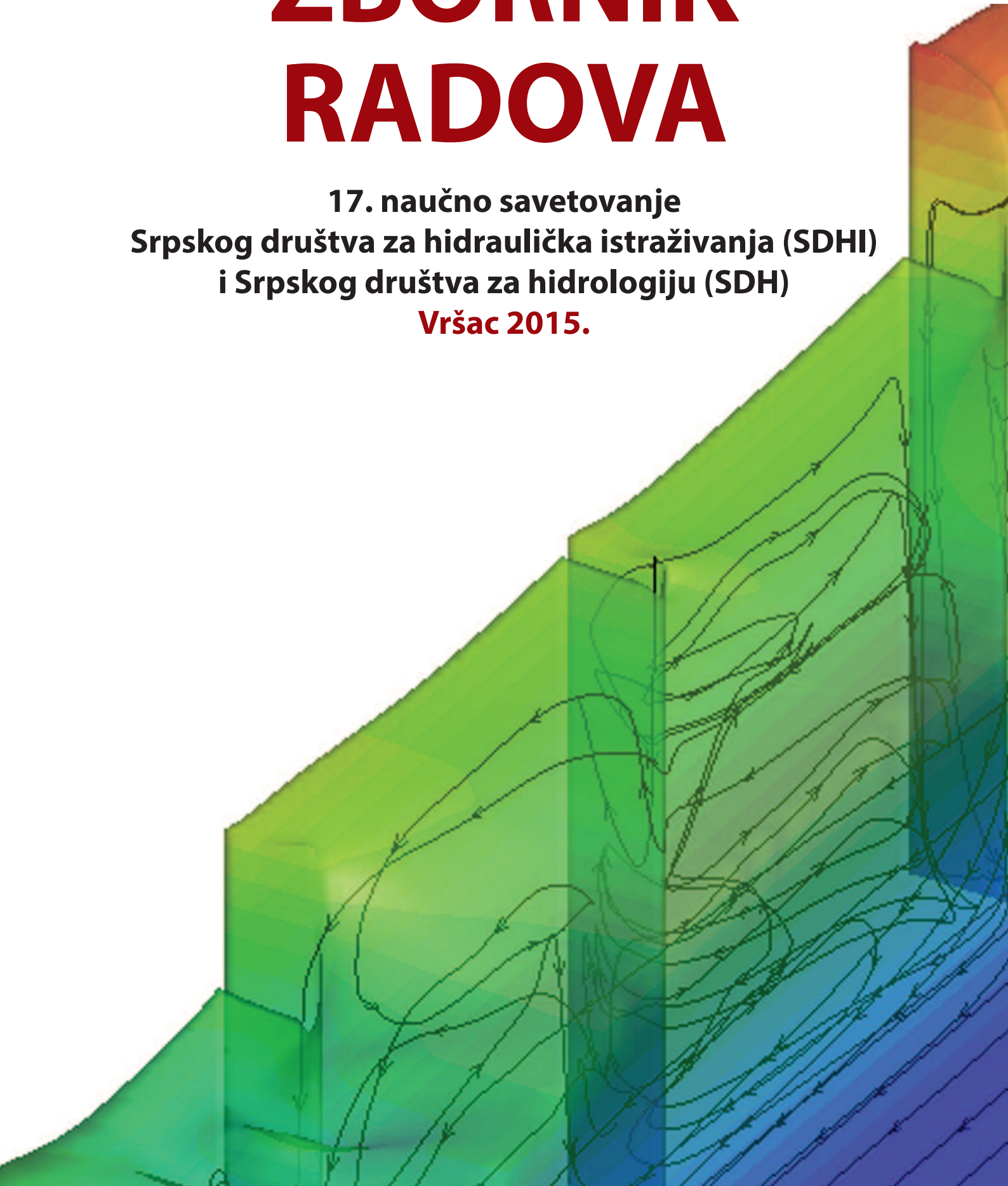


# ZBORNİK RADOVA

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 Yarascaу (Tасna, 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 Milašinić, 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>	
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 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

## Разматрање утицаја геометрије и хидрауличких отпора на основне одлике течења у кориту за велику воду

Иван Стојнић<sup>1</sup>  
Филип Мухић<sup>2</sup>  
Дејана Ђорђевић<sup>3</sup>

САЖЕТАК: У раду је спроведен низ нумеричких огледа са циљем да се утврди како геометрија корита за велику воду (КВВ) и рапавост плавних површина утичу на размену количине кретања (РКК) између главног корита и плавних површина и њен удео у укупном „губитку” механичке енергије тока. У ту сврху коришћен је модел линијског устаљеног течења у КВВ воду који је заснован на РКК између главног корита и плавних површина. Испитивање је показало да се на плавним површинама, због уједначавања хидрауличких услова у попречном пресеку КВВ, удео РКК у укупном „губитку” енергије смањује са повећањем дубине независно од геометрије корита и рапавости плавних површина и да размена и њен удео постају већи у следећим случајевима: 1) када је главно корито дубље, 2) када се искључи једна плавна површина, и 3) када се повећа рапавост плавних површина. Промена удела РКК са повећањем дубине тока у главном кориту зависи само од рапавости плавних површина.

Кључне речи: корито за велику воду, размена количине кретања, „губитак” механичке енергије тока, ширина и рапавост плавне површине, однос дубине и ширине главног корита

## Study of the influence of channel geometry and hydraulic resistance on flow characteristics in compound channels

ABSTRACT: A series of numerical experiments is conducted to determine how compound channel geometry and floodplain roughness affect both a momentum transfer between main channel and floodplains and its contribution to the total energy “loss”. To this aim, a 1D, exchange discharge model, which accounts for the momentum exchange between the main channel and floodplains, is used. It is found that the contribution of the momentum exchange to the total energy “loss” reduces on floodplains with the flow depth regardless of the compound channel geometry and floodplain roughness and that both, the momentum exchange and its contribution to the total energy “loss”, are increased in the following cases: 1) when the main channel aspect ratio decreases, 2) when compound channel is asymmetrical and 3) when the roughness of the floodplain increases. In the main channel, the variation in the momentum exchange contribution with the flow depth depends only on the floodplain roughness.

