

ANALIZA UPRAVLJANJA KASKADNIM HES POMOĆU SIMULINKA

Damjan IVETIĆ, Miloš MILAŠINOVIĆ, Dušan PRODANOVIĆ
Građevinski fakultet, Univerzitet u Beogradu

REZIME

Hydroenergetski sistemi (HES) spadaju u „zelene“ i obnovljive izvore energije. Na žalost, većina kvalitetnih lokacija je ili već iskorišćeno ili imaju značajna ograničenja, tako da se u poslednje vreme razmišlja o iskorišćenju i manje povoljnih lokacija. U takve lokacije spadaju i ravničarske reke, gde se nameću rešenja sa malim padovima, akumulacijama male zapremine i sa nizom elektrana povezanih u kaskadu. Kaskadni tip HES se od drugih rešenja izdvaja, između ostalog, i zbog svoje složenosti sa stanovišta pravilnog upravljanja. Hydroenergetski sistem sastavljen od više povezanih hidroelektrana u nizu čini jedan složen, nelinearan sistem u kome praktično rad svake hidroelektrane utiče na ceo sistem. Imajući u vidu složene hidrauličke veze između pojedinih elemenata ovih sistema, bitno je uspostaviti odgovarajući algoritam za upravljanje sistemom. U tu svrhu u okviru ovog rada je predstavljen model hipotetičkog kaskadnog hydroenergetskog sistema, razvijen u okviru MATLAB-ovog podokruženja SIMULINK. Matematičkim modelom difuzionog talasa modelirana je hidraulika rečnih deonica a proporcionalno – integrativno – derivativnom (PID) kontrolom modelirano je upravljanje radom prelivnih objekata. Prikazana je analiza uticaja različitih parametara PID kontrole na upravljačke odluke i na promene hidrauličkih parametara. Takođe ispitane su različite manevarske sposobnosti prelivnih objekata, kako bi se odredio njihov uticaj na rad upravljačkog sistema. Rezultati su prikazani za fiktivni HES sa malim padovima i malim akumulacionim prostorom.

Ključne reči: kaskadni hydroenergetski sistem, Simulink, upravljanje, difuzioni talas, PID kontrola

1. UVOD

Tendencija modernih društava u XXI veku je da se fosilni energenti zamene obnovljivim izvorima

energije, pri čemu se, kao jedno od najjednostavnijih i najpristupačnijih rešenja, nameće značajnije korišćenje hidropotencijala. Na osnovu javno dostupnih podataka Republika Srbija raspolaže sa 27200 GWh/god hidropotencijala [4] od čega se godišnje koristi oko 9000 GWh [9], odnosno, iskorišćenost je svega 33%. Poslednjih godina sve se češće priča o boljem iskorišćenju hydroenergetskog potencijala, kako bi se doprinelo stabilnosti energetskog sistema Republike Srbije. Primetna je i pojava brojnih stranih investitora koji nalaze interes u investiranju u izgradnju domaćih hydroenergetskih kapaciteta. Kao jedno od rešenja, za efikasno iskorišćenje hydroenergetskog potencijala, na određenim rekama se planiraju kaskadni hydroenergetski sistemi (HES), koji se sastoje od dve ili više redno povezanih hidroelektrana. Obično se radi o malim hidroelektranama [1] sa akumulacijama relativno male zapremine. Kaskadni HES se u mnogo čemu razlikuju u odnosu na ostala konvencionalna rešenja za iskorišćenje hydroenergetskog potencijala (derivacione i akumulacione hidroelektrane). U okviru jednog kaskadnog HES, hidroelektrane utiču međusobno jedna na drugu, formirajući na taj način složen sistem sa stanovišta upravljanja. Međusobni uticaj hidroelektrana u ovakvom sistemu najviše se ogleda kroz hidrauličke parametre, koji dalje najviše utiču na samu proizvodnju energije, koja predstavlja krajnji „proizvod“ ovog složenog sistema. Stoga se kao jedan od vitalnih zadataka nameće pravilno upravljanje kaskadnim HES.

Tema ovog rada je analiza upravljanja hipotetičkim kaskadnim HES na ravničarskoj reci sa malim raspoloživim padovima i akumulacijama malih zapremina. Kao osnova za rad upotrebljen je numerički model kaskadnih HES primenom matematičkog modela difuzionog talasa [2] koji je u okviru ovog rada unapređen boljom aproksimacijom geometrije korita i dodatnim upravljačkim elementima. Za geometriju hipotetičkog korita, iskorišćeni su podaci o deonici Velike Morave kod Čuprije, dužine 2066 m. Modeliranje i analiza upravljanja ovakvim HES urađena

je u okviru programskog jezika MATLAB, tačnije u okviru njegovog podokruženja Simulink. Napravljeni model bi mogao da se primeni i na realnim primerima, gde bi mogao da se koristi i u svrhe predikcije energetske proizvodnje elektrana.

