.) i neposrednoj blizini industrijske deponije „Gornje Polje“.



Slika 2. Deponija „Česmin Lug“ pre (a) i nakon saniranja (b)  
Figure 2. Landfill „Česmin Lug“ before (a) and after remediation (b)

Korito bare (Slika 3.), udaljene 10 m od reke Ibar ima sledeće koordinate: 42° 54' 6" severne geografske širine i 20° 51' 41" istočne geografske dužine. Nalazi se na nadmorskoj visini od 508 m, površine oko 40m<sup>2</sup> i antropogenog je porekla. Bara je nastala delom procedivanjem a delom izlivanjem reke Ibar. Sama bara je okružena vegetacijom, sa dominacijom vrba (*Salix sp.*). Na površini vode uočljivo je izrazito prisustvo obraštajnih algi. Na istom lokalitetu je tokom jesenjih meseci uočeno masovno prisustvo algi *Chara sp.*. Boja vode je zuta do mrko-zelena i u bari je prisutan urbani otpad (plastična ambalaža gusto pokrivena obraštajnim algama i slično). Iako je urbana deponija koja je postojala na ovom lokalitetu sanirana (Jakšić i Radovanović, 2017) posledice njenog postojanja su evidentne, a istraživanjem je utvrđeno da su se odrazile na kvalitet vode u bari.

Analize fizičko-hemijskih uslova parametara vode izvršene su na odmah terenu uz pomoć odgovarajućih instrumenata i standardnih hemijskih analiza.



Slika 3. Izgled ispitivane bare u vreme uzorkovanja

Figure 3. The appearance of the examined puddle at the time of sampling

Uzorkovanje bentofaune izvršeno je pomoću sita za prosejavanje mulja dimenzija 30x30 cm, pri čemu je zahvaćeno 900 cm<sup>2</sup> površine dna bare. Uzorkovani materijal je prebačen direktno u plastičnu kesu zapremine 3l u sa etiketom sa nazivom lokaliteta i datumom. Odmah nakon uzorkovanja materijal je obrađen na Prirodno – matematičkom fakultetu u Kosovskoj Mitrovici. Uzorak iz kese je ispran pod mlazom vode kroz sistem sita, najpre promera okca 2,25mm, a zatim odmah i kroz drugo sito sa promerom okca od 0,5mm. Nakon toga materijal je prenet u providne, plitke posude odakle je pincetama i iglama odvajen od nečistoća. Identifikacija taksona je obavljena korišćenjem odgovarajućih ključeva nakon čega je izvršena kvantitativan analiza. Materijal je nakon toga konzerviran u 75% alkoholu i čuva se na Prirodno-matematičkom fakultetu u Kosovskoj Mitrovici.

## REZULTATI I DISKUSIJA

Istraživana bara je bila plitka, 40 cm dubine, sa potpunom prozirnošću, odnosno videlo se dno bare. Boja vode je bila žuta do mrko-zelena, sa mirisom na trulež i žabokrečinu. Temperatura vode je iznosila 19,5°C, dok je izmerena temperatura vazduha iznosila 24°C. Rezultati osnovnih hemijskih parametara dati su u Tabeli 1.

Tabela 1. Hemijske osobine vode

Table 1. Chemical properties of water

Hemijski parametri	Jedinica	Vrednost
pH	-	8,03
Rastvoreni kiseonik (O <sub>2</sub> )	mg/l	7
Rastvoreni ugljendioksid (C O <sub>2</sub> )	mg/l	30
Ukupni alkalitet	mg/l	100
Ukupna tvrdoća	mg/l	280

Faunu dna čine predstavnici 8 grupa sa ukupno 9 taksona: Oligochaeta (dva taksona), Hirudinea (jedan takson), Isopoda (jedan takson), Gastropoda (jedan takson), Coleoptera

(jedan takson), Heteroptera (jedan takson), Diptera (jedan takson), Trichoptera (jedan takson). Prilikom uzorkovanja materijala sa dna bare, a usled male dubine vode (40 cm), zahvaćena je *Podura aquatica* L. 1758 (Collembola, Insecta), kao tipičan stanovnik površine stajaćih voda.

Na istraživanom lokalitetu ukupno je konstatovano prisustvo 153 jedinke beskičmenjaka, svrstanih u 9 različitih klasa (Tabela 2.) Najbrojnija klasa je Isopoda sa vrstom *Asselus aquaticus* L. 1758 sa ukupno 85 jedinki. Druga značajna klasa je Oligochaeta sa vrstama *Tubifex tubifex* Lamarck, 1816 i *Limnodrilus hoffmeisteri* Claparède, 1862, sa 50 prisutnih individua.

Tabela 2. Lista taksona identifikovanih u uzorkovanom materijalu

Table 2. List of taxa identified in the sampled material

Taksonomska grupa	Vrste	Br. jedinki (s)	Relativna brojnost (D)
Oligochaeta	<i>Tubifex tubifex</i> Lamarck, 1816	32	20,91
	<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i> Claparède, 1862	18	11,76
Hirudinea	<i>Erpobdela octocolata</i> L. 1758	1	0,65
Isopoda	<i>Asselus aquaticus</i> L. 1758	85	55,5
Gastropoda	<i>Planorbis planorbis</i> L. 1758	1	0,65
Coleoptera	<i>Platambus maculatus</i> Thomson, 1859	1	0,65
Heteroptera	<i>Nepa cinerea</i> L. 1758	1	0,65
Diptera	<i>Culex sp.</i>	7	4,57
Trichoptera	<i>Trichoptera sp.</i>	2	1,30
Collembola	<i>Podura aquatica</i> L. 1758	5	3,26
		153	100%

Jedna jedinka imaga vodene stenice *Nepa cinerea* je identifikovana u materijalu. 7 larvi *Culex sp* takodje je bilo prisutno, kao i po jedna individua *Erpobdela octocolata*, *Planorbis planorbis*, *Platambus maculatus*.

Dve larve Trichoptera su identifikovane u uzorkovanom materijalu.

U materijalu je bilo i planktonskih oblika, kao što je veliki broj predstavnika Protozoa, pre svega Ciliata, zatim Rotatoria i Copepoda koji nisu determinisani do nižih taksonomskih nivoa.

U tabeli 3 predstavljen je proračun broja jedinki na kvadratni metar.

Tabela 3. Broj jedinki po m<sup>2</sup>  
Table 3. Number of individuals per m<sup>2</sup>

Taksonomska grupa	Vrste	Broj jedinki (A/m <sup>2</sup> )
Oligochaeta	<i>Tubifex tubifex</i> Lamarck, 1816	355,84
	<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i> Claparède, 1862	200,16
	<i>Erpobdela octocolata</i> L. 1758	11,12
Hirudinea	<i>Asselus aquaticus</i> L. 1758	945,2
Isopoda	<i>Planorbis planorbis</i> L. 1758	11,12
Coleoptera	<i>Platambus maculatus</i> Thomson, 1859	11,12
	<i>Nepa cinerea</i> L. 1758	11,12
Diptera	<i>Culex</i> sp.	77,84
Trichoptera	<i>Trichoptera</i> sp.	22,24
Collembola	<i>Podura aquatica</i> L. 1758	55,6

Zoocenoza istraživanog lokaliteta odlikuje se malom raznovrsnošću sa dominacijom jedne vrste: *Asselus aquaticus*. *Asellus* sp. je obično prisutan u manjim stajaćim vodama ili sporotekućim potocima gde puži ili se kreće među rastinjem (Mellanby, 1963). Prema istraživanjima Novaković et al. (2015) *A. aquaticus* je široko rasprostranjena vrsta u Srbiji. Ovo istraživanje nije obuhvatilo teritoriju Kosova i Metohije. Živić et al. (2008) navodi da je ova vrsta pronađena i na ovoj teritoriji i to u Jošaničkoj reci.

Grupa Oligochaeta je na istraživanom lokalitetu predstavljena pelofilnim vrstama iz familije Tubificidae kosmopolitskog rasprostranjenja: *Tubifex tubifex* Lamarck, 1816 i *Limnodrilus hoffmeisteri* Claparède, 1862. Ovo je druga značajna grupa sa relativnom brojnošću (D) 32, 76%. Oligohete imaju tendenciju porasta brojnosti od proleća ka letu (Janković 1974), a uzorkovanje je obavljeno tokom marta 2017. Zabeležene vrste oligoheta su pokazatelji organskog zagadjenja i tolerantne su na deficit kiseonika u podlozi i kontaktnom sloju.

Vrednost Simpson index je bila 0,3656, Shannon-Wiener's index 1,943, a Indeksa dominacije 0,6344 ukazujući na vodu III klase kvaliteta.

## ZAKLJUČAK

Rezultati prezentovani u ovom radu dobijeni analizom sastava zajednice faune dna privremene bare na mestu sanirane urbane deponije pokazuju da nakon saniranja ostaju prisutne organske materije koje se zadržavaju više godina. Ustanovljeno je da voda ispitivane bare pripada III klasi kvaliteta, odnosno  $\alpha$  mezosaprobim vodama. Iako se bara većinom puni procedivanjem iz toka reke Ibar, koja na ovom lokalitetu pripada II klasi kvaliteta, u ovom privremenom ekosistemu se formirala zajednica karakteritična za mezosaprobne vode.

## LITERATURA

- Barać, M., Stanišić, S., Parlić, M., Bukumirić, Z., Vitas, N., Manojlović, P. Lokalni ekološki akcioni plan Severne Kosovske Mitrovice, Kosovska Mitrovica: Opština Kosovska Mitrovica, Fakultet tehničkih nauka Kosovska Mitrovica, Medicinski fakultet, Kosovska Mitrovica, (2010): pp 176.
- Jakšić, T., Labus, N. Terenski zoološki praktikum, Prirodno-matematički fakultet Univerziteta u Prištini, Kosovska Mitrovica, (2014) pp 119.
- Jakšić, T., Radovanović, D. Problemi odlaganja otpada u posleratnim uslovima u Kosovskoj Mitrovici, Zbornik rezimea "Nauka bez granica", Filozofski fakultet, Kosovska Mitrovica (2017) 94-95
- Janković, M. Prilog poznavanju vodenih zajednica Obedske bare, Zbornik radova Republičkog zavoda za zaštitu prirode SR Srbije, Vol. 1, No. 9 (1974)
- Mellanby, H. Animal life in fresh water, London, Chapman and Hall, (1963) pp 308.
- Milentijević, G., Nedeljković, B., Đokić, J. Sprovođenje sistema zaštite životne sredine na teritoriji opština Kosovska Mitrovica i Zvečan, Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor, No 4, (2014) 205-2016
- Novaković, B., Ilić, M., Kračun-Kolarević, M., Tubić, B., Marinković, N., Đuknić, N., Marković, B. Recent Distribution of the Freshwater Crustacean *Asselus aquaticus* (Linnaeus, 1785) (Isopoda: Crustacea) in Serbia (2007-2013 Period) (2015)
- Pravilnik o parametrima ekološkog i hemijskog statusa površinskih voda i parametrima hemijskog i kvantitativnog statusa podzemnih voda („Sl. glasnik RS“, br. 74/2011)
- Rosenberg, D.M. and Resh, V.H. (eds.) Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates, Chapman and Hall, New York, (1993)
- Živić, N., Vukanić, V., Babović-Jakšić, T. Distribution of macrozoobenthos in the tributaries of River Ibar in the northern part of Kosovo and Metohija. *Natura Montenegrina*. Podgorica, 7 (2) (2008) 401-411.

## ODREĐIVANJE KVALITETA VODE ŠLJUNKARA U DONJEM TOKU REKE DRINE PRIMENOM SERBIAN WATER QUALITY INDEX-A

Bojan Damnjanović\*, Slavica Ilić\*, Mirjana Antonijević  
Nikolić\*, Gordana Jovanović\*, Ana Matić\*, Ljubica Mijić\*,  
Milica Živković\*\*, Maja Novković\*\*, Snežana Radulović\*\*,  
Dragana Vukov\*\*, Dušanka Cvijanović\*\*

\* *Visoka medicinska i poslovno-tehnološka škola strukovnih studija Šabac,  
Hajduk Veljkova 10, 15000 Šabac, bdamnjanovic@live.com*

\*\* *Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno-matematički fakultet, Departman za  
biologiju i ekologiju, Trg Dositeja Obradovića 2, 21000 Novi Sad*

### REZIME

Donji tok reke Drine karakteriše veliki broj aktivnih i napuštenih šljunkara. Iako eksploatacija šljunka ima izražen negativan uticaji na životnu sredinu, šljunkare u slučaju optimalne eksploatacije svojim kvalitetom, a naročito kvalitetom vode mogu nadmašiti prirodna vodna tela. Cilj ovog rada je određivanje kvaliteta vode šljunkara u donjem toku reke Drine primenom Serbian Water Quality Index-a (SWQI). Istraživanje je vršeno u toku letnjih meseci 2015. i 2016. godine na 14 šljunkara na području opštine Bogatić (Crna Bara i Badovinci). Rezultati su pokazali različite vrednost SWQI po šljunkarama u istraživanom području.

KLJUČNE REČI: šljunkare, reka Drina, fizičko-hemijski parametri, SWQI

## WATER QUALITY ASSESSMENT OF GRAVEL PIT LAKES IN THE LOWER COURSE OF THE DRINA RIVER USING SERBIAN WATER QUALITY INDEX

### ABSTRACT

The lower course of the Drina River is characterized by a large number of active and abandoned gravel pits. Gravel exploitation has a significant negative impact on the environment. However, in case of optimal exploitation, gravel pit lakes may compete natural water bodies by its water quality. The aim of this study is water quality assessment of gravel pit lakes in the lower course of the Drina River using the Serbian Water Quality Index (SWQI). The research was carried out during the summer months of 2015 and 2016 at 14 gravel pit lakes in the Bogatić municipality (Crna Bara and Badovinci). The results showed wide range of SWQI values for gravel pit lakes in the research area.

KEY WORDS: gravel pit lakes, Drina River, physico-chemical parameters, SWQI

## UVOD

Prema procenama *European Aggregates Association* (UEPG, 2017) u Srbiji je samo tokom 2014. godine eksploatisano oko 11 miliona tona šljunka i peska sa preko 65 lokacija. Nakon eksploatacije šljunka pored rečnog korita, ispod gornje granice nivoa podzemnih voda nastaje veštačko jezero – šljunkara (Mollema i Antonellini, 2016).

Donji tok reke Drine pripada južnom delu Panonske nizije (Carević i Joanović, 2009). Nakon izgradnje akumulacije Perućac 1966. godine, došlo je do značajnog povećanja sedimentacije rečnih nanosa usled smanjenja kinetičke energije vodenog toka, tako da maksimalna debljina sloja na ušću Drine u Savu iznosi 160 m (Grupa autora, 1980). Zahvaljujući velikim rezervama, ovo područje karakteriše veliki broj aktivnih i napuštenih kopova šljunka.

Iako eksploatacija šljunka ima izražen negativan uticaji na životnu sredinu (Tockner и сар., 2008), u slučaju optimalne eksploatacije šljunkare svojim kvalitetom, a naročito kvalitetom vode mogu nadmašiti prirodna vodna tela (Søndergaard и сар., 2018). Praćenje kvaliteta vode šljunkara je značajno ukoliko se uzme u obzir da eksploatacija utiče na kvalitet i kvantitet podzemnih voda (Mollema i Antonellini, 2016). Takođe, voda iz šljunkara dolazi u interakciju sa vodom iz rečnog korita i širim područjem sliva prilikom plavljenja koja se u ovom području dešavaju i nekoliko puta godišnje (RHMZ, 2018).

Cilj ovog rada je određivanje kvaliteta vode šljunkara u donjem toku reke Drine primenom Serbian Water Quality Index-a (SWQI).

## MATERIJAL I METODE

Istraživanje je vršeno u toku letnjih meseci 2015. i 2016. godine na 14 šljunkara na području opštine Bogatić. Šest šljunkara je locirano na teritoriji Crne Bare (44°52'15"N; 19°23'25"E) (CB1, CB2, CB3, CB4, CB5, CB6), dok je preostalih osam locirano na teritoriji Badovinaca (44°47'05"N; 19°22'10"E) (BA1, BA2, BA3, BA4, BA5, BA6, BA7, BA8) (Slika 1).

Merenje fizičko-hemijskih parametara kvaliteta vode izvršeno je na terenu, u tri ponavljanja na 1 - 4 lokaliteta po šljunkari (u zavisnosti od veličine šljunkare), na dubini od 50 cm.

Merenja su izvršena na sledeći način:

- BPK (biološka potrošnja kiseonika), TSS (ukupne suspendovane materije) i N (ukupni azot) određeni su pomoću uređaja PASTEL-UV Field/lab marke SECOMAM;



- pH, EC (elektroprovodljivost) i t (temperatura vode) mereni su elektrohemijski uređajem za kombinovano merenje pomenutih parametara Hanna HI991301;
- SAT (zasićenost kiseonikom) i t (temperatura vode) određeni su pomoću uređaja Oximeter Hanna HI9146-10;

Za procenu kvaliteta vode šljunkara korišćen je Serbian Water Quality Index (SWQI). Ovaj indikator se zasniva na metodi Water Quality Index (Development of a Water Quality Index, Scottish Development Department, Engineering Division, Edinburgh, 1976.) prema kojoj se deset parametara fizičko-hemijskog i mikrobiološkog kvaliteta sumiraju u kompozitni indikator kvaliteta površinskih voda (Agencija za zaštitu životne sredine, 2018).

Metodom Water Quality Index (WQI) deset odabranih parametara (zasićenost kiseonikom,  $BPK_5$ , amonijum jon, pH vrednost, ukupni azot, ortofosfati, suspendovne materije, temperatura, elektroprovodljivost i koliformne bakterije) svojim kvalitetom ( $qi$ ) reprezentuju osobine površinskih voda svodeći ih na jedan indeksni broj. Udeo svakog od deset parametara na ukupni kvalitet vode nema isti relativni značaj, zato svaki od njih ima svoju težinu ( $wi$ ) i broj bodova prema udelu u ugrožavanju kvaliteta. Sumiranjem proizvoda ( $qi \times wi$ ) dobija se indeks 100 kao idealan zbir udela kvaliteta svih parametara.

U slučaju kada nedostaje podatak o kvalitetu za neki parameter, vrednost aritmetički izmerenog WQI koriguje se množenjem indeksa sa vrednošću  $1/x$ , gde je x zbir aritmetički izmerenih težina dostupnih parametara (Agencija za zaštitu životne sredine, 2018). U ovom radu za ocenu kvaliteta vode korišćeni su sledeći parametri: temperatura, pH vrednost, elektroprovodljivost, zasićenost kiseonikom,  $BPK_5$ , suspendovane materije, ukupni oksidi azota.

Indikatori kvaliteta površinskih voda metodom Serbian Water Quality Index dobijeni su komparacijom pokazatelja kvaliteta prema nekadašnjoj nacionalnoj klasifikaciji (Uredba o klasifikaciji voda međurepubličkih vodotoka, međudržavnih voda i voda obalnog mora Jugoslovsije, Sl. list SFRJ 6/78) i originalnoj metodi WQI (Agencija za zaštitu životne sredine, 2018).

Kvalitetu površinskih voda koji odgovara I klasi prema nacionalnoj Uredbi, metodom WQI pripada 84 - 85 poena, II klasi 72 - 78 poena, III klasi 48 - 63 poena i IV klasi 37 - 38 poena. Usvojene su vrednosti za opisni indikator kvaliteta SWQI = 0 - 38 veoma loš, SWQI = 39 - 71 loš, SWQI = 72 - 83 dobar, SWQI = 84 - 89 veoma dobar i SWQI = 90 - 100 odličan. Na ovaj način je klasifikacija od I - IV klase voda korišćena kao ulazni granični parametar za kvantitativno definisanje indikatora SWQI u celom numeričkom rasponu kvaliteta od 0 do 100 indeksnih poena (Tabela 1). Metodom SWQI pet indikatora kvaliteta površinskih voda su razvrstani prema njihovoj nameni i stepenu čistoće (Agencija za zaštitu životne sredine, 2018):

- Odličan - vode koje se u prirodnom stanju uz filtraciju i dezinfekciju, mogu upotrebljavati za snabdevanje naselja vodom i u prehrambenoj industriji, a površinske vode i za gajenje plemenitih vrsta riba (*salmonidae*);
- Veoma dobar i Dobar - vode koje se u prirodnom stanju mogu upotrebljavati za kupanje i rekreaciju građana, za sportove na vodi, za gajenje drugih vrsta riba (*cyprinidae*), ili koje se uz savremene metode prečišćavanja mogu upotrebljavati za snabdevanje naselja vodom za piće i u prehrambenoj industriji;
- Loš - vode koje se mogu upotrebljavati za navodnjavanje, a posle savremenih metoda prečišćavanja i u industriji, osim prehrambenoj;
- Veoma loš - vode koje svojim kvalitetom nepovoljno deluju na životnu sredinu, i mogu se upotrebljavati samo posle primene posebnih metoda prečišćavanja.

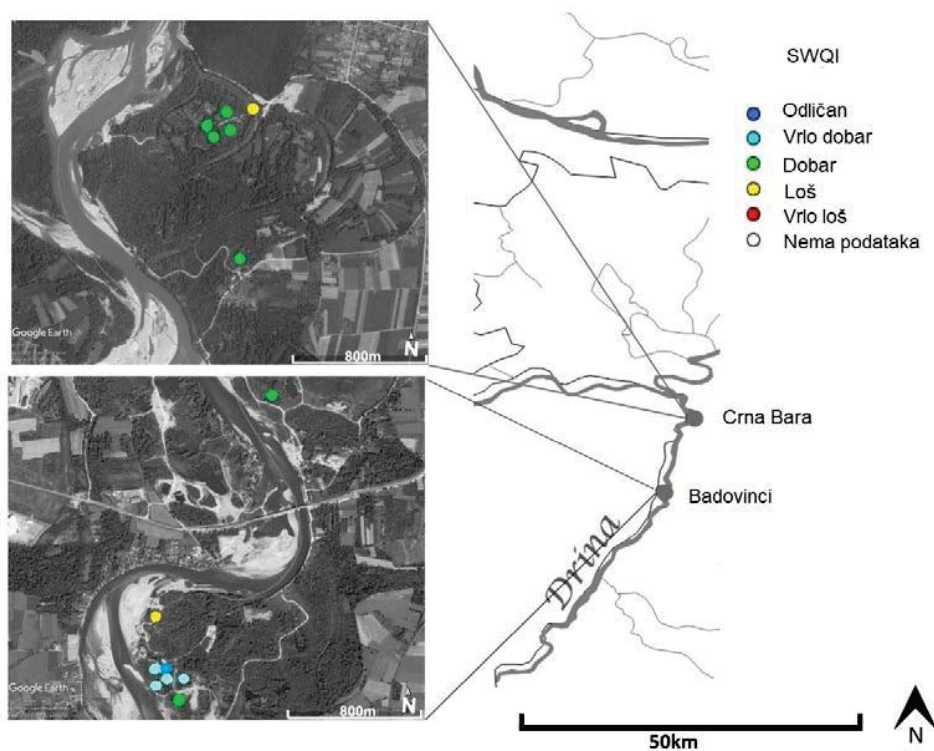
Rezultati su predstavljeni grafički, gde svaka boja odgovara gore pomenutom indikatoru kvaliteta (Slika 1).

Tabela 1. Klasifikacija površinskih voda metodom Serbian Water Quality Index  
Table 1. Classification of surface waters using the Serbian Water Quality Index

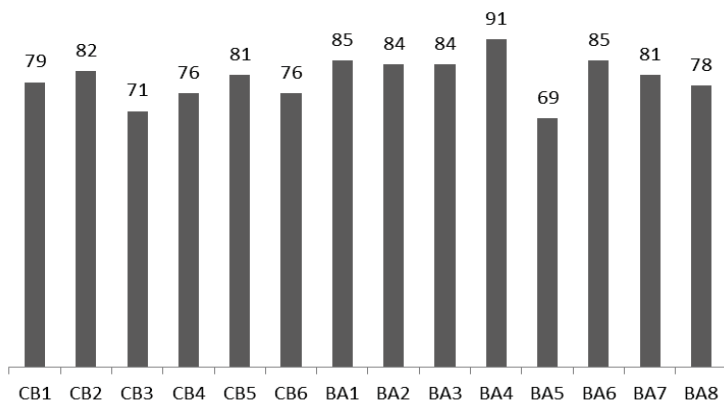
WQI-MDK I klasa	WQI-MDK II klasa	WQI-MDK III klasa	WQI-MDK IV klasa
85 - 84	74 - 69	56 - 44	51 - 35
100 - 90	89 - 84	83 - 72	71 - 39
Odličan	Veoma dobar	Dobar	Loš
			Veoma loš

## REZULTATI I DISKUSIJA

Rezultati su pokazali različite vrednost SWQI po šljunkarama u istraživanom području. Vrednosti SWQI su se kretale u rasponu od 69 (BA5) do 91 (BA4), odnosno kvalitet je varirao u granicama loš – odličan. Izračunate vrednosti za šljunkare u Badovincima kretale su se u rasponu od 69 (loš) – 91 (odličan). Izračunate vrednosti za šljunkare u Crnoj Bari su se kretale u rasponu od 71 (loš) – 82 (dobar) (Slika 1 i 2).



Slika 1. Istraživano područje sa grafičkim prikazom indikatora kvaliteta na osnovu SWQI  
 Figure 1. Study site with graphic presentation of quality indicators by SWQI



Slika 2. Vrednosti SWQI za svaku šljunkaru  
 Figure 2. SWQI values for each Gravel pit lak

Šljunkare u istraživanom području su znatno boljeg kvaliteta u poređenju sa drugim vodnim telima panonskog basena kao što su npr. jezero Palić, Ludaš i kanal Palić-Ludaš čiji je kvalitet u toku 2016. godine opisan prema SWQI kao veoma loš – loš (Zavod za javno zdravlje Subotica, 2016). Kvalitet vode u većini šljunkara u Badovincima (BA1, BA2, BA3, BA4, BA6) odgovarao je višegodišnjem proseku kvaliteta vode u rečnom koritu za mernu stanicu Badovinci. Generalno, kvalitet vode u svim šljunkarama (osim CB3 i BA5) u trenutku merenja odgovarao je kvalitetu vode na mernim stanicama u slivu donjeg toka reke Drine (Agencija za zaštitu životne sredine, 2018), što je u skladu sa izraženom lateralnom konekcijom ovih jezera sa glavnim rečnim tokom.

## ZAKLJUČAK

S obzirom na veliki broj napuštenih šljunkara u donjem toku reke Drine, a koje nisu privedene konačnoj nameni, praćenje kvaliteta vode je od izuzetnog značaja. Kvalitet vode u pojedinim šljunkarama zadovoljava uslove za uspostavljanje akvatičnih zajednica visokog specijskog bogatstva, diverziteta i konzervacione vrednosti. Vršenje redovnog monitoringa kvaliteta je neophodno prilikom donošenja odluka o primeni tehnika remedijacije i prevođenju novonastalih jezera u konačno, ekološki održivo stanje. Primena SWQI u tom cilju doprinosi sagledavanju sveobuhvatnog stanja kvaliteta vode sa praćenjem trenda.

## LITERATURA:

- Agencija za zaštitu životne sredine, Republika Srbija, Ministarstvo zaštite životne sredine (2018) Serbian Water Quality Index. <http://www.sepa.gov.rs>
- Carević, I., i Jovanović, V. (2009) Stratigrafsko-tektonske karakteristike Mačvanskog basena. Glasnik Srpskog geografskog društva, 4, 121-140.
- Scottish Development Department, Engineering Division (1976) Development of a Water Quality Index, Edinburgh.
- European Aggregates Association (UEPG) (2017) Annual Review 2015-2016. [http://www.uepg.eu/uploads/Modules/Publications/uepg-ar2016-17\\_32pages\\_v04\\_small.pdf](http://www.uepg.eu/uploads/Modules/Publications/uepg-ar2016-17_32pages_v04_small.pdf).
- Gruopa autora (1980) Osnovna geološka karta i tumač za list Šabac. Beograd: Savezni geološki zavod
- Mollega, P.N., & Antonellini, M. (2016) Water and (bio)chemical cycling in gravel pit lakes: A review and outlook, Earth-Science Reviews, 159, 247-270.
- Republički hidrometeorološki zavod Srbije (RHMZ) (2017) Hidrološki godišnjaci, 2011-2016. [http://www.hidmet.gov.rs/ciril/hidrologija/povrsinske\\_godisnjaci.php](http://www.hidmet.gov.rs/ciril/hidrologija/povrsinske_godisnjaci.php).
- Søndergaard, M., Lauridsen, T.L., Johansson, L.S., & Jeppesen, E. (2018) Gravel pit lakes in Denmark: Chemical and biological state. Science of the Total Environment, 612, 9-17.
- Tockner, K., Uehlinger, U., & Robinson, T.C. (2008) Rivers of Europe., Elsevier: Academic Press.
- Uredba o klasifikaciji voda međurepubličkih vodotoka, međudržavnih voda i voda obalnog mora Jugoslavije, Sl. list SFRJ 6/78.
- Zavod za javno zdravlje Subotica, Centar za higijenu i humanu ekologiju (2016) Monitoring kvaliteta vode jezera Palić, Ludaš i kanala Palić-Ludaš u 2016. godini

## KONZERVACIONI STATUS MAKROFITSKE VEGETACIJE U KOPOVIMA ŠLJUNKA U PLAVNOM PODRUČJU DONJEG TOKA REKE DRINE

Dušanka Cvijanović\*, Bojan Damnjanović\*\*\*\*,  
Maja Novković\*, Mililca Živković\*, Ana Anđelković\*\*\*,  
Aleksandra Vesić\*\*\*\*, Dragana Vukov\*,  
Snežana Radulović\*

\* *Departman za biologiju i ekologiju, Prirodno-matematički fakultet, Univerzitet u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 2, 21000 Novi Sad,*

*Email: [maja.novkovic@dbe.uns.ac.rs](mailto:maja.novkovic@dbe.uns.ac.rs)*

\*\* *Institut za zaštitu bilja i životnu sredinu, Teodora Dražera 9, 11040 Beograd,*

\*\*\* *Visoka tehnološka škola strukovnih studija, Hajduk Veljkova 1, 15000 Šabac*

\*\*\*\* *Institut za hemiju, tehnologiju i metalurgiju, Univerzitet u Beogradu, Njegoševa 12, 11001, Beograd*

### REZIME

Kopovi šljunka kao veštačka vodena staništa predstavljaju potencijalna nova staništa akvatičnih zajednica i rezervoare biodiverziteta u plavnim dolinama reka. Cilj rada je bilo utvrđivanje konzervacione vrednosti šljunkara na osnovu makrofitske vegetacije na 14 kopova duž plavnog područja donjeg toka reke Drine. Konzervaciona vrednost šljunkara je izračunata na osnovu broja i stepena ugroženosti zabeleženih vrsta makrofita. Dobijeni rezultati ukazuju da šljunkare u plavnom području reke Drine predstavljaju optimalno stanište za razvoj retke i ugrožene makrofitske flore.

KLJUČNE REČI: Makrofite, Šljunkare, Jezero, Drina, Konzervacioni indeksi

## CONSERVATION STATUS OF AQUATIC VEGETATION IN GRAVEL PIT LAKES ALONG THE LOWER COURSE OF THE DRINA RIVER

### ABSTRACT

Human-made aquatic habitats, such as gravel pit lakes could be alternative habitats and biodiversity refugia for aquatic biota. The aim of this study was to determine conservation value of gravel pit lakes in the Drina river floodplain using rarity and naturalness of aquatic macrophytes. Conservation value was calculated for 14 lakes. The obtained results showed that the analyzed gravel pits along the Drina River represent an optimal habitats for rare and endangered macrophytic flora.

KEY WORDS: Macrophytes, Gravel pit, Lake, the Drina river, Conservation

## UVOD

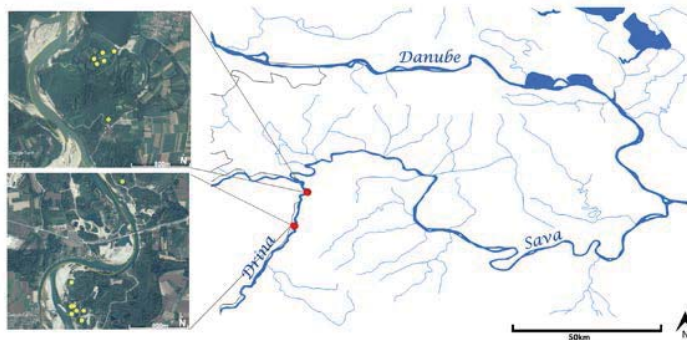
Plavna područja reka doprinose održavanju biodiverziteta i produktivnosti velikih rečnih ekosistemima (Tockner *i sar.*, 2000). Fluvijalna jezera i bare u plavnim dolinama predstavljaju rezervoare biodiverziteta i organskih materija celog slivnog područja, a ne samo glavnog rečnog toka (Keruzoré *i sar.*, 2013). U Evropi je najmanje 90% površine ovih staništa pretvoreno u veštačka vodna tela ili su isušena (Tockner & Stanford, 2002). Kopovi šljunka kao veštačka vodena tela u plavnim dolinama reka potencijalno predstavljaju alternativna staništa hidrobionata uključujući makrofitsku vegetaciju.

U inudacionom pojasu reke Drine, na obali i u samom rečnom koritu nalaze se rezerve peska i šljunka. U donjem toku Drine je zbog slabe kinetičke energije u odnosu na gornji i srednji tok sve do izgradnje uzvodnih akumulacija dolazilo je do taloženja velikih količina peska i šljunka (debljina naslaga 2-10m). Sa ovih površina se aktivno vrši eksploatacija peska i šljunka, često nekontrolisano na proizvoljno izabranim lokacijama sa nedefinisanim uslovima eksploatacije. Izgradnjom uzvodnih akumulacija na reci Drini zalihe rečnog materijala su praktično postale neobnovljive, tako da duž donjeg toka reke postoji veliki broj napuštenih šljunkara, koje su različite starosti, oblika, dubine, udaljenosti od glavnog korita reke (Studija o održivom korišćenju i zaštiti prirodnih resursa u prekograničnom području Srbija – Bosna i Hercegovina, 2014). Napuštanjem kopova nastaju nova vodena staništa za različite grupe organizama, pre svega za makrofite.

Cilj ovog rada je određivanje konzervacione vrednosti šljunkara kao alternativnih staništa za razvoj retkih i ugroženih vrsta makrofita u plavnom području donjeg toka reke Drine.

## OSNOVNE KARAKTERISTIKE ISTRAŽIVANOG PODRUČJA

Reka Drina nastaje spajanjem reka Tare i Pive kod Šćepean Polja u Republici Crnoj Gori na nadmorskoj visini od 434m. Najveća je pritoka reke Save u koju se uliva na nadmorskoj visini od 78km. Zbog ulaska Drine u Panonski basen, donji tok dug 91 km ima karakteristike ravničarske reke. Terensko istraživanje je sprovedeno uz donji tok reke Drine na potezu od 17 do 4 rkm na 14 šljunkara tokom leta 2015. i 2016. godine (Slika 1).



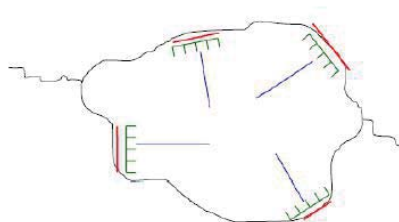
Slika 1. Mapa istraživanog područja sa lokalitetima šljunkara (GoogleEarth 2017)

Figure 1. Geographical position of the gravel pit lakes (GoogleEarth 2017)

## MATERIJAL I METODE

### Način prikupljanja podataka

Podaci o prisustvu makrofita su prikupljeni sa 14 šljunkara u okolini Crne Bare (44°52'15"N; 19°23'25"E) i Badovinaca (44°47'05"N; 19°22'10"E), (Damjanović *i sar.*, 2016), primenom LEAFPACS terenskog protokola (Willby *i sar.*, 2009; Gunn *i sar.*, 2010), u skladu sa panevropskim standardom za uzorkovanje makrofitske vegetacije u jezerima (15460: 2007 Water quality-Guidance standard for the surveying of macrophytes in lakes) (CEN, 2007). LEAFPACS metod se temelji na odabiru reprezentativnih sektora uz liniju obale dužine ~100 m. U okviru sektora, na svakih 20m se uzimaju snimci površine 1-9m<sup>2</sup> i to na dubinama od 25, 50, 75 i >75cm (1m). Na sredini svakog sektora se uzimaju snimci u transektu na svakih 0,5m porasta dubine, počev od 1m do dubine prostriranja makrofita (Slika 2).



Slika 2. Šematski prikaz uzorkovanja vegetacije prema LEAFPACS metodi (Willby *i sar.*, 2009).  
Figure 2. Vegetation sampling pattern according to the LEAFPACS method (Willby *i sar.*, 2009)

### Predlog za izračunavanje konzervacionog indeksa

Metode procene konzervacione vrednosti ekosistema koriste različite kombinacije fizičkih i/ili bioloških kriterijuma (Boon & Pringle, 2009). Biološki kriterijumi se najčešće temelje na prisustvu vrsta kategorisanih prema IUCN Crvenoj listi (Rosset *i sar.*, 2013). Za potrebe ovog rada, predloženo je izračunavanje konzervacionog indeksa jezera na osnovu retkosti i prirodnosti makrofitske flore, a po ugledu na britanski Indeks Retkosti Vrsta (*Species Rarity Index*, Williams *i sar.*, 1998) i indeks Csp vrednosti prema Oretti *i sar.*, 2002. Stepen ugroženosti makrofita je rangiran na osnovu Pravilnika o proglašenju i zaštiti strogo zaštićenih i zaštićenih divljih vrsta biljaka, životinja i gljiva (Sl. Glasnik RS, br. 5/2010 i 47/2011, u daljem tekstu Pravilnik), zatim prema Crvenoj knjizi flore Srbije (Stevanović, 1999), dok je stepen ugroženosti pršljenčica dat prema Blaženčić *i sar.* (2014). Svako pojedinačnoj vrsti se najpre dodeljuje konzervacioni skor u zavisnosti od stepena i pomenutih kriterijuma retkosti u Republici Srbiji (Tabela 1). Vrednosti skorova za sve vrste prisutne na određenom lokalitetu se zatim sabiraju. Dobijeni zbir predstavlja C vrednost, apsolutni konzervacioni indeks jezera. Kada se C vrednost podeli sa ukupnim brojem vrsta na datom lokalitetu, dobija se prosečna konzervaciona vrednost po vrsti – Csp indeks. Vrste koje su invazivne za istraživano područje (Lazarević *i sar.*, 2012) nisu uzimane u obzir pri računanju konzervacionih indeksa.

Tabela 1. Rangiranje vrsta prema stepenu ugroženosti u Republici Srbiji  
Table 1. Conservation score for each species according to its rarity in Serbia

Konzervacioni skor vrste	Konzervacioni status i stepen zaštite
1	Česta - vrsta koja nema status zaštite i nije invazivna
2	Z** - Vrsta koja je zaštićena na teritoriji R. Srbije
4	SZ** - Vrsta koja je strogo zaštićena na teritoriji R. Srbije
8	NT* - Vrsta koja ima IUCN status skoro ugrožene na teritoriji R. Srbije
16	EN*; VU* - Vrsta koja ima IUCN status ugrožene ili ranjive na teritoriji R. Srbije
32	CR* - Vrsta koja ima IUCN status kritično ugrožene na teritoriji R. Srbije.

\*Crvena lista flore Srbije (Stevanović, 1999) i Blaženčić *i sar.* (2014);

\*\*Pravilnik o proglašenju i zaštiti strogo zaštićenih i zaštićenih divljih vrsta biljaka, životinja i gljiva (Sl. Glasnik RS, br. 5/2010 i 47/2011)

## REZULTATI I DISKUSIJA

U Tabeli 2 su navedene vrste akvatičnih makrofita zabeležene na istraživanim lokalitetima sa stepenom ugroženosti po Crvenoj listi flore Srbije (Stevanović, 1999), Blaženčić *i sar.*, 2014. i prema Pravilniku o proglašenju i zaštiti strogo zaštićenih i zaštićenih vrsta biljaka, životinja i gljiva u Republici Srbiji (Sl. Glasnik RS, br. 5/2010 i 47/2011).

Tabela 2. Konzervacioni status i stepen zaštite makrofita zabeleženih na šljunkarama duž Drine  
Table 2. Conservation status of the aquatic macrophytes recorded in gravel pits along the Drina river

Vrsta	Konzervacioni status i stepen zaštite
1. <i>Alisma plantago-aquatica</i> L	/
2. <i>Callitriche palustris</i> L	SZ**
3. <i>Ceratophyllum demersum</i> L subsp. <i>demersum</i>	/
4. <i>Chara contraria</i> A. Braun ex Kutz	LR (nt)*
5. <i>Chara globularis</i> Thuill	VU* /SZ**
6. <i>Chara vulgaris</i> L	LR (nt)*
7. <i>Elodea canadensis</i> Michx	/
8. <i>Elodea nuttallii</i> (Planchon) St John	/
9. <i>Myriophyllum spicatum</i> L	/
10. <i>Myriophyllum verticillatum</i> L	/
11. <i>Najas marina</i> L	/
12. <i>Najas minor</i> All	/
13. <i>Nitella gracilis</i> (Sm) C Agardh	CR* /SZ**
14. <i>Nitellopsis obtusa</i> (Desv in Loisel) J Groves	CR* / SZ**
15. <i>Nuphar lutea</i> (L) Sm	SZ**
16. <i>Phragmites australis</i> (Cav) Trin ex	/
17. <i>Potamogeton crispus</i> L	/
18. <i>Potamogeton natans</i> L	/
19. <i>Potamogeton nodosus</i> Poiret	SZ**
20. <i>Potamogeton pectinatus</i> L	/
21. <i>Potamogeton perfoliatus</i> L	/
22. <i>Sagittaria sagittifolia</i>	/

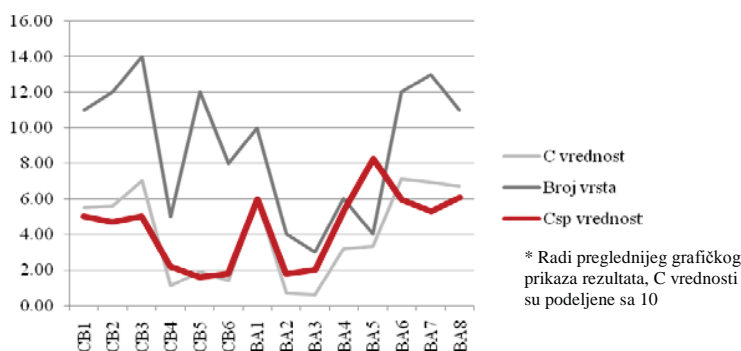


Vrsta	Konzervacioni status i stepen zaštite
23. <i>Scirpus lacustris</i>	/
24. <i>Sparganium erectum</i> L subsp <i>erectum</i>	/
25. <i>Spirodela polyrhiza</i> (L) Schleiden	/
26. <i>Utricularia vulgaris</i> L	Z**
27. <i>Vallisneria spiralis</i> L	/

\*Crvena lista flore Srbije (Stevanović, 1999) i Blaženčić *i sar.* (2014): NT-skoro ugrožena, VU-ranjiva, EN-ugrožena, CR-kritično ugrožena.\*\*Pravilnik o proglašenju i zaštiti strogo zaštićenih i zaštićenih divljih vrsta biljaka, životinja i gljiva (Sl. Glasnik RS, br. 5/2010 i 47/2011): Z-zaštićena, SZ-strogo zaštićena.

Na Slici 3 prikazani su broj vrsta i vrednosti C i Csp indeksa ispitivanih šljunkara duž donjeg toka Drine. Akvatične makrofite su zabeležene na svakoj od 14 ispitivanih šljunkara. Od ukupno 27 zabeleženih vrsta makofita, 7 vrsta se nalazi pod nekim stepenom zaštite na nacionalnom nivou prema Pravilniku (Sl. Glasnik RS, br. 5/2010 i 47/2011), dok je 5 vrsta svrstano u neku od kategorija ugroženosti prema Crvenoj listi flore Srbije (Stevanović, 1999) i Blaženčić *i sar.*, 2014 god. Na svakoj šljunkari je zabeležena bar jedna zaštićena ili ugrožena vrsta. Rezultati su u saglasnosti istraživanjima sporvedenim na sličnim tipovima jezera u Švajcarskoj (Oertli *i sar.*, 2002) i Velikoj Britniji (Nicolet *i sar.*, 2004) gde su lokalno retke i ugrožene vrste činile 20%, odnosno 35% od ukupnog broja.

Strogo zaštićena vrsta *Potamogeton nodosus* je vrsta sa najvećom pokrovnošću na istraživanom području, i vrsta sa najvećom učestalošću, zabeležena na 13 od 14 ispitanih šljunkara. Na ukupno 9 šljunkara duž reke Drine zabeleženo je 5 vrsta pršljenčica (Charophyceae); tri vrste iz roda *Chara*: *Chara contraria* (6 šljunkara), *Chara globularis* (8 šljunkara) i *Chara vulgaris* (1 šljunkara) i dve vrste roda *Nitella*: *Nitella gracilis* (3 šljunkare) i *Nitellopsis obtusa* (4 šljunkare). Od kojih su na ispitivanim šljunkarama najdominantnije strogo zaštićene i ugrožene *Chara globularis* i *Nitellopsis obtusa*. Sličan broj zabeleženih vrsta, florističko stanje, kao i dominantnost rodova *Potamogeton* i *Chara* ustanovili su Søndergaard *i sar.*, 2018 ispitujući kopove šljunka na teritoriji Danske.



Slika 3. Broj vrsta i konzervacione vrednosti šljunkara  
Figure 3. Species richness and conservation indices of gravel pits

Broj vrsta makrofita na šljunkarama varira od 4 do 16, s' tim da na više od polovine šljunkara broj vrsta prelazi 10. Konzervaciona Csp vrednost šljunkara varira od 1.6 do 8.3, dok najveći broj šljunkara ima konzervacionu vrednost između 5 i 6. Broj vrsta i Csp vrednost šljunkara se nalaze u slaboj pozitivnoj korelaciji ( $r=0.25$ ), jer se kao jezera sa najvećom konzervacionom vrednosti izdvajaju novoformirani kopovi sa pionirskom vegetacijom u kojoj dominiraju pršljenčice. Dobijeni rezultati su u saglasnosti sa zaključcima koje su izveli Oertli *i sar.*, 2002 ispitujući konzervacionu vrednost veštačkih jezera u Švajcarskoj. Šljunkare CB 1,2,3 u okolini Crne Bare i BA 1,4,5,6,7,8 u okolini Badovinaca predstavljaju staništa sa visokom konzervacionom vrednošću, od kojih su šljunkare CB 1,2,3 i BA 6,7,8 i one sa najvećim brojem zabeleženih vrsta makrofita na ispitivanom području. Sa druge strane šljunkara BA 5 je lokalitet sa najvećom konzervacionom vrednošću (Csp=8.3), pri čemu je ujedno i jedan od lokaliteta sa najmanjim brojem zabeleženih vrsta ( $n=5$ ). Visoka konzervaciona vrednost ove šljunkare počiva na činjenici da se na njoj sa visokom pokrovnošću javljaju sve tri vrste roda *Chara*. Ovakav odnos broja vrsta i konzervacione vrednosti je u saglasnosti sa rezultatima istraživanja Oertli *i sar.*, 2002. u Švajcarskoj, koji su izveli zaključak da veličina jezera pozitivno koreliše sa bogatstvom biljnih vrsta, ali da to ne implicira nužno i povećanje konzervacione vrednosti većih, vrstama bogatijim jezera. Ispitivanjem sistema manjih jezera i poredeći ih sa pojedinačnim većim jezerima, Oertli *i sar.*, 2002 došli su do zaključka da sistemi manjih jezera, poput sistema jezera nastalih otvaranjem kopova šljunkra, imaju zajedno veći broj vrsta i konzervacionu vrednost od velikih pojedinačnih jezera.

Sve ispitane šljunkare u okolini Crne Bare su staništa strogo zaštićenih vrsta *Potamogeton nodosus* i *Nuphar lutea*, a šljunkare CB 1,2 i 3 i strogo zaštićene i kritično ugrožene pršljenčice *Nitella gracilis*. Na šljunkarama CB 1 i 2 javlja se i *Chara contraria*, a na CB 3 pored pomenutih, javlja se i zaštićena mešinka *Utricularia vulgaris*, kao i velike populacije strogo zaštićenih vrsta *Chara globularis* i *Callitriche palustris* koja nije zabeležena na ostalim lokalitetima. Šljunkare u okolini mesta Badovinci mahom karakteriše prisustvo velikih populacija ugroženih pršljenčica *Chara contraria*, *Chara globularis* i *Nitella gracilis* kao i strogo zaštićene vrste *Potamogeton nodosus*, a samim tim i veća konzervaciona vrednost. Na polovini ispitanih šljunkara na ovom potezu zabeležena je i strogo zaštićena i kritično ugrožena pršljenčica *Nitellopsis obtusa*.

## ZAKLJUČAK

U ovom radu je dat predlog za izračunavanje konzervacione vrednosti akvatičnih ekosistema na osnovu makrofitske flore na području Republike Srbije.

Šljunkare koje su nastale antropogenim uticajem u plavnom području reke Drine predstavljaju optimalno stanište za razvoj retke i ugrožene makrofitske flore. Od ukupnog broja zabeleženih vrsta makofita 30% je kategorisano kao zaštićeno ili ugroženo.

Vrsta *Potamogeton nodosus* se na istraživanom području javlja apsolutno dominantno, kao vrsta sa najvećom ukupnom pokrovnošću i frekventnošću. Naročito je značajno prisustvo

retkih i ugroženih vrsta Charophyceae. Na šljunkarama reke Drine zabeležene su tri vrste iz roda *Chara* na 9 od 14 ispitanih šljunkara i dve vrste roda *Nitella* na 7 od 14 šljunkara. Populacije ovih vrsta su veoma retke na području Republike Srbije i Balkana (Blaženčić *i sar.*, 2006), te je svako potencijalno stanište dragoceno.

### Zahvalnica

Rad je realizovan u sklopu Projekata Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije br. 43002 i br. 173030.

### LITERATURA:

- Blaženčić J, Stevanović B, Blaženčić Z, Stevanović V. Red data list of charophytes in the Balkans. *Biodiversity Conservation*, 15(2006): 3445-3457
- Blaženčić J. Overview of the stoneworts (Charales) of Serbia with the estimation of the threat status. *Botanica Serbica*, 38(1) (2014): 121-130.
- Boon P and Pringle C. (2009). *Assessing The Conservation Value of Fresh Waters an International Perspicitve*. Cambridge University Press, Cambridge.
- European Committee for Standardization (CEN). (2007). *Water Quality – Guidance standard for the surveying of macrophytes in lakes*. prEn 15460.
- Google Earth (2017). <https://www.google.com/earth/>
- Gunn IDM, O'Hare M, Carvalho L, Roy DB, Rothery P and Darwell AM. Assessing the condition of lake habitats: a test of methods for surveying aquatic macrophyte communities, *Hydrobiologia*, 656 (2010): 87–97.
- Haćiahmetović S, Balta V, Fuscip M, Vakaoac B, Ristić Vakaoac V, Ratknić M, Aleksić A, Ačemović M. (2014). Studija o održivom korišćenju i zaštiti prirodnih resursa u prekograničnom području Srbija – Bosna i Hercegovina
- Keruzoré A, Willby N, and Gilvear D. The role of lateral connectivity in the maintenance of macrophyte diversity and production in large rivers, *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 23(2013): 301–315.
- Lazarević P, Stojanović V, Jelić I, Perić R, Krsteski B, Ajtić R, Sekulić N, Branković S, Sekulić G and Bjedov V. Preliminarni spisak invazivnih vrsta u Republici Srbiji sa opštim merama kontrole i suzbijanja kao potpora budućim zakonskim aktima, *Zaštita prirode*, 62(2012): 5–31.
- Nicolet P, Biggs J, Fox G, Hodson MJ, Reynolds C, Whitfield M and Williams P. The wetland plant and macroinvertebrate assemblages of temporary ponds in England and Wales, *Biological Conservation*, 120(2004): 261–278.
- Oertli B, Auderset JD, Castella E, Juge R, Cambin D and Lachavanne J-B. Does size matter? The relationship between pond area and biodiversity, *Biological Conservation*, 104(2002):59-70
- Pravilnik o proglašenju i zaštiti strogo zaštićenih i zaštićenih divljih vrsta biljaka, životinja i gljiva. *Sl. Glasnik RS*, br. 5/2010 i 47/2011
- Rosset V, Simaika PJ, Arthaud F, Bornette G, Vallod D, Samways JM and Oertli B. Comparative assesment of scoring methods to evaluate the conservation value of pond and small lake biodiversity, *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 23(2013):23-36.
- Søndergaard M, Lauridsen TL, Johansson L and Jeppesen E. Gravel pit lakes in Denmark: Chemical and biological state, *Science of the Total Environment*, 612(2018): 9-17.

- Stevanović V, (1999). Crvena knjiga flore Srbije, vol.1 : iscezli i krajnje ugrozeni taksoni. Ministarstvo za Životnu Sredinu Republike Srbije : Biološki Fakultet Univerziteta u Beogradu : Zavod za Zaštitu Prirode Republike Srbije
- Tockner K and Stanford JA. Riverine flood plains: present state and future trends, *Environmental Conservation*, 29(2002): 308–330.
- Tockner K, Malard F, Ward JV. An extension of the flood pulse concept, *Hydrological Processes*, 14(2000): 2861–2883.
- Willby N, Pitt J, Phillips G. (2009). The ecological classification of UK lakes using aquatic macrophytes. Environment Agency Science Report. Project SC010080/SR. Bristol.
- Williams P, Biggs J, Whitfield M, Corfield A, Fox G and Adare K. (1998). Biological techniques of still water quality assessment. Phase 2. Method development. Technical Report E56. Environment Agency: Bristol.

## АНАЛИЗА ИСТОРИЈСКОГ НИЗА ПОДАТАКА О КВАЛИТЕТУ ВОДЕ СКАДАРСКОГ ЈЕЗЕРА

Павле Н. Ђурашковић

*Завод за хидрометеорологију и сеизмологију, Подгорица, Црна Гора*

### РЕЗИМЕ

Извршена је анализа историјског низа изабраних параметара квалитета воде Скадарског језера. Анализирана је промјена природних својстава воде и процеса трофије, преко односа изабраних јона, као и кисеоничних параметара. Констатовано је погоршање квалитета воде, почев од 8-ме декаде прошлог вијека и напредовање процеса трофије од олиго, ка еутрофији. На различитим локацијама дешавају се различити процеси продукције и разградње биомасе.

КЉУЧНЕ РИЈЕЧИ: Скадарско језеро, трофија, однос Ca/Mg, Ca/Na и N/P, корелација

## ANALYSIS OF SELECTED PARAMETER'S HISTORICAL DATA SERIES OF SKADAR LAKE WATER QUALITY

### ABSTRACT

The analysis of selected parameters hystorical data series of Skadar Lake water quality is done. The changes of natural water characteristics and trophic processes, as well as oxygen parameters are analysed by the ratio of selected ions. Decrease of water quality is evidented since 8<sup>th</sup> decade of the last centuary, also progresive trophic proceses from oligo to eutrophy. Different processes of production and destruction of biomasses are done at differen places.

KEY WORDS: Skadar Lake, trofic, ratio Ca/Mg, Ca/Na and N/P, correlation

### УВОД

Трофија воде је најважнији лимнолошки проблем акумулација. Међу најзначајнијим негативним ефектима еутрофизације акумулација су (Galvez-Cloutier и сар. 2007): Претјеран раст алги и макрофита, присуство опасних алги и токсина, стварање токсичних гасова NH<sub>4</sub> и H<sub>2</sub>S у придненој води, угрожавање станишта, лош изглед воде (скрама, цвјетање, мириса) итд.

Количина азота и фосфора у води је кључни фактор развоја процеса трофије. Развијено је неколико критеријума за процјену статуса трофије у природним акумулацијама, према садржају ових нутријената (Табекла 1):

Табела 1. Критеријуми за процјену статуса трофије у језерима  
Table 1. Criteria for assessment of trophic status in lakes

Трофички статус	Извор критеријума						
	ОЕЦД	Канада	Нирнберг		Квебек	Шведска	
	ТР ( $\mu\text{g/L}$ )	ТР ( $\mu\text{g/L}$ )	ТР ( $\mu\text{g/L}$ )	TN (mg/L)	ТР ( $\mu\text{g/L}$ )	ТР ( $\mu\text{g/L}$ )	TN (mg/L)
ултра-олиготрофни	<4	<4	-	-	-	-	-
олиготрофни	<10	4-10	<10	<0,35	4-10	<15	<0,4
мезотрофни	10-35	10-20	10-30	0,35-0,65	10-30	15-25	0,4-0,6
мезо-еутрофни	-	20-35	-	-	-	-	-
еутрофни	35-100	35-100	31-100	0,65-1,2	30-100	25-100	0,6-1,5
хипер-еутрофни	>100	>100	>100	>1,2	-	>100	>1,5

Постоје и класификације према величини транспарентности (Секи диск), садржају хлорофила-а, разним индексима трофије, односима нутријената итд.

Здраве алге обично садрже 16 атома азота на један атом фосфора (Wetzel, 1983). Ако је однос TN/TP у слатким водама већи од 7, сматра се да је за раст алги кључни елемент фосфор, а ако је однос мањи од 7, кључни елемент је азот (Meuybeck et al. 1989, Charman 1996). У реалним условима, овај однос мањи од 10 указује на недостатак азота, а већи од 20, на недостатак фосфора (Charman, 1996). Обично је однос TN/TP низак у еутрофним а повећан у мезо- и олиготрофним језерима. Присуство опасних цијанобактерија је ријетко при TN/TP>29 (Smith, 1983; UNEP 2006).

Еутрофикација је један од кључних проблема екосистема Скадарског језера (Ђурашковић и сар., 1999; Ђурашковић и сар., 2006; Ђурашковић, 2012; Ђурашковић, 2013; Ђурашковић, 2015). Притоке су основни извор нутријената у језерској води (Филиповић и сар., 1997). Задатак рада је да се одговарајућом анализом историјског низа података изабраних параметара квалитета воде Скадарског језера да допринос познавању стања и промјена природних својстава и процеса трофије у овом акваторијуму.

## МАТЕРИЈАЛ И МЕТОДА РАДА

За обраду су коришћени историјски низови мјерних података за садржај калцијума, магнезијума, натријума, сатурације кисеоником, БПК<sub>5</sub>, ортофосфора, амонијачног, нитратног и нитритног азота, који су дио базе података о квалитету Скадарског језера, добијени у редовном мониторингу Завода за хидрометеорологију и сеизмологију. Вриједности укупног неорганског азота су добијене сумирањем појединачних неорганских компоненти. Укупни азот је мјерен само у 2014.

За статистичку обраду коришћен је стандардни пакет EXCEL.

## РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

Односи јона нутријената и метала у декадама и у укупном периоду, за све станице, дати су у табелама 3.1.-3.4. Период мјерења је различит за различите станице.

Средње годишње вриједности ортофосфора су најмање код Каменика, Врађине, Плавнице и на крајњем југу, а највеће код Подхума, нитрата – најмања у јужној зони, а највећа код Плавнице, амонијума – најмања код Врађине и Плавнице, а највећа код Подхума, сатурације – најмања код Вирпазара, а највећа код Врађине и Подхума, БПК<sub>5</sub> – најмања код Средине, а највећа код Вирпазара, калцијума – најмања код Морачника, највећа код Вирпазара и натријума – најмања код Средине, а највећа код Плавнице.

Табела 1.1.: Основна статистика низова података за станицу Каменик  
Table 1.1.: Basic statistic of data series for Kamenik station

	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	SAT	BPK <sub>5</sub>	o-P	N- NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	N- NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	TIN	TN
STD	7,83	2,72	0,81	17	1,12	0,04	0,16	0,30	0,12	0,35	0,16
K dev %	17	43	32	15	46	203	174	198	445	134	39
A	44,8	6,39	2,52	112	2,42	0,02	0,09	0,15	0,03	0,26	0,42
G	56,6	6,67	2,29	99	1,38	0,01	0,05	0,30	0,02	0,31	0,48

У погледу девијације низова података, разликују се два подручја језера: сјеверни дио језера, који је подручје под непосредним утицајем притока и подземних вода (Каменик, Врађина, Вирпазар, Плавница и Подхум) и централно-јужни, који представља пелагичну зону и обалну зону сличну пелагијалу (Средина, Старчево, Морачник и Цкла). Подаци основне статистике дати су у табелама 1.1-1.9. У сјеверној зони литорала девијација података је велика (коэффициент варијације већи од 100%) за јоне нутријената, а много мања за метале и кисеоничне параметре. Расподјела података одступа од нормалне. Истиче се повећана девијација података за БПК<sub>5</sub> код Врађине и података за амонијум и нитрите код Вирпазара, што је посљедица сложеног односа уноса нутријената и њихове трансформације у води на овој локацији.

Табела 1.2.: Основна статистика низова података за станицу Врађина  
Table 1.2.: Basic statistic of data series for Vranjina station

	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	SAT	BPK <sub>5</sub>	o-P	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	TIN	TN
STD	8,49	4,11	1,69	19	3,57	0,05	0,13	0,17	0,12	0,23	0,08
K dev %	19	57	69	16	126	188	272	99	333	98	25
A	44,68	7,28	2,45	115	2,83	0,02	0,05	0,17	0,04	0,23	0,33
G	60,7	14,7	2,2	102	6,12	0,01	0,00	0,00	0,02	0,5	0,4

Табела 1.3.: Основна статистика низова података за станицу Вирпазар  
Table 1.3.: Basic statistic of data series for Virpazar station

	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	SAT	BPK <sub>5</sub>	o-P	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	TIN	TN
STD	9,87	4,74	1,31	23	1,71	0,27	0,53	0,34	0,09	0,60	0,05
K dev %	20	54	42	22	56	289	440	215	532	213	17
A	48,68	8,72	3,12	107	3,05	0,09	0,12	0,16	0,02	0,28	0,30
G	47,56	7,38	2,85	103	2,42	0,00	0,00	0,03	0,00	0,11	0,29

За пелагијал језера карактеристична је мала девијација за метале и кисеоничне параметре (свега 9% за сатурацију кисеоником, код Средине), а врло велика за нутријенте, нарочито за нитрите. У пелагијалу, стабилизацијом хидробиохемијских својстава, долази до хомогенизације параметара квалитета воде. Величина девијације се смањује у правцу Средина-Старчево-Морачник, али се вриједности поново мало повећавају код Цкла, што може бити последица утицаја загађења са подручја Скадра.

Табела 1.4.: Основна статистика низова података за станицу Плавница  
Table 1.4.: Basic statistic of data series for Plavnica station

	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	SAT	BPK <sub>5</sub>	o-P	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	TIN	TN
STD	11,17	4,08	1,28	21	1,53	0,03	0,15	0,19	0,00	0,25	0,11
K dev %	24	52	40	19	61	148	295	103	322	107	37
A	45,67	7,85	3,17	108	2,50	0,02	0,05	0,18	0,00	0,23	0,31
G	44,17	6,76	2,93	106	2,08	0,00	0,00	0,04	0,00	0,12	0,29

Табела 1.5.: Основна статистика низова података за станицу Подхум  
Table 1.5.: Basic statistic of data series for Podhum station

	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	SAT	BPK <sub>5</sub>	o-P	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	TIN	TN
STD	7,79	3,41	1,16	16	1,21	0,14	0,33	0,16	0,18	0,51	0,15
K dev %	20	52	48	14	71	132	136	103	174	112	45
A	38,75	6,57	2,43	115	1,71	0,10	0,24	0,15	0,10	0,46	0,34
G	37,90	5,91	2,21	113	1,31	0,00	0,00	0,01	0,00	0,08	0,30

Табела 1.6.: Основна статистика низова података за станицу Средина  
Table 1.6.: Basic statistic of data series for Sredina station

	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	SAT	BPK <sub>5</sub>	o-P	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	TIN	TN
STD	6,52	2,16	0,71	10,00	1,03	0,09	0,09	0,15	0,03	0,17	0,17
K dev %	18	37	30	9	88	225	129	166	486	112	53
A	35,60	5,88	2,38	109,21	1,17	0,04	0,07	0,09	0,01	0,16	0,33
G	34,94	5,49	2,26	108,77	0,87	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,29



Табела 1.7.: Основна статистика низова података за станицу Старчево  
Table 1.7.: Basic statistic of data series for Starčevo station

	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	SAT	BPK <sub>5</sub>	o-P	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	TIN	TN
STD	8,79	2,81	0,92	12	1,00	0,07	0,19	0,12	0,05	0,24	0,05
K dev %	25	51	35	11	68	240	189	121	439	118	23
A	35,63	5,54	2,65	114	1,47	0,03	0,10	0,10	0,01	0,20	0,21
G	34,40	4,69	2,50	113	0,82	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,20

Табела 3.1.: Однос неорганског азота и ортофосфора  
Table 3.1.: TIN/ToP ratio

Period	1974-1980		1981-1990		1991-2000		2001-2014		Uk. period
	opseg	sr.vr.	opseg	sr.vr.	opseg	sr.vr.	opseg	sr.vr.	
Kamenik	-	-	-	-	0-105	13	0-290	25	22
Vranjina	-	-	0-74	9	0-337	29	1-114	31	25
Virpazar	-	-	0-37	5	0-125	17	0-267	30	20
Plavnica	-	-	0-104	14	1-125	17	1-540	39	28
Podhum	-	-	-	-	0-78	12	1-124	16	22
Sredina	-	-	-	-	0-6	4*	0-54	8	7
Starčevo	-	-	-	-	0-52	14	0-203	26	24
Moračnik	-	-	-	-	0-32	8	0-167	24	21
Ckla	-	-	-	-	0-32	12	0-107	13	13

\*1998-2000

Однос азота и фосфора указује који је нутријент лимитирајући за процес трофије воде. Пошто нема података за укупни фосфор, коришћени су подаци за ортофосфор. За највећи дио периода нема података за укупни азот (осим за 2014.), па су коришћени подаци за укупни неоргански азот (збир NH<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>). Ови облици нутријената су доминантни у води Скадарског језера, што омогућава да прорачунати односи буду релевантни за оцјену улоге појединог нутријента у процесу трофије.

У периоду 1981-1990 опсег вриједности односа неорганског азота и ортофосфора указује на промјену улоге азота и фосфора у процесима трофије, међутим средње вриједности указују на лимитирајућу улогу азота. Ради се о зони језера, која је под непосредним континенталним притиском. Опсег односа је нешто шири, од литературних података (Филиповић и сар., 1997)

У декади 1991-2000 вриједности односа N/P указују на промјенљиву улогу једног или дугог нутријента, с тим што много веће вриједности у сјеверној зони указују на недостатак фосфора. У јужној зони лимитирајућа улога фосфора је смањена. Међутим, у пелагијалу лимитирајућа улога азота је евидентна у читавом периоду. Релативно ниске средње вриједности односа указују да је кључни елемент трофије азот, а фосфор само повремено, на свим станицама, осим код Врањине.

У периоду 2001-2014 опсег вриједности односа је повећан и на јужним станицама. Недостатак фосфора код Врањине је смањен у односу на претходну декаду, док је на осталим станицама повећан, најмање код Средине. Средње вриједности су такође повећане и указују на кључну улогу фосфора за развој трофије, осим код Подхума, Средине и Цкла.

Подаци за укупни азот постоје само за 2014. Средње вриједности, као и опсег овог односа нијесу сувише високе, али указују на ортофосфор, као недостајући нутријент у води, осим код Морачника и Цкла, гдје су оба елемента једнако важни за процес трофије воде.

Табела 3.2.: Однос укупног азота и ортофосфора  
Table 3.2.: TN/ToP ratio

Period	1974-1980		1980-1990		1990-2000		2014		Uk. period
	opseg	sr.vr.	opseg	sr.vr.	opseg	sr.vr.	opseg	sr.vr.	
Kamenik	-	-	-	-	-	-	12-70	35	35
Vranjina	-	-	-	-	-	-	16-46	28	28
Virpazar	-	-	-	-	-	-	20-38	29	29
Plavnica	-	-	-	-	-	-	18-71	37	37
Podhum	-	-	-	-	-	-	19-67	45	45
Sredina	-	-	-	-	-	-	13-67	30	30
Starčevo	-	-	-	-	-	-	17-24	20	20
Moračnik	-	-	-	-	-	-	10-17	14	14
Ckla	-	-	-	-	-	-	13-17	16	16

Ниски однос Са/Мг указује на природне карактеристике воде, с обзиром да је вода језера хидрокарбонатног типа. Вриједности односа ових јона су врло различите током испитног периода. Према овом односу природно стање је углавном нарушено, на шта индицирају високе и средње вриједности. Поремећај природних својстава језера почиње од 1980, а изражен је код Врањине. Само понекад, претпостављамо последице високих вода и хидрохемијске стабилизације система, вриједности односа су у прописаном опсегу 2-4 (Уредба, 2007), о чему свједоче минималне вриједности у Табели 3.3. Судбина ових јона, за чији прилив су одговорне притоке, условљена је углавном биохемијским процесима и процесима јонске измјене у екосистему.

Однос калцијума, као геолошког елемента и натријума, као антропогеног елемента, може да укаже на промијењена својства воде, због људског утицаја. Ниска вриједност односа указује на погоршање природних својстава воде.

Табела 3.3.: Однос садржаја калцијума и магнезијума  
Table 3.3.: Ca/Mg ratio

Period	1974-1980		1980-1990		1990-2000		2000-2014		Uk. period
	opseg	sr.vr.	opseg	sr.vr.	opseg	sr.vr.	opseg	sr.vr.	
Kamenik	-	-	-	-	2-99	12	1-30	9	10
Vranjina	1-24	6*	2-52	7	2-88	15	1-107	12	10
Virpazar	1-12	6	2-20	6	2-58	13	1-56	10	8
Plavnica	1-16	6	2-67	8	2-48	11	1-29	8	8
Podhum	-	-	-	-	2-22	8	1-36	7	8
Sredina	-	-	-	-	2-14	6**	2-28	7	7
Starčevo	-	-	-	-	2-60	10	1-41	10	10
Moračnik	-	-	-	-	2-280	17	2-23	7	11
Ckla	-	-	-	-	1-149	17	2-48	9	10

\*period 1966-1980

\*\*period 1998-2000

Према средњим вриједностима односа, по појединим периодима, природне карактеристике воде имају тренд погоршања од почетка мјерења до 2000. Међутим у периоду 2001-2014 поново се карактеристике поправљају. Једино се код Плавнице стање воде и даље погоршало.

Табела 3.4.: Однос садржаја калцијума и натријума  
Table 3.4.: Ca/Na ratio

Period	1974-1980		1980-1990		1990-2000		2000-2014		Uk. period
	<i>opseg</i>	sr.vr.	<i>opseg</i>	sr.vr.	<i>opseg</i>	sr.vr.	<i>opseg</i>	sr.vr.	sr.vr.
Kamenik	-	-	-	-	8-32	18	4-51	20	19
Vranjina	10-72	25	5-90	24	6-29	18	2-27	23	23
Virpazar	7-37	20	5-271	20	6-43	18	9-48	18	19
Plavnica	8-36	22	4-93	19	6-38	16	2-36	12	17
Podhum	-	-	-	-	6-22	15	9-90	22	19
Sredina	-	-	-	-	11-26	15*	6-56	17	17
Starčevo	-	-	-	-	4-29	14	4-50	16	15
Moračnik	-	-	-	-	7-45	15	8-53	15	15
Ckla	-	-	-	-	5-45	15	9-53	17	16

\*period 1998-2000

Коефицијенти корелације изабраних парова параметара дати су у Табели 2. Релација САТ-БПК<sub>5</sub> одражава однос процеса продукције и разградње органске масе. Корелација овог пара је јака и највећа је код Каменика и Подхума, што указује на постигнуту релативно добру равнотежу ова два процеса у води. Доминирајући процеси продукције или разградње биомасе индицирани су ниским коефицијентом корелације код Вирпазара и Плавнице. Корелација пара орто-Р и САТ је врло ниска, чак је негативна код Плавнице, Морачника и Цкла. Једино је код Подхума ова корелација нешто чвршћа. С друге стране, корелација пара БПК<sub>5</sub>-орто-Р је такође ниска, понегдје негативна, а нешто јача код Каменика и Старчева. Ово указује на сложене процесе, којима подлеже присутна органска материја, као и сложеност кружног циклуса органске материје у екосистему језера (мада и могућу неадекватност методолошког приступа мониторинга квалитета воде). Релативно добра и негативна корелација пара САТ-ТИН указује на азот, као узрок продукције код Подхума, па и Врањине и Морачника. Истовремено и корелација БПК<sub>5</sub>-ТИН слична је и истог знака код Подхума. За разлику од ове корелације, која на свим станицама има негативан предзнак, корелација пара орто-Р-ТИН мијења знак од мјеста, до мјеста. Корелација је врло јака и позитивна код Вирпазара, а јака код Средине. Код Вирпазара је то вјероватно последица прилива свјежег загађења из отпадних вода, а код Средине, последица стабилизације стања и успостављања равнотеже процеса кружног тока нутријената у води. Корелација на осталим станицама је ниска, без обзира којег је знака. Корелација орто-Р и нитратног азота је јака само код Средине, а корелација орто-Р и амонијачног азота је ниска на свим станицама.

Табела 1.8.: Основна статистика низова података за станицу Морачник  
Table 1.8.: Basic statistic of data series for Moračnik station

	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	SAT	BPK <sub>5</sub>	o-P	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	TIN	TN
STD	7,59	2,61	0,92	10	0,93	0,02	0,16	0,11	0,00	0,20	0,05
K dev %	22	44	35	9	61	151	205	117	239	122	28
A	35,30	5,92	2,66	114	1,52	0,02	0,08	0,09	0,00	0,17	0,19
G	34,41	5,16	2,50	114	1,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,18

Табела 1.9.: Основна статистика низова података за станицу Цкла  
Table 1.9.: Basic statistic of data series for Ckla station

	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	SAT	BPK <sub>5</sub>	o-P	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	TIN	TN
STD	7,18	2,82	1,01	1	0,99	0,04	0,16	0,11	0,05	0,21	0,05
K dev %	20	47	40	14	66	213	196	134	430	123	27
A	35,77	6,00	2,54	113	1,50	0,02	0,08	0,08	0,01	0,17	0,20
G	35,01	5,18	2,37	111	1,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,19

Амонијум се иначе јавља у дискретним вриједностима, највише тамо гдје су мјеста непосредне емисије путем притока, и вјероватно брзо доживљава трансформацију микробиолошким путем.

Табела 2.: Коефицијенти корелације изабраних парова параметара  
Table 2.: Correlation coefficient for selected parameters pairs

R	SAT- BPK <sub>5</sub>	SAT-oP	SAT- TIN	BPK <sub>5</sub> -oP	BPK <sub>5</sub> - TIN	oP-TIN	oP-N/NO <sub>3</sub>	N/NH <sub>4</sub> - N/NO <sub>2</sub>
Kamenik	0,58	0,19	-0,05	0,22	-0,14	0,15	0,23	0,18
Vranjina	0,33	0,14	-0,27	0,11	-0,12	-0,14	-0,05	0,09
Virpazar	0,18	0,15	0,08	0,10	-0,02	0,88	-0,05	0,00
Plavnica	0,19	-0,11	-0,13	0,11	-0,14	-0,07	-0,02	0,01
Podhum	0,56	0,26	-0,35	-0,01	-0,29	0,01	0,16	-0,05
Sredina	0,31	0,15	0,12	-0,07	-0,01	0,43	0,47	-0,08
Starčevo	0,40	0,11	-0,15	0,26	-0,17	-0,17	-0,14	-0,09
Moračnik	0,42	-0,10	-0,20	-0,04	-0,17	-0,02	-0,04	-0,07
Ckla	0,44	-0,01	-0,12	0,06	0,08	0,06	0,07	-0,06

## ЗАКЉУЧАК

Извршена је анализа историјског низа садржаја калцијума, магнезијума, натријума, ортофосфора, амонијачног, нитратног и нитритног азота, затим сатурације кисеоником и БПК<sub>5</sub>, у циљу испитивања стања и промјена природних карактеристика и процеса трофије у води Скадарског језера.

Утврђен је широки опсег промјена, у зависности од временског периода и локације мјерења.

Јасно се уочавају двије зоне акватичног екосистема: сјеверна зона динамичких промјена и нестабилног стања, која је под непосредним утицајем људског притиска, и централно-југозападна пелагична зона, стабилизованог хидро-био-хемијског стања и промјена.

У дугом мјерном периоду (на неким локацијама од 1974.) уочавају се трендови погоршања квалитета воде, како природних својстава, тако и трофичног статуса, од олиготрофног, на почетку периода, до еутрофног, у савременим условима. Изражена динамика физичких и биотичких фактора условљава извјесна одступања од ове генералне оцјене, просторно и временски

#### ЛИТЕРАТУРА

- Galvez-Cloutier R. et al (2007): Trophic Status Evaluation for 154 Lakes in Quebec, Canada: Monitoring and Recommendation, Water Qual. Res. J. Canada, Vol. 42, 252-268.
- Directorate. (2004): Canadian Guidance Framework for the Management of Phosphorus in Freshwater system, Report No 1-18.
- Ђурашковић ПН, Шаботић Р. (1999): Квалитет воде Скадарског језера са аспекта кисеоничног режима, Конференција „Заштита вода 99“
- Ђурашковић ПН., Којовић А. (2006): Statističke karakteristike podataka sadržaja nutrijenata za vode Skadarskog jezera i glavnih pritoka, BALWOIS Scientific Conference, Ohrid
- Ђурашковић ПН: (2012): Estimation of the pollution load transfer through the Skadar Lake water system, BALWOIS Scientific Conference, Ohrid
- Ђурашковић, ПН. (2013): Аутоматизација као начин унапређења мониторинга квалитета вода, Конференција „Вода 2013“, СДЗВ
- Ђурашковић, ПН. (2015): Процјена трофичког статуса вода Скадарског језера преко индекса трофичности – ТСИ, Конференција „Вода 2015“, СДЗВ
- Environment Canada, National Guidelines and Standards Office. Water Policy and Coordination
- MDDEP (2007): Available on-line at:  
[http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/criteres\\_eau/index.htm](http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/criteres_eau/index.htm)
- Meybeck M., Chapman D., Helmer R. (1989): Global freshwater quality: a first assessment, Blackwell Ref., Oxford, p. 306
- Nürnberg G. (2001): Eutrophication and Trophic State, LAKELINE, pp 29-33
- OECD- Environment Directorate (1982): Eutrophication of waters: Monitoring, assessment and control, Final report, Paris, p 154
- Smith VH. (1983): Low Nitrogen to Phosphorus Ratio Favours dominance by Blue-green algae in Lake phytoplankton, Science 221: 669-671
- University of Florida (1983): Trophic State: A Waterbody's Ability to Support Plants and Fish
- UNEP (2006): Planning and Management of Lakes and Reservoirs: An Integrated Approach to Eutrophication. Division of Technology, Industry and Economics.

- Филиповић С. Авдагић И. (1997): Извори хранљивих соли у води Скадарског језера, ЦАНУ, Научни скупови, књига 44
- Chapman D. (1996): Water Quality Assessment: A Guide to the use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring, Second Ed., UNESCO/WHO/UNEP
- Уредба о класификацији и категоризацији вода, Сл.л. ЦГ број 2/07
- Wetzel RG. (1983): Limnology, Sec. ed. Michigan State University, p. 753

## ANALIZA UZRASNE I POLNE STRUKTURE *ALBURNUS SCORANZA* (HECKEL ET KNER, 1858.) IZ SKADARSKOG JEZERA

Ivana Đuretić\*, Marijana Krivokapić\*\*

\* *Univerzitet Crne Gore, Prirodno matematički fakultet, Studijski program za biologiju, Podgorica, email: [ivanadjuretic1@gmail.com](mailto:ivanadjuretic1@gmail.com)*

\*\* *Univerzitet Crne Gore, Prirodno matematički fakultet, Studijski program za biologiju, Podgorica*

### REZIME

Analizom populacionih parametara u ovom radu utvrđena je uzrasna struktura kao i odnos polova/polna struktura *Alburnus scoranza*. Istraživanje je vršeno na jednogodišnjem nivou, tokom sve četiri sezone, na ukupnom uzorku od 193 jedinke. Analizom populacionih parametara utvrđeno je pet uzrasnih grupa od jedne (0<sup>+</sup>) do (4<sup>+</sup>) pet godina starosti. Najviši procenat uzrasne distribucije javlja se kod jedinki iz utrasne klase 2<sup>+</sup> (48.19%), dok je 1<sup>+</sup> uzrasna klasa prisutna sa 40.41%. Utvrđeno je manje procentualno prisustvo starijih uzrasnih grupa. Jedinke sa četiri godine starosti (3<sup>+</sup>) zastupljene su sa 3.11%, dok su jedinke sa pet godina starosti (4<sup>+</sup>) prisutne sa svega 0.52%. Istraživanjem polne strukture tokom ljetnjeg perioda utvrđeno je da od ukupno 43 analizirane jedinke, 30 jedinki su bili mužjaci sa procentualnom zastupljenošću od 69.77%, dok je brojčana zastupljenost ženki u uzorku iznosila 13, a procentualno učešće 30.23%. U uzorku iz jesenjeg perioda, od 50 analiziranih jedinki 21 su bili mužjaci (42%) a brojčana zastupljenost ženki bila je 29 (58%). Tokom zimskog perioda ženke su bile zastupljene sa 36%, a mužjaci sa 64%. Dominantnost prisustva mužjaka evidentna je i u proljećnoj sezoni (62%).

KLJUČNE REČI: uzrasna struktura, polna struktura, *Alburnus scoranza*, Skadarsko jezero

## ANALYSIS OF THE AGE AND SEX STRUCTURE OF *ALBURNUS SCORANZA* (HECKEL ET KNER, 1858.) FROM SKADAR LAKE

### ABSTRACT

By analyzing the population parameters, in this study, the age structure and the ratio of the sex/structure of the *Alburnus scoranza* has been determined. The research was carried out on a one-year basis, during all four seasons, on a total basis of 193 individuals. The analysis of population parameters is determined in five age groups from one (0<sup>+</sup>) to (4<sup>+</sup>) five years old. The highest percentage of the age distribution occurs in individuals from the age groups of 2<sup>+</sup> (48.19%), while 1<sup>+</sup> age group was presented with 40.41%. A smaller percentage of older elderly groups have been established. The four-year-olds (3<sup>+</sup>) are represented with 3.11%, while the five-year-olds (4<sup>+</sup>) were presented with only 0.52%. By researching of sex structure during the summer period, it was found that out of a total of 43

analyzed individuals, 30 individuals were males with a percentage representation of 69.77%, while the number of females in the sample were 13, with the percentage participation of 30.23%. In the autumn sample, of the 50 analyzed individuals 21 -males (42%) and 29 females has been determined (58%). During the winter period, females were represented with 36%, and males with 64%. The dominance of males is also evident in the spring season (62%).

KEY WORDS: age structure, sex structure *Alburnus scoranza*, Skadar Lake

## UVOD

Skadarsko jezero predstavlja prirodno blago ribe, u kome dominiraju ciprinidne vrste. Pored značaja i uloge ihtiofaune u ovom akvatičnom ekosistemu, evidentan je i veliki komercijalni značaj. Od brojnih vrsta koje se izlovljavaju u većim količinama, treba istaći ukljevu (*Alburnus scoranza*), krapa (*Cyprinus carpio*) i jegulju (*Anguilla anguilla*), kao i introdukovane vrste – srebrnog karaša (*Carassius gibelio*) i grgeča (*Perca fluviatilis*). Vrste koje se izlovljavaju u manjim količinama ubrajaju se; skobalj (*Chondrostoma ohridanus*), klen (*Squalius platyceps*), ljolja (*Scardinius knezevici*), žutalj-brona (*Rutilus prespensis*), kubla (*Alosa fallax*), cipol (*Mugilidae*). Polno sazrijevanje riba nastaje uglavnom onda, kada dostignu polovinu svoje maksimalne dužine, odnosno period nastupanja polne srezlosti zavisi umogome više od dužine tijela nego od uzrasta. Zbog različitih antropogenih uticaja dolazi do kvalitativne i kvantitativne izmjene ihtiopopulacija. Smanjenje brojnosti populacija najviše je izraženo kod ekonomski važnih vrsta. Ukljeva (*Alburnus scoranza*) je dominantna vrsta ulova sa Skadarskog jezera i učestvuje sa 54%. Ribolovna sezona traje 135 dana, tokom kasne jeseni i za vrijeme cijele zime. Ukljeva se uglavnom lovi u jezerskim kriptodepresijama, jezerska oka, Raduš, Karuč, Volač, Ranj. U ovom periodu ukljeva formira ogromna jata u ovim zalivima, tako da je skoro cjelokupna populacija ove ribe skoncentrisana u ovim “zimovalištima”. Najčešći način lova ukljeve je uz pomoć griba i kalimere. Ukljeva se ovim alatima lovi u ogromnim količinama. Izlovljava se i ukljevnim mrežama sa promjerom okca od 16 mm. Ona je omiljen ulov sportskih i rekreativnih ribolovaca, koji za lov koriste dugačke štapove, najlon, plovak i udice.

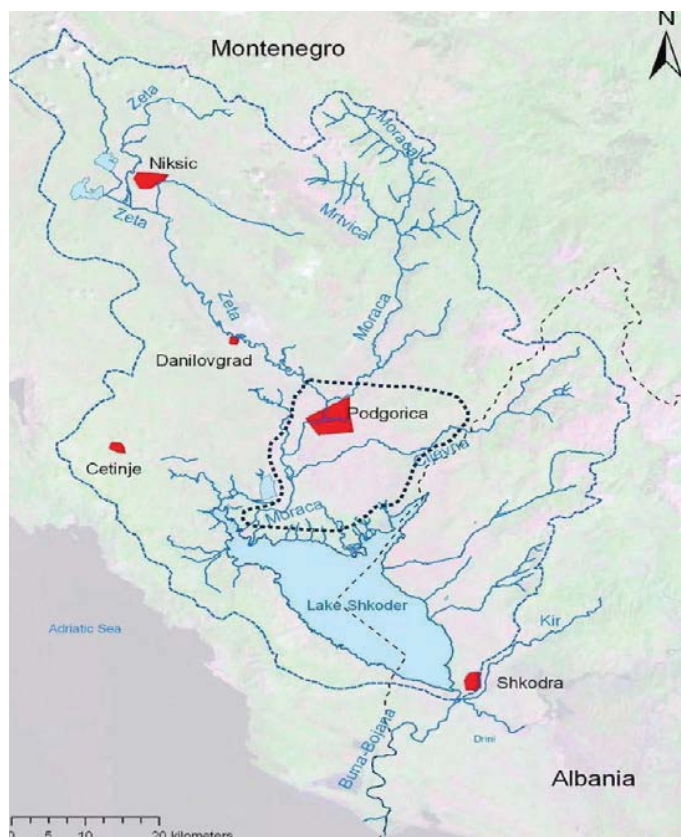
## MATERIJAL I METODE RADA

Populacioni parametri ukljeve ispitivani su kroz uzrasni i polni sastav jedinki. Istraživanja su izvršena na području Skadarskog jezera 2014.godine u sve četiri sezone na ukupno sto devedeset i tri (193) primjerka.

Ribe su ulovljene ukljevnim mrežama, sa promjerom okca od 16 mm.

Determinacija riba vršena je pomoću “ključa” za determinaciju slatkovodnih vrsta riba (Vuković i Ivanović, 1971; Freyhof & Kottelat, 2007.)





Mapa 1. Sliv Skadarskog jezera (Keukelaar et al, 2006.)  
Figure 1. The basin of the Skadar Lake (Keukelaar et al, 2006.)

#### SASTAV POLULACIJE PO STAROSTI JEDINKI

Tabela 1 Populacioni parametri *Alburnus scoranza* po starosnim grupama

Table 1 Population parameters of *Alburnus scoranza* by age groups

Starosna grupa	Broj primjeraka	Procenat (%) zastupljenosti
0 <sup>+</sup>	15	7.77
1 <sup>+</sup>	78	40.41
2 <sup>+</sup>	93	48.19
3 <sup>+</sup>	6	3.11
4 <sup>+</sup>	1	0.52

Analizom populacionih parametara po starosnim grupama (tab.1) utvrđeno je pet uzrasnih grupa, odnosno jedinke različite starosti od jedne (0<sup>+</sup>) do pet (4<sup>+</sup>) godina.

Najviši procenat uzrasne distribucije javlja se kod jedinki iz uzrasne klase 2<sup>+</sup> sa 48.19%, dok 1<sup>+</sup> uzrasna klasa sa 40,41%.

Utvrđeno je manje procentualno prisustvo ostlih starijih uzrasnih grupa, takođe, navodi na konstataciju da je riječ o normalnoj ravnoteži populacije, U skladu sa navedenim, jedinke uzrasta četiri godine starosti, odnosno 3<sup>+</sup>, zastupljene su sa 3,11%, kao i jedinke sa pet godina starosti, odnosno 4<sup>+</sup>, koje su zastupljene sa 0,52%. Dominantnost mlađih uzrasnih klasa ukazuje na brzi porast populacije. Kada bi bila uočljiva pojava dominantnosti starijih uzrasnih klasa, to bi govorilo o populaciji u padu, odnosno o populaciji u opadanju, s obzirom na to da se na osnovu strukture uzrasnih klasa indicira smjer razvoja populacije.

### ODNOS POLOVA

Tabela 2. Polna struktura *Alburnus scoranza*  
Table 2. Gender structure of *Alburnus scoranza*

Pol	Ljetnji period		Jesenji period period		Zimski period		Proljećnji	
	n	%	n	%	n	%	n	%
Mužjaci	30	69.77	21	42.00	32	64.00	31	62.00
Ženke	13	30.23	29	58.00	18	36.00	19	38.00
Ukupno	43	100.00	50	100.00	50	100.00	50	100.00

n - broj primjeraka

% - procentualna zastupljenost

Tokom analize odnosa polova populacije ukljeve uočava se pojava veće zastupljenosti mužjaka u odnosu na ženke. U ljetnjem periodu od ukupno 43 analiziranih jedinki – 30 bili su mužjaci sa procentualnom zastupljenošću od 69,77%. Brojčana zastupljenost ženki u uzorku bila je 13 jedinke, a procentualno učešće u uzorku iz ljetnjeg perioda 30,23%.

U uzorku iz jesenjeg perioda od 50 analiziranih jedinki – 21 jedinku, činili su mužjaci sa procentualnom zastupljenošću od 42%. Brojčana zastupljenost ženki u uzorku bila je 29 jedinke, a procentualno učešće u uzorku iz jesenjeg perioda 58%.

U uzorku iz zimskog perioda od ukupno 50 analiziranih jedinki – 32 bili su mužjaci sa procentualnom zastupljenošću od 64%. Brojčana zastupljenost ženki u uzorku bila je 18 jedinke, a procentualno učešće u uzorku iz zimskog perioda 36%.

U uzorku iz proljećnog perioda od ukupno 50 analiziranih jedinki – 31 bili su mužjaci sa procentualnom zastupljenošću od 62,0%. Brojčana zastupljenost ženki u uzorku bila je 19 jedinke, a procentualno učešće u uzorku iz proljećnog perioda 38%.

Tabela 3. Struktura zastupljenosti polno zrelih primjeraka populacije *Alburnus scoranza*  
 Table 3. The structure of the presence of sexually mature specimens of the population *Alburnus scoranza*

Pol	Ljetnji period		Jesenji period		Zimski period		Prolječni period	
	n	%	n	%	n	%	n	%
Polno zreli								
Mušjaci	24	24.24	21	21.21	26	26.26	28	28.28
Polno zrele								
Ženke	13	16.46	29	36.71	18	22.78	19	24.05
Ukupno	37	20.79	50	28.09	44	24.72	47	26.40

U analizi populacije zastupljenosti polno zrelih jedinki (tab.3) uočena je pojava da u ljetnjem periodu ima više polno zrelih mužjaka (24.24%) nego polno zrelih ženki (16.46%). Od ukupno analiziranih jedinki u uzorku iz ljetnjeg perioda bilo je ukupno 20.79% polno zrelih jedinki.

U uzorku iz jesenjeg perioda je bilo više polno zrelih ženki (36.71%) u odnosu na polno zrele mužjake (21.21%), odnosno ukupno polno zrelih jedinki u analiziranom uzorku bilo je 28.09%.

U uzorku iz zimskog perioda je bilo više polno zrelih mužjaka (26.26%) u odnosu na polno zrele ženke (22.78%), odnosno ukupno polno zrelih jedinki u analiziranom uzorku bilo je 24.72%.

U uzorku iz prolječnog perioda je bilo više polno zrelih mužjaka (28.28%) u odnosu na polno zrele ženke (24.05%), odnosno ukupno polno zrelih jedinki u analiziranom uzorku bilo je 26.40%.

## DISKUSIJA

Analiza uzrasne strukture *Alburnus scoranza* pokazale su da su prisutne jedinke uzrasnih klasa od 0<sup>+</sup> do 4<sup>+</sup>, pri čemu se u najvišem procentu javljaju jedinke uzrasnih klasa 2<sup>+</sup>. Utvrđeno je manje procentualno prisustvo ostlih starijih uzrasnih grupa, takođe, navodi na konstataciju da je riječ o normalnoj ravnoteži populacije, odnosno da u populaciji nije došlo do poremećaja ravnoteže. U Skadarskom jezeru broj starijih uzrasnih klasa riba je mali, Šorić (2001); Ivanović (1964.) Takođe poređenjem dobijenih podataka, svih do sada utvrđenih vrijednosti o ukljevi sa podacima iz literature utvrđeno je da preovlađuju jedinke 2<sup>+</sup> uzrasne klase.. Evidentiranu starost ukljeve od pet godina (4<sup>+</sup>), navode sledeći autori: Ivanović, 1971; Šorić 1980; Vitali and Braghieri, 1981. Tokom analize odnosa polova u ovom radu, u populaciji ukljeve zabilježena je pojava veće zastupljenosti mužjaka od ženki. Ivanović (1964.) navodi da u ukupnom ulovu za period 1961-1963. godine dominiraju mužjaci u populaciji ukljeve. Sa porastom težine tijela riba, opada procenat zastupljenosti mužjaka, kada ženke preovlađuju. U analizi strukture zastupljenosti polno zrelih jedinki uočena je pojava da u ljetnjem periodu ima više polno zrelih mužjaka (24.24%) nego polno zrelih ženki (16.46%). U uzorku iz zimskog perioda je bilo više polno zrelih mužjaka (26.26%) u odnosu na polno zrele ženke (22.78%), odnosno ukupno polno

zrelih jedinki u analiziranom uzorku bilo je 24.72%. U uzorku iz proljećnog perioda je bilo više polno zrelih mužjaka (28.28%) u odnosu na polno zrele ženke (24.05%), odnosno ukupno polno zrelih jedinki u analiziranom uzorku bilo je 26.40%. U uzorku iz jesenjeg perioda je bilo više polno zrelih ženki (36.71%) u odnosu na polno zrele mužjake (21.21%), odnosno ukupno polno zrelih jedinki u analiziranom uzorku bilo je 28.09%. Iste podatke daje Ivanović (1964.) u doktorskoj disertaciji, koji navodi da kod jedinki 1<sup>+</sup> starosti preovlađuju mužjaci, kao i kod 2<sup>+</sup>, dok kod starijih uzrasnih klasa preovlađuju ženke. Za vrstu *Telestes montenegrinus* (nekada *Leuciscus souffia montenegrinus*) Krivokapic (2002), navodi 6 uzrasnih klasa sa procentualnim učešćem ženki u iznosu od 62.40% a mužjaka 37.60% u mriješnoj populaciji. Isti autor analizira populacionu strukturu, na ostovu težinske, dužinske, uzrasne, polne strukture *Squalius platyceps* (nekada *Leuciscus cephalus albus*) iz Skadarskog jezera (2004.;2005;2009), zatim stanje ihtiofaune u rijeci Morači i ravničarskim jezerima Skadarskom i Šaskom (Krivokapić,2006). dok 2015.a;,2015.b objavljuje istraživanja gametogeneze / reproduktivnih ciklusa mužjaka i ženki navedene *Squalius platyceps* populacije (Krivokapić, 2015.). Veliki broj naučnika od pedesetih godina prošlog vijeka (20 vijeka) dao je i daje doprinos istraživanju ihtipopulacija, kao i istraživanju cjelokupne biote Skadarskog jezera.

## ZAKLJUČAK

Analiza uzrasne populacije ukljeve pokazala je da su prisutne jedinke uzrasnih klasa od 0<sup>+</sup> do 4<sup>+</sup>. Jedinke uzrasne klase 2<sup>+</sup> najprisutnije su i javljaju se sa visokim procentom od 48,19%. Jedinke četiri godine starosti, odnosno 3<sup>+</sup>, zastupljene su sa 3,11%, dok su jedinke sa pet godina starosti, odnosno 4<sup>+</sup>, zastupljene su sa 0,52%. Utvrđeno je analizom manje procentualno prisustvo starijih uzrasnih grupa, što takođe, navodi na konstataciju da je riječ o normalnoj ravnoteži populacije, odnosno da u populaciji nije došlo do poremećaja balansa populacije.

Tokom analize odnosa polova u populaciji zabilježena je pojava veće zastupljenosti mužjaka u odnosu na ženke. U ljetnjem periodu od ukupno 43 analiziranih jedinki – 30 bili su mužjaci sa procentualnom zastupljenošću od 69,77%. Brojčana zastupljenost ženki u uzorku bila je 13 jedinki, a procentualno učešće u uzorku iz ljetnjeg perioda 30,23%.

U uzorku iz jesenjeg perioda od 50 analiziranih jedinki – 21 bili su mužjaci sa procentualnom zastupljenošću od 42%. Brojčana zastupljenost ženki u uzorku bila je 29 jedinki, a procentualno učešće u uzorku iz jesenjeg perioda 58%.

U uzorku iz zimskog perioda od ukupno 50 analiziranih jedinki – 32 bili su mužjaci sa procentualnom zastupljenošću od 64%. Brojčana zastupljenost ženki u uzorku bila je 18 jedinki, a procentualno učešće u uzorku iz zimskog perioda 36%.

U uzorku iz proljećnog perioda od ukupno 50 analiziranih jedinki – 31 bili su mužjaci sa procentualnom zastupljenošću od 62,00 %. Brojčana zastupljenost ženki u uzorku bila je 19 jedinki, a procentualno učešće u uzorku iz proljećnog perioda 38%. Urađene analize idu u

prilog tvrdnji da se i u idućim godinama očekuju slične vrijednosti u smislu održavanja nivoa stabilne brojnosti očekivane tendencije daljeg povećanja brojnosti populacije ukljeve. Analizom populacionih parametara u ovom radu, utvrđena je uzrasna struktura kao i odnos polova/polna struktura *Alburnus scoranza*.

### Zahvalnica

Ovom prilikom zahvaljujem prof.dr Marijani Krivokapić koja je prepoznala važnost i potencijal teme rada, te stručnim sugestijama usmjeravala i pozitivnim pristupom kontinuirano podupirala nastojanja da se ovaj rad uspješno privede kraju.

### LITERATURA:

- Drecun, Đ. (1983): Izmjena riblje populacije u Skadarskom jezeru. CANU. Radovi sa simpozijuma "Skadarsko jezero" 9:129–140
- Ivanović, B. (1968): Ekologija *Alburnus albidus alborella* (de Filippi) Skadarskog jezera. Godišnjak Boiloškog instituta, Univerziteta u Sarajevu XXI:5-70
- Ivanović, B., Knežević, B., Vuković, T. (1983): Populacija riba Skadarskog jezera i njihova zaštita. CANU. Radovi sa simpozijuma "Skadarsko jezero" 9: 123-128
- Kottelat, M., Bianco, P., (2005): On the valid name of the *alborella*, *Alburnus alborella* (Teleostei: Cyprinidae) Vol. 16.2, pp. 179-182
- Kottelat, M., Freyhof, J., (2007): Handbook of European Freshwater Fishes. Kottelat, Cornol, Switzerland and Freyhof, Berlin, Germany. 646 pp.
- Krivokapić, M. (2002.): Mriješćenje podvrste *Leuciscus souffia montenegrinus* (Cyprinidae, Pisces). Natura Montenegrina, Podgorica. No. 1, 135-152 UDK 597.554:639.3 (497.16) (045) =861
- Krivokapić, M. (2004): Population structure of white chub (*Leuciscus cephalus albus*) (Bonaparte, 1838) from Skadar lake - Europe, Montenegro (Western Balkans, Middle Adriatic sea watershed) according to *age classes*. Southeastern Ecology and Evolution Conference. Georgia Institute of Technology. Atlanta, Georgia, U.S.A. March 5- 7, 2004. Book of abstract pg. 47 (1 - 60).
- Krivokapić, M. (2005.): Population structure of white chub-*Leuciscus cephalus albus* (Pisces, Cyprinidae) from Skadar Lake, by *weight groups*. Natura Montenegrina, Podgorica, 4, 2005, 55-60. UDK 591.5: 591.526: 597.551.2 (497.1) (045)=111.
- Krivokapić, M. (2006.): Ihtiofauna slatkovodnih ekosistema Crne Gore (rijeka Morače i ravničarskih jezera: Skadarskog i Šaskog) s osvrtom na endemične, rijetke i ugrožene vrste. Prvi prilog 1-299 (26-37). Časopis za pedagošku teoriju i praksu. Izdavač :Zavod za udžbenike i nastavna sredstva. Podgorica.
- Krivokapić, M. (2009): Growth of *Telestes montenegrinus* from River Moraca, Montenegro (Cyprinidae). Ital. Journal of Zoology, 65 Suppl. 241-242. Italy.
- Krivokapić, M. (2015a): Female reproductive cycle phases (oogenesis) of white chub- *Squalius platyceps* (Actinopteri: Cyprinidae) from Skadar lake (Montenegro). *International Journal of Biosciences. Thomson Reuters Master Journal List*. ISSN: 2220-6655 (Print), 22222-5234 (Online). Vol.6, No. 11, p.9-18,2015.
- Krivokapić, M. (2015b): Male reproductive phases (spermatogenesis) of white chub-*Squalius platyceps* (Actinopteri: Cyprinidae) from Skadar lake (Montenegro). *International Journal of Biosciences Thomson Reuters Master Journal List*, ISSN: 2220-6655 (Print), 22222-5234 (Online). Vol.6, No. 11, p.1-8,2015.

- Keukelaar, F., De Goffau, A., Pradhan, T., Suttmuller, G., Misurovic, A., Ivanovic, S., Uskokovic, B., Hetoja, A., Haxhimihali, E., Prifti, A., Kapidani, E., Kashta, L. & Gulan, A. (2006): Lake Shkoder Transboundary Diagnostics Analysis Albania & Montenegro. Royal Haskoning. Project number 9P6515, Podgorica, 111 p.
- Marić, D., Krivokapić, M. (1997): Stanje faune riba u slivu Skadarskog jezera. CANU. Zbornik radova Prirodne vrijednosti i zaštita Skadarskog jezera, 44: 215-223
- Marić, D., Milošević, D. (2010): Katalog slatkovodnih riba (*Osteichthyes*) Crne Gore. CANU. 1-82
- Mrdak, D. (2009) : Procjena uticaja na životnu sredinu brana na Morači, na riblju faunu rijeke Morače i Skadarskog jezera. Izvještaj pripremljen za WWF MedPO i Green Home u okviru projekta Dijelimo vode – komponenta za Skadarsko jezero: 7- 65
- Šorić, V. (2006): Redescription and some ecological characteristics of *Alburnus alborella* (Bonapartae, 1844) *J. Sci.* 28:83-92
- Vuković, T. Ivanović, B. (1971): Slatkovodne ribe Jugoslavije. Zemaljski muzej BiH u Sarajevu (Posebno izdanje), Sarajevo:1-269

## DETERMINACIJA SADRŽAJA TOKSIČNIH METALA (Pb, Hg i Cd), PESTICIDA I PCB-a, U MIŠIČNOM TKIVU *CYPRINUS CARPIO* I *SQUALIUS PLATYCEPS* IZ SKADARSKOG JEZERA (CRNA GORA)

Marijana Krivokapić\*, Vasilije Bušković\*\*,  
Dražana Radonjic\*, Gojko Nikolic\*\*\*, Danijela Veličković\*,  
Ivana Djuretić\*

\* Univerzitet Crne Gore, Prirodno matematički fakultet, Studijski program za biologiju, Podgorica, Crna Gora, Email; [marijana.krivokapic2017@gmail.com](mailto:marijana.krivokapic2017@gmail.com)

\*\* Agencija za zaštitu životne sredine, Podgorica, Crna Gora

\*\*\* Univerzitet Crne Gore, Studijski program za geografiju, Niksic, Crna Gora

### REZIME

Toksične metale rastvorene u vodi apsorbuje akvatična biota, naročito ihtiofauna, pasivnim transportom preko škrga i putem ingestirane hrane. Zagađenje toksičnim teškim metalima prouzrokuje modifikacije u strukturi ihtio populacije, različite toksične i bioakumulativne efekte. U ovom radu analizirani su olovo (Pb) živa (Hg) i kadmijum (Cd) u mišićnom tkivu *Cyprinus carpio* i *Squalius platyceps*. Prisustvo ovih metala u organizmu riba, isključivo je posledica kontaminacije. Za analizu olova (Pb) u mišićnom tkivu riba, korišten je metod AOAC 985.01; AAS. Za analizu sadržaja žive (Hg) analizator Hg (Hg analyzer; CETI 1) dok je za analizu Cd korišten metod AOAC 982.23, AAS. U mišićnom tkivu *Cyprinus carpio* utvrđene su sledeće koncentracije toksičnih teških metala: olovo (Pb) <0,10 mg/kg; živa (Hg) 0,03 mg/kg, dok je koncentracija Cd iznosila <0,008 mg/kg. U mišićnom tkivu *Squalius platyceps* utvrđena je koncentracija Pb u iznosu od <0.1 mg/kg, (Hg) 0.02 i Cd <0.008 mg/kg. Analiza dobijenih vrednosti koncentracije teških metala, za obe vrste rangirana je po sledećem redosledu : Pb>Hg>Cd. Koncentracija organohlornih pesticida u mišićnom tkivu *Cyprinus carpio*, iznosila je <0.0009, i organofosfornih <0.0008 mg/kg kod obe vrste. Koncentracija PCB-a iznosila je 0,03 za *Cyprinus carpio*, odnosno 0.012 za *Squalius platyceps*. Nivo toksičnih metala utvrđen analizom u uzorcima mišićnog tkiva riba, reflektovao je stanje u momentu uzimanja uzoraka. Sadržaja metala poreden je u odnosu na maksimalno dozvoljene koncentracije (MDK). Neophodno je apostrofirati, da iako su neke od vrednosti približne graničnim, akvatičan sistem je dinamičan i izuzetno kompleksan sistem u kome je biodostupnost ili toksičnost metala uslovljena hemijskom specijacijom, fizičkim kao i brojnim biološkim procesima, pri čemu je ihtiofauna naročito izložena dejstvu toksičnih polutanata.

KLJUČNE REČI: toksični metali, pesticidi, PCB, *Cyprinus carpio*, *Squalius platyceps*.

## DETERMINATION OF TOXIC HEAVY METALS (Pb, Hg AND Cd), PESTICIDES AND PCB CONTENT, IN MUSCLE TISSUE OF *CYPRINUS CARPIO* AND *SQUALIUS PLATYCEPS* FROM SKADAR LAKE (MONTENEGRO)

### ABSTRACT

Toxic metals, dissolved in water are subsequently absorbed by biota, especially ichthyofauna, with passive transport through gills and ingested food. Pollution with toxic heavy metals causes modifications in the structure of ichthyopopulation, various toxic and bioaccumulative effects. In this study, lead (Pb) mercury (Hg) and cadmium (Cd) in the muscle tissue of *Cyprinus carpio* and *Squalius platycephus* have been determined. The presence of these toxic metals in organism of fish, has been considered as a consequence of their contamination. For the analysis of Pb content in the muscle tissue of fishes applied are AOAC 985.01 method, instrumental technique AAS, the CETI method. Hg analyzer (CETI 1) has been applied for the analysis of Hg, while for the analysis of Cd method AOAC 982.23, instrumental technique AAS were used. In the muscular tissue of *Cyprinus carpio* following concentrations of the toxic heavy metals have been determined: lead (Pb) <0.10 mg/kg; mercury (Hg) 0.03 mg/kg and Cd concentration <0.008 mg/kg. In the muscular tissue of *Squalius platycephus* the concentrations of the toxic heavy metals in the muscle tissue were determined: Pb <0.10, Hg 0.02 and Cd <0.008. Due to analyzed heavy metal concentration, for both fish species have been ranked in the following order: Pb >Hg >Cd. Concentration of organochlorine has amounted <0.0009 in both species, as well as organophosphorus pesticides <0.0008 mg/kg. PCBs concentration amounted 0.03 (*Cyprinus carpio*) and <0.012. (*Squalius platycephus*). The level of toxic metals determined by analysis in samples of muscle tissue of fish, reflected the state at the time of sampling. Concentration has been compared with the maximum permitted concentration (MPC). It is necessary to apostrophize, although some of the values are approximate to the limit, aquatic system is a dynamic and extremely complex system in which bioavailability or metal toxicity is conditioned by chemical speciation, both physical and numerous biological processes, whereby ichthyofauna is particularly exposed to the effects of toxic pollutants.

KEY WORDS: toxic metals, pesticides, PCB, *Cyprinus carpio*, *Squalius platycephus*

### UVOD

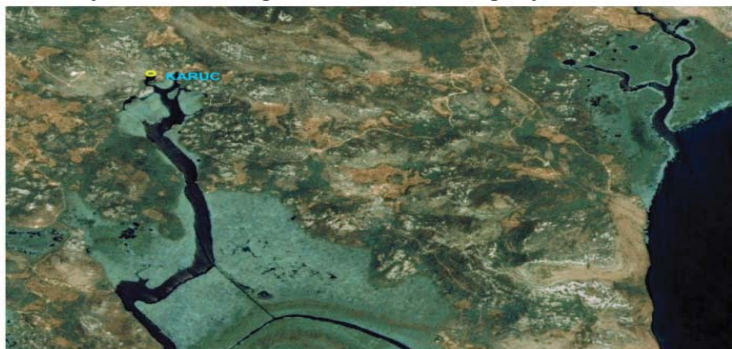
Istraživanja akvatičnih ekosistema ukazuju na sve intenzivniji antropogeni uticaj čovjeka i njegove aktivnosti u izmjeni prirodnog sadržaja metala, čije povećane koncentracije štetno djeluju na biljni i životinjski svijet a putem lanaca ishrane i na čovjeka. U Skadarsko jezero se ulivaju velike količine otpadnih voda iz Podgorice (preko rijeke Morace), iz Niksica i Danilovgrada (preko rijeke Zete), Cetinja i Rijeke Crnojevice (preko rijeke Crnojeviča), Skadra i ostalih manjih mjesta (kanalizacijom, najčešće bez prethodnog tretmana, direktno u jezero). Godisnje se u jezero unese preko 69 miliona tona različitih otpadnih voda, što predstavlja oko 3.45% njegove ukupne zapremine, pri vodostaju od 5.25 m.n.m. Ove vode su opterećene uglavnom organskim materijama; izuzetak čine otpadne vode Kombinata aluminijuma Podgorica (KAP), Zeljezare Niksic, deponije Zeljezare, pretovarne baze



boksita Niksic, opterećene najviše neorganskim materijama. Sa poljoprivrednih površina: plavljenje, spiranje sa poljoprivrednih površina, dovodi do unošenja fertilizatora, herbicida, biostimulatora i drugih jedinjenja u vode, površinskim ili podzemnim tokovima. U Zetskoj ravnici obrađuje se oko 9000 ha zemljišta, odnosno oko 4 000 ha vinograda i voćnjaka (najvećim dijelom A.D. Plantaže) i oko 5 000 ha ostalih kultura. Ne postoje precizni podaci o količini upotrijebljenih đubriva, ali se procjenjuje da je to oko 2 970 t godišnje. U poljoprivredi se upotrijebi i do oko 80 t godišnje herbicida, insekticida, fungicida i dr. Dobar dio navedenih hemikalija (od kojih su neke otrovi III i IV kategorije), migrira u jezero. Ukupna plavljena površina poljoprivrednog zemljišta se procjenjuje na oko 5.000 ha, a količina upotrijebljene vode za navodnjavanje na oko 1.500 000 m<sup>3</sup> godišnje (Šundić, Radujković, 2012; Keukelaar et al 2006.). Posljedice zagađivanja u jezerima su vrlo specifične, jer se sva dospela zagađivanja sporo uklanjaju, dok proces degradacije zagađujućih materija unetih u prirodnu vodenu sredinu, zavisi od njihove: rastvorljivosti, biodegradabilnosti, kao i od prirodnih osobina akvatične sredine, odnosno recipijenta.

## MATERIJAL I METODE

Za analizu olova (Pb) u mišićnom tkivu riba, korišten je AOAC 985.01; AAS. Za analizu sadržaja žive (Hg) analizator Hg (Hg analyzer; CETI 1) dok je za analizu Cd korišten metod AOAC 982.23, AAS. Za analizu PCB-a, korišćena je metoda AOAC 983.21, instrumentalna tehnika GCMS/GCECD. Za analizu organohlornih pesticida AOAC 970.52, instrumentalna tehnika GCMS/GCECD a za analizu organofosfornih pesticida AOAC 970.52, instrumentalna tehnika GCMS/GCECD. Za analizu PCB -a, metoda AOAC 983.21, instrumentalna tehnika GCMS/GCECD. Analize su izvršene na zbirnim uzorcima za svaku vrstu ponaosob, odnosno za *Cyprinus carpio* i *Squalius platyceps* približnih uzrasnih klasa izlovljenih na lokaciji Karuč, tokom prelazne sezone zima/proljeće.



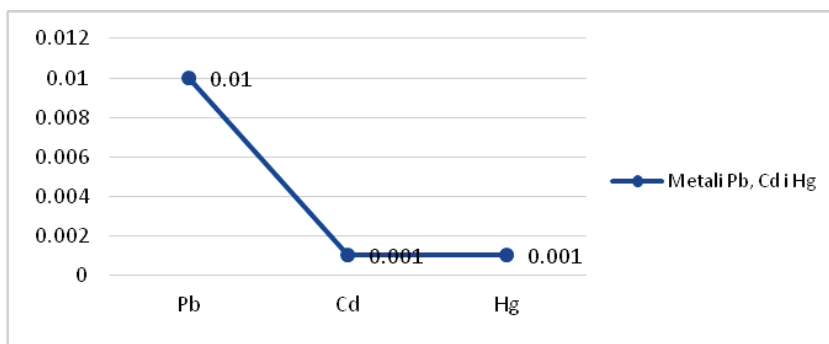
Slika 1. Satelitska mapa, istraživana lokacija–Karuč  
Figure 1. Satellite map, investigated locality -Karuč

## REZULTATI I DISKUSIJA

Sastav svake prirodne vode određen je na osnovu procesa koji se odigravaju u životnoj sredini, pre svega fizičkih, hemijskih i bioloških. Od metala, u prirodnim vodama najviše

ima kalcijuma, magnezijuma i natrijuma, dok je sadržaj teških metala uglavnom veoma nizak, a razlog tome je njihova mala zastupljenost (osim gvozda) u Zemljinoj kori. Međutim, usled nesklada industrijskog razvoja i odgovarajućih mera zaštite životne sredine, dolazi do zagađivanja voda teškim metalima, čiji su glavni izvori industrijski i urbani otpad, fosilna goriva, hemizacija poljoprivrede i dr. Dejstvo zagađujućih supstancija na vode je višestruko (Milanov, 2014) i dovodi do pogoršanja hidrohemijskog režima voda i uslova života akvatičnih organizama što dovodi do opadanja biološke produktivnosti voda. Vrednosti fizicko-hemijskih parametara bile su u dozvoljenim granicama za vodu II kategorije odnosno A2CK2 klase, kako je definisana voda Skadarskog jezera prema Uredbi o klasifikaciji i kategorizaciji površinskih i podzemnih voda (Sl. list CG br. 2/07.).

Olovo je jedan od najrasprostranjenijih toksičnih metala. Glavni izvor zagađenja životne sredine tetra etil olovom je saobraćaj, koji je i stacionarni (saobraćajne površine -putevi, željezničke pruge, ali i njihova izgradnja i održavanje) i nestacionarni (vozila u saobraćaju: drumska, riječna, jezerska transportna sredstva), koja oslobadaju polutante u vazduh i vodu (Zatežić et al, 2009). Biodostupnost olova u akvatičnoj sredini se povećava, pri niskim pH vrijednostima. Olovo u životnoj sredini se procesom biometilovanja pretvara u tetra metil olovo, što čini visok stepen biodostupnosti, tako to dovodi do širokog spektra poremećaja u ekosistemima (Agbaba). Koncentracija Pb u vodi Skadarskog jezera, na lokaciji Karuč, iznosila je: <0.01 mg/l Pb. Prema Uredbi o klasifikaciji i kategorizaciji površinskih i podzemnih voda dozvoljena količina olova (mg/l Pb) u A<sub>1</sub> klasi iznosi 0.02, u A<sub>2</sub> klasi 0.05 i A<sub>3</sub> klasi 0.05. Inicijalno usvajanje metala od strane akvatičnih organizama vrši se: iz vode resorpcijom kroz škrge, adsorpcijom iz vode na površinu organizma, unešenom hranom preko digestivnog sistema.

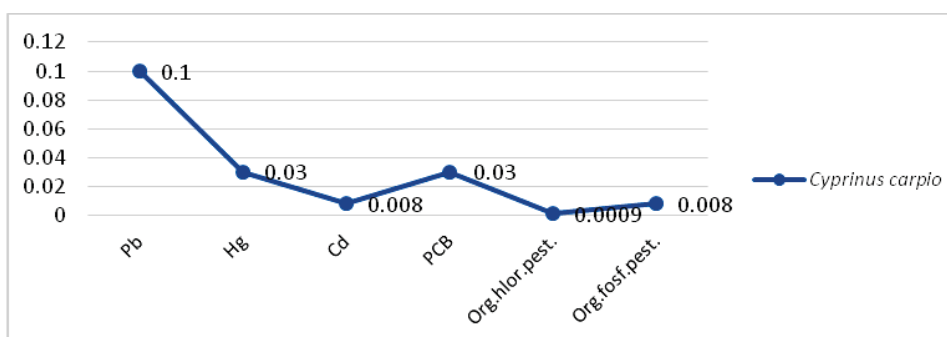


Slika 2 Toksični metali Pb, Cd i Hg u vodi Skadarskog jezera na lokaciji Karuč  
Figure. 2. Toxic metals Pb, Cd and Hg in Skadar Lake water, Karuc locality

Kadmijum je veoma toksičan u akvatičnoj sredini, ne podleže procesima biometilovanja ali se bioakumulira u velikoj mjeri i perzistentan je u životnoj sredini. Utvrđena vrijednost Cd u vodi iznosi 0.01 mg/l Cd. Prema Uredbi o klasifikaciji i kategorizaciji površinskih i podzemnih voda sadržaj Cd u u A<sub>1</sub> klasi iznosi 0.001, u A<sub>2</sub> klasi 0.005 i A<sub>3</sub> klasi 0.005 mg/l Cd. Kadmijum je metal bez poznatih korisnih svojstava koji podržavaju život. U niskim koncentracijama toksičan je za kompletnu biotu (Krivokapic, 2011). Živa slično

nemetalima a suprotno od većine drugih metala formira organska jedinjenja u životnoj sredini a prirodna metilacija u kojoj učestvuju mikroorganizmi predstavlja značajan process u kruženju žive u životnoj sredi Koncentracija Hg u vodi iznosila je  $<0.001$ . Prema Uredbi o klasifikaciji i kategorizaciji površinskih i podzemnih voda dozvoljena količina žive (mg/l Hg) u A<sub>1</sub> klasi iznosi 0.0005, u A<sub>2</sub> klasi 0.0005 i A<sub>3</sub> klasi 0.01. Ispitivanje stepena zagađenja i rizika od štetnog delovanja iz životne sredine, predstavlja jedan od osnovnih načina njene zaštite. U zapadnoevropskim zemljama gazdovanjem vodenim resursima, kontrolom zagađenja, propisima o zaštiti životne sredine i kontrolom zagađujućih supstanci, deluje se preventivno radi smanjenja opasnosti od štetnog delovanja polutanata (Milanov, 2014.; Wachs 1998).

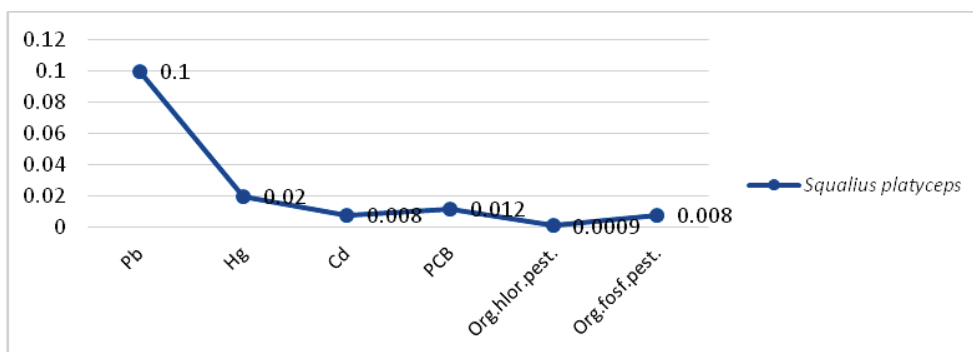
Uticaj polutanata na akvatične ekosisteme je višestruk, dovodi do pogoršanja hidrohemijskog režima voda i uslova života akvatičnih organizama, snižavanja biološke produktivnosti voda, a vremenom i do uništavanja ribljeg fonda. Ihtiofauna koncentriše značajne količine teških metala iz zagađene vode koji dopijevaju u organizam, jonskom razmjenom rastvorenih metala preko lipofilnih membrana, apsorpcijom na površini tkiva i dr. ihtiofauna je jedna od završnih karika trofičkog lanca, pa je i najosetljivija na promene uslova (Milanov, 2014; Ismaniza & Saleh. 2012). Starost ribe, sadržaj masti i način ishrane su značajni faktori koji utiču na nakupljanje teških metala u ribljem tkivu.



Slika 3. Pb, Hg, Cd, PCB, organohlorini i organofosfori pesticidi u mišićnom tkivu *Cyprinus carpio*  
 Figure.3. Pb, Hg, Cd, PCB, organochlorines, organophosphorus pesticides in muscle tissue of *Cyprinus carpio*

Koncentracija olova (Pb) u uzorcima mišićnog tkiva *Cyprinus carpio* i *Squalius platyceps*, bila je identična i iznosila je  $<0.10$ . Prema Pravilniku o maksimalno dozvoljenoj količini za određene kontaminante u hrani, 2008. (Aneks, dio III metali, 3.1.5.) dozvoljena MDK (mg/kg vlažne mase) u mišićnom tkivu ribe iznosi 0.30. Taub, 2004; Wright and Welbourn, 2002, u svom radu navode da je olovo mnogo više toksičnije pri nižim pH vrijednostima i toksičnije u slatkovodnim ekosistemima., kao i da je ihtiofauna osjetljivija na prisustvo olova nego alge. U mišićnom tkivu *Cyprinus carpio* utvrđena je koncentracija žive (Hg) 0,03 mg/kg, dok je koncentracija U mišićnom tkivu *Squalius platyceps* iznosila (Hg) 0.02. Prema Pravilniku o maksimalno dozvoljenoj količini za određene kontaminante u hrani, dozvoljena MDK za Hg (mg/kg vlažne mase) za riblje proizvode i mišićno tkivo ribe iznosi

0.5. Sadržaj metala za vrstu *Cyprinus carpio* (Benzer et al, 2013) u jezeru Morgan utvrđen je po sledećem redosledu:  $Si > Fe > Zn > Al > Pb > V > Cr > Cu$ , pri čemu je ustanovljena srednja vrijednost koncentracije Pb u mišićnom tkivu od 4.15  $\mu\text{g/g}$  (min 3.29 i max 6.48  $\mu\text{g/g}$ ). RIBE kao i beskičmenjaci intenzivno apsorbiraju organske oblike žive (Hg). Tempo sorpcije u većem stepenu zavisi od temperature a u manjem od sadržaja lipida. Prema Pravilniku o maksimalno dozvoljenoj količini za određene kontaminante u hrani, dozvoljena MDK (mg/kg vlažne mase) za Cd iznosi 0.10, dok prema direktivi EU 466/200, dozvoljeni sadržaj žive u mišićnom tkivu ribe je 0.05 (1) mg/kg. Jedinjenja kadmijuma (Cd) su pratioci cinka i olova. Vrijednosti kadmijuma u mišićnom tkivu i šarana i klijena iznose  $<0.008$  mg/kg. Prema direktivi EU 466/200, dozvoljena vrijednost Cd u ribljem mesu iznosi 0.1 mg/kg.



Slika. 4. Pb, Hg, Cd, PCB, organohlorini i organofoforni pesticidi u mišićnom tkivu *Squalius platyceps*  
 Figure 4. Pb, Hg, Cd, PCB, organochlorines, organophosphorus pesticides in muscle tissue of *Squalius platyceps*

Prema istraživanjima (Bradl, 2005; Wright and Welbourn, 2002), Pb i Cd imaju veoma toksične efekte, naročito za *Cyprinus carpio* i navode da su toksični efekti kadmijuma na ribe analogni onim kod čovjeka intoksiciranim kadmijumom. Kadmijum je toksičniji u slatkovodnim vodama nego u slanoj vodi. Akvatični organizmi sadrže više žive u odnosu na kopnene organizme. RIBE mogu akumulirati veće količine žive u svim tkivima, ne samo u masnom tkivu. Analiza dobijenih vrednosti koncentracije teških metala, za obe vrste rangirana je po sledećem redosledu:  $Pb > Hg > Cd$ . Kao što je i prethodno navedeno: unos metala u organizam riba iz okolne vode, može se odvijati: putem cijele spoljašnje površine organizma, putem škrge, putem crijevnog epitela ili njihovom kombinacijom. Olovo, živa i kadmijum u ribama su elementi čije sistematsko praćenje je deo programa kontrole štetnih materija u okviru GEMS-a (Global Environment Monitoring System), (Anon 1997).

Prema o klasifikaciji i kategorizaciji voda (Sl. list CG br. 2/07) vrijednosti ukupnih pesticida u vodi za A<sub>2</sub> klasu iznose 0.001 mg/l. Pesticidi se koriste u savremenoj poljoprivrednoj proizvodnji, kao i u mnogim oblastima industrije. Zbog izuzetne toksičnosti mnogi od pesticida su zabranjeni za upotrebu. Organohlorini pesticidi imaju vrednost od  $<0.009$  a organofofornih  $<0.008$  za obe vrste. U grupu organohlorinih jedinjenja viskom toksičnošću odlikuju se: aldrin, dieldrin, endrin i dr. Značajna narušavanja u akvatičnom

ekosistemu mogu nastati unosom visokotoksičnih pesticida, uglavnom organohlornih jedinjenja. Organofosforni pesticidi su manje toksični (mada su inhibitori), budući da nisu tako stabilni kao organohlorni. Pod uticajem vode i sunca, oni se u toku od oko mesec dana razlažu na niskotoksične supstance (Stajkovic et al. 2009). Povećanu vrednost organohlornih pesticida u mišićnom tkivu *Cyprinus carpio* iz Skadarskog jezera, utvrdili su Nuri & Marku, 2011. Organohlorni pesticidi imaju nisku rastvorljivost u vodi, visoku lipofilnost i perzistentnost u prirodnoj sredini. Bioakumuliraju se i mogu se nadograđivati u lancima ishrane. Vrednosti PCB.a se razlikuju. U mišićnom tkivu *Cyprinus carpio* iznosi  $<0.03$ , a u mišićnom tkivu *Squalius platycephalus*  $<0.012$ . Prema Pravilniku o maksimalno dozvoljenoj količini za određene kontaminante u hrani, dozvoljena MDK za PCB u mišićnom mesu ribe i ribljim proizvodima je 6.5 pikograma (pg/g) vlažne mase, odnosno (Pravilnikom o dozvoljenim količinama teških metala, mikotoksina i drugih supstanci u hrani br. 81/2009 i 55/2015 vrednosti TEF-a/ PCB (Toxic equivalency factor/faktor ekvivalente toksičnosti) za svežu ili ohlađenu ribu (non orto PCB) iznose: 0.0001 (PCB 77), 0.0003 (PCB 81) (PCB 126), 0.03 (PCB 169) TEF, prema Pravilniku B.H, (2008.). Vrednosti, TEF-a. prema Pravilniku CG (2009): 0.0001 (PCB 77), 0.0001 (PCB 81), 0.1 (PCB 126), 0,01 (PCB 169). Crna Gora je zemlja članica Stokholmske konvencije o dugotrajnim organskim zagađujućim materijama (persistent organic pollutants-POPs, od marta, 2011. Cilj Stokholmske konvencije je da zaštiti životnu sredinu i zdravlje ljudi od POPs supstanci, zbog njihovog prekograničnog prenosa putem vazduha, vode i proizvoda. Neophodna je međunarodna saradnja, da bi se samnjila, eliminisala upotreba ovih supstanci, jer država ne može da zaštiti životnu sredinu samostalnim delovanjem.

## ZAKLJUČAK

Dejstvo polutanata (toskičnih metala, pesticide, PCB-a i dr) na akvatične ekosisteme je višestruko, utiče na pogoršanje hidrohemijskog režima voda i uslova života akvatičnih organizama što dovodi do opadanja biološke produktivnosti, modifikacije u strukturi akvatične biote uz različite toksične i bioakumulativne efekte. Nivo toksičnih metala olova (Pb) žive (Hg) i kadmijuma (Cd) analiziran je u uzorcima vode i u mišićnom tkivu riba: *Cyprinus carpio* i *Squalius platycephalus* iz Skadarskog jezera. Analiza dobijenih vrednosti koncentracije teških metala, za *Cyprinus carpio* i *Squalius platycephalus*, rangirana je po sledećem redosledu:  $Pb > Hg > Cd$ . U radu je dat pregled utvrđenih vrednosti organohlornih (0.009) i organofosfornih pesticida (0.008) i PCB.a (TEF)  $<0.03$  za *Cyprinus carpio* i  $<0.012$  za *Squalius platycephalus*. Ovim istraživanjem je reflektovao stanje u momentu uzimanja uzoraka, koje pokazuje da nisu detektovane koncentracije koje bi ugrozile ihtiofaunu, ipak akvatičan sistem je dinamičan i izuzetno kompleksan sistem u kome je ihtiofauna kao jedna od završnih karika trofičkog lanca, posebno izložena dejstvu toksičnih polutanata, te je neophodan kontinuiran monitoring.

## LITERATURA

- Agbaba. J. Ekotoksičnost metala. Centar izvrsnosti za hemiju okoline i procenu rizika (<http://www.cccra.dh.pmf.uns.ac.rs/pdf/drugiseminar/Agbaba-Ekotoksičnost%20metala-1.pdf>).
- Anon, 1997. Working together for safe food GEMS/Food WHO Roma 1

- Benzer, S.; Arslan, H.; Uzel, N.; Gül, A.; Yılma (2013): Concentrations of metals in water, sediment and tissues of *Cyprinus carpio* L.1758 from Mogan Lake (Turkey) Iranian Journal of Fisheries Sciences. 12 (1) 45-55
- Bradl, Heike (2005): Heavy Metals in the Environment: Origin, Interaction and Remediation. Elsevier/Academic Press, London.
- Krivokapic, M. (2011): Preliminary research of metals concentrations in the water of the Moraca River and Karuc and in the muscle tissue of *Cyprinus carpio*, *Leuciscus cephalus albus*, *Alburnus scoranza*. Internacional Conference "Nature protection in XXI Century" Proceedings of the 6.Conference No 2.,825-831 (267-959). Zabljak. Montenegro
- Milanov. Đ. R. (2014): Ispitivanje sadržaja teških metala i metaloida u tkivima rečne ribe kao pokazatelja bezbednosti mesa ribe i zagađenja životne sredine, 1-121. Univerzitet u Beogradu. Fakultet Veterinarske medicine.
- Nacionalni plan za implementaciju Stokholmske konvencije za period 2014-2021: 1-167 str. Ministarstvo održivog razvoja i turizma.Podgorica. CG.
- Nuro, A., Marku, E (2011): Organochlorine pesticides residues for some aquatic systems in Albania, 351-374.
- Keukelaar, F., De Goffau, A., Pradhan, T., Suttmuller, G., Misurovic, A., Ivanovic, S., Uskokovic, B., Hetoja, A., Haxhimihali, E., Prifti, A., Kapidani, E., Kashta, L. & Gulan, A. (2006): Lake Shkoder Transboundary Diagnostics Analysis Albania & Montenegro. Royal Haskoning. Project number 9P6515, Podgorica, 111 p.
- Pravilnik o dozvoljenim količinama teških metala, mikotoksina i drugih supstanci u hrani br. 81/2009 i 55/2015, CG.
- Pravilnik o maksimalno dozvoljenim količinama za određene kontaminante u hrani. Službeni glasnik BiH", br. 30/03, 42/03, 81/06, 76/07, 81/07, 94/07 i 24/08), 12. februara 2009. godine, BiH. Sluzbeni list Crne Gore br. 2/07 od 29. 10. 2007: Uredba o klasifikaciji i kategorizaciji površinskih i podzemnih voda, 15 p.
- Stajkovic, J.; Anidžić, B. 2009. The First International Conference: Ecological safety in post-modern environment. RS, BiH.
- Šundić, D., Radujković, B. (2012): Zagađenje Skadarskog jezera 1-92. Prekogranični projekat: "Integralno upravljanje ekosistemom Skadarskog jezera". Projektni zadatak NVO Green Home. IPA prekogranični program 2007-2013.
- Taub, Frieda B. (2004): Fish 430 lectures (Biological Impacts of Pollutants on Aquatic Organisms), University of Washington College of Ocean and Fishery Sciences, Seattle, WA.
- Wachs B. (1998): A qualitative classification for the evaluation of the heavy metal contamination in river ecosystems. Verh. Internat. Verein. Limnol., 26:1289
- Wachs B. (2000): Heavy metal content in Danubian fish. Large Rivers 11/4 -Arch. Hydrobiol. Suppl., 1154: 533-56.
- Wright, David A. and Pamela Welbourn (2002): Environmental Toxicology. Cambridge University Press, Cambridge, U.K.
- Zatežić, M.; Mujić, Dž.; Boiočanin, I. 2009. Saobraćaj i životna sredina u sistemu kvaliteta. The first International Conference: Ecological safety in postmodern environment, 26-27. Banja Luka, Republic Srpska.

## OCENA KVALITETA VODE REKE TISE NA OSNOVU HEMIJSKIH PARAMETARA KVALITETA

Vesna Pešić, Dejan Krčmar, Božo Dalmacija,  
Milena Bečelić-Tomin, Đurđa Kerkez, Nataša Varga,  
Nataša Slijepčević

*Departman za hemiju, biohemiju i zaštitu životne sredine, Prirodno-matematički  
fakultet u Novom Sadu, 21000 Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 3;  
e-mail: [vesna.pesic@dh.uns.ac.rs](mailto:vesna.pesic@dh.uns.ac.rs)*

### REZIME

U radu su prikazani rezultati monitoringa na osnovu fizičko-hemijskih ispitivanja vode reke Tise. Kvalitet vode je takav da prema sadržaju organske materije i nutrijenata odgovara klasama 3 i 4, dok su koncentracije ostalih pokazatelja niže i odgovaraju klasama 1 i 2. Kako se klasifikacija određuje prema najgoroj klasi pojedinačnog parametra, voda na svim lokalitetima reke Tise odgovara trećoj ili četvrtoj klasi, što odgovara umerenom ili slabom ekološkom statusu.

KLJUČNE REČI: status, kvalitet vode, reka Tisa, klasifikacija

## ASSESSMENT OF THE QUALITY OF THE WATER OF THE TISA RIVER ON THE BASIS OF QUALITY CHEMICAL PARAMETERS

### ABSTRACT

The paper presents the results of monitoring on the basis of physical and chemical tests of the Tisa River water. The quality of water is such that according to the content of organic matter and nutrients corresponds to classes 3 and 4, while the concentrations of other indicators are lower and corresponding to classes 1 and 2. As the classification is determined according to the largest class of the individual parameter, water at all locations of the Tisza River corresponds to the third or fourth class, which corresponds to modern or poor ecological status.