Keywords: compound channel, momentum exchange, energy “loss”, floodplain width and roughness, main channel aspect ratio

---

<sup>1</sup> Иван Стојнић, мастер инж. грађевинарства, демонстратор, Грађевински факултет Универзитета у Београду

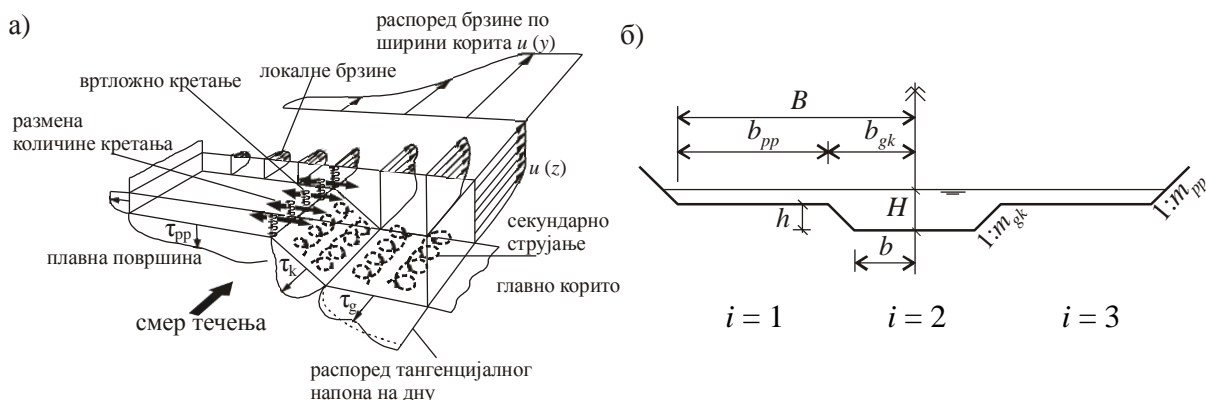
<sup>2</sup> Филип Мухић, дипл. грађ. инж., студент мастер студија, Грађевински факултет Универзитета у Београду

<sup>3</sup> Др Дејана Ђорђевић, дипл. грађ. инж., доцент, [dejana@grf.bg.ac.rs](mailto:dejana@grf.bg.ac.rs), Грађевински факултет Универзитета у Београду

## 1 Увод

Једна од главних одлика течења у кориту за велику воду, по којој се оно разликује од течења када се вода налази само у главном кориту, јесте размена количине кретања између бржег тока у главном кориту и споријег тока преко плавних површина (слика 1а). Успоравање тока на плавним површинама последица је наглог проширења корита и знатно веће рапавости плавних површина изазване присуством различитих врста растиња. То значи да се у кориту за велику воду енергија тока, осим за савлађивање отпора трења и облика, троши и на размену количине кретања између главног корита и плавних површина. За разлику од традиционалних, савремени модели линијског течења узимају у обзир ову размену и, као такви, пружају могућност да се процени удео размене количине кретања у укупном „губитку“ механичке енергије тока.

У овом раду се, помоћу једног таквог модела, испитује како геометрија сложеног корита и рапавост плавних површина утичу на размену количине кретања и њен удео у укупном „губитку“ енергије при различитим релативним дубинама воде на плавној површини. Реч је о тзв. моделу размене количине кретања (МРКК) који су крајем 1990их предложили Бузмар и Зек [2]. Модел је претходно проверен коришћењем резултата лабораторијских огледа [2, 3, 4 и 6]. Од геометријских карактеристика разматрају се утицај ширине корита за велику воду  $2B/2b$  (где је  $2B$  ширина корита за велику воду (КВВ) у нивоу обала, а  $2b$  ширина у дну главног корита) и утицај облика главног корита који је одређен односом  $2b/h$  (где је  $h$  дубина главног корита) – слика 1б. Када је реч о утицају рапавости плавних површина, разматрају се два случаја – један са непроменљивом рапавошћу ( $n_{pp}(H - h) = \text{const}$ , где је  $H$  дубина воде у главном кориту), који одговара случају стално потопљене ниске вегетације и други, са рапавошћу која се мења са променом дубине на плавној површини ( $n_{pp} = f(H - h)$ ), који одговара дрвенастом и жбунастом растињу које штрчи изнад воде. У циљу сагледавања и рашчлањивања појединачних утицаја сваког од разматраних чинилаца, посматра се поједностављен случај течења у КВВ, а то је једнолико течење у симетричном, призматичном, двогубом трапезном кориту.



