

**SRPSKO DRUŠTVO ZA ZAŠTITU VODA**

51. konferencija o aktuelnim temama korišćenja i zaštite voda

# VODA 2022

*The 51<sup>st</sup> Annual Conference of the Serbian Water Pollution Control Society*

**WATER 2022**

*Conference Proceedings*



Vrnjačka Banja, 26. – 28. oktobar 2022.



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

SRPSKO DRUŠTVO ZA ZAŠTITU VODA

*SERBIAN WATER POLLUTION CONTROL SOCIETY*



INŽENJERSKA KOMORA SRBIJE

*SERBIAN CHAMBER OF ENGINEERS*

IZDAVAČ (*PUBLISHER*):

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

PROGRAMSKI ODBOR (*PROGRAMME COMMITTEE*):

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

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

*Stavovi izneti u ovoj publikaciji ne odražavaju nužno i stavove izdavača, urednika ili programskog odbora.*

TIRAŽ (*CIRCULATION*): 150 primeraka

ŠTAMPA: "Akademska izdanja", Zemun, 2022

CIP - Каталогизacija y publikaciji  
Narodna biblioteka Srbije, Beograd

502.51(082)  
556.11(082)  
628.3(082)  
628.1(082)

**ГОДИШЊА конференција о актуелним проблемима коришћења и заштите вода (51 ; 2020 ; Врњачка Бања)**

Voda 2022 : zbornik radova 51. godišnje konferencije o aktuelnim problemima korišćenja i zaštite voda = Water 2022 : conference proceedings 51st Annual Conference of the Serbian Water Pollution Control Society, Vrnjačka Banja, 26. - 28. oktobar 2022. / [organizatori] Srpsko društvo za zaštitu voda [u saradnji sa JP „Belimarkovac“, Vrnjačka Banja] ; [urednik, editor Aleksandar Đukić]. - Beograd : Srpsko društvo za zaštitu voda, 2022 (Zemun : Akademska izdanja). - VIII, [268] str. : ilustr. ; 24 cm Radovi na srp. i engl. jeziku. - Tekst ćir. i lat. - Tiraž 150. - Str. VIII: Predgovor / Aleksandar Đukić. - Bibliografija uz svaki rad. - Abstracts.

**ISBN 978-86-916753-9-4**

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

COBISS.SR-ID 77743881

**SRPSKO DRUŠTVO ZA ZAŠTITU VODA**

**ZBORNİK RADOVA**

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

# **VODA 2022**

*51<sup>ST</sup> ANNUAL CONFERENCE OF THE  
SERBIAN WATER POLLUTION CONTROL SOCIETY  
"WATER 2022"  
CONFERENCE PROCEEDINGS*

**Vrnjačka Banja, 26. - 28. oktobar 2022.**

ORGANIZATORI KONFERENCIJE (*CONFERENCE ORGANISERS*):

Srpsko društvo za zaštitu voda (Beograd),

u saradnji sa

JP „Belimarkovac“, Vrnjačka Banja

ORGANIZACIONI ODBOR KONFERENCIJE (*ORGANIZING COMMITTEE*):

PREDSEDNİK: Dr Momir PAUNOVIĆ, dipl.biol, Beograd

POTPREDSEDNIK: Dragoslav BLAGOJEVIĆ, dipl.građ.inž, Vrnjačka Banja

SEKRETAR: Suzana VASIĆ, Beograd

ČLANOVI: Dr Aleksandar Đukić, Beograd  
Slavica ŽIVKOVIĆ, Beograd  
Dr Vesna ĐIKANOVIĆ, Beograd  
Mr Olivera DOKLESTIĆ, dipl.inž.građ., H. Novi, Crna Gora  
Sanja ČUČKOVIĆ, Trebinje, R.Srpska-BiH

ODRŽAVANJE KONFERENCIJE SU POMOGLI (*SPONSORED BY*):

- Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije
- Inženjerska komora Srbije
- JP „Belimarkovac“, Vrnjačka Banja

