

---

# HIDROINFORMACIONI SISTEMI ZA UPRAVLJANJE HIDROENERGETSKIM RESURSIMA U SRBIJI

---

**Priredili:** Dejan Divac  
Dušan Prodanović  
Nikola Milivojević



Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“  
Beograd, 2009

# HIDROINFORMACIONI SISTEMI ZA UPRAVLJANJE HIDROENERGETSKIM RESURSIMA U SRBIJI

## **Priredivači:**

Dr Dejan Divac  
Dr Dušan Prodanović  
Dr Nikola Milivojević

## **Recenzenti:**

Dr Slobodan Petković  
Ljubo Mačić  
Dr Stevan Prohaska  
Dr Miloš Kojić

Odlukom Naučnog veća Instituta za vodoprivredu „Jaroslav Černi“ br. 5/10 od 04.11.2009. god. odobreno da se štampa kao monografija.

## **Izdavač:**

Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“,  
Jaroslava Černog 80, 11226 Beograd - Pinosava

## **Za izdavača:**

Dr Milan Dimkić

## **Registar:**

ISBN 978-86-82565-23-9

## **Štampa, korice i dizajn:**

Revision d.o.o., Takovska 3, Beograd

## **Tiraž:**

500 primeraka

## **Godina izdanja:**

2009

Sva prava zadržana. Ni jedan deo ove knjige ne može biti reprodukovano, snimljen ili emitovan na bilo koji način: elektronski, mehanički, fotokopiranjem ili drugim vidom, bez pisane dozvole priredivača.

# Uvodna reč recenzenata

Savremeni civilizacijski progres i tehnološki razvoj ne mogu se ni zamisliti bez obezbeđenja osnovnih resursa vode, hrane i energije. Voda postaje sve oskudniji planetarni resurs. Istovremeno, potrebe za energijom su sve veće, dok se neobnovljivi energetske resursi postepeno iscrpljuju. Zato sve više dobijaju na značaju obnovljivi resursi, pri čemu veoma važnu ulogu ima hidroenergija. U svetu se sve više govori o potrebi proizvodnje „čiste energije“, kako bi se radikalno smanjili negativni efekti na životnu sredinu i globalno zagrevanje planete i omogućio dugoročno održivi razvoj. I sa tog aspekta, hidroenergija ima izuzetnu ulogu u odnosu na ostale energetske resurse.

Vode u prirodi su istovremeno i vodni i energetske resurs, tako da je neophodna harmonizacija njihovog korišćenja. U današnje vreme upravljanje ovim resursima se ne može ni zamisliti bez hidroinformativnih sistema. Korišćenje ovih sistema omogućuje optimalno usklađivanje interesa vodoprivrede i elektroprivrede. Uvođenje tržišta u energetske sektor dodatno je unelo elemente neizvesnosti u upravljanje i planiranje, za čije prevladavanje je neophodno raspolagati, na kratkoročnom i dugoročnom horizontu, dodatnim informacijama, naročito o resursima stohastičke prirode. Najvažniji ciljevi razvoja i primene ovakvih sistema jesu: objedinjavanje svih relevantnih hidroloških, meteoroloških, hidrogeoloških, hidroenergetskih i drugih podataka i stvaranje uslova za njihovu dostupnost širokom krugu zainteresovanih korisnika, kako bi se omogućilo donošenje najpovoljnijih operativnih upravljačkih odluka na hidroelektranama u različitim situacijama, kao i donošenje najpovoljnijih strategijskih odluka za izbor optimalnih rešenja integralnog uređenja sliva i korišćenja hidropotencijala.

Srbija, zajedno sa susjednim zemljama, ima značajan hidroenergetski potencijal, naročito na Dunavu i Drini, gde su izgrađeni značajni energetske objekti: na Dunavu, hidroelektrane „Đerdap 1“ i „Đerdap 2“, i na Drini 9 hidroelektrana. Međutim, znatan deo hidroenergetskog potencijala još nije iskorišćen, pre svega na Drini, gde je moguće izgraditi značajne nove hidroenergetske kapacitete (zajedno sa susjednim državama), koji bi omogućavali dodatnu godišnju proizvodnju električne energije veću od 7000 GWh.

Imajući u vidu kompleksnost problematike razvoja hidroenergetike u Srbiji i korišćenja ukupnih potencijala voda, kao i imperativ primene najnovijih dostignuća tehnologije i informatike, u stručnim i naučnim krugovima je preovladala svest o neophodnosti kreiranja jedne naučne publikacije koja bi predstavljala sintezu svih dosadašnjih rezultata istraživanja u ovoj oblasti. Ovog složenog, delikatnog i odgovornog zadatka se prihvatio Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“. Pred našom stručnom i naučnom javnošću se upravo pojavljuje monografija „Hidroinformativni sistemi za upravljanje hidroenergetskim resursima u Srbiji“.

U ovoj monografiji nacionalnog značaja prikazana je sinteza veoma široke problematike savremenog razvoja hidroinformativnih sistema, koji se odvija u Institutu za vodoprivredu „Jaroslav Černi“, a za potrebe upravljanja hidropotencijalom u Srbiji. Hidroinformativni sistemi su koncipirani za podršku odlučivanju, tako da mogu da obezbede značajna saznanja o procesima na slivu, u dosadašnjem periodu eksploatacije, varijantnim scenarijima razvoja u budućnosti, kao i eksploataciji u realnom vremenu. U monografiji se takođe opisuju uloga i značaj hidroelektrana u energetske sistemu Srbije,

uključujući i kratak prikaz mogućih daljih pravaca razvoja kapaciteta za proizvodnju električne energije.

Posebna vrednost ove monografije se sastoji u sistematičnosti pristupa izvanredno složenoj materiji upravljanja hidro-energetskim resursima. Ukupan materijal je podeljen na tri celine, međusobno povezane kroz transformaciju vodnih u energetske resurse. Prva celina se odnosi na vodne resurse i na njihovo formiranje u složenim meteorološkim i hidrološkim procesima transformacije atmosferskih padavina u površinski oticaj vode u slivu. Druga celina se odnosi na hidrauličku problematiku tečenja u prirodnim vodotocima, u interakciji sa izgrađenim akumulacijama i hidroenergetskim objektima. Pored toga, u ovom delu se razmatraju i načini upravljanja radom hidroenergetskih objekata. I konačno, treća celina monografije je posvećena neophodnoj informatičkoj podršci za realizaciju hidroinformatičkih sistema u cilju postizanja optimalnog iskorišćenja hidropotencijala.

