

MODELIRANJE VODOPRIVREDNOG SISTEMA SLIVA DRINE I ANALIZA IZABRANIH RAZVOJNIH I KLIMATSKIH SCENARIJA

Jasna PLAVŠIĆ, Tina DAŠIĆ i Ivan MILOVANOVIĆ
Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet

REZIME

U radu je prikazan metodološki okvir za analizu rada vodoprivrednog sistema sliva reke Drine pod pretpostavkom različitih razvojnih i klimatskih scenarija. U okviru ovog metodološkog okvira razvijen je vodoprivredni model sliva Drine korišćenjem softvera WEAP. Model opisuje sliv Drine kao složeni vodoprivredni sistem, u koji su uključeni prirodni hidrološki bilans i potrebe korisnika voda na slivu (snabdevanje stanovništva, industrije i poljoprivrede vodom, akumulacije i hidroenergetske objekte). Podaci o prirodnim protocima na slivu obezbeđuju se iz odvojenog hidrološkog modela. Vodoprivredni model služi kao alat za simulaciju vodoprivrednog bilansa na slivu i vrednovanje sistema, tj. sagledavanje efekata različitih planiranih objekata u uslovima klimatskih promena. Razmatrano je više razvojnih scenarija sa gledišta uključivanja novih hidroenergetskih objekata, kao i dva klimatska scenarija. Rad opisuje razvoj i primenu vodoprivrednog modela Drine, a rezultati se analiziraju kroz obezbeđenost isporuke vode korisnicima, proizvodnju električne energije i obezbeđenost zahtevanih minimalnih ekoloških protoka. Cilj rada je da demonstrira mogućnosti i ograničenja modeliranja vodoprivrednih sistema sa softverom WEAP.

Ključne reči: vodoprivredni sistemi, modeliranje, WEAP model

1. UVOD

Integralno upravljanje vodoprivrednim sistemima postaje sve značajniji aspekt koji se kao obavezan element razmatra prilikom projektovanja novih sistema, ali koji se sve češće analizira i za postojeće sisteme. S obzirom da se radi o veoma složenim sistemima, za analizu sistema kao celine najčešće se koriste simulacioni matematički modeli.

Osnovni zadatak simulacionih matematičkih modela je da, na vremenski neuporedivo bržoj skali u odnosu na realno vreme, ispita šta će se desiti u sistemu ako se primeni neko upravljanje, izmeni neko ograničenje ili parametar sistema, ili ako se desi neki novi događaj bilo u domenu ulaznih ili upravljačkih veličina. Iako ovi modeli nisu u stanju da proizvedu nove informacije oni omogućavaju da se na osnovu postojećih informacija izvuče najveća količina novih-izvedenih informacija o procesima u sistemu i ponašanju sistema. Uvođenjem kriterijuma za vrednovanje upravljanja moguće je ostvariti i valorizacionu funkciju simulacionih modela. Na taj način se simulacioni modeli mogu koristiti i za izbor najpovoljnijeg upravljanja.

Za potrebe modeliranja složenih vodoprivrednih sistema koriste se različiti programski paketi, zavisno od aspekta koji se želi analizirati i raspoloživih ulaznih podataka. Neki od češće korišćenih programa za integralno upravljanje rečnim slivovima su: RIBASIM (*River Basin Simulation Model*) [1], AQUATOOL [2], MIKE-BASIN [3], WASP [4]. Za razliku od nabrojanih modela, model WEAP [5] je besplatan za državne i akademske institucije zemalja u razvoju, pa ga to čini privlačnim za primenu.

U ovom radu opisan je razvoj vodoprivrednog modela sliva reke Drine, izuzetno kompleksnog sliva koji obuhvata površinu od 19680 km² i prostire se na teritoriji tri države (slika 1): Bosne i Hercegovine, Crne Gore i Srbije. Model je razvijen u okviru projekta „Podrška upravljanju vodnim resursima u slivu reke Drine“ [6], [7]. U okviru ovog projekta, softver WEAP je primenjen za razvoj samo vodoprivrednog dela modela. U WEAP-u se može modelirati i hidrološki odgovor sliva, ali taj deo zahteva detaljne ulazne podatke. Zato u ovom projektu hidrološki odgovor sliva predstavlja ulazni podatak za WEAP, a simuliran je u odvojenom hidrološkom modelu koji je razvio Institut za vodoprivredu “Jaroslav Černi”.



Slika 1: Položaj sliva reke Drine.

2. KRATAK OPIS SLIVA REKE DRINE

Reka Drina je najveća pritoka reke Save, koja je najvodnija pritoka Dunava. Nastaje u Crnoj Gori, gde drenira značajan deo karstnog planinskog predela na koji dopreva najveća godišnja količina padavina u Evropi (oko 3000 mm godišnje), dajući i najveći specifični oticaj (do 50 L/s/km²).

Drina nastaje od dve reke, Tare i Pive, koje se spajaju kod Šćepan Polja na granici između BiH i Crne Gore sa ukupnim srednjim godišnjim protokom od 154 m³/s. Najveća pritoka je reka Lim, koja se uliva u Drinu kod Višegrada sa srednjim godišnjim protokom od 113 m³/s. Tok reke Drine do ušća u Savu je dugačak 346 km, sa visinskom razlikom od 350 m (prosečan nagib od 1%). Na ušću u Savu Drina ima srednji godišnji protok od oko 400 m³/s.

Na slivu reke Drine živi skoro milion ljudi. Procenjuje se da u Crnoj Gori na slivu živi 150.000 ljudi u 10 opština. Na teritoriji sliva u BiH živi oko 520.000 ljudi u 31 opštini, od čega 450.000 ljudi u 19 opština u Republici Srpskoj i 70.000 u 12 opština u Federaciji Bosne i Hercegovine. Na delu sliva u Srbiji živi oko 300.000 ljudi u 15 opština.

Sliv reke Drine je bogat prirodnim resursima i ima značajne razvojne mogućnosti. Sliv ima i značajan hidro-

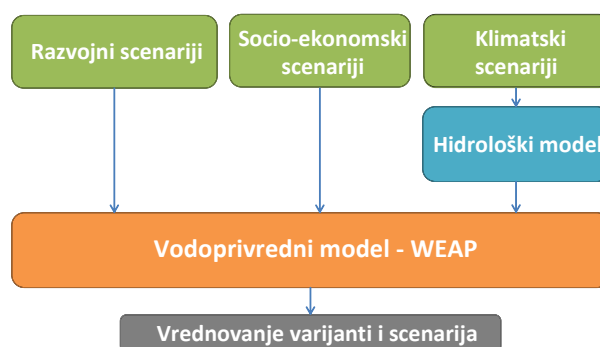
energetski potencijal, pri čemu trenutno postoji osam srednjih i većih hidroelektrana, ali se procenjuje da je 60% hidroenergetskog potencijala neiskorišćeno. Sliv Drine se odlikuje i velikom biološkom raznovrsnošću (biodiverzitetom). Rečna voda je pretežno dobrog kvaliteta zbog relativno velikog protoka i malog zagađenja i bogata je ribom. Na slivu se nalazi značajan broj nacionalnih parkova i zaštićenih oblasti, a teren je prošaran jedinstvenim ledničkim jezerima i kanjonima, među kojima je i kanjon reke Tare, lokalitet koji je uvršten u UNESCO-vu svetsku baštinu.

Osnovni vidovi korišćenja voda su snabdevanje naselja i industrije, navodnjavanje i hidroenergetika. Zbog velike količine vode na slivu, u prošlosti nije dolazilo do konflikata u korišćenju voda. Međutim, zbog sadašnjih rastućih i divergentnih aspiracija u odnosu na razvoj sliva u pojedinim državama i u pojedinim privrednim sektorima, kao i zbog rastućeg zagađenja i opasnosti od klimatskih promena, integralni pristup upravljanju vodama na slivu Drine je više nego neophodan.

