АНАЛИЗА ПОПЛАВА РЕКЕ КОЛУБАРЕ У ВАЉЕВУ ТОКОМ 2014. ГОДИНЕ

ВОЈИСЛАВ ЂЕКОВИЋ¹ АЛЕКСАНДАР АНЂЕЛКОВИЋ¹ ВЕЛИБОР СПАЛЕВИЋ² ГОРАН БАРОВИЋ³

Извод: У овом раду приказане су поплаве настале 5. и 16. маја 2014. године изливањем реке Колубаре у граду Ваљеву, узводно од ушћа реке Градац. Циљ истраживања био је да се анализом обухвати вршни део слива Колубаре коју праве реке Јабланица и Обница и да се на конкретном примеру покаже и докаже да су ове поплаве имале непредвидив ток и карактер елементарних непогода. Реке Јабланица и Обница поплавиле су град Ваљево и причиниле огромну материјалну штету. После проласка поплавног таласа извршена су геодетска снимања протицајних профила, регистрована оштећења и деформације протицајних профила. Да би се на основу регистрованих трагова великих вода током трајања поплава, накнадно извршила реконструкција запремине поплавног таласа. Анализа указује да је протицај великих вода реке Колубаре у зони града Ваљева од 15 до 16. маја 2014. године, био реда величина 0,1%. Поплавним таласом су се димензије протицајних профила значајно повећале, дошло је до поткопавања дна и обалоутврда, покидан је и оштећен магистрални водоводни систем "Ровни", који је постављен кроз леви форланд регулације Колубаре у Ваљеву.

Кључне речи: бујичне поплаве, протицај воде, пронос наноса, поплавни талас, циклон, деформације речног корита

THE STUDY OF THE RIVER KOLUBARA FLOODING IN VALJEVO IN 2014

Abstract: This paper presents the flooding that occurred on the 15 and 16 of May, 2014 caused by the overflow of the river Kolubara in Valjevo, upstream from the mouth of the river Gradac. The aim of this study was to analyze the tip portion of the Kolubara basin formed by the rivers Jablanica and Obnica and through this particular case to show and to prove that these floods had an unpredictable course and the character of a natural disaster. The rivers Jablanica and Obnica flooded the town of Valjevo and caused enormous material damage. After the flood wave had ceased, geodetic surveys of the water discharge profile was made and the inflicted damage and deformations were registered. The recorded high water marks were then used to estimate the volume the flood wave. The study shows that the high water discharge of the Kolubara River in the zone of the city of Valjevo in the period 15 - 16 May 2014 was > 0.1%. The flood wave significantly increased the dimensions of the discharge profile, undermined the river bottom and bank reventments, broke and damaged the main water supply system 'Rovni', which is set through the left forland regulation of the Kolubara in Valjevo.

Keywords: torrential floods, water discharge, sediment transport, flood wave, cyclone, deformation of riverbed

ЈУЛ-СЕПТЕМБАР, 2015.

¹ др Војислав Ђековић, ред. проф., Универзитет у Београду Шумарски факултет, Београд

Александар Анђелковић, дипл. инж., асистент, Универзитет у Београду Шумарски факултет, Београд

² др Велибор Спалевић, водећи истраживач, Институт за шумарство Црне Горе

³ др Горан Баровић, проф., Одсек за географију, Универзитет Црне Горе, Никшић

1. УВОД

Поплаве у Србији током маја 2014. године изазване су дуготрајном циклонском активношћу која је била стационирана изнад Балканског полуострва. Циклонским падавинама, претходиле су дуготрајне падавине слабијег интезитета које су натопиле педолошко-геолошку подлогу. У моменту када се стационирао циклон изнад ових подручја влага у земљишту је била врло висока, и није било могућности за додатну ретензију атмосферских вода, него је дошло до наглог отицања и концентрације у површинске токове. Засићеност влагом, ваздушне масе током трајања циклонске активности била је око 100%, (РХМЗ – Србије, 2014.), влажност ваздуха и земљишта се повећавала захваљујући топлом ваздуху са југа и истока који је појачавао испаравање са земљишта, вегетације и водених површина. У прилог развоју оваквог поља ниског притиска погодовала је и физичко-географска специфичност Балканског полуострва, континентална, брдовита област (Wharton, G., 1994). На анализираном подручју у периоду од 13. до 16. маја пало је више од 200mm·m⁻²кише, највећа икада забележена количина у последњих 100 година од када се воде метеоролошка осматрања у Србији . (*РХМЗ* – Србије, 2014).

Поплаве спадају у најдеструктивније природне појаве на Земљи, (Baker, V.R., 2003) и зависе у великој мери од глобалних климатских промена, интезитета и времена трајања падавина, годишњег доба, облика и величине слива, антропогених активности у сливу и кориту водотокова (Thorne, C.R., 1996; Hooke, J.M., 2001). Једна од главних карактеристика поплава је величина поплавног таласа (Kondolf, G.M., 2002; Hey, R.D., 1997) која се не може унапред предвидети и оценити њена разорна моћ (Ђековић, В., 2014; Petar, F., 2013).



