

АНАЛИЗА ХИДРОЛОШКО ХИДРАУЛИЧКИХ ЧИНИЛАЦА МОРФОЛОШКОГ РАЗВОЈА РЕЧНОГ КОРИТА

ВОЈИСЛАВ БЕКОВИЋ
ГРОЗДАНА ГАЈИЋ
РАТКО РИСТИЋ

Извод: Хидролошко хидраулички параметри представљају главне чиниоце морфолошког развоја речног корита. Хидролошко хидраулички параметри утичу на процес покретања и транспорта речног наноса кроз хидрографску мрежу слива а тиме на стварање разних морфолошких облика дуж хидрографске мреже.

Истраживања утицаја хидролошко хидрауличких процеса на развој морфолошких облика у сливу реке Топлице слив Колубаре, започета су 1980. године и још трају. У овом раду биће приказана анализа хидролошких и хидрауличких параметара на процес развоја морфологије речног корита, стварање разних ерозионо акумулативних облика.

Кључне речи: Нанос, деформације речног корита, тангентијални напон, брзина тока воде, ерозиони процеси.

ANALYSIS OF HYDROLOGICAL-HYDRAULIC FACTORS OF RIVER CHANNEL MORPHOLOGICAL DEVELOPMENT

Abstract: Hydrological hydraulic parameters are the main factors of river channel morphological development. Hydrological hydraulic parameters affect the processes of creation, detachment and transport of river sediment through the hydrographic network of the drainage basin, and in this way on the creation of various morphological forms along the hydrographic network.

The research of the effects of hydrological hydraulic processes on the development of morphological features in the basin of the River Toplica, in the Kolubara drainage basin, started in 1980 and is still in progress. This paper presents the analysis of the effect of hydrological and hydraulic parameters on the development process of channel morphology, and the formation of various erosion accumulation forms.

Key words: Sediment, general and local deformations of river channel, tangential stress, flow velocity, erosion processes.

1. УВОД

Образовање рељефа Земљине површине одвија се под утицајем егзогених и ендегених сила у геолошки дугом временском раздобљу. У процесу разарања стена на планинским врховима, развођима и деловима слива битну улогу има површинска вода. Површинска вода се концентрише и

др Војислав Бековић, ванредни професор, Шумарски факултет Београд

др. Гроздана Гајић, доцент, Шумарски факултет Београд

др. Рајко Ристић, доцент, Шумарски факултет Београд

слива дуж линија највећег пада, а истовремено, дуж линија најмањег отпора који се врло често поклапају са правцем пружања раседних зона. У том процесу најмање отпорне стене се прво разарају, док се отпорније стене покрећу под утицајем комбинованих сила; гравитације, снаге ветра, и воде. Од чврстих и отпорних стена настаје крупан наносни материјал, а од лако распадљивих све ситнији производи и као крајњи настају глине и колоиди. Са развојем хидрографске мреже сливова образују се зоне горњег, средњег и доњег тока водотока. Код малих водотока зоне горњег средњег и доњег тока нису увек изражене. У зони горњег тока одвија се фаза прикупљања воде и наноса. У овој зони су највећи падови, уколико нема видљивих трагова ерозије и нема продукције наноса из слива, а процеси површинске ерозије нису развијени из ових области, сливају се чисте и бистре површинске воде које у средњем и доњем току водотока имају значајан енергетски потенцијал и способност покретања и разарања речног корита и стварања разних морфолошких облика. Уколико се у средњем току одвија транспорт наноса из слива и нема појаве стварања нових количина наноса и одлагања наноса којег водоток носи дуж речног корита, ова зона се одликује речним коритом кањонског типа. Доњи ток водотока карактеришу фазе акумулације наноса којег водоток доноси из горњег и средњег тока. Образовање рељефа речне долине одвија се у фазама поводња и акумулације наноса из површинских токова. У овом раду биће приказана истраживања утицаја хидролошко хидрауличких параметара на процес развоја морфологије речног корита у средњем току реке Топлице у сливу Колубаре у времену од 1982- 2004. године. Река Топлица је десна притока Колубаре, налази се у западном делу Србије између $44^{\circ}22' - 44^{\circ}05'$ и $20^{\circ}07' - 20^{\circ}08'$, спада у мање водотоке са површином слива од 96 km^2 . Дужина главног тока је око 30 km, док је средњи нагиб слива 18,00%, а средњи нагиб водотока 2,55%, нагиб доњег тока је око 0,27%. Просечна ширина речне долине је око 700 m. Ушће реке Топлице у Колубару налази се на коти 125 m.n.m. код насеља Словац.

2. МАТЕРИЈАЛ И МЕТОДЕ

Речне долине у доњим токовима малих и великих водотока спадају у подручја са најплоднијим земљиштем. У циљу стварања безбедних услова за развој пољопривреде, пројектанти се сусрећу са низом проблема у концепцији уређења токова. Неопходно је обезбедити стабилне и безбедне услове и контролу ерозионог дејства текућих вода и заштиту приобаља од поплава. Примена система заштите обала од процеса флувијалне ерозије омогућава стабилизацију протицајног профила и контролу кретања ерозионог материјала дуж регулисане деонице (Петковић, С., Ђековић, В., 1993).