KEY WORDS: status, quality of water, Tisa river, classification

## UVOD

Zagađenost akvatičnih sistema za posledicu ima ispoljavanje toksičnih efekata na živi svet njihovih ekosistema, predstavlja problem svuda u svetu, a posebno u zemljama sa dugom industrijskom tradicijom, a naročito u onima u kojima se prečišćavanju otpadnih voda ne pridaje dovoljna pažnja. Dospevanjem zagađujućih materija u vodene ekosisteme dolazi do raznih fizičkih, hemijskih i bioloških promena u njemu, odnosno dolazi do promene ponašanja zagađujućih materija u životnoj sredini, ali može doći i do promene njihovog uticaja na stanje životne sredine. U osnovi se zapravo zagađujuće materije samo prenose kroz čitav ekosistem od izvora do recipijenata, krećući se kroz vazduh, vodu ili zemljište i uz različite oblike transformacija. Hemijsko zagađenje površinskih voda predstavlja veliku pretnju za vodene organizme, usled akumulacije zagađenja u vodenom staništu, akutne i hronične toksičnosti, što dovodi do gubitka staništa i biodiverziteta, čime predstavlja i pretnju za ljudsko zdravlje (Malaj i dr., 2014).

Dospevanjem zagađujućih materija u vodotok, dolazi do oksidacije organske materije, pri čemu se troši rastvoreni kiseonik iz vodotoka i na taj način se ugrožavaju vrste u vodotoku koje koriste kiseonik, odnosno javljaju se dva negativna efekta: nagomilavanje mulja u vodotoku i ekološka šteta usled smanjivanja koncentracije rastvorenog kiseonika ispod biološkog minimuma.

Cilj održivog korišćenja vodnih resursa je razvoj integralnog upravljanja na bazi regulatornih i institucionalnih osnova usmereno na postepeno usklađivanje sa standardima, tehnologijama i propisima Evropske Unije. Pravni status voda i integralno upravljanje vodama se uređuje Zakonom o vodama (Sl. glasnik RS, 30/2010). Ovaj zakon daje osnov za propisivanje standarda kvaliteta vode na teritoriji Srbije; način ocenjivanja i sistem praćenja (monitoring) i informisanje javnosti o stanju kvaliteta vode i regulisanje određenih zagađujućih procesa. Prema Zakonu o vodama, zaštita voda od zagađivanja može se ostvariti na dva osnovna načina: jedan je da se u prirodne vode ne ispuštaju otpadne vode, a drugi je prečišćavanje otpadnih voda, uklanjanje zagađenja iz atmosfere i vazduha i pravilno odlaganje otpadnog materijala, kako bi se sprečilo zagađenje voda koja je u kontaktu sa atmosferom i zemljištem. Radi rešavanja problema zagađenih voda i postizanja cilja - održivog korišćenja voda, uveden je integralni pristup upravljanju kvalitetom i zaštiti voda, koji se izričito zahteva Okvirnom direktivom o vodi. Integrisano upravljanje uključuje niz institucionalnih, upravljačkih, pravnih i operativnih aktivnosti u planiranju, razvoju i upravljanju resursima vode za održivi razvoj u celini. Ključni cilj koji Direktiva postavlja je postizanje najmanje "dobrog statusa" svih voda (Water Framework Directive EU, 2000/60/EC).

## METODOLOGIJA

Tisa je srednjeevropska reka i najduža pritoka reke Dunav. Izvire u Ukrajini, na Karpatima. Protiče još kroz Rumuniju, Slovačku, Mađarsku i u Srbiji se, kod Starog Slankamena, uliva u Dunav. Duga je 1358 km, od toga kroz Srbiju 164 km. Tisa je u planinskom delu toka



bistra i brza reka. Nedostatak jezera u oblastima Karpata utiče na to da su varijacije nivoa vode u Tisi izuzetno velike, sa tipično tri godišnja poplavna perioda. Vodoprivredni značaj Tise je uglavnom meliorativni i plovidbeni. Plovidba na Tisi ima međunarodni značaj. Ribolov na ovoj reci nije ni približno zastupljen kao nekada, pa je Tisa po bogatstvu ribe ispred Dunava. Danas je na toku Tise kroz Vojvodinu razvijen privredni i sportski ribolov. Prema Pravilniku o utvrđivanju vodnih tela površinskih i podzemnih voda (Sl. glasnik RS, 96/2010), Tisa je podeljena na dva vodna tela (od ušća u Dunav do brane Novi Bečej i uzvodno od brane Novi Bečej) i oba su okarakterisana kao značajno izmenjeno vodno telo.

Cilj ispitivanja fizičko-hemijskog kvaliteta reke Tise je utvrđivanje stanja kvaliteta, ocena statusa reke Tise i prikupljanje podataka za uspostavljanje sistema upravljanja vodnim područjem. Podaci dobijeni programom ispitivanja, tj. monitoringom, omogućavaju uvid u stanje kvaliteta reke, kako bi se definisao tip uticaja na vodotoke (organsko, neorgansko zagađenje, eutrofizacija), što svakako doprinosi boljoj identifikaciji izvora zagađenja, zatim postavljanju podloga za identifikaciju vodećih sila i značajnih pritisaka na vodna tela i u krajnjem ishodu uspostavljanju standarda kvaliteta u skladu sa principima održivog razvoja regiona. Vršeno je ispitivanje prisustva specifičnih zagađujućih materija, Na osnovu rezultata dobijenih monitoringom izvršena procena hemijskog statusa i utvrđivanje klase vodotoka na definisanim profilima, prema Uredbi o graničnim vrednostima zagađujućih materija u površinskim i podzemnim vodama i sedimentu i rokovima za njihovo dostizanje (Sl. glasnik RS, 50/2012), kao i prema Pravilniku o parametrima ekološkog i hemijskog statusa površinskih voda i parametrima hemijskog i kvantitativnog statusa podzemnih voda (Sl.glasnik RS, 74/2011). Uzorkovanje je izvršeno na devet lokaliteta pri niskom i visokom vodostaju u toku 2017. godine (slika 1).



Slika 1. Lokacije uzorkovanja vode reke Tise  
Figure 1. Locations of sampling of Tisa river

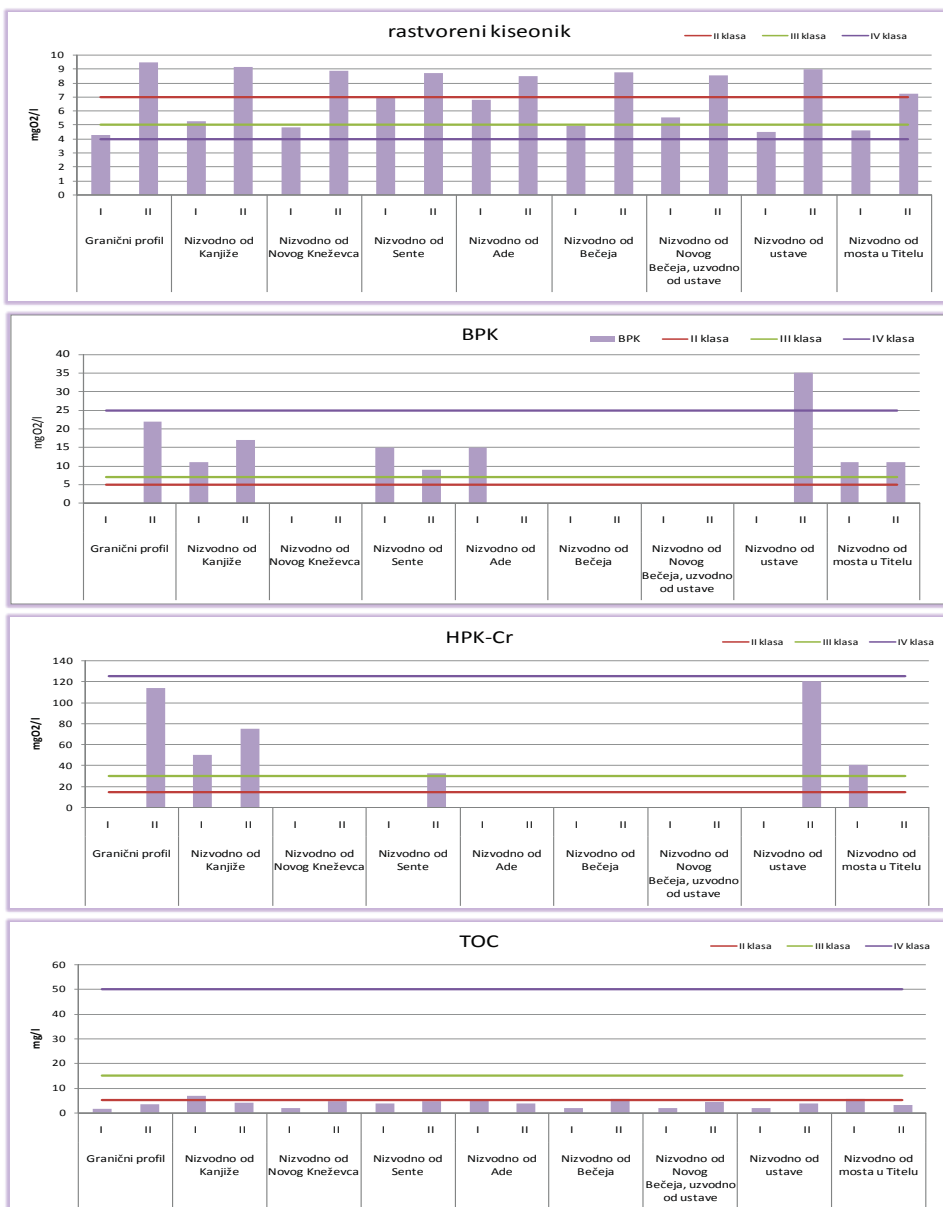
Uzorci vode su analizirani standardnim i validovanim metodama koje se primenjuju u Laboratoriji za hemijska ispitivanja životne sredine "dr Milena Dalmacija". Dobijeni rezultati su upoređeni sa kriterijumima za dobar status voda prema uredbi o graničnim vrednostima zagađujućih materija u površinskim i podzemnim vodama i sedimentu i rokovima za njihovo dostizanje (Sl. glasnik RS, 50/2012).

## REZULTATI I DISKUSIJA

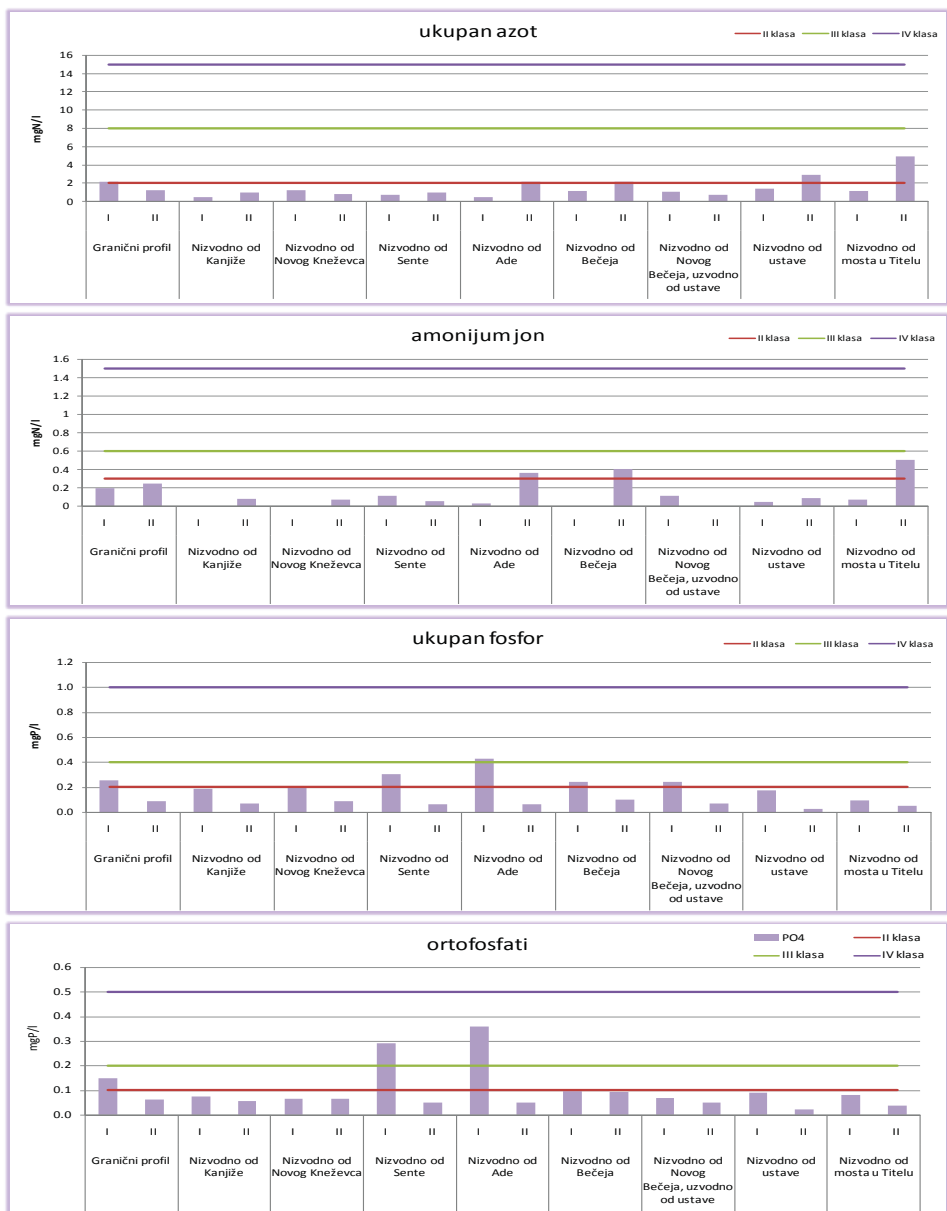
Voda sadrži dozvoljene koncentracije suspendovanih materija i pH vrednosti. Više koncentracije rastvorenog kiseonika su izmerene u drugom periodu uzorkovanja (visok vodostaj) na svim ispitivanim profilima, i tada odgovaraju klasi II. Za vreme niskog vodostaja izmerene koncentracije kiseonika odgovaraju III klasi (na 4 lokaliteta) ili IV klasi (na 5 lokaliteta). Samo tri profila i to samo u prvom periodu uzorkovanja zadovoljavaju kvalitet druge klase, dok su vrednosti biološke potrošnje kiseonika na svim ostalim lokalitetima daleko iznad granične vrednosti za drugu klasu. U slučaju hemijske potrošnje kiseonika, kvalitet druge klase je zadovoljen na četiri profila, a kada je u pitanju ukupan organski ugljenik, samo na jednom lokalitetu je premašena vrednost druge klase (slika 2).

Kada su u pitanju nutrijenti, koncentracije nitrata i nitrita su veoma niske i na svim lokalitetima su u okviru klase II. Izmerene koncentracije azota su na četiri lokaliteta veće od vrednosti propisane za drugu klasu koja iznosi 2 mgN/l. Prema sadržaju amonijačnog azota, voda na tri profila ne odgovara drugoj klasi, i to samo u drugom periodu uzorkovanja. Od ukupno 18 merenja ukupnog fosfora, samo 6 su premašila vrednosti klase 2 i to samo u prvom periodu uzorkovanja, dok su koncentracije ortofosfata su na samo tri lokaliteta premašile graničnu vrednost II klase (slika 3).

Sve izmerene vrednosti parametara saliniteta (hloridi, sulfati, elektroprovodljivost, ukupne soli) su na svim lokalitetima bile u okviru druge klase. Što se tiče prisustva metala u vodi, detektovane su povišene koncentracije gvožđa i mangana na većini lokaliteta. Voda reke Tise se prema sadržaju mangana svrstava u klasu III, a prema sadržaju gvožđa u klasu IV na tri lokaliteta. Još je jedino i koncentracija hroma premašila vrednosti II klase i to na dva lokaliteta. Koncentracije svih ostalih metala su niske i u okvirima druge klase na svim lokalitetima. Koncentracije fenola i površinski aktivnih materija u vodi Tise su bile veoma niske, ispod granice kvantifikacije metode. Na svim profilima voda je kvaliteta klase 2.



Slika 2. Koncentracije organskih pokazatelja u vodi reke Tise  
 Figure 2. Concentrations of organic indicators in the water of Tisa river



Slika 3. Koncentracije nutrijenata u vodi reke Tise  
Figure 3. Concentrations of the nutrients in the water of Tisa river

U tabeli 1 je prikazana klasifikacija vode reke Tise na svim ispitivanim profilima i za sve ispitivane grupe fizičko-hemijskih parametara, uzimajući u obzir oba perioda ispitivanja. Posmatrajući parametre, najviše odstupanja od druge klase (dobrog statusa) je u slučaju parametara kiseoničnog režima i nutrijenata. Parametri kiseoničnog režima su najčešće četvrta klasa, a nutrijenti najčešće treća klasa. Na osnovu ovakvih rezultata monitoringa, voda Tise se ocenjuje kao umeren ili slab ekološki status.

Tabela 1. Klasifikacija vode reke Tise i ocena statusa  
Table 1. Classification of water of Tisa river and evaluation of the status

Lokalitet	Parametar	Opšti	Kiseonični režim	Nutrijenti	Salinitet	Metali	Organske supstance	Konačna klasifikacija	Ocena statusa
Granični profil	jun	II	IV	III	II	IV	II	IV	slab
	oktobar	II	IV	II	II	III	II	IV	slab
Nizvodno od Kanjiže	jun	II	IV	II	II	III	II	IV	slab
	oktobar	II	IV	II	II	III	II	IV	slab
Nizvodno od Novog Kneževca	jun	II	IV	II	II	III	II	IV	slab
	oktobar	II	II	II	II	III	II	III	umeren
Nizvodno od Sente	jun	II	IV	IV	II	IV	II	IV	slab
	oktobar	II	IV	II	II	III	II	IV	slab
Nizvodno od Ade	jun	II	IV	IV	II	IV	II	IV	slab
	oktobar	II	II	III	II	III	II	III	umeren
Nizvodno od Bečeja	jun	II	IV	III	II	III	II	IV	slab
	oktobar	II	III	III	II	III	II	III	umeren
Nizvodno od Novog Bečeja	jun	II	III	III	II	III	II	III	umeren
	oktobar	II	II	II	II	III	II	III	umeren
Nizvodno od ustave	jun	II	IV	II	II	IV	II	IV	slab
	oktobar	II	IV	III	II	III	II	IV	slab
Nizvodno od mosta u Titelu	jun	II	IV	II	II	III	II	IV	slab
	oktobar	II	IV	III	II	IV	II	IV	slab

## ZAKLJUČAK

Na osnovu rezultata dobijenih analizom vode u toku 2017. godine može se zaključiti da je kvalitet vode Tise nezadovoljavajući. Prema domaćoj zakonskoj regulativi postoji prekoračenje maksimalno dozvoljenih vrednosti za II klasu vodotoka za većinu parametara na svim lokacijama uzorkovanja i u oba perioda uzorkovanja. Vrednosti koje su prekoračile vrednosti za II klasu su: rastvoreni kiseonik, sadržaj organskih materija izražen kao rastvoreni kiseonik, BPK, HPK, TOC, nutrijenti, a od metala gvožđe i mangan.

Rezultati monitoringa u toku 2017. godine su pokazali da je Tisa opterećena organskim materijama, čiji uticaj prouzrokuje smanjenje sadržaja rastvorenog kiseonika u vodi, povećanje vrednosti BPK5 i čestu pojavu aneorobnih uslova, što za sobom povlači ne samo poremećaj hemijskog režima, već i uništenje akvatičnog života vodotoka. Nizak sadržaj

rastvorenog kiseonika, odnosno povećane koncentracije hemijske i biohemijske potrošnje kiseonika, ukazuju na prisutno organsko zagađenje.

#### Zahvalnica

Zahvalnost dugujemo Ministarstvu prosvete, nauke i tehnološkog razvoja (Projekat TR37004) i JVP "Vode Vojvodine" Novi Sad.

#### LITERATURA:

- Malaj, E., Von der Ohe, P.C., Grote, M., Kühne, R., Mondy, C.P., Usseglio-Polatera, P., Brack, W., Schäfer, R.B. (2014) Organic chemicals jeopardize the health of freshwater ecosystems on the continental scale. *Proc. Natl. Sci.* 111(26), 9549–9554.  
<http://dx.doi.org/10.1073/pnas.1321082111>.
- Pravilnik o parametrima ekološkog i hemijskog statusa površinskih voda i parametrima hemijskog i kvantitativnog statusa podzemnih voda, Službeni glasnik RS, br. 74/2011.
- Uredba o graničnim vrednostima zagađujućih materija u površinskim i podzemnim vodama i sedimentu i rokovima za njihovo dostizanje, Sl.glasnik RS, br. 50/2012.
- Zakon o vodama, Sl. glasnik RS, br. 30/2010.
- Water Framework Directive (WFD), 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 2000/60/EC.

## ANALIZA ZAJEDNICA MAKROBESKIČMENJAKA POVRŠINSKIH VODA NA TERITORIJI GRADA BEOGRADA

Maja Raković\*, Nataša Popović\*, Jelena Čanak Atlagić\*,  
Jelena Đuknić\*, Nikola Marinković\*, Sreten Anđus\*,  
Aljoša Tanasković\*\*, Momir Paunović\*

\* *Institut za biološka istraživanja „Siniša Stanković“ Univerzitet u Beogradu,  
Bulevar despota Stefana 142, Beograd, Srbija; [rakovicmaja@ibiss.bg.ac.rs](mailto:rakovicmaja@ibiss.bg.ac.rs)*

\*\* *Gradski zavod za javno zdravlje Beograd, Bulevar despota Stefana 54a,  
Beograd, Srbija*

### REZIME

Cilj rada je ocena ekološkog statusa dva tipa vodotokova na području Beograda. Istraživanja su vršena na po dva lokaliteta na rekama Dunav (Batajnica i Vinča), Sava (Zabran i Makiš) – tip 1 i Kolubara (ušće i Čelije) – tip 2. Na osnovu ispitivanih parametara zajednice makrobescičmenjaka, ekološki status ispitivanih reka može se okarakterisati kao slab (IV klasa). Fizičko-hemijski parametri ukazuju na bolji status, što indikuje da su hidromorfološki pritisci značajan faktor koji utiče na stanje vodnih tela regiona Beograda.

KLJUČNE REČI: ekološki status, biološki monitoring, tipologija voda

## ANALYSIS OF AQUATIC MACROINVERTEBRATE COMMUNITIES OF RUNNING WATERS IN THE CITY OF BELGRADE

### ABSTRACT

The aim of this work is to assess ecological status of two types of watercourses in the area of Belgrade. The investigations have been performed on two sites on the Danube (Batajnica and Vinča), Sava (Zabran and Makiš) – type 1 and Kolubara Rivers (Ušće and Čelije) – type 2. Based on the studied macroinvertebrate community parameters, ecological status of investigated rivers could be assessed as poor (IV class). Physico-chemical parameters revealed better status, which indicates that hydromorphological pressures significantly influence state of water bodies within territory of Belgrade.

KEY WORDS: ecological status, biological monitoring, water typology

## UVOD

Promene fizičkih, hemijskih i bioloških faktora, bilo da se dešavaju naglo ili postepeno, neizbežno dovode do promena karakteristika akvatičnih ekosistema. Antropogeni pritisci na morfologiju, hidrologiju, hemizam, floru i faunu akvatičnih staništa (Paul & Meyer 2001, Walsh et al. 2005), dovode do promena funkcionalnosti ekosistema. Posledice različitih antropogenih pritisaka ogledaju se u smanjenju izvorne biološke raznovrsnosti vodenih ekosistema.

Bentosni makrobeskičmenjaci različito reaguju na promene abiotičkih i biotičkih faktora okruženja i smatraju se dobrim pokazateljima stanja akvatičnih ekosistema (Mandeville 2002), dok sastav i struktura zajednica jasno ukazuju na stepen trofije ekosistema.

Teritorija Srbije ima izuzetan značaj za ceo dunavski sliv, zbog prijema voda Drave, Tise, Save, Tamiša, Morave, Mlave, Nere, Peka, Timoka i niza malih vodotoka. Proticaj Dunava se na potezu od Mađarske do Bugarske granice više nego udvostručava.

Oblast grada Beograda zauzima površinu od 3.224 km<sup>2</sup> i administrativno je podeljena na 17 gradskih opština sa 1.659.440 stanovnika ([www.beograd.rs](http://www.beograd.rs)). Na području Beograda Dunav protiče u dužini od 60 km, od Starih Banovaca do Grocke, a Sava u dužini od 63 km, uzvodno od Obrenovca do ušća u Dunav ([www.plovput.rs](http://www.plovput.rs)).

U ovom radu prikazani su rezultati uporedne analize fizičkih i hemijskih parametara kvaliteta vode u 2017. godini, kao i rezultati analize zajednica makrobeskičmenjaka za dva tipa tekućih voda na području grada Beograda. Tipovi tekućih voda određeni su prema važećem Pravilniku o parametrima ekološkog i hemijskog statusa površinskih voda i parametrima hemijskog i kvantitativnog statusa podzemnih voda (Službeni glasnik RS 74/2011).

## MATERIJAL I METODE

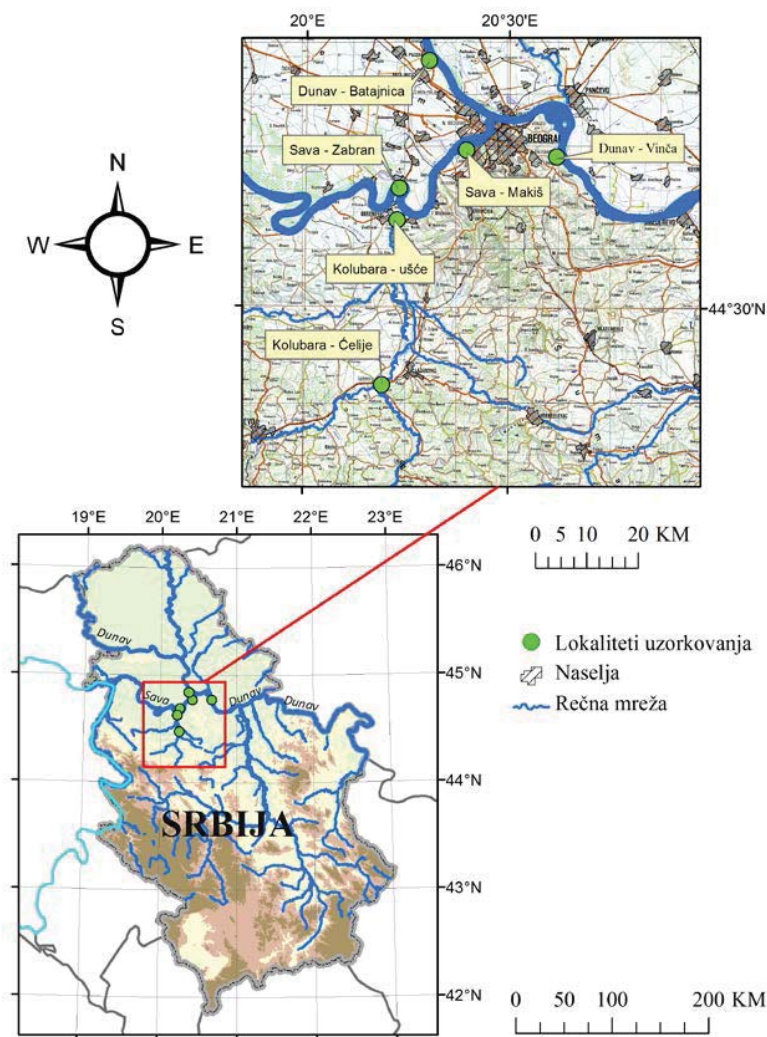
Hidrografsku mrežu Beograda čine Dunav i Sava i značajan broj manjih tokova. Najveća pritoka Save u ovom sektoru jeste reka Kolubara. (Slika 1).

**Dunav** u Beogradu prima vodu iz Save i opterećen je brojnim izvorima organskog zagađenja, kao što su komunalne i industrijske vode ([www.beograd.rs](http://www.beograd.rs)). Uzorci su uzeti na lokalitetima: Stari Banovci (N 44°55'21" E 20°19'23") i Vinča (N 44°46'09" E 20°37'30") u neposrednoj blizini vodozahvata. Dunav pripada tipu I odnosno, velikim nizijskim rekama sa dominacijom finog nanosa.

**Sava** je recipijent otpadnih voda, a ujedno i najveće i najznačajnije izвориšte beogradskog vodovoda ([www.beograd.rs](http://www.beograd.rs)). Uzorci su prikupljeni na lokalitetima: Zabran (N 44°40'06" E 20°14'40") i Makiš (N 44°45'34" E 20°21'24"), odakle se voda iz Save direktno zahvata za potrebe vodosnabdevanja. Sava takođe pripada tipu I odnosno, velikim nizijskim rekama sa dominacijom finog nanosa.

**Kolubara** je najveća i vodom najbogatija desna pritoka Save, na teritoriji Beograda. Desetak kilometara nizvodno od njenog ušća u Savu počinje zona zaštite izvorišta beogradskog vodovoda ([www.beograd.rs](http://www.beograd.rs)). Uzorci su prikupljeni na dva lokaliteta: kod sela Čelije (N 44°22'36,17" E 20°12'35,24") i ušće kod Obrenovca (N 44°39'12" E 20°13'27").





Slika 1. Lokaliteti uzorkovanja

Kolubara je svrstana u tip 2, odnosno tip velikih reka sa dominacijom srednjeg nanosa, izuzev reka Panonske nizije.

Na osnovu procene stepena antropogenog pritiska, svi istraživani lokaliteti klasifikovani su u dve grupe – lokaliteti koji su pod manjim antropogenim pritiskom (Zabran, Makiš, Stari

Banovci i Čelije) i oni koji su narušeni, odnosno pod većim antropogenim pritiskom (Vinča, Obrenovac). Ocena stepena antropogenog pritiska izvršena je na osnovu procene hidromorfoloških karakteristika (HYMO), nivoa organskog zagađenja, nivoa nutrijenata i hazardnih supstanci (Tabela 1), prema Prostornom planu Beograda (2003), Planu upravljanja Dunavom (2003) i podacima Zajedničkog istraživanja reke Dunav (ICPDR – JDS2).

Tabela 1. Lokaliteta sa kojih su uzorci prikupljeni, tip vodotoka (Službeni glasnik RS 74/2011) i procena antropogenog pritiska istraživanih lokaliteta (1 - nizak, 2 – srednji i 3 – visok nivo) (Prostorni plan Beograda – Službeni list grada Beograda br. 27/03, Plan upravljanja Dunavom – [www.dunavskastrategija.rs](http://www.dunavskastrategija.rs), ICPDR – JDS2 – [www.icpdr.org](http://www.icpdr.org)).

	Tip vodotoka	HYMO	Organsko zagađenje	Nutrijenti	Hazardne i druge supstance	Ocena antropogenog pritiska
Sava Zabran	1	2	2	2	2	2
Sava Makiš	1	2	2	2	2	2
Dunav S. Banovci	1	2	2	2	2	2
Dunav Vinča	1	2	3	3	3	3
Kolubara Čelije	2	2	2	2	2	2
Kolubara Obrenovac	2	2	3	3	3	3

Uzorci vode za analizu fizičkih i hemijskih parametara uzimani su Friedingerovom bocom zapremine 3 litra, sa dubine od 0,5 m sa svih istraživanih lokaliteta prateći standarde APHA-AWWA-WEF 1995, SRPS ISO 5667-2:1997, SRPS ISO 5667-4:1997, SRPS ISO 5667-6:1997, SRPSEN ISO 5667-3:2007, SRPS EN ISO 5667-1:2008.

U toku istraživanja, na terenu su analizirani sledeći parametri: temperatura vode (Tem) (°C), pH, rastvoreni kiseonik (O<sub>2</sub>) (mg/l) i elektrolitička provodljivost (Ele) (μS/cm na 20°C), korišćenjem multiparametarske sonde Horiba W-23XD (HORIBA Instruments Incorporation, USA), (0,5 m ispod površine vode). Detaljna analiza uzoraka vode izvršena je korišćenjem standardnih metoda i tehnika (SRPS ISO, ISO, EPA i SMEWW), u laboratoriji Gradskog zavoda za javno zdravlje u Beogradu.

Uzorci makrobeskičmenjaka su prikupljeni pomoću bentosne mreže promera okaca 500 μm, Surberove mreže promera okca 250 μm i Van Veenovog bagera zahvatne površine 270 cm<sup>2</sup>. Ispiranjem kroz sito promera okaca 200 μm, akvatični beskičmenjaci izdvojeni su iz sedimenta, fiksirani 4% formaldehidom i zatim transportovani u laboratoriju. 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), Edington & Hildrew (1995), Pescador et al. (1995), Nilsson (1996a, b), Timm (1999), Pflieger (2000), Glöer (2002), Glöer & Meier-Brook (2003), Killeen et al. (2004), Kornushin (2004).

Pri analizi sastava i strukture zajednica korišćen je veći broj parametara izračunatih pomoću softverskog paketa ASTERICS 3.1.1. (AQEM 2002). Primenjena je indikatorska lista koju je sačinio Moog (2002). Za procenu ekološkog statusa korišćeni su sledeći pokazatelji: indeks saprobnosti (SI; Zelinka–Marvan 1961), zatim ukupan broj taksona (N), procena diverziteta na osnovu Shannonovog indeksa diverziteta ( $H'$ ), Margalefovog indeksa (M) i Simpsonovog indeksa diverziteta (S) kao i indeksa ujednačenosti (E).

## REZULTATI I DISKUSIJA

Sava i Dunav su velike nizijske reke sa dominacijom finog nanosa, prema Pravilniku o parametrima ekološkog i hemijskog statusa površinskih voda i parametrima hemijskog i kvantitativnog statusa podzemnih voda (Službeni glasnik RS, 74/2011), i spadaju u vodotoke tipa 1, ali prema Pravilniku o utvrđivanju vodnih tela površinskih i podzemnih voda (Službeni glasnik RS, 96/2010), ceo tok Save i Dunava kroz Srbiju svrstan je u značajno izmenjena vodna tela.

### Dunav

Kod reka čiji je srednji proticaj nekoliko hiljada  $m^3/s$  sadržaj suspendovanih materija dominantno zavisi od erozionih procesa i hidrološke situacije u slivu, a mnogo manje od sadržaja otpadnih voda. Koncentracija se kretala od samo 6 mg/l kod Vinče do 10 mg/l u istom periodu kod Batajnice. Suspendovane materije su posebno značajne, jer se na njima adsorbuju i organski i neorganski mikropolutanti koji po njihovom taloženju ostaju u sedimentu i nepovoljno deluju na organizme bentosa.

Uravnoteženost kiseoničkog režima je zadovoljavajuća, tačnije nema uzoraka sa hiposaturacijom i hipersaturacijom, povećanom  $BPK_5$  ili HPK, pa se može reći da je situacija povoljna (Tabela 2). Intenzivna fotosintezna aktivnost vodenih biljaka i algi, kao i pasivna reaeracija, uspevaju gotovo u potpunosti da nadoknade kiseonik utrošen za razgradnju organskih materija.

U zajednici vodenih makrobeskičmenjaka ispitivanih lokaliteta dominiraju grupe Oligochaeta sa 70,44%, Diptera sa 22,13%, Bivalvia sa 3,22% i Gastropoda sa 2,75% zastupljenosti. Hirudinea, Crustacea, Ephemeroptera i Odonata zastupljene su sa učešćem manjim od 1%.

Procentualni udeo organizama tolerantnih na srednji stepen organskog zagađenja, beta-mezosaprobnih organizmi, iznosi 26,01%. Procentualni udeo organizama tolerantna je na viši stepen organskog zagađenja, alfa-mezosaprobnih organizmi, je mali i iznosi 10,07%. Procentualna zastupljenost taksona osetljivih na organsko zagađenje (oligosaprobnih organizmi) je ispod 1,624%.

Na osnovu ispitivanih parametara zajednice makrobeskičmenjaka, kvalitet vode Dunava na teritoriji grada se može okarakterisati kao loš, odnosno svrstava se u IV klasu kvaliteta vode (Tabela 3).

### Sava

Sava je međudržavni vodotok koji teritorijom Beograda protiče u dužini od oko 62 km. U priobalju su locirana brojna naselja, termoenergetski, industrijski i rudarski objekti koji svoje otpadne vode ispuštaju direktno u vodno telo. Sava je istovremeno i najveće i najznačajnije izvoriste beogradskog vodovoda.

Granične vrednosti zagađujućih materija konstantno su bile u granicama I i II klase i to : suspendovane materije, procenat zasićenja kiseonikom, hemijska potrošnja kiseonika, hemijska potrošnja kiseonika, ukupan azot, nitriti, sulfati, elektroprovodljivost (Tabela 2). Sadržaj suspendovanih materija na Savi dominantno zavisi od erozionih procesa i hidrološke situacije u slivu, a mnogo manje od sastava otpadnih voda, jer je njen srednji godišnji proticaj nekoliko stotina m<sup>3</sup>/s. Povećani sadržaj se registruje uglavnom u periodu otapanja snega ili nakon obilnijih padavina u prolećnom i jesenjem periodu.

Vodeni makrobeskičmenjaci reke Save ispitivani su na standardnim lokalitetima Zabran i Makiš. U zajednici dominiraju Oligochaeta sa 67,64%, i Gastropoda sa učešćem od 21,57%. Ostale zabeležene grupe zastupljene su sa učešćem manjim od 5%, a to su grupe Odonata (4,42%), Diptera (3,52%), Bivalvia (2,47%) i grupa Crustacea (0,37%).

Beta-mezosaprobnoj grupi organizama pripada 16,91% zabeleženih taksona. Procentualna zastupljenost alfa-mezosaprobni organizama iznosi 7,5%, dok je zastupljenost oligosaprobni organizama, koji tolerišu manji stepen organskog zagađenja, iznosila 1,36%.

Na osnovu ispitivanih parametara zajednice makrobeskičmenjaka, kvalitet vode Save na teritoriji grada se može okarakterisati kao loš, odnosno svrstava se u IV klasu kvaliteta vode (Tabela 3).

### Kolubara

Na teritoriji Beograda najveća i vodom najbogatija pritoka Save je Kolubara. Desetak kilometara nizvodno od njenog ušća počinje zona sanitarne zaštite izvorišta beogradskog vodovoda. Ovo je od izuzetne važnosti zbog njenog mogućeg negativnog uticaja na kvalitet vode izvorišta.

Od značajnijih naselja u slivu su: Valjevo, Mionica, Lajkovac, Ljig, Lazarevac, Osečina, Koceljeva, Ub i Obrenovac. Sanitarne i tehnološke otpadne vode iz ovih naselja, kao i prelivne i drenažne vode sa površinskih kopova REIK "Kolubara" i pepelišta TE Kolubara-A, nepovoljno utiču na njen kvalitet.

Hemijski i fizički parametri koji podržavaju ekološki status, a koji su bili u granicama vrednosti I i II klase su: pH vrednost, koncentracije rastvorenog kiseonika, petodnevna

biološka potrošnja kiseonika ( $BPK_5$ ), ukupan organski ugljenik (Tot C), amonijum jon, nitrati, ortofosfati, ukupno rastvoreni fosfor i hloridi, izuzev ortofosfata kod mosta na putu za Obrenovac.

Petodnevna biološka potrošnja kiseonika  $BPK_5$  je na oba lokaliteta odgovarala granicama za II klasu voda. Izmerene vrednosti bile su 1,4 mg/l kod Obrenovca i 1,8 mg/l na uzvodnom profilu (Tabela 2). Vrednosti pokazuju da priliv lako razgradivih organskih materija uglavnom nije veliki.

Koncentracije totalnog organskog ugljenika su relativno stabilne na oba lokaliteta i umereno variraju, od 3 mg/l kod sela Čelije do 3,1 mg/l kod Obrenovca. Nije uočen veći očekivani porast sadržaja Tot C na užem području Grada zbog ispuštanja neprečišćenih sanitarnih otpadnih voda.

Analizom vodenih makrobeskičmenjaka reke Kolubare, grupa Oligochaeta je bila procentualno najzastupljenija (50,81%), zatim sledi subdominantna grupa Gastropoda (36,69%), dok su znatno manji udeo u ispitivanoj zajednici reke imale grupe Diptera (7,74%), Bivalvia (2,74%), Odonata (1,21%) i grupa Hirudinea (0,81%).

Prema ekološkoj klasifikaciji taksona u odnosu na saprobnu valencu (Moog, 2002) na celom toku Kolubare najveći broj identifikovanih organizama (26,01%) pripada beta-mezosaprobnj grupi organizama. Zastupljenost oligo-saprobni taksona, osetljivih na organsko zagađenje iznosi 8,63%, dok je mali procenat ispitivanih organizama (0,24%) adaptiran na visoko organsko zagađenje (poli-saprobni taksoni).

Prosečne vrednosti ispitivanih parametara zajednice vodenih makrobeskičmenjaka na odabranim lokalitetima reke Kolubare ukazuju na visok stepen organskog zagađenja na lokalitetu Obrenovac koji pripada V klasi kvaliteta vode. Na lokalitetu Čelije određena je III klasa kvaliteta vode, što odgovara umerenom ekološkom statusu (Tabela 3).

Tabela 2. Rezultati analize osnovnih fizičkih i hemijskih parametara dva tipa površinskih voda na području Beograda, u 2017. godini.

Tip vodotoka	Tip I		Tip II			
	Reka	Dunav	Sava		Kolubara	
Lokalitet	Batajnica	Vinča	Zabran	Makiš	Obrenovac	Čelije
Ele	307	322	449	495	498	436
O <sub>2</sub>	7,7	7,3	7	7,3	8,3	9,8
pH	8,2	8	8,6	8	8,2	8,5
Tem	20,3	21,6	23,5	24	20	23,3
NH <sub>4</sub> -N	0,1	0,1	0,08	0,12	0,12	0,1
BPK <sub>5</sub>	1,6	0,6	0,6	0,5	1,4	1,8
Cl <sup>-</sup>	13,3	17,5	44,1	53,2	17,1	11,9
HPK	4	2,2	5	5	3,6	2
NO <sub>3</sub>	1	0,9	1,4	1,9	1,5	1,8
NO <sub>2</sub>	0,015	0,008	0,009	0,009	0,044	0,031
SO <sub>4</sub>	24,3	29,8	30,3	29,6	41,7	15
Sus	10	6	1	2	9	5
Suv	203	235	350	349	329	267
Tot N	1,3	1,2	0,5	0,5	1,8	2,4
Tot P	0,044	0,044	0,07	0,011	0,033	0,099
Tot C	2,6	2,8	2,4	2,3	3,1	3

Tabela 3. Klase ekološkog statusa na osnovu seta izračunatih indeksa (Službeni glasnik RS 74/2011) u dva tipa površinskih voda na području Beograda, u 2017. godini.

Tip vodotoka	Tip I				Tip II	
	Reka	Dunav		Sava		Kolubara
Lokalitet	Vinča	Batajnica	Zabran	Makiš	Obenovac	Čelije
SI	I	I	II	II	/	I
BMWP	IV	III	III-IV	IV	V	IV
ASPT	II	III	I-II	III	V	III
H'	IV	IV	IV	III	V	II
Ukupan br. taksona	IV	II-III	IV	IV	V	II
Učešće Oligochaeta [%]	V	IV	V	IV	V	II
Ukupna ocean statusa	IV-V	IV	IV	IV	V	III

### ZAKLJUČAK

Na osnovu ispitivanih parametara zajednice makrobeskičmenjaka, ekološki status reka Dunava i Save na teritoriji grada Beograda se može okarakterisati kao slab (IV klasa kvaliteta vode). Rezultati merenja fizičkih i hemijskih parametara kvaliteta vode Dunava i Save u 2017 godini, odgovaraju okvirima II klase ekološkog statusa za tip 1 vodotoka. Visok stepen organskog zagađenja izračunat na osnovu vrednosti ispitivanih parametara zajednice vodenih makrobeskičmenjaka reke Kolubare, zabeležen je na lokalitetu Obrenovac, dok je na uzvodnom lokalitetu Čelije određena III klasa kvaliteta vode, što odgovara umerenom ekološkom statusu. Na osnovu rezultata merenja analiziranih fizičkih i hemijskih parametara vode, može se zaključiti da Kolubara na području Beograda odgovara okvirima II klase ekološkog statusa za tip 2 vodotoka.

### Zahvalnica

Prikazani rezultati deo su istraživanja izvršenih u okviru projekta Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja ON176018.

### LITERATURA

- APHA-AWWA-WEF 1995. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. – 19th ed., Eaton D., Clesceri S, Greenberg E., American Public Health Association, Washington, DC.
- 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.
- 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.
- Killeen I., Aldridge D., Oliver G. 2004. Freshwater Bivalves of Britain and Ireland. FSC, AIDGAP Occasional Publication 82, 1-114.
- 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.
- 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)
- Mandeville S. 2002. Benthic macroinvertebrates in freshwaters – taxa tolerance values, metrics and protocols. Soil and Water Conservation Society of Metro Halifax. 128 str.
- 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.
- Paul M., Meyer J. 2001. Streams in the Urban Landscape. *Annual Review of Ecology and Systematics* 32, 333-65.
- 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.
- Sladeček 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 RS, 96/2010. Pravilniku o utvrđivanju vodnih tela površinskih i podzemnih voda
- Službeni glasnik RS 74/2011. Pravilnik o parametrima ekološkog i hemijskog statusa površinskih voda i parametrima hemijskog i kvantitativnog statusa podzemnih voda.
- Službeni list grada Beograda 27/03. Prostorni plan Beograda.
- Timm T. 1999. A Guide to the Estonian Annelida. Estonian Academy Publishing Tartu/Tallinn, 1-208.
- Walsh C., Roy A., Feminella J., Groffman P., Morgan R. 2005. The urban stream syndrome: current knowledge and the search for a cure. *Journal of North American Benthological Society* 24, 706-723.
- Wiederholm T. 1983. Chironomidae of the Holarctic region. Keys and diagnoses. Part I. Larvae – *Entomologica Scandinavica* 19, 1-457.
- Zelinka M., Marvan P. 1961. Zur Präzisierung der biologischen Klassifikation der Reinheit fließender Gewässer. *Archiv für Hydrobiologie* 57, 389-407.
- [www.beograd.rs](http://www.beograd.rs)
- [www.dunavskastrategija.rs](http://www.dunavskastrategija.rs) (Plan upravljanja Dunavom)

[www.icpdr.org](http://www.icpdr.org)

[www.plovput.rs](http://www.plovput.rs)

APHA-AWWA-WEF 1995

SRPS ISO 5667-2:1997

SRPS ISO 5667-4:1997

SRPS ISO 5667-6:1997

SRPSEN ISO 5667-3:2007

SRPS EN ISO 5667-1:2008



## OCENA EKOLOŠKOG POTENCIJALA LOKALITETA DUBOKO (SAVA) I VIŠNJICA (DUNAV) NA OSNOVU ZAJEDNICE AKVATIČNIH OLIGOCHAETA

Margareta Kračun-Kolarević\*, Stoimir Kolarević\*\*,  
Jovana Kostić\*\*\*, Ana Atanacković\*, Karolina Sunjog\*\*\*,  
Vanja Marković\*, Branka Vuković-Gačić \*\*,  
Momir Paunović\*

\* *Institut za Biološka istraživanja "Siniša Stanković", Univerzitet u Beogradu,  
Bulevar Despota Stefana 142, email: [margareta.kracun@ibiss.bg.ac.rs](mailto:margareta.kracun@ibiss.bg.ac.rs)*

\*\* *Centar za ekogenotoksikologiju i genotoksikologiju, Biološki fakultet,  
Univerzitet u Beogradu*

\*\*\* *Institut za multidisciplinarna istraživanja, Univerzitet u Beogradu*

### REZIME

Na Savi (Duboko) i Dunavu (Višnjica) vršena je procena ekološkog potencijala na osnovu zajednice akvatičnih oligoheta. Na Savi istraživanje je rađeno tokom 2014. i 2015. godine, a na Dunavu tokom 2014. godine. Na lokalitetu Duboko veća raznovrsnost oligohetne faune bila je zabeležena 2015. godine (11 vrsta), u odnosu na 2014. godine (9 vrsta), a na lokalitetu Višnjica zabeleženo je prisustvo 17 vrsta oligoheta. Na oba lokaliteta familija Tubificidae je bila dominantno zastupljena (>90 %) sa vrstama *Limnodrilus hoffmeisteri* i *L. claparedeanus*. Visoka zastupljenost familije Tubificidae u uzorcima ukazuje na veliko organsko zagađenje koje je prisutno na ovim lokalitetima.

KLJUČNE REČI: Oligochaeta, ekološki potencijal, Sava, Dunav

## EVALUATION OF ECOLOGICAL POTENTIAL AT THE SAMPLING SITES DUBOKO (SAVA) AND VIŠNJICA (DANUBE) BASED ON COMMUNITY OF AQUATIC OLIGOCHAETA

### ABSTRACT

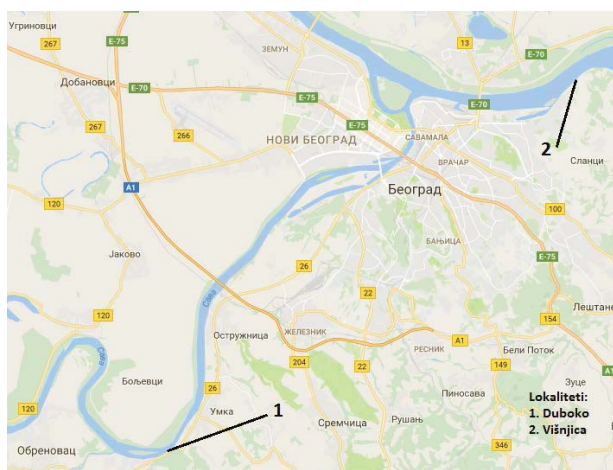
Evaluation of ecological potential based on communities of aquatic oligochaetes was done on the Sava (Duboko) and Danube (Višnjica) River. The research was conducted during 2014 and 2015 year on Sava, and 2014 year on Danube. At Duboko sampling site higher diversity was noted during 2015 year (11 species) than 2014 year (9 species), while at Višnjica sampling site presence of 17 species were recorded. On both sampling sites family

Tubificidae was dominant (>90 %) with species *Limnodrilus hoffmeisteri* i *L. claparedeanus*. Dominance of family Tubificidae in the samples indicates high organic pollution on these sampling sites.

KEY WORDS: Oligochaeta, ecological potential, Sava, Danube

## UVOD

Zbog namirivanja sve kompleksnijih potreba ljudi, slatkovodni ekosistemi su veoma eksploatisani i trpe jake antropogene pritiske (Rajaguru i sar., 2003; Navarro-Ortega i sar., 2015), stoga je od izuzetnog značaja vršenje redovnog monitoringa vodotokova pošto se značajne negativne promene beleže u ovoj životnoj sredini. U biomonitoringu slatkovodnih ekosistema najčešće se koriste makroinvertebrati (Lenat i Barbour, 1994; Statzner i sar., 2001; Buffagni i sar., 2004), perifiton (Vis i sar., 1998; Prygiel i Coste, 1999; Coste i sar., 2009 ) i ribe (Oberdorff i sar., 2002; Pont i sar., 2006). U odnosu na osobine koje je neophodno da organizmi imaju da bi bili dobri bioindikatori, može se reći za akvatične makroinvertebrate da su zahvalna grupa za korišćenje u svrhe biomonitoringa (Paunović, 2007; Marković, 2014; Popović, 2014; Raković, 2015; Zorić, 2015; Tomović, 2015; Atanacković, 2015). U okviru akvatičnih makroinvertebrata posebno su zanimljivi maločekinjasti crvi (Oligochaeta) sa familijom Tubificidae čiji su predstavnici široko rasprostranjeni u svim tipovima vodotokova. Tubificidne vrste se najčešće povezuju sa lokalitetima bogatim organskim materijama i smanjenom oksigenacijom. Njihova zastupljenost u ukupnom uzorku akvatičnih invertebrata ukazuje na stepen zagađenja lokaliteta, odnosno veća zastupljenost ove familije ukazuje na veće organsko zagađenje. Ova studija je rađena na dva lokaliteta, na Savi – lokalitet Duboko i na Dunavu - lokalitet Višnjica (Slika 1), gde je praćen ekološki potencijal tokom dve uzastopne godine, 2014. i 2015. godine.



Slika 1. Lokaliteti: 1. Duboko; 2. Višnjica  
Figure 1. Sampling sites: 1. Duboko; 2. Višnjica

## MATERIJAL I METODE

### Područje istraživanja

Na lokalitetu Duboko istraživanje je sprovedeno tokom 2014. i 2015. godine. Duboko se nalazi nizvodno od Obrenovca i ušća reke Kolubare, a uzvodno od Beograda. Pritisци koji su izraženi na ovom lokalitetu su: neprečišćene vode Obrenovca i Bariča, uticaj Termoelektrana „Nikola Tesla“ (TENT A i B) i deponije pepela u sklopu TENT-a. Od maja do septembra 2014. godine velike poplave su značajno uticale na ovaj lokalitet.

Na lokalitetu Višnjica izražen je uticaj otpadnih voda Beograda koje se neprečišćene ispuštaju u rukavcu kod Ade Huje. Na ovom lokalitetu istraživanje je sprovedeno 2014. godine.

Prikupljanje i laboratorijska obrada materijala makroinvertebrata za procenu sastava zajednice makroinvertebrata

Fauna dna je uzorkovana ručnom bentološkom mrežom (promer okca 500 i 250  $\mu\text{m}$ ) ili uz pomoć bentološkog bagera tipa Van Veen (zahvatna površina 270  $\text{cm}^3$ ), a zatim je fiksirana 4 % formaldehidom ili 95-96 % etanolom. Ovi uzorci su korišćeni za determinaciju sastava zajednice makroinvertebrata i za procenu ekološkog potencijala lokaliteta. Laboratorijska obrada materijala akvatičnih makroinvertebrata vršena je na Odeljenju za hidroekologiju i zaštitu voda Instituta za biološka istraživanja „Siniša Stanković“ (Univerzitet u Beogradu) pomoću binokularne lupe i mikroskopa (Zeiss, AXIO, Lab.A1; Carl Zeiss Microscopy, GmbH, 37081 Gottingen, Germany) do najnižeg pouzdanog taksonomskog nivoa pomoću odgovarajućih ključeva za identifikaciju (Oligochaeta – Brinkhurst, 1971 a, b; Timm, 1999; Timm, 2009; Mollusca – Pflieger, 1998; Glöer i Meier-Brook, 2003; Beran, 2009; nomenklatura i klasifikacija ostalih grupa makroinvertebrata data je prema fauni Evrope – De Jong, 2013).

### Procena ekološkog potencijala – biološki parametri

Za procenu ekološkog potencijala ispitivanih lokaliteta korišćeni su sledeći biološki parametri: raznovrsnost (broj zabeleženih taksona – ODV, 2000/60/EC), biodiverzitet određen pomoću Šenonovog indeksa diverziteta (H) (Shannon i Weaver, 1949), saprobni indeks (SI) koji uvodi saprobnu valencu (Zelinka – Marvan, 1961), BMWP indeks (eng. *biological monitoring working party* – pokazuje vrednost osetljivosti zajednice bentosnih beskičmenjaka na organsko zagađenje) (Armitage, 1983), učešće familije Tubificidae u zajednici makroinvertebrata (% Tubificidae).

### Statistička obrada podataka

Biološki parametri procene ekološkog potencijala su određeni pomoću softverskog programa ASTERIX (AQEM, 2002). Takođe, za procenu ekološkog potencijala korišćen je važeći pravilnik (Službeni glasnik, 74/2011).

## REZULTATI

Na lokalietu Duboko, tokom 2014. i 2015. godine zabeleženo je po 11 taksona akvatičnih oligoheta. Identifikovane vrste se mogu, prema Timm (2009) i Brinkhurst i Gelder (2001), svrstati u dve familije, Tubificidae i Lumbriculidae (Tabela 1).

Tabela 1. Raznovrsnost oligohetne faune na lokalitetu Duboko  
Table 1. Diversity of oligochaetes at the sampling site Duboko

2014	2015
<i>Isochaetides michaelsoni</i> (Lastockin, 1937)	<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i> Claparede, 1862
<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i> Claparede, 1862	<i>Limnodrilus claparedeanus</i> Ratzel 1868
<i>Limnodrilus claparedeanus</i> Ratzel 1868	<i>Limnodrilus udekemianus</i> Claparede, 1862
<i>Limnodrilus udekemianus</i> Claparede, 1862	<i>Potamothrix moldaviensis</i> Vejdovsky & Mrázek, 1902
<i>Limnodrilus sp.</i>	<i>Potamothrix vejdovskyi</i> (Hrabe, 1941)
<i>Potamothrix vejdovskyi</i> (Hrabe, 1941)	<i>Potamothrix hammoniensis</i> (Michaelson, 1901)
<i>Psammoryctides barbatus</i> (Grube, 1861)	<i>Psammoryctides albicola</i> (Michaelson, 1901)
<i>Branchiura sowerbyi</i> Beddard, 1892	<i>Branchiura sowerbyi</i> Beddard, 1892
<i>Tubifex tubifex</i> Muller 1774	<i>Tubifex tubifex</i> Muller 1774
<i>Tubifex sp.</i>	<i>Stylodrilus heringianus</i> Claparede, 1862
<i>Stylodrilus heringianus</i> Claparede, 1862	<i>Lumbriculus variegatus</i> (Muller 1774)

Kao što je i očekivano, tokom obe godine istraživanja najzastupljenije su bile vrste *L. hoffmeisteri* i *L. claparedeanus*, zatim *T. tubifex* i *B. sowerbyi*, dok su najređe bile uzorkovane *I. michaelsoni*, *P. barbatus*, *P. vejdovskyi*, *S. heringianus*, *P. moldaviensis*, *P. vejdovskyi*, *P. albicola*, *L. variegatus* i *S. heringianus*.

Od ostalih grupa makroinvertebrata najzastupljenija je bila familija Chironomidae, zatim vrsta *Corbicula fluminea* (klasa Bivalvia), familija Corophiidae sa vrstom *Chelicorophium curvispinum* (podtip Crustacea). Zanimljiv je nalaz vrste *Ephoron virgo* (Ephemeroptera) koja do tada nije bila zabeležena na široj teritoriji grada Beograda. Takođe, bili su zabeleženi i predstavnici razreda Porifera (familija Spongillidae), Nematoda, klasa Polychaeta sa vrstom *Hypnia invalida* (Grube, 1860), vrste *Unio tumidus* i *Anodonta (Sinanodonta) woodiana* iz klase Bivalvia, iz reda Decapoda i vrste *Astacus leptodactylus* i *Orconectes limosus*, iz reda Odonata vrsta *Gomphus flavipes*, reda Trichoptera vrsta *Ecnomus tenellus*.

U tabeli 2 su prikazane su vrednosti bioloških indeksa kvaliteta vode za 2014. godinu, a u tabeli 3 za 2015. godinu na lokalitetu Duboko.

Na lokalitetu Višnjica zabeležena je veća raznovrsnost oligohetne faune u odnosu na lokalitet Duboko. Na ovom lokalitetu utvrđeno je prisustvo 20 taksona koji se mogu svrstati, prema Timm (2009) i Brinkhurst i Gelder (2001), u tri familije, Naididae, Tubificidae i Enchytraeidae (Tabela 4).

Tabela 2. Biološki parametri ocene ekološkog potencijala – Duboko 2014. godina.

Table 2. Biological parameters for the assessment of ecological potential – Duboko 2014 year.

ZNAČAJNO IZMENJENA VODNA TELA						
Akumulacije formirane na vodnim telima TIPA 1						
	mart	maj	jun	jul	avg.	okt.
saprobni indeks (metoda Zelinka i Marvan)	IV-V	IV-V	IV-V	IV-V	IV-V	IV-V
BMWP skor	IV-V	IV-V	IV-V	IV-V	IV-V	IV-V
Indeks diverziteta (metoda Shannon - Weaver)	III-IV	II-III	III-IV	III-IV	III-IV	II-III
Ukupan broj taksona	III-IV	II-III	III-IV	III-IV	III-IV	II-III

Tabela 3. Biološki parametri ocene ekološkog potencijala – Duboko 2015. godina.

Table 3. Biological parameters for the assessment of ecological potential – Duboko 2015 year.

ZNAČAJNO IZMENJENA VODNA TELA										
Akumulacije formirane na vodnim telima TIPA 1										
	mart	apr.	maj	jun	jul	avg.	sep.	okt.	nov.	dec.
saprobni indeks (metoda Zelinka i Marvan)	IV-V	IV-V	IV-V	IV-V	IV-V	IV-V	IV-V	IV-V	IV-V	IV-V
BMWP skor	IV-V	IV-V	IV-V	IV-V	IV-V	IV-V	IV-V	IV-V	IV-V	IV-V
Indeks diverziteta (metoda Shannon - Weaver)	III-IV	II-III	III-IV	III-IV	III-IV	IV-V	III-IV	III-IV	IV-V	III-IV
Ukupan broj taksona	III-IV	II-III	III-IV	III-IV	III-IV	IV-V	III-IV	IV-V	IV-V	III-IV

Tabela 4. Raznovrsnost oligohetne faune na lokalitetu Višnjica

Table 4. Diversity of oligochaetes at the sampling site Višnjica

2014
<i>Nais barbata</i> Muller 1774
<i>Nais bretscheri</i> Michaelsen 1899
<i>Nais elinguis</i> Muller 1774
<i>Potamothrix vej dovskyi</i> (Hrabe, 1941)
<i>Potamothrix hammoniensis</i> (Michaelsen, 1901)
<i>Psammoryctides barbatus</i> (Grube, 1861)
<i>Tubifex tubifex</i> Muller 1774
<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i> Claparede, 1862
<i>Limnodrilus claparedeanus</i> Ratzel 1868
<i>Limnodrilus udekemianus</i> Claparede, 1862
<i>Ophidonais serpentina</i> (Muller 1774)
<i>Paranais frici</i> Hrabe 1941
<i>Stylaria lacustris</i> (Linnaeus 1767)
<i>Uncinai s uncinata</i> (Orsted 1842)
<i>Vej dovskyella comata</i> (Vej dovsky 1884)

Najveća abundanca bila je zabeležena za vrste *L. claparedeanus* i *L. hoffmaisteri*, zatim *L. udekemianus*, *T. tubifex*, *B. sowerbyi*. Najređe uzorkovane su bile *N. barbata*, *N. bretscheri*, *S. lacustris*, *U. uncinata*, kao i jedna jedinka iz familije Enchytraeidae.

Od ostalih grupa akvatičnih makroinvertebrata na lokalitetu Višnjica tokom 2014. godine najzastupljenija je bila familija Chironomidae, zatim grupa Nematoda, Gastropoda i Bivalvia, familije Gammaridae i Corophiidae, red Isopoda, klasa Hirudinea i razdeo Plathelminthes.

Vrednosti bioloških indeksa kvaliteta vode na lokalitetu Višnjica tokom 2014. godine dati su u tabeli 5.

Tabela 5. Biološki parametri ocene ekološkog potencijala - Višnjica 2014. godina  
Table 5. Biological parameters for the assessment of ecological potential – Višnjica 2014 year.

ZNAČAJNO IZMENJENA VODNA TELA											
Akumulacije formirane na vodnim telima TIPA 1											
	feb.	mart	apr.	maj	jun	jul	avg.	sep.	okt.	nov.	dec.
saprobni indeks (metoda Zelinka i Marvan)	IV-V	IV-V	IV-V	IV-V	IV-V	IV-V	IV-V	IV-V	IV-V	IV-V	IV-V
BMWP skor	IV-V	IV-V	IV-V	IV-V	IV-V	IV-V	IV-V	IV-V	IV-V	IV-V	IV-V
Indeks diverziteta (metoda Shannon - Weaver)	II-III	II-III	II-III	II-III	III-IV	III-IV	III-IV	II-III	III-IV	II-III	II-III
Ukupan broj taksona	II-III	II-III	III-IV	II-III	III-IV	III-IV	III-IV	III-IV	II-III	II-III	II-III

## ZAKLJUČAK

Manja raznovrsnost oligohetne faune tokom 2014. godine na lokalitetu Duboko može se objasniti uticajem poplava tokom kojih je verovatno došlo do zatrpavanja oligoheta nanosom sedimenta čime su bile nedostupnije za uzorkovanje. U studiji Atanacković (2015) je zabeležena veća raznovrsnost oligoheta na ovom lokalitetu koja je najverovatnije rezultat primene multihabitat metode koje omogućava uzorkovanje vrsta sa različitih mikrostaništa. Prisustvo veće raznovrsnosti oligoheta na lokalitetu Višnjica je u skladu sa literaturnim podacima (Atanacković, 2015).

Velika procentualna zastupljenost familije Tubificidae u ukupnim uzorcima akvatičnih makroinvertebrata ukazuje na loš kvalitet vode, odnosno na veliko organsko zagađenje na datim lokalitetima. Može se zaključiti da nizvodno u odnosu na mesto ispusta otpadnih voda dolazi do smanjenja ukupnog diverziteta akvatičnih makroinvertebrata koji usled velikog priliva organskog i neorganskog zagađenja i smanjenje koncentracije kiseonika na ovim lokalitetima ne mogu da nastanjuju takve životne sredine.

## Zahvalnica

Rad je pripremljen u okviru projekta Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja R. Srbije TR37009.

## LITERATURA

- 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(3), 333-347.
- 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. Version 1.0.
- Službeni glasnik RS (2011). Pravilnik o parametrima hemijskog i ekološkog statusa br. 74/2011.
- Atanacković, A. (2015). Akvatične oligohete (Annelida, Clitellata, Oligochaeta) u različitim tipovima tekućih voda u Srbiji. Doktorska disertacija, Biološki fakultet, Univerzitet u Beogradu.
- Beran, L. (2009). Vodni mekkyši ČR. Regionalni centar ČSOP, Vlašim.
- Brinkhurst, R.O. (1971). A Guide for the Identification of British aquatic Oligochaeta. Kendal, Wilson: Freshwater Biological.
- Buffagni, A., Erba, S., Cazzola, M., Kemp, J. L. (2004). The AQEM multimetric system for the southern Italian Apennines: assessing the impact of water quality and habitat degradation on pool macroinvertebrates in Mediterranean rivers. In *Integrated Assessment of Running Waters in Europe*, pp. 313-329. Springer Netherlands.
- Coste, M., Boutry, S., Tison-Rosebery, J., Delmas, F. (2009). Improvements of the Biological Diatom Index (BDI): Description and efficiency of the new version (BDI-2006). *Ecological Indicators*, 9 (4), 621-650.
- De Jong, Y.S.D.M. (2013). Fauna Europea version 2.6. Dostupno na adresi <http://www.faunaeur.org>
- Glöer, P., Meier-Brook, C. (2003). Süßwassermollusken: Ein Bestimmungsschlüssel für die Bundesrepublik Deutschland. DJN, Hamburg, 138.
- Lenat, D. R., Barbour, M. T. (1994). Using benthic macroinvertebrate community structure for rapid, cost-effective, water quality monitoring: rapid bioassessment. *Biological monitoring of aquatic systems*. Lewis Publishers, Boca Raton, Florida, 187-215.
- Marković, V. (2014). Morfološka varijabilnost i distribucija roda *Theodoxus* Montfort, 1819 (Neritimorpha, Gastropoda) u centralnom delu Balkanskog poluostrva i na južnom obodu Panonske nizije. Doktorska disertacija, Biološki fakultet, Univerzitet u Beogradu.
- Navarro-Ortega, A., Acuña, V., Bellin, A., Burek, P., Cassiani, G., Choukr-Allah, R., ... & Grathwohl, P. (2015). Managing the effects of multiple stressors on aquatic ecosystems under water scarcity. The GLOBAQUA project. *Science of the Total Environment* 503, 3-9.
- Oberdorff, T., Pont, D., Huguenvy, B., Porcher, J. P. (2002). Development and validation of a fish-based index for the assessment of 'river health' in France. *Freshwater Biology*, 47 (9), 1720-1734.
- Paunović, M. (2007). Struktura zajednica makroinvertebrata kao indikator tipova tekućih voda Srbije. Doktorska disertacija. Biološki fakultet, Univerzitet u Beogradu.
- Pfleger, V. (1998). *A Field Guide in Colour to Molluscs*. Blitz Editions.
- Pont, D., Huguenvy, B., Beier, U., Goffaux, D., Melcher, A., Noble, R., Schmutz, S. (2006). Assessing river biotic condition at a continental scale: a European approach using functional metrics and fish assemblages. *Journal of Applied Ecology*, 43(1), 70-80.
- Popović, N. (2014). Ekološka analiza zajednica slatkovodnih makrobeskičmenjaka tri tipa tekućih voda na području Beograda. Doktorska disertacija, Biološki fakultet, Univerzitet u Beogradu.

- Prygiel, J., Coste, M. (1999). Progress in the use of diatoms for monitoring rivers in France. Use of Algae for Monitoring Rivers III. Agence de l'Eau Artois-Picardie, Douai, 165-179.
- Rajaguru, P., Suba, S., Palanivel, M., Kalaiseivi, K. (2003). Genotoxicity of a polluted river system measured using the alkaline comet assay on fish and earthworm tissues. *Environ Mol Mutagen*, 41, 85-91.
- Raković, M. (2015). Diverzitet mekušaca Dunava (1260-863,5 rkm) i taksonomska analiza rodova *Planorbarius*, *Radix*, *Physella* i *Ferrissia* (Pulmonata: Basommatophora). Doktorska disertacija, Biološki fakultet, Univerzitet u Beogradu.
- Shannon, C.E., Weaver, W. (1949). *The Mathematical Theory of Communication*. The Univ. Of Illinois, Press, Urbana, IL.
- Statzner, B., Bis, B., Dolédec, S., Usseglio-Polatera, P. (2001). Perspectives for biomonitoring at large spatial scales: a unified measure for the functional composition of invertebrate communities in European running waters. *Basic and Applied Ecology*, 2(1), 73-85.
- Timm, T. (1999). *A Guide to the Estonian Annelida*. Estonian Academy Publishers.
- Timm, T. (2009). A guide to the freshwater Oligochaeta and Polychaeta of Northern and Central Europe. *Lauterbonia: International Journal of Faunistics and Floristics of European Inland Waters*, 66. Erik Mauch Verlag, Dinkelscherben.
- Tomović, J. (2015). Ekologija, biodiverzitet i konzervacija slatkovodnih školjki familije Unionidae u Srbiji. Doktorska disertacija, Prirodno-matematički fakultet, Univerzitet u Kragujevcu.
- Vis, C., Hudon, C., Cattaneo, A., Pinel-Alloul, B. (1998). Periphyton as an indicator of water quality in the St Lawrence River (Quebec, Canada). *Environmental Pollution*, 101(1), 13-24.
- 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., & Marvan, P. (1961). Zur präzisierung der biologischen klassifikation der reinheit fließender gewässer, *Arch. Hydrobiol.*, 57(3), 389-407.
- Zorić, K. (2015). Invazivnost alohtonih vrsta makroinvertebrata i riba Dunava. Doktorska disertacija, Biološki fakultet, Univerzitet u Beogradu



## BENTOSNE SILIKATNE ALGE KAO POKAZATELJI EKOLOŠKOG POTENCIJALA REKE SAVE

Božica Vasiljević\*, Snežana Simić\*\*, Jelena Krizmanić\*\*\*,  
Jelena Tomović\*, Marija Ilić\*, Katarina Zorić\*,  
Bojana Tubić\*, Momir Paunović\*

\* *Univerzitet u Beogradu, Institut za biološka istraživanja „Siniša Stanković”,  
Bulevar despota Stefana 142, 11000 Beograd, Srbija; e-mail:  
[bozica@ibiss.bg.ac.rs](mailto:bozica@ibiss.bg.ac.rs)*

\*\* *Univerzitet u Kragujevcu, Prirodno-matematički fakultet, Radoja Domanovica  
12, 34000 Kragujevac, Srbija*

\*\*\* *Univerzitet u Beogradu, Biološki fakultet, Institut za botaniku i Botanička  
bašta „Jevremovac”, Takovska 43, 11000 Beograd, Srbija*

### REZIME

Algološko istraživanje reke Save izvršeno je tokom septembra 2011., 2012., 2014. i 2015. godine na pet lokaliteta. Identifikovano je 140 taksona bentosnih silikatnih algi, sa najzastupljenijim predstavnicima rodova *Navicula*, *Nitzschia* i *Gomphonema*. Dijatomni indeksi IPS i CEE, pokazuju trend smanjenja vrednosti niz tok i lošiji ekološki potencijal vodnog tela SA\_1 u odnosu na vodno telo SA\_2. Istraživanja fitobentosa velikih reka u Srbiji su u povoju, stoga je neophodan nastavak rada na razvijanju stabilnog sistema procene ekološkog statusa/potencijala prema zakonskoj i podzakonskoj regulativi Republike Srbije iz oblasti upravljanja vodama, a na osnovu smernica Okvirne direktive o vodama.

KLJUČNE REČI: bentosne silikatne alge, diatomni indeksi, ekološki potencijal, ODV, reka Sava

## BENTHIC DIATOMS OF THE SAVA RIVER AS INDICATORS OF THE ECOLOGICAL POTENTIAL

### ABSTRACT

Algological investigation of the Sava River was performed in September of 2011, 2012, 2014 and 2015 at five sampling sites. Altogether, 140 taxa of benthic diatoms were identified, with the most diverse representatives of the genera *Navicula*, *Nitzschia* and *Gomphonema*. Values of diatom indices IPS and CEE had decreasing trend along the flow, and worse ecological potential of the water body SA\_1 in comparison to the water body SA\_2 was determined. Research on the phytobenthos of large rivers in Serbia are at the

beginning, so it is necessary to continue the work on the development of a stable system of ecological status/potential assessment, according to the legislation of the Republic of Serbia in the field of water management, based on the guidelines of the WFD.

KEY WORDS: benthic diatoms, diatom indices, ecological potential, WFD, the Sava River

## UVOD

Zajednice bentosnih silikatnih algi daju značajne informacije za monitoring životne sredine. Pošto su se pokazale kao dobri bioindikatori, u mnogim zemljama su razvijeni ekološki indeksi zasnovani na silikatnim algama, sa ciljem ocene ekološkog statusa voda i praćenja promena u vodenim ekosistemima. Prednosti korišćenja bentosnih silikatnih algi u oceni kvaliteta voda se ogledaju u postojanju standardizovane metode uzorkovanja, identifikacije i kvantifikacije i upotrebi programa OMNIDIA (Lecoite i sar., 1993) za izračunavnje postojećih diatomnih indeksa i kao izvora dodatnih ekoloških podataka.

Značaj bentosnih silikatnih algi u oceni kvaliteta vode prepoznat je i Okvirnom direktivom o vodama (ODV) Evropske Unije (WFD, 2000). Opšti cilj ODV je postizanje dobrog statusa vodnih tela, koji je ostvaren kada su i ekološki i hemijski status ocenjeni najmanje kao „dobar” (Denić i sar., 2015), a za značajno izmenjena i veštačka vodna tela, postizanje dobrog ekološkog potencijala i dobrog hemijskog statusa. Ekološki status površinskih voda određuje se na osnovu parametara u okviru bioloških, hidromorfoloških i fizičko-hemijskih elemenata kvaliteta. Na osnovu odrednica ODV, fomirana je nacionalna zakonska i podzakonska regulativa (Sl. glasnik RS, 30/2010; 96/2010; 74/2011; 93/2012; 101/2016). U biološke elemente kvaliteta svrstavaju se alge – fitobentos i fitoplankton, pored drugih grupa vodenih organizama (vodene makrofite, vodeni beskičmenjaci i ribe). Iako se termin fitobentos odnosi na sve alge koje naseljavaju dno vodenog ekosistema, nacionalnim pravilnikom (Sl. glasnik RS, 74/2011) su obuhvaćeni parametri ekološkog statusa na osnovu bentosnih silikatnih algi.

Dosadašnja algološka istraživanja reke Save bazirala su se na zajednici fitoplanktona ili makroalgama (obrađeno u Simić i sar., 2015), na kojima se tradicionalno zasniva ispitivanje velikih reka. Najobimnija ispitivanja fitobentosa u skladu sa preporukama ODV, sprovedena su u okviru tri ciklusa istraživanja reke Dunav (Makovinska i Hlubikova, 2015). Istraživanja zajednice bentosnih silikatnih algi reke Save i ekološkog statusa velikih reka u Srbiji, sprovedena su poslednjih godina (Simić i sar., 2015; Vasiljević i sar., 2017; Vasiljević, 2017).

Cilj rada je ocena indikativnog ekološkog potencijala reke Save na osnovu zajednice bentosnih silikatnih algi, prema nacionalnoj regulativi, a u skladu sa ODV.

## PODRUČJE ISTRAŽIVANJA

Reka Sava je duga 945 km. Nastaje kod Radovljice u Sloveniji spajanjem Save Dolinke i Save Bohinjke. Prolazi kroz Hrvatsku, duž granice Hrvatske sa Bosnom i Hercegovinom i kroz Srbiju gde se kod Beograda uliva u Dunav kao jedna od glavnih pritoka.

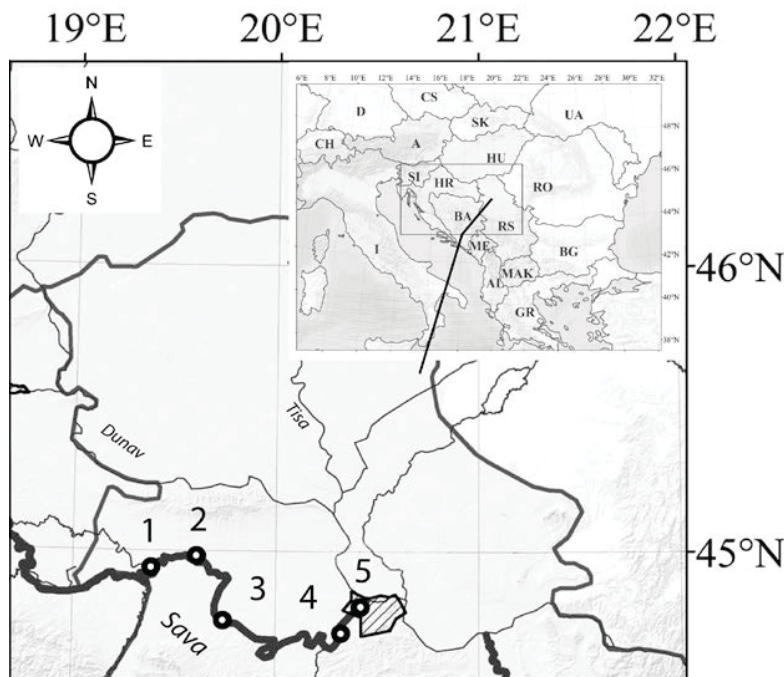
Tok reke Save u Srbiji dužine je 211 rkm (Daljinar reke Save i njenih plovnih pritoka, 2011) i ima osobine tipične nizijske reke. Najznačajniji antropogeni pritisci duž Save su

poreklom iz regija intenzivne poljoprivrede, gradova (teška industrija i neprerađene komunalne otpadne vode), kao i od rečnog transporta (Vidmar i sar., 2016; Sava River Basin Management Plan, 2013).

Algološka istraživanja reke Save u Srbiji sprovedena su tokom septembra 2011., 2012., 2014. i 2015. godine, na pet lokaliteta (tabela 1, slika 1).

Tabela 1. Osnovni podaci o ispitivanim lokalitetima na reci Savi  
Table 1. Main features of the sampling sites on the Sava River

Lok. r.br.	Lokalitet	Geografska širina (°)	Geografska dužina (°)	Nadmorska visina (m)	Udaljenost od ušća (rkm)
1	Ušće Bosuta	44,941889	19,369525	75	163
2	Sremska Mitrovica	44,973012	19,596115	73	139
3	Šabac	44,769900	19,699400	71	106
4	Ostružnica	44,704040	20,313800	70	16
5	Beograd	44,806247	20,443660	69	2



Slika 1. Ispitivani lokaliteti duž toka reke Save u Srbiji (označeni prema tabeli 1)

Figure 1. Sampling sites for the phytobenthos along the Sava River in Serbia (marked according to table 1)

## MATERIJAL I METODE

Prikupljanje uzoraka fitobentosa sa reke Save, obavljeno je prema EN 13946 (2003). Uzorci su obrađeni prema standardnoj proceduri (Krammer i Lange-Bertalot, 1986), nakon čega su napravljeni trajni mikroskopski preparati silikatnih algi korišćenjem veštačke smole Naphrax. Kvalitativna i kvantitativna analiza uzoraka urađena je prema EN 14407 (2004), upotrebom uveličanja od 1000 x mikroskopa Carl Zeiss Axio Lab1, opremljenog sa AxioCam ERc 5s kamerom i ZEN softverom za obradu fotografija. Identifikacija taksona silikatnih algi je izvršena do nivoa vrste, ili nižeg, uz upotrebu odgovarajuće literature. Relativna brojnost identifikovanih taksona (%) je određena na osnovu brojanja 400 valvi silikatnih algi na svakom trajnom preparatu.

Nakon utvrđivanja sastava i brojnosti zajednice, dobijeni podaci su upotrebljeni za računanje IPS (Cemagref, 1982) i CEE (Descy i Coste 1991) diјatomnih indeksa pomoću softvera OMNIDIA verzija 6.04 (Lecointe i sar., 1993).

Lokaliteti sa kojih su prikupljeni uzorci fitobentosa Save, svrstani su u odgovarajuća vodna tela i zatim tip vodotoka, prema Pravilniku o utvrđivanju vodnih tela površinskih i podzemnih voda (Sl. glasnik RS 96/2010) i Pravilniku o parametrima ekološkog i hemijskog statusa površinskih voda i parametrima hemijskog i kvantitativnog statusa podzemnih voda (Sl. glasnik RS, 74/2011). Klase ekološkog potencijala vodnih tela na Savi, određene su na osnovu vrednosti IPS i CEE indeksa za odgovarajuće tipove vodotoka, u skladu sa odrednicama pravilnika u Sl. glasnik RS, 74/2011. S obzirom da je istraživanje obuhvatilo više lokaliteta po vodnom telu, klasa ekološkog statusa za ispitivano vodno telo utvrđena je na osnovu prosečne vrednosti svakog od indeksa.

Indikativni ekološki potencijal vodnih tela na Savi na osnovu fitobentosa kao biološkog elementa kvaliteta, određen je na osnovu parametra sa nižom klasom ekološkog statusa.

## REZULTATI I DISKUSIJA

Identifikacijom silikatnih algi u uzorcima fitobentosa iz reke Save utvrđeno je prisustvo 140 taksona u okviru 49 rodova. Najveći broj taksona čine predstavnici rodova *Navicula* (23), *Nitzschia* (14) i *Gomphonema* (11). U septembru 2014. godine u uzorku sa lokaliteta Beograd zabeležen je najveći broj taksona – 56, dok je u septembru 2012. u uzorku sa lokaliteta Sremska Mitrovica zabeležen najmanji broj taksona – 30.

Najučestalije vrste u Savi bile su: *Cocconeis pediculus* Ehrenberg, *Eolimna minima* (Grunow) Lange-Bertalot, *N. cryptotenella* Lange-Bertalot, *Navicula recens* (Lange-Bertalot) Lange-Bertalot, *N. rostellata* Kützing, *N. tripunctata* (O.F. Mueller) Bory, *Nitzschia dissipata* (Kütz.) Grunow i *N. palea* (Kütz.) W. Smith.

Tokom četiri perioda istraživanja reke Save, kao najbrojniji taksoni, izdvojili su se: *E. minima*, *Hallamphora montana* (Krasske) Levkov, *N. cryptotenella*, *N. recens*, *N. rostellata*, *Nitzschia abbreviata* Hustedt, *N. dissipata*, *Nitzschia frustulum* var. *inconspicua* (Grunow) Grunow, *N. palea* i *Sellamphora seminulum* (Grunow) Mann. Naši nazi su u skladu sa istraživanjima Dunava (Makovinska i Hlubikova, 2015). Najbrojniji taksoni u Savi se prema trofičkim uslovima karakterišu kao eutrofni i hipereutrofni (Hofmann i sar., 2011), a prema saprobnim uslovima kao  $\alpha$ -mezosaprobn,  $\beta$ -mezosaprobn i  $\alpha$ -mezosaprobn do polisaprobn (Lecointe, 1993). U ispitivanom delu toka reke Save

preovlađuje supstrat sitnije frakcije (pesak i mulj) i dominiraju taksoni koji čine ekološku gildu pokretnih formi (Passy, 2007; Vasiljević i sar., 2017). Pored podloge sitnije frakcije, značajan udeo pomenutih formi mnogi autori povezuju i sa povećanjem zagađenja (Fore i Grafe, 2002; Kelly, 2003).

Za izračunavanje dijatomnog indeksa CEE u proseku je korišćeno 82 % identifikovanih taksona bentosnih silikatnih algi u reci Savi, dok je za izračunavanje IPS korišćeno 99 % (Lecointe i sar., 1993). Indeks IPS ima široku upotrebu u Evropi (Kelly, 2013), podržava ga baza podataka koja obuhvata veliki broj vrsta našeg podneblja i koja se redovno nadograđuje.

Utvrđeno je da lokaliteti na Savi obuhvaćeni istraživanjem: Ušće Bosuta, Sremska Mitrovica i Šabac (vodno telo SA\_2) i Ostružnica i Beograd (vodno telo SA\_1) pripadaju tipu 1 vodotoka i kategoriji značajno izmenjenih vodnih tela.

Trend smanjenja prosečnih vrednosti dijatomnih indeksa IPS i CEE (tabela 2), uočava se od prvog lokaliteta Ušće Bosuta ka poslednjem lokalitetu Beograd, odnosno ukazuje na pogoršanje kvaliteta vode. Indikativni ekološki potencijal na osnovu fitobentosa, vodnog tela SA\_1 je lošiji u odnosu na vodno telo SA\_2, osim u septembru 2014. godine, kada se beleži isti, dobar i bolji ekoloških potencijal ispitivanih vodnih tela (tabela 2). Sprovedena istraživanja su planirana u skladu sa uobičajenim vodostajima za septembar, unutar područja niskih i srednje niskih voda (Hidrološki godišnjak, 2012, 2013, 2016). Poboljšanje ekološkog potencijala vodnog tela SA\_1 tokom septembra 2014. godine, beleži se pri netipičnim hidrološkim uslovima. Terenska istraživanja Save pratio je period velikih kiša koji je doveo do srednjih i visokih voda i poplava (Hidrološki godišnjak, 2015).

Basen reke Save, sa ukupnom površinom od 97.713 km<sup>2</sup>, jedan je od najvećih u Evropi (Sava River Basin Analysis Report, 2009). Deli ga šest zemalja (Slovenija 12%, Hrvatska 26%, Bosna i Hercegovina 39,2%, Srbija 15,5%, Makedonija 7,1% i Albanija 0,2%) i naseljava populacija od oko 9 miliona stanovnika (Komatina i Grošelj, 2015). Vodni resursi sliva Save čine značajni udeo ukupne slatke vode za zemlje koje dele njegovu površinu (Sava River Basin Management Plan, 2014).

Tradicionalno sagledavanje kvaliteta vode kao stanja površinske vode u odnosu na zagađenje nutrijentima, eurtifikaciju, acidifikaciju, ili prisustvo toksičnih supstanci je promenjeno novim, širim ekološkim pristupom monitoringu voda koji nudi ODV. Ekološki status vodenog ekosistema predstavlja izraz kvaliteta njegove strukture i funkcionisanja (WFD, 2000) i zasniva se na složenom sistemu (tipologija, razgraničenje vodnih tela, referetni uslovi, tip i stresor specifični parametri procene ekološkog statusa, granice klasa ekološkog statusa za odabrane parametre i indeksi ekološkog statusa). Antropogene aktivnosti duž toka Save imaju veliki uticaj na morfologiju rečnog korita, proticaj, zagađenje reke i posledično njen ekološki potencijal. Na osnovu istraživanja Vasiljević i saradnika (2017), u uslovima višestrukih antropogenih pritisaka, kakvi se beleže na reci Savi, dijatomni indeksi ne ukazuju samo na organsko zagađenje ili opterećenje nutrijentima, već mogu da se koriste kao parametar generalne degradacije.

Upotreba bentosnih silikatnih algi u monitoring sistemima prema ODV uključuje zahtevnu identifikaciju ove veoma brojne grupe algi do nivoa vrste, ili nižeg, kao i kvanifikaciju, procese koji uz brz razvoj taksonomije silikatnih algi traže dosta vremena i stručno znanje. Iako se ocena ekološkog statusa/potencijala na osnovu bentosnih silikatnih algi smatra standardizovanom procedurom, postoje izvesne prepreke o kojima su pisali mnogi autori

(Kahlert i sar., 2016; Werner i sar., 2016; Poikane i sar., 2016). Ipak, evidentno je da parametri koji služe za oslikavanje fitobentosa imaju jasan empirijski odnos sa različitim antropogenim pritiscima, da bentosne silikatne alge pokazuju veću osetljivost i preciznost u poređenju sa drugim grupama organizama (Poikane i sar., 2016).

Tabela 2. Indikativni ekološki potencijal vodnih tela na reci Savi tokom septembra 2011., 2012., 2014. i 2015. godine

Table 2. Indicative ecological potential of water bodies on the Sava River during September of 2011, 2012, 2014 and 2015

Vodno telo		SA_2		SA_1	
Parametar		IPS	CEE	IPS	CEE
2011. godina	Vrednost	11,7	10,17	9,10	6,60
	Klasa	II	II	III	IV
	Ekološki potencijal	<b>dobar i bolji</b>		<b>slab</b>	
2012. godina	Vrednost	9,40	8,00	9,50	6,40
	Klasa	III	III	III	IV
	Ekološki potencijal	<b>umeren</b>		<b>slab</b>	
2014. godina	Vrednost	10,80	9,95	10,40	9,15
	Klasa	II	II	II	II
	Ekološki potencijal	<b>dobar i bolji</b>		<b>dobar i bolji</b>	
2015. godina	Vrednost	10,05	9,00	8,30	4,90
	Klasa	II	III	III	V
	Ekološki potencijal	<b>umeren</b>		<b>loš</b>	

## ZAKLJUČAK

Na osnovu ispitivanja ekološkog potencijala reke Save u Srbiji, uočava se trend smanjenja vrednosti dijametnih indeksa niz tok, i posledično lošiji ekološki potencijal vodnog tela SA\_1, u odnosu na vodno telo SA\_2. S obzirom da su algološka istraživanja zajednice bentosnih silikatnih algi velikih reka Srbije tek u povoju i na veoma ograničene/nepostojeće isorijske podatke, neophodan je nastavak rada na testiranju različitih dijametnih indeksa i pažljivo donošenje zaključaka, kako bi se razvio stabilan sistem procene ekološkog statusa/potencijala prema smernicama Okvirne direktive o vodama.

### Zahvalnica

Istraživanja su izvršena tokom realizacije projekata TR 37009 i III 43002, Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

### LITERATURA:

- Cemagref (1982), Etude des méthodes biologiques quantitative d'appréciation de la qualité des eaux. Rapport Division Qualité des Eaux Lyon – Agence financière de Bassin Rhône–Méditerranée–Corse, Pierre-Bénite, 218 pp
- Daljinar reke Save i njenih plovnih pritoka (2011), Međunarodna komisija za sliv reke Save, Zagreb, 117 str
- Denić, Lj., Čađo, S., Đurković, A., Novaković, B., Dopuda-Glišić, T., Veljković, N., Stojanović, Z., Milovanović, J., Domanović, M. (2015), Status površinskih voda Srbije. Analize i elementi za projektovanje monitoringa, Ministarstvo poljoprivrede i zaštite životne sredine, Agencija za zaštitu životne sredine, Beograd, 232 str
- Descy, J.P., M. Coste, A test methods for assessing water quality based on diatoms, Verhandlung Internationale Vereinigung de Limnologie, 24 (1991) 2112–2116
- EN 13946 (2003), Water quality – Guidance standard for the routine sampling and pretreatment of benthic diatoms from rivers. Geneva: Comité European de Normalisation
- EN 14407 (2004), Water quality – Guidance standard for the identification, enumeration and interpretation of benthic diatom samples from running waters. Geneva: Comité European de Normalisation
- Fore, L. S., Grafe, C., Using diatoms to assess the biological condition of large rivers in Idaho (USA), Freshwater Biology, 47 (10) (2002) 2015–2037
- Hidrološki godišnjak (2012, 2013, 2015, 2016), Površinske vode, Republički hidrometeorološki zavod Srbije, Beograd
- Hofmann, G., Werum, M., Lange-Bertalot, H. (2011), Diatomeen im Süßwasser-Benthos von Mitteleuropa. Ganter Verlag K. G., Germany, 908 pp
- Kahlert, M., Ács, É., Almeida, S. F., Blanco, S., Dreßler, M., Ector, L., Karjalainen, S.M, Liess, A., Mertens, A., van der Wal, J., Vilbaste, S., Quality assurance of diatom counts in Europe: towards harmonized datasets, Hydrobiologia, 772 (1) (2016) 1–14
- Kelly, M. G., Short term dynamics of diatoms in an upland stream and implications for monitoring eutrophication, Environmental Pollution, 125 (2) (2003) 117–122
- Kelly, M., Data rich, information poor? Phytobenthos assessment and the Water Framework Directive, European Journal of Phycology, 48 (4) (2013) 437–450
- Komatina, D., Grošelj, S. (2015), Transboundary Water Cooperation for Sustainable Development of the Sava River Basin, in: Milačić R., Ščančar J., Paunović M. (eds.), The Handbook of Environmental Chemistry Vol. 31: The Sava River. Springer, Heidelberg, New York, Dordrecht, London, 229–248
- 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, Gustav Fischer Verlag, Jena, (1986) 876 pp
- Lecoite, C., Coste, M., Prygiel, J., Omnidia: software for taxonomy, calculation of diatom indices and inventories management, Hydrobiologia 269/270 (1993) 509–513
- Makovinska, J., Hlubikova, D., Phytobenthos of the River Danube (2015), in: Liska, I. (ed.), The Handbook of Environmental Chemistry, Vol. 39: The Danube River Basin. Springer Berlin Heidelberg, 317–340

- Passy, S., Diatom ecological guilds display distinct and predictable behavior along nutrient and disturbance gradients in running waters, *Aquatic Botany*, 86 (2007) 171–178
- Poikane, S., Kelly, M., Cantonati, M., Benthic algal assessment of ecological status in European lakes and rivers: Challenges and opportunities, *Science of the Total Environment*, 568 (2016) 603–613
- Sava River Basin Analysis Report (2009), International Sava River Basin Commission, Zagreb, Croatia, 289 pp. <http://www.savacommission.org/publication>
- Sava River Basin Management Plan (2014), International Sava River Basin Commission, Zagreb, Republic of Croatia, 240 pp
- Simić B. S., Karadžić R. V., Cvijan V. M., Vasiljević M. B. (2015), Algal Communities Along the Sava River. In: Milačić R., Ščančar J., Paunović M. (eds.), *The Handbook of Environmental Chemistry Vol. 31: The Sava River*. Springer Berlin Heidelberg 229–248
- Službeni glasnik Republike Srbije 30/2010, 93/2012, 101/2016, Zakon o vodama
- Službeni glasnik Republike Srbije 74/2011, Pravilnik o parametrima ekološkog i hemijskog statusa površinskih voda i parametrima hemijskog i kvantitativnog statusa podzemnih voda
- Službeni glasnik Republike Srbije 96/2010, Pravilnik o utvrđivanju vodnih tela površinskih i podzemnih voda
- Vasiljević, B. (2017), BENTOSNE SILIKATNE ALGE (Bacillariophyta) U PROCENI EKOLOŠKOG STATUSA REKA VELIKE MORAVE I SAVE, Univerzitet u Kragujevcu, Prirodno-matematički fakultet, Doktorska disertacija, 170 str
- Vasiljević, B., Simić, S. B., Paunović, M., Zuliani, T., Krizmanić, J., Marković, V., Tomović, J., Contribution to the improvement of diatom-based assessments of the ecological status of large rivers—The Sava River Case Study, *Science of The Total Environment* 605-606 (2017) 874–883
- Vidmar, J., Zuliani, T., Novak, P., Drinčić, A., Ščančar, J., Milačić, R., Elements in water, suspended particulate matter and sediments of the Sava River, *Journal of Soils and Sediments* (2016) 1–11
- Werner, P., Adler, S., Dreßler, M., Effects of counting variances on water quality assessments: implications from four benthic diatom samples, each counted by 40 diatomists, *Journal of Applied Phycology*, 28 (4) (2016) 2287–2297
- 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. European Union, the European Parliament and Council, Luxembourg



## HIDROMORFOLOŠKI POKAZATELJI EKOLOŠKOG POTENCIJALA NA PRIMERU KANALA DUNAV-TISA-DUNAV

Tamara Jurca, Branko Miljanović, Zorica Svirčev

*Departman za biologiju i ekologiju, Prirodno-matematički fakultet, Univerzitet u  
Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 2, Novi Sad  
E-mail: [tamara.jurca@dbe.uns.ac.yu](mailto:tamara.jurca@dbe.uns.ac.yu)*

### REZIME

Fizičke karakteristike ekosistema su važan prateći element u proceni ekološkog statusa i potencijala akvatičnih ekosistema prema smernicama Okvirne Direktive Evropske Unije o vodama. Na primeru deset lokaliteta hidro-sistema Dunav-Tisa-Dunav, prikazani su karakteristični hidromorfološki elementi koji se javljaju u veštačkim vodnim telima kanalskog tipa. Za potrebe prikupljanja hidromorfoloških pokazatelja korišćen je prilagođeni protokol za rečne habitate – River Habitat Survey.

KLJUČNE REČI: morfološke karakteristike, RHS, veštačka vodna tela

## HYDROMORPHOLOGICAL INDICATORS OF ECOLOGICAL POTENTIAL – DANUBE-TISZA- DANUBE AS A KEY STUDY

### ABSTRACT

Physical characteristics of ecosystems are important supporting element for ecological status and potential assessment according to the EU Water Framework Directive. Using the example of ten sampling sites at hydro-system Danube-Tisza-Danube, the characteristic hydromorphological elements of artificial canals are presented. For purposes of collecting the hydromorphological features, modified version of River Habitat Survey was used.

KEY WORDS: morphological characteristics, RHS, artificial water bodies

## UVOD

Fizičke odlike habitata utiču na strukturu akvatičnih zajednica, kao i na celokupnu procenu stanja vodenog ekosistema koja je osnov biomonitoring programa. Primenom Okvirne Direktive Evropske Unije o vodama ( Water Framework Directive WFD, 2000/ 60/ EC, 2003), najznačajnijeg zakonskog instrumenta u oblasti monitoringa i utvrđivanja statusa vodenih ekosistema i kvaliteta voda, u nacionalnoj legislativi transponovani su principi o integralnoj proceni ekološkog stanja, tzv. „ekološkog statusa“ kroz primenu Pravilnika o parametrima ekološkog i hemijskog statusa površinskih voda i parametrima hemijskog i kvantitativnog statusa podzemnih voda (Sl. glasnik RS, br. 74/2011). Elementi kvaliteta koji se koriste u proceni stanja površinskih voda svrstani su u biološke, hidromorfološke, fizičko-hemijske i hemijske kategorije. Na taj način, primenom Direktive (Bogdanović, 2005) se uvodi obaveza praćenja hidromorfoloških elemenata od značaja za biološke elemente kvaliteta, koji su definisani kroz hidrološki režim, kontinuitet rečnog toka i morfološke uslove.

Hidrosistem DTD je višenamenski, regionalni hidrosistem koji kompleksno uređuje vode na području koje pokriva. Pomaže u zaštiti od spoljnih voda, omogućava odvodnjavanje suvišnih unutrašnjih voda, navodnjavanje poljoprivrednih površina, snabdeva vodom naselja, industriju i ribnjake, omogućava plovidbu, prihvata i odvodi otpadne vode i služi za rekreaciju, sport i turizam. Sastavni deo hidrosistema, pored kanala, čine ustave i crpne stanice na vodozahvatima i vodoispustima, regulacione ustave potrebne za upravljanje vodnim režimom i brodske prevodnice za savladavanje vodnih stepenica na plovnim kanalima (Gregorović, 2002).

Ključna prepreka u proceni ekološkog potencijala veštačkih vodnih tela zasniva se na činjenici da ne postoje referentni lokaliteti, bilo geografskog ili istorijskog karaktera, koji bi se mogli koristiti u komparativne svrhe za njihovu ekološku procenu. Iako važeći Pravilnik (Sl. glasnik RS, br. 74/2011) daje granične vrednosti za dostizanje maksimalnog odnosno dobrog potencijala lokaliteta u okviru hidro-sistema DTD (Sl. glasnik RS, br. 96/2010) u pogledu fizičko-hemijskih, hemijskih i bioloških elemenata kvaliteta, bliže odrednice za hidromorfološke parametre u funkciji bioloških elemenata nedostaju.

Cilj ovog rada bio je da se prikažu hidromorfološki parametri koji se potencijalno mogu koristiti u proceni ekološkog potencijala veštačkih vodnih tela na primeru DTD kanala.

## MATERIJAL I METODE

Hidrosistem Dunav-Tisa-Dunav je istraživao na 10 lokaliteta (Mali Stapar, Vrbas, Odžaci, Bač, Novi Sad, Bečej, Novi Bečej, Sajan na Kikinskom kanalu, Botoš i Karavukovo) na teritoriji Bačke i Banata u prolećnom periodu 2017 i 2018. godine u cilju procene hidromorfoloških karakteristika. Za potrebe karakterizacije fizičkih odlika vodenih staništa korišćen je protokol za rečne habitate – River Habitat Survey (Raven et al. 1997). Radi procene hidromorfoloških pritisaka na lokalitetima korišćen je indeks modifikacije rečnih staništa koji su osmislili Raven i sar. (1998), i čiju noviju verziju je predložila Riverdane

Consultancy (izvor: <http://www.riverhabitatsurvey.org/manual/rhs-indices/>). U Tabeli 1. dat je pregled morfoloških parametara koji se koriste u proceni modifikovanosti rečnih habitata prema Raven i sar.(1998). Dati karakteri prilagođeni su za potrebe procene veštačkih vodnih tela.

Tabela 1. Pregled morfoloških parametara koji se koriste u proceni modifikovanosti rečnih habitata prema Raven i sar.(1998)

Table 2. Overview of morphological parameters included in the Habitat modification score according to Raven et al. (1998)

Tip modifikacije
Ojačana obala
Ojačano korito
Izmenjen profil obale ili korita
Dvostepena modifikacija obale (veštačka terasa)
Nasip na obali
Cevovod
Brana, ustava, prelaz preko vodotoka
Most – drumski, železnički, pešački
Ugažena obala (poreklom od stoke)
Veštački materijal u koritu i na obali
Skretači toka i drugi objekti za kontrolu toka
Ispusti i vodozahvati
Košenje trave na obalama
Košenje makrofita

## REZULTATI I DISKUSIJA

Istraživanjem fizičkih karakteristika kanala Dunav-Tisa-Dunav tokom proleća 2017. i 2018. godine, utvrđen je karakterističan hidromorfoški profil ovih veštačkih vodnih tela. Kao prvi element u oceni hidromorfoloških karakteristika u RHS protokolu, navodi se dominantan oblik rečne doline, koji je bio bez uočljivih obala na svim lokalitetima. Takođe, za sve istraživane deonice bio je karakterističan ravan tok, bez većih uspora, ili vidljivo nagomilanog sedimenta u obliku žala. Budući da se radi o veštačkim kanalima, za sve lokalitete se može reći da im je obala i korito značajno izmenjenog profila.

U pogledu specifičnih veštačkih objekata (brane, ustave, cevovodi, ispusti, vodozahvati, zemljani mostovi, skretači toka), na istraživanim deonicama kanalske mreže kao najčešći i dominantni, prisutni su ustave i mostovi (Tabela 2.). Pretpostavljeni značaj mostova kao

hidromorfološkog pritiska se, prema RHS metodologiji, smatra manje značajnim ili zanemarljivim za ekološki potencijal vodotoka ukoliko su konstruisani tako da im se stubovi ne nalaze u samom koritu, što je bio slučaj kod svih mostova na istraživanim deonicama kanala. Ipak, ne treba zanemariti uticaj puteva i potencijalno prisustvo turističkih i rekreativnih objekata u njihovoj blizini. Što se tiče ustava koje postoje na istraživanim lokalitetima, mogu se podeliti na otvorene i trajno ili privremeno zatvorene. Ustave na lokalitetima Bač i Odžaci su bile trajno otvorene, budući da imaju ulogu sigurnosnih tačaka u slučaju popuštanja uzvodnih brana, te kao takve ne ometaju slobodno proticanje vode. Na lokalitetima Mali Stapar, Vrbas, Novi Sad, Bečej, Novi Bečej, Karavukovo i Sajan na Kikindskom kanalu, ustave su bile zatvorene ili polu-zatvorene i na taj način su značajno uticale na protok, a samim tim i na kontinuiranost toka vode na ovim lokalitetima.

Tabela 2. Prisustvo specifičnih veštačkih struktura na istraživanim deonicama kanalske mreže DTD u Bačkoj i Banatu

Table 2. Presence of specific artificial structures at investigated sections of DTD canals in Bačka and Banat District

Lokalitet / Tip veštačkih objekata	Zatvorena ustava	Otvorena ustava	Most
DTD Mali Stapar	+	-	-
DTD Odžaci	-	+	+
DTD Bač	-	+	+
DTD Vrbas	+	-	-
DTD Novi Sad	+	-	+
DTD Bečej	+	-	-
Kikindski kanal – Sajan	+	-	-
DTD Novi Bečej	+	-	-
DTD Botoš	-	-	+
DTD Karavukovo	+	-	-

Fizičke karakteristike samih obala su bile prilično uniformne, sa dominacijom zemljanih nasipa (dolmi), ojačanih betonom naročito u blizini mostova i ustava. Na nekim lokalitetima pojavljuje se i rip-rap (naslage krupnog, donešenog kamenja kojima se stabilizuje obala) Na svim lokalitetima obale su ojačane zemljanim nasipima sa obe strane koji kao takvi predstavljaju sastavni deo riparijalne zone kanala. U ređim slučajevima, kao što je na lokalitetu Karavukovo, postoje odmaknuti nasipi. Dominantan materijal u samom koritu kanala je mulj i pesak, uniformnog karaktera, što će, verovatno i značajno da utiče na diverzibilnost potencijalne bentosne flore i faune. Ni na jednoj od ispitivanih deonica nije zabeleženo postojanje žala, štrandova ili sprudova.

Načini upotrebe ili korišćenja zemljišta (landuse) u priobalju su na svim deonicama podrazumevali uređene, košene travnjake, tipa kultivisanih pašnjaka, ili neuređene livade sa

šipražjem i žbunjem, kao i pojedinačnim stablima listopadnog ili četinarskog plantažnog drveća obično u blizini turističko-rekreativnih objekata. Struktura vegetacije na većini lokaliteta bila je jednostavnog, na nekima i jednoličnog tipa (lokalitet Botoš). U blizini ustava obično su bili smešteni i prateći čuvarski objekti koji bi se mogli svrstati u elemente urbane zone. Dalje u priobalju (do 50 m udaljenosti od same obale), dominantno je bilo obradivo zemljište, a na nekim lokalitetima (Vrbas, Bečej) zasadi plantažnih topola. Tipovi vegetacije koji su bili prisutni u samom rečnom koritu i na njegovom obodu su: emerzne uskolisne biljke tipa trske, šaša i rogoza, zatim flotantne neukorenjene, submerzne uskolisne forme makrofita, a na nekim mestima i filamentozne alge. Treba imati u vidu da je obilazak terena bio u proleće, te da se veći obim i raznovrsnost makrofitske vegetacije može očekivati u toku vegetacioniog pika. Kao posebna kategorija u RHS protokolu navodi se zastupljenost drveća i pratećih elemenata kao što je zasenčenost vodenog ogledal, viseće krošnje, vidljivo korenje na obalama ili korenje, debla i krupni delovi drveta pod vodom. Na 50% lokaliteta konstatovano je prisustvo pojedinačnih ili izolovanih stabala. U samom koritu zabeleženo je, u pojedinačnim slučajevima, prisustvo nadvisujućih krošnji i korenje drveća pod vodom (npr. lokalitet Karavukovo). Kao karakterističan tip toka duž DTD kanala, na lokalitetima je zabeležen kao miran (smooth) ili tok sa namreškanom površinom (rippled) – pod uticajem vetra. Na delovima toka uzvodno od zatvorenih ustava (npr. ustava kod Malog Stapara) tok je bio potpuno usporen ili nepostojeći.

Među ekološki važnim hidromorfološkim pokazateljima posebno se beleže objekti od posebnog značaja kao što su razučena korita, bočni kanali i mrtvaje, prirodni vodopadi, kaskade, prisustvo krupnog kamenja, dabrovih brana, nanosi lišća, obala od plutajuće vegetacije, obale oivičene trskom, nanosi krupnog kamenja u plavnoj zoni, vlažne livade, močvare, tresetišta, plavne šume i vrela. Na istraživanim lokalitetima u okviru DTD kanala mogla se konstatovati mestimično prisutna obala oivičena trskom.

Za potpuni uvid u ekološki potencijal kanala Dunav-Tisa-Dunav, neophodno je proceniti stanje elemenata biološkog kvaliteta, hemijski potencijal kao i efekat drugih antropogenih pritisaka.

## ZAKLJUČAK

Hidromorfološkom procenom kanala Dunav-Tisa-Dunav može se zaključiti da se radi o veštačkim ekosistemima prilično uniformnih fizičkih karakteristika, uključujući izmenjene obale i korita kanala, sa dominacijom zemljanih nasipa (dolmi), ojačanih betonom naročito u blizini mostova i ustava. Na nekim lokalitetima pojavljuje se i rip-rap (naslage krupnog, donešenog kamenja kojima se stabilizuje obala). Dominantan materijal u samom koritu kanala je mulj i pesak, uniformnog karaktera, što će, verovatno i značajno da utiče na diverzibilnost bentosne flore i faune. Među specifičnim veštačkim strukturama ističe se prisustvo otvorenih i zatvorenih ustava, kao i mostova. Prisustvo i karakter ustava diktiralo je i odlike toka, koji je većinom bio usporen ili nepostojeći. Među ekološki važnim hidromorfološkim pokazateljima posebno se beleži struktura riparijalne vegetacije, koja je na većini lokaliteta bila je jednostavnog, na nekima i jednoličnog tipa, u vidu pokošenih

travnih površina, dok su u zoni rečnog korita bile prisutne različite forme akvatičnih makrofita na svim lokalitetima. Za celokupnu procenu ekološkog potencijala DTD kanala, potrebna je procena bioloških, fizičko-hemijskih i hemijskih elemenata kvaliteta.

#### LITERATURA

- Bogdanović, S. (2005): EU Waterframework Directive – Okvirna direktiva EU o vodama. Jugoslovensko Udruženje za vodno pravo, Novi Sad.
- Gregorović, V. (2002): Kratak prikaz izgradnje Hidrosistema Dunav-Tisa-Dunav. Hidrosistem Dunav - Tisa - Dunav, 25 godina kasnije, Javno vodoprivredno preduzeće «Vode Vojvodine», Novi Sad, 75 - 95.
- Raven, P.J., Fox, P., Everard, M., Holmes, N.T.H. and Dawson, F.H. (1997): River Habitat Survey: a new system for classifying rivers according to their habitat quality, u Boon, P.J. and Howell, D.L. (Urednici), Freshwater Quality: Defining the Indefinable?, The Stationery Office, Edinburgh, 215–234.
- Raven, P.J., Holmes, N.T.H., Dawson, F.H. and Everard, M., (1998): Quality assessment using river habitat survey data. *Aquatic conservation: marine and freshwater ecosystems*, 8(4), pp.477-499.
- Sl. glasnik Republike Srbije, br. 96/2010: Pravilnik o utvrđivanju vodnih tela površinskih i podzemnih voda.
- Sl. glasnik Republike Srbije, br. 74/2011: Pravilnik o parametrima ekološkog i hemijskog statusa površinskih voda i parametrima hemijskog i kvantitativnog statusa podzemnih voda.
- Solimini, A., Cardoso, A. & Heiskanen, A. (2006a): Indicators and methods for the ecological status assessment under the Water Framework Directive
- Wetzel, R. G. (2001): Limnology – Lake and River Ecosystems, third edition, Academic Press, USA  
internet izvori: <http://www.riverhabitatsurvey.org/manual/rhs-indices/>

## PRAĆENJE KVALITETA POVRŠINSKIH VODA PRIMENOM SWQI METODE

Goran Babić

*Univerzitet u Beogradu, Tehnički fakultet u Boru, Odsek za menadžment, Vojske  
Jugoslavije 12, Bor, [goranbabic91@gmail.com](mailto:goranbabic91@gmail.com)*

### REZIME

U ovom radu analiziran je kvalitet reke Tise kroz Srbiju u periodu od 2011. do 2016. godine na osnovu podataka kojima raspolaže Agencija za zaštitu životne sredine i koji su javno dostupni na njihovom sajtu. Na samoj Tisi merenja su izvođena na tri merne stanice (Martonoš, Novi Bečej i Titel). Za procenu kvaliteta korišćena je metoda SWQI koja omogućava brzu i efikasnu procenu kvaliteta vode.

KLJUČNE REČI: površinske vode, kvalitet, SWQI, reka Tisa

## MONITORING THE QUALITY OF SURFACE WATER USING SWQI METHOD

### ABSTRACT

This paper analyzes the quality of the Tisa River through Serbia in the period 2011-2016 using the data available to the Environmental Protection Agency and which are publicly available on their site. On the Tisa itself, measurement was performed on 3 measuring stations (Martonoš, Novi Becej and Titel). For quality assessment, the SWQI method was used, which enables a quick and efficient assessment of water quality.

KEY WORDS: surface water, quality, SWQI, river Tisza

### UVOD

Imajući u vidu ogroman značaj vode za sva živa bića, ali i za odvijanje svih industrijskih i poljoprivrednih aktivnosti, evidentno je potreba kontinuiranog praćenja kvaliteta vode, posebno one za potrebe ljudi. S tim u vezi, pitanje praćenja kvaliteta vode rano je dospelo u žižu interesovanja – još 20-ih godina prošlog veka – kako najšire javnosti tako i u oblasti zaštite površinskih vodnih resursa. Prvi model bio je zasnovan na praćenju samo jednog parametra – prisustva kiseonika (Streets and Phelps, 1925). Kako je vreme odmicalo,

nastajali su sve složeniji modeli za praćenje kvaliteta vode. Široku primenu su našli različiti modaliteti indeksne metode.

SWQI metodu (*Serbian Water Quality Index*) razvila je Agencija za zaštitu životne sredine, a zasniva se na WQI metodi (*Water Quality Index*) (Scottish Development Department, 1976).

## PREDMET ISTRAŽIVANJA

Predmet istraživanja ovog rada je donji tok reke Tise koji protiče kroz Srbiju, odnosno stanje kvaliteta vode na mernim stanicama koje se nalaze u Srbiji. Reč je o delu toka ove međunarodne reke od njenog ulaska u Srbiju, i merne stanice Martonoš, do njenog ulivanja u Dunav i merne stanice Titel. Za praćenje kvaliteta u ovom delu toka Tise odabran je petogodišnji period od 2011-2016 godine. Na Tisi u Srbiji postoje tri merne stanice: Martonoš, Novi Bečej i Titel na kojima se obavlja merenje parametra na osnovu kojih se može izračunati SWQI (*Serbian Water Quality Index*) i time se steći uvid u stanje kvaliteta vode.

Reka Tisa odabrana je da bude predmet istraživanja imajući u vidu da se radi o međunarodnom vodnom toku koji protiče kroz Ukrajinu, Rumuniju, Slovačku, Mađarsku i Srbiju. Ujedno, Tisa je i najveća pritoka Dunava.

## METODOLOGIJA






Za brzu i efikasnu ocenu kvaliteta površinskih voda vrlo često se koristi metoda SWQI. Ova metoda omogućava da se izvrši ocena kvaliteta vode na osnovu deset odabranih parametara; među njima su: temperatura, pH vrednost, elektroprovodljivost, zasićenost vode kiseonikom, BPK5, suspendovane materije, ukupni oksidi azota, ortofosfati, amonijum i koliformne bakterije. Izmerena vrednost svakog parametra je  $q_i$  (kvalitet), a  $w_i$  predstavlja težinski koeficijent kojim je određena težina parametra prema njegovom uticaju na kvalitet vode. Izračunavanjem proizvoda  $q_i \times w_i$  za svaki parametar pojedinačno, te sumiranjem tako dobijenih proizvoda dobija se vrednost SWQI.

Budući da je ovu metodu razvila Agencija za zaštitu životne sredine, preko njenog sajta moguće je, unošenjem vrednosti navedenih deset parametara, izračunati vrednost SWQI (<http://www.sepa.gov.rs/index.php?menu=6&id=8012&akcija=showExternal>). Na ovaj način su izračunate vrednosti SWQI za naznačene merne stanice za praćenje kvaliteta Tise na njenom toku kroz Srbiju.

Rezultat dobijen izračunavanjem vrednosti SWQI predstavlja numerički indikator kvaliteta vode. U zavisnosti od vrednosti izračunatog SWQI (numerički indikator) može se odrediti i opisni indikator kvaliteta vode, kao što je prikazano u Tabeli 1 – predloženi su, naime, numerički i opisni indikatori kvaliteta vode dobijeni primenom metode SWQI.



Tabela 1. Indikator kvaliteta površinskih voda Serbian Water Quality Index – numerički i opisno (Veljković i sar., 2012)  
 Table 1. Surface Water Quality Indicator Water Quality Index - numerical and descriptive (Veljković et al., 2012)

	Numerički indikator	Opisni indikator	Boja
Serbian Water Quality Index (SWQI)	90-100	Odličan	
	84-89	Veoma dobar	
	72-83	Dobar	
	39-71	Loš	
	0-38	Veoma loš	

## REZULTATI I DISKUSIJA

Za dobijanje rezultata i vrednosti SWQI korišćeni su parametri kvaliteta koji se nalaze u *Rezultatima ispitivanja kvaliteta površinskih i podzemnih voda* koji izlaze svake godine, a čiji je izdavač Agencija za zaštitu životne sredine (Agencija za zaštitu životne sredine, 2012-2017). Budući da je na svakoj mernoj stanici merenje obavljano više puta u toku godine, izračunata je prosečna vrednost svih merenja za svaki parametar kvaliteta pojedinačno. Primenom metodologije SWQI dobijeni su rezultati kvaliteta vode na godišnjem nivou, koji su prikazani u Tabeli 2.

Tabela 2. SWQI u periodu od 2011-2016. godine na reci Tisi  
 Table 2. SWQI in period since 2011-2016. on the Tisza river

	Stanica	2011	2012	2013	2014	2015	2016
SWQI	Martonoš	84	85	84	86	88	82
	Novi Bečej	81	81	84	86	85	84
	Titel	81	82	85	88	86	85

Na osnovu rezultata prikazanih u Tabeli 2 može se steći uvid u kretanje kvaliteta reke Tise od njenog ulaska u Srbiju, pa do njenog ulivanja u Dunav.

Tokom prve dve godine ispitivanog perioda (2011-2012) primećen je neznatan pad SWQI od ulaska reke Tise u Srbiju (merna stanica Martonoš) do poslednje merne stanice koja se nalazi u blizini ulivanja Tise u Dunav (merna stanica Titel). Tisa u tom periodu u Srbiju ulazi sa opisnim indikatorom kvaliteta “veoma dobar”, dok već kod stanice Novi Bečej ima vrednost SWQI 81 koji odgovara opisnom indikatoru kvaliteta “dobar”, koji zadržava do Titela.

Tokom naredne dve godine, 2013. i 2014., kvalitet Tise se od stanice Martonoš nizvodno povećava, te ostaje u statusu “veoma dobar”.

Godine 2015. je zabeležen vrlo mali pad SWQI od stanice Martonoš do stanice Novi Bečej, dok se kod Titela opet vrednost SWQI povećava.

Za 2016. godinu izračunata je vrednost 82 za SWQI na mernoj stanici Martonoš, što je ujedno i najniža vrednost izmerena na ovoj stanici u posmatranom period. Vrednost SWQI se nizvodno povećava pa je kod Titela zabeležena vrednost 85.

#### ZAKLJUČAK

Serbian Water Quality Index (SWQI) omogućava brzu i efikasnu ocenu kvaliteta vode na bazi odabranih deset parametara kvaliteta, te je iz tog razloga primena ove metode za procenu kvaliteta površinskih voda veoma često primenjivana u istraživanjima iz ove oblasti.

Analiza rezultata SWQI na delu reke Tise kroz Srbiju u periodu od 2011-2016 godine ukazuju na to da ne postoje velike oscilacije u vrednostima SWQI. Primećeno je da je kvalitet Tise 2011., 2012. i 2015. godine nizvodno opadao, dok se 2013., 2014. i 2016. godine kvalitet Tise nizvodno povećavao.

Naravno, u cilju što preciznijeg određivanja kvaliteta vode, kao i predviđanja trenda kretanja kvaliteta vode u budućnosti, SWQI metoda može se koristiti zajedno i sa drugim metodama za procenu kvaliteta vode.

#### LITERATURA:

- Agencija za zaštitu životne sredine (2012-2017). *Rezultati ispitivanja kvaliteta površinskih i podzemnih voda*. Beograd.
- Sajt Agencije za zaštitu životne sredine – [www.sepa.gov.rs](http://www.sepa.gov.rs)
- Scottish Development Department (1976). *Development of a Water Quality Index*. Applied Research & Development Report Number ARD3. Scottish Development Department, Edinburgh.
- Streets, H., Phelps, E. (1925). Study of the pollution and natural purification of the Ohio River. III. Factors concerned in the phenomena of oxidation and reaeration. Rapport technique.
- Veljković, N., Popović T., Jovičić, M., Dopuda-Glišić, T. (2012). Uticaj klimatskih faktora na kvalitet vodotokova Pomoravlja: analiza metodom sSWQIrb, *Voda i sanitarna tehnika*, 5-6, 31-37.

## OCENA KVALITETA VODE REKE BEGEJ ZA POTREBE NAVODNJAVANJA

Milica Vranešević, Milica Ilić, Atila Bezdan

*Poljoprivredni fakultet, Departman za uređenje voda, Trg Dositeja Obradovića 8,  
Novi Sad, [milicaraj@polj.uns.ac.rs](mailto:milicaraj@polj.uns.ac.rs)*

### REZIME

Jedan od faktora koji značajno utiče na uspešnost navodnjavanja jeste kvalitet vode koja se primenjuje. Osim što utiče na visinu i kvalitet prinosa, kvalitet vode se odražava i na produktivnost zemljišta, na opremu za navodnjavanje, ali i na kvalitet podzemne i površinske vode. U ovom radu izvršena je ocena kvaliteta vode Starog i Plovnog Begeja, sa profila Hetin, Srpski Itebej i Stajićevo. Analizirani su uzorci vode zahvatani tokom vegetacionog perioda 2001-2016, primenom FAO klasifikacije, klasifikacije USSL i kategorizacije voda po Nejgebaueru. Dobijeni rezultati ukazuju na mogućnost upotrebe vode za navodnjavanje, uz određene mere i kontrolu.

KLJUČNE REČI: kvalitet vode, navodnjavanje, Begej

## ASSESSMENT OF IRRIGATION WATER QUALITY FROM THE BEGEJ RIVER

### ABSTRACT

One of important factors of proper irrigation is appropriate water quality. In addition to affecting yield, its amount and quality, the impact of water is reflected on soil productivity, on irrigation system equipment, but also on quality of underground and surface water. This paper carried out an assessment of the irrigation water quality of the river Begej, on samples taken near Hetin, Srpski Itebej and Stajićevo, in the vegetation period 2001-2016. By applying the FAO classification, USSL classification and classification according to Nejgebauer, it was found that the water is suitable for irrigation, in certain condition.

KEY WORDS: water quality, irrigation, The Begej River

### UVOD

Usled porasta broja stanovnika, odnosno povećane potrebe za hranom, neophodno je povećati biljnu proizvodnju, i to u sve nepovoljnijim prirodnim uslovima izazvanim klimatskim promenama. Padavine su i prostorno i vremenski neravnomerno raspoređene, a u periodima najvećih potreba biljaka za vodom one su uglavnom najmanje. Prema tome, poljoprivrednu proizvodnju je neophodno prilagoditi sadašnjim i budućim klimatskim uslovima. Navodnjavanjem se obezbeđuje nedostatak vlage i reguliše vodni, a time i

vazdušni, toplotni i hranivni režim, sa ciljem postizanja visokih prinosa u biljnoj proizvodnji (Miljković, 2005). Oko 15-17% obradivih površina u svetu se navodnjava, a sa njih se obezbeđuje oko 40-50% biljne proizvodnje (Savić et al., 2013). Stoga, ova meliorativna mera dobija sve veći značaj u ostvarivanju stabilnije proizvodnje i dobijanju visokih, ali i kvalitetnih prinosa. Iako se navodnjavanjem postižu višestruki pozitivni efekti, moguća je i pojava značajnih problema usled nedovoljno adekvatne primene. Upravljanje sistemom za navodnjavanje podrazumeva analizu svih faktora koji imaju uticaj na rezultat njegove primene. Pored proračuna količine vode koja je neophodna za pravilan razvoj biljaka, i pravovremenog navodnjavanja, uspešno navodnjavanje zahteva i određeni kvalitet vode, kako ne bi došlo do pojave problema koje nepovoljan sastav može uzrokovati. Kvalitet vode za navodnjavanje se odražava na visinu i kvalitet prinosa, na svojstva zemljišta, opremu za navodnjavanje, ali i na kvalitet podzemnih i površinskih voda, a putem lanca ishrane može imati uticaj i na životinje i čoveka (Bauder et al., 2011; Belić et al., 2013; Capra & Scicolone, 1998; Fipps, 2003; Nešić et al., 2003; Nishanthiny et al., 2010; Savić et al., 2010).

Begej predstavlja jedan od značajnijih vodotoka Banata i potencijalno izvorište za snabdevanje vodom sistema za navodnavanje. Komunalne i industrijske otpadne vode predstavljaju glavni uzrok promene kvaliteta vode Begeja. Nijedno naselje na teritoriji Plovnog Begeja nema ni kanalizacionu mrežu, ni uređaj za prečišćavanje otpadnih voda, sem Zrenjanina koji ima samo kanalizaciju (Krčmar et al., 2011), što dodatno ukazuje na potrebu kontinualnog praćenja kvaliteta vode i definisanja njene upotrebljivosti. Ocena kvaliteta vode za navodnjavanje bi trebala da bude neophodna mera u cilju sprečavanja nepovoljnih uticaja kako na prirodne resurse, tako i na gajene biljke i opremu za navodnjavanje (Joshi et al., 2009). Razvijene su brojne klasifikacije namenjene oceni kvaliteta vode za navodnjavanje pod različitim uslovima, međutim uobičajeno se koriste klasifikacije poznate u svetu kao što su FAO klasifikacija (Ayers and Westcot, 1985) i klasifikacija američke laboratorije za zaslanjena zemljišta-USSL (Richards, 1954). Navedene klasifikacije primenjene su i u ovom radu, kao i klasifikacija po Nejgebaueru (Živković et al., 1972) koja je prilagođena uslovima Vojvodine. Pomenutim klasifikacijama izvršena je ocena kvaliteta vode Plovnog i Starog Begeja sa aspekta upotrebe za navodnjavanje.

## MATERIJAL I METOD RADA

Parametri kvaliteta vode za navodnjavanje uključuju brojna specifična svojstva vode značajna za prinos i kvalitet useva, održavanje produktivnosti zemljišta i zaštitu životne sredine (Hameed et al., 2010). Za ocenu kvaliteta vode Starog i Plovnog Begeja izvršena je detaljna analiza sledećih parametara: kalcijum, magnezijum, natrijum, kalijum, hloridi, sulfati, bikarbonati, nitrati, elektroprovodljivost, suvi ostatak i pH. Njihove vrednosti, na lokalitetima Hetin, Srpski Itebej i Stajićevo, za vegetacioni period 2001-2016, preuzete su iz Hidroloških godišnjaka kvaliteta površinskih voda Republičkog hidrometeorološkog zavoda Srbije i Agencije za zaštitu životne sredine ([www.sepa.gov.rs](http://www.sepa.gov.rs)). Pored analize kvantitativnog sadržaja soli, analiziran je i njihov kvalitativni sastav i prema smernicama primenjenih klasifikacija dobijena je ocena kvaliteta vode Begeja za potrebe navodnjavanja.

## REZULTATI I DISKUSIJA

Minimalne, maksimalne i prosečne vrednosti analiziranih parametara (vegetacioni period 2001-2016) koji predstavljaju osnovu određivanja pogodnosti upotrebe vode za navodnjavanje, prikazane su u tabeli 1.

Tabela 1. Minimalne, maksimalne i prosečne vrednosti analiziranih parametara  
Table 1. Minimum, maximum and average values of analyzed parameters

Lokalitet Parametar	Hetin			Srpski Itebej			Stajićevo		
	Min	Max	Prosek	Min	Max	Prosek	Min	Max	Prosek
Ca <sup>2+</sup> (mg/l)	39	108	75,06	20	46	30,74	34	65	44,75
Mg <sup>2+</sup> (mg/l)	20	85	51,71	5	47	9,29	6	41	12,54
Na <sup>+</sup> (mg/l)	23,3	275	103,05	8,1	138,3	20,58	18,7	145,2	41,93
K <sup>+</sup> (mg/l)	1	17,4	6,49	1,5	11,9	3,17	2,1	10,4	4,34
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	21	366	78,48	8	126	32,24	26	165	52,32
Cl <sup>-</sup> (mg/l)	25,5	239	75,60	10,2	86	19,03	22	73	39,42
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	0,02	3,86	0,59	<0,03	1,84	0,55	0,02	1,5	0,60
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	265	720	530,11	82	201	132,64	101	464	190,2
EC ( $\mu$ S/cm)	539	1923	1076,07	187	911	301,79	316	1136	483,93
S.O. (mg/l)	354	1310	690,51	127	690	188,1	83	720	298,13
pH	7,65	8,7	8,16	6,5	9,8	7,4	6,6	8,4	7,59
SAR (meq/l)	0,520	6,562	2,252	0,365	3,468	0,812	0,646	4,182	1,415

\* SAR – Sodium Adsorption Ratio – pokazatelj potencijalne adsorpcije natrijuma

Prema različitim kriterijumima FAO klasifikacije, na sva tri merna profila uočena je pojava klasa vode koje mogu da se primenjuju bez ograničenja, do onih za čiju je primenu moguća potreba za restrikcijom upotrebe. Rezultati dobijeni ovom klasifikacijom prikazani su u tabeli 2. Preko vrednosti elektroprovodljivosti (EC) i suvog ostatka (S.O.) razmotren je uticaj soli na pristupačnost vode navodnjavanim biljkama. Dobijeni rezultati ukazuju na to da voda Begeja odgovara kvalitetu I (Srpski Itebej i Stajićevo) i II klase (Hetin). Analizom vrednosti SAR i EC ispitan je uticaj vode na infiltraciona svojstva zemljišta. U tom pogledu, uzorci vode sa lokaliteta Hetin odlikuju se kvalitetom I klase, dok uzorci sa druga dva profila pripadaju II klasi. Prema tome, voda Begeja može da se koristi bez ograničenja, odnosno sa slabim do umerenim ograničenjem. Treća klasa uočena je na samo jednom

uzorku, sa merne stanice Srpski Itebej. Prema toksičnom dejstvu natrijuma, uzorci su uglavnom svrstani u I klasu. Međutim, voda kod merne stanice Hetin pokazuje lošiji kvalitet u odnosu na druga dva profila. Slično je i prema uticaju hlorida, gde je kvalitet vode takođe lošiji na Starom Begeju, iako je na svim lokalitetima dominantna I klasa. Prema raznovrsnim efektima nitrata, vodotoci Stari i Plovni Begej mogu da se koriste za navodnjavanje bez ograničenja (I klasa). Sadržaj bikarbonata je znatno manji u vodi kod Srpskog Itebeja i Stajićeva nego kod Hetina. U tom pogledu, uzorke sa merne stanice Hetin karakteriše uglavnom III, ali i II klasa, sa lokaliteta Srpski Itebej II klasa, dok su na najnižvodnijem profilu svi uzorci svrstani u I klasu.

Tabela 2. Prosečna zastupljenost pojedinih klasa vode prema FAO klasifikaciji  
Table 2. The average representation of certain classes of irrigation water according to FAO classification

	lokalitet / klasa (%)	Hetin	Srpski Itebej	Stajićevo
Salinitet	I	1,82	99,10	94,74
	II	98,18	0,90	5,26
Infiltracija	I	90,91	-	2,11
	II	9,09	99,10	97,89
	III	-	0,90	-
Toksičnost Na	I	85,45	99,10	96,84
	II	14,55	0,90	3,16
Toksičnost Cl <sup>-</sup>	I	93,64	100	100
	II	6,36	-	-
Veštačka kiša	I	84,55	100	100
	II	15,45	-	-
Uticaj NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	I	100	100	100
Uticaj HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	I	-	4,50	100
	II	35,45	95,50	-
	III	64,55	-	-

Klasifikacijom USSL, sagledana je opasnost od degradacije zemljišta izazvane procesima salinizacije i alkalizacije (tabela 3). Sa aspekta opasnosti od salinizacije, zabeležene su klase C1, C2 i C3, tj. uočena je pojava „malo slane“, „srednje slane“ i „slane vode“. Opasnosti od alkalizacije nema, tj. voda Begeja može se okarakterisati klasom S1 – „voda sa malim sadržajem natrijuma“, na sva tri profila. Izuzetak su dva uzorka sa profila Hetin, koji su svrstani u klasu vode sa „srednjim sadržajem natrijuma“ – S2.

Tabela 3. Prosečna zastupljenost pojedinih klasa vode prema USSL klasifikaciji  
Table 3. The average representation of certain classes of irrigation water according to

Lokalitet / klasa (%)	USSL classification			
	C1-S1	C2-S1	C3-S1	C3-S2
Hetin	-	2,73	95,45	1,82
Srpski Itebej	24,32	74,77	0,90	-
Stajićevo	-	94,74	5,26	-

Anliza prema kriterijumima USSL klasifikacije, takođe ukazuje na lošiji kvalitet vode kod Hetina, gde je dominantna klasa C3-S1. Primena ove vode moguća je za navodnjavanje biljnih vrsta visoko tolerantih na soli. Pored toga, neophodne su mere za sprečavanje zaslanjivanja, kao i dobra dreniranost zemljišta. Uzorci vode sa mernih stanica Srpski Itebej i Stajićevo dominantno pokazuju pripadnost klasi C2-S1. Biljke tolerantne na soli mogu da se gaje bez posebnih mera za suzbijanje zaslanjenosti, dok u pogledu uticaja na zemljište može da se primenjuje tamo gde postoje uslovi za ispiranje srednjeg intenziteta. Na sva tri analizirana profila, sadržaj natrijuma je „mali“ i na većini zemljišta može da se primenjuje bez opasnosti. Međutim, pri intenzivnijem navodnjavanju, biljke koje su osetljive na ovaj element mogu da akumuliraju količine koje mogu imati štetan uticaj.

Kategorizacija voda po Nejgebaueru prilagođena je prirodnim uslovima koji vladaju u Vojvodini i prema tome može se smatrati najmerodavnijom. Radi dobijanja detaljnije ocene kvaliteta vode, komparacija rezultata sa nekom drugom klasifikacijom je svakako poželjna. Prema kriterijumima klasifikacije po Nejgebaueru, kojom se analizira opasnost od zaslanjivanja i alkalizacije, voda Begeja može da se okarakterise kao „dobra za navodnjavanje“ (II klasa), na profilima Srpski Itebej i Stajićevo, dok su uzorci sa merne stanice Hetin ukazuju na veće varijacije kvaliteta, iako je takođe II klasa dominantna u odnosu na ostale, sa 55,45% uzoraka svrstanih u tu klasu. Pored te najučestalije klase, uzorci sa profila Hetin svrstani su i u Ia (jedan uzorak), kao i u IIIb, IVa i IVb klasu, nešto više, što je prikazano u tabeli 4. Pojava III klase na profilu Hetin, najučestalija je u aprilu i maju, a IV klasa, odnosno voda nepogodna za navodnjavanje, u julu, avgustu i septembru. Međutim, IV klasa nije zabeležena nakon 2012 godine. Uzorci sa mernih stanica Srpski Itebej i Stajićevo imaju beznačajne varijacije, tj. II klasa je dominantna sa preko 90% zastupljenosti.

Tabela 4. Prosečna zastupljenost pojedinih klasa vode prema klasifikaciji po Nejgebaueru  
Table 4. The average representation of certain classes of irrigation water according to

Lokalitet / klasa (%)	Nejgebauer's classification					
	Ia	Ib	II	IIIb	IVa	IVb
Hetin	0,91	-	55,45	21,82	5,45	16,36
Srpski Itebej	1,80	1,80	95,50	-	0,90	-
Stajićevo	-	-	93,68	-	5,26	1,05

## ZAKLJUČAK

Analiza upotrebljivosti vode za navodnjavanje vodotoka Stari i Plovni Begej ukazuju na relativno dobar kvalitet. Kvalitet vode sa merne stanice Hetin je nešto lošijeg kvaliteta do 2012. godine u odnosu na Srpski Itebej i Stajičevo. Voda za potrebe navodnjavanja sa sva tri merna profila se može koristiti, ali uz određene mere i kontrolu. Neophodno je uzeti u obzir i ostale činioce koji utiču na rezultat navodnjavanja, i prema tome izvršiti odabir tehnike navodnjavanja, biljne vrste, agrotehničkih mera itd. Takođe, neophodno je redovno pratiti stanje kvaliteta kako bi se potencijalne štete svele na minimum, a proizvodnja maksimizirala, kako kvantitativno tako i kvalitativno.