Slika na koricama: reka Dunav kod Krčedina

# SADRŽAJ

## CONTENTS

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

1. Popović N, Raković M, Marinković N, Đuknić J, Tubić B, Čanak Atlagić J, Paunović M. (Beograd)  
PROCENA KVALITETA POVRŠINSKIH VODA PRIMENOM INDEKSA ZAGAĐENOSTI VODE (WPI) – MOGUĆNOSTI I PREDNOSTI ..... 1
2. Stojanović A, Vasović D. (Čačak)  
ANALIZA STANJA I TRENDOVA RAZVOJA KOMUNALNIH DELATNOSTI SNABDEVANJE VODOM ZA PIĆE I PREČIŠĆAVANJE I ODVOĐENJE OTPADNIH VODA U REPUBLICI SRBIJI ..... 7
3. Đukić A. (Beograd)  
PRIRODOM INSPIRISANA REŠENJA URBANE HIDROTEHNIČKE INFRASTRUKTURE – MOGUĆNOSTI PRIMENE I OGRANIČENJA ..... 13
4. Matić A, Živković M, Damnjanović B, Teofilović V, Mitić D.L, Pankov N, Miljanović B. (Novi Sad)  
EKOLOŠKI POTENCIJAL HIDROAKUMULACIJE MEĐEŠ ..... 21
5. Ketin S, Kostić B. (Novi Sad)  
ZAGAĐENJE VODA I NAJVAŽNIJI ZAGAĐIVAČI ..... 27
6. Jurca T, Mijić Oljačić I, Vukov D, Bajić A, Pankov N, Pogrmić S, Miljanović B. (Novi Sad)  
IZAZOVI PROCENE EKOLOŠKOG POTENCIJALA ZNAČAJNO IZMENJENIH VODENIH STANIŠTA U VOJVODINI ..... 29
7. Milišić B, Davidović Đ. (Trebinje – R.Srpska-BiH)  
ANALIZA TRENDA PADAVINA NA METEOROLOŠKOJ STANICI GRANČAREVO / TREBINJE/ ..... 35

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

#### 2.1. Površinske vode i sedimenti

8. Raković M, Tomović J, Popović N, Jovičić K, Stanković J, Slavevska Stamenković V, Paunović M, Raković M. (Beograd, Niš, Skoplje - Severna Makedonija)  
DIVERZITET SLATKOVODNIH MEKUŠACA (GASTROPODA) U MALIM VODNIM TELIMA ZAPADNOG BALKANA-PRITISCI I UGROŽENOST ..... 43
9. Đikanović V, Skorić S, Mićković B, Nikolić D. (Beograd)  
OCENA EKOLOŠKOG STATUSA TEKUĆICA ZAŠTIĆENOG PODRUČJA SRP „UVAC” NA OSNOVU ZAJEDNICE RIBA ..... 53
10. Nikolić D, Skorić S, Mićković B, Đikanović V. (Beograd)  
OCENA EKOLOŠKOG STATUSA UVAČKIH AKUMULACIJA NA OSNOVU ZAJEDNICE RIBA ..... 59
11. Tubić B, Atanacković A, Zorić K, Popović N, Vasiljević B, Paunović M. (Beograd)  
PRELIMINARNA OCENA EKOLOŠKOG STATUSA VODNIH TELA TIP 4 NA PODRUČJU SPECIJALNOG REZERVATA „UVAC” NA OSNOVU VODENIH MAKROBESKIČMENJAKA ..... 65

