

AKUMULACIJA MODRAC I NJENO FUNKCIONIRANJE TIJEKOM POPLAVE U SVIBNJU 2014. GODINE

Prof. dr. sc. Tarik Kupusović,
dipl. ing. građ.

HEIS Institut za hidrotehniku Sarajevo
Stjepana Tomića 1, 71000 Sarajevo
Bosna i Hercegovina

Prof. dr. sc. Branko Vučijak,
dipl. ing. građ.

HEIS Institut za hidrotehniku Sarajevo
Stjepana Tomića 1, 71000 Sarajevo
Bosna i Hercegovina

mr. sc. Omer Kovčić, dipl. ing. građ.

JP za vodoprivrednu djelatnost
„Spreča“ d. d. Tuzla
Aleja Alije Izetbegovića 29/II,
75000 Tuzla
Bosna i Hercegovina
omer.kovcic@gmail.com

Poplave i upravljanje poplavama igraju važnu ulogu u zaštiti ljudi te u društveno-ekonomskom razvoju. Izgradnjom brane Modrac, 1964. godine, formirana je istoimena akumulacija s osnovnim ciljem osiguranja tehnološke vode za potrebe industrije tuzlanske regije, te ublažavanja poplava nizvodno, rekreaciju i druge namjene. U današnjim uvjetima akumulacija Modrac je i izvorište pitke vode za općinu Tuzla. Poplavni valovi se najčešće javljaju u periodu svibanj/lipanj, kada akumulacija, prema Planu pogona, zbog predstojećeg sušnog perioda mora biti puna. Međutim, i u uvjetima nailaska velikih voda pri punoj zapremini, akumulacija ublažava – siječe vrhove poplavnih valova, zbog svog velikog retencijskog djelovanja. Prikazan je pregled registriranih valova velikih voda kroz povijesnu eksploataciju akumulacije Modrac. U ovom se radu prikazuje maksimalni poplavni val koji se do sada pojavio na profilu brane u mjesecu svibnju, točnije 16. svibnja 2014. Obrazložena je i sposobnost višenamjenske akumulacije Modrac za smanjenje protjecanja nizvodno od brane, a samim tim i ublažavanje poplava nizvodnog dijela. Također, ovim radom dat je osvrt na trenutno stanje akumulacije Modrac ugroženo od deponiranja unesenog nanosa u akumulaciju i to u području neposredno poslije ušća rijeke Spreče i rijeke Turije.

Ključne riječi: višenamjenska akumulacija Modrac, poplavni val, profil brane, analiza protoka, bilanca voda

1. UVOD

Akumulacija Modrac formirana je 1964. godine izgradnjom brane na rijeci Spreči, u tjesnacu Modrac.

Danas akumulacija Modrac rješava više vodoprivrednih i izrazito privrednih aspekata. Prema Zakonu o zaštiti akumulacije Modrac ("Službene novine Tuzlanskog kantona", broj: 5/06), namjene akumulacije Modrac, po redoslijedu prioriteta, su:

- osiguranje vode za potrebe stanovništva,
- osiguranje vode za potrebe industrije,
- zaštita od poplava nizvodno od brane,
- osiguranje *hidrobiološkog minimuma*¹ za vodotok Spreča, nizvodno od akumulacije,

¹ Hidrobiološki minimum nije usuglašen s Pravilnikom o načinu određivanja ekološki prihvatljivog protoka, "Službene novine Federacije BiH", broj 70/06.

Tablica 1: Morfometrijske karakteristike akumulacije Modrac za 2012. godinu (Arnautić, 2008.; i Dragun, 2012.)

Karakteristika	1964.	1985.	2012.
Površina (km ²)	17,1	16,75	16,69
Ukupna zapremina (m ³)	98 x 10 ⁶	88 x 10 ⁶	102.759.629,92
Korisna zapremina (m ³)	77 x 10 ⁶	76 x 10 ⁶	66.522.627,33
Maksimalna dubina (m)	18,0	18,0	14,94
Prosječna dubina (m)	5,7	5,2	5,32
Maksimalna dužina (m)	10.700	10.400	10.475,72
Maksimalna širina (m)	1.600	1.780	2.411,17
Dužina obale (m)	33.250	31.700	42.537,63

- razvoj turizma, rekreacije i sportova na vodi,
- proizvodnja električne energije na MHE, korištenjem viška voda u akumulaciji Modrac.

Izuzetno, akumulacija Modrac može služiti i za druge namjene (npr. navodnjavanje), pod uvjetom i na način da se takvim korištenjem vode akumulacija ne zagaduje niti izlaže drugim štetnim utjecajima.

2. OSNOVNE KARAKTERISTIKE BRANE, AKUMULACIJE I SLIVNOG PODRUČJA

2.1. Osnovni podatci o brani Modrac

Brana Modrac je višelučna armirano-betonska brana s 11 kontrafora i sljedećim osnovnim karakteristikama:

- građevinska visina brane H=33,35 m,
- dužina brane u kruni L=205,0 m,
- širina kontrafora pri vrhu 1,40 m, a u stopi 3,00 m,
- kota gornje ivice konstrukcije brane 205,00 mn. m,
- projektirana kota maksimalnog uspora 203,00 mn.m²,
- kota preljevni polja brane – kota normalnog uspora 200,00 mn.m,
- kota minimalne radne razine 194,00 mn.m,
- četiri temeljna ispusta (označni brojevima 2, 6, 7 i 8) u kontraforima (također označeni brojevima 2, 6, 7 i 8) s kotama osovine zatvarača na izlazu: 190,00 mn.m, 186,55 mn.m, 186,51 mn. m i 186,55 mn.m. Maksimalni kapacitet (maksimalni stupanj otvorenosti zatvarača) temeljnih ispusta je oko 80,00 m³s⁻¹,
- tri preljevna polja sa ski-skokom, bez ustava (Kovčić, 2011.).