Слика 1. Географски положај испитиваног простора (извор: оригинал) Figure 1. Geographical position of the study area (source: original)

Колубара је река у западној Србији, десна притока Саве. Укупна дужина тока је око 123 *km*. Настаје од два изворишна речна крака: реке Обнице и Јабланице, после њиховог спајања у Ваљеву настаје Колубара. У овом делу слива, Колубара прима више притока. Леве притоке су: Рабас, Кладница, Тамнава, Љубостиња, а десне притоке: река Градац, Бања, Лепеница, Рибница, Топлица, Љиг, Пештан, Бељаница. Ушће Колубаре у реку Саву је код града Обреновца. Површина слива Колубаре на ушћу у реку Саву износи око 3.600 km². Средње годишњи протицај Колубаре је Q=31.



Слика 2. Поплава у Ваљеву - деоница на којој је вршена конструкција поплавног таласа (фото: А. Анђелковић, 16.5.2014)

Figures 2. Flooding in Valjevo. The section where the reconstruction of the flood wave was perforemed (photo: A. Andjelkovic 05/16/2014)

Колубара је кроз град Ваљево регулисана (Jovanović, М., 2008). Протицајни профил је двогубо трапезно корито димензионисано на Q 104 велике воде. Минор корито димензионисано је за пријем малих и средњих вода и мајор коритом за пријем Q_{1%} великих вода. Димензије протицајног профила су кориговане у току извођења радова на регулацији и у току постављања магистралних водоводних цеви од бране "Ровни" до корисника форланд регулације, обезбеђене бетонским сидреним елементима на сваких 20 *m*, слика 4. воде. Димензије цевовода су fi = 2×1000 *mm*. Цеви су укопане кроз град Ваљево у леви Димензије сидришта су: дужина 2 m, ширина 0,80 т и дубина фундирања 2,5 т. У фази извођења радова на полагању цеви дошло је до оштећења левог форланда и нису предузете радње на санацији оштећења. Цвовод није комплетно завршен већ само у зони општине Ваљево, крајеви цеви су блиндиране да се не би замуљивале и оштећивале па је у цевима остао заробљен ваздух. Када је ниво воде у профилу регулације достигао дубину >5,0т цеви су због силе узгона испливале на површину воде и даље су се понашале као плутајући пловни објекти. На слици 2 се виде контуре цеви које плутају површином воде. Након повлачења воде и проласка поплавног таласа, целокупан цевовод био је уништен, а у кривинама дислоциран на конкавну обалу.

На реци Јабланици 15 *km* узводно од Ваљева, између села Стубли на десној обали и села Ровни на левој обали, изграђена је брана "Ровни" којом ће се формирати акумулација запремине око педесет милона *m*³. Акумулација захвата долине река Јабланице и Сушице.

Запремина акумулације димензионисана је према потребама за водоснабдевање корисника и акумулисање наноса. Подаци о брани и акумулацији су: површина слива до профила бране 104 km^2 , висина бране 74,5 *m*, кота круне бране 363,50 *m*, ширина бране у круни 8,0 *m*, кота круне прелива 360,00 *m*, кота нормалног успора 360,00*m*, кота минималног радног нивоа 310,00 *m*, корисна запремина акумулације 49,5 милиона *m*³, највећа дубина акумулације 67 *m*.

У време поплава маја 2014. године, темељни испусти су били отворени и брана није имала никакво ретензионо дејство за пријем поплавног таласа и заштиту од поплава низводног сектора.

Јабланица извире на источним падинама планине Јабланик, 1 *km* узводно од Ваљева. Спаја се са реком Обницом и образује Колубару. Укупна дужина тока је око 21,5 *km*, површина слива Јабланице је 148 *km*², посечан годишњи пртицај је Qsr = 2. Долином Јабланице налази се савремени асфалтни пут Ваљево – Повлен, ка Рогачици, Бајиној Башти, планини Кремна и Вишеграду.

Река Обница има површину слива Р = 183.96 km^2 , дужина тока реке Обнице је 25 km извире испод планине Медведник, недалеко од Ваљева, код брда Видрак, састаје се са реком Јабланицом са којом образује реку Колубару.

Укупна површина слива Колубаре на ушћу Јабланице и Обнице је $P = 327.54 \ km^2$

Површина дела слива од саставака реке Обнице и Јабланице до ушћа реке Градац износи $P = 2.73 km^2$, тако да је укупна површина слива реке Колубаре на излазном мерном профилу пре ушћа реке Градац $P = 330.27 km^2$.



Слика 3. Магистрални цевовод са сидреним бетонским елементима и ушће реке Градац (фото. А. Анђелковић)

Figure 3. The main pipeline with anchoring concrete elements and the mouth of the river Gradac (*photo. A. Andjelkovic*)

2. МАТЕРИЈАЛ И МЕТОД РАДА

За прорачун протицаја велике воде у поплавном таласу 16. маја 2014. године на реци Колубари на сектору узводно од ушћа реке Градац у Ваљеву коришћена је методологија експерименталних сливова и метода трагова великих вода (слика 2).

