

Војислав Ђековић  
Ратко Ристић

UDK: 627.42+41  
Оригинални научни рад

## ВЕГЕТАЦИЈА КАО ЈЕДАН ОД ФАКТОРА МОРФОЛОШКОГ РАЗВОЈА РЕГУЛИСАНИХ ВОДОТОКА

**Извод:** Морфолошки развој природних и регулисаних водотокова има велики утицај на привредни развој приобаља. Уочавање тренда у развоју ових процеса и могућност прогнозе представљају основне предуслове за безбедно коришћење инундационих површина. Регулација реке Топлице одабрана је као експериментална деоница за истраживање морфолошких промена. Постављене су сталне геодетске ознаке ради обележавања реперних попречних профила, са којих су вршена сукцесивна снимања промена геометријских карактеристика. Поред тога, низводно је на уређеном хидрометријском профили постављена водомерна станица са лимниграфом, којим су регистроване промене нивоа воде. На основу промена у геометрији попречних профила и осцилација водостаја одређени су узроци који су довели до морфолошких модификација дуж експерименталне деонице. Анализиран је утицај вегетације и хидродинамичких карактеристика тока на промене морфолошких елемената протицајног профила водотока.

**Кључне речи:** флувијална ерозија, морфолошке промене, вегетација, регулација

### VEGETATION AS ONE OF THE FACTORS OF MORPHOLOGICAL CHANGES IN REGULATED RIVERBEDS

**Abstract:** Morphological changes of natural and regulated riverbeds have strong influence on economy development in the zones close to the riverbanks. Understanding of these processes and possibility of prediction are the basis for safe usage of areas close to the riverbanks. River Toplica bed regulation is choosen as experimental section for investigation of morphological changes. Steady survey profiles were established after finishing the regulation works, as basic points for further observations of changes in the riverbed. Water level recorder was positioned a few hundred meters down the stream. Main causes for morphological development along the riverbed were determined on the basis of changes in geometry of cross-section

*др Војислав Ђековић, ванредни професор, Шумарски факултет Универзитета у Београду, Београд*

*др Ратко Ристић, доцент, Шумарски факултет Универзитета у Београду, Београд*

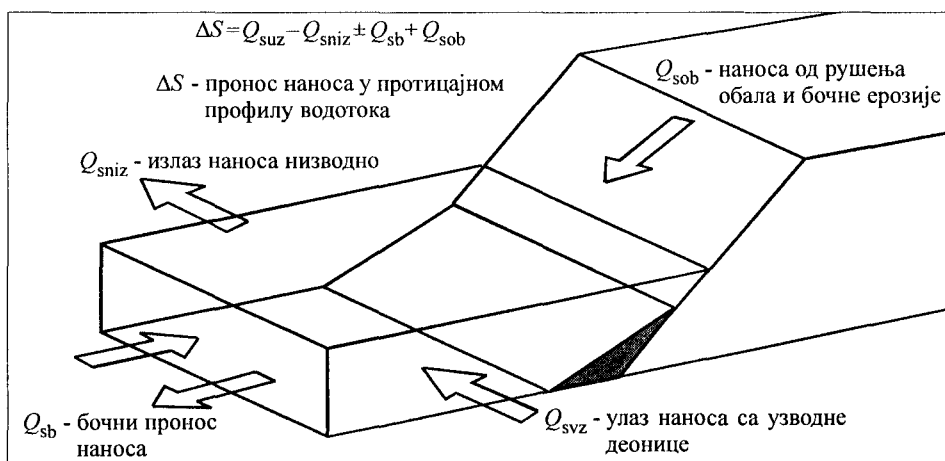
profiles and water level. Influence of vegetation cover in the riverbanks and hydrodynamic characteristics of the flow have been analyzed.

**Key words:** fluvial erosion, vegetation, regulation, morphological changes

## 1. УВОД

Фактори који имају доминантан утицај на процес морфолошког развоја природних и регулисаних водотокова, могу се одредити на основу сталних, вишегодишњих мерења на успостављеним експерименталним деоницама. Резултати истраживања, коришћени у овом раду, добијени су на експерименталној деоници, која се налази на делу корита реке Топлице од Бање Врујци до села Команице. Слив Топлице има површину од  $A = 96,0 \text{ km}^2$ , дужину главног тока  $L = 30 \text{ km}$ , средњи нагиб терена у сливу  $I_{sr} = 18,0\%$ , а уравни пад корита водотока  $I_u = 2,55\%$ . Слив реке Топлице у прошлости је био типично бујично подручје са великом продукцијом ерозионог материјала. После извођења антиерозионих радова у горњем делу слива значајно је смањен интензитет ерозионих процеса. Миграције становништва из изворишног дела слива утицале су на повећање покривности и побољшање квалитета вегетационог покривача.