Ако се има у виду да се формирање речног корита одвија у сложеном процесу узајамног дејства чврсте и течне фазе, онда је јасно да хидраулички прорачуни у вези са анализом формирања и деформације корита водотока представљају синтезу свих хидрауличких прорачуна у области речне хидраулике. Теоријско описивање феномена деформације речног корита,

своди се на систем једначина које дефинишу тродимензионално двофазно турбулентно струјање (Л а м а к и н, В.В., 1950).

На садашњем ступњу развоја речне хидраулике, овај систем једначина је немогуће решити без великих симплификација и апроксимација. У теоријској анализи деформације речног корита постоје два основна савремена прилаза.

- Аналитички приступ, који подразумева симулацију комплетног физичког процеса, полазећи од физичких законитости кретања двофазног флуида у деформабилном кориту.
- Стохастички приступ, који третира речно корито као продукт алувијалних процеса, случајног карактера.

Математичко описивање процеса, формирање модела и његова примена за прорачун деформације речног корита, представља решавање врло сложеног односа између струјања воде, покретања наноса и промена елемената речног корита и трасе водотока. С обзиром да се регулационим радовима стабилизује и контролише само део попречног профила, у нештићеном делу профила могуће су промене речног корита, услед нагле промене отпора течења, а тиме и нагле промене хидрауличких величина, што условљава настанак деформације корита. Математичко моделирање процеса, и фактора који учествују у формирању и развоју речног корита могуће је, уз њихову одговарајућу шематизацију. Притом, степен шематизације различит је од једног до другог процеса. Код описивања струјања воде располаже се системом једначина (*Рејнолдсове једначине*), али њихово решење и уз примену нумеричких метода још није могуће. Међутим, најсложенији просторни модели, могу се поједноставити и свести на далеко економичније раванске моделе (П е т к о в и ћ, С., 1992).

Поузданост и квалитет резултата прорачуна деформације корита зависи од квалитета улазних података. Полазни материјал у овим истраживањима представља изведена пољска регулација на реци Топлици у сливу Колубаре. У овој анализи улазне податке представљају геометријске карактеристике протицајног профила, хидролошко-хидрауличке и псамолошке карактеристике водотока.

За добијање података о геометријским карактеристикама корита коришћени су ситуациони планови и сукцесивно снимани попречни и подужни профили на експерименталној деоници. Попречни профили су довољно густо постављени и поуздано описују морфологију речног корита. На примеру реке Топлице примењен је директан метод мерења промене контуре протицајног профила кроз дуже временско раздобље. У том смислу одабрани су карактеристични попречни профили дуж трасе регулације (Ђ е к о в и ћ, В., 1986, 2005).

Хидролошко хидрауличке анализе су се заснивале на анализи снимљених водостаја и протицаја на водомерној станици "Маркова црква" и водомерној станици "Команице". Као и узорковања воде за одређивање концентрације суспендованог материјала, и анализе хидрауличких параметара дуж сектора регулације. Мерење проноса вученог наноса имала би смисао само у периоду трајања великих протицаја или таласа великих вода, с обзиром да није било могуће организовати оваква истраживања оста-

је једна велика непознаница шта се догађа у периоду поводња, док су последице регистроване геодетским методама..

3. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

Извођењем регулационих радова код малих водотока у односу на иницијално природно стање мења се морфологија речног корита. Врло често се догађа да се регулационим радовима скраћује природна траса а са скраћивањем трасе повећава се уздужни пад корита. У новонасталим условима мењају се хидраулички параметри тока. У зависности од хидролошке ситуације настају разне промене морфологије корита, под дејством варијације брзине течења и вучне силе тока. Специфична је ситуација морфолошких промена код тзв. пољских регулација. Овај облик регулације се примењује ван урбаних зона, са циљем да се заштити приобаље речних токова, и пољопривредно земљиште од изливања бујичних вода, забаривања и затрпавања наносом. Након изведених регулационих радова ново ископано корито препушта се природном циклусу развоја, у којем речно корито пролази кроз низ фаза усклађујући транспортни капацитет водотока са количином наноса, који се налази у протицајном профилу водотока. Да би ова истраживања била правилно спроведена примењена је метода моделирања са размером 1:1, тј. постављањем огледа у природи са применом конкретне димензионалне анализе. У ту сврху изабрана је деоница регулације од бање Врујци до села Команице, у дужини од 3000 *m*. На овој деоници изабрана су 22 реперна профила. Профили су правилно обележени и осигурани каменим белегама, ван зоне насипа, са једне и друге стране регулације. На овако уређеним профилима помоћу геодетских иструмената вршена су сукцесивна снимања: попречних профила, уздужног профила и ситуационих планова. Снимања су вршена у периоду од извођења регулационих радова 1982 до 2004. године.