3. METODOLOŠKI OKVIR

Cilj razvoja vodoprivrednog modela sliva reke Drine (u daljem tekstu: VM Drine) jeste da omogući razmatranje različitih razvojnih scenarija i različitih strategija upravljanja vodoprivrednim sistemima u slivu reke Drine. Taj cilj je sproveden kroz metodološki okvir koji se sastoji od sledećih elemenata (slika 2):

- razvojni scenariji na slivu,
- socio-ekonomski scenariji,
- klimatski scenariji,
- hidrološki model (“HIS Drina”),
- vodoprivredni model u WEAP-u.



Slika 2: Shematski prikaz postupka vodoprivrednog modeliranja sliva reke Drine [7].

Razvojnim scenarijima na slivu predstavljene su različite varijante konfiguracije sistema i različite potrebe za vodom, kako bi se sagledali mogući pravci razvoja sliva reke Drine. Scenariji su uglavnom definisani uzimajući u obzir zahteve ekologije i hidroenergetike. Dva krajnja scenarija su “Zeleni razvoj” (*Green Growth*) i “Maksimizacija hidroenergetske proizvodnje” (*Hydropower Maximisation*). Prvi scenario predstavlja varijantu u kojoj se ne planiraju novi hidroenergetski objekti uz forsiranje zelene energije (vetar, sunce). Drugi scenario pretpostavlja uključivanje svih planiranih hidroenergetskih objekata na slivu. Između navedena dva ekstremna scenarija definisano je nekoliko srednjih scenarija. Razvojni scenariji su prikazani u delu 5.2.

Socio-ekonomski scenariji odnose se na stope rasta stanovništva, industrijskog razvoja i razvoja navodnjavanja, koje utiču na potrebe za vodom stanovništva, industrije i potrebe za navodnjavanjem u razmatranom području. Stope rasta pretpostavljene u modelu preuzete su iz nacionalnih strateških dokumenata država na slivu.

Klimatski scenariji se sastoje od vremenskih serija temperatura i padavina dobijenih simulacijama pomoću globalnih i regionalnih klimatskih modela (GCM/RCM). Razmatrana su dva scenarija emisija gasova staklene bašte prema 5. izveštaju IPCC ([8], [9]): RCP 4.5, kao umereni scenario, i RCP 8.5 kao scenario intenzivne emisije. Korišćen je ansambl od četiri različita lanca GCM/RCM za oba scenarija emisije gasova. Rezultati klimatskog modeliranja preuzeti su iz projekta MedCORDEX¹, dok su u okviru projekta „Podrška upravljanju vodnim resursima u slivu reke Drine“ preuzeti podaci iskorišćeni da se formiraju projekcije padavina i temperatura na lokacijama meteoroloških stanica na slivu Drine metodom statističke korekcije raspodele podataka [11].

Simulirane klimatske serije korišćene su kao ulazni podaci za **hidrološke simulacije** pomoću hidrološkog modela razvijenog u Institutu za vodoprivredu Jaroslav Černi (dalje u tekstu: hidrološki model IJC) sa ciljem dobijanja hidroloških projekcija na slivu Drine. Uzimajući u obzir tendencije klimatskog i hidrološkog režima na slivu, kao i neizvesnosti vezane za te tendencije, može se testirati robusnost vodoprivrednog sistema sliva Drine u uslovima klimatskih i hidroloških promena. Sagledavanjem ponašanja sistema u takvim uslovima stvara se osnova za održivo upravljanje vodoprivrednim sistemom.

¹ www.medcordex.eu

Vodoprivredni model ili model upravljanja vodoprivrednim sistemom je simulacioni model razvijen u softveru WEAP, kojim se sprovodi proračun bilansa voda i omogućava provera rada sistema. Raspoložive količine vode se unose u model kao serije prirodnih dotoka dobijenih simulacijama hidrološkim modelom za različite klimatske scenarije. Količine voda za korisnike određuju se na osnovu podataka o potrebama za vodom stanovništva i industrije, potrebama za navodnjavanje i zadovoljenje garantovanih protoka, kao i potrebne hidroenergetske proizvodnje. S obzirom da se pomoću vodoprivrednog modela mogu sprovesti simulacije za različite konfiguracije sistema, kao i za različite uslove u budućnosti (klimatske promene ili neke druge promene u slivu), model predstavlja alat koji treba da pomogne da se planiranje i upravljanje sistemom prilagodi u budućim uslovima. U narednom odeljku ukratko su opisane mogućnosti softvera WEAP, dok je vodoprivredni model Drine detaljnije opisan u odeljku 5.

4. KRATAK OPIS SOFTVERA WEAP

Softver WEAP (Water Evaluation and Planning Tool) radi na osnovnom principu bilansiranja voda [5][4]. Može se primeniti kako na manje slivove tako i na složene sisteme. Pri simulaciji rada vodoprivrednih sistema model razmatra i ulaznu i izlaznu stranu jednačine vodnog bilansa, tj. i izvore snabdevanja i potrebe korisnika za vodom. Osnovna prednost ovog modela jeste to što je on besplatan za državne i akademske institucije zemalja u razvoju.

4.1. Predstavljanje vodoprivrednog sistema u WEAP-u

Vodoprivredni sistem se u WEAP-u opisuje kao skup čvorova i veza između čvorova. Čvorovima se mogu predstaviti akumulacije, protočne hidroelektrane, izvorišta podzemnih voda, potrošački čvorovi, postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda, profili sa zahtevanim protocima i drugi. Veze su reke, skretanja toka (derivacije), dovodne veze (zahvatanje) i povratne veze (ispuštanje).

Glavna komponenta vodoprivrednog sistema je reka i njene deonice. Rečna deonica se definiše kao deo reke ili derivacije između dva čvora na reci. Čvorovi na reci mogu biti akumulacije, protočne hidroelektrane, početne tačke derivacija, početne tačke dovodnih veza kao tačke zahvatanja, krajnje tačke povratnih veza kao mesta ispuštanja, čvorovi sa zadatim zahtevanim protocima itd. Prirodni dotok sa dela sliva na jednoj deonici se deli na

površinski i podzemni oticaj, jer komponenta podzemnog oticaja učestvuje u bilansu podzemnih voda.

Čvorovi sistema koji se ne nalaze na rekama su potrošački čvorovi ili čvorovi podzemnih voda. Potrošački čvorovi kojima se predstavlja snabdevanje vodom stanovništva, industrije i poljoprivrede su povezani sa izvorima snabdevanja dovodnim vezama, dok se povratne veze koriste za ispuštanja iz potrošačkih čvorova. U čvorovima podzemnih voda (izdani, akvifera) bilansiraju se prirodno prihranjivanje izdani, podzemni oticaj, zahvatanje vode za potrošače i upotrebljene vode koje se proceđuju u podzemlje.

Uz akumulacije mogu da se definišu i pripadajuće pribranske hidroelektrane. Protočna hidroelektrana kao komponenta se može pozicionirati na reku ili na derivaciju. Reverzibilne hidroelektrane se mogu modelirati indirektno sa dve dovodne veze između dve akumulacije pod uslovom da se definišu količine vode koje se prebacuju i pod kojim uslovima.

Komponenta koja predstavlja derivaciju služi da se voda skrene iz jednog čvora na reci do drugog čvora na istoj ili drugoj reci. Elementi derivacija se koriste za derivacione hidroelektrane da bi se voda iz reke ili akumulacije dovela do hidroelektrane.

