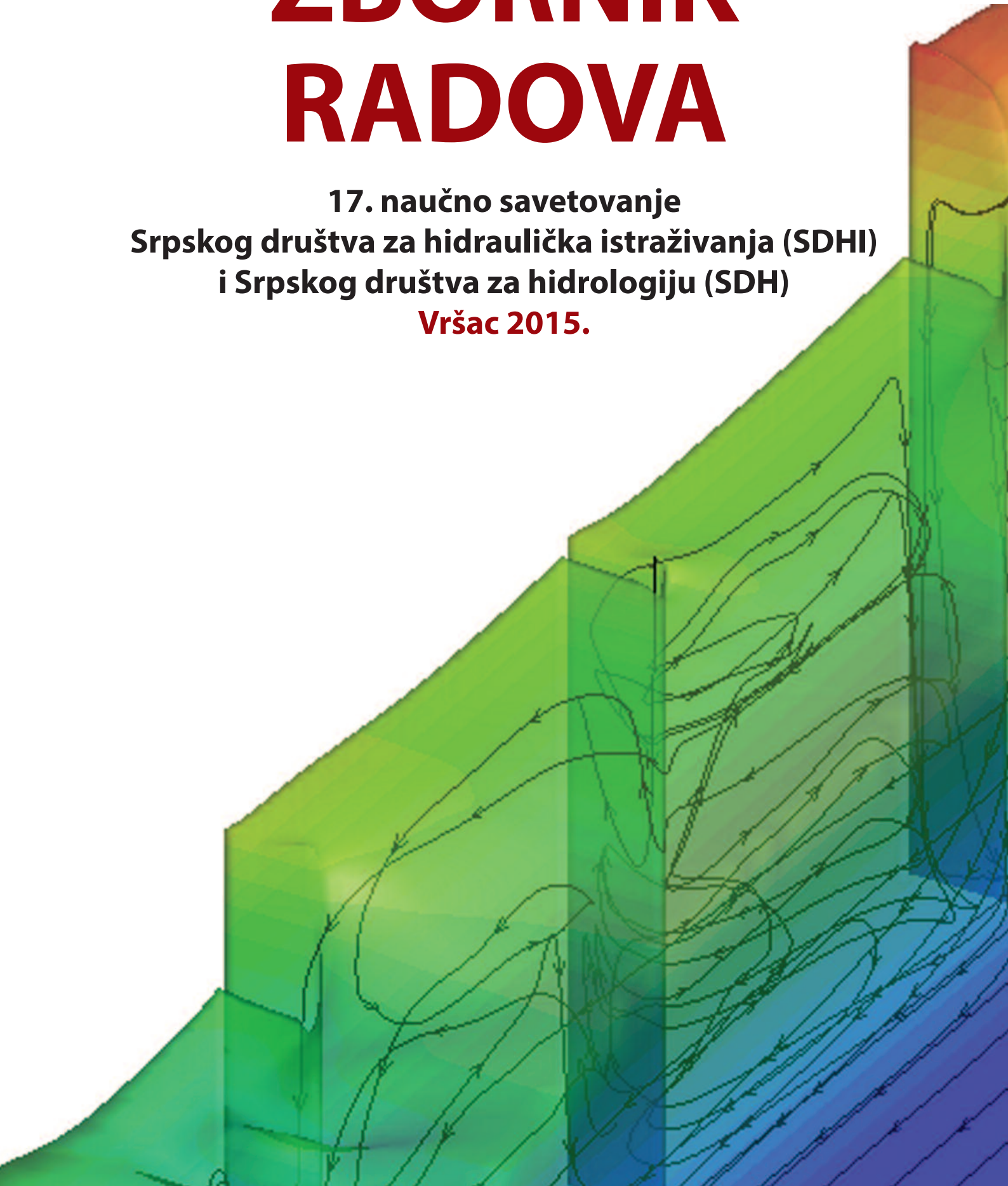


ZBORNİK RADOVA

17. naučno savetovanje
Srpskog društva za hidraulička istraživanja (SDHI)
i Srpskog društva za hidrologiju (SDH)
Vršac 2015.



Srpsko društvo za hidraulička istraživanja (SDHI)
Srpsko društvo za hidrologiju (SDH)

ZBORNİK RADOVA

**17. naučnog savetovanja
Srpskog društva za hidraulička istraživanja i
Srpskog društva za hidrologiju**

Vršac, 5-6. oktobar 2015.

Priredili:
MARKO IVETIĆ
RADOMIR KAPOR
JASNA PLAVŠIĆ

Univerzitet u Beogradu – Građevinski fakultet
Beograd

Zbornik radova 17. naučnog savetovanja
Srpskog društva za hidraulička istraživanja i
Srpskog društva za hidrologiju
Vršac, 5-6. oktobar 2015.

Elektronsko izdanje na CD-u

Urednici

Marko Ivetić
Radomir Kapor
Jasna Plavšić

Izdavač

Univerzitet u Beogradu – Građevinski fakultet

Za izdavača

Prof. dr Branko Božić, dekan

Dizajn i priprema

Miodrag Jovanović i Agencija Omnibus

Tiraž

200 primeraka

CIP - Каталогизacija у публикацији -
Народна библиотека Србије, Београд

626/628(082)(0.034.2)

532.5(082)(0.034.2)

СРПСКО друштво за хидрауличка истраживања (Београд). Научно саветовање
(17 ; 2015 ; Вршац)

Zbornik radova 17. naučnog savetovanja Srpskog društva za hidraulička
istraživanja i Srpskog društva za hidrologiju, Vršac, 5-6. oktobar 2015.

[Elektronski izvor] / priredili Marko Ivetić, Radomir Kapor, Jasna Plavšić.

- Beograd : Univerzitet, Građevinski fakultet, 2016 (Beograd : Dedraplast).

- 1 elektronski optički disk (CD-ROM) ; 12 cm

Sistemske zahteve: Nisu navedeni. - Nasl. sa naslovne strane dokumenta. -

Radovi na srp. i engl. jeziku. - Tiraž 200. - Napomene uz tekst. -

Bibliografija uz svaki rad. - Abstracts ; Apstrakti.

ISBN 978-86-7518-183-5

1. Иветић, Марко [приређивач, сакупљач], 1952- 2. Српско друштво за
хидрологију (Београд). Научно саветовање (17 ; 2015 ; Вршац)

а) Хидротехника - Зборници б) Хидродинамика - Зборници с) Хидраулика

- Зборници

COBISS.SR-ID 225386764

Sadržaj

Naučni odbor savetovanja	viii
Organizacioni odbor savetovanja	viii
Predgovor	ix
Uticaj sistema napera na uzvodno usporavanje toka	1
<i>Miodrag Jovanović</i>	
Флувијална ерозија на Јужној и Великој Морави	18
<i>Слободан Петковић, Милан Малешев, Вања Дамјановић</i>	
О утицају подводних каскада на неке хидродинамичке показатеље течења на речним ушћима	30
<i>Дејана Ђорђевић, Иван Стојнић</i>	
Раванско 2Д течење у доводном каналу Барачка испред ЦС Бездан II на Дунаву	42
<i>Бела Варга, Матија Ступић, Срђан Колаковић</i>	
Нумеричко моделирање бурног течења у проводнику са хоризонталном кривином	52
<i>Милена Лучић, Љубодраг Савић, Радомир Капор, Никола Младеновић</i>	
Model za brze proračune ravanskog plavljenja	65
<i>Dragan Savić, Slobodan Djordjević, Albert Chen, Michel Guidolin</i>	
Procena karaktera strujanja u krivini zatvorenog provodnika pomoću SPH metode	87
<i>Nikola Rosić, Ljubodrag Savić, Dejana Đorđević, Milena Lučić</i>	
Modeliranje neustaljenog strujanja u poroznoj sredini metodom konačnih elemenata	97
<i>Damjan Ivetić, Nenad Jaćimović, Dušan Prodanović</i>	
Poređenje metoda za proračun propagacije talasa za potrebe hidrološkog modeliranja	110
<i>Žana Topalović, Marko Ivetić, Jasna Plavšić</i>	
Разматрање утицаја геометрије и хидрауличких отпора на основне одлике течења у кориту за велику воду	124
<i>Иван Стојнић, Филип Мухић, Дејана Ђорђевић</i>	
Процена криве протока у кориту за велику воду применом метода размене количине кретања и независних сегмената	135
<i>Филип Мухић, Филип Станић, Иван Стојнић, Дејана Ђорђевић</i>	
Zaštita naselja od velikih voda kontrolom protoka na uzvodnom mostovskom propustu	146
<i>Božidar Batinić, Dragutin Pavlović, Anja Randelović</i>	
Specifični pregradni hidrotehnički objekti hidroelektrane Papenoo 0, Tahiti	158
<i>Nataša Marinković</i>	
Usporedna analiza bočnog preлива sa glatkim brzotokom i piano key preлива sa stepenastim brzotokom na brani Yarascay (Tacna, Peru)	167
<i>Dalibor Drašković</i>	
Ispitivanja lavirint preлива na dva fizička modela različitih razmera	183
<i>Danica Starinac, Predrag Vojt, Marijana Damnjanović, Radomir Kapor, Ljubodrag Savić, Budo Zindović, Dragiša Žugić</i>	