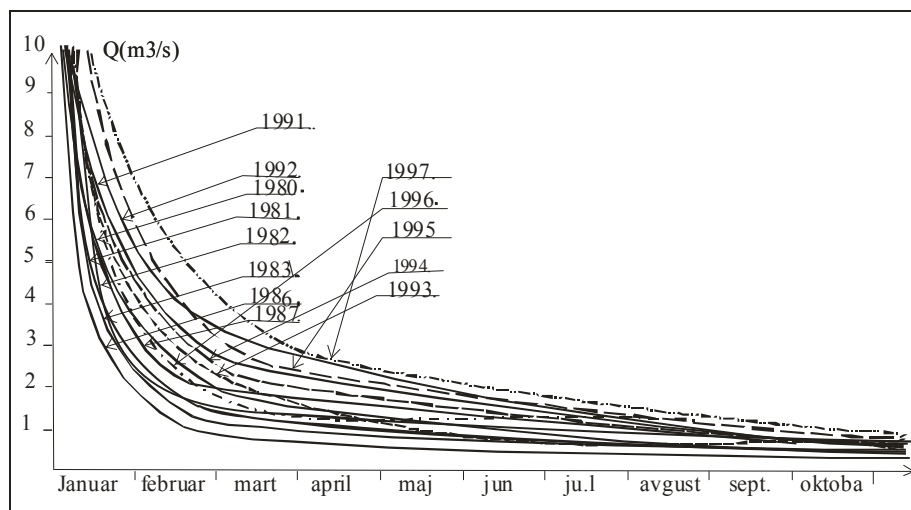
Хидролошка истраживања вршена су у периоду од 1982-1989 на водомерној станици Команице, која се налази на крају сектора регулације и на водомерној станици Маркова Црква близу ушћа у Колубару у периоду 1980. до 1997. године. Из табеле 1. може се закључити да су у истраживаном периоду, 1980, 1981, 1984, 1985, 1988, 1989, 1990, 1991, и 1992, 1993. и 1996. година биле године са повећаним протицајем, а 1982, 1983, 1986, и 1987. године са релативно мањим протицајима.

У току 1991. забележен је највећи протицај, док је 1983. године забележен најнижи протицај у осматраном периоду. Време трајања великих протицаја је релативно врло кратко, док је време трајања малих протицаја врло дуго, што указује на карактер бујичних водотока. У табели 1. су приказани екстремни протицаји реке Топлице. Трајање протицаја $Q > 1.0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ је >100 дана у воднијим годинама, а <50 дана у сушнијим. Протицај великих вода $Q > 10 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, трају 4-5 дана у воднијим годинама док се у сушнијим годинама уопште не појављују. Да би се могли анализирати хидролошко хидраулички параметри водотока на водомерним станицама је вршено снимање протицаја у циљу дефинисања криве протицаја.

Tabela 1. Екстремни годишњих протоицаја и карактеристичних трајања протоицаја

Table 1. Extremes of annual discharge and characteristics of discharge period

Година	Екстремни протицаји		Трајање протицаја		
	Qmin	Qmax	Q>1	Q>5	Q>10
	m ³ .s ⁻¹	m ³ .s ⁻¹	Дана		
1980.	0.070	12.20	120	17	5
1981.	0.110	15.00	100	10	2
1982.	0.120	8.70	48	4	0
1983.	0.060	4.45	96	40	0
1984.	0.100	15.20	90	14	4
1985.	0.140	16.20	60	18	5
1986.	0.123	8.25	88	19	0
1987.	0.150	9.00	125	13	0
1988.	0.230	19.20	100	20	1
1989.	0.125	14.90	94	11	5
1990.	0.180	16.00	132	20	4
1991.	0.090	24.10	112	35	2
1992.	0.075	18.50	110	25	2
1993.	0.045	16.20	96	23	5
1994.	0.067	13.80	120	29	4
1995.	0.053	14.80	118	25	4
1996.	0.086	17.60	100	33	5
1997.	0.092	12.80	135	35	5



Слика 1. Криве трајања протоицаја реке Тоџлице
Figure 1. Curves of discharge periods, River Toplica

На истој водомерној станици су вршена узорковања бујичне воде у циљу одређивања концентрације суспендованог наноса. Може се констатовати да је дијапазон варијације (C) од максималних вредности блиских 1.0 kg/m^3 , до минималних вредности блиских нули. У табели 2. су приказане максималне годишње вредности концентрације суспендованог наноса. Појава повећане концентрације суспендованог наноса у току 1991, 1992. и 1996. године је и очекивана јер се ради о воднијим годинама са појавом протицаја $Q > 10 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ 4-5 пута. У том хидролошком опсегу се догађају морфолошке промене речног корита.

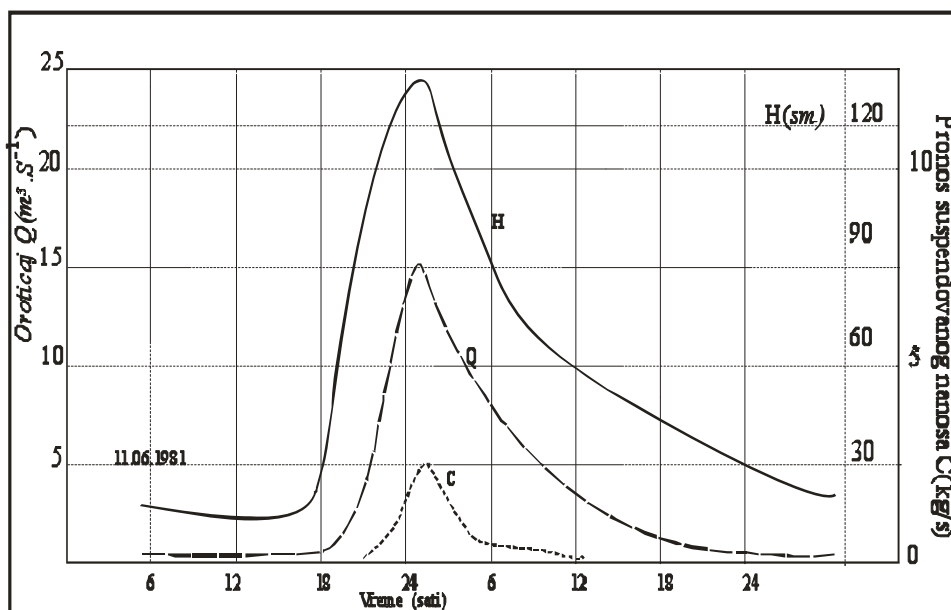
Tabela 2. Максималне концентрације суспендованог наноса

