

Mr. sc. Ranko Goić, dipl. ing.  
Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje – Split  
Marko Lovrić, dipl. ing.  
HEP, Prijenosno područje Split  
Nedjeljko Šimundić, dipl. ing.  
Dr. sc. Mladen Petrićec, dipl. ing.  
Hrvatske vode, Zagreb

## **PLANIRANJE RADA HIDROENERGETSKOG SUSTAVA ORLOVAC**

### **SAŽETAK**

U ovom radu izložena je problematika rada i planiranja HES-a Orlovac odnosno načina korištenja akumulacije Buško Blato kao njegova ključnog objekta. Dani su neki osnovni tehnički, hidrološki i energetski pokazatelji dosadašnjeg načina korištenja HES-a Orlovac, na osnovu kojih su definirani zahtjevi i model pomoću kojega je moguće povećati energetski doprinos HE Orlovac. To se postiže u okviru zadanih ograničenja, usvajanjem optimalnih poželjnih razina akumulacije Buško Blato, koje uz definirani model upravljanja osiguravaju najmanje gubitke procjeđivanja iz akumulacije, tj. optimalno energetsko iskorištenje prirodnih dotoka. Proračuni su izvršeni na 25-godišnjem uzorku dnevnih dotoka u kompenzacijski bazen Lipa i akumulaciju Buško Blato, za četiri različite varijante energetskih zahtjeva (ograničenja). Ustanovljen je mogući energetski doprinos u iznosu oko 100 GWh godišnje.

**Ključne riječi:** HES Orlovac, planiranje, poželjne razine, energetski doprinos

## **ORLOVAC HYDROELECTRIC SYSTEM PLANNING**

### **ABSTRACT**

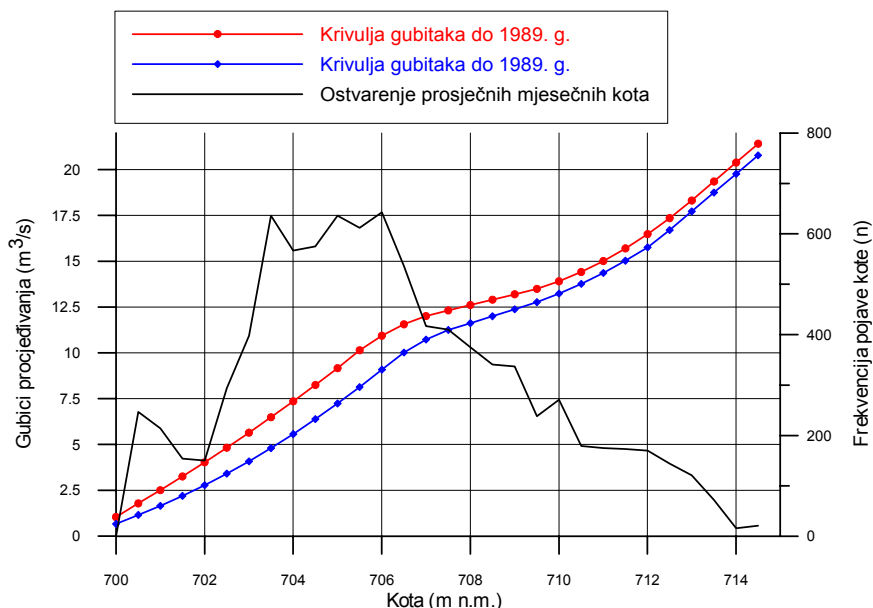
This work presents the problem of management of Orlovac hydroelectric system (HES), anent the way of using the Buško Blato reservoir as its key part. The basic technical, hydrologic and energetic indicators of existing way of using the Orlovac HES are shown, which are the basis for defining the requisitions and the model which can be used for increasing production of Orlovac power plant. It can be done in the frame of given constraints, adopting the new optimal desirable elevations of Buško Blato reservoir, which can insure, along with defined management model, the minimal infiltration losses from reservoir and optimal using the natural inflows for power production. Calculations are done on the basis of 25 years sample of daily inflows in the Lipa compensation basin and Buško Blato reservoir, for 4 different variants of power system requests (constraints). The possible production increasing of about 100 GWh per annum is ascertained.

**Key words:** Orlovac hydroelectric system, planning, desirable elevations, production increasing

## 1. UVOD

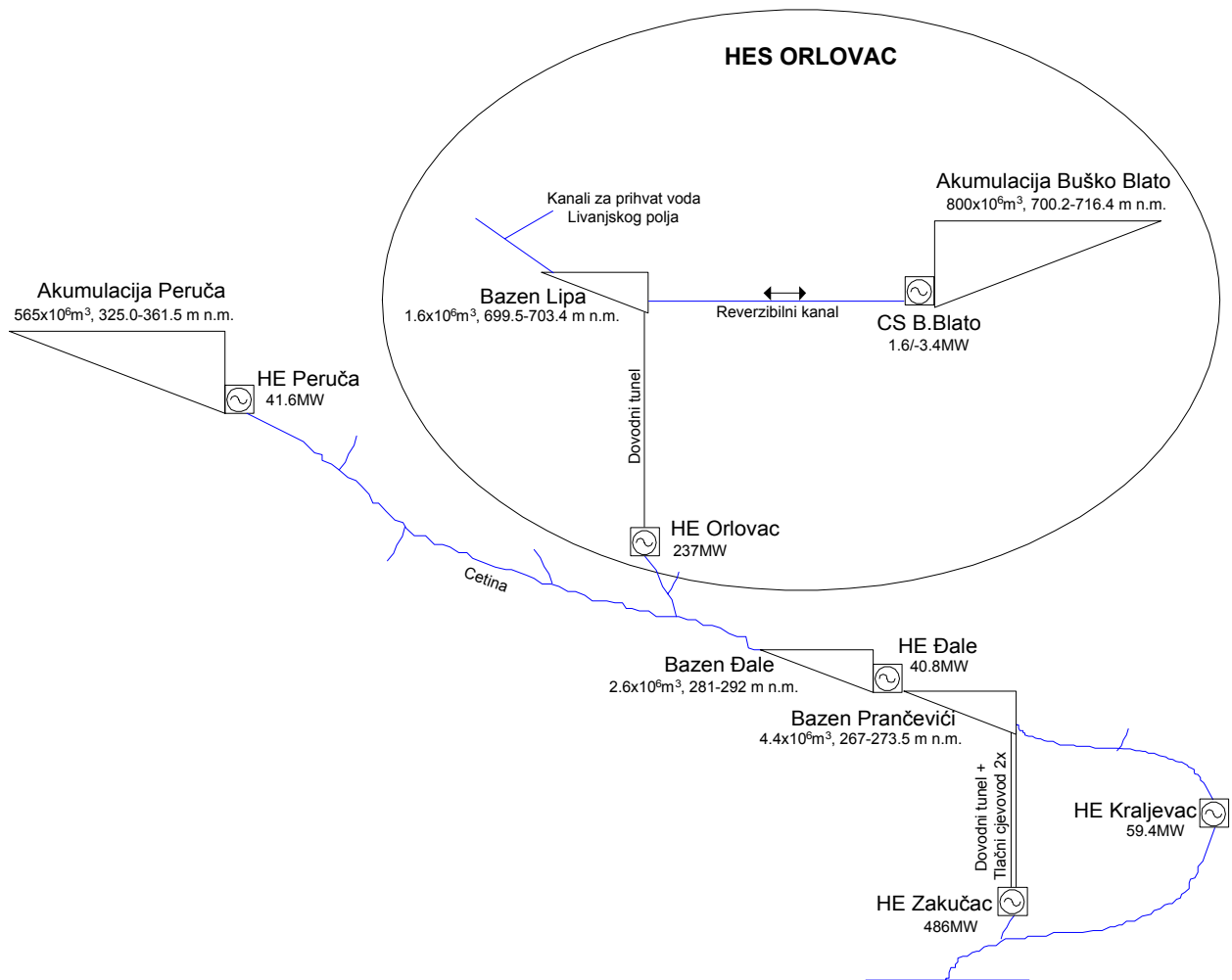
Planiranje korištenja velikih akumulacijskih bazena za proizvodnju električne energije vrlo je zahtjevan i složen problem. Osim zahtjeva i ograničenja koji su posljedica traženja optimalnog režima rada u energetske svrhe, planiranje je uvjetovano i zahtjevima ostalih korisnika, te zahtjevima obrane od poplava. Za potrebe planiranja potrebno je uvažiti i brojne stohastičke parametre, među kojima je redovito najveći problem dotoka odnosno varijabilnosti istih. Značaj kvalitetnog planiranja korištenja akumulacijskih bazena zadnjih godina dobiva i novu dimenziju kroz sve veće otvaranje tržišta električne energije. Naime, odgovarajućim načinom upravljanja odnosno raspodjelom korištenja vode iz akumulacija tijekom godine, mogu se ostvariti dodatni ekonomski efekti u slučaju da cijena električne energije bitnije varira tijekom godine.

