

Hidraulička analiza nestacionarnog strujanja u slučaju rušenja brane Tribistovo

Gordan Prskalo

Sveučilište u Mostaru, Građevinski fakultet, prof. dr. sc.
gordan.prskalo@gf.sum.ba

Željko Lozančić

Univerzitet u Sarajevu, Građevinski fakultet, mag. ing. aedif.
zeljko.lozancic@gf.unsa.ba

Antun Prskalo

Nsoft, mag. ing. aedif.
antun.prskalo@gmail.com

Sažetak: U radu je prikazana hidraulička analiza nestacionarnog strujanja uslijed mogućeg rušenja brane akumulacije Tribistovo smještene u općini Posušje, Bosna i Hercegovina. Propagacije poplavnih valova proračunate su za različite scenarije otkazivanja brana. Metodologija usvojena za razvoj modela širenja poplavnog vala temelji se na korištenju raspoloživih alata za prikupljanje, obradu i grafički prikaz geoprostornih podataka i alata za hidrodinamičko modeliranje nestacionarnog strujanja. Odabrani pristup je konzervativan i rezultati su u pravilu najgori scenariji. Poplavne površine su određene na temelju hidrauličkih proračuna s najnepovoljnijim pretpostavkama: maksimalni vodostaj u akumulaciji, maksimalni dotok u akumulaciju (s povratnim razdobljem $T = 10\,000$ godina), trenutno/postupno i potpuno rušenje brane, što rezultira ekstremnim poplavama.

Ključne riječi: propagacija poplavnog vala, rušenje brane, akumulacija Tribistovo

Hydraulic analysis of unsteady flow in case of the Tribistovo dam break

Abstract: This paper presents a hydraulic analysis of unsteady flow due to a possible dam break of the Tribistovo reservoir located in the Municipality of Posušje, Bosnia and Herzegovina. Flood wave propagation is calculated and flood maps are derived for different dam break scenarios. The methodology adopted for the development of the flood wave propagation model is based on the use of available tools for collection, processing and graphical display of geospatial data and tools for hydrodynamic modeling of transient flow. The selected approach is conservative and results are, as a rule, the worst case scenarios. Flood areas are obtained on the basis of hydraulic calculations with the most unfavorable assumptions: maximum water level in the reservoir, maximum inflow in the reservoir (with the return period of $T = 10\,000$ years), instantaneous/gradual and total dam break, all of which result in extreme flooding.

Key words: flood wave propagation, dam break, Tribistovo reservoir

1. UVOD

Rušenje brane je događaj male vjerojatnoće, koji se ne događa vrlo često, ali vrlo opasan i s katastrofalnim posljedicama ukoliko se dogodi. Posljednjih godina se broj prijavljenih slučajeva otkazivanja brana u svijetu smanjuje, a zabilježeni su uglavnom slučajevi otkazivanja malih brana. Zemljane i brane od kamenog nabačaja najčešće otkazuju ukoliko dođe do tečenja vode preko tijela brane ili zbog nedovoljne propusne moći evakuacijskih objekata brane. Rušenje brane predstavlja ozbiljnu prijetnju stanovnicima i dobrima nizvodno od brane. Za otklanjanje ili ublažavanje mogućih štetnih utjecaja uslijed rušenja brana važan je cjeloviti pristup upravljanju nesrećama, koji uključuje prevenciju katastrofa, ublažavanje, uzbunu, oporavak i obnavljanje.

Iskustva stečena kroz zabilježene slučajeve rušenja brana pokazuju važnost analize širenja poplavnih valova kao osnovnog istražnog rada potrebnog za prostorno planiranje nizvodnih područja, što uključuje i izradu planova evakuacije stanovništva i mjera i aktivnosti potrebnih za zaštitu naselja, ekonomskih i drugih dobara, kao i prirodnih bogatstava.

U ovom radu je prikazana hidraulička analiza tečenja vode uslijed mogućeg rušenja brane akumulacije Tribistovo smještene u općini Posušje, Bosna i Hercegovina (OKON, 2018.). Hidraulička analiza širenja poplavnih valova provedena je za različite scenarije otkazivanja brana. Metodologija usvojena za razvoj modela širenja poplavnog vala temelji se na korištenju raspoloživih alata za prikupljanje, obradu i grafički prikaz geoprostornih podataka i alata za hidrodinamičko modeliranje nestacionarnog strujanja uzrokovanog otkazivanjem brane. Odabrani pristup je konzervativan i rezultati su u pravilu najgori scenariji. To podrazumijeva da su pri proračunima odabrani najnepovoljniji granični uvjeti: maksimalni vodostaj u akumulaciji, maksimalni dotok u akumulaciju (povratnog razdoblja $T=10.000$ godina), trenutno / postupno i potpuno rušenje brane, što rezultira ekstremnim poplavama.

2. MATERIJALI I METODE

2.1 Razmatrano područje

Akumulacija Tribistovo formirana je na vodotoku Ričina. Površina općine Posušje iznosi $461,1 \text{ km}^2$, a prema rezultatima popisa stanovništva iz 2013. godine u 20 naselja općine živi 20.477 stanovnika (ENOVA, 2016).

Razmatrano područje nalazi se na granici sredozemne i umjereno kontinentalne klime, a u planinskom području, prostor parka prirode Blidinje, postoji utjecaj i planinske klime. Temperature variraju od -15°C do $+35^\circ\text{C}$. Ljeta su duga, topla i sušna, a zime kratke i blage uz obilne padaline, najčešće kiše, ali i manje snjegove. Prosječna godišnja količina padalina je oko 1500 mm, ali s izrazitom vremenskom neravnomjernosti (ENOVA, 2016.). Reljef je brdsko-planinski i obuhvaća 4 stupnjevito poredane krške zaravni: Posuško i Virsko polje, Tribistovo, Rakitski biser, te planinsko područje oko Blidinjskog jezera.

