

UDK: 556.5:519.876.5

KALIBRACIJA I VERIFIKACIJA HEC-HMS MODELA NEIZUČENOG SLIVA POMOĆU KRIVIH TRAJANJA PROTOKA

Petar Praštalo¹ Žana Topalović² Borislava Blagojević³

Rezime

Problem određivanja hidroloških karakteristika prosečnih voda u neizučenim slivovima, prisutan je prilikom izrade planova upravljanja veštačkom akumulacijom u uslovima redovnog korišćenja. U ovom radu su analizirane mogućnosti korišćenja krivih trajanja protoka sa izučenih slivova iz šireg regiona, za kalibraciju i verifikaciju modela za simulaciju vrednosti dnevnih protoka neizučenog sliva. Za kontinualne hidrološke simulacije korišćen je paket hidroloških modela HEC-HMS. Modeli sa uticajem topljenja snega i bez njega, formirani su za sliv reke Vijake do profila brane Drenova. Slaganje simuliranih i 'osmotrenih' protoka određivano je poređenjem nagiba krive dobijene na osnovu simuliranih protoka i prosečne krive trajanja protoka sa izučenih slivova. Rezultati u ovom radu ukazuju na nedovoljnost korišćenja krivih trajanja protoka kao jedinog kriterijuma za kalibraciju i verifikaciju modela u HEC-HMS-u u primeni za kontinualne hidrološke simulacije.

Ključne reči: Kriva trajanja protoka, neizučen sliv, kontinualna simulacija oticaja, HEC-HMS.

Summary

The problem of mean runoff characteristics estimation in ungauged basins is present for the development of reservoir management plans under conditions of normal use. In this paper, the possibilities for using the flow duration curves from the gauged basins in the region for continuous simulation model calibration and verification in an ungauged basin are explored. For the continuous hydrological simulations, the HEC-HMS hydrological model package was used. The models with and without snow melting module are formed for the Vijaka River Basin at the site of the Drenova dam. The models' performance was assessed by comparing the slope of the curve obtained from simulated runoff, against the average flow duration curve in the gauged basins. The results in this paper indicate that flow duration curve is insufficient as the only criterion for calibration and verification of the HEC-HMS model for continuous hydrological simulations.

Key words: Flow duration curve, ungauged basin, continuous runoff simulation, HEC-HMS.

¹ Petar Praštalo, D.I.G., inženjer, petarprastalo3@gmail.com, Institut za građevinarstvo "IG", Banja Luka

² mr Žana Topalović, D. I. G., viši asistent, zana.topalovic@aggfbl.unibl.org, Arhitektonsko-građevinsko-geodetski fakultet Univerziteta u Banjoj Luci

³ dr Borislava Blagojević, D.I.G., docent, borislava.blagojevic@gaf.ni.ac.rs, Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu

1. UVOD

Zaštita od poplava efikasno se rešava kombinovanjem aktivnih, pasivnih i mera prostornog planiranja i namenskog uređenja prostora [1]. Jednu od aktivnih mera zaštite od poplava predstavlja izgradnja manjih akumulacija u gornjim delovima sliva. Prema fazama razvoja vodoprivrednih sistema [2], izgradnja višenamenskih akumulacija je primer vodoprivrednog sistema druge od tri faze. Drugu fazu razvoja vodoprivrednih sistema odlikuje, između ostalog, planska racionalizacija u korišćenju voda i podmirivanje potreba za vodom više (vodoprivrednih) korisnika.

Akumulacija Drenova se nalazi na severu Bosne i Hercegovine u Republici Srpskoj. Predstavlja višenamensku akumulaciju izgrađenu sedamdesetih godina prošlog veka, sa prvenstvenom namenom zaštite od poplava nizvodnog područja. Nakon izgradnje brane, akumulacija je duži vremenski period korišćena i kao izvoršte za vodosnabdijevanje grada Prnjavora, zbog veoma skromnih rezervi pitke vode na području opštine. U periodu nakon izgradnje, nivo održavanja je bio zadovoljavajući, ali je posle 1990tih godina bio ispod propisanog nivoa koji zahteva ovakva vrsta sistema [3]. Objekti brane i akumulacije su pripadali lokalnom komunalnom preduzeću, a od 2015. godine, nadležnost je prešla na Javnu ustanovu „Vode Srpske“, sa ciljem unapređenja trenutnog stanja i preduzimanja odgovarajućih mera koje će obezbediti održavanje i upravljanje ovim višenamjenskim hidrotehničkim objektima u budućnosti [3].