U ovom radu dan je prikaz jednog specifičnog slučaja planiranja korištenja velikog akumulacijskog bazena, uvjetovanog prvenstveno vrlo velikim gubicima procjeđivanja iz akumulacije. Radi se o akumulacijskom bazenu Buško Blato, jednoj od većih akumulacija u Evropi. Akumulacija je izgrađena prije 25 godina, a podaci o ostvarenoj proizvodnji u navedenom periodu pokazuju vrlo velike gubitke, zbog kojih je prije 12 godina izvršena i djelomična sanacija korita, koja nije donijela bitnija poboljšanja u smislu smanjenja gubitaka procjeđivanja, a s obzirom na vrlo velike troškove daljnjih zabrtvljivanja i nepouzdana procjene efekata istih, za očekivati je da će i u daljnjem korištenju akumulacije gubici biti veliki. Uzrok velikih gubitaka procjeđivanja je struktura tla na kojoj leži akumulacija. Radi se o izrazito kraškom području sa velikim brojem ponora, a sama akumulacija ima veliku površinu ( $57 \times 10^6 \text{ m}^2$ ) s obzirom na volumen ( $800 \times 10^6 \text{ m}^3$ ). Hidrološkim istraživanjima je ustanovljena krivulja gubitaka u ovisnosti o razini vode u akumulaciji, što je prikazano na slici 1 preko odgovarajućih prosječnih vrijednosti krivulja gubitaka za period do izvođenja radova na djelomičnom zabrtvljenju i nakon radova. Na slici 1 je također prikazana i frekvencija ostvarenja prosječnih mjesečnih kota u periodu 1975-1999. g. S obzirom da prosječni godišnji direktni dotoci u akumulaciju iznose oko  $10 \text{ m}^3/\text{s}$ , jasno je kolika je mala iskoristivost istih, pogotovo pri većim razinama akumulacije.



Slika 1: Ovisnost gubitaka procjeđivanja o razinama akumulacije Buško Blato, frekvencija ostvarenja prosječnih mjesečnih razina

Akumulacija Buško Blato dio je HES-a Orlovac kojeg još čine kompenzacijski bazen Lipa i HE Orlovac kao glavni objekti, te nekoliko manjih akumulacija, te sustav kanala za privođenje voda iz okolnih polja. Bazen Lipa i akumulacija Buško Blato povezani su reverzibilnim kanalom koji omogućava prebacivanje vode u oba smjera, gravitacijski ili crpnom stanicom Buško Blato u slučaju veće razlike kota. Voda se u HE Orlovac dozira iz kompenzacijskog bazena Lipa, te se dalje iskorištava u nizvodnim elektranama koje su dio šireg HES-a rijeke Cetine. HE Orlovac je derivacijska HE sa instaliranom snagom od 237 MW, a radi gotovo uvijek kao čista vršna HE, sa prosječnim godišnjim faktorom angažiranja oko 18%. HES Orlovac u sklopu HES-a Cetine shematski je prikazan na slici 2.



Slika 2: Položaj HES-a Orlovac u okviru HES-a Cetine

S obzirom na relativno veliku instaliranu snagu HE Orlovac u odnosu na protoke, te mogućnost prebacivanja vode iz Lipe u Buško Blato, regulacija rada HES Orlovac u sklopu HES-a Cetine na kratkoročnom nivou (dan, tjedan) nije problematična, štoviše, omogućava vrlo veliku fleksibilnost i prilagodljivost rada HE Orlovac zahtjevima i potrebama HES-a Cetine i EES-a Hrvatske u cjelini. Problem upravljanja vodama HES-a Orlovac iskazuje se na godišnjem nivou, tj. na mjesečnoj dinamici korištenja akumulacije Buško Blato. Osim naznačenih velikih gubitaka procjeđivanja ovisnih o koti akumulacije, veliki problem pri planiranju korištenja akumulacije predstavlja varijabilnost prosječnih mjesečnih dotoka u HES Orlovac.

Daljnji radovi na zabrtvljenju akumulacije Buško Blato iziskuju velika financijska sredstva i nemogućnost korištenja akumulacije za vrijeme radova, a vrlo su upitni mogući efekti na smanjenju gubitaka. Međutim, jedan od mogućih načina smanjenja gubitaka je promjena postojećeg načina planiranja i korištenja voda iz HES Orlovac na način da se održavaju što niže razine akumulacije Buško Blato, što je uvjetovano slijedećim ograničenjima:

- Ne smije se dopustiti pražnjenje akumulacije Buško Blato ispod dozvoljenog minimuma, bez obzira na varijabilnost prirodnih dotoka u HES Orlovac.
- HE Orlovac svaki mjesec mora proizvesti određenu minimalnu količinu energije radi pokrivanja potreba EES-a za vršnom snagom.
- Mjesečni faktor angažiranja HE Orlovac ne bi smio prelaziti 50%, čime se osigurava njen rad isključivo u dnevnom dijelu dnevnog dijagrama potrošnje, gdje je vrijednost proizvedene energije najveća.
- Ulogu akumulacije Buško Blato kao elektrane sa godišnjim izravnanim treba izmijeniti budući da ostale akumulacije u EES-u Hrvatske, te relativno velike mogućnosti razmjene električne energije omogućavaju zadovoljavajući nivo sigurnosti rada EES-a Hrvatske. Dakle, određivanje poželjnih mjesečnih kota akumulacije Buško Blato ne smije biti uvjetovano zahtjevima EES-a za rezervom energije u akumulaciji na dugoročnom nivou.