Analiza upravljanja kaskadnim HES u okviru ovog rada zasniva se na modeliranju rečnih deonica (akumulacija malih zapremina) između susednih pregradnih objekata, kao i na modeliranju samih pregrada, tačnije regulacionih prelivnih objekata na pregradi, u cilju efikasnog upravljanja sistemom. Za modeliranje akumulacija korišćen je matematički model difuzionog talasa sa diskretizacijom jednačina na smaknutoj numeričkoj shemi. Postojeća, prirodna, geometrija rečne deonice aproksimirana je manjim brojem složenih aproksimiranih poprečnih preseka sa linearnom interpolacijom na računске preseke. Upravljanje radom regulacionih prelivnih objekata modelirano je primenom proporcionalno – integrativno - derivativne (PID) automatske kontrole na osnovu uspostavljene bezdimenzionalne veze između protoka i nivoa.

Sa naučno – istraživačkog i inženjerskog aspekta od izuzetnog značaja je ispitati kako određene upravljačke odluke utiču na hidrauličke parametre deonice. Ispitano je kako pojedine vrednosti kontrolnih parametara utiču na rezultate i određeni zaključci su izvedeni. Cilj analize upravljanja i rada kaskadnog HES je, kao što je prethodno pomenuto, ispitati uticaj različitih vrednosti kontrolnih parametara na hidrauličke parametre akumulacija a na osnovu tih rezultata ustanoviti koje su to vrednosti koje zadovoljavaju neke unapred definisane kriterijume za upravljanje. Pored toga, ispitivane su različite vrednosti parametara koji se odnose na manevarske sposobnosti prelivnih objekata (brzina otvaranja/zatvaranja) u cilju određivanja vrednosti koja u određenoj meri, može da prati komande PID kontrole a da pri tome ne ugrožava fizička ograničenja rada prelivnih objekata, kao i da ne ugrožava rad preostalog dela HES stvaranjem poplavnih talasa. U tu svrhu ispitana je dinamika sistema pri različitim dispozicijama, tj. u slučajevima kada se ne razmatraju manevarske sposobnosti prelivnih objekata i suprotno.

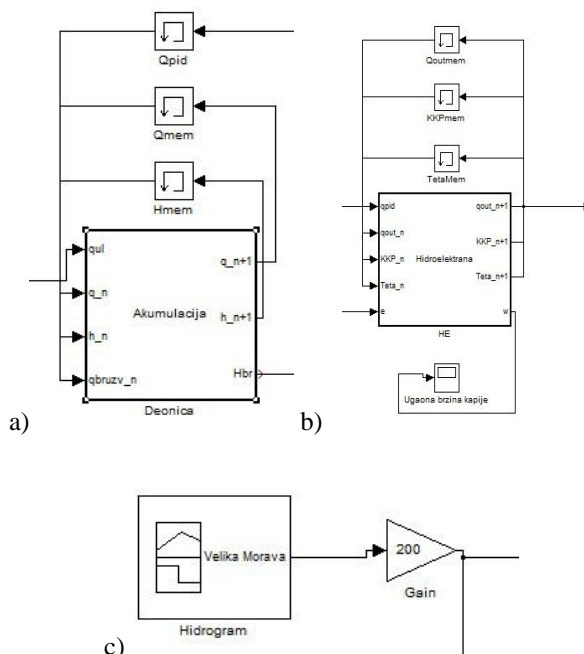
2. METODOLOGIJA

Analiza mogućnosti upravljanja kaskadnim HES je sprovedena na fiktivnom sistemu, na ravničarskoj reci sa malim padom i sa malim retenzionim prostorom. Za izradu modela kaskadnog hidroenergetskog sistema korišćen je programski jezik MATLAB, tačnije njegovo podokruženje Simulink. Osnovni elementi modela su

akumulacije, hidroelektrane, PID kontrole i ulazni hidrogrami, koji su opisani u poglavlju 2.1. Elementi modela su postavljeni tako da izlaz iz jednog predstavlja ulaz u drugi element (npr ulaz u element koji se odnosi na hidroelektranu je izlaz iz elementa koji se odnosi na akumulaciju). Matematički model neustaljenog tečenja se koristi za modeliranje akumulacija, dok se matematički aparat PID kontrole koristi za modeliranje automatskog upravljanja prelivnim objektima. Korišćen je veštački jedinični hidrogram kao ulaz u sistem kako bi se analizirao rad prelivnih objekata i uticaj rada na osnovne hidrauličke parametre akumulacije.

2.1. Primena Simulink-a za modeliranje HES

Konceptualni model kaskadnog HES formiran je u Simulink okruženju. Simulink se koristi za analizu rada različitih sistema i uređaja, kao što su složeni energetske sistemi, sistemi za obradu signala itd. Odlika ovog okruženja je da poseduje biblioteku gotovih elemenata za različite matematičke i logičke operacije, ispisivanje rezultata, zadavanje ulaznih signala, memorisanje podataka, kontrolne funkcije itd.