Методолошки поступак истраживању реконструкције поплавног таласа у кориту реке Колубаре, састојао се у регистровању трагова великих вода. Регистровани трагови великих вода на сектору узводно од ушћа реке Градац, после проласка поплавног таласа, послужили су за геодетско дефинисање морфологије протицајног профила речног корита. Снимањем попречних профила до коте трагова великих вода, одређена је пропусна способност речног корита методом тарирања. Дефинисани су морфолошки услови Колубаре на овом сектору. Теренским радовима су регистроване промене подужног пада и попречних профила водотока, регистроване су зоне поремећаја морфологије речног корита.

После опадања поплавног таласа великих вода, извршена су геодетска снимања морфологије протицајног профила Колубаре од стране стручне геодетске службе предузећа "ИНГРАП – ОМНИ" Ваљево.

За реконструкцију поплавног таласа примењена је комбинована метода заснована на траговима великих вода и рачунском тарирању пропусне способности корита до регистроване коте велике воде, преко програма "Hec-Ras".

Да би модел био примењив неопходна су била теренска мерења и снимања како у току трајања поплава, тако и накнадно после проласка поплавног таласа. Примењене су следеће методе:

- експериментално истраживање на водотоку и у сливу реке Колубаре, подељено у две фазе:
 - 1. директно регистровање нивоа воде на протицајним профилима водотока за време трајања поводња, 15. маја 2014. године;
 - 2. лоцирање мерних профила, на деоници дужине 0+147,66 km;
- теренско рекогносцирање слива;
- концентрацију великих вода у главном току и у притокама.

За даљу анализу, улазне податке чине резултати директног мерења трагова поплавног таласа и морфологије протицајних профила у зони трагова великих вода, као и оцена утицаја коефицијента отпора речног корита на успоравање тока и изливање воде из протицајног профила водотока.

3. РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА И ДИСКУСИЈА

На основу статистичке анализе вероватноће појаве падавина већег интензитета за слив Колубаре дошло се до сазнања да се интензитет падавина креће у границама приказаним у табели 1. Падавине појаве 0,01% су реда величина 194 *mm*, међутим, у периоду од 14 до 16. маја пало је у Степојевцу 293.50 *mm*, у Љигу 229.50 *mm*, Уб–у 227,2 *mm* (табела 2). Ови подаци мерења указују, да се догодила елементарна непогода ређе вероватноће појаве, статистички гледано, ређе од једном у 10000 година. Непогода је изазвала огромна разарања и плављења, а имаће и далекосежне последице на захваћени регион. Слабљење и нестанак циклона почео је 16. маја 2014. године (*RHMZ– Srbije 2014*).

Табела 1. Меродавне рачунске кише за прорачун великих вода за анализирано подручје (извор: оригинал)

Table 1.	Applicable rainfall for the computation of the high waters of the study
	area (source: original)

МЕРОДАВНЕ РАЧУНСКЕ КИШЕ ЗА ПРОРАЧУН ВЕЛИКИХ ВОДА									
N ⁰	Вероватноћа % Повратни период H _d (p)								
1.	0,01	194,00 (<i>mm</i>)							
2.	0,1	1000	137,00 (<i>mm</i>)						
3.	3. 1 100 93,80 (<i>mm</i>)								
4.	4. 2 50 82,00 (<i>mm</i>)								
Параметри располете: Р-1 599 С-0 086 С-0 527									



Слика 4. Укупне количине падавина регистроване радарима од 13. до 18. маја 2014. године. Радарски снимак (Геометрик. обсег 150 *km*) (*извор:RHMZ*– Србије) **Figure 4.** Total annual precipitation radar recorded from 13 to 18 May 2014 Radar image (Geometric. Extent of 150 km) (*source: RHMZ of Serbia*)

На основу вероватноће појаве екстремних падавина (табела 1) и стварно регистрованих падавина у периоду од 14. до 16. маја 2014. године (табела 2), могло се прелиминарно закључити да се ради о падавинама катастрофалних размера. Протицаји на водотоковима пратили су интензитет падавина. Зато смо у завршној анализи користили податак о протицају великих вода појаве 0.1%, Q > 450 m³s⁻¹. Параметри теоријске расподеле кише јаког интензитета пре последњих максималних падавина у мају 2014. године, мах. дневна сума, Лог–пирсон–3, као и део резултата прорачуна приказани су у табели 1.