17. Savetovanje SDHI i SDH - Vršac, Srbija 2015. Conference SDHI & SDH - Vršac, Serbia 2015.

Primer modeliranja hidraulike i upravljanja kaskadnog hidroenergetskog sistema	202
<i>Miloš Milišinić, Damjan Ivetić, Dušan Prodanović</i>	
Закони сличности хидрауличних турбина	215
<i>Мирослав Бенишек</i>	
Бурно течење у хоризонталној кривини затвореног проводника	230
<i>Милена Лучић, Љубодраг Савић, Радомир Капор, Никола Младеновић</i>	
Губитак енергије при хеликоидном течењу у затвореном проводнику са кривином.....	244
<i>Милена Лучић, Љубодраг Савић, Радомир Капор, Никола Младеновић</i>	
Зависност хидродинамичких притисака у слапишту од сужења степенастог брзотока	254
<i>Бојан Миловановић, Будо Зиндовић, Предраг Војт, Радомир Капор, Владан Кузмановић, Љубодраг Савић</i>	
Анализа хидродинамичких притисака у умирујућем базену насуте бране	264
<i>Маријана Дамњановић, Предраг Војт, Даница Старинац, Драгиша Жугић, Радомир Капор, Љубодраг Савић</i>	
Анализа узгона на брану „Бајина Башта“ на основу података осматрања	273
<i>Јована Јосиповић, Бојан Миловановић, Владан Кузмановић, Љубодраг Савић</i>	
Приказ садржаја научног пројекта МПНТР ТР 37005 „Оцена утицаја климатских промена на водне ресурсе Србије“	284
<i>Стеван Прохаска</i>	
Analiza uticaja klimatskih promena na režim oticanja u slivovima reka Toplice i Kolubare.....	293
<i>Mihailo Anđelić, Marija Ivković</i>	
Problemi u proceni uticaja klimatskih promena hidrološkim modeliranjem: primeri slivova Moravice i Crnog Timoka.....	313
<i>Jasna Plavšić, Filip Muhić, Aleksandar Petrović, Andrijana Todorović</i>	
Утицај климатских промена на хидролошке режиме на сливовима Колубаре, Топлице и Млаве	325
<i>Андрејана Тодоровић, Јасна Плавишић</i>	
Поређење различитих приступа за sagledavanje uticaja klimatskih promena na vodne resurse u slivu reke Crnice	341
<i>Vesna Tripković, Aleksandra Ilić, Stefan Prohaska, Borislava Blagojević</i>	
Утицај климатских промена на водне ресурсе – пројекат CCWaters, резултати pilot područja reke Pek.....	357
<i>Dejan Dimkić, Stevan Prohaska, Bojan Stanković, Predrag Pajić, Željka Rudić</i>	
Утицај климатских промена на бујичне поплаве и ерозију земљишта са освртом на поплаве у 2014. години	372
<i>Milutin Stefanović, Mileta Milojević, Aleksandar Drobnjak</i>	
Нови методолошки оквир SDTS за дугорочне пројекције месечних протикаја у условима климатских промена.....	379
<i>Milan Stojković, Jasna Plavšić, Stevan Prohaska, Jovan Despotović, Dragutin Pavlović</i>	
Утицај климатских промена на пољопривредну производњу и мере ублажавања	390
<i>Ružica Stričević, Nevenka Đurović, Marija Čosić, Ivan Bogdan, Miloš Pavlović, Enike Gregorić</i>	
Утицај климатских промена на потребе за водом у пољопривредној производњи.....	404
<i>M. Božić, G. Nikolić, S. Kračunov, Ž. Rudić</i>	

17. Savetovanje SDHI i SDH - Vršac, Srbija 2015. Conference SDHI & SDH - Vršac, Serbia 2015.

Pitanje pouzdanosti u projekcijama uticaja klimatskih i drugih promena na vodne resurse.....	414
<i>Dejan Dimkić</i>	
Preliminarna projekcija stanja vodnih resursa u Srbiji u uslovima promenjene klime	424
<i>Stevan Prohaska, Aleksandra Ilić, Vesna Tripković, Vladimir Đurđević</i>	
Comparison of Semi vs. Fully Distributed Urban Storm Runoff Models	434
<i>Rui Pina, Susana Ochoa, Maria Aivazoglou, Nuno Simões, Ana Mijic, Alfeu Sá Marques, Čedo Maksimović</i>	
Калибрација дистрибуираних хидролошких модела.....	443
<i>Андријана Тодоровић, Јасна Плавић, Милош Станић, Жељко Васић</i>	
Metod distribuiranih brzina za određivanje vremena kašnjenja sintetičkog jediničnog hidrograma	458
<i>Nikola Zlatanović</i>	
Kalibracija i verifikacija modela oticaja sa urbanih slivova	470
<i>Borislav Mašić, Miloš Stanić, Jasna Plavšić</i>	
Modeliranje urbanih slivova na osnovu javno dostupnih podataka	482
<i>Andrija Nedeljković, Aleksandar Sekulić, Nemanja Branislavljević</i>	
Performance of (Blue) Green Roof Systems: Full-Scale Experiments Based Modelling.....	493
<i>Xi Liu, Ana Mijić, Han Jung Kuo, Čedo Maksimović</i>	
Integralno upravljanje i korišćenje oticaja kišnih voda sa Ostružničkog mosta	500
<i>Jovan Despotović, Nenad Jaćimović, Jasna Plavšić, Miloš Stanić, Aleksandar Đukić, Dragutin Pavlović, Andriana Todorović, Vanja Živanović, Sanja Milić</i>	
Primena distribuiranog hidrološkog modela za simulaciju oticaja u uslovima karsta	509
<i>Nenad Jaćimović, Miloš Stanić, Tina Dašić, Duško Vujović</i>	
Вишекритеријумска калибрација хидролошких модела	520
<i>Андријана Тодоровић, Милош Станић, Јасна Плавић, Жељко Васић</i>	
Dinamičke karakteristike pluviografa	537
<i>Predrag Vojt, Dragutin Pavlović</i>	
Principi modelisanja interakcije zagađivača i nanosa u rečnom toku	550
<i>Zoltan Horvat, Mirjana Horvat, Ognjen Gabrić</i>	
Kalibracija linijskog modela transporta nanosa	558
<i>Mirjana Horvat, Zoltan Horvat, Ognjen Gabrić</i>	
Prikaz i analiza rezultata merenja erozije u laboratorijskim uslovima.....	568
<i>Ognjen Gabrić, Jasna Plavšić</i>	
Merenje hidrauličkih veličina u dvofaznom fluidu	577
<i>Predrag Vojt, Budo Zindović, Dušan Prodanović</i>	
Hidraulička laboratorija Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu	585
<i>Slobodan Kolaković, Goran Jeftenić, Ljubomir Budinski, Matija Stipić, Svetlana Vujović</i>	
Bezbedno vodosnabdevanje i rizici – primer dva grada.....	598
<i>Milan Ivetić, Tamara Srdić, Marko Ivetić</i>	
Mogući uzroci havarije cevovoda Makiš – (Petlovo Brdo –) Mladenovac.....	610
<i>Marko Ivetić, Aleksandra Krsmanović, Ana Popović-Milijić</i>	

17. Savetovanje SDHI i SDH - Vršac, Srbija 2015.

Conference SDHI & SDH - Vršac, Serbia 2015.