Table 2. Maximal concentrations of suspended sediment

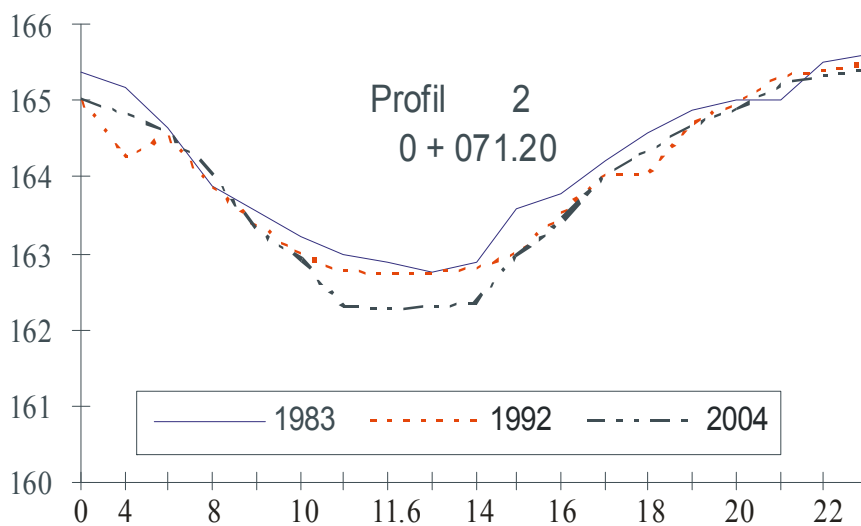
Година	C max	Број појава
	kg/m ³	C > 0.10kg/m ³
1980.	0.75	18
1981.	0.81	19
1982.	0.46	5
1983.	0.83	10
1984.	0.82	11
1985.	0.76	7
1986.	0.55	12
1987.	0.46	11
1988.	0.73	6
1989.	0.77	7
1990.	0.45	12
1991.	0.93	18
1992.	0.91	35
1993.	0.77	25
1994.	0.69	19
1995.	0.79	8
1996.	0.87	11
1997.	0.67	18

На слици 1. приказане су криве трајања протицаја по хидролошким годинама за водомерну станицу Маркова Црква. Може се констатовати да криве имају исти тренд једино се примећује да крива трајања протицаја из 1997. године има најблажу форму а то се констатује и у табели 1. у којој су протицаји $Q > 1.0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ трајали 135 дана. Поред тога може се запазити да протицај великих вода траје врло кратко док се протицај врло малих протицаја протеже на целокупну хидролошку годину, што је основна одлика водотока са бујичним режимом течења.

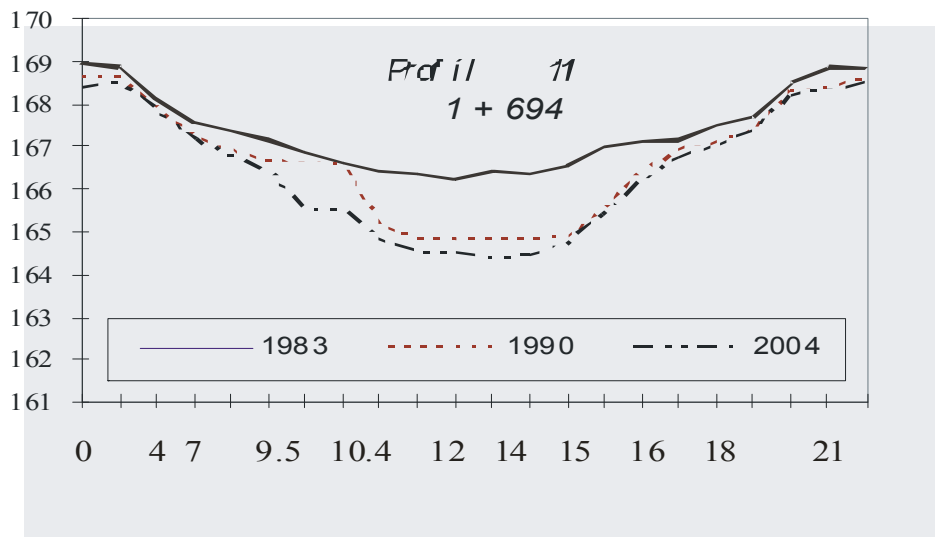
Такође, и на дијаграму 1. приказане су карактеристике једног поплавног таласа из 1981. године. Временска база хидрограма је 24 часа. Време пораста хидрограма износи 6 сати, док је време опадања 18 сати. У овом таласу вршна ордината хидрограма износила је $Q = 15 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. У истом таласу поред хидрограма регистрован је и пронос суспендованог наноса.