Табела 2. Подаци о измереним падавинама у непосредној близини слива реке Пештан (извор: RHMZ. RS)

Table 2.	Data on rainfall in the immediate vicinity of the river Peštan basin
	(source: RHMZ RS)

N ⁰	Подручје	Назив	Подаци о падавинама за три дана у (тт)							
	ГМС*	Станице	14.5.2014	15.5.2014	16.5.2014	Укупно за три дана				
1.	Београд	Пиносава	16.20	129.00	72.20	217.20				
2.	Београд	Макиш	31.1	100.80	46.20	178.10				
3.	Београд	Јаинци	21.20	148.20	48.20	217.60				
4.	Београд	Церак	25.20	104.00	47.20	176.40				
5.	Ваљево	Степојевац	23.60	185.10	84.80	293.50				
6.	Ваљево	Уб	61.20	114.8	51.20	227.20				
7.	Ваљево	Љиг	31.00	125.00	73.50	229.50				
ГСМ* – Главне метеоролошке станице										

3.1. Основне геоморфолошке карактеристике слива реке Колубаре

Површина слива реке Колубаре на излазном профилу је *P* = 330.27 km². Геоморфолошке карактеристике узводног дела слива река Јабланице и Обнице одликују се узаним речним долинама са стрмим долинским странама. Што је, поред осталог, условило брзу концентрацију падавинских вода у протицајне профиле водотока и поплаве у зони града Ваљева.

Морфолошке промене у регулисаном кориту реке Колубаре у зони града Ваљева догодиле су се због непредвиђеног протицаја великих вода појаве Р≥0,1% и значајних дубина воде у протицајном профилу водотока. Дубине воде у протицајним профилима биле су 3,35 – 5,09 *m*.

Да би се могли анализирати комплексни утицаји физичко-географских параметара на појаву поплава у било ком сливном подручју неопходна је свеобухватна ревизија сливне геоморфологије. (*Dollar*, 2004).

Један од садашњих узрока морфолошких промена протицајног профила регулисаног корита су енормни протицаји великих вода, који су створили велике дубине воде у протицајном профилу водотока (Đeković, V., 2014; Đeković, V., 2015). Поплава је створила услове за појаву повећаних брзина и вучних сила тока "Hec– RAS"(табела 3).

Магистрални цевовод који је укопан у левом форланду блиндиран је на улазу и излазу цевовода, тако да је у цевима остао заробљен ваздух, након наиласка поплавног таласа цевовод је под силом узгона "ишчупан" из форланда. Цеви су поломиле бетонске анкере у форландима и испливале на површину протицајног профила водотока (слика 2).

Бујични талас је носио цевовод са једне обале речног корита на другу и тако га тотално уништио и покидао (слика 11). У кривинама регулације дошло је до поткопавања и одношења обалоутврда. Дно регулације је местимично однето и поломљено, а дошло је и до продубљивања дна корита за 1,5–2,5 m. У доњем току свих водотока у сливу Колубаре, настале су незабележене поплаве са далекосежним негативним последицама по привреду и душтво, потопљени су површински угљенокоп Тамнава "Западно поље" и "Велики Црљени" (Ђековић, В., 2015).

Процењује се да се у ова два површинска угљенокопа излило: у "Западнот пољу" W = 187.30 милиона *m*³, максимална дубина воде H=66,4 *m*, а у површинском копу "Велики Црљени" W = 27.5 милиона *m*³ воде, максимална дубина у овом копу је H = 28,90 m.

3.2. Хидролошке карактеристике реке Колубаре

Рачунски модел максималног специфичног отицања (слика 6), за надпросечне услове влажности, позициониран је близу анвелопе појаве (р = 0,1%).

Извесну редукцију поплавног таласа врши изведена брана "Ровни" у сливу Јабланице (слика 5).



Слика 5. Брана и акумулација "Ровни" (фото: А. Анђелковић) Figure 5. The dam and `Rovni` reservoir (photo: A. Anđelković)

Са концентрацијом падавинских вода дуж линија највећег пада, повећава се њен транспортни и енергетски потенцијал за покретање и транспорт постојећих и стварање нових количина ерозионог материјала.

Повољне инфилтрационе и ретенционе карактеристике (Letić, Lj. et al. 2014) природних шума и шумског земљишта у сливу Колубаре, шумских засада (култура) и травних површина (Крстић, М., 2008) огледају се кроз промену структуре земљишта и садржаја квалитетног хумуса. Начин коришћења земљишта у сливу има одлучујућу улогу у задржавању и регулисању отицаја (Кондолф, Г.М. et al. 2002).

Током мајских поплава 2014. године количина атмосферских падавина

значајно је премашила количину падавина, вероватноће појаве 0,01% (194 *mm* : 220,00 *mm*). За тарирање модела трагова великих вода урађено је више серија прорачуна са различитим протицајима, све док се нису добиле коте велике воде регистроване на терену. Корито реке Клолубаре пропушта протицаје без изливања из основног корита од $Q = 370 \ m^3 \cdot s^{-1}$ уколико се не узима у обзир коинциденција великих вода река Колубаре и Градац. С обзиром да се догодила коинциденција великих вода на свим притокама Колубаре па и на Градцу, на ушћу ове две реке дошло је до успора и изливања. На ушћу Градца формирао се успор и загушење у протицајном профилу регулације, због чупања магистралног цевовода из форланда, то је све условило поплаву града Ваљева. Тарирани модел је показао, врло прецизно, да је протицај реке Колубаре 15 – 16. маја износио $Q = 450 \ m^3 \cdot s^{-1}$. Протицај од $Q = 450 \ m^3 \cdot s^{-1}$ је близак протицају вероватноће појаве од 0,1% (слика 8).