Upravljanje radom akumulacije podrazumeva izradu planova upravljanja. Planovi se izrađuju za periode redovnog korišćenja, malih voda, velikih voda i vanrednih situacija. Prilikom izrade planova upravljanja višenamenskom akumulacijom Drenova se uzimaju u obzir sve aktuelne namene: zaštita od poplava, snabdevanje vodom, rekreacija i sport, ispuštanje ekološki prihvatljivog protoka u periodu malih voda, kao i najnovija namena, hidroenergetika. Osnovu za izradu planova upravljanja čine rezultati hidroloških analiza prosečnih, malih i velikih voda.

U radu se prikazuju rezultati istraživanja mogućnosti dobijanja hidroloških osnova za izradu planova upravljanja u uslovima redovnog korišćenja, pomoću krivih trajanja protoka (KTP). U tu svrhu, za simulaciju protoka odabran je paket hidroloških modela HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center - Hydrological Modelling System). Model sliva reke Vijake na kojoj se nalazi akumulacija Drenova, kalibriše se i verifikuje na osnovu KTP u širem

regionu. KTP spadaju u hidrološke potpise sliva. U poslednjih desetak godina se definišu i intenzivno istražuju mogućnosti primene hidroloških potpisa za kalibraciju hidroloških modela [4, 5].

2. IZUČAVANO PODRUČJE

Akumulacija Drenova nalazi se u slivu reke Ukraine, desne pritoke reke Save (Slika 1). Formirana je izgradnjom nasute brane „Drenova“ na reci Vijaci, najvećoj levoj pritoci reke Ukraine.

2.1 PODACI OSMATRANJA U SLIVU

Na delu sliva r. Vijake do lokacije brane Drenova danas nema kišomernih stanica (KS), iako je ranije postojala jedna KS koja je radila u periodu 1934-1960 sa većim prekidima i registrovala prvo dnevne, a zatim mesečne padavine. U slivu r. Vijake su postojale još dve KS, ali su i njihovi podaci osmatranja sa velikim prekidima, a KS Prnjavor je opremljena neregistrujućim kišomerom i za postojeće podatke nije poznat period obrade [3]. Na širem području, pouzdane stanice sa kojih se mogu koristiti podaci o padavinama su podjednako udaljene MS Banja Luka i MS Doboj.

U slivu r. Vijake danas ne postoje vodomerne stanice (VS) na kojima se kontinuirano osmatraju vrednosti vodostaja i proticaja. U prošlosti su postojale tri VS: Drenova, Prnjavor i Palačkovci. VS Drenova je počela sa radom 1968. godine, u profilu gde je bila predviđena izgradnja brane za potrebe pripreme hidroloških podloga. Ukinuta je na početku izgradnje objekta. Podaci o protocima su nepouzdan zbog prekida osmatranja, neregistrovanja celokupnog protoka pri pojavi velikih voda i nesavesnog rada osmatrača. VS Prnjavor osnovana je 1963. godine i locirana kod Prnjavora, neposredno nizvodno od mosta u Mačkovcu, čiji podaci o većim protocima su takođe vrlo nepouzdan. VS Palačkovci je takođe osnovana 1963. godine kod starog mosta u Palačkovcu. Podaci nisu upotrebljivi zbog više drastičnih izmena uslova tečenja (izgradnja ribnjaka, regulacija korita r. Vijake, izgradnja mosta neposredno nizvodno). Korišćenje podataka je ograničeno i zbog lokacije VS u zoni uspora od r. Ukraine (blizu ušća r. Vijake u r. Ukrinu) [3].

Hidrološka osmatranja u širem području, u slivu reke Ukraine, vršena su na VS Brestovo i VS Derventa, ali i te stanice više nisu u funkciji. Podaci osmatranja na VS Brestovo u vreme njenog rada, smatraju se nepouzdanim [3].

Prema svemu navedenom, sliv r. Vijake do profila brane Drenova u hidrološkom smislu je neizlučen sliv.



Slika 1: Podslivovi desnih pritoka reke Save (izvor: <http://savagis.org/map>). Označen je sliv reke Ukrine-šire područje izučavanog sliva.

2.2 KARAKTERISTIKE SLIVA

Površina sliva do pregradnog profila brane Drenova je 68 km². Visinski položaj sliva je između 594 i 161 mmm.

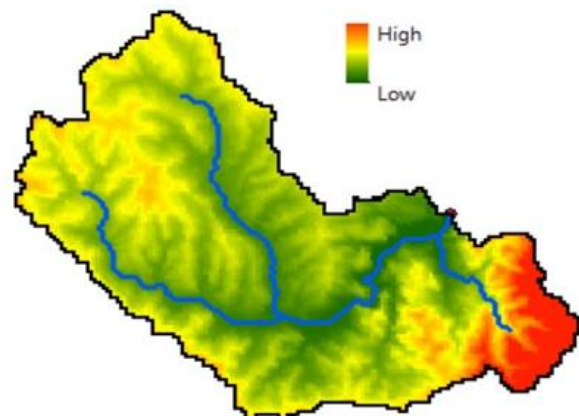


Slika 2: Rečna mreža sliva r. Vijake do profila brane Drenova.