12. Vasiljević B, Jakovljević O, Krizmanić J, Vranković J, Anđus S. (Beograd) EKOLOŠKI POTENCIJAL AKUMULACIJA U SPECIJALNOM REZERVATU PRIRODE „UVAC” PREMA IPS DIJATOMNOM INDEKSU .....	73
13. Radojković S, Presburger Ulniković V, Cibulić V. (Beograd) POTENCIJALNI UTICAJ KLIMATSKIH PROMENA NA POMOR RIBA, PRIMER REKE TOPLICE .....	79
14. Presburger V, Cibulić V. (Beograd) ANALIZA SADRŽAJA TEŠKIH METALA U DUNAVU, OD BEZDANA DO TEKIJE, U PERIODU OD 2014. DO 2018. GODINE .....	83
15. Zlatković S, Perić M, Đurković V. (Beograd) MAKROBESKIČMENJACI GORNJEG TOKA REKE GRADAŠNICE .....	91
16. Zlatković S, Perić M, Đurković V. (Beograd) PRVI PODACI O MAKROBESKIČMENJACIMA VRCAREVOG POTOKA .....	97
17. Grujić N. (Novi Sad) PREGLED RANIJIH ISTRAŽIVANJA KVALITETA VODE REKE IBAR .....	103
18. Čučković S. (Trebinje – R.Srpska-BiH) ENDEMSKE RIBE ORS RIJEKE TREBIŠNICE .....	113
19. Cibulić V, Mrazovac Kurilić S. (Beograd) HEMIJSKE ODLIKE REKE SAVE U REPUBLICI SRBIJI .....	121
20. Jelača N, Živković M, Novaković B. (Sremska Kamineca) KVALITET VODE REKE GRADAC PRIMENOM SWQI (SERBIAN WATER QUALITY INDEX) .....	129
21. Živković M, Damnjanović B. (Novi Sad, Šabac) EKOLOŠKI POTENCIJAL JEZERA KRALJEVAC .....	137
22. Damnjanović B, Živković M, Matić B. (Šabac, Sremska Kamenica, Novi Sad) HIDROLOMORFOLOŠKE KARAKTERISTIKE JEZERA KRALJEVAC .....	139
23. Jurca T, Miličić M, Janković Milosavljević M, Tot T, Đorđević T, Vujić A. (Novi Sad) FUNKCIONALNI KARAKTERI BESKIČMENJAKA U PROCENI STANJA PRIOBALNIH EKOTONA OBEDSKE BARE (VOJVODINA, SRBIJA) .....	141
24. Pejin Đ, Krčmar D, Tenodi S, Slijepčević N, Beljin J, Tomašević Pilipović D. (Novi Sad) PRIMENA PASIVNIH UZORKIVAČA U ANALIZI SEDIMENTA .....	151
25. Krčmar D, Pejin Đ, Tenodi S, Rađenović D, Beljin J, Tomašević Pilipović D. (Novi Sad) KVALITET SEDIMENTA KANALA BEGEJ U 2022. GODINI .....	159

## 2.2. Podzemne vode i vode u karstu

26. Grujičić-Tešić Lj. (Ruma) SJENIČKO VRELO-OBJEKAT HIDROGEOLOŠKOG GEONASLEĐA .....	165
---	-----

## 2.3. Priobalne vode Jadranskog mora

27. Peraš I, Nikolić S, Mandić M. (Kotor - Crna Gora) ALOHTONE VRSTE MORSKIH ORGANIZAMA ZABILJEŽENE NA EKSPERIMENTALNIM KOLEKTORIMA NA PODRUČJU BOKOKOTARSKOG ZALIVA, CRNA GORA (JUGOISTOČNI JADRAN) .....	173
28. Nikolić S, Mandić M, Đorđević N, Peraš I. (Kotor – Crna Gora) DIVERZITET MORSKIH ŠKOLJKI NA POTENCIJALNIM LOKACIJAMA ZA MARIKULTURU NA GRNOGORSKOJ OBALI (JUGOISTOČNI JADRAN) .....	183

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

#### 3.1. Sistemi za sakupljanje otpadnih voda

29. Kračun-Kolarević M, Nikolić S, Jovanović Marić J, Ilić M, Đukić A, Paunović M, Kolarević S. (Beograd)  
PROCENA KONTAMINACIJE VODE I PLAVNE ZONE REKE SAVE NA MESTU ISPUSTA OTPADNIH VODA KORIŠĆENJEM MIKROBIOLOŠKIH INDIKATORA FEKALNOG ZAGAĐENJA ..... 191
30. Govedarica O, Đukić A, Rajaković-Ognjanović V. (Beograd)  
PROCENA KOEFICIJENATA OPTEREĆENJA ZAGAĐENJEM POVRŠINSKOG OTICAJA SA URBANIH POVRŠINA U BEOGRADU..... 197
31. Milojković I. (Beograd)  
UTICAJ ARHEOLOŠKIH ISTRAŽIVANJA BEOGRADSKE TVĐAVE NA PROJEKTOVANJE I IZGRADNJU INTERCEPTORA ..... 207
32. Batinić B, Pavlović D. (Beograd)  
NOVA TUNELSKA DERIVACIJA KRIVELJSKE REKE PORED FLOTACIJSKOG JALoviŠTA VELIKI KRIVELJ ..... 215
33. Krstić I. (Leskovac)  
PRIMENA DINAMIČKE STAROSTI MULJA NA PPOV „BOGOJEVCE“ LESKOVAC ... 221