U okviru razmatranja hidrološke problematike, posebna pažnja je posvećena modeliranju procesa "padavine-oticač" i neophodnim koracima u uvođenju ovakvih modela u operativnu upotrebu. Prikazan je model zasnovan na SWAT modelu - hidrodinamičkom i fizički zasnovanom modelu za primenu na kompleksnim i velikim slivovima. Model se zasniva na sprezi linearnih rezervoara koji opisuju uticaj vegetacionog pokrivača, akumulisanje i topljenje snega, površinski oticaj, podzemni oticaj i prate količinu vlage zadržane u zemljištu. Za potrebe implementacije modela na realnim slivovima koriste se GIS alati za preprocesiranje i postprocesiranje. Pored standardne problematike transformacije padavina u oticaj vode, razmatran je i specifičan slučaj sliva sistema Vlasinskih hidroelektrana, sa velikim brojem gravitacionih kanala, koji u sadejstvu sa prirodnom hidrografskom mrežom dovode do pojave bifurkacije na presečnim tačkama (čime je prirodni površinski i potpovršinski tok vode značajno izmenjen). U takvim uslovima je adaptirano modeliranje transformacije padavina u oticaj modelom tako da kanali ne zahvataju svu količinu vode iz prirodnog vodotoka, već dozvoljavaju da određen deo vode prođe nizvodno, površinski i potpovršinski.

Obzirom da upotreba ovakvih modela podrazumeva dobro određene parametre koji omogućavaju da se simulacioni model ponaša što je moguće vernije fizičkom sistemu, u prvom delu monografije dat je i prikaz postupka automatske kalibracije. Ovaj korak je neophodan bez obzira na planiranu upotrebu modela jer bez kvalitetno određenih parametara nije moguće model koristiti u svrhe planiranja, odlučivanja ili operativnog upravljanja. Sistemi koji se koriste u podršci operativnom upravljanju oslanjaju se na hidrološki/hidrodinamički simulacioni model koji koristi podatke o ažurnom stanju sliva i prognoze ulazanih veličina (padavine i sl.) u cilju proračuna nivoa u akumulacijama i proticaja na toku. Prvoj celini monografije pripada i poglavlje o prognozi doticaja vode sa sliva. U vezi s tim, razmatrana je procedura „asimilacije podataka“, koja uzima u obzir veliki broj podataka prikupljenih na slivu i vrši manipulaciju ulaznih podataka u cilju postizanja ažurnog proračunskog stanja modela. Procedura obuhvata skup matematičkih metoda koje omogućavaju upotrebu osmotrenih podataka i odstupanja proračunskih od izmerenih vrednosti pri estimaciji ažurnog modela i prognoze budućih stanja fizičkih sistema.

Druga celina monografije se odnosi na modeliranje interakcije vodotok – akumulacija – hidroelektrana, odnosno na hidrauličko modeliranje tečenja u prirodnim vodotocima, u interakciji sa izgrađenim akumulacijama i hidroenergetskim objektima. Problem modeliranja ove interakcije se razmatra sa više aspekata, a sve u skladu sa nivoom detalja koji se zahtevaju od modela i problema koji se razmatra. Pre svega, proračun transformacije ulaznog hidrograma duž rečne deonice i akumulacije rešen je hidrološkim metodama koje predstavljaju uprošćeno rešenje osnovnih diferencijalnih jednačina kretanja. Proračuni proticaja kroz hidrotehničke objekte, kao što su prelive, temeljni ispusti i dr., predstavljeni su

hidrauličkim jednačinama ili uspostavljenim zavisnostima nivo-proticaj. Ovako dobijeni rezultati modeliranja se mogu na zadovoljavajući način koristiti za određeni nivo upravljanja akumulacijom, sa direktnim ili indirektnim planiranjem rada hidroelektrane, ali i zadovoljavanje ostalih vodoprivrednih uslova.

U monografiji su predstavljeni algoritmi za rešavanje kompleksnog slučaja objekata hidroelektrana kao unutrašnjih graničnih slučajeva. Složenost problema leži u činjenici da se hidroelektranom upravlja po zahtevu za proizvodnjom energije koji zavisi kako od uzvodnog i nizvodnog nivoa vode, tako i od protoka. Pošto su sve veličine stanja spregnute i dobijaju se kao rešenja sistema, algoritam dovodi do iterativnog postupka za rešavanje sistema nelinearnih jednačina. Softver za rešavanje standardnih, potpunih, dinamičkih jednačina kretanja za linijsko neustaljeno strujanje u otvorenim tokovima i kroz kontrolne građevine usvojen je kao osnova za primenu u simulacijama sistema „Đerdap“, sa detaljnim modeliranjem objekata hidroelektrana: „Đerdap 1“, „Đerdap 2“ i „Gogoš“.

U ovom delu monografije prikazani su i modovi rada hidroelektrana, razvijeni za potrebe simulacionog modela koji predstavlja nezaobilaznu komponentu svakog Hidro-Informacionog Sistema. Detaljno su opisani različiti načini predstavljanja performansi proizvodnih agregata, turbina i generatora, kao i dovodnih organa ili elektrane kao celine. Opisani su različiti modovi rada hidroelektrana: sa zadavanjem dnevne proizvodnje energije cele hidroelektrane, sa zadavanjem snage hidroelektrane u svakom satu simulacije, sa protočnim radom hidroelektrane i sa eksplicitnim zadavanjem snage, odnosno protoka svakog od agregata elektrane u svakom satu simulacije. Za svaki od modova opisani su algoritmi proračuna i dati su primeri korišćenja u okviru HIS-a. U ovom delu knjige su razmatrane i hidroelektrane u kaskadi, za koje, pored zahteva koji se postavljaju pred hidroelektrane koje rade samostalno, važe i dopunski uslovi i ograničenja. Zbog toga je za njih potrebno razviti posebne modove upravljanja sa stanovišta iskorišćenja hidropotencijala vodotokova na kojima se nalaze. Primena modova ilustrovana je na primeru sistema Vlasinske HE, koji predstavlja kaskadu od 4 hidroelektrane. Upotreba simulacionog modela koji obuhvata modove prikazane u radu u procesu optimizacije parametara postrojenja pri projektovanju prikazana je na primeru projektovane kaskade HE „Buk Bijela“ i HE „Foča“ na reci Drini.

Treći deo monografije je posvećen informatičkom aspektu problema optimalnog upravljanja eksploatacijom hidropotencijala. Dat je prikaz arhitekture hardvera i softvera sistema za akviziciju podataka, obradu i arhiviranje distribuiranih hidrometeoroloških i hidroenergetskih podataka. Razmatra se i problematika provere i poboljšanja kvaliteta hidrometeoroloških podataka koji stižu u realnom vremenu u HIS. Stoga se u ovom delu monografije demonstrira i arhitektura sistema koji omogućava procenu stepena pouzdanosti svakog podatka, kako automatski tokom procesa prikupljanja, tako i kasnije ekspertski nad većim serijama podataka. Prikazane se i mogućnosti simulacije složenih hidrosistema korišćenjem biblioteke modela zasnovanih na simulaciji sistema sa diskretnim događajima. Konačno, kao sinteza većeg broja razmatranih rešenja, prikazano je i softversko rešenje zasnovano na metodama operativnog planiranja proizvodnje, sa optimizacijom rada hidroelektrana, koje se oslanja na prikazane numeričke modele tečenja, modove rada i optimizacione algoritme.