Dekompozicija vodovodne mreže primenom WatNC algoritma	622
<i>Željko Vasilić, Miloš Stanić, Branislav Babić, Dušan Prodanović</i>	
Hidraulička analiza i proračun nedostajućih rezervoarskih kapaciteta pitke vode u NIVOS-u	631
<i>Dejan Jordanović</i>	
Modeliranje hidrauličkog udara u softverskom paketu AFT Impulse.....	639
<i>Ljubomir Budinski, Slobodan Kolaković, Matija Stipić, Goran Jeftenić, Svetlana Vujović</i>	
Analiza funkcionisanja kombinovane kanalizacije gradskog područja Novog Sada	651
<i>Matija Stipić, Borislav Mašić, Filip Stipić, Andrea Salvai</i>	
Hidraulička analiza kanalizacije pod pritiskom naselja Nadalj.....	665
<i>Matija Stipić, Goran Jeftenić, Slobodan Kolaković, Svetlana Vujović, Ljubomir Budinski</i>	
Hidrometeorološki uslovi koji su izazvali pojavu serije poplavnih talasa u Srbiji u periodu april-septembar 2014. godine.....	676
<i>Nedeljko Todorović, Dragan Đukić, Stevan Prohaska, Vladislava Bartoš Divac</i>	
Statistička ocena značajnosti jakih kiša koje su izazvale pojavu poplavnih talasa u Srbiji u periodu april-septembar 2014. godine.....	688
<i>Stevan Prohaska, Dragan Đukić, Vladislava Bartoš Divac, Nedeljko Todorović</i>	
Analiza formiranja, prostiranja i transformacije poplavnog talasa iz maja 2014. godine u slivu reke Kolubare	701
<i>Niloka Zlatanović, Stevan Prohaska</i>	
Одбрана од поплава на Сави 2014 - искуства и планови за унапређење система заштите.....	716
<i>Марина Бабић Младеновић, Васиљка Коларов, Владислава Бартош Дивац</i>	
Поплаве 2014. године на реци Јадар.....	726
<i>Вања Дамјановић, Милан Малешев</i>	
Шта после поплаве 2014?	738
<i>Марина Бабић Младеновић, Васиљка Коларов</i>	
Вијичне поплаве у Текији септембра 2014. године и радови на санацији	748
<i>Ирина Миловановић, Никола Златановић, Јелена Ћотрић, Рената Пузовић</i>	
План управљања ризицима од поплава на сливу Дунава.....	755
<i>Марина Бабић Младеновић, Васиљка Коларов</i>	
Zaštita Beograda od velikih voda Dunava i Save.....	766
<i>Vojislav Antić, Marina Babić Mladenović</i>	
Нове мере заштите града Параћина после поплаве 2014. године.....	775
<i>Зоран Кнежевић, Владислава Бартош Дивац, Милан Малешев</i>	
Узроци плављења Баричке реке и потребне мере заштите од поплава	785
<i>Борис Крунић, Милан Малешев, Вања Дамјановић</i>	
Заштита улаза у луку Ковин од засипања наносом Дунава	793
<i>Зоран Кнежевић, Марина Бабић Младеновић</i>	
Хидролошко-хидраулички истражни радови по траси газовода Јужни ток.....	804
<i>Владислава Бартош Дивац, Војислав Антић, Драгана Нинковић</i>	
О одређивању просечног отицања са неизучених сливова на територији Србије.....	816
<i>Драган Јанковић</i>	

17. Savetovanje SDHI i SDH - Vršac, Srbija 2015. Conference SDHI & SDH - Vršac, Serbia 2015.

Konsistentno određivanje zavisnosti visina–trajanje–povratni period kiše.....	826
<i>Jasna Plavšić, Žana Topalović, Jovan Despotović</i>	
Проблеми и решења при изради хидролошких анализа за коришћење вода код обновљивих извора енергије.....	838
<i>Срђан Марјановић</i>	
Хидролошко моделирање - доступност и поузданост података у реалном времену.....	848
<i>Marija Ivković, Julijana Nađ</i>	
Optimalno upravljanje višenamenskom akumulacijom korišćenjem modela HEC-5.....	860
<i>Aleksandra Ilić, Dragan Milićević, Olivera Potić</i>	
Prihvatljivost gama raspodele za proračun indeksa suše u slivu Južne Morave	871
<i>Vladislava Mihailović, Borislava Blagojević</i>	
Pirsonov sistem raspodela i njegova primena u hidrologiji	887
<i>Marija Radičević, Vesna Jevremović, Jasna Plavšić, Dragutin Pavlović</i>	
Praktični problemi određivanja mjerodavnih velikih voda za potrebe projektovanja sistema odbrane od poplava	902
<i>Žana Topalović, Jasna Plavšić</i>	
Neki aspekti pri neparаметарском генерисању хидролошких серија података	913
<i>Đurica Marković, Jasna Plavšić, Siniša Ilić</i>	
Primena modifikovane TIPS metode za dugoročne projekcije serija godišnjih proticaja.....	924
<i>Milan Stojković, Stevan Prohaska, Jasna Plavšić</i>	
A maximum entropy spectral analysis of precipitation for the territory of Serbia.....	932
<i>Mladen Milanovic, Milan Gocic, Slavisa Trajkovic</i>	
IN MEMORIAM: Коста Ђонин (1922–2012)	939
<i>Радомир Капор</i>	
IN MEMORIAM: Стеван Брук (1923–2014)	941
<i>Стеван Прохаска, Миодраг Јовановић</i>	
IN MEMORIAM: Milorad Miloradov (1933–2015)	943
<i>Srdan Kolaković, Radomir Folić</i>	
Indeks autora	946

Naučni odbor savetovanja

Prof. dr Marko Ivetić (Predsednik)
Prof. dr Dragan Arandelović
Doc. Dr Borislava Blagojević
Prof. dr Jovan Despotović
Prof. dr Milan Dimkić
Prof. dr Aleksandar Gajić
Doc. dr Lajoš Hovanj
Prof. dr Miodrag Jovanović
Prof. dr Radomir Kapor
Prof. dr Srđan Kolaković
Prof. dr Čedo Maksimović
Mr Jelisaveta Muškatirović
Prof. dr Zorana Naunović
Prof. dr Miloš Nedeljković
Prof. dr Sava Petković
Prof. dr Slobodan Petković
Prof. dr Jasna Plavšić
Prof. dr Dušan Prodanović
Prof. dr Stevan Prohaska
Prof. dr Dragan Savić
Prof. dr Miodrag Spasojević

Organizacioni odbor savetovanja

Prof. dr Marko Ivetić
Prof. dr Jasna Plavšić
Prof. dr Radomir Kapor
Andrijana Todorović, dipl. građ. inž.
Budo Zindović, dipl. građ. inž.