Rečnu mrežu sliva čine četiri glavna vodotoka: Vijaka, Topolova, Lišnja i Drenovica, sa svojim pritokama (Slika 2). Glavni tok je reka Vijaka. Potok Drenovica koji se nalazi u istočnom delu sliva, sakuplja padavine iz najvišeg dela sliva (Slika 3).

Na širem području izučavanog sliva prevladava umereno kontinentalna klima koja na višim

nadmorskim visinama prelazi u planinsku klimu. Na osnovu osmatranja klimatskih parametara na lokacijama Teslić, Doboje, Prnjavor i Derventa [3], srednja godišnja temperatura područja je 9.9 °C, a u vegetacionom periodu 15.9 °C.



Slika 3: Visinska predstava slivnog područja – digitalni model terena (izvor: [6]).

Srednja godišnja suma padavina je procenjena na 1078 mm, a u periodu vegetacije 598 mm. Srednja godišnja relativna vlažnost vazduha je 82% dok u vegetacionom periodu iznosi 79%. Područje je srednje vetrovito. Najučestaliji vetrovi u zimskom periodu su severni i severozapadni, a najtopliji su jugozapadni vetrovi koji se javljaju tokom čitave godine [3].

3. METODOLOGIJA

Modeliranje oticaja neizučenog sliva akumulacije Drenova je urađeno u softverskom paketu hidroloških modela HEC-HMS.

3.1 MODEL SLIVA

Za pripremu modela slivnog područja korišćen je HEC-ov dodatak za ESRI-ArcGIS softver HEC-GeoHMS, izrađen isključivo za potrebe formiranja HEC-HMS hidrološkog modela u GIS okruženju. Osnovni ulaz u program je digitalni model terena (DMT) koji je obavezan da bi se koristio ovaj modul, dok su ostali podaci opcioni (prostorni podaci o vrsti pokrivača, vrsti tla, itd). DMT je potrebno predprocesirati za upotrebu u hidrološkom modelu, gde uz instalaciju GeoHMS-a dolazi i instalacija ArcHydro Tools.

Nakon pripremljenih slojeva ArcHydro alatima, preko GeoHMS modula definisan je model sliva Drenova korišćenjem jedne lokacije - jednog izlaza sa sliva tj. položaja same lokacije brane Drenova (Slika 4). Zatim je formirana površina granicom sliva, definisan je srednji nagib sliva, težište sliva, hidraulička dužina glavnog toka. Odabrane vrednosti su navedene u delu 2.2. Karakteristike sliva.



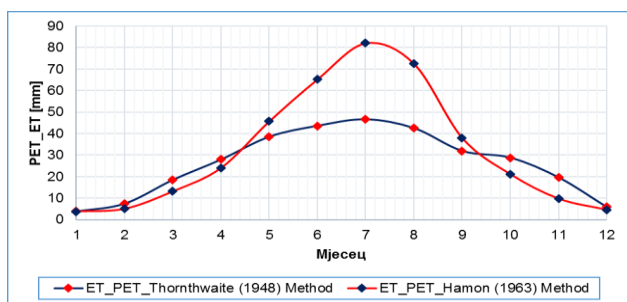
Slika 4: Model sliva u HEC-HMSu.

3.2 ULAZNE METEOROLOŠKE VELIČINE

Prostorna raspodela padavina je određena metodom Tisenovih poligona. Utvrđeno je da od tri razmatrane MS u okolini (Slavonski brod, Banja Luka, Doboј) 97% sliva leži u poligonu MS Banja Luka a 3% u MS Doboј. Za formiranje meteorološkog modela, korišćeni su podaci o dnevnim padavinama i temperaturama sa MS Banja Luka.

Tabela 1: Proračunski modeli veze padavine-oticaј odabrani za sliv Drenove.

Model	Odabrana metoda za model sliva Drenova	Parametri za proračun
Gubitak padavina (efektivne padavine)	SCS metoda gubitaka	1.Početni deficit-stanje vlažnosti u tlu, 2.CN broj krive za sliv (CN=82.5 [3]) 3.Procentat nepropusnih površina (15% [3]).
Transformacija efektivnih padavina u površinski oticaј	Jedinični hidrogram (Klarkov)	1.Vreme koncentracije sliva, 2.Vreme zadržavanja vode u tlu.
Bazni oticaј	Recesija	1.Početna vrednost proticaja na početku simulacije, 2.Recesiona konstanta-odnos protoka narednog i prethodnog dana na opadajućoj grani hidrograma, 3.Odnos baznog oticaja i vrha hidrograma direktnog oticaja



Slika 5: Potencijalna evapotranspiracija za sliv [6].