Svi delovi monografije sadrže i vrlo značajne doprinose autora na planu informatike. U tom okviru, razmatrani su algoritmi za procesiranje GIS podataka, zasnovani na digitalnom modelu visine terena (DEM) koji se mogu primenjivati za automatsko kreiranje ulaznih podataka neophodnih za hidrološke modele. Da bi se koristio za hidrološke potrebe, DEM mora biti očišćen od grešaka, sa ugrađenim rekama u teren i bez depresija. Nagibi i pravci maksimalnih nagiba (azimut ili aspekt) se izračunavaju iz takvog DEM modela. Na

osnovu DEM modela automatski se formira mreža površinskih kanala i reka (drenažna mreža) sa potrebnim nivoom detalja. Na osnovu nagibâ i pravaca nagiba sliv se deli na podslivove, površine koje drenira svaki rečni segment posebno. Konačno, izračunavaju se parametri specifični za ovaj model, kao što su dužina toka vode duž terena, dužina reke do izlaza iz podsliva, nagibi ovih segmenata, faktor oblika podsliva i prosečan ili težinski nagib podsliva.

U okviru doprinosa na planu informatike, posebno treba istaći razvoj servisno orijentisane i otvorene softverske arhitekture za akviziciju, obradu i arhiviranje distribuiranih hidrometeoroloških i hidroenergetskih padataka. Ovaj softver podrazumeva komunikaciju između sistema monitoringa i računskih modela. Rešenje je pronađeno na principu otvorene arhitekture, sa protokolima za komunikaciju, zasnovano na tehnikama veb servisa. Ova tehnologija smanjuje kompleksnost softvera i omogućuje dalji razvoj komponenti i funkcionalnosti, prema specifičnostima u svakom konkretnom slučaju. Time se mogu proširiti primene hidroinformatičnih sistema u podršci upravljanju vodnim resursima. Prikazana arhitektura daje osnove za razvoj relevantnih algoritama i modela, koji bi omogućili formiranje virtuelne hidrometeorološke i hidroenergetske opservatorije, kao bitne komponente savremenog sistema za integralno upravljanje vodnim resursima. Na ovaj način se postiže i visok stepen interoperabilnosti podataka sa drugim postojećim informacionim sistemima i simulacionim platformama.

Posebna vrednost monografije su izvanredni grafički prilozi, na najvišem nivou kompjuterske grafike. Na taj način je postignut impresivan sklad sadržine i forme, što mnogo doprinosi ukupnom utisku o knjizi.

Priređivači monografije, kao i autori koji su učestvovali na izradi određenih poglavlja, jesu vrlo kompetentni istraživači u oblasti vodoprivrede i hidroenergetike, sa velikim iskustvom u ovom domenu. Posebno je značajno njihovo iskustvo na razvoju sledećih hidroinformatičnih sistema: Hidro-Informatični Sistem Đerdap, Hidro-Informatični Sistem Drina i Hidro-Informatični Sistem Vlasina. Ovi hidroinformatični sistemi predstavljaju podršku odlučivanju na svim nivoima (lokalnom, regionalnom, državnom i prekograničnom). Njihovom implementacijom se stvara mogućnost za optimalno upravljanje u realnom vremenu i usklađivanje različitih subjekata (elektroenergetske kompanije u različitim državama, sa različitim interesima, u uslovima veoma izražene neravnomernosti prirodnih doticaja i potreba konzuma). Pomenuti hidroinformatični sistemi imaju dugoročnu ulogu, stvarajući uslove za dalji razvoj na slivu (novi razvojni projekti, dodatni proizvodni kapaciteti i sl.) u cilju optimalnog iskorišćenja hidropotencijala, kao i višenamenskog korišćenja voda.

Realno je očekivati da će monografija „Hidroinformatični sistemi i upravljanje hidroenergetskim resursima u Srbiji“ naići na veliki odjek u našoj stručnoj i naučnoj javnosti i da će doprineti daljoj afirmaciji autora i Instituta za vodoprivredu „Jaroslav Černi“. Ali, i više od toga, ona će predstavljati i značajan doprinos afirmaciji srpske nauke i struke u Evropi i svetu.

Slobodan Petković, Ljubo Mačić, Stevan Prohaska i Miloš Kojić

Beograd, 2009

# Predgovor

Potrebe za energijom su sve veće. Neobnovljive rezerve fosilnih goriva se postepeno iscrpljuju, pa sve veći značaj imaju obnovljivi energetske izvori, pre svega hidroenergija, iako je to jedan od najstarijih oblika korišćenja energije. S druge strane, pritisak na vodne resurse u celom svetu postepeno raste, pre svega zbog problema sa opadanjem kvaliteta vode i nedovoljnih količina vode za zadovoljenje osnovnih ljudskih potreba. Posmatranje vode kao samo hidroenergetskog resursa često je u sukobu sa ostalim potencijalnim korisnicima.

Da bi se unapredilo upravljanje hidroenergetskim resursima, neophodno je integrisati savremeno znanje o procesima koji prate tok vode, od padavina na slivno područje pa sve do izlaza iz hidrocentrale, sa realnim i ažurnim podacima trenutnog stanja sistema i sa optimizacionim algoritimima koji bi obezbedili postizanje cilja uz poštovanje postavljenih kriterijuma. Veoma je važno i da rezultat bude upotrebljiv u realnom vremenu, kako bi se rukovodcima hidroelektrana i drugih objekata za kontrolu voda obezbedila pravovremena podrška u donošenju odluka.

Rešenje problema leži u doslednoj primeni hidroinformatičkog pristupa. Sam termin „hidroinformatika“ je prvi uveo prof. Michael B. Abbott još 1993. godine<sup>1</sup>, vizionarski predviđajući početkom 1990-tih godina neophodnost povezivanja sve složenijih hidrauličkih računskih modela sa informatičkim modelima, koji se bave podacima u najširem smislu. On je uvideo stratešku potrebu da hidrauličari uspostave interakciju informacija i informatičke tehnologije sa životnom sredinom, čime se ostvaruje put ka kvalitetnijem i pouzdanijem modelovanju složenih procesa u prirodi.

Knjiga „Hidroinformacioni sistemi za upravljanje hidroenergetskim resursima u Srbiji“ je nastala kao rezultat razvoja i primene hidroinformatike na nekoliko najznačajnijih hidroenergetskih sistema u Srbiji, a što se odvijalo u periodu od 2004. do 2009.