Predgovor

Poštovane kolegice i kolege,

Pred Vama je pregled radova prikazanih na 17. naučnom savetovanju Srpskog društva za hidraulička istraživanja i Srpskog društva za hidrologiju održanog u Vršcu oktobra 2015. godine. Ovog puta smo imali značajan broj pristiglih radova – tačno 80, koje ćete naći u ovom zborniku na preko 900 strana. Kao i na prošlom savetovanju, zbornik izdajemo u elektronskoj formi, na CD-u, sa radovima u PDF formatu, dok je knjiga apstrakata na srpskom i engleskom jeziku štampana i podeljena na samom savetovanju. Ovaj pristup je omogućio da prihvatimo i radove sa većim brojem strana nego što je to bio ranije slučaj, a da kvalitet slika, dijagrama i animacija, ostane onakav kako su ga dostavili autori. Pri tome je rok za prihvatanje radova bio mnogo fleksibilniji, dok su troškovi pripreme savetovanja značajno niži. Uz to, neki autori su dobili još dragocenog vremena da svoje radove dovedu do oblika u kom mogu da se prikažu u ovom zborniku.

I ovog puta Savetovanje je organizovano zajedno sa Srpskim društvom za hidrologiju (SDH), što je doprinelo ne samo povećanom broju radova već je omogućilo i da se pojedine važne teme, kao što su poplave iz 2014. godine kojima je posvećena posebna sesija, sagledaju sveobuhvatno. Deo radova je prikazan na odvojenim sednicama, a deo na zajedničkim, što nam je omogućilo da ceo program održimo u dva dana, uz aktivno prisustvo velikog broja učesnika, do samog kraja Savetovanja.

Radovi iz oblasti hidraulike pokrili su više tematskih oblasti, a najviše rečnu hidrauliku, hidrotehničke objekte, numeričko modeliranje i komunalnu hidrotehniku. U oblasti hidrologije veliki broj radova se bavio modernom temom – uticajem klimatskih promena na vodne resurse, kao i determinističkim i stohastičkim hidrološkim modelima. Najveći deo „domaćih“ radova je vezan za tekuće naučno istraživačke projekte Ministarstva nauke. Stiče se utisak da učesnici Savetovanja spremno očekuju novi ciklus projekata.

Već iz samog spiska radova se može videti prožimanje nauke i prakse, kao i naglašavanje važnih problema u domaćoj hidrotehnici i vodoprivredi. Tu su, naravno, i važni doprinosi naših kolega iz dijaspore koji ukazuju na pojedine pravce naučnog i tehnološkog razvoja u hidrotehnici, i koji se sve više okreću urbanim sredinama i njihovim (ne samo) hidrotehničkim problemima. Mi smo im posebno zahvalni što su našli vremena da dva dana u Vršcu budu sa nama. Takođe, u zborniku ćete naći značajne radove naših doajena i srednje generacije čija je odgovornost da prošire i prenesu znanja iz ove dve fundamentalne discipline. Međutim, u zborniku ćete naći i rezultate istraživanja mlade generacije koji su danas upućeni da svoj kvalitet i kompetencije dokazuju na globalnom nivou kroz objavljivanje u međunarodnim časopisima. I u toj grupi ima veoma vrednih i inovativnih radova, što nam uliva nadu da će se u ovim oblastima ostvariti kontinuitet i napredak.

U periodu od prethodnog savetovanja do sada, napustili su nas, prof. Kosta Đonin, prof. Stevan Bruk i prof. Milorad Miloradov, dugodišnji članovi SDHI, i po mnogo čemu izuzetni.

17. Savetovanje SDHI i SDH - Vršac, Srbija 2015. Conference SDHI & SDH - Vršac, Serbia

Na njih i na njihov veliki doprinos istraživanjima u oblasti voda, na Savetovanju su nas podsetili njihovi bliski saradnici i prijatelji, koji su pripremili kratke tekstove o njima.

Zahvaljujem se kolegici Jasni Plavšić, predsednici Srpskog društva za hidrologiju, i kolegi Radomiru Kaporu, na izvanrednom doprinosu u organizovanju i realizaciji ovog savetovanja. Njima uz rame, izdvojio bih i kolege iz Instituta „Jaroslav Čerņi“, Marinu Babić Mladenović i Stevana Prohasku, za njihov doprinos temama, Poplave 2014. godine i Klimatske promene. Zbog svega ovoga se nadamo da će ovaj zbornik mnogima biti zanimljivo štivo za čitanje.

Beograd, oktobar 2015.

Prof. dr Marko Ivetić
Predsednik SDHI

Процена криве протока у кориту за велику воду применом метода размене количине кретања и независних сегмената

Филип Мухић¹
Филип Станић¹
Иван Стојнић²
Дејана Ђорђевић³

САЖЕТАК: Овај рад се бави проблемима процене криве протока у кориту за велику воду (КВВ). Истраживања течења у КВВ током протеклих 25 година показала су да традиционалне методе не дају добру процену протока и да за те поребе треба користити моделе линијског течења који узимају у обзир размену количине кретања између главног корита и плавних површина. У овом раду користе се две рачунске методе којима се решавају једначине таквог модела линијског течења – метода размене количине кретања (МРКК) и метода независних сегмената (МНС). Успешност две методе оцењена је поређењем срачунатих протока са протоцима измереним у лабораторијском каналу за четири огледне поставке којима су обухваћени случајеви течења у симетричном и асиметричном праволинијском КВВ са глатким и рапавим плавним површинама. Показало се да су одступања за обе методе у границама грешке мерења (< 8%), као и то да обе методе добро процењују расподелу протока по сегментима.

Кључне речи: корито за велику воду, крива протока, модели линијског течења, размена количине кретања

Application of EDM and ISM methods in estimation of stage-discharge curve in a compound-channel

ABSTRACT: The paper addresses problems with a stage-discharge curve estimation in a compound channel. Investigations into flow in compound channels that have been conducting during last 25 years undoubtedly indicated that traditional methods could not be considered as a reliable tool for discharge estimations. Thus, new 1D models, which account for the momentum exchange between the main channel and the floodplain, have been developed. Two computational approaches to solving the model equations are used – namely, the exchange discharge method and the independent sections method. The quality of the two models is demonstrated through a comparison of the model results against measurements collected in four compound channel layouts that cover symmetrical and asymmetrical straight compound channels with smooth and rough floodplains. It is shown that discrepancies between the measured and calculated discharges are within the measurement error limit (< 8%), as well as that the discharge distribution between the main channel and floodplains is well predicted with both approaches.

Keywords: compound channel, stage-discharge curve, 1D-models, momentum exchange

¹ Филип Мухић и Филип Станић, студенти мастер студија, Грађевински факултет Универзитета у Београду

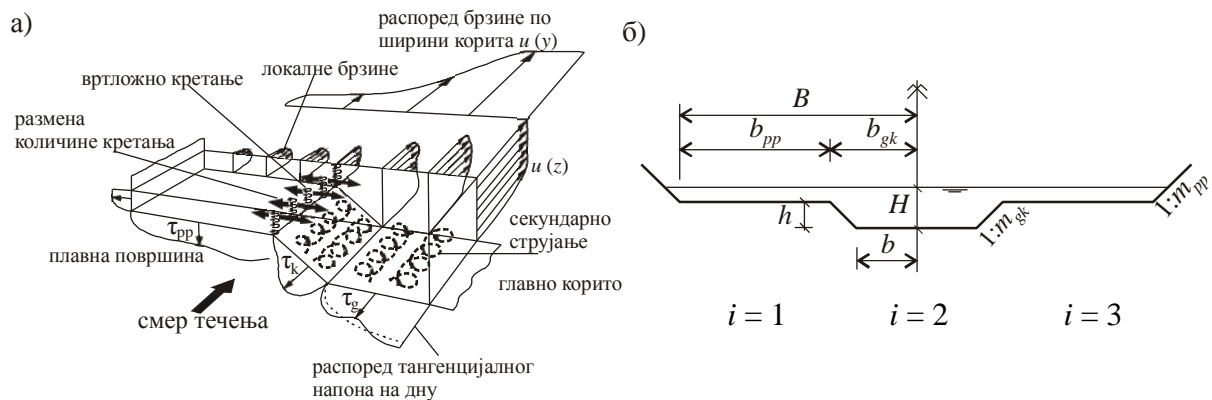
² Иван Стојнић, мастер инж. грађевинарства, демонстратор, Грађевински факултет Универзитета у Београду