Данас се под шумским покривачем налази 26,78% површине (претежно у изворишном делу слива), а њиве и виногради су на 51,14% површине (доњи део слива). Под ливадама и пашњацима је 19,07%, а голетима и урбанизованим земљиштем 2,01% површине слива. Картирањем ерозионих процеса установљено је да слив реке Топлице данас спада у подручја са слабом ерозијом ( $Z_{sr} = 0,374$ ). Преовлађујући



Слика 1. Режим наноса на базном попречном профили речног корита

Figure 1. Regime of the sediment on the basic cross-section profile of the riverbed

тип ерозије је флувијална ерозија дубинског типа (Ђековић, 1993). Природно корито у средњем и доњем току меандрира, има малу пропусну моћ за протицај великих вода и пронос наноса. Обале су обрасле вегетацијом која их штити од флувијалне ерозије, а истовремено повећава коефицијент отпора течењу и условљава настанак поплава приобаља. Приобаље се користи, углавном, у пољопривредне сврхе. Регулациони радови у средњем и доњем току Топлице су извођени у више етапа. Циљ рада је да на основу истраживања експерименталне деонице на реци Топлици, укаже на ефекте постојања различитих типова вегетације на обалама.

Табела 1. Екстремне вредности ( $Q$ ,  $C$ ,  $P$ )  
Table 1. Extreme values ( $Q$ ,  $C$ ,  $P$ )

$Q_{\max}$	$Q_{\min}$	$C_{\max}$	$C_{\min}$	$P_{\max}$	$P_{\min}$
$m^3 \cdot s^{-1}$		$kg \cdot m^{-3}$		$kg \cdot s^{-1}$	
19,4	0,060	0,97	0,004	11,0	0,04

## 2. МАТЕРИЈАЛ И МЕТОД РАДА

После извођења регулационих радова у току 1982. године, деоница од Бање Врујци до села Команица изабрана је за експерименталну. На овој деоници изведена је пољска регулација са једногубим трапезним коритом, дужине око 3,0 km. Осматрана су 22 реперна попречна профила, обележена укупаним каменим ознакама. У току периода истраживања вршена су геодетска снимања протицајних профила, регистроване промене и деформације корита дуж трасе водотока. Издвојене су поједине секције на експерименталној деоници, у складу са доминантним типом природне вегетације (дрвеће, жбуње, трава).

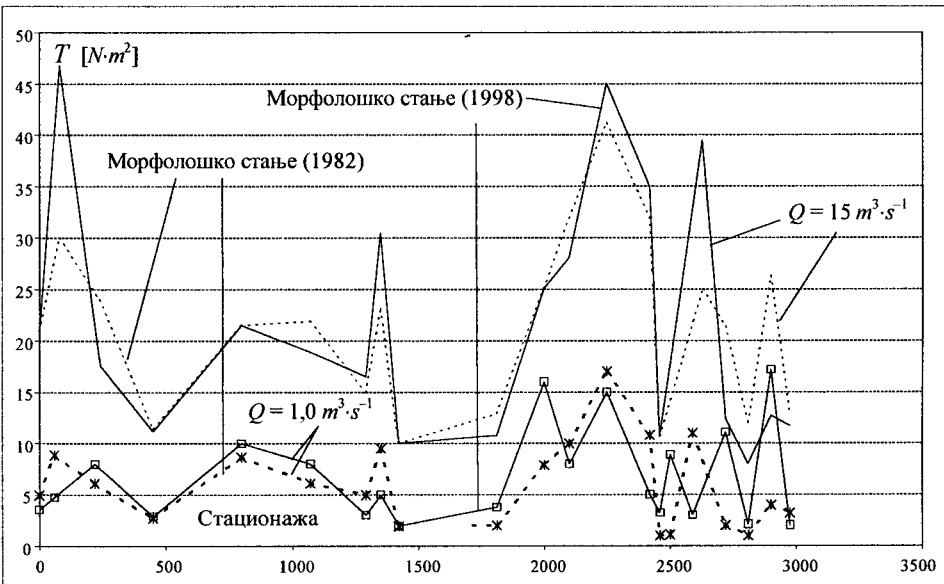
Геодетско снимање речног корита обухвата снимање трасе, уздужног и попречних профила водотока. Снимање је вршено пре извођења регулационих радова (1981) и после изведене регулације водотока у периоду 1982-1998. Мерење хидролошких и псамолошких параметара вршено је у периоду од 1979-1998. год. на водомерној станици Маркова Црква или у њеној непосредној близини. Поред лимниграфског регистровања водостаја, вршена су хидрометријска мерења брзине течења у периоду малих, средњих и високих водостаја, ради детерминисања криве протицаја.