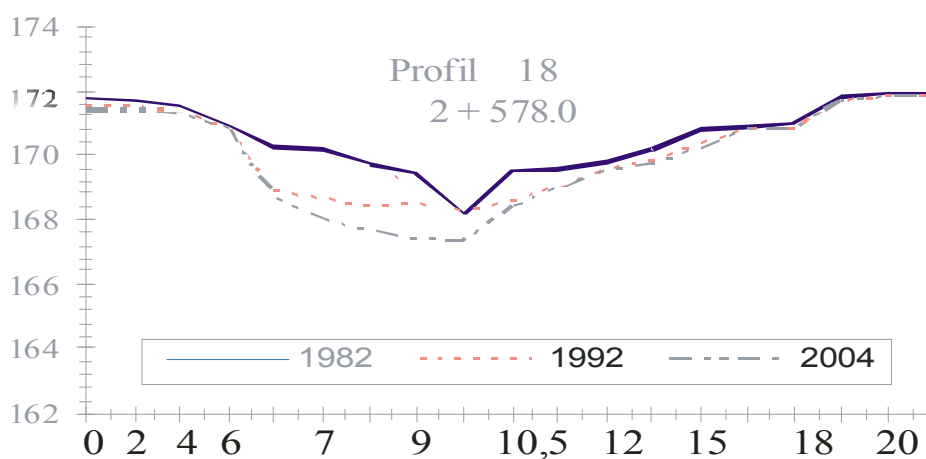
Дијаграм 1. Хидролошке карактеристике једног таласа великих вода на Тојлици.
 Diagram 1. Hydrological characteristics of a flood wave on Toplica.



Слика 2. Појречни профил бр: 2 реке Тојлици (1983, 1992, 2004)
 Figure 2. Discharge section line no. 2. River Toplica (1983, 1992, 2004)



Слика 3. Попречни профил бр: 11. реке Тоџлице (1983, 1990, 2004)
Figure 3. Discharge section line no.11. River Toplica (1983, 1990, 2004)



Слика 4. Попречни профил бр: 18. реке Тоџлице (1983, 1992, 2004)
Figure 4. Discharge section line no.18. River Toplica (1983, 1992, 2004)

На приказаним попречним профилима сл. 2, 3, и 4 као и на свим профилима који се у овом раду из објективних разлога комплетно не могу приказати, евидентна је тенденција спуштања дна корита и усецања кинете у алувијалним наслагама речне долине. На појединим деоницама запажају се одрони у обалама које представљају зоне повећаног бочног прилива материјала а настале су услед неуједначених геомеханичких карактеристика речне долине и појаве хидродинамичких притисака воде из инундације.

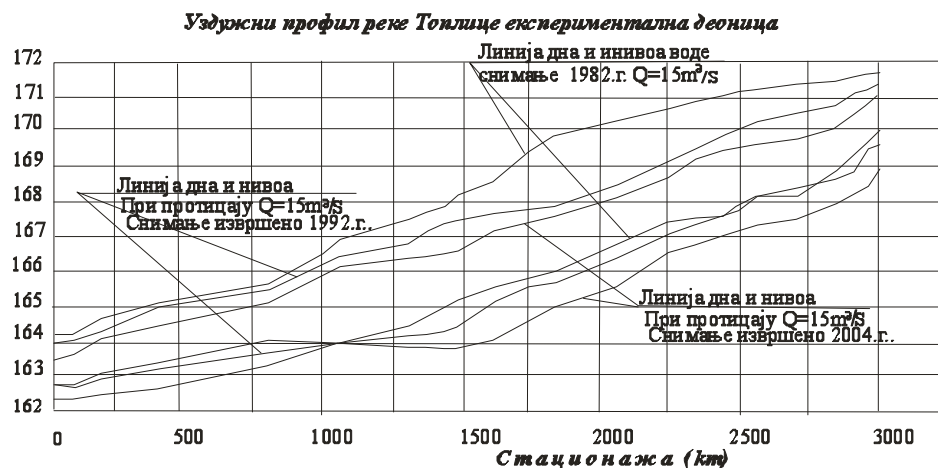
Клизање обала, у протеклим периодима истраживања указивале су на велики прилив ерозионог материјала а затим на појаву локалне и опште деформације корита на целокупном сектору експерименталне деонице. Међутим, временом је дошло до преласка водотока у стање динамичке равнотеже тј. «водоток је у режиму» то значи да нема стварања нових количина ерозионог материјала и нема одлагања наноса дуж речног корита. Нанос који водоток доноси из горњих делова слива је транзитни и проноси се дуж целокупног сектора и нема знакова акумулације и одлагања.

У последњим годинама регулација се врло лоше одржава и препуштена је природи тако да се на обалама развија вегетација врбе и јове (*Salix alba*, и *Alnus glutinosa*). Последњих година успостављена вегетација штити обале од обрушавања, а истовремено ствара могуће баријере за протицај великих вода и поновну појаву поплава и изливања великих вода у приобалље.

У циљу дефинисања хидрауличког режима на експерименталној деоници реке Топлице, извршен је хидраулички прорачун водотока, примењена је класична метода хидрауличке анализе природних водотока, коришћењем основне једначине неједноликог, стационарног течења у призматичном кориту (Мушкатровић, Д. 1975):

$$\Delta Z = K \left(\frac{V_u^2}{g} - \frac{V_n^2}{g} \right)$$

где је: ΔZ – денивелација нивоа воде на укупној деоници водотока од профила до профила, K – је средња вредност модула протицаја, а V_u и V_n су брзине протицања на узводном и низводном профилу (од профила до профила). Резултати хидрауличке анализе приказани су на слици 7. за три морфолошка стања (1982, 1992. и 2004. године).