Od 1999. godine, na temeljnom ispustu broj 2 izvedena je MHE "Modrac" instalirane snage 2 MW, pri čemu je ukupni evakuacijski kapacitet preostalih temeljnih ispusta i MHE ostao približno isti, odnosno 80 m³s⁻¹.

2 Važno je spomenuti da je projektirana kota maksimalnog uspora premašena za vrijeme poplavnog vala koji je obrađen u ovom radu i da je iznosila 203,42 mn.m.

2.2. Morfometrijske karakteristike akumulacije Modrac

Od formiranja akumulacije 1964. godine do geodetsko-hidrografskog mjerenja 2002. godine, za potrebe praćenja stanja akumulacije, definirano je 20 poprečnih profila. Isti su na terenu označeni trajnim oznakama, a mjerenja su izvođena u određenim vremenskim periodima: 1964., 1979., 1985. i 2002. godine, za to vrijeme primjerenim geodetskim metodama, pri čemu se pratila promjena zapremine akumulacije, korisna zapremina akumulacije, zapremina unesenog nanosa te morfometrijske karakteristike dna.

Najnovija mjerenja provedena su 2012. godine, u okviru kojih su prvi puta, zahvaljujući napretku mjerne tehnologije, kombinirana satelitska, aerofotogrametrijska, terestrička i hidrografska metoda mjerenja terena. Akumulacija je mjerena primjenom dvofrekventne batimetrije u cilju trodimenzionalnog prikaza naslaga nanosa na dnu.

Integracijom navedenih metoda mjerenja terena i akumulacije na 424 poprečna profila, od kojih 404 nova i 20 starih, 6 uzdužnih profila, utvrđena je zapremina vode i nanosa, stvarna konfiguracija obale, trodimenzionalni prikazi dubina, nanosa i priobalja, te ostale bitne morfometrijske karakteristike akumulacije, za kotu normalnog uspora 200,00 mn.m. (tablica 1).

Razlike u iznosima za 1964. i 2012. godinu ponajviše leže u činjenici da su mjerenja 2012. godine izvedena naprednijom tehnologijom s kvalitetnijim mogućnostima obrade rezultata izmjere. S obzirom na način izvedbe geodetske izmjere 1964. godine, površina, ukupna i korisna zapremina i maksimalna dužina, su izračunate sa sasvim zadovoljavajućom točnošću, dok razlika u maksimalnoj dubini akumulacije proizlazi iz nataloženog nanosa tijekom razdoblja od 48 godina.

Razlika u dužini obale (oko 10 km) posljedica je velike točnosti izohipse te njene zakrivljenosti, proizašle iz korištenog softvera (AutoCad Civil 3D) za obradu hidrografskih mjerenja.

2.3. Osnovne karakteristike slivnog područja akumulacije Modrac

Na temelju baze podataka Prostornog plana Tuzlanskog kantona za period 2005.-2025. godine, ukupna dužina vodotoka u slivu akumulacije Modrac iznosi 521,3 km. Glavne pritoke akumulacije Modrac su rijeka Spreča, s površinom sliva 832 km² i rijeka Turija sa površinom sliva 240 km², te manji vodotoci u neposrednom slivu akumulacije – Suha, Maoča, Prilučka rijeka, Ugar i Mednica, s ukupnom slivnom površinom 117 km² (slika 1). Tako je ukupna površina sliva jezera 1189 km², dok samo jezero ima površinu 17 km².

Značajniji desni pritoci rijeke Spreča, promatrano nizvodno, su vodotoci: Ljeskovica, Crna Bara, Bukovica,



Slika 1: Slivno područje akumulacije Modrac (Kovčić, 2011.)

Dubnica s Kalesijicom, Međaš, Gribaja, Krivača, Lješnica i Brestovik. Lijevi pritoci rijeke Spreča su: Papatrača, Mramorak, Mala Spreča s Gračaničkom rijekom, Krivača i Oskova.

Digitalni ortofoto akumulacije Modrac dan je na slici 2.

2.4. Karakteristike brane Modrac

Projektant brane je dao funkciju prelijevanja u tabličnom obliku i to za sva tri preljeva kao jedna cjelina. Kako se danas svi proračuni protoka na profilu brane vrše uz uporabu računala, na temelju tabličnih podataka je određen analitički izraz funkcije prelijevanja u ovisnosti o razini akumulacije metodom najmanjih kvadratnih odstupanja. Krivulja preljeva i njen analitički izraz prikazani su na slici 3.

Izrazi koji su korišteni za proračun količine vode koje istječu kroz pojedine temeljne ispuste, za maksimalni stupanj otvorenosti njihovih zatvarača, su sljedeći (Kovčić, 2011.) :

Temeljni ispust br. 6 :

$$Q = 5,690 \cdot \sqrt{(H - 186,55)}$$

Temeljni ispust br. 7 :

$$Q = 5,040 \cdot \sqrt{(H - 186,51)}$$

Temeljni ispust br. 8 :