Komponente prirodnog bilansa voda u WEAP-u mogu se modelirati pomoću dva ugrađena hidrološka modela, od kojih je jedan veoma jednostavan i ne omogućava podelu oticaja na površinski i podzemni, dok je drugi veoma zahtevan po pitanju ulaznih podataka. Drugi način jeste da se koriste podaci o hidrologiji dobijeni izvan WEAP-a (bilo kao mereni podaci, kao rezultati simulacija nezavisnim hidrološkim modelom ili kao generisane sintetičke serije) koji se u prigodnom formatu učitava u WEAP. Treća opcija u WEAP-u daje mogućnost da se na jednostavan način formiranju sintetički podaci o prirodnim oticajima kroz tipske unutargodišnje raspodele protoka.

Raspodela vode korisnicima sistema obavlja se na nivou jednog vremenskog koraka, a redosled raspodele određuje se na osnovu dve grupe prioriteta:

- **Prioriteti potrošača** (*Demand priority*) odnose se na potrošačka mesta koja se snabdevaju iz istog izvora, na akumulacije (prioritet se može dati punjenju akumulacije ili proizvodnji hidroenergije) i na profile sa zahtevanim protocima. Prioritet može da ima vrednost od 1 do 99, gde 1 označava najviši prioritet a 99 najmanji. Potrošačka mesta mogu da imaju isti

prioritet. Podrazumevana vrednost za prioritet punjenja akumulacije je 99, što znači da će se akumulacije puniti samo ako u njima ostane vode posle zadovoljenja svih potrošača sa višim prioritetom.

- **Prioriteti snabdevanja** (*Supply preferences*) odnose se na potrošačka mesta koja su povezana na više od jednog izvora snabdevanja da bi se definisao prioritetni izvor snabdevanja za tog potrošača. Ovi prioriteti se zadaju za odgovarajuće dovodne veze.

Pored toga, postoje dve metode za zadavanje zahtevane energetske porizvodnje kako bi se dao prioritet ispuštanju iz akumulacije zbog proizvodnje hidroenergije: potrebe za energijom se mogu definisati na nivou svake akumulacije ili kao ukupna energija na nivou sistema.

4.2. Formulisanje scenarija

Scenariji u WEAP-u opisuju mogući razvoj sistema u vremenu, a pod određenim pretpostavkama o budućim socio-ekonomskim, političkim i tehnološkim uslovima [5]. Svi scenariji počinju od iste godine za koju je ustanovljena početna konfiguracija sistema, koja se u WEAP-u naziva “sadašnje stanje” (*Current Accounts*). Podrazumevani scenario u WEAP-u za zadati vremenski horizont je referentni scenario (*Reference Scenario*), sa kojim se ostali scenariji porede. Korisnici mogu da formiraju jedan alternativni scenario ili više njih.

Scenariji u WEAP-u obuhvataju elemente sistema koji se u tom scenariju uključuju u rad sistema (npr. novi potrošači, nove hidroelektrane) i faktore koji se menjaju kroz vreme (npr. stopa rasta stanovništva). U različitim scenarijima različiti elementi sistema mogu postati aktivni u različitim trenucima (parametar *Startup Year*).

Pretpostavke o promenama u sistemu (kao što su promene potrebnih količina voda, porast stanovništva, hidrologija itd.) mogu da čine sastavni deo scenarija. Ove pretpostavke se formalizuju u WEAP-u kao **ključne pretpostavke** (*Key Assumptions*), koje se definišu kao promenljive sa zadatim vrednostima. Ovakav pristup olakšava ponavljanje simulacija sa različitim vrednostima nekog faktora bez potrebe da se podaci ponovo unose. Različiti scenariji se u opštem slučaju zasnivaju na različitim ključnim pretpostavkama.

Scenario koji se formira može biti hijerarhijski ispod nekog drugog scenarija da bi “nasledio” podatke i pretpostavke od hijerarhijski višeg scenarija, što znači da za scenario koji se formira treba uneti samo parametre koji su za taj scenario različiti od višeg scenarija. Referentni

scenario se nalazi hijerarhijski ispod sadašnjeg stanja i nasleđuje sve podatke iz njega. Alternativni scenariji koje korisnik definiše se mogu formirati hijerarhijski ispod sadašnjeg stanja ili ispod bilo kog drugog scenarija.

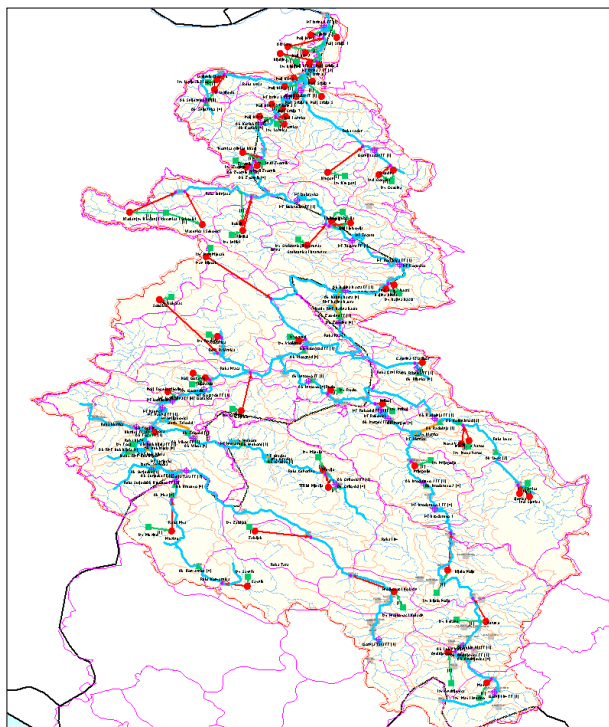
4.3. Simulacije i rezultati

Kada se proračun završi, rezultati simulacije se mogu pregledati na mnogo načina. Vrednosti svih sračunatih parametara (kao što su zapremine ili nivoi vode u akumulacijama, zapremine podzemnih voda, potrebe potrošača, isporučena voda, obezbeđenost snabdevanja potrošača, proizvodnja hidroenergije itd), mogu se predstaviti kao vremenske serije ili kao agregirane vrednosti tokom određenog vremenskog perioda.

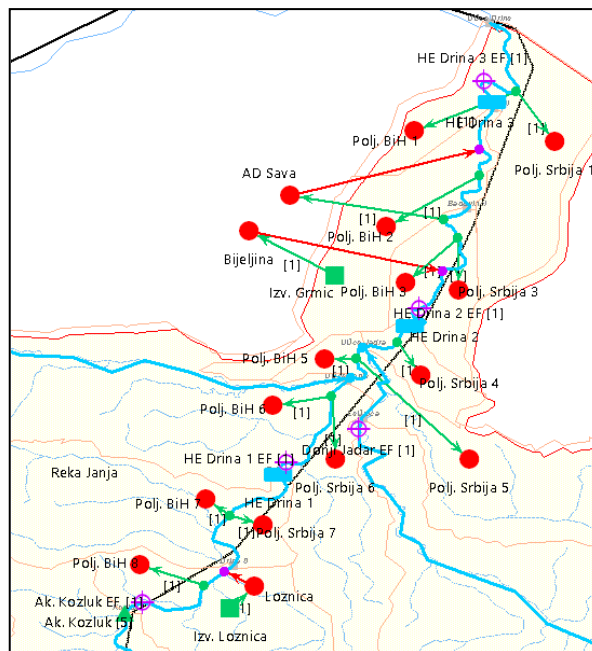
5. VODOPRIVREDNI MODEL SLIVA DRINE

5.1. Konfiguracija sistema i ulazni podaci

Iako je konfiguracija vodoprivrednog sistema sliva Drine previše kompleksna da bi se grafički celovito prikazala, ipak je, u cilju sagledavanja celine, prikazana na slici 3. Osnovne komponente vodoprivrednog sistema sliva Drine opisani su u nastavku.



Slika 3: Sliv Drine kao vodoprivredni sistem u WEAP-u.