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

34. Branković S, Đelić G, Grbović F, Brković D, Rajičić V, Jovanović M, Marin M, Glišić R. (Kragujevac, Čačak, Kruševac, Beograd)  
BIOAKUMULACIONI POTENCIJAL ODABRANIH VRSTA U BAZENU DRENAŽNIH VODA RUDNIKA I FLOTACIJE RUDNIKA (RUDNIK, SRBIJA) ..... 225
35. Radenović M, Tenodi S, Pešić V, Tomić R, Dubovina M, Krčmar D. (Novi Sad)  
TRETMAN OTPADNIH VODA SA DEPONIJE U NOVOM SADU (SADAŠNJE I BUDUĆE STANJE) ..... 233

### 4. TEMATSKA GRUPA: VODOSNABDEVANJE

36. Doklešić O. (Herceg Novi – Crna Gora)  
SMANJENJE EKSPLOATACIJE IZVORIŠTA OPAČICA – SMANJENJE GUBITAKA VODE U SISTEMU ..... 239
37. Vasić M. (Kruševac)  
PRESEK MIKROBIOLOŠKOG I FIZIČKO-HEMIJSKOG STANJA SIROVE VODE GRADSKOG VODOVODA KRUŠEVAC ..... 247
38. Mrazovac Kurilić S, Cibulić V. (Beograd)  
KONCETRACIJA GVOŽĐA I MANGANA U VODI ZA PIĆE TEMERINA ..... 257
39. Bašić J, Rogožarski A, Krsmanović S, Luković B, Stefnović D, Crnčević Radović Lj, Budimčić M. (Beograd)  
PROCENA ZDRAVSTVENE ISPRAVNOSTI I KVALITETA VODE ZA PIĆE PREMA SADRŽAJU NITRATA I NITRITA U VODOVODU GRADA POŽAREVCA TOKOM 2021. GODINE ..... 263



## NOVA TUNELSKA DERIVACIJA KRIVELJSKE REKE PORED FLOTACIJSKOG JALOVIŠTA VELIKI KRIVELJ

Božidar Batinić, Dragutin Pavlović

*Univerzitet u Beogradu - Građevinski fakultet, Bul.kralja Aleksandra 73,  
11000 Beograd, dpavlovic@grf.bg.ac.rs*

### REZIME

Potreba za povećanjem kapaciteta flotacijske deponije borskog rudnika u Velikom Krivelju za posledicu ima izvestan slom konstrukcije postojeće tunelske derivacije Kriveljske reke koja ide po dnu deponije. U tekstu se prikazuje odabrano rešenje za novu tunelsku derivaciju pravcem pored deponije. Prikazane su osnovne karakteristike tunela, skretne brane na Kriveljskoj reci kao i sigurnosnog preliva brane sa slapištem. Ovim rešenjem se, uz druge potrebne objekte i mere, obezbeđuje buduće tehnološko funkcionisanje proizvodnje bakra i pratećih metala.

KLJUČNE REČI: derivacija, tunel, flotacija, Bor, rudnik

## NEW KRIVELJ RIVER TUNNEL DERIVATION AROUND VELIKI KRIVELJ FLOTATION WASTE HEAP

### ABSTRACT

Enlargement of existing Bor mines flotation tailing landfields at Veliki Krivelj site leads to inevitable structure collapse of the Kriveljska river tunnel derivation, since that the tunnel lies on the landfield invert. This report depicts final design of the new tunnel derivation traced out of the landfill. Characteristics of the tunnel, diversion dam at the tunnel intake and its safety spillway are presented. The tunnel design, along with other structures design and management decisions, enables future technological integrity of copper and trace metals production in Bor municipality.

KEY WORDS: derivation, tunnel, flotation, Bor, mine

### UVOD

Rudarsko-topioničarski basen Bor, sadašnja korporacija Serbia Zijin Copper d.o.o Bor, sa eksploatacijom rudnog bogatstva borskog kraja započeo je davne 1904 godine. To je dovelo do značajnih promena kako u društveno-ekonomskom okruženju ali i prirodnom okruženju. O tome u ovom radu neće biti govora. Kao jedan od dobrih pregleda mogu poslužiti dokumenti ERM (2006) i Krstić et. all (2011), dostupani preko interneta. Samo će se naglasiti, da je sa stanovišta hidrografske mreže i kvaliteta lokalnih vodotokova došlo do ekstremnih

promena, u smislu relokacije tokova i značajne degradacije kvaliteta voda do nivoa tokova van klase. Sve je to danak potrebi ekonomskog napretka, podizanja materijalnog bogatstva države i stanovništva. Mnogobrojne aktivnosti na terenu decenijama su bile podređene otvaranju novih kopova i obezbeđenju tehničko-tehnoloških uslova za preradu rude i dobijanja bakra i pratećih metala.