Srbija ima značajne hidroenergetske resurse. Izgrađeni su brojni moćni energetske objekti. Naročito se ističu: sistem hidroelektrana izgrađen na zajedničkom srpsko-rumunskom sektoru Dunava („Đerdap 1“ snage 2165 MW i „Đerdap 2“, snage 540 MW), zatim sistem od 9 hidroelektrana na slivu Drine, ukupne snage 1932 MW, kao i sistem „Vlasinskih hidroelektrana“, relativno male snage od 126 MW, ali koji se koristi za proizvodnju vršne energije i kao hladna ili rotirajuća rezerva elektroenergetskog sistema. S druge strane, znatan deo hidroenergetskog potencijala još nije iskorišćen, pre svega na slivu Drine, gde je, zajedno sa susjednim državama, moguće izgraditi značajne nove hidroenergetske kapacitete.

Zbog toga je, upravo za upravljanje ovim sistemima, bilo potrebno da se uspostave odgovarajući Hidro-Informacioni Sistemi (skraćeno „HIS“): HIS „Drina“, HIS „Đerdap“ i HIS „Vlasina“. Inače, sam pojam Hidro-Informacioni Sistem, u smislu ove knjige, može se definisati kao tehnički sistem za podršku upravljanju vodnim resursima na slivu. HIS sadrži organizovani skup podataka i softverskih komponenti, i oslanja se na odgovarajuću međusobno povezanu mernu opremu i hardver, a nalazi se u službi namenski obučanih tehničkih lica.

---

<sup>1</sup> Abbott, M.B. (1993). The electronic encapsulation of knowledge in hydraulics, hydrology and water resources. *Advances in Water Resources*. Knjiga: 16, strane: 21-39

Knjiga daje sintezu veoma široke problematike savremene hidroinformatike i razvoja i primene konkretnih hidroinformatičkih sistema, čiji su najvažniji ciljevi: objedinjavanje svih relevantnih hidroloških, meteoroloških, hidrogeoloških, hidroenergetskih i drugih podataka i stvaranje uslova za njihovu dostupnost širokom krugu zainteresovanih korisnika, donošenje najpovoljnijih operativnih upravljačkih odluka na hidroelektranama u različitim situacijama, kao i donošenje najpovoljnijih strategijskih odluka za izbor optimalnih rešenja integralnog uređenja sliva.

Knjiga „Hidroinformatički sistemi za upravljanje hidroenergetskim resursima u Srbiji“ ima 15 poglavlja, koja su priređivači knjige grupisali i uobličili tako da, koristeći konkretne primere iz napravljenih hidroinformatičkih sistema, čitaoca postupno uvedu u složenu materiju njihove izrade i korišćenja u upravljanju hidroenergetskim resursima. Sama knjiga je podeljena na tri logičke celine. U prvom delu se daju teorijske osnove modeliranja oticanja sa slivova, kako prirodnih tako i modifikovanih, gde se mrežom kanala voda prebacuje iz jednog sliva u drugi. U drugom delu su prikazane osnove modeliranja interakcije vodotok – akumulacija – hidroelektrana. Treći deo daje detaljan prikaz neophodnih informatičkih tehnologija i numeričkih algoritama za rad sa velikim količinama podataka i optimizaciju složenih sistema.

U svim poglavljima knjige, pored teorijskih osnova i prikaza razvijenih algoritama, daju se i konkretni primeri iz napravljenih hidroinformatičkih sistema HIS „Drina“, HIS „Đerdap“ i HIS „Vlasina“. Na tim primerima se vidi kako se prikazani hidroinformatički sistemi koriste kao podrška odlučivanju u složenim uslovima rada, gde se sukobljavaju interesi nekoliko država koje dele iste resurse.

\* \* \*

Na razvoju tri prikazana hidroinformatička sistema zajednički je radila veća grupa istraživača iz Instituta za vodoprivredu „Jaroslav Černi“, zajedno sa stručnjacima sa Građevinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu i sa Mašinskog fakulteta Univerziteta u Kragujevcu.

Priređivači knjige se zahvaljuju autorima pojedinih poglavlja kao i ostalim kolegama čiji su rad i znanje doprineli razvoju komponenti nekog od hidroinformatičkih sistema.

Takođe, priređivači knjige se u ime svih autora zahvaljuju i svim kolegama koji su uložili velike napore da se ova knjiga tehnički uskladi i pripremi za štampu.

Ministarstvo za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije dalo je vrednu podršku razvoju hidroinformatičkih sistema kroz projekat: „Razvoj i primena hidroinformatičkih sistema u cilju povećanja energetske efikasnosti u upravljanju hidropotencijalom u Republici Srbiji“, koji se realizuje u periodu od 2008. do 2010. godine.

Ministarstvo poljoprivrede, šumarstva i vodoprivrede – Republička direkcija za vode je takođe značajno doprinelo razvoju hidroinformatičkih sistema kroz učešće u finansiranju 2. i 3. faze realizacije HIS-a „Drina“, u periodu od 2005. do 2007. godine.



Posebno ističemo JP „Elektroprivreda Srbije“ i njena privredna društva „Drinsko-Limske HE“ iz Bajine Bašte i „HE Đerdap“ iz Kladova, koji su, prepoznajući svoju potrebu, ali i širi društveni interes, direktno finansirali konkretne hidroinformacione sisteme „Drina“, „Đerdap“ i „Vlasina“ i čiji su stručnjaci direktno upravljajući najznačajnijim srpskim hidroelektranama, kroz svoje redovne poslove pružili posredan, ali značajan doprinos.

Svim ovim institucijama, odnosno brojnim kolegama i prijateljima, koji su svako na svom nivou odgovornosti doprineli da se pokrene razvoj Hidro-Informacionih Sistema u Srbiji, autori pojedinih poglavlja i priređivači knjige duguju veliku zahvalnost.

Naročitu zahvalnost priređivači knjige duguju recenzentima knjige, dr Slobodanu Petkoviću, redovnom profesoru, Ljubu Mačiću, predsedniku saveta Agencije za energetiku Republike Srbije, dr Stevanu Prohaski, redovnom profesoru i dr Milošu Kojiću, redovnom profesoru u penziji i dopisnom članu Srpske akademije nauka i umetnosti, koji su svojim iskustvom i znanjem pomogli u koncipiranju ove knjige.