Zadovoljenje gore navedenih zahtijeva traži određivanje poželjnih stanja akumulacije Buško Blato u najmanje tri nivoa:

1. Određivanje poželjnih razina akumulacije Buško Blato za najširi skup mogućih hidroloških situacija, uz zadana opća ograničenja, kao podloge za definiranje godišnjeg plana korištenja akumulacije
2. Određivanje poželjnih razina akumulacije Buško Blato za konkretnu godinu, ovisno o specifičnim očekivanim prilikama u EES-u, tj. korigiranih ograničenja s obzirom na plan rada ostalih elektrana i vrijednosti vode u pojedinom periodu godine
3. Periodično replaniranje godišnjeg plana rada ovisno o ostvarenju hidrologije, stvarnog stanja u akumulaciji i eventualno promijenjenim potrebama EES-a

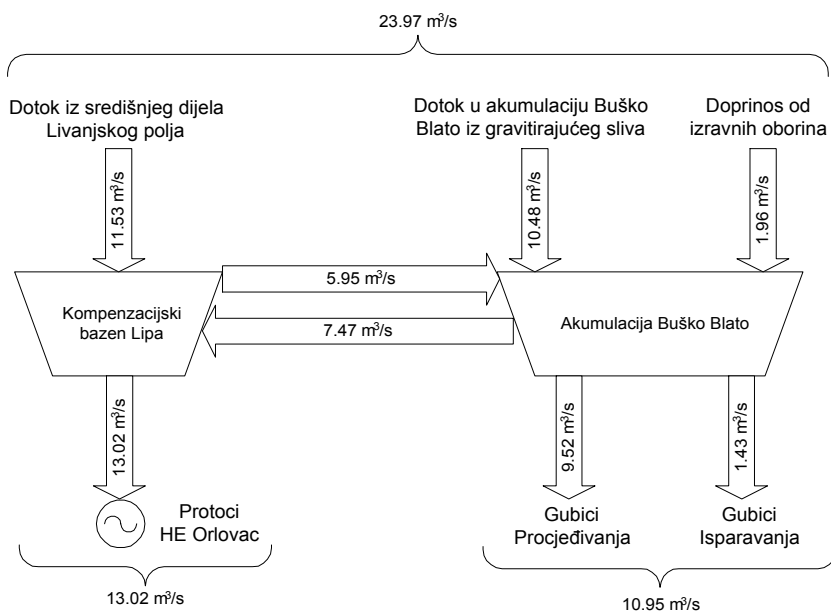
U ovom radu dan je opis jednog od mogućih načina rješavanja prvog nivoa, koji je uz odgovarajuća proširenja, prvenstveno u smislu uvažavanja vrijednosti vode tijekom godine, osnova i za druga dva nivoa. Primjenjen je model koji uzima u obzir navedena glavna ograničenja i sva ostala tehnička ograničenja koja uvjetuju rad HES-a Orlovac, a iterativno određuje takve poželjne početne mjesečne razine akumulacije Buško Blato koje će zadovoljiti zadana ograničenja i maksimizirati proizvodnju na račun smanjenja gubitaka procjeđivanja, te u manjoj mjeri i isparavanja.

## 2. NEKI POKAZATELJI DOSADAŠNJEG NAČINA KORIŠTENJA I RADA HES-A ORLOVAC

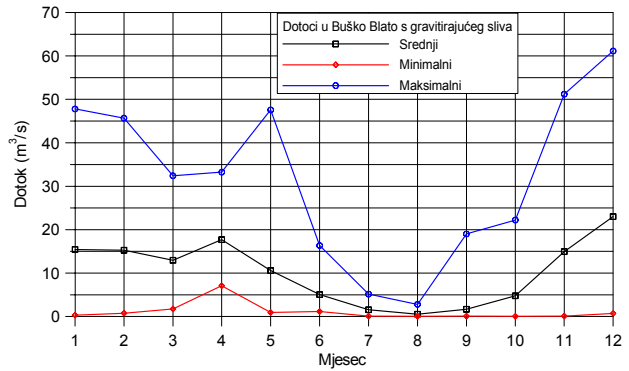
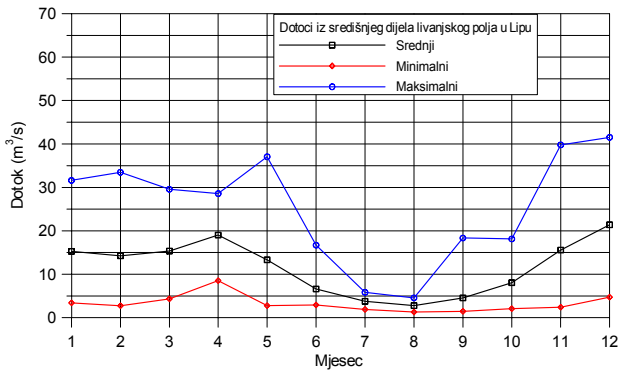
Za pregled načina korištenja akumulacije Buško Blato i HES-a Orlovac odnosno HES-a Cetine u cjelini, dalje u tekstu su dani neki osnovni energetske i hidrološki parametri, proizašli uglavnom iz istraživanja provedenih u lit. [1] odnosno [3]. Za rad HES-a Orlovac karakteristična su tri razdoblja:

- Prvo razdoblje odgovara godinama od izgradnje HES-a Orlovac 1975. godine do 1989. godine kad su počeli radovi na sanaciji (zabrtvljenju) akumulacije Buško Blato.
- Drugi period odgovara vremenu domovinskog rata, od 1991. do zaključno 1995. godine, za vrijeme kojeg je EES Hrvatske bio razdvojen na dva dijela, tako da je podsustav Dalmacije zajedno sa dijelom EES-a BiH radio u otočnom režimu.
- Treći period odgovara razdoblju od 1996. godine do danas i praktično je jedino razdoblje koje se može uzeti kao mjerodavni uzorak postojećeg modela korištenja HES-a Orlovac i Cetine u cjelini prema potrebama i zahtjevima EES-a Hrvatske. Pri tom prethodna razdoblja u svakom slučaju treba uzeti u obzir, prvenstveno u smislu uvažavanja ostvarenih hidroloških nizova.