Pri obradi rude stvara se velika količina jalovine (otkrivke i jalovog materijala). Vremenom je, da bi se obezbedio prostor za odlaganje jalovine borskih rudnika, zauzeta dolina Kriveljske reke. Duž njenog korita je izgrađen kolektor-tunel za propuštanje velikih voda. Na taj način obezbeđen je prostor iznad tunela za deponovanje rudničke flotacijske jalovine.

Do sada je jalovina dostigla takvu visinu da svojim pritiskom ugrožava stabilnost tunela. Usled potrebe za nastavkom deponovanja jalovine, odlučeno je da se izgradi novi obilazni tunel u stenovitoj obali jalovišta i to između jalovišta i grada Bora. Na taj način produžen je radni vek jalovišta, a stari tunel se isključuje iz funkcije.

U nastavku teksta prikazuju se u kratkim crtama odabrana trasa tunela, njegove geome-trijske i hidrauličke karakteristike, kao i skretna brana sa sigurnosnim prelivom i slapištem kojom se vode Kriveljske reke uzvodno od kopa Krivelj usmeravaju u novu tunelsku derivaciju. Projekat tunela sa svim potrebnim elementima je sačinila firma GEA (2022) iz Pančeva prema zahtevima i uz asistenciju vlasnika rudnika.

## OPIS SISTEMA

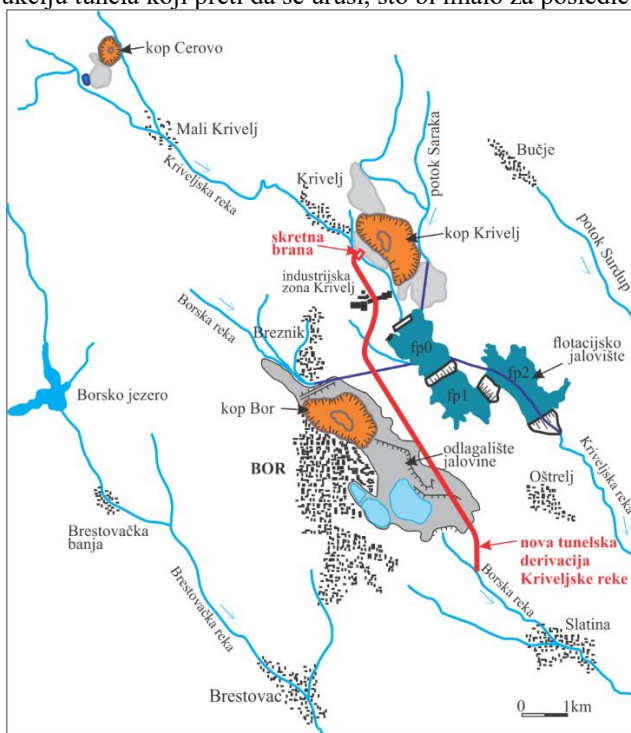


Slika 1. Google Earth satelitski snimak kompleksa Borskih rudnika (leto 2022).  
Figure 1. The Google Earth satellite image of the Bor mine complex (summer 2022).

Za potrebe opisa sistema korisno je upoznati se sa slikama 1 i 2. Na slici 1 prikazan je Google Earth satelitski snimak površine planete u zoni kompleksa rudnika u Boru. Na slici 1 pravac severa je u smeru upravnom na gornji okvir slike. Dominantni vodotoci su uglavnom

usmereni u pravcu severozapad-jugoistok. Tri otvorena kopa, Cerovo, Veliki Krivelj i Bor, presekla su, odnosno zauzela su prostor vodotokova, što je uslovalo potrebu njihovog delimičnog izmeštanja. Na slici 2 jasno se uočava da su kopovi presekli tokove Kriveljske i Borske reke kao i Saraka potoka, delimično zauzevši njihove doline što kopovima rude što odlagalištima jalovine. Na slici 2 tamno plavim linijama su obeležene postojeće tunnelske derivacije

derivacije pomenutih vodotokova. U ovom prikazu govori se o tunnelskoj derivaciji Kriveljske reke koja je položena po dnu flotacijskog jalovišta Veliki Krivelj. Visina materijala u jalovištu stvara opterećenje koje ugrožava konstrukciju tunela koji preta da se uruši, što bi imalo za posledicu obustavu



Slika 2. Skica glavnih objekata kompleksa Borskih rudnika, sa hidrografskom mrežom. Crvenim linijama su označeni novi derivacioni tunel Kriveljske reke i skretna brana na njegovom ulazu – sigurnosni preliv je deo brane.