Dejan Divac, Dušan Prodanović i Nikola Milivojević

Beograd, 2009

# Sadržaj

<b>1. Hidroinformacioni sistemi za upravljanje hidroenergetskim resursima u Srbiji</b>	<b>1</b>
1.1 Uvod	1
1.1.1 Opšta razmatranja u vezi planiranja i upravljanja vodnim resursima	1
1.1.2 Uloga hidroelektrana u integralnom sistemu proizvodnje električne energije	2
1.1.3 Primena informacionih tehnologija u upravljanju hidroenergetskim resursima	4
1.2 Hidroenergetski resursi u Republici Srbiji	8
1.2.1 Uloga i značaj hidroelektrana u energetsom sistemu Srbije	8
1.2.2 Osvrt na moguće dalje pravce razvoja kapaciteta za proizvodnju električne energije u Srbiji	12
1.3 Konceptija Hidroinformacionog Sistema	13
1.4 Struktura Hidroinformacionog Sistema	15
1.4.1 Centralni server HIS-a	15
1.4.2 Akvizicioni serveri HIS-a	19
1.4.3 Korisnički podsistemi HIS-a	19
1.4.4 Specijalizovane HIS aplikacije – programi za simulaciju i optimizaciju	20
1.5 Kratak prikaz realizovanih hidroinformacionih sistema	21
1.5.1 Hidroinformacioni sistem Đerdap	22
1.5.2 Hidroinformacioni sistem „Drina“	25
1.5.3 Hidroinformacioni sistem „Vlasina“	28
1.6 Organizacija knjige	30

## Deo I: Modeliranje oticaja sa slivova

<b>2. Modeliranje oticaja na kompleksnim slivnim površinama</b>	<b>37</b>
2.1 Uvod	37
2.2 Istorijski razvoj SWAT modela	37
2.3 Opšte o modelu	39
2.3.1 Prednosti i ograničenja modela	39
2.3.2 Dosadašnje adaptacije modela	40
2.3.3 Razlozi razvoja novog modela	40
2.4 Teorijske osnove novog modela SWAT	41
2.4.1 Struktura modela i matematičke osnove	41
2.4.2 Bilans vode kroz nezasićenu sredinu	43
2.4.3 Akumulisanje i topljenje snega	44
2.4.4 Proračun mogućeg površinskog oticaja	46
2.4.5 Proračun potencijalne evapotranspiracije (Eo)	46
2.4.6 Proračun padavina koje dospevaju do tla	47
2.4.7 Proračun stvarne evapotranspiracije	48
2.4.8 Prodiranje vode u dublje slojeve zemljišta (perkolacija)	48
2.4.9 Proračun podzemnog i površinskog oticaja	49

2.4.10	Proračun vremena koncentracije oticaja sa sliva do izlaznog profila	51
2.4.11	Ukupni oticaj sa sliva	51
2.5	Novi model SWAT u biblioteci HIS aplikacija	51
2.5.1	Klase modela	52
2.5.2	Klasa konfiguracije složenih slivova	52
2.5.3	Klasa modela sliva	52
2.5.4	Klasa elementarne hidrološke jedinice	53
2.5.5	Proširenje korisničkog interfejsa HIS-a	53
2.6	Primer upotrebe novog modela	55
2.7	Zaključak	58
<b>3.</b>	<b>GIS algoritmi za automatsko kreiranje podataka za hidrološke modele</b>	<b>63</b>
3.1	Uvod	63
3.2	Prostorni podaci – DEM	64
3.2.1	DEM prikaz	64
3.2.2	Proračun nagiba i pravca maksimalnog nagiba na osnovu DEM-a	66
3.3	Hidrološki izvodi DEM-a	69
3.3.1	Određivanje malih i velikih depresija iz DEM-a	69
3.3.2	Praćenje putanje površinskog toka vode	73
3.3.3	Određivanje granica podsliva (delineacija)	74
3.4	Parametri koji se odnose na DEM, a koriste se u SWAT-u	78
3.5	Zaključak	81
<b>4.</b>	<b>Estimacija parametara distribuiranih hidroloških modela</b>	<b>87</b>
4.1	Uvod	87
4.2	Dosadašnja iskustva sa kalibracijom SWAT modela	87
4.3	Opšte o kalibraciji hidroloških modela	88
4.4	Predloženi postupak kalibracije i validacije modela	92
4.4.1	Osnovna načela predloženog postupka	92
4.4.2	Izbor parametara koji se tariraju	94
4.4.3	Parametri vezani za vegetaciju	95
4.4.4	Parametri vezani za pedologiju	95
4.4.5	Parametri vezani za hidrogeologiju	96
4.4.6	Ostali parametri	96
4.4.7	Početne vrednosti za tariranje parametara	96
4.4.8	Parametri vezani za vegetaciju	97
4.4.9	Parametri vezani za pedologiju	98
4.4.10	Parametri vezani za hidrogeologiju	98
4.4.11	Parametri podsliva	98
4.4.12	Izbor perioda za kalibraciju i validaciju	99
4.4.13	Izbor optimizacionog algoritma	100
4.5	Kalibracija SWAT baziranog modela pomoću paralelnih genetičkih algoritama	101
4.5.1	Opšte o paralelnim genetičkim algoritmima	101

4.5.2	Primena paralelnih genetičkih algoritama u kalibraciji modela baziranog na SWAT algoritmu	102
4.5.3	Upotreba PGA za kalibraciju SWAT modela u biblioteci HIS aplikacija	105
4.6	Primer kalibracije modela	106
4.6.1	„Bajina Bašta“ - brana	106
4.6.2	Ceo sliv reke Drine	108
4.7	Zaključak	110
<b>5.</b>	<b>Procedura ažuriranja stanja distribuiranih hidroloških modela za operativnu prognozu doticaja</b>	<b>113</b>
5.1	Uvod	113
5.2	Principi prilagođavanja podataka u hidrološkim modelima	114
5.3	Osnovne postavke predložene metodologije određivanja ažurnog stanja	117
5.3.1	Model transformacije padavina u oticaj	119
5.3.2	Ulazni podaci za model transformacije padavina u oticaj	120
5.4	Formiranje ulaznih veličina na osnovu merenja na meteorološkim stanicama	122
5.4.1	Metode interpolacije	123
5.4.2	Automatska interpolacija podataka o padavinama sa meteoroloških stanica	126
5.5	Formiranje ulaznih veličina hidrološkog modela na osnovu prognostičkih podataka	128
5.6	Primenjeni optimizacioni algoritmi	129
5.6.1	Definisanje rešenja u obliku pogodnom za genetičke algoritme	130
5.6.2	Određivanje valjanosti rešenja	131
5.7	Upotreba predložene metodologije u okviru hidro-informacionog sistema	132
5.7.1	Značaj određivanja ažurnog stanja simulacionog modela	132
5.7.2	Primer određivanja ažurnog stanja simulacionog modela	133
5.7.3	Rezultati upotrebe ažurnog stanja simulacionog modela	134
5.8	Zaključak	136
<b>6.</b>	<b>Modeliranje oticaja u uslovima bifurkacije usled ispresecanosti sliva kanalima</b>	<b>139</b>
6.1	Uvod	139
6.2	Osvrt na teorijske osnove SWAT modela	139
6.3	Teorijske osnove novog modela	140
6.3.1	Adaptacija SWAT teorije	140
6.3.2	Algoritam virtualne veze HPK-HPP	146
6.4	Primena novog modela	149
6.4.1	Priprema modela	149
6.4.2	Primer simulacije oticaja sa sliva kanala „Čemernik“ i „Strvna“	149
6.5	Rezultati	150
6.6	Zaključak	152
<b>Deo II: Modeliranje interakcije vodotok – akumulacija – hidroelektrana</b>		
<b>7.</b>	<b>Osnove modeliranja tečenja u sistemu otvorenih tokova, akumulacija i hidroelektrana</b>	<b>157</b>
7.1	Uvod	157

