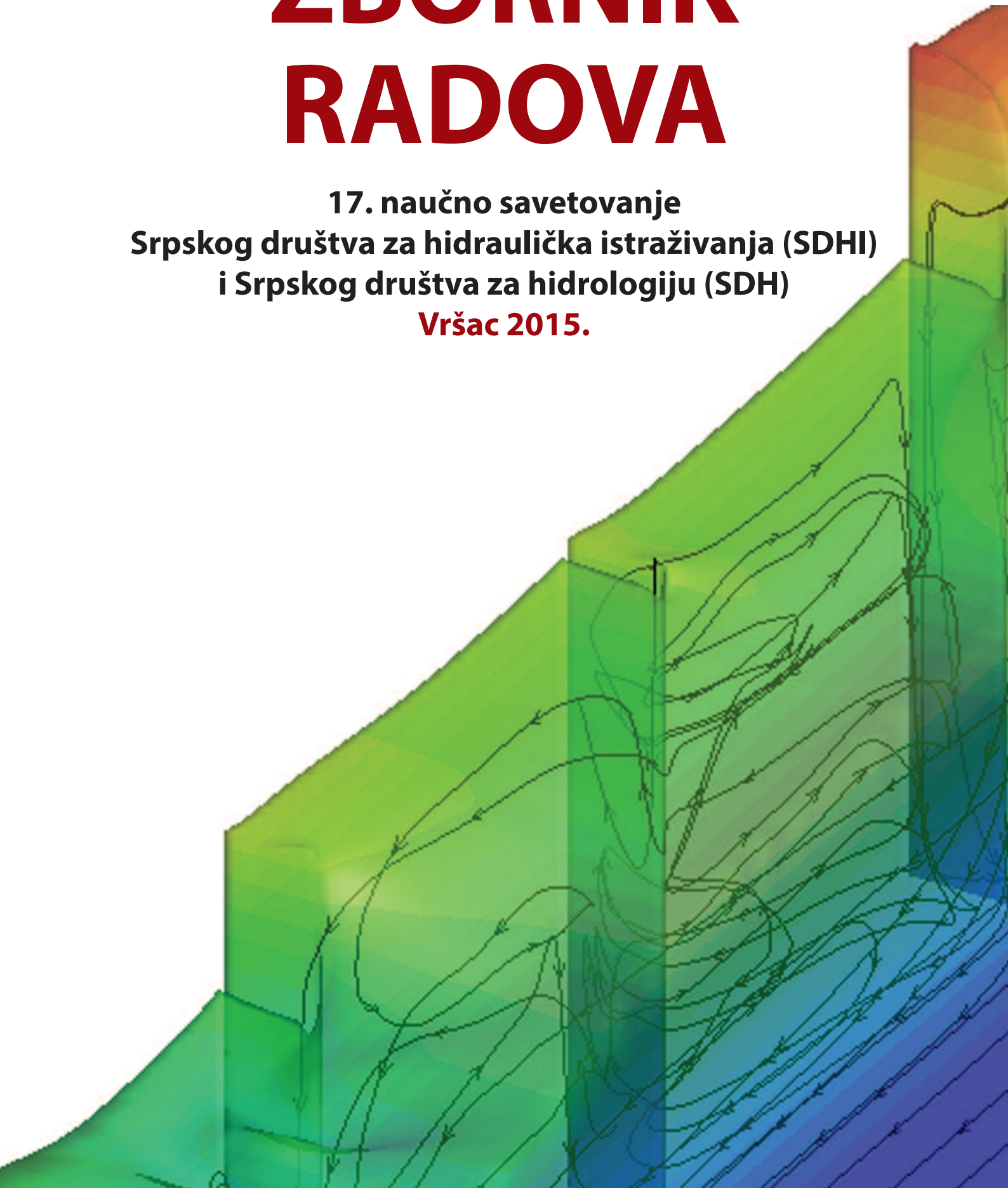


ZBORNİK RADOVA

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 - Каталогизација 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
Uticao 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>	
Uparedna analiza bočnog preлива sa glatkim brzotokom i piano key preлива sa stepenastim brzotokom na brani Yarascay (Tасна, 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>	
Poređenje različitih pristupa za 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 пилот подручја реке Пек.....	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>	
Novi metodološki okvir SDTS za dugoročne projekcije mesečnih proticaja u uslovima klimatskih promena.....	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 Antonić, 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 Антонић, 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 neparametarskom generisanju hidroloških serija podataka	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 Černi“, 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

О утицају подводних каскада на неке хидродинамичке показатеље течења на речним ушћима

Дејана Ђорђевић¹
Иван Стојнић²

САЖЕТАК: На речним ушћима се услед исталожавања крупног наноса који пристиже коритом притоке стварају подводне каскаде због којих је дно притоке издигнуто изнад дна реке. У раду се помоћу модела просторног течења испитује како присуство и висина каскаде утичу на: 1) количину кретања коју притока у различитим хидрауличким условима уноси у реку и 2) вредности параметара помоћу којих се у моделима линијског течења обухвата њен утицај. Испитивањима су обухваћене четири висине каскаде (Δz_p), укључујући и случај када нема каскаде: $\Delta z_p / h_n = \{0,00; 0,10; 0,25; 0,50\}$ и три односа протока реком узводно и низводно од ушћа: $D_R = \{0,250; 0,583; 0,750\}$. Резултати су показали да са повећањем висине каскаде распоред угла скретања тока у низводном пресеку притоке постаје равномернији, а његово одступање од угла улива све мање, као и да се коришћењем средње вредности угла скретања тока прецењује вредност компоненте силе инерције притоке која улази у динамичку једначину на ушћима без каскаде и са каскадом највеће висине ($\Delta z_p = 0,50 h_n$).