U geološkoj građi prevladavaju uslojeni krečnjaci i dolomiti te gromadasti do debelo uslojeni krečnjaci, dolomiti, krečnjačke breče i rožnjaci. Ovaj prostor pripada geotektonskoj jedinici vanjskih Dinarida, odnosno zoni Visokog krša sa specifičnim površinskim i podzemnim hidrogeološkim odnosima kao posljedicom zajedničkog djelovanja tektonike i geokemizma. Hidrogeološka jedinstvenost ovog kraškog sliva rezultat je duboke i izuzetno jake regionalne karstifikacije što uzrokuje razvoj ekstremnih kraških oblika, kao i razvoj kompleksnog sustava podzemnih kanala (Bonacci et al., 2013.).

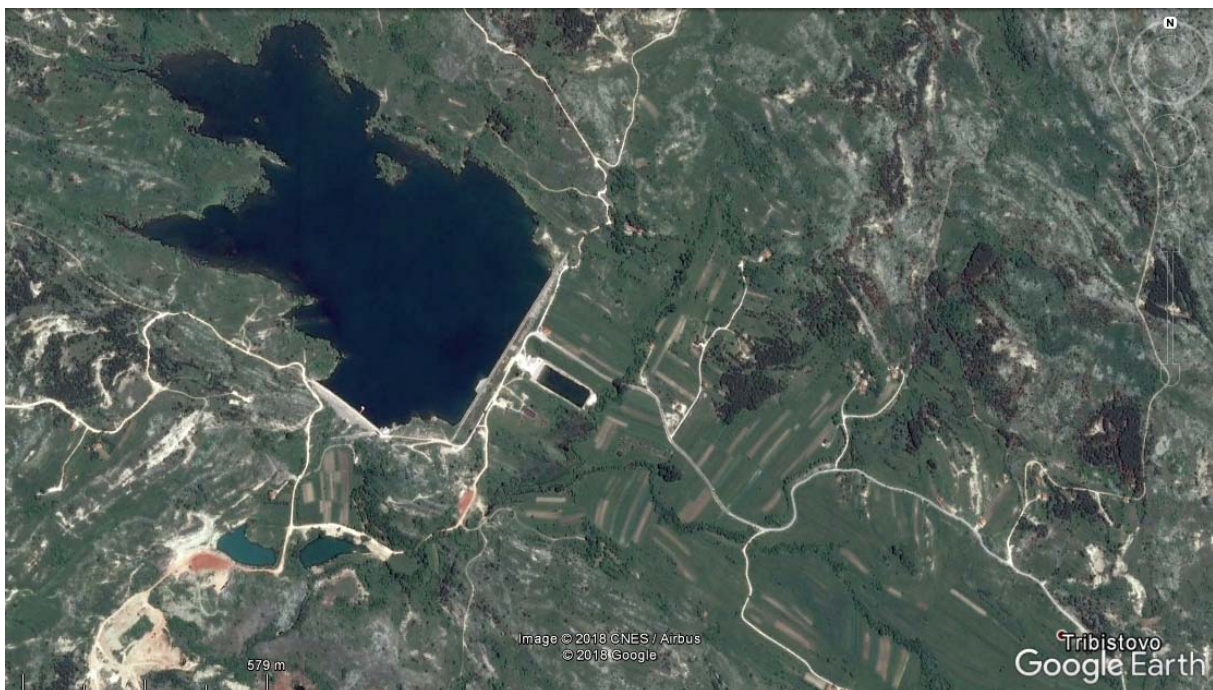
Prskalo, G., Lozančić, Ž., Prskalo, A.

Hidraulička analiza nestacionarnog strujanja u slučaju rušenja brane Tribistovo

Najznačajniji zabilježeni potresi u blizini akumulacije Tribistovo su potres u Počitelju od 01.08.1907. godine s magnitudom $M = 5,7$ i intenzitetom u epicentru $I = 7$ MCS, te potres u Imotskom 15.03.1923. godine magnitude $M = 6,2$ i intenziteta između 8 i 9 stupnjeva po MCS ljestvici (Trkulja, nn). U ovoj zoni hipocentri potresa su na dubinama između 2 i 22 km.

Prema prognostičkoj karti seizmičkih intenziteta u BiH za razdoblje od 100 godina prema MCS ljestvici (Brlek, 2016.) predmetno područje je u blizini žarišne zone u kojoj se predviđaju potresi vrlo velikog intenziteta. Prema seizmološkoj karti šire regije za povratni period od 500 godina (INTEGRA, 2017.) ovo područje je na prijelazu između zona 8 i 9 prema MCS ljestvici.

Osnovno obilježje prostora Općine Posušje u hidrološkom pogledu je to da je površinska hidrografska mreža slabo razvijena. Uglavnom se radi o povremenim površinskim tokovima, dok se glavina otjecanja sa sliva odvija podzemljem. Rijeka Ričina, na kojoj je formirana akumulacija Tribistovo, dio je sliva rijeke Trebižat.