Figure 2. The sketch of Bor mine complex with watercourse network.. The red elements depicts new Kriveljska reka derivation tunnel (its course), intake dam and its incorporated safety spillway.

eksploatacije i prerade rude. Da bi se mogla povećati količina jalovine, sledstveno i njena visina u jalovištu, stari tunel se mora napustiti, a u međuvremenu se mora napraviti novi derivacioni tunel za vode Kriveljske reke. Posle više varijanti trase novog tunela, izabrana je trasa kao na slici 2 – crvena debela linija. Prema ovom izboru urađen je projekat da se vode Kriveljske reke uzvodno od kopa Krivelj usmeravaju skretnom branom u novu tunnelsku derivaciju.

## NOVA TUNELSKA DERIVACIJA KRIVELJSKE REKE

Nova tunnelska derivacija Kriveljske reke preusmerava vode iz prirodnog korita Kriveljske reke kao i viškove voda Borske reke i Saraka potoka koji se prepumpavaju iz novosagrađenih retenzija na lokaciji ispred ulazne građevine za novi tunel. Tunel (tačnije hidrotehnički tunel) dužine je 8324 m, svetlog otvora 4,64 m. Trasa se nalazi u stenskoj masi desno od pravca pružanja flotacijske deponije u Velikom Krivelju. Ulaz u tunel je neposredno nizvodno od naselja Krivelj, a pre kopa Krivelj. Tunnelska izlivna građevina se nalazi u donjem toku Borske reke uzvodno od naselja Slatina. Na taj način se dolinom Borske reke vode protekle novim derivacionim tunelom ponovo vraćaju u korito Kriveljske reke nizvodno od polja fp2 flotacijskog jalovišta Veliki Krivelj. Izgradnja tunela je predviđena mašinom krticom (TBM – Tunnel Boring Machine), sa prefabrikovanom armirano-betonskom oblogom. Na slici 2 može se videti trasa novog tunela.

## HIDRAULIČKE KARAKTERISTIKE TUNELA

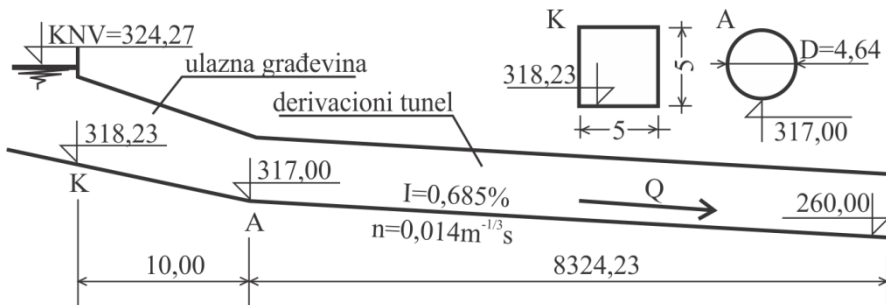
Kapacitet novog tunela definisan je studijom VI Jasroslav Černi (2015) na osnovu koje su izdati Vodni uslovi i vodne saglasnosti na tehničku dokumentaciju proširenja jalovišta Veliki Krivelj od strane republičkih vodoprivrednih organa. Količina vode na tunnelskoj ulaznoj građevini procenjena je na  $110 \text{ m}^3/\text{s}$ , što predstavlja protok verovatnoće prevazilaženja 1% (povratni period 100 godina) za taj profil vodotoka. S obzirom da vodu na ulazu u tunel usmerava skretna brana, na brani se predviđa sigurnosni preliv. Pošto je protok verovatnoće prevazilaženja 0,1% (1000 godišnja velika voda) procenjen na  $190 \text{ m}^3/\text{s}$ , a brana treba da bude u funkciji do ovog protoka uzvodno od nje, sigurnosti preliv na skretnoj brani treba da propusti  $190 \text{ m}^3/\text{s} - 110 \text{ m}^3/\text{s} = 80 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Na slici 3 prikazana je skica novog tunela sa karakterističnim kotama. Na osnovu ovih geometrijskih pokazatelja i pretpostavljenih karakteristika materijala tunela sledi prikaz provere zahtevanog kapaciteta tunela. Koristeći Šezi-Maningovu jednačinu dobija se kapacitet tunela:

$$Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} \sqrt{I} = 0,014^{-1} 16,9 1,16^{2/3} 0,00685^{1/2} = 110,074 \text{ m}^3/\text{s} \quad (1)$$