Slika 4: Potrošački čvorovi u modelu na donjem slivu Drine.

Potrošački čvorovi

Kao potrošači vode u model su uključeni stanovništvo, industrija i poljoprivreda. S obzirom da su se podaci o potrošačima i njihovim potrošnjama mogli dobiti po pojedinim opštinama, prilikom definisanja ovih potrošačkih čvorova sledio se generalni princip da se po jedan potrošački čvor svakog tipa definiše za svaku opštinu. U modelu je definisano ukupno 35 komunalnih potrošača (stanovništvo i industrija priključena na gradske vodovodne sisteme), 11 industrijskih potrošača i 15 poljoprivrednih potrošača (navodnjavanje). Na slici 4 prikazan je deo sistema na donjem slivu Drine sa potrošačkim čvorovima.

Potrebna količina vode za snabdevanje stanovništva po opštinama definisana je na osnovu broja stanovnika priključenih na javni vodovodni sistem i specifične potrošnje, pri čemu je razmatrano samo stanovništvo na slivnom području reke Drine. Mesečna neravnomernost potrošnje je pretpostavljena, a korišćena je za sve potrošačke čvorove ovog tipa u svim državama. Količina vode koja se gubi iz sistema pretpostavljena je da iznosi 15% prema uobičajenim vrednostima iz literature.

Najznačajniji industrijski potrošači na slivu su termoelektrane, rudnici i prerada rude, fabrika glinice, kao i fabrike za preradu drveta i hrane. Industrijska potrošnja

u najvećem broju čvorova je definisana kao konstantna godišnja vrednost (bez mesečne neravnomernosti), a procenat gubitka vode iz sistema je pretpostavljen.

Najznačajnije količine vode za potrebe navodnjavanja u poljoprivredi zahvataju se na području donje Drine. Za sve poljoprivredne površine smatra se da se voda upotrebljena za navodnjavanje gubi iz sistema zbog velike evapotranspiracije.

Reke

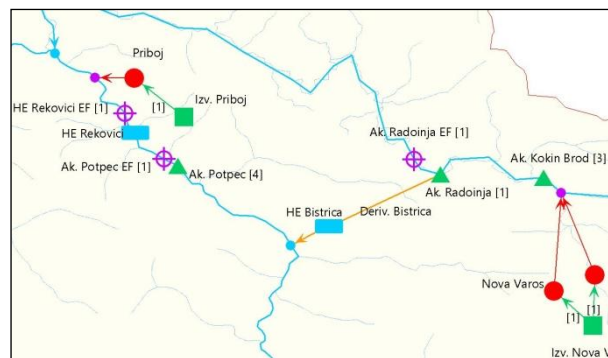
U model su uključene reke na kojima postoje značajniji čvorovi (akumulacije, dovodne ili povratne veze sa potrošačkim čvorovima). Pored osnovnog toka reke Drine, u model su uključene i sledeće reke: Tara, Komarnica, Piva, Čehotina, Sutjeska, Bistrica (BiH), Lim, Uvac, Prača, Rakitnica, Rzav, Crni Rzav, Drinjača, Jadar i Janja. Pored ovih reka, za potrebe definisanja RHE Buk Bijela, uneta je i reka Bjelava za koju nema raspoloživih hidroloških podataka, pa se ona može smatrati neaktivnim elementom.

Akumulacije

U vodoprivredni model sliva Drine uključeno je ukupno 24 akumulacija – 12 postojećih i 12 planiranih. Tri postojeće akumulacije nemaju hidroenergetsku proizvodnju (Radoinja, Ribnica i Snježnica). Dve akumulacije predstavljaju gornje akumulacije reverzibilnih hidroelektrana (postojeća akumulacija Zaovine i planirana RHE Buk Bijela). Planirane akumulacije i odgovarajuće hidroelektrane definisane su kao neaktivne u sadašnjem stanju. Planirani objekti se uključuju u sistem u određenim scenarijima, a godina početka rada definisana je za svaki objekat.

Protočne hidroelektrane

Za definisanje hidroelektrane kao protočnog postrojenja korišćen je kriterijum da se korisna zapremina akumulacije može isprazniti za manje od 2 sata samo radom hidroelektrane. Pored klasičnih protočnih hidroelektrana koje se nalaze na rekama, derivacione hidroelektrane su u WEAP-u takođe predstavljene kao protočna postrojenja koja se nalaze na derivacijama. U model je uneto 15 čvorova protočnih HE (2 postojeća i 13 planiranih). Među njima, postojeća Bistrica i planirna Sutjeska su elektrane derivacionog tipa. Dva čvora koji predstavljaju protočne HE definisani su kao čvorovi na turbinskoj vezi gornje i donje akumulacije RHE Bajina Bašta i RHE Buk Bijela.



Slika 5: Derivaciona HE Bistrica u vodoprivrednom modelu Drine.

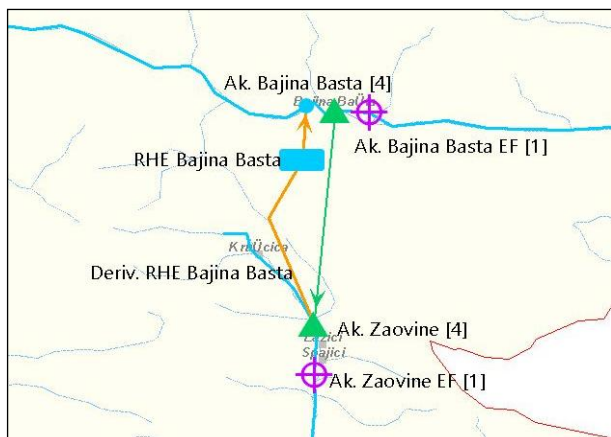
Planirane hidroelektrane nisu aktivne u sadašnjem stanju, a aktiviraju se u scenariju u kome su planirane za uključivanje u sistem i počinju sa radom u definisanoj početnoj godini.

Derivacije

Elementi derivacija su korišćeni da bi se definisale derivacione HE. Kao što je rečeno u prethodnom delu, model obuhvata dve derivacione HE, a time i dve derivacije. Jedna je postojeća, koja zahvata vodu iz akumulacije Radoinja (reka Uvac) i odvodi je do HE Bistrica, gde se ispušta u Lim (slika 5). Druga derivacija je planirana, kojom se voda iz akumulacije Sutjeska dovodi do nizvodne HE na istoj reci. Ova derivacija se aktivira u budućnosti u razvojnom scenariju "Maksimizacija hidroenergetske proizvodnje", dok u sadašnjem stanju nije aktivna. Parametar koji se definiše za derivacije je maksimalan protok kroz derivaciju, za koji je zadato da je jednak instalisanom protoku elektrane do koje dovodi vodu.

Reverzibilne hidroelektrane

Na slivu Drine postoji jedna reverzibilna hidroelektrana, RHE Bajina Bašta, a planirano je još jedno postrojenje, RHE Buk Bijela u BiH. U softveru WEAP ne postoji element koji predstavlja reverzibilnu hidroelektranu, pa se ovaj tip elektrane ne može direktno modelirati. Reverzibilne HE su u modelu predstavljene na indirektnan način tako što su unete donje i gornje akumulacije između kojih su unete turbinske veze kao derivacija sa protočnom hidroelektranom i pumpne veze kao tzv. dovodna veza sa protokom sa kojim se pumpa. Slika 6 ilustruje komponente RHE Bajina Bašta koje su u modelu iskorišćene za predstavljanje ovog postrojenja.



Slika 6: Komponente WEAP-a za prikaz RHE Bajina Bašta u vodoprivrednom modelu Drine.