Слика 1. а) Просторно течење у КВВ [7] и б) геометрија КВВ  
 Figure 1. а) Characteristics of overbank flow (after [7]) and б) geometry of compound channel

## 2 Математички модел

Математички модел линијског неустаљеног/устаљеног течења у КВВ, који су предложили Бузмар и Зек, сврстава се у групу тзв. физички заснованих модела. У њему се, приликом процене нагиба линије енергије, поред трења о чврсту границу, узимају у обзир и „губици” механичке енергије услед размене количине кретања између главног корита и плавне површине турбулентном дифузијом, као и они услед тзв. „геометријске” размене. „Губици” механичке енергије услед размене количине кретања турбулентном дифузијом последица су смицања између бржег тока у главном кориту и споријег тока на плавној површини, док су губици услед геометријске размене последица непризматичности корита. У циљу обухватања ових губитака, КВВ дели се вертикалним равнима на главно корито и плавне површине, а основне једначине исписују се за сваки део КВВ посебно. Утицај изостављеног суседног сегмента/суседних сегмената узима се у обзир увођењем додатних чланова у једначине. Тако се у једначину одржања масе уводи јединични бочни проток  $q_b = q_{ul} + q_{izl}$  кроз граничну површину између сегмената, а у једначину одржања количине кретања, компонента протицаја количине кретања у правцу главног тока –  $\rho q_{ul} u_b + \rho q_{izl} U$ . Компонента бочног протока који улази у сегмент (бочни доток) означена је са  $q_{ul}$ , а компонента која из њега излази (бочно истицање), са  $q_{izl}$ . Брзина у суседном сегменту, којом се остварује унос количине кретања у правцу главног тока, означена је са  $u_b$ , док је  $U$  одговарајућа брзина у разматраном сегменту којом се „предаје” количина кретања суседном сегменту. Једначине одржања масе и количине кретања за сегменте  $i = 1, 2, 3$  тада редом гласе:

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

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

Просторна координата  $x$  и време  $t$  у претходним једначинама представљају независно променљиве,  $\rho$  је густина воде, а  $g$  убрзање Земљине теже. Зависно променљиве величине су: површина разматраног дела попречног пресека  $A_i$ , која зависи од коте нивоа  $Z_i$  и проток кроз тај део попречног пресека  $Q_i$ . Средња брзина у том делу пресека је  $U_i = Q_i / A_i$ , а нагиб линије енергије услед трења,  $I_{tr,i}$ . Једначина одржања количине кретања може се, након одговарајућих трансформација и комбиновања са једначином одржања масе, превести у једначину одржања енергије. Она у условима устаљеног течења гласи:

$$-\frac{d}{dx} \left( Z_i + \frac{U_i^2}{2g} \right) = I_e = I_{tr,i} + \frac{q_{ul,i} (U_i - u_{b,i})}{g A_i} = I_{tr,i} + I_{rkk,i} = I_{tr,i} (1 + \chi_i), \quad i=1, 2, 3 \quad (3)$$

Други сабирак са десне стране знака једнакости представља „губитак” механичке енергије тока услед размене количине кретања између суседних сегмената. Њиме су обухваћени размена количине кретања турбулентном дифузијом и размена услед непризматичности корита. У МРКК са  $\chi$  се обележава однос две компоненте нагиба

линије енергије ( $I_{rkk} / I_{tr} = \chi$ ). Размена количине кретања турбулентном дифузијом моделира се на следећи начин:

$$q_{ul,i}^t (U_i - u_b) = \psi^t |U_i - u_b| (H - h_i) (U_i - u_b), \quad i = 1, 2, 3 \quad (4)$$

а размена количине кретања услед непризматичности корита:

$$q_{ul,i}^s (U_i - u_b) = \psi^s \kappa_i \frac{dK_{pp}}{dx} \sqrt{I_{tr,pp}} (U_i - u_b), \quad i = 1, 2, 3 \quad (5)$$

У претходним изразима  $\psi^t$  и  $\psi^s$  представљају параметре модела чије се вредности подешавају поређењем да резултатима лабораторијских или теренских мерења,  $K_{pp}$  и  $I_{tr,pp}$  су проточност плавне површине и нагиб линије енергије услед трења за плавну површину, а  $\kappa$  узима вредности из скупа  $\{-1, 0, 1\}$  у зависности од тога који се сегмент КВВ посматра и да ли се КВВ сужава или шири (видети [2, 3, 4 и 6]).

У овом раду посматра се призматично корито ( $q_{ul,i}^s = 0$ ), тако да губитак услед размене количине кретања обухвата само део који потиче од турбулентне дифузије.

### 3 Утицајни чиниоци

Течење у КВВ зависи од низа чинилаца који се, грубо, могу разврстати у неколико категорија. То су: геометријски, хидраулички, псамолошки и антропогени. У геометријске чиниоце убрајају се: ширина у дну главног корита  $2b$  и његова дубина уз сваку од обала  $h_1$  и  $h_3$ , ширина КВВ у нивоу обала  $2B$  (или ширина плавне површине  $B - b - m_{gk} h_i$ ) – сви приказани на слици 1б, степен закривљености трасе главног корита и уздужни нагиб дна  $I_d$ . Од хидрауличких чинилаца то су протоци  $Q_{gk}$  и  $Q_{pp}$  или брзине  $V_{gk}$  и  $V_{pp}$  у главном кориту и на плавним површинама, дубина воде у главном кориту  $H$ , односно дубина воде на плавној површини  $H - h_i$ ,  $i = 1, 3$  и висина, распоред, густина и крутост елементарна рапавости на плавним површинама. У псамолошке се убрајају физичке особине наноса, а у антропогене, начин коришћења плавних површина. Као што је већ речено, у овом раду се посматрају само неки од геометријских и хидрауличких чинилаца и то у призматичном, праволинијском, симетричном/асиметричном каналу у условима једноликог течења. Без улажења у детаље димензионалне анализе, која превазилази обим овог рада, може се написати да је бездимензионална размена количине кретања између два сегмента корита за велику воду функција следећих бездимензионалних величина:

$$I_{rkk} = f \left( \frac{B}{b}, \frac{2b}{h}, \frac{H-h}{H}, \frac{n_{pp}}{n_{gk}}, Re, Fr \right) \quad (6)$$

од којих прве две одражавају утицај геометријских, а друге две, утицај хидрауличких чинилаца. Последње две су показатељи утицаја вискозности и гравитације. Првим чланом у изразу (6) обухвата се утицај ширине КВВ, односно ширине плавне површине, а другим, утицај облика попречног пресека главног корита на размену количине кретања (РКК)

између главног корита и плавних површина. Трећи члан представља релативну дубину воде на плавној површини, а четвртим се обухвата утицај рапавости плавних површина.