³ Др Дејана Ђорђевић, доцент, Грађевински факултет Универзитета у Београду, dejana@grf.bg.ac.rs

1 Увод

Дефинисање криве протока у кориту за велику воду знатно је теже и сложеније од дефинисања криве протока у основном кориту. Због тешкоћа и опасности током теренских мерења, проток велике воде није могуће непосредно мерити, већ се његова вредност одређује посредно, на основу забележених трагова велике воде. У овом случају, вредност протока може се проценити или на основу утврђених хидрауличких зависности за објекте изграђене у речном кориту, ако они постоје (мостови, бране, каскаде итд.), или коришћењем математичких модела за прорачун течења у отвореним токовима. Преглед постојећих модела линијског течења у кориту за велику воду може се наћи у [3]. Традиционални модел, који се користи и у нашој инжењерској пракси, заснива се на подели пресека на хидраулички хомогене сегменте и коришћењу Шези-Манингове једначине која се исписује за сваки сегмент попречног пресека. Сложени пресек може се поделити на сегменте хоризонталним, вертикалним или дијагоналним равнима, али се у инжењерској пракси по правилу користи подела вертикалним равнима. За разлику од савремених модела, овај модел приликом процене нагиба линије енергије не узима у обзир размену количине кретања између суседних сегмената (слика 1а). Због тога су, како показују поређења са лабораторијским мерењима, вредности протока значајно прецењене (у зависности од дубине на плавној површини и до 60% [3]). У савременим математичким моделима течења у кориту за велику воду основне једначине (једначина одржања масе и једначина одржања количине кретања) исписују се за сваки сегмент сложеног пресека водећи рачуна о утицају суседног сегмента или сегмената.

У овом раду пореде се два модела – један, који је познат под називом метода размене количине кретања (МРКК) и други, познат под називом метода независних сегмената (МНС). Модел размене количине кретања предложили су крајем 1990-их Бузмар и Зек [2], док се модел независних сегмената појавио једну деценију касније. Метода независних сегмената, коју су предложили Пруст и ост. [5], представља унапређење модела Јена и ост. из 1985. године [5]. МРКК детаљно је описан у [2, 3, 4 и 7], а МНС у [5 и 6]. У МРКК систем једначина се погодним заменама преводи у једну нелинеарну једначину која се затим нумерички решава неком од метода интервала или тачака, док се у МНС систем нелинеарних једначина задржава и нумерички решава применом методе Њутн-Рафсона за систем једначина. Да би се оценила способност и успешност два модела у процени криве протока у различитим геометријским и хидрауличким условима, резултати оба модела упоредиће се са резултатима мерења из великог лабораторијског канала за испитивање течења у кориту за велику воду (КВВ) који је направљен у хидрауличкој лабораторији у Волингфорду у Великој Британији. Реч је о призматичном, симетричном, двогубом трапезном каналу у којем су сви огледи изведени у условима једноликог течења. За оцену два модела користиће се огледи у којима је разматран: 1) утицај ширине плавне површине (огледи са глатким плавним површинама, $B/b = \{2,2; 4,2\}$, где је $2B$ ширина корита за велику воду у нивоу обала, а $2b$, ширина у дну основног корита, слика 1б), 2) утицај повећане рапавости плавних површина (огледи за $B/b = 4,2$) и 3) утицај искључења једне плавне површине (огледи за $B/b = 4,2$). Циљ рада је да се утврди да ли и у којој мери усвојени приступ решавању проблема утиче на квалитет процене криве протока у призматичном КВВ.



Слика 1. а) Просторно течење у КВВ [8] и б) геометрија КВВ
 Figure 1. а) Characteristics of overbank flow (after [8]) and б) geometry of a compound channel

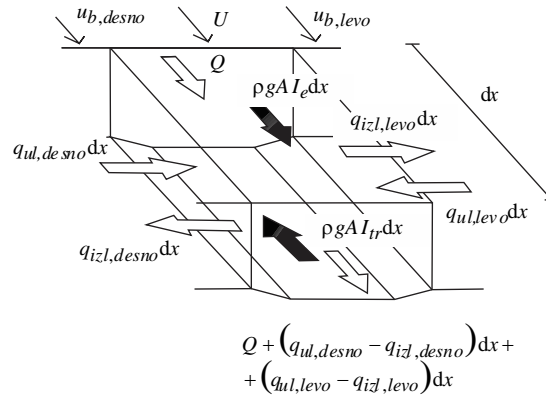
2 Математички модели

Основу оба математичка модела линијског неустаљеног/устаљеног течења у кориту за велику воду (МРКК и МНС) представља концептуални модел приказан на слици 1а. Попречни пресек сложеног облика у овим моделима дели се вертикалним равнима на хидраулички хомогене делове. У општем случају постоје три хомогена дела – главно корито и две плавне површине. Основне једначине – једначина одржања масе и једначина одржања количине кретања исписују се за сваки део сложеног пресека водећи рачуна о утицају изостављеног суседног сегмента или сегмената. Једначина одржања масе за елементарну деоницу дужине dx (слика 2) у оба модела је иста:

$$\frac{\partial A_i}{\partial t} + \frac{\partial Q_i}{\partial x} = q_{b_i} = q_{ul,i} - q_{izl,i}, \quad i=1, 2, 3 \quad (1)$$

У њој су просторна координата x и време t независно променљиве, а зависно променљиве су: површина разматраног дела попречног пресека A_i , проток кроз тај део пресека Q_i и јединични бочни проток $q_{b,i}$. Јединични бочни доток и истицање, и размена протока између сегмената турбулентном дифузијом се у призматичним коритима међусобно потиру, јер представљају величине истог интензитета, али супротног смера. То, међутим, не важи за размену количине кретања између главног корита и плавних површина турбулентном дифузијом.

Између једначине одржања количине кретања (ј.о.к.к.) за МРКК и МНС нема суштинске разлике – у обе једначине, осим силе трења о чврсту границу, узимају се у обзир и привидна сила смицања између два напоредна тока из суседних сегмената у којима вода тече различитим брзинама и размена количине кретања услед непризматичности корита. У ј.о.к.к. за МНС ова два додатна узрока "губитка" механичке енергије тока посматрају се и моделирају одвојено, док су у ј.о.к.к. за МРКК обједињена у јединственом члану који се, потом, посебно моделира. Једначина одржања количине кретања за сегменте $i = 1, 2, 3$ у МРКК има следећи облик:



Слика 2. Схема сила и утицаја за контролну запремину једног сегмента КВВ (главно корито, према [2])

Figure 2. Momentum equilibrium for compound channel subsection (after [2])

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho A_i U_i) + \frac{\partial}{\partial x}(\rho A_i U_i^2) + \rho g A_i \frac{\partial Z_i}{\partial x} + \rho g A_i I_{tr,i} - \rho q_{ul,i} u_{b,i} + \rho q_{izl,i} U_i = 0 \quad (2)$$

а у МНС:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho A_i U_i) + \frac{\partial}{\partial x}(\rho A_i U_i^2) + \rho g A_i \frac{\partial Z_i}{\partial x} + \rho g A_i I_{tr,i} \mp \tau_{ij} (H - h_i) - \rho q_{ul,i} U_{ul,i} + \rho q_{izl,i} U_{izl,i} = 0 \quad (3)$$