3.3. Резултати прорачуна реконструкције поплавног таласа реке Колубаре

На многим деоницама гадских и приградских насеља СО Ваљево дошло је до огромног разарања дна и обалоутврда регулације, а поплављена су приградска насеља како и центар Ваљева, и у коицинденцији са другим притокама Колубаре поплављена су приградска насеља града Лајковца, површински копови Тамнава и градови Лазаревац и Обреновац. Аутори овог рада 15. маја 2014. године регистровали су нивое воде реке Колубаре у Ваљеву (слика 2), као и на многим профилима Колубаре низводно од Ваљева снимајући видео запис о поплавама. Након проласка поплавног таласа извршена су геодетска снимања попречних профила корита, од стране геодетске службе предузећа "Инграп– Омни" из Ваљева.

За хидрауличку анализу протицаја великих вода коришћена је диференцијална једначина неједноликог течења [1]. Током трајања поплавног таласа димензије протицајних, (попречних) профила су се стално мењале као и остали морфолошко-хидраулички параметри тока, са неуједначеним коефицијентом рапавости дуж водотока и по контури оквашеног обима протицајног профила. Такође, дуж тока настали су преломи у паду нивелете дна. Разлог за ову појаву су повећани тангецијални напони који су разорили дно регулисаног корита (слика 7).



Слика 7. Разорено дно регулисаног корита реке Колубаре и оштећен магистрални цевовод (фото А. Анђелковић)

Figure 7. The destroyed bottom of the regulated channel of the river Kolubara and the damaged main pipeline (Photo A. Andjelkovic)

Из левог форланда "исчупан" је магистрални цевовод па су оштећења регулације била много већа од очекиваних (слика 7).

Програм "Hec-Ras" је разрађен на основу диференцијалне једначине неједноликог течења:

$$\Delta Z = \frac{Q^2}{K^2} \cdot \Delta L + \frac{(V_u^2 - V_n^2)}{2g}$$
[1]

 ΔZ –денивелација нивоа воде на укупној деоници водотока од профила до профила;

К – средња вредност модула протицаја;

 $V_{n}^{\ 2}$ и $V_{n}^{\ 2}-$ брзина протока у узводном и низводном профилу (од профила до профила).

Применом програма "Нес-Ras" извршено је тарирање пропусне способности корита до регистрованих кота велике воде, по профилима

(слика 8).

Методом тарирања вршено је постепено приближавање регистрованим котама нивоа воде током трајања поплавног таласа. У завршној анализи најпрецизнији резултати су добијени са протицајем од $Q = 450 \ m^3 \cdot s^{-1}$. С обзиром на то да су поплаве у мају 2014. године оцењене као елементарна непогода са катастрофалним последицама и незабележене у задњих 100 година, од када се воде метеоролошка осматрања. (РХМЗ – Србије 2014).



Слика 8. Снимљени протицајни профили реке Колубаре "Hec-ras", са нивот воде у поплавнот таласу

Figures 8. The discharge profile of the river Kolubara, recorded in `Hec-Ras`, with the flood water level





Figures 9. The discharge profile of the river Kolubara, recorded in `Hec-Ras`, with the flood water level

Тарирање модела вршено је, за протицаје: $Q = 300 \ m^3 \cdot s^{-1}$, $Q = 370 \ m^3 \cdot s^{-1}$, $Q = 400 \ m^3 \cdot s^{-1}$, $Q = 450 \ m^3 \cdot s^{-1}$. За протицај од $Q = 450 \ m^3 \cdot s^{-1}$ добиле су се регистроване коте нивоа велике воде на терену.

У раду су приказани протицајни профили са котама нивоа воде и линијом енергије тока (слика 8, 9), као и уздужни пад тока (слика 10). Завршна хидрауличка анализа за све профиле са протицајем од , приказана је у табелама 3, 4. и 5.

На основу табеле 1, падавине вероватноће појаве једном у 10.000 година су 194 *тт.* Током циклона "Тамара" на метеоролошкој станици Љиг регистровано је H = 229.5 *lit·m*², у Степојевцу H = 223.5 *lit·m*², у Ваљеву је H = 220.0 *lit·m*² (табела 2, слика 7).





Figure 10. Longitudinal profile of the river Kolubara on 15. May 2014 (Hec-Ras) (source: original)

Хидрауличком анализом "HEC–Ras" дефинисани су многи параметри дуж истраживане деонице водотока и приказани у табели 3, 4. и 5.