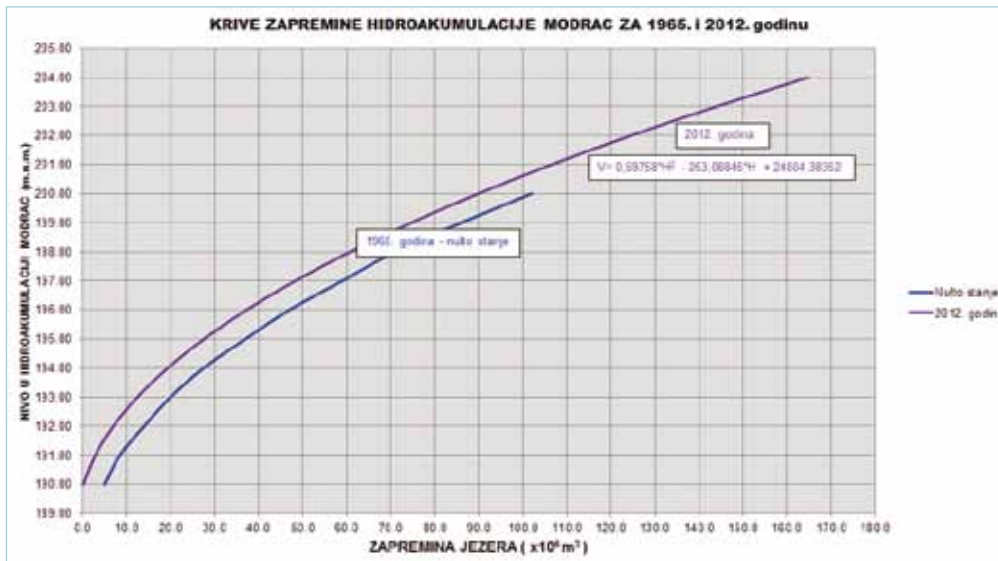
$$Q = 5,850 \cdot \sqrt{(H - 186,55)}$$



Slika 2: Digitalni ortofoto akumulacije Modrac (Dragun, 2012.)



Slika 3: Krivulja preljeva i njen analitički izraz (Kovčić, 2011.)



Slika 4: Krivulje zapremine za 1965. i 2012. godinu



Slika 5: Krivulja lebdećeg nanosa u akumulaciju Modrac za svaki metar visinske razlike (Dragun, 2012.)

Na temeljnom ispustu br. 2 izgrađena je MHE Modrac koja je puštena u rad 1998. godine.

Pored navedenih protoka, a zavisno o dotocima u akumulaciju, upravljanje zapreminom akumulacije Modrac vrši se i ručno, što se svodi na manipulaciju zatvaračima na tri temeljna ispusta.

2.5. Krivulja zapremine akumulacije Modrac

Kako se zapremina u toku eksploatacije smanjuje uslijed nanosa kojeg unose vodotoci, mijenja se i krivulja zapremine.

Da bi se ispravno mogli odrediti prirodni protoci u različitim vremenskim razdobljima, neophodno je poznavanje krivulje zapremine za svako razdoblje.

Radi toga se u određenim vremenskim razmacima vrše geodetska snimanja dna akumulacije te se na temelju tog snimanja konstruira krivulja.

Prvo geodetsko snimanje akumulacijskog bazena za jezero Modrac izvršeno je 1953. godine snimanjem poprečnih profila na međusobnom razmaku od 200 m. Na temelju tog snimanja formirana je prva krivulja zapremine preko koje je dobivena zapremina za kotu normalnog uspora 200 mn.m, a koja iznosi $100 \times 10^6 \text{ m}^3$. U cilju praćenja intenziteta zasipanja nanosom kojeg nose rijeke Spreča, Oskova i Turija, te zasipanja ugljenom prašinom koje nastaju od separacije ugljena u Banovićima i Đurđeviku, izvršeno je snimanje poprečnih profila jezera u različitim vremenskim intervalima od 6 do 7 godina (Oberman, 1986.).

Na temelju mjerenja iz 2012. godine (Dragun, 2012.) dobivena je zapremina akumulacije Modrac za 2012. godinu.

Na slici 4 dane su krivulje zapremine akumulacije Modrac za „0“ stanje 1965. i stanje 2012. godine, prema geodetsko-hidrografskim mjerenjima dna i priobalja akumulacije iz 2012. godine.

Sa slike 4 je vidljivo smanjenje ukupne zapremine akumulacije Modrac kroz vremensko razdoblje 1965. – 2012. godine uslijed nanosenog nanosa (lebdećeg i vučenog) u akumulaciju.

2.6. Ukupna količina nanosa u akumulaciji Modrac

Prema mjerenjima iz 2012. godine (Dragun, 2012.) zapremina nanosa do kote normalnog uspora 200,00 mn.m iznosi 15.019.902,71 m³, dok do kote 202,00 mn.m iznosi 15.025.121,21 m³. Količine nanosa za svaki metar visine dane su na slici 5.

Zapremina nanosa za korisnu visinu, od kote minimalne radne razine 194,00 mn.m do kote normalnog uspora 200,00 mn.m iznosi $V_{\text{nanosa}} = 8.621.261,28 \text{ m}^3$, što predstavlja 12,95 % korisne zapremine vode koja iznosi $V_{\text{korisno}} = 66.522.627,33 \text{ m}^3$.

Može se zaključiti, a kao što je i vidljivo na slici 5, da je najveća količina lebdećeg nanosa pri koti normalnog uspora 200,00 mn. m i to oko 3.200.000,00 m³.

Na slici 6 prikazan je 3D model koji prikazuje razlike između kote dna i kote čvrstog tla (naslage vučenog nanosa za svaki metar visinske razlike). Ovaj 3D model je prikaz nanosa (mulja) u akumulaciji Modrac, gdje je vidljivo da je na očekivanim područjima (ušće rijeke Spreče) najviše nanosa.