## LITERATURA

- Alobaidy, A. H. M. J., Al-Sameraiy, M. A., Kadhem, A. J., & Majeed, A. A. Evaluation of treated municipal wastewater quality for irrigation, *Journal of Environmental Protection*, 1 (2010) 216-225
- Ayers R. S., Westcot D. W. (1985) *Water quality for agriculture*, Food and agriculture Organization of the United Nations, Rome
- Bauder T. A., Waskom R. M., Davis J. G. (2007) *Irrigation water quality criteria*, 1-3, Colorado State University, USA
- Belić S., Belić A., Vranešević M. Water quality as a limiting factor for irrigated agriculture, *IAHS Publ.* 361 (2013) 243-249
- Živković B., Nejgebauer V., Tanasijević Đ., Miljković N., Stojković L., Drezgić P. (1972) *Zemljišta Vojvodine. Institut za poljoprivredna istraživanja*, Novi Sad
- Joshi D. M., Kumar A., Agrawal N., Assesment of the Irrigation Water Quality of River Gang in Haridwar District, *Rasajan Journal Chem.* 2:2 (2009) 285-292
- Krčmar D., Dalmacija B., Pešić V., Dalmacija M. Kvalitet vode i sedimenata kanala Begej, *Srpsko društvo za zaštitu voda*, 40 (2011), 121-126
- Miljković N. (2005) *Meliorativna pedologija*. Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet, Departman za uređenje voda, JVP Vode Vojvodine
- Nešić Lj., Hadžić V., Sekulić P., Belić M. Kvalitet vode za navodnjavanje i salinitet zemljišta u intenzivnoj povrtarskoj proizvodnji, *Letopis naučnih radova Poljoprivrednog fakulteta u Novom Sadu*, vol. 27, br. 1 (2003) 5-10
- Nishanthiny S. C., Thushyanthy M., Barathithasan T., Saravanan S. Irrigation water quality based on hydro chemical analysis, *Jaffna, Sri Lanka. Am Eurasian J Agric Environ Sci*, 7 (1), (2010) 100-102.
- Richards L. A. (1954) *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils*, Agriculture Handbook No. 60. United States Department of Agriculture, Riverside, California
- Savić R., Belić A., Ondrašek G., Radović J., Neki ekološki problemi održavanja melioracionih kanala. *Agroznanje*, vol. 11, br. 2 (2010) 71-77
- Savić R., Pejić B., Ondrašek G., Vranešević M., Beždan A., Iskorišćenost prirodnih resursa Vojvodine za navodnjavanje, *Agroznanje*, vol. 14, br. 1 (2013), 133-142
- Fipps G. *Irrigation water quality standards and salinity management strategies*. Texas Cooperative Extension, USA.
- Hidrološki godišnjak kvaliteta voda (2001-2010), Republički hidrometeorološki zavod Srbije
- Capra A., Scicolone B. Water quality and distribution uniformity in drip/trickle irrigation systems. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 70(4), (1998) 355-365
- [www.sepa.gov.rs](http://www.sepa.gov.rs). Rezultati ispitivanja kvaliteta površinskih i podzemnih voda (2011-2016), Agencija za zaštitu životne sredine. Pristupljeno 01.04.2018.



## IHTIOFAUNA RIJEKE JABLANICE (REPUBLIKA SRPSKA, BIH) KAO INDIKATOR KVALITETA VODE

Dragojla Golub, Radoslav Dekić, Goran Šukalo

*Prirodno-matematički fakultet, Univerzitet u Banjoj Luci, Mladena Stojanovića 2,  
78000 Banjaluka, BiH; [dragojla.golub@pmf.unibl.org](mailto:dragojla.golub@pmf.unibl.org)*

### REZIME

Ihtiološka istraživanja provedena 2016. godine na rijeci Jablanici (pritoka rijeke Save) ukazuju na prisustvo jedne vrste agnata i 16 vrsta riba. Kvalitet vode ispitivanih vodotoka, određen na osnovu indikatorskih vrsta riba kao saprobnog pokazatelja, ukazuje na vodu  $\beta$  mezosaprobnog statusa pri čemu se indeks saprobnosti, u zavisnosti od lokaliteta, kretao od 1,76 do 1,90. Na osnovu ovakvih rezultata može se reći da se voda ispitivanih lokaliteta rijeke Jablanice karakteriše zadovoljavajućim kvalitetom i da kao takva ima ulogu u održavanju postojećeg diverziteta ihtiofaune šireg slivnog područja, značajna je kao mrijestilišna zona, a predstavlja i područje atraktivno za sportski ribolov.

KLJUČNE RIJEČI: ihtiofauna, rijeka Jablanica, kvalitet vode, indeks saprobnosti

## ICHTHYOFAUNA AS WATER QUALITY INDICATOR OF JABLANICA RIVER (REPUBLIC OF SRPSKA, B&H)

### ABSTRACT

Ichthyological research was carried out during 2016 at Jablanica River (tributary of Sava River) and the occurrence of one agnathan and 16 fish species was recorded. On the basis of the indicator fish species, water quality of the analyzed localities showed  $\beta$  mesosaprobic status where saprobic index varied from 1,76 to 1,90, depending on locality. The obtained results indicate that water quality of Jablanica River was on satisfactory level for several purposes (sustaining of ichthyofauna diversity of this part of Sava River watershed, spawning zone and recreational fishing area).

KEY WORDS: ichthyofauna, Jablanica River, water quality, saprobic index

### UVOD

Rijeka Jablanica je najzapadnija veća neposredna pritoka rijeke Save u Bosni i Hercegovini. Ima slivnu površinu od 476,74 m<sup>2</sup>, dužina glavnog toka je oko 35 km, a čitav sliv se nalazi

u Republici Srpskoj. Veće pritoke su joj Vrbaška (85,5 km<sup>2</sup>), Lubina (119,8 km<sup>2</sup>) i Jurkovića (81,3 km<sup>2</sup>). Izvire na oko 300 m.n.v. na sjeverozapadu sliva i nastaje od vrlo razgranatog izvorišta na južnim padinama planine Prosare. Utiče u Savu 4 km prije Gradiške na oko 86 m.n.v. (Plan upravljanja vodama za vodno područje rijeke Save u Federaciji Bosne i Hercegovine za period 2016-2021, 2015).

Prema rezultatima projekta „Biodiverzitet i značaj prirodnih retenzija rijeke Save“ koji se odnosio na ihtiofaunistička istraživanja, rijeka Jablanica i njene pritoke smatraju se ugroženima zbog postojećih i planiranih hidrotehničkih zahvata, spiranja vještačkih đubriva i pesticida sa okolnih poljoprivrednih površina, te zbog odlaganja otpada (Dekić i Golub, 2016). Analiza strukture poljoprivrednog zemljišta na slivnom području rijeke Jablanice izdvaja natprosječno učešće voćnjaka. U smislu postojećih hidrotehničkih zahvata na rijeci Jablanici kao mjere odbrane od poplava pominju se jablanički nasip, regulisano korito rijeke u dužini od 6,5 km kao i obodni i hidromelioracioni kanali Jurkovića-Jablanica i Topola-Jablanica (Prostorni plan opštine Gradiška 2005-2020, 2007). Treba napomenuti da je projekat dovoda vode do voćnjaka i poljoprivrednih površina u Potkozarju na području opštine Gradiška, izgradnjom akumulacija na rijeci Jablanica, Vrbaška, Lubina i Jurkovića u fazi razmatranja resornog Ministarstva i Jedinice za implementaciju poljoprivrednih projekata (Strategija integralnog upravljanja vodama Republike Srpske, 2015).

Od 2009. godine, rijeka Jablanica uključena je u program monitoringa kvaliteta površinskih voda Republike Srpske kao jedna od tačaka nacionalnog nadzornog monitoringa (Monitoring kvaliteta površinskih voda u Republici Srpskoj, izvještaj za 2009. godinu, 2010). U posmatranom periodu, organsko i fekalno opterećenje rijeke Jablanice upućivalo je na vode III kategorije. Na osnovu saprobnih indeksa određenih na osnovu sastava i brojnosti makrozoobentosa, vode rijeke Jablanice kretale su se od II do III klase boniteta.

S obzirom da je slivno područje rijeke Jablanice prepoznato kao mjesto potencijalnih zona prirodnih retenzija (poplavnih područja) kao mjera kontrole od poplava ali i kao zona koja ima važnu ulogu u očuvanja biodiverziteta, a naročito diverziteta ihtiofaune, cilj ovog rada bio je da se postojeći podaci o kvalitetu vode upotpune sa stanovišta zajednica riba kao saprobiološkog pokazatelja.

## MATERIJAL I METODE

Uzorkovanje ihtiofaune na području rijeke Jablanice provedeno je u septembru 2016. godine u skladu sa standardom za uzorkovanje riba elektricitetom u cilju analize kvaliteta vode (EN 14011:2003). Uzorkovanje je provedeno elektroagregatom za lov ribe ELT62II GI HONDA GCV160, 3 kW na dva lokaliteta na rijeci Jablanici i to na nizvodnijem lokalitetu Vrbaška (L1) i uzvodnijem, Lužani (L2) (Slika 1). Sve riblje vrste prikupljene prilikom izlova prvo su determinisane (Kottelat i Freyhof, 2007; Sofradžija, 2009), individue svake vrste su prebrojane, određena im je masa (vaga preciznosti 0,1 g), a potom su neozlijeđene vraćene u vodu. Na bazi pokazatelja saprobnosti, indeksa saprobnosti i abundančnosti za svaku vrstu izračunat ukupan indeks saprobnosti po metodi Puntle-Buck, te data ocjena o kvalitetu vode ispitivanih vodotoka (Grginčević i Pujin, 1998).



Slika 1. Istraživani lokaliteti na rijeci Jablanici (Izvor: Google Earth)  
 Figure 1. Investigated localities on Jablanica River (Source: Google Earth)

U cilju analize kvalitativne i kvantitativne strukture ihtiocenoza istraživanog područja i procjene raznovrsnosti njihovih zajednica, izračunati su određeni indeksi diverziteta. Pri tome, Šenon-Viverov indeks diverziteta (H) određen je prema formuli:

$$H = - (\sum (p_i \ln p_i))$$

gdje je:  $p_i$  = udio jedinki ili biomase  $i$ -te vrste u opštoj veličini ili biomasi zajednice. Simpsonov indeks diverziteta (D) izračunat je prema formuli:

$$D = \sum p_i^2, 1-D = 1 - \sum (p_i^2)$$

gdje je:  $p_i$  = udio jedinki ili biomase  $i$ -te vrste u opštoj veličini ili biomasi zajednice. Sorensenov indeks sličnosti (IS) određen je prema formuli:

$$IS = \frac{2c}{a + b} \times 100$$

gdje je:  $c$  = broj zajedničkih vrsta,  $a$  = ukupan broj vrsta prisutnih u prvom uzorku i  $b$  = ukupan broj vrsta prisutnih u drugom uzorku (Pešić i Tomović, 2010).

## REZULTATI I DISKUSIJA

Kao rezultat ihtioloških istraživanja iz septembra 2016. godine na dva lokaliteta rijeke Jablanice ustanovljena je jedna vrsta agnata (*Eudontomyzon vladykovi*) i 16 vrsta riba iz osam familija. Dominantni su bili predstavnici familije Cyprinidae sa devet evidentiranih vrsta, dok su preostale familije (Cobitidae, Esocidae, Percidae, Centrarchidae, Lotidae, Balitoridae i Gobiidae) bile zastupljene sa po jednom vrstom. Od ukupnog broja determinisanih vrsta, 15 je nadeno na lokalitetu Vrbaška (L1), a devet na lokalitetu Lužani (L2) (Tabela 1).

Tabela 1 Kvalitativni i kvantitativni sastav riba rijeke Jablanice  
Table 1 Qualitative and quantitative fish composition in Jablanica River

No	Vrsta	L1				L2			
		Broj	%	Masa (g)	%	Broj	%	Masa (g)	%
1	<i>Eudontomyzon vladykovi</i> (Petromyzontidae)	/	/	/	/	2	2,2	20,1	2,1
2	<i>Alburnus alburnus</i> (Cyprinidae)	1	0,7	7,2	0,3	2	2,2	4,1	0,4
3	<i>Alburnoides bipunctatus</i> (Cyprinidae)	1	0,7	4,1	0,1	39	42,5	114,3	12,2
4	<i>Barbus barbus</i> (Cyprinidae)	30	21,6	538,1	19,4	1	1,1	12,6	1,3
5	<i>Barbus balcanicus</i> (Cyprinidae)	10	7,2	204,1	7,4	7	7,6	40,5	4,3
6	<i>Carassius gibelio</i> (Cyprinidae)	3	2,2	23,6	0,9	/	/	/	/
7	<i>Chondrostoma nasus</i> (Cyprinidae)	20	14,4	657,9	23,8	/	/	/	/
8	<i>Gobio obtusirostris</i> (Cyprinidae)	2	1,5	8,2	0,3	4	4,3	7,7	0,8
9	<i>Rhodeus amarus</i> (Cyprinidae)	10	7,2	15,7	0,6	5	5,4	8,2	0,9
10	<i>Squalius cephalus</i> (Cyprinidae)	48	34,5	960,0	34,7	28	30,4	725,5	77,2
11	<i>Cobitis elongatoides</i> (Cobitidae)	/	/	/	/	4	4,3	7,7	0,8
12	<i>Esox lucius</i> (Esocidae)	1	0,7	78,9	2,9	/	/	/	/
13	<i>Perca fluviatilis</i> (Percidae)	1	0,7	19,6	0,7	/	/	/	/
14	<i>Lepomis gibbosus</i> (Centrarchidae)	8	5,7	45,2	1,6	/	/	/	/
15	<i>Lota lota</i> (Lotidae)	1	0,7	197,7	7,1	/	/	/	/
16	<i>Barbatula barbatula</i> (Balitoridae)	2	1,5	4,6	0,1	/	/	/	/
17	<i>Neogobius fluviatilis</i> (Gobiidae)	1	0,7	2,2	0,1	/	/	/	/
	Ukupno	139	100	2.767,1	100	92	100	940,7	100

L1 – lokalitet 1 (Vrbaška), L2 – lokalitet 2 (Lužani)

Na osnovu rezultata uzorkovanja ihtiofaune rijeke Jablanice konstatovano je da su na lokalitetu L1 (lokalitet Vrbaška) brojčano najzastupljeniji bili klen (34,5%), mrena (21,6%) i škobalj (14,4%) koji su dominirali i masenim učešćem (klen sa 34,7%, škobalj sa 23,8% i mrena sa 19,4%). Na lokalitetu V2 (lokalitet Lužani), u odnosu na individualnu i masenu zastupljenost dominirali su dvoprugasta uklija (42,5%, odnosno 12,2%) i klen (30,4%, odnosno 77,2%). Zapaženo je prisustvo dvije introdukovane invazivne vrste riba i to sunčanice (*Lepomis gibossus*) i babuške (*Carassius gibelio*). Obje vrste ulovljene su na lokalitetu L1, pri čemu sunčanica sa brojčanim učešćem od 5,7% i masenim učešćem od 1,6%, dok je za babušku brojčana zastupljenost iznosila 2,2%, a masena 0,9%. Sve ostale vrste riba bile su autohtone što sa aspekta odnosa nativnih i introdukovanih vrsta govori o povoljnom sastavu ihtiofaune istraživanog vodotoka.

Prema podacima iz Ribarske osnove za ribolovno područje rijeke Save (1984) rijeku Jablanicu naseljava osam vrsta riba: škobalj, mrena, klen, plotica, som, manić, štuka, sapača, kao i ostale vrste. Ovi podaci razlikuju se od podataka dobijenih našim istraživanjima kada je konstatovano 16 vrsta riba i jedna vrsta agnata (11 vrsta ne navodi se u podacima iz 1984. godine). U ovom slučaju treba imati na umu da su istraživanja provedena tokom 1984. godine za cilj imala analizu prisustva, brojnosti i mase vrsta atraktivnih sportskim ribolovcima, dok su ostale vrste samo pomenute kao prisutne, pri čemu ostaje nepoznato o kojim vrstama se radi i koliko ih ima. S druge strane, prema podacima iz Izvještaja o istraživanju ihtiofaune u 2009. godini, na vodnim tijelima oblasnog riječnog sliva Save (Monitoring kvaliteta površinskih voda u Republici Srpskoj, izvještaj za 2009. godinu, 2010), rijeku Jablanicu naseljava 13 vrsta riba, pri čemu vrste *Phoxinus phoxinus* (gagica), *Rutilus virgo* (plotica) i *Pseudorasbora parva* (amurski čebačok) nisu ustanovljene našim istraživanjem, dok dunavska paklara, obična mrena, štuka, grgeč, sunčanica, manić i riječni glavoč nisu ustanovljeni tokom pomenutih istraživanja, a konstatovani su 2016. godine (Tabela 2).

Od ustanovljenih 16 vrsta riba u rijeci Jablanici, njih 12 predstavljaju indikatorske vrste, pri čemu šest vrsta ukazuju na  $\beta$  mezosaprobne vode, tri na vodu o- $\beta$  mezosaprobnog statusa, dvije na  $\beta$ - $\alpha$  mezosaprobne vode i jedna na vodu oligosaprobnog statusa (Grginčević i Pujin, 1998). Drugim riječima, većina konstatovanih ribljih vrsta ukazuje na kvalitet vode koji odgovara  $\beta$  mezosaprobnoj nivou, koji ukazuje na umjereno zagađene vode, ali u kojima su još uvijek prisutni povoljni uslovi za život i opstanak vodenih organizama. S obzirom na prisustvo i abundancu indikatorskih vrsta riba, saprobni indeks po Pantle Buck-u iznosio je 1,90 za lokalitet Vrbaška (L1) i 1,76 za lokalitet Lužani (L2) što je vodu svih istraživanih lokaliteta okarakterisalo kao  $\beta$  mezosaprobnu vodu, tj. umjereno zagađenu ili vodu II klase boniteta koja se poslije određenog tretmana može koristiti za piće, a u prirodnom stanju za kupanje, sportove na vodi, te za rast i razvoj cipridnih vrsta riba (Sl. glasnik RS, 42/01).

Tabela 2 Diverzitet ihtiofaune rijeke Jablanice u periodu od 1984. do 2016.g.  
 Table 2 Diversity of Jablanica River ichthyofauna from 1984. to 2016.

No	Vrsta	1984.	2009.	2016.
1	<i>Eudontomyzon vladykovi</i>	-	-	+
2	<i>Alburnus alburnus</i>	-	+	+
3	<i>Alburnoides bipunctatus</i>	-	+	+
4	<i>Barbus barbus</i>	+	-	+
5	<i>Barbus balcanicus</i>	+	+	+
6	<i>Carassius gibelio</i>	-	+	+
7	<i>Chondrostoma nasus</i>	+	+	+
8	<i>Gobio obtusirostris</i>	-	+	+
9	<i>Phoxinus phoxinus</i>	-	+	-
10	<i>Pseudorasbora parva</i>	-	+	-
11	<i>Rhodeus amarus</i>	-	+	+
12	<i>Rutilus virgo</i>	+	+	-
13	<i>Squalius cephalus</i>	+	+	+
14	<i>Cobitis elongatoides</i>	-	+	+
15	<i>Esox lucius</i>	+	-	+
16	<i>Perca fluviatilis</i>	-	-	+
17	<i>Lepomis gibbosus</i>	-	-	+
18	<i>Silurus glanis</i>	+	-	-
19	<i>Lota lota</i>	+	-	+
20	<i>Barbatula barbatula</i>	-	+	+
21	<i>Neogobius fluviatilis</i>	-	-	+
	Ukupno	8	13	17

U cilju izračunavanja ujednačenosti, bogatstva i raznovrsnosti ihtiofaune istraživanih lokaliteta određeni su i indeksi diverziteta prikazani u tabeli 3.

Tabela 3 Indeksi diverziteta zajednica riba rijeke Jablanice  
 Table 3 Indices of diversity for fish communities of Jablanica River

Indeks raznovrsnosti	L1	L2
Bogatstvo vrsta	15	9
Šenon-Viverov indeks diverziteta	1,89	1,57
Simpsonov indeks diverziteta	0,79	0,71

Tom prilikom ustanovljene su veće vrijednosti Šenon-Viverovog indeksa diverziteta za lokalitet L1 koji se ujedno odlikuje i većim bogatstvom vrsta, na šta upućuju i veće vrijednosti Simpsonovog indeksa diverziteta. Ovakvi rezultati su i očekivani s obzirom da se radi o lokalitetu koji je bliži ušću, odnosno rijeci Savi pa je i ihtiocenoza raznovrsnija. Poredeći dobijene vrijednosti Šenon-Viverovog indeksa diverziteta sa vrijednostima istog indeksa za diverzitet ihtiofaune dvije desne pritoke rijeke Save, Mature i Brzaje (Vuković, 2007), uočeni su slični rezultati (vrijednost ovog indeksa za rijeku Maturu iznosio je 1,71, a za rijeku Brzaju 1,86). Još sličnije vrijednosti konstatovane su za Simpsonov indeks diverziteta koji je za rijeku Maturu iznosio 0,70, a za rijeku Brzaju 0,76 (Vuković, 2007).

Poredeći istraživane lokalitete rijeke Jablanice, Sorensenov indeks sličnosti za ova dva lokaliteta iznosio je 52,2%. Kada se uporedi sastav ihtiofaune rijeke Jablanice sa ihtiofaunom rijeka Mature i Brzaje (Vuković, 2007), ustanovljeno je da Sorensenov indeks sličnosti između Jablanice i Mature iznosi 46,7%, a između Jablanice i Brzaje 52,9% što govori o značajnom procentu zajedničkih vrsta, a time i relativno sličnih ihtiocenoza ovih vodotoka.

## ZAKLJUČAK

Na osnovu ispitivanja ihtiofaune rijeke Jablanice konstatovana je jedna vrsta agnata i 16 vrsta riba iz osam familija sa dominacijom vrsta iz familije ciprinida. Polovina indikatorskih vrsta riba pokazatelji su  $\beta$  mezosaprobni voda što je u skladu sa dobijenim vrijednostima indeksa saprobnosti koji je za lokalitet Vrbaška bio 1,90, a za lokalitet Lužani 1,76. Na osnovu saprobioloških rezultata ali i vrijednosti indeksa diverziteta ihtiocenoza može se zaključiti da je kvalitet vode istraživanih lokaliteta rijeke Jablanice na zadovoljavajućem nivou. Rijeka Jablanica ima značaj u održavanju genetičkog i specijskog biodiverziteta šireg slivnog područja, ali i kao mrijestilišna zona za mnoge vrsta riba koje migriraju iz rijeke Save. Mnoge vrste riba koje naseljavaju rijeku Jablanicu predstavljaju vrste atraktivne za sportski ribolov što ovom području daje na značaju u smislu razvijanja ovog tipa turizma.

## LITERATURA

- Vuković, D. (2006): Study of some allochthonous fish species from Bardacha tributaries (Bosnia and Herzegovina) with the aim of ensuring their sustainable development. PhD thesis. Univerzita degli Studi di Bari, Italy
- Grginčević, M., Pujin, V. (1998): Hidrobiologija - priručnik za studente i posleddiplomce. Ekološki pokret grada Novog Sada, Novi Sad
- Dekić, R., Golub D. (2016): Biodiverzitet potencijalnih zona retenzije uz rijeku Savu u Bosni i Hercegovini i preporuke za njihovo upravljanje, poglavlje Ihtiofauna (ur. J. Pašić). Centar za životnu sredinu, str. 101-109
- Kottelat, M., Freyhof, J. (2007): Handbook of European freshwater Fishes. Kottelat, Cornol, Switzerland and Freyhof, Berlin, Germany
- Monitoring kvaliteta površinskih voda u Republici Srpskoj, izvještaj za 2009. godinu (2010): Agencija za vode oblasnog riječnog sliva rijeke Save (dostupno na <http://www.pravodaznam.ba/bs/request/19/response/35/attach/3/Istrazivanja%20ihtiofaune%20RS.pdf>)
- Pešić, V., Tomović, Lj. (2010): Praktikum iz ekologije sa zadacima. Biblioteka bio-medicinskih nauka, Univerzitet Crne Gore
- Plan upravljanja vodama za vodno područje rijeke Save u Federaciji Bosne i Hercegovine (2016-2021), IPA Program EU, Pr. dok. br.7 - Hidrološke analize, 2015 (dostupno na <http://www.voda.ba/udoc/nact%20plana/PD%207%20-%20BiH%20-%20Hidroloske%20analize.pdf>)
- Prostorni plan opštine Gradiška 2005-2020 (2007), Urbanistički Zavod Republike Srpske, Banja Luka

- Ribarska osnova za ribolovno područje „Sava“ (1984): Biološki Institut Univerziteta Sarajevo, Sarajevo
- Službeni glasnik Republike Srpske, br. 42. (2001): Uredba o klasifikaciji voda i kategorizaciji vodotoka
- Sofradžija, A. (2009): Slatkovodne ribe Bosne i Hercegovine. Vijeće Kongresa bošnjačkih intelektualaca, Sarajevo
- Strategija integralnog upravljanja vodama Republike Srpske (2015). Prijedlog, Zavod za vodoprivredu, Bijeljina (dostupno na <http://www.vladars.net/sr-SP-Cyrl/Vlada/Ministarstva/mps./Documents/Strategija%20integralnog%20upravljanja%20vodama%20RS%202015-2024%20%28TNR%29.pdf.pdf>)
- CEN (2003) Water Quality – Sampling of Fish with Electricity. EN 14011:2003. Brisel: Evropski komitet za standardizaciju



## ANALIZA KVALITETA VODE SLIVA RIJEKE TREBIŠNJICE NA OSNOVU MAKROINVERTEBRATA DNA

Dušanka Berak, Sanja Čučković, Snežana Radmilović

*MH „Elektroprivreda Republike Srpske“, MP a.d Trebinje, ZP „Hidroelektrane  
na Trebišnjici“ ad Trebinje, Obala Luke Vukalovića 2, 89 101 Trebinje,  
e-mail:berakdusanka@gmail.com*

### REZIME

U ovom radu predstavljeni su rezultati ispitivanja sastava i strukture zajednice akvatičnih makroinvertebrata rijeke Trebišnjice u cilju procjene statusa kvaliteta vode. Uzorkovanje materijala obavljeno je tokom 2015.godine u tri serije na tri odabrana lokaliteta. U prvoj seriji uzorkovanja – april, pronađeno je 16 taksona iz tri tipa makroinvertebrata. U drugoj seriji – jun, pronađeno je 17 taksona iz tri tipa makroinvertebrata. I u trećoj seriji – septembar , pronađeno je 23 taksona iz tri tipa makroinvertebrata.

KLJUČNE RIJEČI: vodeni makrobescičmenjaci, saprobnost, kvalitet vode, rijeka Trebišnjica

## WATER QUALITY ANALYSES OF RIVER BASIN DISTRICT OF TREBISNJICA ACCORDING TO THE BENTIC MACROINVERTEBRATES

### ABSTRACT

The paper presents the results of aquatic macroinvertebrates community analyses of the Trebisnjica River with aim to estimate the water quality of the river. Sampling was carried out in three series on three localites during 2015. In the first sampling series – April, 16 taxons from 3 macroinvertebrates types were determined. In the second sampling series – June, 17 taxons from 3 macroinvertebrates types were determined. And in the third sampling series - September, 23 taxons from 3 macroinvertebrates types were determined.

KEY WORDS: aquatic macroinvertebrates, saprobity, water quality, Trebisnjica River

## UVOD

Neophodna aktivnost u okviru održivog korišćenja vodnih resursa je monitoring kvaliteta vodenih ekosistema. Opšte je poznato da mjerenje fizičkih i hemijskih parametara vode daje sliku o trenutnom zagadenju, ali ono mora biti kombinovano sa biomonitoringom, jer živi svijet akvatičnih ekosistema oslikava kumulativno i istovremeno dejstvo svih ekoloških faktora.

Akvatične makroinvertebrate (vodeni beskičmenjaci) su grupa organizama koje naseljavaju dno (sediment, detritus, makrofite, filamentozne alge) slatkovodnih, estuarskih i morskih ekosistema tokom cijelog svog života ili dijela svog životnog ciklusa. Fauna dna pripada akvatičnoj zoocenoci pored planktonskih, perifitonskih, nektonskih i neustonskih organizama. Od svih slatkovodnih organizama koji mogu da se koriste u biomonitoringu, makrozoobentos se pokazao kao najpouzdaniji (Hellawell 1986, Bonada i sar. 2006).

Cilj rada je analiza bioloških indexa rijeke Trebišnjice, a prije svega saprobiološkog i Trent- biotičkog indexa te određivanje klase boniteta rijeke Trebišnjice.

## MATERIJAL I METODE

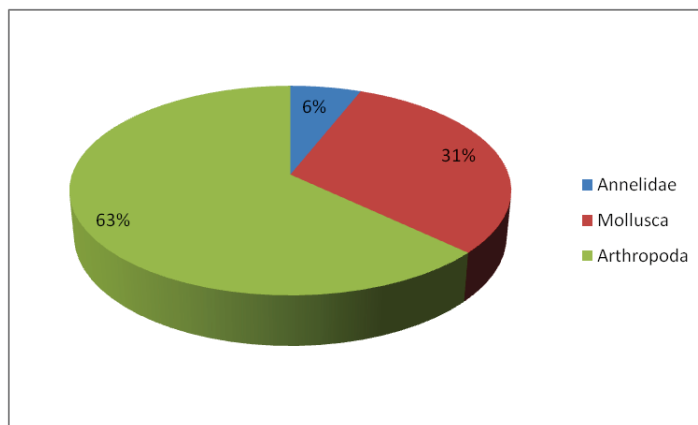
Uzimanje uzoraka je vršeno 2015.godine u tri navrata i to 1. aprila; 25. juna i 29. septembra. Na samoj Trebišnjici određena su tri lokaliteta zbog veličine i dužine rijeke, i to nizvodno od brane Gorica. Uzorkovanje je vršeno na svim dostupnim mjestima čitavom širinom korita, kick-sampling metodom. Ručna mreža je najprilagodljiviji uređaj za uzorkovanje makroinvertebrata dna i može se ubotrebti u velikom broju različitih tipova plićih vodotoka. Za uzorkovanje duž Trebišnjice korištena je standardna ručna mreža za uzimanje uzoraka makroinvertebrata, dimenzija metalnog okvira 25 cm sa 25 cm i drške dužine bar 1,5 m. Promjer okaca je 0,5 mm.

Laboratorijska obrada materijala i determinacija obavljene su primjenom standardne metodologije (APHA 1995). U cilju procjene kvaliteta rijeke Trebišnjice izračunati su biološki indexi upotrebom ASTERIX softvera i AQEM metoda (AQEM, 2002). Monitoring i izbor indexa je urađen u skladu sa Uredbom o klasifikaciji voda i kategorizaciji vodotoka.

## REZULTATI I DISKUSIJA

U okviru sliva rijeke Trebišnjice istraživanja su vršena na sledećim profilima: Gorica prag, Studenac i Milišića most.

U prvoj seriji uzorkovanja – jun, pronađeno je 16 taksona iz tri tipa makroinvertebrata. To su sledeći tipovi: Annelida (1 takson), Mollusca (5 taksona) i Arthropoda (10 taksona). Najbrojniji je svakako razdio Arthropoda, tj klasa insekata iz koje su pronađena tri reda i to : Ephemeroptera, Trichoptera i Diptera. Pored insekata determinisane su i tri vrste iz klase Gastropoda i jedna vrsta iz klase Oligochaeta.



Slika 1: Kvalitativni sastav makroinvertebrata u slivu rijeke Trebišnjice iz prvog ciklusa ispitivanja – april 2015.

Figure 1: Qualitative composition macroinvertebrates of river basin district of Trebisnjica from the first sampling series – April 2015.

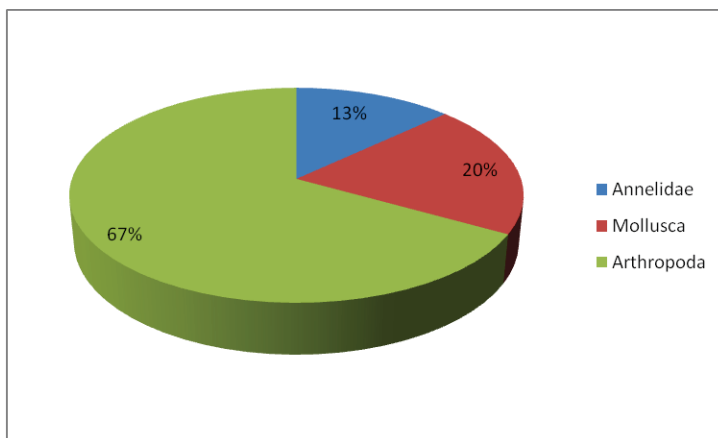
**GORICA PRAG** – Kvalitet vode rijeke Trebišnjice na ovom profilu na osnovu indexa saprobnosti u mjesecu aprilu iznosio je  $S=2,674$  i svrstavao je ovaj vodotok u II klasu kvaliteta. Na osnovu broja pronađenih grupa, tj. Trent- biotičkog indexa, ovaj vodotok spada u prvu klasu boniteta i spada u ologosparobne vode. Dominiraju puževi iz roda *Emmericia*, a zatim se u najvećem broju javljaju rakovi iz familije Asselidae i insekti iz reda Trichoptera. Uzorkovanje je vršeno cijelom širinom korita. Rijeka je providna do dna, bez mirisa i dominira zelenkasta boja koja potiče od prisustva algi i makrofita. Riječno korito je djelimično modifikovano zbog prisustva kaskade. Obale su strme, obrasle šibljem i niskim rastinjem.

**STUDENAC** – Kvalitet vode rijeke Trebišnjice na ovom profilu na osnovu indexa saprobnosti u mjesecu aprilu iznosio je  $S=2,512$  i svrstavao ovaj vodotok u II klasu kvaliteta. Na osnovu broja pronađenih grupa, tj. Trent – biotičkog indexa, ovaj vodotok spada u I-II klasu boniteta, odnosno oligo -  $\beta$  mezosaprobne vode. Na ovom profilu takođe dominiraju puževi iz roda *Emmericia* i pojavljuje se invazivna školjka za ovo područje *Dreissena polymorpha*. Uzorkovanje je vršeno cijelom širinom korita. Rijeka je providna do dna, bez mirisa. Lijeva obala je u vidu livade sa visokim topolama koje prave hladovinu u priobalnom dijelu korita. Na desnoj strani registrovan je pješčani sprud, dok je obala prekrivena travom obrasla vrbom.

**MILIŠIĆA MOST** – Kvalitet vode rijeke Trebišnjice na osnovu indexa saprobnosti u mjesecu aprilu iznosio je  $S=2,145$  i svrstavao ovaj vodotok u II klasu kvaliteta. Na osnovu broja pronađenih vrsta, tj. Trent- biotičkog indexa, ovaj vodotok spada u III klasu boniteta, odnosno  $\alpha$  mezosaprobne vode. Na ovom profilu je takođe najzastupljeniji puž iz roda *Emmericia* kao i u prethodna dva profila. Ovde se javlja školjka iz porodice Unionidae.

Uzorkovanje je vršeno cijelom dužinom korita. Rijeka je providna do dna, bez mirisa, zelenkaste boje zbog prisustva vodene vegetacije. Obale su modificirane i dijelom obrasle travom. Profil se nalazi u urbanoj sredini tako da je prisutno antropogeno zagađenje.

U drugoj seriji uzorkovanja- jun, konstatovano je 15 taksona iz tri tipa makroinvertebrata. To su sledeći tipovi: Annelidae (2 taksona), Mollusca (3 taksona) i Arthropoda (10 taksona). Najbrojnija je svakako klasa Insecta, a među njima red Trichoptera sa vrstom *Sericostoma personatum* koja se javlja na sva tri profila. Takođe, nađeni su redovi Ephmeroptera (3 taksona) i Diptera (3 taksona). Pored insekata determinisane su vrste iz klase Gastropoda, Bivalvia i Oligochaeta.



Slika 2: Kvalitativni sastav makroinvertebrata u slivu rijeke Trebišnjice iz drugog ciklusa ispitivanja – jun 2015

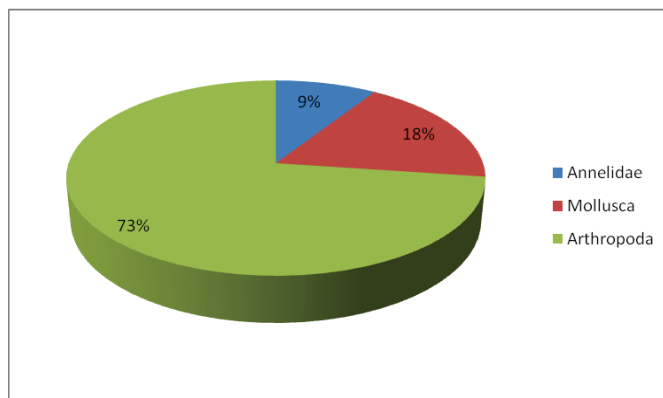
Figure 2: Qualitative composition macroinvertebrates of river basin district of Trebisnjica from the second sampling series – June 2015.

GORICA PRAG- Kvalitet vode rijeke Trebišnjice na osnovu indexa saprobnosti u mjesecu junu iznosio je  $S=2,537$  i svrstavao ovaj vodotok u III klasu kvaliteta. Na osnovu broja pronađenih vrsta, tj. Trent- biotičkog indexa, ovaj vodotok spada u II klasu boniteta, odnosno  $\beta$ -mezosaprobne vode.

STUDENAC - Kvalitet vode rijeke Trebišnjice na osnovu indexa saprobnosti u mjesecu junu iznosio je  $S=2,298$  i svrstavao ovaj vodotok u II klasu kvaliteta. Na osnovu broja pronađenih vrsta, tj. Trent- biotičkog indexa, ovaj vodotok spada u I klasu boniteta, odnosno oligosaprobne vode.

MILIŠIĆA MOST- Kvalitet vode rijeke Trebišnjice na osnovu indexa saprobnosti u mjesecu junu iznosio je  $S=2,302$  i svrstavao ovaj vodotok u II - III klasu kvaliteta. Na osnovu broja pronađenih vrsta, tj. Trent- biotičkog indexa, ovaj vodotok spada u I - II klasu boniteta, odnosno oligo –  $\beta$  mezasaprobne vode.

U trećoj seriji uzorkovanja – septembar, konstatovano je 22 taksona iz tri tipa makroinvertebrata. To su sledeći tipovi: Annelidae (2 taksona), Mollusca (4 taksona) i Arthropoda (16 taksona). Najbrojniji su insekti iz reda Trichoptera i Ephemeroptera kao i puž iz roda Emmericia. Nađeni su još vrste iz reda Diptera, kao i rakovi iz rodova Asellus i Gammarus i rod Hygrobates iz reda Acarina. Pored ovih taksona, nađeni su još i vrste iz klase Gastropoda, Bivalvia, Oligochaeta i Hirudinea.



Slika 3: Kvalitativni sastav makroinvertebrata u slivu rijeke Trebišnjice iz trećeg ciklusa ispitivanja – septembar 2015.

Figure 3: Qualitative composition macroinvertebrates of river basin district of Trebisnjica from the third sampling series- September 2015.

GORICA PRAG - Kvalitet vode rijeke Trebišnjice na osnovu indexa saprobnosti u mjesecu junu iznosio je  $S=2,498$  i svrstavao ovaj vodotok u III klasu kvaliteta. Na osnovu broja pronađenih vrsta, tj. Trent- biotičkog indexa, ovaj vodotok spada u II klasu boniteta, odnosno  $\beta$  - mezasaprobne vode.

STUDENAC - Kvalitet vode rijeke Trebišnjice na osnovu indexa saprobnosti u mjesecu junu iznosio je  $S=2,784$  i svrstavao ovaj vodotok u III klasu kvaliteta. Na osnovu broja pronađenih vrsta, tj. Trent- biotičkog indexa, ovaj vodotok spada u II klasu boniteta, odnosno  $\beta$  - oligosaprobne vode.

MILIŠIĆA MOST- Kvalitet vode rijeke Trebišnjice na osnovu indexa saprobnosti u mjesecu junu iznosio je  $S=2,277$  i svrstavao ovaj vodotok u II klasu kvaliteta. Na osnovu broja pronađenih vrsta, tj. Trent- biotičkog indexa, ovaj vodotok spada u I-II klasu boniteta, odnosno oligo -  $\beta$  mezasaprobne vode.

## ZAKLJUČAK

Stepen kvaliteta vode je isti u aprilu na svim lokalitetima, ali u junu i septembru malo varira i nešto je zagađenija. Sva tri ispitivana profila u aprilu bogata su larvama vodenih insekata iz grupe EPT (Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera), naročito dominiraju larve Trichoptera. Na osnovu indexa saprobnosti kvalitet vode u rijeci Trebišnjici ubraja se u grupu umjereno zagađenih do zagađenih voda, nalazi se između  $\beta$  i  $\alpha$  mezosaprobnog stepena saprobnosti, što pripada II – III klasi boniteta. Na osnovu Trent – biotičkog indexa rijeka Trebišnjica spada u grupu umjereno zagađenih voda, odnosno  $\beta$ -oligosaprobnog vode.

## LITERATURA

- APHA (1995), Standard Methods for the Estimation Water and Wastewater. 19 th Edition, *American Public Health Association*, Washington, DC.
- 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. *Version 1.0, Contract No: EVK1-CT1999-00027*.
- Bonada N. Prat N. Resh V. i Statzner B (2006). Developments in Aquatic Insect Biomonitoring: A Comparative Analysis of Recent Approaches, *Annual Review of Entomology* 51(1):495-523
- Grginčević M. i Pujin V (1998). *Hidrobiologija*, Ekološki pokret grada Novog Sada, Novi sad. 212pp.
- Hellawell J.W (1986) *Biological Indicators of Freshwater Pollution and Environmental Management*, Springer Netherlands, 546 pp.
- Zelinka, M i Marvan, P. (1961). Zur Prazisierung der biologischen Klassifikation der Reinheit fließender Gewässer. *Archiv für Hydrobiologie* 57, 389-407.

## KVALITET VODE CRNE RIJEKE NA OSNOVU FIZIČKO-HEMIJSKIH I MIKROBIOLOŠKIH PARAMETARA

Slobodanka Vujčić\*, Jelica Simeunović\*\*, Ljiljana Vukić\*\*\*,  
Dijana Drljača\*\*\*, Dragana Đurica\*, Milan Matavulj\*\*

\* *Univerzitet za poslovne studije, Fakultet za ekologiju, Banjaluka, BiH;*  
[vujcicslobodanka@yahoo.com](mailto:vujcicslobodanka@yahoo.com)

\*\**Univerzitet u Novom Sadu, PMF, Departman za biologiju i ekologiju, Novi  
Sad, Republika Srbija*

\*\*\**Univerzitet u Banjaluci, Tehnološki fakultet, Banjaluka, BiH*

### REZIME

Crna rijeka je lijeva pritoka rijeke Vrbas. Vrlo često unosi zagađujuće materije organskog porijekla u rijeku Vrbas, odnosno akumulaciju Bočac koja je iznad vodozahvata Novoselija. U radu su analizirani fizičko-hemijski, mikrobiološki i hidrobiološki parametri u uzorcima vode uzetih na ušću Crne rijeke u akumulaciju u četiri sezonska aspekta (jesen 2013, zima, proljeće i ljeto 2014. godine). Po Kohl-u, voda akumulacije Bočac u ispitivanom periodu pripadala je II klasi boniteta. Sposobnost samoprečišćavanja vode prema indeksu FO/H je zadovoljavajuća. Izračunate vrijednosti za indeks saprobnosti "S", ukazuju da je kvalitet vode zadovoljavajući u toku ispitivanog perioda.

KLJUČNE RIJEČI: Crna rijeka, kvalitet vode, vodosnabdijevanje, monitoring

## WATER QUALITY OF THE CRNA RIJEKA RIVER ACCORDING TO PHYSICO-CHEMICAL AND MICROBIOLOGICAL PARAMETERS

### ABSTRACT

The Crna Rijeka River is the left tributary of The Vrbas River. Very often, it causes input of pollutants of organic origin in The Vrbas River, or in the Bočac reservoir, settled above the Novoselija water catchment. The paper analyzes the physico-chemical, microbiological and hydrobiological parameters in water samples taken at the mouth of the Crna Rijeka river into the reservoir in four seasonal aspects (Autumn 2013, Winter, Spring and Summer 2014). According to Kohl, the water of the Bočac lake during the period of examination belonged to the II class of water quality. The selfpurification ability of water according to the FO/H index is satisfactory. The calculated values for the "S" saprobity index indicate that the quality of water was satisfactory during the period of examination.

KEY WORDS: Crna Rijeka River, water quality, water supply, monitoring

## UVOD

Crna rijeka je lijeva pritoka rijeke Vrbas. Predstavlja dio vodenog sistema opštine Mrkonjić Grad, koja izvire iz Malog jezera izletišta Balkana. Jezero napajaju potoci Cjepalo i Skakavac sa planine Lisine, kao i izvori ispod Velikog jezera. Rijeka teče u pravcu jug-sjever i na svom putu protiče kroz grad, a nakon toka od ukupno 17 km ulijeva se u Vrbas (kod mjesta Dabrac). Crna rijeka vrlo često unosi organske materije i druge zagađujuće supstance u akumulaciju Bočac što može imati za posljedice pojačanu eutrofizaciju i degradaciju ekosistema.

## MATERIJAL I METODE

Uzimanje uzoraka za analizu kvaliteta vode vršeno je na Crnoj rijeci neposredno prije njenog ulijevanja u akumulaciju Bočac. Uzimanje uzoraka vršeno je u četiri sezone obuhvatajući jeseni aspekt 2013. godine i zimski, proljetni i ljetnji aspekt 2014. godine. Uzorci su obrađeni u laboratoriji Katedre za mikrobiologiju, Instituta za biologiju PMF-a u Novom Sadu. Mikrobiološke i hidrobiološke analize urađene su prema standardnoj metodologiji (Petrović i saradnici, 1998; Grginčević i Pujin, 1998). Broj aerobnih heterotrofa (aerobne saprofitne bakterije) određivan je na Torlakovom standardnom hranljivom agaru, a broj fakultativnih oligotrofa određen je zasijavanjem uzorka na hranljivi agar razrijeđen deset puta (1:10). Saprobiološka procjena kvaliteta vode data je primjenom liste organizama indikatora SEV i određen indeks saprobnosti "S" po mađarskoj metodi kategorizacije u klase kvaliteta vode (MZS, 2005). Determinacija dominantnih taksona fitoplanktona urađena je na osnovu dostupnih ključeva za determinaciju. Fizičko-hemijski parametri analizirani su standardnim metodama.

## REZULTATI I DISKUSIJA

### Fizičko-hemijski parametri kvaliteta

Rezultati fizičko-hemijskih analiza koje su rađene u četiri sezonska aspekta na lokalitetu Crna rijeka upoređeni su sa dopuštenim graničnim vrijednostima parametara u Uredbi o klasifikaciji voda i kategorizaciji vodotoka (Sl.gl.RS, br.42/01). Na osnovu dobijenih vrijednosti vidljivo je da kvalitet vode zadovoljava uglavnom visok i dobar status kvaliteta površinskih voda.

Kada su u pitanju pojedini parametri (BPK5 i amonijačni azot), odnosno njihove povećane koncentracije upućuju na loš status i to najviše u proljećnom aspektu nakon što su se desile obilne padavine i promjene vodostaja i proticaja rijeke. Amonijak najvećim dijelom potiče sa okolnih poljoprivrednih površina. U proljeće kada su kiše intenzivnije, đubrivu nedostaje adekvatno vrijeme da izreaguje sa zemljištem, pa veća koncentracija dospijeva u površinske vodotoke, što može imati negativne posledice po živa bića u vodi kao i na ljudske zajednice ukoliko ta voda služi kao izvor piće vode (Kukučka, 2013).



Tabela 1. Fizičko-hemijski parametri kvaliteta vode i njihove vrijednosti na lokalitetu Crna rijeka u periodu jesen 2013 - ljeto 2014. godine  
 Table 1. Physico-chemical parameters of water quality and their values at the Crna rijeka site in the autumn 2013 - summer 2014

Fizičko hemijski parametri kvaliteta	Jesen (Autumn) 2013	Zima (Winter) 2014	Proljeće (Spring) 2014	Ljeto (Summer) 2014
temperatura vode Water temperature (t°)	8	6	13,5	15
pH (19,6°C) Water pH	6,80	6,93	7,77	7,99
provodljivost Conductivity (19,6°C) (µS/cm)	566	485	422	354
MA-ukupni alikalitet Total alcality (mg CaCO <sub>3</sub> /l)	192,08	198,4	172,33	191,52
ukupna tvrdoća Total hardness (mg CaCO <sub>3</sub> /l)	305,41	256,29	237,54	255,04
BPK5 BOD <sub>5</sub> (mg O <sub>2</sub> /L)	1,46	3,41	5,53	3,02
Potrošnja Consumption of KMnO <sub>4</sub> mg/l	7,29	6,46	18,99	32,1
rastvoreni kiseonik Dissolved oxygen (mg/l)	6,38	12,07	11,27	7,99
saturacija Saturation %	53,75	99,18	106,32	78,72
Ortofosfati Orthophosphate (mg PO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> P/l)	0,167	0,22	0,06	0,06
amonijak Ammoniak (mg NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N/l)	0,14	0,1	0,21	0,15
nitriti Nitrites (mg NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N/L)	0,029	0,0015	0,006	0,022
nitriti Nitrates (mg NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N/L)	0,90	1,048	0,125	0,94

#### Mikrobiološki kvalitet vode Crne rijeke

Maksimalna brojnost bakterioloških indikatora organskog opterećenja vode zabilježena je tokom ljeta, i po Kohl-u (1975), voda je pripadala II klasi boniteta, (Tabela 2.).

Sposobnost samoprečišćavanja vode u akumulaciji Bočac prema indeksu FO/H je zadovoljavajuća u svim sezonskim aspektima tokom ispitivanja u periodu jesen 2013 - zima, proljeće, ljeto 2014. godine.

Sa higijenskog stanovišta, tokom jesenjeg, zimskog i proljetnog perioda ispitivanja nije evidentirano fekalno zagađenje, dok su u ljetnjem periodu 2014. godine detektovane ukupne koliformne kao i fekalne koliformne bakterije, ali fekalno zagađenje nije prelazilo propisanu drugu klasu. Na osnovu kategorizacije po Kafki (Kavka, 1994) voda je u ljetnjem periodu bila umjereno zagađena (tabela 3).

Tabela 2. Srednja vrednost broja heterotrofa i fakultativnih oligotrofa po sezonama tokom 2013-2014.

Table. 2 Average values of heterotrophs and facultative oligotrophic bacteria during 2013-2014

Crna rijeka The Crna Rijeka river	Aerobni heterotrofi Aerobic organotrophs (kol/cm <sup>3</sup> )	Kvalitet vode Water quality (Kohl, 1975)	Fakultativni oligotrofi Facultative oligotrophs (kol/cm <sup>3</sup> )	Indeks Index FO/H
Jesenji aspekt Autumn 2013	1000	II	1500	1,5
Zimski aspekt Winter 2014	4167	II	5600	1,34
Proljećni aspekt Spring 2014	200	I	1330	6,65
Ljetnji aspekt Summer 2014	5567	II	5900	1,05

Tabela 3. Brojnost ukupnih koliformnih i fekalnih koliformnih bakterija u vodi Crne rijeke tokom četiri sezonska aspekta

Table 3. The number of total coliform and faecal coliform bacteria in the Crna Rijeka river water during four seasonal aspects

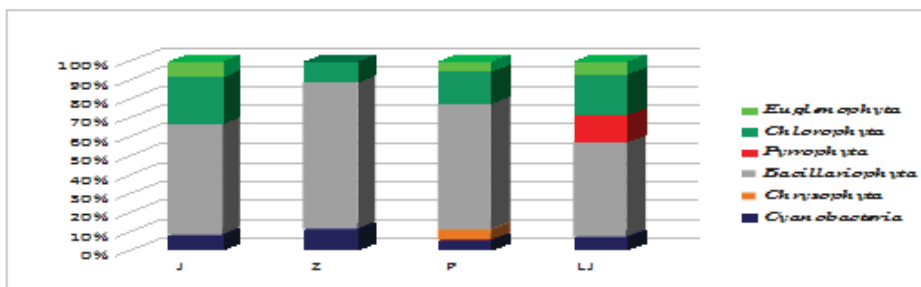
Lokalitet Sampling site	Jesen Autumn 2013	Zima Winter 2014	Proljeće Spring 2014	Ljeto Summer 2014
Ukupne koliformne bakterije / Total coliform bacteria (kol/100cm <sup>3</sup> )	0	620	5	1560
Fekalne koliformne bakterije / (Faecal coliform bacteria) ( <i>E.coli</i> ) (kol/100cm <sup>3</sup> )	0	0	0	558
Kavka, 1994	Čista Pure	Čista Pure	Čista Pure	umjereno zagađena Moderately polluted

### Fitoplanktonska zajednica u Crnoj rijeci

Posmatrajući sva četiri sezonska aspekta 2013-2014. godine u vodi Crne rijeke uočava se prisustvo pripadnika šest razdjela algi, pri čemu najveći procenat pripada silikatnim algama. Vatrene alge su zabilježene samo za vrijeme najtoplijeg perioda, dok su modrozeleno alge, pojedinačno prisutne, zabilježene u svim uzorcima tokom istraživanja (slika 1.)

*Cyanobacteria* su izraziti indikatori antropogenog zagađenja površinskih voda i predstavljaju potencijalnu opasnost za cvjetanje vode. Do produkcije cijanotoksina može doći bez obzira da li je došlo do cvjetanja cijanobakterija ili su one prisutne u manjem broju (Stone i Bress, 2007). Stoga je neophodna prevencija cvjetanja cijanobakterija u vodenim sredinama u smislu prečišćavanja otpadnih voda, kontrolisane upotrebe fertilizatora u poljoprivredi, smanjenja spiranja vode sa poljoprivrednih površina, zaštite od erozije, zaštite vodoizvorišta, drenaže sedimenta i vezivanje fosfora, promjene hidrofizičkih karakteristika i pojačavanje protoka vode i biomanipulacija ( Simeunović, 2010 ).

Indeks saprobnosti je iznosio od 1,74 u jesen 2013. godine do 1,81 i 1,94 u proljeće i ljeto 2014. godine, što ukazuje na oligo-beta do beta-mezosaprobnost status kvaliteta (tabela 4).



Slika 1. Procentualna zastupljenost pripadnika pojedinih razdjela algi u vodi Crne rijeke u četiri sezonska aspekta 2013-2014. godine.

Figure 1. Percentage of representatives of Divisions of algae in the River Crna rijeka water in four seasonal aspects 2013-2014 (J –Autum, Z – Winter, P – Spring, LJ – Summer).

Tabela 4. Indeks saprobnosti (fitoplankton) prema (MZS, 2005)

Table 4. Saprobity index (phytoplankton) method to (MZS, 2005)

Sezonski aspekti (Seasonal aspects)	Crna rijeka (The Crna Rijeka river)	
	S*	k**
Jesenji aspekt 2012. g / Autumn 2012	1,74	I
Zimski aspekt 2013. g / Winter 2013	1,8	I
Proljećni aspekt 2013. g / Spring 2013	1,94	II
Ljetnji aspekt 2013. g / Summer 2013	1,81	II

□ S\* indeks saprobnosti (Index of saprobity, Pantle-Buck, 1955) , \*\* kategorija voda po Water category according to (MZS, 2005)

Na osnovu istraživanja koje su proveli Zarić i Mitrović (2009) u uzorcima vode Crne rijeke, konstatovana je dominacija predstavnika silikatnih algi, indikatora II kategorije vode. Pojedinačno su bili prisutni i predstavnici III klase što su potvrdile i vrijednosti za indeks saprobnosti „S“ koji se kretao od 1,73 do 1,90. Autori ističu značaj silikatnih algi kao odlične biološke indikatore koji su osjetljivi na kvalitativnu promjenu hemizma vode. Učestvuju u procesu biološkog prečišćavanja zagađenih voda pa je s tog aspekta njihov značaj veliki (Zarić i Mitrović, 2009).

## ZAKLJUČAK

Na osnovu fizičko-hemijskih analiza vidljivo je da kvalitet vode zadovoljava uglavnom visok i dobar status kvaliteta površinskih voda, sa manjim odstupanjem u proljećnom periodu što je i očekivano zbog obilnih padavina i spiranja sa okolnih površina. Maksimalna brojnost bakterioloških indikatora zabilježena je u ljetnjem aspektu. Po Kohlu, voda u ispitivanom periodu pripadala je II klasi boniteta. Sposobnost samoprečišćavanja vode prema indeksu FO/H je zadovoljavajuća u svim sezonskim aspektima tokom ispitivanja. U uzorcima površinske vode uzetih u ljeto 2014. godine detektovane su i ukupne koliformne i fekalne koliformne bakterije, dok u ostalim sezonama nije zabilježeno prisustvo fekalnih koliforma. Na osnovu kategorizacije po Kafki (Kavka, 1994) voda je u ljetnjem periodu imala status umjereno zagađene vode. Posmatrajući sva četiri sezonska

aspekta 2014. godine u vodi Crne rijeke uočava se dominacija silikatnih algi. Prisustvo vrsta roda *Cyanobacteria*, iako u manjem procentu u odnosu na ukupan fitoplankton ukazuje na potencijalno opterećenje organskim materijama, kao i na potencijalnu opasnost od prisustva cijanotoksina u vodi akumulacije, na šta smo upozoravali ranije (Vujčić i sar., 2012). Izračunate vrijednosti za indeks saprobnosti "S", ukazuju da je kvalitet vode na svim profilima u toku ispitivanja zadovoljavajući (I i II kategorija).

#### LITERATURA

- Grginčević, M., Pujin, V. (1998): Hidrobiologija, priručnik za studente i poslediplomce. Ekološki pokret grada Novog Sada.
- Kavka, G. G. (1994): Erfassung und Bewertung der bakteriologischen Beschaffenheit der Donau im Jahre 1993. Vergleich der Grenzprofile Deutschland-Österreich und Österreich-Slowakei. 30. Arbeitstagung der IAD, Wissenschaftliche Kurzreferate: 296.1-296.7.
- Kohl, W. (1975): Über die Bedeutung Bakteriologischer Untersuchungen für die Beurteilung von Fleissgewässern, Dargestellt am Beispiel der Österrecih Donau. Arch. Hydrobiol., 44, 4, 392-461.
- Kukučka, M., Kukučka, N. (2013): Fizičko-hemijski sastav svetskih prirodnih voda. Tehnološko . metalurški fakultet. Beograd.
- MZS 12756 - Mađarski standardi kvaliteta vode. Pantle-Buck method (Hungarian Standard 12756:1993) U: Nemeš, K. (2005): Sezonska dinamika fitoplanktona hidrosistema Dunav-Tisa-Dunav u Banatu. Magistarska teza, Prirodno-matematički fakultet Univerziteta u Novom Sadu
- Pantle, R., H. Buck (1955): Die Biologische Überwachung der Gewasser und die Darstellung der Ergebnisse. Gas und Wasserfach, 96: 604-609; Besond. Mittelung im Deutschen Gewässerkundlichen, 12: 135-140.
- Petrović, O., Gajin, S., Matavulj, M., Radnović, D., Svirčev, Z.: Mikrobiološko ispitivanje kvaliteta površinskih voda. Prirodno-matematički fakultet, Institut za biologiju. Novi Sad (1998).
- Radević, M., Pujin, V., Matavulj, M., Miljanović, B. (2000): Kavezni uzgoj riba u akumulaciji Bočac kao mogući uzrok cvjetanja alge *Ceratium hirundinella*. Zbornik radova „Savremeno ribarstvo Jugoslavije“, IV Jugoslovenskog simpozijuma „Ribarstvo Jugoslavije“, Vršac, 20-22. septembra 2000. god. Izdavači: Savez poljoprivrednih inženjera i tehničara Jugoslavije, DOO „Ribarstvo Jugoslavije“, Poljoprivredni fakultet Novi Sad i Poljoprivredni fakultet Zemun – Beograd. Str. 103-110.
- Simeunović, J. (2010): Cijanobakterije i cijanotoksini u površinskim vodama Vojvodine. Zadužbina Andrejević, Beograd.
- Službeni glasnik Republike Srpske, br 42/01, Dostupno na: [http://www.voders.org/eng/images/uredba\\_o\\_klasifikaciji\\_vodotoka.pdf](http://www.voders.org/eng/images/uredba_o_klasifikaciji_vodotoka.pdf).
- Stone, D., Bress, W. (2007): Addressing Public Health Risks for Cyanobacteria in Recreational Freshwaters: The Oregon and Vermont Framework. SETAC-Integrated Environmental Assessment and Management — Volume 3, Number 1—pp. 137–143.
- Vujčić, S., Matavulj, M., Lolić, S.: Cijanobakterije u fitoplanktonu akumulacije Bočac na rijeci Vrbas. Zbornik radova Prvog međunarodnog kongresa ekologe „Ekološki spektar“, Univerzitet za poslovne studije Banja Luka, 20-21. april 2012., (2012) 293-300. UDK 582.233556.55(497.6RS Bočac)
- Zarić, I., Mitrović, P. (2009): Kvalitet vode akumulacije Bočac na osnovu sastava i dinamike fito- i zooplanktona, istraživanja za 2008. god. Konferencija o aktuelnim problemima korišćenja i zaštite voda, 38, Zlatibor (Serbia), 8-10 Jun 2009, Srpsko društvo za zaštitu voda, Beograd (Srbija), str. 137-144.

## ANALIZA TEŠKIH METALA (As, Cd, Hg) U VODI RIJEKE LIM I MIŠIĆNOM TKIVU *CHONDROSTOMA NASUS* I *SQUALIUS* *CEPHALUS*

Danijela Veličković, Marijana Krivokapić

*Univerzitet Crne Gore, Prirodno matematički fakultet, Studijski program za biologiju, Podgorica, Crna Gora, Email: [danijela.velickovic23@gmail.com](mailto:danijela.velickovic23@gmail.com), [marijana.krivokapic2017@gmail.com](mailto:marijana.krivokapic2017@gmail.com)*

### REZIME

Teški metali su najčešći zagađivači životne sredine i predstavljaju ozbiljnu prijetnju zbog njihove toksičnosti, bioakumulacije i biomagnifikacije u lancu ishrane. Ovaj istraživački rad sproveden je da bi se procijenila koncentracija teških metala u vodi (As, Cd, Hg) u mišićnom tkivu *Chondrostoma nasus* (skobalja) i *Squalius cephalus* (klijena) (As, Cd, Hg). Determinacija metala izvršena je metodama atomske apsorbcione spektrofotometrije (AAS). Sve koncentracije metala određene su kao mg/l za vodu, a na bazi suve težine kao mg/kg za mišićno tkivo. Uzorkovanje vode i riba obavljeno je za četiri godišnja doba u 2015. godini sa pet lokacija rijeke Lim (lokacije: Zaton, Nedakusi, Njegnjevo, Gubavač, Dobrakovo). Rezultati pokazuju da su koncentracije teških metala u vodi rijeke Lim iznosile: As <0.01 mg/l, Cd (<0.01 mg/l), Hg (<0.0005 -0.0011 mg/l) u četiri sezone. U ciprinidnim vrstama riba skobalju i klijenu sadržaj Cd iznosio je <0.01 mg/kg. Koncentracija As varirala je u rasponu od <0.01 mg/kg do 0.016 mg/kg u mišićnom tkivu *Chondrostoma nasus*. Veće vrijednosti As izmjerene su u mišićnom tkivu *Squalius cephalus* i za pojedine uzorke i iznosile su od 0.01 mg/kg do 0.030 mg/kg. S druge strane, koncentracija Hg u mišićnom tkivu *Chondrostoma nasus* bile su veće: 0.085-0.134 mg/kg u jesenjem periodu u odnosu na koncentraciju Hg u klijenu 0.075-0.119 mg/kg tokom zimskog perioda. Pronađene koncentracije žive u mišićnom tkivu *Squalius cephalus* iznosile su: 0.075 mg/kg na lokaciji Zaton, dok je 0.119 mg/kg utvrđeno na lokaciji Gubavač. Dobijene vrijednosti pokazuju da su koncentracije teških metala Cd bile iste u vodi i mišićnom tkivu riba, Koncentracije As su bile u nekim uzorcima obje vrste riba veće nego u vodi, dok su koncentracije Hg bile veće u mišićnom tkivu ribe u odnosu na sadržaj u vodi. Koncentracije As, Cd, Hg u mišićnom tkivu *Chondrostoma nasus* i *Squalius cephalus* bile su ispod maksimalno rezidualnih nivoa koje je popisala Evropska Unija (EU) i maksimalno dozvoljene koncentracije (MDK) za Crnu Goru. Međutim postoji potreba za redovnim praćenjem opterećenja teških metala u ovom akvatičnom ekosistemu i zbog dugoročnih efekata.

KLJUČNE RIJEČI: teški metali, *Chondrostoma nasus*, *Squalius cephalus*, rijeka Lim

## HEAVY METAL STUDY (As, Cd, Hg) IN THE WATER OF THE LIM RIVER AND IN MUSCLE TISSUE OF THE *CHONDROSTOMA NASUS* AND *SQUALIUS CEPHALUS*

### ABSTRACT

Heavy metals are the most common environmental pollutants and pose a serious threat because of their toxicity, long-lasting persistence, biomagnification and bioaccumulation in the food chain. This research work was carried out to assess the concentration of heavy metals in water (As, Cd, Hg), and in muscle tissue of the *Chondrostoma nasus* and *Squalius cephalus* (As, Cd, Hg). Heavy metal determination was performed using the method of atomic absorption spectrophotometry (AAS). All heavy metal concentrations were determined as mg/l for water, and based on dry weight as mg/kg for muscle tissue. Sampling of water and fish was carried out for four seasons in 2015. at five locations of the Lim River (locations: Zaton, Nedakusi, Njegnjevo, Gubavac, Dobrakovo). The results show that the concentrations of the next heavy metals in the water of the Lim River have been determined: As <0.01 mg/l, Cd (<0.01 mg/l), Hg (<0.0005 -0.0011 mg / l) for all four seasons. In cyprinid fish species, *Chondrostoma nasus* and *Squalius cephalus* content of Cd was measured <0.01 mg/kg. The As concentration have ranged from <0.01 mg/kg to 0.016mg/kg in muscle tissue of *Chondrostoma nasus*. The higher As values were measured in muscle tissue of *Squalius cephalus* for individual samples and ranged from 0.01 mg/kg to 0.030 mg/kg. On the other hand, Hg concentration in the *Chondrostoma nasus* was higher: 0.085-0.134 mg/kg in the autumn period compared to concentration of Hg in *Squalius cephalus* (0.075-0.119 mg/kg during the winter period. The found concentration of mercury in the muscular tissue *Squalius cephalus* was 0.075 mg/kg at the Zaton site, while 0.119mg/kg was found at the location Gubavač. The obtained values show that the concentration of heavy metals Cd were the same in water and muscle tissue of fish; concentration of As were in both samples, of both types of fish, higher than in water, while concentrations of Hg were higher in fish muscle tissue compared to the water content. The concentration of As, Cd, and Hg in the fish muscles of *Chondrostoma nasus* and *Squalius cephalus* were below the maximum residue level determined by the European Union (EU) and the maximum permitted concentrations (MAC) for Montenegro. However, there is a need for regular monitoring of the heavy metal load in this aquatic ecosystem because of the long-term effects.

KEY WORDS: heavy metals, *Chondrostoma nasus*, *Squalius cephalus*, river Lim

### UVOD

Zagađenje životne sredine, nastalo je kao rezultat početka urbanizacije i povećavalo se paralelno sa napretkom industrije. Porastom ljudske populacije ubrzava se zagađenje životne sredine, naročito u drugoj polovini XX vijeka i kao rezultat, "korupcija" ekosistema postepeno postaje ozbiljna stvar. Shodno tome, kada se vodeni ekosistem koristi kao prijemnik i deaktivna zona za iskorišćene vode i ostali otpad, postaje mjesto koje je izloženo gustom zagađenju proporcionalno vazduhu i zemljištu unutar prirodnog ekosistema. Brz industrijski razvoj kao i upotreba metala u proizvodnim procesima, doveli su do povećanih

ispusta teških metala u životnu sredinu (Oldewage et al,2006). Procjene o svjetskom transportu teških metala u okeane pokazuju da se najveći dio transporta metala u rijekama javlja u obliku čestica. Današnje interesovanje za antropogeno zagađenje hidrosfere teškim metlima, uticalo je na hitno istraživanje ciklusa metala u rijekama (Vaithyanathan et al,1993). Metali su prisutni u životnoj sredini iz prirodnih i antropogenih izvora, oslobadaju se i transportuju vodom, a aposrbuju ih akvatični organizmi. Metali su ozbiljna prijetnja zbog njihove toksičnosti, kapaciteta za bioakumulaciju i biomagnifikaciju u lancu ishrane (Đikanović et al, 2016).

Metali poput Cu, Fe, Zn su esencijalni za život akvatičnih organizama, dok su Hg, Pb, As, Cd toksični čak i u malim koncentracijama. Upotreba riba kao biomonitora je veoma značajna sa aspekta biokamulacije i biomagnifikacije zagađivača unutar ekosistema (Begum et al, 2009).

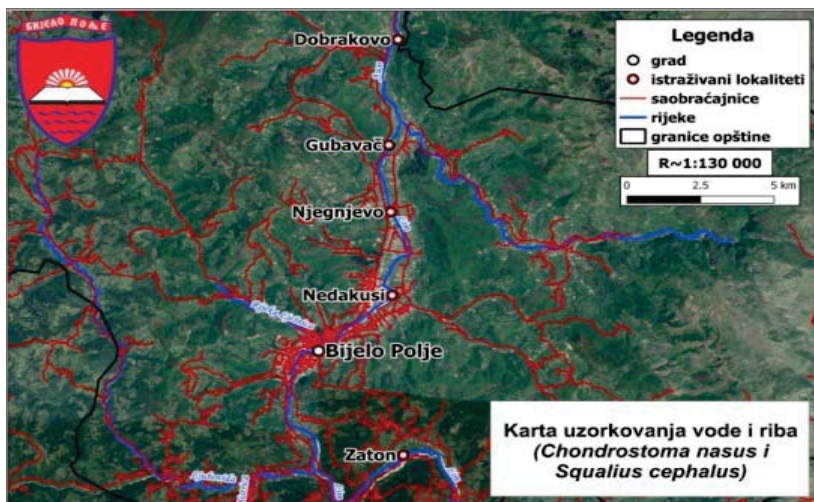
### IZVORI TEŠKIH METALA U RIJECI LIM

Teški metali u rijeku Lim dolaze iz prirodnih i antropogenih izvora. Prirodni izvori teških metala u rijeci Lim su: erozija zemljišta, razaranje stijena, atmosfersko taloženje, a antropogeni su nastali kao posljedica industrijalizacije, razvoja poljoprivrede, saobraćaja i na kraju ističemo da je evidentan problem divljih deponija i odlagališta smeća, ali odlagališta građevinskog otpada, čvrstog komunalnog otpada, šteta, materijala od plastike, otpadnih guma, plastične, staklene i papirne ambalaže od toksičnih pesticida, sa ostacima istih. Pošto su lokacije neobezbijedene, atmosferske vode ih spiraju i odnose u vodotokove (Mrdak et al, 2018).

### OBLAST UZORKOVANJA

Opština Bijelo Polje, površine 924 km<sup>2</sup>, sa 57067 stanovnika, nalazi se u sjeveroistočnom dijelu Crne Gore. Prostor Opštine Bijelo Polje pretežno je izgrađen od paleozojskih škriljaca. Zapadni i sjeverozapadni dio opštine izgrađen je od paleozojskih stijena, koje presijecaju riječne doline Ljubovide, Ljepešnice, Lješnice. U sjevernom dijelu oko Grančareva su pješčari, filiti, argilofiliti, sa sočivima krečnjaka, a u ostalom dijelu filiti, argilofiliti, metapješčari i konglomerati. Opštini Bijelo Polje pripada znatan dio Bjelasice. Bjelopoljska kotlina je duga 12 km, a široka do 3 km. Duž zapadnog oboda kotline proteže se tektonski rasjed, koji prate mineralni izvori. Duž kotline očuvane su dvije akumulacione terase, niža na 575 m, viša na 620 m (Radojičić B. 2008).

Rijeka Lim je najveća pritoka Drine. Dužina toka je 219 km, od čega je na teritoriji Crne Gore 87 km. Izvire iz Plavskog jezera na koti 908.9 m. Ako se u dužinu riječnog toka uključi i Ljuča, koja se uliva u jezero i njene izvorišne rijeke, onda je dužina Lima od najviših izvora sliva do granice prema Srbiji 121 km. Najveći dio sliva Lima spada u humidne terene, sa prosječnom godišnjom količinom padavina od 800-2000 mm. Dolina Lima je kompozitnog karaktera, ređaju se sve manje kotline i klisure (Radojičić B. 2008). Rijeka Lim prima otpadne vode grada, naselja i okolnih sela putem pritoka. Na samoj obali rijeke su smještene klanice, stočne farme, ugostiteljski objekti.



Slika 1. Ispitivani lokaliteti rijeke Lim  
Figure 1. Investigated localities of the river Lim

#### MATEIJALI I METODE

Uzorci vode i uzorci riba su sakupljeni 2015. godine sa pet lokacija rijeke Lim (Zaton, Nedakusi, Njegnjevo, Gubavač, Dobrakovo). U vodi rijeke Lim i mišićnom tkivu *Chondrostoma nasus* i *Squalius cephalus* određivan je sadržaj As, Cd, Hg. Pojedinačni uzorci vode uzorkovani su Fridlingerovim bocama sa dubine od 2 m i sakupljeni u polietilenskim bocama. Koncentracija teških metala (As, Cd, Hg) u vodi Lima određivana je korišćenjem Indukovane kuplovane plazme-optički emisijski spektrometar (ICP-OES tehnika). Vrste skobalj (*Chondrostoma nasus*) i klijen (*Squalius cephalus*) su izlovljene mrežarskim i udičarskim alatima. Nakon izlova, dopremljene su u laboratoriju u rashladnoj komori. Za analizu je korišćeno 20 jedinki skobalja od 33 g -708 grama i od (**0<sup>+</sup>**) do (5) godina starosti, i 20 jedinki klijena starosti od **0<sup>+</sup>** do **3<sup>+</sup>**. Svaka jedinka (ukupno 20) posebno je analizirana na sadržaj teških metala izlovljenih u toku proljeća, ljeta, jeseni i zime. Korišćenjem standardne tehnike Analytical Method Perkin Elmer of AAS vršena je priprema uzoraka za analizu sadržaja teških metala u ribljem tkivu.

#### REZULTATI I DISKUSIJA

U tabeli 1 prikazani su rezultati istraživanja teških metala u vodi rijeke Lim, na pet lokacija: Zaton, Nedakusi, Njegnjevo, Gubavač, Dobrakovo. Pošto nema dovoljno podataka o teškim metalima u vodi rijeke Lim i sadržaju u mišićnom tkivu ispitivanih vrsta (skobalja i klijena), za poređenje dobijenih rezultata koristili smo podatke o teškim metalima u vodama rijeka koje imaju sličnu ihtiopopulaciju kao i rijeka Lim. Dobijeni rezultati su pokazali da je sadržaj arsena bio ispod praga detekcije, ali time i ispod MDK propisanih crnogorskim Pravilnikom i Pravilnikom EU. Vrijednosti identične našem istraživanju, evidentirane su u



vodama Zapadne Morave (Spasojević et al, 2005), dok su u vodama Velikog Timoka, pronađene veće koncentracije As, 4 mg As/l (Pichev et al.). Koncentracije kadmijuma su za sve četiri ispitivane sezone bile su iste, i ispod MDK (*Sl.list CG 2/07*). Prema istraživanjima koja su sprovedli Milanov et al. (2016), Stojanović et al. (2015) Cd nije detektovan u Dunavu i vodama Južne Srbije. Vuković et. Al, 2011., utvrdili su koncentracije Cd od 5 µg/l, što znači da MDK vrijednosti nijesu prekoračene. Pajević et al. (2008) navode da je na području gdje rijeka Sava konvergira sa Dunavom, povećana koncentracija Cd, ali i nakon ušća Tamiša. Utvrđeno je da su koncentracije Hg ispod dozvoljenih vrijednosti. Vrijednosti su bile iste u zimskoj, ljetnoj, jesenjoj sezoni osim za proljećnu na lokaciji Njegnjevo gdje je vrijednost Hg bila <0.0011. Manju vrijednost koncentracije žive utvrdili su Brankov (2012) i Milošković (2016) u rijekama: Timok, Velika, Zapadna i Južna Morava.

Tabela 1. Rezultati sadržaja teških metala u vodi rijeke Lim

Table 1. Results of heavy metal content in the Lim River

Metali Lokacije	Arsen (As)				Kadmijum (Cd)				Živa (Hg)			
	Zima	Proljeće	Ljeto	Jesen	Zima	Proljeće	Ljeto	Jesen	Zima	Proljeće	Ljeto	Jesen
Zaton	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005
Nedakusi	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005
Njegnjevo	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0011	<0.0005	<0.0005
Gubavač	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005
Dobrakovo	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005

U tabelama 2 i 3. prikazana je koncentracija teških metala u mišićnom tkivu skobalja i kljuna za sve četiri sezone ispitivanja. Koncentracije teških metala u vodi dati su mg/l a za riblje vrste u mg/kg. Analiza teških metala u ribama je veoma važna zbog upotrebe u ishrani ljudi. Rezultati pokazuju da su koncentracije As u mišićnom tkivu skobalja bile različite za sve četiri sezone ispitivanja. Na onovu rezultata u tabeli 2. uočavamo neznatne razlike u nivou akumulacije metala u mišićnom tkivu skobalja. Najveće koncentracije As su bile u uzorcima izlovljenim iz Njegnjeva i Nedakusa (0.012-0.016 mg As/kg).

Tokom ljetnje sezone ispitivanja, maksimalna koncentracija As detektovana je u uzorku iz Zatona (0.013 mg As/kg) dok su na ostalim lokacijama vrijednosti As bile ispod praga detekcije.

Kadmijum nije esencijalni element, i lako se može bioakumulirati u donjem dijelu lanca ishrane, i biokoncentrisati višestruko u organima ribe. Vrijednosti kadmijuma u ovoj studiji bile su iste u svim analiziranim uzorcima. Vrijednosti su bile niske, ispod MDK važećih propisa u Crnoj Gori za teške metale, mitotoksine i druge supstance u hrani. Naši rezultati su slični sa istraživanjima Cd u mišićnom tkivu skobalja, izlovljenog u vodama Zapadne i Velike Morave, Mlave, Kolubare, Peka (Milošković 2016., Đikanović 2016., Dvorak 2014., 2015). Živa je poznata kao visoko toksičan metal i strogo su regulisani njeni ispusti. Kretanje žive (II ) kroz akvatični sistem i biokumulacija metil žive na višem trofičkom nivou, nastaje pod uticajem unošenja dvovalentnih oblika žive. Ribe adsorbuju metil živu putem lanca ishrane, na koje može uticati veličina, starost, ekološki faktori. Za vrijeme zimske, proljećne i ljetne sezone zbog kvara aparata nije određen sadržaj žive u mišićnom

tkivu skobalja. Koncentracija žive u mišićnom tkivu klijena varira od 0.085 mg Hg /kg u uzorcima iz Gubavča do 0.134 mg Hg /kg u uzorcima iz Zatona. Vrijednosti žive su bile ispod dozvoljenih vrijednosti. Ispitivanja sadržaja Hg u mišićnom tkivu skobalja iz rijeka: Mlava, Ibar, Veliki Timok i Drina pokazuju da ne postoji odstupanje od MDK (Milošković 2016)

Tabela 2. Rezultati sadržaja teških metala u mišićnom tkivu skobalja za četiri sezone  
Table 2. Results of heavy metal content in muscle tissue of *Chondrostoma nasus* for four seasons

Metali Vrijeme uzorkovanja	As				Cd				Hg
	zima	proljeće	ljet	jesen	zima	proljeće	ljet	jesen	jesen
Lokacije									
1.Zaton	<0.01	<0.01	0.013	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.134
2. Nedakusi	<0.01	0.016	<0.01	0.014	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.109
3. Njegnjevo	<0.01	0.012	<0.01	0.016	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.131
4. Gubavač	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.085
5. Dobrakovo	<0.01	0.014	<0.01	0.012	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.093

Sadržaj teških metala u uzorcima klijena, bio je ispod dozvoljenih granica (*Sl.list CG. 81/2009*). Na lokaciji 5. (Dobrakovo) pronađene su najveće koncentracije As (0.030 mg As/kg), dok su na ostalim lokacijama identične. Rezultati u ovom istraživanju u skladu su sa tvrdnjama Djikanović et al. (2016) i Milošković (2016). Najveći nivo žive je utvrđen u uzorcima iz Zatona 0.75 mg Hg/kg do 0.119 mg Hg/kg u uzorcima iz Gubavča. O povećanom sadržaju žive u mišićnom tkivu klijena postoje literarni podaci (Dusek et al., 2005; Bocher et al., 2010).

Tabela 3. Rezultati sadržaja teških metala u mišićnom tkivu klena za 4 sezone  
Table 3. Results of heavy metal content in muscle tissue of chub -*Squalius cephalus* for four seasons

Metali Vrijeme uzorkovanja	As				Cd				Hg
	Zima	Proljeće	Ljeto	Jesen	Zima	Proljeće	Ljeto	Jesen	Zima
Lokacije									
1.Zaton	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.075
2.Nedakusi	<0.01	<0.01	<0.01	0.014	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.080
3.Njegnjevo	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.095
4.Gubavač	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.119
5.Dobrakovo	0.030	<0.01	<0.01	0.012	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	n.a

U ovom istraživanju koncentracije teških metala su opadale u sljedećem nizu: As>Hg >Cd.

## ZAKLJUČAK

U svim analiziranim uzorcima riječne vode na svih pet lokacija, nijesu detektovane koncentracije teških metala koja bi ugrozile akvatični svijet rijeke Lim. Koncentracije As (<0.01), Cd (<0.0005), Hg (<0.0005) u vodi rijeke Lim bile su ispod praga detekcije. Kada je u pitanju sadržaj teških metala u mišićnom tkivu skobalja i klijena, najveća koncentracija As je pronađena u uzorcima *Squalius cephalus* iz Dobrakova izlovljenim iz zimskog perioda (0.030 mg As/kg). Za obje ispitivane ciprinidne vrste riba koncentracija Cd je bila

ispod praga detekcije ( $<0.01$ ) a sadžaj žive je bio veći u uzorcima *Chondrostoma nasus* (0.134 mg Hg/kg).

Pronađene vrijednosti žive (Hg) ne ugrožavaju ispitivane riblje vrste, jer su ispod graničnih vrijednosti koje predlažu domaći i međunarodni standardi i smjernice. Za *Chondrostoma nasus*, koncentracija teških metala je bila najveća u proljećnom i jesenjem periodu, a za *Squalius cephalus* u zimskom periodu.

Na onovu analiziranih uzoraka vode i koncentracije metala pronađenih u jestivom dijelu, ribe nijesu opterećene ispitivanim teškim metalima a koncentracije su ispod zakonskih vrijednosti za ribe.

Pošto su prvi put rađena istraživanja sadržaja teških metala u vodi rijeke Lim i ribljim vrstama, na području Opštine Bijelo Polje, bilo bi neophodno sprovesti više istraživanja o bioakumulaciji teških metala u ihtiofauni rijeke Lim, ali i analizirati pesticide, PAS, PCB-s u rijekama Bijelog Polja. Praćenja zagađenja rijeke Lim teškim metalima prestavlja osnovu za kontrolu zagađenja životne sredine ovog područja.

#### Zahvalnica

Zahvaljujemo se Insututu za javno zdravlje Crne Gore, u čijim laboratorijama su analizirani uzorci i takođe posebno se zahvaljujemo Mr Dijani Đurović.

#### LITERATURA

- Begum A., Krishna H.S., Khan I. (2009) Analysis of Heavy metals in Water, Sediments and Fish samples of Madivala Lakes of Bangalore, Karnataka. Department of chemistry, P.E.S School of Engineering, Hosur Road, Near Electronic city, Bangalore-100, India.
- Boscher A., Gobert S., Guignard C., Ziebel J., L'Hoste., Gutleb A.C., Cauchie H.M., Hoffmann L., Schmidt G. (2010) Chemical contaminants in fish species from rivers in the North of Luxembourg: Potential impact on the Eurasian otter (*Lutra lutra*), 785–792
- Brankov J., Milijašević D., Milovanović A. (2012) The Assesment of the surface water quality using the water pollution index. A case stady of the Timok river. (The Danube river basin). Serbia. Volume 38 issue 1.
- Dusek L., Svobodová Z., Janou D, Vykusová B, Jarkovský J, Smíd R, Pavlis. (2005) Bioaccumulation of mercury in muscle tissue of fish in the Elbe River (Czech Republic): multispecies monitoring study 1991–1996. Ecotoxicology and Environmental Safet :61(2):256-67.
- Gabarino J.R., Hayes H.C., Roth D.A., Antweiler R.C., Brinton T.I., Taylor H.E. (1995) Hevy metals in Mississipi river. Reston.
- Manoj K., Padhy P.K., Chaudhury S. (2012) Study of Heavy Metal Contamination of the River Water through Index Analysis Approach and Environmetrics. Department of Environmental Studies, Institute of Science, Visva-Bharati (Central University), Santiniketan- 731235, Birbhum, West Bengal, India.

- Milošković A. (2016) Prostorni monitoring teških metala kopnenih voda Srbije na osnovu biokumulacije u ribama. Doktorska disertacija. Univerzitet u Kragujevcu. Prirodno matematički fakultet
- Mrdak D., Šundić M., Bugarin D., Tomislav T., Lokalni akcioni plan zaštite biodiverziteta Bijelog Polja, 2018-202
- Oldewage A.A., Marh H.M. (2000) Bioaccumulation of chromium, copper and iron in the organs and tissues of *Clarias gariepinus* in the Olifants River, Kruger National Par. *Water SA* Vol. 26 No. 4. pp 569-581
- Pajević S., Borišev M., Rončević S., Vukov D., Igić R. (2008) Metal accumulation of Danube river aquatic plants, indication of chemical contamination. *Cent.Eur. J. Biol.* 3(3). 285-294.
- Radojičić B. (2008) Geografija Crne Gore. Regije. Knjiga III. DANU. Podgorica. pp 255-268
- Radojičić B. (2008) Geografija Crne Gore. Prirodna osnova. Knjiga I. DANU. Podgorica. pp129-160
- Vaithyanathan P., Ramanathan A.I., Subramanian V. (1993) Transport and distribution of heavy metals in Cauvery river. Duke University Wetland Center, 16139 Okeechobee Blvd., Loxahatchee, FL 33470, USA Volume 71, Issue 1-2, pp 13-28
- Vuković Ž., Radenković M., Stanković S.J., Vuković D. (2011) Distribution and accumulation of heavy metals in the water and sediments of the River Sava. *J. Serb. Chem. Soc.* 76 (5) 795-803
- Đikanović V., Skorić S., Gačić Z. (2016) Concentrations of metals and trace elements in different tissues of nine fish species from Međuvršje Reservoir (West Morava River Basin, Serbia).
- Milanov Đ.R., Krstić P.M., Marković V.R., Jovanović D., Baltić M.B., Ivanović S.J., Jovetić M., Baltić M.Ž. (2016) Analysis of heavy metals concentration in tissues of three different fish species included in human diet from Danube river, in the Belgrade, Serbia. *Acta Veterinaria-Beograd.*

## ODREĐIVANJE EKOLOŠKOG STATUSA REKE KRIVAJE NA OSNOVU BIOLOŠKIH, HEMIJSKIH I HIDROMORFOLOŠKIH PARAMETARA

Milica Živković<sup>1\*</sup>, Ana Anđelković<sup>1,2</sup>, Maja Novković<sup>1</sup>,  
Bojan Damjanović<sup>1,3</sup>, Nikola Banjac<sup>4</sup>, Nemanja Pankov<sup>1</sup>,  
Šandor Šipoš<sup>1</sup>, Sonja Pogrmic<sup>1</sup>, Branko Miljanović<sup>1</sup>,  
Dušanka Cvijanović<sup>1</sup>, Snežana Radulović<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Departman za biologiju i ekologiju, Prirodno-matematički fakultet, Univerzitet u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 2, 21000 Novi Sad, Srbija,*  
*Email: [milica.zivkovic@dbe.uns.ac.rs](mailto:milica.zivkovic@dbe.uns.ac.rs)*

<sup>2</sup> *Institut za zaštitu bilja i životnu sredinu, Teodora Drajzera 9, Beograd, Srbija*

<sup>3</sup> *Visoka tehnološka škola strukovnih studija, Hajduk Veljkova 1, Šabac, Srbija*

<sup>4</sup> *Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 6, Novi Sad, Srbija*

### REZIME

Veoma važan korak u implementaciji Okvirne Direktive Evropske unije o vodama i daljem monitoringu reka u Republici Srbiji je utvrđivanje bioloških, hidromorfoloških, kao i fizičko-hemijskih parametara vodnog tela. Cilj ovog rada bio je određivanje ekološkog statusa reke Krivaje na osnovu recentne akvatične i semiakvatične vegetacije, fizičko-hemijskih i hidromorfoloških karakteristika, kao i utvrđivanje korelacije makrofitske vegetacije u odnosu na konkretne hidromorfološke i opšte fizičko-hemijske parametre kvaliteta staništa. Za većinu istraživanih deonica na reci Krivaju u odnosu na HMS (klasu izmene staništa) utvrđeno je da pripadaju modifikovanom vodotoku, dok u odnosu na HQA (klasa stanišnog diverziteta) sve istraživane deonice se svrstavaju u vrlo nisku kategoriju. Na istraživanim lokalitetima zabeleženo je ukupno 42 akvatične i semiakvatične biljnih vrsta i na većini lokaliteta utvrđen je dobar i bolji ekološki potencijal. Set relevantnih fizičko-hemijskih varijabli objasnio je 15 % ukupne varijanse vegetacijskih podataka, dok su hidromorfološki parametri kvaliteta staništa objasnili svega 7% varijabilnosti makrofitske vegetacije.

KLJUČNE REČI: reka Krivaja, ekološki status, makrofite, HQA, HMS

## DETERMINATION OF THE ECOLOGICAL STATUS OF KRIVAJA RIVER BASED ON BIOLOGICAL, CHEMICAL AND HYDROMORPOLOGICAL PARAMETERS

### ABSTRACT

A crucial step in the implementation of the EU Water Framework Directive (WFD) and further monitoring of rivers in the Republic of Serbia is determining their biological, hydro-morphological and physico-chemical parameters. The aim of this paper was to determine the ecological status of Krivaja River, based on its aquatic and semi-aquatic vegetation, physico-chemical and hydro-morphological characteristics and to determine the correlation between the macrophyte vegetation and the chosen hydro-morphological and general physico-chemical habitat quality parameters. For the majority of the analysed river sections of the Krivaja River it was shown that they are a modified waterbody, based on the HMS (Habitat Modification Score), while based on the HQA (Habitat Quality Assessment) all of the studied sections are classified in the very low category. A total of 42 aquatic and semiaquatic plant species were recorded along the studied river sections and good and better ecological potential was documented for most of the field sites. The dataset of the relevant physico-chemical variables explained 15% of the total variance in the vegetation data, while the hydro-morphological parameters accounted for just 7% of the macrophyte vegetation variability.

**KEYWORDS:** Krivaja river, ecological status, macrophytes, HQA, HMS

### UVOD

Okvirna Direktiva Evropske unije o vodama (*Water Frame Directive*, WFD, 2000/60/EC) predstavlja najznačajniji zakonski instrument u oblasti monitoringa i utvrđivanja statusa vodenih ekosistema i kvaliteta voda. Direktivom se uvodi koncept „ekološkog statusa“, odnosno „ekološkog potencijala“ (Bogdanović, 2005) i ekološki status voda se procenjuje na osnovu različitih akvatičnih grupa organizama, pri čemu svaka od tih grupa mora biti procenjena ponaosob (Haase i sar, 2013). Ekološki status predstavlja “odraz kvaliteta strukture i funkcije akvatičnih ekosistema”. Direktivom se, takođe, zahteva hidromorfološku karakterizaciju svih površinskih voda, postavljajući biotu u stanišni i fizički kontekst (Rowan, 2005). Ekološki status određuje se na osnovu parametara razvrstanih u sledeće elemente kvaliteta: biološke, hemijske i fizičko-hemijske, kao i hidromorfološke koji su od značaja za biološke elemente za datu kategoriju površinske vode i dati tip vodnog tela površinskih voda (Sl. glasnik RS, br. 74/2011). Novije studije pokazuju da su razvoj i distribucija makrofita zavise i od hidromorfoloških parametara, koji su, sa druge strane, uslovljeni geologijom sliva i fizičkom degradacijom (Baattrup-Pedersen i Riis, 1999). Monitoring tekućih voda u prošlosti je bio fokusiran uglavnom na hemijske parametre i beskičmenjake dna, Direktiva širi taj fokus i implicitno zahteva da staništa budu povezana sa biotom, zahtevajući tako i povezanost makrofita sa fizičkim izmenama staništa (Logan i Furse, 2002). Još uvek nije sigurno koji hidrološki i hidromorfološki faktori imaju najveći uticaj na različite grupe organizama koji se koriste za procenu ekološkog statusa prikazanog biološkim indeksima kvaliteta (Springe i sar, 2010).

Cilj rada bio je određivanje ekološkog statusa reke Krivaje na osnovu recentne akvatične i semiakvatične vegetacije, fizičko-hemijskih i hidromorfoloških karakteristika, kao i utvrđivanje korelacije makrofitske vegetacije u odnosu na konkretne hidromorfološke i opšte fizičko-hemijske parametre kvaliteta staništa.

## MATERIJALI I METODE

### Istraživano područje

Reka Krivaja je najduže prirodno vodno telo, dužine 109 km, koje se celom svojom dužinom nalazi na teritoriji AP Vojvodine. Krivaja je posle Dunava i Tise najveći prirodni površinski vodotok u Bačkoj (Dalmacija, 2008). Dobila je ime po svom krivudavom toku. Reka Krivaja se uliva u Veliki bački kanal između Srbobrana i Turije, na nadmorskoj visini od 76 m. Prema podeli rečnih slivova RHMZ (Republički hidrometeorološki zavod) reka Krivaja pripada slivu Dunava (Slika 1). Prvi radovi na vodotoku Krivaja izvodili su se 1886. godine kada je prvi put prokopan kanal od Lovćenca do mesta Pačir. Narednih godina vršeno je proširivanje kanala, a već 1902. godine dolazi do prvog čišćenja tog sistema pri čemu je prokopana današnja trasa samo sa manjom dimenzijom (dno 1 m, nagib kosine 0,75), a u periodu od 1957-1960. godine izgrađeni su mostovi, propusti, kaskade i drugi objekti duž celog kanala čime je uspostavljena regulacija čitavog sistema (Dalmacija, 2008). Važan segmenta vodotoka Krivaje predstavljaju akumulaciona jezera od kojih je najveća i svakako najznačajnija akumulacija, jezero „Zobnatica“. Veštačka akumulacija Zobnatica je formirana u najnižem delu doline reke Krivaje izgradnjom zemljane brane dužine 296 m i visine 7 m. Snabdevanje vodom akumulacije najvećim delom je od reke Krivaje (Dalmacija, 2008). Na osnovu dosadašnjih rezultata monitoriga vode vodotoka, ustanovljeno je da je kvalitet vode Krivaje ne odgovara propisanoj kategoriji za ovaj tip vodotokova, što na prvom mestu posledica ulivanja neprečišćenih komunalnih i industrijskih otpadnih voda. Na osnovu toga voda reke Krivaje je okarakterisana kao veoma lošeg kvaliteta, odnosno, kvaliteta koji svojim kvalitetom nepovoljno deluje na životnu sredinu. Zagađenje koje potiče sa teritorije grada Bačka Topola u velikoj meri je degradiralo akvatične zajednice vodotoka Krivaje, pri čemu je 2003. godine ova pojava proglašena ekološkom katastrofom (Dalmacija, 2008).



Slika 1. Sliv reke Dunava (<http://www.hidmet.gov.rs>)  
Figure 1. The Dunav river basin (<http://www.hidmet.gov.rs>)

### Prikupljanje podataka o makrofitama, hidromorfološkim i fizičko-hemijskim karakteristikama

Terenska istraživanja obavljena su u periodu od 2013. do 2015. godine, u toku letnjih i jesenjih meseci. Podaci o makrofitama prikupljeni su na terenu u toku vegetacione sezone. Vegetacijski snimci su uzimani prema LEAFPACS terenskom protokolu (Willby, 2008). Deteriminacija biljnog materijala je vršena prema Josifović ed. (1970-1977), Sarić ed. (1986, 1992) i Javorka i Csapody (1975). Ukupan broj taksona makrofita je prikazan kao indeks ekološkog potencijala prema Pravilniku o parametrima ekološkog i hemijskog statusa površinskih voda i parametrima hemijskog i kvantitativnog statusa podzemnih voda (Sl. glasnik RS, br. 74/2011).

Podaci za hidromorfološke karakteristike reke Krivaje su prikupljeni u skladu sa standardnom metodom River Habitat Survey (RHS). U okviru terenskih istraživanja urađeno je devet RHS deonica na teritoriji reke Krivaje. Prilikom istraživanja obrađeno je po 10 tačaka (lokaliteta) za svaku RHS deonicu. Geopozicioniranje i navigacija je vršena primenom GPS uređaja GARMIN.

Istraživani lokaliteti su:

1. Stari Žednik, uzvodno od Zobnatice (RHS 1);
2. Bačka Topola 1, nizvodno od Zobnatice (RHS 2);
3. Bačka Topola 2, uzvodno od industrijske zone (RHS 3);
4. Bačka Topola 3, industrijska zona (RHS 4);
5. Mali Idoš (RHS 5);
6. Feketić (RHS 6);
7. Uzvodno od Srbobrana (RHS 7);
8. Srbobran (RHS 8) i
9. Ušće u DTD (RHS 9).

River Habitat Survey (RHS) predstavlja metodu za karakterizaciju i procenu fizičkih karakteristika tekućih voda u najširem smislu (Radulović i Teodorović, 2011). RHS metoda je već korišćena u različite svrhe: procena uticaja na životnu sredinu (EIA), postavljanje ciljeva i vođenje statistike u vezi vodomeđa, monitoring i post-projektna procena, nacionalno i regionalno izveštavanje, pothranjivanje SERCON softvera i procena rasprostranjenosti određenih akvatičnih vrsta na osnovu njihovog staništa (Raven i sar, 1998). HMS predstavlja modifikacioni skor sa devet podskupova i definiše stepen veštačkih promena, odnosno izmenjenost rečnog korita i obala. Primena HMS može biti korisna za analizu 'pre i posle' fizičkih promena rečnog korita i obala (Raven i sar, 1998). Rangiranje se vrši prema pravilima i na osnovu utvrđenog sistema bodovanja. Veće vrednosti HMS odražavaju više izmena na rečnoj deonici. HMS skor je nezavistan od tipa reke, zbog čega se može iskoristiti za opis veštačkih promena bez ograničenja. HMS skor pruža uvid u vezu između raznovrsnih fizičkih struktura i obima veštačkih, ograničavajućih faktora (Raven i sar, 1998). HQA skor predstavlja diverzitet staništa i definiše isti deo reke u hidromorfološkom smislu, ukoliko se delovi reke nalaze na istom terenu, npr. dve



ravničarske reke. Ne može se vršiti poređenje planinske i ravničarske reke. Za obradu HMS i HQA skorova korišćen je SERCON softver, koji je razvijen na Departmanu za biologiju i ekologiju, Prirodno-matematičkog fakulteta Univerziteta u Novom Sadu (Ovuka i sar, 2015, <http://sercon.pmf.uns.ac.rs/>).

Merenje fizičko-hemijskih parametara kvaliteta vode vršeno je na terenu na reci Krivaji za 2013. i 2015. godinu. Na deonicama RHS 1, RHS 2, RHS 4 i RHS 9 fizičko-hemijski parametri su mereni 2015. godine, dok su 2013. godine mereni fizičko-hemijski parametri na deonicama: RHS 3, RHS 5, RHS 6, RHS 7, RHS 8 i RHS 9.

Merenja parametara su vršena na sledeći način:

1. COD (HPK, Hemijska potrošnja kiseonika), BOD (BPK, Biološka potrošnja kiseonika), TOC (Ukupni organski ugljenik), TSS (Ukupne suspendovane materije), SUR (Površinski aktivne materije) i NO<sub>3</sub> (Nitratni azot) su određivani pomoću uređaja PASTEL-UV Field/lab marke SECOMAM;
2. pH, elektroprovodljivost, TDS i temperatura vode su mereni Kombinovanim uređajem za merenje pH, elektroprovodljivosti, TDS, temperature uređajem Hanna HI991301;
3. DO (masena koncentracija O<sub>2</sub>), Saturacija i temperatura vode su određivani uređajem Oximeter Hanna HI9146-10;
4. Alkalitet vode je određen pomoću HANNA terenskog seta Hi-93755-\*1 Alkalinity reagents.

Prema Pravilniku reka Krivaja je svrstana u TIP 5 – Vodotoci područja Panonske nizije, izuzev vodotoka svrstanih u TIP 1. Određivanje klase ekološkog statusa i granice klasa ekološkog potencijala za urađeno je prema važećem Pravilniku o parametrima ekološkog i hemijskog statusa površinskih voda i parametrima hemijskog i kvantitativnog statusa podzemnih voda (Sl. glasnik RS, br. 74/2011). Ako vrednost parametara ekološkog statusa odgovara vrednosti na granici između klasa, vodno telo se klasifikuje u lošiju klasu.

#### Softverska obrada podataka

Za obradu HMS i HQA skorova korišćen je SERCON softver, koji je razvijen na Departmanu za biologiju i ekologiju, Prirodno-matematičkog fakulteta Univerziteta u Novom Sadu (Ovuka i sar, 2015). Sve ordinacione i propratne metode obavljene su u programskom paketu CANOCO 4.5 (ter Braak i Šmilauer, 2002).

## REZULTATI I DISKUSIJA

### Bološki parametri kvaliteta staništa – makrofite

Uzimajući u obzir makrofite kao indikatore ekološkog statusa reke Krivaje posmatran je indeks propisan Pravilnikom o parametrima ekološkog i hemijskog statusa površinskih voda i parametrima hemijskog i kvantitativnog statusa podzemnih voda (Sl. glasnik RS, br. 74/2011), ukupan broj taksona.

Tabela 1. Prisustvo, ukupan broj akvatičnih i semiakvatičnih biljaka na devet deonica reke Krivaje  
Table 1. The presence, total number of aquatic and semiaquatic plants in nine sections of Krivaja river

Naziv vrste	RHS1	RHS2	RHS3	RHS4	RHS5	RHS6	RHS7	RHS8	RHS9
<i>Ailanthus altissima</i> (Mill.) Swingle <sup>1</sup>								*	
<i>Ambrosia artemisiifolia</i> L. <sup>1</sup>									
<i>Amorpha fruticosa</i> L. <sup>1</sup>			*	*			*	*	
<i>Artemisia vulgaris</i> L.				*					
<i>Berula erecta</i> (Huds.) Coville	*								
<i>Bidens tripartita</i> L.	*							*	
<i>Butomus umbellatus</i> L.			*						
<i>Calystegia sepium</i> (L) R Br subsp <i>sepium</i>	*	*				*	*	*	*
<i>Carex riparia</i> Curtis	*	*							
<i>Ceratophyllum demersum</i> L subsp <i>demersum</i>	*	*	*		*	*	*	*	*
<i>Conyza canadensis</i> (L.) Cronquist <sup>1</sup>		*				*		*	
<i>Echinochloa crus-galli</i> (L.) Beauv. <sup>1</sup>					*	*	*		
<i>Galium palustre</i> L.	*	*							
<i>Glyceria maxima</i> (Hartman) Holmberg			*	*					*
<i>Humulus lupulus</i> L.									
<i>Hydrocharis morsus-ranae</i> L.									*
<i>Iris pseudacorus</i> L. <sup>2</sup>					*				
<i>Lemna gibba</i> L.					*	*		*	*
<i>Lemna minor</i> L.					*	*	*	*	*
<i>Lemna trisulca</i> L.	*						*		*
<i>Lycopus europaeus</i> L.	*	*		*	*	*	*	*	*
<i>Mentha aquatica</i> L.	*	*						*	*
<i>Mentha longifolia</i> L.					*		*		
<i>Phragmites australis</i> (Cav) Trin ex Steudel	*	*		*		*	*	*	*
<i>Polygonum lapathifolium</i> L.						*			
<i>Polygonum persicaria</i> L.	*	*					*	*	*
<i>Potamogeton crispus</i> L.		*							*
<i>Potamogeton pectinatus</i> L.			*		*	*		*	*
<i>Reynoutria japonica</i> Houtt. <sup>1</sup>								*	
<i>Rubus caesius</i> L.									
<i>Rumex conglomeratus</i> Murray	*	*							*
<i>Rumex hydrolapathum</i> Hudson						*			
<i>Salvinia natans</i> (L) All									*
<i>Scirpus lacustris</i> L.	*								
<i>Sium latifolium</i> L.				*			*	*	*
<i>Solanum dulcamara</i> L.		*			*				*
<i>Sparganium erectum</i> L. subsp <i>erectum</i>		*	*	*	*	*			*
<i>Spirodela polyrhiza</i> (L) Schleiden							*		
<i>Trapa natans</i> L. <sup>2</sup>									*
<i>Typha angustifolia</i> L.							*	*	
<i>Typha latifolia</i> L.	*				*			*	*
<i>Vallisneria spiralis</i> L. <sup>1</sup>						*			
Ukupan broj vrsta:	14	13	6	7	11	13	13	17	20
Klasa prema Pravilniku	II	II	IV	IV	II	II	II	I	I

<sup>1</sup> invazivne vrste prema Lazarević i sar, 2012

<sup>2</sup> zaštićene vrste prema Pravilniku o proglašenju i zaštiti strogo zaštićenih i zaštićenih divljih vrsta biljaka i životinja ("Sl. glasnik RS", br. 36/09)

Poredeći deonice prema parametru ukupan broj taksona koji se primenjuje prema Pravilniku (Sl. glasnik RS, br. 74/2011), kada su makrofite u pitanju, deonice RHS 8 i RHS 9 pripadaju I klasi i prikazuju dobar i bolji ekološki potencijal. Upravo te dve deonice, posebno deonica 9 se odlikuju najvećim bogatstvom akvatične i semiakvatične vegetacije. Najbolje ocenjena deonica je deo reke Krivaje koja se uliva u Kanal DTD, između Turije i Srbobrana. Deonice RHS 1, RHS 2, RHS 5, RHS 6 i RHS 7 pripadaju II klasi, one takođe pokazuju dobar i bolji ekološki potencijal prema klasifikaciji Pravilnika (Sl. glasnik RS, br. 74/2011). Najslabiji ekološki potencijal, tačnije, loš ekološki potencijal prikazuju deonice RHS 3 i RHS 4, pripadaju IV klasi (Tabela 1). Najslabije ocenjene deonice prema pravilniku su deonice Bačka Topola 2 i Bačka Topola 3, koja se nalazi u industrijskog zoni grada, koja se upravo smatra najproblematičnijom tačkom na reci Krivaji. Zabeleženo je prisustvo dve zaštićene vrste prema Pravilniku ("Sl. glasnik RS", br. 36/09): *Iris pseudacorus* na deonici RHS 5, dok je na deonici RHS 9 zabeleženo prisustvo vrste *Trapa natans*.

Na celom toku reke Krivaje zabeleženo je prisustvo većeg broja invazivnih vrsta. Zabeleženo je ukupno sedam invazivnih vrsta prema Lazarević i saradnicima iz 2012. godine. Invazivne vrste na toku reke Krivaje koje su zabeležene su: *Ailanthus altissima*, *Ambrosia artemisiifolia*, *Amorpha fruticosa*, *Conyza canadensis*, *Echinochloa crus-galli*, *Reynoutria japonica* i *Vallisneria spiralis*. Vrsta *Reynoutria japonica* Houtt. je kategorisana kao jako invazivna. Vrste ovog roda smatraju se najproblematičnijim invazivnim vrstama koje se u okviru svog introdukovanog areala na području Evrope i Severne Amerike šire veoma intenzivno, zauzimajući brojna staništa (prirodna i antropogeno uslovljena) (Andelković i sar, 2013).

#### Fzičko-hemijski parametri kvaliteta staništa

Prema važećem Pravilniku o parametrima ekološkog i hemijskog statusa površinskih voda i parametrima hemijskog i kvantitativnog statusa podzemnih voda (Sl. glasnik RS, br. 74/2011), može se reci da je kvalitet vode na reci Krivaji na svim mernim deonicama relativno stalani i relativno loš.

U odnosu na pH režim, voda pripada V klasi, na dve merne deonice, RHS 7 sa vrednošću 8,81 i RHS 9 sa vrednošću 9,92. Rezultati za rastvoren kiseonik (DO) su relativno bili očekivani, izuzetak je deonica RHS 7, uzvodno od Srbobrana, sa vrednošću 15,6 koja pripada I klasi za ovaj parametar. Vrednosti BPK (biološke potrošnje kiseonika) svrstavaju reku Krivaju pretežno u V klasu, dok zabeležene vrednosti na RHS 1 i RHS 2 deonici pripadaju II klasi, a deonica RHS 4 pripada, čak, I klasi. Prema vrednostima ukupnog organskog ugljenika (TOC) istraživane deonice na reci Krivaji svrstane su u IV i V klasu. Prema sadržaju nitrata, reka se na svim mernim deonicama nalazi u IV i V klasi. Ova pojava se može objasniti prisustvom obradivih površina uz samu obalu reke. Vrednosti za ukupan rastvoreni fosfor su svrstane od II do V klase, sa najvišim vrednostima za deonice RHS 7 sa vrednošću 1,73 i za RHS 8 sa vrednošću 1,71 (Tabela 2).

Tabela 2. Klasifikacija kvaliteta vode na devet deonica reke Krivaje  
 Table 2. Water quality classification in nine sections of Krivaja river

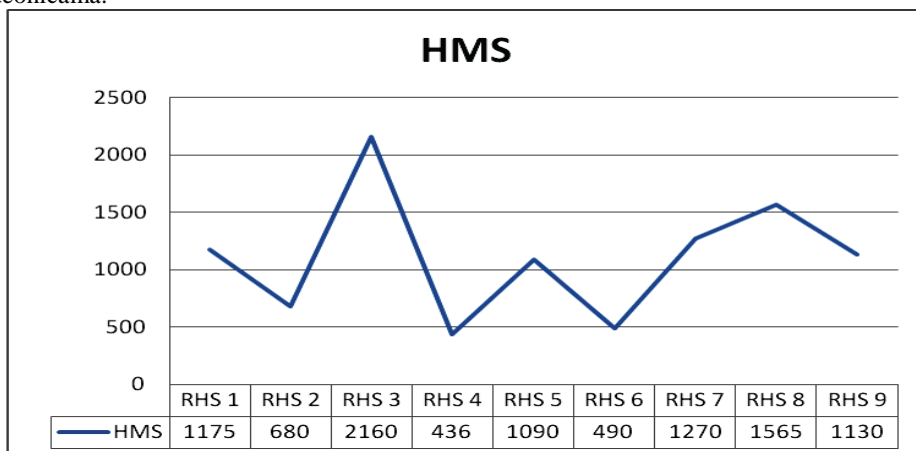
PARAMETRI	RHS 1	RHS 2	RHS 3	RHS 4	RHS 5	RHS 6	RHS 7	RHS 8	RHS 9
pH							V		V
Rastvoreni kiseonik (DO)	III	IV	V	V	V	V	I	V	III
BOD (BPK)	II	II	V	I	V	V	V	V	IV
Ukupni organski ugljenik (TOC)	IV	IV	IV	V	IV	IV	V	IV	IV
Nitrati (NO <sub>3</sub> -N)	-	-	V	-	IV	IV	IV	V	-
Ukupni rastvoreni fosfor (P)	II	II	III	V	-	-	IV	V	IV

#### Hidromorfološki parametri kvaliteta staništa

Na osnovu dobijenih podataka o različitim karakteristikama deonica, omogućena je procena kvaliteta staništa reke Krivaje korišćenjem RHS metode, HMS i HQA skora u okviru SERCON softvera. Analize devet RHS deonica predstavljale su osnovu za komparativnu analizu hidromorfoloških karakteristika.

#### Habitat modification score (HMS) – klasa izmene staništa

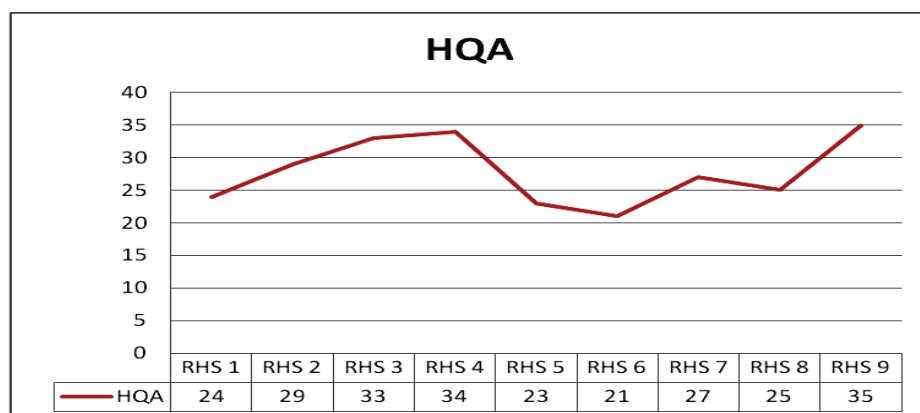
Prema kategorizaciji HMS, status dve deonice (RHS 4 i RHS 6) je srednji i pripada III kategoriji (Slika 2). Za obe deonice je podskor mostovi (*Bridges sub-score*) dominantan u oceni krajnjeg HMS. Pet deonica, među kojima su: RHS 1, RHS 2, RHS 5, RHS 7 i RHS 9 pripadaju IV kategoriji i imaju izmenjen status. Najnižu kategoriju HMS imaju deonice RHS 3 i RHS 8. Pomenute deonice imaju loš status i svrstavaju se u V kategoriju (Slika 2). Na ovako loš status HMS najviše utiču promene u koritu reke koje su zabeležene na ovim deonicama.



Slika 2. Grafički prikaz HMS skorova po deonicama  
 Figure 2. Graphic representation of HMS scores by sections

### Habitat quality assessment score (HQA) – klasa stanišnog kvaliteta

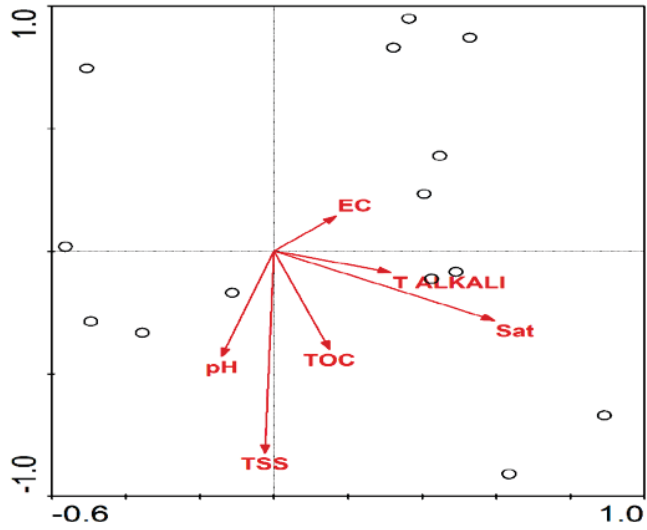
Svih devet ispitivanih deonica nalaze se u petoj kategoriji - vrlo niskoj kategoriji sa HQA skorom preko 20 (Slika 3). Struktura vegetacije na obali umnogome utiče na nisku kategoriju HQA skora, kao i tip toka I tip supstrata u rečnom koritu koji je dužinom celog toka reke jednoličan. Najviše vrednosti HQA skora ima deonica RHS 9, ušće reke Krivaje u kanal DTD, jer je obala u tom delu zarasla u bagremac.



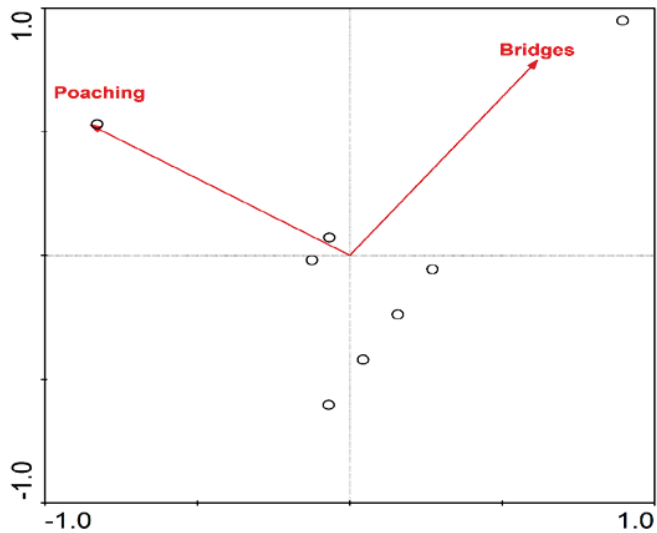
Slika 3. Grafički prikaz HQA skorova po deonicama  
Figure 3. Graphic representation of HQA scores by sections

Prema rezultatima CCA analize, kao relevantne fizičko-hemijske varijable izdvojile su se: saturacija, pH, elektroprovodljivost, ukupan alkalitet, ukupne suspendovane materije i ukupan organski ugljenik (Slika 4). Ovaj set sredinskih varijabli je objasnio 15 % ukupne varijanse vegetacijskih podataka. Navedeni rezultati ukazuju na značajan uticaj procesa eutrofizacije.

Hidromorfološki parametri kvaliteta staništa objasnili su svega 7% varijabilnosti makrofitske vegetacije (Slika 5). Kao najsignifikantniji faktori izdvojili su se HMS pod-skor koji ocenjuje značajnost mostova na reci („Bridges”) i pod-skor koji se odnosi na antropogenu ugaženost terena („Poaching”). Prema dobijenim rezultatima se može zaključiti da neposredno prisustvo i ljudska aktivnost duž obalske linije ima podjednaku značajnost za razvoj makrofitske vegetacije kao i krupni objekti kao što su mostovi.



Slika 4. Rezultati CCA analize za fizičko-hemijske parametre  
 Figure 4. CCA analysis diagram of the physical-chemical parameters



Slika 5. Rezultati CCA analize za hidromorfološke karakteristike staništa  
 Figure 5. CCA analysis diagram of the hydromorphological parameters of habitat quality

## ZAKLJUČAK

Prema podacima koji su prikupljeni na terenu za makrofitsku vegetaciju na većini istraživanih lokaliteta na reci Krivaji utvrđen je dobar i bolji ekološki potencijal prema ukupnom broju makrofita, izuzetak su dve deonice koje se nalaze na teritoriji grada Bačka Topola, u blizini industrijske zone, koje imaju loš ekološki potencijal. Na tim deonicama je primećen i veliki broj invazivnih semiakvatičnih biljnih vrsta, takođe prisustvo invazivnih vrsta je zabeleženo na celom toku reke Krivaje. Nasuprot invazivnim vrstama, zabeležene su samo dve vrste koje su zaštićene prema važećem Pravilniku. Kvalitet vode reke Krivaji u odnosu na fizičko-hemijske parametre na svim mernim deonicama je relativno stalni i spada u loš. U odnosu na klase stanišnog diverziteta devet deonica na reci Krivaji podeljeno je u tri kategorije. U treću kategoriju "Modifikovan vodotok srednjeg stanišnog diverziteta" ulaze dve deonice. Najviše istraživanih deonica, pet ukupno, pripadaju četvrtoj kategoriji "Predominantno neizmenjen vodotok veoma niskog stanišnog diverziteta", dok preostale dve deonice pripadaju petoj kategoriji "Izuzetno modifikovan vodotok veoma niskog stanišnog diverziteta". U odnosu na HMS (klasu izmene staništa) utvrđeno je da reka Krivaja pripada modifikovanom vodotoku, dok u odnosu na HQA (klasa stanišnog diverziteta) se svrstava u vrlo nisku kategoriju. Set relevantnih fizičko-hemijskih varijabli objasnio je 15 % ukupne varijanse vegetacijskih podataka, dok su hidromorfološki parametri kvaliteta staništa objasnili svega 7% varijabilnosti makrofitske vegetacije.

## LITERATURA

- Andelković, A., Živković, M., Novković, M., Pavlović, D., Marisavljević, D., Radulović, S. (2013): Invasion pathways along the rivers in Serbia – the eastern corridor of *Reynoutria spp.* *Zaštita bilja* 64 (4) 178-188.
- Bogdanović, S. (2005): EU Waterframework Directive – Okvirna direktiva EU o vodama. Jugoslovensko Udruženje za vodno pravo, Novi Sad.
- Dalmacija, B. (2008): Analiza vode i sedimenta vodotoka reke Krivaje. Departman za hemiju, biohemiju i zaštitu životne sredine, Prirodno-matematički fakultet u Novom Sadu.
- European Commission (2000): Directive 2000/60/EC of the European Parliament and the Council of 23rd October 2000 establishing a framework for community action in the field of water policy. Official Journal of the European Communities L327: 1-72.
- Hasse, P., Hering, D., Jahing, S.C., Lorenz, A.W., Sundermann, A. (2013): The impact of hydromorphological restoration on river ecological status: a comparison of fish, benthic invertebrates, and macrophytes. *Hydrobiologia*, 704. 475-488.
- Javorka, S., Csapody, V. (1975): Icanographie der Flora des Sudostlichen Mitteleuropa. Akademiai Kiado: Budapest.
- Josifović, M. (ed) (1970-1977): Flora SR Srbije, II-IX. Srpska Akademija nauka i umetnosti: Beograd.
- Lazarević, P., Stojanović, V., Jelić, I., Perić, R., Krsteski, B., Ajtić, R., Sekulić, N., Branković, S., Sekulić, G., Bjedov, V. (2012): Preliminaran spisak invazivnih vrsta u Republici Srbiji sa opštim merama kontrole i suzbijanja kao potpora budućim zakonskim sktima. *Protection of nature* 62/1.

- Logan, P., Furse, M. (2002): Preparing for the European Water Framework Directive - making the links between habitat and aquatic biota. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 12. 425–437.
- Ovuka, M., Boon, P.J., Laketić, D., Živković, M., Novković, M., Lee, A., Radulović, S. (2015): SERCON softver. Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno-matematički fakultet, Departman za biologiju i ekologiju. <http://sercon.pmf.uns.ac.rs/SerconWeb/>
- Radulović, S., Teodorović, I. (2011): Ekologija i monitoring kopnenih voda. Metodološki priručnik. Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno-matematički fakultet, Departman za biologiju i ekologiju.
- Raven, P.J., Holmes, N.T.H., Dawson, F.H., Fox, P.J.A., Everard, M., Fozzard, I.R., Rouen, K.J. (1998): River Habitat Quality: The Physical Character of Rivers and Streams in the UK and Isle of Man. River Habitat Survey, Report No. 2. Environment Agency, Bristol, U.K.
- Sarić, M. (ed) (1986): Flora Srbije X. Srpska Akademija nauka i umetnosti: Beograd.
- Sarić, M. (ed) (1992): Flora Srbije I. Srpska Akademija nauka i umetnosti: Beograd.
- Službeni glasnik Republike Srbije br. 36/09: Pravilniku o proglašenju i zaštiti strogo zaštićenih i zaštićenih divljih vrsta biljaka i životinja.
- Službeni glasnik Republike Srbije, br. 74/011: Pravilnik o parametrima ekološkog i hemijskog statusa površinskih voda i parametrima hemijskog i kvantitativnog statusa podzemnih voda.
- Springe, G., Grinberga, L., Briede, A. (2010): Role of hydrological and hydromorphological factors in ecological quality of medium-sized lowland streams. *Hydrology research*, 41.3-44. 330-337.
- ter Braak, C.J.F., Šmilauer, P. (2002): CANOCO Reference Manual and CanoDraw for Windows User's Guide: Software for Canonical Community Ordination (version 4.5). Ithaca, NY, USA. ([www.canoco.com](http://www.canoco.com)).
- Willby, N.J. (2008): LEAFPACS: Development of a system for the classification of rivers and lakes in the UK using aquatic macrophytes. Part 1. Lakes. Report to the Environment Agency.
- Elektronski izvori: <http://sercon.pmf.uns.ac.rs/SerconWeb/>  
[http://www.hidmet.gov.rs/ciril/hidrologija/povrsinske/sliv\\_sava.php](http://www.hidmet.gov.rs/ciril/hidrologija/povrsinske/sliv_sava.php)



## EKOLOŠKE KARAKTERISTIKE MAKROFITSKE VEGETACIJE U PLAVNOM PODRUČJU REKE DRINE

Maja Novković, Bojan Damnjanović, Dijana Smailagić,  
Milica Živković, Ana Andjelković, Snežana Radulović,  
Dušanka Cvijanović

\* *Departman za biologiju i ekologiju, Prirodno-matematički fakultet, Univerzitet  
u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 2, Novi Sad,*

*Email: [maja.novkovic@dbe.uns.ac.rs](mailto:maja.novkovic@dbe.uns.ac.rs)*

\*\**Institut za zaštitu bilja i životnu sredinu, Teodora Dražera 9, Beograd,*

\*\*\**Visoka tehnološka škola strukovnih studija, Hajduk Veljkova 1, Šabac*

### REZIME

Karakteristične osobine (eng. *trait*) su morfološke, anatomske, biohemijske, fiziološke i fenološke osobine jedinki na svim nivoima organizacije. Određivanje biološkog statusa jezera je moguće uraditi pomoću podataka o akvatičnoj vegetaciji, ali i analizom ekoloških trejtova. Cilj rada je bila analiza spektra trejtova vezanih za životnu formu i fenologiju makrofitskih vrsta u šljunkarama u plavnom području donjeg toka Drine. Analizirano je devet trejtova za životnu formu i fenologiju za 27 makrofitskih vrsta, koje su evidentirane na 14 šljunkara duž plavnog područja reke Drine.

KLJUČNE REČI: Ekološki trejtovi, Akvatična vegetacije, Drina, Šljunkare, Plavne doline

## ECOLOGICAL TRAITS OF MACROPHYTIC VEGETATION ALONG THE DRINA RIVER FLOODPLAIN

### ABSTRACT

Ecological traits represents morphological, anatomical, biochemical, physiological and phenological characteristics of individuals at any organizational level. Biological status of lakes can be assessed using aquatic vegetation data, but also using the ecological trait analysis. The goal of this paper was to establish traits about life form and phenology of aquatic plants and calculate the spectrum of macrophyte traits in gravel pits along the Drina river floodplains. Nine life form and phenology traits were analysed for 27 aquatic plants that are registered in gravel pits in Crna Bara and Badinovci (the river Drina floodplain).

KEY WORDS: Ecological traits, Aquatic vegetation, the Drina River, Gravel-pit lakes,  
Floodplains

## UVOD

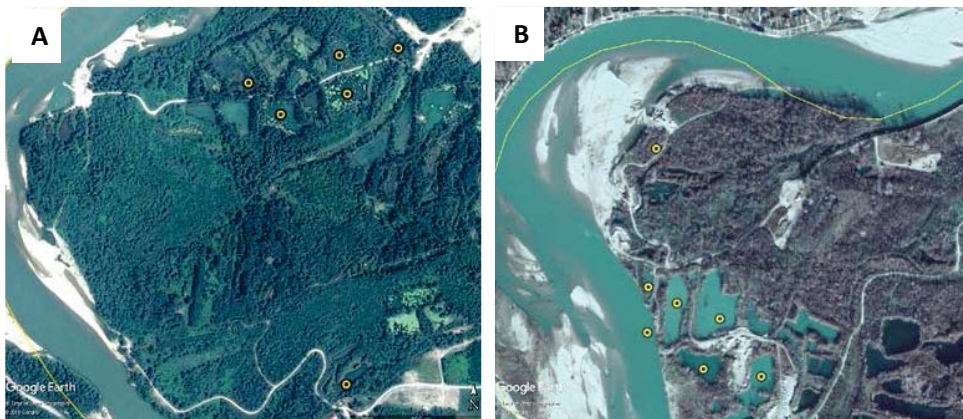
Prirodne plavne doline reka, kao i kompleksi fluvijalnih jezera i bara se smatraju jednim od najproduktivnijih ekosistema na svetu (Tockner *i sar.*, 2000). Pod pojmom jezero u širem smislu se podrazumeva kopneno vodeno telo sa stajaćom vodom (EC, 2000). Prema ovoj definiciji, šljunkare i druga veštačka i modifikovana vodna tela se ubrajaju u jezera. Ovakva vodena tela su veoma značajna, jer predstavljaju potencijalne refugijume biodiverziteta i na taj način održavaju stanišnu heterogenost rečnog sliva (Dorotvicova, 2013; Linton i Goulder, 2000). Mrtvaje, rukavci i plavna područja reka smatraju se ključnim staništima za održavanje diverziteta i produktivnosti u velikim rečnim ekosistemima (Keruzoré *i sar.*, 2013). Određivanje biološkog statusa jezera na osnovu makrofitske vegetacije je moguće uraditi pomoću analize kvalitativnog i kvantitativnog sastava vrsta na jezeru, ali i analizom trejtova (McGill *i sar.*, 2006).

Trejtovi (en. traits – karakteristike, osobine) predstavljaju sve morfološke, anatomske, biohemijske, fiziološke i fenološke osobine jedinki na svim nivoima organizacije, od ćelija, tkiva i organa do celog organizma (Hui Fu, 2014). Smatra se da trejtovi predstavljaju ključnu komponentu za razumevanje adaptacija organizama na promene u okruženju (Diaz i Carbido 2001, Diaz *i sar.* 2007, Flynn *i sar.* 2011, Roscher *i sar.* 2013). Prisustvo neke osobine ukazuje na uslove pod kojima se određena vrsta razvijala, a varijacije te osobine u ekosistemu uslovljene su varijacijama biotičkih i abiotičkih faktora različitih lokaliteta u ekosistemu (Violle *i sar.*, 2007). Izbor bioloških trejtova za analizu je veoma važan zato što nisu svi podjednako korisni u određivanju ekoloških funkcija (Vassiliki, 2012). Izbor trejtova zavisi od količine dostupnih informacija i njihove cene (Vassiliki, 2012).

Cilj rada je bilo analiza trejtova vezanih za životnu formu i fenologiju makrofitskih vrsta zabeleženih u šljunkarama u plavnom području donjeg toka Drine.

## KARAKTERISTIKE ISPITIVANOG PODRUČJA

Reka Drina nastaje spajanjem reka Tare i Pive kod Šćepan Polja u Crnoj Gori na nadmorskoj visini od 434 m, uliva se u reku Savu na visini od 78m nadmorske visine. Drina u donjem toku ima karakteristike ravničarske reke i sadrži brojne meandre, mrtvaje, prirodne brane i promene korita, kao i naslage neogenih sedimenata (debljina naslaga 2-10m). Sa ovih površina se aktivno vrši eksploatacija peska i šljunka, često nekontrolisano na proizvoljno izabranim lokacijama sa nedefinisanim uslovima eksploatacije. Izgradnjom uzvodnih akumulacija na reci Drini zalihe rečnog materijala su praktično postale neobnovljive, tako da duž donjeg toka reke postoji veliki broj napuštenih šljunkara (Studija o održivom korišćenju i zaštiti prirodnih resursa u prekograničnom području Srbija – Bosna i Hercegovina, 2014). Istraživanje je sprovedeno u donjem toku reke Drine na kopovima šljunka u okolini Crne Bare (44°52'15"N; 19°23'25"E) (Slika 1a) i Badovinaca (44°47'05"N; 19°22'10"E) (Slika 1b), (Damjanović *i sar.*, 2016).

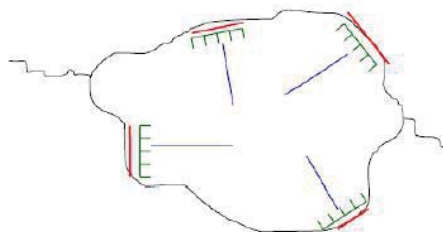


Slika 1. Šljunkare donjeg toka Drine na lokalitetima Crna Bara i Badovinci (GoogleEarth, 2018)  
 Figure 1. Gravel pits along the lower Drina in Crna Bara and Badovinci administrative units  
 (GoogleEarth, 2018)

## MATERIJAL I METODE

### Terensko prikupljanje podataka

Podaci o akvatičnoj i semiakvatičnoj vegetaciji su prikupljeni na terenu po jednom sa svake od 14 istraživanih šljunkara na dva lokaliteta. Vegetacijski snimci su uzimani prema LEAFPACS terenskom protokolu (Willby *i sar.*, 2009; Gunn *i sar.*, 2010), u skladu sa panevropskim standardom za uzorkovanje makrofitske vegetacije u jezerima (15460: 2007 Water quality-Guidance standard for the surveying of macrophytes in lakes) (CEN, 2007). Metoda se temelji na odabiru reprezentativnih sektora uz liniju obale dužine ~100 m. U okviru sektora, na svakih 20m se uzimaju snimci površine 1-9m<sup>2</sup> i to na dubinama od 25, 50, 75 i >75cm (1m). Na sredini svakog sektora se uzimaju snimci u transektu na svakih 0,5m porasta dubine, počev od 1m do dubine prostiranja makrofita (Slika 2).



Slika 2. Šematski prikaz uzorkovanja vegetacije prema LEAFPACS metodi (Willby *i sar.*, 2009).  
 Figure 2. Vegetation sampling pattern according to the LEAFPACS method (Willby *i sar.*, 2009)

### Preuzimanje podataka od *trait*-ovima

Informacije o trejtovima zabeleženih vrsta makrofita su preuzete sa *online* izvora:

- 1° TRY database - baza podataka o trejtovima koja je dostupna na internetu uz slanje zahteva i obrazloženje projekta na kome se radi. Osnivač ove baze podataka je univerzitet u Jeni, Nemačka. (<https://www.try-db.org/TryWeb/Home.php>),
- 2° Encyclopedia of Life koja sadrži Trait Bank bazu trejtova (<http://eol.org/pages/921729/data>)
- 3° Global Biodiversity Information Facility - baza podataka (<http://www.gbif.org/>).

Podaci o trejtovima su na onim mestima na kojima su nedostajale informacije u navedenim bazama podataka, dopunjene podacima iz naučnih radova.

Opisi pršljenčica (Charophyceae) i neki podaci o njihovim trejtovima pronađeni su na sajtu *Algae Base* - baza podataka specijalizovana za alge (- <http://algaebase.org/>) i u knjizi „Sistematika algi“ (Blaženčić J, 2007).

## REZULTATI I DISKUSIJA

U plavnom području reke Drine evidentirano je 27 vrsta (Tabela2) (Damnjanović *i sar*, 2016)

Proučena je grupa trejtova za životnu formu i fenologiju. U okviru ove grupe nalazi se 11 trejtova:

- 1) Forma rasta biljke (T1): obuhvata stanja koja opisuju ukorenjenost, neukorenjenost, submerznost, emerznost, flotantnost, i druge osobine stabla (uspravno stablo, poleglo stablo, razgranato, nerazgranato, submerzne ukorenjene biljke, slobodne flotantne, emerzne ukorenjene, ukorenjene flotantne itd);
- 2) Lisna heterofilija (T2): obuhvata dva stanja u zavisnosti da li je prisutna ili odsutna;
- 3) Dužinu životnog ciklusa biljke (T3): jednogodišnja, dvogodišnja i višegodišnja;
- 4) Metamorfoze izdanka (T4): broj metamorfoza;
- 5) Metamorfoze organa za skladištenje (T5): broj metamorfoza;
- 6) Kapacitet plutanja lista (T6): bez plutajućih listova, sa raširenim apikalnim grananjem ili formacijom plutajućih listova i emerzne ili prelazne vrste;
- 7) Brzina rasta biljke (T7): umereno i brzo;
- 8) Fenologija vegetativnog perioda (T8): period u kojem je biljka vegetativno aktivna;
- 9) Sposobnost ponovnog rasta nakon odvajanja od podloge ili oštećenja (T9): sposobnost i brzina reparacije
- 10) Sposobnost vegetativnog razmnožavanja (T10)
- 11) Brzina disperzije putem vegetativnog razmnožavanja (T11)

U Tabeli 1 objašnjena su moguća stanja trejtova sa njihovim numeričkim vrednostima.