Табела 3. Хидраулички параметар «Нес–ras" река Колубара протицај Q_{max} =450 *m*³.*s*⁻¹ (извор: оригинал)

Table 3`Hec-Ras` hydraulic parameters of the Kolubara river discharge $Q_{max} = 450 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ (source: original)

Profile	Min.Ch.El	W.S.Elev	Wat. depth	E.G.Elev	E.G.Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Wodth	Fraud	Tang. Tens
N^0	М	т	т	т	m/m	m/s	<i>m</i> ²	т		kN.m ⁻²
4	178,12	182,65	3,79	183,07	0.000873	3,35	172,08	55,61	0.52	0.4171
3	177,85	182,41	4,21	183,00	0.001438	3,92	142,70	49.71	0.64	0. 4633
2	177,68	182,06	4,58	182,89	0.002039	4,54	124,24	50,13	0.75	0.1865
1	177,20	181,61	5,29	182,74	0.002505	5,09	109,43	47,69	0.79	0.6190

На профилу 1 km 0+000,00 и профилу 2 km 0+051,34 догодила су се изливања воде из регулисаног корита Колубаре, због ушћа реке Градац. Регистроване дубине воде у овим профилима су 4,54 m, и 5,09 m. На овим профилима је дошло до "чупања" магистралног цевовода из форланда (слика 7).

- Табела 4. Резултати хидрауличког прорачуна "Нес–Ras" План: 05 водоток Колубара, сектор Ваљево Деоница 01. на km 0+000 до 0+147,66 (извор: оригинал)
- Table 4. The results of the 'Hec-Ras' Plan hydraulic calculation: 05 water courseKolubara, sector Valjevo Section 01. from km 0 + 000 to 0 + 147.66(source: original)

Hoo Dos"	Profili							
"nec-Kas	1	2	3	4				
E.G. Elev (m)	182,74	182,89	183,00	183,07				
Vel.Head (m)	1,13	0,83	0,59	0,42				
W.S. Elev (m)	181,61	182,06	182,41	182,65				
Crit.W.S. (m)	181,61							
E.G.Slope (m/m)		0,00204	0,00144	0,00087				
Q total	450	450	450	450				
Top Width (m)	47,69	50,13	49,71	55,61				
Vel Total (4,11	3,62	3,15	2,61				
Max Chl Dpih (m)	4,41	4,38	4,56	4,53				
Conv.Total	8991,2	9964,8	11868	15229,1				
Length Wtd. (m)		51,33	49,43	47,28				
Min Ch El (m)	177,20	177,68	177,85	178,12				
Alpha	1,32	1,24	1,16	1,19				
Freth Loss (m)		0,12	0,08	0,05				
C& E Loss (m)		0,03	0,02	0,02				

- Табела 5. Резултати хидрауличког прорачуна "Нес–Ras" План: 05 водоток Колубара, сектор Ваљево Деоница 01. на km 0+000 до 0+147,66 (извор: оригинал)
- Table 5. The results of the 'Hec-Ras' Plan hydraulic calculation: 05 water course
Kolubara, sector Valjevo Section 01. from km 0 + 000 to 0 + 147.66
(source: original)

		-										
"Hec–Ras"	"Hec–Ras" Profil 1		Profil 2			Profil 3			Profil 4			
Elementi	Left OB	Cha	Rig OB	Left OB	Cha	Rig OB	Left OB	Chan	Rig OB	Left OB	Chan	Rig OB
Wt. n–Val	0,026	0,022	0,026	0,026	0,022	0,026	0,026	0,022	0,026	0,026	0,022	0,026
Reach Len (m)				51,40	51,34	51,20	50,00	49,06	50,20	47,55	47,26	47,10
Flow Area m2	17,00	73,06	19,37	23,58	69,71	30,94	36,78	68,01	37,91	43,73	75,90	52,45
Area m2	17,00	73,06	19,37	23,58	69,71	30,94	36,78	68,01	37,91	43,73	75,90	52,45
Flow (m3/s)	34,35	372,0	73,58	55,52	316,4	78,10	88,23	266,5	95,21	88,14	254,61	107,24
Top Width (m)	15,39	17,31	14,99	14,23	18,86	17,04	16,23	17,60	15,88	17,19	17,80	20,62
Avg Vel	2,02	5,09	2,25	2,35	4,54	2,52	2,40	3,92	2,51	2,02	3,35	2,04
Hydr Depth (m)	1,11	4,22	1,29	1,66	3,70	1,82	2,27	3,86	2,39	2,54	4,26	2,54
Conv	686,3	7434	870,7	1229	7006	1729,5	2326	7030	2511	2983,0	8616,7	3629,3
Wetted Per.(m)	15,81	21,82	15,32	14,94	21,21	17,67	17,43	19,83	16,78	18,52	19,23	21,73
Shear (N/m2)	26,41	82,27	31,05	31,56	65,74	35,03	29,75	48,35	31,86	20,22	33,80	20,66
Share (N/m.s)	2670	0,00	0,00	2585	0,000	0,000	2418	0,00	0,00	2681,16	0,00	0,00
Cum Vol. 1000m ³				1,04	3,67	1,29	2,55	7,04	3,02	4,47	10,44	5,14
Cum SA1000m2				0,76	0,93	0,82	1,52	1,82	1,65	2,32	2,66	2,51