Slika 1. Akumulacija Tribistovo (izvor: GoogleEarth)

U svrhu rješavanja problema vodoopskrbe grada Posušja i drugih okolnih naselja 1989. godine je formirana akumulacija Tribistovo. Planskim dokumentima predviđeno je njeno korištenje i u svrhe navodnjavanja, energetike i kontrole poplavnih valova. Akumulacija je nastala izgradnjom zemljane brane građevinske visine 21 metar na Ružičkom potoku u slivu rijeke Ričine i pregradnog nasipa građevinske visine 13 metara na dijelu vododijelnice između potoka Močila i Ružičkog potoka (Slika 1). Akumulacija se nalazi sjeveroistočno od Posušja na udaljenosti od oko 7 km. Umjetno akumulacijsko jezero Tribistovo ima površinu vodnog lica od 700.000 m^2 . Ukupni volumen jezera pri koti normalnog uspora od 913,50 m n.m. je $5 \times 10^6 \text{ m}^3$, od čega je iskoristivi volumen 4,5 milijuna m^3 , a ostatak je predviđen za deponiranje nanosa.

Brana je izgrađena od kamenog nabačaja s uzvodnim armirano-betonskim ekranom. Kruna brane nalazi se na koti 915,50 m n.m., dužina joj je 234,10 m, dok je ukupna širina 4,00 metra. Na lijevom boku brane nalaze se preljev i brzotok za evakuaciju velikih voda. Pregradni nasip se nalazi na lijevom boku akumulacije i dijeli je od bočne depresije. Nasip je

Prskalo, G., Lozančić, Ž., Prskalo, A.

Hidraulička analiza nestacionarnog strujanja u slučaju rušenja brane Tribistovo

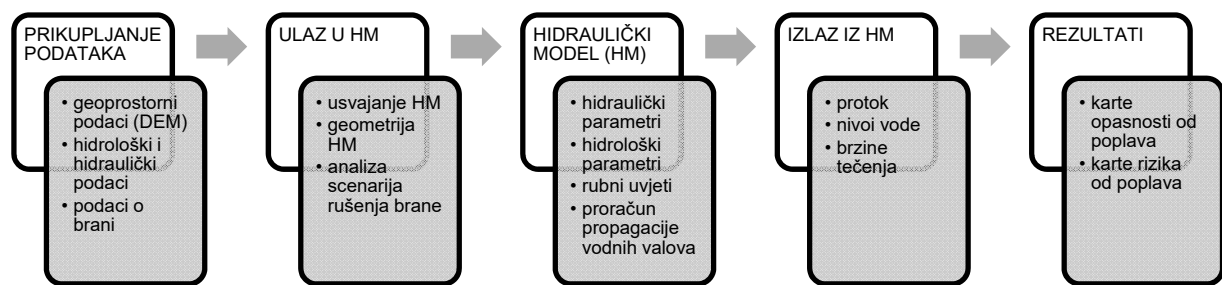
formiran od kamenog nabačaja s glinenom jezgrom i nema injekcijsku zavjesu. Kota krune nasipa je na 915,50 m n.m., dok je dužina u kruni nasipa 548,50 m.

Razine jezera se kreću od 906 m n. m. do projektirane razine vode u akumulaciji od 913,50 m n. m. + visina slobodnog preljevnog mlaza (do cca. 0,5 m). Apsolutni najviši dosadašnji vodostaj zabilježen je 2005. godine i iznosio je 913,99 m n. m. Akumulacija nije nikad u potpunosti pražnjena. U zimskom periodu redovito dolazi do prelijevanje vode iz akumulacije.

Na brani i pregradnom nasipu akumulacije Tribistovo projektom tehničkog promatranja predviđena su i vrše se sljedeća mjerenja: razina vode u akumulaciji, pomjeranja kontrolnih točaka u horizontalnom i vertikalnom smislu, procjedne vode, razine podzemnih voda, vizualna promatranja građevinskih objekata i tla, promatranje obala i slivnog područja akumulacije. Temperatura zraka i padaline prate se na gradskoj HM postaji u Posušju. Zaleđenost akumulacije se ne evidentira.

2.2 Usvojena metodologija

Metodologija određivanja karata opasnosti od poplava uslijed mogućeg rušenja brane može se prikazati shematski:



Slika 2. Shematski prikaz usvojene metodologije

Usvojena metodologija temelji se na uporabi raspoloživih alata za prikupljanje i rad s geoprostornim bazama podataka i njihovim grafičkim prikazivanjem, te alata za hidrodinamičko modeliranje tečenja pri nestacionarnim uvjetima koji vladaju pri tečenju uvjetovanom rušenjem brana. Podaci o topografiji, hidrologiji i hidrauličkim podacima, podaci o materijalima brane i geometriji prikupljaju se i obrađuju kako bi se uspostavio hidraulički model širenja poplavnog vala u slučaju otkazivanja brane.

Model širenja poplavnog vala izazvan rušenjem brane mora uzeti u obzir:

- Modeliranje poplavnog vala uzvodno od brane
- Modeliranje rušenja brane
- Modeliranje širenja poplavnog vala nizvodno od brane

Modeliranje poplavnog vala uzvodno od brane može se provesti 1D ili 2D analizom nestacionarnog strujanja ili nekom drugom metodom proračuna propagacije poplavnog vala. Procjena lokacije proboja brane, dimenzija i vrijeme razvoja ključni su parametri za svaku procjenu rizika, jer oni izravno utječu na procjenu vršnog istjecanja i vremena uzbune. Nažalost, to su često parametri s najviše nesigurnosti. Oni se mogu procijeniti korištenjem usporedne analize, regresijskih jednadžbi (Froehlich, MacDonald i Langridge-Monopolis, Von Thun i Gillette, Xu i Zhang i dr.), brzine (ili posmični napona) u odnosu na razvoj erozije ili fizički utemeljenih računalnih modela (BREACH). Modeliranje širenja poplavnog vala nizvodno od brane najvažniji je dio analize procjene rizika od probijanja brane.