Tabela 1. Trejtovi za životnu formu i fenologiju makrofita i njihova moguća stanja  
 Table 1. Life form and phenology traits of macrophytes and their possible conditions

Trejt	Objašnjenje
T1	broj tipova
T2	1-odsutna 2-prisutna
T3	1-jednogodišnje 2-jednogodišnje i višegodišnje 3-višegodišnje
T4	broj metamorfoza
T5	broj metamorfoza
T6	1-bez plutajućih listova 2-sa raširenim apikalnim grananjem ili formacijom plutajućih listova 3-emerzne ili prelazne vrste
T7	1-umereno 2-brzo
T8	period aktivnog rasta: 1-proleće i leto 2-proleće i jesen 3-leto 4-proleće, leto i jesen
T9	1-nema sposobnost reparacije 2-sporo 3-brzo
T10	1- nema 2 – ima
T11	1-nema 2-sporo 3-brzo

U bazama trejtova pronađeni su podaci za 22 od 27 navedenih vrsta, dok je ostatak informacija prikupljen iz naučnih radova i manjih baza podataka (Cronk *i sar.*, 2001; Mason, 1957; Nature Gate, 2017; Van der Valk, 2012; Go Botany, 2017). U bazama trejtova za akvatične makrofite nedostajali su podaci o trejtovima pršljenica *Chara contraria* A. Braun ex Kutz, *Chara globularis* Thuill, *Chara vulgaris* L, *Nitella gracilis* (Sm.) C. Agardh i *Nitellopsis obtusa* (Desv. in Loisel.) J. Groves koji su prikupljeni iz izvora navedenim u materijalima i metodama. U Tabeli 2 dati su podaci o trejtovima vrsta zabeleženih na šljunkarama duž toka reke Drine. Za svaku od 27 vrsta pronađen je bar neki deo potrebnih informacija, ukupno je prikupljeno 65% traženih informacija.

Na ispitivanim šljunkarama uz donji tok Drine se apsolutno dominantno javljaju submerzne akvatične makrofite, čineći 80% od ukupnog broj vrsta. Predstavnici ove grupe su vrste koje imaju i najveću pokrovnost na ispitivanim šljunkarama *Potamogeton nodosus*, *Ceratophyllum demersum*, *Myriophyllum spicatum*, *Najas marina*, ali i *Chara globularis*, *Chara contraria*. Pojava dominacije ove životne forme zabeležena je i na sličnim sistemima jezera nastalim kao kopovi šljunka u Danskoj (Søndergaard *i sar.*, 2018). Flotantna i emerzna forma rasta zastupljena je kod 4, odnosno 5 vrsta. Od toga, flotantna funkcionalna grupa je pre svega zastupljena na šljunkarama u okolini Crne Bare, sa apsolutnom dominacijom žutog lokvanja *Nuphar lutea*, koji se javlja u svim šljunkarama na pomenutom lokalitetu. Na kopovima u okolini Badovinaca flotantna funkcionalna grupa se javlja sporadično na svega dva jezera sa po jednom vrstom. Emerzne životne forme se javljaju na većini šljunkara na istraživanom području, uglavnom sa malom ukupnom pokrovnosću. Za 7 od 27 zabeleženih vrsta postoje zabeleške o pojavi lisne heterofilije.

Više od 90% zabeleženih vrsta su predstavnici višegodišnjih vrsta biljaka, s' tim da ostalih 10% vrsta mogu biti i jednogodišnje i višegodišnje, a samo jedna vrsta sočivice *Spirodela polyrhiza* je isključivo jednogodišnja, što implicira da je na ispitivanim šljunkarama uspostavljena relativno stabilna akvatična vegetacija.

Tabela 2. Trejtovi ispitivanih vrsta  
Table 2. Macrophyte ecological traits

Vrsta\oznaka trejta	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11
<i>Alisma plantago-aquatica</i>	3	2	3	2	2	3	1	2	2	2	1
<i>Callitriche palustris</i>	2	2	2	1	1	2	2	4	1	2	2
<i>Ceratophyllum demersum</i>	2	1	3	1	1	1	2	3	2	2	3
<i>Chara contraria</i>	1	1	2	1							
<i>Chara globularis</i>	1	1	2	1							
<i>Chara vulgaris</i>	1	1	2	1	2					2	
<i>Elodea canadensis</i>	2		3	1	1	3	2	1	2	2	3
<i>Elodea nuttallii</i>	1		3	1	1					2	
<i>Myriophyllum spicatum</i>	2		3	1	1	3				2	
<i>Myriophyllum verticillatum</i>	1		3	2	2	3				2	
<i>Najas marina</i>	1		1							2	
<i>Najas minor</i>	1		1				2	1	1	2	2
<i>Nitella gracilis</i>	1	1	2	1							
<i>Nitellopsis obtusa</i>	1	1	2	1				2			
<i>Nuphar lutea</i>	2	2	3	1	1	2	2	1		2	3
<i>Phragmites australis</i>	6	1	3	2	2		2	1	2	2	3
<i>Potamogeton crispus</i>	1		2	2	2	3	2	4	1	2	2
<i>Potamogeton natans</i>	2	2	3	1	1	2	2	3	1	2	3
<i>Potamogeton nodosus</i>	2	2	3	2	2		2	3	1	2	3
<i>Potamogeton pectinatus</i>	1		3	2	2	2			2	2	
<i>Potamogeton perfoliatus</i>	1		3	2	2	3			2	2	
<i>Sagittaria sagittifolia</i>	3	2	3	1	1	3			2	2	
<i>Scirpus lacustris</i>	3		3								
<i>Sparganium erectum</i>	2		3	2	2	3			2	2	
<i>Spirodela polyrhiza</i>	1		3	2	1				2	2	
<i>Utricularia vulgaris</i>	2	2	3	1	1	2			2	2	
<i>Vallisneria spiralis</i>	1	1	3	1	1				2		

Većina vrsta se pričvršćuje za podlogu i prezimljuje u vidu rizoma. Pored toga većina vrsta razvija i turione, metamorfozirane pupoljke koji se na kraju vegetacionog perioda odvajaju od biljke, spuštaju na dno, preživljavaju zimu i u narednoj sezoni razvijaju u novu biljku. Ove karakteristike, kao i činjenica da većina zabeleženih biljaka ima sposobnost umerenog ili brzog vegetativnog razmnožavanja čini šljunkare potencijalnim rezervoarima biodiverziteta (Keruzore *i sar.*, 2013) rečnog ekosistema donjeg toka Drine.

Ispitivane šljunkare donjeg toka Drine bivaju bar jednom godišnje zahvaćene plavnim talasom. Na istraživanim lokalitetima se u toku vegetacione sezone javlja bar jedan plavni talas (1-5), kao i u periodu prolećnog mešanja vode, u toku mart-april. Plavni talasi sa sobom iz šljunkara sa sobom nose vegetacione propagule biljaka u glavni rečni tok, ali i u druge delove plavne doline.

## ZAKLJUČAK

Izvedeni su trettovi za životnu formu i fenologiju za 27 makrofitskih vrsta. Analizom je utvrđeno da je uspostavljena relativno stabilna makrofitska vegetacija na području novonastalih šljunkara u donjem toku Drine, sa pretežnom dominacijom višegodišnje submerzne vegetacije pričvršćene za podlogu.

Većina biljnih vrsta zabeleženih na ispitivanim šljunkarama ima sposobnost vegetativnog razmnožavanja, kao i razvoja specifičnih pupoljaka – turiona, koji preživljavaju zimske periode. Ova odlika zabeleženih makrofita u kombinaciji sa plavnim talasima kojima biva zahvaćeno istraživano područje čini sisteme malih veštačkih jezera nastalih kao posledica ekstrakcije šljunka potencijalnim rezervoarima biodiverziteta pre svega makrofitske vegetacije, ali i ostalih grupa hidrobionata donjeg toka reke Drine.

### Zahvalnica

Rad je realizovan u sklopu Projekata Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije br. 43002 i br. 173030.

### LITERATURA:

- Blaženčić J. (2007). Sistematika algi, NNK International, Beograd
- Cronk JK and Siobhan Fennessy M. (2001). Wetland plants – biology and ecology. Lewis publishers, Boca Raton
- Diaz S and Cabido M. Vive la difference: plant functional diversity matters to ecosystem processes ,Trends in ecology & evolution, 16(2001): 646–655.
- Diaz S, Lavorel S, de Bello F, Quetier F, Grigulis K, and Robson TM. Incorporating plant functional diversity effects in ecosystem service assessments, Proceedings of the National Academy of Sciences, 104(2007): 20684–20689.
- Dorotvicova C. Man-made canals as a hotspot of aquatic macrophyte biodiversity in Slovakia, Limnologica, 43 (2013) 277– 287.
- Enciclopedia of Life <http://eol.org/pages/921729/data> [6-8-2017]
- European Committee for Standardization (CEN). (2007). Water Quality – Guidance standard for the surveying of macrophytes in lakes. prEn 15460.
- Flynn D, Mirotnick N, Jain M, Palmer MI and Naem S. Functional and phylogenetic diversity as predictors of biodiversity-ecosystem-function relationships, Ecology, 92(2011): 1573–1581.
- Global Biodiversity Information Facility <http://www.gbif.org/>
- Go Botany <https://gobotany.newenglandwild.org/species/utricularia/vulgaris/> [9-8-2017]
- Google Earth (2017). <https://www.google.com/earth/>
- Guiry MD and Guiry GM. (2017). AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. <http://www.algaebase.org> [6-8-2017]
- Gunn IDM, O’Hare M, Carvalho L, Roy DB, Rothery P and Darwell AM. Assessing the condition of lake habitats: a test of methods for surveying aquatic macrophyte communities, Hydrobiologia, 656 (2010): 87–97.
- Hačiahmetović S, Balta V, Fuscip M, Vakaoac B, Ristić Vakaoac V, Ratknić M, Aleksić A, Ačemović M. (2014). Studija o održivom korišćenju i zaštiti prirodnih resursa u prekograničnom području Srbija – Bosna i Hercegovina

- Hui Fu, Jiayou Zhong, Guixiang Yuan, Leyi Ni, Ping Xie and Te Cao. Functional traits composition predict macrophytes community productivity along a water depth gradient in a freshwater lake, *Ecology and Evolution*, 4(9) (2014): 1516–1523.
- Keruzoré A, Willby N, and Gilvear D. The role of lateral connectivity in the maintenance of macrophyte diversity and production in large rivers, *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 23(2013): 301–315.
- Linton S and Goulder R. Botanical conservation value related to origin and management of ponds. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 10(2000) 77–91.
- Mason HL. (1957). *A flora of the marshes of California*, University of California Press, Berkeley and Los Angeles
- McGill BJ, Enquist BJ, Weiher E, Westoby M. Rebuilding community ecology from functional traits, *Trends in ecology & evolution*, 21 (4) (2006): 178-185.
- Nature Gate <http://www.luontoportti.com/suomi/en/kukkakasvit/water-plantain> [6-8-2017]
- Nature Gate <http://www.luontoportti.com/suomi/en/kukkakasvit/water-plantain> [1-8-2017]
- Nock Charles A, Vogt Richard J, Beisner and Beatrix E. (2016). *Functional Traits*. In: eLS. John Wiley & Sons Ltd, Chichester. <http://www.els.net> [doi: 10.1002/9780470015902.a0026282]
- Plant Trait Database (TRY) <https://www.try-db.org/TryWeb/Home.php> [29-7-2017]
- Roscher C, Schumacher J, Lipowsky A, Gubsch M, Weigelt A, Pompe S, Kolle O, Buchmann N, Schmid B, Schulze ED. A functional trait-based approach to understand community assembly and diversity–productivity relationships over 7 years in experimental grasslands, *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 15(2013) : 139–149.
- Søndergaard M, Lauridsen TL, Johansson L and Jeppesen E. Gravel pit lakes in Denmark: Chemical and biological state, *Science of the Total Environment*, 612(2018): 9-17.
- Tockner K, Malard F, Ward JV. An extension of the flood pulse concept, *Hydrological Processes*, 14(2000): 2861–2883.
- Van der Valk AG (2012). *The Biology of Freshwater Wetlands*, Oxford University Press, New York
- Vassiliki M. (2012) *Functional traits*. [http://www.coastalwiki.org/wiki/Functional\\_traits](http://www.coastalwiki.org/wiki/Functional_traits) [27-09-2017]
- Violle C, Navas ML, Vile D, Kazakou E, Fortunel C, Hummel I and Garnier E. Let the concept of trait be functional!, *Oikos*, 116(2007): 882–892.
- Willby N, Pitt J and Phillips G. (2009). *The ecological classification of UK lakes using aquatic macrophytes*. Environment Agency Science Report, Project SC010080/SR. Bristol.



## ZAGAĐENOST MANJIH VODOTOKA IZ SLIVA RIJEKE VRBAS I SAME RIJEKE VRBAS SA ASPEKTA FIZIČKO-HEMIJSKIH, MIKROBIOLOŠKIH I BIOLOŠKIH ISPITIVANJA

Maja Stojanović, Irena Zarić, Predrag Mitrović,  
Marija Nikolić, Tamara Laketić i Milenko Savić

*Institut za vode, Miloša Obilića 51, Bijeljina, [info@institutzavode.com](mailto:info@institutzavode.com)*

### REZIME

U radu su predstavljeni rezultati ispitivanja fizičko-hemijskih, mikrobioloških i bioloških parametara rijeke Vrbas i vodotoka iz sliva rijeke Vrbas. Uzorkovanje i ispitivanje kvaliteta vode rijeke Vrbas izvršeno je od strane „Instituta za vode“ iz Bijeljine u toku posljednje četiri godine na profilu Razboj (dvanaest puta 2014., 2015. i 2016. godine i devet puta 2017. godine), profilu Delibašino selo i Novoselije (četiri puta godišnje). U toku 2017. godine izvršeno je uzorkovanje i ispitivanje dvadeset četiri manja vodotoka iz sliva rijeke Vrbas a u toku posljednje četiri godine rijeke Ugar i Crne rijeke (četiri puta u toku godine).

KLJUČNE REČI: rijeka Vrbas, profil Razboj, profil Delibašino selo, profil Novoselije, fizičko-hemijskih, mikrobioloških i bioloških parametari

## POLLUTION OF SMALL RIVERS FROM THE VRBAS BASIN AND RIVER VRBAS FROM PHYSICAL-CHEMICAL, MICROBIOLOGICAL AND BIOLOGICAL EXAMINATIONS

### ABSTRACT

The paper presents the results of physical-chemical, microbiological and biological parameters of the river Vrbas and rivers from the Vrbas basin. Sampling and testing were performed by the Institute for Water from Bijeljina during the last four years at the profile Razboj (twelve times during 2014., 2015. and 2016. year and nine times during 2017.), profile Delibašino Selo and Novoselije (four times per year). In 2017 sampling and analysis were performed on twenty four small river from the Vrbas basin and during the last four years of the river Ugar and the Crna Rijeka (four times per year).

KEY WORDS: river Vrbas, profile Razboj, profile Delibašino Selo, profile Novoselije, physical-chemical, microbiological and biological parameters

## UVOD

U hidrografskom smislu BiH tokovi pripadaju riječnom basenu Dunava i riječnim basenima pritoka Jadranskog mora. Glavni vodotoci koji čine dio riječnog bazena Dunava koji se nalazi u BiH su:

- Una (9.130 km<sup>2</sup>),
- Vrbas (6.386 km<sup>2</sup>),
- Ukrina (1.500 km<sup>2</sup>),
- Bosna (10.457 km<sup>2</sup>),
- Drina (7.240 km<sup>2</sup>) i
- preostale direktne pritoke rijeke Save (4.006 km<sup>2</sup>).

Rijeka Vrbas je desna pritoka rijeke Save, sa slivnom površinom od 6.386 km<sup>2</sup>. Rijeka Vrbas izvire u podnožju planine Zec. Glavne lijeve pritoke Vrbasa su: Pliva i Crna Rijeka. Glavne desne pritoke Vrbasa su: Bistrica, Ugar, Svrakava, Vrbanja, Turjanica i Povelić. Sliv Vrbasa pripada umjereno kontinentalnoj klimi, razlikujemo tri glavna dijela toka Vrbasa: gornji tok, srednji tok i donji tok.

## OBLAST STUDIJE

„Institut za vode“ d.o.o. iz Bijeljine je izvršio uzorkovanje i ispitivanje stanja kvaliteta vode rijeke Vrbas na tri lokaliteta i to na:

- profilu Razboj - na putnoj komunikaciji Srbac – Gradiška u naselju Razboj, (slika 1)
- profilu Delibašino selo (slika 2) i
- profilu Novoselije - u naselju Karanovac (slika 2)

Za potrebe fizičko hemijskih i hidrometrijskih ispitivanja rijeka Vrbas na profilu Razboj uzorkovana je i ispitana 12 puta godišnje u toku 2014., 2015 i 2016 a devet puta u toku 2017. godine jer je ovaj profil uključen u Međunarodnu monitoring mrežu-međunarodni nadzorni monitoring (Trans National Monitoring Network-TNMN).

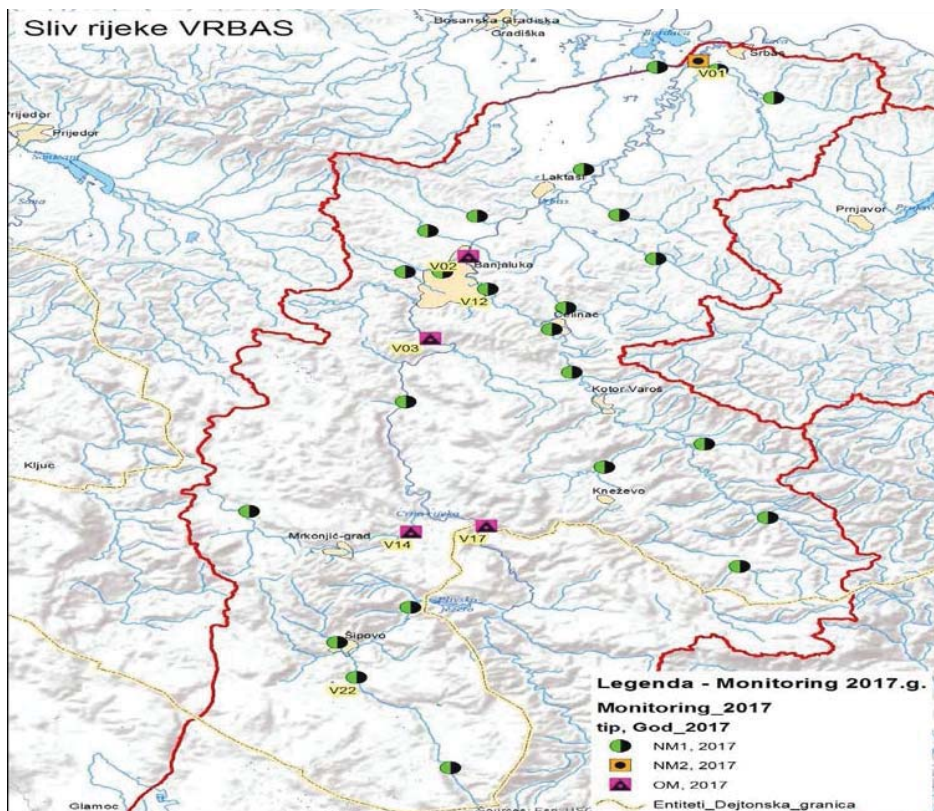


Slika 1. Profil Razboj  
Figure 1. Profile Razboj



Slika 2. Profil Delibašino selo (lijevo), profil Novoselije (desno)  
Figure 2. Profile Delibašino village (left) and Novoselije (right)

Na slici 3 su pokazana mjesta uzorkovanja profila na reci Vrbas kao i mjesta uzorkovanja analiziranih pritoka rijeke Vrbas



Slika 3. Mjesta uzorkovanja rijeke Vrbas i njenih pritoka  
Figure 3. Sampling points of the river Vrbas and its tributaries

Uzorkovanje i analiziranje Vrbasa na profilu Delibašino selo i Novoselije, kao i rijeke Ugar i Crne rijeke je izvršeno kvartalno (četiri puta godišnje) u toku posljednje četiri godine. U toku 2017 godine je uzorkovano i analizirano (četiri puta) dvadeset četiri manja vodotoka iz sliva rijeke Vrbas. Lista mjernih mjesta sa lokacijom profila je prikazana u tabeli 1. Za potrebe određivanja mikrobiološkog i biološkog statusa kvaliteta navedenih vodotoka, monitoring program je najčešće podrazumijevao 2 serije, za sve parametre. Fitoplankton na TNMN profilu na Vrbasu uzorkovan je u okviru 4 serije ispitivanja tokom godina, dok je hlorofil-a najčešće ispitivan 12 puta godišnje.

Tabela 1. Lista mjernih mjesta  
Table 1. List of measuring points

Rijeka	Lokacija	Rijeka	Rijeka	Lokacija	Lokacija
Vrbanja	Debeljaci	Turjanica	Ljubatovci	Kupreška rijeka	Vagan
Pliva	Jezero	Kruševica	Maslovare	Ilomska rijeka	Imljani
Povelič	Povelič	Gozna	Štrbe	Široka rijeka	Drakulić
Osorna	Gličevka	Vrbanja	Šiprage	Lubovačka rijeka	Vražić
Vrbanja	Čelinac	Crkvena	Drugovići	Mahovljanska rijeka	Maglajani
Janj	Mujundići	Ponor	Podrašničko	Cvrcka	Markovići
Vrbas	Krupa	Tovladić	Podbrđe	Bukovica	Bukovica
Lepenica	Sitneš	Crkvena	Pavlovac	Dragočaj	Kuljani

## NAČIN I METODE ISPITIVANJA

Mjesto uzorkovanja treba da sadrži sve reprezentativne karakteristike i da uključi sve vertikalne, horizontalne i vremenske varijacije. Prikupljanje uzoraka za analizu, kao i način njihovog čuvanja i konzerviranja, izvršeno je prema metodama BAS ISO 5667-2, 3, 6, BAS EN 10870 :2014, BAS ISO 13946:2015 i BAS ISO 14184:2015. U svakom ciklusu ispitivanja vršeno je istovremeno uzorkovanje i fizičko-hemijskih i bioloških komponenti potrebnih za procjenu ekološkog statusa. Analizirani su fizičko hemijski parametri koji su indikativni za biološke elemente kvaliteta (temperatura, pH, elektroprovodljivost, kiseonični režim, azot, fosfor, tvdoća, suspendovane materije, alkalitet, BPK<sub>5</sub>, HPK, hrom, arsen, bakar, cink). Pored navedenih parametara kvaliteta, vršeno je i mjerenje protoka na svim profilima, prema metodi BAS ISO 748: 2010.

U okviru istraživanja biološke komponente određen je sastav i relativna brojnost zajednice fitoplanktona i fitobentosa (silikatnih algi) i njihova distribucija na ispitivanom profilu, kao i indeks saprobnosti S (Pantle & Buck, 1955), određivanjem relativne brojnosti (šestostepena skala, 1,2,3,5,7,9) prema listi indikatorskih taksona po Wegl-u (Wegl, 1983). Sistematika koja je korišćena prema Jeleni Blaženčić [6] Identifikacija i određivanje brojnosti silikatnih algi dna obavljeno prema BAS ISO 14407:2006. Na osnovu dobijenih podataka o dijatomejama, upotrebom softvera OMNIDIA (Lecointe et al., 1993) izračunati su: Shannon-Weaver indeks diverziteta (Shannon & Weaver, 1949), IPS – Indice de Polluosensibilité (Coste in CEMAGREF, 1982), EPI-D – Eutrophication/Pollution Index (Dell'Uomo, 2004) i TDI – Trophic Diatom Index (Kelly & Whitton, 1995). Pored

florističke analize izvršeno je i određivanje sastava i brojnosti zajednice makroinvertebrata dna ispitivanih vodotoka, kao i neophodna metrika i to: indeks saprobnosti S (Pantle, Buck, 1955) i (Zelinka & Marvan, 1961), Trent biotički indeks, TBI (Wodwiss, 1964), BWMP/ASPT (Armitage et al., 1983), indeks diverziteta Shannon-Weaver indeks (1949), BBI (Flanders, 1990/2010), Chandler indeks (Chandler, 1970), Margalefov indeks, (Margalef, 1958), EPT, %EPT, %D, EPT/D i broj taksona. Obrada rezultata ispitivanja i kvalitativnih i kvantitativnih podataka urađena je upotrebom ASTERICS-programa (AQEM European stream assessment program, Version 2.3, released on April 2004) Identifikacija i tumačenje rezultata analize urađeni prema zahtjevima metode i dostupnim ključevima za determinaciju. Za ocjenu stanja kvaliteta voda primjenjeni su propisi iz Uredbe o klasifikaciji voda i kategorizaciji vodotoka (Službeni glasnik Republike Srpske br. 42, 2001).

## REZULTATI ISPITIVANJA

### Rezultati fizičko-hemijskih ispitivanja

Na rijeci Vrbas na profilu Razboj je rađeno svake godine 30 fizičko-hemijskih parametara od kojih je 19 normirano Uredbom. Od 855 izvršenih mjerenja u posljednje četiri godine 720 (84,2%) mjerenja pripada prvoj ili drugoj klasi vodotoka po Uredbi. 60 mjerenja (7,0%) pripada trećoj klasi, 37 (4,3%) pripada četvrtoj klasi a 38 (4,4%) pripada petoj klasi vodotoka po Uredbi.

Rastvoreni kiseonik, % zasićenja kiseonikom, pH, BPK<sub>5</sub>, elektroprovodljivost, HPK dihromatnom metodom, suspendovane materije, NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N, NO<sub>2</sub>-N, ukupni azot, ukupni fosfor i hloridi ne zadovoljavaju uslove prve i druge klase u toku četiri godine. Parametri koji ne zadovoljavaju uslove prve i druge klase u toku sve četiri godine su suspendovane materije (najveća vrednost je zabilježena u septembru 2014. godine - 231,4 mg/L), azot iz nitrita (najveća vrednost je zabilježena u avgustu 2015. godine - 0,120 mg/L), i ukupni fosfor (najveća vrednost je zabilježena u septembru 2014. godine - 0,235 mg/L). 2014. godina je bila godina sa najvećim brojem parametara koji nisu zadovoljavali uslove prve i druge klase vodotoka, kao i godina sa najvećim vrednostima mjerenih parametara što je razumljivo s obzirom da su se 2014 godine dogodile poplave na teritoriji Bosne i Hercegovine. U 2017 godini trećoj klasi vodotoka pripadaju % zasićenja kiseonikom pri čak 5 mjerenja (najniža vrednost je zabilježena u aprilu - 61,7%), suspendovane materije (1) i NO<sub>2</sub>-N (1), u četvrtu klasu vodotoka pripadaju NH<sub>4</sub>-N (pri jednom mjerenju u decembru mjesecu - 0,494 mg/l) i ukupni fosfor čak pri osam mjerenja, petoj klasi vodotoka pripadaju suspendovane materije (pri šest mjerenja sa najvećom zabilježenom vrednosti od 33,2 mg/L u aprilu mjesecu) i ukupni fosfor (jedno mjerenje u martu od 0,179 mg/L).

Rijeka Vrbas je na profilima Novoselije i Delibašino selo analizirana u okviru operativnog monitoringa u posljednje četiri godine četiri puta godišnje. U toku četiri godine izvršeno je 832 mjerenja 26 fizičko-hemijskih parametara. Od 26 parametara koji su određivani njih 17 je normirano Uredbom. Od 544 mjerenja 17 normiranih parametara u toku četiri godine na ova dva profila njih 482 (88,6%) pripada prvoj ili drugoj klasi vodotoka, 37 (6,8%) pripada trećoj klasi vodotoka, 20 (4,2%) pripada četvrtoj klasi vodotoka i 5 (0,9%) pripada petoj

klasi vodotoka. Parametri koji pri nekim mjerjenjima ne zadovoljavaju kriterijume za prvu i drugu klasu vodotoka su: % zasićenja kiseonikom (3), HPK dihromatnom metodom (2), BPK<sub>5</sub> (4), suspendovane materije (18), NH<sub>4</sub>-N (7), NO<sub>3</sub>-N (2), NO<sub>2</sub>-N (3), ukupni azot (2) i ukupni fosfor (21). Dakle parametri koji najčešće ne pripadaju prvoj i drugoj klasi vodotoka su ukupni fosfor (najveća vrednost je izmjerena na profilu Delibašino selo u septembru mjesecu i iznosila je 0,476 mg/L) i suspendovane materije sa najvećom vrednosti od 88,4 mg/L na profilu Delibašino selo u septembru mjesecu. Profil Delibašino selo je imao veći broj mjerjenja koje ne zadovoljavaju uslove prve i druge klase vodotoka (37 mjerjenja) jer je profil koji se nalazi uzvodno od profila u Novoselijama i pre ulijevanja rijeke Vrbanje. Na profilu u Novoselijama 25 mjerjenja ne zadovoljavaju prvu i drugu klasu vodotoka. U toku 2015 godine je bio najveći broj mjerjenja koje pripadaju trećoj, četvrtoj i petoj klasi vodotoka (13 na profilu Delibašino selo i 12 mjerjenja na profilu Novoselije).

U okviru ispitivanja 24 profila pritoka rijeke Vrbas urađeno je mjerjenje 22 osnovna fizičko-hemijska parametra od kojih je za 14 parametara propisana MDK (maksimalna dozvoljena vrijednost) Uredbom. Od 1344 analize 1097 (81,6%) mjerjenja pripadaju prvoj i drugoj klasi vodotoka po Uredbi. 123 mjerjenja (9,2%) pripada trećoj klasi, 74 (5,5%) pripada četvrtoj klasi a 50 (3,7%) pripada petoj klasi vodotoka po Uredbi. Trećoj klasi vodotoka pripadaju: suspendovane materije (24), % zasićenja kiseonikom (21), ukupni fosfor (18), ukupni alkalitet (17), ukupna tvrdoća (12), elektroprovodljivost (6), BPK<sub>5</sub> (5), rastvoreni kiseonik (4), NH<sub>4</sub>-N (4), ukupni azot (4), HPK-dihromatna metoda (3), NO<sub>2</sub>-N (3) i NO<sub>3</sub>-N (2). Četvrtoj klasi vodotoka pripadaju: ukupni fosfor (24), suspendovane materije (14), NO<sub>2</sub>-N (8), ukupni alkalitet (7), % zasićenja kiseonikom (6), BPK<sub>5</sub> (5), ukupna tvrdoća (5), NH<sub>4</sub>-N (2), rastvoreni kiseonik (2) i HPK dihromatna metoda (1). Petoj klasi vodotoka pripadaju: ukupni fosfor (22), suspendovane materije (19), NH<sub>4</sub>-N (4), ukupna tvrdoća (2), BPK<sub>5</sub> (1), rastvoreni kiseonik (1) i ukupni alkalitet (1).

U okviru specifičnih supstanci zagađenja rađena je analiza teških metala: cinka, bakra, hroma i arsena. Prema Uredbi rezultati ispitivanja teških metala su pokazala da većina mjerjenja (286 mjerjenja), zadovoljava uslove I i II klase, dok samo 2 mjerjenja ne zadovoljavaju date uslove i to pri ispitivanju sprovedenim na rijeci Povelich -Povelich (bakar – 15,5 mg/L) i na rijeci Osorna- Gličevka (hrom – 17,9 mg/L)

Od navedena dvadeset četiri profila, Vrbanja-Debeljaci, Povelich-Povelich, Osorna Gličevka, Crkvena Drugovići, Široka rijeka-Drakulić i Crkvena-Pavlovac su rijeke kod kojih je najveći broj mjerjenja bio izvan prve i druge klase vodotoka po Uredbi. Vrbanja-Debeljaci i Povelich-Povelich su najzagađeniji vodotoci među analiziranim pritokama rijeke Vrbas.

Crna rijeka i rijeka Ugar su rađene kao pritoke rijeke Vrbas u toku posljednje četiri godine u okviru operativnog monitoringa (četiri puta godišnje). Analizirano je 26 osnovnih hemijskih parametara od kojih je za 17 parametara klasifikovano MDK (maksimalna dozvoljena vrijednost) Uredbom. Od 544 mjerjenja, njih 478 (87,9 %) pripada prvoj i drugoj klasi vodotoka, 32 (5,9%) trećoj klasi vodotoka, 12 (2,2%) četvrtoj klasi vodotoka i 22 (4,0%) pripadaju petoj klasi vodotoka. Parametri koji pri nekim mjerjenjima ne zadovoljavaju kriterijume za prvu i drugu klasu vodotoka su: % zasićenja kiseonikom (2), elektroprovodljivost (4), HPK dihromatnom metodom (5), BPK<sub>5</sub> (6), suspendovane materije (16), NH<sub>4</sub>-N (3), NO<sub>3</sub>-N(2), NO<sub>2</sub>-N(6), ukupni azot (2), ukupni fosfor (19) i bakar (1). Crna rijeka je profil na kome najveći broj mjerjenja ne zadovoljavaju uslove prve i druge klase

vodotoka, čak u 44 mjerenja, zatim sledi rijeka Ugar sa 22 mjerenja. U toku 2015 godine je zabilježen najlošiji fizičko-hemijski kvalitet i Crne rijeke i Ugra.

Od azotne komponente na svim profilima određeni su: amonijačni, nitratni i nitritni azot, azot po Kjeldalu i ukuni azot. Ispitivanju su pokazala da je nitratni azot dominantna azotna komponenta.

### Mikrobiološka ispitivanja

Parametri na osnovu kojih je izvršena procjena kvaliteta sa aspekta mikrobiologije (bakteriologije) su: ukupan broj aerobnih heterotrofa (22°C, 36°C cfu/ml), ukupan broj koliformnih bakterija (MPN/100ml), ukupan broj koliformnih bakterija fekalnog porijekla (MPN/100ml) i ukupan broj fekalnih streptokoka (MF cfu/100ml).

Tokom 2014, 2015. i 2016. godine uzorkovanje je izvršeno dva puta godišnje na jednom profilu, Vrbas - Delibašino Selo. Tokom 2014. godine uzorkovano je u junu i oktobru, 2015. u junu i avgustu, i tokom 2016. godine u maju i septembru.

Na osnovu rezultata za ukupan broj aerobnih heterotrofa cfu/ml možemo zaključiti da je tokom ove tri godine pet mjerenja pripadalo IV klasi kvaliteta vodotoka po Uredbi, dok je na jednom mjerenju zabilježena V klasa kvaliteta. Što se tiče ukupnog broja koliformnih bakterija (IDEXX) po jedno mjerenje je pripadalo II, III i IV klasi kvaliteta i tri mjerenja su pripadala V klasi. Slična situacija je i sa ukupnim brojem koliformnih bakterija fekalnog porijekla. Jedno mjerenje je pripadao II klasi, dva III i tri su pripadala V klasi kvaliteta vodotoka. V klasa je preovladavala i u analiziranju kvaliteta sa aspekta ukupnog broja fekalnih streptokoka. Četiri mjerenja su pripadala V klasi i po jedno III i IV klasi kvaliteta. Tokom 2017. godine uzorkovanje je izvršeno na više lokaliteta. Od novembra do decembra tri puta je izvršeno uzorkovanje u okviru Međunarodnog nadzornog monitoringa na profilu Vrbas – Razboj, dok su u okviru Operativnog monitoringa pored profila Delibašino Selo i Novoselije, uzorkovani još i Crna Rijeka – Bjelajci i Ugar – Ugar. Urađeno je ukupno 36 mjerenja od kojih je 5 (13,88%) pripadalo I klasi kvaliteta, 13 (36,11%) II, 14 (38,88%) III i 4 (11,11%) je pripadalo IV klasi kvaliteta (tri od četiri četvrte klase se odnose na ukupan broj aerobnih heterotrofa i jedna na ukupan broj fekalnih streptokoka).

Iz sliva reke Vrbas tokom 2017. godine u tri serije je izvršeno 128 mjerenja na 18 vodotoka: Vrbanja (Debeljaci), Pliva, Povelich, Osorna, Vrbanja (Čelinac), Vrbas, Lepenica, Turjanica, Mahovljanska Rijeka, Vrbanja (Šiprage), Crkvena (Drugovići), Ponor, Široka Rijeka, Tovladići, Crkvena (Pavlovac), Cvrcka, Bukovica i Dragočaj.

Na osnovu rezultata za ukupan broj aerobnih heterotrofa, od ukupno 32 mjerenja za ovaj parametar, zaključeno je da je samo na profilu Lepenica – Sitneš bila II klasa kvaliteta (3,12%); 20 (62,5%) mjerenja je pripadalo III klasi vodotoka; 9 (28,12%) je pripadalo IV klasi i 2 (6,25%) V klasi vodotoka.

U okviru parametra ukupan broj koliformnih bakterija, od ukupno 32 mjerenja, 8 (25%) mjerenja je pripadalo II klasi; 14 (43,75%) je pripadalo III; 5 (15,62%) IV i 5 (15,62%) je pripadalo V klasi kvaliteta.

Prema parametru ukupan broj koliformnih bakterija fekalnog porekla (*E.coli*) od ukupno 32 mjerenja, samo jedno mjerenje (3,12%) je odgovaralo I klasi, Cvrcka – Markovići; 21 (65,62%) je pripadao II klasi; 4 (12,5%) III klasi; 2 (6,25%) IV klasi i 4 mjerenja (12,5%) su odgovarala V klasi kvaliteta vodotoka.

Prema posljednjem parametru kategorizacije vodotoka, ukupnom broju fekalnih streptokoka, od ukupno 32 mjerenja, svi profili su bili u okviru II i III klase. 28 (87,5%) je pripadalo II klasi i 4 (12,5%) mjerenja III klasi kvaliteta vodotoka.

#### Ispitivanje koncentracije hlorofila

U periodu od 2014. do 2017. godine u okviru Međunarodnog nadzornog monitoringa ispitivanje je izvršeno na profilu Vrbas – Razboj. Tokom 2014,2015. i 2016. godine ispitivanje je izvršeno u okviru 12 serija, dok su u 2017. godini analize vršene u okviru 10 serija. Rezultati za 2014. godinu su pokazali da su vodotoci odgovarali I i II klasi vodotoka. 8 (66,66%) od 12 mjerenja je odgovaralo I klasi, a 4 (33,33%) drugoj klasi kvaliteta. Slična situacija je bila i sljedeće dvije godine koje su imale isti odnos kvaliteta, 9 (75%) mjerenja je pripadalo I klasi i 3 (25%) II klasi kvaliteta vodotoka. Ispitivanja tokom 2017. godine su pokazala da je 6 (60%) mjerenja odgovaralo I klasi, a 4 (40%) drugoj klasi kvaliteta.

Tokom 2017. godine u okviru Operativnog monitoringa i četiri serije ispitivanje, izvršeno je uzorkovanje na profilima: Vrbas – Delibašino Selo, Vrbas – Novoselije, Crna Rijeka – Bjelajci i Ugar – Ugar. Svi profili u sve četiri serije su odgovarale I klasi kvaliteta. Iz sliva rijeke Vrbas tokom 2017. godine u tri serije je izvršeno 72 mjerenja na svih 24 vodotoka. Tokom prve i druge serije isti broj mjerenja je pripadao I i II klasi, 22 (91,6%) mjerenja je pripadalo I klasi i 2 (8,3%) II drugoj klasi kvaliteta. U trećoj seriji 1 mjerenje (4,16%) je odgovarao V klasi kvaliteta, 5 (20,83%) je pripadalo III klasi, 2 (8,3%) drugoj i 16 (66,66%) mjerenja je odgovaralo I klasi kvaliteta.

#### Rezultati ispitivanja zajednice fitoplanktona

Analize fitoplanktona kao dio akvatične zajednice ispitivanih vodotoka obavljena su na ukupno 5 mjernih profila koji pripadaju Operativnom i TNMN programu monitoringa kvaliteta. Kvalitativna i kvantitativna analiza fitoplanktona pokazuje prisustvo 6 razdela algi (*Cyanobacteria*, *Chrysophyta*, *Bacillariophyta*, *Pyrrophyta*, *Euglenophyta* i *Chlorophyta*). Razdeo zelenih algi *Chlorophyta*, predstavljen je sa ukupno 6 redova (*Volvocales*, *Chlorococcales*, *Oedogoniales*, *Ulotrichales*, *Zygnematales* i *Desmidiiales*). Ukupno je identifikovano 89 vrsta, od čega je 11 (12,3%) indikativno za vodotoke I klase, 69 (77,5%) II i 9 taksona (10,1%) je tipično za vodotoke III klase kvaliteta. Zajednica fitoplanktonskih organizama je vrlo izražene raznovrsnosti, mada je dosta vrsta koje priradaju grupi bentosnih algi. Kao značajne vrste koje formiraju zajednicu spominjemo slijedeće rodove: *Oscillatoria*, *Lyngbia*, *Anabaena*, *Merismopedia* (*Cyanobacteria*), *Achnanthes* sp., *Asterionella*, *Aulacoseira*, *Amphora*, *Cocconeis*, *Cymbella*, *Caloneis*, *Cymatopleura*, *Cyclotella*, *Denticula*, *Diatoma*, *Gyrosigma*, *Gomphonema*, *Epithemia*, *Fragillaria*, *melosira*, *Navicula*, *Nitzschia*, *Neidium*, *Surirella*, *Synedra*, *Pinnularia*, (*Bacillariophyta*), *Dynobryon* (*Chrysophyta*), *Peridinium*, *Ceratium* (*Pyrrophyta*), *Euglena*, *Phacus* (*Euglenophyta*), *Actinastrum*, *Ankistrodesmus*, *Coelastrum*, *Monoraphidium*, *Pediastrum*, *Scenedesmus*, *Closterium*, *Cosmarium*, *Spirogyra*, *Zygnema*, *Ulotrix contortum* (*Chlorophyta*).

Izračunate vrijednosti za indeks saprobnosti S (Pantle, Buck, 1955) kreću se od 1.30 do 2.22, što su granice II klase kvaliteta., kako je prikazano u tabeli 2.



Tabela 2. Broj identifikovanih vrsta i vrijednosti za indeks saprobnosti, S, Vrbas, Razboj (Pantle, Buck, 1955)

Table 2. Number of identified species and values for the saprobity index, S, the river Vrbas, sampling site Razboj, (Pantle, Buck, 1955)

Vrbas, Razboj	2014				2015		2016				2017			
Indeks saprobnosti, S	2.08	2.02	1.96	2.03	2.1	2.16	2.03	2.06	2.03	1.98	2.02	2.17	1.97	2.01
Broj vrsta	23	16	11	16	18	27	25	12	18	6	28	30	21	15

Tabela 2. Broj identifikovanih vrsta i vrijednosti za indeks saprobnosti, S, pritoke Vrbasa (Pantle, Buck, 1955)

Table 2. Number of identified species and values for the saprobity index, S, the river Vrbas tributaries, (Pantle, Buck, 1955)

Profil	Parametar	2014		2015		2016		2017	
Crna Rijeka, Bjelajci	Indeks saprobnosti, S	2.08	1.78	<b>2.22</b>	2.01	2.18	1.89	1.75	2.12
	Broj vrsta	6	10	3	13	9	13	17	17
Vrbas, Novoselije	Indeks saprobnosti, S	1.96	1.89	1.92	1.92	1.89	1.91	<b>1.30</b>	1.89
	Broj vrsta	10	13	19	26	11	13	20.00	22
Vrbas, Delibasino selo	Indeks saprobnosti, S	2.12	1.81	1.65	1.59	1.83	2.03	1.89	1.91
	Broj vrsta	9	18	15	10	27	11	19	26
Ugar	Indeks saprobnosti, S	1.84	1.90	1.78	1.71	1.88	1.86	1.90	1.93
	Broj vrsta	6	7	13	12	27	18	17	20

### Rezultati ispitivanja zajednice fitobentosa

Analiza bentosnih algi (*Bacillariophyta*) ispitivanih vodotoka obavljena je na ukupno 5 mjernih profila koji pripadaju Operativnom i TNMN programu monitoringa kvaliteta u periodu od 2014 do 2017. godine, najčešće 2 serije uzorkovanja i analiza. U 2017. godini, kao posebna grupa vodotoka u slivnom području rijeke Vrbas, odabrano je 24 manjih vodotoka, na kojima je urađeno ukupno 3 serije ispitivanja bentosnih algi, konkretno razdela silikatnih algi, *Bacillariophyta*. Kvalitativna i kvantitativna analiza silikatnih algi dna, daje sledeću sliku o kvalitetu: ukupno je prisutno 72 različitih vrsta, od koji je 13 (18.05%) pokazatelj I klase, 51 (70.8%) II i 8 taksona (11.11%) indikativnih za vodotoke III klase. Dominiraju rodovi *Achnanthes*, *Caloneis*, *Cocconeis*, *Cyclotella*, *Cymbella*, *Cymatopleura*, *Encyonema*, *Epithemia*, *Frustulia*, *Fragillaria*, *Hantzschia*, *Denticula*, *Diatoma*, *Gomphonema*, *Gyrosigma*, *Melosria*, *Meridion*, *Neidium*, *Nitzschia*, *Surirella*, *Synedra*, *Stauroneis*, *Pinnularia*.

Izračunata metrika pokazuje da se prema indeksu saprobnosti S, svi ispitivani vodotoci nalaze u granicama II klase vodotoka, u opsegu od 1.63-2.34. Prema indeksu diverziteta (SW), na osnovu 98 izračunatih vrijednosti u opsegu od 1.01 (Vrbanja Šiprage) do 3.77 (Turjanica, Ljubatovci), 35 (35%) definisano je granicama I klase, 53 (54%) II, a 10 mjerjenja je u III kategoriji kvaliteta.

Prema EPI-D indeksu, čije su izračunate vrijednosti u opsegu od 0.68 (Janj, Mujundići) do 2.66 (Široka Rijeka, Drakulíci), može se zaključiti da su ispitivani vodotoci u granicama odličnog kvaliteta vode do granica vrlo zagađenih vodotoka.

Vrijednosti za TDI su u opsegu od 38.5 (Osorna, Gličevka) do 87.2 (Vrbas, Delibašino selo), na osnovu čega se može zaključiti da su ispitivani vodotoci u granicama neznatnog do teškog organskog zagađenja.

#### Rezultati ispitivanja zajednice makroinvertebrata

2014. i 2015. godine, na rijeci Vrbas, na profilima Razboj, Delibašino selo i Novoselije, na Crnoj Rijeci, profil Bjelajci i na Ugru, profil Ugar, ispitivanja su vršena dva puta godišnje. Za 2016. godinu takođe, ali je analizirana i Vrbanja, profil Debeljaci. Tokom 2017. proučavani su svi ovi profili po dva puta godišnje ali su izvedene analize i za 24 manja vodotoka koja pripadaju slivu Vrbasa. Oni su ispitivani tri puta u toku te godine.

Obrada rezultata ispitivanja i kvalitativnih i kvantitativnih podataka urađena je upotrebom ASTERICS-programa (AQEM European stream assessment program, Version 2.3, released on April 2004). Trent-biotički (TBI) i Čendlerov indeks (CS) su izračunati van ovog programa.

Na profilu Vrbas, Razboj, stanje kvaliteta vodotoka kretalo se u okviru III klase boniteta po većini korišćenih parametara. Najbolji rezultati odnose se na 2014. godinu, kada je po dosta parametara konstatovana i II klasa kvaliteta. Kasnijih godina primećeno je pogoršanje stanja ovog vodotoka i oderđena je i IV klasa po nekim od ovih parametara iz ASTERICS-programa.

Vrbas, na profilu Delibašino selo, ima vodu koja pripada III klasi kvaliteta vodotoka. Najbolje ekološko stanje konstatovano je 2015. godine, kada je veći broj parametara određivao i II klasu. Ovaj profil je pod većim uticajem otpadnih voda, kao i jačim opštim antropogenim pritiskom Banja Luke.

Nešto bolje stanje i viši kvalitet vodotoka bio je na Novoselijama, na profilu Vrbasa koji se nalazi uzvodno od grada Banja Luka i trpi manji ljudski uticaj. Preovlađuje pripadnost II ili III klasi boniteta a 2017. je zabeleženo znatno poboljšanje kvaliteta i konstatovane su i vrednosti koje su po nekim parametrima određivale pripadnost II ali i I klasi.

Crna Rijeka, profil Bjelajce, se po većini analiziranih parametara svrstava u III klasu klasifikacije vodotoka. Nešto bolje stanje konstatovano je 2015. godine, kada je dosta indeksa upućivalo na klasifikaciju čije su osobine svojstvene za II klasu.

Rijeka Ugar, profil Ugar, se izdvaja po kvalitetu svoje vode. Odlikuje je I ili II klasa boniteta tokom svih ovih godina proučavanja i najmanje izražen antropogeni uticaj. Geografski položaj ovog profila i sam rijeke su i razlozi ovakvog stanja kvaliteta. Najlošiji rezultat bio je 2016.

Od 24 manja vodotoka iz sliva Vrbasa koji su u tri perioda ispitivani 2017. godine, izdvajaju se Cvrcka, Markovići i Tovladić, Podbrđe, koji po kvalitetu odskaku od ostalih. Na njima je konstatovana I klasa kvaliteta po većini datih parametara. Ilomsku rijeku karakteriše I ili II klasa u zavisnosti od vrste korišćenih indeksa. Za Vrbanju-Debeljaci, Kuprešku rijeku-Vagan, Osornu-Gličevka, Vrbanju-Čelinac, Janj-Mujundići, Kruševicu-Maslovare i Bukovicu-Bukovica, većina indeksa određuje II klasu boniteta. II ili III kategorija klasifikacije vodotoka je osobina Gozne-Štrbe, Vrbanje-Šiprage, Ponora-Podršaničko i Dragičaja-Kuljani. U III klasu se svrstavaju Pliva-Jezero, Povelich-Povelich, Vrbas-Krupa, Lepenica-Sitneš, Turjanica-Ljubatovci, Mahovljanska rijeka-Maglajani i Lubovačka rijeka-Vražić. Najlošije ekološko stanje je određeno na Crkvenoj-Drugovići,

Širokoj rijeci-Drakulić i Crkvenoj-Pavlovac. Na njima je i najveći antropogeni uticaj i uticaj organskog opterećenja.

## ZAKLJUČAK

Parametri koji najčešće ne pripadaju prvoj i drugoj klasi vodotoka su ukupni fosfor (144 mjerenja – 28,2%) i suspendovane materije (128 mjerenja - 25,1%) za sve ispitivane profile. Takođe, ako se posmatraju sva ispitivanja fizičko-hemijskih parametara na svim ispitivanim profilima (3575 analiza), njih 3063 (85,7%) pripada prvoj ili drugoj klasi vodotoka, 254 (7,10%) trećoj klasi, 143 (4,00%) četvrtoj klasi i 115 (3,22%) petoj klasi vodotoka.

Sastav akvatičnih zajednica upućuje na određen uticaj zagađenja koji postoji na svim ispitivanim mjernim profilima. Mikrobiološki pokazatelji kvaliteta su u najvećem broju mjerenja u granicama II, odnosno III kategorije. Koncentracija hlorofila-a je u granicama I, odnosno II klase. Zajednoća fitoplanktonskih organizama je vrlo raznovrsna, a izračunate vrijednosti su u najvećem broju slučajeva u II klasi kvaliteta. Bentosne alge ipak ukazuju na značajan uticaj zagađenja. Najveća brojnost i raznolikost vrsta makroinvertebrata zabeležana je 2017. godine. Dominantni tip makroinvertebrata su *Arthropoda*, jer klasa *Insecta* sa svojom velikom raznovrsnošću, pripada ovoj grupi. Tamo gde je ljudski uticaj i uticaj organskog zagađenja manji, kvalitet vodotoka je bolji. Konstatovano je i prisustvo vrsta sa Crvene liste zaštićenih vrsta flore i faune Republike Srpske, kao i povećanje njihove brojnosti tokom ovih godina. Najbolje ekološko stanje je osobina rijeke Cvrčke-Markovići, rijeke Tovladić-Podbrđe i rijeke Ugar-Ugar. Ovi vodotoci, na ovim profilima svrstaju se u I klasu kategorije kvaliteta vodotoka.

## LITRERATURA

- Blaženčić, J. (1990: Sistematika algi. 1 - 298, Naučna knjiga, Beograd.
- Diatoms of Europe, Volume 1: The Genus Pinnularia Kurt Krammer. 703 pages, 217 plates, tabs. Koeltz Scientific Books Hardcover | 2009
- Diatoms of Europe, Volume 2: Navicula Sensu Stricto, 10 Genera Separated from Navicula Sensu Lato, Frustulia. Edited by Horst Lange-Bertalot. 526 pages, b/w plates. Gantner Verlag. Hardcover | 2001
- Diatoms of Europe, Volume 3: Diatoms of the European Inland Waters and Comparable Habitats. Edited by Horst Lange. 514 pages, b/w plates, figs, tabs. Koeltz Scientific Books. Hardcover | 2002 |
- Diatoms of Europe, Volume 4: Cymbopleura, Delicata, Navicymbula, Gomphocymbellopsis, Afrocybula Supplements to Cymbelloid Taxa. Edited by H Lange-Bertalot. 530 pages, 164 b/w plates. Koeltz Scientific Books. Hardcover | 2003
- Diatoms of Europe, Volume 5: Amphora sensu lato. Zlatko Levkov 916 pages, 287 b/w plates. Gantner Verlag. Hardcover | 2009
- Krammer, K., Lange\_Bertalot, H. (1988) Süßwasserflora von Mitteleuropa set 2/1: Bacillariophyceae: Naviculaceae.
- Krammer, K., Lange\_Bertalot, H. (1988) Süßwasserflora von Mitteleuropa set 2/4: Bacillarioph: Achnanthesace.

- Krammer, K., Lange\_Bertalot, H. (1988) Süßwasserflora von Mitteleuropa set 19/1: Cyanoprokaryota I Chroococcales.
- Krammer, K., Lange\_Bertalot, H. (1988) Süßwasserflora von Mitteleuropa set 19/2: Cyanoprokaryota. Oscillatoriales.
- Krammer, K., Lange\_Bertalot, H. (1988) Süßwasserflora von Mitteleuropa set 10: Chlorophyta II: Tetrasporales, Chlorococcales, Gloeodendrales.
- Monitoring kvaliteta površinskih vodotoka u Republici Srpskoj, 2014. Izvještaj, Ministarstvo vodoprivrede, poljoprivrede i šumarstva, JU „Vode Srpske“, Bijeljina.
- Monitoring kvaliteta površinskih vodotoka u Republici Srpskoj, 2015. Izvještaj, Ministarstvo vodoprivrede, poljoprivrede i šumarstva, JU „Vode Srpske“, Bijeljina.
- Monitoring kvaliteta površinskih vodotoka u Republici Srpskoj, 2016. Izvještaj, Ministarstvo vodoprivrede, poljoprivrede i šumarstva, JU „Vode Srpske“, Bijeljina.
- Monitoring kvaliteta površinskih vodotoka u Republici Srpskoj, 2017. Izvještaj, Ministarstvo vodoprivrede, poljoprivrede i šumarstva, JU „Vode Srpske“, Bijeljina.
- Nacrt plan upravljanja oblasnim riječnim slivom rijeke Trebišnjice Republike Srpske, dokument br.1, Opšte karakteristike, JU „Vode Srpske“, Bijeljina, septembar 2016.
- Stevenson, J.R, Bothwell, M.L., Lowe, L.R, Algal ecology, Freshwater Benthic Ecosystems Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21<sup>st</sup> Edition, 2005.
- Službeni glasnik Republike Srpske, br.42/01, Uredba o klasifikaciji voda i kategorizaciji vodotoka
- Hindak, F. i saradnici, Sladkovodne Riasy, Bratislava.

## DETERMINISANJE HIDROLOŠKIH PROBLEMA UPOTREBOM GIS-a, STUDIJA SLUČAJA KRASAVICA

Branko Ristanović\*, Branko Miljanović\*, Marija Cimbaljević\*  
Nemanja Pankov\*, Milica Živković\*, Aleksandar Popović\*\*

\* *Prirodno-matematički fakultet, Trg Dositeja Obradovića 3, Novi Sad,  
brankoris@yahoo.com*

\*\**Gimnazija "Sava Šumanović", Laze Kostića 2, Šid*

### REZIME

Neadekvatno upravljanje vodnim resursima stvara mnogobrojne hidrološke probleme. Za njihovo rešavanje je potrebno angažovati znatne antropogene kapacitete: ljudske, materijalne i finansijske. Da li postoji sveobuhvatni pristup koji bi probleme rano identifikovao i neophodne radnje minimizirao? Primena geografskog informacionog sistema predstavlja potreban korak ka sistematičnom monitoringu i regulisanju vodotokova na različim delovima slivnog područja. Studijom slučaja je dat primer rane determinacije hidroloških problema koji se mogu javiti u rečnom toku i predlog rešenja koja se nameću kao logičan kauzalni proces. Basen sliva Likodre (Krasavica spada u njene veće leve pritoke) je reprezentativni primer primene GIS u ranom otkrivanju i prevenciji postojećih vodnih problema.

KLJUČNE REČI: Krasavica, hidrološki problemi, GIS

## DETERMINING HYDROLOGICAL PROBLEMS WITH THE USE OF GIS, CASE STUDY KRASAVICA

### ABSTRACT

Inadequate water resource management creates many hydrological problems. To solve them requires significant anthropogenic capacities: human, material and financial. Is there a comprehensive approach that would identify the problems early and minimize the necessary actions? The application of the geographic information system represents a necessary step towards systematic monitoring and regulation of watercourses in different parts of the catchment area. The case study provides an example of the early determination of hydrological problems that can occur in the river flow and the proposed solution that imposes itself as a logical causal process. Basin Likodre (Krasavica belongs to its larger left tributaries) is a representative example of the application of GIS in the early detection and prevention of existing water problems.

KEY WORDS: Krasavica, hydrological problems, GIS

## UVOD

Teritorija Republike Srbije se suočava sa problemom prekomernog razaranja stena i procesom ubrzane erozije tla. Nekoliko miliona hektara zemljišta je ugroženo, velike površine nekada produktivnog tla su uništene a mnoga naselja, komunikacije i druge ljudske tekovine dovedene su u opasnost. U Srbiji je, do kraja 2017. godine, registrovano oko 11.500 bujičnih vodotokova, dok bujične poplave predstavljaju najčešću pojavu iz grupe geohazarda (rečne poplave, suše, klizišta i odroni, požari na većim šumskim kompleksima...). Erozioni procesi, kao bitan faktor nastanka bujičnih poplava, prisutni su na 75% teritorije Srbije, sa prosečnom godišnjom produkcijom erozionog materijala od 30000000 m<sup>3</sup>, od čega 8000000 m<sup>3</sup> dospeva u rečna i potočna korita (uzrok pojave enormnih količina blata i kamena u poplavljenim naseljima tokom 2014. godine). U periodu od 1950. do 2014. godine, bujične poplave su odnele 80 života i prouzrokovale materijalne štete od nekoliko milijardi evra. Učestalost pojave bujičnih poplava, intenzitet i rasprostranjenost, čine ih stalnom pretnjom sa posledicama u ekološkoj, ekonomskoj i socijalnoj sferi. Ipak, destruktivnost bujičnih poplava iz maja 2014. godine mogla je biti znatno manja, da su poslednjih dvadesetak godina primenjivani preventivni radovi i mere. Oni podrazumevaju koncept integralnog uređenja bujičnih slivova, koji obuhvata projektovanje i izgradnju tehničkih (pregrade, pragovi, regulacije, mikro-akumulacije, retenzije, obaloutvrde), biotehničkih (sanacija jaruga, zaštita površina na nagibima) i bioloških objekata (pošumljavanje goleti, melioracije degradiranih šuma, livada i pašnjaka, uspostavljanje voćnjaka na terasama), kao i primenu administrativnih mera (pravila uređenja, korišćenja i zaštite zemljišta na ugroženim slivovima). Izostali su i radovi na održavanju postojećih sistema za zaštitu od bujica i erozije (čišćenje korita od nanosa, vegetacije i smeća; popravka oštećenih objekata), što je značajno umanjilo njihovu efikasnost (Ristanović i sar., 2016). Evidentno da primena preventivnih i zaštitnih mera zahteva uvođenje Geografskog informacionog sistema u sferu vodoprivredne delatnosti. U kolikoj meri je takav pristup delotvoran pokazaće studija slučaja rađena na rečnom toku Krasavice (basen sliva Likodre, zapadna Srbija).

## MATERIJAL I METODE

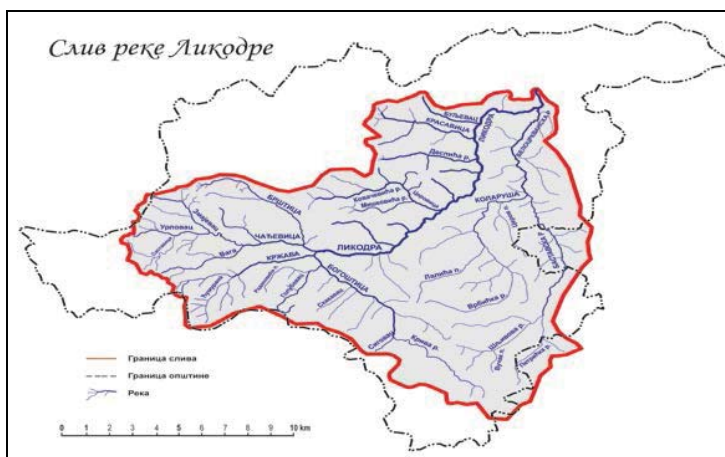
Pre preduzimanja mera kojima bi se proces erozije ublažio a sprečio tamo gde može nastati, nužno je naučno se upoznati sa pojavom razaranja stena i ubrzavanja erozije zemljišta. U ovome jedinstvenom poslu, biolozi, ekolozi i inženjeri treba da odrede ili pokažu kako da se obnovi prvobitna vegetacija kao zaštitni pokrivač zemljišta a geografi i informatičari, svojim metodama kompleksnog razmatranja uzajamnih uticaja elemenata geografske sredine, treba da objasne gde i zašto organizovati obnovu i preduzeti zaštitne mere.

Na osnovu digitalizovane topografske karte razmera 1:25.000 i urađenog digitalnog elevacionog modela, u kombinaciji sa terenskim posmatranjem i merenjem, izračunati su kvantitativni parametri sliva Krasavice. Pri obradi morfometrijskih pokazatelja je korišćen ARC GIS softver. Prilikom izračunavanja stepena jačine erozionog procesa je korišćen modifikovan empirijski Gavrilovićev model tablica parametara (Gavrilović i sar., 1983). Na

osnovu sinteze postojeće domaće i inostrane literature, terenskog rada i morfometrijske analize digitalnog elevacionog modela, data je geneza reljefa sliva Krasavice i hidroloških problema koji se u njemu mogu identifikovati. To će omogućiti da se u budućem periodu, na osnovu uniformnosti metodologije i upotrebe GIS alata, vrši istraživanje, praćenje i poređenje karakteristika sliva i vodotoka istraživanog potoka sa prethodnim stanjem.

## GEOGRAFSKI POLOŽAJ I OSNOVNE KARAKTERISTIKE SLIVA

Krasavica je, treća po veličina, leva pritoka reke Likodre. Likodra predstavlja hidrološku okosnicu Rađevine. Geografska predeona celina Rađevine, u današnjoj administrativno teritorijalnoj podeli Republike Srbije, se koristi kao regionalno geografsko ime za područje opštine Krupanj.



Karta 1: Položaj sliva Krasavice u basenu Likodre - Autor: A. Popović, 2016.

Map 1: Location of the catchment Krasavica in basin of Likodra - Author: A. Popović, 2016.

Istraživano područje, sa geološko – petrografskog aspekta, veoma je mozaično i na njemu se, usled prisustva na eroziju neotpornih geoloških tvorevina, javljaju znatne količine bujičnih nanosa posle svake veće olujne kiše, pljuska ili naglog topljenja snega. Basen sliva Likodre i njenih pritoka se nalazi u umerenom klimatskom pojasu. Glavne karakteristike ovog klimata su dva izražena (leto i zima) i dva prelazna godišnja doba (proleće i jesen). Zime su umereno hladne a leta umereno topla dok su prelazna godišnja doba duga i blaga. Prosečna godišnja temperatura iznosi 10,3°C, a godišnja suma padavina je 1077 mm što je znatno više od republičkog proseka (734 mm), sa maksimumom padavina u junu mesecu (130,4 mm). Krupanj ima obeležja župne mikroklimе, jer udubljenje u kome on leži predstavlja „basen u basenu“ (podplaninsku župu). Planine koje okružuju sliv (Sokolska planina - 971 m, Jagodnja - 939 m i Boranja - 881 m) doprinose da se u pojedinim delovima sliva javljaju i odlike subplaninskog klimata. Krupanjsko rečno udubljenje (fluvijalni basen) ima interesantan lepezast oblik, kao posledicu sticanja tokova sa planinskog okruženja. Brštica dotiče sa Boranje (severa), Čađavica i Kržava sa zapada i jugozapada (sa

Jagodnje) a Bogoštica - Kriva reka sa jugoistoka (sa Sokolske planine). Njihova rezultanta Likodra teče ka severoistoku.

Deskriptivni opisi i kvantitativni pokazatelji (naročito hidro-klimatski) ukazuju da su fluvijalni erozivni procesi na području basena sliva Likodre veoma intenzivni. Njihov iznos pospešuju visoke vode i bujice koje se javljaju nakon jačih atmosferskih padavina. Bujice su česta pojava na teritoriji Rađevine. Posredan sliv Likodre ima 30 bujičnih tokova. Površina sliva u kojoj se bujice javljaju iznosi 196,90 km<sup>2</sup> što predstavlja nadpolovinski procenat (57,6%) od ukupne površine opštine koji je izložen opasnosti od pojave bujičnih tokova i njima izazvanih prirodnih hazarda (bujične poplave, klizišta, urvine, odroni).

## REZULTATI

Morfometrijske karakteristike sliva i vodotoka Krasavice izračunate su pomoću softverskog paketa ArcGIS 10.1. Proračuni su urađeni na osnovu digitalizovane topografske karte opštine Krupanj u razmeri 1:25.000 i digitalnog elevacionog modela (DEM).

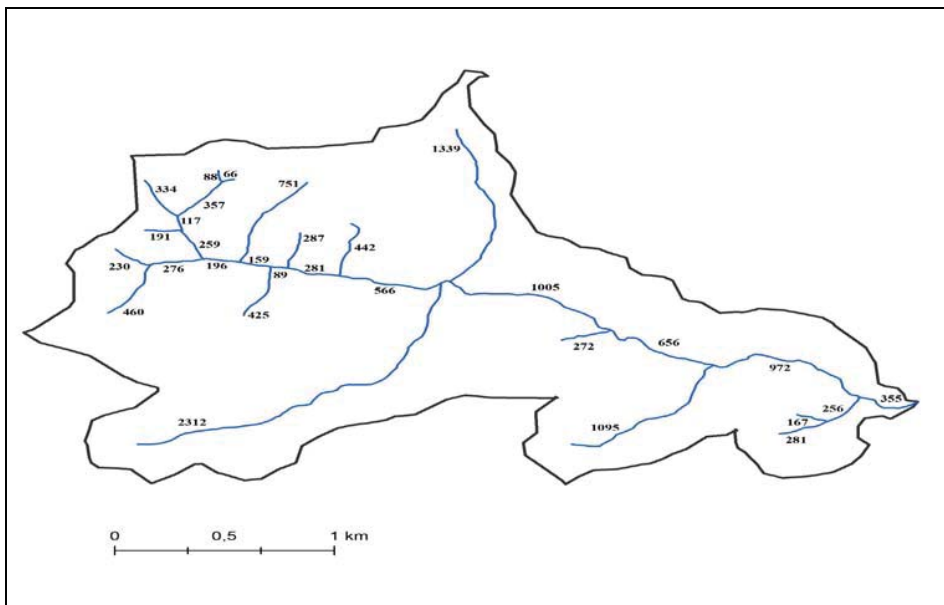
Tabela 1: Morfometrijske karakteristike sliva Krasavice  
Table 1: Morphometric characteristics of the basin Krasavica

Površina sliva	Obim sliva	Dužina sliva	Srednja širina sliva	Koeficijent izduženosti sliva	Morfološki koeficijent sliva	Gustina rečne mreže	Srednja dužina padina	Visinski položaj sliva	Srednja nadmorska visina sliva	Srednji pad sliva
F = 13,5 km <sup>2</sup>	S = 12,25 km	L <sub>s</sub> = 5,25 km	B = 1,62 km	Kδ = 3,24	δk = 0,308	D = 1,044 km/km <sup>2</sup>	L <sub>p</sub> = 0,53 km	ΔH = 160 m	Hs = 296,7 m	I <sub>sl</sub> = 25°

Tabela 2: Morfometrijske karakteristike vodotoka Krasavice  
Table 2: Morphometric characteristics of watercourse Krasavica

Dužina vodotoka	Ukupna dužina svih vodotoka u slivu	Neravnomernost razvitka rečne/potočne mreže	Frekvencija pritoka	Ukupan pad toka	Srednji pad toka
L = 5,25 km	Σ <sub>L</sub> = 14,284 km	f <sub>k</sub> = 0,80	f <sub>n</sub> = 0,48 km	H <sub>r</sub> = 124,2 m	I <sub>sr</sub> = 23,7‰





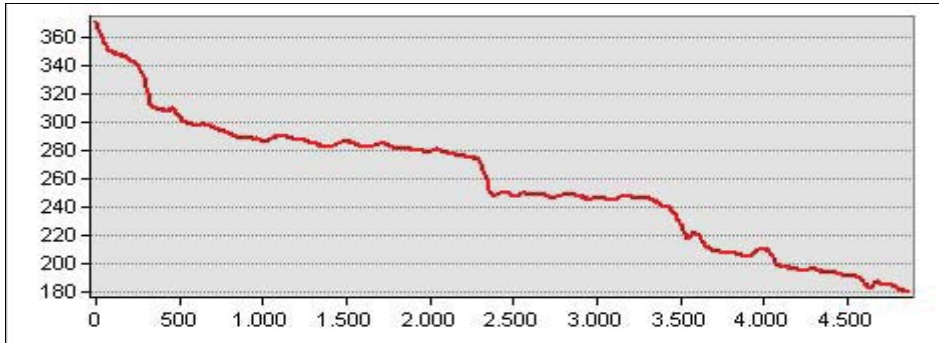
Karta 2: Dužina potočne mreže u slivu potoka Krasavica  
Map 2: Length of stream in the basin Krasavica

Izvedene veličine karaktera vodotoka i sliva su urađene na osnovu formula za koeficijent asimetrije sliva, koeficijent krivudavosti toka, koeficijent neravnomernosti rečnog toka i koeficijent razvoja vododelnice (Ocokoljić i sar., 1996), uz pomoć DEM-a.

Tabela 3: Izvedene veličine karaktera vodotoka i sliva Krasavice  
Table 3: Derived size of the river and basin Krasavica

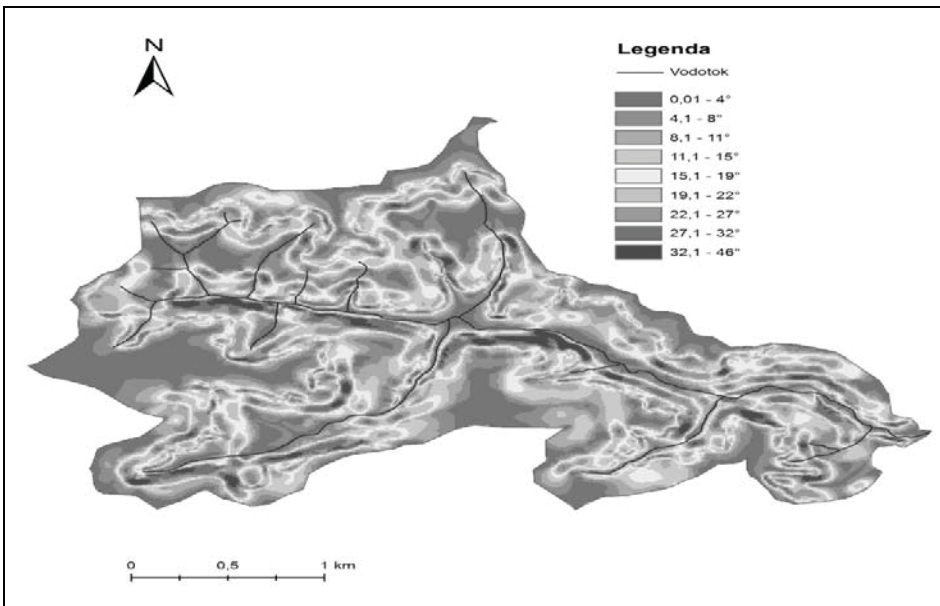
Koeficijent asimetrije sliva	Koeficijent krivudavosti toka	Koeficijent neravnomernosti rečnog toka	Koeficijent razvoja vododelnice
$K_a = -0,09$	$K_l = 0,79$	$K_n = 0,80$	$m_v = 1,19$

U gornjem delu toka prosečan pad Krasavice iznosi 116,2 m/km ili 0,116%. Ovaj deo toka je, po svojim hidrološkim osobinama, više nego tipičan za planinske reke koje nisu dostigle svoj saglasan rečni profil. Brzina i energija vode je izuzetno velika te su svi faktori usloveli dominaciju vertikalne rečne erozije.

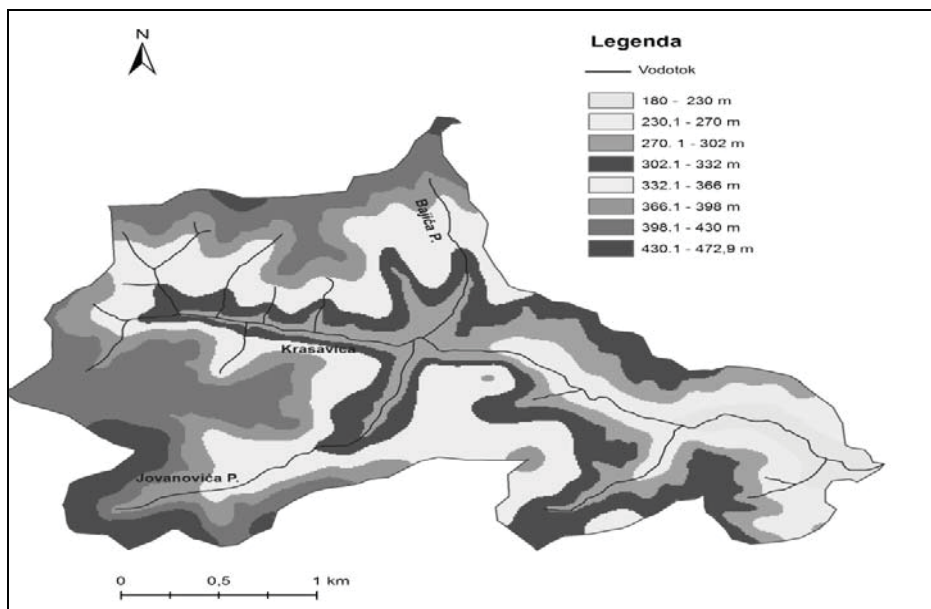


Slika 1: Uzdužni rečni profil  
Figure 1: Longitudinal river profile

Srednji deo toka Krasavice pokazuje daleko manje vrednosti prosečnog pada u odnosu na gornji, tek 40 m/km ili 0,4%, što predstavlja skoro tri puta manju vrednost. Međutim, i u ovom delu toka snaga reke i njen erozivni karakter nisu zanemarljivi. Iako su padovi manji u odnosu na gornji deo toka, i u ovom delu dominira vertikalna erozija gde je pojava akumulacije materijala izuzetno retka. Ni na ovom delu toka nema pojave formiranja aluvijalne ravni, korito reke je usko, bez izrazitih bočnih proširenja.



Karta 2: Nagibi u slivu Krasavice  
Map 2: Slopes in the Krasavica basin



Karta 4: Hipsometrijski odnosi u slivu Krasavice  
Map 4: Hypsometrically relations in the basin Krasavica

Donji deo toka Krasavice, očekivano, pokazuje najmanji prosečan pad - 18,6 m/km ili 0,186%. U ovom delu toka, Krasavica teče daleko manjom brzinom usled čega preovlađuje bočna rečna erozija. Korito donjeg toka je, u odnosu na gornji, znatno šire, a Krasavica se uliva u Likodru praveći manje plavinske nanose na svom ušću. Usled male dužine toka, reka nije uspeła da formira tipičnu aluvijalnu ravan, pa se u donjem delu glavnog toka mogu naći samo umerene količine vučenog nanosa, sa sprudovima od krupnog šljunka.

## ZAKLJUČAK

Na osnovu dobijenih tabela konstatujemo da je vodotok Krasavice veoma razvijen (sa razvijenijom desnom stranom), da je slivanje vode u rečnu mrežu znatne brzine ali da reka na glavnom toku ima više meandara kojima usporava svoj proticaj. Dužina desnih je veća od pritoka sa leve strane sliva dok površina sliva ima oblik lepeže što pogoduje razvitku bujičnih tokova. Stoga se u okviru sliva mogu očekivati pojave naglih bujičnih voda.

Analizom uzdužnog profila Krasavice i padova na pojedinim sektorima toka, na urađenom DEM-u, zaključujemo da padovi idući nizvodno imaju manje vrednosti, što ukazuje na unazadno usaglašavanje uzdužnog rečnog profila. Najveću vrednost pada profil ima očekivano u gornjem delu sliva (preko 30°). Nizvodno od njega dolazi generalno do smanjivanja nagiba rečnog profila. Na sektoru 2000-2500 dolazi do povećanja pada uzdužnog profila za 10° (javlja se kao posledica pritanja Bajića i Jovanovića potoka glavnom toku Krasavice). Povećanje pada uzdužnog profila za 6° zapaža se i na sektoru

3495-3650 kao posledica znatnog povećanja ugla dolinskih strana i dominacije dubinske erozije nad horizontalnom. Nakon ovog sektora dolazi do konstantnog opadanja pada i njegova najmanja vrednost se uočava na poslednjem sektoru 4900-5250 m kada potok svojim tokom ulazi u široku aluvijalnu ravan Likodre.

Potok Krasavica pripada III kategoriji jačine erozivnih procesa i C hidrografskoj klasi toka - bujični potok (Lazarević, 2004, Ristanović i sar., 2016). Potočna korita u slivu Krasavice imaju različite dubine i izgled poprečnih profila. Odlikuju se velikim kolebanjem nivoa vode, odnosno, intenzitetom njihovog usecanja. Nakon velikih kiše ili naglog otapanja snega može doći do brzog povećanja nivoa vode pa čak i do izlivanja. Svako pluskovito nevreme prate hidrološki problemi u slivu koji se manifestuju u vidu karakterističnih bujičnih tokova.

Dugoročan zadatak koji se, nakon detaljno GIS analize, stavlja pred vodoprivrednu organizaciju i organe lokalne zajednice je sanacija svih erozionih i bujičnih žarišta, konzervacija i rekultivacija slivova (kao elemenata kompleksnog gazdovanja vodom i zemljištem). Kod zaštite slivova prednost treba dati slivovima čije vode mogu poslužiti za vodosnabdevanje Krupanjske opštine. Drugi prioritet pri zaštiti slivova imaju prostori stavljeni pod državnu zaštitu. Prednost kod antierozivnih mera treba dati biološkim merama zaštite (pošumljavanje i melioracija šumskih pašnjaka).

Kao najekonomičnije rešenje predlaže se integralno uređenje područja sliva. Potrebno je uraditi antierozivne zahvate i urediti rečna korita bujičnih slivova. Uređenje vodotoka postaje sve kompleksnije i složenije jer se postavljaju oštriji kriterijumi za zaštitu od poplava sve većeg broja ljudi i materijalnih dobara na ugroženim područjima i sve raznovrsniji uslovi i granične vrednosti za korišćenje i zaštitu voda i vodenih tokova. Jedino sistemski pristup koji u sebi sadrže GIS aplikacije može dati sveobuhvatno rešenje.

#### LITERATURA

- Grupa autora, (1983) Tumač za kartu erozije Podrinjsko-kolubarskog regiona, Institut za šumarstvo i drvenu industriju, Odeljenje za eroziju i melioraciju, Beograd
- Lazarević, R. (2004) Eksperimentalna istraživanja intenziteta vodne erozije, Društvo bujičara Srbije i Crne Gore, Beograd
- Ocokoljić, M. Hidrografska mreža u Geografskom informacionom sistemu Srbije, Zbornik radova „I jugoslovenski skup o GIS tehnologijama”, Beograd, Geografski institut „Jovan Cvijić”, SANU (1996) 19-28
- Ristanović, B., Bubalo Živković, M., Tanasić, J., Popović, A. (2016) Monografija opštine Krupanj, Opština Krupanj, Departman za geografiju, turizam i hotelijerstvo, Novi Sad

## MOGUĆNOSTI GIS-a U REŠAVANJU EROZIVNIH PROBLEMA U SLIVU POTOKA MAĐUPCA

Branko Ristanović\*, Branko Miljanović\*, Marija Cimbaljević\*  
Đurđa Miljković\*, Dragana Milošević\*, Aleksandar Popović\*\*

\* *Prirodno-matematički fakultet, Trg Dositeja Obradovića 3, Novi Sad,  
brankoris@yahoo.com*

\*\* *Gimnazija "Sava Šumanović", Laze Kostića 2, Šid*

### REZIME

Fluvijalnom i erozijom zemljišta ugroženo je više privrednih grana i oblasti: vodoprivreda, poljoprivreda, šumarstvo, saobraćaj i komunalna infrastruktura. U svakoj oblasti preduzimaju se pojedine mere zaštite od erozije, naročito, u slučaju većeg stepena ugroženosti konkretnog lokaliteta. Parcijalni pristup zaštiti od erozije je neminovan i opravdan u slučajevima kada je neophodno urgentno rešavanje problema. Međutim, mnogo efikasniji i racionalniji način bi bio integralni pristup antierozivnom uređenju cele teritorije Srbije. Najsveobuhvatniji pristup (iskustva razvijenijih zemalja) je primena GIS u identifikaciji, praćenju i sistemskom rešavanju erozionih problema koji se mogu javiti u određenom slivnom području (studija slučaja potoka Mađupac, basen sliva Likodre, zapadna Srbija)

KLJUČNE REČI: Mađupac, erozivni problemi, GIS

## POSSIBILITIES OF GIS IN SOLVING EROSION PROBLEMS IN THE BASIN STREAM MAĐUPAC

### ABSTRACT

Fluvial and soil erosion affected many industries and areas: water, agriculture, forestry, transportation and utility infrastructure. In each area are undertaken certain measures of protection from erosion, particularly in the case of a higher degree of vulnerability of specific sites. Partial access to protection against erosion is inevitable and justified in cases where it is necessary to urgently solve the problem. However, much more efficient and cost-effective way would be an integrated approach to antierosion regulation of the entire territory of Serbia. The most comprehensive approach (the experience of developed countries) is the application of GIS in identifying, monitoring and addressing systemic problems of erosion that can occur in a particular catchment area (case study streams Mađupac, basin of Likodra, western Serbia)

KEY WORDS: Madjupac, erosion problems, GIS

## UVOD

Poplave, fluvijalna erozija i druge štetne posledice koje prouzrokuju vodeni tokovi, manifestuju se pri ekstremnim hidrološko - hidrauličkim pojavama koje su stohastičkog karaktera. Zato se sistemi i mere za smanjenje štetnih posledica dimenzionišu (određuju) na merodavne hidrološko - hidrauličke uticaje usvojene (određene) verovatnoće pojave. U takvim uslovima se ne može računati na potpunu zaštitu od štetnog dejstva vodenih tokova (normalnog ili bujičnog karaktera), jer se od usvojenog uticaja može pojaviti još veći (svakako, sa manjom verovatnoćom pojave) i izazvati štete. Štete od poplavnih talasa i drugih nepovoljnih uticaja vodenih tokova ne mogu se totalno eliminisati, već se može i mora razumno smanjiti šteta.

Pri planiranju antierozivnih radova u budućem periodu treba imati u vidu iskustva iz prošlosti. U tom kontekstu postoje pozitivni efekti socijalnih i demografskih procesa na stanje erozije. Naime, migracija seoskog stanovništva iz pasivnih krajeva (koja su najčešće i glavna erozivna područja) imala je značajan efekat na smanjenje intenziteta erozionih procesa. Smanjenje agrarnog pritiska i stočnog fonda doprinelo je spontanom smirivanju erozionih procesa i revitalizaciji vegetacionog pokrivača. Ukoliko se ovakvi demografski i društveno - ekonomski trendovi nastave u budućnosti, to bi značajno uticalo na smanjenje obima antierozivnih radova (Ristanović i sar., 2016). Ali, sistemski pristup rešavanju problema izazvanih erozionim procesima koji se odigravaju na prostoru slivnih područja vodenih tokova, se odnosi na upotrebu geografskih informacionih sistema - nauka. Neophodnost njihove primene se ogleda u brzini evidencije problema i usvajanja predloženih rešenja za prevenciju i minimiziranje mogućih štetnih uticaja. Studija slučaja, realizovana na potoku Mađupac koji se nalazi u izrazito erozivnom području basena Likodre (Rađevina, zapadna Srbija), nam to najbolje dokazuje.

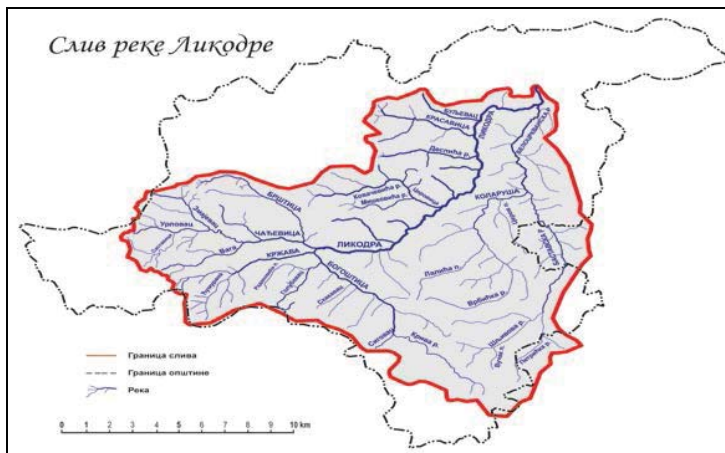
## MATERIJAL I METODE

Na osnovu digitalizovane topografske karte razmera 1:25.000 i urađenog digitalnog elevacionog modela, u kombinaciji sa terenskim posmatranjem i merenjem, izračunati su kvantitativni parametri sliva i vodotoka Mađupca. Pri obradi morfometrijskih pokazatelja je korišćen ARC GIS softver. Prilikom izračunavanja stepena jačine erozionog procesa je korišćen Gavrilovićev empirijski model sa tablicama parametara (Gavrilović i sar., 1970), dopunjen od strane Lazarevića (1983) i modifikovan od strane Ristanovića (2004). Pomoću terenskog istraživanja i morfometrijske analize digitalnog elevacionog modela, dobijene su hidrografska klasa i erozivni tip koji odgovaraju slivnom području potoka Mađupac. To će omogućiti da se u budućem periodu, na osnovu uniformnosti metodologije i upotrebe GIS alata, vrši znatno brži monitoring i komparacija osnovnih fluvijalnih erozivno-akumulativnih karakteristika sliva istraživanog potoka sa prethodnim stanjem.

## GEOGRAFSKI POLOŽAJ I OSNOVNE KARAKTERISTIKE SLIVA

Sliv potoka Mađupca prostire se na levoj dolinskoj strani reke Likodre (Rađevina, zapadna Srbija). Teritorijalno se prostire atarima naselja Krasava i Likodra. Često se naziv potoka

Mađupac ne koristi, već se na kartama prikazuje pod imenom Despića reka, po zaseoku Despići kroz koji potok protiče.



Karta 1: Položaj sliva Mađupca (Despića reke) u basenu Likodre - Autor: A. Popović, 2016.  
Map 1: Location of the catchment Mađupac (river Despić) in basin of Likodra - Author: A. Popović, 2016.

Geološki sastav sliva je raznovrstan i složen, kako stratigrafski tako i litološki, jer su u njemu zastupljene različite vrste stena, od krečnjaka gornjokredne starosti preko miocenskih i pliocenskih do pleistocenih i holocenih naslaga (Filipović, 1996). Potok Mađupac od izvorišta ka ušću seče stene različite starosti i fizičko - hemijskih osobina, što je znatno uticalo na oblik njegove doline. U gornjem delu sliva, gde je potok usečen u bituminozne krečnjake, dolina je uska i strmih dolinskih strana. Idući nizvodno dolina se postepeno širi i u donjem delu sliva ona je široka sa blagim dolinskim stranama. U donjem delu korito je usečeno u mlade neogene i kvartarne sedimente. Klimatsko podneblje sliva je umereno-kontinentalno (leta umereno topla, zime umereno hladne dok su prelazna godišnja doba duga i blaga). Planinsko zaleđe, svojom visinom, inicira subplaninski klimatski tip koji je zastupljen u gornjem delu sliva Mađupca.

U slivu reke Likodre zastupljeni su erozivni procesi od I do IV kategorije, tj. od vrlo slabe do jake. U ravničarskom delu toka reke Likodre izdvojen je, kao posebna kategorija, aluvijum kod koga je donošenje nanosa (akumulacija) veće od odnošenja (erozije). Analizom granulometrijskog sastava nanosa u koritu reke Likodre i njenih pritoka, konstatuje se da je u celokupnom slivu pretežno zastupljen površinski tip erozije (Ristanović, 2007).

Na geoprostoru basena Likodre najviše je manjih bujičnih potoka, suvodolina i urvinskih slivova. Slede bujični potoci, jaruge i vododerine. Pritoka tipa bujičnih rečica u slivu Likodre nema, dok su njene tri glavne sastavnice svrstane u bujične reke. Parametri iz

modifikovanog Gavrilovićeovog modela Likodru svrstavaju u bujičnu reku (Ristanović, 2005).

## REZULTATI

U radu je izračunato 11 morfometrijskih karakteristika sliva, 6 morfometrijskih karakteristika vodotoka i četiri izvedene veličine karaktera vodotoka i sliva. Morfometrijske karakteristike su računane primenom ARC GIS softvera 10.1. što je omogućilo mnogo veću preciznost od metoda koje su bile korišćene u istraživanjima ranijih autora. Proračuni su urađeni na osnovu digitalizovane topografske karte Zvornik 2 u razmeri 1:25.000 i digitalnog elevacionog modela (DEM). Karakteristike su obrađene na osnovu preporuke Prohaske i saradnika (1996), Ocololjića i Milijaševića (2010).

Preciznost merenja se može potvrditi na osnovu odstupanja od autora koji su vršili merenja nedovoljno preciznim instrumentima (kurvimetar i planimetar). Potpuna primena kvantitavnih parametara sliva potoka Mađupac može se očekivati tek kada se metodološki istovetna istraživanja budu sproveda na prostoru ostalih dolina rađevskih potoka i izvrši korelacija i poređenje.

Tabela 1: Morfometrijske karakteristike sliva Mađupca  
Table 1: Morphometric characteristics of the basin Mađupac

Površina sliva	Obim sliva	Dužina sliva	Srednja širina sliva	Koeficijent izduženosti sliva	Morfološki koeficijent sliva	Gustina rečne mreže	Srednja dužina padina	Visinski položaj sliva	Srednja nadmorska visina sliva	Srednji pad sliva
$F = 3,6 \text{ km}^2$	$S = 11,5 \text{ km}$	$L_s = 7,125 \text{ km}$	$B = 0,5 \text{ km}$	$K\delta = 5,88$	$\delta k = 0,17$	$D = 2,394 \text{ km/km}^2$	$L_p = 0,23 \text{ km}$	$\Delta H = 169 \text{ m}$	$H_s = 306,7 \text{ m}$	$I_{sl} = 31^\circ$

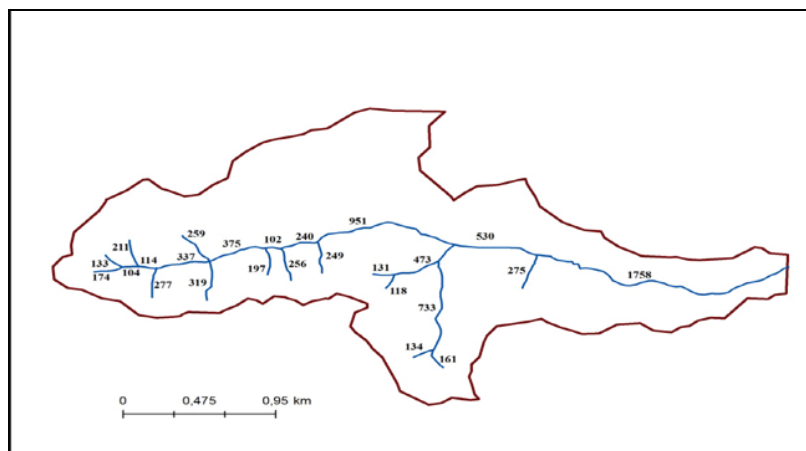
Tabela 2: Morfometrijske karakteristike vodotoka Mađupca  
Table 2: Morphometric characteristics of watercourse Mađupac

Dužina vodotoka	Ukupna dužina svih vodotoka u slivu	Neravnomernost razvitka rečne/potočne mreže	Frekvencija pritoka	Ukupan pad toka	Srednji pad toka
$L = 4,68 \text{ km}$	$\Sigma_L = 8,6211 \text{ km}$	$f_k = 0,18$	$f_n = 0,47 \text{ km}$	$H_r = 169,2 \text{ m}$	$I_{sr} = 36,1\text{‰}$

Fluvijalna erozija predstavlja komponentu kompleksnih rečnih procesa koji se odigravaju pod uticajem prirodnih i antropogenih faktora. Zato se zaštita od fluvijalne erozije tretira u



okviru uređenja vodotoka. Kontrola ovog tipa erozivnih procesa ima dvostruki efekat: sprečavanjem bočne erozije korita postiže se zaštita obala i priobalja dok se, sa druge strane, zaustavlja ulaz materijala iz ruševnih obala u rečno korito i time onemogućava formiranje nanosnih naslaga koje smanjuju propusnu moć korita. Zaštita od erozije obala je vrlo značajna, kako u slučaju poljoprivredne namene priobalja (sprečavanje gubitka zemljišta), tako i u slučaju kada se u priobalju nalaze industrijski ili stambeni objekti i saobraćajna infrastruktura (primeri Likodre, Bogoštice, Brštice, Belocrkvanske reke, Krasavice, Mađupca). U okviru antropogenih faktora fluvijalne erozije posebno se ukazuje na problem nekontrolisane eksploatacije materijala iz rečnog korita. „Bagerovanje“ većeg obima na nepovoljnim lokacijama narušava morfološku ravnotežu vodotoka i dovodi do velikih deformacija korita i obala, odnosno, pojačava (ubrzava) prirodnu tendenciju fluvijalne erozije. Sa aspekta eksploatacije materijala, ovaj proces nije nepovoljan jer omogućuje permanentno obnavljanje nanosnih zaliha. Međutim, sa aspekta stabilizacije rečnog korita i zaštite obala i priobalja, interakcija bagerovanja i fluvijalne erozije je vrlo nepovoljna. Otuda je neophodno da se eksploatacija materijala iz rečnog korita vrši samo na onim potesima gde neće izazvati proces fluvijalne erozije i na način na koji rečni tokovi zadržavaju stabilno stanje. Sa obzirom na povezanost problema fluvijalne erozije i eksploatacije materijala iz rečnog korita neophodan je adekvatan pristup ovoj problematici. Takav pristup se podrazumeva kod primene koncepta „sediment management-a“, koji obuhvata genuzu, transport i korišćenje nanosa (Ristanović i sar., 2016).



Karta 2: Dužina potočne mreže u slivu potoka Mađupac  
Map 2: Length of stream in the basin Mađupac

Izvedene veličine karaktera vodotoka i sliva su urađene na osnovu formula za koeficijent asimetrije sliva, koeficijent krivudavosti toka, koeficijent neravnomernosti rečnog toka i koeficijent razvoja vododelnice (Ocokoljić i sar., 1976), uz pomoć DEM-a.

Tabela 3: Izvedene veličine karaktera vodotoka i sliva Mađupca  
Table 3: Derived size of the river and basin Mađupac

Koeficijent asimetrije sliva	Koeficijent krivudavosti toka	Koeficijent neravnomernosti rečnog toka	Koeficijent razvoja vododelnice
$K_a = -0,11$	$K_1 = 0,65$	$K_n = 0,18$	$m_v = 1,64$

U sklopu antierozionog uređenja osnovni interes vodoprivrede se sastoji u zaštiti vodoprivrednih objekata od nanosa (fluvijalna akumulacija). Zbog toga se, pri razmatranju antierozionih mera za potrebe vodoprivrede, mora voditi računa o stepenu ugroženosti pojedinih objekata i o stepenu osetljivosti objekata na zasipanje nanosom. Stepenu ugroženosti objekata od nanosa zavisi od količine nanosa koji pristiže do objekata, odnosno, od veličine slivnog područja i stanja erozivnih procesa na tom području. Stepenu osetljivosti pojedinih objekata na zasipanje nanosom zavisi od toga koliko nanos ugrožava osnovnu funkciju objekata, kao i od činjenice da li su nanosne naslage privremenog (u regulisanim rečnim koritima) ili stalnog karaktera (akumulacija na kaskadama i branama podignutim u koritima najintenzivnijih bujičnih tokova).

#### ZAKLJUČAK

Analizom koeficijenta izduženosti utvrđeno je da je verovatnoća pojave povodnja mala zbog čega je smanjena verovatnoća pojave intezivnih fluvijalnih, proluvijalno-deluvijalnih i kolvijalnih procesa. Gornji deo sliva potoka Mađupca se odlikuje velikom gustinom rečne mreže za razliku od donjeg dela sliva kada glavni tok prima samo jednu povremenu pritoku. To ukazuje da je gornji sliv usečen u vododržljive stene u kojim je bilo moguće formiranje vodenih tokova, ali i na veću površinu sabirne oblasti. Srednja nadmorska visina sliva Mađupca ( $H_s = 306,7$  m) nam pokazuje da sliv pripada grupi slivova srednje visine na Podrinjskim planinama. Dobijena vrednost ukazuje na široku razvijenost sliva u izvorišnoj oblasti, sve do ušća bezimene pritoke u srednjem delu sliva (karta 2).

Tokom terenskog istraživanja, obavljenog početkom septembra meseca 2017. godine kada vodostaji imaju najmanje vrednosti, konstatovana je pojava da se u gornjem delu sliva, u koritima potoka, javljaju vodeni tokovi dok je u donjem delu sliva korito bilo suvo. Ta pojava se dešava usled toga što je gornji deo sliva usečen u vododržljive stene dok je donji sliv u povlati izgrađen od poroznih kvartarnih i holocenih naslaga. Koeficijent asimetrije sliva ukazuje da je sliv izrazito razvijeniji na desnoj strani (karta 2).

Morfološke karakteristike sliva potoka Mađupca analizirane su na osnovu DEM-a, topografske i hipsometrijske karte, više poprečnih i uzdužnih profila glavnih tokova. Iz analize ovih parametara donet je zaključak da dolina potoka Mađupac ima kompozitni karakter, odnosno, da se sastoji od više suženja i proširenja. Analizom poprečnih profila i njegovih kvantitativnih parametara dolazimo do zaključka da se nagibi dolinskih strana u brdskom delu sektora kod svih izvorišnih tokova povećavaju a da se posle ušća bezimenog

potoka, kada potok uđe u fluviudenudaciono proširenje, nagib dolinskih strana smanjuje. Vertikalna visina profila doline je povezana sa padovima dolinskih strana.

Najznačajniji recentni erozivni procesi koji deluju na modifikaciju reljefa sliva potoka Mađupca su: proluvijalno-deluvijalni, fluvijalni i koluvijalni proces. Erozivnim fluvijalnim procesom formirana su korita i doline potoka u kojima postoji stalan tok. Akumulativnim fluvijalnim procesom u donjem delu sliva formirana je aluvijalna ravan Mađupca ograničenog prostiranja i plavina koja se nalazi na ušću u Likodru. Deluvijalno-proluvijalni proces trenutno je najznačajniji proces u modifikovanju reljefa sliva potoka Mađupca. Najveći uticaj na razvoj ovog procesa imaju difuzni i povremeni linearni tokovi. Ovim procesom najviše su ugroženi delovi sliva sa najvećim nagibom, a to su dolinske strane potoka. Međutim strme dolinske strane potoka se nalaze u gornjem slivu potoka i on je tu pokriven šumom koja izrazito smanjuje intenzitet ovog procesa. Negativni uticaj na razvoj deluvijalno-proluvijalnog procesa ima čovek koji pri obradi zemljišta vrši oranje upravno na pružanje izohipsi što utiče na povećan intenzitet deluvijano-proluvijalnog procesa. Koluvijalnim procesom u slivu Mađupca nastaju klizišta i odroni. Glavni faktori klizanja u slivu potoka su geološki sastav i antropogeni faktor. Na terenskom istraživanju tokom izrade ovog rada utvrđeno je klizanje prema severnim i južnim padinama Cerovačkog i Matića brda. Dva klizišta su, takođe, identifikovana na levoj dolinskoj strani strani bezimenog potoka i imaju pad prema potoku.

Potok Mađupac pripada III kategoriji jačine erozivnih procesa i D hidrografskoj klasi toka - suvodolina i manji bujični potok (B. Ristanović, 2004). Potočna korita u slivu potoka imaju različite dubine i izgled poprečnih profila. Odlikuju se velikim kolebanjem nivoa vode, odnosno, intenzitetom njihovog usecanja. Pri obilnijim kišama ili prilikom naglog otapanja snega može doći do naglog povećanja nivoa vode pa čak i do njenog izlivanja. Sistem za praćenje i izračunavanje parametara potrebnih za primenu modifikovanog modela za merenje iznosa erozivnog procesa i tipova koji ga određuju, a koji se bazira na upotrebi GIS-a, daje optimalne rezultate koji se ogledaju u: brzini izračunavanja parametara, njihovom trenutnom ažuriranju i sistematičnom monitoringu pojave. Stoga je upotreba GIS-a u ovom procesu neophodan metodološki postupak.

U cilju izgradnje efektivnih sistema za odbranu od bujičnih poplava potrebne su značajne promene trenutnog stanja u administrativnom, obrazovnom i informacionom smislu i promena postojeće zakonske regulative. U aktuelnom Zakonu o vodama je prisutan diskutabilan stav člana 23, kojim se objekti za zaštitu od erozije i bujica na vodotokovima II reda (bujični vodotokovi) prepuštaju nadležnosti lokalnih samouprava, gradovima, opštinama i mesnim zajednicama. Sa obzirom da lokalne samouprave nemaju (sem nekoliko izuzetaka), materijalne i ljudske resurse da se time bave (što je katastrofa iz 2014. godine i pokazala), neophodna je puna nadležnost (ili makar intenzivna intervencija) republičkih institucija u procesima projektovanja, izvođenja i održavanja objekata za zaštitu od erozije i bujičnih poplava.

Primena predloženih mera, pomoć i intervencija državnih institucija lokalnim zajednicama, kao i minimiziranje uočenih sistemskih i organizacionih nedostataka, značajno bi povećali

efikasnost sistema za zaštitu od erozije i bujičnih poplava što bi doprinelo maksimalnom ublažavanju posledica meteorološko-hidroloških ekstrema, izbegavanju veće materijalne štete i, što je najvažnije, eliminisanju ljudskih žrtava.

#### LITERATURA

- Grupa autora, (1970) Vodoprivredna osnova reke Jadar, sv. IV, Vodoprivredna organizacija „Loznica“, Loznica
- Grupa autora (1983) Tumač za kartu erozije Podrinjsko-kolubarskog regiona, Institut za šumarstvo i drvenu industriju, Odeljenje za eroziju i melioraciju, Beograd
- Lazarević, R. (2004) Eksperimentalna istraživanja intenziteta vodne erozije, Društvo bujičara Srbije i Crne Gore, Beograd
- Ocokoljić, M. Određivanje nekih opštih karakteristika sliva, Vodoprivreda, br. 44, (1976) 26-32
- Ocokoljić, M. Hidrografska mreža u Geografskom informacionom sistemu Srbije, Zbornik radova „I jugoslovenski skup o GIS tehnologijama“, Beograd, Geografski institut „Jovan Cvijić“, SANU (1996) 19-28
- Ocokoljić, M., Milijašević, D. Elementi rečnog sliva – terminologija izraza, značenje i upotreba, Globus, 35 (2010) 69-80
- Prohaska, S., Petković, T., Ristić, V. (1996) Praktikum iz hidrologije, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd
- Ristanović, B. (2004) Geomorfološke karakteristike Rađevine, doktorska disertacija u rukopisu, Prirodno - matematički fakultet, Departman za geografiju, turizam i hotelijerstvo, Novi Sad
- Ristanović, B. Bujični vodotokovi u slivu Likodre, Zbornik radova Departmana za geografiju, turizam i hotelijerstvo, broj 33&34, Prirodno-matematički fakultet, Departman za geografiju, turizam i hotelijerstvo, Novi Sad, (2005) 70-77
- Ristanović, B. Kuzman, S. Bobalj, D. Primena kartometrijskih izračunavanja prilikom određivanja stepena jačine erozivnih procesa, 1. Kongres Srpskih geografa, Knjiga 3, Bograd, Soko Banja (2007) 1135-1143
- Ristanović, B., Bubalo Živković, M., Tanasić, J., Popović, A. (2016) Monografija opštine Krupanj, Opština Krupanj, Departman za geografiju, turizam i hotelijerstvo, Novi Sad
- Filipović, I. (1996) Geološke karakteristike i potencijalnost geoloških resursa regije Kolubare, Mačve i Podrinja, Geološki zavod „Gemini“, Posebno izdanje, Beograd

## SADRŽAJ UKUPNIH NAFTNIH UGLJOVODONIKA U SEDIMENTU DUNAVA

Tanja Nenin, Anđelka Petković, Jasna Čolić, Marija Perović

*Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“, Jaroslava Černog 80, 11226 Beograd,  
Pinosava, e-mail: [tanja.nenin@jcerni.co.rs](mailto:tanja.nenin@jcerni.co.rs)*

### REZIME

Prezentovani su rezultati ispitivanja sadržaja ukupnih ugljovodonika (C<sub>10</sub>-C<sub>40</sub>) u uzorcima sedimenata Dunava i pritoka: Tisa, Sava, Velika Morava i Pek. Ekstrakcija ukupnih naftnih ugljovodonika (C<sub>10</sub>-C<sub>40</sub>) izvršena je automatskom ubrzanom ekstrakcijom pod temperaturom i pritiskom (ASE–metoda). Kvantifikacija C<sub>10</sub>-C<sub>40</sub> izvršena je gasno-masenom spektrometrijom (GC&MS). Najveći sadržaj C<sub>uk</sub> iznosio je 1361,6 mg/kg (Ritopek -2016.). Ostale izmerene vrednosti (2012.g. - 2017.g.) bile su ispod 300 mg/kg osim za lokaciju Kladovo (544,4mg/kg 2012.g.) i za pritoku V.Morava (347,4 mg/kg, 2017.g.).

KLJUČNE REČI: Cuk, Dunav, sediment, ASE, GC&MS,

## TOTAL HYDROCARBON CONTENT IN DANUBIE SEDIMENT

### ABSTRACT

Paper deals with investigation results for total petroleum hydrocarbons (TPH) in samples of sediments the flow of the Danube through Serbia, as well as in tributaries: Tisa, Sava, Morava and Pek. We applied accelerated solvent extraction (ASE) and method of gas chromatography-mass spectrometry (GC&MS) for quantification of TPH. The highest total TPH content was 1361,6 mg/kg at Ritopek in 2016. Other values in period 2012-2017 were below 300mg/kg, except for location Kladovo (544,4mg/kg in 2012.g.) and for tributary V.Morava (347,4mg/kg in 2017.).

KEY WORDS: TPH, Danubie, sediment, ASE, GC&MS,

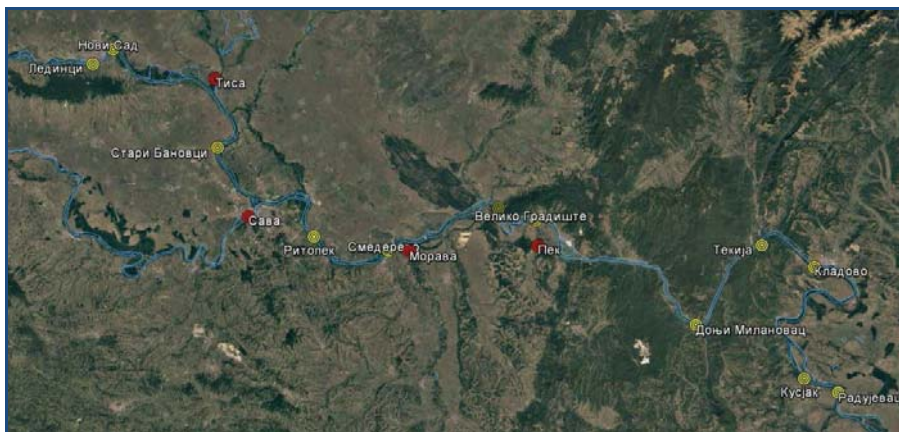
### UVOD

Kontaminacija rečnog sedimenta ugljovodonicima dešava se najčešće usled curenja nafte, dizela ili sredstava za podmazivanje. Rutinsko određivanje ugljovodonika vrši se infracrvenom spektroskopijom nakon ekstrakcije sa halogenovanim rastvaračima poput tetrahlorometana (Literathy, 2015). Zbog štetnosti navedenih rastvarača u nekim zemljama je zabranjena upotreba tetra-hlorovanih ugljovodonika. Alternativna metoda za ekstrakciju ugljovodonika iz zemljišta i sedimenta je Soxhlet-ova ekstrakcije (U.S. EPA Method 3540)

i ultrazvučna ekstrakcija (U.S. EPA Method 3550). Navedene tehnike zahtevaju intezivan rad u laboratoriji (18 sati) i veliku potrošnju rastvarača, (oko 600ml rastvarača po uzorku). Savremene metode poput automatske ubrzane ekstrakcije pod pritiskom i povišenom temperaturom (ASE-Accelerated Solvent Extraction) značajno smanjuju vreme ekstrakcije analita (manje od 20 minuta) ali i potrošnju rastvarača (manje od 50 ml rastvarača po uzorku). Nedostatak ASE tehnike je što se pri tokom ekstrahovanja na povišenoj temperaturi i pritisku, ekstrahuju i analiti „smetnje“ koji mogu ometati kvalitativnu i kvantitativnu detekciju ugljovodonika. Međutim, ovaj problem ekstrahovanja „smetnji“ rešava se prečišćavanjem na staklenim kolonama sa silika-gelom (Florsil).

### OPIS LOKACIJA UZORKOVANJA

Ispitivanja su sprovedena na toku Dunava kroz Srbiju od mesta Ledinci (sever -1261km Dunava) do Radujevac (istok-851km Dunava) na zajedničkom srpsko - rumunskom sektoru reke Dunav pod usporom. Uzorkovanje je izvršeno sa 12 profila na dužini od 410 kilometara toka reke Dunava. Takođe, izvršena su i ispitivanja većih pritoka Dunava na ovoj deonici i to: Tisa (1216 km), Sava (1170 km), Velika Morava (1103 km) i Pek (1057 km). Uzorci sedimenta ispitivani su sa ciljem procene akumuliranja zagađujućih materija u sedimentu, kao i biogenih elemenata, koji potencijalno mogu dospeti u vodeni stub.



Slika 1. Mapa terena ispitivanih lokacija toka Dunava (Ledinci – Radujevac)

Figure 1-: Map of examined location Danube river (Ledinci – Radujevac)

Uzorci sedimenta su zahvatani sa broda, bagerom tipa Van-Veen, zahvatne površine 270cm<sup>2</sup>. Uzorkovanje je vršeno bliže desnoj obali, na lokacijama definisanim prema tome gde se najintenzivnije taloži nanos. Uzorci sedimenta se zahvataju kao poremećeni, površinski, pakovani su u propisno obeležene i odgovarajuće kontejnere i odmah po završenom uzorkovanju vršen je transport do laboratorije u ručnim frižiderima. Sva merenja i laboratorijska ispitivanja su sprovedena prema propisanim i standardnim metodama i usvojenoj metodologiji rada, Laboratoriji Instituta za vodoprivredu, “Jaroslav Černi” iz Beograda u standardom propisanom roku. Uzorci sedimenta ostavljeni su na

sobnoj temperaturi da se osuše tako da sadržaj vlage bude manji od 10% a potom usitnjeni i prosejani na granulaciju manju od 1mm.

### EKSPERIMENTALNI DEO

Ekstrakcija ukupnih naftnih ugljovodnika (TPH) iz uzorka sedimenta vršena je savremenom metodom automatske ekstrakcije organskim rastvarčima (heksan:acetone, 1:1 v/v) pod pritiskom (ASE-“Accelerated Solvent Extraction”) a za njihovu kvalitativnu identifikaciju i kvantifikaciju korišćena je metoda gasna hromatografija - masena spektrometrija (GC&MS). Metoda koja je korišćena u radu primenljiva je i na zemljište i sediment sa sadržajem ugljovodonika (> C<sub>12</sub>) između 25 i 4000mg/kg i za otpad sa sadržajem ugljovodonika (C<sub>10</sub>-C<sub>40</sub>) između 50 i 8000mg/kg izraženo na suhu materiju (Galbiati i sar., 2016.). Svi ugljovodonici koji ključaju u opsegu 175°C do 525°C, tj n-alkani od C<sub>10</sub>H<sub>22</sub> do C<sub>40</sub>H<sub>82</sub>, izoalkani, cikloalkani, alkil benzeni, alkil naftaleni i policiklični aromatični ugljovodonici se određuju kao ukupni naftni ugljovodonici (TPH). Eksperimentalni deo sastojao se u sprovođenju procedure uzorkovanja, ekstrakcije ispitivanih kontaminanata (TPH) iz sedimenta, injektovanje uparenih ekstrakata, GC&MS analize i obrade rezultata uz pomoć softvera Chemstation MSD.

Odmerena količina uzorka (5-10g) prebačena je u ekstrakcionu ćeliju zapremine 34 ml, zajedno sa 1,5g dijatomejske zemlje. Tako pripremljeni uzorak ekstrahovan je metodom automatske ekstrakcije pod pritiskom – ASE tehnika na uređaju ASE 350, Dionex, Thermo Scientific. Uslovi ekstrakcije: 100°C; 1500psi; vreme zagrevanja u peći 5min; ekstrakciona smeša: heksan (p.a. Fisher Chemicals) i acetone (p.a. J.T.Baker) u zapreminskom odnosu 1:1;. Ukupno vreme ekstrakcije iznosi oko 14 minuta. Dobijeni ekstrakti upareni su do zapremine 1ml na Rotavapor 210/215, (Buchi,Švajcarska). Za razdvajanje koristi se kapilarna kolona HP-5MSI(19091S-433): 30m x 0,250mm x 0,25µm (Aglient). Snimanje hromatograma obavljeno je pod sledećim uslovima na Aglient GC7890A: početna T peći 50°C; početno vreme 4 minuta; Rampa 8°C/min do 310°C, 10min.; temperatura injektora 300°C; Mod: Pulsed splitless; pritisak 8,85psi; pulse pressure 30psi; injekciona zapremina 1 µl; gas helijum; početni protok 1ml/min. Uslovi podešavanja masenog spektrometra: transfer linija 280°C; Temperatura MS kvadrupola 150°C; temperatura jonskog izvora: 230°C. Ukupno vreme snimanja hromatograma 46,50 minuta.

### REZULTATI I DISKUSIJA

Radi potvrde kvaliteta merenja sproveden je “recovery” test preciznosti za C<sub>uk</sub> (C<sub>10</sub> – C<sub>40</sub>) za koncentraciju 1mg/ml . Za proveru reproduktivnosti metode upotrebljen su referentni materijal PT-šeme od PT-provajder BIPEA-Francuska, kampanja 38a sledećih matriksa: zemljište, morski sediment i rečni sediment, kao i referentni materijal PT-šeme PT provajdera LGC-Standards, kampanja CN101, uzorak zemlje 3c.

Metoda se validuje svake godine uz minimum jednu revalidaciju korišćenjem dostupnog CRM-a. Ocenu reproduktivnosti metode vršena je preko z<sub>score</sub>-a prema sledećoj jednačini:

$$z_{score} = \frac{(X_{izm} - X_{CRM})}{SDPA} \quad (1)$$

gde je  $X_{CRM}$  – vrednost sadržaja  $C_{uk}$  ( $C_{10} - C_{40}$ ) iz Izveštaja o rezultatima PT-šeme izdatim od strane PT-provajdera;  $X_{izm}$  – vrednost  $C_{uk}$  ( $C_{10} - C_{40}$ ) nakon ekstrakcije pod pritiskom, određena metodom GC&MS spektrometrije; SDPA-standardna devijacija, podatak iz Izveštaja o rezultatima PT-šeme. Kriterijum prihvatljivosti reproduktivnosti metode je da se z-score kreće u opsegu  $\pm 2$ .

U tabeli 1. prikazane su vrednosti sadržaja  $C_{uk}$  izmerene nakon primenjene metode ASE-ekstrakcije uzoraka sedimenta i GC&MS određivanja i iste upoređevane sa vrednostima koje im je dodelio PT-provajder („Assigned value“ -  $C_{uk\_PT38a}$ ). Primenom jednačine 1. izračunat je z-score za svaki matriks, dobijene vrednosti kreću se u prihvatljivom opsegu  $\pm 2$ .

Tabela 1. Ocena reproduktivnosti metode za određivanje Cuk (mg/kg) iz sedimenta primenom z-score i korišćenjem referentnih materijala za matrikse: mulj, morski sediment, rečni sediment i zemljište; Table.1. Qualification of the method for the determination of the TPH (mg/kg) from the sediment using a z-score and the use of referent matrix materials: sludge, marine and river sediment and soil;

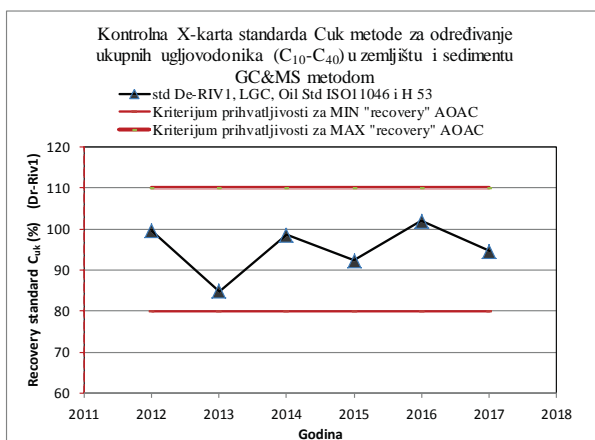
Referentni materijali (RM)	Cuk_PT38a (mg/kg)	Cuk izm (mg/kg)	PT-38a SDPA (mg/kg)	z-score
Bipea_RiverSed_38a	338	311	102	-0.26
Bipea_MarineSed_38a	615	518.3	170	-0.57
Bipea Soil_38a	350	207	105	-1.36
LGC_CN101-3c	1307	787.4	261.4	-1.99
Bipea_RiverSed_38a Izveštaj PT provajdera od 20.06.2017.	338	<b>435</b>	102	<b>0.96</b>

Na kraju tabele 1. prikazana je vrednost z-score metode na osnovu rezultata sadržaja  $C_{uk}$  kojim je laboratorija zvanično aplicirala svoje učešće u PT šemi i potvrdila reproduktivnost metode, z-score iznosio je +0,96.

Kontrola i potvrda kvaliteta metode podrazumeva dnevno praćenje standard analita ( $C_{uk}$ ) preko X-karte standard. Korišćene j standard De-RIV1, koncentracije 1mg/ml, proizvođača LGC-Standrads, Nemačka a isti predstavlja smešu ugljovodonika  $C_{10} - C_{40}$  i sastoji se iz dvokomponentne smeše benzina i ulja prema ISO 11066 i H 53.

Kriterijumi prihvatljivosti „rikaverija“ standarda za dati koncentracioni opseg (0,1mg/ml - 2mg/ml), na osnovu AOAC kriterijuma iznosi 80-100%. Na osnovu slike 2. gde su prikazane srednje vrednosti „rikaverija“ za svaku godinu rada, može se konstatovati da je kriterijum ispunjen i da je metoda pod kontrolom.

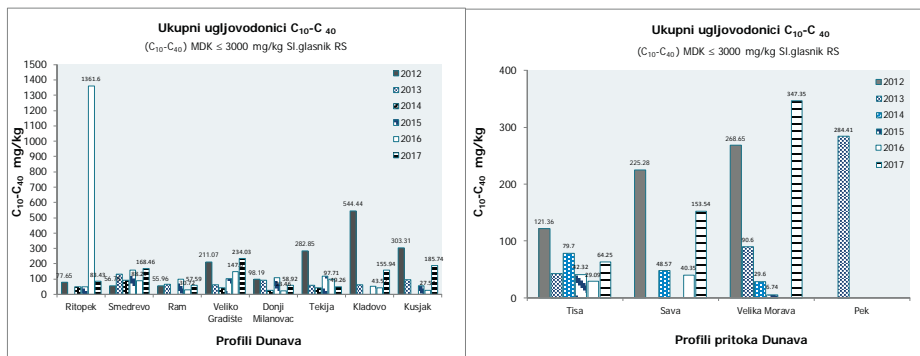




Slika 2.: Kontrolna X-karta standarda metode za određivanje ukupnih ugljovodonika ( $C_{10} - C_{40}$ ) u zemljištu i sedimentu GC&MS metodom. Standard za kontrolu kvaliteta: De-RIV1, LGC-Standards, Nemačka, napravljen prema ISO 11046 i H-53.

Figure 2.: Control X-chart for TPH (total petrol hydrocarbons) ( $C_{10} - C_{40}$ ) in soil and sediment by GC&MS. Standard for quality control: De-RIV1, LGC-Standards, Germany, according request of ISO 11046 and H-53.

Važno je napomenuti da ukoliko tokom dnevne kontrole kvaliteta dolazi do „iskakanja“ vrednosti „rikaverija“ za standard od zadatog kriterijum, metoda se mora preispitati i utvrditi izvor „iskakanja“. Na slici 3. prikazani su rezultati sadržaja ukupnih ugljovodonika ( $C_{10}-C_{40}$ ) za sediment uzorkovan tokom Dunava na potezu od Ritopeka (1141km na toku Dunava) do Kusjaka (964km na toku Dunava) kao i sediment uzorkovan iz pritoka: Tisa, Sava, V. Morava i Pek u periodu od 2012. do 2017.godine.



Slika 3.: Sadržaj ukupnih ugljovodonika ( $C_{uk}$ ) u sedimentu duž toka Dunava na potezu Ritopek-Kusjak i pritoka: Tisa, Sava, Velika Morava i Pek;

Figure 3.: The content of total hydrocarbons in sediments along the Danube from Ritopek - Kusjak and tributaries Tisa, Sava, Velika Morava and Pek

Sadržaj ukupnih ugljovodonika ispod je MDK vrednosti od 3000mg/kg duž svih ispitanih profila. Maksimalna prosečna vrednost ustanovljena je na profilu Ritopek (1361,6mg/kg) za 2016. godinu. Vrednosti prosečnih godišnjih sadržaja ukupnih ugljovodonika bile su značajno manje za ostale ispitivane profile, tako je za profil Kladovo izmerena prosečna godišnja vrednost u 2012. godini iznosila od 544,4mg/kg, a ostali profili bili su skoro upola ispod ove vrednosti (Sl.3.).

Prosečne vrednosti sadržaja ukupnih ugljovodonika za sediment pritoka na godišnjem nivou iznosile su: Tisa 121,4 kg/kg (2012.g.), Sava 225,3 mg/kg (2012), Velika Morava 347,4 mg/kg (2017.g.) i Pek 284.4 mg/kg koji je ispitan 2013. godine.

### ZAKLJUČAK

U radu su prezentovani rezultati merenja sadržaja ukupnih ugljovodonika (C<sub>10</sub>-C<sub>40</sub>) u uzorcima sedimenta na zajedničkom srpsko- rumunskom sektoru reke Dunav pod usporom. Najveća izmerena prosečna godišnja vrednost sadržaja ukupnih ugljovodinka iznosila je 1361,6 mg/kg na lokaciji kod Ritopeka (2016.g.). Vrednosti za ostale periode uzorkovanja za datu lokaciju bile su ispod 100 mg/kg, i ovaj izraziti skok ukazuje na neko lokalno akutno zagađenje neposredno pre ispitivanog perioda, a izmerena vrednost je skoro tri puta ispod maksimalno dozvoljene granične vrednosti od 3000 mg/kg („Sl.glasnik RS“, br. 50/2012). Na ostalim lokacijama uzorkovanja duž toka Dunava i ispitivanih pritoka, vrednosti sadržaja ukupnih ugljovodika su uglavnom ispod vrednosti od 300 mg/kg, što je 10 puta manje od propisanog MDK kriterijuma („Sl.glasnik RS“ 50/2012).

### LITERATURA:

- Analiza uticaja uspora HE“Đerdap1“ na priobalje u periodu 2011-2015.godine, Program VIII- Praćenje i analiza uticaja uspora na kvalitet voda i ekosredine, Institut „Jaroslav Černi“.
- F.Galbiati, L.Teli, Determination of Total Petroleum Hydrocarbons in Rubble and Soils by Accelerated Solvent Extraction and GC-FID, (2016) Application Note 120, [www.thermofisher.com/chromatography](http://www.thermofisher.com/chromatography)
- AOAC official methods of analysis (2012) guidelines for standard method performance requirements, [www.eoma.aoac.org/app\\_f.pdf](http://www.eoma.aoac.org/app_f.pdf)
- P. Literathy, A Comprehensive Analysis of Danube Water Quality, Joint Danube Survey 3 (JDS3)- ICPDR,(2015) 205-210 [https://www.icpdr.org/main/sites/default/files/.../jds3\\_final\\_scientific\\_report\\_2.pdf](https://www.icpdr.org/main/sites/default/files/.../jds3_final_scientific_report_2.pdf)

## ANALIZA KORELACIJE IZMEĐU ODABRANIH PARAMETARA N TRANSFORMACIJE U KOVIN-DUBOVCU

Marija Perović\*, Vesna Obradović\*, Anđelka Petković\*,  
Tanja Vučković\*, Boris Obrovski\*\*, Milan Dimkić\*

\* *Institut za vodoprivredu "Jaroslav Černi", Jaroslava Černog 80, Beograd,*  
[marija.perovic@jcerni.co.rs](mailto:marija.perovic@jcerni.co.rs)

\*\**Fakultet tehničkih nauka, Trg Dositeja Obradovića 6, Novi Sad*

### REZIME

Transformacija azotnih jedinjenja zavisi od niza složenih fizičko-hemijskih i mikrobiološki posredovanih procesa, među kojima su najznačajniji sorpcija i oksidoredukcija. U cilju definisanja međusobne uslovljenosti i jačine korelacije između faktora koji su dominantni u transformaciji N jedinjenja u anoksičnoj podzemnoj vodi, kao i sličnosti između ispitivanih lokaliteta, primenjena je Analiza glavnih komponenti (Principal component analysis PCA) i klaster analiza za 9 fizičko-hemijskih i mikrobioloških parametara na 14 bunara i pijezometara na teritoriji aluvijalnog akvifera Kovin-Dubovca. Primenjena statistička analiza podataka, otkrila je 4 glavna faktora, koji objašnjavaju 84,18% ukupne varijanse između analiziranih parametara. Zaključak je da su, između parametara bitnih za N transformacije na teritoriji drenažnog sistema Kovin-Dubovac, dobijene značajne korelacije između redoks potencijala (Eh), koncentracije sulfida (H<sub>2</sub>S) i broja gvožđevitih bakterija (IRB); između koncentracije amonijum jona (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), sulfat redukujućih (SRB) i denitrifikacionih bakterija (DN); i između koncentracije fero jona (Fe<sup>2+</sup>) i TOC-a.

KLJUČNE REČI azot, korelacija, mehanizmi transformacije

## CORRELATION ANALYSIS AMONG SELECTED PARAMETERS OF N TRANSFORMATION IN KOVIN-DUBOVAC

### ABSTRACT

Nitrogen compounds transformation depends on complex mechanisms of physico-chemical and microbiologically mediated processes, among which the oxido-reduction and sorption are considered as the most significant. In order to identify mutual interdependence and the strength of correlation between factors which are considered as dominant in the transformation of N compounds in anoxic groundwater, we applied Principal Component Analysis (PCA) and Cluster analysis for 9 physico-chemical and microbiological parameters in 14 facilities (wells and connected pyesometers) for anoxic alluvial groundwater from Kovin-Dubovac. Statistical analysis revealed 4 main factors, which explain 84,18% of overall variance. The conclusion shows existence of strong correlation between redox potential (Eh), sulfide concentration ( $H_2S$ ) and number of iron related bacteria (IRB); between ammonium concentration ( $NH_4^+$ ), sulfate reducing (SRB) and denitrifying bacteria (DN); and between ferro iron ( $Fe^{2+}$ ) and total organic carbon (TOC) concentration.

KEYWORDS: nitrogen, correlation, mechanisms of transformation

## KVALITET PODZEMNIH I PROCEDNIH VODA GRADSKE DEPONIJE KOMUNALNOG OTPADA

Dejan Krčmar, Slaven Tenodi, Vesna Pešić, Srđan Rončević,  
Nataša Varga, Marko Grgić, Božo Dalmacija

*Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno-matematički fakultet, Trg Dositeja  
Obradovića 3, 21000 Novi Sad, Departman za hemiju, biohemiju i zaštitu životne  
sredine, e-mail: [dejan.krčmar@dh.uns.ac.rs](mailto:dejan.krčmar@dh.uns.ac.rs)*

### REZIME

U ovom radu izvršeno je ispitivanje kvaliteta podzemnih i procednih voda uređenog i neuređenog dela deponije za naselja do ukupno 110000 stanovnika. Parametri koji su prema relevantnim zakonskim regulativama detektovani u povišenim koncentracijama su Fe, hloridi i Zn za podzemne vode, i HPK, BPK<sub>5</sub>, ukupni azot i As za procedne vode. Primenom LWPI i Nemerow-og indeksa ustanovljen je trend smanjenja negativnog uticaja deponije na podzemnu vodu, dok je primenom LPI i Nemerow-og indeksa ustanovljen porast sadržaja zagađujućih materija u procednoj vodi, što direktno ukazuje na pozitivne efekte uspostavljanja kontrole zagađenja koje potiče sa ispitivane deponije.

KLJUČNE REČI: deponija, procedne vode, podzemne vode, LWPI, LPI

## MUNICIPAL SOLID WASTE LANDFILL GROUNDWATER AND LEACHATE QUALITY

### ABSTRACT

The quality of groundwater and leachate from regulated and unregulated parts of a municipal solid waste landfill for settlements of up to 110000 inhabitants was investigated. Parameters that are detected in elevated levels according to relevant standards are Fe, dissolved solids, chlorides and Zn for groundwater, and COD, BOD<sub>5</sub>, total nitrogen and As for leachate. In accordance to the obtained LWPI and Nemerow index values landfill showed decreasing trend of negative impact on groundwater, while using the LPI and Nemerow index showed increasing trend of pollution content in leachate, which directly indicates the positive effects of establishing the landfill pollution control.

KEY WORDS: landfill, leachate, groundwater, LWPI, LPI

## UVOD

Deponije komunalnog otpada predstavljaju jedan od glavnih uzročnika zagađenja podzemnih voda. Otpad koji se odlaže na deponije dospeva do podzemnih voda kao tečni otpad ili infiltracijom izazvanom padavinama. Iz odloženog otpada se vremenom izdvaja početni tečni sadržaj, a deo razgradljivog sadržaja dospeva infiltracijom ili spiranjem u vodu. Takva tečnost se naziva procedna voda i sadrži mnogobrojna organska i neorganska jedinjenja. Procedna voda se nakuplja na dnu deponije i vremenom prodire kroz zemljište. Zbog toga su područja u blizine deponije često okarakterisana zagađenim podzemnim vodama (Moody i Townsend, 2017). Ovakvo zagađenje podzemnih voda predstavlja veliki rizik po lokalne resurse pijaće vode, naročito zato što se stanovništvo u AP Vojvodini pretežno snabdeva podzemnom vodom kao izvorom vode za piće (Strategija vodosnabdevanja i zaštite voda u AP Vojvodini, 2009). Uticaj deponijske procedne vode na podzemnu vodu je predmet mnogobrojnih studija poslednjih decenija. Mnogi pristupi su korišćeni za procenu kvaliteta procednih i podzemnih voda pod uticajem deponije. Generalno postoje dva pristupa, i to: a) eksperimentalno određivanje sadržaja odabranih parametara u vodi i poređenje sa vrednostima iz relevantnih zakonskih regulativa i b) matematičko modelovanje za kvantitativni prikaz kvaliteta voda.

U ovom radu određen je kvalitet procednih i podzemnih voda na teritoriji uređenog i neuređenog dela deponije komunalnog otpada kroz analizu uzoraka i obradu podataka širokog opsega parametara. Fokus rada je primena LWPI za ocenu kvaliteta podzemnih voda pod uticajem deponije i LPI za ocenu kvaliteta procednih voda za 2012 i 2017 godinu.

## MATERIJALI I METODE

U ovom radu ispitivana je procedna voda i podzemna voda iz šest pijezometara deponije komunalnog otpada na koju se odlaže otpad naselja do ukupno 110000 stanovnika. Najveći deo otpada koji se odlaže na deponiju predstavlja organski otpad (55%) i papir (15%), a u manjim količinama otpad sadrži staklo (3%), plastiku (3%), metale (3%), građevinski materijal koji ne pripada prethodnim grupama (3,5%) itd. Prosečna dnevna količina otpada koja se odlaže na ovu deponiju je 100 tona (Regionalni plan upravljanja otpadom za opštine: Šabac i Sremska Mitrovica, 2008). Od 2012. godine počinje sa radom novi deo deponije, odnosno uređena deponija uz telo stare deponije. Nova deponija poseduje visok stepen kontrole zagađenja, uključujući sistem za drenažu, sakupljanje i tretman procedne vode (aeracija i taloženje), ekstrakcija deponijskog gasa, kompaktiranje i delimična separacija otpada. Takođe uspostavljen je i monitoring kvaliteta podzemnih i procednih voda, zemljišta i deponijskog gasa. Tretirana procedna voda se prskalicama rasipa po površini deponije cilju sprečavanja požara, eksplozija i širenja neprijatnog mirisa.

Ispitivanja su izvršena u dva navrata, odnosno u avgustu 2012. godine i julu 2017. godine. Uzorci podzemne i procedne vode su uzimani prema standardnim metodama SRPS ISO 5667 (SRPS ISO 5667-11, 2005; SRPS ISO 5667-10, 2007).

Uzorci podzemne vode su uzeti sa šest pijezometara (P1-P6). Pijezometar P1 je postavljen van uticaja deponije i korišćen je za uzorkovanje podzemne vode prirodnog kvaliteta. Pijezometri P2, P3 i P4 su instalirani na teritoriji starog dela deponije, dok uzorci uzeti iz pijezometara P5 i P6 daju podatke o uticaju novog dela deponije. Dobijeni rezultati analiza

uzoraka podzemne vode su poređeni sa Uredbom o graničnim vrednostima zagađujućih materija u površinskim i podzemnim vodama i sedimentu i rokovima za njihovo dostizanje (Sl. glasnik RS, 50/2012), Uredbom o programu sistematskog praćenja kvaliteta zemljišta, indikatorima za ocenu rizika od degradacije zemljišta i metodologiji za izradu remedijacionih programa (Sl. glasnik RS, 88/2010) i Pravilnikom o higijenskoj ispravnosti vode za piće (Sl. list SRJ, br. 42/98 i 44/99). Pravilnik (Sl. list SRJ, br. 42/98 i 44/99) je korišćen u cilju dostizanja minimalnog broja parametara potrebnih za proračun Nemerow-og indeksa za podzemne vode.

Uzorci procedne vode su uzimani iz sabirnog bunara za skladištenje procedne vode iz drenažnog sistema pre njenog tretmana. Rezultati analiza procedne vode su poređeni sa Uredbom o graničnim vrednostima emisije zagađujućih materija u vode i rokovima za njihovo dostizanje (Sl. glasnik RS, br. 67/11, 48/12, 1/16).

Za ocenu kvaliteta podzemne i procedne vode korišćeni su LWPI, LPI i Nemerow indeks. LWPI se koristi za kvantitativni prikaz ocene kvaliteta podzemne vode pod uticajem deponije. Za računanje LWPI korišćeno je 16 parametara odabranih na osnovu prethodnih istraživanja (Krčmar i sar., 2018; Tenodi i sar., 2018), uključujući i njihove težinske faktore. Za računanje LWPI potrebno je poznavati vrednosti parametara podzemne vode koja nije pod uticajem deponije, u našem slučaju to je podzemna voda iz pijezometra P1. LWPI je razvijen od strane autora Talala (2014), pri čemu je za računanje LWPI korišćena originalna jednačina.

LPI je korišćen za ocenu potencijala kontaminacije od procedne vode sa deponije na osnovu odabranih parametara. Za dobijanje LPI vrednosti potrebno je poznavanje  $P_i$  vrednosti koja se određuje na osnovu normalizacije pomoću odgovarajućih grafika (krivi). Ove krive su razvijene učešćem 80 stručnjaka iz različitih oblasti (Manimekalai i Vijayalakshmi, 2012). Parametri za koje su krive dostupne su pH, rastvorene materije, HPK, BPK<sub>5</sub>, ukupan azot, Fe, Cr, Cu, Pb, Hg, Zn, Ni, As, fenoli i hloridi. Na primeru Kumar i Alappat (2003) razvijena je i kriva za PAH<sub>16</sub>. Jednačina razvijena od strane Kumar i Alappat (2003) je korišćena za računanje LPI.