7.2	Dekompozicija prostora i opšta pravila	158
7.3	Matematički modeli	161
7.3.1	Modeliranje tečenja u reci i akumulaciji	161
7.3.2	Modeliranje objekata na brani	167
7.3.3	Modeliranje akumulacione hidroelektrane	169
7.4	Primena modela u biblioteci HIS aplikacija	171
7.5	Primer korišćenja matematičkog modela hidroenergetskog sistema	172
7.5.1	Tariranje modela tečenja u reci i akumulaciji	173
7.5.2	Prikaz ulaznih podataka	174
7.5.3	Rezultati proračuna	177
7.6	Zaključak	178
<b>8.</b>	<b>Modeliranje neustaljenog tečenja u sistemu otvorenih tokova, akumulacija i hidroelektrana</b>	<b>181</b>
8.1	Uvod	181
8.2	Teorijske osnove neustaljenog tečenja u otvorenim tokovima	182
8.2.1	Jednačina linijskog neustaljenog tečenja	183
8.2.2	Jednačine očuvanja mase i količine kretanja	185
8.2.3	Jednačine Saint-Venant-a	186
8.3	Konturni uslovi modela neustaljenog tečenja	186
8.3.1	Unutrašnji granični uslovi	187
8.3.2	Spoljašnji granični uslovi	189
8.4	Numerički postupak rešavanja	190
8.4.1	Metoda konačnih razlika	190
8.4.2	Matrične forme komponenti modela	192
8.5	Matrična forma sistema HE „Đerdap 1“ – HE „Đerdap 2“	196
8.6	Algoritam simulacije	199
8.7	Parametri modela i kalibracija	201
8.8	Rezultati	203
8.9	Zaključak	205
<b>9.</b>	<b>Ažuriranje stanja modela neustaljenog tečenja kao podrška operativnom upravljanju</b>	<b>207</b>
9.1	Uvod	207
9.2	Teorijske osnove određivanja ažurnog stanja matematičkih modela	209
9.2.1	Procedura ažuriranja pomoću algoritma za filtriranje	209
9.2.2	Korekcija izlaznih veličina metodom autoregresije	211
9.2.3	Ažuriranje stanja sistema korigovanjem ulaznih podataka	211
9.3	Određivanje ažurnog stanja u modelima tečenja u otvorenim tokovima	212
9.4	Primenjeni optimizacioni algoritmi	215
9.4.1	Način kodiranja	216
9.4.2	Funkcija valjanosti	216
9.4.3	Opis postupka	217

9.5	Primena metodologije za određivanje ažurnog stanja sistema „Đerdap“	217
9.5.1	Opis sistema i modela sistema „Đerdap“	217
9.5.2	Uloga ažurnog stanja sistema „Đerdap“ i njegov uticaj na operativno upravljanje	218
9.5.3	Analiza raspoloživih podataka	219
9.6	Primer primene predložene metodologije	221
9.7	Zaključak	223
<b>10.</b>	<b>Algoritmi za upravljanje proizvodnjom hidroelektrana</b>	<b>225</b>
10.1	Uvod	225
10.2	Modeliranje elemenata hidroelektrana	226
10.2.1	Dovod vode	227
10.2.2	Turbina	228
10.2.3	Generator	233
10.2.4	Transformator	234
10.3	Modovi rada hidroelektrana	234
10.3.1	Zadavanje dnevne energije, optimalan rad HE	234
10.3.2	Zadavanje dnevne energije i režima rada HE	236
10.3.3	Zadavanje snage hidroelektrane sa ravnomernom raspodelom opterećenja na agregate	237
10.3.4	Zadavanje snage hidroelektrane sa proizvoljnom raspodelom opterećenja na agregate	238
10.3.5	Rad hidroelektrane po tekućem dotoku, striktno protočni rad	239
10.3.6	Rad hidroelektrane približno prema dotoku, režim rada optimalan	240
10.3.7	Rad sa zadavanjem snaga po agregatima	240
10.3.8	Rad sa zadavanjem protoka po agregatima	241
10.3.9	Preporuke za primenu modova	242
10.4	Primeri simulacija	242
10.4.1	Primeri rada HE „Uvac“	242
10.4.2	Primer rada HE „Višegrad“	244
10.5	Zaključak	245
<b>11.</b>	<b>Modeliranje upravljanja hidroelektranama u kaskadi</b>	<b>249</b>
11.1	Uvod	249
11.2	Kaskadne hidroelektrane u Republici Srbiji	250
11.3	Modeliranje rada kaskade „Vlasinske HE“	251
11.3.1	Modovi rada	253
11.4	Modeliranje kratkoročnog planiranja rada sistema „Vlasinske HE“	257
11.5	Modeliranje dugoročnog planiranja rada sistema „Vlasinske HE“	258
11.6	Modeliranje rada kaskade hidroelektrana „Buk Bijela“ i „Foča“	259
11.7	Zaključak	262
<b>Deo III: Informacione tehnologije i numerički algoritmi</b>		
<b>12.</b>	<b>Otvorena softverska arhitektura za akviziciju, obradu i arhiviranje podataka</b>	<b>267</b>
12.1	Uvod	267