Псамолошка истраживања обухватила су узимање узорака суспендованог наноса из реке као и систематска истраживања наноса дуж речног корита (концентрација  $C [kg \cdot m^{-3}]$ , пронос наноса  $P [kg \cdot s^{-1}]$ ). У табели 1 су представљене екстремне вредности (минималне и максималне) протицаја, концентрација и проноса суспендованог наноса ( $Q$ ,  $C$ ,  $P$ ). Формирано је пет сондажних бушотина на карактеристичним профилима експерименталне деонице са циљем да се дефинише геомеханичка структура терена од кога су грађене обале. На тај начин су дефинисани основни геомеханички параметри терена: гранулометријска структура земљишта, величина силе кохезије и угао унутрашњег трења.

### 3. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

На основу геодетског снимања речног тока, пре и после извођења регулационих радова, може се установити да се регулисано корито налази у стању динамичких морфолошких промена. Извођењем регулације скраћена је траса речног корита, повећан пад водотока, а самим тим и хидраулички параметри тока (средња профилска брзина; вучна сила). Међутим, извођењем регулационих радова уклоњено је дрвеће и жбуње из протицајног профила и приобаља, чиме је корито остало без активне заштите вегетације. Антиерозиона заштита је спроведена заглављивањем косина. Пронос наноса речним профилом као и биланс наноса у профилу приказан је на слици 1 (Chang, 1984). Поред тога што опадање поплавног таласа утиче на деформације попречног профила (долази до повећања запреминске масе материјала, услед високог степена zasiћења водом), и други фактори имају утицај на стабилност речних обала: промена вучне силе по оквашеном обиму протицајног профила, однос транспортног капацитета водотока и бочног прилива ерозионог материјала, старост и димензије вегетације на речним обалама, дубина укоревивања вегетације.

Стабилност обала речног корита зависи од врсте вегетације, односа подземног и надземног дела стабла и особина педолошког и геолошког слоја. Жбунасте врсте са снажно развијеним кореновим системом (ритска вегетација, разне врсте врба и јова) дубоко продиру у земљиште, чврсто се везујући бројним жилама и жилицама, а својом масом не повећавају битно тежину обалног блока. Дрвеће својом



Слика 2. Дијаграм тангенцијалних напона на експерименталној деоници реке Топлице  
 Figure 2. Diagram of shear-stresses on experimental section of river Toplica

масом повећава тежину обалног блока (топола, јавор, јасен, храст, врба) уколико се развија на обалама речног корита. До одређеног напонског стања дрвеће повећава стабилност обала на појаву локалне деформације, али када ивица косине доспе до стабла, а дно речног корита се спусти испод зоне укоренивања (нарушено природно стање), оваква стабла могу бити узрок клизања и даљег рушења обала, а врло често су узрок настанка спрудова и меандара.

Важан је утицај геометрије обала, посебно нагиба. На стрмим, подсеченим обалама, штетно деловање вегетације огледа се у повећању компоненте силе која делује низ нагиб, а већа је од утицаја жила и жилица кореновог система на стварање додатне кохезије и ојачавање материјала у обалама.