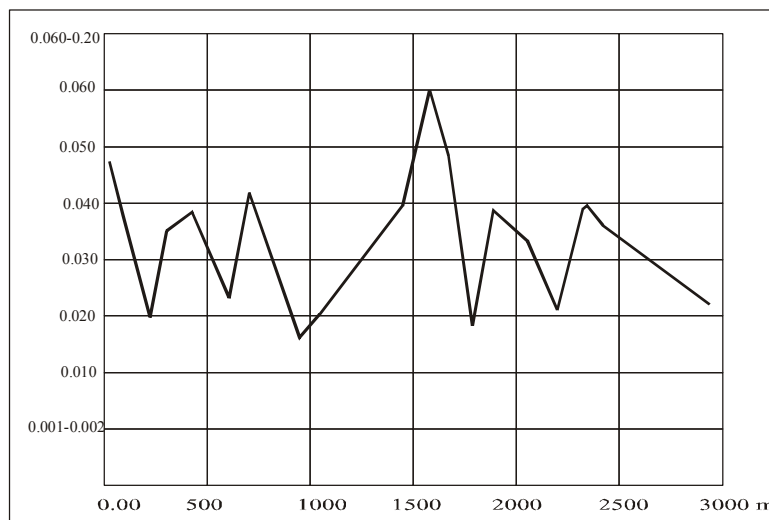


Слика 5. Уздужни профил регулисаног корита Топлице за три морфолошка стања
Figure 5. Longitudinal profile of the River Toplica regulated channel for three morphological states

Анализом уздужног профила водотока и линија нивоа за три карактеристична морфолошка стања може се констатовати да је у међувремену дошло до формирања кинете у оквиру регулисаног корита и спуштања дна нивелете у просеку за 1,5-2,0 m. У овако новоформираним условима протицај малих и средњих вода се одвија у оквиру новоформиране кинете, сл. 2, 3, и 4. Брзине тока и вучне силе су повећане у односу на пројектовано стање с обзиром на услов дефинисан релацијом:

$$V = \frac{Q}{A}$$

Анализом промене гранулометријског састава материјала из сондажних бушотина, установљено је да постоји одређена неуједаченост средњег пречника наноса. Гранулометријски састав материјала условљава промену критичних вредности тангентијалног напона у речном кориту, уз спрегу са осталим геомеханичким карактеристикама, представља један од битних узрока спуштања нивелете регулисаног корита. Промена гранулометријског састава материјала из бушотина приказана на дијаграму 2. указује на бујични карактер водотока и периодични карактер кретања речног наноса па је крупноћана носа неуједначена дуж речног корита, такође, и на могуће бочне притоке које уносе на појединим секторима крупније фракције наноса.



Дијаграм 2. Промене средњег пречника наноса из сондажних бушотина
Diagram 2. Changes of mean diameter of sediment from boreholes

Критична вучна сила (критични тангентијални напон), везана за карактеристични пречник наноса 50% учешћа са криве гранулометријског састава дефинише фазе покретања и акумулације већ покренутог наноса из струјног тока. Уколико је стварна вучна сила већа од критичне вучне силе долази до процеса ерозије корита и, уколико је стварна сила једнака

критичној вучној сили, долази до почетка акумулације наноса у профилу речног корита. На основу релације "Majer- Peter- Miler-a", критична вучна сила је дефинисана за све протицајне профиле дуж експерименталне деонице водотока и приказана у табели 3:

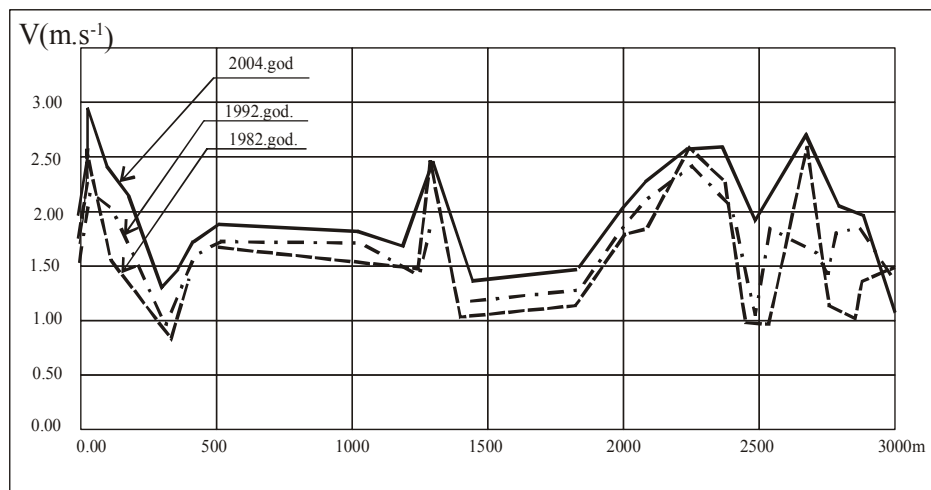


Tabela 3. Критични тангенцијални напон (N/m^2) при протицају $Q=15 m^3$
 Table 3. Critical tangential stress (N/m^2) at discharge $Q=15 m^3$

Танг. Напон	Попречни профили дуж експерименталне деонице																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	30	24	11	21	23	14	26	9	12	25	40	31	10	24	21	12	24	25	22	12