Ширина КВВ варираће се у широком распону вредности  $B/b = \{2, 5, 10, 20, 40, 50, 75\}$ . Разматрањима ће се обухватити два гранична случаја – случај КВВ ограничене ширине  $B = 2b$  и хипотетички случај широке речне долине без објеката којима се ограничава КВВ ( $B = 75b$ ) да би се утврдило да ли постоји вредност  $B/b$  при којој ширина плавне површине престаје да утиче на РКК. Истовремено ће се испитати и утицај искључења једне плавне површине (асиметрично КВВ). У свим анализираним случајевима главно корито је широко правоугаоно ( $2b/h \geq 5$ ). С обзиром на то да вредност  $2b/h$  дуж трасе корита може да се мења, у једној групи нумеричких огледа варираће се вредност овог односа у распону од 5 (што одговара доњој граници за категоризацију корита као широког правоугаоног) до 50 (што, нпр., одговара кориту реке Дунав у близини Београда), а разматрани скуп обухватиће следеће вредности  $2b/h = \{5, 10, 20, 50, 75\}$ . Утицај геометријских чинилаца сагледаће се у КВВ са „глатким” дном ( $n_{pp} = n_{gk} = 0,010 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$ ). Имајући у виду да плавне површине покривају различите врсте растиња, испитивање утицаја рапавости плавних површина обухватиће два случаја. Први, са стално потопљеном вегетацијом (ливаде, ниске повртарске културе) у којем се претпоставља да се рапавост плавне површине не мења по дубини ( $n_{pp}(H-h) = \text{const}$ ) и други, са дрвенастим и жбунастим растињем које штрчи изнад воде, када се рапавост мења по дубини ( $n_{pp} = f(H-h)$ ). У случају променљиве рапавости претпоставља се да се она мења по закону утврђеном лабораторијским огледима [1], а у случају непроменљиве рапавости размотриће се следећи случајеви:  $n_{pp}/n_{gk} \in [1,5; 5,0]$ , при чему ће се вредност овог односа увећавати са кораком 0,5. У свим нумеричким огледима релативна дубина на плавној површини  $(H-h)/H$  биће у распону од 0,05 до 0,50.

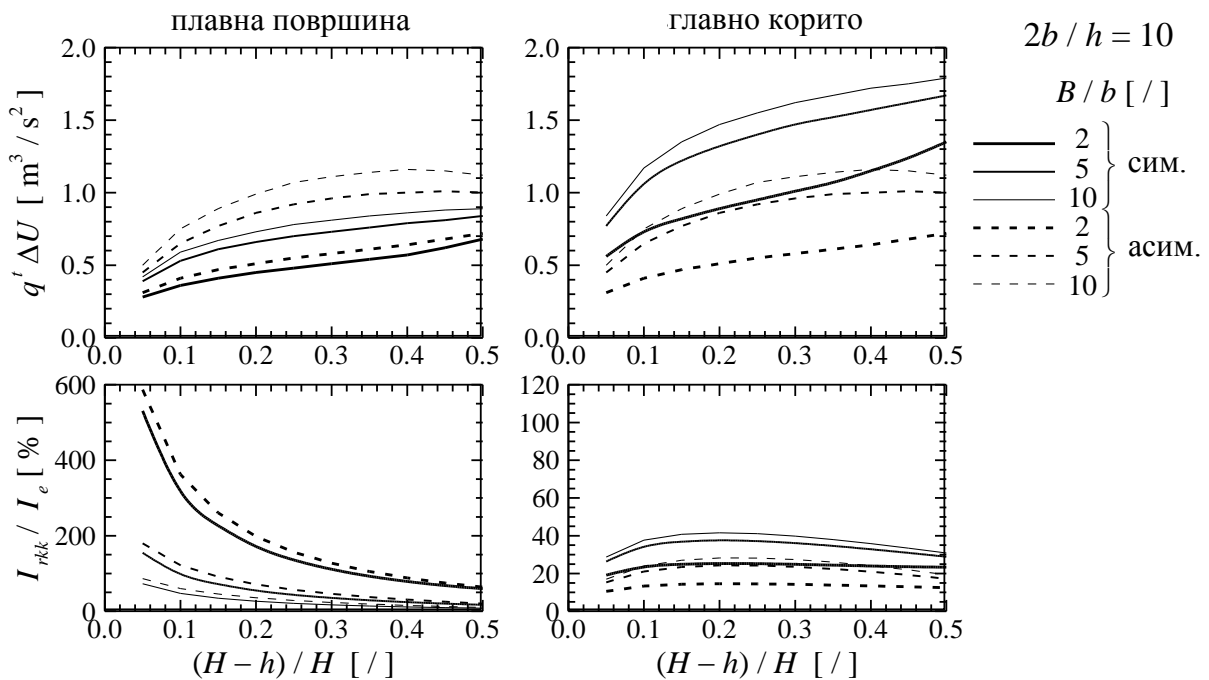
## 4 Нумерички огледи

Почетна геометрија главног корита у односу на коју су у нумеричким огледима варирале вредности испитиваних параметара подразумева ширину у дну главног корита од  $2b = 50 \text{ m}$  и једнаку дубину корита уз сваку од обала  $h_1 = h_3 = h = 5 \text{ m}$  (слика 16). Вредност Рејнолдсовог броја у свим огледима била је већа од  $1 \times 10^6$ , а вредност Фрудовог броја за цео пресек кретала се између 0,40 и 0,95 изузев у огледима у којима је  $B/b = 2$ . У том случају, вредности Фрудовог броја биле су мало веће од 1,0.