Кључне речи: речно ушће, подводна каскада, просторно течење, расподела количине кретања, угао скретања тока δ ,

Effects of a bed step on some hydrodynamic properties of flow in river confluences

ABSTRACT: In many cases a river confluence is characterised by a development of an avalanche face (bed step) at a tributary entrance to a confluence. The development is caused by a deposition of coarser sediments that are arriving from the tributary channel and it results in bed elevation discordance between the lateral and main channels. The paper aims at studying effects of a bed step on: 1) a momentum transfer from a tributary to the main channel under different hydrological scenarios and 2) values of parameters in 1D confluence models. Four characteristic values of the bed elevation discordance ratio $\Delta z_p / h_n = \{0,00; 0,10; 0,25; 0,50\}$, including the concordant beds' case, are considered for the following discharge ratio values between the main river channels upstream and downstream of a confluence: $D_R = \{0,250; 0,583; 0,750\}$. It is shown that: 1) the flow deflection at the tributary entrance to the confluence reduces with an increase in the bed step height and 2) the component of a tributary force of inertia, which acts in the direction of the main channel flow, is overestimated in a concordant beds' confluence and a discordant beds' confluence with the maximal bed step height ($\Delta z_p = 0,50 h_n$), when calculated using an average flow deflection angle value.

Keywords: river confluence, bed step, 3D flow, momentum distribution, flow deflection angle

¹ Др Дејана Ђорђевић, дипл. грађ. инж., доцент, dejana@grf.bg.ac.rs, Грађевински факултет Универзитета у Београду

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

1 Увод

Издизање дна притоке изнад дна матичне реке је, како су показала обимна снимања речног дна средином 1980их [8], честа појава на речним ушћима. Дно притоке постепено се издиже услед таложења крупнијег наноса који доноси притока и продубљивања дна матичне реке на ушћу, које је последица сложеног међудејства турбулентног тока и речног дна. Издизањем речног дна притоке у односу на дно матичне реке, стварају се подводне каскаде које додатно усложњавају струјну слику на речним ушћима. Постојање каскада у речном дну утиче, између осталог, на расподелу количине кретања која се кроз низводни пресек притоке уноси у реку. Са повећањем висине каскаде мења се релативни однос компонената количине кретања $\{m_u, m_v, m_w\}$ у укупној количини кретања притоке mV која се уноси у реку, односно компонената силе инерције $\{I_{Px}, I_{Py}, I_{Pz}\}$ у укупној сили инерције притоке $I_p = \sqrt{I_{Px}^2 + I_{Py}^2 + I_{Pz}^2}$.

Познавање компоненте силе инерције притоке која делује у правцу осовине тока матичне реке важно је за обухватање ушћа као унутрашњег граничног услова у моделима линијског течења. Имајући у виду да се за хидрауличке прорачуне на дугачким речним деоницама у инжењерској пракси још увек користе модели линијског течења, у овом раду се испитује како присуство подводних каскада утиче на вредности параметара постојећих линијских модела ушћа помоћу којих се у динамичкој једначини рачуна ова компонента силе инерције. За сада постоји неколико модела ушћа од којих се ни један не користи у комерцијалним програмима за прорачун линијског течења. Предложени модели добијени су комбинацијом теоријских разматрања и лабораторијских огледа изведених на моделима ушћа без издигнутог дна. Сви модели, сем модела Рамамуртија и ост. [11] и Шабајека и ост. [12], за прорачун компоненте силе инерције притоке која делује у правцу осовине главне реке, користе средњу вредност угла скретања тока $\bar{\delta}$ у низводном пресеку притоке (слика 1). Реч је о углу скретања тока у хоризонталној равни. Модели се разликују према начину процене тог угла. Хагеров модел [15] и модел Гурама и ост. [1] средњу вредност угла $\bar{\delta}$ доводе у везу са углом улива α преко коефицијента неравномерности угла скретања тока σ : $\bar{\delta} = \sigma \alpha$, док су Хсу и ост. ту вредност одредили на основу детаљних мерења компонената брзина у хоризонталној равни у низводном пресеку притоке. Вредност коефицијента/параметра σ према Хагеру [15] износи $8/9$, а према Гураму и ост. $0,85$. Ове две вредности коефицијента неравномерности σ разликују се због разлика у начину процене угла $\bar{\delta}$. У Хагеровом моделу из 1987. године [14] коришћени су резултати мерења брзине у једној тачки низводног пресека притоке, а у Гурамовом моделу, на основу мерења у неколико тачака по ширини пресека на једној дубини $(0,5h)$. Иако су Хагерова лабораторијска испитивања на ушћу са углом улива од 90° из 1989 године [16] указала на промену вредности параметра σ са променом односа протока реке и притоке, овој чињеници тада није посвећена велика пажња, тако да предложена вредност $8/9$ није мењана. Претходна истраживања првог аутора [3, 6 и 7], заснована на коришћењу модела просторног течења, показала су да се на разматраном ушћу ($\alpha = \text{const}$) вредност параметра σ мења са променом вредности односа сила инерције притоке и реке (M_R) и да, за дато M_R , вредност овог параметра зависи од угла улива α .

У овом раду се, на примеру Шумејтовог лабораторијског модела ушћа без издигнутог дна, са углом улива од 90° [13] (слика 2), разматра утицај присуства и висине