Nemerow indeks je korišćen za kvantitativnu ocenu kvaliteta podzemnih i procednih voda na osnovu vrednosti iz relevantnih zakonskih regulativa. Parametri za dobijanje Nemerow-og indeksa su odabrani na osnovu dostupnih vrednosti u zakonskim regulativama. Za računanje Nemerow-og indeksa korišćena je jednačina autora Liang i Zheng (2009), koja započinje određivanjem indeksa jedinstvenog faktora zagađenja.

## REZULTATI I DISKUSIJA

Prvi deo istraživanja se odnosi na poređenje dobijenih rezultata sa relevantnim zakonskim regulativama. Jedinjenja iz grupe pesticida, polihlorovani bifenili i alkil fenoli nisu detektovani u uzorcima podzemne i procedne vode ili su detektovani u koncentracijama daleko ispod dozvoljenih vrednosti, zbog čega nisu deo ovog istraživanja.

U podzemnim vodama jedino parametri: Fe (0,34-36,90 mg/l) i hloridi (34,1-598,7 mg/l) prelaze maksimalno dozvoljene koncentracije definisane u Pravilniku (Sl. list SRJ, br. 42/98 i 44/99). U uzorku podzemne vode uzetog 2012. godine iz pijezometra P2 je detektovana izuzetno povišena koncentracija Zn (3,55 mg/l) koja višestruko prevazilazi Uredbom (Sl. glasnik RS, 88/2010) propisanu vrednost (0,80 mg/l). Prema navedenim

zakonskim regulativama, ostali parametri kvaliteta podzemne vode nisu detektovani u značajnim koncentracijama.

Obradom rezultata analize uzoraka procedne vode ustanovljeno je da su parametri ukupni fosfor, ugljovodonični indeks, nitriti, Ni, Zn, Cd, Cr, Cu, Pb i Hg detektovani u koncentracijama ispod Uredbom (Sl. glasnik RS, br. 67/11, 48/12, 1/16) propisanih graničnih vrednosti emisije (GVE). Od pokazatelja sadržaja organske materije GVE prelaze parametri HPK (125,3-2151 mg/l) i BPK<sub>5</sub> (100-715 mg/l). Ukupni azot u procednoj vodi ima veću vrednost od GVE (70 mg/l) samo za uzorak uzet u 2017. godini (88,7 mg/l). U uzorku procedne vode uzetog 2012. godine As je detektovan u koncentraciji (26,4 µg/l) značajno ispod GVE (100 µg/l), dok je u uzorku uzetog 2017. godine koncentracija As (131,8 µg/l) iznad GVE.

U tabeli 1 su date vrednosti odabranih indeksa kvantitativnog prikaza kvaliteta podzemnih i procednih voda pod uticajem deponije. Kvalitet podzemne vode je određen za staru i novu deponiju. Pregledom rezultata LWPI i Nemerow-og indeksa dobijenih za podzemne vode sa teritorije stare i nove deponije ustanovljeno je opadanje vrednosti ovih indeksa. Ove vrednosti su očekivane zbog poboljšane kontrole zagađenja nove deponije, kao i zatvaranje stare. Na osnovu tumačenja rezultata prema Talalaj (2014), podzemna voda uzeta 2012. godine sa stare deponije (LWPI=8,42) je okarakterisana kao veoma jako zagađena i pod jakim uticajem deponije, dok je prema uzorcima iz 2017. godine (LWPI=3,92) podzemna voda okarakterisana kao značajno zagađena i pod jakim uticajem deponije. Za 2012. godinu podzemna voda na teritoriji nove deponije (LWPI=1,38) je umereno zagađena pod slabim uticajem deponije, dok je za 2017. godinu (LWPI=0,54) podzemna voda dobrog kvaliteta sa veoma slabim ili bez uticaja deponije.

Tabela 1. Vrednosti odabranih indeksa zagađenja podzemne i procedne vode  
Table 1. Obtained values for selected groundwater and leachate pollution indices

Medijum	LWPI		Nemerow indeks (PI <sub>gw</sub> )	
	2012	2017	2012	2017
Podzemna voda				
Stara deponija	8,42	3,92	9,23	3,75
Nova deponija	1,38	0,54	2,24	1,47
Procedna voda iz zbirnog bazena	LPI		Nemerow indeks (PI <sub>I</sub> )	
	2012	2017	2012	2017
	21,33	38,93	1,39	7,31

Posmatrajući odabrane parametre kvaliteta podzemne vode za računanje LWPI zasebno, najveći negativni uticaj deponije iskazan je preko ukupnog fosfora, PAH<sub>16</sub>, Fe, Zn, Pb i Ni, dok je najmanji uticaj deponije ustanovljen za parametre pH, ukupan azot, nitrati i sulfati. Prema Liang i Zheng (2009) i dobijenim rezultatima Nemerow-og indeksa, podzemna voda je slično ocenjena. Podzemna voda iz pijezometara kod stare deponije je okarakterisana kao veoma zagađena za 2012. i 2017. godinu, dok je podzemna voda sa teritorije nove deponije srednje-jako zagađena (2012) i srednje zagađena (2017). Prema individualnim parametrima za računanje Nemerow-og indeksa, najintenzivniji negativni uticaj na podzemne vode deponija vrši kroz parametre Fe, PAH<sub>16</sub> i Zn, i u manjoj meri hlorige, dok najmanji uticaj



deponije je ustanovljen za nitrate, Cu i As. Potrebno je navesti da upotreba standardnih vrednosti iz drugačijih zakonskih regulativa u mnogome utiče na konačne rezultate. Drugim rečima, upotreba drugačijih standardnih vrednosti daje drugačije konačne rezultate, zbog čega se Nemerow indeks često nije dovoljan za ocenu kvaliteta podzemne vode pod uticajem deponije.

Analizom vrednosti LWPI i Nemerow-og indeksa mogu se izdvojiti Fe, Zn i PAH<sub>16</sub> kao parametri koji pokazuju najveći negativni uticaj deponije na podzemne vode, dok jedinjenja azota pokazuju najmanji.

Za razliku od indeksa korišćenih za podzemnu vodu, LPI i Nemerow indeks pokazuju trend rasta zagađenja procedne vode. LPI za 2012. godinu (21,33) je gotovo dvostruko manji od vrednosti dobijene za 2017. godinu (38,93). Dobijene vrednosti Nemerow-og indeksa imaju još intenzivniji trend rasta (1,39 za 2012. godinu i 7,31 za 2017 godinu). Ovo se objašnjava uspostavljanjem sistema za sakupljanje i kontrolu procedne vode, koji od početka rada (2012) nije bio operativan u potpunosti, te je jedan deo zagađenja ipak dospavao u podzemnu vodu, što se može potvrditi vrednostima indeksa dobijenih za podzemnu vodu (tabela 1). Sistem za recirkulaciju procedne vode na površinu deponije ima aditivni efekat na koncentraciju zagađujućih materija u procednoj vodi, što takođe objašnjava ovaj trend. Primenom LPI i Nemerow-og indeksa može se zaključiti da najveće zagađenje procedne vode deponija pokazuje za parametre HPK, BPK<sub>5</sub>, Cr, Zn, Ni, Pb i PAH<sub>16</sub>. Sa druge strane, najmanje zagađenja je iskazano kroz pH, azotna jedinjenja, hloride, fenole i Hg.

## ZAKLJUČAK

Procedna voda predstavlja jedan od primarnih puteva zagađenja sa deponija komunalnog otpada. Negativni uticaj procednih voda se pretežno ogleda kroz zagađenje podzemnih voda. Analizom monitoring podataka i dobijenih indeksa pojedini parametri se izdvajaju kao najznačajniji pokazatelji zagađenja koje potiče sa deponije, i to Fe, Zn i PAH<sub>16</sub> prvenstveno, a zatim i Ni i Pb. Zbog toga se zaključuje da se teški metali (osim Hg i Cd koji u većini uzoraka nisu detektovani) i PAH-ovi moraju redovno pratiti kao deo monitoring programa uticaja deponije na životnu sredinu. Pregledom dobijenih vrednosti korišćenih indeksa zaključuje se da se uspostavljanjem kontrole zagađenja sa deponije može u relativno kratkom periodu smanjiti negativni uticaj na podzemnu vodu. Identifikacijom najznačajnijih polutanata podzemne vode pod uticajem deponije i deponijske procedne vode moguće je izdvojiti parametre koje je potrebno učestalije pratiti kontinualnim monitoringom. U cilju celokupne procene rizika deponija na životnu sredinu potrebno je sagledati sve puteve zagađenja i karakteristike deponija i specifičnih lokaliteta, što je moguće postići primenom odgovarajućeg modela za procenu rizika deponija na osnovu njihovog uticaja na deponiju, pri čemu bi indeksi korišćeni u ovom radu (LWPI, LPI i Nemerow indeks) poslužili kao pokazatelji uticaja deponije komunalnog otpada na vode.

### Zahvalnica

Zahvalnost dugujemo Pokrajinskom sekretarijatu za visoko obrazovanje i naučnoistraživačku delatnost (br. projekta 142-451-2525/2017-01) koji su učestvovali u sufinansiranju istraživanja.

## LITERATURA:

- Krčmar D., Tenodi S., Grba N., Kerkez Dj., Watson M., Rončević S., Dalmacija B. (2018) Preremedial assessment of the municipal landfill pollution impact on soil and shallow groundwater in Subotica, Serbia, *Sci. of Tot. Environ.*, 615, 1341-1354
- Kumar D., Alappat B.J. (2003) A Technique to Quantify Landfill Leachate Pollution, In: Proceedings of the 9th international landfill symposium, Cagliari, Sardinia, Paper No. 400
- Liang J., Zheng W.Q. (2009) Evaluation and control measures of the shallowlayer groundwater pollution caused by Fengcun landfill in Zhanjiang, Guangdong, *J. Geol. Hazards Environ. Preserv.*, 20, 63–67
- Manimekalai B., Vijayalakshmi V. (2012) Analysis of Leachate Contamination Potential of a Municipal Landfill Using Leachate Pollution Index, *IOSR Journal Of Environmental Science, Toxicology And Food Technology*, 2, 16-39
- Moody C.M., Townsend T.G. (2017) A comparison of landfill leachates based on waste composition, *Waste Management*, 63, 267-274
- Pravilnikom i higijenskoj ispravnosti vode za piće (Sl. list SRJ, br. 42/98 i 44/99)
- Regionalni plan upravljanja otpadom za opštine: Šabac i Sremska Mitrovica, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2008
- SRPS ISO 5667-10 (2007), Uzimanje uzoraka - Smernice za uzimanje uzoraka otpadnih voda, SRPS ISO, 2007
- SRPS ISO 5667-11 (2005), Uzimanje uzoraka - Smernice za uzimanje uzoraka podzemnih voda, SRPS ISO, 2005
- Strategija vodosnabdevanja i zaštite voda u AP Vojvodini, Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno-matematički fakultet, Departman za hemiju katedra za hemijsku tehnologiju i zaštitu životne sredine, Novi Sad, 2009
- Talalaj I.A. (2014) Assessment of groundwater quality near the landfill site using the modified water quality index, *Environ. Monit. Assess.*, 186, 3673–3683
- Tenodi S., Krčmar D., Rončević S., Varga N., Pešić V., Zrnić K., Dalmacija B. (2018) Primena prilagođenog indeksa zagađenja podzemnih voda (LWPI) u cilju monitoringa neuređene deponije, 48. Konferencija - Otpadne vode, komunalni čvrsti otpad i opasan otpad; 27-29.03.2018., Brzeće, Srbija; ISBN 978-86-82931-83-6, Izdavač: Udruženje za tehnologiju vode i sanitarno inženjstvo (Beograd), pp.198-202, Zahvalnica: APV 142-451-2525/2017-01
- Uredba o graničnim vrednostima emisije zagađujućih materija u vode i rokovima za njihovo dostizanje (Sl. glasnik RS, br. 67/11, 48/12, 1/16)
- Uredba o graničnim vrednostima zagađujućih materija u površinskim i podzemnim vodama i sedimentu i rokovima za njihovo dostizanje (Sl. glasnik RS, 50/2012)
- Uredba o programu sistematskog praćenja kvaliteta zemljišta, indikatorima za ocenu rizika od degradacije zemljišta i metodologiji za izradu remedijacionih programa (Sl. glasnik RS, 88/2010)

## UTICAJ KOMUNALNE DEPONIJE NA PODZEMNE VODE

Jasna Čolić, Anđelka Petković, Tanja Nenin

*\*Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi”, Jaroslava Černog 80, Pinosava,  
Beograd, Email: [jasna.colic@jcerni.co.rs](mailto:jasna.colic@jcerni.co.rs)*

### REZIME

Na osnovu analize kvaliteta procedne vode sa sanitarne deponije i podzemne vode razmatran je uticaj procedne vode na kvalitet podzemnih voda. Ispitani su fizičko-hemijski parametri i metali neophodni za ocenu kvaliteta procedne vode i podzemne vode u blizini deponije. Povišene vrednosti hemijske potrošnje kiseonika, sulfata, arsena, hroma i nikla u podzemnoj vodi ukazuju na uticaj procedne vode na kvalitet podzemnih voda. Zato je neophodno vršiti konstantan monitoring podzemnih voda, kao i redovnu procenu antropogenih aktivnosti kojima će se sprečiti dalja kontaminacija podzemnih voda procednom vodom.

KLJUČNE REČI: komunalna deponija, procedna voda, podzemne vode, procena kvaliteta

## IMPACT OF LANDFILL LEACHATE ON THE GROUNDWATER QUALITY

### ABSTRACT

Based on the analysis of leachate and groundwater samples the possible impact of leachate percolation on groundwater quality is discussed. The samples of leachate and groundwater nearby landfill were analysed for the physico-chemical parameters and heavy metals. The moderately high concentrations of COD, sulfate, arsenic, chromium and nickel in groundwater likely indicate that groundwater quality is being affected by leachate percolation. It is necessary to carry out continuous groundwater monitoring, as well as regular assessment of anthropogenic activities that are adopted to forestall further contamination of the groundwater by leachates.

KEY WORDS: landfill, leachate, groundwater, quality assessment

## UVOD

Odlaganje čvrstog komunalnog otpada na deponije deponije je uobičajena praksa širom sveta. Upotreba sanitarnih deponija predstavlja održivu i trenutno najčešće korišćenu metodu za odlaganje čvrstog otpada širom sveta zbog mogućnosti bioremedijacije napuštenog zemljišta. Bioremedijacijom se polutanti uklanjaju ili konvertuju u manje štetne oblike. Takođe, odgovarajućim dizajniranjem i pravilnim rukovanjem sanitarnom deponijom mogu se eliminisati neki negativni uticaji koji nastaju alternativnim načinima odlaganja čvrstog otpada, kao što je sagorevanje na otvorenom ili površinsko odlaganje smeća. Osim toga, usled adekvatne kontrole mogu nastati i drugi uticaji koji potiču od formiranja gasa i procednih voda. Ovi uticaji uključuju požare i eksplozije, oštećenje vegetacije, neprijatne mirise, sleganje deponije, zagađenje podzemnih voda, zagađenje vazduha i globalno zagrevanje.

Procedne vode predstavljaju jedan od glavnih izvora zagađenja podzemnih i površinskih voda. Ukoliko se ne prikupljaju na adekvatan način, ne tretiraju se i ne odlažu bezbedno, procedne vode mogu procuriti kroz zemljište do akvifera. Kontaminacija podzemnih voda u blizini deponija je gotovo isključivo povezana sa prisustvom amonijaka, hlorida, hemijske potrošnje kiseonika (COD), sulfata, gvoždja i nekih metala. Kada se ove supstance detektuju u podzemnim vodama nizvodno od deponije često se ne vrše dalje analize, a deponije su automatski uzrok kontaminacije. Procedna voda nastaje prilikom nesmetanog procedivanja vode kroz materije na deponiji. Kvalitet ocednih voda zavisi prvenstveno od sastava i rastvorljivosti satojaka otpada. Ako se sastav otpada menja pod uticajem vremenskih uslova ili biodegradacije, kvalitet procednih voda će se promeniti sa vremenom. U zavisnosti od prirode otpada koji se deponuje postoji mogućnost dodatnog zagađenja kao rezultat biodegradacije otpada. Procedna voda sa deponija sadrži visoke koncentracije organskih i neorganskih zagađujućih materija kao što su metali i ksenobiotici. Najčešće prisutne neorganske materije u procednoj vodi su: kalcijum, magnezijum, natrijum, kalijum, amonijak, gvožđe, mangan, hloridi, sulfati i bikarbonati. Koncentracije ovih komponenta značajno variraju od jedne do druge deponije.

Pravac i brzina širenja procednih voda zavise od osobina tla kroz koje prolaze, od protoka podzemnih voda, kao i od prisustva veštačkih ili prirodnih šupljina u zemljištu. Zemljište u oblasti deponije, ispod nje, kao i u regiji podzemne vode je po prirodi porozno i u saturisanim i u nesaturisanim uslovima. Podzemna voda se kroz nesaturisanu zonu kreće pretežno naniže pod uticajem gravitacije dok ne dosegne zasićenu zonu. Smer toka u saturisanoj zoni diktiran je gradijentom nivoa podzemnih voda.

Transport od deponije do podzemnih i/ili površinskih voda se odvija preko dva važna mehanizma: advekcija i hidrodinamička disperzija. Advekcija predstavlja transport rastvorene zagađujuće materije kroz tok podzemne vode. Dakle, tok podzemne vode diktira mehanizam advekcije, čiji stepen i pravac zavise od geologije, topografije, izdašnosti bunara, poroznosti i provodljivosti. Procena advekcije je otežana povratnim procesima koji

usporavaju kretanje zagađujućih materija ili mehanizmima disperzije koji poboljšavaju kretanje zagađujućih materija usled razlike u gustini ili viskoznosti.

Disperzija je protok vode uzrokovan mešanjem fluida i različitim fičko-hemijskim osobinama podzemne sredine. Hidrodinamička disperzija je proces mehaničkog mešanja i difuzije molekula, a uslovljen je fizičkim parametrima kao što su provodljivost i poroznost medijuma, kao i uticajem brzine kretanja rastvora. Heterogenost na mikroskopskom nivou povezana je sa poroznošću (strukturom) medijuma, dok se prenos materija vrši na makroskopskom nivou i zavisi od promenljivosti hidrauličke provodljivosti.

Sorpcija (apsorpcija/adsorpcija ili desorpcija) zagađujućih materija na čvrstim česticama, kao što je sediment, jedan je od mehanizama koji dovode do usporavanja ili ubrzavanja transporta polutanata kroz podzemne vode. Osim toga, sorpcija utiče i na redoks reakcije, koje su veoma važne za rastvorljivost metala. Za oblasti u blizini deponija karakteristični procesi su metanogeneza i redukcija sulfata, praćene redukcijom gvožđa, mangana, denitrifikacijom i aerobnom degradacijom.

Zagađujuće materije se generalno prenose kroz tok podzemnih voda, pa se za određivanje sadržaja i pravca kretanja polutanata mogu koristiti traseri. Testovi sa traserima se mogu koristiti za procenu putanje zagađujućih materija i identifikaciju lokacija na kojima je najizraženije curenje procednih voda. Kategorizacija trasera se može izvršiti u dve grupe, prirodne trasere i trasere koji se sa određenim ciljem ubrizgavaju u ispitivani medijum.

## REZULTATI I DISKUSIJA

Uzorci procedne vode analizirani su u cilju procene kvaliteta i uticaja na podzemne vode. Analiza neophodnih fizičko-hemijskih parametara kvaliteta za podzemne vode izvršena je za četiri pijezometra P1, P2, P3 i P4. Pijezometri P1 i P2 se nalaze u neposrednoj blizini deponije i predviđeni su za praćenje eventualnog procurivanja otpadne vode iz bazena ocednih voda. Monitoring je vršen četiri puta godišnje tokom perioda od 2014. do 2017. godine. Ispitivanjem su obuhvaćeni sledeći fizičko-hemijski parametri: pH, elektroprovodljivost, hloridi, sulfati, hemijska potrošnja kiseonika (HPK), biohemijska potrošnja kiseonika (BPK<sub>5</sub>), ukupan organski ugljenik (TOC), amonijum jon, nitrati, arsen (As), hrom (Cr), olovo (Pb), nikl (Ni), kadmijum (Cd), bakar (Cu) i cink (Zn). Svi ispitivani parametri kao pokazatelji kvaliteta vode analizirani su za svaku lokaciju kako bi se uočilo variranje koncentracija tokom ispitivanog perioda, kao i uticaj procednih voda na koncentraciju pojedinih parametara u podzemnim vodama. Uzorkovanje, konzervisanje i analiza svih ispitivanih uzoraka izvršeni su u skladu sa standardnim metodama ispitivanja.

Koncentracije ispitivanih parametara kvaliteta za procednu vodu prikazane su u tabeli 1. Prosečna elektrolitička provodljivost u procednoj vodi iznosila je 24533  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , što odgovara prosečnim vrednostima izmerenim za elektroprovodljivost za sanitarne deponije u svetu. Koncentracija hlorida obuhvata širok opseg koncentracija od 1823.5 do 5343.0 mg/l. Sadržaj hemijske potrošnja kiseonika varira od 1083.5 do 5663.0 mgO<sub>2</sub>/l, a prosečna vrednost iznosi 3432 mgO<sub>2</sub>/l. Takođe se jasno vide značajne razlike u pogledu sadržaja metala u procednoj vodi. Koncentracija hroma je bila u opsegu od 87,1 do 3789,5  $\mu\text{g}/\text{l}$ ,

nikla od 5,8 do 1047,8  $\mu\text{g/l}$ , dok su se koncentracije arsena, olova, kadmijuma, bakra i cinka kretale od vrednosti niže od limita kvantifikacije do 457,9  $\mu\text{g/l}$ , 135,3  $\mu\text{g/l}$ , 40,6  $\mu\text{g/l}$ , 546,9  $\mu\text{g/l}$ , 1442,4  $\mu\text{g/l}$  respektivno.

Tabela 1. Rezultati fizičko-hemijskog ispitivanja procedne vode sa samitarne deponije  
Table 1. Physical and chemical analyses of leachate samples collected from sanitary landfill

Parametri	Jedinica	Procedna voda	
		Min	Max
n = 14			
pH	-	8.4	8.9
Elektroprovodljivost	$\mu\text{S/cm}$	18770	40720
Hloridi	$\text{mg/l}$	1823.5	5343.0
Sulfati	$\text{mg/l}$	568.2	1612.1
Hemijska potrošnja kiseonika (HPK)	$\text{mgO}_2/\text{l}$	1083.5	5663.0
Biohemijska potrošnja kiseonika (BPK <sub>5</sub> )	$\text{mgO}_2/\text{l}$	528.0	1320.0
Ukupan organski ugljenik (TOC)	$\text{mgC/l}$	342	>1000
Amonijum jon	$\text{mgN/l}$	166.2	510.2
Nitrati	$\text{mgN/l}$	0.1	23.6
Arsen (As)	$\mu\text{g/l}$	<10	457.9
Hrom (Cr)	$\mu\text{g/l}$	87.1	3789.5
Olovo (Pb)	$\mu\text{g/l}$	<2	135.3
Nikl (Ni)	$\mu\text{g/l}$	5.8	1047.8
Kadmijum (Cd)	$\mu\text{g/l}$	<2	40.6
Bakar (Cu)	$\mu\text{g/l}$	<2	546.9
Cink (Zn)	$\mu\text{g/l}$	<2	1442.4

Varijacije vrednosti različitih parametara mogu se pripisati fluktuaciji i raznovrsnosti otpada, neprimenjivanju postupka seckanja pre odlaganja, sabijanju otpada kojim se suzbija degradacija, kao i promeni meteoroloških uslova kao što su temperatura i pritisak.

Vrednosti elektroprovodljivosti su se kretale od 822 do 10930  $\mu\text{S/cm}$ . Zabeležene su visoke koncentracije sulfata od 111,9 do 5609,3  $\text{mg/l}$ , sa prosečnom vrednošću od 2007,2  $\text{mg/l}$ , dok je sadržaj hlorida bio u opsegu od 12,2 do 314  $\text{mg/l}$  (tabela 2). Značajne varijacije koncentracija sulfata mogu biti rezultat različite distribucije sadržaja ugljenika i vlage izazvanih sezonskim promenama. Prosečne vrednosti u procednoj vodi iznosile su 2948,3  $\text{mg/l}$  za hloride i 948,4  $\text{mg/l}$  za sulfate. Smanjen sadržaj hlorida može biti rezultat procurivanja ili razblaženja, kao najvažnijih procesa koji utiču na transport ovog anjona. Uzrok nižih koncentracija hlorida u podzemnoj vodi tokom vremena može biti ispiranje usled sezonskih varijacija izazvanih topljenjem snega u proleće.

Rezultati u tabelama pokazuju da prema Uredbi o programu sistematskog praćenja kvaliteta zemljišta, indikatorima za ocenu rizika od degradacije zemljišta i metodologiji za izradu remedijacionih programa, "Sl. glasnik RS", br. 88/2010, kvalitet podzemne vode u bunarima u blizini deponije odstupa od preporučenog kvaliteta podzemnih voda za arsen, hrom i nikl, što ukazuje na to da procedne vode sa deponije verovatno utiču na kvalitet podzemnih voda.

Tabela 2: Rezultati fizičko-hemijskog ispitivanja podzemne vode  
Table 2: Physical and chemical analyses of groundwater samples

Parametri	Jedinica	P1		P2		P3		P4	
n = 14		Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
pH	-	7.2	8.2	7.4	8.4	7.3	8.0	7.1	8.1
Elektroprovodljivost	μS/cm	822	10930	1225	1884	1790	9600	7485	9323
Hloridi	mg/l	17.9	314.0	12.2	80.5	57.7	210.2	33.2	43.0
Sulfati	mg/l	143.6	4162.5	111.9	507.8	242.7	5191.0	3457.4	5609.3
HPK	mgO <sub>2</sub> /l	30.7	1693.0	32.4	74.5	41.0	245.7	36.8	108.1
TOC	mgC/l	4.9	490.0	5.7	9.8	6.3	21.2	7.2	13.2
Amonijum jon	mgN/l	<0.02	174.3	0.1	1.3	<0.02	0.7	<0.02	3.0
Nitrati	mgN/l	0.4	7.6	<0.05	1.7	0.1	0.8	<0.05	0.6
Arsen (As)	μg/l	<10	54.1	93.9	428.5	<10	<10	<10	<10
Hrom (Cr)	μg/l	<2	184.7	<2	<2	<2	36.4	<2	23.4
Olovo (Pb)	μg/l	<2	12.7	<2	14.9	<2	32.7	<2	21.5
Nikl (Ni)	μg/l	<2	122.3	<2	<2	<2	14.2	<2	6.4
Kadmijum (Cd)	μg/l	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Bakar (Cu)	μg/l	<2	34.4	<2	<2	<2	8.0	<2	2.5
Cink (Zn)	μg/l	<2	44.1	<2	12.4	<2	57.4	<2	30.9

Koncentracije arsena su obuhvatale opseg od vrednosti ispod limita kvantifikacije do 428,5 μg/l. Najveće vrednosti arsena zabeležene su u piježometru P2 (od 93,9 do 428,5 μg/l) vrlo su slične vrednostima izmerenim u procednoj vodi, što jasno ukazuje na moguću kontaminaciju podzemnih voda pod uticajem procednih voda sa deponije.

Osnovni mehanizmi koji diktiraju mobilizaciju arsena su redoks reakcije i procesi sorpcije.. Neorganski oblici arsena, arsenat [As(V)] i arsenit [As(III)], kao najvažnija redoks stanja arsena u prirodi, predstavljaju najčešće toksične forme u podzemnoj vodi. Oslobođanje arsena u podzemnim vodama zavisi od odnosa pH/Eh u akviferu, medijuma, kapaciteta adsorpcije i kvaliteta podzemne vode. Arsenat ([H<sub>2</sub>AsO<sub>4</sub>], ([H<sub>2</sub>AsO<sub>4</sub><sup>2-</sup>]) preovlađuje u oksidacionom okruženju sa pH opsegom od 4 do 9, dok je arsenit najstabilniji u neutralnom i anjonskom obliku. Rastvorljivost arsena u vodi se bitno razlikuje u zavisnosti od forme, arsenat je skoro nerastvoran, dok je arsenit veoma rastvoran. U zemljištu se arsenat i arsenit pod dejstvom mikroorganizama prevode u dimetilarsin, koji je veoma toksičan i mogu da ga asimiluju živi organizmi npr. ribe. S obzirom na to da je najtoksičniji oblik arsena (arsenit) prisutan u redukcionom okruženju, anaerobne bakterije imaju značajnu ulogu u redoks reakcijama, tako da pozemna voda koja protiče kroz anaerobno zemljište predstavlja najveći problem u pogledu mobilizacije arsena.

Arsen se najčešće asocira sa gvožđem (FeAsO<sub>4</sub>), olovom (Pb<sub>3</sub>[AsO<sub>4</sub>]<sub>2</sub>), manganom (Mn<sub>3</sub>[AsO<sub>4</sub>]<sub>2</sub>) i sumporom (AsS<sub>3</sub>). Arsenat se češće nego arsenit jako sorbuje na gvožđe, mangan i aluminijum-oksihidroksid, pa je samim tim i manje toksičan za okruženje. Arsenit se slabije vezuje za sediment, mobilniji je u podzemnim vodama i zbog ove

mobilnosti predstavlja veću opasnost po životnu sredinu. Mobilnost arsena u podzemnoj vodi se povećava u prisustvu fosfata, što se objašnjava kompetitivnom izmenom anjona. Prisustvo i raspodela organske materije dovode do redoks reakcije katalizovane mikrobiološkom aktivnošću, čime se kontroliše mobilnost arsena. Najčešći fenomen na različitim lokacijama gde su prisutni gvožđe (ili depozit sulfida) i dostupan izvor ugljenika, npr. iz procedne vode sa deponija, predstavlja oslobađanje arsena usled mikrobiološke aktivnosti.

Iako mobilnost arsena kroz padavine nije moguća, ukoliko izvor oksidujuće supstance više nije dostupan i ako je procedna voda postojana, pod pretpostavkom da organska jedinjenja mogu vekovima da se zadrže na deponijama, moguće su povratne reakcije kao što su redukcija gvožđa ili mobilizacija arsena.

### ZAKLJUČCI I PREPORUKE

Procedne voda karakteriše visok sadržaj organskih i neorganskih materija, kao i toksična priroda koja proističe iz visokih koncentracija pojedinih metala. Kao rezultat uticaja procedne vode na podzemne vode u blizini deponije ustanovljen je povećan sadržaj arsena, hroma i nikla u ispitivanim pijezometrima. Iako je arsen identifikovan kao zagađujuća materija u podzemnoj vodi, originalni izvor kontaminacije su organske materije iz procedne vode sa deponije, čijom distribucijom su katalizovane redoks reakcije koje dovode do rastvaranja arsena.

Uprkos projektovanju modernih deponija sa nepropusnim folijama i monitoringu podzemnih voda, rizik od curenja i negativan uticaj deponija na životnu sredinu, podzemne vode, zemljište i površinske vode uvek postoji. Zato je neophodan konstantan monitoring podzemnih voda, kao i redovna procena antropogenih aktivnosti koje mogu imati neželjene sekundarne efekte na životnu sredinu.

### LITERATURA:

- Magda M. Abd El-Salam a,b,\* , Gaber I. Abu-Zuid, Impact of landfill leachate on the groundwater quality: A case study in Egypt, *Journal of Advanced Research* (2015) 6, 579–586.
- Editorial, Groundwater contamination from landfill leachate: When appearances are deceiving!, *Waste Management* 33 (2013) 1793–1794).
- Elisabeth Law-wai, Mobilization and Transport of Arsenic by Landfill Leachates and Contamination of Groundwater at Winthrop, Maine, *Columbia University*, December, 2001.
- Olatunji Sunday Aboyeji\*, Stephen Femi Eigbokhan, Evaluations of groundwater contamination by leachates around Olusosun open dumpsite in Lagos metropolis, southwest Nigeria, *Journal of Environmental Management* 183 (2016) 333e341.
- Dongmei Han a,□, Xiaoxia Tong b, Matthew J. Currell c, Guoliang Cao d, Menggui Jine, Changshui Tong, Evaluation of the impact of an uncontrolled landfill on surrounding groundwater quality, Zhoukou, China, *Journal of Geochemical Exploration* 136 (2014) 24–39.



## UPUTSTVO ZA PRAVLJENJE PROGRAMA ZA PRAĆENJE KVALITETA I OCENU DEGRADACIJE OD HEMIJSKOG ZAGAĐENJA ZEMLJIŠTA I PODZEMNIH VODA

Anđelka Petković, Jasna Čolić, Tanja Nenin

*Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi”, Jaroslava Černog 80, Pinosava,  
Beograd, Email: [jasna.colic@jcerni.co.rs](mailto:jasna.colic@jcerni.co.rs)*

### REZIME

Reprezentativnost uzorkovanja zemljišta neophodan je uslov za izradu programa o oceni degradacije i/ili proceni rizika radi određivanja prirode i obima kontaminacije, identifikovanje opasnosti od kontaminacije i procene rizika za korišćenje ispitivanog zemljišta. Program za procenu rizika mora da bude usklađen sa zakonom i podzakonskim aktima, a strategija uzorkovanja zasnovana na specifičnostima uzoraka koje treba analizirati, na osnovu kojih se definiše lista parametara fizičko-hemijskog ispitivanja zemljišta. Podaci iz prethodnih programa za iste ili slične lokacije mogu biti korisni. Preporučuje se i probno uzorkovanje za preliminarnu procenu parametara i izradu programa uzorkovanja radi obezbeđenja relevantnih podataka za ekonomično dizajniranje odgovarajućeg programa.

KLJUČNE REČI: zemljište, program uzorkovanja, podzemne vode, procena rizika

## GUIDELINES FOR CREATING A PROGRAM FOR MONITORING AND EVALUATION OF QUALITY DEGRADATION CHECMICAL POLLUTION OF SOIL AND GROUNDWATER

### ABSTRACT

The representativeness of the sampling area is a necessary condition for the development of a program for evaluation of degradation and /or risk assessment to determine the nature and extent of contamination, identify the risk of contamination and risk assessment for the use of the soil. Program for risk assessment should be compliant with the law and regulations of soil. Data from previous programs for the same or similar locations can be useful. Test sampling is highly recommended for a more precise definition of the physical-chemical parameters of analysis as well as for preliminary assessments of sampling programe.

KEY WORDS: soil, program sampling, groundwater, risk assessment

## UVOD

Prilikom uzorkovanja zemljišta neophodno je obezbediti reprezentativnost uzoraka i preduzeti sve mere kako bi se osiguralo da, koliko je to moguće, ne dolazi ni do kakvih promena u uzorcima u intervalu između uzorkovanja i ispitivanja. U višefaznim sistemima, kao što je zemljište koje sadrži vodu ili tečne gasove, biološki material, radionuklide ili druge čvrste materije koje prirodno ne pripadaju zemljištu (npr. otpadni material), pri uzorkovanju se mogu javiti problemi. Osim toga, određivanje nekih parametara može zahtevati analizu neporemećenog uzorka zemljišta.

Pre izrade programa uzorkovanja treba postaviti osnovne ciljeve kao odlučujući faktor za određivanje položaja i gustine tačaka uzorkovanja (mapa uzorkovanja), vremena uzorkovanja, procedure uzorkovanja, naknadnog tretmana uzoraka i analitičkih zahteva. Detalji programa zavise od toga da li je potrebna informacija prosečna vrednost, distribucija ili varijabilnost datih parametara. Treba razmotriti do kog stepena i preciznosti će biti potrebni određeni podaci, kao i način na koji će rezultati biti izraženi i predstavljeni, npr. koncentracija hemijskih supstanci, maksimalne i minimalne vrednosti, prosečna vrednost, medijana itd. Pored toga, neizostavna je lista parametara od značaja i relevantnih analitičkih procedura koje će biti primenjene.

Neretko je potrebno izvršiti probno uzorkovanje pre definisanja konačnog programa. Veoma korisni mogu biti relevantni podaci iz prethodnih programa za iste ili slične lokacije, kao i druge informacije o lokalnim uslovima. Dragoceno je i svako prethodno lično iskustvo, čime se obezbeđuju potrebni podaci za efikasno i ekonomično dizajniranje odgovarajućeg programa.

Postizanje ciljeva ispitivanja umnogome zavisi od pravilnog planiranja i izvođenja odgovarajućeg programa za uzorkovanje i praćenje kvaliteta. Mogu se razlikovati četiri osnovna cilja uzorkovanja zemljišta:

- uzorkovanje za određivanje opšteg kvaliteta zemljišta;
- uzorkovanje za potrebe karakterizacije i izrada mape uzorkovanja zemljišta;
- uzorkovanje u skladu sa važećim zakonima i regulativama i
- uzorkovanje za procenu opasnosti ili rizika.

## IZRADA PROGRAMA ZA PROCENU RIZIKA

Kada je zemljište kontaminirano hemikalijama i drugim supstancama potencijalno štetnim po ljudsko zdravlje i bezbednost ili životnu sredinu, neophodno je sprovesti program o oceni degradacije i/ili proceni rizika. Ovim istraživanjem se može odrediti priroda i obim kontaminacije, identifikovati opasnost vezana za kontaminaciju, kao i izvršiti procena rizika vezanog za korišćenje ispitivanog zemljišta. Program za procenu mora da bude usklađen sa zakonom i podzakonskim aktima, a strategija uzorkovanja zasnovana na specifičnostima uzoraka koje treba analizirati. U skladu sa važećim regulativama treba izvesti istraživanje na osnovu koga se vrši procena stanja životne sredine, podloge za projekte remedijacije i izrada plana monitoringa za naredni period. Takođe treba utvrditi

nulto stanje sa identifikacijom zagađenja i izraditi podlogu za projekte sanacije i remedijacije zemljišta i podzemnih voda. Strategija uzorkovanja se razvija na bazi smernica koje su date u standardima ISO 10381-1:2002, ISO 10381-2:2002, ISO 10381-4 (2003), ISO 10381-5 (1995).

Prvi korak u realizaciji programa je definisanje odnosno identifikacija zona sa mogućim prisustvom i uticajem različitih zagađujućih materija. Zatim izvršiti podelu zona u dve grupe: „verovatno nekontaminirana” i „verovatno kontaminirana” zona. Mogućnost migracije zagađujućih supstanci u „verovatno nekontaminiranoj” zoni je mala, dok u „verovatno kontaminiranoj zoni” postoji mogućnost migracije zagađujućih materija. Istraživanja kontaminiranog područja zahtevaju detaljniju analizu.

Pri analizi „verovatno kontaminirane zone” treba razmotriti:

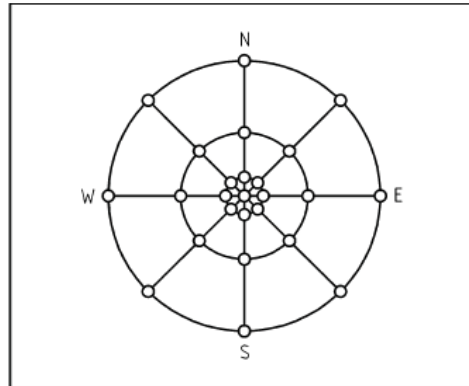
- hemijsku i fizičku prirodu zagađujućih materija;
- da li je verovatnije difuzno ili tačkasto zagađenje;
- mogućnost procesa migracije;
- potencijalno prisustvo prioritetnih putanja;
- fizičke karakteristike (biodegradacija) zagađujućih materija;
- mogućnost sorpcije i procesa kompleksiranja;
- interakciju među kontaminantima;
- mogućnost zadržavanja u zonama kroz koje zagađujuća materija migrira;
- migraciju gasova i lako isparljivih supstanci;
- strukturu zemljišta i stratifikaciju;
- period izlaganja zagađenju i
- nivo podzemne vode
- smer kretanja podzemne vode.

## UZORCI I TAČKE UZORKOVANJA

Nakon podele na „verovatno nekontaminiranu” i „verovatno kontaminiranu” zonu treba proceniti na kojim površinama je moguća homogena, a na kojim heterogena raspodela zagađenja i na osnovu toga utvrditi strategiju uzorkovanja.

Strategijom uzorkovanja zemljišta neophodno je definisati specifične udaljenosti između lokacija uzorkovanja na kojima se očekuje prisustvo zagađujućih materija u različitim koncentracijama. Raspon između centralnih tačaka mreža uzorkovanja iznosi tipično (15-30) m. Broj tačaka uzorkovanja može da se poveća ili smanji u zavisnosti od procenjenog nivoa zagađenja za dato područje. Manji razmak se pravi na lokacijama na kojima se očekuje veće zagađenje. Veća gustina mreže se postavlja na mestima gde se pretpostavlja heterogeno zagađenje. Raspored i broj tačaka uzorkovanja se može promeniti na licu mesta kada je to prikladno. Primeri šema uzorkovanja zemljišta dati su na slikama 1 i 2.

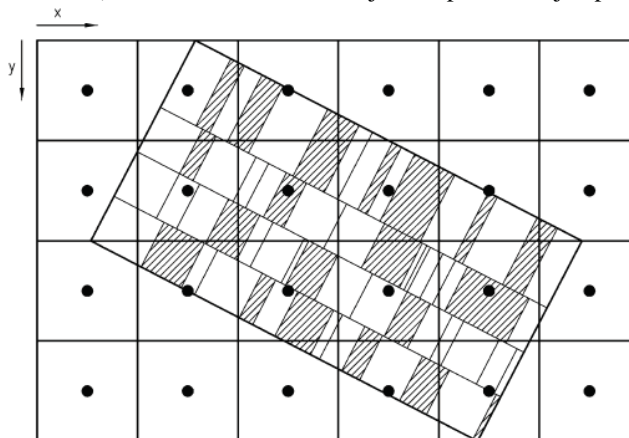
Mreže sa koncentričnim krugovima su korisne za razgraničenje lokalnih kontaminacija, kao što su na primer rezervoari za skladištenje, ali i za označavanje uticaja oko regionalnog izvora zagađenja, npr. slivanje iz industrijskog pogona. Uzorkovanje se vrši na preseku koncentričnih krugova (prečnik će zavisiti od sumnjive površine kontaminacije) i radialne linije glavnih osam tačaka.



Slika 1. Primer šeme uzorkovanja kontaminiranog zemljišta  
Figure 1. Example for contaminated soil sampling scheme

Ovakvim rasporedom tačaka uzorkovanja dobijaju se informacije o: koncentracijama supstanci u centru mogućeg zagađenja (maksimum vrednosti), distribuciji kontaminacije (veličini područja sa povećanim kontaminacijom) i oblik raspodele kontaminacije.

Mreža za sistematsko uzorkovanje zemljišta (sistematsko uzorkovanje) se koristi za lokacije gde je potrebno napraviti direktnu vezu između optimalnog rastojanja tačaka uzorkovanja i (procena) stepena kontaminacije. Razmak između tačaka uzorkovanja treba da obuhvati najveći procenjen obim kontaminacije. Razmak između tačaka će se razlikovati u zavisnosti od toga da li je potrebno prikupiti uzorke prosečnog stepena kontaminacije, pronaći izolovane izvore kontaminacije, odnosno da se utvrdi obim kontaminiranih zona (horizontalni i vertikalni). Prednost ovakve mreže je lako podešavanje i promena dimenzija.



Slika 2. Primer šeme uzorkovanja kontaminiranog zemljišta  
Figure 2. Example for contaminated soil sampling scheme

Dubina uzorkovanja se definiše na osnovu svrhe istraživanja. Na mestima gde postoji podzemna voda neophodno je izvršiti uzorkovanje do dubine koja se određuje na osnovu

kretanja vide, nivoa, debljine vodonosnog sloja i karakteristika zagađivača. Za uzimanje reprezentativnog uzorka zemljišta na lokacijama sa heterogenim zagađenjem razmak između dve tačke po dubini iznosi 1 m. Na lokacijama sa izraženim izrazito heterogenim zagađenjem zbog reprezentativnosti uzorka razmak između dve tačke po dubini je manji i iznosi 0,5 m.

Za područja sa homogenim zagađenjem može se primeniti tzv. slučajna raspodela uzorkovanja, pravi se mreža uzorkovanja sa manjim brojem tačaka uzorkovanja i analiziraju se kompozitni uzorci zemlje.

Uzorci koji su značajno različiti, npr na osnovu organoleptičkih svojstava generalno se ne smeju mešati sa ostalim uzorcima i obavezno ih treba analizirati posebno. Kompozitni uzorci ne treba da se formiraju sa različitih dubina zemljišnog profila. Međutim, u oba slučaja strategija uzorkovanja zasnovana na konceptualnom modelu mesta uzorkovanja određuje šta je najpogodnija strategija za analizu.

Od ključnog značaja je lista parametara koji će se pratiti. Zagađivači poput teških metala (Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb i Zn), arsena, mineralnih ugljovodonika, EOX-a (ekstrabilnih organskih halogena) i PAH-ova čine listu analita kad govorimo o industrijskom zagađenju zemljišta i dovoljni su kada se ispituje pretpostavka o „verovatno nezagađenom mestu“ i razmatra nespecifično zagađenje. Kada se istražuju lokacija „verovatno zagađena“, lista parametara za analizu se formira na osnovu postojećih studija uticaja date tehnologije, prikupljenih podataka o posmatranom mestu i regulative koja govori o tome.

Uopšteno, izbor kontaminanata se direktno odnosi na ciljeve istraživanja i na osnovu definisanih pretpostavki.

Najbolja praksa za procenu rizika kontaminiranog zemljišta po životnu sredinu podrazumeva uporedo praćenje podzemnih voda na ispitvanim lokacijama kako bi se u dovoljnoj meri opisali međusobni uticaji i omogućilo donošenje odluka o preduzimanju odgovarajućih korektivnih mera u skladu sa važećim Pravilnicima.

Da bi se utvrdio rizik za podzemne vode od potencijalnog zagađenog zemljišta neophodno je razviti konceptualni model monitoringa podzemnih voda i uspostaviti odnos između potencijalnog izvora zagađenja sa zemljišta i podzemne vode

## ZAKLJUČCI I PREPORUKE

Program uzorkovanja podrazumeva postavku osnovnih ciljeva i definisanje odlučujućih faktora za određivanje položaja i gustine tačaka uzorkovanja, vremena uzorkovanja, procedure uzorkovanja, liste parametara, naknadnog tretmana uzoraka i analitičkih zahteva. Mogu se razlikovati četiri osnovna cilja uzorkovanja zemljišta: uzorkovanje za određivanje opšteg kvaliteta zemljišta; uzorkovanje za potrebe karakterizacije i izrada mape uzorkovanja zemljišta; uzorkovanje u skladu sa važećim zakonima i regulativama i uzorkovanje za procenu opasnosti ili rizika.

Strategija uzorkovanja se razvija na bazi smernica koje su date u standardima ISO 10381-1:2002, ISO 10381-2:2002, ISO 10381-4 (2003), ISO 10381-5 (1995).

Najbolja praksa za procenu rizika kontaminiranog zemljišta po životnu sredinu podrazumeva uporedo praćenje podzemnih voda na ispitvanim lokacijama kako bi se u

dovoljnoj meri opisali međusobni uticaji i omogućilo donošenje odluka o preduzimanju odgovarajućih korektivnih mera u skladu sa važećim Pravilnicima.

Da bi se utvrdio rizik za podzemne vode od potencijalnog zagađenog zemljišta neophodno je razviti konceptualni model monitoringa podzemnih voda i uspostaviti odnos između potencijalnog izvora zagađenja sa zemljišta i podzemne vode.

#### LITERATURA:

Soil quality — Sampling —Part 1:Guidance on the design of sampling programmes, ISO 10381-1:2002(E)2002-12-15

Soil quality — Sampling —Part 2:Guidance on sampling techniques, ISO 10381-2, 2002-11-01

Soil quality — Sampling —Part 5: Guidance on the procedure for the investigation of urban and industrial sites with regards to soil contamination, ISO 10381-5:2002(E)2005-10-01

EPA: Description and Sampling of Contaminated Soils, EPA/625/12-91/002 (1991)

M.Craig and D.Daly, Methodology for establishing groundwater threshold values and the assessment of chemical and quantitative status of groundwater, including an assessment of pollution trends and trend reversal, EPA Hydrometric and Groundwater Section Office of Environmental Assessment (2010)

## UPOREDNA ANALIZA DIVERZITETA ŠKOLJKI NA EKSPERIMENTALNIM KOLEKTORIMA ZA PRIHVAT MLADI

Ines Peraš, Slađana Gvozdrenović, Slavica Petović  
Milica Mandić

*Institute of Marine Biology, Dobrota bb, 85330 Kotor, Montenegro,  
email: [inesperas91@gmail.com](mailto:inesperas91@gmail.com)*

### REZIME

U ovom radu su prikazani rezultati ispitivanog diverziteta školjki na različitim vrstama eksperimentalnih kolektora za prihvat mladi. Uzorci su prikupljeni sa dva lokaliteta u Bokokotorskom zalivu, Orahovcu i Kamenarima na kojima se nalaze postojeća uzgajališta školjki. Kolektori su postavljeni u junu 2017. godine i nakon imerzije od 6 mjeseci izvršena je analiza diverziteta vrsta. Dobijeni rezultati pokazali su prisustvo 9 porodica sa ukupno 15 različitih vrsta školjaka. Takođe, zapaženo je da nema značajnije razlike u diverzitetu vrsta na različitim vrstama kolektora, već da se razlika javlja zbog dubine na kojoj su bili postavljeni.

KLJUČNE RIJEČI: diverzitet, školjke, kolektori, Bokokotorski zaliv

## COMPARATIVE ANALYSIS OF SHELL DIVERSITY ON EXPERIMENTAL SPAT COLLECTORS

### ABSTRACT

This paper presents the results of shells diversity on different types of experimental spat collectors. Samples were collected from two sites in the Boka Kotorska Bay, Orahovac and Kamenari, where the shellfish farms located. The collectors were set up in June 2017 and after 6 months of immersion were processed and determined 9 families with a total of 15 different types of shells. There is no significant difference in the diversity of shells because of different types of collectors, but it occurs due to the depth on which they were placed.

KEY WORDS: diversity, seashells, collectors, Boka Kotorska Bay

### UVOD

Bokokotorski zaliv se nalazi na jugoistočnoj obali Jadranskog mora i predstavlja specifično područje čiji je reljef nastao kombinovanim dejstvom tektonskih procesa i riječne erozije. (Milojević, 1953). Zaliv se karakteriše specifičnom hidrografijom i dinamikom s obzirom

da predstavlja polu-zatvoren bazen (Lepetić, 1965). Bokokotorski zaliv se sastoji iz četiri manja zaliva, Kotorskog, Risanskog, Tivatskog i Hercegnovskog. Kotorski i Risanski čine unutrašnji dio Bokokotorskog zaliva gradeći potopljenu udolinu Boke Kotorske (Stjepčević & Žunić, 1964). Preko tjesnaca Verige (širokog 340 m) povezani su sa spoljašnjim dijelom, koji čine Tivatski i Hercegnovski zaliv.

Na području unutrašnjeg dijela Bokokotorskog zaliva u periodu između 1970-1972. godine, izvršeno je prvo proučavanje populacija bentoskih mekušaca (Stjepčević et al., 1982). Dobijeni podaci ukazali su na postojanje 284 različite vrste mekušaca od čega 127 različitih vrsta školjkaša. Sastav populacije se mijenja pod uticajem različitih vrsta polutanata kojima su izloženi na području unutrašnjeg dijela zaliva uzimajući u obzir da je većina vezana za morsko dno bilo kao sesilni organizmi, hemisesilni bilo zbog vagilnosti. Unutrašnji dio zaliva kakarakterise se malim dubinama (sa prosjekom od 26,35m) prema tome i jedinke koje ga naseljavaju pripadaju litoralnom, eufotskom sistemu Jadranskog mora i to supra, medio i infralitoralne stepenice. Abiotski faktori kao što su temperatura i salinitet utiču na kvalitativno-kvantitativnu distribuciju školjaka na istraživanom području (Stjepčević et al., 1982). Skorija ispitivanja diverziteta školjki u ukazala su na prisustvo 123 različite vrste u Bokokotorskom zalivu (Petović et al., 2017).

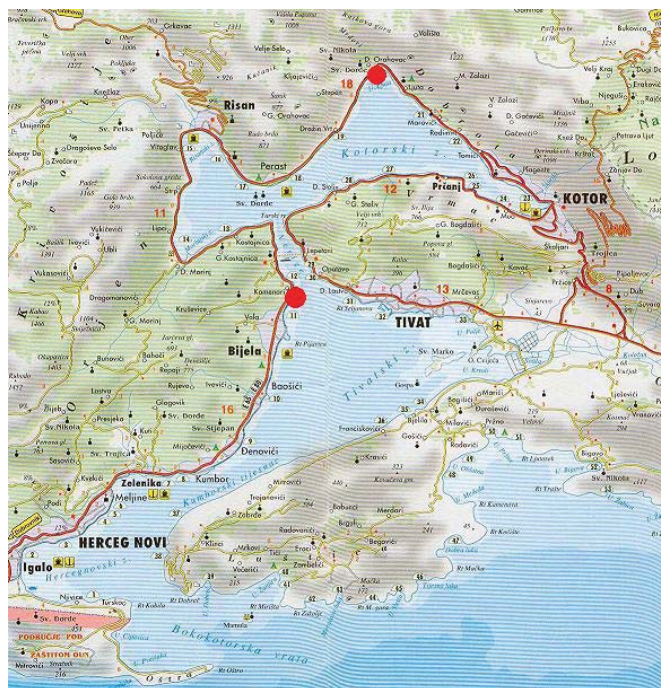
Na osnovu rezultata analize diverziteta školjaka na različitim tipovima kolektora, moguće je procijeniti koji tip kolektora je najpogodniji za prihvatanje mladi školjaka i komercijalni uzgoj. Vrste materijala od koga se prave kolektori su važni u pogledu pogodnosti prihvata mladi, a potom i mogućnosti protoka vode odnosno hranljivih materija, koji su neophodni za rast, razvoj i preživljavanje jedinki.

## MATERIJALI I METODE

Eksperimentalni kolektori su postavljeni na dvije lokacije odnosno dva postojeća uzgajališta školjki na području Orahovca (unutrašnji dio zaliva) i Kamenarima (spoljašnji dio zaliva). Lokacije postavljenih kolektora prikazane su na Slici 1.

Kolektori su strukture koj se postavljaju na komercijalnim uzgajalištima školjki u cilju prihvata mladih jedinki i povećanja proizvodnje uzgajanih vrsta. U radu su korišćena dva tipa kolektora, prvi tip kolektora se sastojao od vrećica za povrće (dimenzija 45x45 cm) koje su ispunjene sa još jednom takvom vrećom, zatim sa plastičnim mrežama u vidu rukava različitog promjera okna (2-3cm i 4-5cm) koje se koriste za uzgoj mušulja dok se drugi tip kolektora sastojao od vrećica za povrće (dimenzija 45x45 cm) koje su bile ispunjene najlonom za pecanje različite debljine. Vrste kolektora su prikazane na Slici 2.





Slika 1. Lokacije uzgajališta i postavljenih eksperimentalnih kolektora  
Figure 1. Location of farms and experimental collectors



Slika 2. Vrste eksperimentalnih kolektora i način postavljanja  
Figure 2. Type of experimental collectors and way of setting

Kolektori su postavljeni na oba uzgajališta u junu 2017.godine. Prosječna dubina oba područja je oko 25m, a kolektori su postavljeni vertikalno tako da su se nalazili na različitim dubinama, sa međusobnim razmakom od 1-2 m, a na istom konopu su se nalazila oba tipa kolektora. Konopac na kome su se nalazili kolektori je bio pričvršćen za plutajuće uzgojne linije a na kraju konopa se nalazio teg koji je kolektor držao uspravno

onemogućavajući da ga vodene struje pomjeraju i otkinu. Na uzgajalištu kod Orahovca ukupno je bilo 11 kolektora, s tim što je bilo 5 kolektora sa najlonom i 6 bez najlona, dok je na Kamenarima bilo 12 kolektora, 5 sa najlonom i 7 bez najlona.

Nakon imerzije kolektora od juna do decembra 2017. godine, izvršena je njihova obrada i determinacija jedinki do vrste ili roda. Do procesa obrade kolektori su čuvani u posudama potopljeni u 70% alkoholu.

## REZULTATI I DISKUSIJA

Rezultati obrade kolektora sa oba lokaliteta prikazani su u Tabeli 1 i 2.

Tabela 1. Diverzitet na kolektorima sa uzgajališta u Kamenarima  
Table1. Diversity on experimental collectors in Kamenari

Bijela	Vrsta kolektora		
	Vrste školjki	Sa najlonom	Bez najlona
<i>Acanthocardia</i> sp.	•	•	•
<i>Anomia ephippium</i>	•	•	•
<i>Aequipecten opercularis</i>	•	•	•
<i>Chlamys varia</i>	•	•	•
<i>Chlamys multistriata</i>	•	•	•
<i>Flexopecten glaber</i>	•	•	•
<i>Lima hians</i>	•	•	•
<i>Hiatella rugosa</i>	•	•	•
<i>Modiolarca subpicta</i>	•	•	•
<i>Mytilus galloprovincialis</i>	•	•	•
<i>Ostrea edulis</i>	•	•	•
<i>Pinna nobilis</i>	•	•	•
<i>Pecten jacobaeus</i>	•	•	•
<i>Pinctada radiata</i>	•	•	•
<i>Tapes decussatus</i>	•	•	•

Tabela 2. Diverzitet na kolektorima sa uzgajališta u Orahovcu  
 Table 2. Diversity on experimental collectors in Orahovac

Orahovac (COGImar)	Vrste kolektora	
	Vrste školjki	Sa najlonom
<i>Acanthocardia</i> sp.	•	•
<i>Anomia ephippium</i>	•	•
<i>Aequipecten opercularis</i>	•	•
<i>Chlamys varia</i>	•	•
<i>Chlamys multistriata</i>	•	•
<i>Flexopecten glaber</i>	•	•
<i>Lima hians</i>	•	•
<i>Hiatella rugosa</i>	•	•
<i>Modiolarca subpicta</i>	•	•
<i>Mytilus galloprovincialis</i>	•	•
<i>Ostrea edulis</i>	•	•
<i>Pinna nobilis</i>	•	•
<i>Pecten jacobaeus</i>	•	•
<i>Pinctada radiata</i>	•	•
<i>Tapes decussatus</i>	•	•

Tokom ovog eksperimenta sa različitih tipova eksperimentalnih kolektora na oba lokaliteta determinisano je devet porodica, sa ukupno 15 vrsta školjki. Iz dobijenih rezultata zapažamo da nema razlike između diverziteta školjki na ove dvije vrste kolektora na lokalitetu Orahovac, dok se na lokalitetu Kamenari vrste *Tapes decussatus* i *Pinctada radiata* nisu javile na obje vrste kolektora. Prema tome se može zaključiti da na diverzitet više uticaja imaju uslovi sredine na kome se nalaze kolektori nego sam kolektor.

Na lokalitetu Kamenari, najveći broj jedinki zabilježen je na dubini od 13 m (107 jedinki), gdje su najbrojnije vrste bile *Mytilus galloprovincialis*, *Chlamys multistriata*, *Lima hians* i *Modiolarca subpicta*, dok se na lokalitetu u Orahovcu najviše jedinki nalazilo na dubini od 19.5 m (95 jedinki), sa najzastupljenijim vrstama *Mytilus galloprovincialis*, *Chlamys multistriata* i *Lima hians*.

Količina zastupljenih jedinki na kolektorima se može povezati kako sa materijalom od kojeg je napravljen sam kolektor tako i sa vremenskim uslovima koji su bili u datom dijelu godine i dužinom trajanja imerzije kolektora. Slični tipovi kolektora su prvi put korišteni u

Japanu 70-tih godina prošlog vijeka (Motoda, 1977; Pena et al., 1996) kao i u nekim državama Mediterana, Italiji, Španiji zatim u susjednoj Hrvatskoj gdje su se pokazali kao odličan supstrat za prihvat mladi školjki (Marguš i Teskeredžić, 2005).

Kolektori su bili postavljeni u periodu od juna do decembra mjeseca, a taj period pruža pogodne uslove za nesmetan rast, razvoj i preživljavanje jedinki zbog velike količine hranljivih materija i pogodnih temperaturnih uslova. Dubine eksperimentalnih kolektora na kojima su zabilježene najveće količine jedinki na oba ispitivana područja, nalazile se u sredini vodenog stuba gdje postoji najbolji odnos fizičko-hemijskih i bioloških uslova što nam ukazuju i dobijeni rezultati. Materijal od kojeg su bili napravljeni kolektori takođe je uticao na brojnost školjki. Vreće od povrća su omogućile nesmetan protok vode tj. hranljivih materija istovremeno pružajući zaštitu od predatora, dok su najlon i plastične mreže povećali volumen za prihvat mladi (Gosling, 2003).

Što se tiče samog diverziteta školjaka, tokom ovog eksperimenta determinisano je 15 različitih vrsta juvenilnih jedinki na eksperimentalnim kolektorima što se podudara sa vrstama koje su determinisane u ranijim istraživanjima u Bokokotorskom zalivu (Petović et al., 2017; Stjepčević et al., 1982; Stjepčević, 1967).

Na području Hrvatske (istočni Jadran) u estuaru rijeke Krke, Marguš (1994) je koristio isti tip kolektora za prihvat mladi koji se pokazao kao odličan supstrat za prihvat jedinki iz porodice Pectinidae pri čemu je zabilježio 4 vrste, malu kapicu *Chlamys varia* kao najbrojniju vrstu, potom Jakovljevu kapicu *Pecten jacobaeus*, pokrovaču *Flexopecten flexuosus* (*Chlamys flexuosus*) i češljaču *Aequipecten opercularis* (*Chlamys opercularis*). U poređenju sa našim rezultatima, vrste porodice Pectinidae koje su bile zabilježene u estuaru rijeke Krke, podudaraju se sa vrstama te porodice koje su bile zastupljene na eksperimentalnim kolektorima u Bokokotorskom zalivu, s tim što se kao najbrojnija vrsta u našem području javlja *Chlamys multistriata*.

Brand i sar. (1980) su tokom istraživanja na kolektorima zabilježili vrste školjki kao što su *Modiolus modiolus*, *Hiatella artica*, *Pecten maximus*, *Aequipecten opercularis*, *Chlamys varia* i *Chlamys tigerina*, što ukazuje na podobnost korištenja ovih kolektora i za prikupljanje jedinki različitih vrsta. U našim rezultatima sa eksperimentalnih kolektora zabilježene su iste vrste porodice Pectinidae, osim vrsta *Chlamys tigerina* koja nije bila zabilježena na području Bokokotorskog zaliva. Rod *Modiolus*, bio je zastupljen sa vrstom *Modiolus barbatus*.

Diverzitet koji je zabilježen na kolektorima u radu Pena i sar. (1996), bilježi 9 različitih vrsta školjki od kojih 5 vrsta pripadaju porodici Pectinidae, *Flexopecten flexuosus*, *Chlamys varia*, *Aequipecten opercularis*, *Pecten jacobaeus* i *Palliolum incomparabile*, zatim vrste *Mytilus galloprovincialis*, *Hiatella artica*, *Plagiocardium papillosum* i *Musculus costulatus*. Poređenjem diverziteta sa našim dobijenim rezultatima, vrsta *Palliolum incomparabile* porodice Pectinidae nije zabilježena na eksperimentalnim kolektorima, kao ni vrste *Plagiocardium papillosum* i *Musculus costulatus*.

Literaturni podatak koji najbolje ukazuje na efikasnost korišćenja eksperimentalnih kolektora za prihvata mladi školjkaša, bilo u svrhu uzgoja ili određivanja diverziteta, jeste istraživanje koje je izvršeno u Timorskom moru u Australiji, gdje je upotrebom takvih kolektora sakupljeno čak 47 različitih vrsta iz 14 porodica školjki (Knuckey, 1995).

## ZAKLJUČAK

Navedeni literaturni podaci, kao i rezultati ovog istraživanja pokazali su da različite vrste eksperimentalnih kolektora predstavljaju veoma jednostavan metod za procjenu kvalitativne i kvantitativne analize prihvata mladi školjkaša, a sve u cilju procjene mogućnosti uvođenja novih, autohtonih vrsta u uzgojni proces, pa samim tim i povećanje diversifikacije proizvodnje u marikulturi. Analiza prihvata mladi na različitim dubinama daje značajan podatak upućujući na najadekvatniji položaj u vodenom stubu za posavljavanje uzgojnih instalacija, odnosno na položaj u vodenom stubu u kome jedinke nalaze najpovoljnije uslove za rast i razvoj. Ovo istraživanje upućuje na zaključak da na području Bokokotorskog zaliva postoje veoma dobri uslovi za rast i razvoj školjkaša, te da je za vrste *Chlamys multistriata*, koja je bila jedna od najbrojnijih na kolektorima neophodno nastaviti istraživanja i ispitati mogućnosti njihovog uvođenja u uzgojni proces, odnosno unaprediti proces proizvodnje/uzgoja za vrste *Mytilus galloprovincialis*, koja se već dugi niz godina uzgaja na području Bokokotorskog zaliva.

## LITERATURA

- Brand, A. R., Paul, J. D., Hoogesteger, J. N. 1980: Spat settlement of the scallops *Chlamys opercularis* (L.) and *Pecten Maximus* (L.) on artificial collectors. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, 60, 379–390
- Gosling, E. M., 2003. Bivalve Molluscs. Biology, Ecology and Culture. Fishing News Books (Blackwell Publishing), Oxford, England
- Knuckey, I. A. 1995. Settlement of *Pinctada maxima* (Jameson) and other bivalves on the artificial collectors in the Timor sea, northern Australia. Journal of Shellfish Research, 1 (2), 411–416.
- Lepetić, V., 1965. Sastav i sezonska dinamika ihtioflore i jestivih avvertebrata u Bokokotorskom zalivu i mogućnosti njihove eksploatacije. Studia Marina 1: 3–127.
- Marguš, D., E. Teskeredžić, 2005: Prihvata ličinki, preživljavanje i rast juvenilnih Jakovskih kapica (*Pecten jacobaeus* Linnaeus, 1758.) u kontrolisanom uzgoju u uvali Šarina Draga – Ušće rijeke Krke. Ribarstvo, 63, (1), 1–14
- Marguš, D. 1994: Pectinid settlement on collectors in the Krka River Estuary. Acta Adriatica, 35, (1/2), 27–35
- Milojević, B., 1953. Boka Kotorska. Zbornik radova Geografskog instituta SAN, Beograd.
- Motoda, S., 1977. Biology and artificial propagation of Japanese scallop (Generalreview). In Proceedings of the Second Soviet – Japan Joint Symposium on Aquaculture, Moscow, 1973 (ed.S.Motoda), pp.75–120. Tokyo: Tokai University
- Petović S., Gvozdrenović S., Ikica, Z., 2017. An Annotated Checklist of the Marine Molluscs of the South Adriatic Sea (Montenegro) and a Comparison with Those of Neighbouring Areas. Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 17(5):921–934
- Pena J. B., Canales, J., Adsuara, J. M., Sos, M. A. 1996. Study of seasonal settlements of five scallop species in the western Mediterranean. Aquaculture International, 4, 253–261

- . Peharda, M.; Onofri, V. 2000.: Pregled eksperimentalnog postavljanja polietilenskih vreća – kolektora za prikupljanje ličinki školjkaša. *Ribarstvo*, 58, 63-67
- Stjepčević, J., Parenzan, P., Mandić, S., Dragović, R., 1982. Pregled bentoskih populacija *Mollusca* unutrašnjeg dijela Bokotorskog zaliva. *Studia Marina*, br. 11-12. Kotor
- Stjepčević, J., 1967. Makro-Mollusca Bokotorskog zaliva. *Studia Marina*, 2: 3-67.
- Stjepčević, J. & Žunjić, V., 1964: Bokotorski zaliv-fiziografske osobine. *Godišnjak geografskog društva SR Crne Gore*. Cetinje.

## HEMIJSKI SASTAV UZORAKA ŠKOLJKI, UKLUČUJUĆI I SADRŽAJ Al i Li

Slavka Stanković\*, Ana Perošević\*\*, Nikola Petrović\*,  
Milica Ivković\*, Milena Radomirović\*, Bojan Tanasković\*,  
Antonije Onjia\*

\* Faculty of Technology and Metallurgy, Department of Analytical Chemistry,  
University of Belgrade, Karnegijeva 4, 11000 Belgrade, Serbia,  
e-mail: [slavka@tmf.bg.ac.rs](mailto:slavka@tmf.bg.ac.rs)

\*\* BIO-ICT Centre of Excellence in Bioinformatics, Džordža Vašingtona bb,  
81000 Podgorica, Montenegro

### REZIME

Koncentracije Al, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Li, Mn, Ni, Pb, Sr, Zn i Hg proučavane su u školjkama sakupljenim u priobalnom području Bokokotorskog zaliva sa tri lokacije tokom četiri različite sezone. Koncentracije Al i Li u tkivu školjke *Mytilus galloprovincialis* su prvi put određivani. Litium ima zaštitnu ulogu u ishrani ljudi, dok aluminium ima naročito toksične efekte i kod školjki i kod ljudi. Dobijeni rezultati za sve ispitivane elemente analizirani su pomoću Pirsonovog korelacionog koeficijenta ( $r$ ) i klaster analize (CA). CA upotrebljena je za diskriminaciju grupa uzoraka prema sličnostima u hemijskom sastavu.

KLJUČNE REČI: školjke, aluminium, litium, elementi u tragovima, statistička analiza

## THE CHEMICAL COMPOSITION OF MUSSELS SAMPLES, INCLUDING Al AND Li

### ABSTRACT

Concentrations of Al, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Li, Mn, Ni, Pb, Sr, Zn and Hg were studied in mussels collected from the coastal area of Montenegro from three locations in four different seasons. The concentrations of Al and Li in the tissue of *Mytilus galloprovincialis* were the first time determined at all. Lithium has protective role in human nutrition, while aluminum has notably toxic effects including mussels and humans. Obtained results for all investigated element were analyzed by Pearson correlation coefficient ( $r$ ) and cluster analysis (CA). CA was used to discriminate groups of samples according to similarity of chemical composition.

KEY WORDS: mussels, aluminum, lithium, trace elements, statistical analysis

## UVOD

Zadnjih decenija, ljudske aktivnosti dovele su do povećanih koncentracija velikog broja elemenata u tragovima u morskoj sredini. Klasičnom hemijskom analizom morske vode ne može se doći do informacija o biološkoj raspoloživosti ili toksičnosti ispitivanih elemenata u morskoj sredini (Joksimović i Stanković 2012, Golding i sar. 2015). S obzirom da je teško sakupiti validne uzorke vode za analizu elemenata u tragovima, kao i da oni pokazuju malu vremensku i prostornu reprezentativnost, monitoring morske sredine zasniva se na ispitivanju biote i sedimenta (Abi-Ghanem i sar.2014; Jović i Stanković 2014a). Kako koncentracije metala u sedimentima ne moraju reprezentovati biološki dostupne frakcije (Wang i sar.1996), živi organizmi se sve češće koriste kao bioindikatori zagađenja mora, naročito školjke (Lu i sar.2017; Stanković i sar.2014a; Stanković i Stanković 2013).

Elementi u tragovima u tkivu školjki akumuliraju se u koncentracijama mnogo većim nego u morskoj vodi (Abi-Ghanem i sar.2014). Adsorbuju se iz vode, fitoplanktona i drugih suspendovanih čestica (Spada i sar.2013). Iako se ovi elementi nalaze prirodno u morskim sredinama, od kojih su neki esencijalni u malim količinama, pri većim koncentracijama mogu biti toksični za organizme, dok su neki od njih veoma štetni čak i niskim koncentracijama (Jović i Stanković 2014b), kao što je prisustvo aluminijum (Golding i sar. 2015). Prema tome, ukoliko su školjke zagađene elementima u tragovima, mogu dovesti do trovanja ljudi i bolesti, s obzirom da se koriste kao hrana (Tanaskovski i sar.2016).

Cilj ovog rada bio je određivanje sastava elemenata u tragovima u uzorcima školjki, uključujući Al, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Li, Mn, Ni, Pb, Sr, Zn i Hg, primenom indukovano spregnuta plazma-optički emisijski spektrometra (ICP-OES). Praćenje je vršeno na tri lokacije Boko Kotorske tokom četiri sezone. Na dobijene podatke primenjena je statistička analiza, radi karakterizacije i razdvajanja posmatranih uzoraka, predstavljajući sličnosti i razlike u hemijskom sastavu ispitivanih uzoraka.

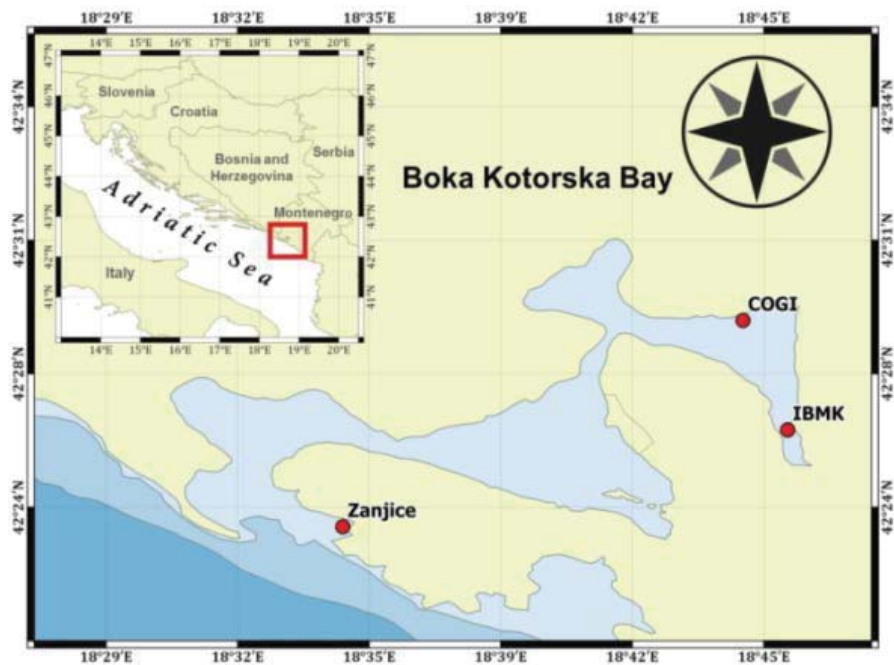
## MATERIJAL I METODE

Uzorkovanje je sprovedeno tokom perioda od jedne godine tokom četiri različite sezone: jesen 2014, zima, proleće i leto 2015. Uzorci školjki i morske vode sakupljeni su na tri lokacije u Boka Kotorskoj: IBMK, COGIMAR (COGI) i Žanjice (Slika 1). Prva lokacija, IBMK (Insitut za biologiju mora Kotor), nalazi se u blizini grada Kotor i njegove luke. COGI je farma školjki koja se nalazi blizu Orahovca, takođe u malom Kotorskom zalivu. Treća lokacija se nalazi u blizini plaže Žanjice, blizu otvorenog mora i na ulazu u zaliv. Sve lokacije karakterišu različiti nivoi i izvori prirodnih i antropogenih uticaja, koji uključuju prvenstveno različitu hidrologiju zaliva i otpadne vode, (Tanaskovski i sar.2016).

Sa svake od lokacija sakupljeno je oko 2 kg školjki slične veličine, stavljeno u polietilenske kese zajedno sa morskom vodom i transportovano u laboratoriju. Školjke su isprane sa Milli-Q vodom i usitnjene. Nakon toga, meklo tkivo je zamrznuto na -18 °C, osušeno



smrzavanje na  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  tokom 48 h (CHRIST, Alpha 2-4 LD plus), prevedeno u prah i homogenizovano.



Slika 1. Mapa proučavanog područja (Boka Kotorska, Crna Gora)  
Figure 1. Map of studied area (Boka Kotorska, Montenegro)

Uzorci školjki (približno 0.5 g) podvrgnuti su trostrukoj digestiji dodatkom 5 ml  $\text{HNO}_3$  (>68%, PrimarPlus – trace analysis grade, Fisher Chemical) i, nakon digestije na sobnoj temperaturi, 2 ml  $\text{H}_2\text{O}_2$  (>30%, analytical reagent grade, Fisher Chemical) u zatvorenom sistemu za mikrotalasnu digestiju na visokoj temperaturi (Anton Paar, Multiwave PRO). Nakon prvog koraka mikrotalasne digestije, dodato je 10 ml 4% (w/v)  $\text{H}_3\text{BO}_3$  (99.97%, trace metals basis, Sigma-Aldrich), nakon čega je digestija nastavljena. Dobijeni uzorci premešteni su u polipropilenske graduisane tube i razblaženi Milli-Q vodom. Za svaku seriju analize, pripremljene su dve slepe probe na isti način kao i uzorci.

Koncentracije elemenata u tragovima u uzorcima školjki određene su indukovano spregnuta plazma-optički emisionim spektrometrom (ICP-OES, Spectro Arcos), osim Hg koja je određena direktnim analizatorom žive (Milestone, DMA-80). Svi rezultati izraženi su u mg/kg suve mase uzorka (dw). Svaka prijavljena vrednost je srednja vrednost pet merenja. Kako bi se izbegla mogućnost kontaminacije, svo korišćeno staklo i pribor isprani su kiselinom. Radi provere kontaminacije instrumenta, slepe probe su analizirane nakon svakih pet uzoraka. U cilju validacije primenjenih analitičkih tehnika u pogledu preciznosti,

sertifikovani referentni materijal NIST 2976 (Mussel tissue) je pripremljen i analiziran na isti način kao i ispitivani uzorci.

PCA je primenjena radi analize sličnosti/razlike uzoraka školjki u odnosu na sadržaj ispitivanih elemenata u odnosu na sezone i lokacije, kako bi se identifikovao izvor i raspodela elemenata u tragovima u uzorcima iz različitih sezona uzorkovanja sa različitim lokacija. CA je primenjena radi klasifikacije sličnosti/razlike uzoraka školjki sa lokacija uzorkovanja. Linearni koeficijenti korelacije izračunati su kako bi se razumele veze između elemenata u školjkama i njihova moguća povezanost prilikom bioakumulacije. Pre PCA i CA, dobijeni podaci su pregledani kako bi se uklonile grube greške (Grubbs 1969). Podaci su analizirani softverom Statistica (Data Analysis Software System, v.10.0, StatSoft, Inc, Tulsa, OK, USA).

## REZULTATI I DISKUSI

Podaci o koncentraciji elemenata (Al, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Li, Mn, Ni, Pb, Sr, Zn and Hg) u uzorcima školjki sa tri lokacije (IBMK, COGI i Žanjice) tokom četiri sezone (jesen 2014; zima, proleće i leto 2015) u uzorcima školjki prikazana je u Tabeli 1 i njihove korelacije u Tabeli 2. Srednje koncentracije ispitivanih elemenata u uzorcima školjki sa sve tri lokacije tokom četiri sezone opadaju sledećim redosledom:

Al > Fe > Zn > Sr > Mn > Cu > Ni > Li > Ba > Pb > Cd > Cr > Co > Hg.

Tabela 1. Srednje koncentracije elemenata u tragovima u uzorcima školjki (mg/kg)  
Table 1. Mean trace element concentrations in mussels (mg/kg)

Sezona	Jesen			Zima			Proleće			Leto		
Godina	2014			2015			2015			2015		
Lokacije	IBMK	COGI	Žanjice	IBMK	COGI	Žanjice	IBMK	COGI	Žanjice	IBMK	COGI	Žanjice
Al	82.3	66.3	145	471	830	527	260	164	160	61.1	48.0	74.6
Fe	110	107	199	318	509	466	219	141	177	122	108	138
Zn	105	90.5	198	86.4	85.6	241	88.2	103	128	110	203	218
Sr	37.3	44.4	71.7	29.8	40.1	75.4	53.4	46.1	127	54.8	92.5	162
Mn	7.38	6.36	9.40	9.21	14.3	13.1	8.98	7.70	19.5	8.53	12.2	22.2
Cu	6.08	6.10	6.31	8.61	8.57	8.55	8.33	6.16	11.2	7.06	6.45	9.61
Ni	1.34	1.84	3.20	2.07	3.20	5.06	2.29	2.35	4.39	1.27	3.11	6.57
Li	1.92	2.43	3.62	2.08	3.90	6.57	2.36	2.14	2.68	1.66	2.16	2.71
Ba	0.40	0.51	1.47	1.32	2.11	2.40	1.78	0.87	2.44	2.09	3.42	6.76
Pb	2.41	1.57	1.37	2.67	1.99	1.71	2.32	1.41	2.41	1.80	2.50	2.67
Cd	1.15	1.80	2.76	1.01	1.36	2.87	0.77	0.96	1.81	1.28	1.84	2.05
Cr	0.78	0.72	1.70	1.28	1.66	3.10	1.28	0.77	1.53	0.81	0.99	1.38
Co	0.40	0.63	1.98	0.74	1.14	2.88	0.77	1.03	2.10	0.66	0.98	2.24
Hg	0.105	0.098	0.177	0.145	0.176	0.243	0.107	0.135	0.263	0.083	0.138	0.226

Elementi kao što su Fe, Zn, Sr, Mn i Cu su esencijalni za školjke, dok su Al, Pb, Cd i Hg veoma toksični (Golding i sar. 2015, Stanković i sar.2014a). Sr i Li se kod školjki detektuju zato što se ugrađuje u aragonitske ljuske kao SrCO<sub>3</sub> i Li<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, tj. Li<sup>+</sup> i Sr<sup>2+</sup> mogu biti zamenjeni za Ca<sup>2+</sup> prilikom kalcifikacije ljustura školjki (Thébault i sar.2009).

U ovom radu, najveći pojedinačni sadržaj Al u izmeren je u uzorcima školjki iz zime sa svih lokacija, a najviše na lokaciji GOGI (830 mg/kg), zatim sa Žanjica (527 mg/kg), dok IBMK sa 471 mg/kg. Takođe, najveće koncentracije Hg izmerene su u uzorcima školjki iz zime (Tabela 1).

Srednje koncentracije Cd bile su slične u uzorcima leto i zima, dok su srednje koncentracije Pb bile slične i približno iste u uzorcima iz svih sezona, dok su uzorci školjki iz jeseni imali najmanje koncentracije Cd. Koncentracije nekoliko elemenata, kao što su Ba i Sr, bile su najveće za uzorke školjki iz leta na svim lokacijama, (Tabela 1).

Tabela 2. Korelaciona matrica sadržaja metala u uzorcima školjki  
Table 2 Correlation matrix of metal contents in shells samples

	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Li	Mn	Ni	Pb	Sr	Zn	Hg
Al	-0.098	-0.020	0.183	0.578*	0.344	0.969 <sup>+</sup>	0.576**	0.115	0.131	-0.013	-0.334	-0.150	0.293
Ba		0.323	0.526**	0.226	0.514**	-0.026	0.117	0.839 <sup>+</sup>	0.813 <sup>+</sup>	0.475	0.859 <sup>+</sup>	0.618*	0.522**
Cd			0.802 <sup>+</sup>	0.668*	0.087	0.188	0.709*	0.355	0.615*	-0.306	0.477	0.841 <sup>+</sup>	0.613*
Co				0.823 <sup>+</sup>	0.539**	0.373	0.763 <sup>+</sup>	0.679*	0.880 <sup>+</sup>	-0.099	0.668*	0.781 <sup>+</sup>	0.911 <sup>+</sup>
Cr					0.458	0.755 <sup>+</sup>	0.948*	0.391	0.620*	-0.110	0.228	0.592*	0.728*
Cu						0.377	0.248	0.810 <sup>+</sup>	0.641*	0.518**	0.574**	0.110	0.743 <sup>+</sup>
Fe							0.746 <sup>+</sup>	0.176	0.261	-0.071	-0.226	0.055	0.416
Li								0.259	0.546**	-0.322	0.115	0.567**	0.625*
Mn									0.886 <sup>+</sup>	0.478	0.876 <sup>+</sup>	0.481	0.823 <sup>+</sup>
Ni										0.230	0.845 <sup>+</sup>	0.734 <sup>+</sup>	0.880 <sup>+</sup>
Pb											0.362	-0.010	0.156
Sr												0.654	0.689*
Zn													0.587*
Hg													

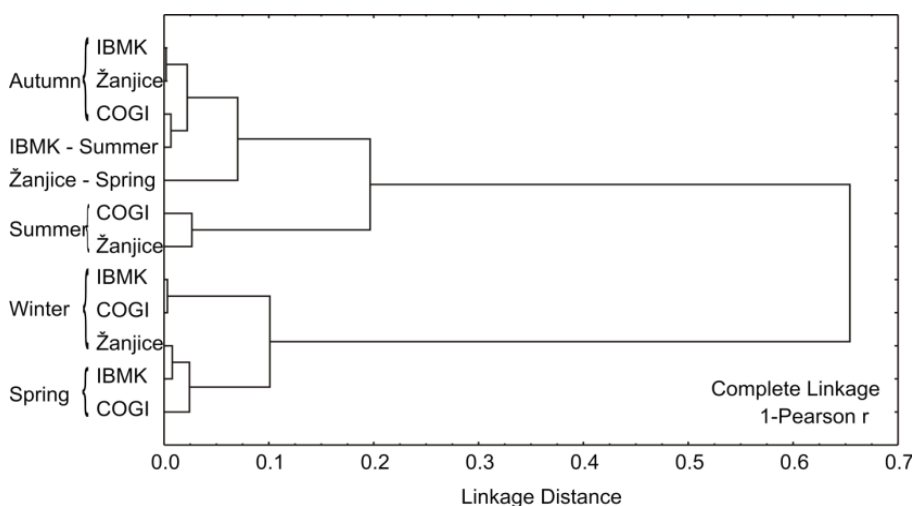
<sup>+</sup>Korelacija statistički značajna na nivou od p<0.01; \* Korelacija statistički značajna na nivou od p<0.05; \*\* Korelacija statistički značajna na nivou od p<0.1; neoznačene korelacije nisu statistički značajne

U Tabeli 2 dati su podaci vezano za korelaciju ispitivanih elemenata u uzorcima školjki. U ovom radu, Pb je pokazao blago pozitivnu korelaciju sa Hg (Tabela 2), što upućuje da Pb i Hg u ispitivanim školjkama potiču iz istih izora zagađenja. Sr je pokazao pozitivnu korelaciju sa svim ispitivanim elementima sem, izuzev sa Al i Fe (Tabela 2), što navodi na zaključak, da su svi ovi ispitivani elementi u školjki organskog porekla, izuzev Al i Fe i

verovatno potiču iz morske vode. Al je u negativnoj korelaciji sa svim preostalim elementima, dok je Li u pozitivnoj sa svim izuzev sa Pb (Tabela 2).

Klaster analiza korišćena je za ispitivanje sličnosti između posmatranih uzoraka u odnosu na sezone, tj. Hemijski sastav. Rezultati, predstavljeni u vidu dendograma, predstavljeni su na Slici 2. Bliže povezivanje udaljenosti predstavlja dobru korelaciju među varijablama, dok šire povezivanje udaljenosti pokazuje manje indikativnu korelaciju.

Sličnosti uzoraka školjki vezano za njihov hemijski sastav, definisane su sa dve grane u dendogramu, Slika 2. Prva grana predstavlja slične uzorke koji su sakupljeni na lokacijama IBMK, Žanjice i COGI u jesen i leto, kao i Žanjice u sezoni proleće. Druga grana sličih uzoraka odnosi se na uzorke zime na lokacijama IBMK, Žanjice i COGI, uključujući i IBMK i COGI u sezoni proleće.



Slika 2. Dendrogram uzoraka školjki, dakupljenih sa tri lokacije, prema klasterovanju elemenata u tragovima

Figure 2. Dendrogram of mussel samples, collected at three locations, according to trace element clustering

## ZAKLUČAK

Najveći sadržaji elemenata u tragovima izmereni su u uzorcima školjki sa lokacije Žanjice, sem za Al i Pb (Tabela 1). Maksimalne koncentracije Pb generalno su dobijene za uzorke školjki sa lokacije IBMK, sa najvećom koncentracijom u uzorcima iz zime. Maksimalna koncentracija Al u ispitivanim uzorcima školjki izmerena je za uzorke iz zime takođe, ali na lokaciji COGI. Takođe, maksimalne izmerene koncentracije za Cd i Sr su za školjke na lokaciji Žanjice (Tabela 1).

Generalno, školjke sa lokacije Žanjice sadržale su najveće koncentracije ispitivanih elemenata. Očigledno je da na koncentracije elemenata u školjkama, utiče i koncentracije datih elemenata u površinskom sedimentu. Ovo u nekoj meri može biti objašnjeno stepenom adsorpcije metala od strane sedimenta (Bat i sar.2013). Adsorpcija metala od strane sedimenata dovodi do redukcije njihove koncentracije u morskoj vodi (Bat i sar.2013), i posledično do manje akumulacije ovih metala unutar školjki, a što verovatno nije bio slučaj sa sedimentom i školjkama na lokaciji Žanjice. Isti je slučaj kada su Al i Li u pitanju, manje vezani za sediment, više akumulirani u školjkama. Na drugoj strani, neke studije su pokazale da je Hg manje biološki dostupna iz sedimenata koji su bogatiji organskom materijom (Luoma, 1989), i u ovoj slučaju, izmerene su manje koncentracije Hg u uzorcima školjki sa lokacija COGI i IBMK nego za Žanjice.

## LITERATURA

- Abi-Ghanem, C., Khalaf, G., & Najjar, E. (2014). Distribution of lead, cadmium, and vanadium in Lebanese coastal sediments and mussels. *Journal of Coastal Research*, 30(5), 1074–1080.
- Bat, L., Üstün, F., Baki, O. G., & Şahin, F. (2013). Effects of some heavy metals on the sizes of the Mediterranean mussel *Mytilus galloprovincialis* Lamarck, 1819. *Fresenius Environmental Bulletin*, 22(7), 1933–1938.
- Golding, A. L. i sar (2015). *Environmental Toxicology and Chemistry*, Vol. 34, No. 1, pp. 141–151.
- Grubbs, F. E. (1969). Procedures for detecting outlying observations in samples. *Technometrics*, 11, 1–21.
- Joksimović, D., & Stanković, S. (2012). Accumulation of trace metals in marine organisms of the southeastern Adriatic coast, Montenegro. *Journal of the Serbian Chemical Society*, 77(1), 105–117.
- Jović, M., & Stanković, S. (2014a). Determination of marine pollution by comparative analysis of metal pollution indices. *Archives of Biological Sciences, Belgrade*, 66(3), 1205–1215.
- Jović, M., & Stanković, S. (2014b). Human exposure to trace metals and possible public health risks via consumption of mussels *Mytilus galloprovincialis* from the Adriatic coastal area. *Food and Chemical Toxicology*, 70, 241–251.
- Lu, G. Y., Ke, C. H., Zhu, A., & Wang, W. X. (2017). Oyster-based national mapping of trace metals pollution in the Chinese coastal waters. *Environmental Pollution*, 224, 658–669.
- Luoma, S. N. (1989). Can we determine the biological availability of sediment-bound trace elements? *Hydrobiologia*, 176(1), 379–396.
- Spada, L., Annicchiarico, C., Cardellicchio, N., Giandomenico, S., & Di Leo, A. (2013). Heavy metals monitoring in the mussel *Mytilus galloprovincialis* from the Apulian coast (Southern Italy). *Mediterranean Marine Science*, 14, 99–108.
- Stanković, S., Kalaba, P., & Stanković, A. R. (2014a). Biota as toxic metals indicators. *Environmental Chemistry Letters*, 12, 63–84.
- Stanković, S., & Stanković R. A. (2013). Bioindicators of Toxic Metals. In Lichtfouse, E. i sar. (Eds), *Green Materials for Energy, Products and Depollution* (pp. 151–228). Springer, Dordrecht, Heidelberg, London, New York.

- Tanaskovski, B., Jović, M., Mandić, M., Pezo, L., Degetto, S., & Stanković, S. (2016). Elemental analysis of mussels and possible health risks arising from their consumption as a food: The case of Boka Kotorska Bay, Adriatic Sea. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 130, 65–73.
- Thébault, J., Schöne, B. R., Hallmann, N., Barth, M., & Nunn, E. V. (2009). Investigation of Li/Ca variations in aragonitic shells of the ocean quahog *Arctica islandica*, northeast Iceland. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 10(12).
- Wang, W. X., Fisher, N. S., & Luoma, S. N. (1996). Kinetic determinations of trace element bioaccumulation in the mussel *Mytilus edulis*. *Marine Ecology Progress Series*, 140, 91–113.

## ANALIZA HEMIJSKOG SASTAV POVRŠINSKOG SEDIMENTA U BLIZINI MORSKE OBALE

Slavka Stanković<sup>\*</sup>, Ana Perošević<sup>\*\*</sup>, Nikola Petrović<sup>\*</sup>,  
Milica Ivković<sup>\*</sup>, Milena Radomirović<sup>\*</sup>, Bojan Tanasković<sup>\*</sup>,  
Antonije Onjia<sup>\*</sup>

<sup>\*</sup> *Faculty of Technology and Metallurgy, Department of Analytical Chemistry,  
University of Belgrade, Karnegijeva 4, 11000 Belgrade, Serbia,  
e-mail: [slavka@tmf.bg.ac.rs](mailto:slavka@tmf.bg.ac.rs)*

<sup>\*\*</sup> *BIO-ICT Centre of Excellence in Bioinformatics, Džordža Vašingtona bb,  
81000 Podgorica, Montenegro*

### REZIME

Koncentracije Al, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Li, Mn, Ni, Pb, Sr, Zn i Hg proučavane su u sedimentu sakupljenom u priobalnom području Bokotorskog zaliva sa tri lokacije tokom četiri različite sezone. Rezultati su analizirani pomoću Pirsonovog korelacionog koeficijenta ( $r$ ), analize glavnih komponenti (PCA) i klaster analize (CA). PCA i CA upotrebene su za diskriminaciju grupa uzoraka prema sličnostima u hemijskom sastavu.

KLJUČNE REČI: površinski sediment, elementi, statistička analiza

## THE CHEMICAL COMPOSITION OF SEDIMENT SAMPLES, INCLUDING Al AND Li

### ABSTRACT

Concentrations of Al, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Li, Mn, Ni, Pb, Sr, Zn and Hg were studied in sediment collected from the coastal area of Montenegro from three locations in four different seasons. Results were analyzed by Pearson correlation coefficient ( $r$ ), principal component analysis (PCA) and cluster analysis (CA). PCA and CA were used to discriminate groups of samples according to similarity of chemical composition.

**KEY WORDS:** surface sediment, elements, statistical analysis



## KARAKTERIZACIJA SEDIMENTA STANIŠTA PALASTURE (*PINNA NOBILIS*) U BOKOKOTORSKOM ZALIVU

Ana Castelli, Rajko Martinović, Milena Mitrić,  
Milica Peković, Ana Perošević, Danijela Joksimović

*Institut za biologiju mora, Dobrota bb, POBox 69, 85330 Kotor, Crna Gora,*  
Email: [ana.bulatovic@ac.me](mailto:ana.bulatovic@ac.me)

### REZIME

U akvatorijumu Bokokotorskog zaliva u periodu od 2016-2017. godine sprovedena su uzorkovanja sedimenta tri staništa školjke palasture (*Pinna nobilis*). U cilju definisanja tipa sedimenta urađena je granulometrijska analiza i određen sadržaj organske materije u sedimentu. Rezultati analize pokazali su da se u sva tri slučaja radi uglavnom o pjeskovitim staništima. Sadržaj organske materije je bio najveći u sedimentu na lokaciji Sveti Stasija. Na istoj lokaciji je zabilježen i najveći sadržaj muljevite frakcije u odnosu na sedimente druge dvije lokacije.

KLJUČNE REČI: *Pinna nobilis*, sediment, granulometrijska analiza, organska materija

## CHARACTERIZATION OF THE SEDIMENT OF THE MUSSEL *PINNA NOBILIS*' HABITATE IN THE BOKA KOTORSKA BAY

### ABSTRACT

In the aquatorium of Bokakotorska Bay from 2016 to 2017, the sediment was sampled at three locations known as habitats for the mussel "palastura" (*Pinna nobilis*). In order to define sediment type, the granulometric analysis was done as well as the determination of organic matter content. The results of the analysis showed that in all three cases, there were mostly sandy habitats. The highest content of organic matter was present in the sediment at the location Sveti Stasija, where also the highest content of the mud fractions was recorded in relation to the other two locations.

KEY WORDS: *Pinna nobilis*, sediment, granulometric analysis, organic matter

## UVOD

Procjena kvaliteta sedimenta nekog područja morskog ekosistema zahtijeva razmatranje fizičkih, hemijskih i bioloških uslova koji preovlađuju u njemu. Ovo je jedinstvena kombinacija za svaku istraživanu sredinu koju oblikuju prirodni, ali i antropogeni uticaji posebno izraženi u neposrednoj blizini urbanizovanih područja. Procjena kvaliteta sedimenta počinje analizom njegovih fizičkih karakteritika. Pored njih, neophodno je poznavati i fizičke karakteristike okoline, prije svega hidrodinamičke, hidrografske i klimatske faktore. Poznavanje raspodjele čestica ispitivanog sedimenta veoma je važno za ocjenu podložnosti sedimenta zagađenju, a time i uticaja na živi svijet koji ga naseljava. Tako prirodni sedimenti čije su čestice promjera većeg od 2 mm ne zadržavaju zagađujuće supstance. Slično je kod pjeskovitih sedimenata čiji su promjeri zrna veći od 63  $\mu\text{m}$ , koji imaju malu specifičnu površinu za sorpciju zagađujućih supstanci. Nasuprot njima, sedimenti pretežno sastavljeni od glina i prahova (promjer zrna manji od 63  $\mu\text{m}$ ) imaju veliki odnos površine zrna prema njegovoj masi, te su takvi sedimenti zbog velike specifične površine čestica podložni zadržavanju kontaminanata (GIPME, 2000). Veličina zrna je jedna od osnovnih fizičkih osobina sedimenta koja daje važne informacije vezane za transport i depoziciju čestica sedimenta, propustljivost uzorka i stabilnost pod opterećenjem, kinetiku hemijskih reakcija i afiniteta čestica i zagađivača i druge.

Biološka mjerenja “in situ” takođe mogu biti važan izvor informacija za promjene u kvalitetu sedimenta. Fizičke karakteristike sedimenta značajno utiču na strukturu vrsta organizama koji žive na ili u sedimentu. Poznavanje sastava bentosnih zajednica organizama koji prirodno naseljavaju neko područje i promjena njihove populacije, pružice niz korisnih informacija o promjenama za slična staništa u okruženju koja su značajnije izložena uticaju čovjekovih aktivnosti i zagađivanju (Long i Morgan, 1991).

U akvatorijumu Bokokotorskog zaliva počev od aprila 2016. godine sprovode se aktivnosti u okviru projekta „Proučavanje, zaštita i mogući uzgoj školjke palasture (*Pinna nobilis*) u Bokokotorskom zalivu” - PinnaSPOT, čiji je cilj da doprinese opštim podacima o značaju školjke palasture (lat. *Pinna nobilis*) kao endemske i ugrožene vrste Sredozemlja i uslovima životne sredine u kojima se razvija u Bokokotorskom zalivu. Palastura uglavnom naseljava priobalna područja mekog dna, prekrivena livadama morskih trava, na dubinama od 0.5-60 m, ali i nevegetativne pjeskovite zone. Ubraja se među najveće školjke na svijetu čija ukupna dužina ljuštura može dostići i do 1.2 m. Obično je uronjena prednjim krajem tijela u meki sediment, pričvršćena brojnim filamentima za rizome i korijenje trava ili čvrste strukture supstrata (Katsanevakis, 2005). U Bokokotorskom zalivu u podvodnim livadama *Posidonia oceanica* ili *Cymodocea nodosa* postoji nekoliko populacija palasture na dubinama od 1-10 m. Pogoršanje uslova u morskome ekosistemu, izlov školjki radi hrane, ribolova i suvenira, prekomjerna resuspenzija sedimenta i zagađenje, umanjili su brojnost ove atraktivne vrste. U zalivu Boke Kotsorske registrovani su brojni primjeri odlaganja zemlje u more kao posljedica izvođenja građevinskih radova duž morske obale. Takođe, veliki broj posjeta kruzera gradu Kotoru, kao značajnoj regionalnoj turističkoj destinaciji Jadrana, doprinosi narušavanju stanja kvaliteta vode u akvatorijumu Bokokotorskog zaliva usled resuspenzije sedimenta. Projekat definiše strategiju proučavanja populacija palasture

kao i staništa koja naseljavaju u Boki, koja uključuje između ostalog i monitoring fizičko-hemijskih parametara životne sredine koju naseljavaju populacije *P. nobilis*. U cilju uspostavljanja korelacije gustine populacije i abiotskih faktora, jedna od aktivnosti predviđenih monitoringom je određivanje tipa sedimenta, intenziteta resuspenzije sedimenta i procenta organske materije (Joksimović et al, 2017).

U ovom radu biće prikazani rezultati granulometrijske analize i sadržaja organske materije uzoraka sedimenta sa tri lokacije - staništa palasture u akvatorijumu Bokokotorskog zaliva, uzimanih tokom 13 mjeseci monitoringa fizičko-hemijskih parametara staništa.

## MATERIJALI I METODE

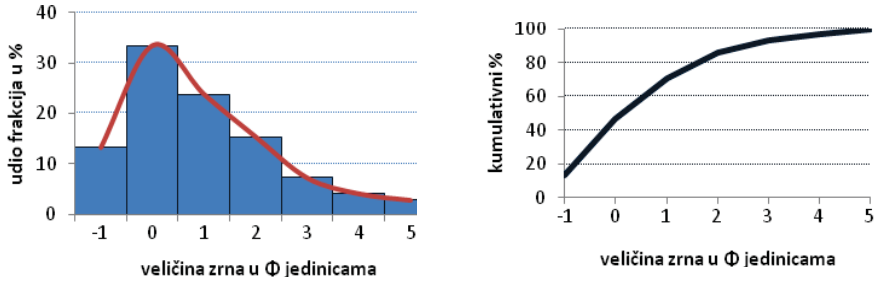
Uzorkovanje sedimenta za analizu izvršeno je na tri lokacije koje su naseljene palasturom u Bokokotorskom zalivu, u periodu od avgusta 2016. godine do avgusta 2017. godine. Lokacije sa kojih su uzeti sedimenti za analizu (Orahovac, Sveti Stasije i Sveta Nedelja) prikazane su na mapi br.1. Frekvencija uzorkovanja je bila jedanput mjesečno. Ručnim uzorkovanjem ronioca uzeto je po 13 uzoraka površinskog sedimenta sa svake lokacije. Uzorci (po tri replike) su korišćeni za analizu veličine zrna i sadržaja organske materije u sedimentu. Sediment za potrebe granulometrijske analize je sušen u liofilizatoru, usitnjen ručno u avanu i četvrtanjem uzet poduzorak. Granulometrijski sastav sedimenta određen je metodom suvog prosijavanja kroz seriju standardnih sita sa sledećim prečnikom okaca: 2 mm; 1 mm; 0.5 mm; 0.25 mm; 0.125 mm i 0.063 mm. Procjena organskog udjela u masi suvog sedimenta određena je mjerenjem gubitka žarenjem. Za ove potrebe sediment je sušen 24h na 60 °C, zatim žaren 2h na 550 °C. Sadržaj ukupne organske materije ekvivalentan je procentu gubitka žarenjem suve mase sedimenta.



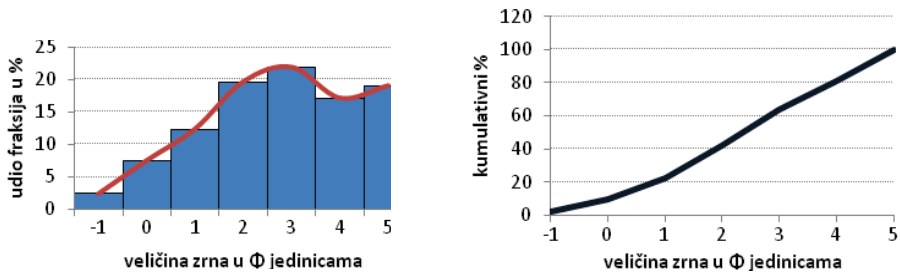
Mapa 1. Lokacije uzorkovanja sedimenta – Bokokotorski zaliv  
Map 1. Locations of sediment sampling – Boka Kotorska Bay

## REZULTATI I DISKUSIJA

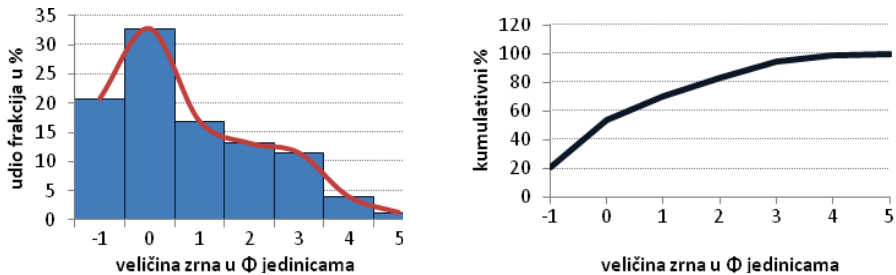
Rezultati granulometrijske analize sedimenta za tri lokacije prikazani su na slikama 1-3.



Slika 1. Histogram i kumulativna kriva granulometrijske analize sedimenta za lokaciju Orahovac  
Figure 1. Histogram and cumulative curve of the grain size analysis for the Orahovac location

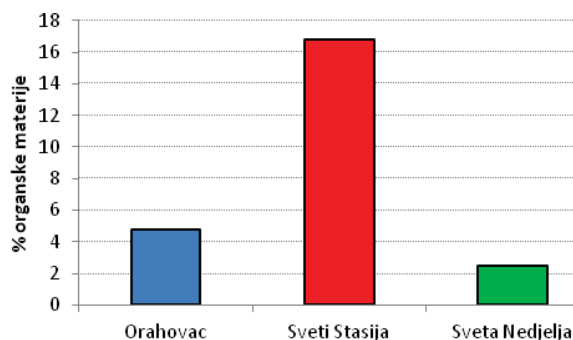


Slika 2. Histogram i kumulativna kriva granulometrijske analize sedimenta za lokaciju Sv.Stasije  
Figure 2. Histogram and cumulative curve of the grain size analysis for the St. Stasije location



Slika 3. Histogram i kumulativna kriva granulometrijske analize sedimenta za lokaciju Sv.Nedelja  
Figure 3. Histogram and cumulative curve of the grain size analysis for the St. Nedelja location

Rezultati analize sadržaja organske materije u sedimentu za predmetne lokacije dati su na slici 4.



Slika 4. Prosječne vrijednosti udjela organske materije u sedimentu na lokacijama istraživanja  
Figure 4. Mean values of the organic matter content in sediment at the investigated locations

Rezultati analize granulometrijskog sastava uzorkovnog sedimenta na ispitivanim lokacijama dati su u vidu histograma sa krivom frekvencije, pri čemu su primjenjene srednje vrijednosti udjela pojedinačnih frakcija za cijeli period istraživanja (13 uzoraka po svakoj lokaciji). Takođe, za svaku ispitivanu lokaciju predstavljena je i kumulativna aritmetička granulometrijska kriva koja prikazuje kumulativne masene procenete za pojedine frakcije u funkciji veličine zrna. Iz nje se mogu direktno očitati udjeli pojedinih frakcija, u ovom slučaju srednje vrijednosti udjela frakcija po svim uzorkovanjima. Na x-osi oba grafička prikaza, veličina zrna iskazana je u  $\Phi$  (phi) jedinicama, pri čemu je  $\Phi = -\log 2 d$ , ( $d$ - prečnik čestice u mm).

Prema Wentworth-ovoj mjernoj skali klasifikacije sedimenta, i na osnovu dobijenih podataka može se reći da su u uzorcima sedimenta zastupljeni šljunak dimenzija vrlo sitnog šljunka-granule (2-4 mm), frakcije pijeska sa pet prelaza u rasponu od 0.0625 – 2mm i mulj (prah + glina) koga čine čestice manje od 0.0625 mm. Na lokaciji Orahovac udjeli ovih frakcija iznose: granule šljunka 13.27±4.60 %, pijesak 83.93±4.01 % sa većinskim udjelom frakcija vrlo krupnog i krupnog pijeska, i mulj 2.81±1.13%. Na lokaciji Sveti Stasije, u sedimentu su frakcije šljunka, pijeska i mulja zastupljene u sledećim udjelima: 2.36±1.06 %, 78.58±3.41 % i 19.06±3.69 %, respektivno. Na ovoj lokaciji u frakciji pijeska preovladavaju frakcije srednjeg, sitnog i vrlo sitnog pijeska. Rezultati analize veličine čestica za treću lokaciju Sveta Nedjelja su sledeći: vrlo sitni šljunak 20.76±5.44 %, pijesak 78.05±5.06 % sa većinskim udjelima frakcija vrlo krupnog i krupnog pijeska, i mulj 1.20±0.63 %.

Na osnovu Folkove strukturne klasifikacije (Folk, L.R, 1980), sediment na lokacijama Orahovca i Svete Nedjelje je šljunkoviti pijesak (GS), s obzirom da je odnos pijeska prema

mulju veći od 9:1, a sadržaj šljunka je u rangu od 5-30%. S druge strane, sediment na lokaciji Sv. Stasije je blago šljunkoviti-muljeviti pijesak ((g)mS), jer je odnos pijeska prema mulju između 1:1 i 1:9, a sadržaj šljunka između 0.01 i 5 %. Dakle, na osnovu rezultata granulometrijske analize može se reći da u sedimentu sve tri lokacije preovladava materijal promjera zrna od 2 mm do 0.063 mm, odnosno različite frakcije pijeska.

Prosječni sadržaj organske materije u suvom sedimentu bio je najveći na lokaciji Sv. Stasije 16.80 % , dok je taj sadržaj na lokacijama Orahovca i Sv. Neđelje znatno manji i iznosi 4.78 % i 2.46 %, respektivno. Ovakav sadržaj je u skladu sa prethodno opisanom strukturnom klasifikacijom sedimenta, gdje je sadržaj mulja bio najveći upravo na lokaciji Sveti Stasija, dok je na preostale dvije lokacije taj sadržaj bio desetostruko manji.

### ZAKLJUČAK

U okviru projekta PinnaSPOT u periodu od avgusta 2016. godine na tri lokacije u akvatorijumu Bokotorskog zaliva sprovode se istraživanja populacija školjke palasture i njenih staništa. U okviru monitoringa staništa ispitivan je fizički sastav sedimenta, odnosno raspodjela veličine čestica u njemu. Rezultati ovih analiza pokazali su da su sedimenti ispitivanih staništa uglavnom pjeskovitog karaktera sa manjim udjelima vrlo sitnog šljunka i mulja. U pogledu sadržaja organske materije, na lokaciji Sveti Stasije izmjeren je najveći sadržaj organske materije koji korespondira sa rezultatima granulometrijske analize ovog sedimenta u odnosu na druge dvije lokacije.

U cilju povezivanja uticaja abiotskih faktora na gustinu i rast populacija palasture, neophodno je analizirati i ostale faktore koji utiču na strukturu sedimenta, kao što su hidrografski parametri u Bokotorskom zalivu, hidrologija područja, vremenske prilike (oluje, vjetrovi), ali i aktivnosti čovjeka u neposrednoj blizini staništa kao što su ribarenje, kruzing, marikultura, turizam i slično.

### Zahvalnica

Projekat je finansiran uz podršku Fondacije Princ Albert II od Monaka <http://www.fpa2.com>. Sadržaji ovog dokumenta su isključiva odgovornost Instituta za biologiju mora i ne odražavaju stavove Fondacije Princ Albert II od Monaka.

### LITERATURA:

- Folk, L.R., *Petrology of Sedimentary Rocks* (1980), Hemphill Publishing Company, Austin, USA
- Joksimović D, Castelli A, Mitrić M, Martinović R., Strategies and plans for the study and protection of pen shell (*Pinna nobilis*) in the Boka Kotorska Bay (2017). The 46th Annual conference "WATER 2017". 06-08.06.2017. Vršac, Serbia
- Katsanevakis, S. , Population ecology of the endangered fan mussel *Pinna nobilis* in a marine lake, *Endangered species research.*, 1 (2005) 1-9
- Long, E.R. and Morgan, L.G. (1991) The Potential for Biological Effects of Sediment-Sorbed Contaminants Tested in the National Status and Trends Program, NOAA Technical Memorandum NOS OMA 52,
- GIPME (2000), *Guidance on Assessment of Sediment Quality*, London

## OPTIMIZACIJA MREŽE ZA MONITORING STATUSA POVRŠINSKIH VODA U REPUBLICI SRBIJI U SKLADU SA ZAHTEVIMA OKVIRNE DIREKTIVE O VODAMA

Prvoslav Marjanović, Dragica Vulić, Lazar Ignjatović,  
Dušan Kostić

*Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“, Jaroslava Černog 80, Beograd  
e-mail: [lazar.ignjatovic92@gmail.com](mailto:lazar.ignjatovic92@gmail.com)*

### REZIME

U radu su prikazani rezultati šire studije koja se bavi optimizacijom mreže za monitoring statusa površinskih i podzemnih voda u skladu sa zahtevima Okvirne Direktive o vodama (ODV) i pratećim direktivama. Prikazana je trenutna praksa monitoringa površinskih voda u Republici Srbiji i njeno poređenje sa zahtevima za monitoringom koji su funkcija efektivnog upravljanja vodnim resursima i implementacija ODV. Rad se bavi procesom optimizacije sistema za monitoring kvaliteta površinskih voda na nacionalnom nivou primenjuje ga da bi se razvila predložena mreža za monitoring kvaliteta površinskih voda u Republici Srbiji.

KLJUČNE REČI: monitoring kvaliteta površinskih voda, Okvirna Direktiva EU o vodama, Republika Srbija, kvalitet vode, optimizacija.

## THE OPTIMISATION OF THE SURFACE WATER QUALITY MONITORING NETWORK IN THE REPUBLIC OF SERBIA ACCORDING TO THE REQUIREMENTS OF THE WATER FRAMEWORK DIRECTIVE

### ABSTRACT

This paper presents the results of a comprehensive study aimed at optimizing the network for monitoring of the status of surface water and groundwater according to the requirements of the Water Framework Directive. This paper looks at the current practice of surface water quality monitoring in the Republic of Serbia and compares it to the requirements for monitoring which are function of effective water resources management and implementation of the EU Water Framework Directive. The paper considers the process of optimising surface water quality monitoring systems at national level and applies it to develop a proposed network for surface water quality monitoring in the Republic of Serbia.

KEY WORDS: Water Quality Monitoring, Water Framework Directive, Republic of Serbia, Water Quality, Optimization.

## UVOD

Osnovna svrha uspostavljanja sistema za monitoring kvaliteta površinskih i podzemnih voda je stvarnje osnovnih preduslova za savremeno i efektivno upravljanje vodama i ostale upravne i druge funkcije.

Monitoring kvaliteta površinskih voda u Srbiji ima dugu istoriju, i deo je državnih aktivnosti još od 1960. godine. Kroz istoriju, praksa monitoringa je evaluirala i proširivana je tokom vremena sve do 2012. godine, kako u pogledu broja stanica za monitoring, tako i u pogledu broja parametara koji se mere. Tokom ovog perioda, monitoring kvaliteta površinskih je institucionalno povezan sa Ministarstvom koje je zaduženo za vodoprivredu, a u skorije vreme i sa ministarstvom koje je zaduženo za zaštitu šivotne sredine.

Sada je za monitoring kvaliteta površinskih voda institucionalno nadležna Agencija za zaštitu životne sredine (SEPA), a godišnje programe monitoringa usvaja Vlada u skladu sa Ministarstvom zaduženim za vodoprivredu i zaštitu životne sredine.

Usvajanjem novog Zakona o vodama 2010. god., započete su aktivnosti uvođenja zahteva ODV, ali ovaj proces još uvek nije završen. Promene koje su do sada uvedene se ondose samo na listu parametara monitoringa, dok je broj stanica za monitoring kvaliteta površinskih voda u stalnom opadanju još od 2011. god. Razlog za ovo smanjenje broja stanica je delom nedostatak kapaciteta (kadrovskih, tehničkih i sl.) u odgovornoj instituciji, ali je odlučujući faktor značajno smanjenje budžetskih sredstava za ovu važnu aktivnost usled teške ekonomske situacije u Srbiji.

Autori smatraju da je glavni razlog smanjenja aktivnosti na monitoringu nedostatak sistemskog pristupa monitoringu kvaliteta površinskih voda kao takvom i integracije potreba korisnika podataka monitoringa statusa površinskih voda i stvarnog shvatanja potreba za podacima radi efektivnog upravljanja vodama i implikacija na monitoring kvaliteta površinskih voda koji proističe iz transpozicije ODV i drugih čerki Direktiva.

Rad se bavi trenutnom situacijom u upravljanju kvalitetom površinskih voda u Srbiji i uzima u obzir zahteve za podacima i informacijama neophodnim za efektiivno upravljanje kvalitetom površinskih voda prema trenutnoj legislativi u Srbiji i zahtevima Direktiva EU. Uzimajući u obzir ovo i sistemski pogled na monitoring kvaliteta površinskih voda, u radu se predlažu glavne karakteristike monitoringa kvaliteta površinskih voda u Republici Srbiji.

## POSTOJEĆA PRAKSA MONITORINGA KVALITETA POVRŠINSKIH VODA U SRBIJI

Evolucija monitoringa kvaliteta površinskih voda u Srbiji za period 2007-2016. god. je prikazana na Slika 1. Sa slike se vidi da je broj stanica za monitoring počev od 2012. god. svake godine opadao, tako da je sa više od 130, koliko ih je bilo u periodu od 2007-2011, na svega 75 stanica u 2016. god.



Učestalost monitoringa je 12 puta godišnje za potoke i reke, a jednom do tri puta godišnje za izabrana jezera i akumulacije. Od 493 vodna tela površinskih voda u Srbiji, monitoring je tokom istorije sproveden na svega oko 100, pri čemu je svega 72 vodnih tela bilo obuhvaćeno monitoringom u 2016. god. Usvajanjem novog Zakona o Vodama (ZOV), 2010. god. i pratećih regulativa, uvedeni su novi parametri za monitoring, sa ciljem utvrđivanja ekološkog i hemijskog statusa vodnih tela u skladu sa Direktivama EU.

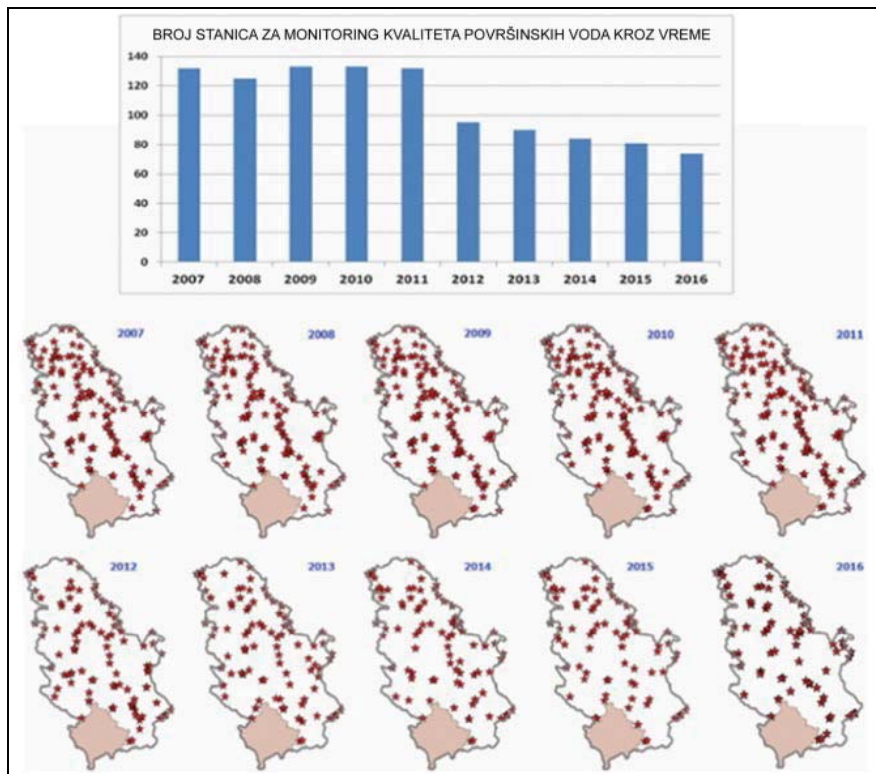
U Srbiji su trenutno u toku aktivnosti na delineaciji dodatnih vodnih tela na potocima i rekama sa slivovima većim od 10 km<sup>2</sup> (prema ODV). Ovo bi trebalo da bude praćeno značajnim proširenjem mreže za monitoring da bi se obuhvatila sva vodna tela u Srbiji, ali takođe zahteva i adekvatnu promenu postojeće regulative i dalje izmene i dopune ZOV. Eksperti procenjuju da će biti više od 2000 novih vodnih tela čiji će kvalitet biti potrebno ocenjivati i više od 1200 stanica za monitoring kvaliteta površinskih voda da bi se mogao oceniti kvalitet vode i status vodnih tela.

U Studiji (IJČ, 2017) prikazani su tipični rezultati monitoringa kvaliteta površinskih voda tokom vremena za koncentraciju nitrata u površinskim vodama u Srbiji, što pokazuje efekat broja stanica na našu mogućnost izvođenja zaključaka na osnovu stanja kvaliteta površinskih voda na nacionalnom nivou prema ovim rezultatima. Kao što je i očekivano, naša sposobnost da kvantifikujemo i razumemo problem kvaliteta površinskih voda u Srbiji je fundamentalno zavistan od broja stanica na kojima se sprovodi monitoring, što opravdava potrebu za značajnim povećanjem broja stanica za monitoring.

Veoma je interesantno primetiti da je broj stanica smanjen tako što su iz godišnjih programa za monitoring eliminisane stanice sa visokim koncentracijama (lošim kvalitetom vode), tako da kada se u obzir uzmu samo godišnji podaci, dolazi se do zaključka da se kvalitet vode u Srbiji popravlja tokom vremena, pri čemu je na mnogim mestima tačno verovatno suprotno. Naše tumačenje je da je opravdanje ovoga činjenica da se već zna gde je loša situacija, i da se u odsustvu korektivnih mera za smanjenje zagađenja mogu uštedeti sredstva tako što se neće vršiti redovni monitoring na tim stanicama. Međutim, rezultat takvog načina razmišljanja je gubitak mogućnosti da se ocene efekti implementiranih mera i da se analizira brzina oporavka zagađenih sistema ili trend ubrzane degradacije. Profesionalni državni službenici su svesni problema i razumeju situaciju, ali na žalost nisu uspeli da ubede donosioce odluke da prebace adekvatna budžetska sredstva na monitoring kvaliteta površinskih voda i tako spreče gubitak mogućnosti da se na osnovu podataka monitoringa i informacija izvedenih iz njih pruži podrška adekvatnom odlučivanju, razvoju i planiranju adekvatnih mera za kontrolu zagađenja.

Na osnovu svega navenenog, za opšti benefit svega razmotrenog, prezentujemo sistemski pristup monitoringu kvaliteta površinskih voda na nacionalnom nivou prema obimnoj literaturi koju smo proučili iz ovog razloga sa namerom da damo naš doprinos budućim razmatranjima o rekonstrukciji sadašnjeg sistema za monitoring kvaliteta površinskih voda u Srbiji. Napominjemo da postoji obiman spisak literature koja pokriva ovu temu, i sve ukazuje na potrebu za sistemskim pristupom koji uključuje ne samo broj stanica i listu

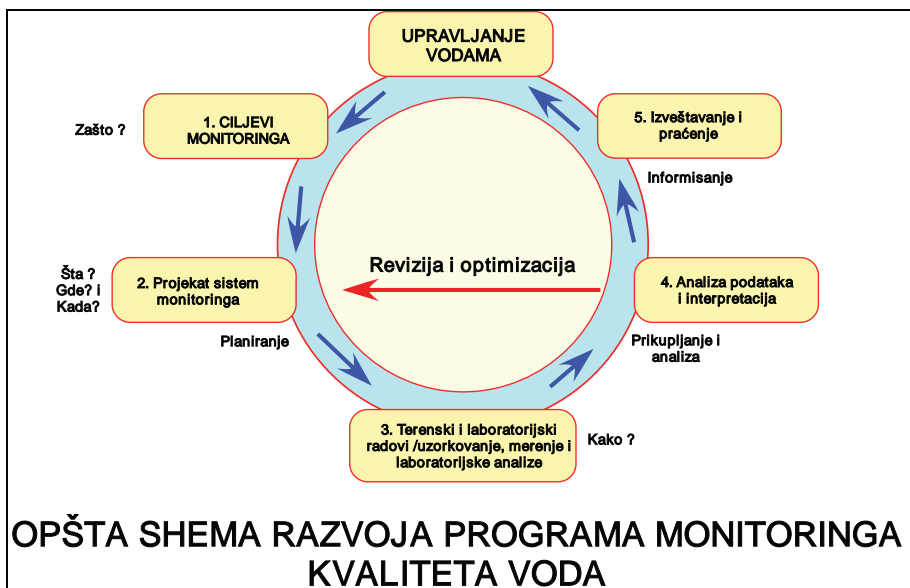
parametara koje je potrebno meriti, već i takve aspekte kao što su kontrola kvaliteta, podrška donošenju odluka, kao i podrška izveštavanju i usavršavanju.



Slika 1. Broj stanica za monitoring kvaliteta površinskih voda kroz vreme  
Figure 1. Number of surface water quality monitoring stations through time

#### KLJUČNI ASPEKTI BUDUĆEG MONITORINGA KVALITETA POVRŠINSKIH VODA U SRBIJI

Ključno svojstvo bilo kog nacionalnog sistema za monitoring je njegova podrška upravljanju vodnim resursima. Ciljevi monitoringa (šta?) su neophodni da podrže funkcije upravljanja vodnim resursima, a program sistema za monitoring (šta, gde i kako?) treba da ispuni ove ciljeve (Slika 2). Program sistema za monitoring određuje kako će monitoring biti sproveden i takođe na mnogo načina određuje kako će podaci biti analizirani i interpretirani. Sa druge strane funkcije upravljanja vodnim resursima nameću potrebe za izveštavanjem, analizama i interpretacijom kao što je prikazano na Slika 2.



Slika 2. Sistemski pogled na monitoring kvaliteta površinskih voda  
Figure 2. Systems view of the surface water quality monitoring

Razvoj sistema za monitoring kvaliteta površinskih voda počinje analizama funkcija upravljanja vodnim resursima i podataka o kvalitetu vode i informacija koje su potrebne da podrže ove funkcije. Ovo je rezimirano prikazano na Slika 3, što takođe uključuje specifične zahteve za monitoringom koji su proizašli iz ODV. Specifični zahtevi za kvalitetom površinskih voda koji su proizašli iz ODV su rezimirani na Slika 4, kao što su i veze ovih zahteva sa zahtevima drugih korisnika podataka i informacija u sektoru vodoprivrede.

Svaki od ovih 5 koraka prikazanih na Slika 2 zahteva sistematski i fundamentalan proces implementacije. Mnoge međusobno slične metodologije sa ovom namenom su dostupne u literaturi. Zajednički im je proces optimizacije koji je u vezi sa upravljanjem kvalitetom voda koji zahteva reviziju ciljeva, ali takođe i partnerstvo sa profesionalnom organizacijom i podatke i razmenu informacija među stakeholder-ima (proces takođe uključuje susedne države). Ovi odnosi su prikazani na Slika 4.

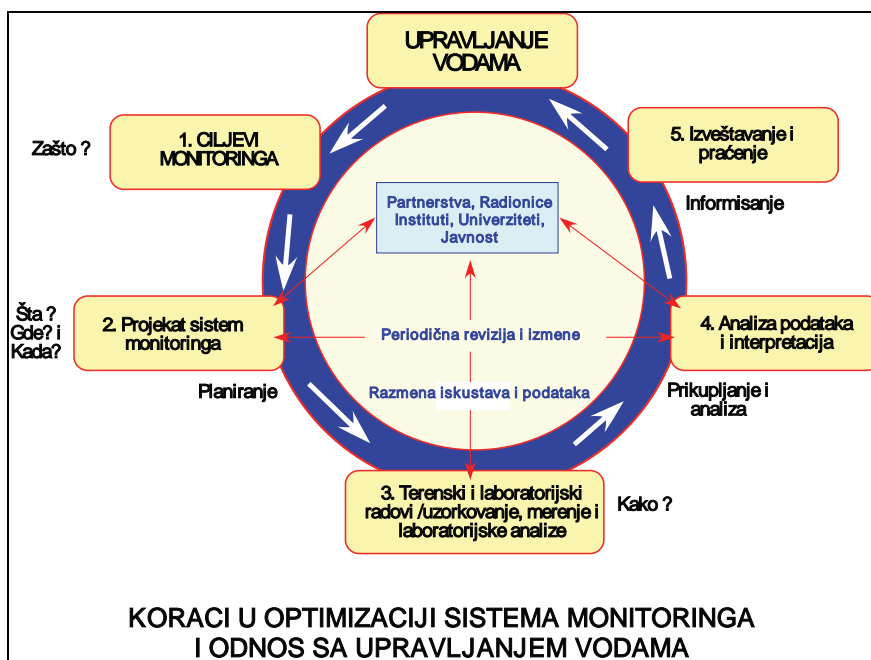


Metodologija koja se tipično koristi za određivanje ciljeva sistema za monitoring kvaliteta površinskih voda je prikazana na Slika 5. Kada se jednom definišu i odrede ciljevi sistema za monitoring, moguće je napraviti program celog sistema za monitoring. Program sistema za monitoring treba da uzme u obzir sledeće:

- Odluke koje je potrebno doneti tokom izrade programa
- Terenske i laboratorijske analize i merenja
- Lista parametara koje je potrebno meriti monitoringom
- Analiza podataka i interpretacija
- Izveštavanje i informisanje

Svaka od navedenih stavki treba da bude strukturirana i trebalo bi da sadrži skup osnovnih zahteva i zadataka.

Naročito je važno definisati listu parametara za monitoring i neophodne procedure za efikasan sistem za analizu podataka, njihovu interpretaciju i izveštavanje tokom optimizacije sistema za monitoring. Metodologija za izbor parametara data je na Slika 6, međutim njena implementacija nije moguća u okviru sadašnje legislative u Srbiji ali i u mnogim zemljama EU.



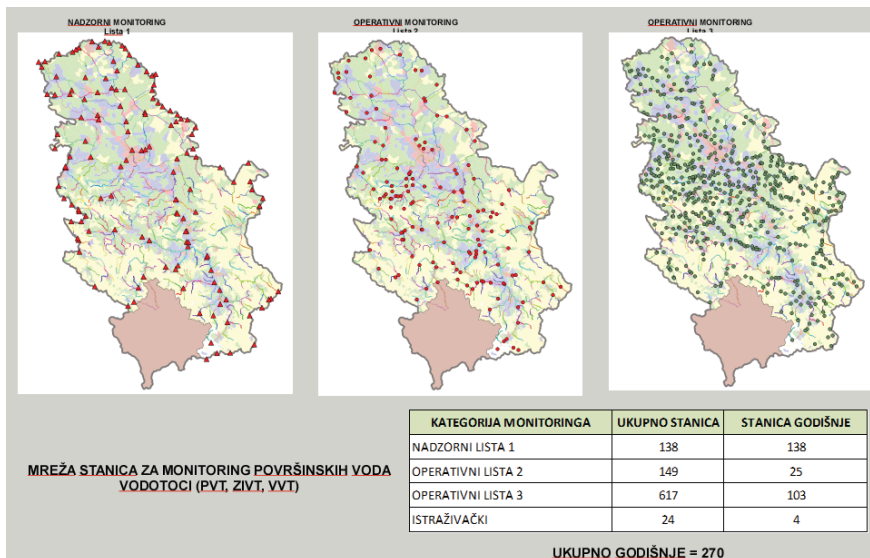
Slika 5. Koraci u optimizaciji sistema monitoringa  
Figure 5. System level optimization methodology



Slika 6. Predložena metodologija za izbor parametara kvaliteta voda

Figure 6. Suggested methodology for the selection of water quality parameters

Predložena mreža stanica za monitoring površinskih voda prikazana je na Slika 7. Procenjena cena implementacije takvog sistema je oko 4,6 miliona evra godišnje i za njegovu implementaciju bi bilo neophodno najmanje 5 godina.



Slika 7. Predložena mreža stanica za monitoring površinskih voda za Srbiju (osim jezera i akumulacija)

Figure 7. Proposed surface water quality monitoring network for Serbia (excludes lakes and reservoirs)

## ZAKLJUČCI I PREPORUKE

Glavni rezultat Studije (IJČ, 2017) je predlog mreže stanica za monitoring kvaliteta površinskih voda koji će ispuniti sve zahteve (ili najveći deo njih) trenutne legislativne i ODV EU, kao i zaključak i da je postojeća monitoring mreža sačinjena od nedovoljnog broja stanica koji u prethodnih 6 godina beleži konstantan pad.

U Studiji je identifikovana potreba za revizijom metodologije za delineaciju vodnih tela u Srbiji i njihovim grupisanjem tako da podaci o kvalitetu vode budu adekvatne rezolucije, pri čemu bi se smanjio broj stanica na optimalan i “priuštiv” nivo.

Predložena mreža se sastoji od 4 kategorije stanica za monitoring:

1. Stanice za nadzorni monitoring;
2. Stanice za operativni monitoring I ranga
3. Stanice za operativni monitoring II ranga
4. Stanice za istraživački monitoring

Za sada se može koristiti lista parametara definisana odgovarajućim propisima, ali smatramo da bi u bliskoj budućnosti trebalo izvršiti i njenu reviziju u svetlu dosadašnjih iskustava iz prakse.

Republika Srbija se suočava sa velikim izazovom da razvije i implementira sistem koji bi trebalo da ispuni zahteve ODV EU i potrebno je da mnogi stakeholder-i ulože mnogo napora u budućnosti da bi se postigli postavljeni ciljevi.

Adekvatno obezbeđivanje i preraspodela resursa (budžeta, ljudskih resursa, opreme) za monitoring kvaliteta površinskih voda su apsolutno neophodni preduslovi za uspeh.

### Zahvalnica

Autori se zahvaljuju Republičkoj Direkciji za vode koja je finansirala Studiju koja je rezimirana u ovom radu. Takođe želimo sa de zahvalimo brojnim kolegama koji su sugestijama i savetima uticali na kvalitet obrade i valjanost zaključaka Studije.

### Odricanje od odgovornosti

Zaključci i preporuke u ovom radu i izražena mišljenja su individualni stavovi autora ovog rada, i ni na koji način ne predstavljaju zvanični stav Instituta za vodoprivredu “Jaroslav Černi”, niti predstavljaju stavove Republičke Direkcije za vode.