2.3 Raspoloživi podaci

Kao ulazni podaci za proračune korišteni su: i) geodetski podaci, ii) hidraulički i hidrološki podaci i iii) podaci o brani.

Geodetski podaci u prvom koraku služe za formiranje geometrijskih granica hidrauličkog modela. Za manipulaciju geoprostornim podacima korišten je software Q-GIS u kojemu je izvršena priprema za uvoz potrebnih geoprostornih podataka u hidraulički model HEC-RAS. Za proračune je korišten digitalni model visina (DEM) za razmatrano područje s rezolucijom 5m x 5m. Podaci o brani poslužili su pri izboru načina rušenja brane, zadavanju ograničenja, odnosno rubnih uvjeta modela, kao i transformacije hidroloških podataka (hidrograma). Zavod za vodoprivredu iz Sarajeva izradio je hidrološke podloge koje su poslužile za izradu projektne dokumentacije akumulacije Tribistovo, a predmetne hidrološke podloge korištene su i u ovom radu kao ulazi u hidraulički model. Hidraulički i hidrološki podaci odnose se na zapreminu akumulacije, hidrograme vodnih valova, Manningove koeficijente i druge parametre potrebne u hidrauličkom modelu.

2.4 Scenariji rušenja brane

Rušenje velike brane može biti uzrokovano čitavim nizom razloga od kojih se mogu izdvojiti: pogreške pri projektiranju (poddimensioniranje dijelova konstrukcije brane koji se odnose na stabilnost zbog karakteristika temeljnog tla i ulaznih hidroloških parametara), pogreške kod izvođenja brane (neispunjavanje projektom propisanih standarda i kvalitete materijala), neodgovarajuće tehničko održavanje i provedba nadzora glavnih dijelova brane i izvanredni ekstremni događaji kao što su potres, klizanja tla, ratno djelovanje i sl.

Način rušenja velike brane prvenstveno je u funkciji njezinih tehničkih karakteristika, a osobito vrste materijala (nasute zemljane, betonske, itd.) odnosno konstruktivnog rješenja (gravitacijske, lučne, itd.). U tom se smislu definiraju i mogući scenariji rušenja, prvenstveno zbog načina određivanja oblika i vremena rušenja brane. Navedenim uvjetima određuju se ulazni parametri koji čine osnovu za izradu modela rušenja brane te praćenje širenja poplavnog vala koji nastaje kao posljedica rušenja brane. (Sopta et al., 2011)

Nasute brane se često grade zbog niskih troškova izgradnje i očuvanja prirodnog izgleda lokacije. Glavni razlog otkazivanja nasutih brana je prelijevanje preko tijela brane do kojega najčešće dolazi pri pojavi ekstremnih protoka u kombinaciji s zakazivanjem preljevniha polja zbog nedovoljnih dimenzija ili kvara na ustavama (Bjerke, 2011). U tablici koja slijedi prikazani su mogući načini otkazivanja različitih tipova brana.

Tablica 1. Mogući načini otkazivanja različitih tipova brana (Brunner, 2014.)

Način otkazivanja	Nasuta zemljana	Betonska gravitacijska	Betonska lučna	Betonska poduprta	Betonska višelučna
Preljevanje	X	X	X	X	X
Procurivanje	X	X	X	X	X
Greške u temeljima	X	X	X	X	X
Klizanje	X	X		X	
Prevrtanje		X	X		
Pucanje	X	X	X	X	X
Otkazivanje opreme	X	X	X	X	X

Dosadašnja praksa u izradi modela širenja poplavnog vala nastalog zbog rušenja velikih brana je takva da su kod provedenih simulacija na modelima za ulazne podatke najčešće primijenjeni ekstremni početni uvjeti (potpuno ispunjena akumulacija, trenutačni nestanak

Prskalo, G., Lozančić, Ž., Prskalo, A.

Hidraulička analiza nestacionarnog strujanja u slučaju rušenja brane Tribistovo

dijela tijela brane, uz istovremenu pojavu maksimalnih protoka) što rezultira velikim poplavnim područjima i velikim štetama.

Razmatrani scenariji rušenja brane za koje će se provesti simulacije su sljedeći:

- Trenutno rušenje brane
- Trenutno rušenje pregradnog nasipa
- Postupno rušenje brane
- Postupno rušenje pregradnog nasipa
- Trenutno istovremeno rušenje brane i pregradnog nasipa

3. HIDRAULIČKI PRORAČUN

3.1 Hidraulički model

Modeli tečenja mogu se klasificirati prema broju dimenzija koje simuliraju, prema jednadžbama na kojima se temelje i numeričkim shemama primijenjenim za rješavanje ovih jednadžbi u tijeku simulacije. Izbor modela ovisi o potrebama korisnika, topografskim karakteristikama predmetnog područja i uvjetima tečenja koje treba modelirati.

Tečenje fluida sa slobodnom površinom opisuju se Navier-Stokesovim jednadžbama:

$$\underbrace{\rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \cdot \nabla u \right)}_1 = \underbrace{-\nabla p}_2 + \underbrace{\nabla \cdot \left\{ \mu \left[\nabla u + (\nabla u)^T \right] - \frac{2}{3} \mu (\nabla \cdot u) I \right\}}_3 + \underbrace{F}_4 \quad (1)$$

gdje je u brzina fluida, p tlak, ρ gustoća i μ dinamička viskoznost. Član 1 jednadžbe odgovara inercijalnim silama, silama tlaka odgovara član 2, viskozim silama član 3, a član 4 vanjskim silama koje djeluju na fluid.