Slika 1. Osnovni elementi modela hidroenergetskog sistema: a) Akumulacija, b) Hidroelektrana i c) Hidrogram

Pored gotovih elemenata Simulink pruža mogućnost i kreiranja sopstvenih elemenata koji su korišćeni za

modeliranje HES-a. Izgled osnovnih elemenata korišćenih za modeliranje HES dat je na slici 1. Razvijeni elementi Akumulacija i Hidroelektrana su implementirani u ugrađene funkcije (eng. Embedded function). Ove funkcije izvršavaju operacije predviđene kodom u jednom vremenskom koraku pa je zbog toga bilo potrebno koristiti memorijske blokove (Qmem, Hmem,...) u kojima su čuvane vrednosti hidrauličkih parametara iz prethodnog vremenskog koraka za potrebe numeričkog modela. Treći element Hidrogram omogućava unošenje osmotrenih ili veštačkih hidrograma ručnim podešavanjem ili učitavanjem iz nekog od fajlova.

2.2. Matematički i numerički model akumulacije

Za modeliranje hidraulike akumulacija, ili rečnih deonica između susednih hidroelektrana, osnovu predstavljaju Sen – Venanove jednačine u kojima kao nepoznate figurišu dubina h i protok Q . Sređivanjem odnosno skraćivanjem polaznih jednačina dolazi se do sledećeg oblika koji predstavlja matematički model akumulacije (rečne deonice):

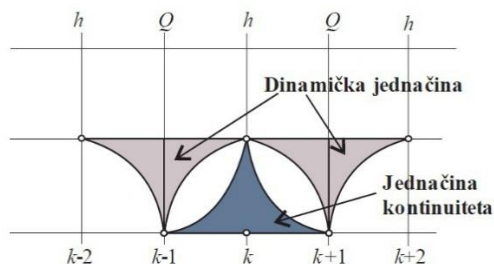
$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{1}{B} \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \tag{1}$$

$$\frac{1}{gA} \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial h}{\partial x} + I_d + \frac{C_t}{2g} \frac{Q^2}{A^2 R} = 0 \tag{2}$$

gde je B – širina vodenog ogledala, A – površina poprečnog preseka, R – hidraulički radijus, I_0 – nagib dna, C_t – koeficijent tangencijalnog napona.

Jednačina (1) predstavlja jednačinu kontinuiteta, dok je jednačina (2) dinamička jednačina. U zavisnosti od uprošćenja dinamičke jednačine (2) koriste se različiti matematički modeli neustaljenog tečenja u otvorenim tokovima. Za modeliranje rečnih deonica u okviru ovog rada korišćen je matematički model difuzionog talasa koji sadrži članove koji se odnose na uticaje trenja i sile težine, kao i član kojim se u obzir uzima i uticaj uspora. Pored ovih članova model difuzionog talasa korišćen u ovom radu razlikuje se od klasičnog modela zbog korišćenja i člana $\partial Q / \partial t$ kojim se u model uvodi i uticaj povratnog tečenja.

Jednačine (1) i (2) diskretizuju se metodom konačnih razlika na smaknutoj računskoj shemi na kojoj se naizmenično menjaju preseki u kojima se računaju protok Q i dubina h . Računska shema data je na slici 2:



Slika 2. Smaknuta numerička shema za model difuzionog talasa

Diskretizacijom prema prethodnoj računskoj shemi dolazi se do sledećih jednačina koje je potrebno rešavati:

$$h_k^{n+1} = h_k^n - \frac{\Delta t}{B} \frac{Q_{k+1}^n - Q_{k-1}^n}{2\Delta x} \tag{3}$$

$$Q_{k+1}^{n+1} = \frac{\frac{Q_{k+1}^n}{g \left(\frac{A_{k+2}^{n+1} + A_k^{n+1}}{2} \right) \Delta t} + I_d - \frac{h_{k+2}^{n+1} - h_k^{n+1}}{\Delta x}}{\frac{1}{g \left(\frac{A_{k+2}^{n+1} + A_k^{n+1}}{2} \right) \Delta t} + K_1^* |Q_{k+1}^n|} \tag{4}$$

$$K_1^* = \frac{n^2}{\left(\frac{A_{k+2}^{n+1} + A_k^{n+1}}{2} \right)^2 \cdot \left(\frac{R_{k+2}^{n+1} + R_k^{n+1}}{2} \right)^{3/2}} \tag{5}$$

