

HRVATSKO HIDROLOŠKO DRUŠTVO

u suradnji s

Hrvatskim društvom za odvodnju i navodnjavanje

Hrvatskim društvom za zaštitu voda

Geotehničkim fakultetom Sveučilišta u Zagrebu

Varaždinskom županijom i Gradom Varaždinom

OKRUGLI STOL S MEĐUNARODNIM SUDJELOVANJEM

NANOS U VODNIM SUSTAVIMA – STANJE I TRENDОВI –



ZBORNİK RADOVA

Varaždin, 2020.

GEOTEHNIČKI FAKULTET | VARAŽDIN

OKRUGLI STOL
s međunarodnim sudjelovanjem

**NANOS U VODNIM SUSTAVIMA –
STANJE I TRENDovi**

THE ROUND TABLE
With International Participation

**SEDIMENT IN WATER SYSTEMS –
CURRENT STATE AND TRENDS**

**ZBORNİK RADOVA
PROCEEDINGS**

Varaždin, 2020.

Izdavač:

HRVATSKO HIDROLOŠKO DRUŠTVO
Ulica grada Vukovara 220, 10000 Zagreb

Urednici:

dr.sc. Dijana Oskoruš, dipl.ing.geot.
dr.sc. Josip Rubinić, dipl.ing.građ.

Fotografija na naslovnici:

Zdenko Kereša, Darko Vukadinović

Priprema:

Tomislava Bošnjak

Lektura:

Tatjana Jauk, prof.

Tehnički urednik:

Damir Ljubičić

Grafička obrada, prijelom i tisak:

MIODIO d.o.o. Rijeka

Naklada:

200 primjeraka

ISBN 978-953-96705-5-7

CIP zapis je dostupan u računalnome katalogu Nacionalne i sveučilišne
knjižnice u Zagrebu pod brojem 001061718

Autori su u potpunosti odgovorni za sve iznijeto u njihovim radovima.
Izdavač i urednik ovog Zbornika radova, te organizatori Skupa s tim u svezi ne snose
nikakvu odgovornost.

ORGANIZATORI SKUPA:

Hrvatsko hidrološko društvo

u suradnji s:

Hrvatskim društvom za odvodnju i navodnjavanje

Hrvatskim društvom za zaštitu voda

Geotehničkim fakultetom Sveučilišta u Zagrebu

Varaždinskom županijom i Gradom Varaždinom

PROGRAMSKO ORGANIZACIJSKI ODBOR:

dr.sc. Dijana Oskoruš – Predsjednica

dr.sc. Darko Barbalić

dr.sc. Damir Bekić

dr.sc. Danko Biondić

dr.sc. Ranko Biondić

Alan Cibilić

dr.sc. Ivan Čanjevac

dr.sc. Ivana Grčić

dr.sc. Danko Holjević

dr.sc. Bojana Horvat

mr.sc. Ivana Ivanković

dr.sc. Sanja Kapelj

dr.sc. Barbara Karleuša

Zdenko Kereša

dr.sc. Janja Kramer Stajanko

dr.sc. Hrvoje Meaški

dr.sc. Nevenka Ožanić

dr.sc. Mara Pavelić

dr.sc. Krešimir Pavlić

Maja Radišić

Josip Rubeša

dr.sc. Josip Rubinić

dr.sc. Ajka Šorša

Damir Štuhec

Ivana Šarić

Renata Vidaković Šutić

mr.sc. Mirjana Švonja

Igor Tošić

dr.sc. Elvis Žic

RECENZENTI:

dr.sc. Darko Barbalić

dr.sc. Damir Bekić

dr.sc. Ranko Biondić

dr.sc. Ivan Čanjevac

dr.sc. Danko Holjević

mr.sc. Ivana Ivanković

dr.sc. Sanja Kapelj

dr.sc. Barbara Karleuša

dr.sc. Janja Kramer Stajanko

dr.sc. Dijana Oskoruš

dr.sc. Nevenka Ožanić

dr.sc. Josip Rubinić

Ivana Šarić

dr.sc. Ajka Šorša

Renata Vidaković Šutić

dr.sc. Elvis Žic

2D MODEL PRONOSA NANOSA U AKUMULACIJI HIDROELEKTRANE VARAŽDIN

2D SEDIMENT TRANSPORT MODEL IN RESERVOIR OF THE HYDRO POWER PLANT VARAŽDIN

Damir Bekić^a, Goran Zrinski^b

KLJUČNE RIJEČI: pronos nanosa, morfodinamički model, rijeka Drava, HE Varaždin, akumulacija

KEYWORDS: sediment transport, morphodynamic model, Drava River, HPP Varaždin, reservoir

1. UVOD

Hidroelektrana Varaždin je prva od tri hrvatske dravske hidroelektrane u Hrvatskoj i nalazi se između posljednje slovenske hidroelektrane HE Formin i HE Čakovec u Hrvatskoj. Uzvodni tok rijeke Drave kroz Austriju i Sloveniju je reguliran i energetski iskorišten izgradnjom niza hidroelektrana. Od 1978. u pogonu je HE Formin, nakon čega su puštene u pogon HE Varaždin 1975., HE Čakovec 1983. i HE Dubrava 1989. godine. HE Varaždin sastoji se od akumulacijskog jezera i pripadajućih obodnih nasipa, nasute i armirano-betonske brane te derivacijskog kanala sa strojarnicom.