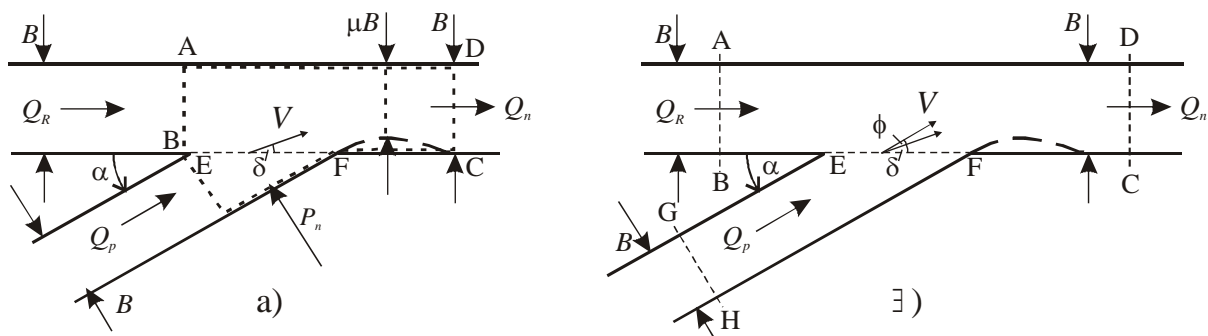
подводне каскаде на: 1) средњу вредност угла скретања тока $\bar{\delta}$, односно вредност параметра σ и 2) вредност компоненте силе инерције притоке у правцу осовине реке, односно њен удео у укупној сили инерције притоке. Вредност компоненте у правцу осовине тока матичне реке, добијена интеграцијом одговарајуће компоненте количине кретања у низводном пресеку притоке, упоредиће се са вредношћу $I_p \cos \bar{\delta}$, која се користи у моделима линијског течења. Утицаји присуства и висине подводне каскаде испитују се при различитим вредностима односа протока реком и притоком. Разматрају се четири вредности односа висине подводне каскаде Δz_p и дубине воде у реци на ушћу h_n : $\Delta z_p / h_n = \{0,00; 0,10; 0,25; 0,50\}$ и три вредности $D_R = Q_R / Q_n = \{0,250; 0,583; 0,750\}$ где је Q_R проток реком узводно од ушћа, а Q_n укупни проток низводно од ушћа. Вредност $\Delta z_p / h_n = 0,00$ одговара ушћу без подводне каскаде на којем су дна сва три корита (притоке, реке узводно и низводно од ушћа) у истом нивоу, док је $\Delta z_p / h_n = 0,50$ највећа осматрана вредност на речним ушћима. Изабране вредности D_R обухватају три могућа сценарија на ушћу: 1) доминацију притоке над реком ($D_R = 0,250$), 2) равноправан утицај притоке и реке ($D_R = 0,583$) и 3) доминацију реке над притоком ($D_R = 0,750$).

Сва разматрања заснована су на резултатима прорачуна просторног течења добијеним применом нумеричког модела SSIIM2 [9 и 10] који је претходно детаљно проверен коришћењем резултата лабораторијских огледа и теренских мерења. Поређења са резултатима Шумејтових огледа показала су да модел верно описује течење у низводном пресеку притоке (сви резултати налазе се унутар интервала поверења са прагом значајности 0,05) и да се може применити за процену параметара линијских модела [7].

2 Математички и нумерички модели

2.1 Линијски модели ушћа

Линијски (или аналитички) модели ушћа изведени су за случај када дна сва три корита (притоке и реке узводно и низводно од ушћа) леже у истој равни. Помоћу ових модела могу да се одреде дубине воде у пресецима узводно од ушћа. Модели су добијени применом закона одржања количине кретања на запремину флуида смештену између



Слика 1. Контролне запремине за обухватање ушћа у моделима линијског течења;
 а) Хагеров модел [15, 16] и модел Гурама и ост. [1] и б) Хсуов модел [17]

Figure 1. Control volumes for a junction in 1D-flow models; a) models of Hager [15, 16] and Gurrum et al. [1] and б) model of Hsu et al. [17]

попречних пресека који са узводне и низводне стране ограничавају ушће. На слици 1 приказане су, примера ради, контролне запремине у Хагеровом моделу и моделу Гурама и ост. (слика 1а) и у моделу Хсуа и ост. (слика 1б) на којима се види да се у овим линијским моделима утицај притоке обухвата водећи рачуна о углу скретања тока δ (у хоризонталној равни) у низводном пресеку притоке. Детаљан преглед и оцена линијских модела ушћа могу се наћи у радовима [4 и 7]. У свим моделима, изузев модела Шабајека и ост., претпоставља се да су дубине у оба узводна пресека једнаке ($h_P = h_R$). Због ограниченог простора, овде се наводе само изрази Хагеровог модела и модела Гурама и ост. уз напомену да је модел Хсуа и ост. по структури израза врло сличан моделу Гурама и ост. У Хагеровом моделу средња вредност угла δ користи се за прорачун коефицијента сужења тока μ услед одвајања граничне струјнице од низводног темена ушћа (слика 1а):

$$\frac{1}{\mu} = \frac{1 + \sqrt{(1-q)(2-q) \left(1 - \frac{2}{3} \cos \bar{\delta} - \frac{1}{3} \cos^2 \bar{\delta}\right) + \frac{1}{9} \cos^2 \bar{\delta}}}{1 + \frac{1}{3} \cos \bar{\delta}} \quad (1)$$

где је $q = Q_R / Q_n$. С обзиром на то да губитак енергије између сваког од два узводна и низводног пресека зависи од степена сужења тока, јасна је зависност дубина (нивоа) узводно од ушћа од угла скретања тока $\bar{\delta}$.

У Гурамовом моделу дубине узводно од ушћа рачунају се решавањем следеће једначине:

$$Z^3 - Z(2 + F_{Rn})^2 + F_{Rn}^2 [(1-q)^2 + q \cos \bar{\delta}] = 0 \quad (2)$$

где је Z однос дубина из пресека узводно и низводно од ушћа (h_P / h_n), q је однос протока притоке и укупног протока низводно од ушћа (Q_P / Q_n), а $F_{Rn} = Q_n / (gBh_n)^{1/2}$, Фрудов број низводно од ушћа. И овде се види да угао скретања тока притоке на ушћу утиче на дубине тока у узводним пресецима.

2.2 Математички и нумерички модели просторног течења

За моделирање устаљеног просторног течења користи се модел састављен од једначине одржања масе и Рејнолдсових једначина за нестишљив флуид, а за моделирање напона турбуленције из Рејнолдсових једначина, стандардни k - ϵ модел турбуленције. С обзиром на то да је реч о стандардним једначинама које се могу наћи у књигама из механике флуида (нпр. у [14] или у [10]), оне се овде, због ограниченог простора, не наводе. За процену утицаја притоке од значаја су они чланови из Рејнолдсових једначина који описују проток количине кретања ($\rho u_j dV$) кроз границе елементарне запремине [3, 6 и 7]. О њима ће детаљније бити речи у тачки 5 приликом тумачења резултата.