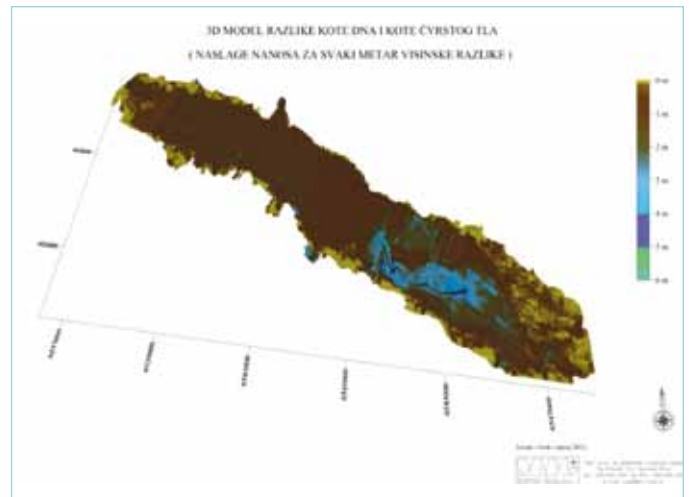
Na sljedećoj se slici (slika 7) vidi površina akumulacije Modrac na kojoj dolazi do deponiranja unesenog nanosa u akumulaciju (svijetliji dio) i to u području neposredno poslije ušća rijeke Spreče i rijeke Turije.

Hidrografskom izmjerom 2012. godine, te usporedbom tih podataka s prethodnim mjerenjima, utvrđeno je da je točnost prethodnih mjerenja, unatoč ograničenoj tehnologiji pripadajućeg razdoblja, sasvim zadovoljavajuća.

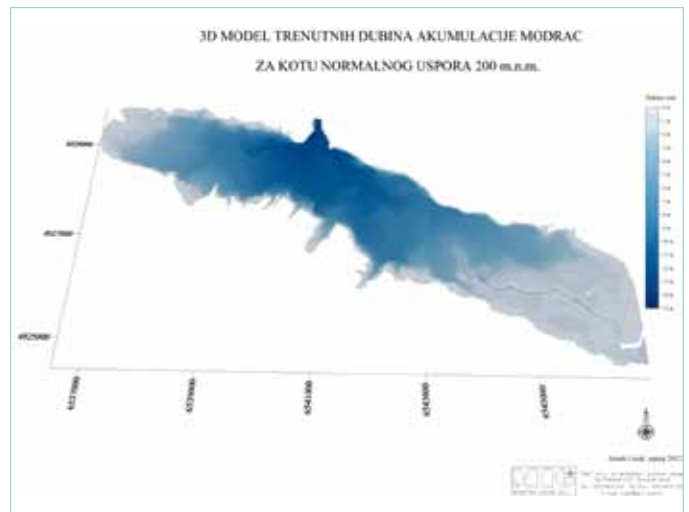
U prethodnom razdoblju izvođena su mjerenja akumulacije 1964. godine, 1979. godine, 1985. godine i 2002. godine.

Na temelju tih mjerenja utvrđeno je da je u akumulaciji Modrac za kotu normalnog uspora 200,00 mn. m godišnje prosječno uneseno nanosa:

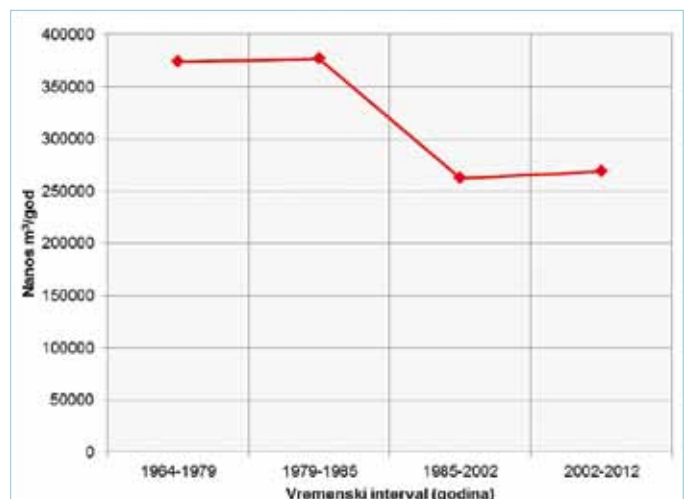
- 374.000,00 m³ za razdoblje između 1964. i 1979. godine,
- 376.666,67 m³ za razdoblje od 1979. do 1985. godine,
- 262.446,47 m³ za razdoblje od 1985. do 2002. godine.



Slika 6: 3D model koji prikazuje razlike između kote dna i kote čvrstog tla (Dragun, 2012.)



Slika 7: 3D model jezera koji prikazuje trenutne dubine vode akumulacije Modrac (Dragun, 2012.)



Slika 8: Grafički prikaz proječnog (godišnjeg) ukupno unesenog nanosa u akumulaciju

Ovim mjerenjem utvrđeno je da je u razdoblju između 2002. do 2012. godine uneseno prosječno 268.831,27 m³ god⁻¹.

Iz navedenih podataka jasno je da je ukupna količina nanosa u akumulaciji do kote 200 mn. m 15.019.903 m³ te da je unos u akumulaciju kontinuiran, s oscilacijama u određenim vremenskim periodima.

Primjera radi, u razdoblju 1985.–2002. na godišnjoj je razini količina nanosa smanjena za gotovo 30 % u odnosu na prethodno razdoblje.

Razlog smanjenja vjerojatno leži u činjenici da je u periodu rata i poraća bila znatno smanjena gospodarska aktivnost pa je i unos ugljene prašine i drugog materijala bio znatno manji.

Uvidom u rezultate izmjere 2012. godine, trend prosječnog godišnjeg unesenog nanosa je neznatno povećan, ali neupitno prisutan.

3. HIDRAULIČKO – HIDROLOŠKA ANALIZA ZA AKUMULACIJU MODRAC

Osnovni problem kod prognoziranja ulaznog poplavnog vala je u matematičkom opisivanju transformacije izlaznog poplavnog vala (Hrelja, 2007.).

Za određeni omeđeni prostor kroz određeno vrijeme, razlika dotjecanja (ulazna količina) i istjecanja (izlazna količina) kroz površinu koja omeđuje taj prostor mora biti jednaka promjeni količine u tom prostoru (sustavu kao što je višenamjenska akumulacija Modrac).