Akumulacijsko jezero HE Varaždin u duljini od 3,5 km i širini 0,8 km ima zapreminu od $7,4 \times 10^6$ m³ kod normalnog uspora. Gornja voda brane u akumulaciji nalazi se između 190,00 m n.m. i 191,00 m n.m. Izgradnjom brana i akumulacijskih jezera prirodni tok rijeke Drave je usporen, a vodni režim i režim nanosa su izmijenjeni. Smanjenje brzine vode u akumulacijama na oko 0,1 m/s povećalo je taloženje nanosa

^a Sveučilište u Zagrebu Građevinski fakultet, Kačićeva 26, Zagreb, 10000, Hrvatska, damir.bekic@grad.hr

^b HEP Proizvodnja d.o.o. – PP HE Sjever, Medimurska 26c, Varaždin, 42000, Hrvatska, goran.zrinski@hep.hr

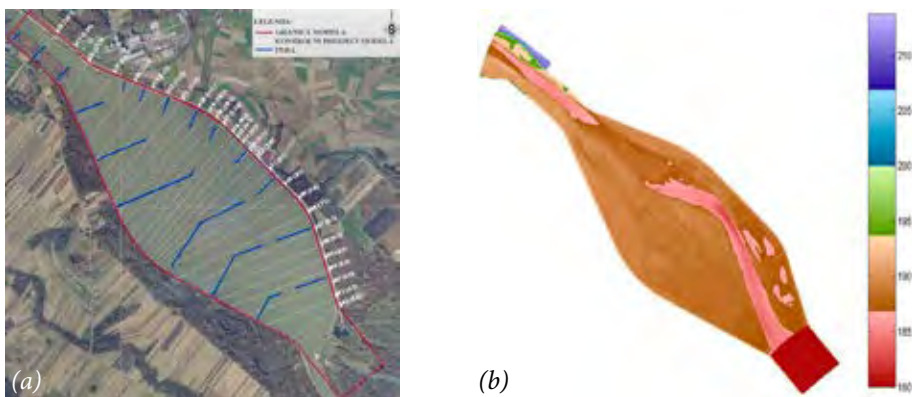
te se oko 30 % ukupnog volumena akumulacijskog jezera HE Varaždin zapunilo nanosom.

U cilju ublažavanja meandriranja korita unutar akumulacije pri prolasku velikih voda izvedena su poprečna pera koja se protežu od nasipa akumulacije do korita rijeke (Slika 1a, plave linije). Pera su izvedena od kamenog nabačaja širine oko 2 metra i visinski znatno više od postojećeg terena, tako da taloženje finog nanosa na inundacijama jezera do visine izvedenih pera ukazuje na veliku količinu nanosa u jezeru. Pera su na uzvodnom dijelu akumulacije izvedena iznad kote 190,00 m n.m., tako da je istaloženi nanos ušao u radni metar akumulacije.

Skraćivanje i snižavanje visine postojećih poprečnih pera u akumulaciji jedna je od mjera kojom se može utjecati na povećanje brzine vode i ublažavanje postojećeg trenda taloženja nanosa u akumulaciji. U radu se prikazuju rezultati analize mjera snižavanja visine i skraćivanja poprečnih pera na dinamiku pronosa nanosa u akumulaciji HE Varaždin (Bekić, 2013a). Dinamika pronosa nanosa analizirana je korištenjem paketa Delft3D koji uključuje 2d modeliranje hidrodinamičkih i morfodinamičkih procesa te njihovu međusobnu interakciju na ortogonalnoj zakrivljenoj mreži točaka (Bekić, 2013b).

2. REZULTATI I RASPRAVA

Morfodinamički model akumulacijskog jezera izrađen je od brane HE Varaždin uzvodno do mosta Ormož u duljini od 3+636 m temeljem satnih hidroloških podataka, hidrografskih snimaka dna te monitoringa granulometrijskog sastava nanosa s dna jezera i suspendiranog nanosa Drave (Gilja, 2009). Satne simulacije izrađene su za različite varijante računskih parametara modela, a pouzdanost modela ocijenjena je usporedbom računске i izmjerene geometrije na kontrolnim poprečnim presjecima (Slika 1a, bijele linije).



Slika 1. Akumulacijsko jezero HE Varaždin – (a) prikaz lokacija pera i kontrolnih poprečnih profila i (b) računska geometrija modela iz 2002. godine

Početna geometrija modela izrađena je za 2002. godinu (Slika 1b), a morfodinamičke simulacije provedene su za razdoblje 2002.-2011. godine. Kalibracija modela izvršena je detaljnom analizom pronosa nanosa unutar korita i na inundaciji na 28 kontrolnih profila varirajući sastav materijala u koritu, sastav i prostorni raspored materijala na inundacijama, unos suspendiranog materijala u model, brzinu taloženja suspendiranog materijala i morfološki faktor simulacije.