Potencijalna evapotranspiracija sračunata je metodom Torntvajta korišćenjem osmotrenih vrednosti dnevnih temperatura vazduha na MS Banja Luka. Isprobana je i metoda Hamonda, koja je dala veće vrednosti u toplom periodu godine (Slika 5).

Za topljenje snega primenjen je metod temperaturnog indeksa i upotrebljena je postojeća ATI kriva (zavisnost koef. topljenja snega od indeksa prethodne temperature) za izučavano područje [6].

3.3 MODEL OTICAJA

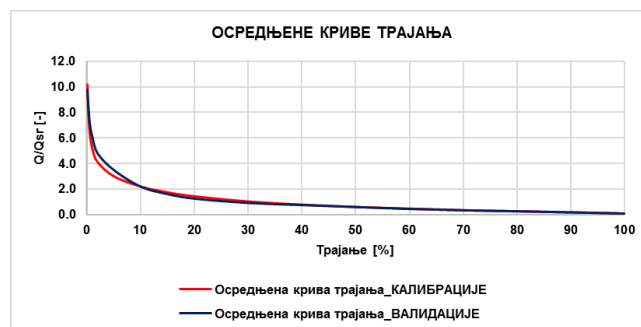
U Tabeli 1, navedene su izabrane metode pojedinih modela procesa transformacija padavina u oticaj i neophodni parametri modela za unos u HEC-HMS.

Kontinualna simulacija oticaja urađena je za sliv kao celinu sa homogenim parametrima. Razmatrane su varijante modela A i B. U varijanti A, meteorološki model sadrži komponentu topljenja snega, dok je B – varijanta modela bez snega.

3.4 KALIBRACIJA MODELA

Na osnovu višegodišnjih podataka osmatranja dnevnih proticaja na 8 VS (Tabela 2), formirane su bezdimenzionalne krive trajanja proticaja (KTP) korišćenjem HEC-DSS (Data Storage System) paketa. Zajednička (reprezentativna) KTP je formirana osrednjavanjem krivih sa razmatranih stanica (Slika 6). Odabrani period za kalibraciju modela je od 01.01.1961 do 31.12.1990. Uticaj akumulacije Drenova je isključen tokom kalibrisanja modela. Kalibracija je izvršena ručno za modele A i B.

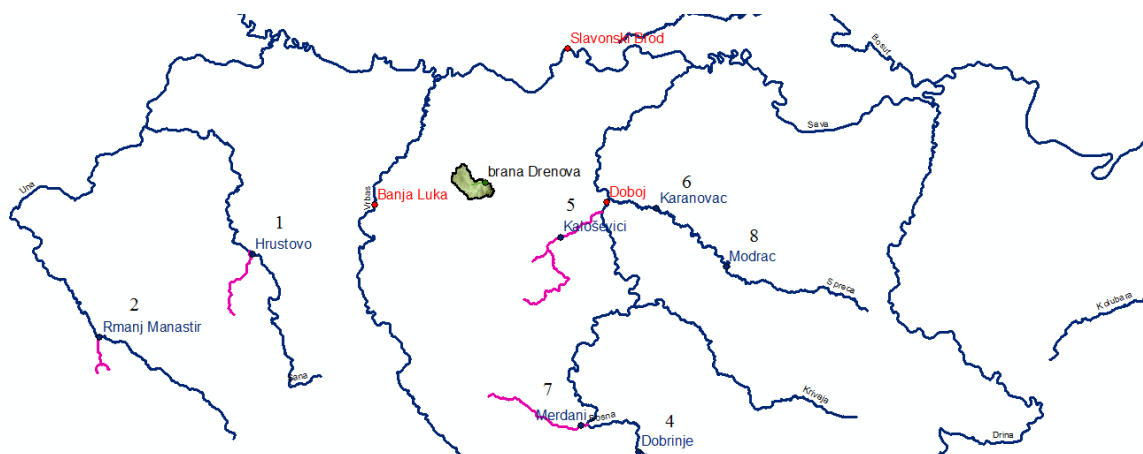
Kalibracija modela prema KTP se smatra završenom nakon upoređivanja nagiba krive u odnosu na sredinu intervala za vrednosti trajanja između 30 i 60%. Nagib reprezentativne KTP iznosi 1.87, dok je za modele A i B takva vrednost 1.94 i 2.02 redom. Razlog za ovakvo različite nagibe jeste taj što se nastojalo da krive trajanja za modele A i B imaju dobro slaganje sa osrednjenom KTP i za vrednosti intervala od 0 do 30% i od 60 do 100%.



Slika 6 Bezdimezionalne osrednjene krive trajanja proticaja za periode kalibracije i validacije modela [6].