## LITERATURA:

- Allan I.L., Mills G.A., Vrana B., Knutsson J., Holmberg A., Guigues N., Laschi S., Fouillac A.M. and R. Greenwood (2006). Strategic monitoring for the European Water Framework Directive. In *Trends in Analytical Chemistry*, 25 (7), pp. 604-715.
- ASTWMO (Association of State and Territorial Solid Waste Management Officials) (2009): Framework for Long-Term Monitoring of Hazardous Substances at Sediment Sites.
- Beveridge D., St-Hilaire A., Ouarda TB, Khalil B., Conly F.M., Wassenaar L.I., and E. Ritson-Bennett (2012): A geostatistical approach to optimize water quality monitoring networks in large lakes. Application to Lake Winnipeg. In *Journal of Great Lakes Research* 38, pp. 174–182.
- CCME (Canadian Council of Ministers of the Environment) (2006): A Canada-Wide Framework for Water Quality Monitoring. 29 pp.
- CCME (Canadian Council of Ministers of the Environment) (2011): Selected tools to evaluate water monitoring networks for climate change adaptation. 164 pp.
- Cetinkaya C.P. and N.B. Harmancıoğlu (2012): Assessment of Water Quality Sampling Sites by a Dynamic Programming Approach. In *Journal of Hydrologic Engineering* 17, pp. 305–317.
- Chapman D. (1996): *Water Quality Assessments. A Guide to the Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring*. 2nd edition. Chapman & Hall, London.
- Clark, M.J.R, MacDonald D.D., Whitfield P.H. and M.P. Wong (2010): Designing monitoring programs for water quality based on experience in Canada II. Characterization of problems and data-quality objectives. In *Trends in Analytical Chemistry* 29 (5), pp. 385–398.
- Coordinated Aquatic Monitoring Program (2013). Retrieved from <http://campmb.com/>
- Duncan J. and L. Duncan. (2010). Citizen Science and Cabin. Columbia Basin Water Quality Network, Kimberley, BC. National CABIN Science Forum Proceedings, Vancouver Convention Centre.
- EC (European Communities) (2003): Common Implementation Strategy for the water framework directive (2000/60/EC), Guidance Document No 7. Monitoring under the Water Framework Directive. Policy Summary to Guidance No. 7. With assistance of Produced by Working Group 2.7 - Monitoring. 160 pp.
- Environmental Protection Agency (EPA) (2006). Water Framework Directive Monitoring Programme. Prepared to meet the requirements of the EU Water Framework Directive (2000/60/EC) and National Regulations implementing the Water Framework Directive, Published by the Environmental Protection Agency, Ireland, Version 1.0.
- Environment Canada (EC) (2012a): A Risk-based Approach to Evaluating Surface Water Quality Sites in the Federal Water Quality Monitoring Network.
- Environment Canada (EC) (2012b): Guidance Document on the sampling and preparation of contaminated soil for use in biological testing.
- Ferreira J.G.; Vale C., Soares C.V., Salas F., Stacey P.E. and S.B. Bricker (2007): Monitoring of coastal and transitional waters under the E.U. Water Framework Directive. In *Environ Monit Assess* 135 (1-3), pp. 195–216.
- Global Environment Monitoring System Water Programme (GEMS) 2005. United Nations Environment Programme Global Environment Monitoring. Operational Guide for Data Submission
- Government of Canada (2012). Environment Canada - Canadian Aquatic Biomonitoring Network (CABIN). Retrieved from <http://www.ec.gc.ca/rcba-cabin/>
- Government of Newfoundland (2012). Real time Water Quality Monitoring Program. Retrieved from <http://www.env.gov.nl.ca/env/waterres/rti/rtwq/index.html>



- Institut za vodoprivredu "Jaroslav Černi", Beograd (2017) ANALIZA OPTIMIZACIJE MONITORING MREŽE KVALITETA POVRŠINSKIH I PODZEMNIH VODA U SKLADU SA ZAHTEVIMA OKVIRNE DIREKTIVE O VODAMA I PRATEĆIM DIREKTIVAMA, Republika Srbija, Ministarstvo poljoprivrede, šumarstva i vodoprivrede, Republička direkcija za vode, Beograd, novembar 2017.
- Harmancioglu N., Fistikoglu O., Ozkul S.D., Singh V.P. and M.N. Alpaslan (1999): Water quality monitoring network design. *Water Science and Technology*. Dordrecht/Boston/London: Kluwer Academic Publisher (33).
- Hunt C.D., Field J., Rust S. and P. Burke. (2006): Surface Water Quality Monitoring Network Optimization. Comprehensive Report to the South Florida Water Management District. 87 pp.
- Hunt C.D., Steven W. Rust and L. Sinnott (2008): Application of statistical modeling to optimize a coastal water quality monitoring program. In *Environmental Monitoring and Assessment* 137, pp. 505-522.
- Khalil B. and Ouarda T.B. (2009): Statistical approaches used to assess and redesign surface water-quality monitoring networks. In *Journal of Environmental Monitoring* 11 (11), pp. 1915–1929.
- Khalil B., Ouarda T.B., M.J St-Hilaire A. Chebana F. (2010): A statistical approach for the rationalization of water quality indicators in surface water quality monitoring networks. In *Journal of Hydrology* 386 (1-4), pp. 173–185.
- Khalil, B.; Ouarda T. B., and M. J. St-Hilaire (2011): A statistical approach for the assessment and redesign of the Nile Delta drainage system water-quality-monitoring locations. In *Journal of Environmental Monitoring* 13 (8), p. 2910.
- Laing, T. (2001): Developing Long-term Monitoring Programs that Lead to Site Closure for FCSAP Aquatic Contaminated Sites: State of Science Review and Technical Guide.
- Lettenmaier D.P. (1976): Detection of trends in water quality data from records with dependent observations, *Water Resource Research* 12, pp. 1037–1046.
- Loftis, J.C. and R. C. Ward (1980): Water Quality Monitoring Some Practical Sampling Frequency Considerations. In *Environmental Management* 4(6), pp. 521–526.
- Lovett G. M., Burns D.A. and C.T. Driscoll (2007): Who needs environmental monitoring? In *Frontiers in Ecology and the Environment* 5, pp. 253–260.
- MacDonald D.D., Malcolm J.R C., Whitfield P. H. and Wong M. P. (2009): Designing monitoring programs for water quality based on experience in Canada I. Theory and framework. In *Trends in Analytical Chemistry* 28 (2), pp. 204–213.
- Marty J. and M. Waller (2012). Algae and Algae Monitoring, Presentation at Stream Monitoring, Assessment & Research Team Eastern Region (SMARTER) Fall Meeting 2012 on November 1st 2012 at Rideau Valley Conservation Authority Office.
- Mayes E. and Codling (2009). Water Framework Directive and Related Monitoring Programmes. In *Biology and Environment: Proceedings of the Royal Irish Academy* 109B, pp. 321-344.
- Newfoundland and Labrador Water Quality Monitoring Agreement (2014). Retrieved from <http://www.env.gov.nl.ca/env/waterres/quality/background/agreement.html#8>
- Nova Scotia Lake Survey Program (2013). Retrieved from <http://novascotia.ca/fish/programs-and-services/industry-support-services/inland-fisheries/lake-inventory-maps/>
- Ozkul S., Harmancioglu N.B. and V.P. Singh. (2000): Entropy-Based Assessment of Water Quality Monitoring Networks. In *Journal of Hydrologic Engineering* 5 (1), pp. 90–100.
- Robarts R., Barker S.J. and S. Evans (2008): Water Quality Monitoring Assessment: Current Status and Future Needs. *Proceedings of Taal 2007: The 12th World Lake Conference*.
- Sanders T.G., Ward R.C., Loftis J.C., Steele T.D., Adrian D.D. and V. Yevjevich (1983): Design of Networks for Monitoring Water Quality. *Water Resources Publications*, Littleton, Colorado, pp. 328.

- Schulze F.H. and F.H. Bouma. (2001): Use of artificial neural networks in integrated water management. Proceedings Monitoring Tailor-made III, pp. 333-342.
- Sharp, W.E (1971): A topologically optimum water - sampling plan for river and streams. In *Water Resources Research* 6(3), pp. 1641–1646.
- Strobl R. O. and P.D. Robillard. (2008): Network Design for Water Quality Monitoring of Surface Freshwaters: A Review. In *Journal of Environmental Management* 87 (1-3), pp. 639–648.
- Strobl R. O., Robillard P.D., Shannon R.D., Day R.L. and A.J. McDonnell (2006): A Water Quality Monitoring Network Design Methodology for the Selection of Critical Sampling Points: Part I. In *Environmental Monitoring and Assessment* 112 (1-3), pp. 137–158.
- USEPA (United States Environmental Protection Agency) (2006a): Guidance on Systematic Planning Using the Data Quality Objectives Process. EPA QA/G-4. 121 pp.
- USEPA (United States Environmental Protection Agency) (2006b): Data Quality Assessment: Statistical Methods for Practitioners. EPA QA/G-9S. 190 pp.
- USGS (US Geological Survey (Ed.) (1995): The Strategy for Improving Water-Quality Monitoring in the United States. Book Final Report of the Intergovernmental Task Force on Monitoring Water Quality. Open File Report 95-742. 161 pp.
- Vannote R.L., G.W. MINSHALL, K.W. Cummins, J.R. Sedell, C.E. Cushing: "The River Continuum Concept". *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 37.1980,1 Ottawa, 130-137.

## AUTOMATSKE STANICE ZA KONTINUIRAN MONITORING PARAMETARA KVALITETA VODE NA RIJECI TREBIŠNJICI

Sanja Čučković

*MH „Elektroprivreda Republike Srpske“, MP a.d Trebinje, ZP „Hidroelektrane na Trebišnjici“ ad Trebinje, Obala Luke Vukalovića 2, 89 101 Trebinje, e-mail: [sgolic@henatrebisnjici.com](mailto:sgolic@henatrebisnjici.com)*

### REZIME

U ovom radu prikazan je sistem kontinuiranog monitoringa fizičko-hemijskih parametara putem automatskih stanica postavljenih od Trebinjskog jezera (brane Gorica) do mjernog profila Dražin Do na izlazu iz urbanog dijela Grada. Na osnovu istražnih radova, urađenih studija i elaborata, važeće zakonske regulative RS i FBiH, ODV i važećih ekoloških i vodnih dozvola definisana je mreža automatskih stanica sa lokacijama i parametrima koje je potrebno kontinuirano pratiti. Od 2013. godine postavljene su četiri stanice na kojima se mjeri osam parametara kvaliteta vode, a u budućem radu planirano je proširivanje mreže na Oblasnom riječnom slivu rijeke Trebišnjice koje podrazumijeva izgradnju novih stanica i dogradnju postojećih sondi novim parametrima. Svrha kontinualnog merenja je sagledavanje promjenljivosti akvatičnih procesa u vremenu i prostoru, kao i daljinski prenos podataka do jednog centra.

KLJUČNE RIJEČI: automatske stanice, kvalitet vode, monitoring, Trebišnjica

## AUTOMATIC MEASURING STATIONS FOR CONTINUOUS WATER QUALITY PARAMETERS MONITORING ON TREBIŠNJICA RIVER

### ABSTRACT

This paper puts forward the system of continual monitoring of physical-chemical parameters by means of automatic stations strategically positioned at appropriate points starting from the Trebinje lake (the Gorica dam) all the way to the measuring profile Dražin Do at the exit of the urban part of the Town. Based on the investigation works, completed studies and reports, the prevailing legal regulations of both the RS and the Federation of Bosnia and Herzegovina,

Water Framework Directive and the prevailing environmental and water permits, a network of the automatic stations has been defined along with the locations and parameters which need to be continually monitored. Since 2013, four stations have been set up as the points where eight parameters of water quality are measured, and it is also planned to expand the network at the River Basin District of the Trebišnjica River in the future, which will mean constructing new stations and adding new probes including new parameters. The purpose of the continual measuring is monitoring and understanding the changeability of aquatic processes in time and space, as well as data transfer to a single center.

KEY WORDS: automatic stations, water quality, monitoring, the Trebišnjica

## UVOD

Voda je jedan od najvažnijih prirodnih resursa na području Istočne Hercegovine, koji uglavnom pripada slivu rijeke Trebišnjice.

Trebišnjica izvire iz velike Dejanove pećine, Nikšićkog vrela i vrela Oka. Dužina površinskog toka rijeke Trebišnjice iznosi 98 km, dok dužina podzemnih tokova iznosi 187 km.

Ove vode akumuliraju se u vještačke akumulacije i čine Bilečku i Trebinjsku akumulaciju. Bilečka akumulacija nastala je u potopljenom dijelu doline Trebišnjice, u sektoru od Grančareva uzvodno do izvorišta zapremine  $1277,60 \times 10^6 \text{ m}^3$ . Nastala je izgradnjom lučne brane „Grančarevo“ visine 123 m. Trebinjska akumulacija nastala je izgradnjom Goričke brane visine 33,5 m, zapremine  $15,74 \times 10,6 \text{ m}^3$ . Nizvodno od brane Gorica, rijeka Trebišnjica, ukupne dužine  $\approx 8.850 \text{ m}$ , sastoji se od poteza prirodnog korita i vještačkog kanala, a sastavni dio ove dionice ulaze i dva kraka rijeke u Trebinjskom polju: Pridvorački krak dužine  $\approx 2.885 \text{ m}$  i Čatovića krak dužine  $\approx 1.288 \text{ m}$ . Potez od brane Gorica pa nizvodno, kroz grad do PPOV, u dužini od oko 4 km, predstavlja jedini ostatak prirodnog korita toka rijeke, nakon čega rijeka, betonskim kanalom dužine 65 km, do kompenzacionog bazena na kraju Popova polja ide na turbine PHE Čapljina.

Kako rijeka Trebišnjica protiče kroz urbani dio grada, dijeleći Grad Trebinje na lijevu i desnu obalu, za lokalno stanovništvo je od velikog značaja praćenje i očuvanje kvaliteta vode, uzimajući u obzir višenamjensko korišćenje rijeke, prije svega za proizvodnju električne energije, vodosnabdjevanje, navodnjavanje, ribolov, sportsko-rekreativne svrhe i razne druge aktivnosti. Razvojem urbanizacije, industrije, intenzivne poljoprivrede, povećanjem broja stanovnika kao i, još uvijek, nepotpuno izgrađenom kanalizacionom mrežom povećan je antropogeni uticaj i zagađenje rijeke, čime se nameće obaveza za unaprjeđenjem mjera zaštite rijeke uz održavanje korita i obala predmetnog vodnog tijela.

## CILJ I PARAMETRI PROGRAMA MONITORINGA

Praćenje fizičko-hemijskih parametara kvaliteta površinskih voda na rijeci Trebišnjice bazira se na povremenom monitoringu fizičko-hemijskih parametara u laboratorijskim uslovima i kontinuiranom monitoringu parametara putem automatskih stanica. Sistem automatskih stanica omogućava pristup podacima u svakom trenutku iz čega proizilazi osnovna svrha ovog sistema koja podrazumijeva automatsko registrovanje eventualnih akcidentnih situacija na vodnom tijelu i promjenu kvaliteta vode na odabranim lokacijama. Takođe, veliki značaj ogleđa se i u praćenju dnevnih fluktuacija sadržaja kiseonika uzrokovanih fotosintezom i respiracijom algi ili organskim opterećenjem za vreme intenzivnih padavina koje obično nisu obuhvaćene redovnim programima sistematskog ispitivanja kvaliteta voda iako mogu biti vrlo štetne za ekosistem.

Za dugoročne prognoze važnost automatskih stanica ogleđa se u:

- efikasno i efektivno osmišljavanje budućih programa monitoringa;
- procjenu dugoročnih promjena prirodnih uslova; i
- procjenu dugoročnih promjena koje nastupaju kao posljedica široko rasprostranjene antropogene aktivnosti.

## PRINCIP RADA AUTOMATSKIH STANICA

Osnovni princip rada automatskih stanica bazira se na prikupljanju podataka preko multiparametarske sonde uronjene u vodu na kojoj su priključeni zasebni senzori za svaki parametar koji se prati. Na svakoj od, do sada, instaliranih sonda postoji osam senzora za praćenje kvaliteta vode i to: mutnoća, ORP, pH, rastvoreni kiseonik, specifična provodljivost, temperatura vode, zasićenje kiseonikom, salinitet. Takođe, na svakoj sondi postoji senzor za praćenje nivoa vode. Na predmetnim lokacijama postavljena su dva tipa sonda, DS 5 (Slika 1) i Quanta (Slika 2).

Sve izmjerene vrijednosti se sakupljaju u centralnom data-loggeru, sa kapacitetom skladištenja do mesec dana zavisno od učestalosti uzorkovanja (4 Mb), ili šalju direktno do centralnog računara putem GSM mreže. Putem softvera HYDRAS 3 novi podaci se mogu očitavati na svakih sat vremena. Softver HYDRAS 3 omogućava grafički i tabelatni prikaz podataka, prikaz satnih, dnevnih, mjesečnih i godišnjih vrijednosti, kao i prikaz maksimalnih, minimalnih i srednjih vrijednosti željenog parametra (Slika 3.)



Slika 1. Multiparameterska sonda za kvalitet vode DS5 sa fleksibilnim nosačem senzora  
Figure 1. Water Quality multi-parameter probe with flexible probe holder



Slika 2. Multiparameterska sonda Quanta za mjerenje parametara kvaliteta vode  
Figure 2. Multiparameter sonde Quanta for basic water quality spot measurements

## ISPITIVANO PODRUČJE

Na predmetnom području instalirane su četiri stanice za praćenja kvaliteta površinskih voda i to na sljedećim lokacijama:

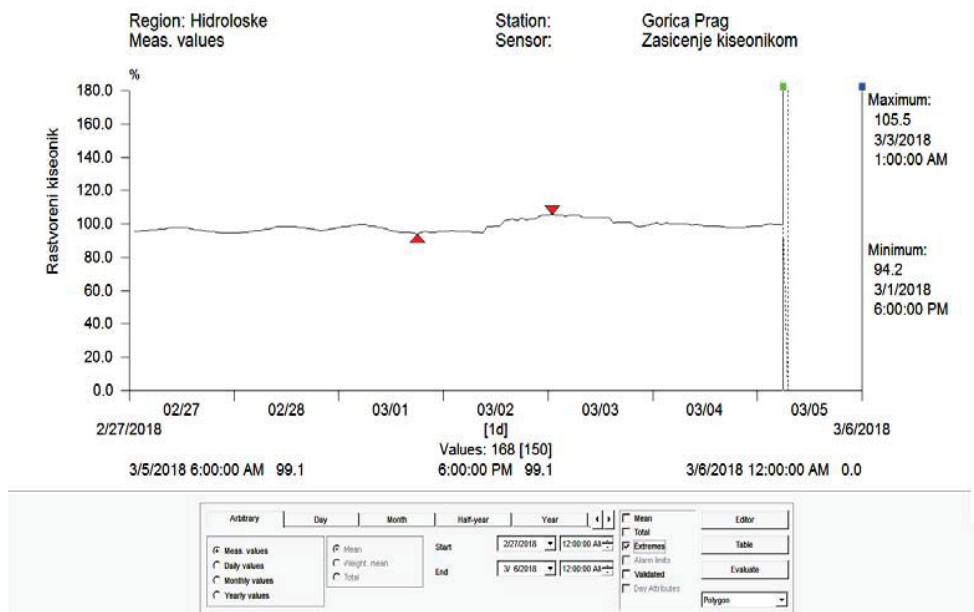
1. Brana Gorica
2. Gorica prag
3. Most Iva Andrića
4. Dražin Do

### Automatska stanica za kvalitet vode na brani Gorica

Stanica radi na principu multiparameterske sonde (tip DS 5) instalisane na branu Gorica i direktno uronjene u akumulaciju Trebinje. Sonda je kroz zaštitnu perforiranu cijev uronjena u akumulaciju na dubini od 1 m. Da bi se obezbijedila sigurnost prikupljanja podataka sa predviđene dubine, sonda je prikačena na plovak koji održava sondu na pomenutom nivou.

### Automatska stanica za kvalitet vode na lokaciji Gorica prag

Stanica se nalazi nekih 780 m ispod brane Gorica instalisana na lijevoj obali rijeke, direktno uronjena u vodu i radi na principu multiparameterske sonde tip DS 5. Postojeća VS, koja je opremljena sa 3 vodomjerne letve i limnigrafom, od 2013. godine nadograđena je opremom za monitoring parametara kvaliteta voda.



Slika 3. Primjer očitavanja podataka putem softvera HYDRAS 3  
 Figure 4. An example of data reading from Hydras 3 software

#### Automatska stanica za kvalitet vode Andrić most

Stanica radi na principu multiparametarske sonde (tip DS 5) direktno uronjene u vodu, fiksirane na dubini 0,5 m ispod nule vodomjerne letve. Sonda je kroz cijev na mostu Iva Andrića postavljena na sredinu korita čime se obezbjeđuje direktan dotok svježje vode. Stanica je postavljena u urbanom dijelu grada, u čemu se i ogleda njen značaj, uzimajući u obzir da je rijeka Trebišnjica izložena pritiscima nastalim uslijed razvoja grada.

#### Automatska stanica za kvalitet vode Dražin Do

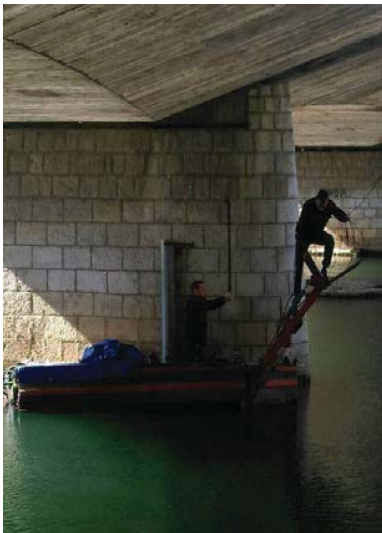
VS Dražin do nalazi se 8980 m nizvodno od brane Gorica. U profilu automatske stanice prirodno korito je betonirano Stanica radi na principu multiparametarske sonde (tip Quanta) instalisane na most u naselju Dražin Do i kroz cijev uronjene u rijeku Trebišnjicu. Osnovna uloga ove stanice je praćenje kvaliteta vode koja ide u prekogranične vode.



Slika 4. Automatska stanica Gorica brana  
Figure 4. Automatic station Gorica dam



Slika 5. Automatska stanica Gorica prag  
Figure 5. Automatic station Gorica prag



Slika 6. Automatska stanica most Ivo Andrića  
Figure 6. Automatic station Ivo Andric bridge



Slika 7. Automatska stanica Dražin do  
Figure 7. Automatic station Dražin do



## DOSADAŠNJA ISKUSTVA

Na osnovu Uredbe o klasifikaciji voda i kategorizaciji vodotoka vrši se analiza dostupnih podataka i prezentovanje rezultata tabelarnim i grafičkim prikazima.

Podaci sa VS Gorica brana koji se odnose na kvalitet vode u akumulaciji Trebinje, tokom čitave godine daju realne podatke.

VS Gorica prag u zimskom periodu godine daje realne podatke dok se u ljetnom periodu javljaju problemi zbog pojačanog rasta vodene vegetacije, posebno u priobalnom dijelu rijeke gdje je sonda i postavljena, te je smanjen dotok protočne vode što ispravnost podataka dovodi u pitanje. Kako bi se obezbijedio kontinuiran pristup realnim podacima u toku čitave godine i smanjio broj kvarova, potrebno je sondu postaviti na sredinu korita i uz pomoć pumpe uzimati uzorak vode.

Na potezu kroz urbani dio grada, na kom postoji pojačano organsko zagađenje, sa automatske stanice most Iva Andrića dobijaju se realni podaci.

S obzirom da je VS Dražin Do instalirana na samom izlazu iz urbanog dijela grada, te se nalazi neposredno ispod PPOV i mjeri kvalitet voda koje imaju prekogranični značaj, uloga ove stanice je neosporna. Postojeće hidrotehničko rješenje VS ne obezbjeđuje dotok tekuće vode, tako da se podaci sa ove stanice ne mogu uzeti kao realni.

## ZAKLJUČAK

Upotrebom senzora za kontinuiran monitoring fizičko-hemijskih parametara kvaliteta vode omogućen je pristup podacima u svakom datom momentu, uvid u trenutno stanje vodnog tijela kao i lak način detekcije ispuštanja zagađujućih materija u vodno tijelo. Pravilnim odabirom mjerne opreme, redovnom kalibracijom senzora, održavanjem i unaprjeđivanjem softverskog sistema kao i mehaničkim čišćenjem mjernih mjesta obezbjeđuje se tačnost izmjerenih vrijednosti.

Automatskim stanicama postavljenim na rijeci Trebišnjici omogućeno je praćenje osam parametara kvaliteta površinskih voda čime se monitoring ne može smatrati potpunim. Kako bi se obezbijedio kompletan uvid u stanje rijeke, neophodan je detaljniji pristup koji podrazumijeva analizu većeg broja fizičko-hemijskih i bioloških parametara u laboratorijskim uslovima.

Iz svega navedenog može se zaključiti da je potreba za automatskim stanicama neosporna i vrlo korisna, ali za kompletnu sliku stanja nekog vodnog tijela, nedovoljna.

## LITERATURA

- Elektroprojekt d.o.o, Zavod za vodoprivredu d.o.o (2012.) Plan upravljanja riječnim slivovima Neretve i Trebišnjice,.
- Javna ustanova "Vode Srpske" Bijeljina, (2017.) Vodna dozvola za funkcionisanje i eksploataciju postrojenja "Trebinje II", br.01/03-BA.5-8476-3/16 .
- Ministarstvo za prostorno uređenje, građevinarstvo i ekologiju (2013.) Ekološka dozvola za postrojenja hidroelektrana Trebinje I i Trebinje II , br.16-96-6/08 od.
- Mijović S, Palmar B, Stevanović S (2007.) Automatske stanice za kontinualni monitoring parametara kvaliteta voda na glavnim vodotocima Srbije
- Uredba o klasifikaciji voda i kategorizaciji vodotoka (Sl. glasnik RS" broj 42/01)
- WFD (2000) Water Framework Directive – Directive of the European Parliament and of the Council 2000/60/EC – Establishing a Framework for Community Action in the Field of Water Policy

## REZULTATI MONITORINGA HIDROEKOSISTEMA TIKVARA

Branko Miljanović\*, Ivana Mijić Oljačić\*, Nemanja Pankov\*,  
Sonja Pogrmić\*, Šandor Šipoš\*, Aleksandar Bajić\*,  
Tamara Jurca\*, Milica Živković\*, Branko Ristanović\*\*,  
Trivun Grubor\*\*\*

\* *Departman za biologiju i ekologiju, Prirodno-matematički fakultet,  
Univerzitet u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 2, Novi Sad,  
[branko.miljanovic@dbe.uns.ac.rs](mailto:branko.miljanovic@dbe.uns.ac.rs)*

\*\* *Departman za geografiju, turizam i hotelijerstvo Prirodno-matematički  
fakultet, Univerzitet u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 3, Novi Sad,*

\*\*\* *Javno preduzeće – Sportsko-rekreativni centar "Tikvara", Veselina Masleše  
bb, Bačka Palanka*

### REZIME

Zaštićeno prirodno dobro Park prirode „Tikvara“ nalazi se u južnom delu Bačke na levoj obali Dunava, neposredno pored mesta Bačka Palanka. Zaštićeno područje se prostire na površini od 507 ha od čega je 42 ha vodenih površina isprepletani rukavcima Dunava kao i barskim površinama. Ovaj rad obuhvata rezultate istraživanja fitoplanktonske zajednice, makrozoobentosa kao i osnovnih fizičko - hemijskih parametara, koji predstavljaju polaznu tačku u okviru redovnog, trogodišnjeg monitoring programa ribolovnih voda, na teritoriji Parka prirode „Tikvara“, započetog u jesen 2017. godine.

KLJUČNE REČI: Park prirode „Tikvara“, fitoplankton, makrozoobentos

## RESULTS OF THE MONITORING OF HYDRO- ECOSYSTEM TIKVARA

### ABSTRACT

Nature Park "Tikvara" is located in the southern part of Backa, on the left bank of the Danube river, right next to the town of Backa Palanka. The protected area extends over an area of 507 ha, of which 42 ha are the water surfaces within the Danube floodplain, made up of marshland and ephemeral ponds intertwined with the Danube backwaters. In this paper we present research results of the phytoplankton community, macrozoobenthos, and basic physical and chemical parameters, which comprise the starting point for the purpose of three - year monitoring programme of the fishing water on the territory of the Nature Park "Tikvara", started in the autumn of 2017.

KEY WORDS: Nature Park „Tikvara“, phytoplankton, macrozoobenthos

## UVOD

Zaštićeno prirodno dobro Park prirode „Tikvara“ nalazi se u južnom delu Bačke na levoj obali Dunava, neposredno pored mesta Bačka Palanka. Severnu granicu dobra čini visoka obala i odbrambeni nasip a južnu granicu reka Dunav. Istočno je nasip puta za most Bačka Palanka - Ilok, dok granicu na zapadu čini KO Mladenovo i KO Bačka Palanka (Bošnjak, 2011). Zaštićeno područje se prostire na površini od 507 ha od čega je 42 ha vodenih površina isprepletani rukavcima Dunava kao i barskim površinama.

U toku 2017. godine započeta su istraživanja ribolovnih voda na teritoriji Parka prirode „Tikvara“, u sklopu 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).

Radom su obuhvaćeni rezultati analiza fitoplanktonske zajednice, makrozoobentosa kao i osnovnih fizičko-hemijskih parametara, koji predstavljaju polaznu tačku za dalja istraživanja hidroekosistema Tikvara.

## MATERIJAL I METODE RADA

Istraživanja voda na području Parka prirode „Tikvara“ sprovedena su u novembru 2017. godine, na dva lokaliteta: jezero Tikvara i Dunav kod Bačke palanke 131rkm.

Od osnovnih fizičko-hemijskih parametara, su određeni: količina rastvorenog kiseonika, zasićenost vode kiseonikom-saturacija i temperatura upotrebom portabl oksimetra marke Hanna, 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 portabl konduktometrom marke WTW, a pH vrednost pomoću terenskog pH metra Eutech Instruments.

Za analizu koncentracije hlorofila a filtrirano je 750 ml vode kroz nitrocelulozni bakteriološki filter promera 47mm sa veličinom pora 0,45 μm. Određivanje koncentracije hlorofila a vršeno je spektrofotometrijskom standardnom metodom (APHA, 1995).

Materijal za kvalitativnu i kvantitativnu analizu sastava fitoplanktonske zajednice prikupljen je filtriranjem 20 litara vode kroz planktonsku mrežicu, promera okaca 22 μm. Uzorci su fiksirani Lugolovim rastvorom na licu mesta. Obrada prikupljenih uzoraka obavljena je uz pomoć standardnih ključeva za determinaciju, u hidrobiološkoj laboratoriji Departmana za biologiju i ekologiju, Prirodno - matematičkog fakulteta u Novom Sadu. Za kvantitativnu analizu određen je broj ćelija, osim kod cenobija kod kojih nisu brojane pojedinačne ćelije već cele cenobije.

Uzorkovanje faune dna je izvršeno pomoću bagera tipa Van-Veen površine zahvata 225cm<sup>2</sup>. Trijaža materijala izvršena je pomoću sistema sita promera oka od 500μm i

150  $\mu\text{m}$ . Determinacija biološkog materijala je urađena na živim jedinkama, korišćenjem standardnih ključeva za determinaciju pojedinih grupa organizama (Hrabe, 1979; Kerovec, 1983; Pennak, 1979). Obradeni materijal je fiksiran 70% alkoholom. Brojnost individua izražena je po metru kvadratnom.

## REZULTATI I DISKUSIJA

### *Fizičko - hemijski parametri*

Fizičko-hemijski parametri u okviru PP „Tikvara“ i na reci Dunav su povoljni za normalan razvoj životnih zajednica. Koncentracija kiseonika je zadovoljavajuća. Umereno povećane vrednosti hemijske i biološke potrošnje kiseonika ukazuju da je voda umereno opterećena organskom materijom i da se u jezeru odvijaju primarni procesi organske razgradnje (tabela 1).

Tabela 1. Osnovne fizičko-hemijske analize vode u okviru PP „Tikvara“ i na reci Dunav  
Table 1. Results of physical and chemical analyzes of water within Nature Park "Tikvara" and at the Danube river site

parametar/ lokalitat	Danube river site	
	Dunav, Bačka Palanka, 131 rkm	Tikvara, Bačka Palanka
t ( $^{\circ}\text{C}$ )	10	10.7
O <sub>2</sub> (mg l <sup>-1</sup> )	10.27	10.46
O <sub>2</sub> (%)	94.7	96.4
Ep ( $\mu\text{S m}^{-1}$ )	408	398
pH	7.6	8.4
TSS (mg l <sup>-1</sup> )	9	10.3
TOC (mg l <sup>-1</sup> )	7.1	11.2
NO <sub>3</sub> (mg l <sup>-1</sup> )	3.4	<0.5
SUR (mg l <sup>-1</sup> )	6.7	11.6
HPK (mg l <sup>-1</sup> )	13.4	19.2
BPK (mg l <sup>-1</sup> )	6.2	10.3
providnost (cm)	83	78
prozračnost (cm)	90	101

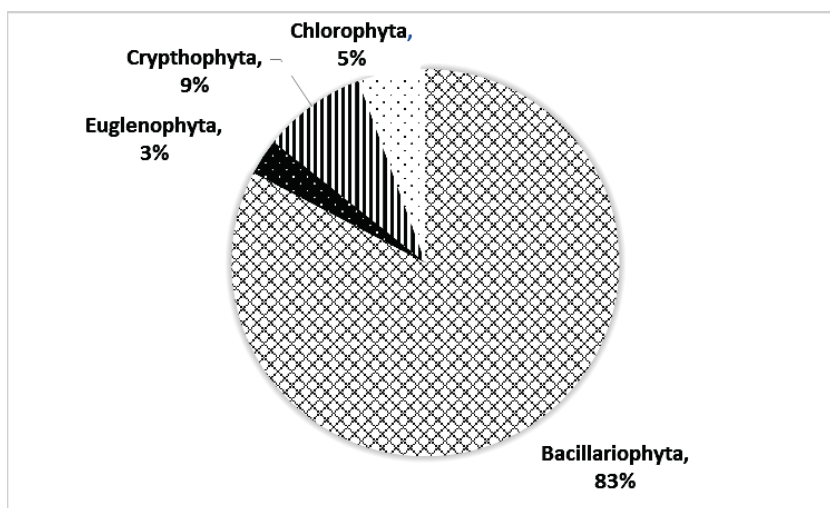
### *Biomasa fitoplanktona*

Biomasa fitoplanktona izražena je preko koncentracije hlorofila a. Na lokalitetu Dunav, kod Bačke Palanke 131 rkm, izmerena koncentracija hlorofila a iznosila je 3.74 mg/m<sup>3</sup>, dok je u samom jezeru Tikvara izmerena koncentracija hlorofila a iznosila 27.23 mg/m<sup>3</sup>. Na osnovu analize koncentracije hlorofila a određen je stepen trofičnosti tj. nivo organske produkcije (Felfoldy, 1980). Pema stepenu trofičnosti lokalitet Dunav, kod Bačke Palanke 131 rkm, odlikuje se vodom oligo-mezotrofičnog stepena, dok se lokalitet Tikvara odlikuje značajnim nivoom organske produkcije, gde je zabaležena koncentracija hlorofila a ukazala na mezo-eutrofičan stepen trofičnosti.

### *Fitoplankton*

Na lokalitetu Dunav kod Bačke Palanke konstatovana je oskudna fitoplanktonska zajednica.

Kvalitativnom analizom sporadično su konstatovani taksoni *Melosira* sp., *Cyclotella* sp. i *Pinnularia* sp. iz razdela Bacillariophyta, zatim i vrste razdela Chlorophyta: *Scenedesmus* sp., *Scenedesmus quadricauda*, *Pediastrum simplex* i *Pediastrum borianum*. Na lokalitetu Tikvara konstatovani su predstavnici fitoplanktonske zajednice iz četiri razdela: Chlorophyta, Euglenophyta, Bacillariophyta i Crypthophyta. Konstatovana ukupna brojnost ćelija fitoplanktona (abundanca) iznosila je 231 ćeliju/ml. Kvantitativnom analizom fitoplanktonske zajednice utvrđena je dominacija algi iz razdela Bacillariophyta, koje su procetualno zastupljene sa 83% u ukupnom udelu ćelija fitoplanktonske zajednice (slika 1), a čija brojnost je iznosila 191 ćelija/ml.



Slika 1. Procetualna zastupljenost predstavnika razdela u fitoplanktonskoj zajednici na lokalitetu Tikvara

Picture 1. The percentage distribution of representatives in the phytoplankton community at the Tikvara site

Kao dominantni taksoni konstatovani su *Melosira* sp. i *Cyclotella* sp.. Brojnost taksona *Melosira* sp. iznosila je 153 ćelije/ml, što je 80% od kompletne zastupljenosti razdela Bacillariophyta u uzorku. U ukupnom udelu u sastavu fitoplanktonske zajednice ovaj takson je činio 66%. Takson *Cyclotella* sp. bio je zastupljen sa 23 ćelije/ml, što predstavlja 12% od kompletne zastupljenosti silikatnih algi, dok je u ukupnom udelu ovaj takson bio zastupljen sa 10%. Ostali razdeli, kao i pojedinačni taksoni, bili su zastupljeni sa malim brojem ćelija. Može se reći da je u jesenjem aspektu na ovom lokalitetu konstatovana siromašna planktonska zajednica.

#### *Fauna dna*

Analizom sedimenta tokom ovog istraživanja konstatovano je ukupno 4 grupe organizama koji pripadaju fauni dna (Oligochaeta, Gastropoda, Bivalvia i familija Chironomida). Na lokalitetu Tikvara konstatovana je samo jedna grupa (Oligochaetae) dok su sve pomenute grupe konstatovane u uzorku prikupljenom iz reke Dunav. Najveća brojnost i diverzitet

zabeležena je u okviru klase Oligochaeta, a svi prisutni taksoni su indikatori voda koje su dodatno opterećene organskom materijom (tabela 2.).

Kvantitativnom analizom makrozoobentosne zajednice na lokalitetu Dunav kod Bačke Palanke 131 rkm konstatovana je dominacija faune Oligochaeta u odnosu na ostale grupe makroinvertebrata. Kao dominantni takson u okviru podklase Oligochaeta na ovom lokalitetu konstatovana je vrsta *Limnodrilus claparedeanus* sa 18768 ind./m<sup>2</sup>, što je predstavljalo 68.5 % od ukupnog broja prisutnih oligoheta na ovom lokalitetu. Vrsta *Limnodrilus hoffmeisteri* zasupljena je sa 8602 ind./m<sup>2</sup>, što je predstavljalo 31.5 % od ukupnog broja u okviru podklase Oligochaeta.

Tabela 2. Kvalitativni i kvantitativni sastav makrobeskičmenjaka na lokalitetima Dunav kod Tikvare i Tikvara

Table 2. Qualitative and quantitative composition of macroinvertebrates at Danube near Tikvara and Tikvara sampling sites

Grupe/lokalitet	Dunav, Bačka Palanka	Tikvara, Bačka Palanka
<b>Oligochaetae</b>	27370	3050
<i>Limnodrilus claparedeanus</i>	8602	782
<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i>	18768	313
<i>Limnodrilus profundicola</i>	-	78
<i>Limnodrilus</i> sp.	-	978
<i>Tubifex tubifex</i>	-	899
<b>Gastropoda</b>	117	-
<b>Bivalvia</b>	196	-
<b>Fam: Chironomidae</b>	117	-
Ukupno:	27800	3050

Na lokalitetu Tikvara kvantitativnom analizom zabeležena je dominacija Oligochaeta u zajednici makrobeskičmenjaka. U okviru podklase Oligochaeta konstatovano je ukupno 4 taksona. Dominantne vrste bile su *Limnodrilus* sp. sa 978 ind./m<sup>2</sup> odnosno 32.05%, vrsta *Tubifex tubifex* sa 29.5% odnosno 899 ind./m<sup>2</sup>, zatim *Limnodrilus claparedeanus* sa 782 ind./m<sup>2</sup> što je 25.6% od ukupnog broja konstatovanih taksona u okviru podklase Oligochaeta, i vrsta *Limnodrilus hoffmeisteri* koja čini 10.3 % od ukupnog broja Oligochaeta, odnosno zabeleženo je 313 ind./m<sup>2</sup>. Vrsta *Limnodrilus profundicola* bila je zastupljena sa 78 ind./m<sup>2</sup> čineći 2.57% od ukupnog broja iz ove taksonomske grupe.

## ZAKLJUČAK

Analizom fitoplanktonske zajednice, Na lokalitetu Dunav kod Bačke Palanke 131 rkm nisu konstatovane dominantne vrste. Koncentracija hlorofila a ukazuje na vode oligomezotrofičnog stepena. Kvantitativnom analizom makrozoobentosne zajednice na ovom lokalitetu konstatovana je dominacija klase Oligochaeta, sa dominantnom vrstom *Limnodrilus claparedeanus*, koja je zastupljena sa 68.5 % od ukupnog broja prisutnih oligoheta na ovom lokalitetu.

Na lokalitetu Tikvara, kvantitativnom analizom fitoplanktonske zajednice konstatovana je dominacija algi iz razdela Bacillariophyta. Kao dominantni taksoni konstatovani su *Melosira* sp. (66%) i *Cyclotella* sp. (10%). Koncentracija hlorofila a, zabeležena na ovom lokalitetu, ukazuje na značajan nivo organske produkcije, mezo-eutrofičan stepen trofičnosti. Kvantitativnom analizom makrozoobentosne zajednice, i na ovom lokalitetu zabeležena je isključiva dominacija klase Oligochaeta. Dominantni taksoni u okviru faune dna bili su *Limnodrilus* sp (32.05%), *Tubifex tubifex* (29.5%), *Limnodrilus claparedeanus* (25.6%) i *Limnodrilus hoffmeisteri* (10.3 %).

#### LITERATURA:

- APHA, AWWA, WEF (1995): Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.
- Bošnjak T. (urednik) (2011): Park prirode "Tikvara" predlog za stavljanje pod zaštitu kao zaštićeno područje III kategorije. Studije zaštite. Novi Sad (Srbija): Pokrajinski zavod za zaštitu prirode.
- Felföldy L.(1980): A biológiai vizminősítés. 3.javitott és bővített kiadás. Vizugyi Hidrobiologija, 9. Budapest.
- Hrabe, S. (1979): Vodní máloštetinatci (Oligochaeta) Československa, Univerzita Karlova, Praha.
- Kerovec, M. (1983): Priručnik za upoznavanje beskičmenjaka naših potoka i rijeka, Zagreb.
- Pennak, R. W. (1979): Fresh-water invertebrates of the United States, John Wiley & Sons, New York, Chicchester, Brisbane, Toronto.
- Pravilnik o programu monitoringa radi praćenja stanja ribljeg fonda u ribolovnim vodama („Sl. Glasnik RS ", br. 71/2010)



## MODELIRANJE KVALITETA KIŠNOG OTICAJA SA GRADSKIH SAOBRAĆAJNICA - PRIMER MOSTA "GAZELA" U BEOGRADU

Katarina Krstić\*, Aleksandar Đukić\*\*

\* *Delta inženjering, Zaplanska 86, Beograd, email: [k.katarina91@hotmail.com](mailto:k.katarina91@hotmail.com)*

\*\**Univerzitet u Beogradu – Građevinski fakultet, Bul. kralja Aleksandra 73,  
Beograd, email: [djukic@grf.bg.ac.rs](mailto:djukic@grf.bg.ac.rs)*

### REZIME

U cilju istraživanja procesa emisije zagađenja sa gradskih saobraćajnica u okviru ovog rada je izvršeno modeliranje kišnog oticaja i zagađenja sa slivne površine leve strane mosta Gazela u Beogradu. Analizirani sliv obuhvata površinu od 13.600 m<sup>2</sup> i sastoji se od saobraćajnica se leve strane mosta i dve pristupne saobraćajnice na kojima je izgrađen sistem kišne kanalizacije koji odvodi kišni oticaj u javnu kišnu kanalizaciju u ulici Milana Popovića. Sve površine analiziranog sliva su pokrivene asfaltom i nepropusne su. Modeliranje je vršeno pomoću programskog paketa EPA SWMM. Analiziran sliv je podeljen na ukupno 146 slivnih površina povezanih kišnim kolektorima kružnog preseka i prečnika od Ø300 do Ø600 mm. Modeliranje tečenja izvršeno je metodom dinamičkog talasa. Modeliranje akumulisanja i spiranja zagađenja je izvršeno korišćenjem zavisnosti dobijenih eksperimentalnim ispitivanja na eksperimentalnom slivu na Građevinskom fakultetu u Beogradu. U analizama su korišćene tri vrste kiše: uniformne kiše, kiše odgovarajućeg povratnog perioda za kišomernu stanicu Vračar (Beograd) i osmotrene kiše za period od 24.3.2014. do 23.8.2014. Ispitivanja su pokazala da je vreme koncentracije sliva oko 10 min, i da najbitniji faktor koji utiče na količinu spranog zagađenja sa nepropusne površine je visina pale kiše. Dobijeni rezultati ukazuju na to da oticaj od kiše visine oko 10 mm odnosi najveći deo zagađenja sa analiziranih nepropusnih površina. Sprovedene analize za realne kiše su omogućile sagledavanje ukupnih količina i dinamiku spranja zagađenja u dužem vremenskom periodu i izvedeni su zaključci u pogledu veličine spranog zagađenja i potencijalnih uticaja na kanizacioni sistem i vodoprijemnik. Posebno su analizirani različiti scenariji čišćenja saobraćajnica i uticaja ovih aktivnosti na smanjenje ukupne emisije zagađenja kišnim oticajem sa mosta "Gazela".

KLJUČNE REČI: saobraćajnice na mostu, oticaj, zagađenje, čišćenje saobraćajnica, dinamički talas

## BRIDGE DECK RUNOFF WATER QUALITY MODELING - THE "GAZELA" BRIDGE CASE STUDY

### ABSTRACT

In order to examine pollution emissions carried by runoff from urban roads, modeling of rainfall-runoff and pollution from the bridge deck of the left side of the Gazela Bridge in Belgrade was carried out. The analyzed catchment area comprise of the highway road on the bridge deck and two access roads, total area 13,600 m<sup>2</sup>, with storm sewers that drains collected runoff into nearby public storm sewer. All surfaces of analyzed catchment are impervious and covered with asphalt. EPA SWMM software package was used for modeling. The catchment is divided into a total of 146 sub-catchments connected with rainwater sewers with a circular cross-section and diameters in range from Ø300 to Ø600 mm. Flow modeling is performed by the dynamic wave method. Pollutant build up was modeled by using empirical relations defined by investigations performed on experimental catchment at the Faculty of Civil Engineering in Belgrade. Three types of rainfall data were used for rainfall-runoff analyses: uniform rainfall, rainfall of certain return period for the rainfall station Vračar (Belgrade) and measured rainfall data for the period from 24 March to 23 August 2014. Research has shown that catchment's time of concentration is about 10min, and that the most important factor influencing the amount pollutant washed off from impervious surface is the height of rainfall. The obtained results indicate that the greatest part of the pollution from the analyzed impervious surfaces is washed off by the runoff from 10 mm rain. The conducted rainfall-runoff analyses for observed rainfalls allowed assessment of the total amount and dynamics of pollutant wash off in the long term, and the conclusions were drawn regarding amounts of pollutants and potential impacts on the sewer system and receiving waters. In addition, various scenarios for road cleaning and the impact of these activities on the reduction of total pollution emissions from the Gazela Bridge have been analyzed.

**KEY WORDS:** bridge deck, runoff, pollution, street sweeping, dynamic wave

## BIOFILTERI KAO JEDAN OD PRIRODNIH NAČINA ZA TRETMAN OTICAJA ATMOSFERSKE VODE U URBANIM SREDINAMA

Goran Sekulić\*, Ivana Bakić\*\*

\* *Građevinski fakultet, Podgorica, Crna Gora*

\*\**ETG Inženjering, Podgorica, Crna Gora*

### REZIME

Postojeća iskustva i stanje tretmana atmosferskih voda u Crnoj Gori pokazuje da se tom problemu se ne posvećuje dovoljno pažnje čak i tamo gdje su ugrožena zaštićena prirodna dobra ili nacionalni parkovi. Sva aktivnost oko upravljanja atmosferskim vodama do sada se svodila na upravljanje količinama atmosferskih voda, dok je segment kvaliteta bio prilično zapostavljen. U svijetu se već duže koristi jedan široko prihvaćeni koncept po kojem se tretman i redukcija kišnog oticaja u gradovima pokušavaju obaviti što bliže mjestu njegovog nastanka, ispunjavajući pri tome i određene estetske zahteve, koji se tiču samog prostora i njegovog pejzaža. Najviše korišćene metode ovog koncepta su biofiltracija, zeleni krovovi, propusne površine parkinga, retencione uvale itd. Ovaj rad želi da ukaže na mogućnosti i potrebu primjene tog koncepta i u uslovima naših urbanih područja.

KLJUČNE REČI : kišni oticaj, biofiltracija, tretman atmosferskih voda, urbanizacija

## BIOFILTER AS A NATURAL WAYS TO TREAT STORM WATER RUNOFF IN URBAN AREAS

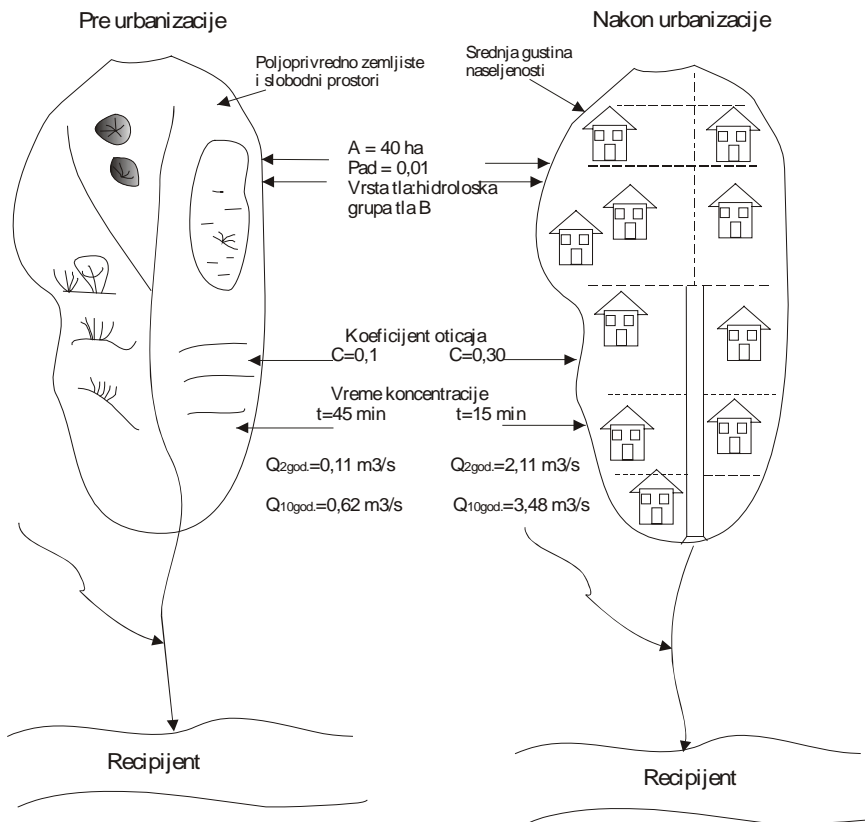
### ABSTRACT

Existing experience and state of storm water treatment in Montenegro shows that not enough attention is paid to, even in endangered protected areas or national parks. So far, all activities on stormwater management has been reduced to the management of storm water quantities, while the quality segment has been neglected. The world has long used and accepted concept that the treatment and reduction of storm runoff in urban areas should be done as close to the place of its origin, thereby fulfilling certain aesthetic requirements concerning the area and its landscapes. The commonly used methods of this concept are biofiltration, green roofs, permeable areas of parking, retention swales, etc. This paper seeks to highlight the opportunities and the need to apply this concept and in terms of our urban areas.

KEY WORDS: rain runoff, biofiltration and treatment of storm water, urbanization

## UVOD

Današnji gradovi i gradovi budućnosti se suočavaju sa izazovima povećanja broja stanovnika, gustine stanovanja i klimatskih promena. Bez pažljivog planiranja, ovo promjene u velikoj mjeri smanjuju sposobnost opstanka urbanih područja. Urbanizacija u tradicionalnom obliku povećava prosječne temperature, ozbiljno ograničava zelene površine i remeti hidrološki ciklus (slika 1).



Slika 1. Poređenje hidrološkog ciklusa u prirodnoj i u urbanoj sredini (desno), primjer promjene ukupnog oticaja za sliv površine 40 ha

Atmosferske vode mogu biti značajan izvor različitih zagađenja uključujući teške metale i nutrijente koji negativno utiču na kvalitet vodotoka u koje se ispuštaju. Uprkos tome što se sada već jako puno zna o negativnim uticajama urbanih atmosferskih voda još uvijek se velike količine tih voda ispuštaju u prirodno okruženje, bez ikakvog prethodnog tretmana. Tako, na primer, u Crnoj Gori tretmanu atmosferskih voda se ne posvećuje dovoljno pažnje čak i tamo gdje su ugrožena zaštićena prirodna dobra ili nacionalni parkovi. Sva aktivnost

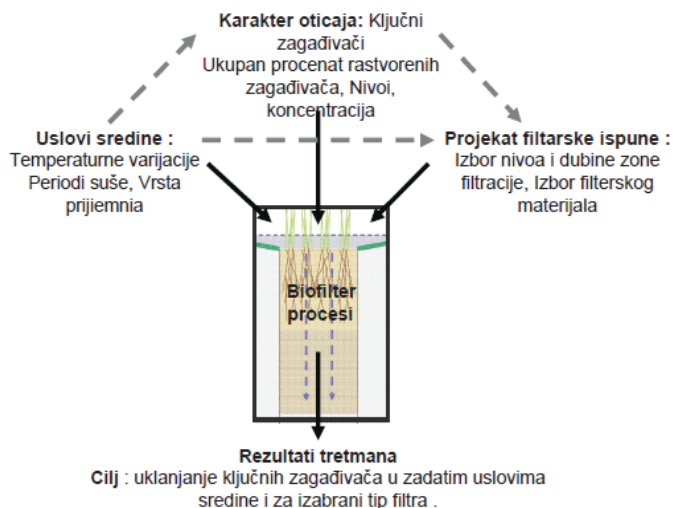
oko njihovog upravljanja do sada se svodila na upravljanje količinama atmosferskih voda dok je segment kvaliteta bio prilično zapostavljen.

Pažljivim planiranjem, koje vodi računa o osjetljivosti urbanih područja, bavi se sve više gradova u svijetu. Iznalaze se nova rješenja u mnogim oblastima, među ostalim i u upravljanju kišnim oticajem. Jedan od koncepata koji se široko počeo koristiti jeste pokušaj da se tretman i redukcija kišnog oticaja u gradovima pokušaju obaviti što bliže mjestu njegovog nastanka, ispunjavajući pri tome i određene estetske zahteve, koji se tiču samog prostora i njegovog pejzaža. Ovaj koncept se različito naziva u različitim krajevima svijeta, u Americi je nazvan LID (Low Impact Development), u Australiji WSUD (Water Sensitive Urban Design) a u Velikoj Britaniji SUDS (Sustainable Urban Design Systems). Najviše korišćene metodologije ovog koncepta su biofiltracija, zeleni krovovi, propusne površine parkinga, retenzione uvale itd.

Biofiltracija je jedna od najpopularnijih metoda kontrole atmosferskog oticaja u gradovima a kako su mnoge studije pokazale i najbolja za uklanjanje i zadržavanje zagađivača koji dolaze sa tim oticajem. Nažalost, u Crnoj Gori a i u regionu ova metoda još nije šire implementirana iz različitih razloga. Neki od razloga su nedostatak planskih dokumenata, nedovoljna saznanja o samoj metodi, specifičnosti klime pojedinih oblasti, neizgrađenost prethodne infrastrukture, nedostatak finansijskih sredstava, itd.

#### PRINCIPI FUNKCIONISANJA BIOFILTRACIJE

Biofilteri pružaju poboljšanja u smislu kvaliteta vode, kontrole oticaja, biodiverziteta, mikroklimе, estetike prostora, urbanog zelenila, zdravlja ljudi kao i alternativnom snabdijevanju vodom.



Slika, šema procesa biofiltracije sa ključnim podacima, aktivnostima i ciljevima

Pored toga što imaju za cilj da smanje negativan uticaj urbanizacije na hidrolološke procese u slivu i poboljšaju kvalitet oticaja sa urbanih površina, sistemi za biofiltraciju su:

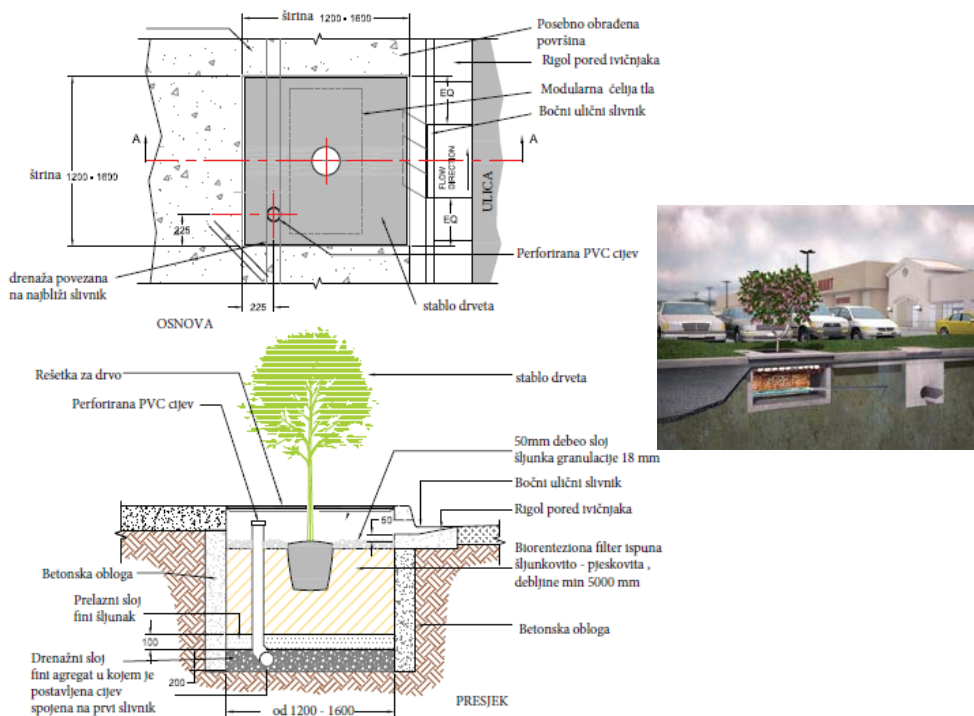
- prihvatljivo male površine u odnosu na njihov sliv (obično se kreću od 2 do 4% zavisno od klime), koje se mogu uklopiti u sve urbane prostore;
- atraktivnih pejzaža, koji ulepšavaju sliku grada;
- šarolikog sastava vrsta flore i faune i mjesta novih staništa vrsta;
- nezavisni kao mogući irigacioni sistemi i sistemi za fertilizaciju (đubrenje) bašta;
- efikasan predtretman atmosferske vode u cilju njenog daljeg mogućeg korišćenja.

Biofiltracija vode je proces poboljšanja kvaliteta vode filtriranjem vode kroz biološke medije (Slika 1). To je niskoenergetska tehnologija za tretman sa potencijalom da obezbijedi kvalitet vode i mogućnost njenog ponovnog korišćenja. Tehnologija se može primijeniti na razne veličine sliva i postavke pejzaža, od uličnog drveća i privatnih dvorišta, za ulične aplikacije i parkirališta, do većih regionalnih sistema za prečišćavanje otpadnih voda, uključujući i javne parkove i šumske rezervate (Slika 2). Ovakvih prostora se može obezbediti u svim naseljima u Crnoj Gori bez obzira što je njihova urbanizacija često bila nekontrolisana i neplanska.



Slika 2. Različite primjene biofiltera u zavisnosti od vrste i veličine sliva

Svi biofiltri rade koristeći iste osnovne principe i neke karakteristike su suštinske i zajedničke za sve biofiltere. Konfiguracije su ipak fleksibilne, omogućavajući svakom sistemu da se prilagodi tako da bude optimalne. Neke dodatne komponente sistema mogu se ili ne moraju biti uključene, u zavisnosti od ciljeva i mogućnosti ili ograničenja koje diktira struktura sliva.



Slika 3, Biofiltraciona uvala kao centar uličnog ostrva, šema i izgled projektovanog sistema

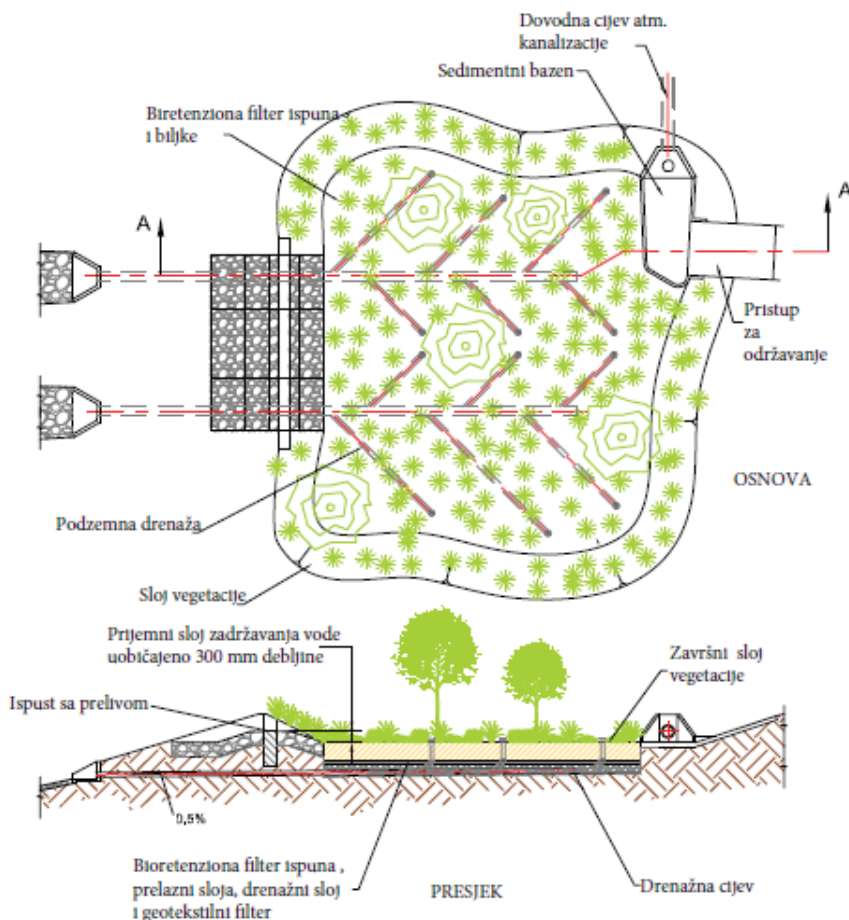
Sistemi za biofiltraciju imaju za cilj da podržavaju odnosno kopiraju u kontrolisanim uslovima sledeće prirodne procese prečišćavanja vode:

**Fizičke:** kada atmosferska voda ulazi u bazen ili rov, gusta vegetacija smanjuje protok, što uzrokuje da se čestice tla i ostale čestice talože. Pored toga, čestice se filtriraju iz vode dok se proceđuju kroz medij filtera (mehaničko prečišćavanje);

**Hemijske:** zemljani mediji filtera sadrže minerale glina i druga hemijska aktivna jedinjenja koja vežu rastvorene zagađivače (apsorpcija);

**Biološke:** vegetacija i pridružena mikrobiološka zajednica uzimaju hranljive materije i neke druge zagađujuće supstance iz oticaja koji se tretira, kao komponente potrebne za rast .

Najklasičniji, odnosno tipični biofilter, koji se može preporučiti za širu primjenu u naseljima, sastoji se od vegetirane površine u obliku uvale (Slika 4) u terenu ili bazena, koji prekrivaju porozni filter na bazi pijeska, sa drenažnom cijevi na dnu. Oticaj atmosferske vode se preusmjerava sa slivne površine u biofilter, gde prolazi kroz gustu vegetaciju i privremeno se zadržava na površini, prije nego počne da se polako filtrira kroz medij filtera. U zavisnosti od vrste, tretirani tokovi su ili infiltrirani u podlogu koja se nalazi u osnovi ili prikupljeni u podzemnom sistemu za odvođenje do recipienta ili se negdje skladište za ponovnu upotrebu (npr. navodnjavanje, pranje ili sl.)



Slika 4 , Šema preporučene bioretnezone uvale sa osnovnim elementima sistema

## PROCEDURA PROJEKTOVANJA BIOFILTERSKIH POSTROJENJA

Kao prvo, prilikom projektovanja biofiltracionih sistema treba u uzeti u obzir da li će on pored uloge tretmana imati i ulogu provodnika oticaja atmosfenske vode. Naime, vegetirane biofiltracione uvale su "on-line" sistemi i pružaju tretman atmosfenske vode i njen transport, dok su bazeni za biofiltraciju "off-line" sistemi koji pružaju samo tretman. Prema tome vrlo je važno unrijed odrediti namjenu biofiltracionog sistema kako bi njene komponente dobile odgovarajuće dimenzije, kako za tretman tako i za transport dospjelog oticaja. Po pravilu se prvo vrši specifikacija komponenti biofiltracionog sistema koje kontrolišu zapreminu vode koja se može tretirati (površina filtera, produžena dubina zadržavanja,



hidraulička provodljivost filtera) i nivo tretmana (karakteristike filtracionog medija, vegetacija, prisustvo / odsustvo potopljene zone), a zatim se specificiraju komponente kojima se kontrolišu priliv i odliv vode iz sistema.

Generalno gledano, za sve vrste biofiltracionih sistema, ključna pitanja kod projektovanja koja treba prethodno razmotriti i sprovesti su :

1. provjeravanje veličine komponenti i njihove konfiguracije koje se odnose na tretman vode;
2. određivanje kapaciteta i protoka filtra;
3. proračun dimenzija uvale;
4. provjeravanje komponenti koje se nalaze iznad površine terena:
  - Brzine kretanja vode
  - Dimenzije ulazne i prelivne zone ;
5. provjeravanje komponenti ispod površine:
  - Karakteristike zemljanog sloja medija (filterski, prelazni i drenažni sloj )
  - Drenaža i njen kapacitet
  - Zahtjevi za oblaganje biofiltera;
6. izbor i preporuke biljnih vrsta i njihova gustina;
7. način i predlog održavanja sistema.

Za procjenu veličine biofiltera treba koristiti sledeće karakteristične padavine:

- proječna kiša povratnog perioda jednom u 5 godina za dimenzionisanje ulazne zone biofiltera i prelivne građevine kao i za provjeru brzina spiranja čestica;
- prosječna kiša povratnog perioda jednom u 50 (bolje 100) godina za provjeru brzina protoka u biofiltracionom sistemu, kako bi se spriječilo potencijalno spiranje zagađivača (ili erozija ) i štete na vegetaciji.

Za proračun veličine oticaja sa slivne površine mogu se koristiti klasične empirijske formule (npr. Racionalna metoda) dok se za proračun brzine infiltracije kroz filtarsku ispunu može koristiti Darsijeva jednačina. Prilikom određivanja kapaciteta drenažnog sistema treba voditi računa da on bude veći od maksimalne brzine infiltracije, kako bi se osiguralo da se filterski medijum slobodno drenira i da ne dođe do njegovog začepjenja. Uobičajeno je da su bioretenzione uvale trapezoidnog oblika sa bočnim kosinama u rasponu od 1: 9 do 1:3.

Priliv od atmosferske vode u bioretenzionu uvalu može biti ravnomerno raspoređen (duž saobraćajnice , iz prelivnih slivnika) ili direktno, iz sabirnih cijevi. Prednost protoka koji ulaze u sistem uvale na raspodeljen način (tj normalno na pravac uvale) je da su prilivi raspoređeni i da je dubina dotekle vode plitka čime se ostvaruje veća kontaktna površina sa vegetacijom. Ovo obezbeđuje dobar predtretman prije ulaska u bioretenzioni sistem. Direktni ulaz tokova iz cjevnog sistema može prouzrokovati određene pojave zabarenja na mjestu samih uliva vode pa je važno na nekin način obezbjediti disipaciju toka vode kako bi se te pojave izbjegle.

## ZAKLJUČAK I PREPORUKE

Ubrzana i nekontrolisana urbanizacija povećala je sadržaj štetnih materija u kišnom oticaju koji dopjeva u prirodne prijemnike. Iz tih razloga postoji obaveza tretmana tih voda prije njihovog ispuštanja u prijemnike. Postojeća iskustva u svijetu govore da se dobri rezultati potiču relativno jednostavnim i jeftinim metodama kojima se kišni oticaj pokušava tretirati što bliže mjestu njegovog nastanka. Najviše korišćena metode ovog koncepta – biofiltracija ima realnu mogućnost da se široko primjeni i u urabnim područjima Crne Gore obzirom na razvijenost naselja, njihove planove urbanizacije i klimatske uslove. To što ovi objekti do sada nijesu prepoznati u planskim dokumentima ne znači da od njih treba trajno odustati već naprotiv, treba insistirati da se ova rešenja počnu implementirati što prije, svuda gdje za to postoje realni uslovi na terenu.

## LITERATURA

- Bedan, E. S., & Clausen, J. (2009). Stormwater runoff quality and quantity from traditional and low impact development watersheds. *J. Am. Water Resour. Assoc.*, 45(4), 998-1008.
- Bratieres, K., Fletcher, T. D., Deletic, A., Zinger, Y. (2008). Nutrient and sediment removal by stormwater biofilters: A large-scale design optimisation study *Water Research Vol 42* 3930-3940
- Butler, D., & Davies, J. W. (2004). *Urban drainage. 2nd edition. Spon Press, London, UK.*
- Davis, A. P. (2007) Field Performance of Bioretention: Water Quality. *Environmental Engineering Science Vol. 24(8)* 1048-1064.
- Glass, C., & Bissouma, S. (2005). Evaluation of a parking lot bioretention cell for removal of stormwater pollutants. *Ecosystems and Sustainable Development V Book Series: WIT Transactions on Ecology and the Environment, 81*, 699-708
- Hatt, B.E., Fletcher, T. D., Deletic, A. (2007b). Hydraulic and pollutant removal performance of stormwater filters under varying wetting and drying regimes. *Water Science and Technology* 56(12): 11-19.
- Mothersill, C. L., Anderson, B. C., Watt, W. E., & Marsalek, J. (2000). Biological filtration of stormwater: Field operations and maintenance experiences. *Water Qual. Res. J.Can.*, 35(3), 541-562.
- Prince George's County (2007). *Bioretention manual*. Environmental Services Division, Department of Environmental Resources, The Prince George's County, Maryland, USA.
- U.S. EPA (2004). *Stormwater best management practice design guide. Volume 2. Vegetative biofilters*. Cincinnati, OH, USA. EPA/600/R-04/121A. Office of Research and Development. United States Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH, USA.

## BEZBEDNA EVAKUACIJA PROVIRNIH VODA JALoviŠTA - PRIMER JALoviŠTA RUDNIK

Božidar Batinić, Dragutin Pavlović, Anja Randelović

*Univerzitet u Beogradu - Građevinski fakultet, Bulevar kralja Aleksandra 73,  
Beograd, Email: [dpavlovic@grf.bg.ac.rs](mailto:dpavlovic@grf.bg.ac.rs), [arandjelovic@grf.bg.ac.rs](mailto:arandjelovic@grf.bg.ac.rs)*

### REZIME

U radu se daje analiza propusne moći dva ključna elementa za odvođenje vode sa jalovišta: drenažni sistem i evakuacioni organ. Dva sistema se proveravaju u slučaju etapnog nadvišenja brane jalovišta od 10m, što predstavlja standardni postupak povećanja kapaciteta jalovišta. Analiza pokazuje da pri normalnim radnim uslovima, svi sistemi imaju dovoljan kapacitet za evakuaciju vode. Pri velikim vodama, neophodno je da akumulacija prihvati praktično ukupnu zapreminu poplavnog talasa.

KLJUČNE REČI: Flotacijsko jalovište, drenažni sistem jalovišta, šahtni preliv

## SECURE EVACUATION OF FLOTATION LEACHATE – CASE STUDY “RUDNIK”

### ABSTRACT

This paper presents analysis of the flow capacity for key elements for water evacuation from mine tailing dam: drainage system and bell-mouth spillway. The two systems are checked in the case when dam height is increased for 10 m, which is a standard procedure performed to increase the flotation capacity. Under normal operating conditions, flow capacity is sufficient, while extreme condition – most probable flood – requires that the entire volume of the flood is placed in the flotation accumulation volume.

KEY WORDS: Flotation mine tailing, drainage system, bell-mouth spillway

### UVOD

Flotacijsko jalovište „Rudnik“ rudnika olove, cinkove i bakrove rude se nalazi na obroncima planine Rudnik. U polimetalskoj rudi se nalazi varijabilna količina olova, cinka i bakra, ali i relativno visok sadržaj srebra, bizmuta i kadmijuma. Pored napred navedenih sulfidnih minerala, prisutni su i minerali gvožđa (pirotin, pirit), čiji sadržaj raste sa dubinom rudarenja (dok istovremeno sadržaj olova, cinka i bakra opada) (Adamović et al., 2000).

Drobljena ruda se mlinom pretvara u sitno samlevenu rudu, tzv. pulpu, sa 65% zrna manjih od 80 mikrona. Pulpa se hidraulički (mešavina rude i vode) transportuje u flotaciju „Rudnik”. Na flotaciji se kao reagensi koriste: deprimatori, penušavci, kolektori i modifikatori i redosled flotiranja je: (1) olovo, (2) bakar i (3) cink. Na ovaj način se izdvaja koncentrat olova 72-75%, bakra 14-17%, i cinka 47-49%, čiji se sadržaj povećava recirkulacijom. Evakuacija vode obavlja se pomoću Prelivnog kolektora i Donjeg kolektora sa nizvodnim Kanalom. Tokom poplava 2014. godine došlo je do dramatičnog porasta nivoa u akumulaciji, pri čemu je zabeležen talas imao zapreminu približno dva puta veću od talasa desetohiljadugodišnje velike vode ( $Q_{0,01}$ ), odnosno vrlo blisku zapremini talasa maksimalne verovatne velike vode ( $Q_{PMF}$ ).

Ovaj rad predstavlja rešenje evakuacije vode (kako izbistrene flotacijske, tako i prirodne) pri etapnom nadvišenju brane od 10 m.

### BRANA I AKUMULACIJA „RUDNIK”

Dosadašnjim rešenjem brana i jalovišna akumulacija „Rudnik” smešteni su neposredno uzvodno od ušća Zlokućanskog potoka u Rudnički potok, u blizini naselja Rudnik. Glavni objekat je nasuta brana sa dijafragmom, drenažnim bušotinama i nožicom na nizvodnoj kosini. Brana je građena etapno, od materijala iz flotacije (hidrociklonski pesak), sa nagibom nizvodne kosine 1:3 i izvedena je do kote 495 mm. Drenažni pojas je izveden sa nagibom 1:1.5 od peska i šljunka, i na svakih 10 m visine je postavljena poduzna drenažna keramička cev. Sa nizvodne strane, drenažni pojas je prekriven vodozaptivnom folijom, kako bi se sprečilo proviranje vode ka nizvodnoj strani brane.

Evakuacija voda sa flotacijskog jalovišta (Zlokućanski potok i izbistrena voda iz pogona flotacije) se obavlja pomoću Prelivnog kolektora i Donjeg kolektora sa nizvodnim Kanalom. Prelivni kolektor se sastoji od:

- Šahtnog preliva prečnika prelivne ivice 1.2 m,
- kosog sprovodnika dužine 21.5m, kvadratnog poprečnog preseka 60x60 cm, nagiba 51.8%
- i završava se slapištem tipa USBR VI.

Iz Slapišta voda se upušta u Donji kolektor potkovičastog preseka. Visina trapeznog dela preseka, nagiba strana 1:1.5, preseka je 1 m, a širina u dnu je 1 m. Iznad trapeznog dela preseka je kalota prečnika 1.5 m. Dužina kolektora je oko 350 m. Nizvodno od kolektora je Kanal trapeznog poprečnog preseka, širine u dnu 1 m, visine zidova 0.5 m i nagiba strana 1:4, dužine oko 100 m. Kanal se uliva direktno u Rudnički potok. Pri etapnom nadvišenju brane od 10 m se zadržava kocept evakuacije vode (do 505 mm), i na postojećem šahtnom prelivu se povećava vertikalna deonica, odnosno „vrat” preliva. Kapacitet sistema na ovaj način omogućava ispuštanje oko 2.05 m<sup>3</sup>/s, što znači da se pri evakuaciji velikih voda, najveći deo poplavnog talasa zadržava u akumulaciji.

### HIDROLOŠKA ANALIZA

Srednji višegodišnji proticaj Zlokućanskog potoka (sa Mezulanskim potokom) je 40+20 = 60 L/s. Izbistrena voda jalovine ima protok od oko 50 L/s.

Ova dva protoka zajedno daju radni protok na Šahtnom prelivu od oko 110 L/s.

Analizom velikih voda sliva uzvodno od brane, ustanovljeni su:

- Protok maksimalne verovatne velike vode  $Q_{PMF} = 121.8 \text{ m}^3/\text{s}$  i ukupna zapremina talasa  $V_{PMF} = 835\,000 \text{ m}^3$ , i
- Protok desetohiljadugodišnje velike vode  $Q_{0.01} = 49 \text{ m}^3/\text{s}$  i ukupna zapremina talasa  $V_{0.01} = 333\,000 \text{ m}^3$ .

## DRENAŽNI SISTEM

Drenažna cev od keramike,  $\varnothing 300$ , obavijena je dvoslojnim filterskim slojem (pesak, šljunak) i ima nagib od središnjeg dela brane prema obalama (tj. bokovima brane) od 2 ‰ i ukupne je dužine 308 m. Propusna moć drenaže se određuje po deonicama i to sa uslovom da je u samoj drenaži tečenje sa slobodnom površinom. U zavisnosti od nagiba same drenažne cevi, tečenje sa slobodnom površinom se proverava takav da se duž same cevi javi jednolik režim tečenja ili da se na kraju cevi javi kritična dubina (stvarni proticaj biće između ova dva). Propusna moć drenažnih cevi se može računati prema Šezi-Maningovoj formuli (Batinić, 1994):

$$Q = \frac{1}{0.011 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}} \cdot \left( \frac{0.3^2 \pi}{4} \text{ m}^2 \right) \cdot \left( \frac{0.3}{4} \right)^{2/3} \cdot \sqrt{0.002} = 0.051 \text{ m}^3 / \text{s} \quad (1)$$

Propusna moć pune drenažne cevi predstavlja protok izbistrene jalovine. Jedinični protok je  $q = 0.166 \text{ L/s/m}$  i dosadašnja opažanja su pokazala da je on takav da ne ugrožava stabilnost nizvodne kosine tj. da provirna linija ne izlazi na površinu. Ako se problem postavi inverzno, prema Kozenijevom rešenju (Kapor, 2008), ispada da je koeficijent vodopropusnosti hidrociklonskog peska oko 0.0001 m/s. Ovome treba dodati i da se sa nizvodne strane, kao dodatna sigurnost, nalazi i vodozaptivna folija.

## KAPACITET PRELIVNOG ORGANA

Šahtni preliv predstavlja kritični element u evakuacionom sistemu i neophodno je proveriti njegovu propusnu moć. Postoje dva uslova tečenja preko šahtnog preliva: (1) slobodno prelivanje i (2) isticanje (Kapor, 2008). Isticanje kod šahtnog preliva se javlja kada je presek deflektora kritičan, odn. kada se javi zagušenje preseka. Deflektor je neophodan konstruktivni element, jer on odvaja mlaz od unutrašnje krivine preliva i na tom mestu se priključuje aeraciona cev, odn. sveukupno se onemogućava stvaranje vakuuma na unutrašnjoj krivini.

Presek deflektora (501 mm) se nalazi na 1.5 m ispod kote krune šahtnog preliva (502.5 mm) i površina poprečnog preseka kroz koji protiče voda je oko  $0.288 \text{ m}^2$ .

Na slici 1 je prikazana kriva proticaja šahtnog preliva, koja prikazuje dve zavisnosti:

- (1) Prelivanje

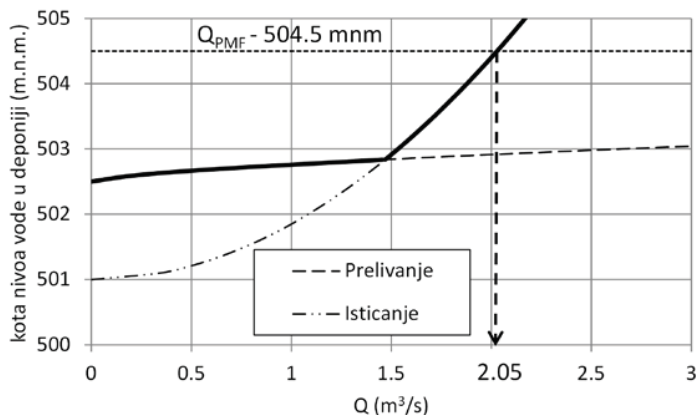
$$Q = 0.45 \cdot D \pi \cdot \sqrt{2g \cdot h_p^3} \quad (2)$$

- (2) Isticanje

$$Q = 0.85 \cdot 0.288 \cdot \sqrt{2g \cdot (1.5 + h_p)} \quad (3)$$

Sa slike 1 se može videti da pri nivou maksimalne verovatne velike vode od 504.5 mm (0.5m ispod kote krune brane) je kapacitet preliva oko 2.05 m<sup>3</sup>/s i da je tada kritični presek deflektor.

Kosi sprovodnik sa nagibom od 51.8% ima dovoljan kapacitet za propuštanje kritičnog protoka preliva, i kod njega treba voditi računa o velikim brzinama, kako bi se sprečila oštećenja materijala obloge. Hrapavost se povećava utiskivanjem lomljenog kamena u betonsku masu, pa tako Manningov koeficijent raste do 0.02 m<sup>-1/3</sup>.



Slika 1. Kriva proticaja šahtnog preliva  
Figure 1. Diagram of bell-mouth spillway capacity

## ZAKLJUČAK

U radu je predstavljena dispozicija flotacijskog sistema „Rudnik” i data je analiza propusne moći dva ključna sistema za evakuaciju voda pri etapnom nadvišenju brane od 10 m:

- Drenažnog sistema
- Šahtnog preliva sa provodnikom.

Analiza je pokazala da pri radnom nivou od 503.4 mm, svi sistemi mogu pouzdano da evakušu vodu, dok se pri velikim vodama planira da akumulacija mora da prihvati praktično celu zapreminu poplavnog talasa. Zaključak je takav jer je kapacitet evakuacionih organa svega 2.05 m<sup>3</sup>/s, dok je protok maksimalne verovatne velike vode  $Q_{PMF} = 121.8 \text{ m}^3/\text{s}$ .

## LITERATURA:

- Adamović, M., Radosavljević, S., Marinko, M. (2000) Increase in copper recovery from polymetallic ores. *Journal of Mining and Metallurgy*, 36 (1-2)A, p. 11-22
- Batinić, B. (1994) *Hidraulika*, Univerzitet u Beogradu - Građevinski fakultet, Beograd.
- Kapor, R. (2008) *Hidraulika*, Univerzitet u Beogradu - Građevinski fakultet, Beograd.
- Link rudnika „Rudnik“ <http://www.contangorudnik.co.rs/> (pristupljeno 1.5.2018)
- Tehnički rudarski projekat nadvišenja flotacijskog jalovišta i brane br. 9 Rudnik i flotacije „Rudnik“ – Knjiga IV. Tehnički hidrograđevinski projekat evakuacija voda sa jalovišta, 2018, Beograd

## ISTRAŽIVANJE VARIJANTNIH REŠENJA KCS „UŠĆE - NOVA“ U NOVOM BEOGRADU METODOM PROMETHEE

Ivan Milojković, Marko Ćurčić, Ivana Romanović

*Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“ , ul. Jaroslava Černog 80, Beograd,  
Email: [Ivan.Milojkovic@jcerni.co.rs](mailto:Ivan.Milojkovic@jcerni.co.rs), [Marko.Curcic@jcerni.co.rs](mailto:Marko.Curcic@jcerni.co.rs),  
[Ivana.Romanovic@jcerni.co.rs](mailto:Ivana.Romanovic@jcerni.co.rs)*

### REZIME

Funkcija cilja u ovom istraživanju je analiza varijantnih rešenja projektovanja i izgradnje Kanalizacione Crpne Stanice (KCS): KCS „Ušće - nova“. Na lokalitetu postojeće KCS „Ušće“ dolaze dva kolektora – jedan iz pravca Zemuna, „Zemunski kolektor“ 200/175 mm i drugi iz pravca Novog Beograda, tzv. „Novobeogradski kolektor“ 110/135 mm. Sagledana su dva moguća rešenja. Korišćen je savremeni MCDA PROMETHEE metod za višekriterijumsku optimizaciju radi realnijeg sagledavanja uslova projektovanja, izgradnje, održavanja i funkcionisanja kanalizacionog sistema.

KLJUČNE REČI: optimizacija, Kanalizaciona Crpna Stanica, PROMETHEE

## RESEARCH OF VARIANT SOLUTIONS OF SPS "UŠĆE - NOVA" IN NEW BELGRADE WITH PROMETHEE METHOD

### ABSTRACT

The objective function in this research is the analysis of the variant design and construction of the Sewage Pumping Station (SPS): SPS "Ušće - nova". At the site of the existing SPS "Ušće" two collectors come - one from the Zemun route, the "Zemun collector 200/175 mm" and the other from the direction of Novi Beograd, the so-called. "New Belgrade collector" 110/135 mm. Two possible solutions were considered. The modern MCDA PROMETHEE method for multi-criteria optimization was used for a more realistic understanding of the conditions for design, construction, maintenance and functioning of the sewerage system.

KEY WORDS: optimization, Sewage Pumping Station, PROMETHEE

### UVOD

Funkcija cilja u ovom istraživanju je analiza varijantnih rešenja projektovanja i izgradnje Kanalizacione Crpne Stanice (KCS): KCS „Ušće - nova“. Na lokalitetu postojeće KCS

„Ušće“ dolaze dva kolektora – jedan iz pravca Zemuna, „Zemunski kolektor“ 200/175 mm i drugi iz pravca Novog Beograda, tzv. „Novobeogradski kolektor“ 110/135 mm. Sagledana su dva moguća rešenja. U obe varijante u okviru predtretmana planiran je deo za izvlačenje peska - peskolov. Varijante se razlikuju po vrsti i tipu rešetki u okviru predtretmana:

- Varijanta 1 - izgradnja novog objekta sa grubom rešetkom,
- Varijanta 2 - izgradnja novog objekta sa grubom i finom rešetkom.

Korišćen je savremeni MCDA PROMETHEE metod za višekriterijumsku optimizaciju radi realnijeg sagledavanja uslova projektovanja, izgradnje, održavanja i funkcionisanja kanalizacionog sistema. Neophodno je odrediti varijantna rešenja i kriterijume po kojima će ona biti razmotrena (Milojković i sar. , 2016a , 2016b).

Određeno je trinaest kriterijuma po kojima su vrednovana dva varijantna rešenja izgradnje novog objekta. U pogledu promenljivih padavina, mogućih poplava, pojava novih klizišta, potrebna je detaljna analiza održavanja i funkcionisanja kanalizacionih sistema u ovim uslovima. U ovoj višekriterijumskoj proceduri za izbor varijantnog rešenja prečišćavanja otpadnih voda korišćen je savremeni MCDA PROMETHEE metod kako bi realnije sagledali uslove rada i održavanja sistema za kanalisanje i predtretman otpadnih voda (Čurčić i sar. , 2018).

## METODA

Visual PROMETHEE (vizuelna PROMETHEE) i GAIA su višekriterijumske metode donošenja odluka (MCDA). PROMETHEE je skraćenica od Preference Ranking Organization METHod for the Enrichment of Evaluations (Metoda za obogaćivanje evaluacija organizacije rangiranja preferencije). GAIA je skraćenica od Graphical Analysis for Interactive Aid (grafička analiza za interaktivnu pomoć). MCDA je skraćenica od Multi Criteria Decision Aid (Višekriterijumska pomoć za odlučivanje). To uključuje mnoge pristupe, modele i metode za rešavanje problema donošenja odluka ili evaluacije gde više kriterijuma pri evaluaciji moraju biti uzeti u obzir. MCDA metode su izrađene da pomognu donosiocima odluka u tom kontekstu. PROMETHEE i GAIA metode mogu pomoći inženjerima da reše mnoge probleme (Abu-Taleb i Mareschal, 1995; Anagnostopoulos i sar, 2003; Athawale i sar, 2010; Behzadian i sar. , 2009; Beynon i Wells, 2008; Kessili i Benmamar , 2016; Roozbahani i sar. , 2012 ; Milojković i sar. , 2017a , 2017b , 2017c). PROMETHEE rangiranje će pokazati inženjerima najbolja kompromisna rešenja prema proceni kriterijuma, željama i prioritetima. Višekriterijumske odluke su eksplicitno date do ograničenja implicitnih u „prihvatljivosti“ alternative (Jevtic i sar. , 2011; Savić, 2009; Ward i Savić , 2012; Ward i sar. , 2014), jer sve alternative iz skupa A mora da zadovolje sva ograničenja ( $g(k) > 0$  u klasičnoj optimizaciji).

## REZULTATI I DISKUSIJA

Ulazni podaci za model u procesu procene koja je varijanta projektovana i izgradnje KCS „Ušće“ pogodnija prikazani su u tabeli 1.



Tabela 1. Ulazni podaci za višekriterijumsku optimizaciju  
 Table 1 Input data for multiple criteria optimization

Redni broj	Hijerarhija	Kriterijumi	Alternative		Ekstremizacija
			Varijanta 1	Varijanta 2	
1.	1.	Betonski dovodni kanali sirove otpadne vode	Da	Da	max
2.	2.	Tablaste ustave na elektromotorni pogon	Da	Da	max
3.	3.	Indikatori nivoa sa sondama	Da	Da	max
4.	4.	Automatske grube rešetke sa grabuljama	Da	Da	max
5.	5.	Automatske fine rešetke sa grabuljama	Ne	Da	max
6.	6.	Pužni transporter za evakuaciju otpadnog materijala sa rešetki u kompletu sa kompaktorom za očeđivanje i sabijanje otpadnog materijala	Da	Da	max
7.	7.	Kontejner za prihvatanje procedenog materijala sa rešetki	Da	Da	max
8.	8.	Gravitacioni separatori (peskolovi) za uklanjanje inertnih sedimentnih materija, svaki sa jamom za sakupljanje istaloženog materijala.	Da	Da	max
9.	9.	Translatorni mostni zgrtač na elektromotorni pogon u gravitacionom separatoru	Da	Ne	min
10.	10.	Pumpe za evakuaciju istaloženog inertnog materijala iz separatora	Da	Da	max
11.	11.	Uredaj za ispiranje istaloženog inertnog materijala (peska),	Da	Da	max
12.	12.	Kontejner za odlaganje inertnog materijala koji je izdvojen u separatoru	Da	Da	max
13.	13.	Nivo rasterećenja funkcionisanja peskolova od prihvatanja sedimentnih materija	Vrlo nisko	Vrlo visok	max

Na lokalitetu postojeće KCS „Ušće“ dolaze dva kolektora – jedan iz pravca Zemuna, tzv. „Zemunski kolektor“ 200/175 mm i drugi iz pravca Novog Beograda, tzv. „Novobeograđski kolektor“ 110/135 mm. Pre dovođenja u crpilište pumpne stanice „Ušće - nova“ predviđeno je spajanje ova dva kolektora u zajednički betonski kolektor Ø 2000/2000 mm. Iz dovodnog kolektora otpadna voda se uvodi u objekat za predtretman. Sistem za predtretman otpadnih voda predstavlja novoprojektovani građevinski objekat. Predtretman otpadnih voda podrazumeva uklanjanje čvrstog i polučvrstog krupnog materijala na rešetkama i istaložavanje sedimentnih materija u gravitacionom separatoru - peskolovu. Iz razloga pogonske sigurnosti, a i zbog neophodnosti lakšeg održavanja, objekat za predtretman projektovan je u dve identične tehničko-tehnološke linije. U redovnim okolnostima obe linije su u radu, obavezno u uslovima maksimalnih dotoka sirove vode, a u slučaju čišćenja ili bilo kakve druge intervencije, jedna od linija uvek funkcioniše. Razmatrane su dve varijante predtretmana otpadnih voda:

- a) Varijanta 1: Sistem sa automatskom grubom rešetkom i peskolovom koji je opremljen translatorskim mostnim zgrtačem na elektromotorni pogon
- b) Varijanta 2: Sistem sa automatskom grubom rešetkom, automatskom finom rešetkom i sa peskolovom bez translatorskog mostnog zgrtača

U okviru postupka PROMETHEE urađena su dva scenarija: Osnovni Scenario i Scenario Investitora. Najpre je razmotren Osnovni Scenario koji se uvek razmatra na početku rangiranja i obično je u domenu teorije. U ovom scenariju težine svih kriterijuma su jednake. PROMETHEE delimično rangiranje- PROMETHEE rangiranje I za osnovni scenario prikazano je na slici 1. Krajnje leva traka pokazuje rangiranje akcija prema Phi+:

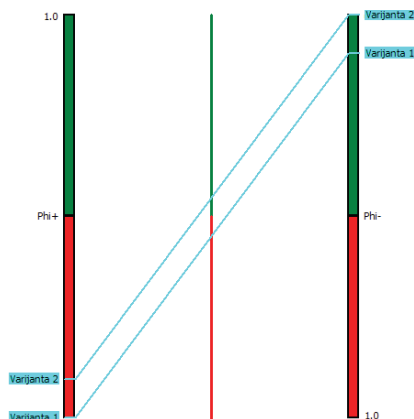
- b) Varijanta 2 projektovanja i izvođenja
- a) Varijanta 1 projektovanja i izvođenja

Krajnje desna traka pokazuje plasman prema Phi-:

- b) Varijanta 2 projektovanja i izvođenja
- a) Varijanta 1 projektovanja i izvođenja

Kada je linija u potpunosti na vrhu u odnosu na druge to znači da je odgovarajući postupak projektovanja i izvođenja bolji u odnosu na oba Phi+ i Phi- rangiranja. Kada se dve linije ukrštaju, Phi+ i Phi- rang su različiti i dva postupka su tako neuporediva u PROMETHEE I delimičnom rangiranju. Možemo zaključiti da:

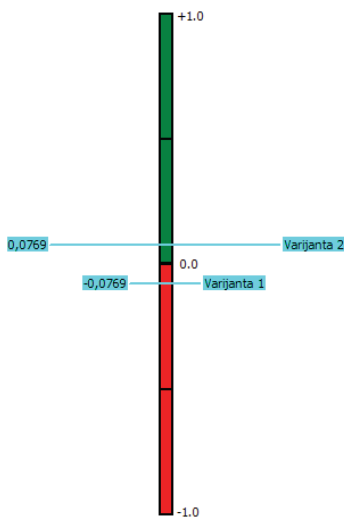
- b) Varijanta 2 projektovanja i izvođenja je poželjna više u odnosu na a) Varijantu 1 projektovanja i izvođenja u PROMETHEE rangiranju I.
- Pošto je linija u potpunosti na vrhu u odnosu na drugu to znači da je odgovarajući postupak projektovanja i izvođenja b) Varijanta 2 bolji u odnosu na oba Phi+ i Phi-rangiranja u osnovnom scenariju.
- Očigledno je da se dve linije ne ukrštaju, rangiranja Phi+ i Phi- nisu različita i dva postupka su tako potpuno uporediva u PROMETHEE I delimičnom rangiranju.



Slika 1. PROMETHEE rangiranje I - Osnovni Scenario  
Figure 1. Ranking PROMETHEE I - Basic Scenario

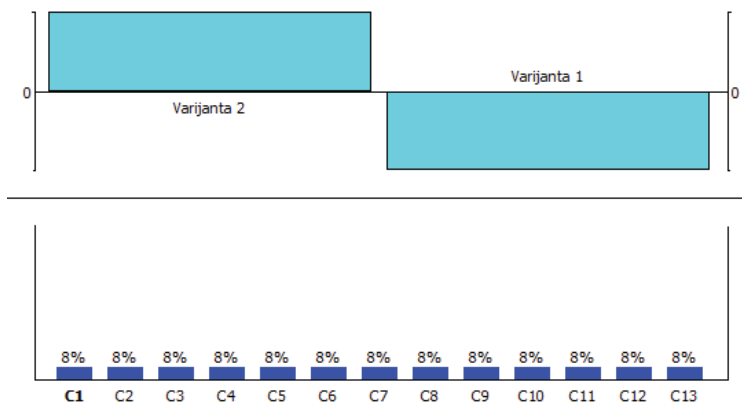
Ovo potvrđuje i PROMETHEE II kompletno rangiranje (Slika 2). Dve grupe postupaka se pojavljuju jasno:

- b) Varijanta 2 projektovanja i izvođenja ima veći Phi rezultat,
- a) Varijanta 1 projektovanja i izvođenja ima manje bodova od b) Varijante 2
- a) Varijanta 1 projektovanja i izvođenja i b) Varijanta 2 nemaju bliske rezultate.



Slika 2. PROMETHEE rangiranje II – Osnovni Scenario  
Figure 2. PROMETHEE ranking II - Basic Scenario

Težine kriterijuma u Osnovnom Scenariju su jednake za sve kriterijume što je prikazano na slici 3.



Slika 3. Težine kriterijuma – Osnovni Scenario  
Figure 3. Weight criteria - Basic Scenario

Posle osnovnog scenarija razmotren je Scenario Investitora koji se razmatra kao realan u rangiranju i obično dočarava realne potrebe. U ovom scenariju težine kriterijuma prikazane su na slici 6. Sledeći kriterijum ima težinu 29% u odnosu na ostale kriterijume koji imaju težinu 6%:

13. Nivo rasterećenja funkcionisanja peskolova od prihvatanja sedimentnih materija

PROMETHEE delimično rangiranje- PROMETHEE rangiranje I za Scenario Investitora prikazano je na slici 4. Krajnje leva traka pokazuje rangiranje akcija – varijanti projektovanja i izvođenja prema Phi+:

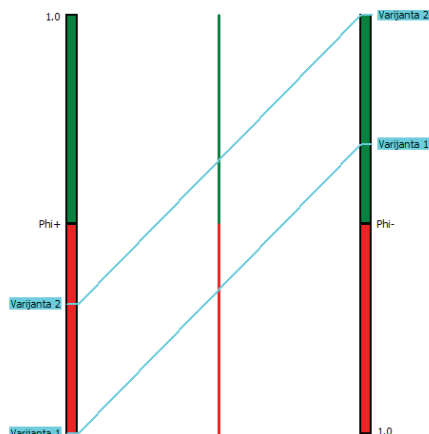
- b) Varijanta 2 projektovanja i izvođenja
- a) Varijanta 1 projektovanja i izvođenja

Krajnje desna traka pokazuje plasman prema Phi-:

- b) Varijanta 2 projektovanja i izvođenja
- a) Varijanta 1 projektovanja i izvođenja

Možemo zaključiti da:

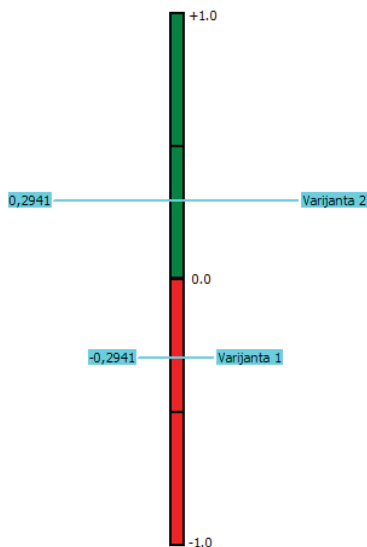
- b) Varijanta 2 projektovanja i izvođenja je poželjna više u odnosu na a) Varijanta 1 projektovanja i izvođenja u PROMETHEE rangiranju I.
- Pošto je linija u potpunosti na vrhu u odnosu na drugu to znači da je odgovarajući postupak projektovanja i izvođenja b) Varijanta 2 bolja u odnosu na oba Phi+ i Phi-rangiranja u Scenariju Investitora.
- Očigledno je da se dve linije ne ukrštaju, rangiranja Phi+ i Phi- nisu različita i dva postupka su tako potpuno uporediva u PROMETHEE I delimičnom rangiranju.



Slika 4. PROMETHEE rangiranje I – Scenario Investitora  
Figure 4. PROMETHEE rankings I - Investor Scenario

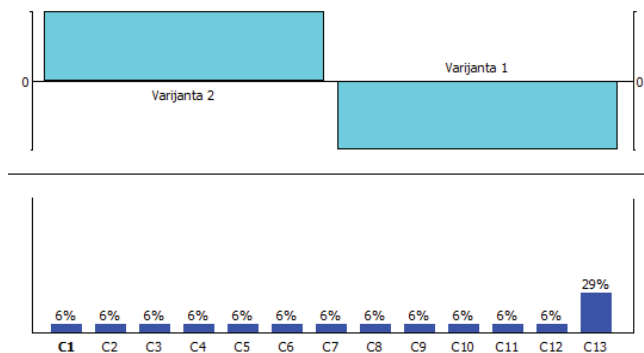
Ovo potvrđuje i PROMETHEE II kompletno rangiranje (Slika 5). Dve grupe aktivnosti projektovanja i izvođenja se pojavljuju jasno:

- b) Varijanta 1 projektovanja i izvođenja ima veći Phi rezultat,
- a) Varijanta 1 projektovanja i izvođenja ima manje bodova od b) Varijanta 2.
- b) Varijanta 2 i a) Varijanta 1 projektovanja i izvođenja nemaju bliske rezultate.



Slika 5. PROMETHEE rangiranje II – Scenario Investitora  
Figure 5. PROMETHEE rankings II - Investor Scenario

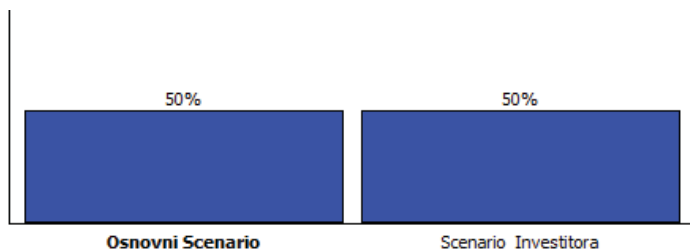
Težine kriterijuma u Scenariju Investitora nisu jednake za sve kriterijume što je prikazano na slici 6.



Slika 6. Težine kriterijuma – Scenario Investitora  
Figure 6. Weight criteria - Scenario Investor

U ovom slučaju b) Varijanta 2 je bolja zbog vrlo visokog nivoa rasterećenja funkcionisanja peskolova od prihvatanja sedimentnih materija.

Scenario je skup evaluacija i preferencijalnih parametara koji je definisan za problem donošenja odluka. Scenarijo može predstavljati gledište različitih donosioca odluka i različite hipoteze. Ravnoteža moći može da se koristi za procenu težine tih scenarija. U ovom slučaju ocenjeno je da je značaj Scenarija Investitora isti kao i Osnovnog scenarija što je prikazano na slici 7. Značaj Scenarija Investitora učestvuje sa 50 % u kompetentnosti odlučivanja u izboru varijante prečišćavanja otpadnih voda.



Slika 7. Ravnoteža moći – odnos prednosti želje investitora u odnosu na osnovno – teoretsko rešenje  
Figure 7. . The balance of power - the relationship benefits the investor desires in relation to the base - the theoretical

## ZAKLJUČAK

Metodom PROMETHEE u postupku višekriterijumske optimizacije dobijeno je sledeće rešenje: b) Varijanta 2 projektovanja i izvođenja je bolja od a) Varijanta 1 projektovanja i

izvođenja KCS „Ušće“. Varijanta 2 u kojoj se podrazumeva automatska fina rešetka sa grabuljama i montaža translatorsnog mostnog zgrtača na elektromotorni pogon u gravitacionom separatoru je bolja zbog visokog nivoa rasterećenja funkcionisanja peskolova od prihvatanja sedimentnih materija. Razmatrane varijante projektovanja i izvođenja se mogu porediti jer imaju sličnu ocenu  $\Phi^+$  i  $\Phi^-$  u okviru PROMETHEE metode. Kriterijumske funkcije, scenarija i njihove težine su realno sagledani u skladu sa potrebama.

### Zahvalnica

Autori se zahvaljuju Ministarstvu prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije na podršci u realizaciji projekta TR37014 zahvaljujući kojoj je sprovedeno i ovo istraživanje.

### 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
- Anagnostopoulos, K., Giannopoulou, M., Roukounis, Y. Multicriteria evaluation of transportation infrastructure projects: An application of PROMETHEE and GAIA methods. *Advances in Transport*, 14 (2003) 599–608
- Athawale, V.M., Chakraborty, S. Facility Layout Selection Using PROMETHEE II Method. *The IUP Journal of Operations Management*, 9(1-2) (2010) 81–98
- Behzadian, M., Pirdashti, M. Selection of the Best Module Design for Ultrafiltration (UF) Membrane in Dairy Industry: An Application of AHP and PROMETHEE. *International Journal of Engineering*, 3(5) (2009) 426–442
- Beynon, M.J., Wells, P. The lean improvement of the chemical emissions of motor vehicles based on preference ranking: A PROMETHEE uncertainty analysis. *Omega*, 36 (2008) 384–394
- Čurčić, M., Romanović, I., Jelenković, V. (2018) Idejno rešenje za izgradnju KCS „Ušće – nova“ u Novom Beogradu, blok 15, Projekat hidrotehničkih instalacija, Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“, Beograd
- 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., Popović, M., Pavlović, N. Višekriterijumska optimizacija prečišćavanja otpadnih voda u TE-TO „Novi Sad“ metodom Promethee, 45. konferencija o aktuelnim temama korišćenja i zaštite voda “VODA 2016“, 15.-17. jun 2016., Zlatibor, Izdavač: Srpsko društvo za zaštitu voda, Beograd, ISBN 978-86-916753-3-2 (2016a) 511–520
- Milojković I., Popović M., Pavlović N. Analiza metoda uklanjanja ulja iz atmosferskih otpadnih voda u TE-TO „Novi Sad“, 37. Međunarodni stručno-naučni skup „Vodovod i kanalizacija '16“, Vrdnik, 11.-14. oktobar 2016., Izdavač: Savez inženjera i tehničara Srbije, ISBN 978-86-80067-34-6 (2016b) 282–287
- Milojković I., Popović M., Pavlović N. Analiza postupaka prečišćavanja industrijskih otpadnih voda u TE-TO „Novi Sad“, TE-TO „Morava“ i HE „Đerdap“ metodom Promethee, 47. konferencija o aktuelnim temama korišćenja i zaštite voda “VODA 2017“, 06.-08. jun 2017., Vršac, Izdavač: Srpsko društvo za zaštitu voda, Beograd, ISBN 978-86-916753-4-9 (2017a) 313–322

- Miljković I., Popović M., Apro D. Model održavanja kanalizacije HE „Đerdap 2“ na osnovu spoljnog pregleda i metode PROMETHEE, Zbornik radova Desetog međunarodnog naučno-stručnog savetovanja „Ocena stanja, održavanje i sanacija građevinskih objekata i naselja“, Vršac, 14.-16. jun 2017., Izdavač: Savez inženjera i tehničara Srbije, ISBN 978-86-88897-09-9 (2017b) 315-324
- Miljković I., Popović M., Pavlović N. Analiza prečišćavanja industrijskih otpadnih voda u HE „Đerdap 2“ metodom PROMETHEE, 38. Međunarodni stručno-naučni skup „Vodovod i kanalizacija '17“, Kragujevac, 10-13. oktobar 2017., Izdavač: Savez inženjera i tehničara Srbije, ISBN 978-86-80067-36-0 (2017c) 210-215
- Roobahani, A., Zahraie, B., Tabesh, M. PROMETHEE with Precedence Order in the Criteria (PPOC) as a New Group Decision Making Aid: An Application in Urban Water Supply Management. *Water Resources Management*, 26 (12) (2012) 3581–3599
- 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
- Ward, B., Savić, A.D. A multi-objective optimization model for sewer rehabilitation considering critical risk of failure. *Water science & Technology*, 66.11 (2012) 2410-2417
- Ward, B., Kawalec, M., Savić, D. An optimised total expenditure approach to sewerage management. *Proceedings of the institution of Civil Engineers* (2014) 1-9



## ELIMINACIJA MIKROPOLUTANATA IZ VODA PRIMENOM SAVREMENIH POSTUPAKA

Milena Radomirović\*, Bojan Tanaskovski\*, Antonije Onjia\*,  
Srdan Trivković\*\*, Slavka Stanković\*

\* *Tehnološko-metalurški fakultet Univerziteta u Beogradu, Karnegijeva 4,  
Beograd, e-mail: [mradomirovic@tmf.bg.ac.rs](mailto:mradomirovic@tmf.bg.ac.rs)*

\*\**Fyltris d.o.o., Beograd, Bulevar Arsenija Čarnojevića 88, 11070 Beograd*

### REZIME

U sadašnjim postrojenjima za prečišćavanje otpadnih voda ne postiže se potpuna eliminacija zagađujućih materija. U cilju povećanja efikasnosti postojećih tretmana značajan je porast primene ozona u tretmanima voda. Postupci u prečišćavanju voda koji su se pokazali kao najefikasniji su oksidacioni i adsorpcioni, kao i kombinacija ove dve metode. Oksidacione metode obuhvataju primenu naprednih oksidacionih procesa, fotohemijskih i nefotohemijskih, na koje se može nadovezati metoda adsorpcije na sorbentima kao što su zeolit, ekspandirana glina ili aktivni ugalj. Mada su najefikasniji membranski procesi i koriste se kao finalni korak u procesu dobijanja vode za piće.

KLJUČNE REČI: savremene metode, tretman voda, napredni oksidacioni procesi, organski mikropolutanti.

## ELIMINATION OF MICROPOLLUTANTS FROM WATER BY APPLICATION OF MODERN TREATMENT PROCEDURES

### ABSTRACT

It is not possible to achieve a complete elimination of organic pollutants from water treatment plants. In order to increase the efficiency of existing treatments, there is a significant increase in the application of ozone in water treatment. Water treatment processes that proved to be the most efficient are oxidation, adsorption and also a combination of these two methods. Oxidation methods include the application of advanced oxidation processes (AOPs) – photochemical and non-photochemical methods, and these methods are usually complemented with the adsorption method on sorbents such as zeolite, expanded clay or activated carbon. The most effective are membrane processes and are commonly used as a final step in drinking water treatment process.

KEY WORDS: modern procedures, water treatment, advanced oxidation processes, organic micropollutants.

## UVOD

Za vodosnadbjevanje stanovništva najčešće se koriste podzemne i površinske vode koje su izložene hemijskom zagađenju usled posledica antropogenog uticaja. S obzirom na različite izvore kontaminacije, često se postavlja pitanje kakav uticaj i kakve posledice mogu imati na ljudsko zdravlje, na biodiverzitet i stoga na ekosistem. Jedna petina svetske populacije nema pristup bezbednoj vodi za piće, a dve petine trpi posledice neprihvatljivih sanitarnih uslova (UNESCO WWAP WWDR, 2003). Adekvatna zaštita vodoizvorišta postiže se regulisanjem, kontrolom i tretmanom ispuštenih otpadnih voda. U cilju smanjenja širenja, kao i eliminacije mikropolutanata iz vode, primena naprednih oksidacionih procesa predstavlja inovativno, konkurentno i održivo rešenje kojima se rešavaju trenutni i budući izazovi u oblasti industrijske proizvodnje otpadne vode, životne sredine i očuvanja ljudskog zdravlja.

Više od jedne trećine dostupnih obnovljivih izvora sveže vode na Zemlji se koristi u poljoprivredne i industrijske svrhe i u domaćinstvima, a većina ovih aktivnosti uzrokuje kontaminaciju vode brojnim sintetičkim jedinjenjima. Oko 300 miliona tona sintetičkih jedinjenja koja se godišnje koriste u industrijskim i potrošačkim proizvodima, delimično završe u prirodnim vodama. Na globalnom nivou, industrija i gradske opštine ispuštaju oko 10% otpadnih voda koje yavršavaju u rekama, jezerima, podzemnim vodama ili u priobalja mora (UNESCO WWAP WWDR, 2003). Dodatni izvor zagađenja prirodnih voda potiče upotrebom oko 140 miliona tona đubriva i nekoliko miliona tona pesticida (FAO, 2006) u poljoprivredi na svetskom godišnjem nivou.

Evropska unija objavila je spisak prioriternih supstanci koje predstavljaju pretnju zagađenju izvora podzemnih i površinskih voda. Trenutno, u Evropskoj uniji postoji više od 100000 registrovanih hemijskih supstanci, od kojih se 30000 do 70000 koristi u svakodnevnoj upotrebi. Još jedan važan izvor zagađenja vode predstavljaju nafta i benzina, kao i njihove komponente, putem slučajnog izlivanja. Kako bi zaštitili ekosistem i izvore vode za piće od potencijalno toksičnih uticaja, potreban je redovan monitoring i regulisanje ispuštanja efluenata. Takođe u mnogim zemljama je u toku proces nadogradnje većih postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda, kako bi se na adekvatan način eliminisali polutanti koji ostaju u tretiranoj otpadnoj vodi i oslobađaju se u okolne reke i jezera (<http://makingwaves.xylem.com/removing-micropollutants/>).

## KLASIFIKACIJA, GLAVNI IZVORI I PUTEVI DOSPEVANJA MIKROPOLUTANATA U ŽIVOTNU SREDINU

Današnja istraživanja u oblasti životne sredine usmerena su na različite kategorije zagađivača. Pored uobičajenih perzistentnih polutanata, kao što su policiklični aromatični ugljovodonici (PAH), polihlorovani bifenili (PCB), mineralna ulja, fenoli, sve više pojavljuju zagađivači novije generacije - ksenobiotici ili mikropolutanti (<http://makingwaves.xylem.com/removing-micropollutants/>). Izraz mikropolutanti odnosi se na organske ili mineralne supstance čija toksična, perzistentna i bioakumulativna svojstva mogu imati negativan uticaj na životnu sredinu i/ili organizme čak i pri relativno niskim

koncentracijama. Prisutni su u mnogim proizvodima za svakodnevnu upotrebu, kao što su lekovi, kozmetički i fitosanitarni proizvodi, industrijske hemikalije itd. Primenom savremenih analitičkih metoda u laboratorijskim analizama, sve više se naglašava njihovo prisustvo i konstantan unos u životnu sredinu u niskim koncentracijama [ $\mu\text{g/l}$  ili  $\text{ng/l}$ ]. Neke od ovih supstanci mogu imati direktan ili indirektan uticaj na okolinu, pa i na ljude. Problemi vezani za prisustvo lekova u životnoj sredini uključuju negativne efekte na vodene i kopnene organizme, kao što su poremećaji fizioloških procesa i reproduktivne funkcije organizama (uključujući i feminizaciju riba muškog pola), razvoj rezistentnih bakterija i povećanje toksičnosti nekih farmaceutskih aktivnih supstanci. U Tabeli 1 prikazan je niz mikropolutanata koji mogu imati toksične efekte. Ove hemijske supstance su tokom poslednjih 25 godina prisutne u prirodnim vodama ne samo u neposrednoj okolini zagađenja, već i u udaljenim vodenim ekosistemima. Neke od ovih supstanci uopšte nisu razgradive (npr. teški metali) ili su vrlo sporo razgradive (npr. perzistentni organski zagađivači kao što su: insekticid dihlor-difenil-trihloretan (DDT) ili polihlorovani bifenili (PCB)).

Tabela 1. Primeri sveprisutnih zagađivača vode  
Table 1. Examples of ubiquitous water pollutants

Poreklo/primena	Vrsta	Odabrani primer	Srodni problemi	Reference
Industrijske hemikalije	Rastvarači Intermedijeri Petrohemija	Tetrahlormetan Metil-t-butiletar BTEX	Kontaminacija vode za piće	ECETOC, Tech. Report No. 990317,1999
Industrijski proizvodi	Aditivi Lubrikanti Plameni retardanti	Ftalati PCB Polibromovani difeniletri	Biomagnifikacija, transport sa velikim opsegom	Macdonald et al, 2000
Potrošački proizvodi	Deterdženti  Farmaceutici  Hormoni  Proizvodi za ličnu negu	Nonilfenol etoksalati  Antibiotici  Etilni estradiol  UV filteri	Endokrini aktivni transformacioni proizvodi (nonilfenol) Otpornost na bakterije  Feminizacija riba  Mnoštvo nepoznatih efekata	Eriksson et al, 2001  Kolpin et al, 2002 Geyer et al, 2000 Daughton et al, 1999.
Biocidi	Pesticidi  Nepoljoprivredni biocidi	DDT  Atrazin  Tributilitin Triklizan	Toksični uticaj i perzistentni metaboliti  Efekti na primarne proizvođače  Endokrini efekti perzistentni proizvod razgradnje (metil- triklozan)	Iwata et al, 1994; Bignert et al, 1998. Solomon et al, 1996.  Tanabe,1999 Lindstorn,2002

U glavne klase mikropolutanata-ksenobiotika ubrajaju se toksični i radioaktivni elementi (Pb, Cd, Hg, As, Sb, Ra, U), organski mikropolutanti (pesticidi, deterdženti, kozmetički proizvodi, hormoni, farmaceutski proizvodi i endokrini disruptori (betablokatori, antidepresivi, hipolipidemijski agensi, analgetici, antibiotici, bronhodilatatori, proizvodi za

hemoterapiju)). Lekovi i farmaceutska sredstva predstavljaju jednu od najvećih i najvažnijih kategorija polutanata nove generacije. Naglim porastom primene antibiotika u humanoj medicini i veterini, smanjuje se efikasnost ovih lekova, kako bakterije evoluiraju razvija se njihova tolerancija i rezistencija prisustvom antibiotika u životnoj sredini. S obzirom da farmaceutska sredstva imaju ulogu u očuvanju zdravlja ljudi i životinja i poboljšanju kvaliteta života, ipak, veliki deo farmaceutika završava u životnoj sredini putem telesnih izlučevina, što dovodi do negativnih promena u okviru ekosistema. Njihova perzistentna priroda čini ih otpornim na mnoge tradicionalne postupke prečišćavanja otpadnih voda i stoga predstavljaju jedan od problema koji i dalje otežava procese prečišćavanja vode.

Glavni putevi dospevanja perzistentnih zagađujućih materija u površinske vode su postrojenja za tretman otpadnih voda, farmaceutska industrija, obradivo zemljište, medicinski centri-bolnice, dok su indirektni putevi dospevanja rezultat nepravilnog odlaganja neiskorišćenih farmaceutskih sredstava, primena đubriva životinjskog porekla u poljoprivredi, mulj otpadnih voda.

Izvori, ponašanje i tretman relativno malog broja makropolutanta, kao što su kiseline, soli, nutrijenti i prirodne organske materije, javljaju se pri koncentracijama pod  $\mu g/l$  do  $mg/l$  (Mengis et al, 1997). Daleko je teže proceniti uticaj brojnih sintetičkih i prirodnih zagađivača u tragovima koji mogu biti prisutni u vodi pri vrlo niskim koncentracijama (od  $pg/l$  do  $ng/l$ ) (Jobling et al, 1998).

## POSTUPCI I METODE PREČIŠĆAVANJA VODA

Kao što je već navedeno, efluenti iz postrojenja za tretman otpadnih voda identifikovani su kao glavni izvor unosa zagađujućih susptanci. Sva postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda obuhvataju nekoliko faza obrade, kao što su predtretman, primarni i sekundarni tretman odnosno, opremljena su primarnom sedimentacijom, konvencionalnim tretmanom aktivnog mulja sa uklanjanjem nutrijenata i sekundarnim tretmanom bistrenja. Primarni tretman ima slab uticaj na organske zagađujuće materije, dok se u sekundarnom tretmanu vrši odlaganje polutanata organskog porekla i postiže se između 60-80% eliminacije supstanci prisutnih u vodi. Proces prečišćavanja može se unaprediti uvođenjem tercijarnog ili kombinovanog tretmana.

Glavni postupci i metode za nadogradnju postrojenja koja primenjuju konvencionalne metode za prečišćavanja otpadnih voda jesu:

- Fizičke metode – membranski procesi (nanofiltracija ili reverzna osmoza)
- Biološke metode – degradacija ili transformacija
- Oksidacioni – transformacija (npr. primena ozona ili hlora)
- Adsorpcione metode – separacija pomoću adsorpcije (npr. primena aktivnog uglja)
- Kombinovane metode.

### Postupak biološke degradacije - biotransformacija

Biološki tretman je od presudnog značaja za uspešnu integraciju savremenih tretmana prilikom odstranjivanja organskih mikropolutanta. Biološka degradacija koristi širok

spektar mikroorganizama, uglavnom bakterija, koje čine prečišćavajuću biomasu. Ovi mikroorganizmi pretvaraju biorazgradive materije kroz adsorpciju rastvorljivih ili suspendovanih čestica sadržanih u otpadnoj vodi u jednostavne proizvode, kao što su ugljen dioksid i dodatna biomasa, ili u nitrata i gas azota ukoliko su prisutni neophodni uslovi. Kako određene bakterije u aktiviranom mulju poseduju enzime sa afinitetom za određeni mikropolutant, one mogu degradirati ili transformisati date suspstace. Druge bakterije mineralizuju mikropolutante koristeći ih kao izvor ugljenika i energije. Što je biološki tretman temeljniji, to je uklanjanje mikropolutanata efikasnije.

#### Postupak oksidacije - fizičko-hemijska transformacija

Pored dezinfekcije, fizičko-hemijska sredstva se takođe koriste i za oksidaciju organskih i neorganskih komponenti prisutnih u vodi koje izazivaju neprijatan miris i ukus vode, zatim, za povećanje efikasnosti koagulacije i flokulacije, kao i za transformaciju nerazgrađivih zagađujućih materija u supstance koje mogu biti asimilovane od strane bakterija u procesu nakon biološkog tretmana. U tretmanima voda, koristi se veliki broj različitih oksidacionih sredstava sa različitim oksidacionim potencijalima (flour, hidroksil radikal, ozon, vodonik peroksid, kalijum permanganat, hlor dioksid, hlor), od čega zavisi i efikasnost dezinfekcije. Izbor oksidacionog sredstva koje će se koristiti određuje i njegovu dobru selektivnost prema ciljanom zagađenju.

Oksidaciona sredstva kao što su ozon i hidroksil radikal, široko se primenjuju za dezinfekciju i često za transformaciju i/ili eliminaciju neželjenih zagađujućih supstanci iz vode. Ozon deluje 10-20 puta brže i 300-600 puta intenzivnije u odnosu na istu koncentraciju hlora i sposoban je da pri malom kontaktnom vremenu i niskim koncentracijama brzo oksiduje organske materije.

Ozon se može uvesti i primeniti na više mesta u procesu prečišćavanja voda, i to: u predozonizaciji (za eliminaciju neorganskih komponenti, boje, mirisa, ukusa i mutnoće, delimičnu razgradnju prirodnih organskih materija i pojačani efekat koagulacije i flokulacije), u glavnoj ozonizaciji (za razgradnju mikropolutanata i uklanjanje prekursora trihalometana), i u finalnoj ozonizaciji (za završnu dezinfekciju uz minimalno nastajanje sporednih proizvoda dezinfekcije).

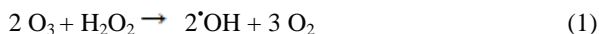
U procesu prečišćavanja otpadnih voda, ozonizacija se koristi kao dodatni korak, tercijarni tretman, koji predstavlja efikasno rešenje za eliminisanje perzistentnih polutanata, što znači da mikropolutanti prisutni u vodi mogu biti uklonjeni u dovoljnoj meri uz ekonomski izvodljive mere i ekološki prihvatljive doze ozona. Pored polutanata, ozon ima primenu kao dezinfekciono sredstvo za uklanjanje bakterija, virusa, uklanjanje boje i mirisa, toksičnih supstanci (cijanida, fenola...), uklanjanje surfaktanata i dr.

Ozon se primenjuje u kontaktnim komorama difuzijom kroz porozne difuzore putem kojih se distribuira kroz vodu, a višak ozona se šalje u destruktore. Danas se primenjuju različiti tipovi difuzora (radijalni, kupolasti) ili injektori koji rade na principu Venturi efekta i koji se razlikuju u efikasnosti raspodele gasa. Rastvaranjem određene koncentracije gasa u vodi, molekuli ozona napadaju određene hemijske veze, dakle, ciljani molekuli bivaju oksidovani. Ozon brzo reaguje sa polutantima koji sadrže amino grupe, dvostruke veze ili

sa jedinjenjima aromatične strukture. Naime, ozon brzo reaguje sa velikim brojem jedinjenja na dva načina: direktno od strane molekula ozona i indirektno od strane hidroksil radikala ( $\cdot\text{OH}$ ).

Faktori koji mogu uticati na efikasnost ozonizacije jesu: pH, temperatura i koncentracija, odnosno, opterećenje vode zagađujućim materijama i primenjena doza ozona. Faktor koji utiče na reakcije ozona jeste pH vrednost vode; za niske vrednosti pH, favorizuju se reakcije sa molekulom ozona, dok visoke pH vrednosti rezultuju povećanim raspadom ozona pri čemu nastaju hidroksil radikali. Sa porastom pH, brzina raspadanja ozona u vodi se povećava. Na primer, pri vrednosti pH=10, vreme poluraspada ozona u vodi može biti manje od jednog minuta (inicijator raspada ozona može biti i dodavanje gvožđa, vodonik peroksida i dr.) Oksidacija organskih vrsta se može javiti usled kombinacije reakcija sa molekulom ozona i reakcije sa  $\cdot\text{OH}$  radikalima. Kontinuitet ciklusa zavisi od reakcije  $\cdot\text{OH}$  sa rezidualnim  $\text{O}_3$  (Aav et al, 2001).

Jedna od najčešće primenjivanih novih savremenih metoda oksidacionih procesa je upravo kombinacija ozona i vodonik peroksida, pri čemu dolazi do transformacije i raspadanja ozona i nastajanja hidroksil radikala,  $\cdot\text{OH}$ . Dakle, dodavanjem vodonik-peroksida ozonu (istovremeno, pre ili posle), započinje ciklus raspadanja ozona što rezultuje formiranjem  $\cdot\text{OH}$  radikala, a može prikazati sledećom reakcijom (Aav et al, 2001):



Hidroksil radikal ( $\cdot\text{OH}$ ) je moćno, neselektivno hemijsko oksidaciono sredstvo, koje vrlo brzo reaguje sa većinom kako organskih, tako i neorganskih vrsta. Brzina reakcije  $\cdot\text{OH}$  radikala obično je  $10^6$  do  $10^9$  puta veća u odnosu na brzinu reakcije samog molekula ozona. Konstante brzina reakcija molekula ozona sa različitim organskim jedinjenjima navedene su u Tabeli 2. Nakon generisanja,  $\cdot\text{OH}$  radikali agresivno napadaju praktično sva organska jedinjenja. U zavisnosti od prirode organskih vrsta, moguća su dva inicijalna oksidativna napada, i to:

- $\cdot\text{OH}$  radikal može da ukloni atom vodonika iz vode, u slučaju reakcije sa alkanima ili alkoholima, ili
- $\cdot\text{OH}$  radikal može se dodati molekulu kontaminanta, kao u slučaju olefina ili aromatičnih jedinjenja.

Oksidativni napad  $\cdot\text{OH}$  radikala u prisustvu kiseonika, inicira složenu kaskadu oksidacionih reakcija koje dovode do mineralizacije organskih jedinjenja. Tačan pravac ovih reakcija još uvek nije sasvim jasan. Na primer, hlorovana organska jedinjenja oksiduju se prvo do intermedijera, kao što su aldehidi i karboksilne kiseline, i konačno do  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ , i do hlornog jona. Azot u organskim jedinjenjima obično oksiduje u nitrate ili do slobodnog  $\text{N}_2$ , dok sumpor oksiduje u sulfate. Cijanidi oksiduju u cijanate, a zatim se dalje u  $\text{CO}_2$  i  $\text{NO}_3^-$  (ili možda,  $\text{N}_2$ ).

Prema tome,  $\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2$  proces ima višestruku ulogu u uklanjanju organskih isparljivih zagađujućih materija, dezinfekcionih nusproizvoda, prirodnih organskih materija koje vodi

daju neprijatan miris i ukus i dr. Efikasnost ovog procesa oksidacije zavisi od primenjene doze ozona i vodonik peroksida, kao i od njihovog odogovarajućeg međusobnog odnosa, zatim od kontaktnog vremena (*Ct*, eng. *contact time*), opterećenja i pH vrednosti vode. Efikasnost transformacije zavisi i od reaktivnosti oksidacionog sredstva u odnosu na ciljane zagađujuće supstance ali i od vrste matričnih komponenti prisutnih u vodi koje određuju stabilnost oksidacionog sredstva.

Postoji nekoliko metoda za generisanje  $\cdot\text{OH}$  radikala, što uključuje i ne-fotohemijske i fotohemijske metode (sve metode koje uključuju primenu fotolitičke disocijacije tj. UV zračenja u tretmanu voda) koje se nazivaju napredni oksidacioni procesi (*AOPs*, eng. *Advanced Oxidation Processes*) (Aav et al, 2001):

Ne-fotohemijske metode su:

- ozonizacija u baznoj sredini (  $\text{pH} > 8,5$ )
- ozon + vodonik-peroksid ( $\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2$ )
- ozon + katalizator ( $\text{O}_3/\text{katalizator}$ )
- Fentonov sistem – reakcija gvožđa (II) i vodonik peroksida ( $\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2$ )

Fotohemijske metode su:

- $\text{O}_3/\text{UV}$
- $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$
- $\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$
- Fotokatalitička oksidacija ( $\text{TiO}_2/\text{UV}$ ).

U pojedinim slučajevima, konvencionalna oksidacija sa ozonom ili vodonik peroksidom nije kompletna i organska jedinjenja ne mogu u potpunosti oksidovati do  $\text{CO}_2$  i  $\text{H}_2\text{O}$ . U nekim reakcijama, intermedijeri, odnosno, nusproizvodi oksidacije koji ostaju u rastvoru mogu biti toksičniji od početnog ciljanog jedinjenja. Završetak reakcije oksidacije, kao i oksidacione destrukcije jedinjenja koje je rezistentno na oksidaciju ozonom ili vodonik peroksidom, može se rešiti primenom UV zračenja. UV lampe za tretman voda emituju maksimalno zračenje na 254 nm za efikasnu fotolizu ozona. Koriste se UV lampe niskog pritiska (*LPUV*, eng. *low pressure ultraviolet lamps*) i srednjeg pritiska (*MPUV*, eng. *medium pressure ultraviolet lamps*) i razlikuju se u spektru zračenja. Mnoga organska jedinjenja apsorbuju UV energiju u rasponu od 200-300 nm i raspadaju usled direktne fotolize ili se pobuđuju i postaju reaktivnija u kontaktu sa hemijskim oksidacionim sredstvima (Aav et al, 2001). U ovom slučaju, stepen degradacije organskih polutanata raste sa povećanjem doze ozona. Za vreme  $\text{O}_3/\text{UV}$  procesa, dolazi do povišenja temperature vode, pri čemu dolazi do smanjenja rastvorljivosti ozona, ali i smanjenja njegove dostupnosti za formiranje hidroksil radikala, stoga treba kontrolisati uticaj temperature.

Takođe visoka koncentracija rastvorenih organskih i drugih neorganskih vrsta može ostati nakon biološkog tretmana vode, što uzrokuje potrebu za ozonom u otpadnoj vodi. Sa druge strane, reakcija ozona sa rastvorenim organskim materijama stvara sekundarne oksidacione proizvode – hidroksil radikale, koji mogu doprineti uklanjanju mikropolutanata rezistentnih na ozon. U zavisnosti od cilja tretmana, ozon se može dodati nakon obimnog biološkog tretmana ili na kraju tretmana kako bi se smanjila potrebna doza ozona. Dobijeni  $\cdot\text{OH}$

radikali se smatraju kao prednost, jer reaguju neselektivno sa tragovima organskih jedinjenjima u otpadnoj vodi.

Takođe transformacija organskih mikropolutanata zavisi od njihove hemijske strukture, naročito od reaktivnosti određene funkcionalne grupe ili supstituenta. Ozon reaguje direktno sa elektron donorskim grupama, kao što su fenoli, tercijarni amini i dvostruke veze. Na primer, prilikom uklanjanja 17 $\alpha$ -etinilestradiola, ozon reaguje sa fenol grupom, kod karbamazepina sa dvostrukom vezom, zatim diklofenak i sulfametaksazol sadrže funkcionalne amino grupe koje mogu biti oksidovane ozonom. Bezafibrat i ibuprofen ne poseduju takve funkcionalne grupe i samim time reaguju znatno sporije. Sa druge strane, mikropolutanti koji imaju nisku reaktivnost sa ozonom mogu se efikasno ukloniti pomoću mehanizma sa hidrosil radikalima. Iako se ne može očekivati potpuna mineralizacija, tretman ozonom doprinosi poboljšanju biodegradacije transformacijom organskih mikropolutanata u manje i jednostavnije molekule.

Kao pravilo, brzina destrukcije organskih zagađivača proporcionalna je konstanti brzine  $\cdot\text{OH}$  radikala za datu zagađujuću supstancu (Tabela 2). Iz Tabele 2 se vidi da su hlorovani alkeni tretirani najefikasnije, jer je dvostruka veza veoma podložna uticaju  $\cdot\text{OH}$  radikala. Zasićeni molekuli (tj. alkani) reaguju znatno sporije i stoga teže oksiduju.

Novi, savremeni, oksidacioni procesi (AOPs, eng. Advanced Oxidation Processes) često mogu ukloniti jedinjenja koja su otporna na konvencionalnu oksidaciju ozonom ili oksidaciju vodonik peroksidom (Aav et al, 2001). AOPs su pogodni za destrukciju organskih zagađujućih materija kao što su halogenovani ugljovodonici (trihloretan, trihloretilen), aromatična jedinjenja (benzen, toluen, etilbenzen, ksilen – BTEX), pentahlorofenol (PCP), nitrofenoli, deterdženti, pesticidi, itd. AOPs se takođe mogu koristiti za oksidaciju neorganskih zagađivača, kao što su cijanidi, sulfidi i nitriti.

Tabela 2. Konstante brzine reakcija ( $k$ ,  $\text{M}^{-1}\text{s}^{-1}$ ) ozona i hidrosil radikala (Aav et al, 2001)  
Table 2. Reaction rate constants ( $k$ ,  $\text{M}^{-1}\text{s}^{-1}$ ) of ozone vs. hydroxyl radical

Jedinjenje	$k(\text{O}_3)$	$k(\cdot\text{OH})$
Hlorovani alkeni	$10^3 - 10^4$	$10^9 - 10^{11}$
Fenoli	$10^3$	$10^9 - 10^{10}$
Org. materije koje sadrže azot	$10 - 10^2$	$10^8 - 10^{10}$
Aromatični ugljovodonici	$1 - 10^2$	$10^8 - 10^{10}$
Ketoni	1	$10^9 - 10^{10}$
Alkoholi	$10^{-2} - 1$	$10^8 - 10^9$

#### Postupak adsorpcije na aktivnom uglju

Aktivni ugalj se obično koristi za adsorpciju prirodnih organskih jedinjenja i predstavlja efikasan adsorbent, i kao vrlo porozan materijal ima veliku površinu na koju se kontaminanti adsorbuju. Koristi se za uklanjanje ukusa, mirisa i sintetičkih organskih materija u tretmanu vode za piće (Aav et al, 2001). Može se koristiti u granulisanom obliku unutar filtera (*GAC*, eng. *granular activated carbon*), ili u obliku praha (*PAC*, eng.



*powdered acitvated carbon*). Adsorpcija specifičnih organskih mikropolutanata na aktivnom uglju određena je njihovim hemijskim svojstvima, tj. sposobnošću adsorpcije, kao i koncentracijom prisutnih organskih supstanci. Primena aktivnog uglja u obliku praha, pogodna je za adsorpciju širokog spektra mikropolutanata, ali pokazuje opštu sklonost za hidrofobna jedinjenja. Adsorpcija na aktivnom uglju se pokazala kao dosta efikasna prilikom uklanjanja farmaceutika (>70% i do preko 90%), Tabela 3. Za pojedine pesticide kao što su triazini, uklanjanje je veoma dobro, dok za druge, adsorpcija se uopšte nije pokazala kao adekvatna (AMPA, gliofosat).

U Tabeli 3 predstavljeno je poređenje efikasnosti uklanjanja različitih vrsta lekova pomoću najčešće primenjivanih metoda u tretmanima voda.

Tabela 3. Pregled efikasnosti određenih tercijarnih tretmana u uklanjanju mikropolutanata [%]  
Table 3. An overview of the effectiveness of tertiary treatment in the removal of the micropollutants

Vrste lekova	Aktivni ugalj	Ozon	Ozon+H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>
Beta blokatori	> 90	> 90	70-90
Antibiotici	70-90	70-90	> 90
Drugi farmaceutici	70-90	> 90	> 90
PAH	30-70	70-90	70-90
Alkilfenoli	30-70	70-90	70-90
Urea i triazini	70-90	30-70	> 90
Drugi pesticidi	30-70	30-70	> 90

## ZAKLJUČAK

Ozon omogućava dezinfekciju vode i oksidaciju organskih polutanata istovremeno, a takođe se može koristiti i u kombinaciji sa drugim metodama, kao što su adsorpcija-UV filtracija, biološki tretman-ozonizacija. Uobičajena je primena ozonizacije u kombinaciji sa adsorpcijom na aktivnom uglju. Postrojenjima za tretman vode koja već koriste ozon u tretmanu, može se dodati i H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. U slučaju mikropolutanata prisutnih u vodi (pesticidi, hlorovana organska jedinjenja, itd.), kombinacija O<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> praćena O<sub>3</sub>/UV sistemom je najefikasnija metoda u procesima tretmana vode za piće.

Savremeni, novi oksidacioni procesi su uglavnom efikasniji u odnosu na sam ozon. Međutim, moraju se proceniti efikasnost, troškovi i mogući neželjeni efekti. Treba napomenuti da napredni oksidacioni procesi ne moraju biti veoma efikasni za tretiranje visoko koncentrovanih efluenta. Zbog toga, imajući u vidu da je efikasnost naprednih oksidacionih sistema specifična za jedinjenja, konačni izbor ovih procesnih sistema može se napraviti nakon prethodnih laboratorijskih ispitivanja vode. Efekti upotrebe pojedinačnih novih naprednih metoda na prisustvo više različitih mikropolutanata u vodi, različitih neorganskih/organskih jedinjenja, nisu u uzeti u obzir.

## LITERATURA

Aav R. Kanger T., Pehk T., Lopp M., (2001), Proceedings of the Estonian Academy of Sciences, Chemistry ISSN 1406-0124, 50/2, p. 60-75.