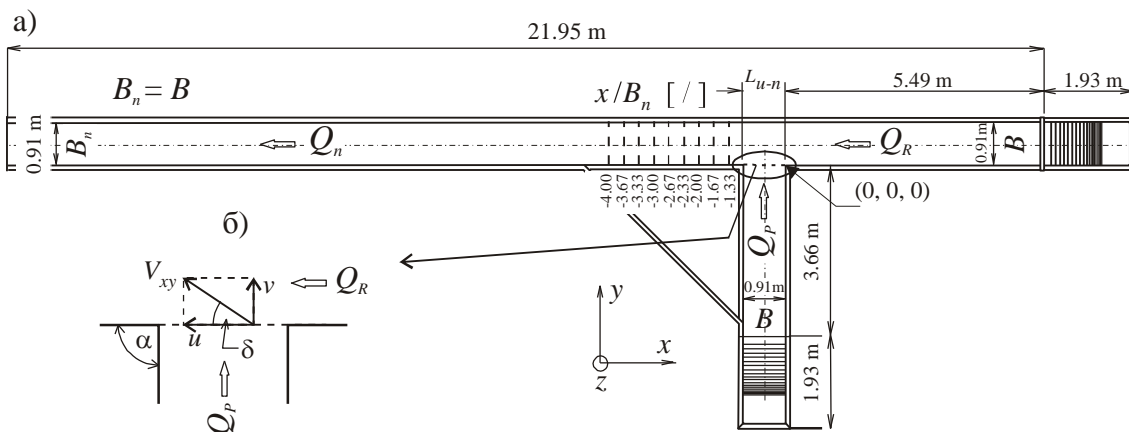
У овом раду је за нумеричко решавање једначина математичког модела коришћен модел SSIIM2 [9, 10] који се заснива на методи коначних запремина. Овај модел омогућава да се рачунска област представи неструктурираном, вишеделном просторном мрежом, што је погодно за моделирање течења у гранатој мрежи токова као што је то

случај на речним ушћима. Решење које ће истовремено задовољити једначину одржања масе и Рејнолдсове једначине добија се итеративно применом SIMPLE поступка [9, 10]. Због великих градијената зависно променљивих у зони ушћа, конвективни чланови у Рејнолдсовим једначинама представљени су узводним разликама другог реда тачности [3, 5 и 6]. Слободна површина у моделу SSIM2 може се представити само у виду тзв. „крутог поклопца”.

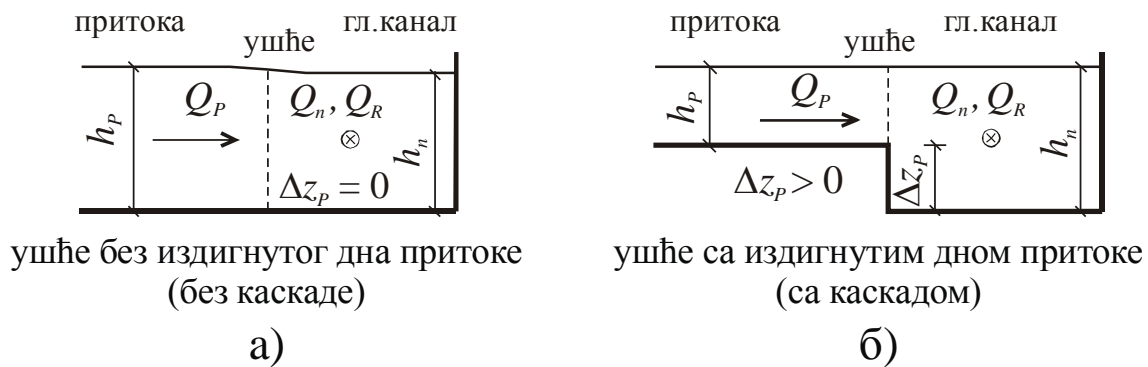
У контролним запреминама уз чврсту границу све зависно променљиве одређују се коришћењем „закона зида”. Начин одређивања зависно променљивих на отвореним границама зависи од врсте границе (слободна површина или пресек кроз који вода улази у разматрану област струјања или из ње излази). На границама кроз које вода улази у ову област, задају се протоци, док се на излазној граници задаје ниво, а остале зависно променљиве рачунају из услова да је градијент тих величина у правцу управном на ту границу једнак нули. Слободна површина је граница на којој су градијенти компонената брзине у хоризонталној равни (u и v) и расипања кинетичке енергије турбуленције (ϵ) једнаки нули, док се компонента брзине у вертикалном правцу (w) одређује из услова да је проток кроз слободну површину једнак нули. Вредност кинетичке енергије турбуленције (k) једнака је половини срачунате вредности на дну [9].

3 Поставка нумеричких огледа

Утицај подводне каскаде на споју притоке и реке испитан је за ушће са углом улива од 90° . Геометрија ушћа у основи преузета је из Шумејтових огледа [13] (слика 2а). Реч је о ушћу добијеном спајањем два канала правоугаоног попречног пресека једнаких ширина ($B = 0,91 \text{ m}$) са хоризонталним дном. Осим оригиналне поставке са истим котама дна оба канала ($\Delta z_P / h_n = 0,00$, слика 3а), размотрена су и три хипотетичка случаја са следећим



Слика 2. а) Основа Шумејтовог [13] лабораторијског модела ушћа са углом улива од 90° и б) угао скретања тока притоке (δ) у хоризонталној равни на ушћу
 Figure 2. a) Plan view of Shumate's [13] laboratory model of a 90° straight-channels' confluence and б) flow deflection angle on the horizontal plane at a tributary entrance to the confluence



Слика 3.Схематски прикази ушћа: а) без каскаде и б) са каскадом у дну на споју корита притоке и корита матичне реке

Figure 3. Definition sketch for the: a) concordant and б) discordant beds' confluences

вредностима степена издигнутости дна притоке у односу на дно главног канала (реке): $\Delta z_p / h_n = \{0,10; 0,25; 0,50\}$ (слика 3б).