Tabela 2: Podaci o VS korišćenim za kalibraciju i validaciju modela Drenove (izvor: [6]).

Br.	Vodomerna stanica VS	Reka	Površina sliva [km ²]	Period raspoloživih podataka osmatranja protoka	Odstojanje od profila brane Drenova [km]
1	Hrustovo	Sanica	348	1966-1990; 2006-2008	74
2	Rmanj Manastir	Unac	1010	1961-1990; 2007-2008	125
3	Blažuj	Zujevina	155	1966-1990; 2006-2008	118
4	Dobrinje	Bosna	2677	1961-1990	93
5	Kalošević	Usora	633	1961-1990; 2006-2009	27
6	Karanovac	Spreča	1828	1961-1990; 2006-2008	52
7	Merdani	Lašva	950	1961-1990; 2006-2008	80
8	Modrac	Spreča	1176	1961-1990; 2006	77



Slika 7: Položaj brane Drenova, pripadajućeg sliva reke Vijake i prostorni raspored VS korišćenih za kalibraciju i validaciju HEC-HMS modela [6].

3.5 OSETLJIVOST PARAMETARA MODELA

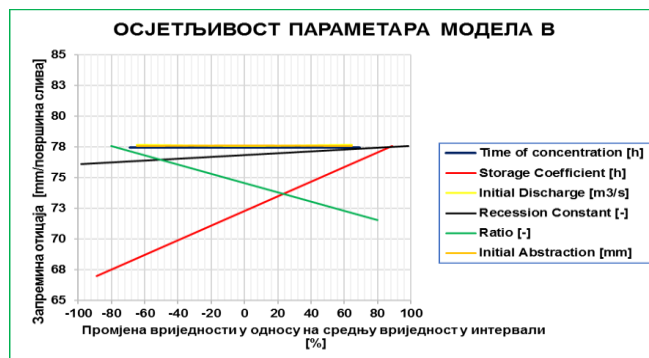
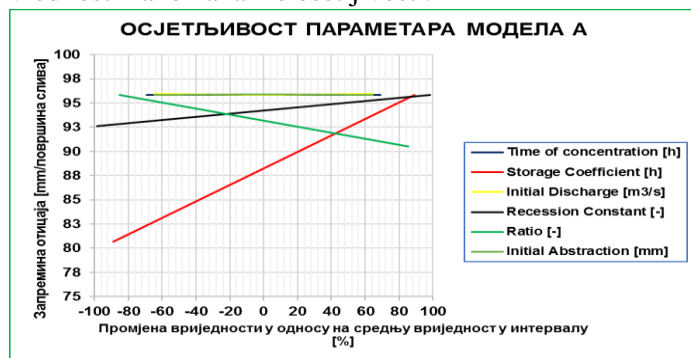
Pre usvajanja vrednosti parametara modela, proverava se osetljivost parametara u cilju što boljeg slaganja modela sa osmotrenim podacima. Kako je ovde u pitanju neizučeni sliv i podataka osmatranja nema, cilj variranja parametara modela jeste da se model prilagodi što bolje osrednjenom bezdimenzionalnoj KTP, određenoj za izučene slivove.

U postupku kalibracije, utvrđeno je da su najosetljiviji parametri kojima se opisuje bazni oticaj: recesiona konstanta i odnos baznog oticaja i vrha talasa direktnog oticaja. Zatim je osetljiv parametar zadržavanja oticaja u podzemnim akviferima za dalju transformaciju oticaja sa sliva u hidrogram (jedinični hidrogram). Osetljivost parametara je prikazana na Slici 8 za oba modela. Parametri koji imaju veći nagib u odnosu na sredinu intervala su osetljivi. To znači da mala promjena vrednosti takvog parametra izaziva značajnu promjenu oticaja, odnosno zapremine u modelu.

U Tabeli 3 su opisani parametri modela i usvojene vrednosti nakon analize osetljivosti.

Tabela 3: Osetljivost modela A i B na promenu vrednosti parametara modela.

Hidrološki proces	Parametar	Osetljivost modela A i B
Gubici padavina	Početna vlažnost [mm]	Modeli nisu osetljivi. Usvojena vrednost 5 mm.
Direktni oticaj	Vreme koncentracije [h]	Modeli nisu osetljivi. Usvojeno 0.83 h.
	Koef. zadržavanja (zapremine) [h]	Modeli su veoma osetljivi na promenu parametra. Vrednosti su 12-15h.
Bazni oticaj	Početni (bazni) proticaj [m^3/s]	Modeli nisu osetljivi. Usvojeno 1 m^3/s , za oba modela.
	Recesiona konstanta [-]	Modeli su osetljivi. Vrednost za model A je 0.91 za model B 0.87.
	Odnos baznog protoka na kraju direktnog oticaja i vrha hidrograma [-]	Modeli su veoma osetljivi. Vrednost za model A, 0.28 za model B, 0.25.