Navier-Stokesove jednadžbe predstavljaju očuvanje količine gibanja, a uz njih se rješava i jednadžba kontinuiteta koja predstavlja zakon očuvanja mase:

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho u) = 0 \quad (2)$$

Navedene jednadžbe su temelj modeliranja strujanja fluida. Njihovim rješavanjem uz posebne rubne uvjete određuju se vrijednosti brzina i tlakova unutar zadane geometrije problema. Kako je Navier-Stokesove jednadžbe zbog složenosti moguće analitički riješiti samo za ograničen broj jednostavnih problema, pribjegava se njihovom numeričkom rješavanju, a često se radi njihova dodatnog pojednostavljenja uvode određene pretpostavke. Tako se uvođenjem uvjeta slobodne površine i osrednjavanjem brzine po dubini Navier-Stokesove jednadžbe svode se na 2D model plitkih voda koji je određen Saint Venantovim jednadžbama. Saint Venantove jednadžbe čine jednadžba zakona očuvanja mase i jednadžba zakona očuvanja količine gibanja za nestacionarno 2D strujanje koje uz odsutnost ponora i izvora fluida glase (Sopta et al., 2011.):

$$\begin{aligned} \frac{\partial(v_x h)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(v_x^2 h + \frac{1}{2} g h^2 \right) + \frac{\partial(v_x v_y h)}{\partial y} &= g h (S_{bx} - S_{fx}) \\ \frac{\partial(v_y h)}{\partial t} + \frac{\partial(v_x v_y h)}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \left(v_y^2 h + \frac{1}{2} g h^2 \right) &= g h (S_{by} - S_{fy}) \end{aligned} \quad (3)$$

Prskalo, G., Lozančić, Ž., Prskalo, A.

Hidraulička analiza nestacionarnog strujanja u slučaju rušenja brane Tribistovo

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(v_x h)}{\partial x} + \frac{\partial(v_y h)}{\partial y} = 0 \quad (4)$$

gdje je h dubina vode, t vrijeme, x i y prostorne koordinate, v_x i v_y komponente vektora brzina osrednjenih po dubini, S_{bx} i S_{by} nagibi dna u x i y smjeru, a S_{fx} i S_{fy} nagibi trenja u x i y smjeru koji se proračunavaju prema izrazima u kojima je n Manningov koeficijent:

$$S_{fx} = v_x \sqrt{v_x^2 + v_y^2} \left(\frac{n^{3/2}}{h} \right)^{4/3}; \quad S_{fy} = v_y \sqrt{v_x^2 + v_y^2} \left(\frac{n^{3/2}}{h} \right)^{4/3} \quad (5)$$

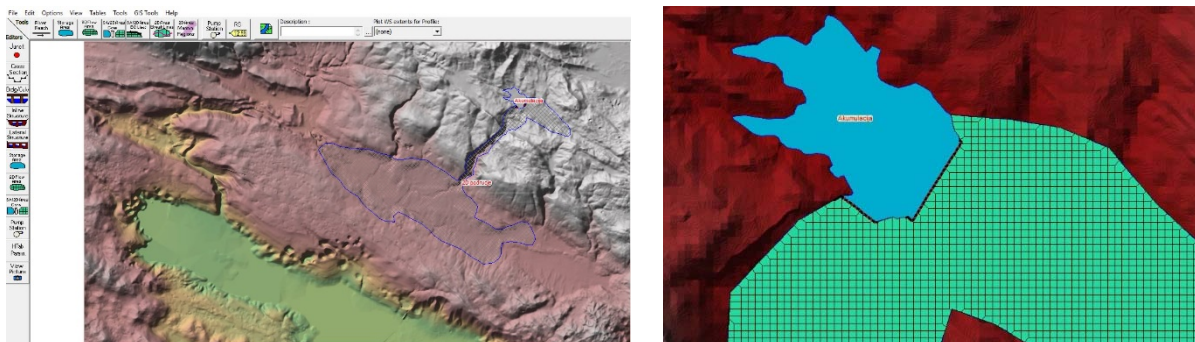
Većina modela koji se koriste za proračune tečenja nakon rušenja brane koriste 1D ili 2D hidrodinamičke modele zasnovane na numeričkom rješavanju Saint Venantovih parcijalnih diferencijalnih jednadžbi koje opisuju nestacionarno tečenje vode u otvorenim tokovima.

Prednosti modeliranja tečenja 1D modelima ogledaju se u jednostavnijem formiranju modela, bržem proračunu i manjem broju potrebnih podataka. Moguće ih je koristiti kod riječnih tokova koji nemaju izražene 2D efekte ili oni nisu od značaja. Najčešće se koriste za modeliranje dugih dionica vodotoka ili vodotoka s malo promjenljivim poprečnim presjecima. U ovim slučajevima može se pretpostaviti da će rezultati 1D modela biti usporedivi s rezultatima 2D modela. 1D modeli mogu se koristiti i kako bi se opisali neki 2D uvjeti tečenja, ali to zahtijeva značajne vještine i iskustvo ukoliko se želi postići dovoljna razina točnosti (Morris, 2000). Gdje god nije moguće tečenje dovoljno dobro opisati 1D modelom potrebno je koristiti 2D modele.

Za modeliranje rušenja brane i pregradnog nasipa Tribistovo odabran je hidrodinamički model HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center) koji se koristi za potrebe proračuna nestacionarnog tečenja i rasprostiranja poplavnog vala nastalog rušenjem brane. U nastavku se daje detaljniji prikaz odabranog hidrauličkog modela.