Као што је поменуто у уводу, размотрена су три могућа сценарија на ушћу: 1) доминација притоке над реком, 2) равноправан утицај два сустичућа тока и 3) доминација реке над притоком. С обзиром на то да су Шумејтовим огледима обухваћена сва три сценарија, у нумеричким огледима коришћене су одговарајуће вредности протока из ових лабораторијских огледа. Укупан проток низводно од ушћа у свим огледима износио је $0,17 \text{ m}^3/\text{s}$, а вредности односа протока главним каналом (реком) узводно од ушћа (Q_R) и протока низводно од ушћа (Q_n) за поменута три случаја износиле су, редом: $D_R = Q_R / Q_n = \{0,250; 0,583; 0,750\}$. Као и у Шумејтовим огледима, посматрано је устаљено, мирно течење, са дужином у низводном пресеку главног канала од $0,296 \text{ m}$. Са четири геометрије и три хидрауличко-хидролошка сценарија, испитано је укупно дванаест могућих комбинација.

4 Нумеричко моделирање

Рачунска област у свих дванаест разматраних комбинација обухватила је пуне дужине оба канала, чиме је избегнут евентуалан утицај граничних услова на течење у области хидродинамичког утицаја ушћа. За представљање ове гранате рачунске области коришћена је дводелна просторна рачунска мрежа у којој сваки део (блок) представља ортогоналну, структурирану мрежу. Главни канал замењен је блоком 1. Величина овог блока у свим варијантама геометрије је иста – мрежа има 838 запремина по дужини и 38 по ширини канала, и 20 запремина по дубини тока. Величина блока 2, којим је замењен бочни канал, мењана је по дубини у зависности од степена издигнутости дна притоке (табела 1), док је број контролних запремина по дужини и ширини канала увек био исти (183 по дужини и 38 по ширини). Ове димензије рачунске мреже усвојене су на основу анализе осетљивости резултата на густину рачунске мреже. Анализа се заснива на процени нумеричке неизвесности помоћу тзв. „показатеља конвергенције мреже”. Резултати ове анализе налазе се у [5].

Табела 1. Величина мреже у блоку 2 за разматране конфигурације дна на ушћу
 Table 1. Grid sizes in the block 2 for analysed confluence layouts

Огледна поставка	$\Delta z_p / h_n$ [/]	величина мреже у блоку 2	опис
1	0,00	183 × 38 × 21	ушће без каскаде у дну
2	0,10	183 × 38 × 19	ушће са каскадом у дну
3	0,25	183 × 38 × 16	
4	0,50	183 × 38 × 11	

5 Резултати и њихово тумачење

Средње вредности угла скретања притоке у хоризонталној равни $\bar{\delta}$ и вредности силе инерције притоке I_p и њених компонената I_{px} , I_{py} и I_{pz} , процењене су на основу срачунатих распореда компонената брзине u , v и w у низводном пресеку притоке.

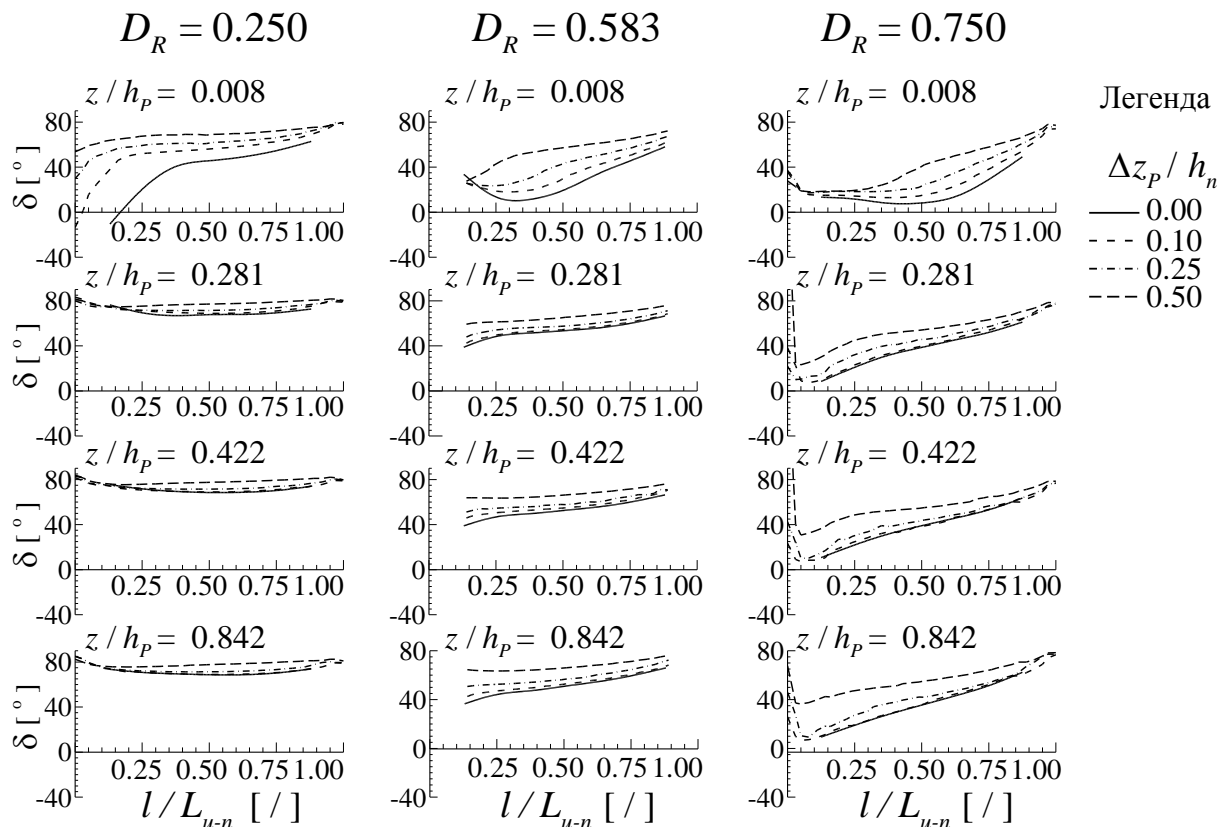
5.1 Средња вредност угла скретања тока и коефицијент неравномерности σ