Zahtevani (ekološki) protoci

Zahtevi za odgovarajućim protokom zadati su na 36 lokacija u slivu reke Drine. Ovi protoci definisani su na osnovu analiza u okviru kojih su procenjeni ekološki protoci u skladu sa preporukama i regulativama pojedinih država. Neki od ovih zahteva su definisani kao konstantne vrednosti tokom godine, dok se drugi menjaju po mesecima ili određenim periodima u toku godine.

Izvorišta podzemnih voda

Podzemna voda je dominantan način snabdevanja vodom u slivu reke Drine. U modelu je definisano 33 izvorišta podzemnih voda. U slučajevima kada se neki potrošački čvor snabdeva vodom iz više izvorišta podzemnih voda, ta izvorišta su objedinjena kao jedno izvorište iz koga se zahvata celokupna količina vode koju zahteva potrošač. Zahvatanje je definisano zahtevima potrošačkih čvorova povezanih sa tim izvorištem. Vraćanje upotrebljene vode u podzemlje je definisano kao procenat upotrebljenih voda od stanovništva sa septičkim jamama.

Hidrološki ulaz

Podaci o površinskom i podzemnom oticaju, kao i o prihranjivanju podzemnih voda (perkolaciji), dobijaju se kao izlazni podaci iz hidrološkog modela IJČ. Taj model simulira komponente hidrološkog bilansa na 123 profila na slivu. Vodni bilans rečnih deonica je u WEAP-u modeliran na dva načina u zavisnosti od toga da li na podslivu razmatrane deonice postoji izvorište podzemnih voda. Ukoliko postoji, tada se komponenta perkolacije iz hidrološkog modela koristi kao podatak

za prihranjivanje podzemnih voda (promenljiva *Natural Recharge*) koristi, dok se komponenta baznog oticaja iz hidrološkog modela koristi kao podatak za pražnjenje izdani ka reci (promenljiva *Groundwater Inflow*). U slučaju da na podslivu rečne deonice nema izvorišta podzemnih voda, a s obzirom da u WEAP-u ne postoji veza podsliva sa izvorištem podzemnih voda, ukupni dotok u rečnu donicu sastoji se od komponenti površinskog i baznog oticaja u hidrološkom modelu, ali se pripisuje promenljivoj *Surface Water Inflow* u WEAP-u.

5.2. Razvojni scenariji za sliv Drine

Razvojni scenariji za sliv reke Drine sastoje se generalno od tri varijante: zeleni scenario, srednji scenario i scenario maksimalnog iskorišćenja hidroenergetskog potencijala. Tabela 1 daje pregled svih HE u svim scenarijima u VM Drine, gde svaki naredni scenario uključuje i objekte iz prethodnog scenarija. Prema zelenom scenariju, na slivu nema novih akumulacija i hidroelektrana. Srednji scenario se donekle razlikuje u pojedinim državama, pa u modelu Drine ima tri varijante koje uključuju određene planirane objekte. Prema scenariju maksimalnog iskorišćenja hidroenergetskog potencijala planira se najveći broj novih akumulacija i elektrana.

Komponente u WEAP-u mogu da imaju različite početne godine u različitim scenarijima. To mogućava da se nove akumulacije i HE postepeno uvedu u sistem.

5.3. Vremenski horizont i varijante simulacija

Vodoprivredni model se u WEAP aplikaciji razvija za određenu početnu godinu za koju je poznato stanje sistema (tzv. "sadašnje stanje"). Početna godina je ujedno i početna godina referentnog scenarija, kao i svih drugih scenarija. U slučaju vodoprivrednog sistema sliva Drine, na izbor početne godine i poznatog stanja sistema uticala su ograničenja vezana za periode raspoloživih podataka za klimatske i hidrološke simulacije.

Klimatske promene su ocenjene za dva buduća vremenska perioda, 2011-2040 i 2041-2070, dok je za referentni period uzet period 1961-1990. Ova dva buduća vremenska perioda su uobičajena u studijama uticaja klimatskih promena, jer se pouzdane statističke analize mogu obaviti samo za dovoljno duge vremenske serije. S druge strane, referentni period je određen imajući na umu raspoloživost klimatoloških podataka u regionu (veliki prekidi u periodu 1990-tih godina onemogućili su izbor dužeg referentnog vremenskog perioda kao npr. 1961-2010).

Tabela 1: Akumulacije i hidroelektrane planirane u pojedinim razvojnim scenarijima za sliv Drine ([7], [10]).

Scenario	Crna Gora	BiH	Srbija
Zeleni	Piva	Višegrad, Bajina Bašta, RHE Bajina Bašta, Zvornik	Potpeć, Sjenica/Uvac, Kokin Brod, Radoinja/ Bistrica, Bajina Bašta, RHE Bajina Bašta, Zvornik
Srednji 1	Komarnica, Kruševo, HE Otilovići	Buk Bijela, RHE Buk Bijela, Foča, Ustikolina, Mrsovo	Brodarevo 1, Rekovići
Srednji 2		Paunci, Goražde, Dubravica	Dubravica
Srednji 3		Rogačica, Tegare, Kozluk	Rogačica, Tegare, Kozluk
Maksimalni	Andrijevisa, Lukin Vir	Sutjeska, Vikoč, Drina I, Drina II, Drina III	Brodarevo 2, Drina I, Drina II, Drina III

Hidrološke simulacije urađene su za periode 1961-1990 i 2010-2070, pri čemu godine 1961. i 2010. nisu uključene u analizu zbog neophodnog uhadavanja hidrološkog modela. S obzirom da je ansambl klimatskih modela sadržao po četiri simulacije za referentni period i za budući period za svaki od dva klimatska scenarija (RCP 4.5 i RCP 8.5), kao rezultat hidroloških simulacija dobijeno je ukupno 12 skupova hidroloških serija sa kojima su sprovedene simulacije vodoprivrednim modelom sliva Drine.

Bilansni proračuni su sprovedeni sa mesečnim vremenskim korakom s obzirom da je unutargodišnja varijacija protoka i zahteva za vodom značajna za rad sistema.

6. REZULTATI SIMULACIJA

Analiza rada vodoprivrednog sistema sliva Drine pod različitim scenarijima u budućnosti i u referentnom periodu je razmatrana preko sledećih indikatora:

- zapreminska i vremenska obezbeđenost snabdevanja vodom stanovništva, industrije i poljoprivrede, kao i zadovoljenja zahteva za ekološkim protocima,
- proizvodnja hidroenergije.

Zapreminska obezbeđenost je definisana kao odnos zapremine isporučene vode i zahtevane vode, dok je vremenska obezbeđenost definisana kao procenat vremena u kome je količina isporučene vode jednaka zahtevanoj (računato kao broj meseci u kojima je isporučeno 100% zahtevane količine vode u odnosu na ukupan broj meseci tokom razmatranog vremenskog perioda). Hidroenergetska proizvodnja je data kao prosečna godišnja proizvodnja energije tokom razmatranog perioda.

Za prikazivanje generalnih tendencija u rezultatima simulacija i projekcijama za budućnost najčešće je korišćena medijana rezultata iz ansambla od četiri simulacije prema ova klimatska scenarija. Neizvesnost u rezultati-

ma se može opisati rasponom vrednosti dobijenih simulacijama svakim lancem klimatskih modela i hidrološkim modelom.

6.1. Snabdevanje vodom

Rezultati simulacija za budući period 2011-2070 su pokazali da snabdevanje vodom stanovništva, industrije i poljoprivrede ima obezbeđenost od 100% (kako zapreminsku, tako i vremensku obezbeđenost) u svim potrošačkim čvorovima.