- Bignert A., Olsson M., Persson W., Jensen S., Zakrisson S., Litzén K., Eriksson U., Häggberg L., Alsberg T., Temporal trends of organochlorines in Northern Europe, 1967–1995. Relation to global fractionation, leakage from sediments and international measures, *Environ. Pollut.* 99 (1998) 177–198.
- Daughton C., Ternes T., Pharmaceuticals and personal care products in the environment: agents of subtle change?, *Environ. Health Perspect.* 107 (suppl. 6) (1999) 907–938.
- ECETOC, Monitoring and modelling of industrial organic chemicals, with particular reference to aquatic risk assessment, Tech. Report No. 990317 (Brussels, Belgium, 1999).
- Eriksson P., Jakobsson E., Fredriksson A., Brominated flame retardants: a novel class of developmental neurotoxicants in our environment? *Environ Health Perspect.* 109 (2001) 903–908.
- FAO, Statistical Database, <http://faostat.fao.org/> (Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 2006).
- Geyer H.J., Rimkus G.G., Scheunert I., Kaune A., Schramm K.W., Ketrup A., Zeeman M., Muir D.C.G., Hansen L.G., Mackay D. (2000), Bioaccumulation and occurrence of endocrine-disrupting chemicals (EDCs), persistent organic pollutants (POPs), and other organic compound in fish and other organisms including humans, In: *The Handbook of Environmental Chemistry* (B. Beek, Ed.), Springer-Verlag, Berlin, vol. 2J, p. 1–166.
- <http://makingwaves.xylem.com/removing-micropollutants/>
- Iwata H, Tanabe S, Sakai N, Nishimura A, Tatsukawa R., Geographical distribution of persistent organochlorines in air, water and sediments from Asia and Oceania, and their implications for global redistribution from lower latitudes, *Environ Pollut.* 85(1) (1994) 15–33.
- Jobling S., Nolan M., Tyler, C. R., Brighty G., Sumpter J. P., Widespread Sexual Disruption in Wild Fish, *Environ. Sci. Technol.*, 32 (17) (1998) 2498–2506.
- Kolpin D. W., Furlong E. T., Meyer M. T., Thurman E. M., Zaugg S. D., Pharmaceuticals, hormones, and other organic wastewater contaminants in U.S. streams, 1999–2000: a national reconnaissance, *Environ. Sci. Technol.* 36 (2002) 1202–1211.
- Lindström A, Buerge I.J., Poiger T., Bergqvist P.A., Müller M.D., Buser H.R., Occurrence and environmental behavior of the bactericide triclosan and its methyl derivative in surface waters and in wastewater, *Environ Sci Technol.* 36(11) (2002) 2322–2329.
- Macdonal R.W., Barrie L.A., Bidleman T.F., Diamond M.L., Gregor D.J., Semkin R.G., Strachan W.M., Li Y.F., Wania F., Alae M., Alexeeva L.B., Backus S.M., Bailey R., Bewers J.M., Gobeil C., Halsall C.J., Harner T., Hoff J.T., Jantunen L.M., Lockhart W.L., Mackay D., Muir D.C., Pudykiewicz J., Reimer K.J., Smith J.N., Stern G.A., Contaminants in the Canadian Arctic: 5 years of progress in understanding sources, occurrence and pathways, *Sci Total Environ.*, 254(2-3) (2000) 93–234.
- Mengis M., Gachter R., Wehrli B., Bernasconi S., Nitrogen elimination in two deep eutrophic lakes, *Limnol. Oecogr.* 42(1997) 1530–1534.
- Ohe T., Watanabe T., Wakabayashi, K, Mutagens in surface waters: a review, *Mutat Res.* 567 (2004) 109.
- Solomon K.R., Baker D.B., Richards R. P., Dixon K. R., Klaine S. J., La Point T. W., Kendall R. J., Weisskopf C. P., Gidding J. M., Giesy J. P., Hall Jr. L. W., Williams W. M., Ecological risk assessment of atrazine in North American surface waters, *Environ. Toxicol. Chem.* 15 (1) (1996) 31–76.
- Tanabe S., Butyltin contamination in marine mammals, a review, *Mar. Pollut. Bull.*, 39 (1999) 62–72.
- UNESCO WWAP, Water for People, Water for Life—WWDR, Berghahn Books (2003) Barcelona.

## PREDNOSTI ODABRANOG TRETMANA KOMUNALNIH OTPADNIH VODA NA POSTROJENJU GRADA SKOPLJA

Marko Ilić, Vladanka Presburger Ulniković, Violeta Cibulić,  
Sanja Mrazovac Kurilić

*Fakultet za ekologiju i zaštitu životne sredine, Univerzitet „Union – Nikola  
Tesla“, Beograd, Cara Dušana 62-64, [vladankap@gmail.com](mailto:vladankap@gmail.com)*

### REZIME

Sekundarni tretman budućeg postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda za Grad Skoplje uključuje posebnu pažnju odstranjivanju mulja, optimizaciji potrošene energije, održivosti i zaštiti od uticaja na kvalitet vazduha. Tercijarni tretman biće usmeren na smanjenje koncentracija azota i fosfora. Tretirane otpadne vode će se ispuštati u u reku Vardar. U radu će se prikazati modeli prečišćavanja otpadnih voda u budućem Postrojenju, najbolja rešenja, i uticaj postrojenja na poboljšanje kvaliteta životne sredine.

KLJUČNE REČI: Postrojenje za prečišćavanje otpadnih voda, Skoplje, životna sredina.

## ADVANTAGES OF SELECTED WASTEWATER TREATMENT TECHNOLOGY OF THE SKOPJE WWTP

### ABSTRACT

The secondary treatment of the planned wastewater treatment plant for the City of Skopje is foreseen to with special attention being paid to removal of sludge, optimization of energy consumption, sustainability and odor control. Advanced treatment will have the aim of reducing content of nitrogen and phosphorus in the plant's effluent. The treated wastewater will be released into the Vardar River. The paper presents different technologies for wastewater treatment at the plant, the best solution, and the influence of the facility on the improvement of the environment.

KEYWORDS: Waste water treatment plant, Skopje, environment.

### UVOD

U odnosu na usluge tretmana otpadnih voda koje će biti obezbedene za Grad Skoplje, kao i u odnosu na zaštitu životne sredine, procena mogućih rešenja obezbediće sledeće:

- Tretman sakupljene otpadne komunalne vode u saglasnosti sa makedonskim i evropskim standardima, koji se odnosi na ispušteni protok otpadnih voda u reku Vardar i druga vodna tela;
- Kondicioniranje mulja po tretmanu otpadnih voda na način koji omogućava njegovo lako odstranjivanje, ponovnu upotrebu ili eliminaciju;
- Predlog rešenja za korišćenje proizvedene energije tretmanom mulja, što bi omogućilo zadovoljavanje dela energetske potrebe stanice i povećavanje mogućnosti za ponovnu upotrebu tretiranog mulja;
- Tretman emisije gasa kako bi se izbeglo toksično zagađenje vazduha ili neprijatni mirisi (Gačeša i Klašnja, 1994; Povrenović i Knežević, 2013)

#### PREDLOŽENI CILJEVI ZA KVALITET TRETIRANE VODE

Predloženi cilj za kvalitet vode baziran je na zahtevima Direktive 91/271/EEC.

Kvalitet vode reke Vardar generalno odgovara klasi 2, osim u nizvodnom delu gde kvalitet odgovara klasi 3. Kvalitet vode reke Vardar u blizini lokacije budućeg Postrojenja pokazuje vrednosti manje od 7 mg/l za BPK5 i manje od 60 mg/l za USM. U skladu sa zakonskim odredbama u klasu 3 spadaju u umereno eutrofne vode koje mogu da se koriste za navodnjavanje, a posle primenjenih metoda za prečišćavanje mogu da se koriste u industriji za namene koje ne uključuju vodu za piće.

Što se tiče osetljivosti reke Vardar na zagađenje azotom i fosforom, u Studiji "Tehnicka podrška za identifikaciju, procenu i selekciju projekata podobnih za finansiranje preko IPA (engl. Instrument for Pre-Accession Assistance) je instrument za pretpristupnu pomoć koji je namenjen pružanju podrške zemljama kandidatima, kao i potencijalnim kandidatima za članstvo u EU) projekta 3", navedeno je sledeće:

Kriterijumi za proglašavanje osetljivih područja dati su Aneksu II, Direktive 91/271/EEC i u Zakonu o vodama, čl.103. Preporučeni su svi relevantni podaci iz baza podataka kreirani u okviru studije u WISE formatu.(Direktiva o urbanim vodama 91/271/EEC; Zakon o vodama, 2013)



Slika 1 Postojeće stanje površinskih voda Makedonije (Studija za zaštitu životne sredine za Postrojenje za preradu otpadnih voda Grada Skoplja, 2008)

Beleška: Osetljiva područja su obeležena crvenom bojom

Figure 1 Existing state of Macedonia's surface waters (Environmental Protection Study for the City of Skopje Wastewater Treatment Plant, 2008)

Note: Sensitive areas are marked in red

U Makedoniji još uvek nisu utvrđena osetljiva područja. U nedostatku zvaničnih informacija, napravljen je pregled hidrološke situacije i napravljena je korelacija sa susednim zemljama sa kojima se Makedonija graniči, u cilju da se iskažu očekivanja u odnosu na definisanje osetljivih područja.

Predlaže se usvajanje dva nivoa tretmana koji će obezbediti ispunjenje svih zahteva i standarda koji proizilaze iz nacionalnog zakonodavstva i evropskih direktiva, posebno Direktive 91/271/EEC:

- Kratkoročni - srednjoročni cilj za nivo tretmana pod pretpostavkom da se ne primenjuju zahtevi za kvalitet u osetljivim područjima;
- Dugoročni cilj za nivo tretmana u skladu sa zahtevima za osetljivo područje.

U tom pravcu, u toku projektovanja, 2030. godina smatra se krajnjim rokom za ostvarenje kratkoročnog - srednjoročnog cilja, dok se 2040. godina smatra krajnjim rokom za ostvarenje dugoročnog cilja u odnosu na osetljiva područja.

**ODABIR OPTIMALNOG PROCESA TRETMANA OTPADNIH VODA ZA  
RAZMATRANI SLUČAJ GRADA SKOPLJA**

Tabela 1 Procena postojećih procesa tretmana otpadne vode u skladu sa zahtevima projekta (Studija za finansiranje izgradnju i rad Postrojenja za tretman otpadnih voda u Gradu Skoplju, 2016)  
Table 1 Evaluation of existing wastewater treatment processes in accordance with project requirements (Study for Financing Construction and Operation of Wastewater Treatment Plants in the City of Skopje, 2016)

Proces	Potrebno zemljište	Pogodnost za kratkoročni i dugoročni nivo tretmana	Uticaj na životnu sredinu	Uticaj na karakteristike influenta	Postojeća primena tretmana sa sličnim kapacitetom otpadnih voda
(EAS)	Kompatibilno sa veličinom lokacije	Svi zahtevi za kvalitet mogu da budu ispunjeni	Neprijatni mirisi. Odstranjivanje neprijatnih mirisa potrebno je posebno u deponijama gde je skladišten mulj.	Kompatibilna sa karakteristikama influenta	Najčešće korišćen proces za stanice bilo koje veličine
(ASPS)	Kompatibilno sa veličinom lokacije	Svi zahtevi za kvalitet mogu da budu ispunjeni		Kompatibilna sa karakteristikama influenta	Najčešće korišćen proces za stanice bilo koje veličine
(MBR)	Kompatibilno sa veličinom lokacije	Svi zahtevi za kvalitet mogu da budu ispunjeni		Kompatibilna sa karakteristikama influenta	Primenjiv za stanice svih veličina
(OAS)	Kompatibilno sa veličinom lokacije	Svi zahtevi za kvalitet mogu da budu ispunjeni		Ne preporučuje se za visoko razređen influent kao što je slučaj na ovom projektu	Najčešće se koristi za industrijske i postojeće gradske stanice
(SBR)	Kompatibilno sa veličinom lokacije	Svi zahtevi za kvalitet mogu da budu ispunjeni		Ne preporučuje se za visoko razređen influent kao što je slučaj na ovom projektu	Velika primena za male i srednje stanice.
(MBBR)	Kompatibilno sa veličinom lokacije	Svi zahtevi za kvalitet mogu da budu ispunjeni		Kompatibilna sa karakteristikama influenta	Najčešće se koristi kao nadogradnja gradskim postrojenjima, a ređe za nova velika postrojenja

(AL)	Nekompatibilno sa veličinom lokacije (preko > 150 ha)	Zahtevi za kvalitet BPK5, BSM i HPK nisu mogući. Zahtevi za kvalitet Ni P nisu mogući		Kompatibilna sa karakteristikama influenta	Mala primena za velike stanice, barem u Evropi
(CTF)	Kompatibilno sa veličinom lokacije	Zahtevi za kvalitet N i P nisu mogući, Potrebni su dopunski radovi bazirani na BF	Slab miris Prvlaci komarce i ptice	Kompatibilna sa karakteristikama influenta	Mala primena za velike stanice zbog male efikasnosti
(BF)	Kompatibilno sa veličinom lokacije	Svi zahtevi za kvalitet mogu da budu ispunjeni	Neprijatni miris. Odstranjivanje neprijatnog mirisa posebno je potrebno na mestima skladištenje mulja	Kompatibilna sa karakteristikama influenta	Velika primena u svim velikim postrojenjima

Komparativna analiza mogućih opcija za tretman, na osnovu prethodnih razmatranja, obuhvatiće sledeće procese:

- Produženi aktivni mulj (EAS);
- Aktivni mulj sa primarnim taloženjem (ASPS) ili konvencionalni proces aktivnog mulja (CASP);
- Membranski bioreaktor (MBR);
- Biološku filtraciju (BF). (Studija za finansiranje izgradnju i rad Postrojenja za tretman otpadnih voda u Gradu Skoplju, 2016)

## OBRAZLOŽENJE ODABRANOG TRETMANA

Tabela 2 Izabrani globalni tretmani za otpadne vode i tretman/kondicioniranje mulja (Studija za finansiranje izgradnju i rad Postrojenja za tretman otpadnih voda u Gradu Skoplju, 2016)

Table 2 Selected global waste water treatment and sludge treatment / conditioning (Study for financing the construction and operation of the wastewater treatment plant in the City of Skopje, 2016)

Rešenja za tretman otpadnih voda	Rešenje za tretman mulja
Rešenje 1: Proces sa produženim aktiviranim muljem (EAS)	Za svaku opciju za otpadne vode: Opcija a: termalno sušenje Opcija b: sagorevanje Opcija c: tretman krečom Opcija d: termalna hidroliza Opcija e: termalna hidroliza sa termalnim sušenjem
Rešenje 2: Aktivirani mulj sa primarnim taloženjem (ASPS), ili konvencionalni proces sa aktiviranim muljem (CASP)	
Rešenje 3: proces membranskih bioreaktora (MBR)	
Rešenje 4: biološka filtracija (BF)	

## ANALIZA MOGUĆIH REŠENJA I PREPORUKE

SWOT analiza pokazuje da dva moguća rešenja za tretman otpadnih voda, odnosno tretman produženog aktivnog mulja i aktivnog mulja sa primarnim taloženjem, imaju mnogo sličnih tehničkih karakteristika bez obzira koji kriterijumi su posmatrani. Iz tog razloga oba rešenja mogu da budu izabrana kao konačno, imajući u vidu da oba pokazuju zadovoljavajuće rezultate, kako na postizanje zahtevanih standarda, tako i u odnosu na investicione troškove (Ilić i Presburger Ulniković, 2017).

Ipak preporuka je rešenje 2 - proces aktivnog mulja i primarnog taloženja, tj. proces konvencionalnog aktivnog mulja, pre svega iz sledećih razloga:

- Bolja operativna fleksibilnost zbog prisustva primarnih bazena za taloženje;
- Bolji energetski bilans bez obzira na izabranu opciju za tretman mulja.

Što se tice izbora opcija za tretman i kondicioniranje mulja, vrlo je važno da se izbalansiraju postojeća moguća rešenja za ponovno korišćenje mulja i za eliminaciju. Nekoliko mogućnosti je već pomenuto: ponovno korišćenje u zemljoradnji, korišćenje kao gorivo u pećima cementara, sagorevanje na licu mesta, resagorevanje u postrojenju za sagorevanje zajedno sa komunalnim otpadom, deponovanje kao privremeno rešenje do realizacije dugoročnog rešenja za ponovno korišćenje ili eliminaciju.

Drugi tehnički faktor, koji treba uzeti u razmatranje u vezi utvrđivanja najadekvatnije opcije za ponovno korišćenje, jeste energetski uticaj ponovne upotrebe. (Studija za finansiranje izgradnju i rad Postrojenja za tretman otpadnih voda u Gradu Skoplju, 2016)



## ZAKLJUČAK

Nakon razmatranja i odabira optimalnog rešenja za tretman otpadnih voda za Postrojenje za Grad Skoplje, može se izvesti zaključak :

- Rešenje 4 dozvoljava maksimalizaciju proizvodnje biogasa zbog visoke efikasnosti tretmana za primarno taloženje;
- Rešenje 1 i rešenje 2 imaju manju energetska efikasnost;
- Rešenje 2 obezbeđuje minimalizaciju količina obezvodnjenog mulja.

Kao što se može primetiti, rešenje 2 je najmanje produktivno za mulj. Rešenje 1 ima manji bilans gasa i rešenje 4 je najbolje u odnosu na količinu proizvedenog mulja.

SWOT analiza pokazuje da dva moguća rešenja za tretman otpadnih voda, odnosno tretman produženog aktivnog mulja i aktivnog mulja sa primarnim taloženjem, imaju mnogo sličnih tehničkih karakteristika bez obzira koji kriterijumi su posmatrani. Iz tog razloga oba rešenja mogu da budu izabrana kao konačno, imajući u vidu da oba pokazuju zadovoljavajuće rezultate, kako na postizanje zahtevanih standarda, tako i u odnosu na investicione troškove (Ilić i Presburger Ulniković, 2017).

Ipak, konačna preporuka za tretman u budućem Postrojenju za Grad Skoplje je rešenje 2 - proces aktivnog mulja i primarnog taloženja, tj. proces konvencionalnog aktivnog mulja, pre svega iz sledećih razloga:

- Bolja operativna fleksibilnost zbog prisustva primarnih bazena za taloženje;
- Bolji energetski bilans bez obzira na izabranu opciju za tretman mulja.

Izgradnjom Postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda grad Skoplje će imati velike koristi imajući u vidu poboljšanje kvaliteta vode reke Vardar i kvaliteta podzemnih voda koje prate tok reke Vardar, što će omogućiti ponovnu upotrebu vode u svrhu navodnjavanja i popraviti uslove za razvoj i opstanak akvatične flore i faune, sa poboljšanjem kvaliteta vode smanjiće se rizik od pojava grupa crevnih oboljenja gde se kao osnovni uzrok pojavljuju bakteriološki neispravni uzorci vode za piće ili otpadne vode koja se koristi za navodnjavanje.

Takođe se omogućava brži društveni razvoj na nivou regiona, kao i bolji kvalitet života.

Mogu se pretpostaviti i mogući negativni uticaji predloženog projekta za vreme izgradnje Postrojenja, kao i tretmana otpadnih voda u Postrojenju u operativnoj fazi.

Analiza uticaja na životnu sredinu uzima u obzir sve moguće promene, negativne ili pozitivne, bioloških, fizičko - hemijskih i socio - ekonomskih aspekata za životnu sredinu, koji mogu da proisteknu realizacijom projekta. Nivo promena definiše i njihov značaj, što se procenjuje na osnovu prostora gde se oseća promena, vreme koliko ona traje, kao i na osnovu njenog intenziteta.

## LITERATURA:

- Gaćeša, S., Klačnja, M., Tehnologija vode i otpadnih voda, Jugoslovensko udruženje pivara, Beograd,(1994)
- Povrenović, D., Knežević, M., Osnove tehnologije otpadnih voda, Tehnološko – metalurški fakultet, Beograd,(2013)
- Studija za finansiranje izgradnju i rad Postrojenja za tretman otpadnih voda u Gradu Skoplju, EGIS EAU (Republika Francuska), BAR E.C.E. (Skoplje), 2016.godine
- Studija za zaštitu životne sredine za Postrojenje za preradu otpadnih voda Grada Skoplja, Ministarstvo za životnu sredinu i prostorno planiranje Republike Makedonije,(2008)
- European Council Directive 91/271/EEC of 21 May 1991 concerning urban wastewater treatment (Direktiva o urbanim vodama 91/271/EEC)
- Zakon o vodama(Сл. Весник РМ бр. 87/08, 6/09, 161/09, 83/10, 51/11, 23/13 – 23.02.2013.)
- Ilić M., Presburger Ulniković V., Odabir optimalnog tretmana otpadnih voda na primeru postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda grada Skoplja, IV naučno – stručni skup POLITEHNIKA 2017, Beograd 8. decembar 2017. Zbornik radova: sekcija b – zaštita životne sredine, COBBIS.SR-ID 252201228, ISBN: 987-7498-074-3, pp 136-142

## IZBOR POSTUPKA OBRADE OTPADNIH VODA I MULJA U GRADU KIČEVO

Vladanka Presburger Ulniković, Marko Ilić,  
Sanja Mrazovac Kurilić, Violeta Cibulić

*Fakultet za ekologiju i zaštitu životne sredine, Univerzitet "Union-Nikola Tesla"  
11000 Beograd, Cara Dušana 62-64. Email: [vladankap@gmail.com](mailto:vladankap@gmail.com)*

### REZIME

U radu je prikazan kratak pregled ključnih elemenata Studije izvodljivosti izgradnje kanalizacionog sistema za posmatranu aglomeracionu zonu i rekonstrukciju postojećeg kanalizacionog sistema u gradu Kičevo, kao i izgradnju postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda. Posebna pažnja je posvećena odabiru metoda za prečišćavanje vode. Cilj rada je da pokaže značaj izgradnje postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda u odnosu na poboljšanje životnih i ekoloških uslova u opštini Kičevo.

KLJUČNE REČI: kanalizacioni sistem, postrojenje za prečišćavanje otpadnih vode, životna sredina.

## SELECTION OF THE PROCEDURE FOR WASTEWATER AND SLUDGE TREATMENT IN THE CITY OF KIČEVO, MACEDONIA

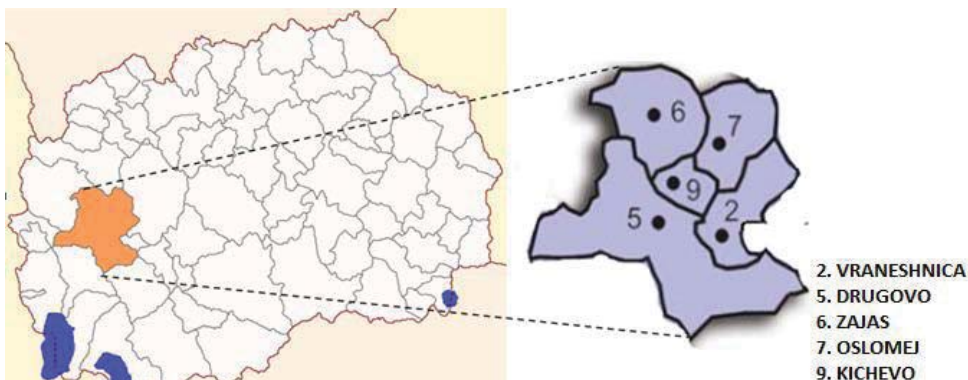
### ABSTRACT

The paper presents a short overview of the key elements of the Feasibility Study for the construction of a sewage system for the observed agglomeration zone and the reconstruction of the existing sewerage system in Kicevo, as well as the construction of a wastewater treatment plant. Particular attention has been paid to the selection of water purification methods. The aim of the paper is to show the importance of building a wastewater treatment plant in relation to the improvement both of living and ecological conditions in the municipality of Kicevo.

KEY WORDS: sewage system, wastewater treatment plant, environmental protection

## UVOD

Opština Kičevo se nalazi u jugozapadnom delu Makedonije, u Kičevskoj dolini koja predstavlja jasno oblikovanu prirodnu celinu okruženu sa svih strana visokim planinama. Kičevska dolina pripada gornjem toku reke Treska, na severu se prostire do prevoja Straška, sa zapadne strane se naslanja na planinu Bistra, ka jugu se širi do Ilinskih planina a na istoku se naslanja na severno Poreče. Po administrativnim promenama iz 2013. godine, pet opština su spojene u jednu celinu i čine opštinu Kičevo. Shodno trenutnoj teritorijalnoj podeli opštinu čine naselja Zajas, Oslomej, Kičevo, Drugovo i Vraneštica sa okolnim selima. Po procenama sa kraja 2014. godine, ukupan broj stanovnika područja je 57.153. Opština Kičevo se prostire na 838 km<sup>2</sup>. Kroz centar Kičeva teče reka Sušica, pritoka Zajaske reke. Zajaska reka teče nizvodno kroz Kičevo, deleći grad na dva dela i uliva se u reku Treska, jednu od najznačajnijih pritoka Vardara, južno od grada. (Državni zavod za statistiku (DZS), Republika Makedonija, 2015).



*Slika 1: Lokacija opštine Kičevo*  
Figure 1: Location of Kičevo municipality

## OPIS LOKACIJE

U okviru studije izvodljivosti iz 2015. godine, tri lokacije su bile razmatrane kao potencijalne lokacije postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda.

Imajući u vidu tehničke, ekološke i socijalne kriterijume izabrana je lokacija u neposrednoj blizini Zajaske reke, oko 1 km jugoistočno od grada Kičeva, na oko 500 m od opštinske deponije i na oko 560 m udaljenosti od najbližih kuća. (Safeg, 2015a)

## PRAVAC PRUŽANJA GLAVNOG KOLEKTORA

Analizirane su dve različite rute glavnog kolektora. Obe rute se pružaju sa severnog kraja grada Kičeva do odabrane lokacije za postrojenje za prečišćavanje otpadnih voda.

U odnosu na tehničke i finansijske uslove odabrana je ruta desne obale Zajaske reke. (Safege, 2015a, Safege, 2015c).

#### KAPACITET POSTROJENJA

Ukupan kapacitet postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda je projektovan za 45.000 korisnika.

Uzevši u obzir dostupan budžet, planirana je izgradnja postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda u dve faze. Prva faza će obuhvatiti priključenje za 32.000 korisnika, dok će druga faza obuhvatiti preostalih 13.000 korisnika. (Safege, 2015a)

#### ODABRANI POSTUPAK OBRADJE OTPADNIH VODA I MULJA

Uzimajući u obzir ukupnu trenutnu situaciju koja podrazumeva okruženje, tehničko-tehnološke faktore, poslovno-organizacione faktore, troškove, potencijalne benefite, Studijom izvodljivosti su razmatrane sledeće metode obrade otpadnih voda i mulja:

- Konvencionalni proces aktivnog mulja sa anaerobnom digestijom mulja;
- Produžena aeracija – sekundarni tretman aktivnog mulja sa aerobnom stabilizacijom;
- SBR (proces sa količinskim sekvencijalnim reaktorom);
- Produžena aeracija – tretman aktivnog mulja sa membranskim procesom;
- Procedni filteri.

Na osnovu finansijskih, tehničkih i ekoloških kriterijuma izabrana je metoda produžene aeracije sa sekundarnim tretmanom aktivnog mulja sa aerobnom stabilizacijom. (Safege, 2015a).

#### ANALIZA OPCIIJA

Cilj ove analize je da se utvrdi najefikasniji način da se ostvari povezivanje naseljenih mesta koja su pokrivena projektom, sa sistemom za prikupljanje otpadnih voda, a samim tim i sa postrojenjem za prečišćavanje otpadnih voda, uzimajući istovremeno u obzir finansijske i tehničke mogućnosti. Studija izvodljivosti je razvijena na osnovu proračuna projekcije stanovništva i proračuna protoka i količine otpadnih voda, ali su pri tome primenjeni rezultate prethodno pripremljene i odobrene dokumentacije. (Safege, 2015a).

Tretman otpadnih voda je sproveden u skladu sa EU direktivama. (Directive 83/477/EEC, 1983, Directive 91/271/EEC, 1991 i Directive 2000/60/EC, 2000).

Glavni rezultati već odabranih dokumenata koji su neophodni za studiju, odnosili su se na:

- Glavni kolektor; (Safege, 2015c)
- Lokacija postrojenja;
- Ukupni kapacitet postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda projektovan na 45.000 korisnika.

## ZAKLJUČAK

Izgradnjom postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda će se poboljšati životni uslovi lokalne zajednice. Direktni i indirektni efekti projekta su procenjeni u skladu sa sledećim elementima: stanovništvom, florom i faunom, zemljištem, vodom, vazduhom, pejzažem, klimatskim uslovima kao i sa kulturnim i istorijskim zaostavštinom. Smanjenje negativnih efekata na životnu sredinu će se, pre svega, postići kroz bolje vodosnabdevanje i kvalitetniju obradu otpadnih voda, odnosno kroz minimizaciju rizika zagađenja životne sredine emisijom zagađujućih materija iz otpadnih voda.

## LITERATURA

- “Statistički Pregled – Stanovništvo i Socijalna Statistika” (2015), Državni zavod za statistiku (DZS), Republika Makedonija
- Feasibility study and cost benefit analysis for wastewater collection investment projects in the municipality of Kičevo (2015) Safege, Belgrade
- WWTP outline design, for projects in the municipality of Kičevo (2015) Safege, Belgrade
- Directive 83/477/EEC (1983) on the protection of workers from the risks related to exposure to asbestos at work, OJ L 263, 24.9.1983, p. 25–32
- Directive 91/271/EEC (1991) concerning urban waste-water treatment, OJ L 135, 30.5.1991, p. 40–52
- Directive 2000/60/EC (2000) of the European Parliament and of the Council establishing a framework for Community action in the field of water policy, OJ L 327, 22.12.2000, p. 1–73
- Main collector detailed design for projects in the municipality of Kičevo, 2015, Safege, Belgrade
- Ilić M., Presburger Ulniković V., Positive effect of waste water treatment plant construction on the environment within Kičevo Municipality, XXV International Conference „ Ecological Truth“ EKO IST17

## TRETMAN OTPADNOG MULJA OD PREČIŠČAVANJA KOMUNALNIH OTPADNIH VODA I NJEGOVA VALORIZACIJA

Biljana Jordanoska-Šiškoska\*, Valentina Pelivanoska\*,  
Momčula Jordanoski\*\*, Ziba Resmi\*\*\*

\* *NI za tutun Prilep, DU "Sv. Kliment Ohridski" Bitola, R. Makedonija*

\*\* *Veterinarni fakultet Bitola, DU "Sv. Kliment Ohridski" Bitola, R. Makedonija*

*Email: [mjordanoski@yahoo.com](mailto:mjordanoski@yahoo.com)*

\*\*\* *Međuopćinsko preduzeće PROAKVA, Struga, R. Makedonija*

### REZIME

U savremenom svetu jedan od najakutnijih problema, jeste problem otpadnih materijala. Posebno mesto zauzima otpadni mulj sa postrojenja za tretman komunalnih otpadnih voda. Otvoreno je pitanje što treba da se preduzme za rešavanje problema sa otpadnim materijalom posle tretmana komunalnih otpadnih voda. Cilj ovog rada jeste sublimacija rezultata istraživanja nacionalnog projekta "Istraživanje mogućnosti hemijsko-tehnološkog tretmana mulja sa postrojenja za prečišćavanje komunalnih otpadnih voda i dobijanje kompleksnih đubriva" koji se odvijao u dve faze. Prva faza istraživanja sadržala je laboratorijska i pilot istraživanja sprovedena na otpadnom mulju sa postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda Vraništa kod Struge. Druga faza je uključila rad na terenu kako bi se definisali efekti proizvedenog organsko-mineralnog đubriva. Korišćenjem otpadnog mulja stvaraju se uslovi za čistiju životnu sredinu, jer se eliminiše niz problema pri njegovom odlaganju. Kako je nacionalna regulativa u ovoj oblasti bila nepotpuna, korišćeni su propisi Evropske unije.

KLJUČNE RIJEČI: otpadna voda, mulj, postrojenje za prečišćavanje, organsko-mineralno đubrivo

## TREATMENT OF WASTE SLUDGE FROM MUNICIPAL WASTEWATER TREATMENT AND ITS VALORIZACION

### ABSTRACT

In the modern world, one of the most acute problems is the problem of waste materials. In that regard, treatment and disposal of waste sludge from treatment plants from municipal wastewater treatment is of particular importance. The question is what should be done to solve the problems with waste material after treatment of municipal waste water. This paper provides an overview of the results of the research conducted within the national project "Investigation of the possibility of chemical and technological treatment of sludge from the municipal wastewater treatment plants and producing complex fertilizers", which consists of two phases. The first phase of the research included laboratory and pilot investigations on the waste sludge from the Vraniste wastewater treatment plant near Struga. In the second phase, the field trials were performed to define the effects of the produced organic-mineral fertilizer. The use of waste sludge creates conditions for a cleaner environment, as it eliminates a number of problems with its disposal. As the national regulations in this area were incomplete, the European Union regulations were used.

**KEY WORDS:** waste water, sludge, treatment plant, organic-mineral fertilizer



## PREČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA OBRENOVCA

Marko Babić\*, Aleksandar Đukić\*\*

\* *NIRAS SR doo., Lepenička 7, Beograd, email: [marko.babic93@yahoo.com](mailto:marko.babic93@yahoo.com)*

\*\**Univerzitet u Beogradu – Građevinski fakultet, Bul. kralja Aleksandra 73,  
Beograd, email: [djukic@grf.bg.ac.rs](mailto:djukic@grf.bg.ac.rs)*

### REZIME

U radu je prikazano rešenje postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda (PPOV) Obrenovca. Analizirani su rezultati merenja količine i kvaliteta otpadnih voda na postojećem ispustu u reku Kolubaru, na osnovu kojih su određene merodavne vrednosti za dimenzionisanje PPOV i usvojen je postupak tretmana. Izvršeno je tehnološko dimezionisanje objekata postrojenja i urađen je detaljan hidraulički proračun. Procenjena je investiciona vrednost izgradnje objekata, kao i fiksni i varijabilni operativni troškovi.

KLJUČNE REČI: prečišćavanje otpadnih voda, kanalizacioni kolektor, hidraulički proračun

## WASTEWATER TREATMENT OF OBRENOVAC MUNICIPALITY

### ABSTRACT

This paper presents technical solution of the wastewater treatment plant (WWTP) for the city of Obrenovac. The results of wastewater quantity and quality measurements at the existing outlet in the Kolubara River were analyzed, design criteria for WWTP were determined and process flowchart was defined. Sizing of plant facilities was carried out followed by detailed hydraulic calculations. Total investments for new wastewater transport and treatment facilities are estimated, as well as fixed and variable operational costs.

KEY WORDS: wastewater treatment, sewage collector, hydraulic calculation

### UVOD

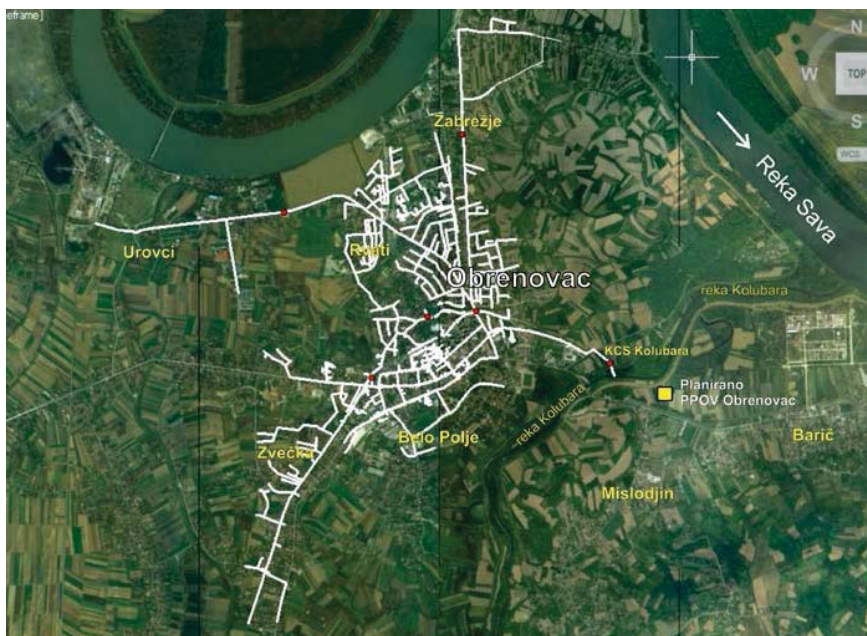
Obrenovac je beogradska opština u kojoj živi nešto više od 72.000 stanovnika. Samo naselje Obrenovac predstavlja centar opštine i u njemu je, po popisu iz 2011. godine, živelo oko 25.000 stanovnika.

Kanalizacija u Obrenovcu je izvedena po separacionom sistemu – posebno se skupljaju i kanališu upotrebljene vode iz domaćinstava a posebno atmosfere padavine. Pored

domaćinstava, na kanalizacioni sistem za upotrebne vode je priključena i lokalna industrija kao i razne uslužne delatnosti u vidu auto perionica, benzinskih pumpi itd. Pored Obrenovca, kanalizacioni sistem pokriva i naselja koja gravitiraju ka Obrenovcu i to su: Belo Polje, Zabrežje, Zvečka, Krtinska, Rvati i Urovci (leva obala Kolubare) kao i Barič i Mislodjin (desna obala Kolubare). Sakupljene upotrebne vode se dovode sve do kanalizacione crpne stanice (KCS) „Kolubara“ odakle se, bez prečišćavanja otpadna voda prepumpava preko zaštitnog nasipa i ispušta u reku Kolubaru, uzvodno od njenog ušća sa Savom. Postojeća kišna kanalizacija značajno je manje razvijena od kanalizacije za upotrebne vode i izgrađena je samo u pojedinim delovima naselja Obrenovac.

Katastrofalne poplave 2014. godine su uništile veći deo opreme u kanalizaciji, a deo kanalizacione mreže je bio oštećen ili zasut muljem. Kanalizacioni sistem je očišćen i delimično saniran tako da je ponovo u funkciji, ali očigledno je će doći do odlaganja u realizaciji planiranog razvoja kanalizacione infrastrukture Obrenovca.

Nedavno je usvojen „Plan detaljne regulacije za izgradnju postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda na lokaciji uz reku Kolubaru - gradska opština Obrenovac“ koji predviđa lokaciju budućeg PPOV se nalazi u severoistočnom delu opštine Obrenovac, uz reku Kolubaru. Predmet ovog rada je analiza podataka o količini i kvalitetu otpadnih voda i analiza tehničkog rešenja postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda Obrenovca pre ispuštanja u reku Kolubaru. Prikaz postojeće kanalizacije mreže Obrenovca i planiranog položaja PPOV je dat na slici 1.



Slika 1. Pregledna situacija Obrenovca sa postojećom mrežom kanalizacije za upotrebne vode i položajem planiranog PPOV Obrenovac

Figure 1. Layout of Obrenovac with existing sanitary sewer network and planned WWTP location

## KOLIČINE OTPADNIH VODA – POSTOJEĆE STANJE

Za potrebe određivanja količina otpadnih voda, od velike važnosti je izvršiti merenja na terenu. U proteklom periodu obavljene su dve serije merenja količina i kvaliteta otpadnih voda na glavnom, izlaznom kolektoru za upotrebljenu vodu Obrenovca, na osnovu kojih će se dobiti verodostojni podaci za analizu i dimenzionisanje budućeg PPOV. U ovom radu obrađivani su sledeći rezultati merenja:

- Merenja na glavnom ispustu kanalizacije vršena 2013. godine od strane Građevinskog fakulteta iz Beograda (nadalje u tekstu: GFB, 2013)
- Merenja na glavnom ispustu kanalizacije iz 2015. godine koje je izvršio Institut Jaroslav Černi (nadalje u tekstu: IJC, 2015).

Kako se između ove dve serije merenja dogodila katastrofalna poplava, poređenjem rezultata će moći da se izvuku zaključci da li poplava uticala na izmenu režima rada kanalizacije.

### Merenja izvršena 2013. godine (Građevinski fakultet, 2013)

Celokupna prikupljena upotrebljena voda gravitira ka jednom jedinom ispustu, odnosno skuplja se u crpnoj stanici „Kolubara“, odakle se voda prepumpava kroz cev DN500 preko zaštitnog nasipa u reku Kolubaru. Karakteristike KCS Kolubara (GFB, 2013):

Objekat:

- Nadzemni deo: 17,8 x 8,0 m
- Podzemni deo: cilindričnog oblika dubine 8m i prečnika 7,2m

Pumpe:

- 2 x FLYGT CP 3300 MT (34 kW) – radne
- 1 x ZENIT SBN 3000/6/300 A1LT-E (22kW) – hladna rezerva

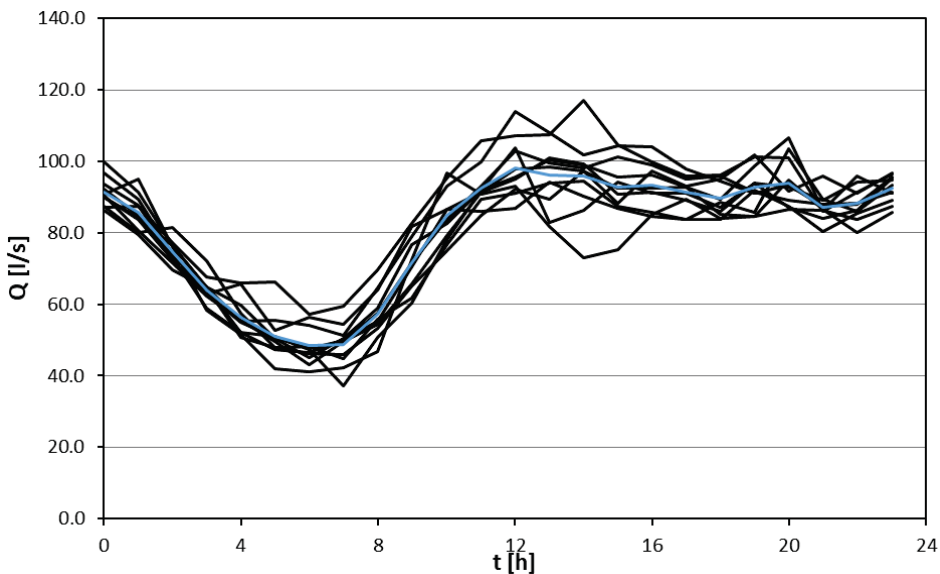


Slika 2. KCS Kolubara: spoljni izgled (levo), rešetka na dovodnom kolektoru (desno)

Figure 2. PS Kolubara: the building (left), screen at incoming trunk sewer (right)

Merenja brzine u tri različite tačke po visini su vršena pomoću EM sonde, i za veliku i za malu pumpu. Merenje je prvo izvršeno u sredini cevi kao i iznad i ispod centra cevi na odstojanju  $\Delta h=140\text{mm}$ . Na sledećoj slici se vide položaji tačaka u kojima je izvršeno

merenje brzine. Pri radu obe pumpe, za svaku tačku su izvršena po tri očitavanja brzina. Kada je izračunat protok, određena je zavisnost između očitanih protoka na ultrazvučnom merilu i protoka dobijenog proračunom. Sumarni obrađeni rezultati merenja protoka na poptisu KCS Kolubara, u periodima bez kiše, su dati na narednoj slici.



Slika 3. Dijagram promene protoka u periodu od 10.07. – 22.08.2013 (GRF, 2013)  
Figure 3. Recorded diurnal flow variations in period 10 July – 22 August 2013 (GRF, 2013)

#### Merenja izvršena 2015. godine (Institut Jaroslav Černi, 2015)

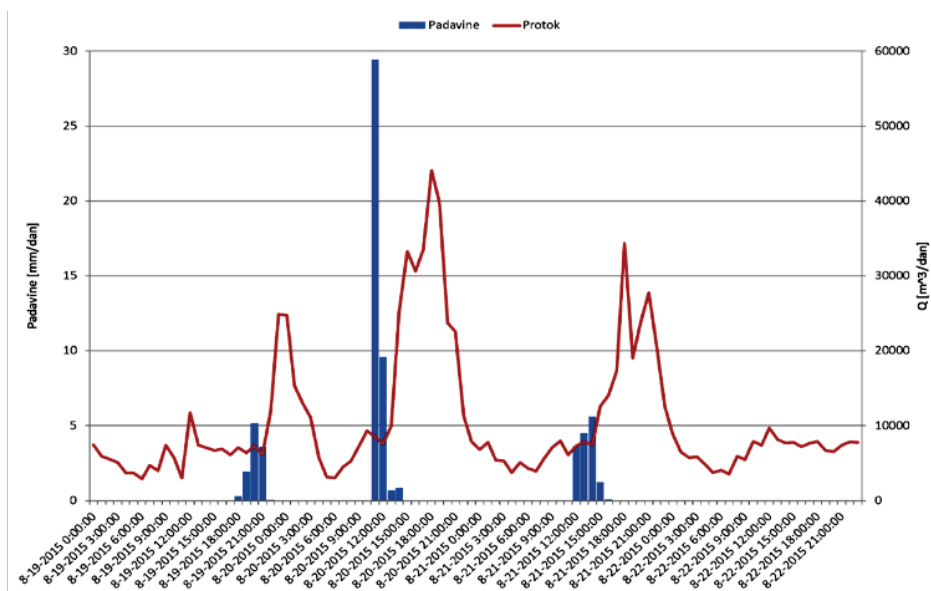
Institut Jaroslav Černi je, za potrebe merenja 2015. godine, koristio ultrazvučno merilo protoka na principu „transit time“. Ovakvo merenje se bazira na primeni sonde za emitovanje i prijem ultrazvučnog signala. Ova metoda je posredna, jer se meri srednja brzina fluida preko vremena prostiranja zvuka između sonde. Merenja protoka su izvršena na potisnom cevovodu (postojeći ultrazvučni merač), na odvodnom kanlu u reku Kolubaru. Takođe su vršena i simultanma merenja padavina na namenski postavljenom kišmeru u Obrenovcu.

Na narednom dijagramu su zbirno prikazane padavine i časovni proticaji za period u kome je bilo padavina.

Iz obrađenih rezultata merenja protoka koja su obavili Građevinski fakultet u Beogradu (GFB, 2013) i Institut "Jaroslav Černi" (IJČ, 2015) može se zaključiti:

- Prosečne dnevne količine otpadnih voda u obe serije merenja su slične i iznose 72,7 L/s (IJČ, 2015) odnosno 79,7 L/s (GFB, 2013).
- Prosečna specifična količina otpadnih voda (za oko 25.000 priključenih stanovnika) iznosi oko 260 L/st.dan.

- Koeficijenti časovnih neravnomernosti, za obe serije merenja, variraju u relativno uskom opsegu (0,58-1,22), što ukazuje na povećanu infiltraciju.
- Merenja nisu ukazala na bitnu promenu dnevnog protoka ili dijagrama časovne neravnomernosti za radne dane i vikend.
- Merenja GFB ukazuju da je u periodu merenja protoka oko 25 – 35 L/s infiltriranih voda u proseku ulazilo u kanalizaciju za upotrebljene vode Obrenovca, što daje specifičnu infiltraciju u opsegu od 37 do 50 m<sup>3</sup>/dan po km (0,42-0,58 L/s/km) postojeće kanalizacione mreže u Obrenovcu, ili do 0,06 L/s po hektaru (procenjena ukupna površina pod kanalizacijom oko 600 hektara),
- Uticaj kiše na protok otpadnih voda je prilično izražen: pri slabim padavinama (visina pale kiše 5 mm) protok na ispustu raste do 300 L/s, a pri jačem pljuskaju (visina pale kiše 30 mm), protok na ispustu dostiže i preko 500 L/s.



Slika 4. Uporedni prikaz padavina i oticaja na KCS od 19. do 22.08.2015. g. (IJČ, 2015)  
Figure 4. Rainfall and wastewater flows at PS Kolubara from 19 to 22 August 2015 (IJČ, 2015)

#### KVALITET OTPADNIH VODA – POSTOJEĆE STANJE

Tokom obe kampanje merenja (GFB 2013 i IJČ 2015) zahvatani su 24-časovni kompozitni uzorci otpadne vode proporcionalni protoku. Analize ukazuju da je povećana infiltracija, odnosno da su otpadne vode razblažene i da su koncentracije zagađenja u otpadnoj vodi manje od uobičajenih, naročito za ukupni fosfor. Najveći deo HPK i BPK<sub>5</sub> se nalazi u partikulatnom obliku.

Tokom perioda merenja, nisu registrovane koncentracije štetnih materija koje mogu ugroziti biološko prečišćavanje otpadnih voda ili ugroziti objekte kanizacionog sistema.

Prema standardu opterećenja po ekvivalentnom stanovniku (standard ATV 131), ukupno opterećenje na KCS Kolubara u toku merenja je iznosilo oko 20-25 hiljada ES.

#### POTREBAN KAPACITET I FAZNOST IZGRADNJE PPOV

Projekcija količina i kvaliteta otpadnih voda je urađena na osnovu planske dokumentacije, jer ona definiše prostorni razvoj naselja, vodeći računa o kapacitetima prostora i infrastrukture. Takođe korišćeni su i podaci merenja u kanalizaciji 2013. i 2015. godine za određivanje pojedinih komponenti u otpadnim vodama, kao i preporuke iz literature.

Procenjen maksimalni broj priključenih stanovnika na kanalizaciju u budućnosti iznosi skoro 51 hiljada stanovnika. Postojeći broj priključenih stanovnika je oko 25.000. Uzimajući u obzir priključenje ustanova i drugih korisnika na kanalizaciju, uticaj kišnih voda i druge faktore., maksimalno opterećenje otpadne vode iznosi na kraju projektnog perioda, prema standardu ATV 131, blizu 60 hiljada ES.

S obzirom na dosadašnji usporeni razvoj kanalizacije usvojena je fazna realizacija PPOV Obrenovac. U I fazi je predviđena gradnja postrojenja za 40.000 ES, dok bi u konačnoj fazi postrojenje bilo prošireno za 50% kapaciteta, tako da ukupan kapacitet postrojenja bude 60.000 ES. Nadalje će detaljni biti prikazana I faza izgradnje PPOV Obrenovac. Usvojena hidraulička opterećenja PPOV u I fazi su data u narednoj tabeli

Tabela 1. Ukupna hidraulička opterećenja - I faza PPOV  
Table 1. Total hydraulic loads – I phase of WWTP

Protok	Jedinica	Vrednost
Prosečan godišnji protok	m <sup>3</sup> /dan	9500
Maksi. dnevni protok u suvo vreme	m <sup>3</sup> /dan	11900
Maks. protok pri suvom vremenu	l/s	173
Maks. protok pri kišnom vremenu	l/s	520

#### OPIS PRVE FAZE PPOV OBRENOVAC

Kapacitet I faza izgradnje PPOV Obrenovac je 40.000 ES. I faza PPOV uključuje dovod otpadne vode (rekonstrukcija KCS Kolubara, novi cevovod ispod reke Kolubara, gravitacioni dovod na PPOV) i objekte tretmana vode i mulja na PPOV Obrenovac.

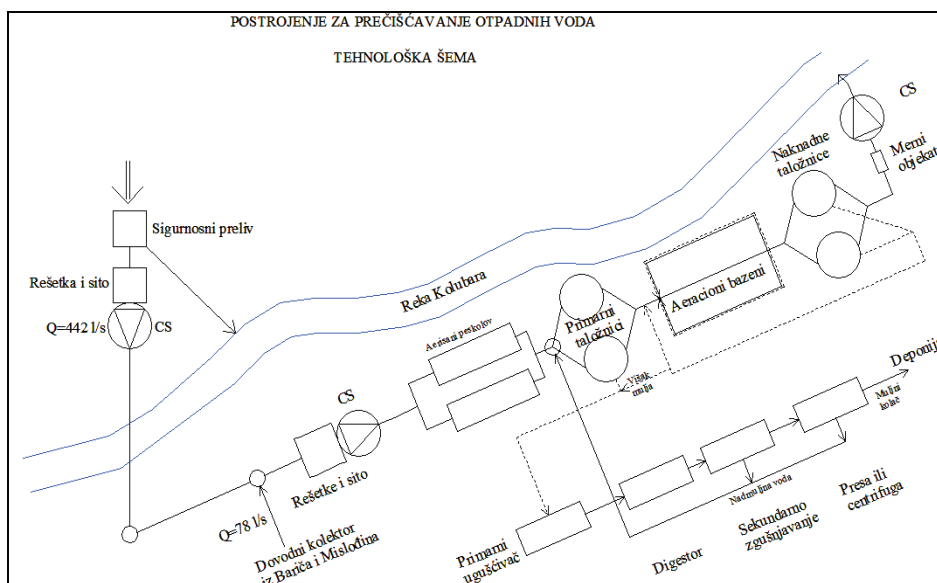
Lokacija je određena planskim dokumentima (Plan detaljne regulacije), a rešenje treba da bude takvo da rezerviše prostor za drugu fazu izgradnje postrojenja kada će se njegov kapacitet povećati za 50%. Ukupna površina zemljišta rezervisana za PPOV Obrenovac je oko 2,7 ha. Lokacija postrojenja je u području branjenom od poplava, odmah pored zaštitnog nasipa reke Kolubare.

Teren na lokaciji budućeg PPOV Obrenovac obuhvata zemljište koje se danas koristi za poljoprivrednu proizvodnju, sa kotama terena između 74,0 i 74,6 mnm. Na ovom nivou analize usvojeno je da će uređenje lokacije obuhvatiti uklanjanje površinskog sloja organskog i stišljivog tla dubine oko 1 m i nasipanje cele lokacije do kote 75,0 mnm (kota nakon konsolidacije i zbijanja materijala).

Kvalitet prečišćene vode budućeg PPOV Obrenovac u I fazi treba da ispuni zahteve domaće i EU regulative.

Na osnovu kvaliteta upotrebljenih otpadnih voda Obrenovca i zahtevanih emisionih graničnih vrednosti prema domaćim i EU propisima usvojen je postupak prečišćavanja otpadnih voda Obrenovca koja uključuje mehanički i biološki tretman otpadnih voda sa aktivnim muljem, uklanjanjem azota nitrifikacijom-denitrifikacijom i uklanjanjem fosfora dodavanjem soli gvožđa. Usvojena je anaerobna obrada mulja, koja pored nešto većih početnih ulaganja, ima prednosti u pogledu ukupne potrošnje energije PPOV. Objekti dovodnih kolektora, crpne stanice na postrojenju, rešetki i odvoda prečišćene vode se odmah grade za kapacitete potrebne za krajnju fazu postrojenje, jer je ove objekte veoma teško proširivati. Izabrani postupak je proveren i dokazan u praksi.

Blok shema prve faze PPOV Obrenovac je prikazana na narednoj slici.



Slika 5. I faza PPOV Obrenovac – blok shema  
Figure 5. WWTP Obrenovac I phase – flowchart

Sprovedeno je preliminarno tehnološko dimenzionisanje objekta na liniji ovde i mulja i urađen je detaljni hidraulički proračun linije vode.

#### PROCENA INVESTICIJA I OPERATIVNIH TROŠKOVA I FAZE

Investicije I faze obuhvataju sledeće:

- Rekonstrukcija KCS Kolubara
- Dovod otpadne vode do PPOV Obrenovac (izgradnju cevovoda DN700 ispod reke Kolubara i novi gravitacioni kolektor do PPOV)
- Uređenje terena na lokaciji PPOV Obrenovac (usvojeno je uklanjanje površinskog sloja dubine oko 1 m i delimično nasipanje cele lokacije do kote 75,0 mmm).
- I faza samog Postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda (PPOV) Obrenovac

Sa obzirom na to da u Srbiji postoji mali broj izvedenih postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda i da su podaci o investicijama u ove objekte nepotpuni i uglavnom nedostupni, za procenu investicija u analizirano PPOV Obrenovac korišćeni su podaci iz literature. Kao posebno pogodna za korišćenje pokazala se studija o investicijama i troškovima izvedenih postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda u Evropskoj Uniji koja je urađena za potrebe Generalnog Direktorata za životnu sredinu Evropske Komisije (DG Environment, European Commission), pod naslovom: Compliance Costs of the Urban Wastewater Treatment Directive, Final report, September 2010. for DG Environment prepared by, Cowi A/S, Denmark, Document no. 70610-D-DFR. U navedenom izveštaju sumirani su podaci za zemlje EU u pogledu investicija i troškova u kanalizacione sisteme i postrojenja za prečišćavanje gradskih otpadnih voda. Date su procene potrebnih investicija i troškova sa kojima će se pojedine zemlje suočiti kako bi ispunile zahteve iz EU Direktive o gradskim otpadnim vodama (Council Directive 91/271/EEC). Potrebne su dalje studije i analize koje bi pokazale da li preporuke iz ove literature se mogu direktno primeniti na ulove u Srbiji, ili je potrebno primeniti neke korekzione koeficijente.

Primenom metodologije iz navedene literature, dobija se da jedinične investicije u I fazu PPOV Obrenovac iznose 295 EUR/ES, što daje ukupne investicije u PPOV od 11.800.000,- Eur. Kada se na ovo dodaju procenjene investicije na gorenavredene druge pripadajuće objekte i radove, ukupne investicije su procenjene na nivou od 13,7 milion Eur.

Operativni troškovi predstavljaju troškove rada i održavanja postrojenja, i uključuju fiksne (radna snaga, održavanje, i dr.) i varijabilne (potrošnja električne energije, potrošnja hemikalija) troškove. Primenom metodologije iz navedene literature, dobija se da ukupni operativni troškovi prve faze PPOV Obrenovac, zajedno sa novim dovodom otpadne vode iznose 586.700,- Eur/god, odnosno 14,67 Eur/ES.god (ili oko 0,17 Eur/m<sup>3</sup>).

### Zahvalnica

Rezultati objavljeni u ovom radu su ostvareni u okviru projekta tehnološkog razvoja Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije (projekti TR 37010 i TR37009).

### LITERATURA:

- DG Environment: Compliance Costs of the Urban Wastewater Treatment Directive, Final report, September 2010. for DG Environment prepared by, Cowi A/S, Denmark, Document no. 70610-D-DFR
- Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu: Merenja protoka otpadnih voda (2013)
- Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“: Merenje količina i kvaliteta otpadnih voda na teritoriji GO Obrenovac (2015)
- Ljubisavljević D., Babić B., Đukić A.: Prečišćavanje otpadnih voda, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, (2004)
- Metcalf & Eddy: Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse, McGraw Hill Inc., NY, USA (1991)
- Zakon o vodama RS ("Službeni glasnik RS", br. 30/2010, 93/2012 i 101/2016)



## SBR TEHNOLOGIJA PREČIŠĆAVANJA KOMUNALNIH OTPADNIH VODA OPŠTINE BILEĆA, REPUBLIKA SRPSKA

Ivana Jonlija, Olja Aleksić, Adrijana Vučurević

*Hidroelektrane na Trebišnjici, Obala Luke Vukalovića 2, Trebinje*

### REZIME

Direktiva o Vodama EU nametnula je obavezu da se prečišćavanjem obuhvate i manja naselja (preko 2000 stanovnika). Zahtjev je da se tehnologija prečišćavanja pojednostavi i da se gabariti postrojenja smanje, obzirom da su otpadne vode opštine Bileća bez prethodnog tretmana ispuštane u akumulaciju Bilećko jezero koje je dragocjen vodni i ekološki potencijal za Republiku Srpsku. 2006. godine pristupilo se izradi projekta postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda (PPOV). Primjenjena je savremena SBR tehnologija koja je omogućila realizaciju PPOV visoke efikasnosti. Postrojenje je pušteno u rad krajem 2011. godine, a efekti prečišćavanja pokazuju odlične rezultate.

KLJUČNE REČI: SBR tehnologija, Bilećko jezero, Direktiva o vodama EU

## SBR TECHNOLOGY WASTEWATER TREATMENT PLANT BILECA

### ABSTRACT

The EU water directive requires that the treatment be included for smaller towns (above 2000 inhabitants). The requirement is that the treatment technology be simplified and that the plant's size be reduced. Given that the wastewater of the Municipality of Bileca, without prior treatment, was discharged into the lake reservoir (Bileca lake) which is an important water and ecological resource for Republic of Srpska, in 2006 design has begun on project for wastewater treatment plant. Up-to-date SBR technology has been applied which enabled the implementation of high efficiency WWTP. The plant was put into the operation in a late 2011, and the effects of treatment are showing excellent results.

KEY WORDS: SBR technology, Bileca lake, The EU Water Directive

## UVOD

Bilećko jezero je ključni dio višenamjenskog hidroenergetskog sistema Trebišnjice, ali i dragocjen vodni i ekološki potencijal. Zato je jedan od ključnih zadataka da se to jezero sa svojom ukupnom zapreminom 1.277,6 milona m<sup>2</sup> održava u stanju najvišeg kvaliteta. Postojeće postrojenje koje je izgrađeno 1967. je zbog neodržavnja i zastarjele tehnologije dugi niz godina bilo van upotrebe. Posljedice su bile ispuštanje otpadnih voda opštine Bileća neposredno u akumulaciju, što je dovelo do pogoršanja kvaliteta vode u akumulaciji i eutrofikacije. Nakon što je ocijenjeno da je projekat revitalizacije starog postrojenja ekonomski neprihvatljiv, odlučeno je da se pristupi projektovanju i realizaciji novog postrojenja, uz primjenu najsavremenijih tehnologija, koje su u međuvremenu razvijene u svijetu.

## PRINCIP RADA POSTROJENJA

Glavni tretman otpadnih voda naselja (5000-30.000 stanovnika) se veoma uspješno ostvaruje koristeći SBR tehnologiju (reaktor za raspoređivanje mase u jednom ciklusu). U principu, radi se o klasičnoj metodi tretmana otpadnih voda sa aktivnim muljem i dubinskom aeracijom, ali sa modificovanim i prilagođenim objektom za biološki tretman, pri čemu se tri glavne tehnološke operacije odvijaju u jednom građevinskom objektu.

Tehnološke operacije u bioreaktoru se odnose na:

- Proces punjenja i aeracije
- Proces taloženja i bistrenja tretiranih upotrebljenih voda
- Proces dekantacije izbistrenih voda

Praktično radi se o biološkom reaktoru koji se koristi i kao taložnik uz naizmjenično punjenje i pražnjenje dva identična bazena. Postoji više varijanti SBR sistema koje su zavisno od korisnika modifikovane i prilagođene raznim nivoima tretmana, pri čemu je biološki reaktor podijeljen na dva dijela od kojih je jedan manji i predstavlja tzv. selektor, a drugi veći i predstavlja glavni bioreaktor. Bioreaktori su snabdjeveni difuzorima vazduha koji su raspoređeni po cijeloj površini bazena, pumpama za recirkulaciju aktivnog mulja, kao i uređajima za dekantaciju izbistrene vode koji su specijalno konstruisani da mogu kontrolisano da odvede izbistrenu vodu bez plivajućih materija i povlačenja istaloženog mulja. Sistem automatskog upravljanja SCADA omogućava da se preko sondi za mjerenje koncentracije kiseonika kontrolise njegov sadržaj i unos u reaktor, podešava dinamika i kapacitet rada duvaljki. Intenzivnom i produženom aeracijom u periodu punjenja bioreaktora postižu se pozitivni efekti procesa nitrifikacije i redukcije sadržaja organskog zagađenja. Tu se istovremeno vrši i recirkulacija aktivnog mulja pri čemu se suspenzija aktivni mulj-voda vraća u selektor u kome se odvija proces denitrifikacije i intenzivnog miješanja sa novom sirovom otpadnom vodom.

Nakon prolaska otpadne vode kroz selektor i miješanja sa suspenzijom povratnog aktivnog mulja, masa ulazi u glavni bioreaktor u kome se odvija proces nitrifikacije i razgradnja rastvorenih organskih materija. U trećem dijelu procesa vladaju mirni uslovi bez aeracije,

koji pogoduju aktivnom mulju da se istaloži. Tada se stvara homogena masa flokula mulja, koja se pomiče prema dnu reaktora i nad sobom ostavlja bistri rastvor. Za vrijeme odlivanja očišćene vode iz reaktora punjenje se prekida. Dekanter je izveden tako da sprječava odlivanje plivajućih materija iz reaktora i omogućava ravnomjerno oticanje vode. Na dekanteru su montirani posebni senzori za konstantan preliv vode, kako bi se spriječilo kovitlanje vode i izlazak mulja iz reaktora.

Nakon puštanja postojenja u rad analizirani su uzorci sirove vode i uzorak nakon biološkog tretmana. U Tabeli 1. su dati uporedni podaci fizičko-hemijskih parametara za sirovu vodu, vodu nakon biološkog tretmana i dozvoljene granične vrijednosti prema Pravilniku o uslovima ispuštanja otpadnih voda u površinske vode (Sl.Gl.RS br.44 od 2001.god)

Tabela 1. Uporedni rezultati fizičko-hemijskih parametara  
Table 1. Overview of the results of physico-chemical parameters

Parametar	Jedinica mjere	Otpadna voda	Voda nakon biološkog tretmana	Dozvoljena granična vrijednost
Temperatura vode	°C	10,7	10,1	30,0
pH	Jedinica pH	8,43	7,33	6,5-9,0
Elektroprovodljivost	μS/cm	1086	890	
Ukupne susp. materije	g/m <sup>3</sup>	380	33,0	35
Taložive materije po Inhoff-u	ml/l	26,0	<0,5	0,5
Hemijska potrošnja kiseonika(HPK)	gO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	680	26,8	125
Biohemijska potrošnja kiseonika(BPK <sub>5</sub> )	gO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	308	8,6	25
TOC	gC/m <sup>3</sup>	240	8,4	
Amonijačni azot	gN/m <sup>3</sup>	80	26	
Nitritni azot	gN/m <sup>3</sup>	0,50	0,20	1
Nitratni azot	gN/m <sup>3</sup>	1,1	0,1	10
Ukupni azot po Kjeldhal-u	gN/m <sup>3</sup>	84	27	
Ukupni azot	gN/m <sup>3</sup>	85,6	14,2	15
Ukupni fosfor	gP/m <sup>3</sup>	10,4	0,80	3
Deterdženti	mg/m <sup>3</sup>	8,8	<0,5	

## ZAKLJUČAK

Postrojenje za tretman otpadnih voda urbanog područja opštine Bileća koncipirano je na način da se sekundarni tretman odvija u SBR reaktorima. Osiguran je funkcionalan i automatski rad postrojenja, daljinsko upravljanje i sakupljanje podataka izvršnim sistemom SCADA. Veoma je bitno da su se izgradnjom postrojenja u Bileći stekli uslovi za kvalitetan tretman otpadnih voda, ali i otvorili novi zadaci i obaveze čijom bi se realizacijom u potpunosti zaštitilo Bilećko jezero. To se prevashodno odnosi na razdvajanje postojećeg mješovitog kanalizacionog sistema, stvaranje preduslova za minimalan tretman oborinskih voda.

Zakoni, pravilnici i uredbe o zaštiti voda u Republici Srpskoj su jasni i veoma strogi. Svim stručnjacima koji se bave zaštitom životne sredine preostaje jedino da ih poštuju i da daju svoj puni doprinos na zaštiti prirodnih bogatstava koja su u većini slučajeva ugrožena.

### Zahvalnica

Zahvalnicu dugujemo Zdravku Mrkonji, Šefu službe za laboratorijska istraživanja koji je pomogao u pisanju ovog rada.

### LITERATURA:

- D. Brnjoš, Z. Mrkonja, R. Ivanković, Poboljšanje kvaliteta i održiv razvoj vodnih resursa u opštini Bileća, Prekogranična saradnja u oblasti investicija i planiranja u zaštiti životne sredine (2006)
- N. Sudar, M.Perić, D.Đokić-Vasić Postrojenje za prečišćavanje otpadnih voda Bileća po SBR tehnologiji-Realizacija i efekti prečišćavanja (2012)
- Dr.Božo Dalmacija, Osnovi upravljanja otpadnim vodama, Univerzitet u Novom Sadu (2010),

## UJEDNAČAVANJE TOKA I NEUTRALIZACIJA PRI PREČIŠĆAVANJU INDUSTRIJSKIH OTPADNIH VODA

Sanja Šarčević\*, Zoran Sekulić\*\*  
Dragoslav Budimirović\*\*\*, Neda Malešić\*\*\*\*

\* *JKP Vodovod i kanalizacija, Cara Lazara 3/1 Obrenovac,*  
Email: [vikfybsanja@vikobrenovac.com](mailto:vikfybsanja@vikobrenovac.com)

\*\* *Gradski zavod za javno zdravlje Beograd, Bulevar despota Stefana 54a,*  
[zoran.sekulic@zdravlje.org.rs](mailto:zoran.sekulic@zdravlje.org.rs)

\*\*\* *Fakultet za primenjenu ekologiju – Futura, Požeška 83a Beograd, Univerzitet*  
*Singidunum, [dragoslav.budimirovic@futura.edu.rs](mailto:dragoslav.budimirovic@futura.edu.rs)*

\*\*\*\* *Tehnološko metalurški fakultet, Univerzitet u Beogradu, Master-inženjer*  
[mmeda88@yahoo.com](mailto:mmeda88@yahoo.com)

### REZIME

Tema ovog rada su industrijske otpadne vode koje danas predstavljaju najveće zagađivače vodnih resursa. Industrija generiše velike količine otpadnih voda koje sadrže raznovrsne zagađujuće materije, a koje potiču iz proizvodnih procesa i obuhvataju procesne, rashladne, sanitarne i otpadne vode od čišćenja opreme i postrojenja. Njihova količina i sastav zavise od niza faktora i specifična je za svaku granu industrije. Ujednačavanje toka i neutralizacija predstavljaju dve važne komponente u cilju uspešnog prečišćavanja otpadnih voda.

KLJUČNE REČI: industrijska, otpadna, voda, ujednačavanje, neutralizacija

## IMPROVEMENT OF THE FLOW AND NEUTRALIZATION IN THE CONSUMPTION OF INDUSTRIAL WASTE WATERS

### ABSTRACT

The theme of this work are industrial wastewater, which today represent the largest water pollutants. The industry generates large quantities of wastewater containing various pollutants, which are derived from production processes and include process, cooling, sanitary and wastewater from the cleaning of equipment and plants. Their quantity and composition depend on a number of factors and is specific to each industry. Streamlining and neutralization are two important components in order to successfully purify wastewater.

KEY WORDS: industrial, waste, water, equalization, neutralization

## UVOD

Za razliku od komunalnih otpadnih voda, kvalitet i kvantitet industrijskih otpadnih voda može da varira u veoma širokom opsegu čak i u otpadnoj vodi istog industrijskog objekta tokom dana. Posebno treba istaći udarna ispuštanja otpadnih voda, koja predstavljaju ispuštanja izuzetno velike količine u relativno kratkom vremenskom period.

Industrijske otpadne vode koje su biološki razgradive mogu se mešati sa komunalnim otpadnim vodama, dok se ostale biološki nerazgradive otpadne vode ne mogu ispuštati u isti sistem kojim se odvođe komunalne otpadne vode bez prethodne obrade i dovođenja u "kompatibilno" stanje. Nekompatibilne otpadne vode zagađene su otrovnim, postojanim i ostalim opasnim materijama i bez dodatne obrade ne smeju se ispuštati u sistem javne kanalizacije.

Postoje i takve industrijske otpadne vode koje je moguće u značajnom procentu, nakon odgovarajućeg tehnološkog tretmana, ponovo iskoristiti u industrijske potrebe i tako smanjiti opterećenje kanizacionog sistema i što je još značajnije životne sredine.

## OPŠTA PODELA INDUSTRIJSKIH OTPADNIH VODA

Postoji veoma veliki broj različitih industrijskih otpadnih voda pa samim tim postoji i dosta podela. Jedna od bitnijih podela je po tipu tehnološkog procesa iz kojeg nastaju. Ovo je podela sa velikim brojem podvrsta otpadnih voda jer je i vrlo veliki broj tehnoloških procesa u kojima nastaju. Najgrublje se mogu podeliti na pretežno organske otpadne vode, pretežno neorganske i vode iz rashladnih energetske postrojenja.

U otpadnim vodama industrije može se pojaviti veliki broj raznovrsnih zagađujućih materija, a to su obično neorganske soli, kiseline, razne organske materije, suspendovane materije, plivajuće čvrste i tečne materije, zatim radioaktivne i penušave materije, kao i mikroorganizmi i topla voda. Kompatibilnost s komunalnim otpadnim vodama je jedan od bitnijih kriterijuma za podelu, a mogu se posmatrati sa sledećih aspekata .

## PODELA PO GRANAMA INDUSTRIJE IZ KOJE POTIČU

### Hemijska i petrohemijska industrija

Hemijsku, naftnu i petrohemijsku industriju karakteriše velika potrošnja vode, a sastav otpadnih voda zavisi od vrste sirovina, proizvoda i samog tehnološkog postupka. Specifični parametri zagađenja ove grane su temperature, ekstremne vrednosti pH, suspendovane materije, prisustvo povećanih koncentracija azota, fosfora, nitrata, sulfata, kalijuma, kalcijuma, fluorida, arsena, nikla, hroma, olova, cinka, bakra, fenola, ugljovodonika, cijanida, titana, silikata, merkaptana, sulfida, ulja i masti.

### Prehrambena industrija

Prehrambena industrija je po potrošnji vode odmah iza hemijske, voda se koristi za transport sirovina, izlučivanje korisnih sastojaka za termičku obradu gotovih proizvoda,

rashlađivanje i čišćenje. Karakteristični parametri u otpadnoj vodi ove industrijske grane su taložive i suspendovane materije, prisustvo ulja i masti, povišena temperatura.

#### Industrija papira

U industriji papira voda se koristi za izlučivanje sirovina i stvaranje pulpe. Otpadne vode karakterišu ekstremne vrednosti pH, suspendovane materije, prisustvo raznih organskih jedinjenja, boja, teških metala, sulfida, fenola, azota i fosfora.

#### Kožarska i tekstilna industrija

U kožarskoj i tekstilnoj industriji voda se troši za pripremu sirovina i doradu proizvoda. Karakteristike otpadne vode su povišena temperatura, ekstremne vrednosti pH, prisustvo taloživih i suspendovanih materija, boja rastvorenih neorganskih i organskih supstanci, posebno hroma, sulfida, fenola, ulja imasti.

#### Metaloprerađivačka industrija

U metaloprerađivačkoj industriji količina otpadnih voda je relativno mala, ali je opterećenost toksikantima veoma specifično velika, ekstremne vrednosti pH, prisustvo ulja, teških metala, hroma, olova, cinka, kadmijuma i fenola.

#### Poljoprivredne otpadne vode

Ove otpadne vode potiču prvenstveno sa stočnih farmi sa tečnim izđubrirvanjem. Količina i sastav tečnog stajnjaka na jednoj firmi zavisi od više faktora, kao što su brojno stanje, tehnologija ishrane, način izđubrirvanja i sl. Glavna karakteristika tečnog stajnjaka je visoko organsko zagađenje. Pri tome znatan deo prisutnih organskih materija se nalazi u taložnom suspendovanom obliku. Posebna karakteristika ovih otpadnih voda je visok sadržaj amonijaka usled čega imaju izražen alkalni karakter.

### MATERIJAL I METODE

- Nerastvorne materije koje mogu biti izdvojene fizički, sa ili bez flokulacije: plivajuće materije (masti, alifatični ugljovodonic, katrani, organska ulja, smole itd.);
- Organske materije koje se mogu odvojiti adsorpcijom: boje, deterđenti, fenolna jedinjenja, halogeni ugljovodonic i drugo);
- Elementi koji se mogu izdvojiti precipitacijom: metali (Fe, Cu, Ni, Al, Hg, Pb, Cr, Cd);
- Elementi koji se mogu izdvojiti degazacijom i stripingom: H<sub>2</sub>S, HN<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, fenoli, laki i aromatični ugljovodonic, hlorni derivati;
- Elementi koji mogu zahtevati redoks reakcije: CN<sup>-</sup>, Cr<sup>6+</sup>, S<sup>2-</sup>, Cl<sub>2</sub>, NO<sup>2-</sup>;
- Mineralne kiseline i baze: hlorovodonična, azotna, sumporna kiselina, baze;

- Elementi koji se mogu koncentrisati jonskom izmenom ili reverznom osmozom: radio nuklidi kao I, Mo, Cs, jake baze i kisele soli, jonizovane organske materije (jonska izmena) ili ne-jonizovana (reverzna osmoza) jedinjenja;
- Biorazgradiva jedinjenja: šećeri, protein, fenoli, anilin, deterdženti;
- Elementi koji se oksiduju jakim oksidantima: ( $O_3$ ,  $O_3 + H_2O$ ), mnoga organska jedinjenja koja su manje ili više adsorptivna: pesticide, makromolekulska jedinjenja PAH, PCB, deterdženti itd.
- Obojenja: istorijski efluenti koji mogu biti jako obojeni. Ova obojenja potiču od koloida (pigmenti, sulfida) ili rastvorene materije (organske materije ili nitratni derivati).

### UJEDNAČAVANJE TOKA

Ujednačavanje toka je proces pomoću kojeg se vrednosti radnih parametara (npr. protok, koncentracija suspendovanih čestica, raznih polutanata, temperatura itd.), čine uniformnim u određenom vremenskom period (obično 24 časa) i na taj način smanjuje njihov negativan uticaj na kasnije operacije u procesu prečišćavanja.

Glavne operativne prednosti ujednačavanja su stabilne operacije i dosledan kvalitet efluenta. U nekim postrojenjima bazeni za ujednačavanje se koriste da akumuliraju male dotoke otpadne vode kako bi se obezbedio efikasniji rad postrojenja u punom kapacitetu. Ujednačavanje poboljšava efikasnost sedimentacije poboljšanjem hidrauličnog vremena zadržavanja. Efikasnost biološkog procesa može biti povećana zbog ujednačenog protoka i minimizacije uticaja udarnih opterećenja toksina u toku rada. Operacije u kojima je potrebna kontrola protoka (doziranje hemikalija, odvođenje mulja, dezinfekcija i druge), su pojednostavljene ako postoji bazen za ujednačavanje. Postoji mesto za recirkulaciju tj. vraćanje koncentrovanih tokova čime se ublažava šok opterećenja u primarnom taložniku i aeracionom bazenu.

Bazen za ujednačavanje može biti postavljen na različite načine u postrojenju: u liniji ili van linije, naizmenični protok, povremeni protci i kompletno mešanje.

Sistem sa kompletnim mešanjem se veoma često koristi u tretmanu industrijskih otpadnih voda. Sistem kontinualno prima otpadnu vodu sa jednog ili više tokova uz uslov da se tokom projektovanja uzelo u obzir kompatibilnost tokova.

Osnovni zadatak pri projektovanju je da se odredi zapremina bazena. Jednačina materijalnog bilansa se može postaviti na sledeći način:

$$\frac{dV}{dt} = Q_{in} - Q_{out} \quad (1)$$

Integracijom za  $t=0$   $V=V_0$  i  $t=t$   $V=V$ , uz uslov da je izlazni protok  $Q_{out}$  konstantan u odnosu na vreme, dobija se:



$$V - V_0 = \int_0^t Q_{in}(t) dt - Q_{out} t \quad (2)$$

Dakle, potrebno je poznavati zavisnost ulaznog protoka od vremena. Ukoliko pretpostavimo da je i ulazni protok  $Q_{in}$  konstantan, dobija se:

$$V - V_0 = (Q_{in} - Q_{out}) t \quad (3)$$

Ako dalje pretpostavimo da je bazen u vremenu  $t=0$  prazan ( $V_0=0$ ), da je izlazni protok  $Q_{out}$  jednak nuli, i umesto ulaznog protoka  $Q_{in}$  uzmemo prosečnu vrednost  $Q$ , dobija se:

$$V = Q t \quad (4)$$

Jednačina (4) se može primeniti u slučaju sistema sa naizmeničnim protokom, gde postoje dva paralelna bazena koji rade naizmenično, kada se jedan puni, drugi se prazni, zapremina bazena se može izračunati pomoću sledeće formule:

$$V = Q t (1 + FS) \quad (5)$$

Gde je:

$V$  - zapremina bazena za ujednačavanje ( $m^3$ )

$Q$  - prosečan protok ( $m^3/danu$ )

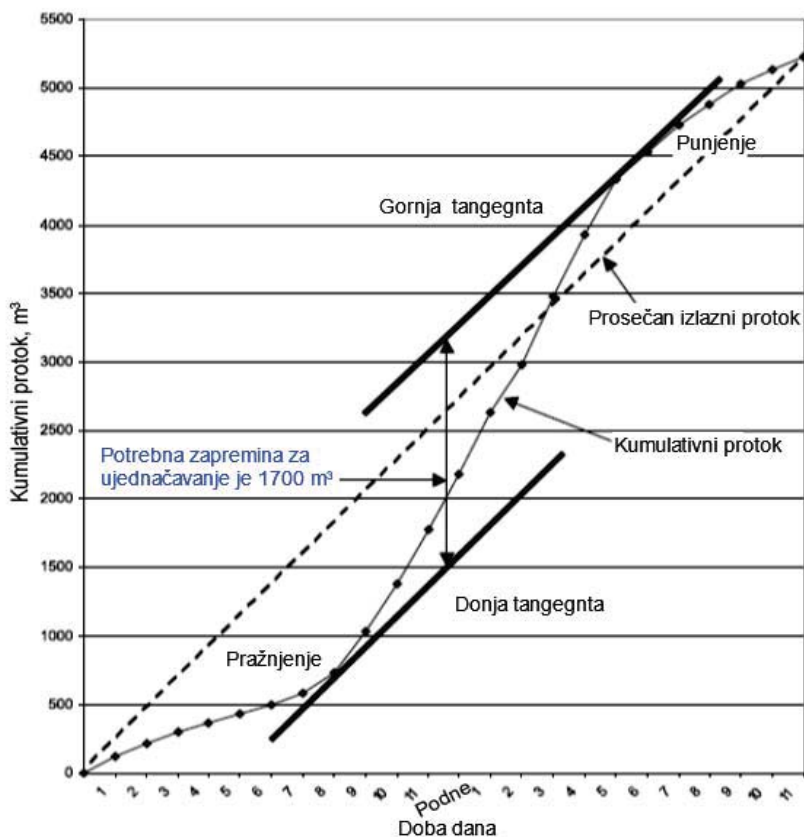
$t$  - vreme (dan)

$FS$  - bezbednosni faktor (uzima se 20 %)

Da bi se gornja formula mogla primeniti potrebno je znati prosečan protok, dok se vreme odabere u skladu sa konkretnim slučajem, na primer jedan dan.

Zapremina bazena za ujednačavanje može se odrediti i grafičkim putem. Potrebno je nacrtati grafičku zavisnost kumulativnog protoka od vremena u toku jednog ciklusa.

Potrebno je povući pravu koja predstavlja prosečnu vrednost i tangente u tačkama sa najvećim odstupanjima od prosečne vrednosti. Rastojanje između dve tangente (slika 1) predstavlja zapreminu bazena za ujednačavanje:



Slika 1. Grafičko određivanje zapremina bazena za ujednačavanje  
 Figure 1. Graphical determination of the volume of the pool for equalization

## NEUTRALIZACIJA

Neutralizacija je uobičajena praksa pri tretmanu otpadnih voda. Ukoliko se takva otpadna voda može podvesti pod “opasne”, na primer zbog korozivnosti, neutralizacija se koristi kao primarni tretman, dok se u drugim slučajevima koristi kao predtretman. Pošto mnogi procesi hemijskog tretman, kao što su taloženje metala, koagulacija, taloženje fosfora i omekšavanje vode, značajno zavise od pH vrednosti, neutralizacija je obavezan stepen u predtretmanu. Osim toga pH efluenta koji je kao produkt nastao iz različitih industrijskih aktivnosti zahteva veće ili manje korekcije pH vrednosti pre ispuštanja u recipijent.

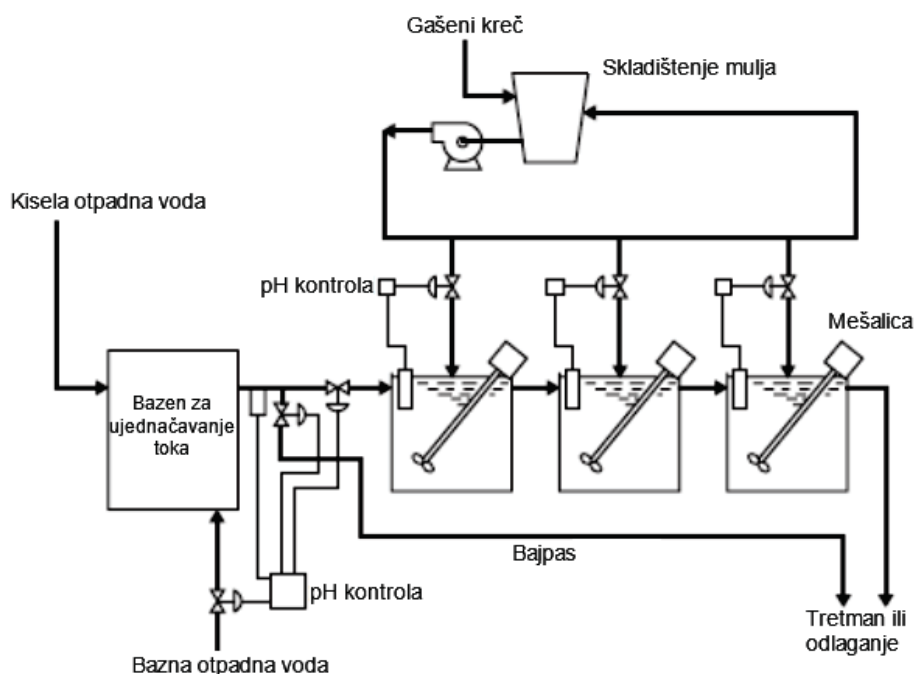
Neutralizacija je proces prilagođavanja pH dodavanjem kiselina ili baza u zavisnosti procesnih zahteva. Jedna od najbitnijih tačaka pri dizajniranju procesa neutralizacije je određivanje prirode supstanci koje prouzrokuju kiselost ili baznost. To se postiže

laboratorijskim eksperimentima, tako što se nakon analiza dobija titraciona kriva na osnovu koje se određuje količina kiseline ili baze za postizanje željene vrednosti pH.

Neutralizacija se može sprovesti šaržno kada su u pitanju male razmere ili kontinualno za velike razmere.

Šaržni proces se primenjuje kada postoje velike fluktuacije u osobinama influenata, kada ulazna otpadna voda sadrži koncentrovane kiseline i baze i kada su uslovi za ispuštanje prečišćene vode rigorozni.

Kontinualni proces se primenjuje kada nema velikih oscilacija u protoku i kvalitetu ulazne otpadne vode i kada su uslovi manje strogi za kvalitet efluenta, kao u slučajevima (slika 2) kada se primenjuje višestepena neutralizacija.



Slika 2. Višestepena kontinualna neutralizacija  
Figure 2. Multistage continual neutralization

## UKLANJANJE TEŠKIH METALA

U industrijskim otpadnim vodama veoma često se pojavljuju različiti teški metali kao što su Cu, Zn, Al, Ni, Hg, Cd, Cr, Pb. Oni se najčešće uklanjaju taloženjem u obliku hidroksida pri čemu se kao taložno sredstvo koristi natrijum-hidroksid. Efikasnost prečišćavanja prvenstveno zavisi od pH vrednosti vode, jer je većina hidroksida amfoterna. U slučaju da

voda sadrži jone više teških metala, može se primeniti višestepeni proces, pri čemu se u svakom stepenu obezbeđuje optimalna pH vrednost za taloženje jednog jona metala. Mana izvođenja ovakvog postupka je relativno visoka cena.

Ako se kao taložni agens koriste rastvorne sulfide ili slabo rastvorne sulfide, teški metali se talože u obliku teško rastvornih sulfida, pa je taloženje efikasnije nego kada se talože hidroksidi.

Mana ovog postupka je nastajanje toksičnog  $H_2S$  i neophodnost primene viška taložnog sredstva, koje se kasnije takođe mora ukloniti iz vode.

Neki teški metali, kao što su kadmijum i olovo, mogu se istaložiti u obliku karbonata pri čemu se kao taložno sredstvo koristi  $Na_2CO_3$ . Prednost taloženja karbonata je u tome što se proces izvodi na nižim pH, pa nije potrebna naknadna neutralizacija vode.

### ZAKLJUČAK

Ujednačavanje toka i hemijska neutralizacija su od izuzetne važnosti pri prečišćavanju otpadnih voda. Hemijskom neutralizacijom se balansira višak kiselosti ili alkalnosti u vodi, dok se ujednačavanjem toka izbegavaju pikovi brzine i sastava toka. U praktičnom smislu, hemijska neutralizacija je prilagođavanje pH vrednosti uslovima željenog tretmana. Ujednačavanje toka služi da se ublaže varijacije u protoku i kvalitetu ulazne otpadne vode i neophodan je stepen u mnogim postrojenjima za prečišćavanje komunalnih, a posebno industrijskih otpadnih voda.

### LITERATURA:

- Lawrence K. Wang., Yung-Tse Hung., Nazih K. Shammam.: Physicochemical Treatment Processes, Volume 3 (Handbook of Environmental Engineering), 2005 Humana Press Inc, Totowa, New Jersey
- Wesley Eckenfelder W., Davis Ford L., Jr, Andrew Englands, Industrial Water Quality, Fourth Edition, McGraw Hill, 2009
- Roberts Alley E., Water Quality Control Handbook, Second Edition, McGraw-Hill, 2007
- Industrial Wastewater Management, Treatment, and Disposal (Third Edition), Copyright © 2008 by the Water Environment Federation
- Ivana Ivančev Tumbas, Organski ksenobiotici u preradi vode za piće, 2009.

## ZASIPANJE JEZERA ČELIJE (1979 - 2017)

Tomislav Petrović\*, Jovan Kovačević\*\*

\* *JKP Vodovod Kruševac, [tomislavpetrovic@gmail.com](mailto:tomislavpetrovic@gmail.com)*

\*\* *Građevinski fakultet, Univerzitet u Beogradu, [jkovacevic@grf.bg.ac.rs](mailto:jkovacevic@grf.bg.ac.rs)*

### REZIME

Krajem 2017 godine, hidrometrijskom metodom je izvršeno snimanje poprečnih profila na teritoriji akumulacije Čelije, radi utvrđivanja količine deponovanog nanosa između dve merne epohe (1979.-2017.god.). Realizovana su merenja na 25 poprečnih profila, na koti 277 mnm, sa ukupno 3988 stacionaža. Metodologijom proračuna količine nanosa kreiranjem digitalnog modela dna, utvrđene su kubature za svaku epohu, dok je količina nanosa izračunata iz njihove razlike. Proračunata količina nanosa na teritoriji akumulacije Čelije, u eksploatacionom periodu od 38 godina, iznosi 3,4 mil/m<sup>3</sup>.

KLJUČNE REČI: Čelije, zasipanje, jezero

## SEDIMENT ACCUMULATION IN “ČELIJE” RESERVOIR (1979 – 2017)

### ABSTRACT

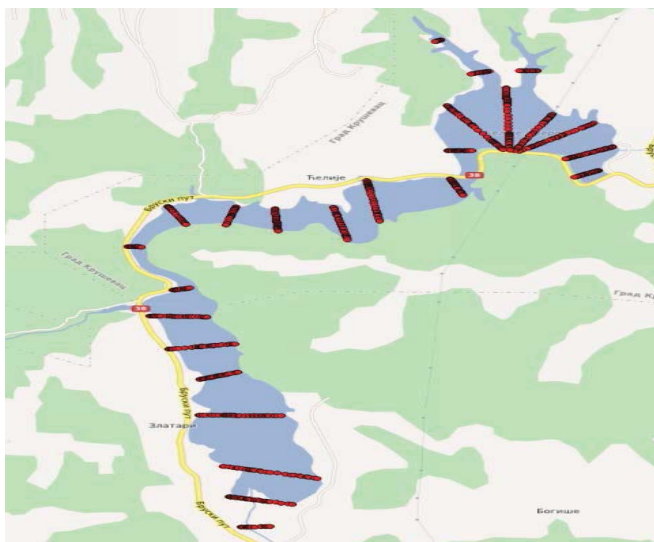
The hydrometric method was used to record the cross-sectional profiles of lake „Čelije“ accumulation at the end of the year 2017, in order to determine the amount of deposited sediment between two measurements (1979 - 2017). Measurements were carried out on 25 cross-section profiles, at ground level 277 masl, with a total of 3988 stationeries. By methodology of calculating the amount of the sediment by creating the digital model of the lake floor, the volumes for each epoch was determined, and the amount of the sediment volume is calculated from their difference. The calculated amount of sediment in the territory of the Čelije accumulation, in the exploitation period of 38 years, is 3.4 mil / m<sup>3</sup>.

KEY WORDS: lake “Čelije”, sediment accumulation, lake

### UVOD

Formiranjem akumulacije Čelije utvrđena je bruto zapremina jezera do kote maksimalnog uspora (284 mnm), u iznosu od 67 mil/m<sup>3</sup>. Od bruto zapremine akumulacije, određenu zapreminu za nanos predstavlja prostor od 20 mil/m<sup>3</sup>. Neposredno pre punjenja akumulacije vodom, 1978. godine, kompanija Energoprojekt je izvršila nulto snimanje akumulacije, na

30 poprečnih profila. Krajem 2017. godine, izvršena su merenja na identičnih 25 poprečnih profila ustanovljenih od strane Energoprojekta, uz apstrahovanje poslednjih pet poprečnih profila koji se gotovo nikada nisu nalazili pod vodom.



Slika 1. Raspored tačaka profila merenja iz 1978. godine na OSM podlozi

Figure 1. The distribution of measurement profiles points in 1978 on the OSM basemap

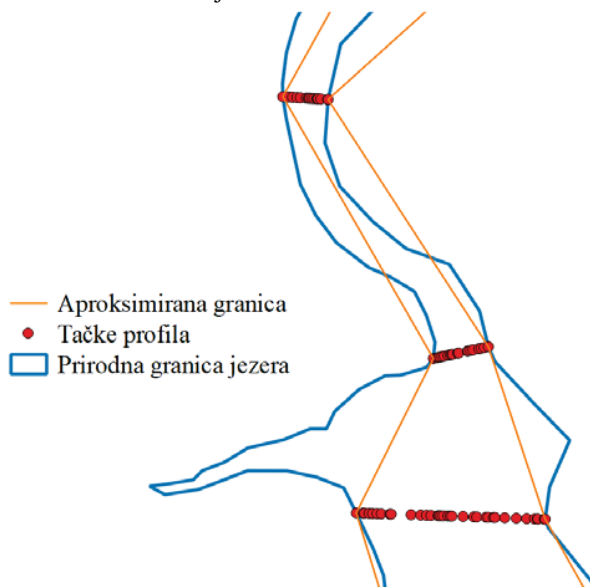
Ulazni podaci istraživanja predstavljaju merenja dubine jezerskog dna iz dve epohe:

- Nulto stanje – 1978.
- Kontrolno merenje 2017 god.

Nulto stanje obuhvata merenja izvršena prilikom projektovanja buduće akumulacije, a pre punjenja (kreiranja) jezera. Realizovala ih je kompanija „Energoprojekt,, radi određivanja zapremine buduće akumulacije.

Ukupno su određene dubine na 783 lokacije, raspoređene na 25 poprečnih profila. Prostorni raspored profila u odnosu na OSM (*Open Street Map*) podlogu, prikazan je na slici 1. Kontrolno merenje izvršeno je 2017. Godine. Profili po kojima je izvršeno merenje definisani su na osnovu tačaka koje su korišćene kao početne i krajnje tačke profila za merenja iz 1978. god. Kako nije moguće obezbediti vidljivost krajnje i početne tačke sa površine jezera (zbog vegetacije), bilo je neophodno kreirati pomoćne tačke na samoj obali jezera uvođenjem u pravac između krajnje i početne tačke svakog profila. Primenjeno je merenje u pojedinim tačkama duž svakog pravca, koristeći kombinovano hidrometrijsku i akustičnu metodu. Merenja su vršena prilikom apsolutno mirne vode, tako da nije bilo neophodno uvoditi popravke usled povijenosti pantljike. Za udaljenost od repernih tačaka, korišćen je laserski daljinomer. Ovom metodom izmerene su dubine jezera na 3988 lokacija, raspoređene na 25 profila utvrđenih od strane Energoprojekta.

Opšti pristup određivanja zapremine nanosa između dve epohe podrazumeva da se na osnovu raspoloživih podataka za svaku epohu izračuna zapremina akumulacije, i da se količina nanosa odredi iz njihove razlike. Primena geodetskih metoda određivanja zapremine tela na osnovu vertikalnih preseka (profila) predstavlja pristup koji se intenzivno koristi u inženjerstvu. Međutim, primena je u konkretnom slučaju bila otežana iz sledećih razloga: Velikog rastojanja između susednih profila ( $\geq 300$  m), i neparalelnosti susednih profila usled kontura obala akumulacije.



Slika 2. Prikaz aproksimacije prilikom računanja zapremine na osnovu vertikalnih profila  
Figure 2. The display of approximation when calculating the volume based on vertical profiles.

Neparalelnost susednih profila je posebno izražena u severnom delu akumulacije (Zlatarski basen), gde profili obrazuju oblik zvezde i gde bi računanje zapremine navedenim metodama uvodilo veliku aproksimaciju. Dodatno, prethodno navedena metoda podrazumeva prave linije između susednih profila, što, kada se uzme u obzir veliko rastojanje između susednih profila, produkuje površinu jezera koja zanemaruje veliki broj zaliva i u nekim delovima značajno odstupa od prirodne površine jezera (slika 2). Kao alternativa metodi određivanja zapremine na osnovu vertikalnih preseka, iskorišćen je pristup baziran na digitalnom modeliranju terena. Pod time se podrazumeva da se od ulaznih podataka prvo kreira digitalni model terena dna jezera svake epohe, zatim da se izračuna zapremina akumulacije svake epohe kao zapremina tela koju digitalni model obrazuje sa horizontalnom ravni nulte kote vode, a konačna količina nanosa odredi kao razlika te dve zapremine.

Digitalni model terena –DMT (u originalu *Digital Terrain Model – DTM* ), je prosto statistička predstava kontinualne površi zemljišta preko velikog broja izabranih tačaka sa poznatim  $X$ ,  $Y$  i  $Z$  koordinatama u proizvoljnom koordinatnom sistemu. Digitalni model dna DMD, predstavlja poseban tip DMT-a, gde se tačke odnose na dno vodene površine koja se modelira. Neparalelnosti profila ne utiču na proračun ovom metodom, ali problem koji se odnosi na preveliko rastojanje susednih profila i dalje ostaje. Dodatno, metoda je osetljiva na različitu gustinu tačaka poput onog kakav je u ulaznim podacima (velika gustina tačaka duž profila i bez tačaka između profila). Ovakav nepovoljan raspored ulaznih tačaka može prouzrokovati artefakte, ravne delove površi terena i što se na kraju odražava pogrešnom vrednošću izračunate površine. Zbog toga je izvršeno proglašavanje ulaznih podataka novim tačkama, i to:

1. Tačkama prirodne granice jezera;
2. Tačkama između profila.

Popunjavanje tačkama kojima se diskretizuje prirodna granica jezera se vrši kako bi se ograničilo područje kreiranja DMD-a i suzbilo pojavljivanje neželjenih artefakta. Na ovaj način takođe se rešava i problem aproksimacije koji se javlja kada se granična linija definiše krajnjim tačkama profila. Kako se u okviru ovog proračuna nije raspolagalo zvaničnim podatkom poligona/linije granice jezera, ona je obezbeđena manualnom digitalizacijom sa zvaničnog sajta GeoSrbija. Metričke razlike prikazane su u tabeli:

Tabela 1. Metričke razlike u prirodne i aproksimirane granice jezera  
Table 1. Metric differences between natural and approximated lake boundaries

	Površina [ha]	Obim [km]
Prirodna granica	323.5427	24.028
Aproksimovana granica	295.5803	18.711

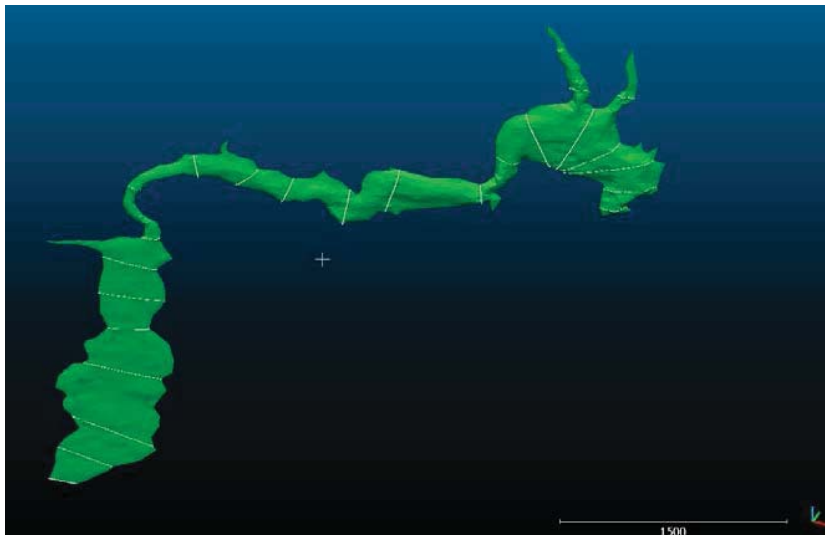
Prirodna granica je diskretizovana sa 863 tačke, kojima je dodeljena visinska kota 277 m, pošto se radi o visini koja predstavlja nulti nivo vode i na koju su redukovana sva merenja visina ( dubina) ulaznih tačaka.

Popunjavanje tačkama između profila izvršeno je korišćenjem geostatističkim metodama – regresionim kriningom. Postupak podrazumeva da se na osnovu tačaka u kojima je poznata visina (tačke profila i tačke granice jezera), izvrši predikcija visine u tačkama od interesa. Prilikom predikcije mogu se koristiti i neke dodatne informacije (prediktori) koje mogu poboljšati rezultate. U konkretnom slučaju izvršena je predikcija visine (dubine) u 2102 tačke, kojima je selektivnim uzorkovanjem pokriveno područje između profila, pri čemu je vođeno računa da gustina tačaka približno svugde bude jednaka. Kao prediktori korišćene su sledeće informacije:

1. Predikcija 1978. godine – korišćena je informacija o odaljenosti tačke od obale;
2. Predikcija 2017. godine – pored informacije o udaljenosti od obale, korišćena je i informacija o visini (dubini) jezera u toj lokaciji iz nulte epohe.

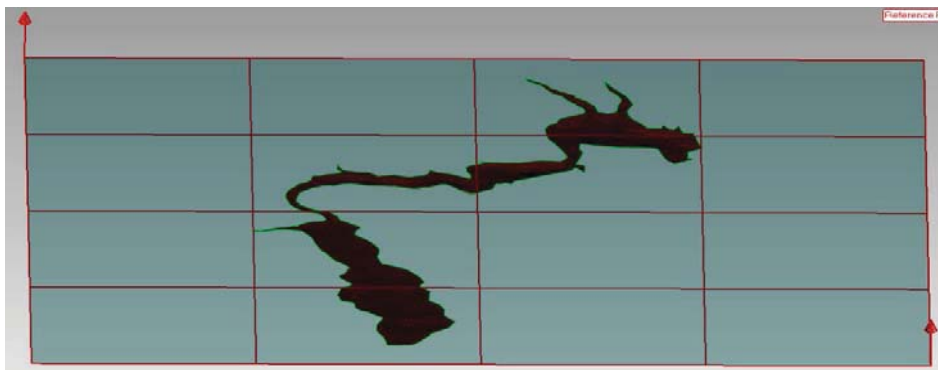


Na osnovu ulaznih tačaka, tačaka granice i tačaka između profila izvršena je triangulacija i kreiranje 3D modela (slika 3).



Slika 3. Kreirani 3D model sa profilima  
Figure 3. Created 3D model with profiles

Računanje zapremine je vršeno kao odsečak kreiranog modela sa horizontalnom ravni na visini 277 mm (slika 4).



Slika 4. Prikaz preseka 3D modela i referentne ravni na visini 277 mm  
Figure 4. The display of the cross section of the 3D model and the reference plane at a height of 277 masl.

Rezultati zapremine modela prikazani su u sledećoj tabeli:

Tabela 2. Rezultati zapremina  
Table 2. Volumes results

Epoha	1979	2017	Razlika
Zapremina [10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ]	41.0	37.6	3.4

### ZAKLJUČAK

Rezultati istraživanja ukazuju da je početna zapremina za nanos akumulacije Čelije, koja iznosi 20 mil/m<sup>3</sup>, nakon 38 godina eksploatacionog perioda, umanjena za 3,4 mil/m<sup>3</sup>, kao posledica zasipanja nanosom, što ukazuje da preostala zapremina za nanos iznosi 16,6 mil/m<sup>3</sup>.

Ukoliko se dinamika zasipanja akumulacije nanosom nastavi dosadašnjim tempom, bez značajnijih prirodnih ili antropogenih negativnih uticaja, može se očekivati da će preostala zapremina za nanos biti potpuno zasuta za **≈ 186** godina.

### LITERATURA

Nulto snimanje akumulacije Čelije, Energoprojekt, 1978.

## HIDROBIOLOŠKI PARAMETRI U OCJENI KVALITETA VODE U INFILTRACIONIM BAZENIMA VODOZAHVATA „NOVOSELJA“ (BANJA LUKA, REPUBLIKA SRPSKA)

Dragana Đurica\*, Tamara Jurca\*\*, Miljana Miljanović\*\*\*

\* *Univerzitet za poslovne studije, Fakultet za ekologiju, Banjaluka, BiH;*  
*Email: [draganaristic16@yahoo.com](mailto:draganaristic16@yahoo.com)*

\*\* *Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno-matematički fakultet, Departman za*  
*biologiju i ekologiju, Novi Sad, Republika Srbija*

\*\*\**Vodovod a.d. Banja Luka, BiH*

### REZIME

Izvorište „Novoselija“ nalazi se uzvodno od grada Banja Luke na platou desne obale rijeke Vrbas. Zahvatanjem vode Vrbasa i njenim upuštanjem u infiltracione bazene, gravitacionim putem prihranjuje se podzemlje odakle bunari crpe vodu. U radu su analizirani fizičko-hemijski i hidrobiološki parametri u uzorcima vode uzetih iz osam infiltracionih bazena koji su u sastavu Fabrike vode. Uzorci su uzeti u proljećnom, ljetnjem i jesenjem periodu 2015. godine. Vrijednosti analiziranih parametara ukazuju na visok i dobar status vode u infiltracionim bazenima. Prema saprobiološkoj procjeni kvalitet vode je takođe zadovoljavajući.

KLJUČNE RIJEČI: vodozahvat, kvalitet vode, vodosnabdijevanje, monitoring

## WATER QUALITY IN THE INFILTRATION POOLS OF WATER INTAKE STRUCTURE "NOVOSELJA" (BANJA LUKA, REPUBLIC OF SRPSKA)

### ABSTRACT

The "Novoselija" spring is located upstream from the town of Banja Luka on the plateau of the right bank of the Vrbas River. The water intended for water supply is firstly abstracted from river Vrbas to be released into the infiltration pools, after which goes underground following gravitational paths, from where the wells draw water from. The paper analyzes the physico-chemical and hydrobiological parameters of the water samples taken from eight infiltration pools that are part of the water factory. Samples were taken in the spring, summer and fall of 2015. The values of the parameters taken into consideration indicated a high and good surface water quality status in 2015. According to the saprobiological assessment, water quality also was satisfactory.

KEY WORDS: water intake, water quality, water supply, monitoring

## UVOD

Vode su svakodnevno izložene velikom pritisku zbog sve veće potražnje za dovoljnim količinama vode potrebnog kvaliteta za sve vrste namjene. Značajan problem u zaštiti životne sredine, posebno u oblasti vodnih resursa, jeste kvalitet površinskih voda (Petrović i sar. 1998). Uticaj prirodnih organskih materija na kvalitet vode za piće je višestruk, a njihovo prisustvo direktno određuje vrijednosti parametara kvaliteta vode za piće. Izvorište „Novoselija“ se nalazi uzvodno od Banja Luke. Locirano je na platou desne obale Vrbasa, prosječne dužine oko 700 i širine oko 30 m. Prostorom izvorišta prolazi saobraćajnica Banja Luka-Karanovac i presijeca ga na dva dijela: zapadni- izvorište podzemnih voda i istočni-na kome je izgrađen uređaj za vještačko koondicioniranje površinske vode Vrbasa. Uža zaštitna zona izvorišta obuhvata površinu od oko 16 ha i ograđena je. Ukupan kapacitet ovog izvorišta iznosi 400-500 l/sec u zavisnosti od hidroloških uslova i zamuljenosti infiltracionih bazena. Cilj našeg istraživanja bio je da se odredi kvalitet vode u toku 2015 u infiltracionim bazenima. Kvalitet vode na vodozahvatu Novoselija - Banjaluka pod direktnim je uticajem vode iz akumulacije Bočac.

## MATERIJAL I METODE

Uzorci za analizu kvaliteta vode su uzimani na osam lokaliteta u Infiltracionim bazenima I, IIA, IIB, IIC, IID, III, IV i V koji se nalaze u sastavu Fabrike vode Banja Luka. Uzimanje uzoraka vršeno je u tri sezonska aspekta i to proljećnom, ljetnjem i jesenjem periodu 2015. godine. Uzorci su obrađeni u laboratoriji Vodovoda Banja Luka. Fizičko-hemijski parametri analizirani su standardnim metodama, a saprobiološka procjena kvaliteta vode data je primjenom liste organizama indikatora (Wegl, 1983) i određen indeks saprobnosti "S" po mađarskoj metodi kategorizacije u klase kvaliteta vode (MSZ 12756, 1998). Prilikom uzimanja uzoraka zahvaćeno je 20 litara vode sa dubine od 10-30 cm, i profiltrirano kroz planktonsku mrežicu promjera okaca 20 µm. Uzorci su fiksirani formaldehidom gdje su analizirani u laboratoriji. Determinacija dominantnih taksona fitoplanktona i zooplanktona urađena je na osnovu standardnih ključeva za determinaciju.

## REZULTATI I DISKUSIJA

### Fizičko-hemijski parametri kvaliteta

Rezultati fizičko-hemijskih analiza koje su rađene u tri sezonska aspekta na lokalitetima Infiltracionim bazenima I, IIA, IIB, IIC, IID, III, IV i V upoređeni su sa dopuštenim graničnim vrijednostima parametara prema Uredbi o klasifikaciji voda i kategorizaciji vodotoka (Sl.gl.RS, br.42/01). Na osnovu dobijenih vrijednosti vidljivo je da kvalitet vode zadovoljava uglavnom visok i dobar status kvaliteta površinskih voda. Tabela 1 i 2.

Tabela 1. Rezultati fizičko-hemijske analize uzoraka vode na ispitivanim lokalitetima proljeće, ljeto i jesen 2015 godine i referentne vrijednosti parametara propisane Uredbom

Table 1. Results of physical and chemical analysis of water samples at the investigated sites in the spring, summer and autumn 2015 and the reference values of the parameters prescribed by Regulation

Lokalitet	Parametri kvaliteta						
	pH	Elektroprovodljivost $\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$	Rastv. kiseonik, $\text{O}_2$ $\text{g}/\text{m}^{-3}$	Zasićenje vode kiseonikom %	Hlorofil „a“ $\text{mg}/\text{m}^{-3}$	Pantle-Buck saprobiološki index-fito	Pantle-Buck saprobiološki index-zoo
Proljeće I	7,98	312	12,42	131,2	13,17	1,78	1,58
Ljeto I	8,2	344	10,36	119,6	6,8	1,76	1,58
Jesen I	8,15	379	10,01	<b>84,3</b>	8,08	1,72	1,75
Proljeće IIA	7,96	317	12,97	130,4	14,99	1,77	1,76
Ljeto IIA	8,4	278	10,27	124,5	6,6	1,69	1,36
Jesen IIA	8,08	357	10,49	91,1	<b>3,74</b>	1,62	1,65
Proljeće IIB	7,97	289	14,02	143,03	12,4	1,80	1,65
Ljeto IIB	8,55	244	14,03	145,01	5,2	1,75	1,46
Jesen IIB	8,15	342	10,9	94,9	5,09	1,68	1,62
Proljeće IIC	8,02	309	13,82	137,7	13,54	1,77	1,73
Ljeto IIC	8,22	330	8,25	102,8	11,82	1,69	1,31
Jesen IIC	8,07	374	9,94	<b>84,7</b>	4,33	1,64	1,68
Proljeće IID	7,96	309	13,6	134,7	7,16	1,82	1,73
Ljeto IID	8,45	291	11,98	131,09	5,47	1,76	1,59
Jesen IID	8,11	358	10,81	94,7	7,56	1,66	1,71
Proljeće III	7,95	343	9,68	86	8,22	1,67	1,75
Ljeto III	8,2	380	10,27	116,8	3,79	1,74	1,72
Jesen III	8,1	383	9,29	<b>80,2</b>	3,87	1,73	1,67
Proljeće IV	8	314	11,73	116,6	10,56	1,74	1,79
Ljeto IV	8,24	343	9,29	105,8	3,29	1,74	1,67
Jesen IV	8,22	378	10,01	<b>87,7</b>	7,55	1,71	1,75
Proljeće V	8,09	297	10	106,8	33,18	1,84	1,71
Ljeto V	8,24	309	9,24	116,2	6,26	1,78	1,44
Jesen V	8,18	377	10,37	91,3	4,49	1,65	1,73
Granične vrijednosti	6,8–8,5 Visok status	< 400 Visok status	>7,0 Visok status	>100 Visok status 90-110 Dobar status	4-10 Dobar status	1,5-2,3 Dobar status	< 1,5 Visok status 1,5-2,3 Dobar status

\*boldovane vrijednosti su bile niže od propisanih za visok odnosno dobar status

\*\*Zasićenje vode kiseonikom i hlorofil“a“ (Tabela 4.- Uredba), ostale navedene vrijednosti Tabela 3.-Uredba

Tabela 2. Rezultati fizičko-hemijske analize uzoraka vode na ispitivanim lokalitetima 2015 godine i referentne vrijednosti parametara propisane Uredbom  
 Table 2. Results of physical and chemical analysis of water samples at the test sites in 2015 and the reference values of the parameters prescribed by Regulation

Lokalitet	Parametri kvaliteta						
	pH	Elektroprovodljivost $\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$	Rastv. kiseonik, $\text{O}_2$ $\text{g}/\text{m}^{-3}$	Zasićenje vode kiseonikom %	Hlorofil „a“ $\text{mg}/\text{m}^{-3}$	Pantle-Buck saprobiološki index-fito	Pantle-Buck saprobiološki index-zoo
I 15	8.11	345	10,9	111,7	9,4	1,75	1,64
IIA 15	8.15	317,3	11,2	115,3	8,4	1,69	1,59
IIB 15	8.23	291,6	12,9	127,6	7,6	1,74	1,58
IIC 15	8.10	337,6	10,7	108,4	9,9	1,7	1,57
IID 15	8.2	319,3	12,13	120,2	6,7	1,75	1,68
III 15	8.1	368,8	9,7	94,3	5,3	1,71	1,71
IV 15	8.2	345	10,3	103,4	7,1	1,73	1,74
V 15	8.17	327,6	9,9	104,8	14,64	1,76	1,63
Granične vrijednosti	6,8–8,5 Visok status	< 400 Visok status	>7,0 Visok status	>100 Visok status 90-110 Dobar status	4-10 Dobar status	1,5-2,3 Dobar status	< 1,5 Visok status 1,5-2,3 Dobar status

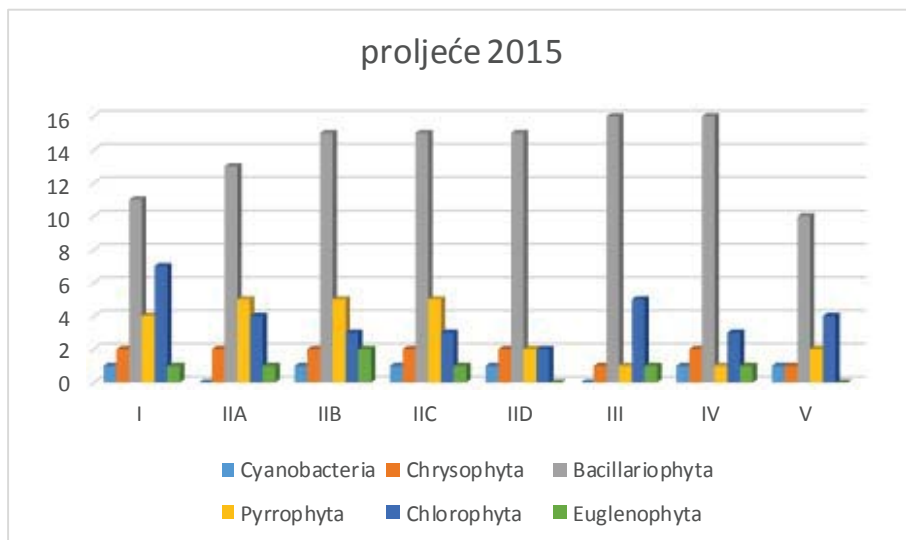
\*\*Zasićenje vode kiseonikom i hlorofil“a“ (Tabela 4.- Uredba), ostale navedene vrijednosti Tabela 3.-Uredba

### Fitoplanktonske i zooplanktonske zajednice u Infiltracionim bazenima

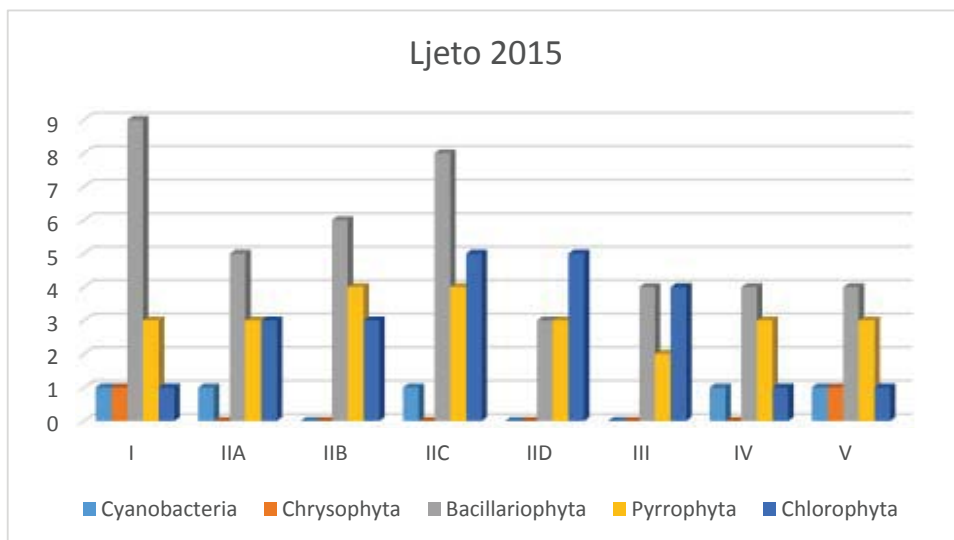
Determinacija taksona iz fitoplanktonske zajednice na osnovu koje je izvršena saprobiološka analiza u periodu od aprila do oktobra u infiltracionim bazenima konstatovano je prisustvo 6 razdjela algi i to: *Chlorophyta*, *Bacillariophyta*, *Pyrophyta*, *Cyanobacteria*, *Euglenophyta* i *Chrysophyta*.

Analiziranjem rezultata na svim lokalitetima u pomenutom periodu može se konstatovati najveća zastupljenost vrsta razdjela *Bacillariophyta*. Kao dominantne javljaju se *Asterionella formosa* Hassal i *Cyclotella meneghiniana* Kützing. Od vatrelih dominantne su *Peridinium aciculiferum* i *Ceratium hirudinella* O.F.Mull.. Najzastupljenija vrsta zlatnih algi je *Dynobryon divergens* Imhof koji se u većoj brojnosti javljao u proljećnom i jesenjem periodu a u toku ljeta nije zabilježeno njegovo prisustvo. Predstavnici ostalih razdjela se javljaju pojedinačno. Vrste razdjela *Euglephyta* su najmanje prisutne i javljaju se na šest lokaliteta sa po jednom vrstom i to samo u proljećnom periodu, dok ih u ljetnjem i jesenjem uopšte nema (Grafikon 1.2.3.). Istraživanja koja su sproveli Zarić i Mitrović 2009. godine analizirajući fitoplanktonsku zajednicu u Crnoj rijeci (Bosna i Hercegovina) utvrdili su takođe dominaciju silikatnih algi, i ističu njihov značaj kao bioloških indikatora koji su osjetljivi na promjenu hemizma sredine (Zarić i Mitrović, 2009).

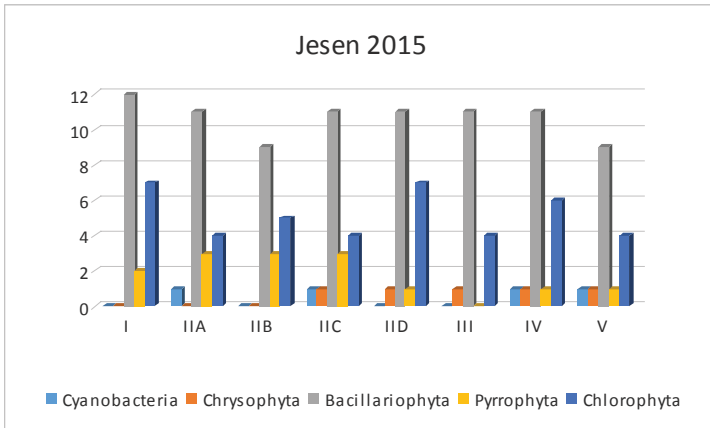
Izračunate vrijednosti za indeks saprobnosti “S”, ukazuju da se kvalitet vode na svim lokalitetima u toku ispitivanja kretao u okviru I i II klase.



Grafikon 1. Kvalitativni sastav fitoplanktona u proljećnom periodu 2015 godine  
 Figure 1. Qualitative composition of phytoplankton in the spring period of 2015



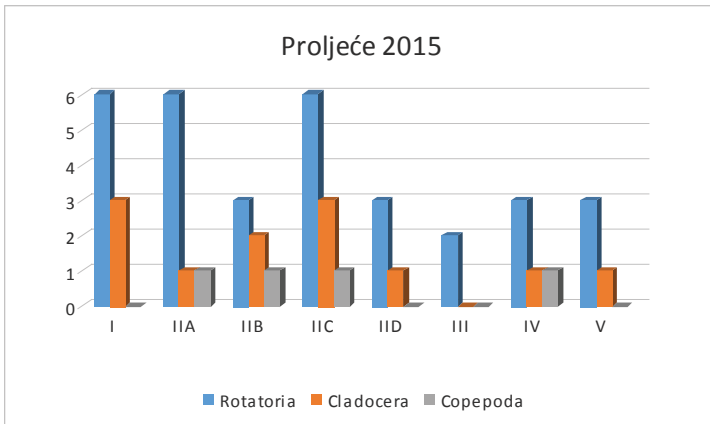
Grafikon 2. Kvalitativni sastav fitoplanktona u ljetnjem periodu 2015 godine  
 Figure 2. Qualitative composition of phytoplankton in the summer period of 2015



Grafikon 3. Kvalitativni sastav fitoplanktona u jesenjem periodu 2015 godine  
Figure 3. Qualitative composition of phytoplankton in autumn 2015

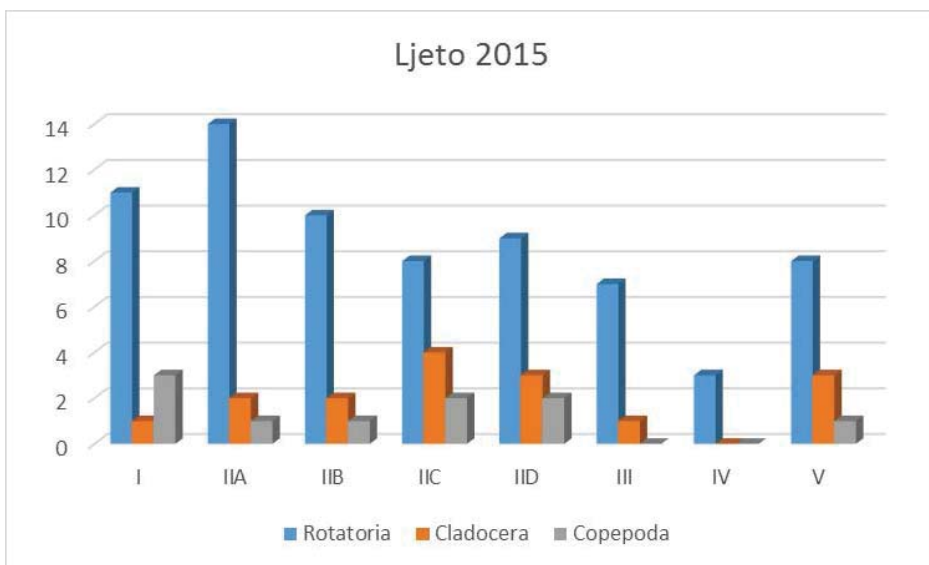
Analiziranjem rezultata zooplanktona može se konstatovati prisustvo tri taksonomske grupe i to Rotatoria Cladocera i Copepoda. Filum Rotatoria predstavlja dominantnu grupu u kvalitativnom smislu (Grafikon 4.5.6). Najveća brojnost je zabilježena tokom ljeta u odnosu na proljetni i jesenji period gdje dominira vrsta *Keratella cochlearis* Gosse. Isti rezultati dobijeni su u hidrobiološkim istraživanjima u akumulaciji Gruža koja su sprovedena od 1996-1998. godine (Ostojić, 2005). Ispitivanjem sastava zooplanktonske zajednice u akumulaciji Bovan u proljeće i jesen 2005.godine autor na osnovu dobijenih rezultata konstatuje takođe da je filum Rotatoria pokazala dominaciju gdje je *Keratella cochlearis* Gosse dominantna vrsta ( Ostojić, 2006).

Izračunate vrijednosti za indeks saprobnosti "S", ukazuju da se kvalitet vode na svim lokalitetima u toku ispitivanja kretao u okviru I i II klase.

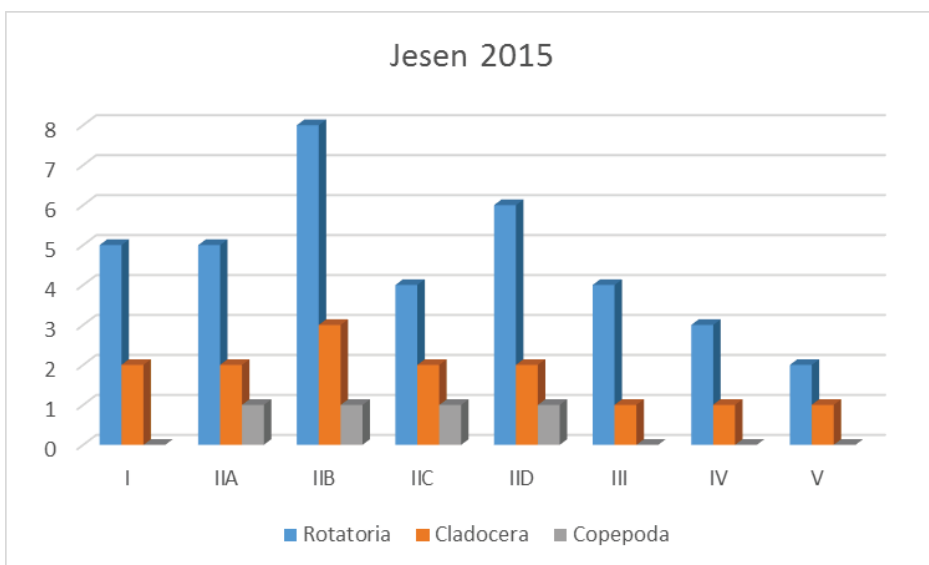


Grafikon 4. K valitativni sastav zooplanktona u proljećnom periodu 2015 godine  
Grafikon 4. K valitativni sastav zooplanktona u proljećnom periodu 2015 godine





Grafikon 5. Kvalitativni sastav zooplanktona u ljetnom periodu 2015 godine  
Figure 5. Qualitative composition of zooplankton in the summer of 2015



Grafikon 6. Kvalitativni sastav zooplanktona u jesenjem periodu 2015 godine  
Graph 6. Qualitative composition of zooplankton in autumn 2015

## ZAKLJUČAK

Kvalitet vode na osnovu fizičko-hemijskih parametara u infiltracionim bazenima koji se nalaze u sastavu Fabrike vode Banja Luka zadovoljava uglavnom visok i dobar status kvaliteta površinskih voda. Posmatrajući sastav fitoplanktonske zajednice uočava se dominacija silikatnih algi (*Bacillariophyta*). Predstavnici ostalih razdjela javljaju se pojedinačno. Vrste razdjela *Euglephyta* su najređe konstatovane u fitoplanktonskoj zajednici i javljaju se na šest lokaliteta sa po jednom vrstom i to samo u proljećnom periodu, dok u ljetnjem i jesenjem periodu nisu prisutne.

Ispitivanjem sastava zooplanktonske zajednice konstatovana je najveća brojnost filuma *Rotatoria*, sa predstavnikom *Keratella cochlearis* Gosse.

Indeksi saprobnosti "S" planktonske zajednice, ukazuju na I i II klasu kvaliteta površinskih voda.

## LITERATURA

- MSZ 12756 (1998): Magyar szabvány – Felszíni vizek szaprobitásának meghatározása.
- Ostojić, A. (2005): Zooplankton in the Gruza [water] reservoir. Prirodno-matematički fakultet, Institut za biologiju i ekologiju. Kragujevac
- Ostojić, A. (2006): Zooplankton of the Bovan reservoir. Kragujevac J. Sci
- Pantle, R., Buck, H. (1955): Biologische Überwachung der Gewässer und die Darstellung der Ergebnisse. Gas. und Wasserfach, 96: 604-607.
- Petrović, O., Gajin, S., Matavulj, M., Radnović, D., Svirčev, Z. (1998): Mikrobiološko ispitivanje kvaliteta površinskih voda. Prirodno-matematički fakultet, Institut za biologiju. Novi Sad
- Službeni glasnik Republike Srpske, br 42/01, Dostupno na: [http://www.voders.org/eng/images/uredba\\_o\\_klasifikaciji\\_vodotoka.pdf](http://www.voders.org/eng/images/uredba_o_klasifikaciji_vodotoka.pdf).
- Zarić, I., Mitrović, P. (2009): Kvalitet vode akumulacije Bočac na osnovu sastava i dinamike fito- i zooplanktona, istraživanja za 2008. god. Konferencija o aktuelnim problemima korišćenja i zaštite voda, 38, Zlatibor (Serbia), 8-10 Jun 2009, Srpsko društvo za zaštitu voda, Beograd (Srbija), str. 137-144.
- Wegl, R. (1983): Index für die Limnosaprobität. Wasser und Abwasser Aus Beitrage zur Gewässer Forschung XIII, Bd. 26, Wien. pp 1-175.

## KVALITET VODE ZA PIĆE IZ AKUMULACIJE “PRVONEK”, VRANJE

Vladanka Presburger Ulniković, Violeta Cibulić,  
Sanja Mrazovac Kurilić, Maja Trifunović, Novica Staletović

*Univerzitet „Union – Nikola Tesla“ Beograd, Fakultet za ekologiju i zaštitu  
životne sredine, vladankap@gmail.com*

### REZIME

U radu su sagledani problemi vodosnabdevanja u regionu Vranja, kao i optimalno upravljanje vodama u odnosu na slivno područje, akumulaciju i lokaciju brane Prvonek. Prikazana je ocena ekološkog potencijala akumulacije u odnosu na elemente kvaliteta, generalna ocena ekološkog potencijala i procena nivoa pouzdanosti ocene statusa vodnog tela, kao i rezultati kvaliteta pijaće vode. Kontrolom na odgovarajućim tačkama moraju biti zadovoljeni kritični limiti u odnosu na biološke, hemijske ili fizičke faktore kojima se određuje razlika između prihvatljivog i neprihvatljivog nivoa. Kriterijumi bezbednosti vode za piće koji se moraju poštovati, sadržani su u regulativama i uputstvima.

KLJUČNE REČI: vodosnabdevanje, akumulacija, kvalitet, voda za piće, ekološki potencijal

## QUALITY OF DRINKING WATER OF THE ACCUMULATION "PRVONEK" VRANJE

### ABSTRACT

The paper presents problems of water supply in the Vranje region, as well as optimal water management in relation to the catchment area, the accumulation and location of dam Prvonek. The assessment of ecological potential of accumulation in relation to quality elements, general assessment of ecological potential and assessment of the reliability level of water body status assessment, as well as the results of the quality of drinking water are presented. Controls at the appropriate points must meet critical constraints in relation to biological, chemical or physical factors that determine the difference between acceptable and unacceptable levels. Drinking water safety criteria that must be respected are contained in regulations and instructions.

KEY WORDS: quality, drink water, water supply, accumulation, ecological potential

## UVOD

Globalna prisutnost i mnogobrojnost vodnih akumulacija tokom druge polovine 20. veka često se tumači stavom da je to najpouzdaniji način obezbeđivanja potrebnih količina vode za snabdevanje različitih kategorija potrošača. Takođe, one su ključni delovi višenamenskih vodoprivrednih sistema kojima se na optimalan način rešavaju problemi korišćenja voda, zaštita od voda, zaštita voda i problemi celovitog uređenja prostora. Pored niza objektivnih nedostataka, praksa formiranja izvorišta površinskih voda, akumuliranja voda i njihova vremenska i prostorna redistribucija, u skladu sa ekološkim i vodoprivrednim potrebama, nema realnu alternativu. Na teritoriji Srbije ovaj vid vodosnabdevanja je kontinuirano prisutan duže od sedam decenija, pri čemu je tokom poslednjeg kvartala 20. veka afirmisan i društveno potvrđen kao jedan od ključnih i najperspektivnijih modela obezbeđivanja rastućih potreba za vodom.

U uslovima narastanja značaja akumulirane vode i prostora kao ograničenog resursa, odnosno njegove nužne polifunkcionalne valorizacije, sistemsko rešenje u zaštiti i definisanju mera i režima ponašanja posebno dobija na značaju. Mere zaštite, a u cilju unapređenja kvaliteta vode, mogu se, po potrebi, korigovati praćenjem promena u slivu, promena u akumulaciji i analizom parametara kvaliteta vode tokom eksploatacije akumulacije.

Vodne akumulacije namenjene vodosnabdevanju mogu se prirodno i antropogeno, namerno i nenamerno, lako i raznovrsno ugroziti čime se trajno utiče na kvalitet i raspoloživost akumulirane vode. Akumulacije su zbog svoje otvorenosti i drugih karakteristika osetljive kako na direktna zagađenja vode, tako i na zagađenja sliva, ali i na druga negativna dejstva. Putem neispravne vode za piće može se preneti mnoštvo bakterija, virusa i parazita. Mikroorganizmi u zagađenoj vodi kraće opstaju na višoj temperaturi, pri jačem i dužem Sunčevom zračenju, pri manjoj količini organskih materija i češćoj promeni fizičkih i hemijskih svojstava vode.

Prema podacima SZO od bolesti prenetih vodom oboli oko 500 miliona ljudi, a umre oko 10 miliona. Procenjuje se da oko 10% bolničkih kreveta koriste bolesnici oboleli od bolesti preneti mikrobiološki neispravnom vodom.

## REŠAVANJE PROBLEMA VODOSNABDEVANJA U REGIONU VRANJA

Za rešavanje problema vodosnabdevanja grada Vranja, gradske opštine Vranjska Banja i opština Bujanovac i Preševo, na reci Banjštici izgrađena je brana "Prvonek", koja obezbeđuje visokokvalitetnu vodu za potrebe stanovništva i industrije. Obezbeđena je isporuka čiste vode od prosečno 550 l/s neto tokom cele godine.

Pored vodosnabdevanja, funkcija dobijene akumulacije (zapremina akumulacije 20 miliona m<sup>3</sup>) ogleda se i u zadržavanju nanosa. Oplemenjivanje malih voda predstavlja još jedan pozitivan efekat akumulacije. Ispuštanjem garantovanog minimuma od 75 m<sup>3</sup>, male vode su oplemenjene, što se pozitivno odražava na kvalitet vode. Iako je akumulacija

dimenzionisana na uslov obezbeđenja vode za vodosnabdevanje, tehničko rešenje brane, odosno vodozahvatnog objekta omogućava da se višak vode iz akumulacije može koristiti i u druge svrhe (energetske, ili za navodnjavanje) (Institut za vodoprivredu Jaroslav Černi, Beograd, 1989.)