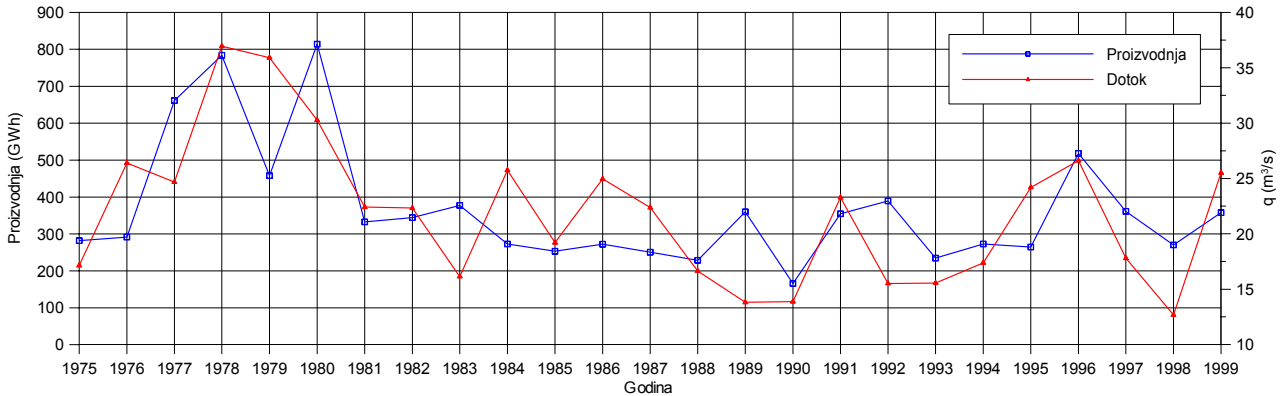
Na slici 3 prikazana je bilanca voda HES-a Orlovac u periodu 1975-1999. g. izrađena na temelju hidroloških obrada iz lit. [1], dok su na slici 4 dani srednji mjesečni dotoci u Lipu i Buško Blato. Na slici 5 prikazana je godišnja proizvodnja HE Orlovac i dotoci u HES Orlovac, a na slici 6 krivulje trajanja razina u akumulaciji Buško Blato u periodu 1975-1999. g.



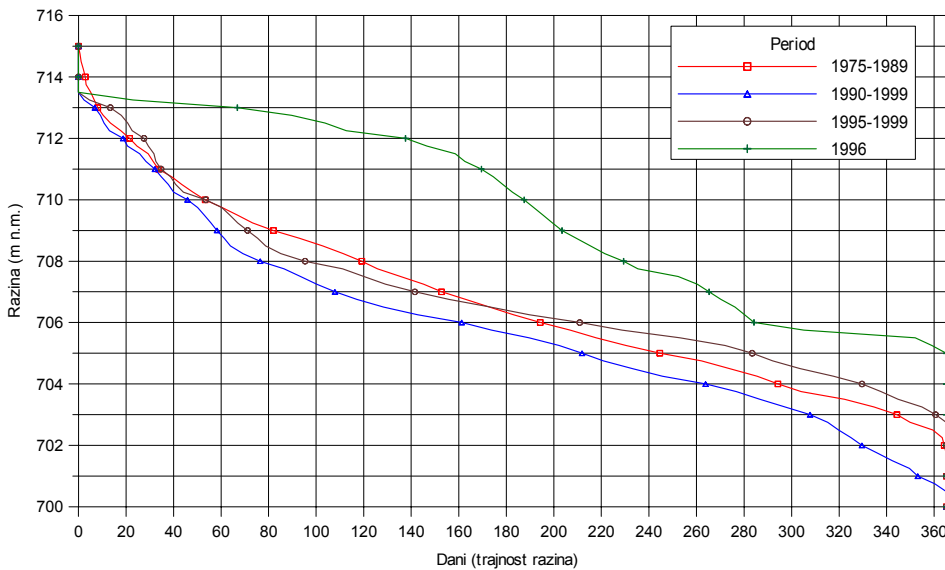
Slika 3: Bilanca voda HES-a Orlovac u razdoblju 1975-1999. g.



Slika 4: Srednji mjesečni dotoci u Lipu i Buško Blato u razdoblju 1975-1999. g.



Slika 5: Proizvodnja HE Orlovac i prosječni dotoci (Lipa+Buško Blato) u razdoblju 1975-1999. g.



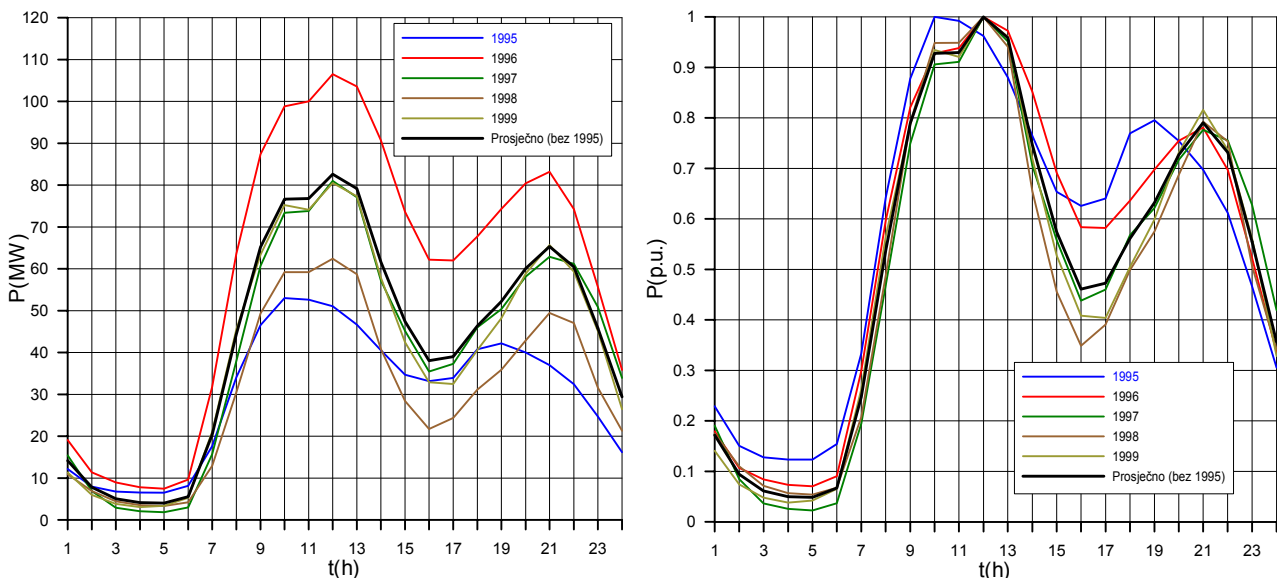
Slika 6: Krivulje trajanja dnevnih razina u akumulaciji Buško Blato

Varijabilnost mjesečnih dotoka, posebno u akumulaciju Buško Blato, jasno je iskazana na slici 4. Na godišnjem nivou, omjer minimalnih i maksimalnih prirodnih godišnjih dotoka u proteklom 25-godišnjem razdoblju eksploatacije HES Orlovac iznosi 1:2.9, dok su omjeri mjesečnih vrijednosti daleko veći, te u prosjeku iznose 1:17.7. Direktna posljedica je i varijabilnost godišnje proizvodnje HE Orlovac (slika 5), koja je uz to bitno uvjetovana i načinom korištenja akumulacije Buško Blato, s jedne strane zbog promjenljivih gubitaka procjeđivanja i isparavanja (ovisno o razini akumulacije), te s druge strane zbog razlike početne i krajnje razina u promatranoj godini. Krivulje trajnosti dnevnih razina u akumulaciji Buško Blato za odabrane karakteristične periode pokazuju održavanje nešto nižih razina u posljednjoj dekadi, dok se krivulja za zadnjih pet godina dobro poklapa sa 25-godišnjom krivuljom, Razlog tome je prvenstveno 1996. godina kao specifična godina u kojoj su ostvarene ekstremno visoke kote akumulacije Buško Blato u odnosu na prosječne, a koja je na slici 6 posebno izdvojena.