На благим нагибима обала, случај је супротан јер је тамо утицај вегетације позитиван. Висина обала значајна је у односу на дубину укоренивања вегетације. Ако је дубина укоренивања већа од висине обале, онда коренов систем скоро сигурно пролази кроз потенцијалну клизну раван и ојачање може бити ефикасно. Ерозија обала се догађа оног момента када деструктивне силе надвлађају силе отпора (трење и кохезија материјала у обалама). После извођења регулационих радова на реци Топлици извесно време корито водотока је било стабилно, без видљивих трагова деформација. После наиласка првог поплавног таласа дошло је до појаве локалне и опште деформације корита, иако су косине и насипи затрављени, одмах по извођењу регулационих радова. Установљено је да дубина укоренивања травне вегетације није довољна за стварање додатне кохезије обала и ојачавање обалног блока.

Формирање речног корита и успостављање стабилних облика попречних профила представља врло сложен процес на који утичу литолошке и геомеханичке карактеристике градивног материјала, вегетација на обалама, хидролошко-хидрауличке и псамолошке карактеристике водотока. Геомеханичка структура терена је релативно хомогена, а преовлађује глиновит материјал са примесама песка ( $d < 0,005 \text{ mm}$ , 22-36%,  $d > 0,02 \text{ mm}$ , 25-40%). Крупноћа материјала опада по дубини. Лабораторијске анализе су показале да угао унутрашњег трења варира од 20-22°, док се величина силе кохезије креће од 2-5  $\text{kN}\cdot\text{m}^{-2}$ .

Значајну улогу има однос улаза и излаза наноса на посматраној деоници водотока. Бочна ерозија лимитирана је отпорношћу обала због повећане кохезије, што је последица учвршћивања косина кореновим системом. Међутим, у случају продубљивања корита, нарушава се геостатичка стабилност обала и оне се обрушавају, при чему се корито шири. Обале које су формиране у некохерентним седиментима обрушавају се у танким ламелама, док код везаних материјала обрушавање настаје у облику крупних блокова тла.

Вегетација делује као препрека кретању двофазног флуида у речном кориту, што води повећању нивоа, односно, вучних сила (слика 2). Водоток увек тежи да сваку препреку савлада са минималном енергијом (Петковић, 1984), а течење на експерименталној деоници реке Топлице често је на граници критичног режима.

#### 4. ЗАКЉУЧЦИ

1. Вегетација има позитиван ефекат, са становишта стабилности, стварајући услове повећане кохезије у обалама, изузев када се нивелета водотока спусти испод зоне укореењавања, а вучна сила тока пређе критичну вредност ( $\tau_0 > \tau_{0cr}$ ).
2. Са хидрауличког становишта вегетација на обалама река и у речном кориту представља препреку у протицајном профилу. Врло често се течење одвија на граници критичног режима, односно, смењују се зоне са мирним режимом течења и зоне у којима влада силовит турбулентни режим течења. У зонама где се течење одвија у силовитом режиму увећана је транспортна снага тока, тако да су честе деформације протицајног профила. У зонама са мирним режимом течења настају процеси деформације протицајног профила услед одлагања ерозионог материјала. Вегетација на обалама, у случају наилаaska поплавног таласа, повећава коефицијент рапавости што условљава промену режима течења, повећање нивоа воде у протицајном профилу и може довести до изливања. Описани процеси се непрекидно смењују.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Chang H H. (1984): *Geometry of Rivers in Regime*, Journal of the Hydraulics Division, ASCE
- Ђековић В. (1993): *Истраживање законитости морфолошког развоја малих водотока*, докторска дисертација у рукопису, Шумарски факултет Универзитета у Београду, Београд
- Петковић С. (1984): *Смернице за пројектовање регулације водотока на основу морфолошких и псамолошких анализа*, Воде Војводине, Нови Сад

Vojislav Đeković  
Ratko Ristić

#### VEGETATION AS ONE OF THE FACTORS OF MORPHOLOGICAL CHANGES IN REGULATED RIVERBEDS

##### Summary

Determination of dominant factors for morphological changes is possible by permanent observations on experimental sections. River Toplica bed regulation is chosen as experimental section for investigation of morphological changes. Steady geodesy profiles were established after finishing the regulation works, as basic points for further observations of changes in the riverbed. Water level recorder was positioned a few hundred meters down the stream. Main causes for morphological development along the riverbed were determined on the basis of changes in geometry of cross-section profiles and water level. Influence of vegetation cover in the riverbanks and hydro-dynamic characteristics of the flow have been analyzed.