3.2 Formiranje modela

Kako je u metodologiji rada usvojen dvodimenzionalni model proračuna tečenja potrebno je koristiti trodimenzionalni model terena, s što većom rezolucijom. Geometrija modela je formirana koristeći raspoložive geodetske podatke, odnosno digitalni model terena, s rezolucijom 5m x 5m. Pod geometrijom modela podrazumijeva se i unos i opis karakteristika objekata, brana i akumulacije. U modelu je označeno 2D proračunsko područje i unutar njega generirana mreža s 51.529 elemenata prosječne veličine 630 m². Na slikama koje slijede dan je grafički prikaz generirane proračunske mreže.



Slika 3. Lijevo: karta područja s generiranom proračunskom mrežom 2D područja modela; desno: detalj akumulacije s generiranom proračunskom mrežom

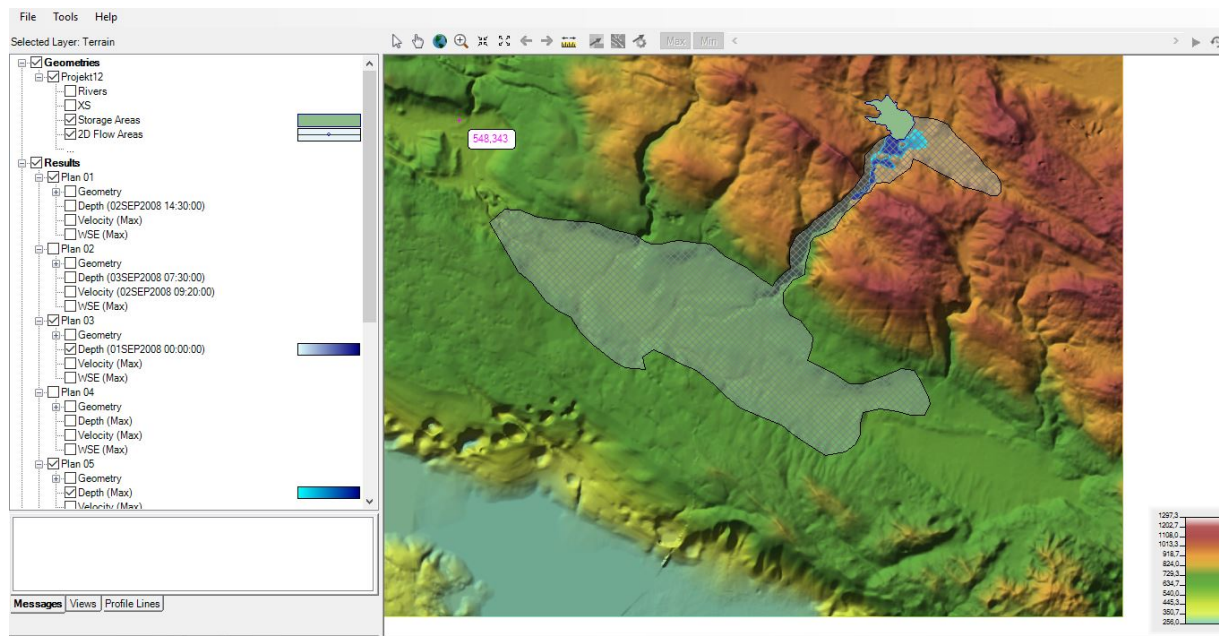
Prskalo, G., Lozančić, Ž., Prskalo, A.

Hidraulička analiza nestacionarnog strujanja u slučaju rušenja brane Tribistovo

Nakon unosa geometrijskih i hidrauličkih elemenata, te generiranja proračunske mreže, izvršen je unos početnih i rubnih uvjeta za odabrani model strujanja, nestacionarno strujanje, izvršeni su proračuni.

Kako je već naglašeno, u radu je korišten hidrodinamički model HEC-RAS, a usvojeni pristup rješavanja punih 2D Saint Venantovih jednadžbi zahtijeva više računске snage i time rezultira duljim vremenima rada. Kako bi se izbjegla numerička nestabilnost, potrebna je finija mreža u područjima 2D mreže gdje se profil ili smjer toka brzo mijenja. Solver modela koristi implicitni algoritam rješavanja metodom konačnih zapremina koji omogućava veći računski vremenski korak. Procedura računanja je sljedeća: početna dubina - kretanje vode između elemenata izračunato na osnovu početne dubine i krivulje protoka - nova zapremina u elementu određena na osnovu protoka tijekom proračunskog vremenskog koraka - dubina u svakom elementu određena iz krivulje zapremina-dubina-nova početna dubina. Ovaj proračunski algoritam je vrlo robustan i omogućuje da 2D elementi mogu biti popunjeni vodom ili prazni, tako da može opisati naglu pojavu vode u elementima. Dijelovi 2D mreže uzimaju u obzir nivoe terena unutar elemenata tako što stvaraju geometrijske i hidrauličke tablice svojstava koje predstavljaju nivoe u odnosu na zapreminu elemenata i nivoe u odnosu na protočnu površinu profila za svaki element. Elementi mreže u HEC-RAS 2D modelu prema tome nemaju ravno dno ili jedinstvenu dubinu. Svaka površina ćelije tretira se poput poprečnog presjeka za koji su određene detaljne tablice hidrauličkih svojstava. Navedeno omogućava upotrebu većih 2D elemenata mreže, a da se ne izgube informacije o stvarnim karakteristikama terena. HEC-RAS može generirati samo uniformne 2D mreže (Brunner, 2016.).