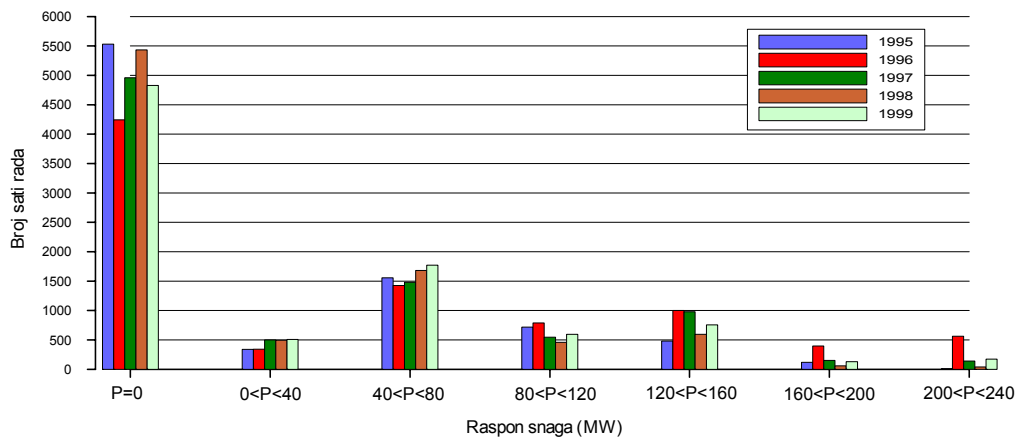
Način upravljanja HES-om Orlovac definiran je prvenstveno zahtjevima EES-a Hrvatske, kako na dnevnom, tako i na godišnjem nivou, ali kao podsustav HES-a Cetine, dobrim dijelom ovisi i o načinu korištenja čitavog sliva iz dva glavna razloga:

- Dinamika rada HE Orlovac na dnevnom nivou, budući da se prerađena voda iz HE Orlovac koristi u HE Đale i HE Zakućac, uvjetovana je i djelomično ograničena (osim zahtjevima EES-a u cjelini) prvenstveno radom HE Zakućac, korištenjem akumulacije Peruća, te nekontroliranih međudotoka od Peruće do Đala.
- Na godišnjem nivou, korištenje akumulacije Buško Blato direktno je vezano za način korištenja akumulacije Peruća, tj. mjesečna dinamika korištenja navedenih akumulacija planira se i usklađuje ovisno o potrebama sustava, na osnovu vjerojatnosti dotoka, odnosno planiranih poželjnih kota i odgovarajuće proizvodnje pripadnih elektrana.

Način angažiranja HE Orlovac na dnevnom nivou ilustriran je na slijedećim slikama, preko prosječnih dnevnih dijagrama proizvodnje HE Orlovac (na godišnjem nivou, apsolutno i jedinično u odnosu na maksimalnu dnevnu proizvodnju), te distribucijom angažiranih snaga. Podaci se odnose na period 1995 -1999. g., budući da se praktički jedino period od 1996 - 2000. g. može uzeti kao mjerodavan za utvrđivanje načina dnevnog korištenja HE Orlovac u okviru EES-a Hrvatske. Godina 1995. dodana je radi ilustracije razlike načina korištenja HE Orlovac prije objedinjavanja sjevernog i južnog dijela EES-a Hrvatske, dok je 2000. godina izostavljena budući da za vrijeme pisanja ovog rada potrebni podaci nisu obrađeni.



Slika 7a,7b: Prosječni dnevni dijagrami proizvodnje HE Orlovac u periodu 1995-1999. g. (MW i p.u.)



Slika 8: Raspon angažiranih snaga HE Orlovac u periodu 1995-1999.

Dnevni dijagrami proizvodnje HE Orlovac u periodu 1996-1999. g. pokazuju veliku podudarnost po obliku, što je naročito uočljivo uvidom u relativne vrijednosti prosječnih dnevnih dijagrama proizvodnje. To ukazuje na doista jasno definiranu ulogu HE Orlovac odnosno zahtjeve EES-a prema radu HE Orlovac na dnevnom nivou u promatranom periodu, tj. na konzistentan način korištenja odnosno upravljanja s HE

Orlovac na dnevnom nivou. HE Orlovac radi tipična vršna elektrana sa izrazito naglašenim angažiranjem za vrijeme jutarnje i poslijepodnevne špice i praktički zanemarivim angažiranjem u noćnim satima. Osim toga, sa priloženih slika se može uočiti, bez obzira na ukupnu godišnju proizvodnju HE Orlovac, tendencija sve izraženijeg rada u vršnom režimu. Uvidom u distribuciju angažiranih snaga HE Orlovac, budući da je interval snaga od 40-80 MW dominantan, jasno je da postoje i dodatne rezerve angažiranja HE Orlovac kao vršne elektrane u slučaju većih potreba EES-a za snagom.

Budući da će zahtjevi za korištenjem snage iz HE Orlovac za potrebe EES-a Hrvatske (a možda i šire) sigurno iz godine u godinu rasti, te će dodatno dobiti na vrijednosti i skorim uvođenjem tržišnih odnosa u elektroenergetskom sektoru, tj. adekvatnim vrednovanjem proizvedene energije i raspoložive snage za vrijeme vršnih opterećenja, svaka dodatna količinu energije dobivenu unapređenjem procesa planiranja i upravljanja HES-a Orlovac, tj. smanjenjem gubitaka procjeđivanja u akumulaciji Buško Blato, imati će sve značajniju ekonomsku vrijednost. Pri tome treba voditi računa da se vrijednost raspoložive vode na najbolji mogući način oplemeni adekvatnim načinom planiranja rada HES-a Orlovac, korištenjem raspoložive vode kada je EES-u najpotrebnija energija i snaga (a samim time i najvrednija), a s druge strane da se prethodni zahtjev nastoji na što bolji mogući način uskladiti sa takvim načinom upravljanja vodama iz akumulacije Buško Blato koji će rezultirati što manjim gubicima procjeđivanja.