Brzina vode u tunelu i odgovarajuća brzinska visina su:

$$v = Q/A = 110,24/16,9 = 6,55 \text{ m/s}; \quad v^2/2g = 2,19 \text{ m} \quad (2)$$



Slika 3. Skica elementa novog derivacionog tunela.

Figure 3. The sketch of the new derivation tunnel.

Ovim je potvrđen kapacitet novog derivacionog tunela za evakuaciju velikih voda Kriveljske reke za protoke verovatnoće prevazilaženja 1%, sa nivoom vode neposredno uzvodno od uliva u tunel u koti:

$$KNV = 317,00 + 4,64 + (1 + \xi_u) 2,19 = 324,27 \text{ mnm} \quad (3)$$

gde je za usvojenu ulaznu građevinu lokalni gubitak  $\xi_u=0,2$ .

Na slici 4 data je skica sigurnosnog preлива na skretnoj brani. Njegova uloga je da propusti razliku između 100 i 1000 godišnje velike vode koja iznosi kako je prethodno napisano  $80 \text{ m}^3/\text{s}$ . Nasuta skretna brana se nalazi u proširenom delu doline Kriveljske reke na oko 100 metara udaljenosti od ulivne građevine novog tunela. To znači da su nivoi vode koji se ostvaruju neposredno uzvodno od tunela merodavni za utvrđivanje graničnih hidrauličkih uslova pri merodavnim vodama Kriveljske reke.

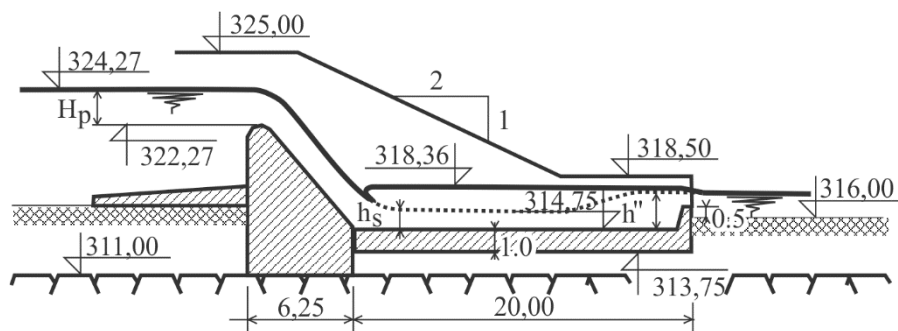
Na osnovu toga kruna Skretne brane je utvrđena na koti 325 mnm, a maksimalni nivo pri merodavnoj velikoj vodi treba da je 324,27 mnm. Protok od  $Q_p=80 \text{ m}^3/\text{s}$  propušta prelivna građevina sa prelivnim pragom sa zaobljenim hidrauličkim profilom ( $Cq=0,49$ ) sa kotom krune preлива 322,27 mnm. Sa navedenim podacima za propuštanje odabrane prelivne vode sa kotom 324,27 mnm ( $H_p=2\text{m}$ ) dužina prelivne ivice iznosi  $L=13\text{m}$ , što se može potvrditi iz izraza:

$$Q_p = C_q L_p \sqrt{2g} H_p^{3/2} = 0,49 \cdot 13 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81} \cdot 2^{3/2} = 79,8 \approx 80 \text{ m}^3/\text{s} \quad (4)$$

Uslovne jednačine za debljinu vodenog mlaza  $H_s$  i brzinu u tom preseku  $v_s$  su:

$$314,75 + h_h + \frac{v_s^2}{2g} = 324,7 \text{ mnm} \quad \text{i} \quad v_s = Q_p \cdot h_s \quad (5)$$

koje daju rešenje  $v_s = 11,8 \text{ m/s}$  i  $h_s = 0,52 \text{ m}$ .