2.3. KONCEPTUALNI MODEL KONTROLE

Za kontrolu rada hidroelektrane, iskorišćen je PID (proporcionalno – integrativno - derivativna) element iz SIMULINK-a. PID kontrola je matematički aparat koji se najčešće koristi u industrijskim procesima. PID kontinualno računa vrednost greške (error) koja predstavlja razliku između trenutne, izmerene, vrednosti procesne promenljive (proces variable) koja se želi kontrolisati, neke referentne vrednosti (setpoint) koju bi trebalo dostići i prethodnih vrednosti grešaka. PID kontrola teži da smanji vrednost greške tokom vremena podešavanjem kontrolne promenljive (control variable). U konkretnom slučaju koji je vezan za upravljanje HES procesna promenljiva koju treba održavati je nivo neposredno uz prelivni objekat, jer nam on predstavlja bruto pad na posmatranoj HE, preko izlaznog protoka kao kontrolne promenljive. Cilj je jasan, ukoliko se

problem posmatra kroz prizmu energetske proizvodnje, a to je da se bruto pada održava na maksimalnom mogućem nivou. Opšta veza između vrednosti greške i izlaznog protoka kao kontrolne promenljive ima sledeći oblik:

$$q_{izl} = K_p e(t) + K_I \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{de}{dt} \quad (6)$$

gde je K_p – proporcionalni koeficijent, K_I – integrativni koeficijent i K_d – derivativni koeficijent, koji se često obeležavaju kao P , I i D , respektivno, $e(t) = (h(t) - h_{ref}) / h_{ref}$ - greška (bezdimenzionalna vrednost nivoa uz preliv), a $q_{izl} = (Q(t) - Q_{ref}) / Q_{ref}$ - kontrolna promenljiva (bezdimenzionalni izlazni protok). P se odnosi na trenutne vrednosti greške (ako imamo veliko i pozitivno odstupanje nivoa od referentnog i izlazni protok će biti veliki i pozitivan), I se odnosi na prethodne vrednosti greške (ukoliko su vrednosti izlaznog protoka u nekom prethodnom periodu bile male, tj. primenom samo P parametra dobijaju se mali izlazni protoci, I komponenta sumira greške u tom vremenskom periodu kako bi proporcionalno toj sumi isпустиła veći protok) dok se D odnosi na pretpostavljene buduće greške računajući da će nagib promene greške (prvi izvod po vremenu) ostati isti. Česti su slučajevi kada se koriste samo neke od komponenti PID – a za kontrolu, pa se često javljaju PI ili PD kontrole.

U radu su korišćene proporcionalna i integrativna komponenta (PI). Zbog složenosti kaskadnog HES, u kojem rad jedne hidroelektrane utiče na rad nizvodne hidroelektrane, tj. rad nizvodne hidroelektrane zavisi od rada uzvodne, u cilju prilagođavanja svim promenama

koje nastaju na uzvodnoj HE uvedena je komponenta q_{ff} , tzv. FEED FORWARD, kojom se vrši prenos informacija sa uzvodne na nizvodnu HE:

$$q_{izl} = K_p e(t) + K_I \int_0^t e(t) dt + q_{ff} \quad (7)$$

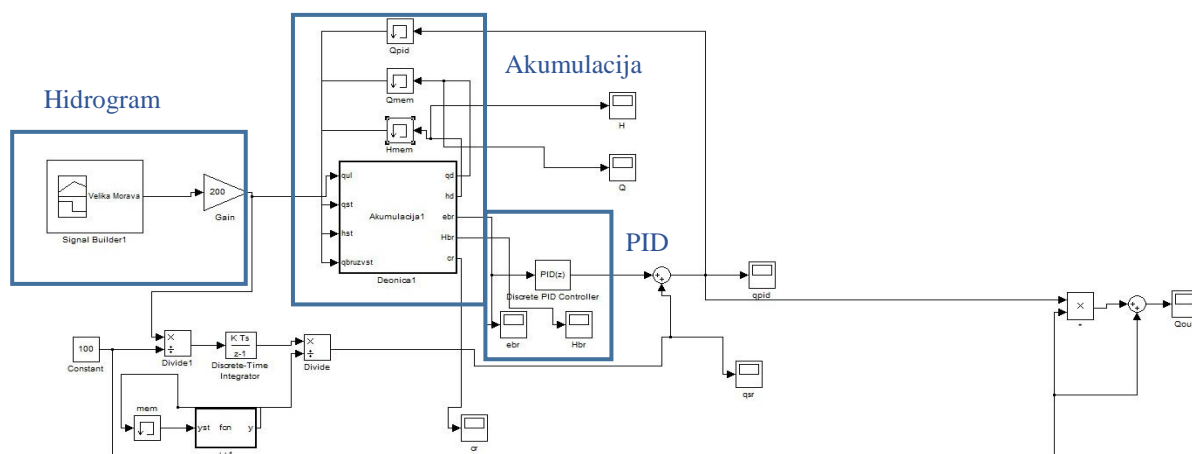
U nastavku će biti prikazani rezultati kojima se opisuje uticaj koeficijenata K_p i K_I , kao i prilagođavanje ograničenih manevarskih mogućnosti prelivnih objekata u cilju održavanja nivoa.

3. PRIMER PRIMENE UPRAVLJANJA I REZULTATI

Hipotetički kaskadni HES se sastoji od više protočnih hidroelektrana sa po dve Bulb turbine, segmentnim ustavama za evakuaciju velikih voda i rotirajućih klapni za regulaciju protoka. Uzima se da sve hidroelektrane imaju istu instalisanu snagu, protok i referentni nivo uz preliv (veličina koji treba održavati). Instalirani protok je $100 \text{ m}^3/\text{s}$ dok je referentni nivo 5 m iznad dna kanala. Sama geometrija korita je urađena prema deonici Velike Morave kod Čuprije.