U tom smislu značajnu ulogu i doprinos imati će odgovarajući modeli korištenja akumulacija Peruča i Buško Blato, budući da trenutno nema jasno definirane strategije odnosno modela planiranja i korištenja sliva Cetine na godišnjem nivou. Naročito je bitno definiranje takvog modela korištenja koji će akumulaciju Peruča i Buško Blato promatrati u cjelini, te osigurati odgovarajuću koordinaciju rada sa ciljem optimiranja iskorištenja raspoloživih prirodnih dotoka za vrijeme najveće energetske-ekonomske vrijednosti vode u EES-u Hrvatske, odnosno višekriterijsko optimiranje korištenja navedenih akumulacija uz uvažavanje svih zahtjeva, često međusobno kontradiktornih i relativno teško mjerljivih, a koji definiraju njihov optimalan način korištenja.

### **3. OSNOVNE PRETPOSTAVKE NAČINA KORIŠTENJA HES-a ORLOVAC, MODEL I VARIJANTE PRORAČUNA**

Osnovni zahtjevi koji definiraju optimalnu strategiju načina korištenja HES-a Orlovac u okviru EES-a Hrvatske mogu se sažeti u slijedećem:

1. Najveća energetske-ekonomske vrijednosti vode iz HES-a Orlovac ostvaruje se korištenjem HE Orlovac kao vršne elektrane. Izuzetak su vrlo rijetki slučajevi koji se ostvaruju za vrijeme ekstremno velikih direktnih dotoka u akumulaciju Lipa kad ograničenje protoka reverzibilnim kanalom Lipa-Buško Blato traži forsiranu proizvodnju HE Orlovac ili u slučaju kad su zahtjevi EES-a takvi da je nužna proizvodnja HE Orlovac u noćnim satima. Direktna posljedica ovog zahtjeva je ograničenje proizvodnje HE Orlovac, tj. najveća dopuštena proizvodnja na dnevnom odnosno mjesečnom nivou u normalnim uvjetima.
2. Uloga HE Orlovac u EES-u Hrvatske je najznačajnija u osiguranju rezerve snage u sustavu za potrebe pokrivanja vršnih opterećenja. Zbog toga se za HE Orlovac treba osigurati određena minimalna mjesečna odnosno dnevna proizvodnja bez obzira na hidrološke okolnosti, tj. potrebna je određena minimalna količina raspoložive vode iz akumulacije Buško Blato i prirodnog dotoka koja svaki mjesec i dan osigurava postavljene zahtjeve minimalne mjesečne odnosno dnevne proizvodnje.
3. Iako volumen akumulacije Buško Blato omogućava i višegodišnje izravnane, tj. teoretsku mogućnost osiguranja velike rezerve energije za potrebe EES-a Hrvatske, realno stanje akumulacije (s obzirom na velike gubitke procjeđivanja i isparavanja pri višim kotama) ovu mogućnost dozvoljava samo uz velike gubitke, tj. uz bitno smanjen ukupni energetske doprinos. Zbog toga režim korištenja akumulacije Buško Blato ne smije biti uvjetovan zahtjevima rezerve energije u EES-u Hrvatske. Iznimka je moguća praktički samo u nekim specifičnim situacijama, npr. u uvjetima trajnije neraspoloživosti nekih bitnijih interkonektivnih vodova ili nemogućnosti korištenja akumulacije Peruča i to u dužem vremenskom razdoblju.
4. Razina akumulacije Buško Blato ne smije se spustiti ispod minimalno dopuštene vrijednosti, bez obzira na hidrološke okolnosti. Minimalno dopuštena razina prema postojećim pravilnicima korištenja akumulacije Buško Blato iznosi 701.0 m n.m., što je i usvojeno kao strogo ograničenje koje preporučeni režim rada i poželjne razine moraju osigurati.
5. S obzirom na karakteristike akumulacije Buško Blato, nema ograničenja vezanih za najveću dopuštenu razinu.
6. Poželjne razine akumulacije Buško Blato moraju biti tako definirane da osiguraju održavanje najmanjih mogućih razina u akumulaciji, a pri tom osiguraju sve prethodno navedene uvjete i

ograničenja, bez obzira na hidrološke okolnosti. Ovaj uvjet osigurava maksimalno energetska iskorištenje raspoloživih voda HES-a Orlovac uz zadane uvjete.

7. Eventualne izmjene prethodnog zahtijeva moguće su jedino u slučaju jasno definirane vrijednosti vode iz HES-a Orlovac odnosno cijene snage i energije iz HE Orlovac, i to u slučaju da vrijednost proizvedene energije i raspoložive snage koju HE Orlovac daje u sustav može biti varirati tijekom godine, što može rezultirati većim ekonomskim doprinosom unatoč smanjenom energetska doprinosu u određenim režimima rada (npr. forsiranje proizvodnje ljeti uz povećane gubitke procjeđivanja i isparavanja ukoliko je to kompenzirano odgovarajućim povećanjem vrijednosti snage i energije u tom periodu).

Na osnovu definiranih zahtijeva, te uvažavanjem odgovarajućih hidroloških i tehničkih parametara HES-a Orlovac, razvijen je simulacijsko-optimizacijski model u cilju definiranja poželjnih razina u akumulaciji Buško Blato. Period simulacije je razdoblje 1975 - 1999 g., pri čemu se svaki dan utvrđuje vodna i energetska bilanca. Poželjna stanja u akumulaciji Buško Blato odnose se na volumene, odnosno razine akumulacije na početku svakog narednog mjeseca u godini, koje se nastoji ostvariti odgovarajućim korištenjem akumulacije tijekom tekućeg mjeseca. Poželjna mjesečna stanja jednaka su za sve godine u razdoblju simulacije. To znači da se upravljačke odluke svakoga dana tijekom tekućeg mjeseca donose gledajući unaprijed prema zadanom poželjnom stanju u akumulaciji Buško Blato narednoga mjeseca. Osim što udovoljavaju postavljenim energetskim zahtjevima EES-a i ograničenjima rada HES-a Orlovac, poželjna stanja u akumulaciji Buško Blato moraju poglavito ostvariti i ciljnu funkciju modela koja podrazumijeva definiranje takvog režima rada (poželjnih razina) koji će osigurati maksimalni energetski doprinos. Maksimalni energetski doprinos postiže se proračunom minimalnih mjesečnih poželjnih razina u akumulaciji Buško Blato, uz koje se udovoljava energetskim zahtjevima i ograničenjima tako da nijedna od ostvarenih dnevnih razina akumulacije Buško Blato, u razdoblju 1975 – 1999 g. (razdoblje simulacije) ne padne ispod kote 701,00 m n.m. Ovako određene poželjne kote kojima se ostvaruje ciljna funkcija maksimalnog energetskog doprinosa predstavljaju optimum. Detaljan opis modela dan je u literaturi [3].

Proračuni su izvršeni za četiri različite varijante energetskih ograničenja, definiranih preko minimalno zahtijevane odnosno maksimalno dopuštene mjesečne proizvodnje HE Orlovac. Ograničenja su prikazana u tablici 1.