#### SLIVNO PODRUČJE, AKUMULACIJA I LOKACIJA BRANE "PRVONEK"

Slivno područje brane čini Banjska reka sa svojim pritokama. Banjska reka je desna pritoka J. Morave, čiji sliv se prostire na 112 km<sup>2</sup> i približno je simetrično zastupljen sa obe strane reke. Dužina glavnog toka reke Banjšnice je oko 23 km, dok je ukupna dužina svih stalnih i povremenih tokova na slivu 85. Srednji pad toka iznosi 3,5‰. U okviru sliva Banjske reke je izdvojen sliv koji pokriva 64,31 km<sup>2</sup> do akumulacije "Prvonek". Na severu je Gradašnica sa površinom od 6,93 km<sup>2</sup> do akumulacije "Prvonek", značajnija pritoka Banjske reke, čiji sliv učestvuje sa značajnom površinom u slivu Banjšnice. Dolina reke Banjšnice, geomorfološki ima stešnjen oblik doline kanjonastog tipa sa značajno strmim obalama. Kao i na pregradnom mestu, dolina i uzvodno - duž cele akumulacije, ima asimetričan profil sa izrazito strmijom levom obalom, čiji su nagibi najčešće preko 45°, a mestimično i vertikalni, dok je desna strana blaža i u prosečnom nagibu od 35°. Aluvijalna dolina je široka 30m do 60 m na prostoru akumulacije, kao i u slivnom području uzvodno, ulivaju se brojni bujični tokovi strmog gradijenta. (Cibulić i sar. 2011).

#### TRETMAN VODE ZA PIĆE

Tehnološki proces pripreme vode i način njenog tretmana prilagođen je kvalitetu sirove vode u akumulaciji u cilju dobijanja vode za piće. Površinska voda akumulacije Prvonek je dobrog kvaliteta. Ona može da sadrži suspendovane čestice i nešto organskih materija, koje mogu biti odstranjene hemijskim tretmanom u fabric za proizvodnju vode za piće – PPV, koja se nalazi na 12 km od grada Vranja, na brdu iznad sela Kumareva, gde voda dolazi gravitaciono sa akumulacije „Prvonek“. Sezonsko opterećenje čvrstim suspendovanim materijama u obliku čestica finog mulja koje je uobičajeno, prvo se odstranjuje u pogonu za odmuljivanje ili u taložniku, posle čega se vodi dodaju hemijski flokulanti, kao što su soli aluminijuma ili gvožđa. Veće flokule se mogu odvajati u uređaju za bistenje, dok se finije odstranjuju na peščanom filteru. Voda se dezinfikuje gasnim hlorom kao oksidirajućim sredstvom. Proces prerade se bazira na primeni sledećih faza: brzo mešanje, koagulacija, flokulacija, taloženje, filtracija i dezinfekcija.

U PPV u komori za brzo mešanje, sirovoj vodi se doziraju hemikalije aluminijum sulfat, Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> kao koagulant, polielektrolit kao flokulant i kalcijum hidroksid, Ca(OH)<sub>2</sub> (hidratisani kreč za regulaciju Ph vrednosti). Mešanje se postiže nizom kaskada i komora, a po potrebi se uključuju i mešalice.

Taloženje vode se obavlja se na taložnicima kontaktnog tipa sa pulzirajućim slojem mulja. Taložnik se sastoji iz dve komore ukupne zapremine 3.300 m<sup>3</sup>. Voda se distribuira u sistem perforiranih cevi, položenim na dno pulzatora. Na određenoj visini od dna formira se oblak mulja koji „pulzira“ tj. menja gustinu zavisno od protoka vode. Time se postiže bolji kontakt formiranog mulja sa dolaznom vodom. Ovaj mulj je ujedno i apsorber nečistoća.

Debljina muljnog oblaka određena je visinom koncentratora u koje se mulj preliva u određenim vremenskim razmacima i odvodi; ritam odmuljivanja zavisi od mutnoće sirove vode. Iznad koncentratora se uspostavlja zona bistre vode koja se sa vrha taložnika sistemom cevi i kanala odvodi na filtre. Mulj iz prečišćivača i voda posle ispiranja filtera takođe otiču otpadnim tokom koji se uliva u obližnji vodotok koji se potom uliva u Južnu Moravu.

Što se tiče filtriranja, ono se u fabric za prečišćavanje vode –PPV, vrši na peščanim filtrima. Primenjuje se na obrađenoj vodi, posle primenjene koagulacije, flokulacije i bistenja. Brzi peščani filtri se sastoje od 6 filterskih jedinica, svaki površine od 60 m<sup>2</sup>. Filtersku ispunu čine tri granulacije: dve granulacije šljunka zbirne visine 30 cm, a iznad toga je sloj kvarcnog peska najfinije granulacije (1,2-1,5 mm) debljine 1m. Na dnu filtera su plastične cediljke koje sprečavaju prodor granulata u profiltrovanu vodu. Pranje peščanih filterskih polja se obavlja po potrebi, najčešće jednom u 24 h, i vrši se najpre, prođuvavanjem vazduhom a potom ispiranjem vodom (Milenković i sar. 2017).

Posle procesa filtracije, se vrši dezinfekcija prečišćene vode. Voda se sa dna filter polja odvodi cevovodom u rezervoar čiste vode, gde se na samom ulazu vrši završna dezinfekcija -hlorisanje vodenim rastvorom gasnog hlora do koncentracije koja će obezbediti i na najdaljim tačkama u mreži rezidual od 0,5 mg/dm<sup>3</sup>. Retenciono vreme u rezervoaru zapremine 4.000 m<sup>3</sup> je 4 h.

#### EKOLOŠKI POTENCIJAL AKUMULACIJE PRVONEK

Akumulacija Prvonek je obuhvaćena programom operativnog monitoringa. Prema Direktivi o vodama, programi operativnog monitoringa moraju koristiti parametre reprezentativne za praćenje elementa/elemenata kvaliteta najosetljivijih na pritisak/pritiske kojima je vodno telo izloženo. Korišćenjem rezultata operativnog monitoringa.

Ako rezultatu monitoringa za biološke elemente kvaliteta i opšte i specifične fizičko-hemijske elemente kvaliteta u vodnom telu zadovoljavaju tražene uslove za dobar ekološki status/potencijal, sveukupni ekološki status/potencijal vodnog tela biće dobar. Međutim, ako jedan ili više opštih fizičko-hemijskih elemenata kvaliteta ili specifičnih zagađivača ne zadovoljavaju tražene uslove za dobar ekološki status/potencijal, ali biološki elementi kvaliteta zadovoljavaju, sveukupni ekološki status/potencijal će biti umeren. (European Council Directive, 1991; Radna grupa 2A Ekološki status (ECOSTAT), 2003)

Procena nivoa pouzdanosti izvršena je u skladu sa kriterijumima definisanim Pravilnikom ("Sl. glasnik RS", 2010). Nivo pouzdanosti je srednji iz razloga što za ocenu statusa nisu korišćeni svi biološki i hidromorfološki elementi kvaliteta. Takođe, učestalost biološkog monitoringa i monitoringa indikativnih fizičko-hemijskih parametara niža je od minimalno predviđene za ocenu statusa. Odabir lokaliteta uzimanja uzoraka po horizontalnom profilu zavisi je od morfometrijskih karakteristika akumulacije. Lokaliteti sa oznakom A nalazili su se u blizini brane, u najdubljem delu akumulacije, sa oznakom B nalazili su se u centralnom delu, a sa oznakom C u najplićem delu, na ulazu u akumulaciju. Lokaliteti su određeni nakon preliminarnih terenskih merenja dubine, temperature vode, prozračnosti,

pH vrednosti, mutnoće, elektroprovodljivosti i rastvorenog kiseonika. Nakon odabira lokaliteta, uzorci su uzimani po vertikalnom profilu.

U Tabeli 1. prikazana je ocena ekološkog potencijala akumulacije u odnosu na elemente kvaliteta, generalna ocena ekološkog potencijala u 2016. godini, kao i procena nivoa pouzdanosti ocene statusa vodnog tela. Ekološki potencijal određuje najlošije ocenjen element kvaliteta. U 2016. godini konstatovan je umeren ekološki potencijal akumulacije Prvonek, na sva tri lokaliteta. Ovaj potencijal uslovljen je stanjem parametara trofičkog statusa.

Tabela 1. Ocena ekološkog potencijala akumulacije Prvonek u 2016. godini  
Table 1. Ecological potential evaluation of the Prvonek accumulation in 2016

Akumulac.	Naziv vodotoka	Šifra vodnog tela	Tip vodotoka na	lokalitet	Biološki elementi kvaliteta		Fizičko-hemijski elementi kvaliteta	Parametri trofičkog statusa	Ocena ekol. Potenc.	Procena nivoa pouzdan.
					Fito-plankton	Fito-bentos				
Prvonek	Banjska reka	Banjjm-2	Tip 4	A	Dobar i bolji	-	Dobar i bolji	umeren	umeren	srednji
				B	Dobar i bolji	-	Dobar i bolji	umeren	umeren	srednji
				C	Dobar i bolji	Dobar i bolji	Dobar i bolji	umeren	umeren	srednji

Izvor: Status akumulacije Prvonek u 2016. godini, Ministarstvo energetike, razvoja i zaštite životne sredine, Agencija za zaštitu životne sredine, Beograd, 2017.

Sigurnost u vodosnabdevanju - krajnji cilj u sistemu upravljanja vodoprivrednim sistemima, kao i obezbeđivanje neophodnog nivoa kvaliteta, uslovljena je velikim brojem faktora, kao što su: kvalitet vode na izvoristu, efikasnost tretmana, efikasnost integriteta distribucionog sistema i dr. (Dalmacija i sar., 2003, 2006) Da bi se postigla konstantnost obezbeđivanja vodosnabdevanja sigurnom vodom za piće, potrebno je primeniti sveobuhvatne procene rizika i pristupiti upravljanju rizikom koji obuhvata sve korake u vodosnabdevanju od vodozahvata preko rezervoara i distributivnog sistema, do potrošača.

Efikasan sistem kontrole i upravljanja kvalitetom pijaće vode mora biti baziran na odgovarajućim standardima. Glavna svrha standarda o kvalitetu vode za piće je zaštita javnog zdravlja. Dobra voda za piće (definisana standardima vode za piće) ne predstavlja značajniji rizik za zdravlje upotrebom, tokom života, uključujući različitu osetljivost u raznim dobama života. Međutim, kontrolisanje kvaliteta vode za piće saglasno standardima, ili na osnovu pravilnika, u praksi često nije dovoljno za dobro upravljanje proizvodnjom vode za piće. Problem je u tome što standard, ili pravilnik označava minimum kontrole zahtevane od strane države, dok sigurnost u vodosnabdevanju zahteva i više od toga.

Vodu za piće treba posmatrati u kontekstu javnog zdravlja i zdravstvenih posledica koje nam mogu doneti greške u radu. Vodoprivredni sistemi, među kojima se nalazi i vodovod u Vranju koji upravlja akumulacijom "Prvonek", svoje ciljeve moraju bazirati na zdravlju

svojih korisnika i u tom smeru donositi planove za zdravstveno bezbednu vodu za piće. Planovi moraju obuhvatati:

- procenu sistema za snabdevanje vodom za piće sa zdravstvenog aspekta;
- operacioni monitoring kontrolnih merenja koja su od važnosti za kvalitet vode;
- planove menadžmenta i monitoringa i opis akcije koje će se preduzimati u normalnim uslovima i incidentnim situacijama, uključujući poboljšanja i svu dokumentaciju. Sistem kontrole podrazumeva i stalni nadzor od strane društvene zajednice putem nadležnih inspekcija i Zavoda za Zaštitu Zdravlja u Vranju.

Sigurnost u vodosnabdevanju može biti narušena na svim nivoima proizvodnje, distribucije i konzumiranja vode. Zato je veoma važno, sagledavanjem sistema u celini, proceniti verovatnoću pojave rizika i odrediti preventivne mere kojima se rizik kontroliše, odnosno prevenira, redukuje ili eliminiše i dovodi na prihvatljiv nivo. Adekvatnim sistemom upravljanja mora se prevenirati biološka, hemijska, fizička i radiološka kontaminacija vode. Razni parametri mogu zahtevati razne prioritete u upravljanju radi unapređenja i zaštite zdravlja. Dok je u opštem smislu prioritet osiguravanje adekvatnog snabdevanja mikrobološki ispravnom vodom i podizanje svesti kod potrošača da ne koriste potencijalno neispravnu vodu.

U okviru faza proizvodnje i distribucije vode moraju postojati kontrolne tačke, ili mesta na kojima biološki, hemijski ili fizički faktori mogu biti kontrolisani. (EEC, 1991) Kontrolom na odgovarajućim mestima moraju biti zadovoljeni kritični limiti koji nam služe da napravimo razliku između prihvatljivog i neprihvatljivog nivoa. Kriterijumi koji se moraju ispoštovati, a odnose se na bezbednost vode za piće, sadržani su u regulativama i uputstvima (npr. Pravilnik o higijenskoj ispravnosti vode za piće, Direktiva EU, preporuke SZO). Sveobuhvatnost upravljanja vodoprivrednim sistemom kakav je akumulacija "Prvonek" podrazumeva uključivanje operativnih limita vezanih za kontrolu kvaliteta, potrošače, ekonomska pitanja, koji se ne odnose na bezbednost vode za piće, ali imaju indirektnog uticaja.

U cilju praćenja efikasnosti tretmana vode neophodno je uspostaviti odgovarajući monitoring tj. vršiti kontrolu merenjem, procenom ili testiranjem kvaliteta vode za piće, upoređujući rezultate merenja sa vrednostima iz pravilnika. Možemo razlikovati operativni, validacioni i verifikacioni monitoring. Operativni monitoring pomaže u upravljanju sistemom, kako bi se obezbedila sigurnost i efikasnost kontrolnih mera. Validacioni monitoring demonstrira da kontrolne mere zadovoljavaju postavljene ciljeve. Konačna provera funkcionisanja celokupnog distributivnog sistema postiže se verifikacionim monitoringom. (Milenković i sar. 2017)

Kada monitoring detektuje odstupanja koja prete da pređu kritične limite za određene parametre, primenjuju se korektivne mere. Korektivnim merama eliminišu se ili minimiziraju rizici na prihvatljiv nivo. Ceo sistem vodosnabdevanja bolje funkcioniše ukoliko se proces podeli na odvojene segmente (zaštita izvorišta, priprema vode, distribucija) što je između ostalog karakteristika vodoprivrednog sistema u Vranju i



doprinosi ostvarivanju pomenutog krajnjeg cilja u sistemu upravljanja, a to je sigurnost u vodosnabdevanju.

### KVALITET VODE ZA PIĆE U PČINJSKOM OKRUGU

Javno preduzeće Vodovod Vranje, vrši redovnu kontrolu kvaliteta pijaće vode u Pčinjskom okrugu, koji se vodom za piće snabdeva iz akumulacije Prvonek. U tabeli 2 dat je prikaz rezultata kontrole za period januar – decembar 2016. godine. Prilikom svakog pregleda vode iz vodovoda uzorci vode se uzimaju: 1) iz svakog izvorišta - ako su izvorišta direktno vezana na vodovodnu mrežu, ili iz sabirnog voda, odnosno iz rezervoara sirove vode - ako su povezana u jedan sistem; 2) iz rezervoara vode za piće; 3) iz vodovodne mreže, a broj tačaka se određuje zavisno od broja ekvivalentnih stanovnika. ("Sl. glasnik SRJ", 1999.)

Tabela 2 Rezultati ispitivanja higijenske ispravnosti vode za piće iz gradskih vodovoda za period januar – decembar 2016. (Izvor: JP Vodovod, Vranje)

Table 2 Results of testing of hygienic correctness of drinking water from city waterworks for the period January - December 2016 (source: Vranje Waterworks)

r. br.	Vodovod -grad	Bakteriološki pregled				Fizičko –hemijski pregled			
		Broj uzetih uzoraka	Neispravnih		Uzrok neispravnosti	Broj uzetih uzoraka	Neispravni		Uzrok neispravnosti
			Broj	%			Broj	%	
1	Bosilegrad	33	0	0	-	33	0	0	-
2	Bujanovac	111	0	0	-	111	0	0	-
3	Vladičin Han	177	0	0	-	177	0	0	-
4	Vranje	1031	1	0,08	kb	1031	0	0	-
5	Preševo	52	7	13,46	Kb, ubb, kf, strep.fek.	52	0	0	-
6	Surdulica	177	0	0	-	177	0	0	-
7	Trgovište	42	0	0	-	42	0	0	-
Ukupno		1893	8	13,54		1893	0	0	-

Na osnovu rezultata ispitivanja higijenske ispravnosti vode za piće (hlorisane) iz gradskih vodovoda za period januar – decembar 2016., prikazanih u tabeli 2, može se zaključiti da je skoro 90 % uzoraka podvrgnutih ispitivanju higijenske ispravnosti vode za piće iz gradskih vodovoda za period januar – decembar 2016. bilo bakteriološki ispravno.

### ZAKLJUČAK

Činjenica da akumulacija ima manje nego što je neophodno i da će, perspektivno, njihova raspoloživost biti u obrnutoj srazmeri sa porastom potražnje, uslovljava da one postaju posebna vrsta ekološko - geografskog resursa. Iako su resursi površinskih voda obnovljivi, ovakvo obezbeđenje suštinski njihovu valorizaciju uslovljava mogućnošću akumuliranja i zaštite. Takođe, bez obzira na nivo povoljnosti ili nepovoljnosti ekološko - geografskih

determinanti u samom akumulacionom basenu i vodoslivnoj zoni, ekološka vrednost akumulacije i njen životni vek uvek su ograničeni.

U radu je prikazana ocena ekološkog potencijala akumulacije u odnosu na elemente kvaliteta, generalna ocena ekološkog potencijala u 2016. godini, kao i procena nivoa pouzdanosti ocene statusa vodnog tela. Ekološki potencijal određuje najlošije ocenjen element kvaliteta. Procena nivoa pouzdanosti izvršena je u skladu sa kriterijumima definisanim Pravilnikom ("Sl. glasnik RS", 2010). Nivo pouzdanosti je srednji iz razloga što za ocenu statusa nisu korišćeni svi biološki i hidromorfološki elementi kvaliteta. Takođe, učestalost biološkog monitoringa i monitoringa indikativnih fizičko-hemijskih parametara niža je od minimalno predviđene za ocenu statusa. U 2016. godini konstatovan je umeren ekološki potencijal akumulacije Prvonek, na sva tri lokaliteta.

Prema rezultatima ispitivanja higijenske ispravnosti vode za piće iz gradskih vodovoda za period januar – decembar 2016., može se zaključiti da je skoro 90 % uzoraka podvrgnutih ispitivanju higijenske ispravnosti vode za piće iz gradskih vodovoda u posmatranom periodu bilo bakteriološki ispravno.

Na osnovu prikazanih rezultata, može se konstatovati da je 2016. godine, na osnovu ocene ekološkog potencijala akumulacije Prvonek, kao i na osnovu rezultata ispitivanja higijenske ispravnosti vode za piće iz gradskih vodovoda, kvalitet vode iz akumulacije Prvonek zadovoljavajući.

## LITERATURA

- Cibulić, V., Mitić-Stojanović, D. L., (2011) Kvalitet vode akumulacije "Prvonek", Zbornik radova Konferencije „VODA 11“, Udruženje za zaštitu voda Srbije, Zlatibor
- Dalmacija, B., Ivančev-Tumbas, L., (2003) Upravljanje kvalitetom voda sa aspekta okvirne direktive EU o vodama, Prirodno-matematički fakultet-departman za hemiju, Novi Sad
- Dalmacija, B., Agbaba, J., (2006) Kontrola kvalitete vode za piće, PMF - Departman za hemiju, N. Sad
- European Council Directive 91/271/EEC of 21 May 1991 concerning urban wastewater treatment (Direktiva o urbanim vodama 91/271/EEC)
- Milenković, M., Presburger Ulniković, V., Tretman vode za piće, primer akumulacije "Prvonek", Vranje, Zbornik radova konferencije "Politehnika 2017", Beograd, (2017) str. 291-296
- Pravilnik o higijenskoj ispravnosti vode za piće - ("Sl. glasnik SRJ", br. 42/98, 44/99)
- Pravilnik o utvrđivanju vodnih tela površinskih i podzemnih voda ("Sl. glasnik RS", br. 96/10).
- Projektno-tehnička dokumentacija. (1989) Brana "Prvonek", tehnički deo, knjiga 2, prikaz projekta, Institut za vodoprivredu Jaroslav Černi, Beograd
- Sveukupni pristup klasifikaciji ekološkog statusa i ekološkog potencijala, (2003) Okvirna direktiva o vodama, Zajednička strategija implementacije, Radna grupa 2A Ekološki status (ECOSTAT)

## JEDNO MOGUĆE RJEŠENJE SNABDIJEVANJA VODOM POLUOSTRVA LUŠTICA SA POLUOSTRVA KOBILA

Olivera Doklešćić

*“Vodovod i kanalizacija” d.o.o. Herceg Novi, e mail:  
[dokleštic.vodovodhm@gmail.com](mailto:dokleštic.vodovodhm@gmail.com), [olidok@gmail.com](mailto:olidok@gmail.com)*

### REZIME

Tema rada je snabdijevanje vodom poluostrva Luštica u opštini Herceg Novi, koje do danas nema rješeno ovo pitanje. U radu su date varijante rješenja, koje ranije nisu razmatrane, ali u posljednje vrijeme sve više dobijaju na značaju. Rješenje je da se za jedan dio Luštice voda obezbijedi iz hercegnovskog sistema snabdijevanja, i to iz postojećeg cjevovoda položenog duž poluostrva Kobilu. Kroz varijante rješenja razmatrane su različite mogućnosti polaganja cjevovoda na morskom dnu između Kobile i Luštice.

KLJUČNE RIJEČI: hercegnovski sistem snabdijevanja vodom, poluostrvo Luštica, poluostrvo Kobilu, novi cjevovod

## AN POSSIBLE SOLUTION OF WATER SUPPLY OF LUŠTICA PENINSULA FROM KOBILA PENINSULA

### ABSTRACT

The topic of the work is the water supply to the Luštica peninsula, which has not been resolved before, in the municipality of Herceg Novi. The paper presents variants of a solution, which has not been considered so far, but has been gaining importance in recent times. This solution is to provide water for a part of Luštica from Herceg Novi water supply system, using an existing pipeline located along the peninsula of Kobilu. Through the variants of this solution, various proposals for laying pipelines on the seabed between Kobilu and Luštica were considered.

KEY WORDS: Herceg Novi water supply system, Peninsula Luštica, peninsula Kobilu, pipeline

### UVOD

Poluostrvo Luštica, brdoviti greben koji razdvaja otvoreno more i Bokotorski zaliv, ima veoma razudenu liniju obale prema otvorenom moru, a skoro ravnu sa unutrašnje, od Rosa ka Pristanu i Krašićima, sa najvišočijim vrhom od preko 500 mnm, ukupne površine je 47

km<sup>2</sup>, dugo 10,5 a široko 6 km. U administrativnom smislu Luštica je podijeljena između opština Tivat i Herceg Novi. Hercegnovski dio poluostrva nema razvijenu hidrotehničku infrastrukturu, osim kraćeg poteza od Pristana do Krašića gdje postoji cjevovod koji je spojen na podmorski vod u kumborskom moreuzu, sa priključkom na hercegnovski sistem snabdijevanja u Kumboru. Posljednjih godina Luštica je predmet interesovanja velikih investitora, koji imaju namjeru da grade velike turističke komplekse, hotelske risorte. Nedostatak vodovodne mreže je velika kočnica razvoja poluostrva. Prvi korak u urbanizaciji prostora jeste postojanje vodovodne infrastrukture. Veliki planski zahvati: poput kompleksa „Montrose“, uvale „Porto Bono“ ili široki zahvat „Arza-Žanjice-Mamula“ definisani su razvojnim kapacitetima u planskim dokumentima državnih i lokalnih studija lokacija i nameću se zahtjevima za velikim količinama vode, svaki od 15 do preko 20 l/s. Jedan od takvih planskih zahvata je „Montrose“, koji se nalazi u nenaseljenom predjelu, u području nekadašnjeg vojnog kompleksa, fora Luštica – Kabala, između naselja Rose i uvale Dobreč, na samom ulazu u Bokokotorski zaliv, ukupne površine od 55,64 ha. U visinskom smislu prostire se od mora do kote 170 mnm. Čini ga izuzetno strm teren, koji je prošlog ljeta pretrpio veliki požar sa ozbiljnim posljedicama po vegetaciju makije. Sada je to golet sa spranim kamenom na izuzetnom velikom nagibu terena, koji je podložan erozionim procesima pod dejstvom vjetra i kiše.

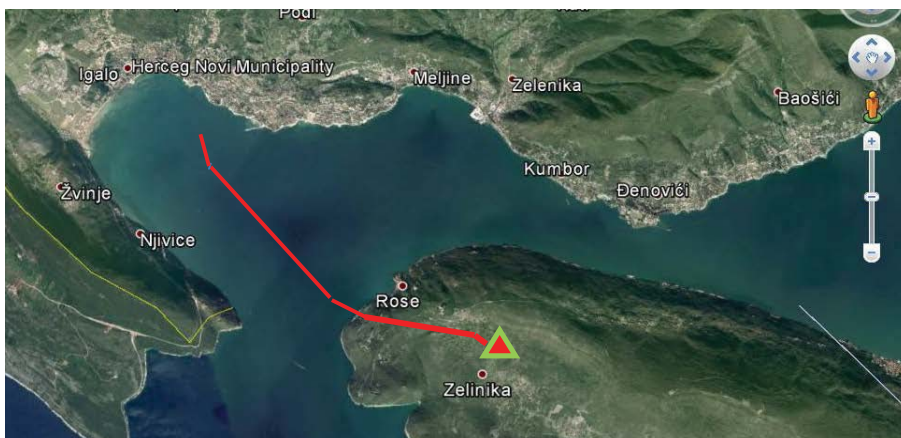


Slika 1. i 2. Lokacija Montrose na Lušnici (izvor: Google Earth), postojeće stanje i zahvat sa označenim površinama sekcija u planskom dokumentu (desno)

## OSNOVA KONCEPTA SNABDIJEVANJA VODOM DIJELA LUŠTICE – MONTROSE

Poluostrvo Luštica, predio bez sopstvenih izvorišta, može da bude snabdijevano vodom na tri načina:

- I. Iz hercegnovskog sistema snabdijevanja korištenjem podmorskog cjevovoda Kumbor-Pristan
- II. Iz sistema Regionalnog vodovoda, izgradnjom cjevovoda sa tivatske strane, kopnom
- III. Iz hercegnovskog sistema snabdijevanja korištenjem postojećeg cjevovoda Solila-Njivice- rt Kobila i premoščavanjem podmorja, kroz spojnicu rt Kobila rt Kabala.



*Slika 3. poluostrva Kobila i Luštica povezani novim cjevovodom za Montrose*

U ovom radu ćemo se baviti varijantama po trećem rješenju, korištenjem postojećeg cjevovoda DN 250 mm, koji je položen duž poluostrva Kobila i služi za snabdijevanje naselja na potezu od Igala, Solila, do Njivica i rta Kobila, gdje je plombiran u zoni graničnog prelaza sa Republikom Hrvatskom.

Po ovom rješenju do Luštice bi došao podmorski cjevovod s poluostrva Kobila, koji bi se nastavio na strani Luštice, DN 200 mm. Zbog velike visinske razlike od preko 110 metara potrebno je potiskivanje vode koja dolazi podmorskim cjevovodom s Kobile, pa su predviđene dvije pumpne stanice (na a.k. 64,00 mnm – desni krak, i na 49,50 mnm – lijevi krak), potisni cjevovodi vode ka prekidnim komorama (na a.k. 105,60 mnm, odnosno 106,00 mnm). Za slučaj dotoka sa strane Luštice prekidne komore će imati ulogu amortizera velikih pritisaka u sistemu.

Na ovaj način snabdijevanje vodom za područje u zahvatu Montrose obezbijedilo bi se kroz tri zone snabdijevanja :

- Prva zona do kote terena 64,00 mnm
- Druga zona: 64,00 – 106,00 mnm
- Treća zona: iznad 106,00 mnm

Ulazni parametri za zahvat „Montrose“ dobijeni su na osnovu DSL sektora 32 i sektor 33, gdje je:

- ❖ Potreban proticaj u dolaznom cjevovodu:  $Q = 23,95$  l/s
- ❖ Potreban proticaj unutrašnje distribucione mreže:  $Q = 25,50$  l/s
- ❖ Razvijanje vodovodne mreže u dvije visinske zone: I (0,00 – 60,00 mm)  
II (60,00 -130,00 mm)
- ❖ Apsolutne kote terena do 133 mm
- ❖ Nagib terena do 50%

Primarni cjevovod na poluostrovju Kobila čelični DN 250 mm, koji je povezan na glavni izlazni cjevovod iz FS „Mojdež“ (kt 148 mm), položen je duž kolske saobraćajnice Sutorina-Njivice-Konfin, sa desne strane, u uskom slobodnom pojasu. Imao je zadatak da snabdijeva vojne objekte na poluostrovju Prevlaka, a plombiran je u šahtu prije graničnog prelaza, u neposrednoj blizini granice sa R. Hrvatskom. Cjevovod je u dosta dobrom stanju duž područja Kobile, linearna potrošnja duž njega je relativno mala, dok je pritisak u njemu 5-6 bara. Na slici 4. data je mapa poluostrova Kobila sa ucrtanom vodovodnom cijevi i rezervoarima „Žvinje“ i „Njivice“. Rezervoar „Njivice“ ne smije da bude zanemaren, zbog njegove sadašnje i buduće uloge. Preporuke iz DUP-a Njivice u vezi snabdijevanja vodom su:

- Da bi bile zadovoljene planske potrebe predviđena je izgradnja novog rezervoara, kapaciteta  $V = 2 \times 500 \text{ m}^3$ , koji je lokacijski određen iznad kolske saobraćajnice na cc-a 135 mm.
- Potrebno je izvršiti rekonstrukciju vodovodne mreže u čitavom naselju Njivice, kako zbog dotrajalosti mreže, tako i prevazilaženja tzv. „uskih“ grla; time bi se obezbijedio veći proticaj kroz glavni cjevovod (DN 250 mm) i veći proticaj na njegovom kraju.

Kako se vidi na mapi na slici 3. posljednjih 1030 m, od spoja rezervoara „Njivice“, nema direktnih priključaka, tako da je to krak ostavljen upravo s namjerom budućeg priključenja za lokacije na Kobili, ili kao prekomorska (prekozalivska) veza sa nekim drugim mogućim područjem konzumenata (Ostrvo Mamula ili Luštica). Posljednja tačka cjevovoda nalazi se na mjestu gdje je kota 132.20 mm. Priključno mjesto bi bilo upravo na ovoj tački, s tim da je potrebno uraditi rezervoar na koti 135 mm, koji bi zadovoljio potrebe i budućih korisnika na poluostrovima Kobila i Luštica. Od spojne tačke cjevovod je potrebno voditi kopnom još cc-a 150 m (po ctežima 146,50 m), a potom spustiti u more, i podmorskim cjevovodom spojiti sa Lušticom.

#### METODE ZA POLAGANJE CJEVOVODA NA MORSKO DNO

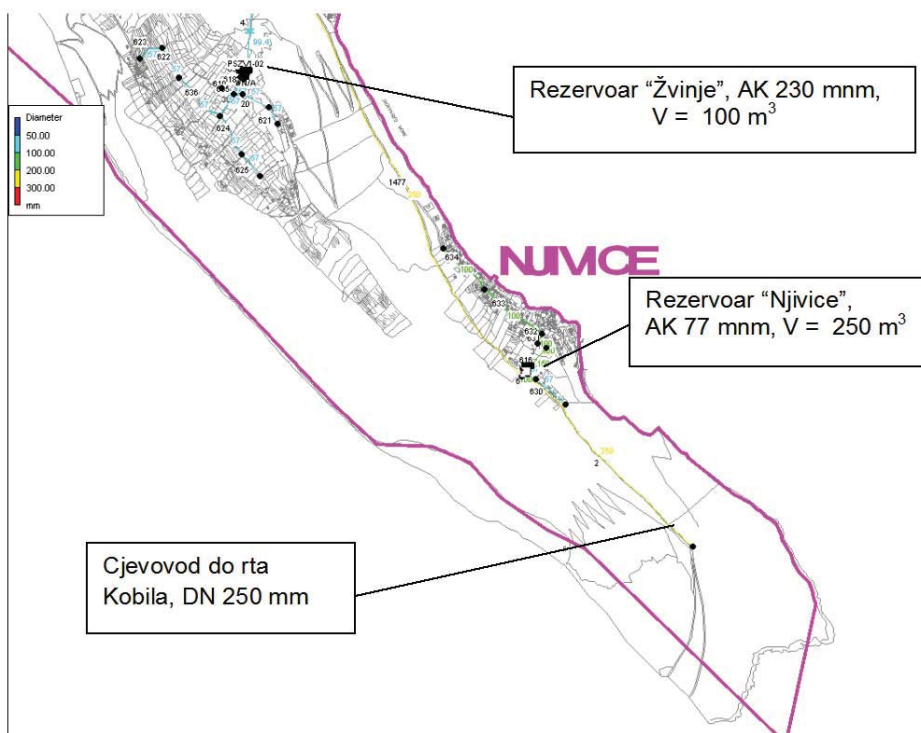
Najčešće metode za polaganje (potapanje) cjevovoda su one s broda ili koristeći plovne platforme, i to:

- S – polaganje (primjena od plitkih do dubokih voda),
- J – polaganje (primjena u srednje dubokim do dubokih voda),
- polaganje pomoću bubnja za namotavanje (primjena u srednje dubokim do dubokih voda).

Metode tegljenja su sljedeće:

- površinsko tegljenje,
- tegljenje ispod površine,
- tegljenje iznad dna,
- tegljenje po dnu i
- kontrolisana ravnoteža.

Primjena odgovarajuće metode je u korelaciji sa dubinom mora, a zavisi od računskih zahtjeva. Usvaja se metoda koja najviše odgovara uslovima sredine, obale, kao i dimenzije cjevoda (dužina i prečnik). Kriterijumi su: a) Područje približnih dubina „d“ do 12 prečnika cijevi „D“ ( $0 < d < 12D$ ), udaljenost od približno 150 metara od obale, još se smatra plitkim vodama. b) Za vode srednjih dubina pretpostavlja se područje dubina od približno 12D do 50D ( $12D < d < 50D$ ), ili udaljeno približno 150m do 300m od obale. c) Područje približnih dubina iznad 50D ( $d > 50D$ ), ili približno udaljeno 300m od obale, smatra se dubokim vodama.



Slika 4. Vodovod na potezu Njivice-rt Kobila,  
(izvor „Epanet“ model hercegnovskog sistema)

U slučaju prevođenja vode sa Kobile na Lušticu (kako se vidi u grafičkom prilogu) razmatrane su tri varijante rastojanja priključnih tačaka “A” na Kobili i “B” na Lušticu za moguće povezivanje:

- |    |   |
|----|---|
| a) | ukupna dužina profila $L = 1968$ m, dužina morskog profila $L_m = 1822$ m |
| b) | $L = 1610$ m, $L_m = 1463$ m  |
| c) | $L = 1477$ m, $L_m = 1331$ m  |

Karakteristika obale uz rt Kobile je: relativno naglo spuštanje stjenovite obale ka moru i postizanje dubine od 10 do 12 m već nakon 20-ak metara udaljenosti od obale, nagib dna od preko 30%. S luštičke strane nešto je blaža obala sa nagibom od 7 do 15 %, s tim da se najveće dubine u profile dostižu bliže obali Luštice.

U profilu “a” najveća dubina je 36 m, na 930 metara od Kobile, sa relativno blagim nagibom dna ka maksimalnoj dubini, i širinom od cc-a 700 metara ljevkastog udubljenja, u središnjem dijelu. U profilu “b” najveća dubina je također cc-a 36 m, ali je širina tog ponora oko 100 metara, i pomjeren je više ka Lušticu, odnosno, udaljen je od Kobile 1050 m. U profilu “c” najveća dubina je na udaljenosti od oko 1019 m od Kobile ili 458 m udaljeno od obale Luštice i također je 36 m.

Cijev za Lušticu, veza na postojeći cjevovod na Kobili, maksimalno može da ima prečnik 250 mm, ukoliko se ne radi kompletna rekonstrukcija, odnosno, polaganje novog cjevovoda od spoja na glavni cjevovod DN600 mm. Po dubinama u profilima morske spojnice: Kobile-Luštica, u tabeli su date vrijednosti dionica bitne za odabir tehnologije polaganja cjevovoda.

Iz tabele i profila zaključuje se da su zone plitkih i voda srednjih dubina za profil spojnice rt Kobile-rt Luštica uzuzetno kratke, odnosno, da je najveća dužina od preko 1,0 km dužina za polaganje u uslovima duboke vode.

*Tabela 1. Varijante podmorskih cjevovoda rt Kobile – rt Luštica*

Prečnik (mm)	Profil	Ukupna dužina morskog profila	Dužina za plitke dubine do 12D (0-3,00 m)	Dužina za srednje dubine 12D -50D (3,00 – 12,5 m)	Dužina za duboke vode, dubine veće od 50 D ( $\geq 12,50 - 30,00$ )
	<b>A</b>	1822	15,0	70,0	1737
250/300	<b>B</b>	1463	12,0	38,0	1413
	<b>C</b>	1331	10,0	42,0	1278



## METODA S – POLAGANJA

Način polaganja cjevovoda u more po metodi “S” polaganja zahtijeva da tegljač ima na svojoj palubi opremu za zavarivanje, da bi se tu vršilo spajanje djelova i nastavljanje cijevi po dužinama od 12 do 24 metra. Zavarivačka radionica omogućava zavarivanje u zaštićenom prostoru bez uticaja vlage, vjetra i kiše.

Kad tegljač kreće naprijed, cijev se otpušta s krme tegljača u vodu, poprima zakrivljen oblik prema dolje sve dok se ne dosegne dodirne točka na dnu. Nakon dodira s dnom, i s daljnjim nastavljanjem polaganja, pretpostavlja se da cjevovod poprima oblik S-krivulje. Otud naziv ove metode. Primjenjuje se u uslovima dubokih voda, po principu od plićih prema dubokima. U našem slučaju, uskog priobalja i uskog pojasa plitke vode, ovaj metod ne bi bio preporučljiv.

## METODA J – POLAGANJA

Metodom tzv. “J” polaganja izbjegavaju se neke od poteškoća kod metode “S”-polaganja, kao što su poduzno opterećenje i potisak prema naprijed. Kod metode J-polaganja tegljači spuštaju cijev gotovo vertikalno prema dolje dok ne dosegne dno. Pretpostavljajući da je oblik cijevi “J” nastao je naziv metode. Brod tegljač, korišten za primjenu metode J-krivulje treba da ima visok toranj na krmi da se mogu zavarivati i klizati zavarene cijevi dužina do 80 metara. S jednostavnijim oblikom cjevovoda, metoda “J”-polaganja može se primijeniti u dubljim vodama bolje nego kod primjene metode “S”.

## METODA POLAGANJA POMOĆU BUBNJA ZA NAMOTAVANJE

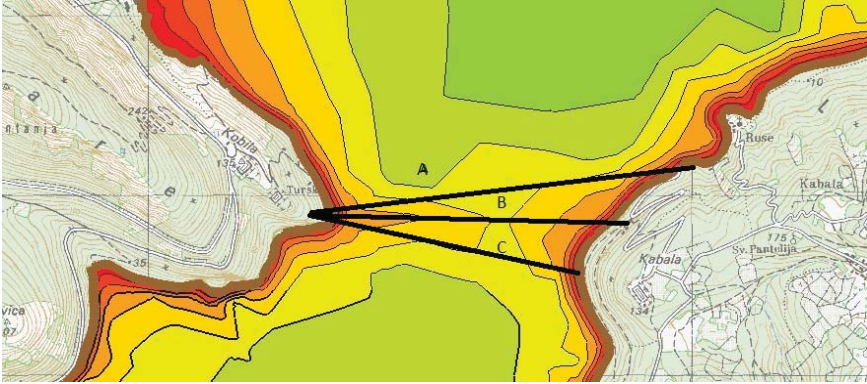
Primjenjuje se za manje prečnike cijevi, načinjene od fleksibilnih materijala. U našem slučaju to ne bi bilo primjenljivo.

## VODOVOD RT KOBILA – RT LUŠTICA

Uslovi polaganja cjevovoda na poluostrvu Kobila i na Luštici su veoma zahtjevni zbog velikog nagiba terena i malih ravnih površina, to umanjuje mogućnost montaže na licu mjesta, neposredno pred spuštanjem u more. Preporuka je da se odaberu cijevi od čelika, proizvodnja Njemačka (“Manesman” ili Francuska (“Pontomuson”).

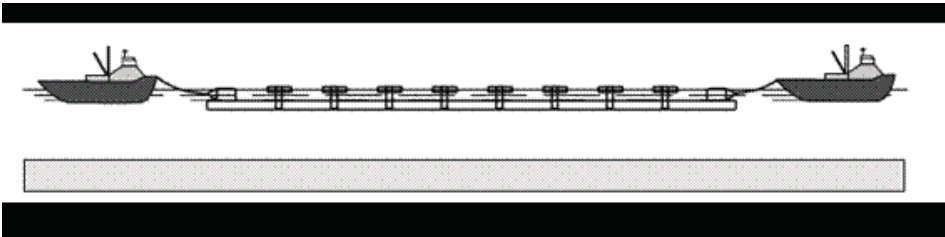
Otežavajuće okolnosti su transport od zemlje proizvođača do Crne Gore i Herceg Novog, obzirom da nema željezničkih veza a da su standardne dužine cijevi 12 ili 16 m. Treba računati na rizik transporta i uvećanje cijene za 20%. Nakon polaganja mora se misliti na praćenje stanja podmorskog cjevovoda i održavanje, zbog stalnog djelovanja morskih sila: uzgona, morskih struja, kočarenja i sl. što bi moglo da ošteti cjevovod. Cijena se formira na osnovu geoloških parametara morskog dna (kamenito, pjeskovito, mulj) minimalne, maksimalne, odnosno, prosječne dubine.

Izabrane su tri moguće varijante trasiranja podzemnog cjevovoda na potezu rt Kobilica – rt Luštica (rt Kabala), koje se prihvaćene u zavisnosti od djelovanja morskog struja, geoloških uslova morskog dna, kao i morfologije dna.



Slika 5. Morska spojnica rt Kobilica – rt Luštica (rt Kabala) na karti batimetrije

Varijanta A) odgovara spoju na Luštica za uključivanje naselja Rose, od koga treba voditi cjevovod ka višim tačkama hrbata Kabala sa kotom od 130 m. Varijanta B) određena je približno kolskom saobraćajnicom Rose-Kabala, kao najvažnijom komunikacijom priobalja i višim zona, odnosno, ostalih područja Luštica. Duž saobraćajnice je najjednostavnije i imovinsko-pravno najbezbednije trasiranje infrastrukture. Varijanta C) određena je kao najkraći potez između dvije tačke ulaza u zaliv, spojnice Kobilica–Kabala.



Slika 6. Površinski tegljač, plutajući cjevovod koji se potapanjem spušta na dno mora.



*Slika 7. Plivajući cjevovod*

Najuobičajenija je primjena polaganja vodovoda na morsko dno po modelu „S“. Cijev kod polaganja, u prvoj fazi pluta na vodi, zajedno sa svojom opteživačkom masom, prazna. Polaže se tako da se u početak cijevi, idući od obalne linije ka moru, počne da ispušta voda koja potapa cijev. Istovremeno se na kraju cijevi, kontrolisano ventilom, izpušta vazduh kako bi nova voda mogla da uđe.

U tabeli 2. su date vrijednosti svake varijante. Ono što izgleda da je finansijski najprihvatljivije kao najniža cijena ne znači da je i najbolje rješenje jer zavisi od drugih činilaca prostora i vrste potrošača, da li se rješava pitanje stalnih stanovnika (naselje Rose) ili turista i onih koji povremeno borave.

*Tabela 2. Rezime varijanti za slučaj priključenja na postojeći vodovod na Kobili*

Varijanta	VARIJANTA		
	A	B	C
Vrjednost investicije	2.018.111,00	1.853.655,00	1.763.501,00
Vrjednost investicije samo za Montrose i Mali Klinci	827,425,00	760.000,00	723.035,00

## ZAKLJUČCI

Poluostrvo Luštica ima velike razvojne mogućnosti ali je taj razvoj diktiran izgradnjom infrastrukture, u prvom redu, snabdijevanja vodom. Za hercegrovski dio Luštica postoje idejna rješenja za tri načina dovođenja vode na Lušticu. Dovođenje vode do lokacije nekadašnjeg vojnog kompleksa tvrđave Kabala, koji se u plansko-projektnoj dokumentaciji zove „Montrose“, moguć je sa poluostrva Kobila, priključenjem na sistem hercegrovskog snabdijevanja vodom, uz neophodne intervencije na postojećem cjevovodu DN 250 mm i dogradnjom neophodnih objekata na sistemu, na postojećim rezervoarima i izgradnjom novih, i novih pumpnih stanica. Tehničko-ekonomska analiza druga dva rješenja

priključenja Luštice na vodovodnu mrežu pokazala je da su druga rješenja skuplja od ovog navedenog u radu. Ono što je, ipak, ključna stvar dogradnje sistema na nove lokacije, kao što je Luštica, podrazumijeva smanjenje gubitaka u sistemu kroz sistematski pristup ovom zadatku.

#### LITERATURA

- Razrada mogućih idejnih rješenja snabdijevanja vodom i kanalisanja otpadnih voda za kompleks „Norstar“ na Luštici, „Ekoboka projekt“, Herceg novi, 2015.
- Državna Studija Lokacije, sektor 32: Rose – Dobreč, Centar za planiranje urbanog razvoja, Monte CEP, Kotor, 2009.
- Detaljni urbanistički plan Njivica, “Biro za urbanizam i projektovanje-Herceg Novi”, Herceg Novi, 2014.

## DEZINFEKCIONI NUSPROIZVODI NASTALI PRIMENOM RAZLIČITIH DEZINFEKCIONIH SEDSTAVA

Sanja Šarčević\*, Zoran Sekulić\*\*  
Dragoslav Budimirović\*\*\*, Neda Malešić\*\*\*\*

\* *JKP Vodovod i kanalizacija, Obrenovac, vikfvbsanja@vikobrenovac.com*,

\*\* *Gradski zavod za javno zdravlje Beograd, Bulevar despota Stefana 54a,  
zoran.sekulic@zdravlje.org.rs*

\*\*\* *Fakultet za primenjenu ekologiju – Futura, Požeška 83a Beograd, Univerzitet  
Singidunum, dragoslav.budimirovic@futura.edu.rs*

\*\*\*\* *Tehnološko metalurški fakultet, Univerzitet u Beogradu, Master-inženjer  
mned88@yahoo.com*

### REZIME

Tema ovog rada je dezinfekcija vode – principi i dezinfekciona sredstva – dezinfekcioni nusproizvodi. Metode za pripremu vode za piće obuhvataju čitav niz manje ili više kompleksnih procesa i operacija, koje se kombinuju i to u strogo određenim okvirima tehnoloških postupaka. Jedan od koraka pri pripremi vode za humanu upotrebu je proces dezinfekcije koji zbog svog ogromnog značaja predstavlja imperativ za sve vodovode. Takođe pri proizvodnji i distribuciji vode neminovno dolazi do raznih reakcija koje nastaju usled kontakta prirodnih sastojaka vode sa dezinfekcionim sredstvima (hlor, ozon, hlor-dioksid, hloramini...), te zbog toga mogu nastati raznovrsna toksična jedinjenja. Ta jedinjenja se nazivaju dezinfekcioni nusproizvodi.

KLJUČNE REČI: dezinfekcija, procesi, toksični, nusproizvodi

## DISINFECTION BY-PRODUCTS RESULTING FROM THE APPLICATION OF DIFFERENT DISINFECTANTS

### ABSTRACT

The theme of this paper is water disinfection: principles, disinfectants and disinfecting by-products. Methods for the preparation of drinking water include a whole range of more or less complex processes and operations that combine, in strictly defined framework of technological procedures. One of the steps in the preparation of water for human consumption is the process of disinfection, which due to its enormous importance provides the imperative for all waterworks. Also, in the production and distribution of water, inevitably there are various reactions that occur due to contact with natural ingredients of

water with disinfectants (chlorine, ozone, chlorine dioxide, chloramines ...), and therefore various toxic compounds can arise. These compounds are called disinfecting by-products.

KEY WORDS: disinfection, processes, toxic, by-products

## UVOD

Tehnološka šema kondicioniranja vode može biti veoma jednostavna npr. u slučajevima kada je dovoljna samo dezinfekcija vode, ali i krajnje kompleksna. Za kondicioniranje vode uglavnom se koriste sledeće operacije i procesi: mešanje, aeracija, koagulacija, flokulacija, taloženje, flotacija, oksidacija, sorpcija, filtriranje, a na kraju obavezno i uvek dezinfekcija. Voda je u prirodi u stalnom kruženju, prolazi kroz hidrološke cikluse i na tom putu neminovno dolazi u kontakt sa raznim organskim i neorganskim materijama, u velikoj je zavisnosti od sredine kroz koju protiče. Na taj način je izložena menjanju svog prvobitnog sastava zbog rastvaranja i suspendovanja raznovrsnih materija, a kao najlošija posledica ovoga je mogućnost i velika verovatnoća manjeg ili većeg stepena zagađenja.

## DEZINFEKCIJA VODE – PRINCIPI I DEZINFEKCIONA SREDSTVA

Dezinfekcija vode predstavlja osnovni proces kojim se mogu uništiti ili inaktivirati patogeni organizmi, ali ne i njihove spore. Sredstva za dezinfekciju se prema načinu delovanja mogu podeliti na sledeći način:

- Oksidativna sredstva u koja spadaju: hlor (gasoviti hlor, hipohlorit, hloramin), hlor-dioksid, ozon, vodonik-peroksid, permanganate i drugo. Njihovo dejstvo se ogleda u sledećem: uništavaju vegetativne oblike mikroorganizama, oksidišu organske primese u vodi čime se ne obezbeđuje samo primarna dezinfekcija već i rezidualna zaštita u distributivnom sistemu.
- Neoksidativna sredstva u koja možemo svrstati: UV zrake, membransku mikrofiltraciju i ultrafiltraciju, primenu ultrazvuka, oligodinamički efekat teških metala i drugo. Prednost ovakvih postupaka je u tome se u vodu ne dodaju nikakva hemijska sredstva koja bi mogla pogoršati kvalitet vode, ali imaju veliki nedostatak jer ovakvi postupci samo trenutno dezinfikuju vodu, a nedostaje rezidualno dejstvo koje obezbeđuje zaštitu distributivnog sistema.

Kako ne postoji postupak dezinfekcije koji se može primeniti u svim situacijama, određeni su opšti kriterijumi za procenu dezinficijenta koji moraju biti ispunjeni.

Sposobnost da uništi prisutne vrste mikroorganizama u zadovoljavajućim količinama, na datoj temperature i u toku određenog kontaktnog vremenskog perioda uz mogućnost fluktuacije u sastavu i kvalitetu vode.

Sposobnost da nakon ostvarenog rezultata ostane prisutan u rezidualnoj koncentraciji dovoljnoj da spreči rekontaminaciju, a da pri tom ne učini vodu toksičnom ili na bilo koji drugi način neupotrebljivom za predviđenu namenu.

Mogućnost brzog i pouzdanog snabdevanja po razumnoj ceni i u obliku u kome se može dozirati u vodu rutinski bez komplikovane i skupe opreme.

Mogućnost jednostavnog i pouzdanog određivanja koncentracije dezinfekcionog sredstva radi merenja dezinfekcione efikasnosti kontrole procesa kao i završne obrade.

## DEZINFEKCIONI NUSPROIZVODI

Procesom hemijske dezinfekcije vode neminovno dolazi do stvaranja nepoželjnih nusproizvoda. Bez obzira na činjenicu da je kvalitet vode za piće sa mikrobiološkog aspekta imperativ, minimizacija nastanka dezinfekcionih nusproizvoda je obavezan zadatak pri projektovanju ovakvih tehnoloških procesa.

Mnoga postrojenja iz oblasti su morala da menjaju tehnološke procese kako bi zamenili hlor nekim drugim dezinfekcionim sredstvom npr. ozonom, hlor-dioksidom, hloraminom, radi smanjenja mnogobrojnih nusproizvoda koji su nastajali pri tretiranju vode hlorom sa namerom da zadovolje obavezan je na zakonski regulisan nivo. Međutim ovi dezinficijensi mogu povećati nivo drugih toksikološki potencijalno mogućih nusproizvoda koji zahtevaju posebna razmatranja.

## VRSTE NUSPROIZVODA NASTALIH PRIMENOM RAZLIČITIH DEZINFEKCIONIH SREDSTAVA

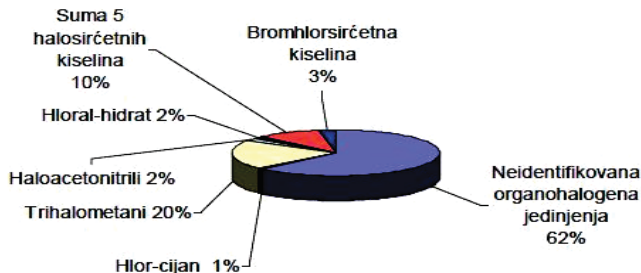
Vrsta primenjenog dezinfekcionog sredstva kao i razni parametri kvaliteta tretirane vode, uključujući operativne uslove, određuju vrstu nastalih dezinfekcionih nusproizvoda.

### HLOR

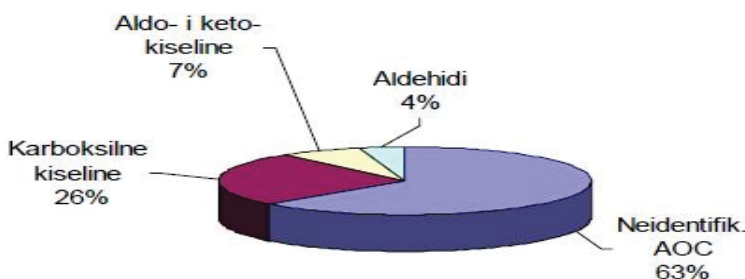
Najvažniji nusproizvodi hlorisanja su organohlorna jedinjenja (oko 260 jedinjenja je do sada identifikovano). Neki od najzastupljenijih dezinfekcionih nusproizvoda koji se formiraju hlorisanjem vode (Grafik 1) su: trihalometani, hlorovane alifatične kiseline i haloacetoni, a drugi veoma toksični su MX i njegovi analozi, di-, tri- i pentahlor-aceton kao i brojna druga jedinjenja. Halogenovani organski nusproizvodi nastaju u reakciji prirodnih organskih materija sa hlorom (kada se kao dezinfekciono sredstvo koristi hlor, hlor-dioksid i hloramin) ili bromom koji nastaje oksidacijom bromida, ukoliko su oni prisutni u sirovoj vodi. pH vrednost značajno utiče na to koja će vrsta dezinfekcionih nusprodukata nastati, tj. odnos nastalih halosirćetnih kiselina i trihalometana zavisi od sadržaja ukupnog organskog ugljenika, koncentracije bromida i pH vrednosti tokom hlorisanja.

### OZON

Kada se kao dezinfekciono sredstvo koriste ozon ili perokson nastaju nehalogenovani dezinfekcionni nusproizvodi (Grafik 2) distribucija dezinfekcionih nusproizvoda koji se formiraju ozonizacijom vode. Među najzastupljenijim su karboksilne kiseline, kao i njihovi bromovi analozi u slučaju prisustva bromida u sirovoj vodi, aldehidi, aldo- i keto-kiseline.



Grafik 1. Distribucija dezinfekcionih nusproizvoda koji se formiraju hlorisanjem vode  
Graph 1. Distribution of disinfecting by-products formed by chlorination of water



Grafik 2. Distribucija dezinfekcionih nusproizvoda koji se formiraju ozonizacijom vode  
Graph 2. Distribution of disinfecting by-products formed by ozonisation of water

Ozon ili slobodan hlor oksiduju bromid do hipobromata/hipobromne kiseline koji dalje u reakciji sa prirodnim organskim materijama formiraju bromovane organske nusproizvode kao što su bromoform, bromovane sirćetne kiseline, bromovane acetonitrile, brompikrin i brom-cijan. Pri visokim vrednostima pH, oksidacija ozonom favorizuje nastanak bromata, dok je formiranje bromovanih organskih nusproizvoda karakteristično pri nižim pH vrednostima. Halogenovani dezinfekcioni nusproizvodi ne nastaju prilikom dezinfekcije vode ozonom (osim kada je u vodi prisutan bromid), ali nastaju mnogi drugi organski i neorganski proizvodi. Značajno mesto zauzimaju aldehidi i to formaldehid, acetaldehid, glioksal i metilglioksal. Predozonizacija takođe dovodi do formiranja hlorpikrina, kada se pre hlorisanja voda ne tretira na biološki aktivnim filterima. Većina organskih nusproizvoda dezinfekcije ozonom je biodegradabilna, ozonizacija se kombinuje sa biološki aktivnom filtracijom čime se postiže maksimalno uklanjanje prekusora dezinfekcionih nusproizvoda pre sekundarnog hlorisanja ili hloraminacije. Ovo nije efikasno u slučaju bromata jer jednom nastao bromat ostaje sve do potrošača ukoliko se ne primene neke druge kontrolne mere. Takođe biološki aktivna filtracija nije efikasna u slučaju pojave dezinfekcionih nusproizvoda sa većom molekulskom masom, o kojima postoje veoma oskudne informacije.

Organski azot značajno utiče na formiranje dezinfekcionih nusproizvoda koji sadrže azot kao što su haloacetonitrili, halopikrini i halo-cijani.



## HLORAMIN

Monohloramin ispoljava manju efikasnost inaktivacije bakterija i virusa nego hlor, kada je u pitanju formiranje dezinfekcionih nusproizvoda njegova prednost u odnosu na hlor je višestruka. Primenom monohloramina takođe nastaju i trihalometani, halosirćetne kiseline i haloacetonitrili, ali su oni prisutni u znatno nižim koncentracijama. Produkcija trihalometana je značajno manja u poređenju sa hlorom (manje od 3%), a halogenovanih jedinjenja (9 – 49%), dok su nastala organohlorna jedinjenja hidrofilijska i većih molekularnih masa. Njegovom primenom nastaju i manje količine jedinjenja za koje je poznato da ispoljavaju mutageno dejstvo (MX i analozi). Međutim hloramin proizvodi jedan od dezinfekcionih nusproizvoda za koji se smatra da je humani kancerogen, a to je N-nitrozodimetil-amin.

## HLOR-DIOKSID

Organska jedinjenja slična jedinjenjima koja nastaju kod ozonizacije su takođe i glavni nusproizvodi dezinfekcije hlor-dioksidom. Hlorit i hlorat nastaju u različitim odnosima što je uslovljeno merom primenjene doze hlor-dioksida, reakcijama između hlora i hlorita, fotohemijskim procesima u vodi itd. Trihalometani nisu nusproizvodi dezinfekcije hlor-dioksidom, oni takođe mogu nastati i to kao posledica prisustva hipohlorita zaostalog u vidu nečistoće pri njegovoj proizvodnji.

## SREBRO ( $Ag^+$ )/VODONIK-PEROKSID

Sistem srebro  $Ag^+$  /vodonik-peroksid je u nekim zemljama Evrope odobren kao dezinfekciono sredstvo za vodu za piće, koristi se nakon jake primarne dezinfekcije UV zračenja, ozona ili hlora i to radi obezbeđivanja dugotrajnog rezidualnog dejstva u distributivnoj mreži. Nakon opsežnog proučavanja došlo se do rezultata da je nakon inicijalnog desetominutnog hlorisanja nastajanje trihalometana i halosirćetnih kiselina smanjeno za 72% i 67%, respektivno. Pretpostavka je da vodonik-peroksid redukuje hlor do hlorida i zaustavlja dalju reakciju hlora sa prirodnim organskim materijama.

## $TiO_2$ /UV

Kod primene  $TiO_2$ /UV sistema za dezinfekciju vode za piće, UV zračenje predstavlja dezinfekciono sredstvo, dok je  $TiO_2$  fotokatalizator. Pri ovakvom načinu dezinfekcije identifikovan je samo jedan dezinfekcioni nusproizvod i to 3-metil-2,4-heksandion u ultrafiltriranoj vodi. Primena ovog sistema pre sekundarnog hlorisanja može za 56% smanjiti nastajanje halogenovanih dezinfekcionih nusproizvoda.

## UV DEZIFEKCIJA

UV dezinfekcija se već koristi u dosta zemalja u Evropi, UV zračenje inaktivira rezistentne patogene, naročito je efikasno za viruse i to kada se koristi u kombinaciji sa hemijskim dezinfekcionim sredstvima. Iako nema puno saznanja o eventualnim

nusproduktima postoji mišljenje da oni i ne nastaju, međutim UV zračenje može u vodi da produkuje OH radikale, koji reaguju sa prirodnim organskim materijama što je jedan od već poznatih mehanizama reakcije sa ozonom, pa se smatra da se mogu očekivati i nusproizvodi slični onima koji nastaju prilikom ozonizacije.

#### REGULISANI DEZINFEKCIONI NusPROIZVODI

U poslednjih nekoliko decenija detektovan je veliki broj dezinfekcionih nusproizvoda. Pažnja je fokusirana na one nusproizvode koji su zakonom regulisani i koji se rutinski mere. Epidemiološke i/ili toksikološke studije su sprovedene uglavnom na laboratorijskim životinjama pa su tako i zdravstveni efekti pojedinih dezinfekcionih nusproizvoda procenjeni većinom na osnovu ovih studija.

Regulisani dezinfekcioni nusproizvodi su i hloral-hidrat, za koji je dokazana genotoksičnost, indikacije – mutacije gena, hromozomske aberacije i transformacije na ćelijama sisara *in vitro* prouzrokuje oštećenja DNK. Dokazana je kancerogenost - tumor jetre kod glodara. Haloacetonitrili – dokazana genotoksičnost, kao klasa pokazuju visoku reaktivnost izazivajući promene DNK na ćelijama sisara u testovima *in vitro* pokazuju ograničenu sposobnost da indukuju mutacije gena kod bakterija. Bromovani analozi generalno pokazuju izraženije citotoksično i genotoksično dejstvo. Kancerogeno delovanje do sada nije ispitano.

#### NEREGULISANI DEZINFEKCIONI NusPROIZVODI

MX (3-hlor-4-(dihlorometil)-5-hidroksi-2(5H)-furanon), je odgovoran za oko 57% ukupnog mutagenog dejstva hlorom dezinfikovane vode. Najjači je *in vitro* mutagen na bakteriji Salmonella i najjači kancerogen u testovima na glodarima od svih ispitivanih dezinfekcionih nusproizvoda. Indukuje tumore na više organa nego bilo koji ispitivani dezinfekcioni nusproizvod.

NDMA (n-nitrozodimetilamin) je dezinfekcioni nusproizvod hloramisanja i hlorisanja identifikovan 2001. godine. Može da potiče i iz otpadnih industrijskih voda (proizvodnja raketnog goriva, plastičnih masa, polimera i baterija). Predstavlja verovatni humani kancerogen, a koncentracija koja se dovodi u vezu sa rizikom od pojava raka je reda veličine  $10^{-6}$  prema EPA –i iznosi 0,7ng/l, WHO 0,1µg/l.

Ukupan broj do sada identifikovanih dezinfekcionih nusproizvoda je veoma visok. U Tabeli 1. prikazana je formirana lista od visoko prioriternih DBP, tako što su do sada svi identifikovani dezinfekcioni nusproizvodi prioritizirani na osnovu pretpostavljenog uticaja na zdravlje. Grupa eminentnih stručnjaka uključujući toksikologe i hemičare formirala je ovu listu koja obuhvata bromovane, hlorovane i jodovane halometane, bromovane i hlorovane oblike acetonitrila, haloetone, halokiseline i halonitrometane kao i MX i njegove analoge. Na osnovu opsežnih studija potvrđeno je prisustvo mnogih prioriternih polutanata (Tabela 1), a veoma je značajno zapažanje da je zamena hlora drugim dezinfekcionim sredstvima snizila nivo regulisanih trihalometana, dok su neki drugi dezinfekcioni nusproizvodi nađeni u značajnim koncentracijama. Došlo se do saznanja da su koncentracije jodovanih trihalometana bile najviše pri dezinfekciji hloramonom, dihaloaldehidi pri dezinfekciji hloramonom i ozonom, a MX i njegovi bromovani analozi

(BMX) su dostigli najviše koncentracije kada je korišćen hlor dioksid (praćen tretmanom hlor – hloramin), za dezinfekciju vode sa visokim sadržajem prirodnih organskih materija i bromida. Što se tiče hlor-dioksida on nije vodio stvaranju MX i BMX, ali nije ni uklonio MX prekursore, što je omogućilo stvaranje MX i BMX tokom intermedijarnog hlorisanja i sekundarne dezinfekcije hloraminom.

Tabela 1. Pregled „dezinfekcionih nusprodukata u razvoju“ odabranih za prioritizaciju  
Table 1. Overview of "disinfected by-products in development" selected for prioritization

<i>Neregulisane halokiseline</i> Bromhlorsirćetna kiselina Bromdihlorsirćetna kiselina	Dibromhlorsirćetna kiselina Tribromsirćetna kiselina	<i>Neregulisani halometani</i> Dihlormetan Dibrommetan	Bromhlormetan Tetrahlormetan Dibromdihlormetan
<i>Haloamidi</i> Hloracetamid Bromacetamid Jodacetamid Dihloracetamid Bromhloracetamid Dibromacetamid	Bromjodacetamid Trihloracetamid Bromdihloracetamid Dijodacetamid Hlorjodacetamid Tribromacetamid	<i>Haloacetonitrili</i> Hloracetonitril Bromacetonitril Dihloracetonitril Bromhloracetonitril Trihloracetonitril	Bromdihloracetonitril Dibromhloracetonitril Jodacetonitril Tribromacetonitril Dibromacetonitril
<i>Jodovane kiseline</i> Jodsirćetna kiselina Bromjodsirćetna kiselina 2-jod-3-metilbutendionska kiselina	(Z)-3-brom-3-jodpropenska kiselina (E)-3-brom-3-jodpropenska kiselina	<i>Jodovani trihalometani</i> Dihlorjodmetan Bromhlorjodmetan Bromdijodmetan	Dibromjodmetan Hlorjodmetan Jodoform
<i>Nitrozamini</i> N-nitrozodimetilamin N-nitrozopirolidin N-nitrozomorfolin N-nitrozopiperidin	N-nitrozodifenilamin N-nitrozometilamin N-nitrozodietilamin N-nitrozo-di-n-butilamin	<i>MX i halofuranoni</i>	
<i>Aldehidi</i> Formaldehid Acetaldehid Hloracetaldehid Dihloracetaldehid	Trihloracetaldehid (hloralhidrat) Bromhloracetaldehid Tribromacetaldehid	<i>Hlorovani fenoli</i> 2-hlorfenol 2,4-dihlorfenol 2,4,6-trihlorfenol 2,3,4,6-tetrahlrorfenol	2,4,5-trihlorfenol Hlorfenol Pentahlorfenol 4-hlorfenol 2,6-dihlorfenol
<i>Haloketoni</i> Hloropropanon Heksahloropropanon 1,3-dihloropropanon 1,1-dibromopropanon 1,1,3-trihloropropanon	1,1,1,3-tetrahlroropropanon 1,1,3,3-tetrahlroropropanon 1,1,3,3-tetrabromopropanon 1,1,1,3,3-pentahloropropanon 1-brom-1,1-dihloropropanon	<i>Haloanizoli</i> 2,4,6-trihloranizol 2,4,6-tribromanizol 2,4-dibromanizol	2,4-dihloranizol 2,6-dihloranizol 2-bromanizol 4-bromanizol
<i>Halonitrometani</i> Hlornitrometan Bromnitrometan Dihlornitrometan Dibromnitrometan	Bromhlornitrometan Trihlornitrometan Dibromhlornitrometan Tribromnitrometan	<i>Halopiroli</i> 2,3,5-tribrompirol	<i>4 druge klase DBP u razvoju</i> Heksahlorciklopentadien Tetrahlrorciklopentadien Hloralhidrazin Cianogenhlorid

## ZAKLJUČAK

Na osnovu svega navedenog može se zaključiti da najčešće primenjivana dezinfekciona sredstva kao što su hlor, hlor-dioksid i ozon, tokom procesa dezinfekcije vode formiraju niz neželjenih produkata, koji prema do sada prikupljenim podacima imaju sličnu verovatnoću

štetnog delovanja na čoveka. Iako rezultati pojedinih toksikoloških studija ukazuju na slab ili povećan rizik od pojave različitih vrsta tumora, usled ograničenog broja podataka nije moguće izvući generalne zaključke. Ovo svakako ne znači da prisustvo dezinfekcionih nusproizvoda u vodi za piće ne predstavlja problem.

Činjenica da je dosadašnjim ispitivanjima identifikovan samo mali deo od moguće formiranih nusprodukata dezinfekcije, od kojih su samo pojedini i toksikološki ispitivani, uz narastajući problem zagađenja voda, ukazuje na neophodnost sprovođenja intenzivnih kako toksikoloških tako i tehnoloških istraživanja na polju pripreme vode za piće i iznalaženja alternativnih dezinfekcionih sredstava kojima bi se minimiziralo formiranje dezinfekcionih nusprodukata.

#### LITERATURA:

- Degremont – Tehnika prečišćavanja voda, Izdavačko preduzeće građevinska knjiga, Beograd 1976.
- Richardson, S.D. Disinfection by-products and other emerging contaminants in drinking water, *Trends in Analytical Chemistry* 22(10), (2003).
- Richardson, S., Thruston Jr., A.D., Caughtran, T.V., Chen, P.H., Collete, T.W., Floyd, T.L., Schenck, K.M., Lykins Jr., B.W., Sun, G.R., Majetich, G. Identification of new drinking water disinfection byproducts formed in the presence of bromide, *Environmental Science and Technology*, (1999b).
- Udruženje za tehnologiju vode i sanitarno inženjerstvo, Vodovodni i kanalizacioni sistemi, Zbornik radova, (2015)
- Ivana Ivančev Tumbas. Organski ksenobiotici u preradi vode za piće,(2009).

## MIKROBIOLOŠKI STATUS VODE NA FABRICI ZA PROIZVODNJU VODE ZA PIĆE, MOJDEŽ, HERCEG NOVI

Rajević Aleksandra, Čepnić Dražan

*DOO „Vodovod i kanalizacija“ Herceg Novi, X hercegovačke brigade 3, 85 340  
Herceg Novi, Crna Gora, Email: [aleksandrarajevic1@gmail.com](mailto:aleksandrarajevic1@gmail.com)*

### REZIME

Redovne mikrobiološke analize i sezonski fitoplanktonski pregled na Fabrici za proizvodnju vode za piće „Mojdež“ imaju za cilj praćenje kvaliteta pristigle sirove vode i optimizaciju procesa proizvodnje vode za piće.

KLJUČNE RIJEČI: mikrobiološke analiza, fitoplanktonski pregled, kvalitet vode, voda za piće

## MICROBIOLOGICAL STATUS OF WATER AT THE WATER PRODUCTION PLANT, MOJDEŽ, HERCEG NOVI

### ABSTRACT

Regular microbiological analyzes and seasonal phytoplankton inspection at the plant are aimed at monitoring the quality of received raw water and optimizing the production of drinking water.

KEY WORD: microbiological analyzes, phytoplankton inspection, water quality, drinking water

### UVOD

Herceg Novi se snabdjeva vodom za piće sa vještačke akumulacije na rijeci Trebišnjici. Akumulacija se najvećim dijelom nalazi na teritoriji druge države, Republike Srpske, a tek manjim dijelom sliva i u Crnoj Gori, opština Nikšić. Voda se hidrotehničkim tunelom iz jezera odvodi ka vodostanu Plat u Republici Hrvatskoj gdje pokreće turbine Hidroelektrane „Dubrovnik“. Čeličnim cjevovodom se dalje sprovodi do fabrike za proizvodnju vode za piće u Mojdežu, Herceg Novi. Voda prolazi kroz teritorije tri države što čitavu situaciju čini specifičnom.

Pogonska laboratorija fabrike uzorkuje vodu na ulaznoj cijevi. Redovno se prate fizičko-hemijski, hemijski i mikrobiološki parametri. Fitoplanktonski pregled se radi na sezonskom nivou.

## MATERIJAL I METODE

Uzorkovanje vode se vrši u skladu sa Pravilnikom o načinu uzimanja uzoraka i metodama za laboratorijsku analizu vode za piće, Sl. list RCG 19/96.

Uzorak za mikrobiološku analizu uzima se u sterilnu flašu. Odmah po uzorkovanju pristupa se analizi. Radi se: dokazivanje prisustva koliformnih bakterija, streptokoka fekalnog porijekla kao i broj mezofilnih bakterija u 1ml uzorka. Laboratorija ima uslove za ispitivanje uzoraka objema metodama propisanim važećim Pravilnikom- određivanje najvjerojatnijeg broja (MPN) bakterija u 100 ml uzorka sa potvrđnim testom kao i određivanje tačnog broja bakterija u 100ml uzorka, MF metoda. Za dokazivanje prisustva koliformnih bakterija koristi se MacConkey bujon i agar. Za dokazivanje prisustva streptokoka fekalnog porijekla koristimo azid dektrozni bujon i žučni eskulin agar. Na podlozi za određivanje ukupnog broja mezofilnih bakterija pratimo njihov rast.

Uzorak za fitoplanktonski pregled sakuplja se planktonskom mrežicom. Kvalitativna analiza uzorka radi se mikroskopski korištenjem odgovarajućih ključeva za determinaciju. Indeks saprobnosti S, izračunava se prema formuli:

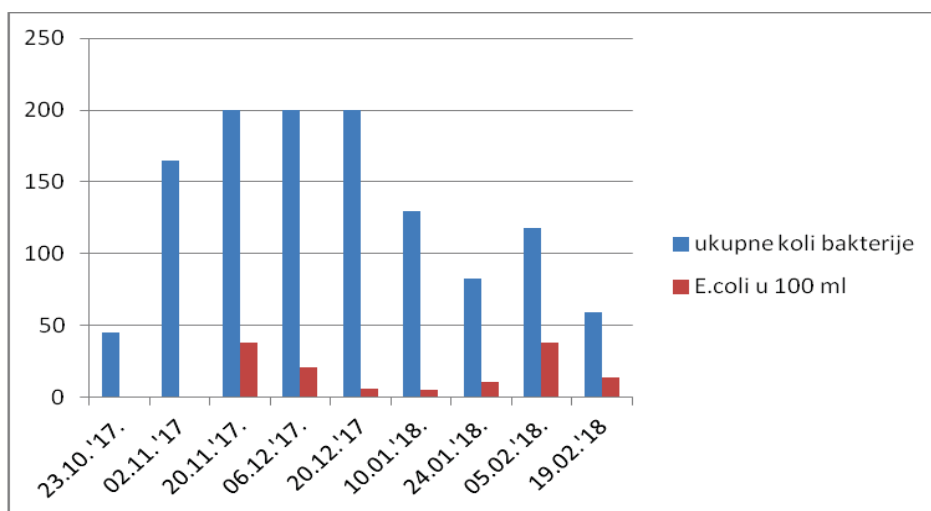
$$S = \sum h \times s / \sum h$$

gdje je h – učestalost vrste, s – saprobna vrijednost karakteristična za datu vrstu, a S – indeks saprobnosti.

## REZULTATI I DISKUSIJA:

Rezultati mikrobioloških analiza ukazuju da je voda koja dolazi na fabriku opterećena nekada većim, a nekada manjim mikrobiološkim zagađenjem. Količina toga zagađenja varira. Obzirom da dva grada koja se nalaze na obalama jezera i rijeke, Bileća i Trebinje, imaju izgrađene fabrike za preradu otpadnih voda, mikrobiološki kvalitet vode je najčešće vezan za meteorološke uslove kao što su: suša ili velike količine padavina, visoke temperature, mutnoća vode... Na kvalitet utiče i dubina vodenog sloja koji se ispušta na brani. Postoje periodi u kojima broj *Escherichia coli* bakterija u 100 ml uzorka izuzetno nizak, a streptokoke fekalnog porijekla se sedmicama ne identifikuju. Tada se voda može klasifikovati u vrlo slabo zagađene vode, po Kavki, 1994. Količina gasnog hlora koja je tada potrebna da se izvrši potpuna dezinfekcija vode je dosta manja od situacija kada se mikrobiološki status vode pokvari. Nakon obavljene dezinfekcije, voda se pušta u distributivni sistem sa obaveznim rezidualom hlora koji štiti vodu od mogućeg sekundarnog zagađenja.

Ukupan broj koliformnih bakterija u 100 ml uzorka je podatak koji govori o sanitarnom stanju vodnog resursa. Broj *Escherichia coli* bakterija u 100 ml uzorka je parametar koji ukazuje na postojanje zagađenja fekalnog porijekla. Sa slike 1 vidi se da je do pogoršanja mikrobiološkog statusa vode došlo sa početkom kišne sezone. Poslije prošlogodišnjeg dužeg sušnog perioda u drugoj polovini novembra pale su velike količine kiše. One su naglo podigle nivo jezera. Kiša je isprala suva korita lokalnih vodotoka. Voda koja je u tom periodu stizala na fabriku imala je povišenu mutnoću, povišene organske materije i lošiju mikrobiološku sliku. Nakon obaranja mutnoće i organskih materija, vršilo se intenzivnije hlorisanje, a mikrobiološka laboratorija je pratila efikasnost ovoga procesa. Potpuno dezinfikovana voda je slata u distributivni sistem sa rezidualom hlora od 0,5 mg/l. Ova vrijednost reziduala je ujedno i zakonski maksimum. Herceg Novi ima dugu i razgranatu distributivnu mrežu pa je ova količina hlora u vodi bila potrebna da bi i potrošač na najdaljoj tački dobijao na česmi kvalitetnu vodu.



Slika 1. Broj koliformnih bakterija u 100 ml  
Figure 1. Numbers coli bacteria in 100 ml

Međutim, čak i u ovoj opisanoj situaciji, voda se svrstava u slabo fekalno zagađene vode (Kavka, 1994).

Na osnovu naših kvalitativnih fitoplanktonskih analiza uočava se sezonska dinamika populacija. U ljetnjim, toplijim mjesecima dominiraju vrste iz razdjela Cyanophyta, modrozeleno alge i Chlorophyta, zelene alge. Dominantne vrste su: *Planktothrix agardhii*, *Oscillatoria major*, *Phormidium ambiguum*, *Hydrodictyon reticulatum*, *Spirogyra varians*, vrste iz roda *Stigeoclonium*, *Ulothrix tenerrima*.

Tabela 1. Zagađenost vode (Kavka, 1994)  
Table 1. Water pollution (Kavka, 1994)

<i>Escherichia coli</i> broj kol/ 100 ml	Fekalno zagađenje vode
1-10	Vrlo slabo zagađena
10-100	Slabo zagađena
100-1000	Umjereno zagađena
1000-5000	Zagađena
5000- 10 000	Vrlo zagađena
10 000- 100 000	Visoko zagađena
Iznad 100 000	Maksimalno zagađena

U hladnijim, jesenjim i zimskim mjesecima preovlađuju alge iz razdjela Bacillariophyta, silikatne alge, a nekada se u masi javljaju i populacije vrsta *Ceratium hirundinella* i *Peridinium cinctum* iz razdjela vatrenih algi, Pyrophyta. Dominantni predstavnici silikatnih algi su: *Fragilaria capucina*, *Fragilaria ulna*, *Fragilaria ulna* var. *acus*, *Meridion circulare*, *Pinnularia major*, *Tabellaria fenestrata*.

Taksonomski sastav i zastupljenost fitoplanktona odgovara očekivanim neporemećenim uslovima u jezerskom sistemu što je po definiciji datoj u Direktivi EU o vodama – odličan ekološki status.

Indeks saprobnosti se određuje po Pantle- Buku, 1955. Koriste se samo čisti indikatori. Voda na fabrici spada u  $\beta$ - mezosaprobne vode sa saprobnim indeksom koji oscilira od 2,10- 2,40. To je čini vodom II klase.

Saprobnost podrazumijeva prisutnost i razgradnju određenih količina organskih supstanci podložnih biološkoj razgradnji. U situacijama kada dolazi do hiperprodukcije fitoplanktona, a zatim i do njegovog ugibanja saprobnost sistema raste. Koncentracija organskih materija je tada visoka, a koncentracija kiseonika rapidno opada. Masa fitoplanktona može da utiče i na mutnoću vode. Analize radene u našoj laboratoriji ukazuju na konstantne vrijednosti ova dva parametra. Koncentracija kiseonika tokom cijele godine je visoka, iznad 8 mg/ l.

Tabela 2. Koncentracija O<sub>2</sub>  
Table 2. Concentration of O<sub>2</sub>

mjesec	avgust 2017.	septembar 2017.	oktobar 2017.	novembar 2017.	decembar 2017.	januar 2018.	februar 2018.
koncetracija	8,55	8,52	8,32	9,33	9,61	9,58	9,17



Utrošak  $\text{KMnO}_4$  je parametar koji govori o koncentraciji organskih materija u vodi. Maksimalno dozvoljena vrijednost, zakonom određena, je 5 mg/l. Voda koja stiže na postrojenje u Mojdežu uglavnom ispunjava ovaj zakonski uslov. U periodu od avgusta 2017. do februara 2018. godine urađeno je 378 analiza utroška  $\text{KMnO}_4$ . Neispravnih uzoraka bilo je 48 ( 12,70%), svi u kišnom, jesenjem periodu novembar- decembar. Maksimalna vrijednost ovoga parametra u ovom vremenskom intervalu bila je 6,77 mg/l. Povišene organske materije bile su posljedica jakih i obilnih kiša nakon dužeg sušnog perioda. Nisu povezane sa ljetnim temperaturnim pikovima kada se, u sistemima visokog saprobnog indeksa, može očekivati eventualno cvjetanje algi.

Konstantne vrijednosti ova dva parametra jasno ukazuju da cvjetanje algi nije pojava koja je svojstvena ovom sistemu. Stalan protok vode kroz cijevi kao i činjenica da se u svome putu do Mojdeža dodatno aerise na turbinama hidroelektrane dodaju na vrijednost našoj sirovini. Laboratorija prati vrijednost parametara vode koja stiže na postrojenje. Nemamo uvid u kvalitet vode na početku svoga puta, na jezeru. Nemamo saznanja niti o dubini vodenog sloja koji se ispušta na brani iz jezera. Podaci koji su izneseni u ovome radu tiču se samo vode pristigle na fabriku.

#### ZAKLJUČAK

Mikrobiološke analize vode pokazale su da kvalitet ispitivane vode varira- od vrlo slabo zagađene do slabo zagađene ( Kavka, 1994). Povezan je sa atmosferskim uslovima. Dezinfekcija vode je obavezna.

Hidrobiološki pregledi potvrđuju očekivanu sezonsku dinamiku. Vrijednosti parametara ne ukazuju na pojavu cvjetanja algi. Svrstava se u  $\beta$ - mezosaprobne vode, vode II klase.

LITERATURA:

- Pravilnik o bližim zahtjevima koje u pogledu bezbjednosti treba da ispunjava voda za piće, Sl.list CG br 24/2012
- Direktive Evropske unije o vodama, Udruženje za tehnologiju vode i sanitarno inženjerstvo, Beograd 2005
- Petrović O. et al : Mikrobiološko ispitivanje kvaliteta površinskih voda, Institut za biologiju, Novi Sad 1998.

## KVALITET SIROVE VODE IZ AKUMULACIJE BILEČKO JEZERO PRE I NAKON TRETMANA NA FILTER STANICI „MOJDEŽ“, HERCEG NOVI

Stamenković Tanja, Čolović Nataša

*DOO „Vodovod i kanalizacija“ Herceg Novi X hercegovačke brigade 3, 85 340  
Herceg Novi, Crna Gora, [vikhn.stamenkovic@gmail.com](mailto:vikhn.stamenkovic@gmail.com)*

### REZIME

Opština Herceg Novi snabdeva se vodom za piće iz akumulacije Bilečko jezero koje se napaja iz sliva reke Trebišnjice. Postrojenje za prečišćavanje vode za piće „Mojdež“ nalazi se u selu Mojdež i sastoji se od osam filterskih polja, cevne galerije, mašinske sale, komandne sobe i prostorija koje su namenjene za modernizovanje sistema za hlorisanje vode. Nakon procesa filtriranja, pored smanjenja mutnoće, utvrđeno je značajno poboljšanje kvaliteta vode u mikrobiološkom smislu. Redovno ispiranje filterske ispune usko je povezano sa učinkom tehnološkog procesa.

KLJUČNE RIJEČI: filtracija, mikrobiološke i fizičko-hemijske analize, kvalitet vode, sirova voda

## THE QUALITY OF RAW WATER FROM ACCUMULATION BILEČKO JEZERO BEFORE AND AFTER THE TREATMENT AT „MOJDEŽ“ FILTER STATION, HERCEG NOVI

### ABSTRACT

Municipality of Herceg Novi is supplied with drinking water from the reservoir Bilečko jezero which feeds the river Trebišnjica. The „Mojdež“ water purification plant is located in Mojdež village and consists of eight filter fields, tube gallery, machine room, command rooms and rooms intended for modernizing the water chlorination system. After the filtration process, in addition to reducing the blur, a meaningful improvement in water quality in microbiological term was established. The regular flushing of filter fillings is closely related to the effectivity of the technological process.

KEY WORD: filtration, microbiological and physico-chemical analyzes, water quality, raw water

## UVOD

Voda, zahvaćena iz akumulacije Bilečko jezero, posredstvom hidrotehničkog tunela, dolazi do vodostana „Plat“ koji se nalazi na području Hrvatske. Od vodostana „Plat“, kroz Hrvatsku, cevovod je prečnika 660,2 odnosno 711,2 mm (u zavisnosti od nagiba trase i drugih lokalnih uslova) i dužine 23,17 km. Na Debelom brijegu, u graničnom pojasu dve države, izgrađena je prekidna komora na koti 185,00 mnm, odakle voda gravitacijom odlazi na filter stanicu „Mojdež“ koja je najznačajniji objekat hercegNovskog sistema snabđevanja vodom. U njoj se pristigla sirova voda podvrgava tretmanu kojim se obezbeđuje hemijski i mikrobiološki ispravna voda za piće (po propisima iz Uredbe o klasifikaciji i kategorizaciji voda - s.l. RCG 14/96). Od filter stanice (FS) „Mojdež“, nakon tretmana, prečišćena voda ide u distributivnu mrežu.

Postrojenje za prečišćavanje vode za piće „Mojdež“ nalazi se u selu Mojdež, na padini koja je blago nagnuta prema jugu. Visinski položaj filterske stanice nalazi se na koti od 148.00 mnm. Ukupan kapacitet postrojenja za prečišćavanje iznosi 600 l/s, od čega se za sopstvene potrebe postrojenja koristi 45 l/s. Postrojenje za prečišćavanje se sastoji od osam filterskih polja, cevne galerije, mašinske sale, komandne sobe, i prostorija koje su namenjene za modernizovanje sistema za hlorisanje vode. Ispod filterskog postrojenja nalazi se rezervoar prečišćene vode. Rezervoar je preko preliva podeljen na deo sa neprikosnovenom rezervom za pranje filtera korisne zapremine 460m<sup>3</sup> i rezervoarom čiste hlorisane vode korisne zapremine 1770m<sup>3</sup>.

Na filter stanici „Mojdež“ vrši se konstantno ispitivanje sirove i hlorisane (finalne) vode. Kako su višegodišnja iskustva pokazala da hlorisanje vrši efikasnu dezinfekciju vode, zanimalo nas je u kojoj meri proces filtracije, pored obaranja mutnoće, ima uticaja i na smanjenje mikrobiološkog opterećenja. Stoga, cilj ovog rada, bio je da se ispita učinak procesa filtracije na kvalitet sirove vode iz akumulacije Bilečko jezero.

## MATERIJAL I METODE

Istraživanje je sprovedeno u periodu od februara do maja 2018. godine na filterskoj stanici „Mojdež“, Herceg Novi. Studija je obuhvatila mikrobiološka i osnovna fizičko-hemijska ispitivanja sirove vode pre i nakon procesa filtracije.

Proces filtriranja sirove vode odvijao se u filterskim peščanim poljima koja se sastoje od 110 cm kvarcnog peska, 30 cm antracita i 30 cm nosećeg sloja, sledećih osobina i granulacije:

- Kvarcni pesak
- Sadržaj silicijum dioksida (%) ..... veći od 98
- Specifična težina (t/m<sup>3</sup>) ..... ne manja od 2.5
- Nasipna težina (kg/m<sup>3</sup>) ..... 1700
- Tvrdća po Mohru ..... ne manja od 7
- Sadržaj vlage (%) ..... ne veći od 1

- |                          |  |             |
|--------------------------|--|-------------|
| <input type="checkbox"/> | Opseg granulacije (mm).....                        | 0.6-1.4     |
| <input type="checkbox"/> | Efektivni prečnik $d_{10}$ (mm) .....              | 0.70-0.75   |
| <input type="checkbox"/> | Koeficijent uniformnosti ( $d_{60}/d_{10}$ ) ..... | 1.3-1.5     |
| <input type="checkbox"/> | Čestice veće od 1.4 mm u (%) ne više od .....      | 10          |
| <input type="checkbox"/> | Čestice manje od 0.6 mm u (%) ne više od .....     | 5           |
| <input type="checkbox"/> | Visina peska (m) .....                             | 1.10        |
| <br>                     |  |             |
| <input type="checkbox"/> | Antracit   |             |
| <input type="checkbox"/> | Efektivni prečnik $d_{10}$ (mm) .....              | 1.40 - 2.50 |
| <input type="checkbox"/> | Visina (m) .....                                   | 0.30        |
| <br>                     |  |             |
| <input type="checkbox"/> | Noseći sloj šljunka                                |             |
| <input type="checkbox"/> | Donji sloj granulacije 4-8 mm (m).....             | 0.15        |
| <input type="checkbox"/> | Gornji sloj granulacije 2-4 mm (m).....            | 0.15        |

Osnovne karakteristike filterske jedinice su:

- |                          |  |                          |
|--------------------------|--|--------------------------|
| <input type="checkbox"/> | Tip.....                                       | brzi peščani filteri     |
| <input type="checkbox"/> | Tip regulacije rada filtera.....               | konstantan protok i nivo |
| <input type="checkbox"/> | Način pranja .....                             | vazduhom, pa vodom       |
| <input type="checkbox"/> | Dužina .....                                   | 6.20 m                   |
| <input type="checkbox"/> | Širina .....                                   | 6.20 m                   |
| <input type="checkbox"/> | Površina jedinice .....                        | 38.44 m <sup>2</sup>     |
| <input type="checkbox"/> | Broj jedinica.....                             | 8                        |
| <input type="checkbox"/> | Ukupna površina za filtraciju .....            | 307.52 m <sup>2</sup>    |
| <input type="checkbox"/> | Brzina filtracije .....                        | 6.75 m/čas               |
| <input type="checkbox"/> | Brzina filtracije za vreme pranja filtera..... | 7.50 m/čas               |
| <input type="checkbox"/> | Brzina vode za pranje.....                     | 30-60 m/čas              |
| <input type="checkbox"/> | Brzina vazduha za pranje .....                 | 60 m/čas                 |

Filterska regulacija je sa konstantnim protokom i konstantnim nivoom vode iznad peščane ispune. Ravnomerna raspodela protoka ostvaruje se preko podešavajućih preliva u svakoj od kasete filterskih polja, a konstantan nivo vode preko regulacionog zatvarača DN250 na odvodu čiste vode sa svakog polja i odgovarajuće merno-regulacione opreme. Za vreme filtracije uz pomoć regulacione opreme održava se nivo vode na koti 158.00 mm. Prolaskom kroz filtersku ispunu voda se preko drenažnog sistema, koji se sastoji od duplog dna, sa filterskim mlaznicama (diznama) odvodi u rezervoar čiste vode.

Po predloženom tehničkom rešenju pranje filtera vrši se rastresanjem filterske ispune vazduhom u trajanju od 5 minuta i završno ispiranje vodom u trajanju od 10 - 15 minuta sa sledećim inteziteom pranja:

- |                          |  |         |
|--------------------------|--|---------|
| <input type="checkbox"/> | Rastresanje filterske ispune (m/čas) ..... | 60      |
| <input type="checkbox"/> | Ispiranje vodom (m/čas) .....              | 30 - 60 |

Pranje filterske ispune obavlja se kada dođe do otvaranja regulacionog zatvarača, kada kvalitet filtrirane vode nije zadovoljavajući, ili kada je filter u radu 60 sati. Po završenom pranju filterske ispune, oprani filter pušta se ponovo u eksploataciju.

Uzorkovanje vode se vrši u skladu sa Pravilnikom o načinu uzimanja uzoraka i metodama za laboratorijsku analizu vode za piće, Sl. list RCG 19/96.

Uzorci za mikrobiološku analizu uzimani su u sterilnim posudama. Odmah po uzorkovanju, pristupalo se analizi. U uzorku vode, dokazivano je prisustvo koliformnih bakterija, streptokoka fekalnog porijekla kao i broj mezofilnih bakterija u 1 ml uzorka. Uzorci su zasejavani na čvrstim hranljivim podlogama – Mc Conkey agar, *Pseudomonas* cetrimid agar i eskulin agar. Hranljive podloge su nakon zasejavanja uzoraka inkubirane na 37°C i posle 48 h određivan je najverovatniji broj (MPN) bakterija u 100 ml uzorka sa potvrđnim testom, kao i tačan broj bakterija u 100ml uzorka membran-filter metodom. Za dokazivanje prisustva koliformnih bakterija korišćen je Mac Conkey bujon i agar, a za dokazivanje prisustva streptokoka fekalnog porekla, azid dektrozni bujon i žučni eskulin agar. Na podlozi za određivanje ukupnog broja mezofilnih bakterija praćen je njihov rast.

Fizičko-hemijske analize vode - miris, ukus, boja, temperatura, mutnoća, elektroprovodljivost, pH, hloridi, utrošak  $\text{KMnO}_4$ , stepen karbonatne tvrdoće ( $^0\text{KDH}$ ), bikarbonati ( $\text{HCO}_3^-$ ), ukupna tvrdoća ( $^0\text{UDH}$ ), kalcijum ( $\text{Ca}^{2+}$ ) i magnezijum ( $\text{Mg}^{2+}$ ) rađene su po standardizovanom protokolu.

## REZULTATI I DISKUSIJA

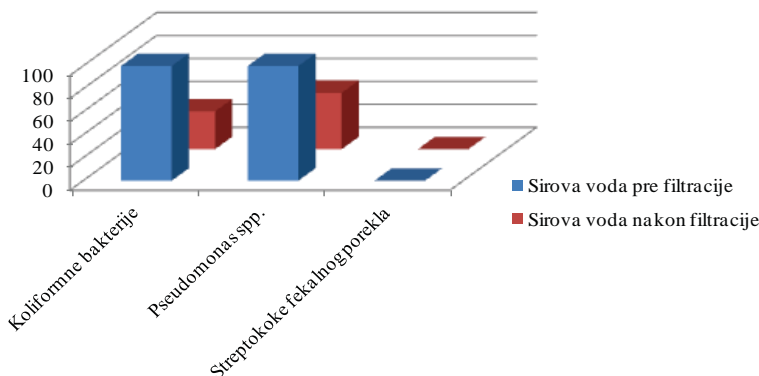
Bez obzira na ogromne raspoložive količine vode u prirodi, veliki procenat površinskih voda i značajan deo podzemnih voda već je zagađen i zahteva adekvatnu obradu pre puštanja u sisteme za vodnosnabdevanje stanovništva (Busuladžić, 2009). Ukus, miris i boja se smanjuju pomoću uobičajenog tretmana vode u procesu filtracije. Sa druge strane, neke od nepoželjnih hemikalija u vodi mogu se u potpunosti ili delimično ukloniti uobičajenim procesom filtracije, dok se većina ne može odstraniti ovim postupkom. Tada se primenjuju specijalni trajni tretmani pomoću aktivnog uglja (Busuladžić, 2009). Proces mikrofiltracije se primenjuje za bakteriološku obradu vode i sterilizaciju uklanjanjem bakterija iz vode (Rajaković i sar., 2003).

U našem istraživanju, upoređivanjem uzoraka sirove vode pre i nakon filtracije, pokazalo se da proces filtriranja peščanim filterima otvorenog tipa, značajno utiče na smanjenje broja bakterija u vodi. Zasejavanjem uzoraka vode na čvrstim hranljivim podlogama, uočeno je da se ukupan broj kolonija koliformnih bakterija u uzorku sirove vode smanjio nakon procesa filtracije od 520,6/100 ml na čak 171,5/100 ml. Takođe, proces filtracije doveo je i do značajnog smanjenja ukupanog broja kolonija *Pseudomonas* spp. (Tabela 1). Procenatualno smanjenje broja bakterijskih kolonija u sirovoj vodi nakon procesa filtracije prikazano je na grafikonu 1.

Tabela 1. Mikrobiološki parametri sirove i filtrirane vode  
Table 1. Microbiological parameters of raw and filtered water

Vrsta vode	Mikrobiološki parametri		
	Ukupan broj kolonija koliformnih bakterija	Ukupan broj kolonija <i>Pseudomonas</i> spp.	Ukupan broj kolonija streptokoka fekalnog porekla
Sirova voda pre filtriranja	520,6/100 ml	210,5/100 ml	0/100 ml
Sirova voda nakon filtriranja	171,5/100 ml	103,4/100 ml	0/100 ml

\*Prosečne vrednosti broja kolonija su dobijene nakon sumiranja rezultata tokom tromesečnih kontrola



Grafikon 1. Procenatualno smanjenje broja bakterijskih kolonija u sirovoj vodi nakon procesa filtracije  
Figure 1. Percentage reduction in the number of bacterial colonies in the raw water after filtration

Ispitivani fizičko-hemijski parametri u sirovoj i filtriranoj vodi prikazani su u tabeli 2.

Tabela 2. Fizičko-hemijski parametri sirove i filtrirane vode  
Table 2. Physico-chemical parameters of raw and filtered water

Parametar (referentne vrednosti)	Vrsta vode	
	Sirova voda pre filtriranja	Sirova voda nakon filtriranja
Miris (bez)	bez	bez
Ukus (bez)	bez	bez
Temperatura (>25 <sup>0</sup> )	10,5	11,1
Mutnoća <sup>0</sup> NTU (>1 <sup>0</sup> )	0,82	0,33
Elektroprovodljivost (>2500 μS/cm)	315	313
pH (6,8-8,5)	8,15	8,13
Hloridi (>250 mg/l)	6	6
Utrošak KMnO <sub>4</sub> (>5 mg/l)	3,06	2,45
<sup>0</sup> KDH	8,96	8,96
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	195,2	195,2
<sup>0</sup> UDH	9,18	8,96
Ca <sup>2+</sup> (mg/l)	55,20	55,20
Mg <sup>2+</sup> (mg/l)	6,32	6,32

\*Prosečne vrednosti ispitivanih parametara su dobijene nakon sumiranja rezultata tokom tromesečnih kontrola

## ZAKLJUČAK

Proces filtracije, pored obaranja mutnoće vode, značajno utiče i na smanjenje mikrobiološkog zagađenja, kao i na redukciju sadržaja organskih materija. Efikasnost samog procesa usko je povezana sa redovnim ispiranjem filterske ispune. U cilju optimizacije procesa filtracije, potrebno je uskladiti režim ispiranja filtera sa mutnoćom ulazne sirove vode.

## LITERATURA:

- Radomir Filipović: „Glavni projekat filterskog postrojenja Mojdež“, Beograd, 2007.  
Hasija Busuladžić. Konvencionalne metode prečišćavanja vode za piće. *Vodoprivreda* 2009; 41(237-239):61-67.  
Vladana N. Rajaković, Ljubinka V. Rajaković. Sprega konvencionalnih i savremenih metoda za obradu vode od ultra čistih do otpadnih. *Hem. ind.* 2003; 57(7-8):307-317.



## KARAKTERISTIKE VODE BEOGRADSKIH JAVNIH ČESAMA

Violeta Cibulić\*, Vladanka Presburger Ulniković\*,  
Sanja Mrazovac Kurilić\*, Luka Ivančajić\*\*,  
Novica Staletović\*, Maja Trifunović\*, Lidija Stamenković\*\*\*

\* *Univerzitet "Union-Nikola Tesla" Beograd, Cara Dušana 62-64,  
[vcibulic@gmail.com](mailto:vcibulic@gmail.com)*

\*\**Gradski zavod za javno zdravlje Beograd*

\*\*\**Visoka škola primenjenih strukovnih studija, Vranje, Filipa Filipovića 20*

### REZIME

Rad je deo programa monitoringa kvaliteta podzemnih voda u okviru redovne kontrole zdravstvene ispravnosti vode za piće na teritoriji Beograda. Ocena rezultata fizičko-hemijskih analiza vršena je prema Pravilniku o higijenskoj ispravnosti vode za piće. U radu su prikazani rezultati fizičko-hemijskih ispitivanja za pet najznačajnijih javnih česama na teritoriji Beograda: Hajdučka česma, Miljakovački izvor, izvor Sakinac na Avali, Sveta Petka-manastir Rakovica i Sveta Petka-Kalemegdan. Konstatovan je uglavnom odgovarajući kvalitet voda ispitivanih javnih česama sa fizičko-hemijskog aspekta.

KLJUČNE REČI: javne česme, Beograd, fizičko-hemijske karakteristike

## CHARACTERISTICS OF BELGRADE SPRING WATER

### ABSTRACT

The manuscript is a part of the groundwater monitoring program within the regular control of drinking water health safety in the territory of Belgrade. The assessment of the physicochemical analyzes results was carried out according to the Rulebook on hygienic correctness of drinking water. The paper presents the results of physical and chemical tests for the five most important spring water in the territory of Belgrade: Hajdučka tap, Miljakovac spring, Sakinac on Avali, Sveta Petka-monastery Rakovica and Sveta Petka-Kalemegdan. It was concluded the appropriate water quality of the most analyzed spring water, from a physicochemical point of view.

KEY WORDS: spring, Belgrade, physicochemical characteristics

## NITRATI U VODAMA BEOGRADSKIH ČESAMA I NJIHOVA STATISTIČKA ANALIZA

Sanja Mrazovac Kurilić\*, Violeta Cibulić\*,  
Vladanka Presburger Ulniković\*, Luka Ivančajić\*\*,  
Lidija Stamenković\*\*\*, Novica Staletović\*, Maja Trifunović\*

\* *Univerzitet "Union-Nikola Tesla" Beograd, Cara Dušana 62-64,  
[mrazovac@gmail.com](mailto:mrazovac@gmail.com)*

\*\* *Gradski zavod za javno zdravlje Beograd*

\*\*\**Visoka škola primenjenih strukovnih studija, Vranje, Filipa Filipovića 20*

### REZIME

U radu su prikazani rezultati ispitivanja koncentracije nitrata u vodi beogradskih česama, i njihova statistička analiza. Rezultati su prikazani za pet reprezentativnih javnih česama: Hajdučka česma, Miljakovački izvor, Sveta Petka Kalemegdan, Sveta Petka Rakovica i Sakinac na Avali. Analiza podataka dobijenih monitoringom parametara kvaliteta vode izvršena je primenom statističkih metoda. U radu je prikazana analiza trenda sadržaja nitrata u vodama sa javnih česmi grada Beograda. U te svrhe primenjen je Man-Kendalov test i linearna regresiona analiza sa računom korelacije. Na osnovu izvršene analize može se zaključiti da podaci ne ukazuju na postojanje značajnijeg vremenskog ili prostornog trenda. Ni na jednom lokalitetu nema prekoračenja MDK vrednosti za sadržaj nitrata.

KLJUČNE REČI: nitrati, javne česme, podzemna voda, testiranje trenda

## NITRATES IN BELGRADE SPRING WATER AND THEIR STATISTICAL ANALYSIS

### ABSTRACT

This paper presents results of the nitrate concentration in Belgrade spring water and their statistical analysis. The results are presented for five representative springs: Hajdučka spring, Miljakovac spring, Sveta Petka Kalemegdan, Sveta Petka Rakovica and Sakinac on Avala. Analysis of data obtained by monitoring of water quality parameters was carried out using statistical methods. The paper presents analysis of the nitrate content trend in the water from Belgrade springs. For this purpose, the Man-Kendall test and linear regression analysis with the correlation calculation were applied. Based on the analysis, it can be concluded that the data do not indicate the existence of a significant time or spatial trend. No locality has exceeded MAC values for nitrate content.

**KEY WORDS:** nitrate, springs, groundwater, trend test

## TEŠKI METALI U VODAMA BEOGRADSKIH JAVNIH ČESAMA

Vladanka Presburger Ulniković\*, Sanja Mrazovac Kurilić\*,  
Violeta Cibulić\*, Luka Ivančajić\*\*, Maja Trifunović\*

\* *Univerzitet "Union-Nikola Tesla" Beograd, Cara Dušana 62-64*

\*\**Gradski zavod za javno zdravlje Beograd*

### REZIME

Stanovništvo je izloženo teškim metalima, pre svega kroz potrošnju vode. Na taj način se teški metali mogu bioakumulirati u ljudskom telu i tako predstavljati pretnju ljudskom zdravlju. Do danas su u mnoštvu radova razmatrani razni aspekti teških metala u pitkoj vodi, uključujući vrste i količine metala u pitkoj vodi, njihove izvore, faktore koji utiču na njihovu koncentraciju, izloženost ljudi, potencijalne rizike i njihovo uklanjanje. Ovaj rad ima za cilj da analizira oblast koja je u okviru navedenih istraživanja najmanje obuhvaćena, a to je stanje vode sa česama, sa aspekta zagađenja teškim metalima. Ova studija identifikuje trenutno stanje u odabranim javnim česmama na teritoriji Beograda.

KLJUČNE REČI: teški metali, Beograd, voda, javne česme

## HEAVY METALS IN BELGRADE SPRING WATER

### ABSTRACT

The population is exposed to heavy metals, primarily through drinking water. In this way heavy metals can be accumulated into the human body and thus present a threat to a human health. Till today, many aspects of heavy metals in drinking water have been considered in many works, including types and quantities of metals in drinking water, their sources, factors that influence their concentration, human exposure, potential risk and their removal. This paper aims to analyze the area that is the least covered in the above research, a state of spring water, from the aspect of pollution by heavy metals. This study identifies the current situation in selected springs in the territory of Belgrade.

**KEY WORDS:** heavy metals, Belgrade, water, springs

## MONITORING SIROVE VODE I POLUPROIZVODA U VODOVODU BANJA LUKA

Branko Miljanović\*, Ivana Mijić Oljačić\*, Nemanja Pankov\*,  
Sonja Pogrmić\*, Šandor Šipoš\*, Aleksandar Bajić\*,  
Miljana Miljanović\*\*, Zorana Popović\*\*, Maja Nakić \*\*

\* *Departman za biologiju i ekologiju, Prirodnomatemički fakultet, Univerzitet u  
Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 2, Novi Sad,  
[branko.miljanovic@dbe.uns.ac.rs](mailto:branko.miljanovic@dbe.uns.ac.rs)*

\*\* *Vodovod ad Banja Luka*

### REZIME

Vodni sistem Banja Luka je najveći i jedini regionalni vodni sistem u Republici Srpskoj. Kao sirovina za proizvodnju pitke vode za piće služi površinska voda reke Vrbas. Hidrobiološka istraživanja sirove vode i poluproizvoda su sprovedena u periodu od juna 2015. godine do maja 2017. godine. Hemijski pokazatelji kao i koncentracija hlorofila a ukazuju na prvu klasu kvaliteta površinskih voda. Međutim rezultati analize fitoplanktonske zajednice ukazuju na drugu klasu kvaliteta površinskih voda, dok fauna dna, na nekim lokalitetima ukazuje na treću do četvrtu klasu kvaliteta površinskih voda.

KLJUČNE REČI: vodosnabdevanje, saprobiološki indeks, biotički indeks, ekološki status

## MONITORING OF RAW WATER AND SEMI- PRODUCT IN THE WATER SUPPLY SYSTEM OF BANJA LUKA

### ABSTRACT

The water supply system Banja Luka is the largest and only regional water system in the Republic of Srpska. Surface water of the Vrbas River is used as the raw material for the production of drinking water. Hydrobiological studies of raw water and semi-finished products were carried out from June 2015 to May 2017. Chemical indicators as well as the concentration of chlorophyll a indicate the first class of surface water quality. However, the results of the phytoplankton community analysis point to the second class of surface water quality, while benthic fauna on some sites indicates to the third and fourth class of quality of the surface waters.

KEY WORDS: water supply, saprobic index, biotic index, ecological status

## UVOD

Vodni sistem Banja Luka je najveći i jedini regionalni vodni sistem u Republici Srpskoj. Pored Banja Luke, vodom se snabdevaju i delovi opština Čelinac i Laktaši (Glogovac i sar., 2016). Kao sirovina za proizvodnju služi površinska voda reke Vrbas, koja se crpi iz otvorenog vodozahvata.

Hidrobiološka istraživanja vodovodnog sistema Banja Luka su sprovedena u periodu od juna 2015. godine do maja 2017. godine. Za potrebe istraživanja uzeti su uzorci sedimenta i planktona, prema specifikaciji uzoraka vode za biološki monitoring, planiranog od strane stručnih lica iz „Vodovod“ a.d. Banja Luka, Sektor kvaliteta vode i ekologije. Uzorci su obrađeni u hidrobiološkoj laboratoriji Departmana za biologiju i ekologiju, Prirodno-matematičkog fakulteta u Novom Sadu.

Istraživanja hemijskih pokazatelja kvaliteta sirove vode reke Vrbas, sprovedena su u laboratoriji vodovoda.

Cilj ovih istraživanja je procena kvaliteta vode, reke Vrbas na mestu ulaska u vodovodni sistem (vodozahvat), taložnica i poluproizvoda.

## MATERIJAL I METODE RADA

Materijal za hidrobiološka istraživanja prikupljen je na 6 punktova vodovodnog sistema Banja Luka. Prikupljeni su uzorci sirove vode na lokalitetima:

1. vodozahvat (reka Vrbas, korito, ulaz);
2. infiltraciona taložnica T-1;
3. infiltraciona taložnica T-2, polje B;

kao i poluproizvoda:

4. sistem za kondicioniranje - uzorak vode nakon taložnika PP „N<sub>1</sub>“;
5. sistem za kondicioniranje (voda za piće) PP „N<sub>1</sub>“ i PP „N<sub>2</sub>“, polazni cevovod Ø1000;
6. sistem za kondicioniranje PP „N<sub>2</sub>“ – uzorak vode nakon taložnika.

Određivanje koncentracije hlorofila a vršeno je spektrofotometrijskom standardnom metodom (APHA, 1995). Istraživanja hemijskih parametara sirove vode reke Vrbas, na samom vodozahvatu, vršena su kontinuirano na polumesečnom i mesečnom nivou u laboratoriji vodovoda.

Uzorci za analizu fitoplanktonske zajednice prikupljeni su planktonskom mrežicom, promera okaca 22 µm. Uzorci su fiksirani na terenu Lugolovim rastvorom, nakon čega su transportovani u laboratoriju gde je obavljena determinacija organizama, kao i procena relativne učestalosti. Taksonomska identifikacija fitoplanktonskih organizama obavljena je korišćenjem standardnih ključeva za određivanje pojedinih fitoplanktonskih grupa, dok je abundanca pojedinačnih taksona određena prema skali: 1 – retko, 3– često, 5– dominantno. Za svaki lokalitet pojedinačno računat je saprobni indeks (S) pomoću formule koju su dali Pantle i Buck 1955. godine, uz korišćenje liste indikatorskih organizama (Wegl R., 1983).

Uzorci faune dna (makrozoobentosa) za kvalitativnu i kvantitativnu analizu, su sakupljeni kick sampling metodom i bagerom tipa Van Veen. Uzorci sa svih lokaliteta su fiksirani i konzervirani u 96% alkoholu. Determinacija organizama makrozoobentosa je izvedena na živim jedinkama primenom standardnih ključeva za određivanje ovih grupa organizama



(Hrabe, 1972., Kerovec 1983., Pennak 1979., Bogoescu 1958., Carchini 1983., Ikonov 1959., Mach 1960). Nakon obrade materijala za svaki lokalitet pojedinačno, izračunat je trent biotički indeks.

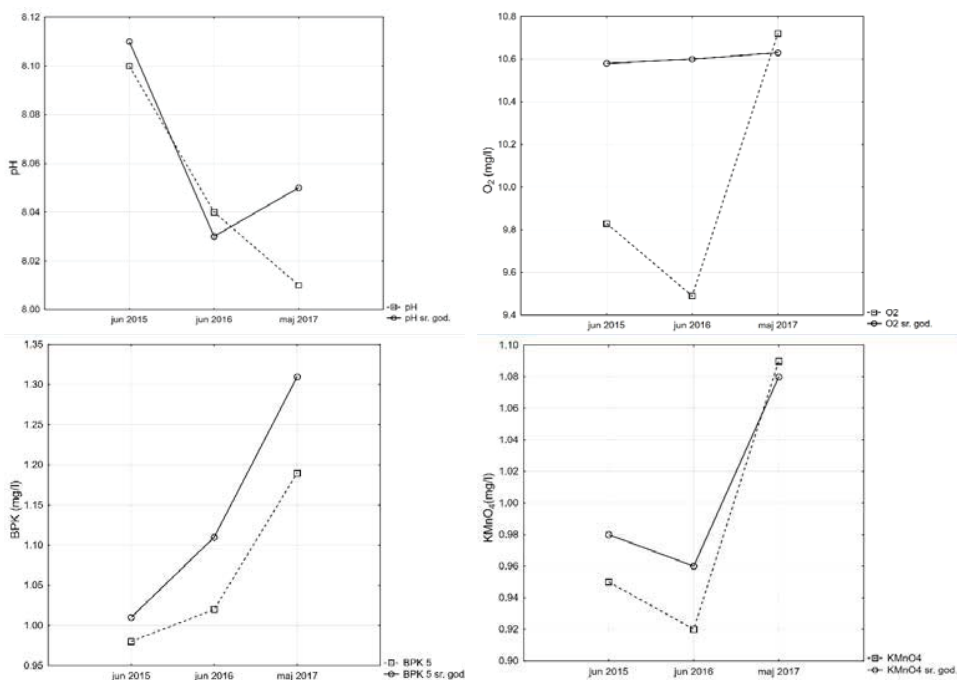
Upotreba saprobiološkog indeksa po Pantle-Buck-u, kao i biotičkog indeksa za makroinvertebrate obuhvaćena je Uredbom o klasifikaciji voda i kategorizaciji vodotoka Republike Srpske "Sl. Glasnik RS" broj 42/1, zbog kontinuiteta i potrebe upoređivanja sa istorijskim podacima. Prema ovoj Uredbi izvršena je procena kvaliteta sirove vode i poluproizvoda.

## REZULTATI I DISKUSIJA

### Hemijski elementi kvaliteta površinskih voda

#### *Sirova voda – Vrbas*

Vrednosti kiseoničnog režima reke Vrbas ukazuju na vodu bogatom kiseonikom i sa malom količinom organske materije. Srednje godišnje vrednosti rastvorenog kiseonika su se kretale od 10.58 mg/l koliko je izmereno u junu 2015. godine do 10.63 mg/l koliko je izmereno u maju 2017. godine (slika 1).



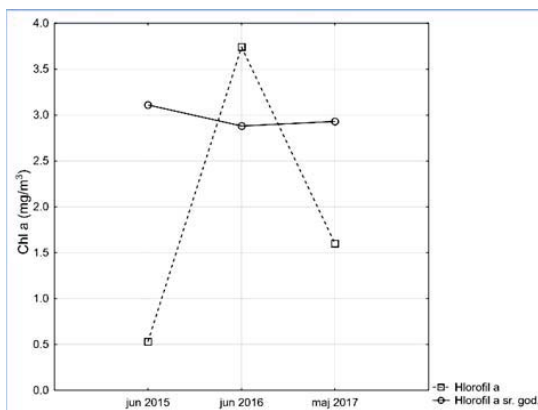
Slika 1. Mesečne i srednje godišnje vrednosti odabranih hemijskih parametara na lokalitetu Vrbas  
Picture 1. Monthly values and average annual values of selected chemically parameters at Vrbas site

Konstatovane srednje godišnje vrednosti kao i vrednosti izmerene u mesecima kada su vršena hidrobiološka istraživanja ukazuju da voda reke Vrbas pripada prvoj klasi kvaliteta površinskih voda. Srednje godišnje vrednosti biološke potrošnje kiseonika i hemijske potrošnje kiseonika, kao i vrednosti ovih parametara izmerene u mesecima kada su uzeti hidrobiološki uzorci, kretale su se, takođe, u granicama prve klase kvaliteta površinskih voda. Opšti pokazatelj hemijskog statusa vode, pH vrednost, kretao se, takođe u granicama prve klase kvaliteta površinskih voda.

### Biološki parametri – Hlorofil-a

#### *Sirova voda - Vrbas*

Konstatovane vrednosti hlorofila-a na lokalitetu Vrbas kretale su se od  $0.53 \text{ mg/m}^3$  koliko je zabeleženo u junu 2015. godine, do  $3.74 \text{ mg/m}^3$  koliko je zabeleženo u junu 2016. godine. (slika 2).



Slika 2. Mesečne i srednje godišnje vrednosti hlorofila a na lokalitetu Vrbas  
Picture 2. Monthly values and average annual chlorophyll a values at a site Vrbas

Zabeležene vrednosti kao i srednje godišnje vrednosti ukazuju na prvu klasu kvaliteta površinskih voda.

#### *Sirova voda - infiltraciona taložnica T-1*

Vrednosti koncentracije hlorofila a na lokalitetu T-1 kretale su se od  $1.07 \text{ mg/m}^3$  koliko je zabeleženo u maju 2017. godine, preko  $2.29 \text{ mg/m}^3$  koliko je zabeleženo u junu 2015. godine, do  $8.39 \text{ mg/m}^3$  koliko je zabeleženo u junu 2016. godine. Konstatovane vrednosti ukazuju na prvu klasu površinskih voda, osim za juni 2016. godine kada izmerene vrednosti ukazuju na drugu klasu kvaliteta površinskih voda.

*Sirova voda - infiltraciona taložnica T-2, polje B*

Na lokalitetu T-2 vrednosti koncentracije hlorofila a kretale su se od 1.07 mg/m<sup>3</sup> koliko je zabeleženo u junu 2016. i maju 2017. godine, do 1.60 mg/m<sup>3</sup> koliko je zabeleženo u junu 2015. godine. Konstatovane vrednosti ukazuju na prvu klasu kvaliteta površinskih voda.

*Poluproizvod - sistem za kondicioniranje - uzorak vode nakon taložnika PP „N<sub>1</sub>“*

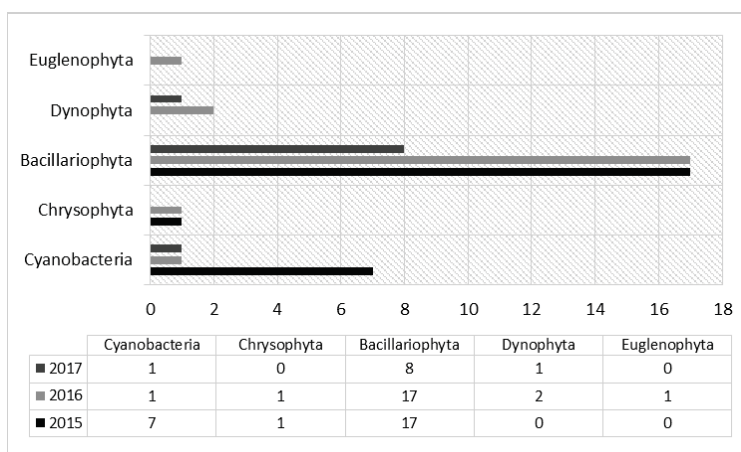
Tokom analize koncentracije hlorofila a u uzorku vode prikupljenom iz poluproizvoda konstatovane vrednosti su se kretale od 0.52 mg/m<sup>3</sup> koliko je konstatovano u maju 2017 godine do 3.74 mg/m<sup>3</sup> koliko je konstatovano u junu 2016.godine. Konstatovane vrednosti ukazuju na prvu klasu kvaliteta površinskih voda.

*Poluproizvod - sistem za kondicioniranje (voda za piće) PP „N1“ i PP „N2“, polazni cevovod Ø1000*

Na ovom lokalitetu u kompletnom ispitivanom periodu, koncentracija hlorofila a iznosila je 1.60 mg/m<sup>3</sup>, što je u granicama prve klase kvaliteta površinskih voda.

**Biološki parametri – Fitoplankton***Sirova voda - Vrbas*

Kvalitativnom analizom sastava fitoplanktonske zajednice u ispitivanom periodu, na lokalitetu Vrbas, ukupno je konstatovano 47 taksona iz šest razdela: Cyanobacteria, Chrysophyta, Bacillariophyta, Dynophyta, Euglenophyta i Chlorophyta. Najveći broj vrsta, konstatovan je u junu 2015. godine, ukupno 28, dok je najniži diverzitet zabeležen u maju 2017. godine, kada je u okviru fitoplanktonske zajednice zabeleženo svega 11 taksona. Prema broju taksona, izdvaja se razdeo Bacillariophyta, koji dominira u uzorcima u sva tri ispitivana intervala. U junu 2015. i 2016. godine zabeleženo je 17 taksona, dok je u maju 2017. godine zabeleženo 8 taksona ovog razdela (slika 3).



Slika 3. Zastupljenost taksona fitoplanktona u ispitivanom periodu na lokalitetu Vrbas  
Picture 3. Abundance of phytoplankton taxon during the investigated period at the Vrbas site

U uzorku prikupljenom juna 2015. godine, konstatovane su alge iz tri razdela, pri čemu je iz razdela Chrysophyta uočen samo jedan predstavnik, kolonijalna alga *Dinobryon bavaricum*. Pored već navedenih 17 taksona iz razdela Bacillariophyta, u ovom periodu konstatovano je i 7 taksona iz razdela Cyanobacteria, što je i najveći zaveženi broj vrsta ovog razdela u kompletnom ispitivanom periodu. Procenom relativne učestalosti, sve zabeležene vrste ocenjene su kao česte.

Pored 17 taksona silikatnih algi, jun 2016. godine se karakteriše sa malim brojem predstavnika ostalih razdela. Jedini predstavnik razdela Euglenophyta, *Trachelomonas* sp., pronađen je ove godine, gde je procenom relativne učestalosti okarakterisan kao redak.

Sa po jednom vrstom zastupljeni su razdeli Cyanobacteria (*Oscillatoria* sp.) i Chrysophyta (*Dinobryon bavaricum*). Razdeo Dynophyta zastupljen je sa dve vrste roda *Peridinium*.

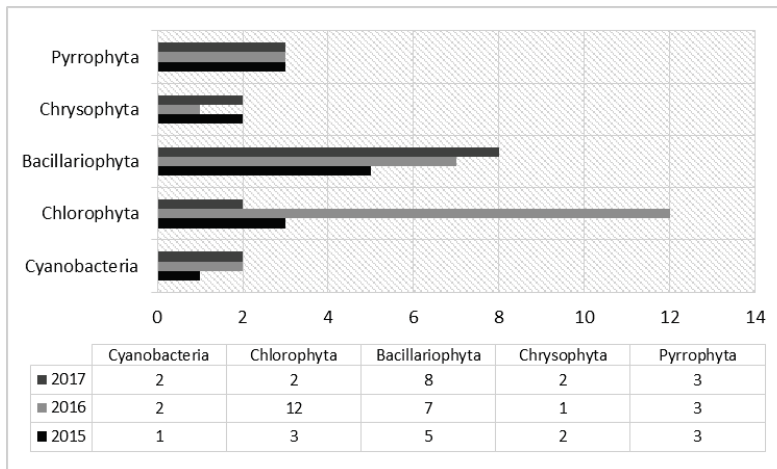
U maju 2017. godine, pored 7 taksona razdela Bacillariophyta, konstatovani su i po jedan predstavnik razdela Cyanobacteria (*Oscillatoria* sp) i razdela Dynophyta (*Peridinium inconspicuum*).

Procenom relativne učestalosti, u kompletnom ispitivanom intervalu, izdvaja se vrsta *Asterionella formosa* (Bacillariophyta), koja je u junu 2016. godine zabeležena kao dominantna, dok se u ostala dva ispitivana intervala javlja kao česta. Prema svojim indikatorskim svojstvima, ukazuje na vode beta-mezosaprobno tipa.

Vrednosti saprobnog indeksa, određene na osnovu sastava fitoplanktonske zajednice, kretale su se u granicama druge klase kvaliteta površinskih voda.

#### *Sirova voda - infiltraciona taložnica T-1*

Na lokalitetu infiltraciona taložnica -T1 ukupno su konstatovane 43 vste algi iz pet razdela: Cyanobacteria, Chlorophyta, Bacillariophyta, Chrysophyta i Pyrrophyta (slika 4).



Slika 4. Zastupljenost taksona fitoplanktona u ispitivanom periodu na lokalitetu T-1  
Picture 4. Abundance of phytoplankton taxon during the investigated period at the T-1 site

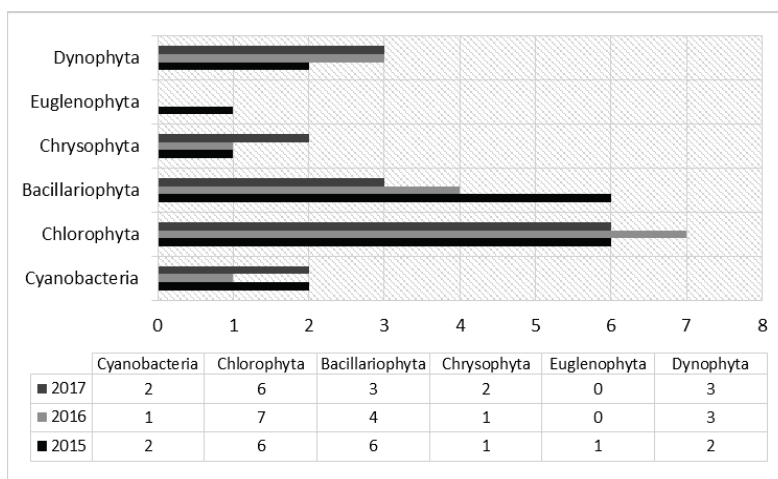
Razdeo Bacillariophyta dominirao je prema broju taksona u uzorcima iz 2015. i 2017. godine, dok se u uzorku prikupljenom u junu 2016. godine, uočava dominacija zelenih algi. Procenom relativne učestalosti konstatovana je dominacija vatrenih algi u kompletnom ispitivanom intervalu. Rod *Peridinium* zastupljen je sa pet taksona, od kojih se vrsta *Peridinium pusillum* javlja kao dominantna u junu 2015. godine, dok se vrsta *Peridinium aciculiferum* javlja kao dominantna u junu 2016. godine. *Ceratium hirundinella* je dominantan takson u letnjoj sezoni kako 2015. tako i 2016. godine. U maju 2017. godine ova vrsta je konstatovana kao retka, dok se kao česta javlja vrsta *Peridinium aciculiferum*. U uzorku prikupljenom 2017. godine nije konstatovana dominacija ni jednog taksona.

Sve determinisane vrste razdela Dynophyta su indikatori oligosaprobni do beta-mezosaprobni voda.

I na ovom lokalitetu, vrednosti saprobnog indeksa su se kretale u granicama druge klase kvaliteta površinskih voda.

#### Sirova voda - infiltraciona taložnica T-2, polje B

Na lokalitetu infiltraciona taložnica –T2 ukupno je konstatovano 39 taksona algi iz 6 razdela: Cyanobacteria, Chlorophyta, Bacillariophyta, Chrysophyta, Euglenophyta i Pyrrophyta (slika 5).



Slika 5. Zastupljenost taksona fitoplanktona u ispitivanom periodu na lokalitetu T-2  
Picture 5. Abundance of phytoplankton taxon during the investigated period at the T-2 site

Prema broju taksona konstatovana je dominacija zelenih algi na ovom lokalitetu tokom celog ispitivanog perioda. U uzorku prikupljenom 2015. godine konstatovano je po šest predstavnika silikatnih i zelenih algi, dok su ostali razdeli zastupljeni sa po jednom ili dve vrste. Broj vrsta razdela Bacillariophyta u toku 2016. i 2017. godine je nešto manja, 4 i 3 konstatovana taksona.

Procenom relativne učestalosti konstatovana je dominacija vrste *Ceratium hirundinella* (Dynophyta) u kompletnom ispitivanom intervalu. Pored ove vrste, u junu 2015. godine,

kao dominantne vrste javljaju se i *Peridinium pusillum* (Dynophyta) i *Dynobryon divergens* (Chrysophyta). Sve konstatovane dominantne vrste su indikatori oligosaprobnih do beta-mezosaprobnih voda.

Vrednosti saprobnog indeksa su se kretale u granicama druge klase kvaliteta površinskih voda.

*Poluproizvod - sistem za kondicioniranje - uzorak vode nakon taložnika PP „N<sub>1</sub>“*

U uzorku prikupljenom iz sistema za kondicioniranje - uzorak vode nakon taložnika PP „N<sub>1</sub>“, u junu mesecu 2015. godine konstatovano je 28 taksona algi iz tri razdela. Razdeo Cyanobacteria bio je zastupljen sa tri taksona, razdeo Chlorophyta sa dva, dok su čak 23 konstatovane vrste pripadale razdelu Bacillariophyta. Procenom relativne učestalosti svi taksoni su konstatovani kao česti.

U uzorku prikupljenom 2016. godine konstatovano je prisustvo vrste *Synedra acus*, iz razdela Bacillariophyta. Prema brojnosti ova vrsta je zabeležena kao retka.

*Poluproizvod - sistem za kondicioniranje (voda za piće) PP „N1“ i PP „N2“, polazni cevovod Ø1000*

U uzorku prikupljenom na ovom lokalitetu u toku 2015. godine konstatovano je ukupno 15 taksona algi iz 4 razdela. Razdeo Cyanobacteria zastupljen je sa tri taksona, razdeo Bacillariophyta sa 10, dok su razdeli Chlorophyta i Chrysophyta zastupljeni sa po jednim taksonom. Procenom relativne učestalosti svi taksoni su konstatovani kao česti.

U junu 2016. godine na ovom lokalitetu nije konstatovano prisustvo živih organizama.

*Poluproizvod - sistem za kondicioniranje PP „N2“ – uzorak vode nakon taložnika*

U uzorku prikupljenom na ovom lokalitetu u toku 2015. godine konstatovano je 14 taksona iz 4 razdela. Razdeo Bacillariophyta zastupljen je sa 8 taksona, razdeo Cyanobacteria, sa tri taksona, razdeo Chlorophyta sa dva, dok je iz razdela Chrysophyta konstatovan samo jedan predstavnik. Procenom relativne učestalosti svi taksoni su konstatovani kao česti.

2016. godine na ovom lokalitetu, konstatovana je samo alga *Synedra acus*, iz razdela Bacillariophyta, koja je procenom relativne učestalosti, zabeležena kao retka.

### Biološki parametri – Makrozoobentos

*Sirova voda - Vrbas*

U analiziranim uzorcima faune dna na lokalitetu Vrbas-vodozahvat tokom tri godine istraživanja konstatovano je prisustvo 11 grupa organizama makrozoobentosa: Gastropoda, Amphipoda, Ephemeroptera, Hirudinea, Oligochaeta, Hydracarina, Odonata, Trichoptera, Coleoptera Diptera i Chironomidae.

Trent biotički indeks izračunat na osnovu sastava makrozoobentosne zajednice je imao vrednost VII na lokalitetu Vrbas vodozahvat, izuzev 2015. godine kada je vrednost Trent biotičkog indeksa bila VI. Na osnovu dobijenih rezultata voda na ispitivanom lokalitetu pripada II klasi boniteta.

*Sirova voda - infiltraciona taložnica T-1*

U Infiltracionoj Taložnici T-1 tokom istraživnog perioda je konstatovano ukupno 8 grupa makroinvertebrata: Gastropoda, Oligochaeta, Turbellaria, Amphipoda, Isopoda, Diptera, Chironomidae i Hydracarina.

Trent biotički indeks izračunat na osnovu sastava makrozobentosne zajednice je imao vrednost II na lokalitetu Taložnica T1 tokom 2015 i 2017. godine, dok je 2016. godine vrednost Trent biotičkog indeksa bila IV. Na osnovu dobijenih rezultata voda na ispitivanom lokalitetu pripada III - IV klasi boniteta.

*Sirova voda - infiltraciona taložnica T-2, polje B*

U infiltracionoj taložnici T-2, polje B, konstatovano je prisusvo 7 grupa makroinvertebrata: Turbellaria, Isopoda, Oligochaeta, Diptera, Chironomidae, Trichoptera, Hydracarina.

Trent biotički indeks izračunat na osnovu sastava makrozobentosne zajednice je imao vrednost od II do VI. Na osnovu dobijenih rezultata voda na ispitivanom lokalitetu pripada II - IV klasi boniteta.

Različito biotop i ekoloških uslova, uslovi su razlike u sastavu, strukturi i brojnosti makrozoobentosu. Prirodni biotop (reka Vrbas) i biotopi stvoreni čovekovom aktivnošću za različite namene (taložnice), bitno se razlikuju u pogledu biodiverziteta. Najveći diverzitet makrozoobentosu utvrđen je na reci Vrbas – vodozahvat, dok je na taložnicama konstatovan manji broj grupa. Ovi objekti, u okviru vodovodnog sistema, predstavljaju veoma osetljiva mesta, te je neophodno obezbediti kontinuirano praćenje kvaliteta vode u ovim hidroekosistemima.

## ZAKLJUČAK

Vrednosti hemijskih parametara određene za reku Vrbas ukazuju na prvu klasu kvaliteta površinskih voda.

Dobijene vrednosti hlorofila a reke Vrbas i infiltracionih taložnica ukazuju na prvu klasu kvaliteta površinskih voda (visok ekološki status), osim u junu 2016. godine, kada vrednosti ovog parametra u infiltracionoj taložnici T-1 ukazuju na drugu klasu kvaliteta površinskih voda (dobar ekološki status).

Vrednosti saprobnog indeksa, izračunate na osnovu sastava fitoplanktonke zajednice sirove vode, odgovaraju vrednostima druge klase kvaliteta površinskih voda, što ukazuje na dobar ekološki status.

Trent biotički indeks izračunat na osnovu sastava makrozobentosne zajednice, na lokalitetu Vrbas ukazuje na vodu druge klase kvaliteta površinskih voda, dobar ekološki status. U infiltracionoj taložnici T-1 izračunate vrednosti ukazuju na drugu klasu kvaliteta površinskih voda tokom 2015. i 2017. godine, dok je 2016. godine vrednost trent biotičkog indeksa bila četiri. Na osnovu dobijenih rezultata voda na ispitivanom lokalitetu pripada III - IV klasi boniteta (umeren do loš ekološki status). U infiltracionoj taložnici T-2 trent

biotički indeks izračunat na osnovu sastava makrozobentosne zajednice je imao vrednost od dva do četiri. Na osnovu dobijenih rezultata voda na ispitivanom lokalitetu pripada II - IV klasi boniteta (dobar do loš ekološki status). Voda sa vodozahvata Vrbas se može koristiti za proizvodnju vode za piće. Postojeće taložnice je potrebno redovno održavati i sprečiti taloženje organske materije.

#### LITERATURA:

- APHA, AWWA, WEF (1995): Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.
- Bogoescu C. (1958): Fauna republicii populare Romine, Insecta, Ephemeroptera.
- Carchini, G. (1983): A key to the Italian Odonate larvae, Utrecht.
- Glogovac, G., Gligorić, D., Jokić, M. (2016): Zbornik radova, Vodovod Banja Luka, Izgradnja druge faze postrojenja za prečišćavanje vode PPN2.
- Hrabe, S. (1979): Vodní máloštetinatci (Oligochaeta) Československa, Univerzita Karlova, Praha.
- Ikonomov, P. (1959): Ephemeroptera na Makedonija, sistematika i faunistika, Skoplje.
- Kerovec, M. (1983): Priručnik za upoznavanje beskičmenjaka naših potoka i rijeka, Zagreb.
- Mach, T. T. M. A. , Ph. D. (1960): A key to the British Fresh and Brackish water Gastropods, Freshwater Biological Association Scientific publication No 13, secon edition.
- Pantle, R., Buck, H. (1955): Die biologische Ueberwachung der Gewaesser und die Darstellung der Ergebnisse. Gas und Wasserfach, 96: 604
- Pennak, R. W. (1979): Fresh-water invertebrates of the United States, John Wiley & Sons, New York, Chicchester, Brisbane, Toronto.
- Uredba o klasifikaciji voda i kategorizaciji vodotoka, "Sl. Glasnik RS" broj 42/1
- Wagel, R. (1983): Index fur die Limnosaprobitat, - Wasser und Abwasser, 1-175





SAOBRAĆAJNI INSTITUT

**CIP**



**SAOBRAĆAJNI INSTITUT CIP д.о.о.**

Немањина 6/IV, 11000 Београд, Република Србија

тел: 011/361 69 29, 361 82 87, Fax: 011/361 67 57

website: [www.sicip.co.rs](http://www.sicip.co.rs), E-mail: [office@sicip.co.rs](mailto:office@sicip.co.rs)

ISBN 978-86-916753-6-3