6.2. Proizvodnja energije

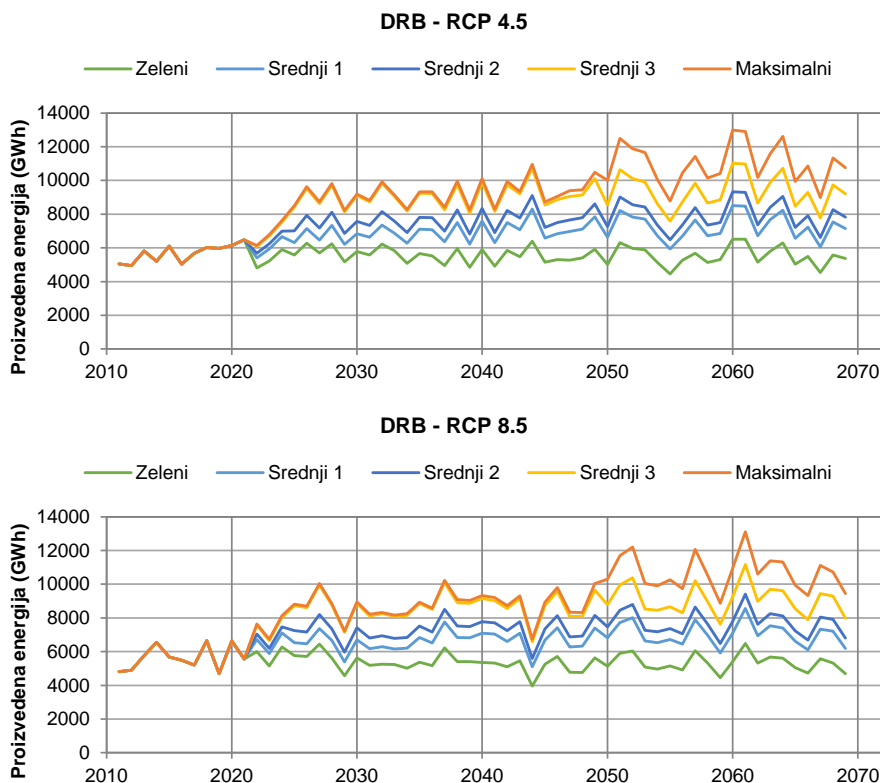
Energetska proizvodnja podrazumeva proizvodnju energije u okviru pojedinih razvojnih scenarija za sve elektrane osim reverzibilnih. Proizvodnja ovih elektrana nije uključena u prikazane rezultate jer u softveru WEAP ne postoji mogućnost da se modelira potrošnja energije tokom rada reverzibilnih HE u pumpnom režimu koja, po pravilu, nadmašuje njihovu proizvodnju.

Godišnja proizvodnja hidroenergije na slivu Drine prema različitim razvojnim scenarijima prikazana je na slici 7 kao medijana rezultata iz ansambla klimatskih i hidroloških simulacija. Novi objekti se uključuju u rad posle 2022. godine. Godišnja proizvodnja energije na slivu je zato relativno konstantna prema zelenom scenariju, dok se prema ostalim scenarijima i uključivanju novih objekata postepeno povećava do 2050. godine. Posle 2050, sve HE prema pojedinim scenarijima su u funkciji pa vremenska serija proizvodnje u periodu 2051-2070 odražava vrednosti očekivane proizvodnje na slivu.

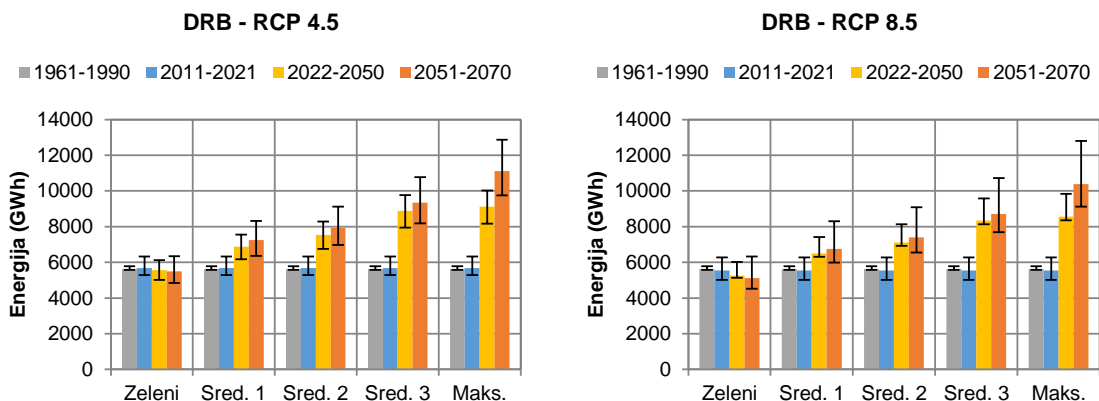
Prosečna godišnja proizvodnja energije prema različitim klimatskim i razvojnim scenarijima, sračunata kao medijana rezultata iz ansambla od četiri simulacije, prikazana je grafički na slici 8, gde su date i neizvesnosti ve-

zane za klimatske modele. Proizvodnja energije je osrednjena tokom referentnog perioda i tokom tri buduća perioda: 2011-2021, 2022-2050 i 2051-2070. Prvi period 2011-2021 obuhvata samo postojeće hidroelektrane i u njemu je proizvodnja energije ista prema svim razvojnim scenarijima. Drugi period, 2022-2050, jeste period u kome se nove HE uključuju postepeno u sistem. Ko-

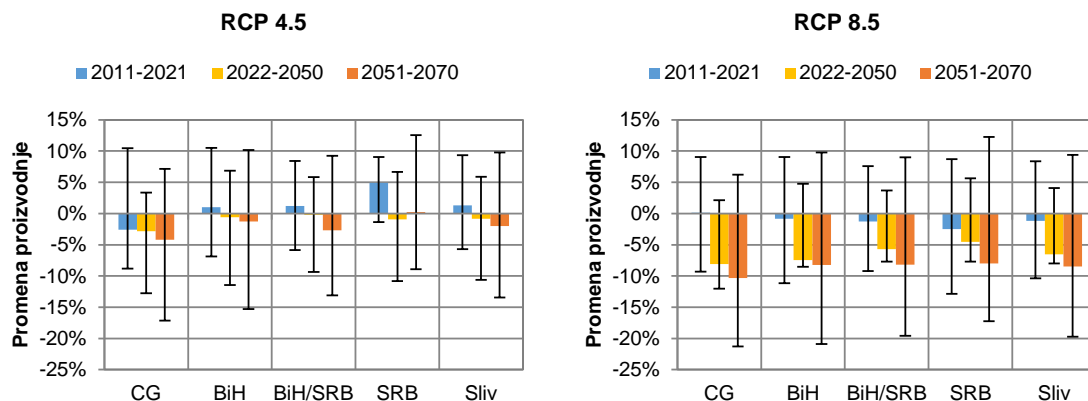
načno, u trećem periodu, 2051-2070, sve hidroelektrane planirane prema pojedinim razvojnim scenarijima su uključene u rad. Neizvesnosti usled klimatskog modeliranja u referentnom periodu su male (oko 3% u proseku na celom slivu), dok se u budućnosti povećavaju. U poslednjem periodu 2051-2070 neizvesnosti dostižu u proseku i 25% u odnosu na medijanu ansambla.



Slika 7: Godišnja proizvodnja energije na slivu Drine za različite razvojne scenarije; medijane ansambla za klimatske scenarije RCP 4.5 (gore) i RCP 8.5 (dole).



Slika 8: Prosečna godišnja proizvodnja energije na slivu Drine za različite razvojne scenarije; medijane ansambla za klimatske scenarije RCP 4.5 (levo) i RCP 8.5 (desno) sa rasponima rezultata prema različitim klimatskim modelima.



Slika 9: Uticaj klimatskih promena na prosečnu godišnju proizvodnju hidroenergije na slivu Drine u odnosu na 1961-1990 prema zelenom scenariju (samo postojeće HE); medijane ansambla za klimatske scenarije RCP 4.5 (levo) i RCP 8.5 (desno) sa rasponima rezultata prema različitim klimatskim modelima.