3.1. Primer akumulacije sa PID kontrolom na nizvodnom kraju

Kako bi se sagledao uticaj PID kontrole kao graničnog uslova kojim se upravlja nivoom neposredno uz hidroelektranu, razmatrana je dispozicija sistema prikazana na slici 3, na kojoj su jasno obeleženi ključni elementi modela. Napominje se da u ovom slučaju rad hidroelektrane nije modeliran, budući da je ideja da se sa najjednostavnijim primerom testira sposobnost PID kontrole da donosi upravljačke odluke.



Slika 3. Rečne deonice (akumulacija) sa PID kontrolom kao nizvodnim graničnim uslovom

3.2. Primer akumulacije sa PID kontrolom na nizvodnom kraju i modelom rada hidroelektrane

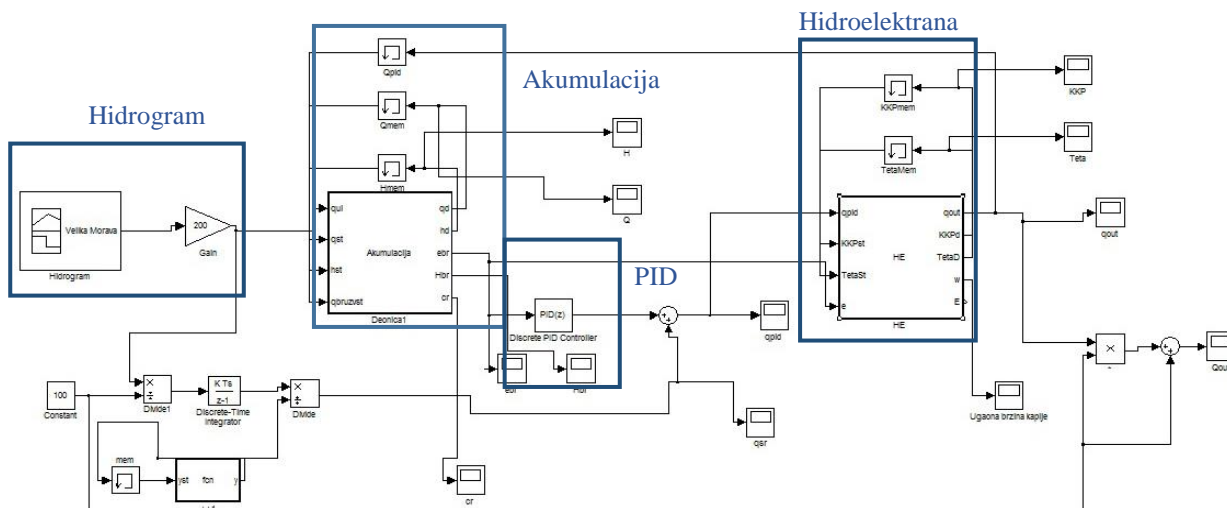
Korišćena PID kontrola kao granični uslov jedini cilj ima da, kao što je već pomenuto, smanji grešku tokom vremena, a pri tome kao kontrolnu promenljivu daje neku vrednost izlaznog protoka (protok kroz turbine + protok preko preliva) kojom nastoji da smanji odstupanje nivoa ispred ustave od referentnog nivoa. Ako je zahtevani protok veći od instalisanog, jedini način da se taj protok evakuše u nizvodnu akumulaciju je pravilnim manevrima prelivnih objekata (u ovom slučaju prelivnih klapni). Ono što se javlja kao problem je to što prelivni objekti imaju neku konačnu vrednost manevarisanja. Imajući ovu činjenicu u vidu, jasno je da oni nisu uvek u mogućnosti da evakušu onoliko protoka koliko je to "savetovano" PID kontrolom. Kao posledica toga dolazi do dužeg vremenskog perioda u kom se odstupanje nivoa svodi na neko prihvatljivo kao i na veće oscilacije nivoa. Zbog toga je potrebno odrediti i odgovarajuću brzinu otvaranja/zatvaranja klapni kako bi oscilacije bile što manje. Za potrebe toga formiran je model rada pregradnog objekta čija je dispozicija prikazana na slici 4.

4. REZULTATI

Prvo su predstavljene rezultati za dispoziciju sistema prezentovanu u okviru odeljka 3.1. gde je izostavljen model hidroelektrane. Ispitivan je uticaj različitih

vrednosti kontrolnih parametara K_p i K_i . U prvom slučaju predstavljene su rezultati simulacije u kojoj, u okviru PID kontrole, figuriše samo proporcionalni faktor i to sa vrednošću odgovarajućeg koeficijenta od $K_p = 50$. Hidrogrami u svim računskim presecima modela akumulacije su prikazani na slici 5. a odstupanja protoka i nivoa u preseku uz pregradu su prikazani na slici 6. U drugom slučaju je uključen i integrativni faktor PID kontrole sa vrednošću koeficijenta od $K_i = 0,01$, dok je vrednost proporcijalnog koeficijenta duplirana u odnosu na prvi slučaj i iznosi $K_p = 100$. Odgovarajući hidrogrami u računskim presecima, kao i odstupanja protoka i nivoa su prikazani na slikama 7. i 8. respektivno.