Slika 8 Utvrđivanje osetljivosti parametara modela A-sa snegom, B-bez snega [6].

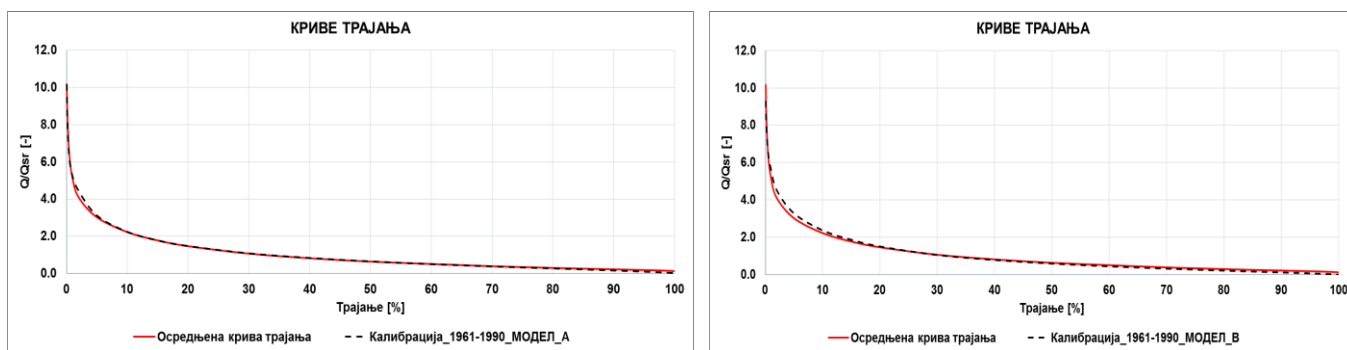
4. REZULTATI I DISKUSIJA

Kontinualna simulacija sa korakom od 1 dan obavljena je za tridesetogodišnji period kalibracije modela 01.01.1961-31.12.1990 i period validacije od 4 godine od 01.01.2005. do 31.12.2008. U periodu kalibracije, za formiranje bezdimenzionalne KTP, korišćeni su podaci sa 8 VS, a u periodu validacije modela, sa 7 (bez VS Dobrinje na reci Bosni – br. 4 u Tabeli 2 i na Slici 7).

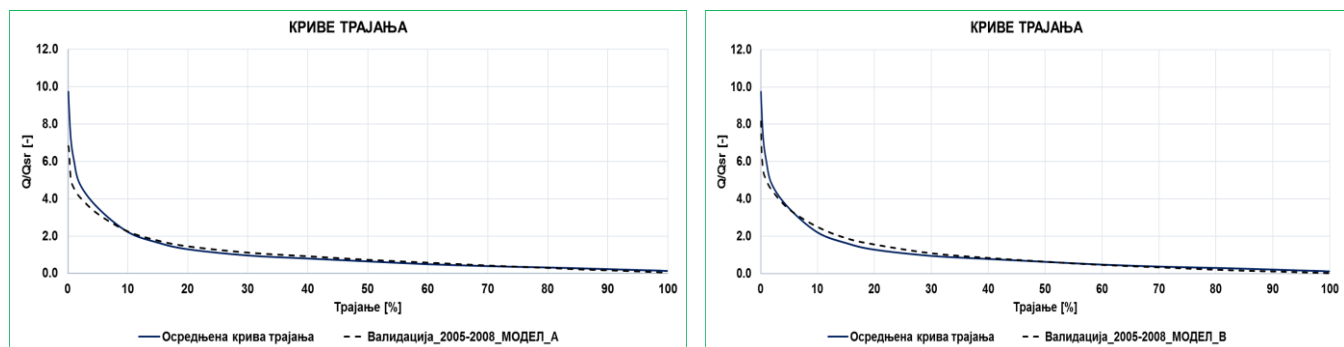
Rezultati kalibracije su dati na slici 9. Kao što je navedeno u delu 3.4, nagib reprezentativne KTP između trajanja 30 i 60% iznosi 1.87, a za modele A i B nagib je 1.94 i 2.02 redom. Rezultati validacije za

period od 4 godine su prikazani na slici 10. Nagib osrednjene KTP je u periodu validacije 1.56, dok su za modele A i B nagibi 1.79 i 2.08. Razlog za ovako različite nagibe jeste kratak period validacije zbog nedostatka podataka osmatranja.