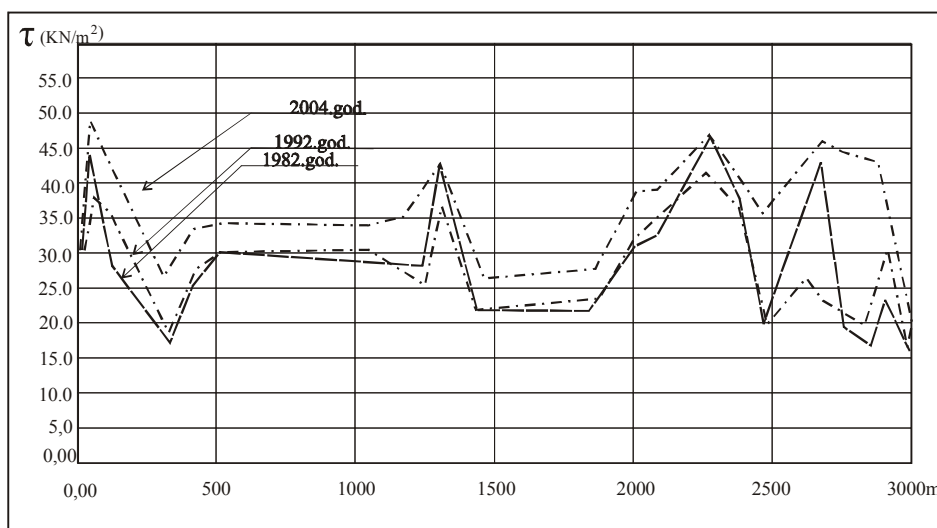
Различите вредности, критичног тангенцијалног напона указу да се на регулисаној деоници водотока због разлика у гранулометријском саставу алувијалне долине у којој је ископано речно корито, јављају осцилације критичног тангенцијалног напона. У профилу 11. при протицају од $Q = 15 m^3 \cdot s^{-1}$ има вредност од $\tau=40 N/m^2$. (Ђековић, В. 1993).

Да би се у потпуности схватио утицај хидрауличких параметара на морфолошки развој пољских необложених реглација, приказан је дијаграм брзине тока при протицају $Q = 15 m^3 \cdot s^{-1}$, као и дијаграм стварних тангенцијалних напона, за три морфолошка стања речног корита (1982, 1992, 2004.год.)



Дијаграм 3. Промене брзине тока при протицају ($Q = 15 m^3 \cdot s^{-1}$)
 Diagram 3. Changes of flowing velocity at discharge ($Q=15 m^3 \cdot s^{-1}$)

На дијаграму 3. може се запазити да се временом брзине тока повећавају. Ова последица се може објаснити формирањем кинете у оквиру пројектованог протицајног профила. Димензије ове кинете нису довољне да пропусте анализирани протицај ($Q > 15 \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), па при већим протицајима долази до појаве већих брзина у регулисаном кориту, што узрокује појаву ерозије и спуштања нивелете дна корита, и појаву опште деформације на целом сектору. Такође, и стварни тангенцијални напони су већи од критичних тангенцијалних напона што указује да речно корито нема такву структуру да се одупре вучним силама тока при протицајима $Q > 15 \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.



Дијаграм 4. Промена стварних тангенцијалних напона при протицају $Q = 15 \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
 Diagram 4. Change of actual tangential stresses at discharge $Q = 15 \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

4. ЗАКЉУЧЦИ

У стационарном времену, у коме се врши усклађивање хидрауличких и псамолошких параметара водотока изведена пољска регулација пореметила је природну равнотежу. У регулисаном кориту је отпочео измењени процес морфолошког развоја, који треба да доведе до нове равнотеже морфолошких, хидрауличких и псамолошких параметара водотока, а који су били поремећени у самом сливу и дуж природне трасе водотока, извођењем регулационих радова.

Постоји одређена зависност између морфолошких параметара и интезитета морфолошких промена корита и варијација хидрауличких параметара водотока. Такође, постоји временска тенденција уједначавања хидрауличких параметара дуж трасе експерименталне деонице водотока. Међутим, варијација крупноће наноса указује на бујични карактер водотока и периодично кретање бујичног наноса.

Највеће морфолошке промене регулисаног корита на експерименталној деоници одиграле су се у периоду наиласка великих вода. У том перио-

ду хидраулички параметри протицаја (брзине, тангентијални напони) условљавали су на појединим деоницама сектора настанак опште деформације регулисаног корита са тенденцијом спуштања и усецања нивелете корита у сопственом алувијуму и формирање кинете у оквиру пројектованог протицајног профила. Формирањем кинете створени су услови за појаву повећаних брзина и вучних сила.

Да су ови закључци тачни, потврђују и концентрације суспендованог наноса. Највеће су концентрације суспендованог наноса у периоду појаве максималних протицаја. Према томе, теориски закључак да се речни нанос код бујичних водотока периодично креће у таласима великих вода, потврђен је и овим истраживањима.

На крају овог истраживачког периода (1982-2004) на експерименталној деоници реке Топлице, може се констатовати да мале и средње воде дуго времена трајања формирају протицајни профил, облика кинете, док велике воде имају релативно кратак временски период трајања и, углавном, се у таласу великих вода покреће нанос настао подкопавањем обала, и стварају се нови услови за бочни прилив ерозионог материјала.