Slika 4. Skica elemenata preлива i slapišta skretne brane.

Figure 4. The sketch of the diversion dam weir with ogee spillway and stilling basin downstream.

Za umirenje energije prelivnog mlaza projektovana je slapište/bučnica (bazen za umirenje) sa kotom dna 314,75 mnm i debljinom armirano betonske ploče od 1m kako bi fundiranje bilo na nosivom tlu aluvijalnog nanosa (na koti 313,75 mnm).

Sa vrednošću protoka po širini bučnice (ista je kao širina preлива), odnosno  $Q_p/L_p=q=6,15 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$  dobija se kritična dubina u bučnici  $h_k = (6,15^2/9,81)^{1/3} = 1,57 \text{ m}$ . To dovodi do toga da je spregnuta dubina  $h_s$ :

$$h_s'' = 0,5 h_s [(1 + 8(h_k/h_s)^3)^{1/2} - 1] = 0,26[14,87 - 1] = 3,61 \text{ m} \quad (6)$$

Na osnovu sprovedenog proračuna određeni su maksimalni nivoi vode i to u bučnici 314,75 + 3,61 = 318,36 mm < 318,5 mm što je kota bočnog zida prema izlaznom pragu slapišta i na samom pragu 316,5 + 1,57 = 318,07 mm < opet manje od 318,5 mm. Usvojena dužina slapišta je 20 metara odnosno neznatno više od standardnih 5 spregnutih dubina hidrauličkog skoka  $5 h_s'' = 18,05 \text{ m}$ .

Kao što je prethodno prikazano, sve tri komponente sistema nove tunelske derivacije, tunel, skretna brana i njen preliv sa slapištem, ispunjavaju hidrauličke prepostavke za rad u uslovima sprovođenja 100 i 1000 godišnjih velikih voda.

### ZAKLJUČAK

Na osnovu projekta novog derivacionog tunela za vode Kriveljske reke oko flotacijskog jalovišta Veliki Krivelj stvoreni su dokumentaciono-tehnički uslovi za izvođenje ovog objekta. Kada po izgradnji bude bio pušten u rad, omogućiće nastavak korišćenja prethodno pomenutog flotacijskog jalovišta i do projektom zadatog nivoa bezbednosti obezbediti zaštitu kopa Veliki Krivelj od voda Kriveljske reke koje sada teku njegovim obodom. Time se omogućuje kontinuitet rada i proširenje kapaciteta složenog rudarsko-topioničarskog sistema u Boru.

### Zahvalnica

Zahvaljujemo se Ministarstvu prosvete, nauke i tehnološkog razvoja što je finansiranjem projekta TR37010 i TR37005 omogućilo istraživanja koja su iskorišćena u sagledavanju širokog spektra uticaja i njihovih posledica, a koji su imali ulogu u izboru rešenja tunelske derivacije.

### LITERATURA:

- Vodoprivredni institut „Jaroslav Černi” – Beograd (2015) Studija zaštite eksploatacionih polja Veliki Krivelj i Cerovo i naselja Veliki Krivelj od površinskih voda i obezbeđivanje potrebnih količina tehničke vode za rudnik bakra Cerovo, Beograd
- GEA (2022) Regulacija vodotokova Kriveljske reke, Borske reke i Saraka potoka u široj zoni rudnika bakra SERBIA ZIJIN COPPER DOO Bor – Konceptijsko rešenje, „GEA” D.O.O. preduzeće za projektovanje i inženjering, Pančevo.
- ERM – Milano (2006) Analiza stanja životne sredine od šteta nastalih kao posledica prethodnog rada RTB Bor - Finalni izveštaj, Refernce 0041869, Environmental Resources Management (ERM) Italia S.r.l. u saradnji sa FIDECO d.o.o. i CSA Group Ltd prema zahtevu Agencija za privatizaciju Republike Srbije.
- MD Projekt institut d.o.o – Niš (2018), Studija o proceni uticaja na životnu sredinu – Projekat „Proširenje flotacijskog jalovišta Veliki Krivelj na nulto polje”.
- Krstić, S., Marinković, G., Ljubojević, V. (2011) Tunel za izmeštanje Kriveljske reke – trajno rešenje rizika mogućih kritičnih aspekata, Rudarski radovi 1/2011, ISSN 1451-0162.