Tijek proračuna u modelu prethodno je opisan, a na slici koja slijedi dan je prikaz rezultata modela na odabranoj podlozi, u ovom slučaju na digitalnom modelu terena razmatranog područja, u RAS Mapperu, alatu za prikaz rezultata proračuna.



Slika 4. Rezultati proračuna s generiranom proračunskom mrežom 2D područja modela

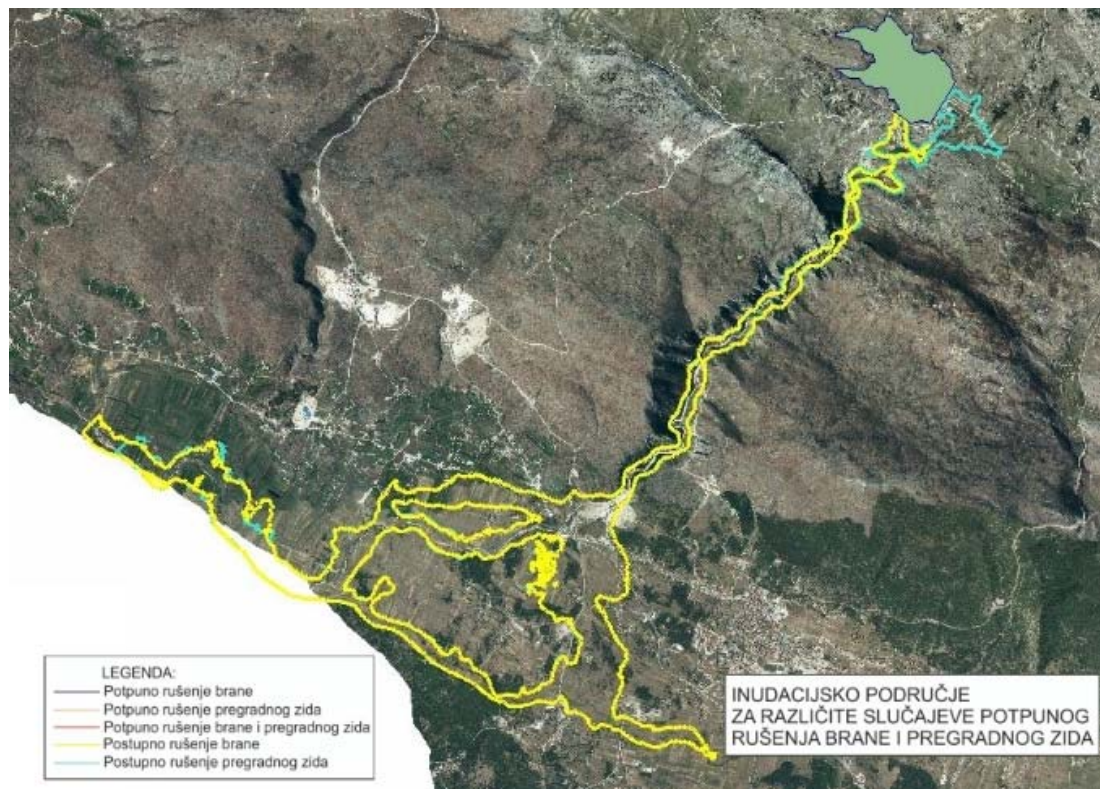
Prskalo, G., Lozančić, Ž., Prskalo, A.

Hidraulička analiza nestacionarnog strujanja u slučaju rušenja brane Tribistovo

3.3 Rezultati hidrauličkog modela

Kao rezultati modela dobiveni su nivoi vode, protoci i brzine tečenja. Rezultati hidrauličkih modela poslužit će kao ulaz u GIS alate u kojima će se iskoristiti postojeći geoprostorni podaci (topografske karte, satelitske fotografije velike rezolucije i digitalni modeli terena) kako bi se na njima prikazali rezultati hidrauličkih proračuna čime će se dobiti konačni rezultati – karte poplavnih područja. Ove se karte trebaju koristiti za pripremu planova za sprečavanje katastrofa i upravljanje područjima koja mogu biti pogođena.