Величине у претходним једначинама имају следеће значење: ρ је густина воде, $U_i = Q_i / A_i$ је средња брзина у разматраном делу попречног пресека (i), Z_i је ниво воде у сегменту i , g је убрзање Земљине теже, $I_{tr,i}$ је нагиб линије енергије услед трења у сегменту i , $u_{b,i}$ је брзина у суседном сегменту којом се остварује унос количине кретања, и то она њена компонента која је усмерена је у правцу главног тока, τ_{ij} је алгебарска вредност привидног напона смицања у вертикалној равни која раздваја сегменте i и j , q_{ul} и q_{izl} су јединични протоци који брзинама U_{ul} и U_{izl} улазе у сегмент i , односно из њега излазе. У МРКК јединични бочни протоци q_{ul} и q_{izl} представљају збир бочног дотока, односно бочног истицања услед турбулентне дифузије (општа ознака q^t) и непризматичности корита (општа ознака q^g , тзв. геометријска размена), док се у МНС њима искључиво обухвата геометријска размена. Једначине (2) и (3) се одговарајућим трансформацијама (видети [3, 4, 6 и 7]), преводу у одговарајуће једначине одржања енергије. Те једначине у условима устаљеног течења за $i = 1, 2, 3$ имају следећи облик:

$$\text{МРКК: } I_e = -\frac{d}{dx} \left(Z_i + \frac{U_i^2}{2g} \right) = I_{tr,i} + \frac{q_{ul,i}(U_i - u_{b,i})}{gA_i} = I_{tr,i} + I_{rkk+m,i} = I_{tr,i} (1 + \chi_i) \quad (4)$$

$$\text{МНС: } I_e = -\frac{d}{dx} \left(Z_i + \frac{U_i^2}{2g} \right) = I_{tr,i} \pm \frac{\tau_{ij}(H - h_i)}{\rho g A_i} + \frac{q_{ul,i}(U_i - U_{ul,i}) + q_{izl,i}(U_{izl,i} - U_i)}{gA_i} = I_{tr,i} + I_{rkk,i} + I_{m,i} \quad (5)$$

Укупан „губитак“ механичке енергије I_e у МНС, као што је речено, представља збир „губитака“ услед: трења I_{tr} , размене количине кретања између суседних сегмената турбулентном дифузијом I_{rkk} и размене масе између сегмената I_m (када је корито не-призматично). У МРКК сви додатни „губици“ обједињени су у једном члану I_{rkk+m} . Када се они изразе у односу на „губитак“ енергије услед трења ($\chi = I_{rkk+m} / I_{tr}$), систем од три нелинеарне једначине са три непознате брзине (4) може се, уз одговарајућа физичка ограничења, превести у једну нелинеарну једначину са једном непознатом, која се потом решава применом методе Њутн-Рафсон (видети [2, 3, 4 и 7]). При томе се претпоставља да је ниво воде у попречном пресеку КВВ хоризонталан ($Z_i = Z = \text{const}$ и $I_{e,i} = I_e$, $i = 1, 2, 3$). Ова претпоставка важи и у МНС у којој се за прорачун размене количине кретања турбулентном дифузијом користи исти модел као у МРКК:

$$\left| \tau_{ij} \right| (H - h_i) = \rho \psi^t (U_i - U_j)^2 (H - h_i) \text{ за МНС, односно } q_{ul,i}^t = \psi^t (U_i - U_j) (H - h_i) \text{ за МРКК (6)}$$

где је ψ^t параметар модела којег аутори називају коефицијентом размене количине кретања турбуленцијом [5]. Оптимална вредност овог параметра одређује се калибрацијом. Геометријска размена се у оба случаја моделира на исти начин:

$$q^s = \psi^s \kappa \frac{dK_{pp}}{dx} \sqrt{I_{tr,pp}} \quad (7)$$

где је ψ^s параметар модела који се у МРКК, као и ψ^t , калибрише, док је у МНС $\psi^s = 1$. Параметар κ узима вредности $\{-1, 0, 1\}$ у зависности од тога да ли се КВВ сужава или шири (видети [2, 3, 4 и 7]). Величине K_{pp} и $I_{tr,pp}$ представљају, редом, проточност и нагиб линије енергије услед трења на плавној површини. За разлику од МРКК, у МНС се не уводе смене променљивих, већ се решава систем једначина (5) применом методе Њутн-Рафсон за системе нелинеарних једначина (видети [6]).

За потребе процене кривих протока у КВВ написана су два програма у софтверском пакету МАТЛАВ – један по методи размене количине кретања и други, по методи независних сегмената. У наставку се пореде резултати ова два модела коришћењем резултата лабораторијских огледа.

3 Оцена подобности два модела за процену криве протока у КВВ

Успешност МРКК и МНС у процени криве протока у КВВ оцењена је коришћењем података прикупљених у великом лабораторијском каналу за испитивање течења у КВВ, направљеном у хидрауличкој лабораторији у Волингфорду, у Великој Британији. Да би се истакла предност ове две методе у односу на традиционалне методе за процену криве протока у КВВ, приказани су и резултати добијени применом методе јединственог пресека (МЈП) и методе хидраулички хомогених сегмената (МХХС).

3.1 Опис лабораторијског канала и огледа

Огледи који су коришћени за оцену два модела спроведени су у каналу који је дугачак 56 m и широк 10 m. У њему је направљено двогубо трапезно корито тако што је главно корито изливено у бетону и прекривено углачаном цементном кошуљицом, док су плавне површине направљене од плоча плексигласа. Основне димензије корита сложеног симетричног попречног пресека са слике 1б дате су у табели 1. Као што се види, за проверу и процену успешности два модела коришћене су три различите геометрије, с тим што је једна разматрана у варијанти са „глатким” и рапавим плавним површинама. Прве две огледне поставке у којима је разматран утицај ширине плавне површине на течење у КВВ (огледи 2 и 3) послужиле су за испитивање осетљивости модела на промену ширине КВВ. Прва и трећа (оглед 6) искоришћене су за проверу способности модела да репродукује услове течења у случају искључења једне плавне површине (асиметрично корито), а прва и четврта (оглед 7) његову способност да процени криву протока у реалним условима у којима су плавне површине рапаве и на којима рапавост расте са повећањем дубине (случај растиња које штрчи изнад воде). За глатке равне површине коришћена је процењена вредност Манинговог коефицијента рапавости од $n = 0,01 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$, а за рапаве, зависност утврђена обрадом резултата мерења [1]. Сви огледи изведени су у условима једноликог течења, при чему је у сваком од њих варирано по осам дубина. Нагиб дна канала је у свим огледима био исти и износио је 1,027‰.



Слика 3. Лабораторијски канал за испитивање течења у кориту за велику воду [8]

Figure 3. Flood Channel Facility [8]

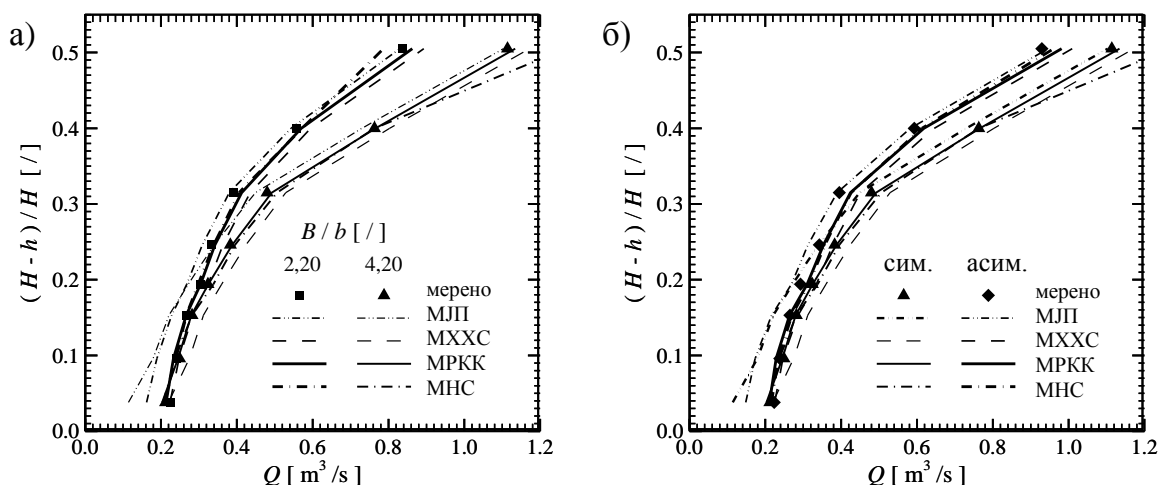
Табела 1. Геометрија КВВ за различите огледне поставке
 Table 1. Geometry of FCF for different compound channel layouts