Tablica 1: Najmanje i najveće dopuštene mjesečne proizvodnje HE Orlovac (GWh)

Varijanta	Ograničenje	Mjesec											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
A	Wmin	13	12	12	12	12	14	16	16	12	12	12	13
	Wmax	85	75	85	82	85	82	85	85	82	85	82	85
B	Wmin	15	14	14	14	14	16	20	20	14	14	14	14
	Wmax	85	75	85	82	85	82	85	85	82	85	82	85
C	Wmin	13	12	12	12	12	14	16	16	12	12	12	13
	Wmax	70	60	70	67	70	67	70	70	67	70	67	70
D	Wmin	15	14	14	14	14	16	20	20	14	14	14	14
	Wmax	70	60	70	67	70	67	70	70	67	70	67	70

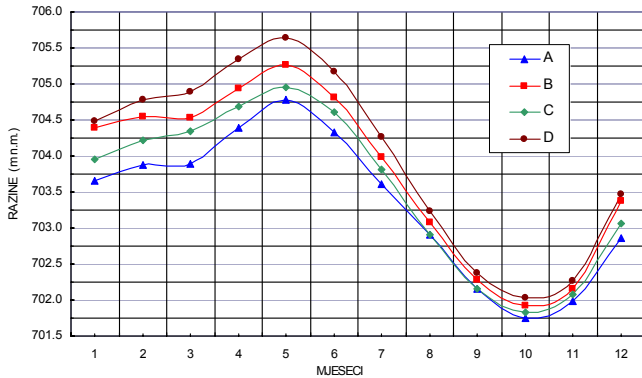
#### 4. REZULTATI PRORAČUNA

Rezultati proračuna prema prethodno definiranim zahtjevima prikazani su na slijedećim slikama, po navedenim varijantama. Rezultati se odnose na simulirane srednje mjesečne razine akumulacije Buško Blato, poželjne razine akumulacije Buško Blato i srednju mjesečnu proizvodnju HE Orlovac. Također su prikazane i krivulje učestalosti razina u akumulaciji Buško Blato u promatranim varijantama, usporedno sa ostvarenom krivuljom u periodu 1975-1999. g.

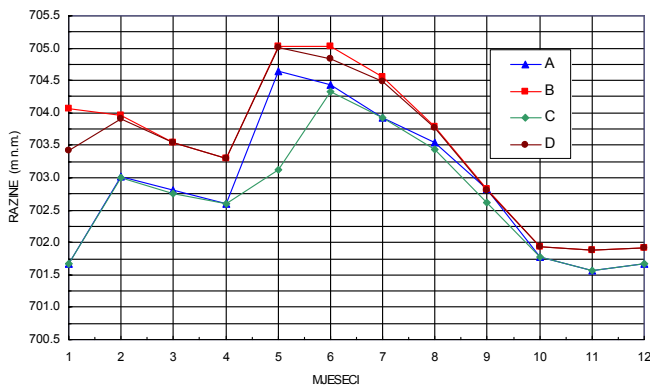
Iz priloženih grafova jasno je uočljiv utjecaj energetskih zahtijeva, tj. minimalno zahtijevane i maksimalno dopuštene proizvodnje HE Orlovac na poželjne mjesečne razine akumulacije Buško Blato odnosno rezultirajuće srednje ostvarene razine. Svako sužavanje dozvoljenog raspona mjesečne proizvodnje HE Orlovac predstavlja smanjuje fleksibilnost upravljanja kotama akumulacije Buško Blato, te dovodi do povećanja odgovarajućih razina. Pri tom se ograničenje minimalno zahtijevane mjesečne proizvodnje HE Orlovac (varijanta B) pokazuje kao utjecajni faktor (u odnosu na ograničenje najveće dopuštene proizvodnje), koji rezultira većim kotama akumulacije Buško Blato odnosno većim gubicima i manjim energetskim doprinosom. Rezultirajuće poželjne mjesečne razine akumulacije Buško Blato usporedive su u varijantama A i C odnosno B i D, što je također prvenstveno posljedica utjecaja ograničenja minimalno zahtijevane proizvodnje HE Orlovac, što se u varijantama B i D reflektira u zahtjevu



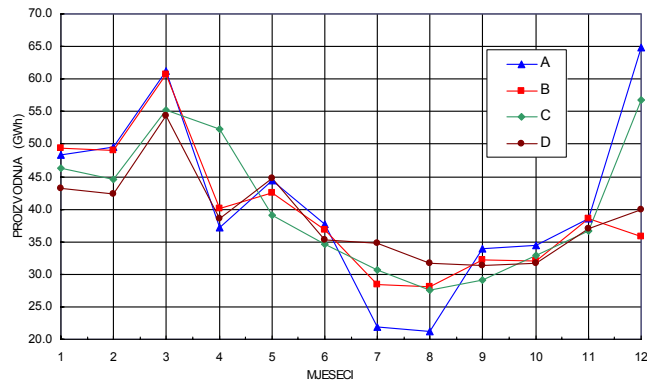
za većim poželjnim razinama radi osiguranja potrebne zalihe volumena akumulacije Buško Blato koja se koristi u sušnom periodu godine.