Da bi se ocenilo koliko iznose promene u odnosu na referentni period, neophodno je da se razdvoji uticaj klimatskih promena od uticaja uvođenja novih objekata u sistem prema razvojnim scenarijima. Uticaj klimatskih promena je prikazan na slici 9 za prosečnu godišnju proizvodnju hidroenergije na celom slivu prema zelenom scenariju. Ova slika pokazuje da je očekivan uticaj promene klime na hidroenergetiku veoma mali prema klimatskom scenariju RCP 4.5 (do oko 5%), dok bi prema klimatskom scenariju RCP 8.5 moglo da dođe do značajnijeg smanjenja proizvodnje zbog smanjenja oticaja (i do 10%). Na istoj slici se vidi i velika neizvesnost u pogledu uticaja promene klime na proizvodnju hidroenergije, koja potiče od klimatskog i hidrološkog modeliranja i koja je najveća u poslednjem razmatranom periodu 2051-2070.

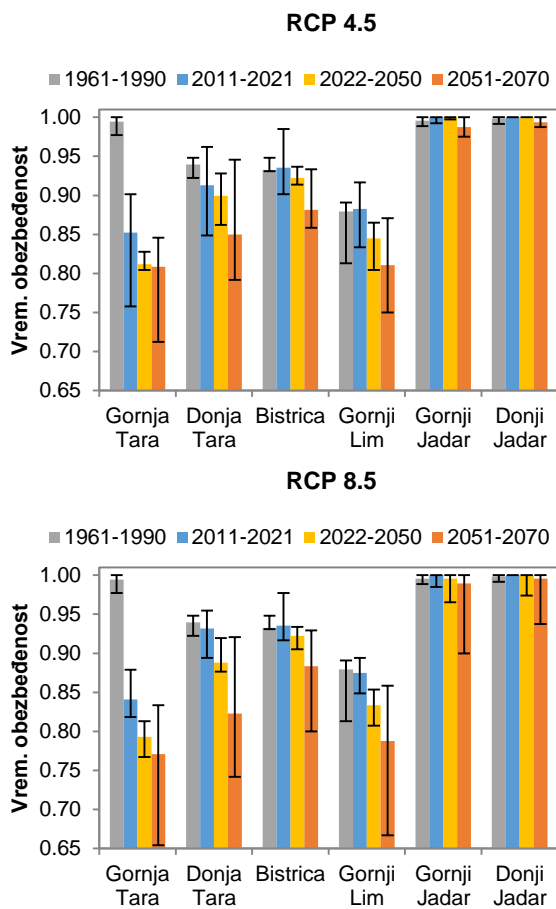
6.3. Zahtevani ekološki protoci

Simulacije su sprovedene sa preporučenim vrednostima ekoloških protoka i sa modifikovanim vrednostima koje daju najstrožije uslove u pogledu zadovoljenja ovih protoka. Kao što je rečeno u delu 5.1, zahtevi za ekološkim protocima su postavljeni u modelu na 36 profila na slivu. Među njima, 6 profila se nalazi u čeonim delovima sliva gde nema uzvodnih akumulacija kojima bi se mogao kontrolisati protok. Zahtevi za ekološkim protocima na ovim profilima su ipak uključeni u model da bi se sagledala njihova obezbeđenost u prirodnom hidrološkom režimu. Obezbeđenost zahtevanih minimuma na ovih šest profila je ista u svim razvojnim scenarijima jer se planirane akumulacije nalaze nizvodno od njih, pa ispuštanje vode iz akumulacija ne utiče na količine voda na

tim profilima. Zapreminska obezbeđenost zahtevanih protoka na ovim profilima opada kroz vreme sa smanjivanjem oticaja prema oba klimatska scenarija, osim na reci Jadar gde je obezbeđenost stalno visoka i ne opada ispod 99.7%. Na ostalim profilima zapreminska obezbeđenost veća je od 95% na Donjoj Tari i na Bistrici do 2050. godine i na Gornjem Limu do 2021. godine, dok je u periodu 2051-2070 manja od 95%. Vremenska obezbeđenost zahtevanih protoka na ovim profilima (slika 10) je manja od 95% za sve profile osim Jadra, i to u svim periodima (osim Gornje Tare u referentnom periodu). Neizvesnosti u pogledu obezbeđenosti su male u referentnom periodu i budućnosti do 2050. godine (manje od 3%). U poslednjem periodu 2051-2070 neizvesnosti usled klimatskog modeliranja su značajnije i u scenariju RCP 8.5 na pojedinim profilima dostižu 10% u odnosu na medijanu ansambla.

Simulacije su pokazale da su zahtevani garantovani protoci na profilima postojećih akumulacija i hidroelektrana (zeleni scenario) zadovoljeni u potpunosti tj. sa obezbeđenošću 100% svuda osim ispod akumulacija Radojnja, Zaovine i Potpeć. Na profilima planiranih akumulacija i hidroelektrana zahtevi za ekološkim protocima su zadovoljeni svuda osim na reci Lim.

Na profilima ispod akumulacija Zaovine, Radojnja i Potpeć obezbeđenost zahtevanih minimuma je veoma visoka i iznosi oko 99% jer zahtevi nisu zadovoljeni u svega nekoliko meseci (najviše 5 meseci, ali ne uzastopnih) tokom budućeg perioda 2011-2070 kada su prirodni dotoci veoma mali.



Slika 10: Vremenska obezbeđenost zahteva za ekološkim protocima uzvodno od planiranih akumulacija; medijana ansambla sa rasponima rezultata prema različitim klimatskim modelima za klimatske scenarije RCP 4.5 (gore) i RCP 8.5 (dole).

Osim profila ispod HE Potpeć, na reci Lim zahtevani minimumi nisu u potpunosti zadovoljeni na profilima nizvodno od planiranih objekata: akumulacija i HE Andrijevića, akumulacija i HE Lukin Vir, protočna HE Brodarevo 1, akumulacija i HE Brodarevo 2 i akumulacija i HE Mrsovo. Protočna HE Brodarevo 1 i akumulaciona HE Mrsovo su deo razvojnog scenarija "Srednji 1" i počinju sa radom 2047. odnosno 2040. godine. U scenariju "Srednji 1" na gornjem Limu se ne može upravljati zahtevanim protocima ni u jednom od navedenih profila jer nema uzvodnih akumulacija, pa rezultati pokazuju prirodnu hidrološku obezbeđenost zahtevanih protoka.

U razvojnog scenariju "Maksimizacija hidroenergetske proizvodnje", na gornjem Limu su aktivna sva četiri ob-

jekta, i to ak. Andrijevića od 2037. godine, a ostali objekti od 2047. godine. Zapreminska obezbeđenost zahtevanih protoka na ovim profilima je visoka na svim profilima kada se zahtevi zadovoljavaju ispuštanjem iz tri planirane akumulacije. Zahtevani protok nizvodno od HE Brodarevo 1 se obezbeđuje ispuštanjem iz uzvodnih akumulacija Lukin Vir i Andrijevića. Vremenska obezbeđenost zahtevanih protoka na ovom delu reke Lim ima slične vrednosti medijane ansambla kao i zapreminska obezbeđenost, ali uz nešto veću neizvesnost.

7. ZAKLJUČCI

Vodoprivredni model koji je razvijen za sliv reke Drine je alat za simulacije kojim se omogućava strateško planiranje na slivu u cilju predlaganja konfiguracije sistema za različite scenarije razvoja sliva i regiona. Sa vodoprivrednim modelom sliva Drine sprovedene su simulacije sa dva ansambla klimatskih/hidroloških projekcija prema dva klimatska scenarija kako bi se analizirao vodni bilans i raspodela voda pod različitim klimatskim, razvojnim i socio-ekonomskim scenarijima. Model omogućava vrlo jednostavno poređenje različitih varijanti, analizu i proveru robusnosti sistema, simulaciju budućih tendencija (varijabilnost klime i druge promene na slivu), kao i razmatranje efekata promena u planiranju i infrastrukturi.