**Утицај ширине плавне површине** испитан је за вредност параметра  $2b/h = 10$  под претпоставком да је дно КВВ „глатко”. Огледима је обухваћен и случај искључења једне плавне површине (асиметрично корито). Резултати прорачуна приказани су на слици 2.

Може се приметити да и у симетричном и у асиметричном кориту РКК у оба смера – између главног корита и плавне површине  $q'_{pp} \Delta U$  и између плавне површине и главног корита  $q'_{gk} \Delta U$ , монотонно расте са порастом вредности оба параметра – релативне дубине на плавној површини  $(H-h)/H$  и релативне ширине плавне површине  $B/b$  (слика 2, први ред). Размена количине кретања на плавној површини код асиметричних корита већа је од размене у симетричним коритима за 7% до 45%, јер се искључењем једне плавне површине при истом нивоу воде повећава градијент брзине између главног корита и плавне површине. У симетричном кориту разлика брзина  $\Delta U$  креће се





Слика 2. Утицај ширине плавне површине на размену количине кретања између суседних сегмената (први ред) и удео те размене у укупном „губитку” енергије (други ред) за симетрична и асиметрична КВВ са глатким плавним површинама

Figure 2. Effect of floodplain width on the: momentum exchange between adjacent compartments of a compound channel cross-section (first row) and its contribution to the total energy „loss” (second row) in symmetrical and asymmetrical compound channels with smooth floodplains

између 1,7 m/s и 5,9 m/s, а у асиметричном између 1,9 m/s и 6,5 m/s. Са друге стране, РКК за главно корито је у симетричном КВВ за 27% до 45% већа него у асиметричном, јер у укупном доприносу РКК у симетричном кориту учествују две плавне површине, за разлику од асиметричних корита где учествује само једна плавна површина.

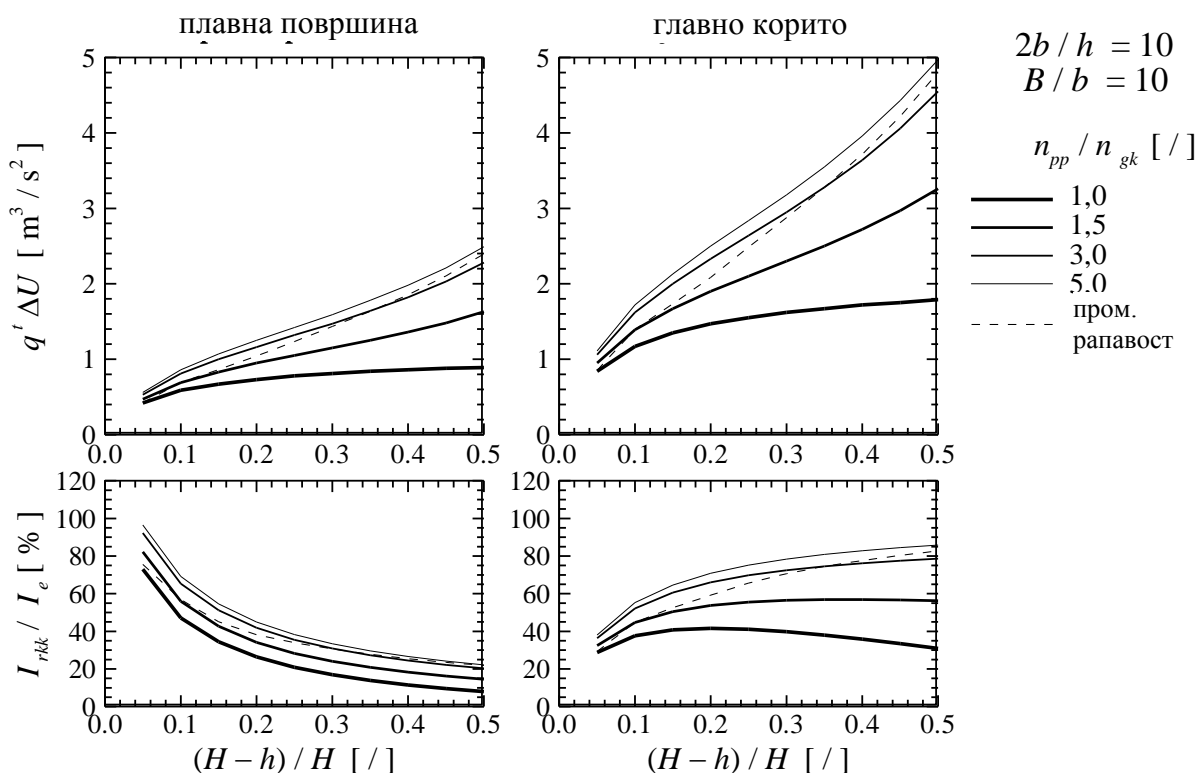
Разлика између плавних површина и главног корита постаје још очигитија када се посматра удео РКК у укупном губитку енергије ( $I_{rkk} / I_e$ ). За плавне површине то је монотонно опадајућа функција, док за главно корито она има облик параболе. Удео РКК у укупном губитку енергије на плавним површинама (слика 2, други ред) већи је за асиметрична корита, као и сама РКК (слика 2, први ред). У главном кориту ситуација је обрнута. Смањење удела РКК у укупном губитку енергије на плавним површинама са повећањем релативне дубине, резултат је уједначавања хидрауличких услова у попречном пресеку КВВ, односно смањења градијента брзине између главног корита и плавних површина. У коритима са ужим плавним површинама ( $B / b < 10$ ) удео РКК је већи, јер је у том случају ширина вртлога са вертикалном осовином, кроз који се размењује количина кретања, приближно једнака ширини плавне површине и утицај обала није занемарљив. На ширим плавним површинама ( $B / b > 10$ ) утицај обала на појаве које се дешавају на прелазу из главног корита на плавне површине постаје занемарљив и потпуно се губи када је  $B / b = 60$ . У главном кориту, удео размене количине кретања достиже

највећу вредност за  $(H - h) / H = 0,20$ , а са даљим повећањем релативне дубине он монотono опада, што је у складу са закључцима лабораторијских испитивања [5].