Угао скретања тока у хоризонталној равни дефинисан је односом компонената брзине у тој равни ($\delta = \arctg(v/u)$, слика 2б). Неравномерност распореда ове две компоненте брзине по ширини попречног пресека и по дубини тока одражава се и на распоред угла δ (слика 4). Средња вредност угла ($\bar{\delta}$) добија се интеграцијом распореда овог угла по попречном пресеку. Запажа се да за дату вредност односа протока D_R повећање висине подводне каскаде Δz_p , односно степена издигнутости дна притоке изнад дна реке $\Delta z_p / h_n$ утиче на смањење одступања угла δ (слика 4), а самим тим и његове средње вредности $\bar{\delta}$ од угла улива α (слика 5а). Ово је сасвим очекивано, јер се при истом протоку са повећањем висине каскаде повећавају брзина и количина кретања притоке, па се притока више опире промени правца под утицајем центрипеталне силе и силе инерције реке. Најмање одступање од угла улива остварује се у условима доминације притоке над реком. На више од 85% дубине тока одступање при $\Delta z_p / h_n = 0,50$ износи 13° што је за 10° или 11% мање у односу на ушће без каскаде (слика 4, колона $D_R = 0,250$). Ефекат присуства подводне каскаде највећи је у случају доминације реке над притоком, јер се тада вредност угла δ у близини узводног темена ушћа, где су одступања од угла улива највећа, повећава око 5 пута (са $\approx 7^\circ$ на ушћу без каскаде, повећава се на $\approx 37^\circ$ на ушћу са каскадом која заузима 50% низводне дубине – слика 4, колона $D_R = 0,750$).

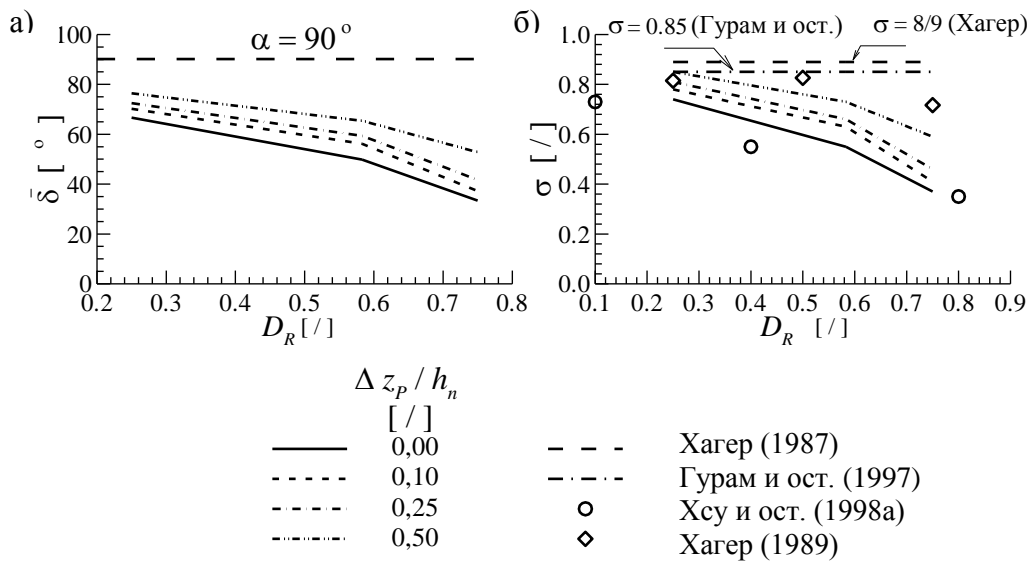
Последице присуства подводне каскаде на средњу вредност угла $\bar{\delta}$ у попречном пресеку су следеће. Каскада која заузима 10% дубине тока на ушћу, у зависности од вредности D_R смањује скретање тока притоке у низводном пресеку за 7 – 17%, она која заузима 25% дубине смањује скретање за 15 – 26%, а код каскаде која заузима 50% дубине, то смањење је између 35% и 43%. При томе доња вредност овог интервала одговара доминацији притоке над реком ($D_R = 0,250$), а горња, доминацији реке над притоком ($D_R = 0,750$).

Из дефиниције коефицијента неравномерности угла скретања тока на ушћу ($\sigma = \bar{\delta} / \alpha$), следи да се његова вредност мења на исти начин као и средња вредност угла δ (слика 5б) – неравномерност распореда угла δ смањује се са повећањем висине подводне каскаде и утицаја притоке. Уочава се да су независно од присуства или одсуства подводне каскаде

ове вредности мање од константне вредности које је првобитно предложио Хагер (8/9), а коју су касније кориговали Гурам и ост. (0,85), као и од вредности до којих је дошао Хагер накнадним истраживањима [16] у којима је мерењима обухватио пет тачака по ширини низводног пресека на дубини $0,5h$. И Хагер и Гурам и ост. су, усвајањем референтне равни на половини дубине ($z / h_p = 0,50$) занемарили део тока при дну ($z / h_p \leq 0,15$) у којем су промене угла δ по ширини тока најизраженије (слика 4) и на тај начин преценили вредност угла $\bar{\delta}$. У разматраном случају, проценат повећања у односу на вредност добијену осредњавањем по попречном пресеку креће се од 15% за Гурама и ост. и 20% за Хагера када је $D_R = 0,250$, до преко 100% (130% за Гурама и ост. и 140% за Хагера) када је $D_R = 0,750$. На ушћу без каскаде вредности коефицијента σ веће су од оних које су добили Хсу и ост. у својим огледима за око 15%, али се и једне и друге налазе у границама интервала поверења од 0,05 [7].