Model je razvijen uz određene pretpostavke i ima određena ograničenja. S obzirom na mogućnosti softvera WEAP, model ne daje optimizovanu raspodelu količina vode pojedinim korisnicima, niti radi optimizaciju upravljanja akumulacijama. Softver WEAP vrši preraspodelu vode samo u jednom vremenskom preseku (u ovom slučaju mesecu) na osnovu zadatih prioriteta. U tom smislu model prikazuje poželjnu raspodelu vode korisnicima u pogledu prioriteta njihovog snabdevanja, a ne i optimalnu raspodelu prema nekom kriterijumu (npr. kriterijumu zapreminske obezbeđenosti ili finansijskim efektima isporuka).

Usvojeni mesečni vremenski korak omogućava razmatranje varijanti u strateškom planiranju, ali nije adekvatan za operativno upravljanje snabdevanjem vodom i radom akumulacija. Na taj način, ovaj model ne omogućava analizu efekata akumulacija u periodima velikih voda. Takođe, softver WEAP nema mogućnost automatskog modeliranja upravljačkih odluka kao što je npr. prepražnjenje akumulacije da bi se analizirao efekat takvih odluka na ublaženje poplavnog talasa.

Tokom razvoja modela najveći problem predstavljala je raspoloživost informacija koje su potrebne za razvoj vodoprivrednog modela ovako kompleksnog vodoprivrednog sistema kao što je sliv Drine. Sa gledišta pouzdanosti rezultata, najveći nedostatak modela je pretpostavka o neograničenim kapacitetima izvorišta podzemnih voda, koja je usvojena kao posledica nedostatka raspoloživih hidrogeoloških podataka. Sa takvom pretpostavkom je dobijeno da su potrebe za vodom svih potrošača uvek zadovoljene, što u realnosti verovatno ne bi uvek bio slučaj. S druge strane, rezultati koji se odnose na proizvodnju hidroenergije i obezbeđenost zahtevanih ekoloških protoka mogu se smatrati pouzdanijim, a neizvesnosti koje se mogu vezati za te rezultate potiču najvećim delom iz klimatskog i hidrološkog modeliranja.

Dalje unapređenje modela je moguće, i to najviše u pravcu dodavanja podataka o podzemnim vodama i poboljšanju kvaliteta podataka o snabdevanju vodom stanovništva i industrije. U okviru projekta "Podrška upravljanju vodnim resursima na slivu reke Drine" model je isporučen insitucijama na slivu, čime se omogućava da ove institucije, zadužene za vodoprivredu, pripremaju adekvatne planove i budu bolje pripremljene za donošenje odluka u budućnosti. Naravno, dalji razvoj modela bi trebalo da bude usaglašen između država na slivu, što je još jedan aspekt koji ukazuje na ultimativnu važnost prekogranične saradnje u integralnom upravljanju vodama na međunarodnim slivovima.

LITERATURA

- [1] RIBASIM – River Basin Simulation Model, Deltares. www.deltares.nl/en/software/ribasim/.
- [2] AQUATOOL, Instituto de Ingenieria del Agua y Medio Ambiente, Univerisitat Politecnica de Valencia. www.upv.es/aquatool/en/software_en.html.
- [3] MIKE BASIN, Danish Hydraulic Institute (DHI). www.mikepoweredbydhi.com/products/mike-hydro-basin.
- [4] WASP – Water Quality Analysis Simulation Program, United States Environmental Protection Agency. www.epa.gov/exposure-assessment-models/water-quality-analysis-simulation-program-wasp.
- [5] WEAP – Water Planning and Evaluation System, User Guide, Stockholm Environment Institute (SEI), 2015.
- [6] Podrška upravljanja vodnim resursima na slivu reke Drine, projekat Svetske banke br. 1099991, COWI Norway, Stucky i Institut za vodoprivredu "Jaroslav Černi", 2014-2017.
- [7] Plavšić J. i Dašić T.: "Vodoprivredni model sliva Drine u modelu WEAP", izveštaj u okviru projekta "Podrška upravljanja vodnim resursima na slivu reke Drine", Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, 2017.
- [8] Moss R, Babiker M., Brinkman S., Calvo E., Carter T., Edmonds J., Elgizouli I., Emori S., Erda L., Hibbard K., Jones R., Kainuma M., Kelleher J., Lamarque J.F., Manning M., Matthews B., Meehl J., Meyer L., Mitchell J., Nakicenovic N., O'Neill B., Pichs R., Riahi K., Rose S., Runci P., Stouffer R., van Vuuren D., Weyant J., Wilbanks T., van Ypersele J.P., Zurek M. (2008) Towards New Scenarios for Analysis of Emissions, Climate Change, Impacts, and Response Strategies. Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva.
- [9] Cubasch U., Wuebbles D., Chen D., Facchini M.C., Frame D., Mahowald N., Winther J.-G.: Introduction. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker T.F. et al. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2013.
- [10] Studija i plan integralnog upravljanja vodnim resursima – Osnovne informacije, nacionalni izveštaji, projekat Svetske Banke br. 1099991 "Podrška upravljanju vodnim resursima na slivu reke Drine", 2016.
- [11] Okvir za prioritizaciju investicija, nacionalni izveštaji, projekat Svetske Banke br. 1099991 "Podrška upravljanju vodnim resursima na slivu reke Drine", 2017.
- [12] Strategija upravljanja vodama na teritoriji Republike Srbije do 2034. godine. Ministarstvo poljoprivrede i zaštite životne sredine Republike Srbije, 2016.
- [13] Strategija integralnog upravljanja vodama Republike Srpske, Aneks 6: Navodnjavanje poljoprivrednog zemljišta, Zavod za vodoprivredu, Bijeljina, Vlada Republike Srpske, 2012.
- [14] Plan upravljanja oblasnim riječnim slivom rijeke Save Republike Srpske, Prateći dokument br. 4: Podzemne vode. Eptisa, 2015.
- [15] Plan upravljanja vodama za vodno područje rijeke Save u Federaciji Bosne i Hercegovine, Prateći dokument br. 4: Podzemne vode, Eptisa, 2015.

MODELLING THE DRINA RIVER BASIN WATER RESOURCES SYSTEM AND ANALYSIS OF SELECTED DEVELOPMENT AND CLIMATE SCENARIOS

by

Jasna PLAVŠIĆ, Tina DAŠIĆ and Ivan MILOVANOVIĆ
University of Belgrade, Faculty of Civil Engineering

Summary

The paper presents the methodological framework for the analysis of the Drina River basin water resources system under different development and climate scenarios. Within this methodological framework, a water management model of the Drina River basin is developed using the WEAP modelling software. The model describes the Drina River basin as a complex water resources system, which includes the natural water balance components and water demand by the users in the basin (municipal, industrial and agricultural water supply, reservoirs and hydropower facilities). Data on the natural hydrologic input is provided from a separate hydrologic model. The water management model serves as a tool for simulating water balance in the basin and for evaluating the system performance by

analysing the effects of different planned facilities under the impact of climate change. Several different development options in terms of new hydropower facilities are considered, as well as two climate change scenarios. The paper describes the development and the application of the Drina River basin water management model, while the results are evaluated by analysing the reliability of water supply, hydroenergy production and reliability of the environmental flow requirements. The aim of the paper is to demonstrate the abilities and limitations of modelling the water resources systems using the WEAP tool.

Key words: water resources systems, modelling, WEAP tool

Redigovano 12.10.2017.