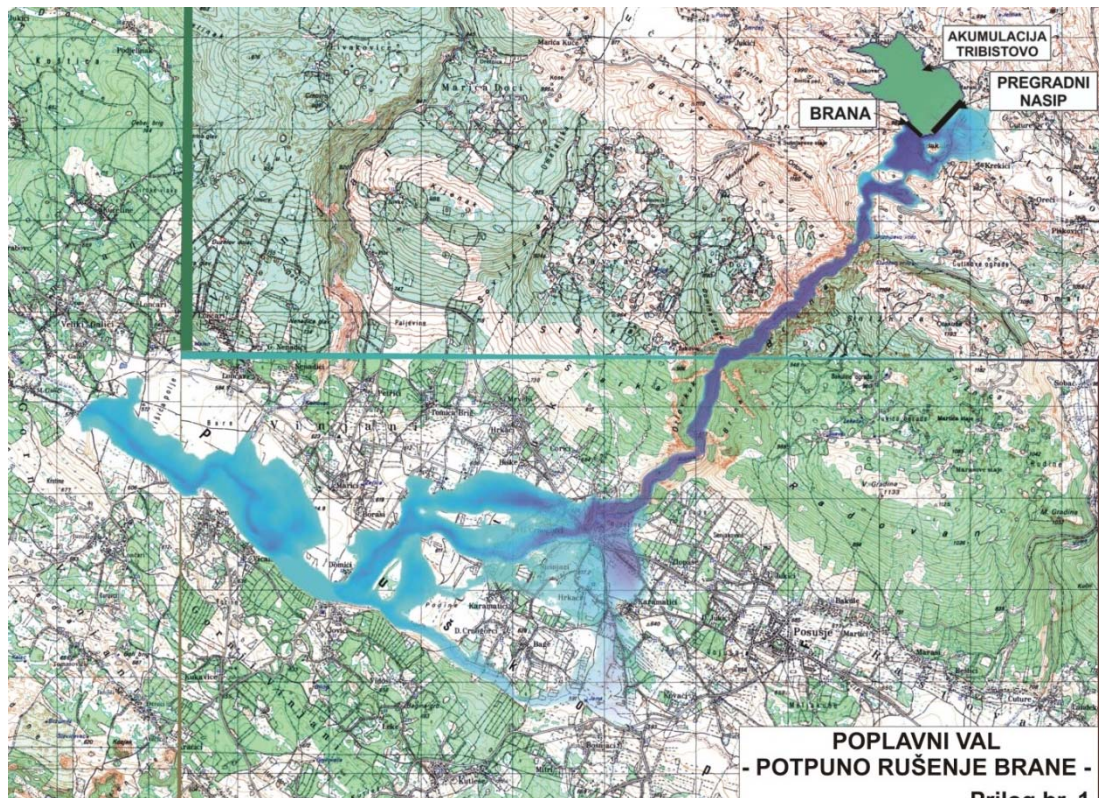
Karte zona plavljenja formirane su na osnovu rezultata proračuna i odgovarajućih topografskih ili drugih geoinformacijskih podloga. Na osnovu karata se mogu odrediti karte rizika i pripremiti planovi prevencije i upravljanja katastrofom koja može nastati u slučaju rušenja brana za područja koja mogu biti pod utjecajem nastale katastrofe. Na osnovu karata rizika se trebaju definirati kriteriji i načini proglašenja i provođenja mjera obavještanja i uzbunjivanja. U nastavku je dan prikaz poplavnih područja, odnosno karata opasnosti za razmatrane slučajeve rušenja brane: slučajevi potpunog rušenja brane i/ili pregradnog nasipa i slučajevi postupnog rušenja brane ili pregradnog nasipa. Rezultati su prikazani na topografskim kartama.



Slika 5. Granice poplavnih valova iz hidrauličkog modela za različite scenarije rušenja brane i pregradnog nasipa

Prskalo, G., Lozančić, Ž., Prskalo, A.

Hidraulička analiza nestacionarnog strujanja u slučaju rušenja brane Tribistovo



Slika 6. Karta opasnosti od poplava za trenutno i potpuno rušenje brane

5. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

Proračuni su pokazali da je vrijeme putovanja poplavnog vala do nizvodnih naseljenih područja vrlo kratko, tako da je i moguće vrijeme djelovanja nakon rušenja brane vrlo kratko. Iz tog razloga potrebno je usredotočiti se na preventivne mjere koje podrazumijevaju: stalnu kontrolu brane i statičkih karakteristika nasipa i njihovo redovito održavanje, kao i uspostavljanje odgovarajućeg alarmnog sustava za kritične razine vode u akumulaciji. Potrebno je organizirati kontinuirana fizička, geodetska, seizmička, klimatološka i hidrološka promatranja i mjerenja te vršiti analize i interpretacije rezultata i usporediti ih s projektnim parametrima kako bi se utvrdile moguće promjene i rizici od otkazivanja brana.

LITERATURA

1. OKON d.o.o.: Projekt propagacije vodnog vala u slučaju rušenja brane Tribistovo sa obrađenim elementima obavještanja i uzbunjivanja, OKON d.o.o. Mostar, 2018.
2. ENOVA d.o.o.: Lokalni ekološki akcijski plan (LEAP) općine Posušje za period 2016.-2026., ENOVA d.o.o. Sarajevo, 2016.
3. Bonacci, O., Zeljković, L., Galić, A.: Karst rivers' particularity: An example from Dinaric karst, Environmental Earth Sciences, 2013, v.70, br.2, str.963-974.
4. Trkulja, D.: Seizmičnost Bosne i Hercegovine
5. Brlek, I.: Pregled zemljotresa na području Bosne i Hercegovine, Federalni hidrometeorološki zavod Sarajevo, 2016.

Prskalo, G., Lozančić, Ž., Prskalo, A.

Hidraulička analiza nestacionarnog strujanja u slučaju rušenja brane Tribistovo

6. INTEGRA d.o.o. i OKON d.o.o.: Studija za izdavanje prethodne vodne suglasnosti, Male hidroelektrane MHE-1 i MHE-2 na vodoopskrbnom sustavu Posušje, Integra d.o.o. Mostar i Okon d.o.o. Mostar, 2017.
7. Sopta, L., Družeta, S., Holjević, D.: Analiza posljedica poplavnog vala nastalog prolomom velike brane, Građevinar, 2011, br.63, str.741-748.
8. Bjerke, P. L.: Dam Break Analysis for Aparan Reservoir, Armenia, Norwegian Water Resources and Energy Directorate, 2011.
9. Brunner, G. W.: Using HEC-RAS for Dam Break Studies, US Army Corps of Engineers, 2014.
10. Morris, M.: Concerted Action on Dambreak Modelling, CADAM, 2000.
11. Brunner, G.W.: HEC-RAS River Analysis System: 2D Modeling User's Manual, Version 5.0, CEIWR-HEC, 2016.