

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

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)
а) Воде - Зборници б) Отпадне воде - Зборници с) Снабдевање водом - Србија - Зборници
д) 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

*47TH 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

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, 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 m³/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 m^2 .

Na slici 1 je prikazana kriva proticaja šahtnog preliva, koja prikazuje dve zavisnosti:

- (1) Prelivanje

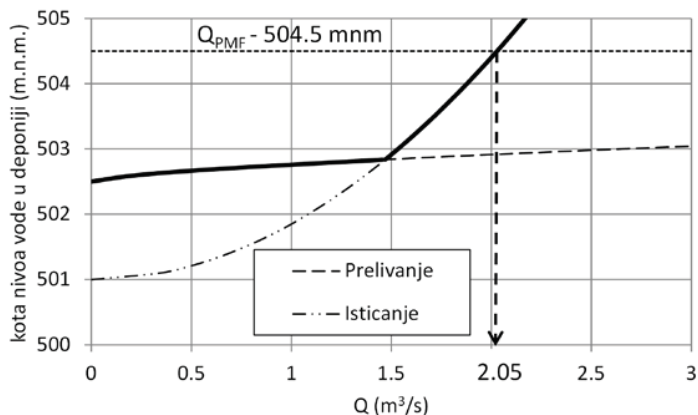
$$Q = 0.45 \cdot D \pi \cdot \sqrt{2g \cdot h_p^3} \quad (2)$$

- (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 m³/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^{-1/3}.



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 m³/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