Огледна поставка	B [m]	b [m]	B/b [/]	m_{gk} [/]	рапавост пп
2	6,3	1,5	4,20	1	не
3	3,3	1,5	2,20	1	не
6	6,3	1,5	4,20	1	не
7	6,3	1,5	4,20	1	да

3.2 Криве протока за различите геометрије корита

Симетрична корита. На слици 4а упоређене су рачунске криве протока за два испитивана и два традиционална модела, са кривама протока добијеним мерењима на физичком моделу. Вредности параметра ψ' подешаване су како би се постигло што боље слагање са мерењима. У МРКК вредности су мењане у распону од 0,01 до 0,15, а у МНС од 0,005 до 0,100. Показало се да се најповољнија вредност у МРКК мења са променом ширине КВВ. При мањим ширинама ($B/b = 2,20$) она је већа и износи 0,10, а у коритима са већом ширином ($B/b = 4,20$), она је мања и износи 0,05. У оба случаја највећа одступања од мерних вредности су у границама грешке мерења – износе око 5% (табела 2). За разлику од МРКК, најповољнија вредност параметра ψ' у МНС практично не зависи од ширине КВВ и износи 0,065. Међутим, највећа одступања прелазе 5% и то или при најмањим дубинама на плавној површини, када је проток потцењен за око 8% ($B/b = 2,20$) или при највећим дубинама, када је проток прецењен за 13,6% ($B/b = 4,20$ – табела 2). На преосталом делу криве протока, МНС даје нешто веће протоке од МРКК (разлике износе до 4%). Применом традиционалних метода добијају се знатно већа одступања од измерених вредности – МЈП при мањим дубинама, када је изражена размена количине кретања између главног корита и плавних површина, потцењује протоке и до 46%, док их МРКК прецењује за око 10%. Оно што је занимљиво је да се при већим релативним дубинама $(H - h) / h > 0,31$, када хидраулички услови у попречном пресеку почињу да се уједначавају, одступања традиционалних метода смањују испод 7% за МХХС, односно испод 5% за МЈП. Овакво смањење одступања оправдава примену ових метода само при високим нивоима воде на плавним површинама.

Предност метода које у процени криве протока узимају у обзир размену количине кретања између главног корита и плавних површина постаје још очитија када се посматра расподела протока по сегментима КВВ (слика 5). Добра процена расподеле протока битна је за анализу процеса проноса наноса и његовог таложења на плавним повр-

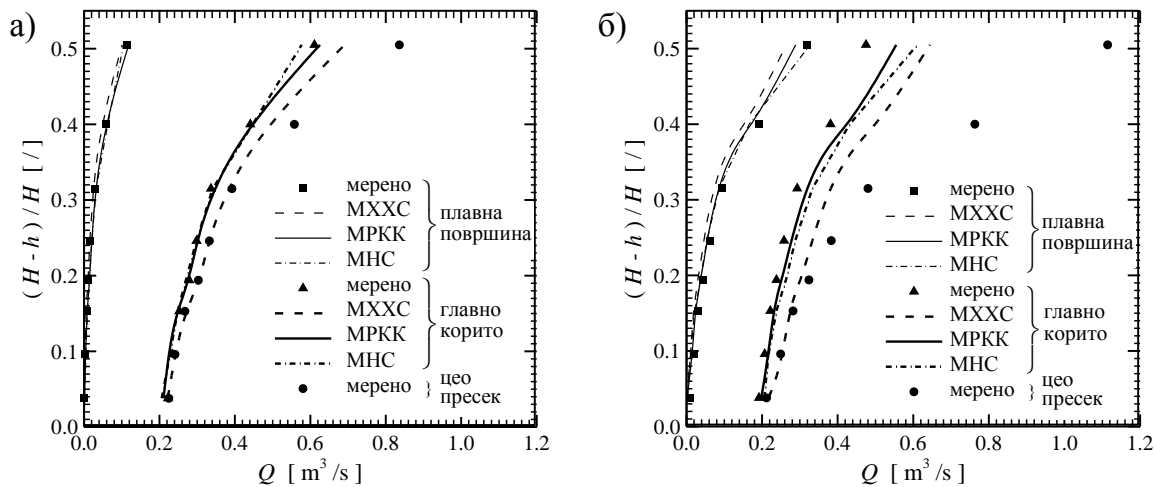


Слика 4. Поређење рачунских кривих протока са измереном кривом за цео пресек КВВ: а) утицај ширине плавне површине и б) утицај искључења плавне површине ($B/b = 4,20$)
 Figure 4. Comparison of calculated and measured stage-discharge curves for the entire cross-section: a) effect of floodplain width and б) effect of floodplain asymmetry ($B/b = 4,20$)

Табела 2. Распони релативног одступања у односу на мерне вредности протока за цео пресек КВВ и протока по сегментима

Table 2. Ranges of relative discrepancies between calculated and measured discharges for the whole cross-section, main channel and floodplain

Метода	огледна поставка			
	2	3	6	7
	цео пресек			
МЈП	-46,0 ÷ -1,0	-27,8 ÷ -0,7	-33,6 ÷ 1,8	-49,5 ÷ -25,5
МХХС	3,5 ÷ 11,1	-0,5 ÷ 11,0	0,4 ÷ 14,2	2,4 ÷ 59,0
МРКК	-4,4 ÷ 2,6	-5,1 ÷ 5,3	-5,5 ÷ 7,4	-4,5 ÷ 3,7
МНС	-4,8 ÷ 13,6	-7,9 ÷ 3,5	-3,3 ÷ 7,9	-4,6 ÷ 5,6
	главно корито			
МХХС	13,0 ÷ 35,6	-0,3 ÷ 14,5	4,0 ÷ 20,4	8,0 ÷ 105,9
МРКК	3,1 ÷ 16,8	-5,4 ÷ 4,1	-5,4 ÷ 8,8	0,8 ÷ 7,2
МНС	4,8 ÷ 28,6	-7,5 ÷ 1,4	-2,3 ÷ 7,6	1,5 ÷ 9,5
	плавна површина			
МХХС	-47,6 ÷ -17,5	-24,5 ÷ -9,7	-11,0 ÷ 0,4	-79,4 ÷ -20,9
МРКК	-28,6 ÷ -7,5	3,7 ÷ 33,3	0,4 ÷ 54,8	-69,7 ÷ -2,0
МНС	-52,4,0 ÷ 2,2	-6,8 ÷ 57,2	-3,7 ÷ 34,9	-71,1 ÷ -1,6



Слика 5. Поређење срачунатих расподела протока по сегментима са измереном расподелом.