Slika 9: Srednje mjesečne razine u ak. Buško Blato

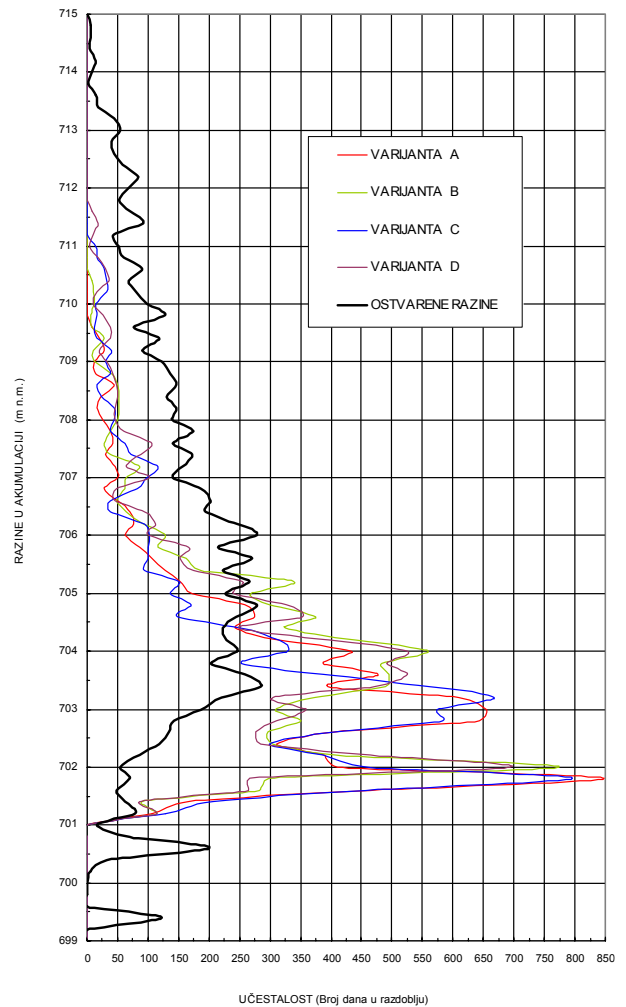


Slika 10: Poželjne mjesečne razine u ak. Buško Blato



Slika 11: Srednja mjesečna proizvodnja HE Orlovac

Proizvodnja HE Orlovac dosta varira tijekom godine, što je direktna posljedica relativno širokih raspona dozvoljene mjesečne proizvodnje, koji omogućavaju prilagođenje proizvodnje HE Orlovac osnovnom zahtjevu, tj. regulaciji razina u akumulaciji Buško Blato sa ciljem ostvarenja maksimalnog ukupnog energetskog doprinosa tijekom godine. Naime, eventualni dodatni uvjet koji bi zahtijevao izjednačavanje proizvodnje HE Orlovac tijekom godine mogao bi se uvažiti i primjeniti, ali bi tražio veće poželjne razine, a time i srednje ostvarene razine akumulacije Buško Blato, što bi rezultiralo manjim ukupnim energetskim doprinosom. Prosječna mjesečna proizvodnja HE Orlovac u ljetnim mjesecima (srpanj-rujan) kreće se od 22-35 GWh, ovisno o promatranoj varijanti, tako da je u većini slučajeva osigurana veća proizvodnja HE Orlovac u sušnom razdoblju od pretpostavljenih ograničenja minimalno zahtjevane mjesečne proizvodnje.



Slika 12: Učestalost razina u ak. Buško Blato

U slijedećoj tablici prikazane su prosječne godišnje vrijednosti hidroloških i energetskih parametara rada HES-a Orlovac za četiri simulirane varijante, usporedno sa referentnim (ostvarenim) vrijednostima u periodu 1975-1999. g.

**Tablica 2: Prosječne vrijednosti referentnih i simuliranih hidroloških i energetskih parametara**

Veličina	Jedinica	Refer.	A	B	C	D
Dotok u Lipu iz središnjeg dijela Livanjskog polja	m <sup>3</sup> /s	11.53	11.61	11.61	11.61	11.61
Izravni dotok u akumulaciju Buško Blato	m <sup>3</sup> /s	12.15	12.15	12.15	12.15	12.15
Dotok iz Buškog Blata u Lipu	m <sup>3</sup> /s	7.47	7.38	7.11	7.13	6.89
Dotok iz Lipe u Buško Blato	m <sup>3</sup> /s	5.95	1.77	2.19	1.79	2.26
Gubici isparavanja iz akumulacije Buško Blato	m <sup>3</sup> /s	1.43	1.30	1.32	1.30	1.34
Gubici procjeđivanja iz akumulacije Buško Blato	m <sup>3</sup> /s	9.60	5.28	5.89	5.52	6.17
Razine u akumulaciji Buško Blato	m n.m.	706.18	703.35	703.77	703.55	703.99
Iskoristivi protok HE Orlovac	m <sup>3</sup> /s	13.02	17.22	16.53	16.96	16.24
Godišnja proizvodnja HE Orlovac	GWh/god	366.90	493.21	473.42	485.57	464.94

Prosječne godišnje vrijednosti simuliranih parametara rada HES Orlovac pokazuju neznatno smanjenje dotoka iz Buškog Blata u Lipu, ali uz istovremeno veliko smanjenje dotoka iz Lipe u Buško Blato. Razlika je rezultat upravo smanjenja gubitaka procjeđivanja iz akumulacije Buško Blato zbog smanjenja radnih razina, što je bitno reduciralo potrebu prebacivanja voda iz Lipe u Buško Blato, tj. povećano je direktno korištenje izravnih dotoka iz središnjeg dijela Livanjskog polja. Rezultat navedenog je povećanje iskoristivog protoka HE Orlovac, odnosno veliko povećanje srednje godišnje proizvodnje u odnosu na referentnu u rasponu od 126.3 GWh za varijantu A do 98 GWh za varijantu D.

## 5. ZAKLJUČAK

Provedena istraživanja hidroloških parametara i energetskih pokazatelja rada HES-a Orlovac u proteklih 25 godina korištenja istog, te ispitivanja vezana za utvrđivanje novog modela korištenja i upravljanja akumulacijom Buško Blato odnosno HES-om Orlovac u cjelini, pokazala su velike mogućnosti u smislu pronalaženja primjerenijeg načina korištenja istog u okviru EES-a Hrvatske, koji bi u slučaju operativnog usvajanja mogao rezultirati značajnim energetskim doprinosom u odnosu na postojeću dugogodišnju praksu. Pri tome bi praktički sve bitne energetske značajke i doprinosi HES-a Orlovac u okviru HES-a Cetine odnosno EES-a Hrvatske ostali sačuvani osim skraćivanja perioda izravnjanja akumulacije Buško Blato, što uz dobru strategiju korištenja akumulacije Peruča, te sadašnje mogućnosti razmjene električne energije, ne bi imalo praktički nikakvog utjecaja na sigurnost rada EES-a Hrvatske. Energetski doprinos predloženog modela upravljanja HES-om Orlovac prema rezultatima simulacije iznosi oko 100 GWh, a ovisi o postavljenim zahtjevima odnosno ograničenjima. Manji dio tog doprinosa odnosi se i na smanjenje gubitaka procjeđivanja iz akumulacije Buško Blato nakon izvršenih sanacijskih radova, ali se pokazuje da je upravo način korištenja akumulacije ključan odnosno dominantan faktor kojim se postiže maksimalna energetska učinkovitost rada HES-a Orlovac u sadašnjim uvjetima.

Daljnji radovi i istraživanja koja moraju obuhvatiti integralni pristup planiranju korištenja svih akumulacija u EES-u Hrvatske, te operativno provođenje i realizaciju ispitanih modela, mogu bitno pridonijeti ukupnoj energetskoj i financijskoj efikasnosti rada proizvodnog dijela EES-a Hrvatske, odnosno boljem iskorištenju postojećih proizvodnih resursa.

## LITERATURA:

1. Hidrološka bilanca voda sustava HE Orlovac i efekti zabrtvljenja akumulacije Buško Blato, studija, Institut za elektroprivredu i energetiku, siječanj 2001.
2. Osnove upravljanja hidroenergetskim sistemom sliva Cetine, studija, Institut za elektroprivredu Zagreb i dr., ožujak 1990.
3. Doprinos utvrđivanju novog modela korištenja i upravljanja akumulacije Buško Blato, studija, Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje Split, Institut za elektroprivredu i energetiku, travanj 2001.

## PITANJA ZA DISKUSIJU:

- Mogućnosti i ograničenja u operativnoj primjeni predloženog modela upravljanja HES-om Orlovac
- Planiranje i koordinacija rada akumulacija u EES-u Hrvatske i mogućnosti povećanja njihove energetske-ekonomske uloge s obzirom na varijabilnu vrijednost vode tijekom godine