12.2 Hidroinformacioni sistemi	268
12.2.1 Hidrometeorološki i hidroenergetski podaci u hidroinformacionim sistemima	268
12.2.2 Izvori hidrometeoroloških i hidroenergetskih informacija	269
12.2.3 Organizaciona struktura informacionog sistema	269
12.3 Servisno orijentisana arhitektura	270
12.3.1 Struktura servisno orijentisanog hidroinformacionog sistema	270
12.3.2 Centralni server	273
12.3.3 Akvizicioni server	279
12.3.4 Korisnički server	281
12.3.5 Specijalizovane HIS aplikacije	283
12.4 Implementacija hidroinformacionih sistema u distribuiranom okruženju	284
12.4.1 Arhitektura distribuiranih sistema	285
12.4.2 Objektno-orijentisano programiranje	286
12.4.3 Objektno-orijentisani razvoj simulacionog okruženja	286
12.4.4 Razvojna platforma Microsoft .NET	287
12.5 Zaključak	288
<b>13. Provera, validacija i poboljšanje kvaliteta vremenskih serija</b>	<b>291</b>
13.1 Uvod	291
13.2 Kvalitet i pouzdanost izmerenih podataka	294
13.3 Povećavanje pouzdanosti merenih podataka	297
13.4 Validacija podataka	299
13.4.1 Primeri metoda validacije	302
13.5 Poboljšanje podataka – rekonstrukcija	306
13.6 Prilagođavanje podataka	307
13.7 Zaključak	310
<b>14. Simulacija složenih hidroenergetskih sistema upotrebom modela sa diskretnim događajima</b>	<b>313</b>
14.1 Uvod	313
14.2 Simulacija sistema sa diskretnim događajima	315
14.2.1 Formalni opis sistema sa diskretnim događajima	316
14.2.2 Specifikacija modela sa diskretnim događajima	318
14.2.3 Sprezanje atomskih modela sa diskretnim događajima	319
14.2.4 Simulatori modela sa diskretnim događajima	320
14.2.5 Simulator atomskog modela sa diskretnim događajima	321
14.2.6 Simulator spregnutog modela sa diskretnim događajima	322
14.3 Platforma za modeliranje i simulaciju složenih hidro sistema	323
14.3.1 Primeri modela sa diskretnim događajima	324
14.3.2 Struktura biblioteke modela za simulaciju hidro sistema	326
14.3.3 Objekti obuhvaćeni bibliotekom modela	327
14.3.4 Formiranje kompleksnog simulacionog modela	329
14.4 Primer primene DEVS modela u simulaciji složenih hidro sistema	329

14.4.1	Kompleksan model sliva Drine	330
14.4.2	Upotreba modela	331
14.4.3	Rezultati simulacije	332
14.4.4	Zaključak	332
<b>15.</b>	<b>Računarski podržana optimizacija rada hidroelektrana</b>	<b>335</b>
15.1	Uvod	335
15.2	Komentar nekih konvencionalnih mogućnosti operativnog planiranja proizvodnje	336
15.2.1	Mešovito celobrojno programiranje u problemima optimalnog angažovanja agregata	336
15.2.2	Benders-ova metoda dekompozicije	337
15.2.3	Dinamičko programiranje u problemima optimalnog angažovanja agregata	337
15.2.4	Metoda relaksacije Lagranžijana	338
15.2.5	Heurističke metode u problemima optimalnog angažovanja agregata	338
15.3	Nove mogućnosti u operativnom planiranju proizvodnje	338
15.3.1	Generalno o simulaciji rada hidroenergetskih sistema	339
15.3.2	Generalno o optimizacionim algoritmima u eksploataciji hidroenergetskih sistema	341
15.3.3	Realizacija zadatog plana uz poštovanje ograničenja	341
15.3.4	Maksimalno iskorišćenje hidropotencijala prema zadatim satnim prioritetima	344
15.3.5	Adaptivni genetički algoritmi upravljani fazi-logičkim kontrolerima	346
15.3.6	Opis strukture fazi-logičkog kontrolera	347
15.3.7	Upotreba fazi-logičkog kontrolera za kontrolu adaptivnih genetičkih algoritama	347
15.3.8	Implementirani adaptivni genetički algoritam	348
15.4	Optimalno upravljanje hidroenergetskim sistemom HE „Đerdap“	349
15.4.1	Primer generisanja optimalnog plana proizvodnje prema časovnim prioritetima	350
15.4.2	Uticao fazi kontrolera na konvergenciju algoritma	354
15.5	Zaključak	355



# Simulacija složenih hidroenergetskih sistema upotrebom modela sa diskretnim događajima

Nikola Milivojević, Nenad Grujović

---

### 14.1 Uvod

Modeliranje hidrosistema nalazi se u samoj osnovi savremenog upravljanja vodnim resursima (Poglavlje 1). Koreni modeliranja hidrosistema leže u preko sto godina starim hidrološkim modelima. Neki od prvih takvih modela bili su namenjeni za modeliranje predviđanja velikih voda (Mulvaney 1850), model analize zapremina rezervoara (Rippl 1883) i metod jediničnog hidrograma za transformaciju padavina u oticaj sa sliva (Sherman 1932). Vremenom su se razvijali novi analitički i numerički modeli, ali je najveći napredak postignut nakon pojave računara. Današnji razvoj modeliranja i simulacije u hidroeinformatici je pre samo 50 godina bio jednostavno nezamisliv.

Danas je napredak u hidroeinformatičkim disciplinama usko povezan sa modeliranjem i simulacijom (Divac i dr. 1999, Grujović i Divac 2004). Iako su discipline poput eksperimentalne hidrologije veoma bitne, tek u sprezi sa modeliranjem i simulacijom dolazi se do potpuno novih hipoteza i teorija. Modeliranje i simulacija su u hidroeinformatici postali platforma za testiranje novih teoretskih postavki i hipoteza pomoću kojih se produbljuje razumevanje procesa i fenomena i načina njihove interakcije.

Matematički modeli relevantni za simuliranje u primeni hidroeinformacionih sistema mogu biti veoma raznovrsni u pogledu svih aspekata modeliranja, kako prema konceptu tako i prema metodama simuliranja koje se mogu upotrebiti (HR Wallingford Report 2002). U literaturi su publikovane različite podele hidroloških modela. Uobičajena podela se zasniva na suprotstavljenim konceptima, kao što su deterministički i stohastički, koncentrisani i distribuirani, ustaljeni i vremenski promenljivi itd. (Singh 1995, Abbott i Refsgaard 1996, Refsgaard i Knudsen 1996). Generalno pitanje koje se javlja u projektovanju simulacionih softverskih paketa je koji je skup informacija potrebno da paket obezbedi korisniku da bi on u što kraćem vremenu doneo ispravnu odluku ili zaključke. U principu, najopštija podela modela je na modele potpuno orijentisane ka korišćenju merenih stanja realnog sistema i na potpuno fizički zasnovane modele, orijentisane ka matematičkom modeliranju procesa koji se simulira. Ova dva tipa modela predstavljaju dve krajnosti, između kojih se nalazi čitava lepeza „hibridnih“ rešenja u zavisnosti od raspoloživih podataka, definicije samih procesa, upotrebe modela i sl.

Fina podela unutar mogućeg skupa modela nije moguća, jer su praktično dozvoljeni svi nivoi primene krajnjih rešenja (potpuno orijentisani ka korišćenju merenih stanja realnog procesa i potpuno fizički zasnovani modeli orijentisani ka matematičkom modeliranju procesa) bez određenih ograničenja. Međutim, često se vrši nešto grublja podela, i to na neuronske mreže, hibridne modele, numeričke modele sa statističkim elementima i determinističke numeričke modele.