Следећи корак у испитивању утицаја изабраних чинилаца јесте увођење у разматрање рапавости плавних површина. Због веће рапавости плавних површина у односу на рапавост главног корита, ток преко плавне површине је спорији у односу на ток преко „глатке” плавне површине, што за последицу има веће смицање између два тока и већу размену количине кретања између суседних сегмената КВВ. Најпре ће се размотрити утицај непроменљиве рапавости по дубини, а потом и утицај рапавости која се по дубини мења.

**Утицај непроменљиве рапавости плавне површине** испитан је на примеру симетричног КВВ код кога је  $B / b = 10$ , а  $2b / h = 10$ . Резултати за неколико изабраних вредности рапавости плавне површине укључујући и случај „глатке” плавне површине ( $n_{pp} / n_{gk} = 1,0$ ) приказани су на слици 3.

Када је плавна површина рапава, РКК као и у случају „глатких” плавних површина, монотono расте са повећањем релативне дубине на плавној површини, а тај пораст је бржи и већи што је плавна површина рапавија (слика 3, први ред). Тако се повећање РКК у односу на „глатке” плавне површине за  $n_{pp} / n_{gk} = 1,5$  креће се у распону од око 10% при мањим

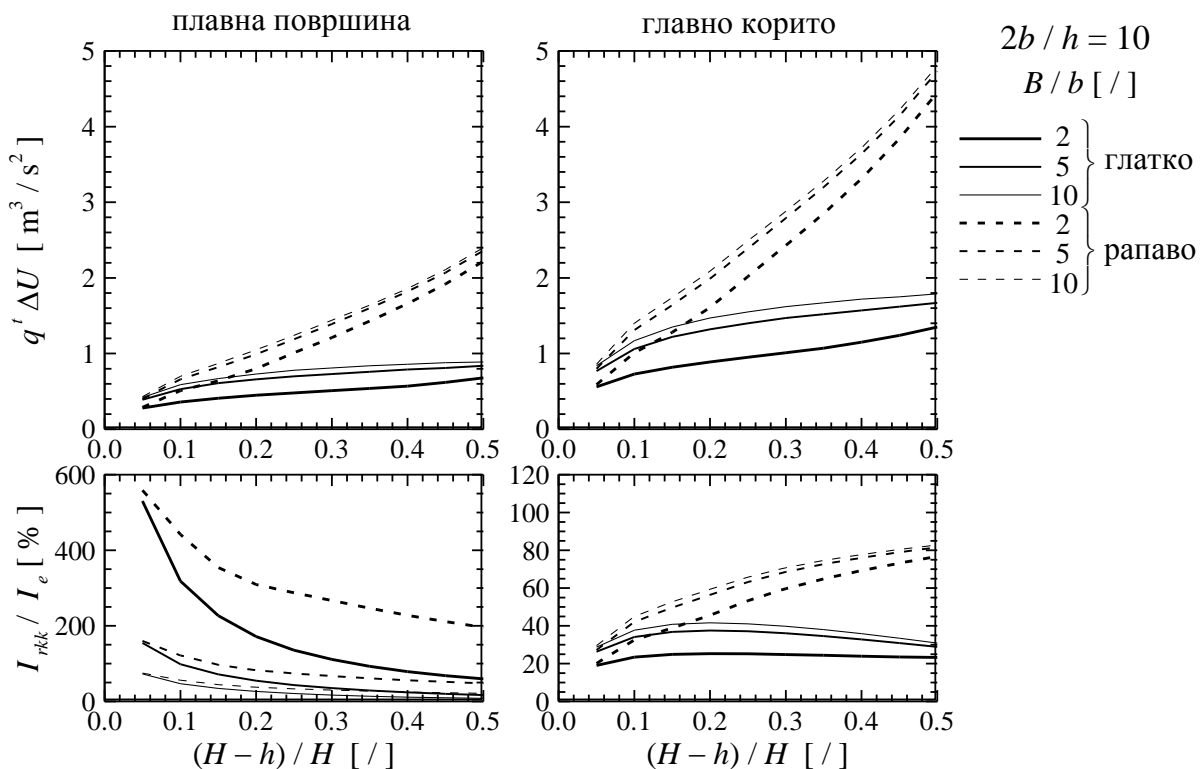


Слика 3. Утицај рапавости плавне површине на размену количине кретања између суседних сегмената (први ред) и удео те размене у укупном „губитку” енергије (други ред) за симетрична КВВ (случај непроменљиве рапавости по дубини)

Figure 3. Effect of floodplain roughness on the: momentum exchange between adjacent compartments of compound channel cross-section (first row) and its contribution to the total energy „loss” (second row) in symmetrical compound channels (case with constant value of roughness coefficient for all depths)

дубинама до 80% при  $(H-h)/H = 0,50$ , а за  $n_{pp}/n_{gk} = 5,0$  оно расте од око 30% до приближно 180%. Занимљиво је запазити да се за једну дубину воде на плавној површини прираштај РКК услед повећања рапавости нелинеарно смањује. Примера ради, за  $(H-h)/H = 0,50$ , прираштај се смањује од око 80% за  $n_{pp}/n_{gk} = 1,5$ , до приближно 1% за  $n_{pp}/n_{gk} = 5,0$ .