ЛИТЕРАТУРА

- Б е к о в и ћ, В.,(1986): . Магистарски рад «Истраживање морфолошког развоја малих водотока у природном стању и у условима изведене регулације». Шумарски факултет Београд.
- Б е к о в и ћ, В., П е т к о в и ћ, С., (1986) *Истраживање морфолошких законитости малих водотока*Зборник 2-гог конгреса о водама Југославије Љубљана 1986.
- П е т к о в и ћ, С., Б е к о в и ћ, В., (1988) *Истраживање морфолошког развоја корића Реке Топлице*. часопис шумарство бр.5-6, Београд. (1988)
- Б е к о в и ћ, В., (1993): Докторска дисертација «Истраживање законитости морфолошког развоја малих водотока», Шумарски факултет Београд, стр. 1-211.
- Б е к о в и ћ, В., (1997): Уџбеник, «Пројектовање у бујичарству»; Шумарски факултет, Београд, стр. 1-259.
- Г а ј и ћ, Г., (2000) Докторска дисертација «Утицај опшорности земљишта на степенактивизације дубинске ерозије»(стр. 1-154). Шумарски факултет Београд
- Б е к о в и ћ, В.,(1986): *Истраживање узрока морфолошких промена корића реке Пешиан у доњем току*. Часопис Ерозија бр.14/1986. год. страна 159-165. Београд.
- Б е к о в и ћ, В., (1993):*Истраживање утицаја геолошко-тектонских и хидролошко-Хидрауличких параметара на морфолошки развој корића реке Љиџ*. Монографија Шумарског факултета “Узроци и последице ерозије земљишта и могућности контроле ерозионих процеса. Београд. стр. 30-38.
- П е т к о в и ћ, С., Б е к о в и ћ, В., (1993):*Анализа зависности морфолошког развоја малих водотока од геоморфолошких геолошких и ерозионих фактора сливног подручја*. Монографија Шумарског факултета “Узроци и последице ерозије земљишта и могућности контроле ерозионих процеса. Београд. стр. 68-77.
- Р е т к о в и ћ, С., Д е к о в и ћ, В., (1995): *Relation Between Morphology of Small Streams and Geomorphyc Geological and Erosional Factors of Watersheds*. 6-ti International Symposium on River Sedimentation. Страна 425-433. Nu-Delhi
- Д е к о в и ћ, В., (1996): *Analysis of the effects of drainage-basin physical-geographical parameters on the development of erosion processes and channel morphology-the example of*

- the river Resava*, Barcelona. First European Conference on Erosion Control; Abstract Book, Barcelona-Sitges May 29-31, 1996.
- Ђековић, В., (1997): *The Development of Erosion Processes and Channel Morphology- the Example of the River Resava*. The 3 rd. International conference on the Development of Forestry and Wood Sciences Tehnology, ICFWST, Belgrade. Str. 229-235.
- Петковић, С., Ђековић, В., (1997): *Principles and Experiences of Channel Stabilization Relating the Serbian Rivers*. The 3 rd. International Conference on the Development of Forestry and Wood Sciences Tehnology ICFWST, Belgrade. Str. 193-201.
- Ђековић, В., (2004): *Утицај геоморфолошких процеса на речну морфологију*. Часопис Шумарство ДИТ Србије, Београд
- Мишковић, Д., (1975): *Уџбеник «Регулација река»*, Грађевински факултет Београд. Страна 1-473.
- Петковић, С., (1992) *Уџбеник «Одабрана поглавља из хидраулике отворених токова»* Шумарски факулте Београд.
- Карасев, И.Ф., (1975) *Уџбеник «Условие процеси при переброске сйока»* - Лењинград.
- Ламкин, В.В., (1950) *Уџбеник «Динамические фазы речних долин и алувијалних ајлажениш»* - Земљеведеније Москва.
- Летић, Љ., (1982) *Магистарски рад "Рејенциона улога шума у ошчињању воде и наноса"* Шумарски факултет Београд
- Гавриловић, С., (1972) *"Инжињеринџ о бујичним јоковима и ерозији"*. Шумарски Факултет Београд

ANALYSIS OF HYDROLOGICAL-HYDRAULIC FACTORS OF RIVER CHANNEL MORPHOLOGICAL DEVELOPMENT

*Vojislav Đeković
Grozdana Gajić
Ratko Ristić*

Summary

Morphological processes in natural and regulated watercourses are the long-lasting phenomena with a trend of the watercourse conversion into the state of dynamic balance. However, hydrological phenomena must be considered as the random processes. No processes can be researched isolated, but in the coincidence with other processes most of which are random processes with a series of variants and forms which can prevail in certain conditions. The anthropogenic factor is decisive but, of course, in this paper this effect is indirect. The human impact on natural morphological processes is evident in the initial state of regulation processes, later on the regulated channel is left to the natural precesses of the development of river channel morphology.

River processes, researched in the River Toplica experimental section indicate the morphological processes from the initial state, (after the regulation works) to the establishment of the erosion terminant of the watercourse. The stable stretches are observed in the final stage. The balance of sediment along the stream is uniform, and the watercourse is in the state of dynamic balance, and now it is in the phase of «regime» (*Kenedi, Lindll, Akers*) (*Theory of regime*).

The hydrodynamic forces, expressed by tangential stress, condition the transport of the river sediment, and the deposition of sediment along the regulated flow. In the river channel morphological development, there is dependence between the morphological parameters and the variation of the hydrodynamic parameters of flow. The nonuniform coefficient of roughness and the nonuniform morphology of the river channel create the conditions for the variation of hydraulic parameters along the watercourse.