Dotoci u profilu Modrac Q_{DOT} su računati pomoću jednadžbe bilance voda (jedn. 2), odnosno preko ukupne zapremine dotekle vode, promjene zapremine jezera ΔV i zapremine istekle vode V_{IZ} u jedinici vremena ($\Delta t=1$ sat). Promjena zapremine jezera ΔV je izračunata na temelju mjerene razine na profilu brane, odnosno promjene razine na profilu brane i krivulje zapremine (slika 4). Isticanja iz akumulacije Q_{IZ} su određena preko jednadžbi za prelijevanje te za isticanje kroz temeljne ispuste i MHE.

Proračun dotoka računa se preko jednadžbe bilance:

$$\int_{t_0}^t Q_{DOT} dt = \int_{t_0}^t Q_{IZ} dt \pm \Delta V \quad (1)$$

$$Q_{DOT} \cdot \Delta t = Q_{IZ} \cdot \Delta t \pm \Delta V \quad (2)$$

gdje je:

Q_{DOT} – dotok u akumulaciju;

Q_{IZ} – istjecanje iz akumulacije;

ΔV – zapremina koja ostaje u akumulaciji.

U sljedećem je poglavlju dan pregled do sada obrađenih poplavnih valova zabilježenih do sada na profilu brane Modrac.

4. PREGLED REGISTRIRANIH POPLAVNIH VALOVA VELIKIH VODA

U periodu od formiranja akumulacije Modrac do današnjih dana registrirani su svi značajniji poplavni valovi. U tablici 2 je dan pregled karakteristika registriranih poplavnih valova iz svibnja 1965., travnja 1985., srpnja 1986., svibnja 1987., lipnja 2001., ožujka 2006. i svibnja/lipnja 2010. godine.

Hidrogrami vodnih valova su utvrđeni na temelju prirodnog dotoka u akumulaciju, dok su hidrogrami istjecanja određeni na temelju ispuštanja kroz ispusne organe na brani Modrac. Količina ispuštanja je kontrolirana preko krivulje protoka na vodomjernoj stanici Modrac nizvodno.

Količina ispuštanja se regulira temeljnim ispustima i preljevnim organima i ovisi o nivou vode u akumulaciji. Kako je količina ispuštanja ograničena, pri nailasku velikih vodnih valova dolazi do izdizanja nivoa vode u akumulaciji (punjenje akumulacije) te ona na taj način prihvaća dio zapremine vodnog vala, odnosno vrši redukciju maksimalnih protoka. Smanjenje maksimalnih protoka

Tablica 2: Prikaz karakteristika registriranih poplavnih valova (Matić, 2001.; Suljić, 2010.)

Vrijeme pojave poplavnog vala	Maksimalna razina H (mn.m)	Dotok Q_{dot} (m ³ s ⁻¹)	Isticanje Q_{ist} (m ³ s ⁻¹)	Retencijsko djelovanje akumulacije (%)	Oborine ³ (mm)
14.4. – 24.4. 1985.	201,09	406,50	201,10	50,53	81,16
15. – 25.7. 1986.	200,74	272,10	154,90	43,07	117,57
3.5. – 13.5. 1987.	201,60	730,00	331,45	54,60	112,30
17.6. – 27.6. 2001.	202,12	619,10	466,36	24,56	60,20
29.5. – 8.6. 2010.	201,18	411,11	252,54	38,57	92,60
14. – 23.5. 2014.	203,42	1602,00	1137,00	29,00	213,90

3 Navedene količine oborina su prouzrokovale pojavu određenog poplavnog vala

nizvodno kreće se od 16 do 55%, ovisno o veličini vodnog vala i stanju nivoa u akumulaciji Modrac (Kovčić, 2011.).

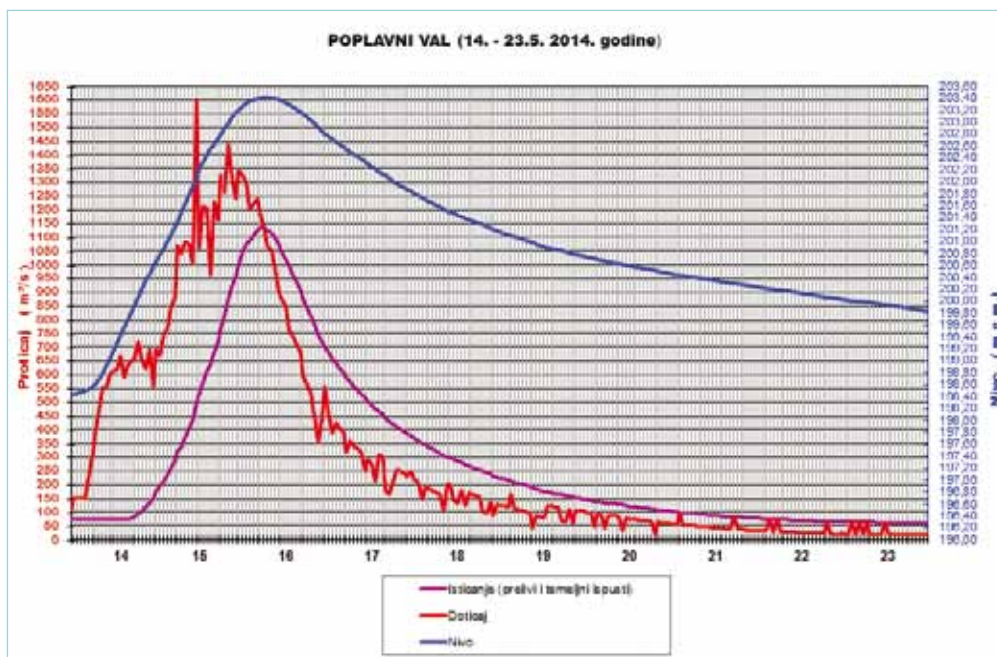
5. PRIKAZ I ANALIZA REGISTRIRANOG POPLAVNOG VALA NA PROFILU BRANE MODRAC, 14. – 23. SVIBNJA 2014. GODINE

Poplavni val je veliki vodni val (jednostruk ili višestruk) u vrijeme trajanja poplave (Žugaj, 2000.). Pojava poplavnih valova su ekstremne hidrološke pojave definirane neuobičajeno velikim vodostajem, dotokom ili zapreminom vode na nekom mjestu u određenom vremenskom razdoblju.