Као и код „глатких” плавних површина, удео РКК у укупном „губитку” енергије на рапавим плавним површинама монотono опада са порастом релативне дубине. Прираштај удела РКК са порастом рапавости плавних површина уједначенији је од прираштаја саме РКК. Линије  $I_{rkk}/I_e((H-h)/H)$  су приближно паралелне (слика 3, други ред, лево), за разлику од линија  $q^i \Delta U((H-h)/H)$  које се „зракасто” разилазе (слика 3, први ред). Линија која показује промену удела РКК у главном кориту у зависности од дубине на плавној површини мења облик са променом рапавости. При мањим вредностима рапавости плавних површина она има облик параболе, а са повећањем рапавости постаје монотono неоппадајућа функција. Због тога прираштај удела РКК са повећањем дубине није уједначен као на плавним површинама, већ задржава исти карактер као димензионална величина  $q^i \Delta U$ .

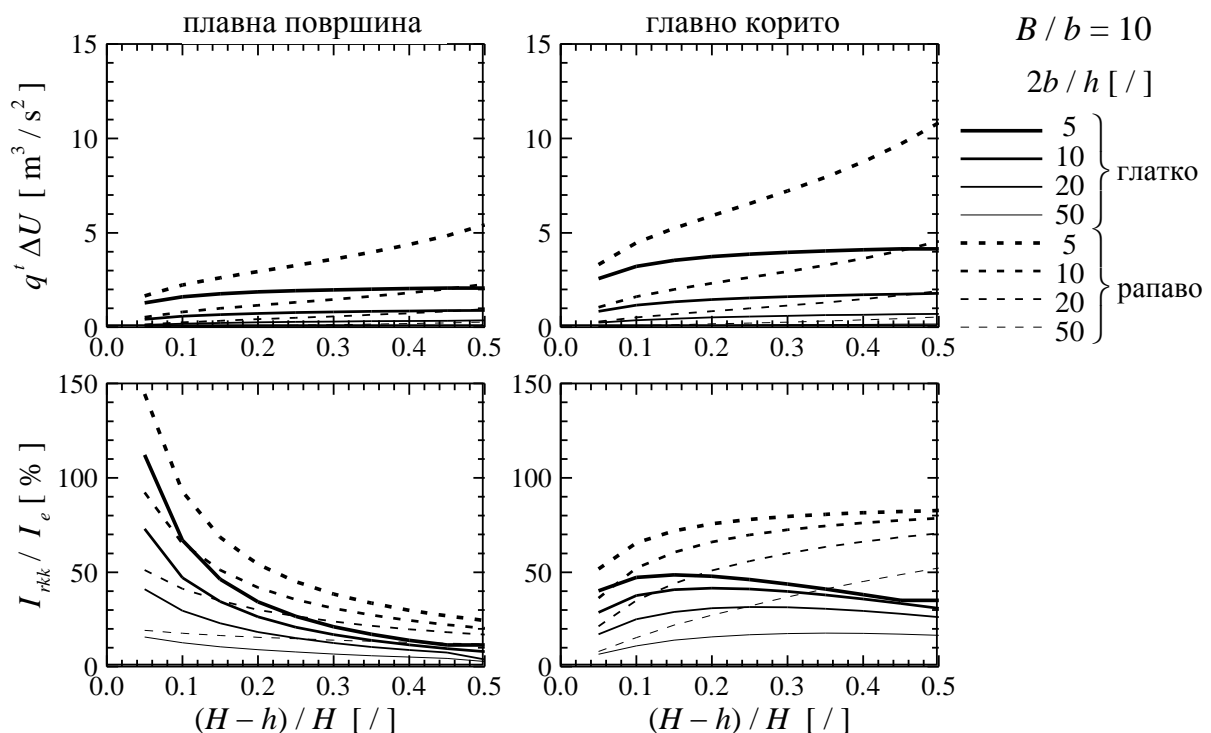


Слика 4. Утицај ширине и рапавости плавне површине на размену количине кретања између суседних сегмената (први ред) и удео те размене у укупном „губитку” енергије (други ред) за симетрична КВВ

Figure 4. Effects of floodplain width and roughness on the: momentum exchange between adjacent compartments of compound channel cross-section (first row) and its contribution to the total energy „loss” (second row) in symmetrical compound channels

**Утицај променљиве рапавости плавне површине** испитан је на примеру симетричног КВВ код кога је  $2b/h = 10$ . Разматрањима је обухваћен цео распон ширина КВВ  $B/b = [2, 75]$ . Резултати за неколико изабраних вредности  $B/b$  укључујући и одговарајуће случајеве „глатких” плавних површина ( $n_{pp}/n_{gk} = 1,0$ ) приказани су на слици 4. Одмах се запажа да су на рапавим плавним површинама, због значајнијег смањења брзине, и РКК и градијент њеног пораста већи него на „глатким” плавним површинама (слика 4, први ред). Повећање РКК при малим релативним дубинама највеће је на уским плавним површинама ( $B/b = 2$ ) и износи око 5%, а у КВВ код којих је  $B/b \geq 10$  оно се смањује на приближно 2%. При највећим релативним дубинама  $(H-h)/H = 0,50$ , РКК на рапавим плавним површинама је од 1,6 до 2,3 пута већа од оне на „глатким” плавним површинама. Исто важи и за главно корито, где је, због симетрије, РКК двоструко већа него на плавној површини.