Sledeća je ispitana i dispozicija opisana u okviru poglavlja 3.2. odnosno dispozicija sa uključenim modelom hidroelektrane. Za shemu prikazanoj na slici 4., u kojoj se, za vrednosti kontrolnih parametara $K_p=100$ i $K_i=0,01$ uključuje i model hidroelektrane ispitana je uticaj dve vrednosti brzine otvaranja/zatvaranja ω regulacionih prelivnih klapni. Prvo je proverena vrednost ugaone brzine pomeranja prelivne klapne od $\omega = 2,25$ deg/min, i odgovarajuće promene protoka, nivoa uz pregradu i kote krune preliva (KKP odgovara koti gornje ivice prelivne klapne) su prikazane na slici 9. Zatim su za vrednost ugaone brzine od $\omega = 22,5$ deg/min, isti rezultati prikazani na slici 10.

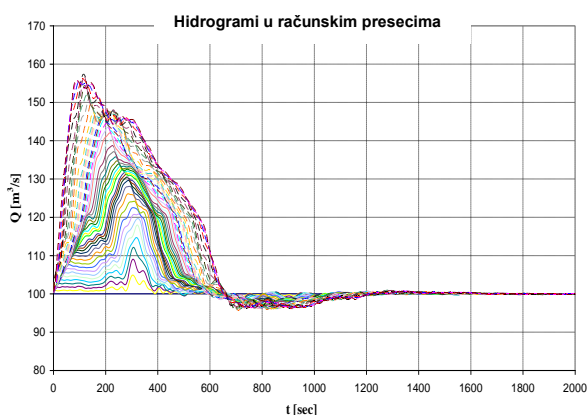


Slika 4. Shema akumulacije sa PID kontrolom i hidroelektrane u Simulink-u

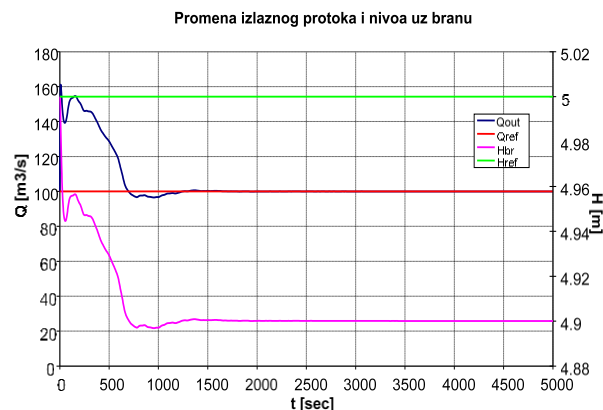
5. DISKUSIJA

Na osnovu prikazanih rezultata simulacija vidi se da različite vrednosti kontrolnih parametara izuzetno utiču na vrednosti svih promenljivih od značaja. Rezultati dobijeni za slučaj kada se u okviru kontrole koristila samo proporcionalna komponenta pokazuju da ni posle dužeg vremenskog perioda nivo kojim se upravlja nema tendenciju približavanja referentnom nivou, već se ustaljuje oko neke druge, manje, vrednosti. Zbog toga je potrebno uključiti i integrativnu komponentu u okviru kontrole, što je i učinjeno nakon čega se u rezultatima (slika 8.) vidi tendencija približavanja nivoa referentnoj vrednosti. Može se konstatovati da je za upotrebu PID tipa kontrole u ovakvim analizama neophodno koristiti i proporcionalnu i integrativnu komponentu.

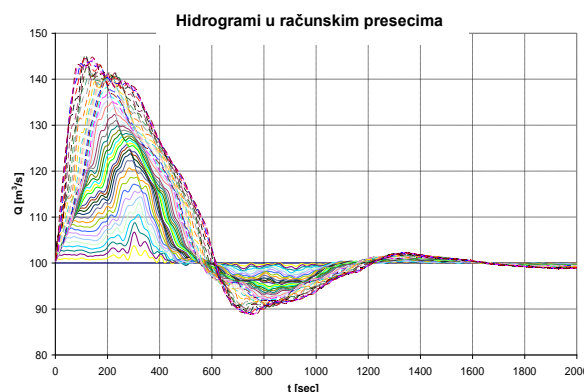
U drugoj varijanti, kada se uključuje i model hidroelektrane, ispitan je uticaj dve vrednosti brzina otvaranja/zatvaranja prelivnih objekata. Za veću vrednost brzine manevrisanja (22,5 deg/min) dobijena su manja odstupanja nivoa uz branu od referentne vrednosti nego što je to bio slučaj za manju brzinu (2,25 deg/min). Međutim, korišćenje veće brzine manevrisanja indukuje veći pik na izlaznom hidrogramu, a pored toga dovodi i do znatno intezivnijeg pomeranja klapne (u jednom vremenskom trenutku se spušta, a odmah u narednom ju je potrebno podići) što nije zgodno sa stanovišta radnog veka uređaja za pokretanje prelivnih objekata. Uputno je napomenuti da je prebrzim manevrima prelivnom klapnom (tačnije prebrzim otvaranjem), moguće čak indukovati i manji poplavni talas nizvodno prelivnog objekta što je svakako nepoželjno.