Утицај ширине плавне површине: а) $B/b = 2,20$ и б) $B/b = 4,20$

Figure 5. Comparison of calculated and measured discharge distributions between main channel and floodplain. Effect of floodplain width: а) $B/b = 2.20$ and б) $B/b = 4.20$

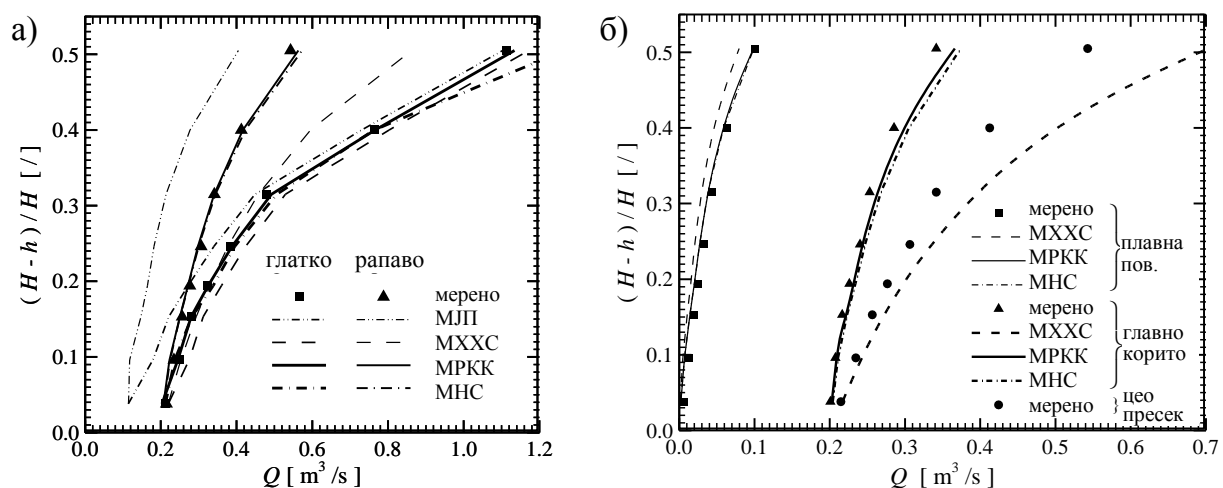
пинама. Обе методе – и МРКК и МНС много боље процењују протоке од МХХС. У КВВ са ужим плавним површинама, у коме је размена количине кретања израженија, МРКК даје нешто боље резултате и у главном кориту и на плавним површинама од

МНС (табела 2). Одступања добијена применом МХХС су 2,0–2,5 пута већа од оних добијених применом МРКК.

Асиметрична корита. Криве протока за симетрична и асиметрична корита упоређене су на слици 4б. И слика и подаци из табеле 2 показују да обе методе са задовољавајућом тачношћу (3–8%) процењују укупан проток у асиметричном КВВ. У овом случају се МХХС добијају 1,5–4,0 пута већа одступања у односу на МРКК и МНС. Када је у питању МЈП, онда важи исто као и за симетрично КВВ – када је $(H - h) / h < 0,31$, вредности протока су значајно потцењене (20–30%), али се са повећањем дубине преко ове границе, смањују испод 2%. При процени расподеле протока по сегментима, обе испитиване методе дају добре резултате, с тим што МНС даје нешто бољу расподелу протока по сегментима од МРКК. Одступања протока по сегментима добијена МХХС су 2,5–5,0 пута већа од одступања која се добијају када се узме у обзир размена количине кретања између главног корита и плавних површина.

3.3 Криве протока за различите рапавости плавних површина

Приликом процена криве протока у КВВ са рапавим плавним површинама (слика б) поново је подешавана вредност параметра ψ^t како би се добило што боље слагање са измереним вредностима. Показало се да се у МРКК задовољавајућа слагања са мерењима (релативно одступање мање од 5%) постижу за све вредности параметра ψ^t између 0,05 и 0,10, док је у МНС добијена иста вредност као и за КВВ са глатким плавним површинама ($\psi^t = 0,065$). Због већих градијената брзине на прелазу из главног корита на плавну површину, размена количине кретања између ова два дела КВВ је интензивнија, па предности МРКК и МНС у односу на традиционалне методе долазе до пуног изражаја. Одступања од измерених вредности не прелазе 6% (табела 2). Применом МЈП



Слика 6. Поређење рачунских кривих протока са измереном кривом. Утицај рапавости плавне површине ($B / b = 4,20$): а) цео пресек и б) расподела по сегментима
 Figure 6. Comparison of calculated and measured stage-discharge curves. Effect of floodplain roughness ($B / b = 4.20$): a) total discharge and б) discharge distributions between main channel and floodplain

протоци се потцењују за 25–50%, а када се примени МХХС, одступања се са порастом дубине повећавају од 2,4 до 60%.

Ако се изузму велика одступања (око 70%) за мале дубине воде на плавној површини при којима су неизвесности измерених величина велике, и МРКК и МНС веома успешно процењују расподелу протока на главно корито и плавне површине – одступања протока у главном кориту мања су од 7,5% за МРКК, односно од 9,5% за МНС. На плавним површинама, где проток не прелази 20% укупног протока, одступања су већа, али и њих треба приписати већим неизвесностима измерених величина које су последица тешкоћа приликом мерења брзина између вертикалних елемената рапавости.

4 Закључци

У раду су примењена и упоређена два рачунска поступка за дефинисање криве протока у кориту за велику воду – метода размене количине кретања и метода независних сегмената. Оба се користе за решавање једначина модела линијског устаљеног течења који узима у обзир размену количине кретања између главног корита и плавних површина. Корито за велику воду се у овом моделу вертикалним равнима дели на главно корито и плавне површине. За проверу и процену успешности два рачунска поступка коришћени су резултати мерења за три различите геометрије КВВ од којих је једна направљена у варијантама са глатким и рапавим дном. Три геометрије обухватиле су случајеве праволинијског симетричног КВВ са две различите ширине плавних површина и случај искључења једне плавне површине.

Поређење са мерењима показало је да обе методе процењују криву протока у КВВ са задовољавајућом тачношћу – одступања рачунских у односу на измерене вредности мања су од 8% што је у границама грешке мерења. МНС само при највећој испитиваној релативној дубини на плавној површини показује већа одступања, чији узрок у наставку истраживања треба детаљније испитати.

Традиционалне методе за процену криве протока или потцењују проток за 20–50% (метода јединственог пресека) или га прецењују за 2–60% (метода хидраулички хомогених сегмената).

Предност метода заснованих на размени количине кретања у односу на традиционалне методе највише долази до изражаја када су плавне површине рапаве, дакле, у реалним условима. Тада су одступања у односу на мерења испод 5,5%, док за МЈП износе –50%, а за МХХС чак 60%.

Осим тога што добро процењују криву протока, МРКК и МНС добро расподељују укупни проток на главно корито и плавне површине, што је битно како за проношење наноса и загађења, тако и за засипање плавних површина, па се закључује да би их требало увести у инжењерску праксу и за потребе процене криве протока у коритима за велику воду и за потребе анализе течења у случајевима проласка поплавних таласа.

Литература

1. Ackers, P., (1993), *Flow formulae for straight two-stage channels*, J. Hydr. Res., 31(4), pp 509-531.
2. Bousmar, D. and Zech, Y., (1999), *Momentum transfer for practical flow computation in compound channels*, J. Hydr. Engrg., ASCE, 125(7), pp 696-706.
3. Ђорђевић, Д., Стојнић, И., Мухић, Ф., (прихваћен за штампу у часопису Водопривреда), *Приказ модела линијског течења у кориту за велику воду заснованог на размени количине кретања између главног корита и плавних површина*.
4. Мухић, Ф., (2015), *Модел линијског устаљеног течења у кориту за велику воду заснован на размени количине кретања између главног корита и плавних површина – утицај рапавости плавних површина на криву протока*, семинарски рад из предмета Одбрана од поплава, Грађевински факултет, Београд.
5. Proust, S., Bousmar, D., Riviere, N., Paquier, A. and Zech, Y., (2009), *Non-uniform flow in compound channel: A 1-D method for assessing water level and discharge distribution*, Water Resour. Res., 45, W12411, doi: 10.1029/2009WR008202.
6. Станић, Ф., Шоботић, Д., Ђунисијевић, М., (2015), *Неједнолико течење у сложеном кориту: Линијски модел за прорачуне криве протока и расподеле протока по сегментима*, семинарски рад из предмета Одбрана од поплава, Грађевински факултет, Београд.
7. Стојнић, И., (2014), *Модел линијског устаљеног течења у кориту за велику воду заснован на размени количине кретања између главног корита и плавних површина – утицај ширине плавних површина на криву протока*, семинарски рад из предмета Одбрана од поплава, Грађевински факултет, Београд.
8. Shiono, K., and Knight, D.W., (1991), *Turbulent open-channel flows with variable depth across the channel*, J. Fluid Mech. Vol. 222, pp 617-646.