Za vrijeme analiziranog poplavnog vala temeljni ispusti su bili otvoreni s maksimalnim stupnjem otvorenosti zatvarača (u ovisnosti o razini vode u akumulaciji, ukupna količina ispuštanja kroz temeljne ispuste je iznosila 57,0 – 68,0 m³).

U toku dana 16. svibnja 2014. godine, za vrijeme maksimalne zabilježene razine (203,42 mn.m) razina donje vode se nije mogla mjeriti te se nije sa sigurnošću moglo ocijeniti jesu li temeljni ispusti bili potopljivi za taj dan.

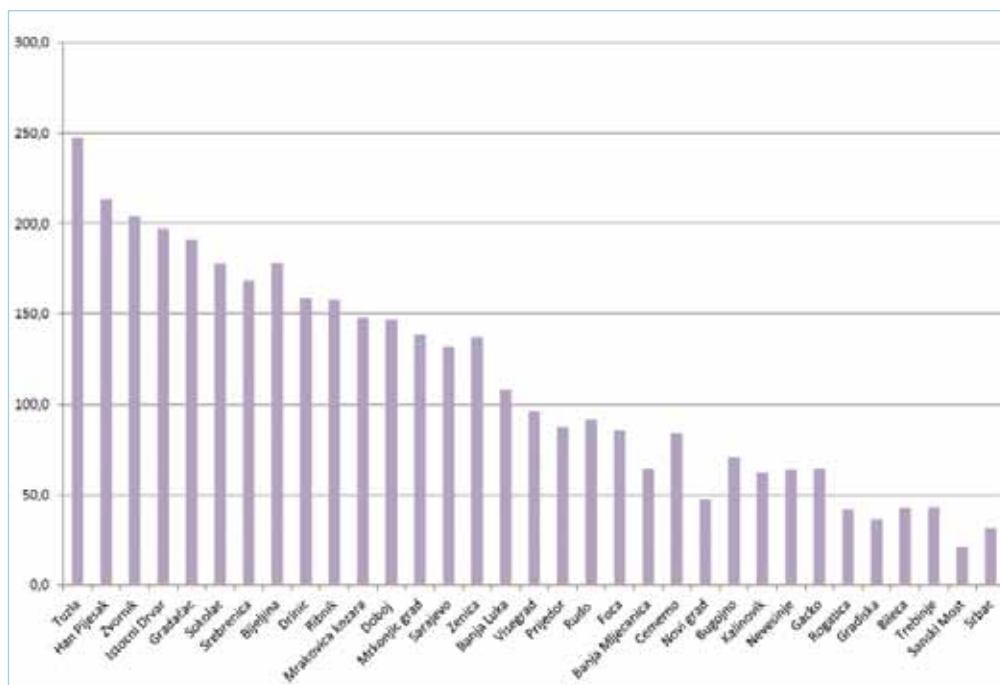
Iako se nije moglo ocijeniti jesu li temeljni ispusti bili potopljivi tijekom dana, kada je zabilježena maksimalna razina na profilu brane, analiza poplavnog vala je provedena tako da je proračunom obuhvaćen



Slika 9: Nivogram, dotok i istjecanje (preljev i temeljni ispusti) za analizirani poplavni val na profilu brane hidroakumulacije Modrac od 14. svibnja 2014. god. (7:00h) do 23. svibnja 2014. god. (6:00 h)



Slika 10: Količine oborina koje su se pojavile tijekom svibnja 2014. godine na profilu brane Modrac, mjerene na meteorološkoj postaji Modrac



Slika 11: Ukupne količine oborina (mm) po gradovima u Bosni i Hercegovini u periodu 14. – 18. svibnja 2014.godine (Federalni hidrometeorološki zavod BiH i Republički hidrometeorološki zavod RS)

rad svih temeljnih ispusta⁴ (tj. temeljni ispusti 6,7 i 8) s maksimalnim stupnjem otvorenosti zatvarača. Također, MHE Modrac nije bila u funkciji od 15. svibnja 2014. godine (od 14:00 h) pa je i ovaj aspekt uzet u obzir pri analizi poplavnog vala, odnosno u količini istjecanja s profila brane Modrac.

Na slici 9 prikazan je nivogram za akumulaciju Modrac za poplavni val koji se dogodio 14. – 23. svibnja 2014. godine. Maksimalna razina na profilu brane Modrac (203,42 mn.m) se pojavila 16. svibnja 2014. godine u 13:00 h. Osim nivograma, na slici 6 je prikazan i analizirani poplavni val na profilu brane Modrac, odnosno hidrogram dotoka u akumulaciju Modrac i hidrogram istjecanja s profila brane Modrac. Dotok u akumulaciju je izračunat primjenom jednadžbe (2).

Maksimalna količina dotoka u akumulaciju iznosila je



Slika 12: Brana Modrac 16. svibnja 2014. za vrijeme maksimalne razine na profilu Brane Modrac (203,42 mn.m)

$Q_{\text{dot}} = 1.602 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, koja se dogodila 15. svibnja 2014. u 15:00 h. Maksimalna količina istjecanja (rad preljeva i temeljnih ispusta)⁵ s profila brane Modrac iznosila je $Q_{\text{ist}} = 1.137 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, koja se dogodila 16. svibnja 2014. godine u 13:00 h.