Повећање РКК на плавним површинама са променљивом рапавошћу за последицу има њен већи удео у укупном нагибу линије енергије и знатно спорије и мање опадање тог удела са повећањем дубине на плавној површини (слика 4, други ред, лево). Примера ради, за  $B/b = 10$ , удео РКК при  $(H-h)/H = 0,5$  на рапавим плавним



Слика 5. Утицај односа ширине и дубине главног корита на размену количине кретања између суседних сегмената (први ред) и удео те размене у укупном „губитку” енергије (други ред) за симетрична КВВ

Figure 5. Effect of main channel aspect ratio on the: momentum exchange between adjacent compartments of compound channel cross-section (first row) and its contribution to the total energy „loss” (second row) in symmetrical compound channels

површинама износи око 20%, док се на „глатким” површинама смањује на приближно 8%. Повећање рапавости плавних површина одражава се и на закон промене удела РКК у главном кориту – параболе које на „глатким” плавним површинама достижу највећу вредност при  $(H - h) / H = 0,20$ , постају монотонно растуће линије на плавним површинама код којих се рапавост мења по дубини (слика 4, други ред, десно).

Занимљиво је запазити да се за  $B / b = 10$  и  $2b / h = 10$  РКК у КВВ са плавним површинама код којих се рапавост мења по дубини повећава са порастом нивоа врло слично као РКК у КВВ у којем је рапавост плавних површина константна и пет пута већа од рапавости главног корита. То, међутим, не важи за промену удела РКК у укупном „губитку” енергије. Удео РКК мањи је када се рапавост мења са дужином и на плавној површини се знатно спорије смањује са порастом нивоа него када је  $n_{pp} / n_{gk} = 5,0$ , док у главном кориту незнатно брже расте. Удео РКК за равномерну и удео за неравномерну рапавост се при великим дубинама воде  $(H - h) / H \approx 0,5$  практично изједначавају и на плавној површини и у главном кориту.

**Утицај односа ширине и дубине главног корита** испитан је на примеру симетричног КВВ код кога је  $B / b = 10$ . На слици 5 упоређени су резултати за КВВ са „глатким” плавним површинама и рапавим плавним површинама код којих је  $n_{pp} / n_{gk} = 3,0$ . Запажа се да је РКК мања у плићем кориту (слика 5, први ред), јер су градијенти брзине између главног корита и плавне површине мањи код плићих него код дубљих корита. Примера ради, у КВВ са „глатким” плавним површинама за  $2b / h = 50$  разлика брзина је око  $\Delta U = 2,0$  m/s, док је за  $2b / h = 5$  та разлика око  $\Delta U = 3,0$  m/s, док у кориту са рапавим плавним површинама ове разлике износе око 2,7 m/s када је  $2b / h = 50$ , односно око 5,5 m/s када је  $2b / h = 5$ . Због тога је и промена удела РКК у укупном „губитку” енергије на плавним површинама израженија код дубљих него код плићих корита. Примера ради, за  $2b / h = 5$  удео  $I_{rkk} / I_e$  се са порастом дубине нелинеарно смањује од око 110% на 11% на „глатким”, односно од 145% на 25% на рапавим плавним површинама. За  $2b / h = 75$  одговарајући распони промене крећу се од 10–3% и од 12–10% (слика 5, други ред, лево). На промену РКК у главном кориту утичу и његова дубина и рапавост плавних површина. Када су плавне површине глатке, функција  $I_{rkk} / I_e((H-h)/H)$  са смањењем дубине главног корита прелази од параболичне у монотонно неоппадајућу, а када су рапаве, монотонно неоппадајућа, прелази у монотонно растућу функцију (слика 5, други ред, десно).

## 5 Закључци

У овом раду спроведен је низ нумеричких огледа коришћењем модела линијског устаљеног течења у кориту за велику воду. Реч је о моделу који је претходно детаљно проверен коришћењем резултата лабораторијских огледа и који узима у обзир размену количине кретања између главног корита и плавних површина. Варирањем геометрије корита за велику воду и рапавости плавних површина утврђено је следеће.

1. Код симетричних корита РКК између плавних површина и главног корита двоструко је већа од размене између главног корита и плавне површине, зато што главно корито има два, а плавна површина само један суседни сегмент.
2. Удео РКК у укупном "губитку" механичке енергије на плавној површини смањује се са повећањем дубине независно од геометрије КВВ и рапавости плавних површина

- због уједначавања хидрауличких услова у попречном пресеку КВВ, односно због смањења градијента брзине између главног корита и плавних површина.
3. Искључење једне плавне површине, продубљење главног корита (смањење вредности односа  $2b/h$ ) и повећање рапавости плавних површина код симетричних корита утичу на повећање удела РКК у укупном "губитку" механичке енергије тока, јер се у сва три случаја повећава РКК са главним коритом.
  4. У главном кориту промена удела РКК по дубини првенствено зависи од рапавости плавних површина. Када су плавне површине глатке, овај удео се мења по параболичном закону, а највећа вредност се достиже при оној релативној дубини при којој пресек престаје да буде хидраулички хетероген. На рапавим плавним површинама промена удела РКК зависи од тога да ли се рапавост мења по дубини или не. Када се рапавост не мења по дубини, промена удела РКК је монотono неопadaјућа функција, а када се рапавост повећава са дубином, прелази у монотono растућу функцију.
  5. Што је главно корито плиће, тј. што је вредност односа ширине и дубине корита већа, пресек КВВ је у хидрауличком смислу хомогенији, па се удео РКК и за плавну површину и за главно корито смањују.

## 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. Myers, W.R.C. and Brennan, E.K., (1990), *Flow resistance in compound channels*, J. Hydr. Res., 28(2), pp 141-155.
6. 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.
7. 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.