Neuronske mreže zasnivaju se na kalibraciji parametara korelacije između ulaznih i izlaznih skupova. Hibridni modeli, pored korelacija na kojima se baziraju neuronske mreže, dopunski uvode određena fizički zasnovana pravila, koja se nadopunjuju znanjem

operativnog upravljanja u eksploataciji, kao i na svim nivoima angažovanja, od merenja i prikupljanja informacija do složenih dokaznih postupaka u pravnim procedurama. Srž sistema za podršku odlučivanju je kompleksan simulacioni model čitavog sliva, koji pokriva veliki broj procesa i dozvoljava jednostavno proširenje u smislu pokrivanja svih pojava koje su relevantne za upravljanje slivom. Definisanje ovakvog modela otežano je činjenicom da je potrebno vršiti integralnu simulaciju heterogenih modela.

Kod klasičnog pristupa modeliranju i simulaciji u rešavanju praktičnih inženjerskih problema, jedan od osnovnih nedostataka je izolovani pristup njihovom rešavanju. S druge strane neosporna je činjenica da modeliranje i simulacija sve češće moraju poprimiti multidisciplinarni karakter, jer su predmeti njihove implementacije uglavnom sve složeniji sistemi u kojima se odvijaju raznorodni procesi u njihovim međusobnim interakcijama.

Prikazano simulaciono okruženje prevazilazi granice postavljene tipovima modela, simulacionim algoritmima, operativnim sistemima i samom lokacijom računarskih resursa. Prikazanim specifikacijama sistema i njima odgovarajućim simulacionim algoritmima moguće je vršiti modeliranje i simulaciju široke lepeze realnih sistema.

## Literatura

- Abbott M B, Refsgaard J C (1996). *Distributed Hydrological Modelling*, Kluwer Academic Publishers, 1996.
- Delaney W, Vaccari E (1989), *Dynamic Models and Discrete Event Simulation*, Marcel Dekker Inc., 1989.
- Divac D, Grujović N, Milovanović M (1999). *Nov simulacioni model za bilansnu analizu vodoprivrednih sistema - Metodologija, softver i primena*, Monografija: Upravljanje vodnim resursima Srbije. Beograd: Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“, 1999.
- Enderton H B (1977). *Elements of Set Theory*, Academic Press, 1977.
- European Parliament (2000). *Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy*, Official Journal L 327 , 22/12/2000, pp. 0001 - 0073
- Grujović N, Divac D (2004), *Numeričke procedure i algoritmi simulacionog modela sliva Drine*, Časopis Vodoprivreda. Beograd: Vodoprivreda, 2004. pp. 123-130. Vol. 36.
- HR Wallingford Report (2001). *State of the Art Review, Work Package 1, Harmonit, IT Frameworks*, Contract EVK1-CT-2001-00090.
- Hopcroft J E, Motwani R, Ullman J D (2000). *Introduction to Automata Theory, Languages, and Computation (2nd Edition)*. Pearson Education. ISBN 0-201-44124-1.
- Milivojević N, Grujović N, Stojanović B, Divac D, Milivojević V (2009), *Discrete Events Simulation Model Applied to Large-Scale Hydro Systems*. Journal of the Serbian Society for Computational Mechanics, Vol. 3, No. 1, pp. 250-272
- Mulvaney T J (1850). *On the use of self-registering rain and flood gauges in making observations of the relations of rainfall and of flood discharges in a give catchment*, Proceedings of the Institution of Civil Engineers Ireland, 1850. pp. 18-31. No. 4.
- OpenMI Document Series (2007). *Part A - Scope for the OpenMI*, The OpenMI Association, 2007.
- Prohaska S, Simić Z, Milivojević N, Orlić A, Ristić V (2004), *Rainfall-runoff modelling based on the SWAT model*, XXII Conference of the Danubian countries on the Hydrological forecasting and Hydrological bases of water management, Brno.
- Refsgaard J C, Knudsen J (1996). *Operational validation and intercomparison of different hydrological models*, Water Resources Research, 1996. pp. 2189-2202. No. 32.

- Rippl W (1883). The capacity of storage reservoirs for water supply. Proceedings of the Institution of Civil Engineers, 1883. pp. 270-278. No. 71.
- Sherman L K (1932). Streamflow from rainfall by the unit-graph method, Engineering News-Record, 1932. pp. 501-505. No. 205.
- Singh V P (1995). Computer Models of Watershed Hydrology, Water Resources Publications, 1995.
- Zeigler B P, Praehofer H, Tag G K (2000). Theory of Modeling and Simulation. New York: Academic Press, 2000.

# Podaci o recenzentima

Dr STEVAN PROHASKA, dipl. inž. građ.

Naučno zvanje i funkcija:

Naučni savetnik u Institutu za vodoprivredu "Jaroslav Černi" i

Redovni profesor Rudarsko-geološkog Fakulteta Univerziteta u Beogradu.

Glavne oblasti naučne i stručne aktivnosti:

Hidrologija, hidrološke prognoze i vodoprivreda.

Adresa:

Institut za vodoprivredu "Jaroslav Černi"

Jaroslava Černog 80, 11226 Pinosava, Beograd

E-mail: stevan.prohaska@jcerni.co.rs

Dr SLOBODAN PETKOVIĆ, dipl. inž. građ.

Naučno zvanje i funkcija:

Redovni profesor Šumarskog fakulteta Univerziteta u Beogradu.

Glavne oblasti naučne i stručne aktivnosti:

Hidraulika, hidrologija, zaštita od erozije i uređenje bujičnih tokova, transport nanosa u bujičnim tokovima, vodoprivreda.

Adresa:

Šumarski fakultet Univerziteta u Beogradu

Kneza Višeslava 1, 11000, Beograd

E-mail: spetkovic@ikomline.net

LJUBO MAČIĆ, dipl. inž. maš.

Naučno zvanje i funkcija:

Predsednik saveta Agencije za energetiku Republike Srbije.

Glavne oblasti naučne i stručne aktivnosti:

Energetika, regulacija energetske tržišta

Adresa:

Agencije za energetiku Republike Srbije

Terazije 5, 11000, Beograd

E-mail: ljubo.macic@aers.rs

Dr MILOŠ KOJIĆ, dipl. inž. maš.

Naučno zvanje i funkcija:

Dopisni član Srpske akademije nauka.

Senior Research Scientist, Harvard School of Public Health

Research Professor, The University of Texas Health Science Center at Houston, USA

Glavne oblasti naučne i stručne aktivnosti:

Numerički algoritmi, proračunska mehanika, biomehanika.

Adresa:

677 Huntington Avenue, B1, #1303

Boston, MA 02115, USA

E-mail: mkojic@hsph.harvard.edu