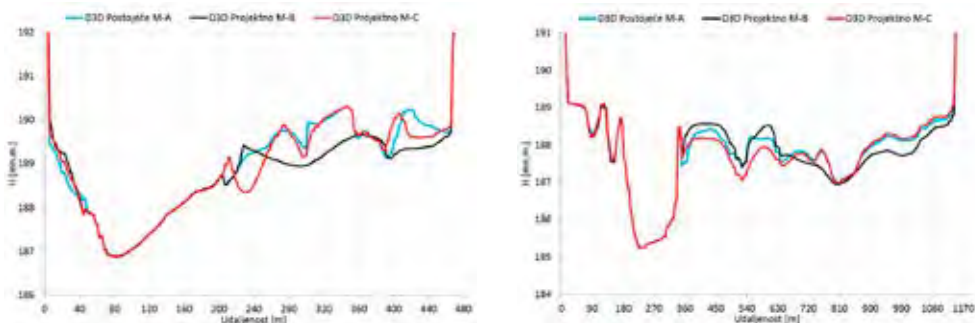
Rezultati morfodinamičkih simulacija u postojećem stanju pokazuju da je područje akumulacije moguće podijeliti na (i) uzvodni dio akumulacije s najvećim brzinama vode koje je izloženo erozijskim procesima u glavnom koritu, (ii) prijelazni dio akumulacije s miješanim procesima slabe erozije u uzvodnom dijelu i taloženjem u nizvodnom dijelu te (iii) nizvodni dio akumulacije s taloženjem sitnijih čestica na inundacijama.

U projektnom stanju izvršene su morfodinamičke simulacije sa sniženjem pera i simulacije sa skraćanjem pera na desnom dijelu akumulacije HE Varaždin uz korištenje računskih parametara iz kalibracije modela. Simulacije sa sniženjem pera na desnoj inundaciji jezera (Slika 2, crno) pokazuju relativno mali utjecaj na dinamiku pronosa nanosa u glavnom koritu i lijevoj inundaciji, ali da je i dno na desnoj inundaciji izloženo erozijskim procesima duž cijele dužine jezera.

Linija skraćenja pera na desnoj inundaciji odabrana je na način da se skraćenje pera izvrši na hidraulički prihvatljiv način, uz uvažavanje rezultata hidromorfološkog modela postojećeg stanja i sigurnosti građevinskih objekata. Simulacije sa skraćanjem pera na desnoj inundaciji jezera (Slika 2, crveno) pokazuju relativno mali utjecaj na dinamiku pronosa nanosa u glavnom koritu i lijevoj inundaciji, ali i erozijske procese duž desne inundacije uzduž glavnog korita. Duž cijele nožice desnog nasipa akumulacije HE Varaždin pokazuje se da dno zadržava postojeći oblik, no na uzvodnom dijelu akumulacije pokazuju se određene manje nestabilnosti dna na desnom dijelu inundacije, što ukazuje na potrebu postavljanja dodatnih pera.

(a) kontrolni profil p25

(b) kontrolni profil p17



Slika 2. Usporedba rezultata modela za projektno stanje sa snižavanjem pera (crno) i skraćivanjem pera (crveno) s rezultatima modela za postojeće stanje za (a) uzvodni i (b) nizvodni dio jezera

3. ZAKLJUČAK

Rezultati kalibracije morfodinamičkog modela pokazuju da je moguće pouzdano simulirati procese erozije i taloženja nanosa kako u glavnom koritu tako i na inundaciji duž cijelog jezera HE Varaždin. Simulacije u projektnom stanju pokazuju ne samo očekivane procese pronosa nanosa nego i lokacije potrebnih mjera za ublažavanje negativnih posljedica predloženih mjera na sigurnost postojećih objekata. Rezultati simulacija hidrodinamike i pronosa nanosa u akumulaciji HE Varaždin ukazuju da detaljniji morfodinamički modeli (2d, 3d) mogu pouzdano simulirati dugovremene procese u jezeru te nužnost primjene 2d ili 3d modela kod ocjene primjene različitih mjera za upravljanje pronosom nanosa u složenijim hidrauličkim uvjetima.

LITERATURA

- [1] Bekić, D., Mioč, A., Kerin, I. (2013a): *2D numerical simulations of 2012 flood wave passage through HPP system on the River Drava*, Proceedings of the 13th International Symposium on Water Management and Hydraulic Engineering (Šoltész, A.), Slovak University of Technology, Bratislava, str. 51-70.
- [2] Bekić, D., Andročec, V., Kerin I., Mioč A., Gilja G. (2013b): *Analiza protočnosti rijeke Drave na širem području HE Varaždin*, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu i Hidroing d.o.o.
- [3] Gilja, G., Bekić, D., Oskoruš, D. (2009): *Processing of Suspended Sediment Concentration Measurements on Drava River*, Proceedings of the 11th International Symposium on Water Management and Hydraulic Engineering (Cvetanka, P.), University Ss. Cyril and Methodius, Faculty of Civil Engineering, Skopje, str. 181-191.