Слика 4. Утицај степена издигнутости дна притоке $\Delta z_p / h_n$ и односа протока D_R на распоред угла скретања тока δ у низводном пресеку притоке (z / h_p је бездимензионално вертикално растојање од дна притоке)
 Figure 4. Effects of bed elevation discordance ratio $\Delta z_p / h_n$ and discharge ratio value D_R on the δ -angle distributions at the tributary entrance to the confluence (z / h_p is a non-dimensional vertical distance from the bottom of the tributary)

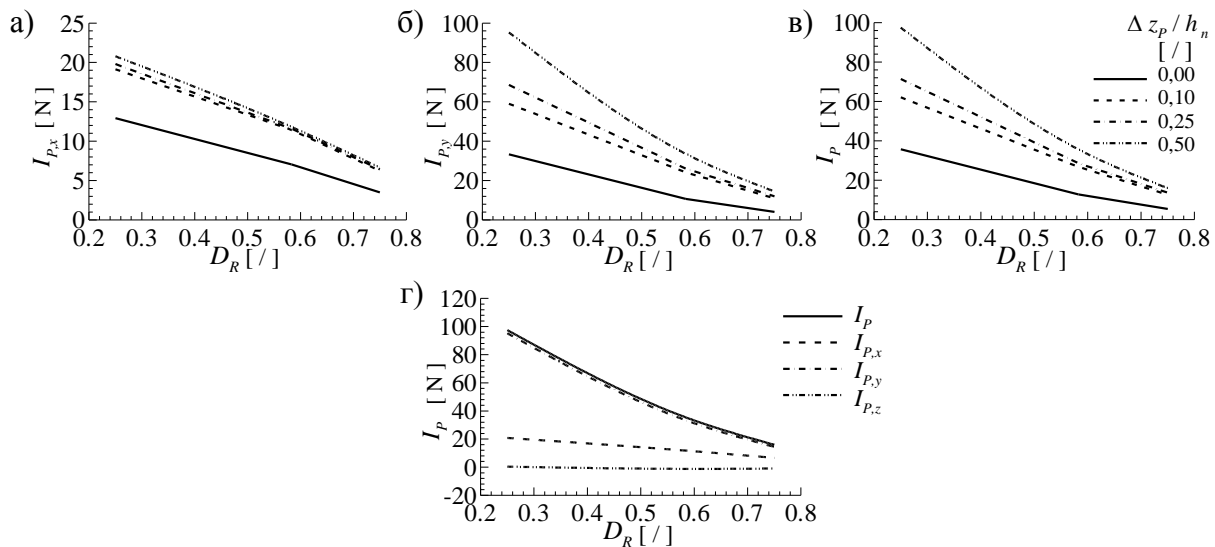


Слика 5. Утицај односа протока D_R и степена издигнутости дна притоке $\Delta z_P / h_n$ на а) средњу вредност угла скретања тока $\bar{\delta}$ на ушћу и б) коефицијент неравномерности σ
 Figure 5. Effects of discharge ratio D_R and bed elevation discordance ratio $\Delta z_P / h_n$ on the a) average value $\bar{\delta}$ of the flow deflection angle at the tributary entrance to the confluence and б) correction coefficient σ

5.2 Сила инерције у низводном пресеку притоке

С обзиром на то да сила инерције представља интеграл протицаја количине кретања кроз разматрани попречни пресек, компоненте силе инерције у низводном пресеку притоке одређене су интеграцијом одговарајућих чланова из Рејнолдсових једначина. Интензитет укупне силе инерције тада је једнак $I_P = \sqrt{I_{P_x}^2 + I_{P_y}^2 + I_{P_z}^2}$. Пошто је у разматраном случају нормала низводног пресека усмерена у правцу осе y (слика 2), то значи да се количина кретања проноси само компонентом брзине v и да у свакој од три Рејнолдсове једначине само по један члан описује унос количине кретања из притоке у реку. У једначини за правац x то је члан $\rho v u dA_y$, у једначини за правац y , члан $\rho v v dA_y$, а у једначини за правац z , члан $\rho v w dA_y$. Интеграцијом ових чланова по површини низводног попречног пресека A_y , добијају се, редом, вредности компонената силе инерције притоке I_{P_x} , I_{P_y} , и I_{P_z} . Компоненте силе инерције у хоризонталној равни I_{P_x} и I_{P_y} и укупна сила инерције I_P приказане су на слици 6. Види се да интензитети свих сила при датој вредности D_R расту са повећањем висине каскаде. За моделе линијског течења од значаја је компонента I_{P_x} . Са повећањем висине каскаде и доминације реке њена апсолутна вредност повећава се за 1,5 до 1,9 пута (слика 6а), али се вредност односа I_{P_x} / I_P смањује са 36% (за ушће без каскаде) на 21% (за каскаду висине $\Delta z_P = 0,50 h_n$) када доминира притока ($D_R = 0,250$), односно са 65% на 42%, када доминира река ($D_R = 0,750$).