Uzimajući u obzir maksimalnu količinu dotoka u akumulaciju i maksimalnu količinu istjecanja na profilu brane za analizirani poplavni val, akumulacija je, dakle, maksimalni protok smanjila za $465 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, što je 29,0 %.

Sa slike 9 vidljiva je promjena dotoka i istjecanja u i iz akumulacije Modrac (dotok je za oko 29% veći od istjecanja), što oslikava retencijsko djelovanje akumulacije, a samim tim i ublažavanje poplava nizvodno od profila Modrac.

Maksimalne količine oborina u mjesecu svibnju dogodile su se 14. i 15. svibnja 2014. godine i iznosile su $79,5 \text{ l m}^{-2}$, odnosno $76,60 \text{ l m}^{-2}$. Također treba istaknuti da je ukupna količina oborina u periodu 13. – 17. svibnja 2014. godine iznosila $213,9 \text{ l m}^{-2}$, koja je i utjecala na pojavu analiziranog poplavnog vala. Na temelju dijagrama oborina (slika 10) i nivograma na profilu brane Modrac (slika 9) može se uočiti njihova direktna veza kao i određeni periodi „kašnjenja“ sliva, što je posljedica stanja i obrade pokrova zemljišta u slivu.

Ukupne oborine tijekom svibnja 2014. bile su u čitavom promatranom području znatno iznad višegodišnjeg prosjeka. Najveće oborine izmjerene su u drugoj dekadi mjeseca. Najveće odstupanje oborina od prosječnih zabilježene su u području grada Tuzle, gdje je izmjereno i najviše oborina u svibnju, i to oko 250 mm (slika 11).

Na slici 12 prikazan je rad preljevni organa i stanje brane Modrac za vrijeme maksimalne zabilježene razine (203,42 mn.m).

4 Količina ispuštanja kroz temeljne ispuste regulira se zatvaračima i ovisi o stupnju otvorenosti zatvarača i nivoa vode u akumulaciji.

5 Od 15. svibnja 2014. godine (od 14:00 h) MHE Modrac nije bila u funkciji.

6. ZAKLJUČAK

Tijekom proteklih nekoliko desetljeća porast zabrinutosti za održivi razvoj okruženja je omogućila pomak od "poplava" prema procesu "upravljanja poplavama". Sada je poznato da su poplave prirodna pojava koje određuju prirodni režim rijeke, te da sve strukturne intervencije imaju utjecaj na prirodni okoliš, što može uzrokovati degradaciju okoliša i narušavati usluge ekosustava (Environmental Aspects of Integrated Flood Management, 2006.).

Nekoliko akumulacija u okruženju ima višenamjenski karakter, pa tako i akumulacija Modrac, stoga upravljanje poplavama predstavlja jednu od njenih najvažnijih namjena. Potencijalni sukobi između ciljeva upravljanja poplavama (gdje je potrebno osigurati određeni zapreminski prostor akumulacije za prihvaćanje velikih voda, odnosno poplavnih valova) može nastati kada je zadržan određeni nivo u akumulaciji za snabdijevanje industrije i stanovništva vodom i za proizvodnju električne energije, te je tada teško operirati višenamjenskom akumulacijom.

Prema posljednjim mjerenjima (Dragun, 2012.), obavljenim tijekom 2011./2012. godine, a vršenim primjenom najsuvremenijih tehnologija mjerenja, može se zaključiti sljedeće:

- Ukupna količina nanosa istaloženog u akumulaciji iznosi 15.019.903 m³;
- Ukupna zapremina akumulacije smanjena je za istu vrijednost (i to je većim dijelom smanjena korisna zapremina akumulacije), što je nepovoljno s aspekta upravljanja akumulacijom;
- Uneseni nanos uglavnom je deponiran u akumulaciji u području ušća rijeke Spreče, na površini 4-5 km² ili u prostoru od preko 25% ukupne zapremine akumulacije;
- Visina deponiranog nanosa, u području deponiranja, kreće se od 0,5 do 2,5 m;
- Za uneseni nanos karakteristično je da jedan dio nanosa (veće granulacije) ima veću taloživost i taloži se u području neposredno poslije ušća rijeke Spreče, dok se drugi dio nanosa (manje granulacije)

skoro uopće ne taloži, već čini muljevitú suspenziju koja se s kretanjem vode pomiče i 4-5 km od ušća rijeke Spreče.

Iz prethodno navedenih podataka može se zaključiti da akumulacija Modrac svojim velikim retencijskim djelovanjem pozitivno utječe na ublažavanje poplava, odnosno redukciju maksimalnih protoka nizvodno od profila Modrac, što ovisi o veličini poplavnog vala i stanju razine vode u akumulaciji Modrac. Za analizirani poplavni val smanjenje maksimalnog proticaja na profilu brane Modrac iznosilo je 465 m³s⁻¹, odnosno 29,0 %.

Maksimalna zabilježena razina na profilu brane Modrac iznosila je 203,42 mn.m, koja se pojavila 16. svibnja 2014. godine u 13:00 h, što je 3,42 m iznad kote normalnog uspora. Maksimalna količina dotoka u akumulaciju iznosila je $Q_{\text{dot}} = 1.602 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Ista se dogodila 15. svibnja 2014. u 15:00 h, dok je maksimalna količina istjecanja (rad preljeva i temeljnih ispusta) s profila brane Modrac iznosila je $Q_{\text{ist}} = 1.137 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, koja se dogodila 16. svibnja 2014. godine u 13:00 h.

Vrijeme kašnjenja sliva ili vrijeme koncentracije poplavnog vala u prvom redu ovisi o prethodnoj vlažnosti sliva, strukturi površine sliva i ostalim parametrima. Može se zaključiti da je za sliv akumulacije Modrac, za razmatrani poplavni val, vrijeme kašnjenja manje od jednog dana, što znači da je od pojave značajnijih oborina u slivu poplavni val stigao do brane Modrac za manje od 24 sata.