Слика 11. Оштећен магистрални цевовод у Ваљеву (фото. А. Анђелковић) Figure 11. The damaged main pipeline in Valjevo (photo. A. Andjelkovic)

У табели 5 приказани су резултати хидрауличке анализе, може се запазити да је режим течења на експерименталној деоници миран (F_r < 1), док су средње брзине тока биле у дијапазону Vsr = 3,35-5 ms⁻¹. Тангецијални напон по дну тока ($\tau_0 = 0.1865 - 0,619 \ kN \cdot m^{-2}$), табела 3. Вредност критичног тангецијалног напона са тарираном константом "Shildsa 0,0475" је у дијапазону ($\tau_{cr} = 0.0475 \cdot g(\rho_s - \rho)d_{sr} = 0.0279 - 0.05592 \cdot kN \cdot m^{-2}$).

За фракције вученог наноса 50– 100 *mm*. На основу прорачуна меоже се закључити да су деформације регулисаног корита лоциране претежно на низводном сектору деонице ван градске регулације водотока. Без обзира што је био миран режим течења, у кориту водотока су се догодиле огромне морфолошке промене, због повећаних вучних сила тока које су се кретале у дијапазону 20,66 – 82,27 *N/m*² (табела 5).

4. ЗАКЉУЧЦИ

Изабрана деоница Колубаре у овој зони нема притока које би реметиле протицај додатним приливом велике воде, а речно корито је релативно право и уједначених морфолошких карактеристика. Ова деоница добро осликава обим и величину и дејство катастрофалних поплава током маја 2014. године.

На целокупном сливу Колубаре и њених протопка, падавине током трајања циклонске активности и претходне падавине слабијег интезитета, условиле су засићеност земљишта и изданских хоризоната водом што је довело до високог коефицијента отицања. Појава поплава у свим притокама и њихова коинциденција условиле су поплаве ширих размера. Коинциденција великих вода на свим притокама Колубаре, створени су услови за потапање површинског копа "Тамнава – западно поље" и "Велики Црљени", градова Ваљева, Лајковца, Лазаревца, Обреновца и многих сеоских насеља.

Количине падавина, од 14 до 16. маја 2014. године, према извештају РХМЗ– Србије, износиле су знатно изнад, падавина 0,01% на метеоролошкој станици Степојевац, Љиг, Уб и Ваљево, измерено је за три дана знатно више него што износе рачунске падавине 0,01%. Очекивано је било да ће се и протицаји у овом сливу понашати према унапред утвђеним критеријумима. Да би се дефинисао протицај великих вода у поводњу од 14 до 16. маја 2014. године, извршена су снимања и мерења трагова великих вода на терену у току трајања поплавног таласа и после престанка поплава. Геодетска снимања протицајних профила вршена су после проласка поплавног таласа, са везом на тригонометријске репере на терену. Регистроване промене морфолошких карактеристика протицајног профила водотока, као и промене кофицијента рапавости дуж водотока, указују на интензитет и величину поплава.

На основу једначине 1 према којој је разрађен компјутерски програм за хидрауличке прорачуне (Нес-Ras), извршено је тарирање пропусне способности корита при задатим морфолошким параметрима и коефицијенту рапавости све док се није добила регистрована кота нивоа велике воде на терену у току трајања поводња. С обзиром да су унапред дефинисане коте нивоа воде дуж водотока, попречни профили и подужни профил, анализом је добијен фрудов број и брзина течења по профилима, као и многи други параметри на основу којих се могу извући закључци о стабилности протицајног профила водотока, режиму течења и степену вероватноће протицаја великих вода. У анализи је коришћена велика вода која је оставила траг на протицајним профилима, након повлачења и престанка поплаве, реконструкцијом је установљено да је речним коритом током трајања поводња протицало $Q=450 m^{3.s^{-1}}$, а што је према анвелопама специфичног отицања великих вода за сливове Србије протицај од 0,1%.

На основу ове анализе може се закључити да је протицај великих вода реке Колубаре у зони града Ваљева у периоду од 15 до 16. мај 2014. године, био реда величина 0,1%. Разорним деловањем поплавног таласа, димензије протицајних профила значајно су се повећале, дошло је до поткопавања дна и обалоутврда, покидан је и оштећен магистрални водоводни систем "Ровни", (корисници воде кроз регулацију у Ваљеву).

Све то довело је до огромних разарања и плављења у самом граду Ваљеву и низводним насељима. У коинциденцији са осталим водотоцима, рекама: Градац, Рибница, Топлица, Љиг, Пештан, Бељаница и Тамнава и многим другим мањим водотоцима дошло је до потапања површинских копова "Тамнава", насеља Вреоци и града Обреновца.