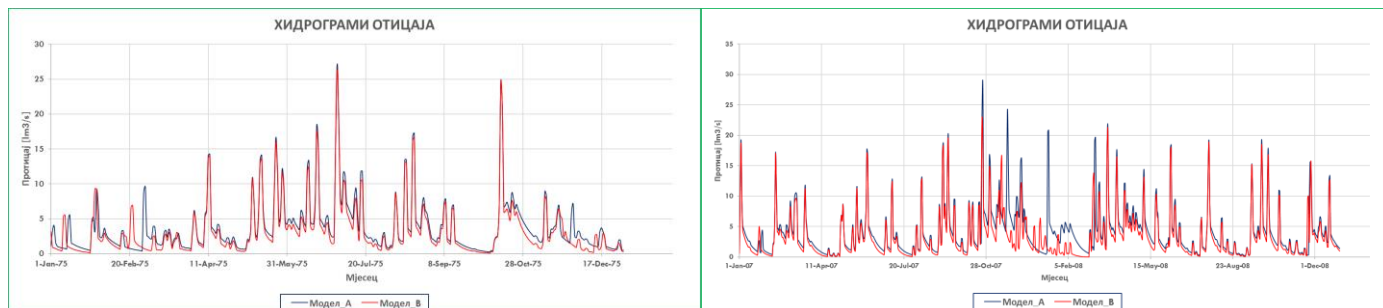
Na slikama 11 levo i desno, prikazani su simulirani hidrogrami oticaja za 1975. godinu iz perioda kalibracije i 2007-2008 godinu iz perioda validacije modela A i B. Na obe slike je uočljivo da model A, sa snegom, daje veće vrednosti baznog oticaja. Razlike su izražene u periodu validacije u odnosu na period kalibracije modela i očekivano su veće u prolećnim mesecima, u vreme topljenja snega.



Slika 9 Rezultati kalibracije modela pomoću KTP. Model A-sa snegom, B-bez snega [6].



Slika 10 Validacija modela pomoću KTP. Model A-sa snegom, B-bez snega [6].



Slika 11 Hidrogrami oticaja u 1975. godini iz perioda kalibracije (levo) i tokom 2007-2008 godine, period validacije (desno). Model A-sa snegom, B-bez snega [6].

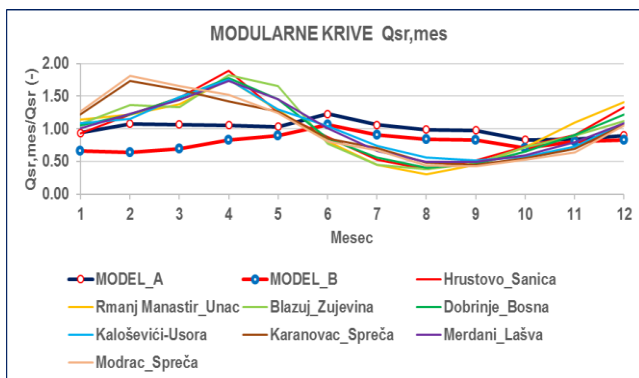
Slaganje rezultata kontinualne hidrološke simulacije oticaja sa osmotrenim hidrogramima može se kvantifikovati preko relativne pristrasnosti, koeficijenta korelacije, Neš-Satklifovog indeksa efikasnosti, a kvalitativno, vizuelnom ocenom hidrograma [7]. Dobru ocenu omogućava i Vilmotov indeks slaganja d [8].

Ocene slaganja modela koji se koriste kod kontinualnih simulacija u izučnim slivovima, kada su poznati osmotreni protoci, nisu primenljive u situaciji kada je u pitanju neizučeni sliv. Zbog toga je ovde korišćeno poređenje rezultata u odnosu na nagib osrednjene KTP i međusobno poređenje rezultata

simulacije modela A i B. Međutim, da bi se stekao uvid u dobijene rezultate simulacije, može se pogledati unutargodišnja raspodela oticaja. Ova raspodela takođe može biti shvaćena kao hidrološki potpis sliva, kao što to KTP jeste.

Poređenje unutargodišnje raspodele oticaja među različitim slivovima prema veličini prosečnog mesečnog oticaja i vremenu javljanja perioda velikih i malih voda, najpogodnije je preko modularne krive srednjih mesečnih protoka. Modularna kriva se predstavlja odnosom srednjih mesečnih protoka i prosečnog godišnjeg protoka u višegodišnjem periodu.

Na Slici 12 su prikazane modularne krive mesečnih protoka u periodu 1961-1990 na svim VS koje su korišćene u periodu kalibracije. Zapaža se da modularne krive modela A i B odstupaju od ovih krivih u nekoliko kategorija. Prvo, varijacija oticaja je mala. U svim mesecima u godini, osim u januaru i novembru za model A sa snegom, a za model B u junu, oktobru i novembru, vrednosti modula su potpuno drugačije u odnosu na većinu VS. Drugo, za oba modela nema jasne podele na period malih i velikih voda tokom godine. Treće, najveći protoci se kod oba modela javljaju u junu, dok su kod većine ostalih VS u aprilu, odnosno februaru. Četvrto, period malih voda koji je kod svih VS, bez izuzetka, tokom leta i početkom jeseni, kod modela A i B se uopšte ne opaža.