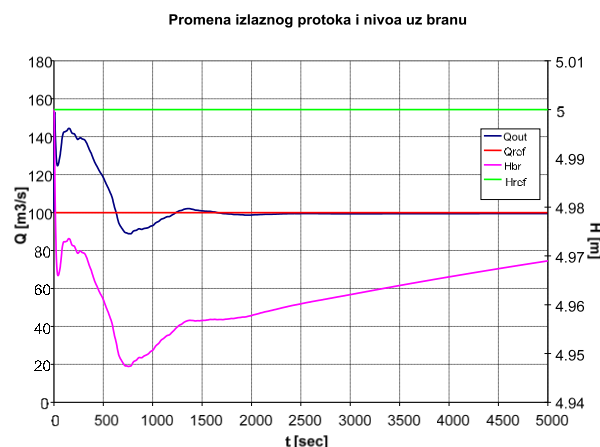
Slika 5. Hidrogrami u računskim preseccima za $K_p=50$ i $K_i=0$



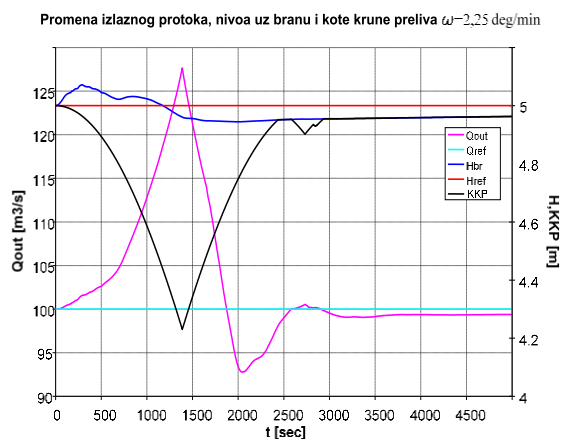
Slika 6. Izlazni protok i nivo uz branu za $K_p=50$ i $K_i=0$



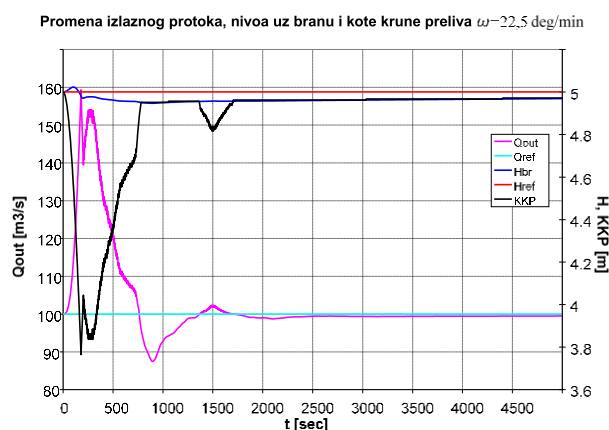
Slika 7. Hidrogrami u računskim preseccima za $K_p=100$ i $K_i=0,01$



Slika 8. Izlazni protok i nivo uz branu za $K_p=100$ i $K_i=0,01$



Slika 9. Izlazni protok, nivo uz HE i kota krune preliva za $\omega=2,25$ deg/min



Slika 10. Izlazni protok, nivo uz HE i kota krune preliva za $\omega=22,5$ deg/min

6. ZAKLJUČAK

Iskorišćenje hidroenergetskog potencijala pojedinih reka u Srbiji koje nemaju mogućnost formiranja velikih akumulacija, nameće rešenje u vidu kaskadnih hidroenergetskih sistema sa protočnim hidroelektranama. Kao veoma skupi i gotovo uvek na granici isplativosti, kaskadni HES, koji energetske proizvodnje zasnivaju na trenutnim vrednostima protoka i nivoa, zahtevaju pravilno upravljanje regulacionim prelivnim objektima pre svega u cilju održavanja nivoa.

Može se videti da je ispitivani algoritam upravljanja nivoom u različitim slučajevima dovodio do zadovoljavajućih rezultata sa stanovišta održavanja nivoa neposredno uz pregradni objekat. Ono što se

nameće kao problem u upravljanju nivoom jesu ograničene manevarske sposobnosti prelivnih objekata, što dovodi do usporavanja procesa ustaljivanja nivoa, odnosno do većih oscilacija. Zbog toga je potrebno pažljivo odrediti vrednosti kontrolnih parametara i pokušati da se manevri prelivnih objekata što više prilagode tim parametrima. U praktičnoj primeni ovakvih algoritama, „*trial and error*“ metoda za određivanje kontrolnih parametara PID kontrole može zahtevati dug vremenski period i pitanje je da li će se uvek doći do nekih optimalnih vrednosti. Imajući u vidu navedene činjenice, jasna je potreba za daljom razradom predloženog algoritma upravljanja.