Када се за процену утицаја притоке користи средња вредност угла скретања тока $\bar{\delta}$, јављају се одступања у односу на вредност I_{P_x} добијену интеграцијом компоненте количине кретања $\rho v u dA_y$. Одступања су највећа на ушћима без каскаде на којима се вредност ове



Слика 6. Утицај односа протока D_R и степена издигнутости дна притоке $\Delta z_P / h_n$ на: а) компоненту силе инерције притоке у правцу осовине реке $I_{P,x}$, б) компоненту силе инерције притоке управну на осовину реке $I_{P,y}$ и в) резултујућу силу инерције притоке I_P ; г) утицај односа протока D_R на укупну силу инерције и њене компоненте при $\Delta z_P / h_n = 0,50$

Figure 6. Effects of discharge ratio D_R and bed elevation discordance ratio $\Delta z_P / h_n$ on the а) component of the force of inertia in the main river direction $I_{P,x}$, б) component of the force of inertia perpendicular to the main river direction $I_{P,y}$ and в) total force of inertia of the tributary I_P ; г) effect of discharge ratio D_R on the total force of inertia and its components for $\Delta z_P / h_n = 0,50$

силе прецењује 40–70%. На ушћима са каскадом висине $\Delta z_P \leq 0,25h_n$ вредности силе се прецењују 5–10% када је $D_R = 0,250$, а потцењују од 2–17% када је $D_R \geq 0,583$. При висини каскаде $\Delta z_P = 0,50h_n$, вредност силе се опет прецењује за 12–22%, зависно од вредности D_R .

6 Закључци

У овом раду спроведен је низ нумеричких огледа коришћењем модела просторног течења са циљем да се утврди како присуство и висина подводне каскаде на ушћу притоке у реку утичу на вредности параметара којима се у линијским моделима ушћа обухвата утицај притоке. Реч је о моделу који је претходно детаљно проверен коришћењем резултата лабораторијских огледа и теренских мерења. Утицај подводне каскаде испитан је за три карактеристична хидролошко-хидрауличка сценарија која се могу јавити на ушћу. Поређењем резултата за различите геометрије дна и различите сценарије утврђено је следеће.

1. Присуство подводних каскада за последицу има дубље продирање притоке у корито реке, јер се смањује одступање угла скретања тока од угла улива.

2. Распоред угла скретања тока у низводном пресеку притоке са повећањем висине каскаде постаје равномернији (за дату вредност односа протока D_R повећава се вредност параметра σ).
3. На разматраном ушћу (са каскадом или без ње) распоред угла скретања тока са повећањем утицаја реке ($D_R > 0,50$) постаје неравномернији, а вредност параметра σ се смањује.
4. Удео компоненте силе инерције $I_{P,x}$ у укупној сили инерције I_P смањује се са повећањем висине каскаде. Процент смањења расте са повећањем утицаја реке.
5. Коришћењем средње вредности угла скретања тока на ушћу $\bar{\delta}$ или одговарајуће вредности коефицијента неравномерности овог угла (σ), утицај притоке у линијском моделу ушћа се прецењује и до 70% када каскаде нема, односно до 25% када је $\Delta z_P = 0,50h_n$. За каскаде чије се висине крећу између $0,10h_n$ и $0,25h_n$ вредности силе се прецењују 5–10% када је $D_R = 0,250$, а потцењују од 2–17% када је $D_R \geq 0,583$.

Литература

1. Gurram, S.K., Karki, K.S., and Hager, W.H., (1997) *Subcritical junction flow*, J. Hydraul. Eng., ASCE, 123, 5, 447-455.
2. Gurram, S. K. and Karki, S. K., (2000) *Discussion of Subcritical open-channel junction flow*, J. Hydraul. Eng., ASCE, 126, 1, 87-89.
3. Ђорђевић, Д., (2011), *Нумеричка анализа речних ушћа применом нумеричких модела*, докторска дисертација, Грађевински факултет Универзитета у Београду, Београд, 382 стр.
4. Ђорђевић, Д., (2011), *Преглед и оцена аналитичких модела ушћа*, Водопривреда, Vol. 43, No.252-254 (2011/4-6), стр.117-126.
5. Ђорђевић, Д., (2013), *Numerical study of 3D flow at right-angled confluences with and without upstream planform curvature*, J. Hydroinformatics, IWA, 15, 4, 1073-1088.
6. Ђорђевић, Д., (2013), *Просторно течење на речним ушћима – утицајни чиниоци*, монографија, Задужбина Андрејевић, 131 стр.
7. Ђорђевић, Д., (2014), *Can a 3D-numerical model be used as a substitute to a physical model in estimating parameters of 1D confluence models?*, Proc. 3rd IAHR Europe Congress, Porto, 158-167.
8. Kennedy, B., (1984), *On Playfair's law of accordant junctions*, Earth Surf. Proc and Landforms, Vol. 9, pp 153-157.
9. Olsen, N.R., (2000) *CFD Algorithms for Hydraulic Engineering*, Trondheim: The Norwegian University of Science and Technology, Trondheim.
10. Olsen, N.R., (2012) *A three-dimensional numerical model for simulation of sediment movements in water intakes with multi-block option – User's Manual*, The Norwegian University of Science and Technology, Trondheim.
11. Ramamurthy, A. S., Carballada, L.B. and Tran, D. M., (1988), *Combining open channel flow at right angled junctions*, J. Hydraul. Eng., ASCE, 114, 12, 1449-1460.
12. Shabayek, S., Steffler, P., and Hicks, F. 2002. *Dynamic model for subcritical combining flows in channel junctions*, J. Hydraul. Eng., ASCE, 128(9): 821-828.

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

13. Shumate, E.D., (1998), *Experimental description of flow at an open-channel junction*, Unpublished Master thesis, Univ. of Iowa, Iowa, 150 p.
14. Hajdin, G. (1983), *Mehanika fluida*, IRO Građevinska knjiga, Beograd
15. Hager, W. H., (1987), *Discussion of Separation zone at open-channel junctions*, J. Hydraul. Eng., ASCE, 113, 4, 539-543.
16. Hager, W. H., (1989), *Transitional flow in channel junctions*, J. Hydraul. Eng., ASCE, 115, 2, 243-259.
17. Hsu, C.C., Wu, F.S. and Lee, W.J., (1998a), *Flow at 90° equal-width open-channel junction*, J. Hydraul. Eng., ASCE, 124, 2, 186-191.
18. Hsu, C.C., Lee, W.J. and Chang, C.H., (1998b), *Subcritical open-channel junction flow*, J. Hydraul. Eng., ASCE, 124, 8, 847-855.