Slika 12: Unutargodišnja raspodela oticaja na VS korišćenim za kalibraciju modela i rezultati simulacije prikazani preko modularne krive srednjih mesečnih protoka.

5. ZAKLJUČAK

U radu su istraživane mogućnosti kalibracije i posredne verifikacije pomoću krivih trajanja dnevnih protoka (KTP) za neizučeni sliv, u softverskom paketu HEC-HMS. Za kreiranje meteorološkog modela sliva Drenove u HEC-HMS-u, korišćene su dnevne vrednosti osmotrenih padavina i temperatura za MS Banja Luka, udaljenu 37 km, kao i kriva zavisnosti koef. topljenja snega od indeksa prethodne temperature, definisana za razmatrani region.

Za malo slivno područje od 68 km², deo podataka o slivu je određen GIS alatima u HEC-GeoHMS softveru, a deo je preuzet iz dostupne dokumentacije [3]. Formirana su dva modela za kontinualnu simulaciju oticaja, sa snegom – A i bez snega – B. Todorović i Plavšić [7] su upozorile na veliku osetljivost parametara modela topljenja snega i odsustvo korisničkog uputstva za ovaj model, koje sužava mogućnosti intervencija na parametrima modela.

Modeli su kalibrisani i verifikovani pomoću KTP sa 8, odnosno 7 VS, od kojih je najbliža VS Kalošević na Usori (27 km od profila brane Drenova). Najdalja VS je Rmanj Manastir na Uncu, 125 km vazdušnom linijom od Drenove. Izbor VS za kalibraciju i verifikaciju rezultata modeliranja je diktiran obimom raspoloživih dnevnih podataka osmatranja protoka na širem području u periodu 1961-1990 i 2005-2008. Slivne površine ovih VS su od 155 km² za VS Blažuj na Zujevini, levoj pritoci Bosne (nije ušla u obuhvat Slike 7) do 2677 km² za VS Dobrinje na Bosni.

Verifikacija rezultata prosečnom KTP se pokazala kao nedovoljna. Uključujući dodatni kriterijum, slaganje sa modularnim krivama prosečnih oticaja, utvrđeno je da kreirani modeli nisu u stanju da verno reprodukuju unutargodišnju raspodelu oticaja. Ovaj zaključak je bitan za izradu planova upravljanja akumulacijom.

U prikazanom istraživanju, pokazano je da je za kalibraciju modela i verifikaciju rezultata kontinualnog modeliranja preko KTP, potrebno uvesti dodatni kriterijum, koji odgovara postavljenom zadatku.

ZAHVALNOST

Autori se zahvaljuju Zavodu za vodoprivredu d.o.o. Bijeljina na ustupljenim podacima i saglasnosti da se rezultati istraživanja objave.

LITERATURA

- [1] Đorđević, B. (1989) *Vodoprivreda, Deo 1 u Tehničar 6, Građevinski priručnik, Građevinska knjiga, Beograd*
- [2] Đorđević, B. (1989) *Vodoprivredni sistemi, Deo 14 u Tehničar 6, Građevinski priručnik, Građevinska knjiga, Beograd*
- [3] Zavod za vodoprivredu (2016) *Studija Analiza stanja i prijedlog mjera za sanaciju brane, uspostavljanje sistema monitoringa i upravljanja branom i akumulacijom Drenova, Studija, Zavod za vodoprivredu d.o.o., Bijeljina*
- [4] Pfannerstill, M., Guse, B., & Fohrer, N. (2014). *Smart low flow signature metrics for an improved overall performance evaluation of hydrological models. Journal of Hydrology, 510, 447-458. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.12.044*
- [5] Zhang, Z., Wagener, T., Reed, P. M., & Bhushan, R. (2008). *Reducing uncertainty in predictions in ungauged basins by combining hydrologic indices regionalization and multiobjective optimization. Water Resources Research, 44(W00B04). https://doi.org/10.1029/2008WR006833*
- [6] Praštalo, P. (2017) *Modeliranje hidrološki neizučenog sliva za potrebe akumulacije "Drenova", Diplomski rad, Arhitektonsko – građevinsko - geodetski fakultet Univerziteta u Banja Luci*
- [7] Todorović, A., Plavšić, J. (2014) *Mogućnosti za primenu modela HEC-HMS za kontinualne hidrološke simulacije, Vodoprivreda, 0350-0519, 46267-272 (2014) str. 117-128*
- [8] Willmott, C. J. (1981). *On the validation of models. Physical Geography, 2, 184-194*