Kao neke od tema narednih istraživanja povezanih sa ovim problemom nameću se istraživanja o optimizaciji upravljanja ovakvim sistemom sa stanovišta maksimizacije energetske proizvodnje i zaštite priobalja, poboljšanje modela prenosom informacija o upravljanju sa jedne hidroelektrane na više nizvodnih, za razliku od modela opisanog u ovom radu koji prenosi informacije samo na susednu hidroelektranu, podešavanje manevara prelivnih objekata u cilju što boljeg prilagodjavanja PID kontroli itd.

Napominje se da se rezultati dobijeni primenom predloženog algoritma odnose na aproksimiranu geometriju akumulacija, čime se unosi značajna greška u model koji može poslužiti za analizu upravljanja hidroenergetskim sistemima na nižim nivoima projektovanja, dok bi se za detaljnije i tačnije modeliranje upravljanja koristiti prirodna geometrija.

ZAHVALNOST

Autori se zahvaljuju Ministarstvu nauke, prosvete i tehnološkog razvoja Republike Srbije na podršci u realizaciji projekta TR37010 pod nazivom: „Sistemi za odvođenje kišnih voda kao deo urbane i saobraćajne infrastrukture“, čiji je sastavni deo bilo ovo istraživanje.

LITERATURA

- [1] Stevović, S. (2005): Značaj i namena malih hidroelektrana i malih akumulacija, Vodoprivreda, 37, br. 4-6, str. 299-304
- [2] Ivetić, D. (2015): Upravljanje prelivnim objektima kaskadnog HES Zapadna Morava, Građevinski fakultet, Beograd, Srbija
- [3] Gullhamn, E. (2004): Control of water content and retention in hydropower plant cascades, KTH Signals Sensors and Systems, Stockholm, Sweden

- [4] Astrom, K. J. (2002): Control System Design, University of California, Santa Barbara
- [5] Đorđević, B. (2001): Hidroenergetsko korišćenje voda, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, Srbija
- [6] Foo, M., Ooi, S. K., Weyer, E. (2013): Centralised and decentralised control of the Broken river, European control conference, Zurich, Switzerland
- [7] Hartmut, L., Eckhard, A. (2002): Model based predictive control of river reservoirs, 15th Triennial World Congress, Barcelona, Spain
- [8] Rantz, S. E. et al (1982): Measurement and Computation of Streamflow: Volume 2. Computation of discharge, United States Government Printing Office, Washington, USA
- [9] Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“, Zavod za brane, hidroenergetiku, rudnike i saobraćajnice: Hidroelektrane na Ibru – generalni projekat, Beograd, Srbija, 2010.
- [10] Elektroprivreda Srbije: Izveštaj za 2011. godinu, Beograd, Srbija, 2011.
- [11] Divac, D., Grujović, N. (2004): Konceptija simulacionog modela sliva Drine, Vodoprivreda, 36, br. 1-2, str. 77-86

ANALYSIS OF CASCADED HYDROPOWER SYSTEM CONTROL IN SIMULINK

by

Damjan IVETIĆ, Miloš MILAŠINOVIĆ, Dušan PRODANOVIĆ
Faculty of Civil Engineering, University of Belgrade

Summary

Hydropower Systems (HES) fall into the "green" and renewable energy sources. Unfortunately, most of the quality sites are either already occupied or have significant physical limitations, so lately, utilization of the less favorable locations is analyzed. Such locations include lowland rivers, where the solutions with small falls, accumulations of small volume and with a number of power plants connected in cascade, are imposed. Cascaded HPS stands out amongst other solutions, because of its complexity from the control point of view. Hydropower system composed of several connected hydropower plants in a row makes a complex, nonlinear system where practically work of all hydropower plants affect some part of the system. Bearing in mind the complex hydraulic connections between the individual elements of these systems, it is essential to establish an appropriate algorithm for system control. For this purpose, in this paper, a model

of a hypothetical cascaded hydropower system is presented, developed within the MATLAB's subenvironment, SIMULINK. The mathematical model of diffusive wave is used for the modeling of river hydraulics and proportional - integrative - derivative (PID) control was used for the modeling of the operation of overflow facilities. The analysis of the influence of different parameters of the PID on the control decisions and changes of hydraulic parameters, is presented. Also, different maneuverability characteristics of overflow facilities were tested in order to determine their impact on the operation of the control system. Results are shown for the fictitious HPS with small head and a small storage volume.

Keywords: cascaded hydropower system, Simulink, control, diffusive wave, PID control

Redigovano 18.11.2015.