Ekstremne količine oborina, dotok u akumulaciju u svibnju veći nego ikad do sada, te trend rasta smanjenja korisne zapremine akumulacije jedni su od razloga „ublažavanja“ poplavnog vala za „samo“ 29,0 %.

Uzimajući u obzir sve gore navedene čimbenike, za očekivati je u budućnosti sve veće poplave nizvodno od brane akumulacije Modrac.

Ne treba pri tom zaboraviti da akumulacija Modrac predstavlja nezamjenljiv vodni resurs koji je od neprocjenjive važnosti kako za stanovništvo, tako i za industriju tuzlanske regije. ■

LITERATURA

Arnautalić, Z.; Hukić, S. (2008.): Plan aktivnosti za JP za vodoprivrednu djelatnost d.d. Spreča Tuzla. Oktobar 2008. godine, Tuzla.

Dragun, D. (2012.): Geodetsko - hidrografska snimanje dna i priobalja akumulacije Modrac sa obradom mjerenih podataka. MIG d.o.o. iz Slavonskog Broda.

Hrelja, H. (2007.): *Inženjerska hidrologija*. Univerzitet u Sarajevu, Građevinski fakultet, str. 1066.

Kovčić, O. (2011.): Analiza vodnih valova na profilu akumulacije „Modrac“ sa aspekta propusne moći brane. Magistarski rad, Univerzitet u Tuzli, Rudarsko-geološko-gradjevinski fakultet, Tuzla.

Matić, Z. (2001.): Analiza poplavnog vala rijeke Spreče na profilu brane „Modrac“. JP „Spreča“ d.d. Tuzla, Tuzla.

Oberman, T.; Hukić, S. (1986.): Elaborat maksimalnog vremena pražnjenja i maksimalnog vremena punjenja akumulacije „Modrac“. JP „Spreča“ d.d. Tuzla, Tuzla.

Suljić, N.; Suljanović, E.; Kovčić, O. (2012.): Analiza poplavnih valova za akumulaciju „Modrac“ na profilu izgrađene brane. U: *Zbornik radova RGGF Tuzla konferencije o korištenju i zaštiti voda „Voda 2012.“*, Divčibare.

APFM, (2006.): *Environmental Aspects of Integrated Flood Management*. The Associated Programme on Flood Management, Geneva, Switzerland, 37-38.

Žugaj, R. (2000.): *Hidrologija*. Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb, 2010. str. 286.

RESERVOIR MODRAC AND ITS FUNCTIONING DURING THE FLOODS IN MAY 2014

Abstract. Floods and flood management play an important role both in the protection of people and in the socio-economic development. Through construction of the dam Modrac in 1964, the reservoir of the same name was formed. Its primary objectives were the provision of technological water for industries in the Tuzla region and mitigation of downstream floods as well as recreation and other purposes. The reservoir Modrac is currently a drinking water source for the municipality Tuzla. Flood waves most frequently occur in the May/June period, when the reservoir should be full due to the coming dry period according to its operating plan. However, even at high waters occurring when it is filled to capacity, the reservoir still mitigates floods due to its significant retention storage capacity. An overview of historically registered flood waves during the reservoir's operation is provided. The paper presents the maximum flood wave which has occurred to date at the reservoir profile in May, the one on May 16, 2014. It further explains the capability of the reservoir Modrac to reduce discharges downstream of the dam and thus mitigate downstream flooding. Additionally, the paper offers an overview of the reservoir's present state as it is threatened by settling of the sediment entering it in the area directly after the confluence of the Spreča and Turija Rivers.

Key words: multipurpose reservoir Modrac, flood wave, dam profile, discharge analysis, water balance

SPEICHERSEE MODRAC UND SEIN VERHALTEN WÄHREND DER ÜBERSCHWEMMUNG IM MAI 2014

Zusammenfassung. Überschwemmungen und Überschwemmungsmanagement spielen eine wichtige Rolle bei dem Schutz des Menschen und der gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Entwicklung. Nach dem Bau des Dammes Modrac in 1964 entstand der gleichnamige Speichersee, dessen Ziele sind technisches Wasser für die Industrie im Tuzla-Gebiet sicherzustellen, Überschwemmungen flussabwärts zu begrenzen sowie der Erholung und anderen Zwecken zu dienen. Unter heutigen Bedingungen ist der Speichersee Modrac auch die Trinkwasserquelle der Gemeinde Tuzla. Die Hochwasserwellen kommen am häufigsten im Zeitraum Mai-Juni, wenn der Speichersee nach dem Betriebsplan wegen des bevorstehenden trockenen Zeitraums voll sein müsste. Allerdings wird bei voller Kapazität des Speichersees beim Ankommen des Hochwassers der Scheitel der Hochwasserwelle wegen der großen Retentionswirkung des Speichersees gekappt. Im Beitrag wird eine historische Übersicht der registrierten Wellen der Hochwasser des Speichersees Modrac gegeben. Die bisher höchste Hochwasserwelle am Dammprofil trat am 16. Mai 2014 auf. Ferner wird die Fähigkeit des Mehrzweckspeichersees Modrac erläutert, die Strömung von dem Damm abwärts zu reduzieren, so dass Überschwemmungen flussabwärts reduziert werden. Abschließend wird der aktuelle Zustand des Speichersees besprochen, der durch die zuflussbedingten Ablagerungen im Gebiet unmittelbar nach der Mündung der Flüsse Spreča und Turija gefährdet ist.

Schlüsselwörter: Mehrzweckspeichersee Modrac, Hochwasserwelle, Dammprofil, Durchflussanalyse, Wasserbilanz