Ова анализа поплавног таласа имала је за циљ да одреди степен пропусне моћи речног корита и степен заштите приобаља. Овим је доказано и отклоњене су дилеме да пројектант није погрешио у прорачуну великих вода. Јер су мајске велике воде 2014. године биле катастрофалних размера и спадају у елементарне непогоде, са вероватноћом појаве великих вода 0,1%. Напомена: Овај рад је реализован у оквиру пројекта "Нови биоеколошки материјали за заштиту земљишта и вода" (ТП37002) и пројекта "Истраживање климатских промена на животну средину: праћење утицаја адаптација и ублажавање" (III 43007) које финансира Министарство просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије.

ЛИТЕРАТУРА

- Baker, V.R., 2003. Palaeofloods and extended discharge records. In: Gregory, K.J., Benito, G. (Eds.), Palaeohydrology: Understanding Global Change. Wiley, Chichester, pp. 307–323.
- Dollar, E.J., 2004. Fluvial geomorphology. Progress in Physical Geography 28, 405-450.
- Ђековић, В., Анђелковић, А., Спалевић, В., Миливојевић, С. (2014): Реконструкција поплавног таласа у изворишном делу Барајевске реке. Шумарство 3–4. УШИТС. Београд.
- Ђековић, В., Анђелковић, А., Спалевић, В., Миливојевић, С., Милошевић, Н. (2015): Анализа поплава у сливу Барајевске реке током маја 2014. године. Шумарство 1-2. УШИТС. Београд.
- Jovanović, M.(2008): Regulacija reka, rečna hidraulika i morfologija. Универзитетски уџбеник. Универзитет у Београду Грађевински факултет, Београд. стр. 1–500.
- Kondolf, G.M., Piegay, H., Landon, N. (2002): Channel response to increased and decreased bedload supply from land use changes: contrasts between two catchments. Geomorphology 45, 35–51.
- Крстић, М. (2008): Начелна разматрања категоризације и узгојних потреба у шумама специфичне намене. Шумарство 1–2. УШИТС. Београд.
- Letić, Lj., Nikić, Z., Savić, R., Nikolić, V. (2014): Uticaj vegetacionog pokrivača na retenciju i oticanje vode na području Fruške Gore, Šumarstvo DIT Srbije, 1–2, Beograd. 97–111.
- Hey, R.D. (1997): River engineering and management in the 21st century. In: Thorne, C.R., Hey, R.D., Newson, M.D. (Eds.), Applied Fluvial Geomorphology for River Engineering and
- Hooke, J. M. (2001): Fluvial processes. In: Higgitt, D.L., Lee, E.M. (Eds.), Geomorphological Processes and Landscape Change: Britain in the last 1000 years. Blackwell, Oxford, pp.116–146.
- Thorne, C.R., Allen, R.G., Simon, A. (1996): Geomorphological river channel reconnaissance for river analysis, engineering and management. Transactions Institute of British Geographers 21, 469–483.
- Wharton, G. (1994): Progress in the use of drainage network indices for rainfall-runoff modelling and runoff prediction. Progress in Physical Geography 18, 539–557.
- (2014): Извештај о падавинама током циклона "Тамара". РХМЗС Београд.

THE STUDY OF THE RIVER KOLUBARA FLOODING IN VALJEVO IN 2014

Vojislav Đeković Aleksandar Anđelković Velibor Spalević Goran Barović

Summary

The focus of this paper is the reconstruction of high flood waters of the Kolubara River in Valjevo, during the 'Tamara' cyclone from 14. to 16. May 2014. The research included field works and measurements during the cyclone and after the rain had ceased and the flood subsided. Nearby weather stations provided data on the amount of rainfall that had caused the large-scale flooding and created conditions for the occurrence of the maximum water in the discharge profile.

In order to get a clear insight into the conditions that led to the formation of the flood wave, we conducted the measurements in the field, analyzed the topography of the catchment and studied the formation of the surface runoff from the catchment. We further studied the ways the river Jablanica accumulation is used and the role of vegetation in the prevention of precipitation concentration and formation of the surface runoff. Due to the force of buoyancy, the increased water depth in the discharge profile of the regulation "ripped out" the pipeline from the forland and caused enormous damage. Pipelines were damaged and forlands deformed because and stone sheeting of the forland was ripped off together with the pipes.

After the flood cessation, a detailed geodetic survey of the morphology of discharge profiles was conducted in order to determine the discharge and the probability of high water occurrence during the study period. Other hydraulic parameters of the watercourse during the floods were determined and the maximum discharge of water in this flood wave was defined using appropriate computer programmes. Water depths and tractive forces were determined for each profile as well as the mean flow velocity of discharge profiles and the flow regime. The occurrence of high waters of the Kolubara River in the zone of the city of Valjevo in May 2014 can be classified as a rare occurrence with the probability of> 0.1%